



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,  
Canales y Puertos

Estudio experimental de la estabilidad hidráulica de diques  
homogéneos de Cubípodos de baja cota con malla  
cuadrada. Aplicación a la protección costera de las playas  
del T.M. de Tavernes de la Valldigna (Valencia)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Mashadyan, Gohar

Tutor/a: Molines Llodrá, Jorge

Cotutor/a: Escudero Castillo, Mireille del Carmen

Cotutor/a externo: Díaz Carrasco, Pilar

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,

CANALES Y PUERTOS

# TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Estudio experimental de la estabilidad hidráulica de diques homogéneos de Cubípodos de baja cota con malla cuadrada. Aplicación a la protección costera de las playas del T.M. de Tavernes de la Valldigna (Valencia)

*Presentado por*

**Mashadyan, Gohar**

**Máster de Caminos, Canales y Puertos**

*Para la obtención del*

*Curso:* 2023/2024

*Fecha:* Julio 2024

*Tutor:* Jorge Molines Llodrá

*Cotutora:* Mireille del Carmen Escudero Castillo

*Cotutora externa:* Pilar Díaz Carrasco





## **INDICE GENERAL**

<b>DOCUMENTO Nº1. MEMORIA Y ANEJOS .....</b>	<b>4</b>
<b>MEMORIA.....</b>	<b>5</b>
<b>ANEJOS DE LA MEMORIA .....</b>	<b>29</b>
ANEJO Nº1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO.....	31
ANEJO Nº2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	65
ANEJO Nº3. LOCALIZACIÓN Y DATOS PREVIOS .....	93
ANEJO Nº4. BATIMETRÍA.....	114
ANEJO Nº5. ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO .....	133
ANEJO Nº6. CLIMA MARÍTIMO.....	147
ANEJO Nº7. MODELO NÚMÉRICO .....	175
➤ APÉNDICE I. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO.....	187
ANEJO Nº8. ESUDIO DE SOLUCIONES .....	196
➤ APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO CON LOS DIQUES.....	227
ANEJO Nº9. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .....	263
ANEJO Nº10. PRESUPUESTO .....	275
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>281</b>
<b>DOCUMENTO Nº2. PLANOS.....</b>	<b>288</b>





DOCUMENTO N°1

# MEMORIA Y ANEJOS



# MEMORIA



## **INDICE DE LA MEMORIA**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVOS .....	8
1.2 OBJETO DEL ESTUDIO .....	9
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>10</b>
2.1 COSTA VALENCIANA Y PROBLEMÁTICA DE LA EROSIÓN .....	10
2.2 PLAYA DE TAVERNES DE LA VALLDIGNA Y LA GOLETA .....	11
<b>3. LOCALIZACIÓN Y DATOS PREVIOS</b> .....	<b>11</b>
3.1 PUERTO DE GANDÍA .....	12
<b>4. BATIMETRÍA</b> .....	<b>13</b>
<b>5. CLIMA MARÍTIMO</b> .....	<b>15</b>
5.1 ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR .....	15
5.1.1 VARIACIÓN DEL NIVEL DEL MAR .....	15
5.1.2 VIDA ÚTIL Y PERÍODO DE RETORNO .....	16
5.2 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	16
<b>6. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA</b> .....	<b>18</b>
6.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA EVOLUCIÓN COSTERA .....	18
<b>7. ESUDIO DE SOLUCIONES</b> .....	<b>20</b>
7.1 ALTERNATIVA 1: DOS DIQUES DE 150 METROS .....	21
7.2 ALTERNATIVA 2: DOS DIQUES DE 200 METROS .....	21
7.3 ALTERNATIVA 3: CUATRO DIQUES DE 150 METROS .....	22
7.4 ALTERNATIVA 4: CUATRO DIQUES DE 200 METROS .....	23



7.5 VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS .....	24
7.6 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE SOLUCIONES .....	25
<b>8. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....</b>	<b>26</b>
<b>9. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>27</b>
<b>10. DURACIÓN DE LOS TRABAJOS .....</b>	<b>28</b>
<b>11. PRESUPUESTO .....</b>	<b>28</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio titulado "Estudio experimental de la estabilidad hidráulica de diques homogéneos de Cubípodos de baja cota con malla cuadrada. Aplicación a la protección costera de la playa de Tavernes de la Valldigna (Valencia)" tiene como objetivo principal analizar la eficacia de los diques homogéneos de baja cota construidos con Cubípodos para mitigar la erosión costera en la playa de Tavernes de la Valldigna, situada en la Comunidad Valenciana. Este trabajo se realiza como parte del Trabajo Final de Máster (TFM) para obtener el título en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos por la Universitat Politècnica de València (UPV).

El proyecto está situado en el contexto de los crecientes desafíos que enfrentan las zonas costeras debido a la erosión, un fenómeno agravado por la actividad humana y el cambio climático. La elección de Tavernes de la Valldigna como caso de estudio responde a la necesidad urgente de implementar soluciones efectivas en una región particularmente afectada por la erosión costera, que ha llevado a una significativa regresión de la línea de costa.

### 1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar y validar una solución técnica que permita mitigar la erosión costera en la playa de Tavernes de la Valldigna. Este objetivo se abordará mediante el diseño y la experimentación con diques homogéneos de baja cota de coronación, construidos con Cubípodos. Estos diques tienen el potencial de ofrecer una protección efectiva contra la erosión al tiempo que son compatibles con los objetivos de sostenibilidad ambiental.

Dentro de este marco general, los objetivos específicos del estudio son:

1. **Analizar la dinámica costera y los procesos de erosión en la zona de estudio**, para comprender mejor las causas y magnitudes de la erosión que afecta a la playa de Tavernes de la Valldigna.
2. **Diseñar un modelo experimental de dique homogéneo de baja cota**, utilizando Cubípodos.



3. **Realizar ensayos experimentales en el laboratorio** para medir la estabilidad del dique bajo diferentes condiciones de oleaje y determinar los parámetros óptimos de diseño.
4. **Evaluar la viabilidad práctica de la implementación de estos diques en la playa de Tavernes de la Valldigna**, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

## 1.2 OBJETO DEL ESTUDIO

El objeto del estudio es la costa de la Comunidad Valenciana, una región que ha mantenido su estabilidad a lo largo de los siglos, pero que en las últimas décadas ha experimentado una erosión significativa debido a la intervención humana y a factores ambientales. La construcción de infraestructuras como presas, puertos y espigones ha alterado el transporte natural de sedimentos a lo largo de la costa, lo que ha agravado el problema de la erosión en diversas áreas.

Este estudio se centra en la playa de Tavernes de la Valldigna, que ha sufrido una regresión severa en los últimos años. El proyecto propone la construcción de diques homogéneos de baja cota de coronación utilizando Cubípodos como solución para proteger esta playa. Los Cubípodos son bloques de hormigón con una forma diseñada específicamente para resistir el oleaje y reducir el rebase, lo que los convierte en una opción prometedora para la protección costera.

La importancia de este estudio radica en su enfoque innovador y en su potencial para proporcionar una solución eficaz y sostenible a un problema que afecta a muchas zonas costeras en todo el mundo. La elección de Tavernes de la Valldigna como caso de estudio permitirá evaluar la viabilidad de este enfoque en un entorno real y proporcionará datos valiosos que podrán aplicarse en otros contextos.

El trabajo lo componen los siguientes documentos;

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



## 2. ANTECEDENTES

La costa de la Comunidad Valenciana ha experimentado profundas transformaciones a lo largo de las últimas décadas, muchas de las cuales han tenido consecuencias negativas para la estabilidad del litoral. Este proceso de erosión ha sido acelerado por varios factores, incluyendo la falta de sedimentos naturales, la construcción de infraestructuras como puertos y espigones, y el impacto del cambio climático. Estas intervenciones han alterado de manera significativa las dinámicas sedimentarias naturales, lo que ha resultado en una recesión costera en numerosas áreas (Chapapría y Serra, 2021).

Este estudio propone la construcción de diques homogéneos de baja cota de coronación utilizando Cubípodos, un tipo de unidad de hormigón prefabricada diseñada específicamente para resistir las fuerzas del oleaje. Los Cubípodos se caracterizan por su forma robusta y su capacidad para ser dispuestos de manera que aumenten la estabilidad de la estructura y minimicen el rebase de las olas. La alta porosidad de los diques contruidos con Cubípodos también favorece la circulación de agua, lo que contribuye a la regeneración natural de los ecosistemas marinos.

### 2.1 COSTA VALENCIANA Y PROBLEMÁTICA DE LA EROSIÓN

La costa valenciana, que se extiende a lo largo de 470 kilómetros desde el Delta del Ebro hasta Pilar de la Horadada, es una de las más importantes de España tanto por su extensión como por la calidad de sus playas. Sin embargo, en las últimas décadas, esta costa ha enfrentado un creciente problema de erosión debido a una combinación de factores naturales y antropogénicos (UPV, 2010).

El litoral valenciano, particularmente el tramo que incluye la playa de Tavernes de la Valldigna ha sido afectado por la construcción de infraestructuras que alteran los patrones naturales de transporte de sedimentos. Estas infraestructuras, como puertos y espigones, actúan como barreras que impiden el flujo de sedimentos hacia el sur, lo que ha resultado en una erosión significativa en varias playas. Además, la falta de sedimentos continentales debido a la construcción de presas en ríos como el Júcar y el Turia ha exacerbado este problema (Chapapría y Serra, 2021).

El cambio climático también ha jugado un papel crucial en la erosión costera, con el aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia de tormentas intensas que han

intensificado los procesos erosivos. La combinación de estos factores ha llevado a una pérdida significativa de playas en la costa valenciana, afectando no solo el medio ambiente, sino también la economía local, que depende en gran medida del turismo costero.

## 2.2 PLAYA DE TAVERNES DE LA VALLDIGNA Y LA GOLETA

La Playa de Tavernes de la Valldigna, junto con la Playa de la Goleta, es una de las zonas costeras más vulnerables de la Comunidad Valenciana. Estas áreas han experimentado una significativa regresión en las últimas décadas, atribuible a factores tanto naturales como antropogénicos.

La erosión es un problema crítico para la Playa de Tavernes de la Valldigna, afectando tanto la estabilidad de la playa como la seguridad de las infraestructuras cercanas. La falta de aportes sedimentarios, debida a la regulación hidráulica y la construcción de presas río arriba, ha reducido drásticamente el suministro de sedimentos a la costa. A esto se suma el impacto del cambio climático, con el aumento del nivel del mar y una mayor frecuencia de tormentas, que han intensificado la erosión costera.

La Playa de la Goleta, ubicada al norte de Tavernes de la Valldigna, comparte los mismos desafíos en cuanto a erosión costera. La reducción del ancho de la playa y la mayor exposición de las infraestructuras al riesgo de inundación durante tormentas severas son problemas comunes en esta área. La falta de sedimentos naturales debido a la alteración de los flujos sedimentarios ha exacerbado estos problemas, haciéndolos más difíciles de gestionar.

## 3. LOCALIZACIÓN Y DATOS PREVIOS

La aplicación práctica de este estudio se sitúa en Tavernes de la Valldigna se encuentra en la comarca de la Safor, en la provincia de Valencia, dentro del Golfo de Valencia. Esta playa se extiende a lo largo de varios kilómetros de litoral, desde el sur del cabo de Cullera hasta las proximidades del puerto de Gandía. La playa está delimitada por sistemas dunares que han sido objeto de intensa erosión en las últimas décadas, debido a la combinación de factores naturales y antropogénicos.

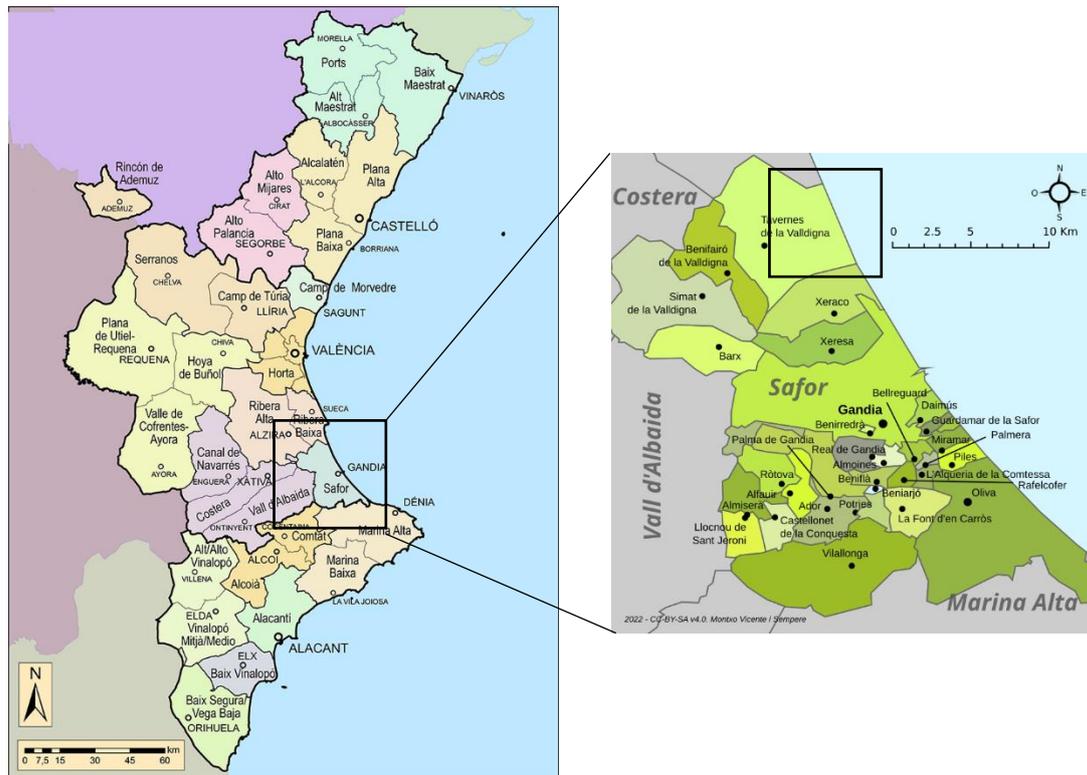


Figura 1: Ubicación de Tavernes de la Vallidigna en España y en Valencia.

Fuente: Google Earth

El municipio de Tavernes de la Vallidigna está ubicado a unos 50 kilómetros al sur de la ciudad de Valencia, con coordenadas geográficas aproximadas de  $39.0720^{\circ}$  N y  $0.2310^{\circ}$  W. La playa objeto de estudio es accesible desde la carretera N-332 y la autopista AP-7, lo que facilita la logística necesaria para la implementación de proyectos de infraestructura costera.

### 3.1 PUERTO DE GANDÍA

Se ha determinado que el Puerto de Gandía 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 los Cubípodos, lo cual facilita la organización y el acopio de los materiales necesarios. Además, su cercanía a la playa de Tavernes de la Vallidigna, área de estudio, minimiza los tiempos y los costos asociados al transporte de los componentes. Asimismo, el puerto está equipado con instalaciones y maquinaria

especializada para la carga y descarga eficiente de los Cubípodos en las pontonas, garantizando una logística marítima efectiva.

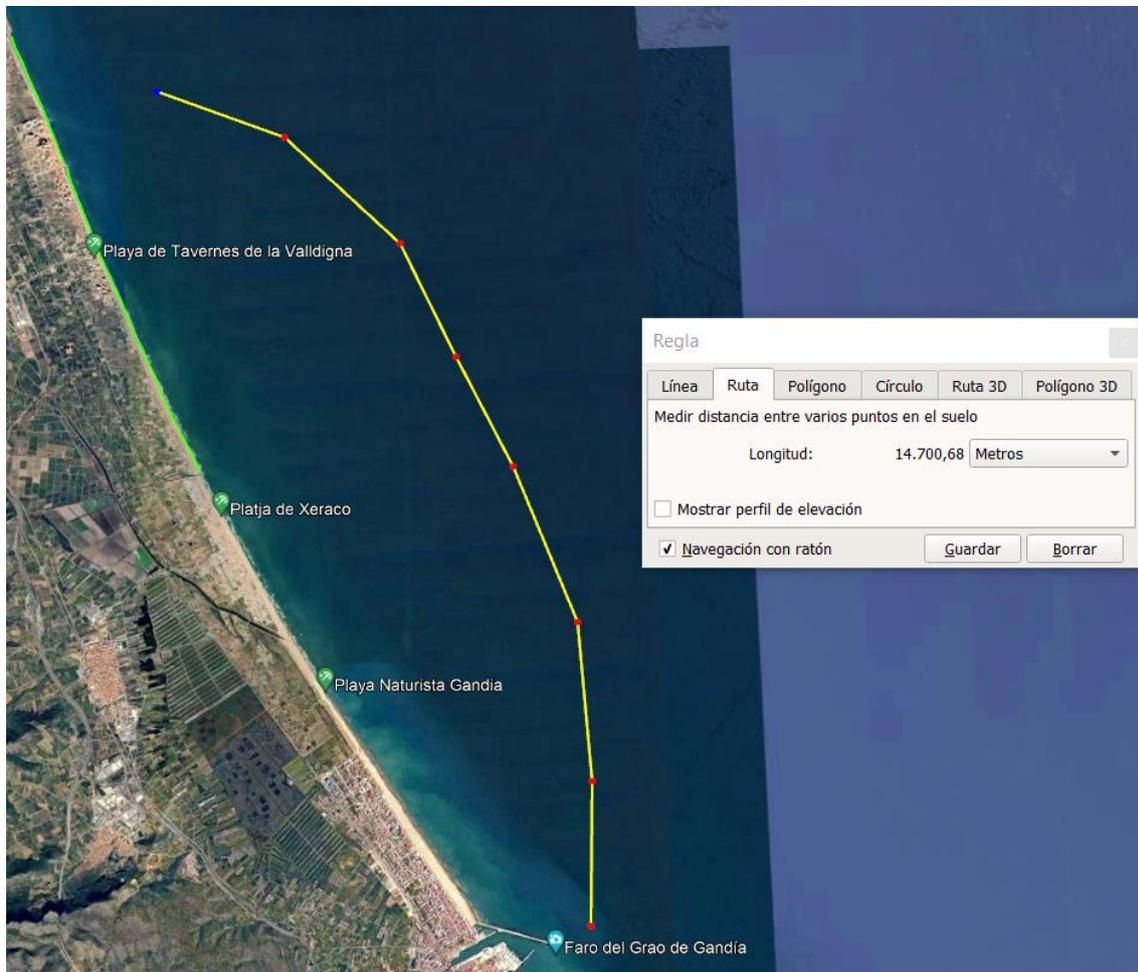


Figura 2: Distancia entre el Puerto de Gandía y la zona de actuación.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. BATIMETRÍA

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:





## 5. CLIMA MARÍTIMO

El objetivo principal de este apartado es estudiar las condiciones del clima marítimo en la zona de Tavernes de la Valldigna, analizando las características del oleaje, las corrientes marinas y otros factores climáticos que influyen en la dinámica costera. Este análisis es fundamental para definir la altura de ola significativa o de cálculo, y para caracterizar la propagación del oleaje hasta su llegada a la zona de estudio. Asimismo, se establecen las referencias del nivel del mar y se realiza un estudio de la variación de este nivel debido al cambio climático. Este último aspecto se desarrolla con mayor detalle en el *anejo nº6. CLIMA MARÍTIMO*, donde se examina exhaustivamente la variación del nivel de la mar proyectada para la región.

### 5.1 ESTUDIO DEL NIVEL DEL MAR

En este caso, se analiza el nivel del mar con el objetivo de definir sus variaciones, enfocándose particularmente en los cambios inducidos por el cambio climático. Para la obtención de datos sobre el nivel del mar, se emplea la red REDMAR (Red de Medición del Nivel del Mar y Agitación de Puertos del Estado). Las referencias de las diferentes cotas se obtienen del Mareógrafo de Gandía, por ser el más cercano a la zona de estudio.

#### 5.1.1 VARIACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

Las variaciones en el nivel del mar, conocidas como mareas, son oscilaciones de ondas que duran más de una hora. Hay dos tipos principales de mareas: la astronómica y la meteorológica. Es crucial tener en cuenta la sobreelevación del mar, ya que influye directamente en la profundidad del agua y, como se analizará al estudiar el clima marítimo y la propagación del oleaje, afecta la altura que las olas pueden alcanzar sobre la estructura.

Con base en este análisis, se calcularon los valores máximos y mínimos de cada componente. La carrera de marea máxima, que se define como la diferencia entre el nivel máximo y el nivel mínimo observado, es de 1,03 m.

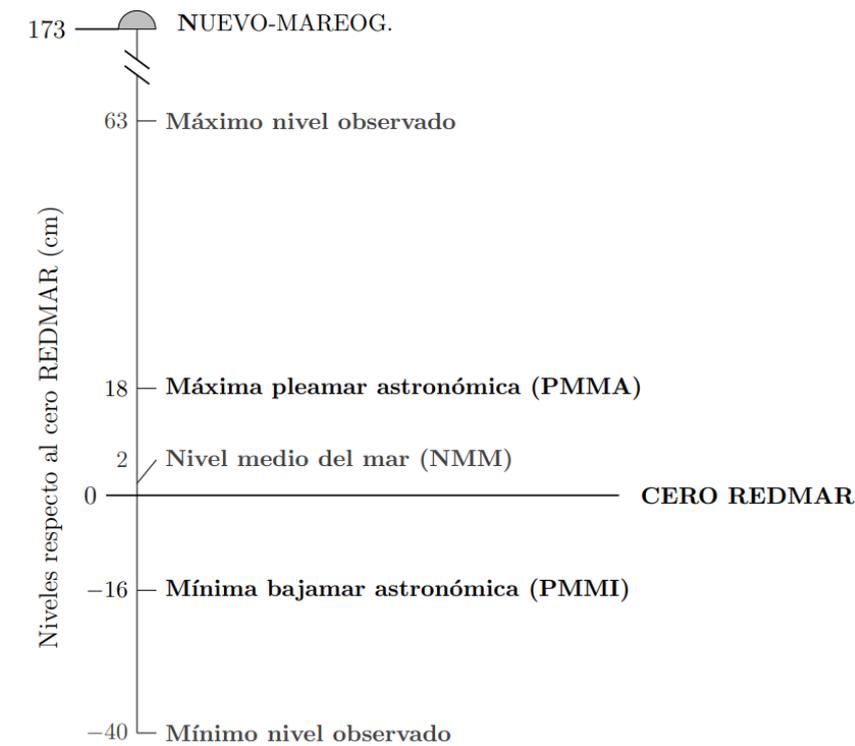


Figura 5: Referencia del nivel del mar.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

### 5.1.2 VIDA ÚTIL Y PERÍODO DE RETORNO

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 la ROM 1.0-09.

Periodo de retorno	68 años
Vida útil mínima	15 años

Tabla 1: Vida útil y período de retorno de la obra a proyectar.

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Este apartado tiene como propósito describir y caracterizar las acciones del oleaje en la zona de la playa de Tavernes de la Valldigna, con el fin de identificar los factores que influirán en el dimensionamiento y la ejecución de las obras relacionadas con la construcción de los diques de baja cota con Cubípodos. Como se detalla en el *anejo nº6. CLIMA MARÍTIMO*, se ha seleccionado la boya de Valencia, ubicada en mar abierto,

como la fuente principal de información para caracterizar el oleaje en la zona de estudio. Esta elección se basa en la dirección del oleaje, la extensa serie temporal de datos disponibles, y la actualización regular de la información proporcionada por la boya. Sin embargo, dado que la boya se encuentra alejada del área de intervención, es necesario realizar ciertos ajustes en los datos obtenidos antes de aplicar la propagación del oleaje hacia la costa.

Después de verificar que la boya de Valencia se encuentra en aguas profundas, se procede a caracterizar el oleaje en la zona específica de estudio mediante su propagación hacia la costa. El primer paso en el análisis del clima marítimo es identificar las direcciones predominantes del oleaje, las cuales, según el informe de Puertos del Estado (2024) titulado "Extremos máximos de oleaje por direcciones", son NE y E, como se muestra en la Figura 6.

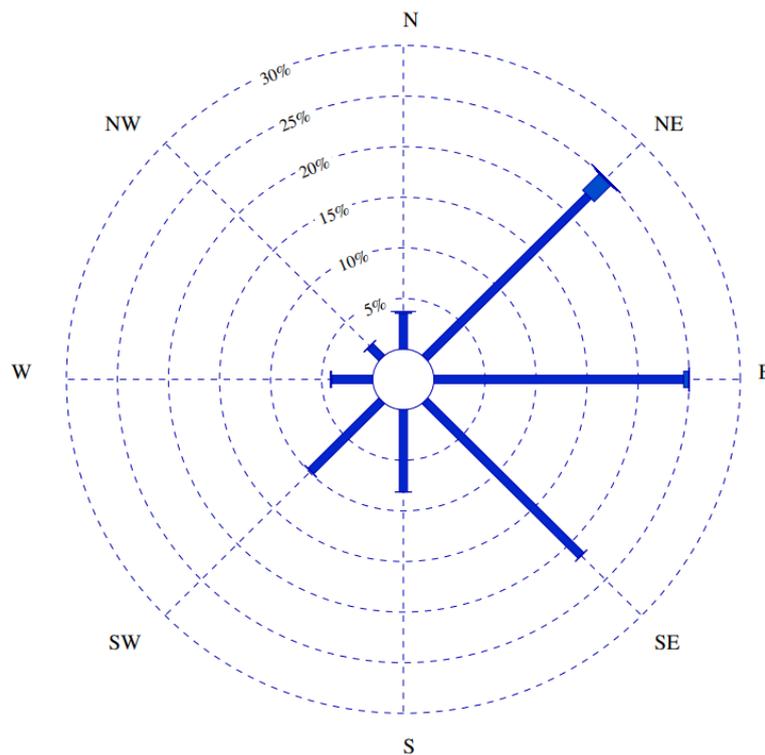


Figura 6: Rosa direccional del oleaje en Boya de Valencia.

Fuente: Puertos del Estado

En la memoria de datos de la boya de Valencia, se presentan gráficos que relacionan la altura significativa de ola ( $H_s$ ) con la probabilidad de excedencia o período de retorno, utilizando la distribución Weibull para ajustar estos datos. Para determinar la altura de

ola de diseño, se adopta el valor estimado central obtenido a través de la distribución Weibull.

Una vez caracterizado el oleaje en aguas profundas, se realiza la propagación hacia la costa para obtener los valores del oleaje en la zona específica de la playa de Tavernes de la Valldigna. Utilizando los datos proporcionados por Puertos del Estado (2023) en el mencionado informe, se determinan las características del oleaje en la boya de Valencia para un período de retorno calculado de  $T_r = 68$  años.

	NE	E
Hcorregida (m)	10.88	5.81
$T_p$ (s)	12.53	9.68

Tabla 2: Características del oleaje.

Fuente: Elaboración propia

Se ha calculado la altura de ola de cálculo y se ha obtenido el siguiente valor:

$$H_{\text{cálculo}} = 3.9 \text{ metros}$$

## 6. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

La evolución de la línea de costa es un aspecto crítico para entender las dinámicas costeras y diseñar soluciones efectivas para la protección y restauración del litoral. Este anejo analiza los cambios en la línea de costa en la playa de Tavernes de la Valldigna a lo largo de las últimas décadas, basándose en estudios históricos, imágenes aéreas, y datos geomorfológicos.

### 6.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA EVOLUCIÓN COSTERA

La línea de costa de Tavernes de la Valldigna ha experimentado un retroceso significativo debido a factores como la intervención humana, la falta de aportes sedimentarios y el impacto de fenómenos climáticos extremos. Según los datos recopilados desde los años 1956, la costa ha perdido varios metros de playa, afectando tanto a las infraestructuras cercanas como a los ecosistemas dunares.

Las imágenes aéreas de diferentes periodos muestran un claro retroceso de la línea de costa, especialmente después de la construcción de espigones y otras estructuras

rígidas que han alterado la dinámica natural del transporte de sedimentos. Las comparativas de mapas topográficos indican que el retroceso ha sido más pronunciado en las últimas dos décadas, coincidiendo con un aumento en la frecuencia y severidad de las tormentas.



Figura 7: Línea de costa playa de Goleta y Tavernes de los años 1956-2024.

Fuente: Google Earth

El análisis de la evolución de la línea de costa en Tavernes de la Valldigna revela un patrón claro de erosión progresiva que amenaza tanto el entorno natural como las infraestructuras costeras. Las soluciones propuestas deben tener en cuenta esta tendencia histórica para diseñar intervenciones que no solo mitiguen la erosión actual, sino que también sean sostenibles a largo plazo.

## 7. ESTUDIO DE SOLUCIONES

En este apartado, se detallan y comparan las diferentes alternativas propuestas en este estudio para mitigar la erosión en la playa de Tavernes de la Valldigna. Cada opción presenta una serie de ventajas y desventajas, que se analizan en función de criterios funcionales, económicos, sociales y medioambientales, realizando también comparaciones directas entre pares de soluciones para evaluar su efectividad relativa.

Se han propuesto cuatro alternativas de diques exentos paralelos a la costa, ubicados entre las batimétricas de -4 y -6 metros. Estas incluyen la construcción de dos diques de 150 y 200 metros, así como cuatro diques con las mismas dimensiones, diseñados para reducir la energía del oleaje y aumentar la extensión de las zonas de playa.

Para elegir la alternativa más adecuada, se llevará a cabo un análisis multicriterio. Según Yepes, V. (2018), esta metodología facilita la selección de opciones en base a una serie de criterios jerarquizados, los cuales suelen estar en conflicto entre sí. Para asegurar la eficacia del método, Yepes, V. (2018) enfatiza la importancia de seleccionar los criterios con precisión, asegurando que sean claramente definidos, relevantes y mutuamente excluyentes.

		PESOS
C1	FUNCIONAL	56%
C2	ECONOMICO	27%
C3	SOCIAL	8%
C4	MEDIOAMBIENTAL	9%

Tabla 3: Definición de los pesos de los criterios.

Fuente: elaboración propia

## 7.1 ALTERNATIVA 1: DOS DIQUES DE 150 METROS

En esta alternativa, se propone la construcción de dos diques exentos, cada uno con una longitud de 150 metros, ubicados paralelamente a la línea de costa de la playa de Tavernes de la Valldigna. Estos diques se emplazarían a una distancia de 150 metros de la costa, con un espaciamiento de 400 metros entre ellos. El diseño tiene como objetivo principal la reducción de la energía del oleaje que incide sobre la costa, contribuyendo así a la mitigación de la erosión.

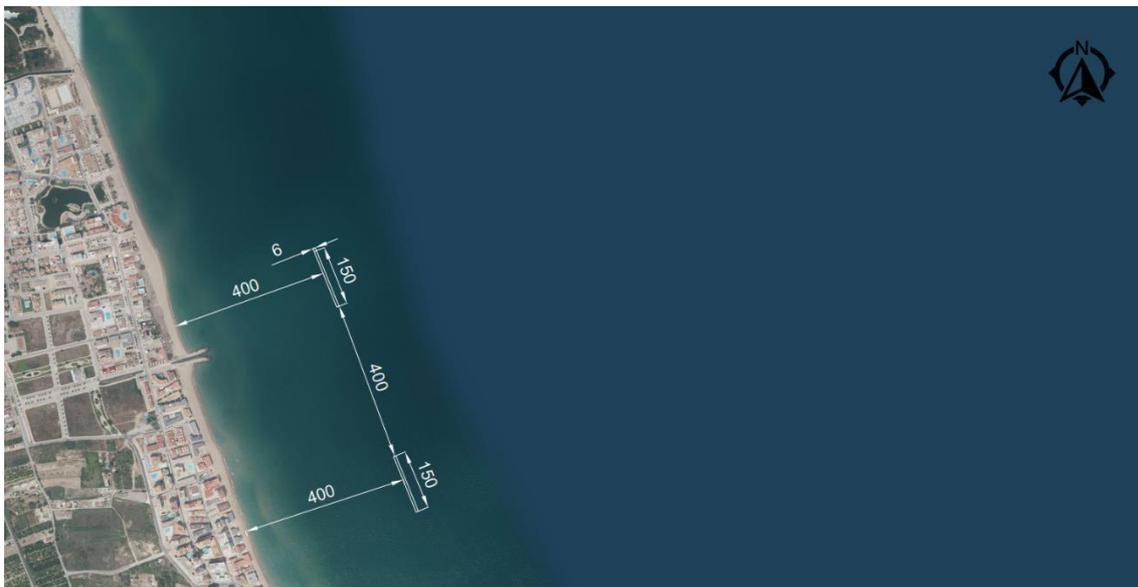


Figura 8: Alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia

El diseño de los diques incluye el uso de Cubípodos como unidades principales de construcción, lo que proporciona una alta estabilidad estructural y una capacidad de disipación de energía eficiente. La elección de la longitud de 150 metros se fundamenta en un equilibrio entre la reducción de la energía del oleaje y la minimización del impacto visual y medioambiental en la costa. No obstante, la limitación de la longitud podría resultar en una menor eficacia en condiciones de oleaje extremo, lo que constituye una desventaja frente a otras alternativas de mayor envergadura.

## 7.2 ALTERNATIVA 2: DOS DIQUES DE 200 METROS

La segunda alternativa contempla la construcción de dos diques exentos, con una longitud aumentada a 200 metros cada uno. Estos diques, ubicados también a 150

metros de la costa y separados por una distancia de 400 metros, están diseñados para ofrecer una mayor protección frente a la energía del oleaje, particularmente durante eventos climáticos severos.

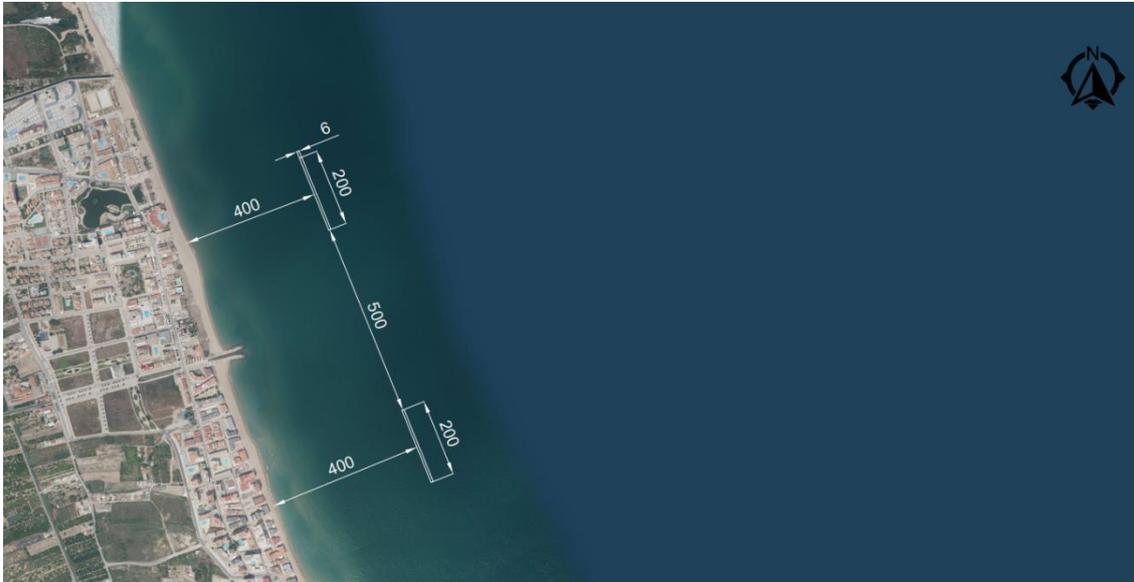


Figura 9: Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia

El incremento en la longitud de los diques permite una mayor reducción de la altura significativa del oleaje, lo que mejora la protección costera y contribuye a la estabilidad de la playa de Tavernes de la Valldigna. Sin embargo, esta alternativa conlleva un incremento en los costos de construcción y en el impacto medioambiental debido a la mayor cantidad de material necesario y la posible alteración del hábitat marino en las áreas adyacentes a los diques.

### 7.3 ALTERNATIVA 3: CUATRO DIQUES DE 150 METROS

En la tercera alternativa, se propone la construcción de cuatro diques exentos, cada uno de 150 metros de longitud. Estos diques se ubicarían a la misma distancia de la costa que en las alternativas anteriores, pero con un espaciamiento reducido entre ellos, lo que permite una mayor cobertura a lo largo de la línea costera.



Figura 10: Alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia

La configuración de cuatro diques busca optimizar la protección contra el oleaje, distribuyendo de manera más uniforme la energía incidente y reduciendo significativamente el rebase en la zona protegida. Esta alternativa ofrece una ventaja notable en términos de protección continua de la costa, aunque a costa de un aumento en la complejidad del proyecto y en la posible alteración de los flujos sedimentarios naturales.

#### 7.4 ALTERNATIVA 4: CUATRO DIQUES DE 200 METROS

La cuarta alternativa, que representa la opción más robusta, consiste en la construcción de cuatro diques exentos de 200 metros de longitud cada uno. Esta configuración está diseñada para ofrecer la máxima protección posible frente a la erosión costera, especialmente en escenarios de oleaje extremo.



Figura 11: Alternativa 4.

Fuente: Elaboración propia

Los diques, ubicados a 150 metros de la costa, se disponen de tal manera que cubren una mayor extensión del litoral, ofreciendo una barrera eficaz contra el oleaje. Sin embargo, este diseño implica un mayor impacto ambiental y un costo de construcción significativamente elevado. Además, la longitud y cantidad de los diques podrían interferir con la dinámica sedimentaria local, requiriendo un monitoreo continuo para evitar efectos adversos no deseados.

## 7.5 VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS PROPUESTAS

Para valorar las alternativas propuestas, se ha realizado un análisis multicriterio considerando aspectos funcionales, económicos, ambientales y de sostenibilidad. Cada alternativa fue evaluada en términos de su capacidad para reducir la energía del oleaje, el costo de implementación, el impacto en el medio ambiente, y la viabilidad a largo plazo.

Para llevar a cabo este análisis se hace una valoración y comparación de las alternativas basándose en los criterios seleccionados. Para esta comparación, se utilizará un

sistema de matrices de comparación para evaluar las diferentes alternativas. Después de analizar las alternativas en función de los criterios, 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 criterios planteados.

Finalmente, se creará una matriz compuesta por los vectores propios de cada criterio evaluado. Al multiplicar esta matriz por el vector propio que contiene los pesos de los criterios, se determinará cuál de las cuatro alternativas propuestas es la óptima y más adecuada para proteger la playa de Tavernes.

La Alternativa 1 ofrece un balance entre eficacia y costo, siendo adecuada para escenarios de oleaje moderado, aunque su protección puede ser limitada durante eventos extremos. La Alternativa 2 mejora la protección a un costo adicional, haciéndola más adecuada para áreas con mayor riesgo de erosión severa. Las Alternativas 3 y 4, con múltiples diques, proporcionan una protección más uniforme y robusta, pero a un costo económico y ambiental más elevado. De estas, la Alternativa 4 ofrece la máxima protección, pero también es la más invasiva y costosa.

Una vez establecidos todos los pesos de las alternativas respecto a las variables, se forma una matriz que será multiplicada por los pesos de las variables, dando como resultado la alternativa que es más adecuada:

	Peso obtenido %
Alternativa 1	17.86%
Alternativa 2	13.38%
Alternativa 3	35.37%
Alternativa 4	33.38%

Tabla 4: Ponderación de alternativas final.

Fuente: Elaboración propia.

## 7.6 CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO DE SOLUCIONES

Tras evaluar las distintas alternativas, se concluye que la opción más adecuada para la protección de la playa de Tavernes de la Valldigna es la Alternativa 3: cuatro diques de 150 metros. Esta configuración ofrece un equilibrio óptimo entre la reducción de la energía del oleaje, la sostenibilidad ambiental, y el costo de implementación. Aunque no proporciona la máxima protección posible, su menor impacto medioambiental y coste

hacen de esta alternativa la más viable y sostenible para el entorno específico de la playa de Tavernes de la Valldigna.

## 8. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El diseño de la solución adoptada, basada en la Alternativa 3, contempla la construcción de cuatro diques exentos de 150 metros de longitud cada uno, ubicados a 150 metros de la costa y distribuidos a lo largo del tramo más vulnerable de la playa de Tavernes de la Valldigna. Estos diques estarán contruidos utilizando Cubípodos de hormigón, cuya forma y disposición proporcionan una alta estabilidad frente al oleaje, al tiempo que permiten una adecuada circulación de agua, lo que es crucial para la regeneración natural de los ecosistemas marinos.



Figura 12: Solución adoptada.

Fuente: Elaboración propia.

El diseño se ha optimizado para minimizar el impacto ambiental, permitiendo que los flujos sedimentarios naturales se mantengan lo más intactos posible. Además, se ha previsto la inclusión de mecanismos de monitorización a largo plazo para asegurar que los diques cumplan con su función protectora sin causar efectos adversos significativos en la morfología costera o en la biodiversidad local.

	Volumen de hormigón (m3)	Nº de piezas	Precio total (€)
Alternativa 3	5210	1296	1.283.065,63

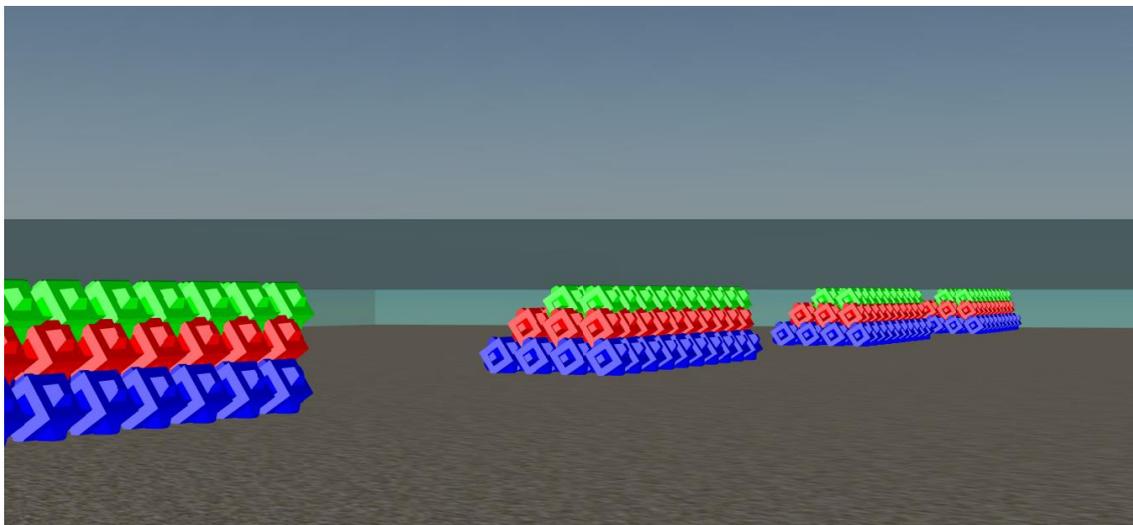


Figura 13: Vista 3D de la solución adoptada.

Fuente: Elaboración propia

## 9. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El procedimiento constructivo para los diques propuestos se desarrollará en varias fases, asegurando una implementación eficiente y con el menor impacto posible en el entorno. Las etapas clave del proceso son las siguientes:

1. **Preparación del Sitio:** Incluye la limpieza del área y la nivelación del lecho marino en los puntos donde se emplazarán los diques. Esto garantizará una base estable para la colocación de los Cubípodos.
2. **Transporte de Materiales:** Los Cubípodos serán fabricados en el Puerto de Gandía y transportados al sitio mediante pontonas especialmente equipadas para la operación.
3. **Colocación de los Cubípodos:** Utilizando grúas con precisión de alta tecnología, los Cubípodos serán colocados en la disposición planificada, asegurando su estabilidad y su capacidad de disipación de energía.
4. **Monitoreo y Ajustes:** Durante y después de la construcción, se llevará a cabo un monitoreo continuo para evaluar el comportamiento del oleaje y realizar

ajustes en la disposición de los Cubípodos si es necesario, para optimizar la protección costera.

Este procedimiento está diseñado para garantizar la durabilidad y efectividad de los diques, asegurando al mismo tiempo la protección de la playa de Tavernes de la Vallidigna contra la erosión, mientras se preserva el equilibrio ecológico del área.

## 10. DURACIÓN DE LOS TRABAJOS

La duración estimada para la ejecución de los trabajos es de 95 días, tiempo durante el cual se llevarán a cabo todas las fases previstas en el procedimiento constructivo. Para más detalles sobre el cronograma y las actividades específicas a realizar, se recomienda consultar el apartado de *PROGRAMA DE TRABAJOS*.

## 11. PRESUPUESTO

El presupuesto de ejecución material y final del proyecto asciende a UN MILLÓN NOVECIENTOS TREINTA Y NUEVE MIL CIENTO SETENTA Y TRES EUROS CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS. Este importe cubre todos los costos asociados a la construcción de las infraestructuras propuestas. Para un desglose más detallado del presupuesto, se puede consultar el apartado de *valoración económica* del documento.

	IMPORTE
CAPÍTULO 01.- TRABAJOS PREVIOS	30.000 €
CAPÍTULO 02.- FABRICACIÓN Y ALMACENAJE DE CUBÍPODOS	987.960,54 €
CAPÍTULO 03.- CONSTRUCCION DEL DIQUE	295.105,10 €
CAPÍTULO 04.- GESTION DE RESIDUOS	10.000 €
CAPÍTULO 05.- SEGURIDAD Y SALUD	25.000,00 €
CAPÍTULO 06.- CONTROL AMBIENTAL	8.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.356.066 €</b>
16% GASTOS GENERALES	216.970,50 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	81.363,94 €
21% IVA	284.773,78 €
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>1.939.173,86 €</b>

Tabla 5: Presupuesto.  
Fuente: Elaboración propia



## **ANEJOS DE LA MEMORIA**



## **ÍNDICE GENERAL DE ANEJOS**

ANEJO Nº1. ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO.....	<b>31</b>
ANEJO Nº2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	<b>65</b>
ANEJO Nº3. LOCALIZACIÓN Y DATOS PREVIOS.....	<b>92</b>
ANEJO Nº4. BATIMETRÍA.....	<b>113</b>
ANEJO Nº5. ESTUDIO GEOTÉCNICO, GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO.....	<b>132</b>
ANEJO Nº6. CLIMA MARÍTIMO.....	<b>146</b>
ANEJO Nº7. MODELO NÚMÉRICO.....	<b>173</b>
ANEJO Nº8. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....	<b>195</b>
ANEJO Nº9. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....	<b>260</b>
ANEJO Nº10. PRESUPUESTO.....	<b>272</b>



## ANEJO Nº 1

# ANTECEDENTES Y OBJETO DEL ESTUDIO



## **ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>34</b>
<b>2. RESUMEN</b> .....	<b>34</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>35</b>
<b>4. OBJETO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>36</b>
<b>5. COSTA VALENCIANA</b> .....	<b>36</b>
5.1 LA EROSIÓN DE LA COSTA VALENCIANA.....	40
<b>6. BORDE LITORAL EL RÍO JÚCAR (CULLERA) Y EL PUERTO DE GANDÍA</b> .....	<b>42</b>
<b>7. ANTECEDENTES</b> .....	<b>44</b>
7.1 EL OLEAJE .....	44
7.1.1 PARÁMETROS Y ESTADÍSTICOS DEL OLEAJE.....	44
7.1.2 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	45
7.1.3 TIPOS DE ROTURA DEL OLEAJE.....	47
7.1.4 CRITERIOS DE ROTURA DEL OLEAJE .....	49
7.2 EL CUBÍPODO.....	50
7.2.1 DESCRIPCIÓN.....	51
7.2.2 VENTAJAS .....	53
7.2.3 ESTABILIDAD HIDRAULICA DEL CUBIPODO .....	54
7.3 DIQUES DE BAJA COTA DE CORONACIÓN (LCS).....	56
7.4 DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA DE CORONACIÓN (HLCS).....	57
7.4.1 REVISIÓN HISTÓRICA .....	59
7.4.2 FUNCIONALIDAD .....	61



7.4.3	VENTAJAS E INCOVENIENTES .....	61
7.4.4	MALLAS DE COLOCACIÓN.....	62
7.4.5	CRITERIO DE AVERÍA.....	63



## 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto titulado “Estudio experimental de la estabilidad hidráulica de diques homogéneos de Cubípodos de baja cota con malla cuadrada. Aplicación a la protección costera de las playas del T.M. de Tavernes de la Valldigna (Valencia).” tiene como objeto servir como Trabajo Final de Máster para la obtención del título en el Máster de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos por Escuela Técnica Superior en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universitat Politècnica de València al autor, Gohar Mashadyan.

## 2. RESUMEN

La costa de la Comunidad Valenciana ha sufrido importantes transformaciones en las últimas décadas, con un retroceso evidente de la línea de costa. Este fenómeno se debe a la falta de fuentes naturales de sedimentos y a la construcción de infraestructuras que interrumpen el transporte sólido litoral. En algunas zonas, estas condiciones han resultado en sedimentación forzada, mientras que en otras han ocasionado una fuerte recesión. Además, la intervención humana, incluyendo la urbanización y la extracción de áridos, ha exacerbado estos problemas. Las obras de defensa, como espigones y diques, han alterado significativamente las dinámicas naturales de la costa. El aumento del nivel del mar, asociado al cambio climático, es una amenaza adicional que intensifica la erosión costera y afecta negativamente a las playas de Valencia (Serra Peris, 2008).

El estudio abarca un análisis de las diversas amenazas que provocan la erosión en la costa valenciana, basado en estudios de expertos en la materia. Se ha realizado una revisión exhaustiva de la literatura existente sobre diques exentos, centrándose en las estructuras de baja cota de coronación y en los métodos para calcular los coeficientes necesarios. También se ha diseñado una metodología experimental para ensayar diferentes estructuras homogéneas de Cubípodos. Los resultados obtenidos en estos ensayos se han analizado para evaluar la estabilidad hidráulica de las estructuras propuestas. Finalmente, se ha planteado una aplicación práctica para construir un sistema de diques exentos que permita proteger las zonas costeras en retroceso.

Las conclusiones de este estudio indican que la implementación de diques homogéneos de baja cota de coronación construidos con Cubípodos es una solución viable y eficaz para mitigar la erosión costera en la playa de Tavernes de la Valldigna. La solución propuesta no solo logra reducir significativamente la energía del oleaje, sino que también presenta un impacto ambiental reducido, lo que la convierte en una alternativa sostenible a largo plazo. Se destaca la importancia de un monitoreo continuo y de ajustes en la estructura para garantizar su eficacia y minimizar cualquier efecto adverso en la dinámica costera y en la biodiversidad local.

### **3. OBJETIVOS**

El problema que se pretende resolver en este Trabajo Final de Máster es la erosión costera. Se propone estudiar la construcción de diques homogéneos de baja cota de coronación con malla de colocación cuadrada. Para ello, se estudiará los HLCS que son una nueva tipología de dique-arrecife clasificada como infraestructura verde (Oderiz et al., 2018). Existen estudios de las estructuras de baja cota (LCS) que se utilizan habitualmente como diques exentos para la protección y estabilización de las playas de la erosión, esto se permitió desarrollar gracias al proyecto DELOS (2003-2005). Sin embargo, los criterios de diseño obtenidos de estos estudios no son totalmente aplicables a las estructuras homogéneas, ya que, a diferencia de los diques tradicionales de baja cota de coronación, los diques homogéneos carecen de núcleo y están formados por piezas del mismo tamaño distribuidas uniformemente en la estructura. Por esta razón, es necesario analizar experimentalmente su comportamiento para adaptar correctamente estos criterios a esta nueva tipología de dique.

Las diferentes soluciones a estudiar se realizarán en LPC-UPV a través del canal de ensayo y las herramientas necesarias, las estructuras estarán formados por Cubípodos que son estables en condiciones de olas rompientes.

Este trabajo es la continuación de Mashadyan (2022) y se desarrollan ensayos 2D en el Laboratorio de Puertos y Costas de la UPV para analizar la estabilidad hidráulica de HLCS de Cubípodos con diferentes oleajes y mallas de colocación tanto triangular como cuadrada. Los resultados se aplican a un caso concreto en la playa de Tavernes de la Valldigna.

#### **4. OBJETO DEL ESTUDIO**

La costa de la Comunidad Valenciana se ha mantenido estable durante siglos, con una extensa playa que se extendía desde el Delta del Ebro hasta el Puerto de Denia. Sin embargo, en las últimas décadas, muchas playas han sufrido intensos procesos de erosión artificial, provocados principalmente por la construcción de numerosas barreras fluviales (presas) y costeras (puertos, espigones, etc.) (Alguacil, 2020).

Las infraestructuras de la costa Valenciana han alterado los patrones de oleaje y ha creado efectos de barrera que impiden el transporte neto de sedimentos, principalmente hacia el sur de la costa. Este efecto de barrera contribuye significativamente a la erosión costera, aunque no es el único factor involucrado; la falta de sedimentos continentales y el cambio climático también juegan un papel crucial (Chapapría y Serra Peris, 2021).

Los embalses pierden capacidad debido a la sedimentación e interrumpen el flujo de sedimentos fluviales hacia el mar, lo que provoca una erosión generalizada. Además, las barreras litorales obstaculizan el flujo a lo largo de la costa, causando la acumulación de material (acreción) en algunas zonas y su pérdida (erosión localizada) en otras. A estos problemas se suma el calentamiento global, que provoca un aumento del nivel medio del mar y favorece la erosión generalizada del litoral (Alguacil, 2020).

La motivación principal de este proyecto es encontrar una solución mediante diques homogéneos de baja cota de coronación de Cubípodos que ayude a disminuir la problemática de la erosión costera, en este caso particular de las playas T.M. de Tavernes de la Valldigna (Valencia).

#### **5. COSTA VALENCIANA**

El litoral de la Comunitat Valenciana se extiende a lo largo de 470 kilómetros desde la desembocadura del río Sénia hasta Pilar de la Horadada. Este tramo costero cuenta con unas 260 playas que suman una longitud total de 265 kilómetros, lo que representa el 15% del total nacional. La ciudad de Valencia destaca por tener la mayor longitud de playas urbanas entre las áreas metropolitanas europeas. (UPV, 2010)

Hablando más específicamente de la costa de Valencia, es el tramo litoral que pertenece a la provincia de Valencia formando el golfo de Valencia, limita con las otras dos costas



de la Comunidad Valenciana, al norte con la Costa del Azahar (Castellón) y al sur con la Costa Blanca (Alicante).

La línea de costa que comprende la Costa de Valencia de 109 kilómetros posee muy pocos accidentes geográficos, siendo el más destacable el Cabo del Faro de Cullera, pues generalmente la costa es baja y arenosa, lo cual favorece la presencia de abundantes arenales.

El litoral valenciano es conocido por la calidad de sus playas y aguas de baño, con un notable número de Banderas Azules. En 2010, la Comunitat Valenciana contaba con 109 Banderas Azules, siendo la comunidad autónoma con más banderas por kilómetro de playa en España. Además, el 100% de las playas valencianas son aptas para el baño, con un 86% en la categoría óptima. (UPV, 2010)

El litoral también tiene un alto valor ambiental, con aproximadamente 115,000 hectáreas de espacios naturales protegidos, lo que representa el 18% del total de la Comunitat. Entre estos, destacan 10 Parques Naturales y 23 Lugares de Interés Comunitario marítimos y costeros, lo que convierte al litoral valenciano en el área con mayor número de estos espacios en el conjunto mediterráneo peninsular (UPV, 2010)

Se va a dividir en unidades y subunidades morfodinámicas el tramo de costa entre el delta del Ebro y el cabo de San Antonio, para hacer esto, primero hay que diferenciar las barreras naturales y artificiales, la sedimentología y dinámica litoral del golfo de Valencia.

A continuación, en la figura 1 y 2 se puede observar las barreras naturales y artificiales, tanto totales como parciales, y las áreas de influencia de los cauces principales y el sentido del transporte, como su cuantificación (Serra Peris, s.f.).

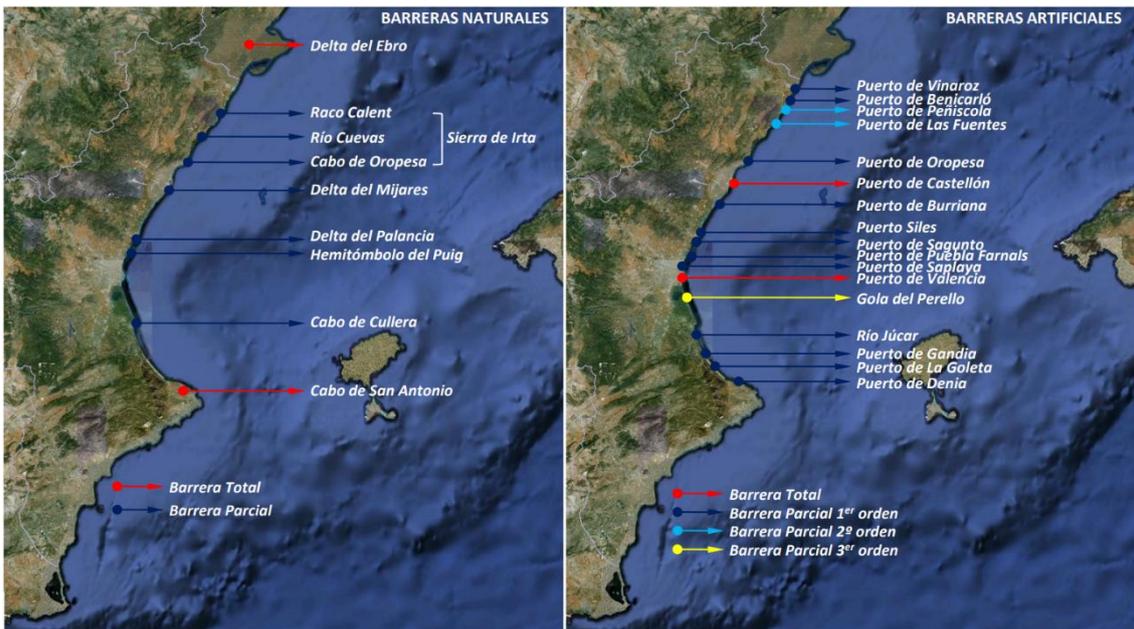


Figura 14: Definición barreras naturales /artificiales

Fuente: Serra Peris, s.f.

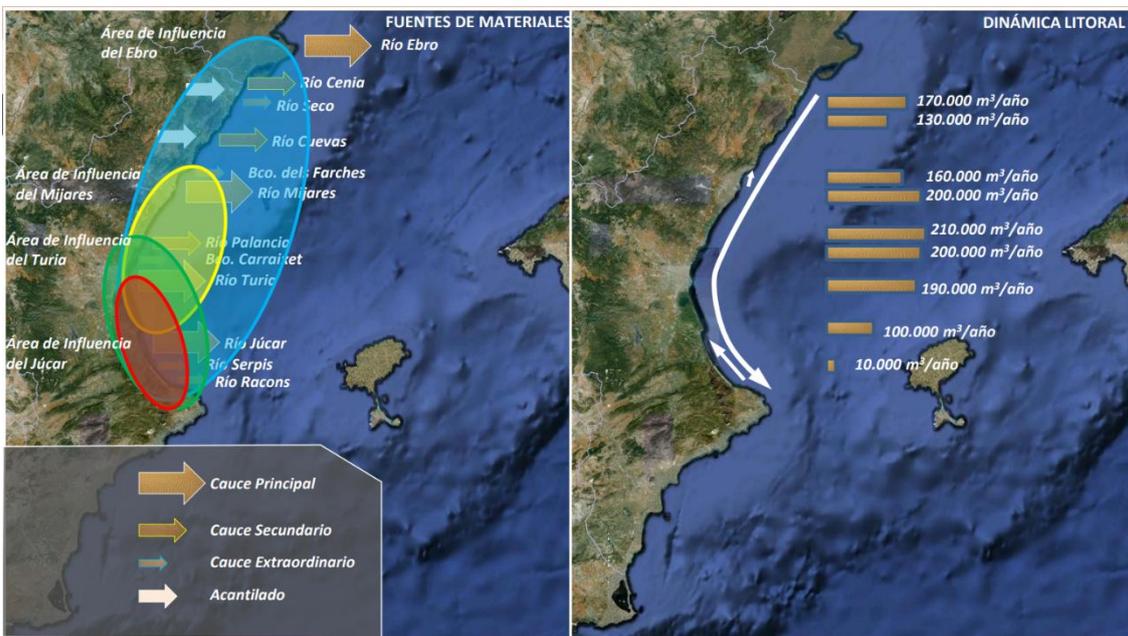


Figura 15: Definición áreas de influencia sedimentaria/dinámica litoral.

Fuente: Serra Peris, s.f.

Tras introducir las barreras artificiales, principalmente obras portuarias, la costa queda dividida en tres unidades morfodinámicas artificiales (UMA).



Figura 16: Unidades y subunidades entre el río Genia y el cabo de San Antonio.

Fuente: Serra Peris, s.f.

El presente tramo objeto de estudio, está comprendido entre el Puerto de Valencia y el Cabo de San Antonio (UMA Cullera), se encuentra conformado por una sucesión de playas, muchas se encuentran en un estado de regresión grave. Esta sucesión de playas se puede observar en la Figura 17, marcado en un recuadro rojo la zona de estudio, que se encuentra después del cabo de Cullera y antes del Puerto de Gandía:

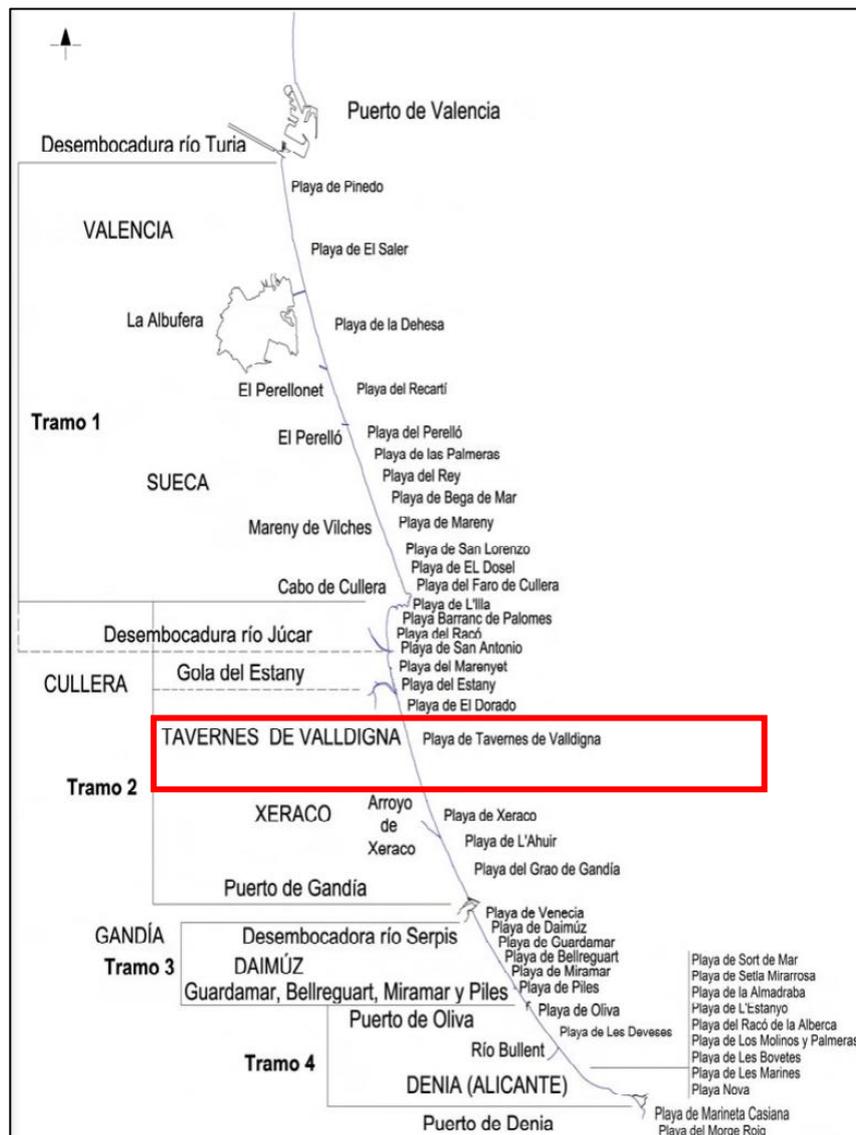


Figura 17: Costa sur de Valencia.

Fuente: MITECO, 2015

## 5.1 LA EROSIÓN DE LA COSTA VALENCIANA

La erosión costera es un proceso dinámico que afecta significativamente a la costa valenciana. Este fenómeno se ha intensificado debido a una combinación de factores naturales y antropogénicos. Los estudios realizados por Alguacil (2020), CEDEX (2015) y El estudio integral del frente litoral entre las desembocaduras del Júcar y del río Racons en 2009 proporcionan un marco detallado sobre la magnitud, las causas y las posibles soluciones a este problema.

Las causas de la erosión de las costas valencianas dependen tanto de las intervenciones humanas como de los factores naturales, por lo tanto, destacan varios riesgos para las playas de esta zona. Estos riesgos se pueden clasificar en dos categorías principales: externos e internos (J. Serra, V. Esteban, J. Gonzalez, 2009).

#### Riesgos externos:

- **Reducción de Aportes Sedimentarios:** La falta de fuentes naturales de sedimentos es el riesgo más significativo. Las presas en los ríos Turia y Júcar han reducido significativamente el flujo de sedimentos hacia la costa, generando un déficit que contribuye a la erosión de las playas.  
Este déficit de sedimentos no solo afecta a las playas donde se produce la erosión, sino que también tiene un impacto en las playas situadas a sotavento. Las playas actúan como fuentes de sedimentos para otras playas, por lo que la ausencia de aportes naturales puede llevar a la desaparición de las formas sedimentarias actuales.
- **Regulación Hidráulica:** Las obras de regulación hidráulica en áreas alejadas del litoral también afectan la estabilidad de las playas. Estas regulaciones pueden alterar los flujos de sedimentos y agua, afectando la dinámica costera.
- **Construcción de Infraestructuras:** La construcción de puertos, espigones y presas ha alterado el equilibrio sedimentario de la costa. Estas estructuras actúan como barreras que interrumpen el transporte natural de sedimentos, necesario para la regeneración de las playas.
- **Cambio Climático:** El aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia de eventos climáticos extremos, como tormentas y oleajes, han intensificado los procesos erosivos.

#### Riesgos internos:

- **Urbanización:** La presión urbanística cerca del litoral altera los patrones de transporte de sedimentos y aumenta la erosión. Las construcciones cercanas a la costa interfieren con la dinámica natural de las playas.
- **Extracción de áridos:** La extracción de arena de las playas y del fondo marino para usos industriales y de construcción ha disminuido el volumen de sedimentos disponibles.

- **Vertidos de residuos:** Los vertidos al mar pueden afectar negativamente la calidad del agua y la salud de los ecosistemas costeros, lo que indirectamente puede influir en la erosión y sedimentación de las playas.

La zona más afectada de la costa valenciana se encuentra en primer lugar en el tramo norte, que abarca desde el Puerto de Valencia hasta el Cabo de Cullera, la erosión costera se ve significativamente afectada por la presencia del puerto, el cual actúa como una barrera que interfiere con el transporte natural de sedimentos, provocando erosión al sur de esta estructura.

Las playas de Pinedo y El Saler también, han experimentado una notable regresión debido al déficit de sedimentos y a la alteración de las corrientes litorales. En el tramo sur, desde el Cabo de Cullera hasta la Playa de Les Deveses en Denia, la influencia del río Júcar es determinante. Las obras hidráulicas en este río han reducido el aporte sedimentario, intensificando la erosión en las playas situadas al sur de su desembocadura. En particular, las playas entre Oliva y Denia presentan problemas críticos de erosión debido a la combinación de factores naturales y humanos (CEDEX, 2015).

## **6. BORDE LITORAL EL RÍO JÚCAR (CULLERA) Y EL PUERTO DE GANDÍA**

La zona de estudio se encuentra en el borde litoral del Río Racons y el Puerto de Gandía, se extiende a lo largo de aproximadamente 19 kilómetros de costa, siendo un tramo recesivo debido a diversos factores, entre ellos la falta de sedimentos naturales. Esta zona, agrupa una serie de playas desde Cullera, concretamente desde la desembocadura del río Júcar, hasta el puerto de Gandía, y que podemos ver en la figura 5, afectando a los municipios de Cullera, Tavernes de la Valldigna, Xeraco y Gandía. La costa con carácter general se conforma como una playa al pie de un cordón que encierra en su trasdós una zona baja, marjal, que frecuentemente ha sido rellenada, bien con fines agrícolas, bien de consolidación urbana. La costa forma parte de un todo litoral continuo conocido como el Ovalo Valenciano, (Golfo de Valencia), unidad morfodinámica natural limitada, al norte, por el Delta del Ebro y, al sur, por el Cabo de San Antonio, como ya se ha comentado (J. Serra, V. Esteban, J. Gonzalez, 2009).

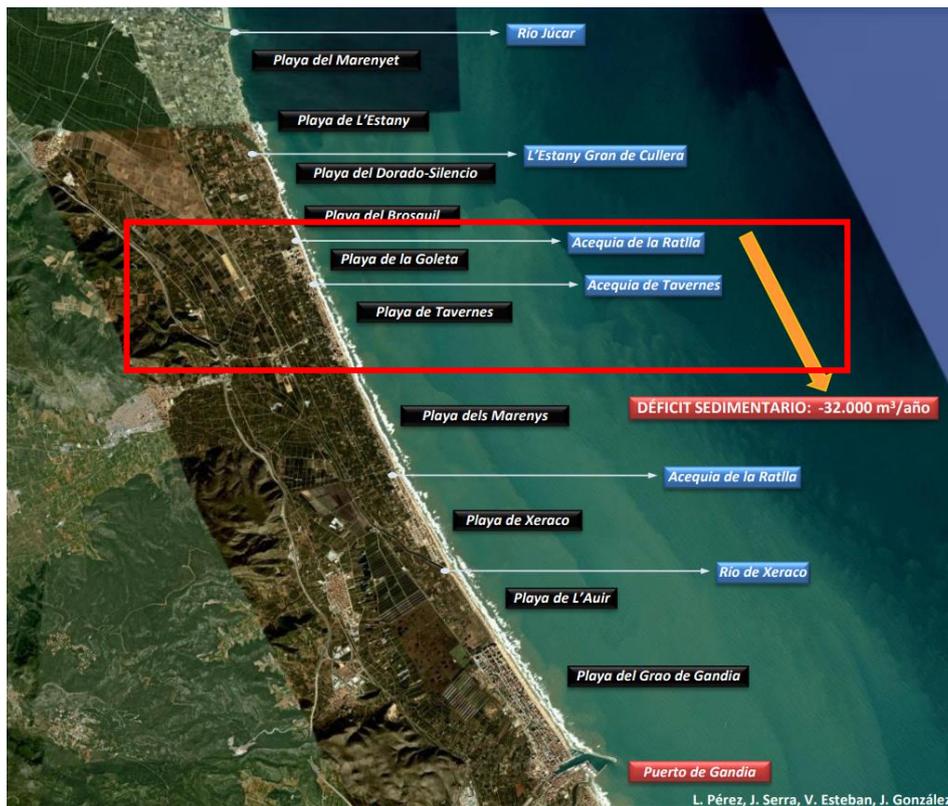


Figura 18: Playas entre Río Júcar (Cullera) y el Puerto de Gandía.

Fuente: J. Serra, V. Esteban, J. Gonzalez, 2009

La desembocadura del Río Júcar se encuentra protegida por un sistema de espigones de escollera perpendiculares a la costa, lo que constituye una barrera al transporte sólido litoral. Esta configuración genera depósitos de sedimentos en la playa de San Antonio, situada a barlovento, y provoca recesión en la playa del Marenyet, ubicada a sotavento (J. Serra, V. Esteban, J. Gonzalez, 2009).

Los espigones de encauzamiento del Júcar se han alargado en varias ocasiones desde su construcción inicial entre 1947 y 1956. Estos espigones tienen como principal objetivo proteger las márgenes del río y actuar como bocana del puerto de Cullera (Denominamos puerto de Cullera al sistema de espigones de encauzamiento del río Júcar). Sin embargo, estos también contribuyen a la erosión al interferir con el transporte de sedimentos necesarios para mantener la estabilidad de las playas adyacentes (J. Serra, V. Esteban, J. Gonzalez, 2009).

## 7. ANTECEDENTES

En este capítulo se pretende exponer la literatura o estado del arte referente a la estabilidad hidráulica de los diques exentos y homogéneos, poniendo el foco sobre las estructuras homogéneas de baja cota de coronación formadas por Cubípodos para su posterior aplicación práctica en las playas del T.M. de Tavernes de la Valldigna (Valencia).

En primer lugar, se definirán algunos conceptos previos necesarios para el diseño de estas estructuras. Posteriormente, se revisará la literatura existente sobre el diseño de estructuras de baja cota de coronación, presentando diversas tipologías y evaluando su comportamiento en términos de estabilidad. Finalmente, se analizarán la literatura existente sobre las estructuras homogéneas constituidas por Cubípodos.

### 7.1 EL OLEAJE

Antes de comenzar a explorar la literatura existente sobre las protecciones costeras, es necesario estudiar el principal causante de las modificaciones de la línea de costa: el oleaje. Como se ha mencionado anteriormente, el oleaje es el principal responsable de las modificaciones en la línea costera, ya que representa movimientos ondulatorios, es decir, oscilaciones periódicas de la superficie del mar formadas por crestas y depresiones que se desplazan horizontalmente. Las olas suelen ser la causa principal de las cargas sobre las estructuras costeras, por lo que un diseño eficaz de estas estructuras requiere una estimación precisa de las características del oleaje.

Las olas se propagan desde aguas profundas hacia la costa, sufriendo transformaciones debidas a la refracción, el asomeramiento, la difracción y la rotura. La rotura del oleaje se produce cuando la cresta viaja más rápido que la base de la ola, haciéndola inestable y provocando una importante disipación de energía a través de turbulencias. Este fenómeno es especialmente relevante porque ocurre cerca de la costa y es el principal factor que afecta a la mayoría de las estructuras costeras (Mares Nasarre, 2020).

#### 7.1.1 PARÁMETROS Y ESTADÍSTICOS DEL OLEAJE

El oleaje está compuesto de una superposición de ondas de distintas alturas, periodos y direcciones. En virtud de esto, los parámetros disponibles son los más representativos del oleaje son la altura significativa ( $H_s$ ), el periodo medio ( $T_m$ ), el periodo de pico ( $T_p$ )

y la dirección en el pico (Dirp, dirección de las olas de mayor energía) (Puertos del estado, 2024):

- **Altura significativa ( $H_s = H_{1/3}$ ).** Es uno de los parámetros más representativos del oleaje. La altura significativa representa la altura de las olas que un observador experimentado apreciaría a simple vista en el punto de medida (no desde la costa), que equivale aproximadamente la altura media del tercio de olas más altas.
- **Altura de ola 1/10 ( $H_{1/10}$ ).** Media aritmética del décimo de olas más altas de un registro
- **Periodo medio ( $T_m$ ).** Con este nombre se conoce el periodo medio de todas las ondas que constituyen el oleaje y se suele denotar con las siglas  $T_m$ .
- **Periodo de pico ( $T_p$ ).** El periodo del grupo de ondas con más energía se denomina periodo de pico y se denota  $T_p$ . Cuanto más regular es el oleaje más se parece  $T_p$  a  $T_m$ , aunque normalmente  $T_p$  es mayor que  $T_m$ .
- **Dirección en el pico (Dirp).** Representa la dirección de las olas de mayor energía.
- **Longitud de onda (L).** Distancia entre dos crestas sucesivas.
- **Peralte.** Se trata de la relación entre la altura de la ola y su longitud correspondiente. En este proyecto se utilizará el  $s_{0p}$ , que es el peralte obtenido con el periodo pico ( $T_p$ ) y la altura de la ola en aguas profundas ( $L_0$ ).

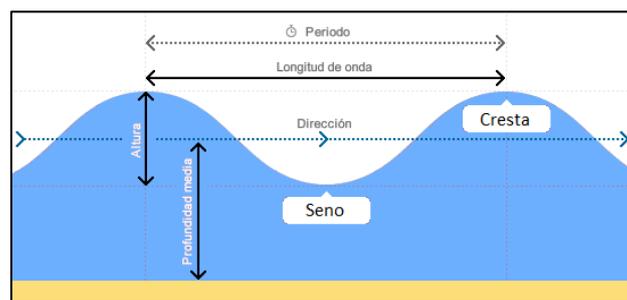


Figura 19: Parámetros característicos del oleaje.

Fuente: surfatlantico.com

### 7.1.2 PROPAGACIÓN DEL OLAJE

El oleaje se forma cuando el viento supera la velocidad crítica de 1 m/s en las proximidades de la superficie del mar. A medida que el viento actúa, las olas aumentan en altura, longitud de onda y período hasta alcanzar un tamaño máximo, el cual depende

de la velocidad del viento, el tiempo de acción y las dimensiones del área de generación. En esta área, el mar se convierte en un caos de ondas de diversas alturas y direcciones, que se combinan para crear un tren de ondas. Este oleaje, impulsado por el viento que lo generó, se desplaza por la superficie del mar hasta llegar a la costa, si ese es el caso. (Serra Peris, s.f.).

En principio, se asociaba al oleaje un tren de ondas regular, pero en la realidad el tren de ondas es irregular. Por tanto, en la naturaleza no tenemos un oleaje con ondas perfectas, en la realidad las ondas son irregulares, nos encontramos con un espectro amplio de alturas de ola, de periodos y de longitudes de onda (Serra Peris, s.f.).



Figura 20: Representación gráfica de oleaje regular e irregular.

Fuente: Serra Peris, s.f.

Los procesos que pueden afectar, fundamentalmente, al oleaje que se propaga desde aguas profundas hasta la costa, en profundidades reducidas son: asomeramiento, refracción, difracción, reflexión y la extinción o rotura del oleaje (Serra Peris, s.f.).

El asomeramiento es el fenómeno que ocurre cuando una ola se propaga hacia la costa y experimenta una disminución en la profundidad, a partir del momento en que el oleaje deja de estar en condiciones de aguas profundas ( $d/L < 1/2$ ). Este proceso reduce la velocidad de propagación y la longitud de onda de la ola, mientras que su altura puede aumentar o disminuir, y en general, adquiere un mayor peralte.

La refracción es un fenómeno que ocurre cuando el oleaje no incide paralelamente a las líneas batimétricas, atacando la costa con un cierto ángulo. Esta desviación entre el frente de onda y la línea batimétrica provoca una variación en la dirección del oleaje debido a las modificaciones en la velocidad de propagación de los puntos del frente de onda. Como resultado, el frente de onda tiende a alinearse con las batimétricas. Este proceso, denominado refracción, causa que el ángulo de llegada de las olas a la playa sea diferente del que presentan en aguas profundas.

Durante su propagación, el oleaje puede llegar directamente a la costa o encontrarse con un obstáculo. En el primer caso, cuando el efecto del fondo se hace significativo, la ola comienza a deformarse hasta volverse completamente inestable, momento en el cual se produce la rotura del oleaje. Sin embargo, si antes de romperse encuentra un obstáculo, como una estructura, pueden ocurrir dos fenómenos: la difracción, que es la dispersión lateral de energía cuando el oleaje se desvía alrededor de los extremos del obstáculo; y la reflexión del oleaje, que es la formación de una ola que se desplaza en dirección opuesta a la ola incidente.



Figura 21: Procesos costeros que experimenta el oleaje al sentir el fondo.

Fuente: Patricio Winckler, 2020

### 7.1.3 TIPOS DE ROTURA DEL OLEAJE

En la literatura se mencionan dos tipos de mecanismos de rotura de olas: (1) rotura de olas debido a una excesiva inclinación de la ola ( $s = H/L$  demasiado grande, donde  $H$  es la altura de la ola y  $L$  la longitud de la ola) y (2) rotura de la ola por limitación de la profundidad del agua ( $H/h$  demasiado grande, donde  $h$  es la profundidad del agua). La mayoría de los diques se construyen en aguas poco profundas donde la rotura de las

olas se debe a la limitación de la profundidad ( $H/h$  demasiado grande) (Mares Nasarre, 2020).

En este estudio se centra en el análisis de la rotura por fondo del oleaje.

Iribarren y Nogales introdujeron en 1950 el concepto del número de Iribarren ( $I_r$ ), también denominado parámetro de semejanza de rotura de Battjes (1974). Este parámetro se utiliza para caracterizar la rotura de olas, considerando la pendiente del fondo ( $m$ ), la altura de la ola ( $H$ ), la longitud de la onda en aguas profundas ( $L_0 = gT^2/2\pi$ ), la aceleración de la gravedad ( $g$ ) y el periodo del oleaje ( $T$ ) (Mares Nasarre, 2020).

$$I_r^* = \frac{m}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}}$$

El número de Iribarren se ha utilizado extensamente para clasificar diferentes tipos de rompimiento de olas en playas y taludes, identificando cuatro categorías principales: spilling, plunging, bore (collapsing) y surging. Con el avance en la comprensión de la dinámica de las olas y la mejora en los estudios numéricos, se identificaron cuatro tipos adicionales de rompientes, en el intervalo  $1.5 < I_r < 3.5$ : weak plunging y strong plunging, así como weak bore y strong bore (Díaz Carrasco, 2019).

La rotura tipo spilling ( $I_r < 0.5$ ) ocurre en pendientes muy suaves. La energía de la ola se disipa gradualmente a medida que avanza. La rotura tipo plunging ( $0.5 < I_r < 2.5$ ) se caracteriza por la asimetría que adquiere la cresta de la ola y el rizo que se forma en ella. El frente de la cresta primero se vuelve casi vertical, luego avanza hacia adelante y finalmente cae con gran turbulencia. Gran parte de la energía se disipa en este proceso y otra parte se utiliza para formar una "nueva ola" (Díaz Carrasco, 2019).

La rotura bore (collapsing) ( $2.5 < I_r < 3.5$ ) ocurre cuando el frente de la ola que avanza sobre la pendiente tiende a volverse vertical, pero pierde estabilidad y su cara inferior colapsa. En la rotura surging ( $I_r > 3.5$ ), la ola se mueve rápidamente y no permite que la cresta se desarrolle. Como resultado, la ola casi no rompe y hay muy poca disipación de energía (Díaz Carrasco, 2019).

El tipo de rotura strong plunging breaker se caracteriza por un jet de vuelco, en el cual la cara frontal de la ola se vuelve vertical y la cresta se enrolla y se sumerge en el agua por delante. La turbulencia ocupa así toda la columna de agua y se disipa en cada ciclo

de la ola. Luego, en la rotura strong bore, la cara frontal de la cresta de la ola se enrolla y colapsa en algún punto entre la cresta y la base. Posteriormente, se enrolla sobre sí misma y atrapa aire, formando una cuña que ralentiza el colapso de la ola. En la rotura weak bore, el frente de la ola toma una forma de "D". El colapso de la ola genera un chorro de agua que sube por la pendiente. Durante este proceso, solo hay un poco de turbulencia y el movimiento de la masa de agua es más o menos paralelo a la pendiente (Díaz Carrasco, 2019).

Finalmente, el avance y retroceso en strong plunging y strong bore son similares, pero los de la rotura strong plunging breaker son generalmente de mayor amplitud. (Díaz Carrasco, 2019)

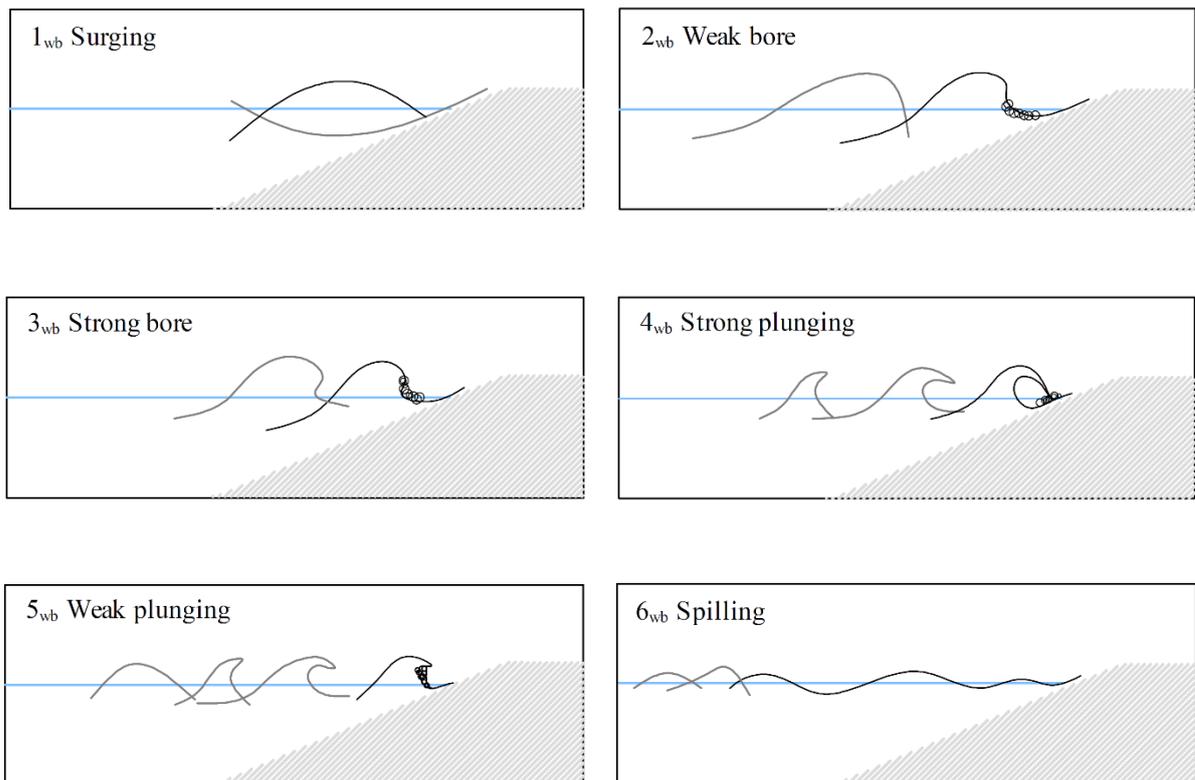


Figura 22: Tipos de rotura del oleaje.

Fuente: Díaz Carrasco, 2019

#### 7.1.4 CRITERIOS DE ROTURA DEL OLAJE

Para el diseño de estructuras marítimas es muy importante analizar el condicionante de rotura por el fondo. En general, es bien sabido que una ola de altura  $H$  se vuelve

inestable a una profundidad aproximada de  $h=1.3 H$ . Esta relación puede cambiar dependiendo de la rugosidad y pendiente del fondo, del viento, las corrientes y otras condiciones (Teoría de Puertos y Costas).

Para diseñar estas estructuras con baja cota de coronación, es crucial analizar la rotura por fondo. Por lo tanto, se utiliza el índice de rotura adimensional,  $\gamma_{br}$ , para establecer el criterio de rotura en función de la profundidad. Este índice se define como la relación máxima entre la altura de la ola y la profundidad ( $H/h$ ) en el punto de rotura.

$$\frac{H}{L} \geq \gamma_{br} = \left(\frac{H}{h}\right)_{max} = \frac{H_b}{h_{br}}$$

Siendo  $H_b$  la altura de ola en rotura a profundidad  $h_{br}$ .

Otro parámetro con el que se puede definir la rotura es el índice de altura en rotura,  $\Omega_b$ , definido mediante la siguiente expresión:

$$\Omega_b = \frac{H_b}{H_0}$$

donde  $H_0$  es la altura de ola en aguas profundas.

## 7.2 EL CUBÍPODO

El Cubípodo es una pieza prefabricada de hormigón utilizada en la formación de mantos de diques en talud, defensas longitudinales y espigones para la protección de costas o estructuras hidráulicas o marítimas, diseñada para resistir frente a la rotura de grandes olas. Es una unidad de armadura masiva que pertenece a la familia de los cubos. Ofrece una alternativa robusta y eficiente en comparación con otras unidades de armadura tradicionales. Desarrollado en 2005 por Josep R. Medina y M. Esther Gómez Martín en el Laboratorio de Puertos y Costas de la Universitat Politècnica de València (UPV), el Cubípodo se basa en los tradicionales elementos cúbicos o paralelepípedicos (Medina y Gómez-Martín, 2016).

Actualmente ya se han construido varios diques de Cubípodos, como se puede observar en la Figura 23:

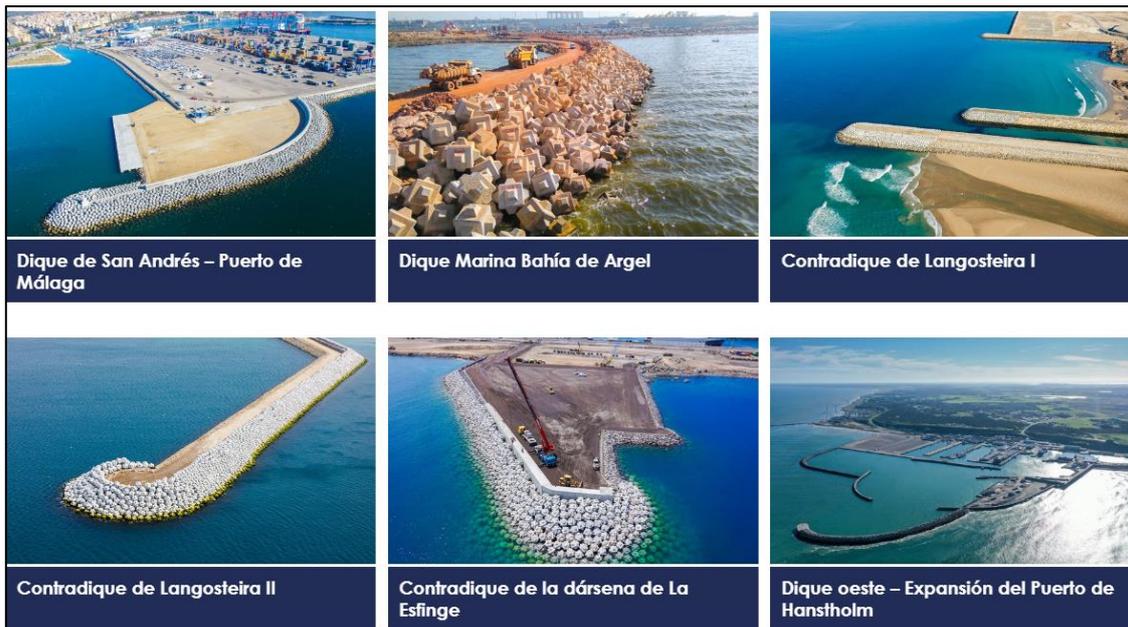


Figura 23: Diques de Cubípodos.

Fuente: cubipod.com

- Dique de San Andrés, Puerto de Málaga
- Dique Marina Bahía de Argel
- Contradique de Langosteira I
- Contradique de Langosteira II
- Contradique de la dársena de La Esfinge
- Dique oeste – Expansión del Puerto de Hanstholm

Se caracteriza por su simplicidad y robustez, siendo ideal para su uso como componente principal del manto de diques rompeolas. Este elemento tiene una forma básica cúbica o paralelepípedica, con una protuberancia en cada cara que evita el acoplamiento entre las piezas. Resiste la acción del oleaje principalmente mediante gravedad y fricción lateral, y se coloca en el talud de forma aleatoria en una o dos capas (Medina y Gómez-Martín, 2016).

### 7.2.1 DESCRIPCIÓN

El Cubípedo surge como una alternativa robusta y eficiente a los elementos tradicionales utilizados en diques en talud, como el bloque cúbico o las piezas prefabricadas convencionales. Este novedoso elemento, de forma básica cúbica, se caracteriza por protuberancias tronco-piramidales en sus caras, las cuales brindan ventajas

significativas en cuanto a estabilidad, fricción y comportamiento hidráulico (Medina y Gómez-Martín, 2016).



Figura 24: Vista 3D del Cubípedo.

Fuente: Medina y Gómez-Martín, 2016

La principal función de las protuberancias es la de evitar el acoplamiento entre piezas, mientras la resistencia estructural del cubo se mantiene. Para satisfacer dicho propósito, el volumen total de las protuberancias debe ser un orden de magnitud inferior al volumen del elemento básico (Medina y Gómez-Martín, 2016).

Se trata de una pieza que permite diferentes formas de colocación (aleatoria, trabada, etc.), permite o no la construcción en una sola capa, exigiendo una determinada porosidad y teniendo una estabilidad hidráulica diferente (Medina y Gómez-Martín, 2016).

El Cubípedo es una pieza simétrica en los tres planos cuyas dimensiones son múltiplos del lado del cubo base ( $L$ ).

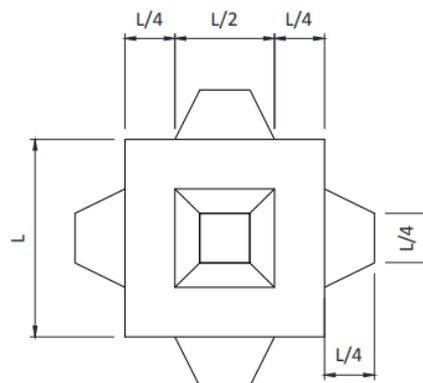


Figura 25: Dimensiones principales del Cubípedo. Vista frontal, lateral y superior.

Fuente: Medina y Gómez-Martín, 2016

## 7.2.2 VENTAJAS

El Cubípodo surge como una solución innovadora que retiene las ventajas de los bloques cúbicos tradicionales mientras soluciona sus puntos débiles. Entre estos inconvenientes se encuentran la baja estabilidad hidráulica ( $KD = 6$ ), la tendencia al adoquinamiento o compactación heterogénea y la escasa fricción con el manto secundario. Un estudio realizado por M. Esther Gómez-Martín y Josep R. Medina identificó las principales ventajas del Cubípodo, que se detallan a continuación:

- **Evitar el adoquinamiento y deslizamiento del bloque tradicional:** El diseño del Cubípodo evita que los bloques se apilen de forma plana uno sobre otro, como sucede con los bloques cúbicos tradicionales. Esto se logra gracias a las protuberancias presentes en sus caras, las cuales se interconectan y engranan entre sí. Esta configuración no solo reduce la posibilidad de que los elementos se desplacen o se desprendan, sino que también aumenta la fricción con la capa inferior, lo que dificulta su extracción y mejora la estabilidad general de la estructura.
- **Gran robustez:**
  - **Estructura sólida:** Los elementos del Cubípodo presentan una forma robusta debido a su baja esbeltez, lo que les confiere una alta resistencia individual a la rotura, incluso en condiciones adversas.
  - **Mayor resistencia al oleaje:** El diseño del Cubípodo optimiza la distribución de las cargas y mejora la capacidad del dique para soportar el impacto de las olas, aumentando significativamente su estabilidad hidráulica y reduciendo el rebase de agua sobre la estructura.
- **Elevada estabilidad hidráulica y menor rebase**
- **Fácil de construir**
  - **Ejecución sencilla:** El proceso de construcción de diques con Cubípodos se simplifica considerablemente en comparación con los métodos tradicionales que utilizan bloques cúbicos o elementos de colocación no aleatoria.
  - **Colocación rápida y eficiente:** La colocación de los Cubípodos se realiza de forma aleatoria en dos capas mediante pinzas de presión, lo que permite una ejecución rápida y precisa sin necesidad de una colocación meticulosa como en otras tipologías.

- **Encofrado sencillo:** La fabricación de los Cubípodos no requiere encofrados complejos ni exigencias específicas en las unidades individuales, lo que reduce aún más la complejidad del proceso de construcción.
- **Ahorro económico de materiales:** Al utilizar piezas más pequeñas para resistir las mismas condiciones que los bloques cúbicos tradicionales, se reduce significativamente el volumen de hormigón necesario para la construcción del dique. Esto se traduce en un ahorro económico considerable y una menor huella ecológica.
- **Mantiene la porosidad del manto homogénea**

### 7.2.3 ESTABILIDAD HIDRAULICA DEL CUBIPODO

El Cubípodo tiene diferentes niveles de estabilidad hidráulica según se use en capas simples o dobles. En una armadura de doble capa, el Cubípodo tiene un coeficiente de estabilidad  $K_D=28$ , lo que lo hace altamente resistente a olas fuertes. En una armadura de capa simple, su coeficiente de estabilidad es  $K_D=12$ , siendo aún superior al de los cubos convencionales, pero inferior al de la armadura de doble capa (Manual del Cubípodo, 2016).

Su estabilidad hidráulica se ha analizado en multitud de laboratorios europeos de ensayos hidráulicos de ingeniería portuaria, tras los cuales se han adoptado los siguientes coeficientes de estabilidad ( $K_D$ ) (cubipod.com).

$K_D$ de diseño			
Tramo	Pieza	Nº de capas	$K_D$
Tronco	Cubípodo	2	28
		1	12
Morro	Cubípodo	2	7
		1	5

Tabla 6: Coeficiente de estabilidad.

Fuente: cubipod.com

La estabilidad hidráulica del Cubípodo se debe a su capacidad para disponerse aleatoriamente sobre la pendiente, lo que proporciona una porosidad homogénea a la armadura. Esto reduce los riesgos de desplazamiento y deslizamiento, y mejora la durabilidad de la estructura costera (Manual del Cubípodo, 2016)

A continuación, se van a explicar las fórmulas de estabilidad hidráulica más utilizadas para el diseño de diques de Cubípodos en condiciones de ola rompiente.

En 2006, se llevaron a cabo los primeros ensayos de estabilidad de mantos de Cubípodos con oleaje regular e irregular en el canal de ensayos del Laboratorio de Puertos y Costas de la Universitat Politècnica de València. Estos ensayos, realizados con el objetivo de evaluar la estabilidad hidráulica del Cubípedo, constituían dos capas de Cubípodos de hormigón de diferentes colores para facilitar la identificación de las piezas movidas por la acción del oleaje. Los Cubípodos se colocaron al azar en líneas sucesivas.

Los resultados obtenidos permitieron comparar la evolución del daño observado en los Cubípodos con la de los cubos tradicionales. Se concluyó que la estabilidad hidráulica del Cubípedo, tanto en tronco como en morro, es significativamente superior a la de los cubos, tanto en disposición monocapa como bicapa, presentando además menores rebases. (Ver A. Corredor)

La estabilidad hidráulica se define comúnmente mediante el coeficiente de estabilidad (KD) utilizado en la ecuación de Hudson (1959), la cual se basa en la ecuación de Iribarren (1938) y fue popularizada internacionalmente por el SPM (1975). Esta ecuación relaciona el temporal de cálculo (H) con el peso de los elementos del manto (W) a iniciación de averías, considerando el talud ( $\cot \alpha$ ), siendo  $\alpha$  el ángulo que forma el talud del manto con la horizontal, el peso específico del agua ( $\gamma_w$ ) y el del material de la escollera natural o artificial ( $\gamma_r$ ).

Considerando el peso específico relativo sumergido y el lado del cubo equivalente de la pieza,  $\Delta = (\gamma_r / \gamma_w - 1)$  y  $D_n = (W / \gamma_r)^{1/3}$ , se puede calcular el número de estabilidad ( $N_s$ ) utilizando la siguiente fórmula de Hudson generalizada, que muestran el número de estabilidad,  $N_s$ , como la relación entre la altura de ola H (oleaje regular) o altura de ola significativa  $H_{m0}$  (oleaje irregular) por un lado y por otro lado el lado del cubo equivalente,  $D_n$ , y la densidad relativa sumergida del material de los elementos del manto,  $\Delta$ .

$$N_s = \frac{H}{\Delta D_n} = (K_D \cot \alpha)^{1/3} \quad N_s = \frac{H_{m0}}{\Delta D_n} = \frac{H_{m0}}{(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1) (\frac{W}{\gamma_r})^{1/3}} \approx \left( \frac{K_D \cot \alpha}{2} \right)^{1/3}$$

### 7.3 DIQUES DE BAJA COTA DE CORONACIÓN (LCS)

Los diques convencionales de baja cota de coronación, conocidos también como "Low Crested Structures" (LCS), como los diques exentos y los arrecifes artificiales, son frecuentemente propuestos como medidas de protección costera, generalmente en combinación con la regeneración artificial de playas, debido a su menor impacto ambiental. Estas defensas costeras son cada vez más populares debido a sus ventajas ecológicas y funcionales.

Las estructuras de baja cota de coronación son construcciones marítimas dispuestas en serie y paralelas a la línea de costa. Estas permiten que las olas rebasen sobre ellas, protegiendo una zona específica del litoral al reducir la cantidad de energía que penetra en dicha área. Cuando las olas se aproximan a estas estructuras, se reflejan parcialmente en la pendiente pronunciada y se disipan al romperse en la cresta de la estructura o al fluir a través de la misma. Este flujo poroso, inducido por las olas incidentes, disipa energía mediante la fricción entre el agua y los bordes de los poros de la estructura, así como por el arrastre del aire. En olas no rompientes, este flujo poroso es el principal mecanismo de disipación de energía. La energía restante se transmite a través de la estructura y por desbordamiento.

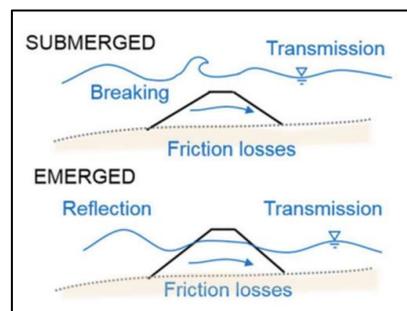


Figura 26: Energía de las olas en el dique sumergido y emergido

Fuente: Schoonees et al., 2019.

Las estructuras de baja cota de coronación se caracterizan por tener su cresta cercana al nivel del mar, permitiendo que el oleaje las rebase. Ofrecen varias ventajas sobre las estructuras convencionales, incluyendo un menor impacto en la morfología costera, costos de construcción reducidos y bajo impacto visual, lo cual es particularmente ventajoso en regiones turísticas. Además, favorecen la circulación del agua en el lado de sotavento debido al desbordamiento y atraen vida marina al simular arrecifes naturales.

Las LCS no sólo son eficaces en la mitigación de la erosión costera, sino que también pueden ser utilizadas para proteger estructuras existentes y adaptarlas a condiciones más severas, como el aumento del nivel del mar. En aguas poco profundas, es esencial evaluar la estabilidad del dique bajo diferentes combinaciones de niveles de agua y olas, considerando los diversos impactos que pueden tener las olas en la estructura.

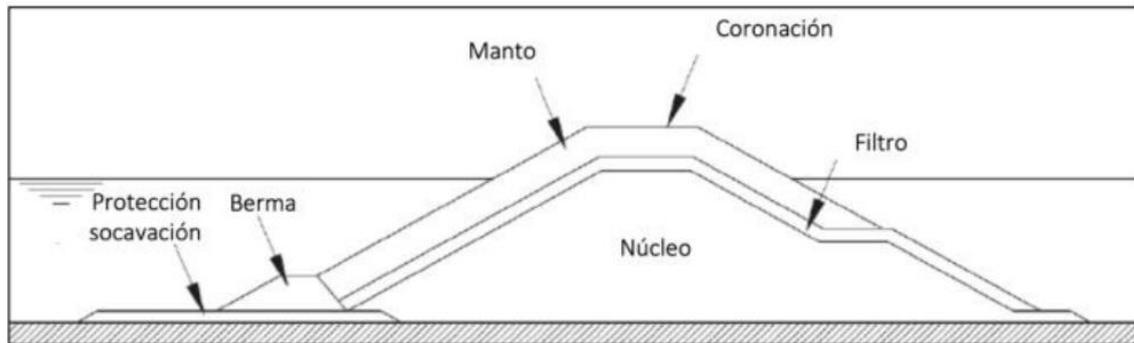


Figura 27: Sección transversal de un dique exento de baja cota de coronación.

Fuente: CIRIA, 2007

El diseño actual tiende a favorecer la construcción de diques exentos sumergidos, con la coronación al nivel medio del mar o ligeramente superior, para minimizar el impacto visual y mantener la funcionalidad. A pesar de sus ventajas, las LCS solo proporcionan una reducción parcial de la acción de las olas, ofreciendo una protección costera limitada. Las capas de armadura de estas estructuras pueden dividirse en segmentos como talud delantero, cresta y talud trasero, proporcionando estabilidad y resistencia a las olas.

En resumen, las LCS presentan una alternativa eficaz y ecológica para la protección costera, con ventajas significativas en términos de costos, impacto ambiental y visual, así como en la mejora del hábitat marino

#### 7.4 DIQUES HOMOGÉNEOS DE BAJA COTA DE CORONACIÓN (HLCS)

En este proyecto se llevará a cabo un estudio experimental y una aplicación práctica de la estabilidad en estructuras homogéneas de baja cota de coronación (HLCS) de Cubípodos. Estas estructuras están situadas cerca del nivel medio del mar en reposo y están formadas por un único material, el Cubípedo.

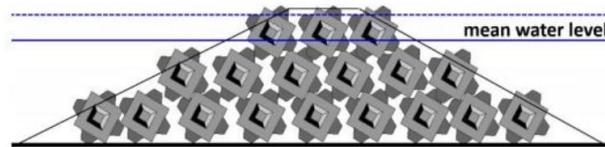


Figura 28: Sección típica de una HLCS de Cubípodos de cuatro capas.

Fuente: Medina et al. (2019)

Las HLCS están compuestas por grandes bloques de escollera o de hormigón y se instalan para simular las funciones de protección costera y, ocasionalmente, sirven como refugio para diversas especies. Este tipo de estructuras se consideran infraestructura verde, funcionalmente similares a las estructuras convencionales de cresta baja, pero con mayor porosidad y una mayor facilidad de desmantelamiento y reutilización. A diferencia de las estructuras convencionales de cresta baja, la funcionalidad de las HLCS depende de la malla seleccionada. Son estructuras muy porosas con huecos e iluminación variable, lo que minimiza el impacto visual y puede favorecer la colonización de corales en condiciones apropiadas.

Las HLCS protegen la costa cercana de grandes temporales, mejoran las condiciones ambientales marinas y funcionan como arrecifes artificiales, añadiendo un punto de interés turístico. La tipología HLCS emplea elementos robustos de un solo tipo y tamaño (por ejemplo, cubos, Cubípodos o grandes piedras) para formar una estructura de baja cota de coronación, muy porosa y estable durante las tormentas. Para regenerar arrecifes de coral, la estructura se construye sobre un fondo duro con una ligera capa de arena, y su elevada porosidad y múltiples caras generan una amplia variedad de intensidades lumínicas, lo que favorece la biodiversidad local. Las HLCS se colocan en aguas someras donde el oleaje está limitado por el fondo y la coronación se sitúa a una cota baja adecuada para reducir significativamente la transmisión del oleaje durante grandes tormentas, sin causar demasiado impacto visual en condiciones normales.

Existen diferencias entre el comportamiento de un dique convencional de baja cota y una HLCS, ya que estas últimas se colocan sobre fondos duros con pendientes del 2% al 10% y el oleaje está limitado por el fondo; además, las HLCS son mucho más porosas que las estructuras convencionales y la relación  $H_{si}/D_{n50}$  es menor. Asimismo, la estabilidad hidráulica se ve afectada por la pendiente del fondo, la forma de las piezas y la malla de colocación.



### 7.4.1 REVISIÓN HISTÓRICA

A continuación, se recopilará toda la información relevante sobre este tipo de estructuras para el proyecto.

Oderiz et al. (2018) investigaron la estabilidad hidráulica de las estructuras homogéneas de baja cota de coronación de Cubípodo (HLCS) para abordar problemas de erosión costera, teniendo en cuenta la estética del paisaje, la biodiversidad de los arrecifes de coral y el cambio climático.

Utilizaron un método innovador basado en mallas triangulares para la colocación de los Cubípodos y realizaron ensayos en el Laboratorio de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) con tres tipos de modelos físicos de una, tres y cinco capas. Además, analizaron la interacción hidrodinámica entre las olas y la estructura a través de los coeficientes de transmisión y examinaron las modificaciones en las formas de los espectros reflejados y transmitidos, llegando a las siguientes recomendaciones básicas para su diseño:

- La anchura de la cresta debe ser de al menos tres unidades de Cubípodo.
- La punta de la estructura debe tener al menos tres unidades de Cubípodo.

Medina et al. (2019) estudiaron las HLCS de Cubípodos como una solución para la protección y regeneración de ecosistemas coralinos. Analizaron los resultados de los ensayos realizados en la UNAM respecto a la transmisión, reflexión y disipación de la energía del oleaje, proponiendo fórmulas para su estimación en función del francobordo adimensional ( $R_c/H_{s,i}$ ). Destacaron que la porosidad y la estabilidad hidráulica de un HLCS dependen en gran medida de las mallas de colocación.

De Keyser y Jacobs (2020) realizaron ensayos de colocación de modelos físicos de HLCS de Cubípodo de cinco capas, midiendo los espesores de las capas correspondientes a seis mallas de colocación diferentes. Concluyeron que las rejillas de colocación con mayores distancias horizontales entre las unidades llevaban a espesores de capa más bajos.

Centi (2020) midió los espesores de capa de los HLCS de cinco capas utilizando un motor de videojuegos (Bullet Physics Engine, BPE) y encontró una buena concordancia

entre los resultados numéricos y las pruebas de colocación de modelos físicos a pequeña escala realizadas por De Keyser y Jacobs (2020).

Medina et al. (2020) estudiaron la influencia de la malla de colocación, enfocándose en la estimación de la altura de la estructura y los francobordos relacionados con la retícula de colocación, con el fin de proporcionar criterios de ingeniería para el diseño de HLCS de Cubípedo.

Molines et al. (2021) realizaron pruebas de colocación de modelos físicos y numéricos para simular diferentes mallas de colocación de los HLCS de Cubípedo, midiendo el espesor de cada capa. Incorporaron el motor Bullet Physics Engine (BPE) en el software de creación 3D Blender para realizar los ensayos de colocación del modelo numérico y los coeficientes de capa, que posteriormente fueron validados con ensayos de colocación del modelo físico sin agua. Utilizaron la metodología propuesta por De Keyser y Jacobs (2020) y los resultados obtenidos por Centi (2020) para representar la construcción de los HLCS de Cubípedo y así estimar la altura del HLCS y los coeficientes de capa.

Brisa et al. (2021) llevaron a cabo un estudio de la estabilidad hidráulica de esta tipología de diques a través de los ensayos realizados en la Universidad Nacional Autónoma de México. Concluyeron descartando las estructuras formadas por una única capa de Cubípodos debido a sus mayores coeficientes de transmisión, considerando más eficaces las estructuras de tres y cinco capas.

Lozano (2021) analizó 101 ensayos con redes neuronales para desarrollar una nueva formulación que estimara el coeficiente de transmisión, proponiendo utilizar variables como el peralte y la tangente hiperbólica del francobordo adimensional.

Mazón (2022) utilizó los estudios de Lozano (2021) para obtener una nueva formulación destinada a estimar la transmisión en diques homogéneos de tres capas. Por su parte, Mashadyan (2022) investigó la estabilidad hidráulica de los diques homogéneos de baja cota de coronación de Cubípodos mediante una malla virtual, tanto de manera cualitativa como cuantitativa.

## 7.4.2 FUNCIONALIDAD

Estas estructuras son funcionalmente similares a las LCS convencionales. La instalación de esta estructura busca alcanzar los siguientes objetivos:

- Disipar la energía del oleaje para proteger la costa.
- Mitigar problemas de erosión costera, teniendo en cuenta la estética del paisaje, la biodiversidad de los arrecifes de coral y el cambio climático.
- Controlar las corrientes litorales y la evolución de las playas según su diseño.
- Facilitar la colonización pasiva de corales.
- Atraer y sostener una gran variedad de otras especies marinas.
- Crear nuevas zonas de atracción turística sostenibles.
- Recuperar arrecifes de coral en proceso de degradación.

## 7.4.3 VENTAJAS E INCOVENIENTES

Medina et al. (2020) presenta las ventajas y desventajas de este tipo de estructuras:

### Ventajas:

- **Flexibilidad:** Las HLCS permiten utilizar unidades de hormigón en caso de no disponer de rocas de gran tamaño, ofreciendo una solución adaptable a diferentes escenarios.
- **Sostenibilidad:** Su diseño modular facilita el desmontaje y reutilización de las unidades, reduciendo el impacto ambiental y permitiendo una "segunda vida" para los componentes.
- **Porosidad y Biodiversidad:** La alta porosidad de las HLCS crea microhábitats que favorecen la colonización coralina y la regeneración de arrecifes, promoviendo la biodiversidad marina.
- **Ecosistema Artificial:** Las unidades de Cubípodo atraen y albergan diversas especies de peces, actuando como un arrecife artificial que enriquece el ecosistema marino.
- **Atractivo Turístico:** Las HLCS pueden convertirse en un punto de atracción turística sostenible, promoviendo la observación de la fauna marina y la educación ambiental.

### Desventajas:

- **Huella de Carbono:** La fabricación de unidades de hormigón genera una mayor huella de carbono y consumo de energía en comparación con el uso de rocas extraídas localmente. Sin embargo, esta desventaja se minimiza cuando la disponibilidad de rocas de gran tamaño es limitada.
- **Monitoreo y Control:** Las HLCS requieren un seguimiento posterior a su instalación para controlar la colonización de especies y garantizar una evolución positiva del ecosistema. La falta de control podría permitir la proliferación de especies invasoras que perjudiquen el equilibrio ecológico.

### 7.4.4 MALLAS DE COLOCACIÓN

Las mallas de colocación juegan un papel crucial en el diseño y construcción de las estructuras HLCS. Su influencia se extiende a diversos aspectos críticos como la porosidad de la armadura, la estabilidad estructural, el manejo del oleaje y el consumo de hormigón.

En el estudio de Medina et al. (2019), se evaluaron diferentes tipos de mallas de colocación (rectangulares y triangulares) en el canal de oleaje. Los resultados revelaron unos mejores resultados con las mallas triangulares, como se observa en la figura.

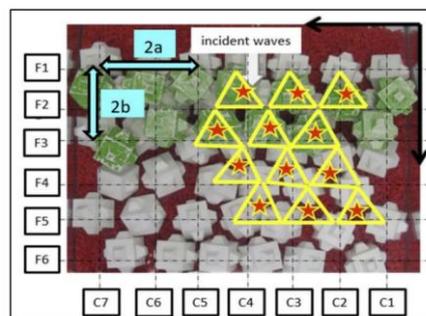


Figura 29: Malla de colocación triangular orientada al oleaje incidente.

Fuente: Medina et al. (2019)

Sin embargo, de acuerdo con Ripoll (2024) y los resultados preliminares del proyecto HOLOBRACE, la malla de colocación rectangular podría presentar ventajas en términos de facilidad constructiva y menor daño estructural.



Figura 30: Mallas de colocación del HLCS de Cubípodos ensayada en el canal de oleaje 2D.

Fuente: E. Ripoll, 2024

### 7.4.5 CRITERIO DE AVERÍA

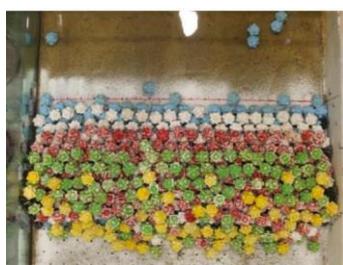
Lozano et al (2021) proponen una nueva clasificación para los niveles de avería en diques homogéneos, tomando en cuenta el comportamiento específico de estas estructuras:

1. **Inicio de Avería (IA):** Se observa el desplazamiento o extracción de algunas piezas de la capa superior de la estructura, alterando su posición original.
2. **Inicio de Destrucción (IDe):** La mayoría de las piezas de la capa superior han sido extraídas, exponiendo las capas inferiores en la zona central del dique. Se observan huecos considerables que comprometen la integridad de la estructura.
3. **Destrucción (De):** La totalidad de las piezas de la capa superior ha sido extraída, dejando al descubierto las capas inferiores. Se observan grandes huecos que permiten ver las capas subyacentes, lo que indica un estado crítico de la estructura y un riesgo inminente de colapso.

1. Inicio de Avería (IA)



2. Inicio de Destrucción (IDe)



3. Destrucción (De)

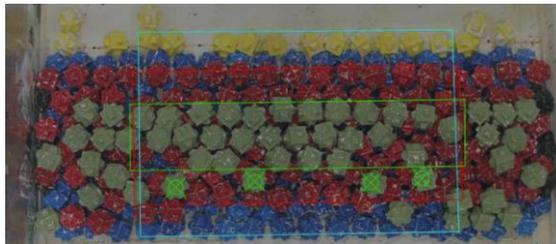


Figura 31: Criterio de avería.  
Fuente: Lozano (2021)-LPCUPV

Mashadyan (2022), propone una nueva clasificación para los niveles de avería en diques homogéneos, ya que Lozano propone esa nueva clasificación para los diques de 4 capas y Mahadyan (2022) para diques homogéneos de 3 capas.

1. **Inicio de Avería para daño tipo 1 (IA1):** Cuando algunas piezas han sido desplazadas de su banda, este daño es poco relevante porque no afecta a la funcionalidad de la estructura
2. **Inicio de Avería para daño tipo 2 (IA2):** Cuando algunas piezas de la capa superior hayan sido desplazadas o extraídas de capa a la siguiente.

Inicio de Avería para daño tipo 1 (IA1):



Inicio de Avería para daño tipo 2 (IA2):

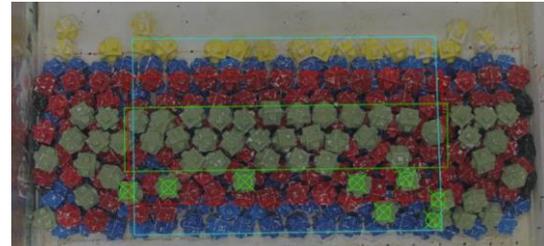


Figura 32: Criterio de avería.

Fuente: Mashadyan,2022



## ANEJO N°2

# METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



## **ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>68</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL CANAL DEL OLEAJE.....</b>	<b>69</b>
2.1 SISTEMA GENERADOR DEL OLEAJE.....	70
2.2 SISTEMA DISIPADOR DE ENERGÍA.....	71
<b>3. INSTRUMENTACIÓN .....</b>	<b>72</b>
3.1 SENSORES DE NIVEL .....	72
3.2 MATERIAL AUDIOVISUAL .....	73
3.3 MATERIAL DE ENSAYO EN EL LABORATORIO .....	74
<b>4. MODELO FÍSICO .....</b>	<b>75</b>
4.1 MALLA DE COLOCACIÓN.....	77
4.2 PROCESO CONSTRUCCIÓN .....	78
4.3 TEST MATRIX.....	80
<b>5. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>82</b>
5.1 ANÁLISIS DEL OLEAJE.....	82
5.1.1 LASA .....	83
5.1.2 LPCLAB.....	83
5.1.3 SWANONE .....	83
<b>6. ENSAYOS REALIZADOS EN EL LPC-UPV .....</b>	<b>85</b>
6.1 DESARROLLO GENERAL.....	85
6.2 ENSAYOS 2D .....	87
6.3 REGISTROS .....	91



## 1. INTRODUCCIÓN

Para analizar la estabilidad hidráulica de diques homogéneos de baja cota de coronación contruidos con Cubípodos, se han realizado ensayos físicos en el canal de ensayos del Laboratorio de Puertos y Costas de la Universidad Politécnica de Valencia (LPC-UPV). Este capítulo, que continúa los estudios previamente analizados por Mashadyan en 2022, detalla la metodología seguida en dichos ensayos.

En primer lugar, se describirán las instalaciones y los equipos utilizados. Luego, se detallarán los modelos físicos empleados, las características de los materiales de construcción y la instrumentación necesaria para recabar información sobre diversos parámetros.

Finalmente, se presentará el modelo físico ensayado, explicando el procesamiento de la información obtenida y las herramientas informáticas empleadas para su análisis.



Figura 33: Canal de oleaje del LPC-UPV.

Fuente: Elaboración propia

## 2. DESCRIPCIÓN DEL CANAL DEL OLAJE

Los ensayos 2D de este estudio se han llevado a cabo en el canal de oleaje y viento del LPC-UPV, que tiene una longitud de 30 m, un ancho de 1.2 m y una altura de 1.2 m. Este canal dispone de una pendiente de fondo variable, 2% y 4%, permitir la recirculación de agua y una rampa de 15,3m con una pendiente del 4% para simular el fondo del mar y generar condiciones de rotura del oleaje por fondo, lo que permite estudiar la propagación del oleaje desde aguas profundas en la zona de generación hasta aguas someras, donde se ubica el modelo físico.

La Figura 34 muestra una sección longitudinal del canal LPC-UPV. En la zona de generación, el fondo es plano durante los primeros 5.46 m, donde comienza una primera rampa con una pendiente del 4% y una longitud de 6.25 m. Después, hay una segunda rampa con una pendiente del 2% y una longitud de 7.49 m, sobre la cual se ubica el modelo físico a ensayar.

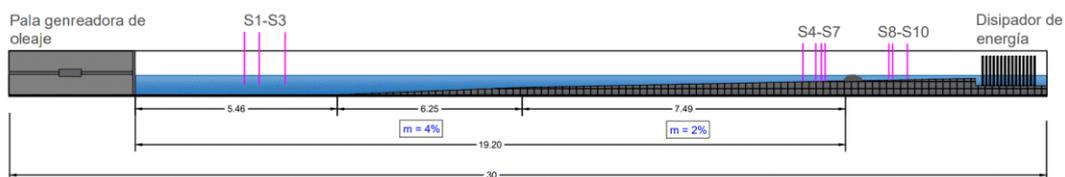


Figura 34: Canal de oleaje.

Fuente: LPC

En el extremo izquierdo del canal se encuentra el sistema de generación de oleaje, compuesto por un pistón accionado por un motor eléctrico y equipado con el sistema AWACS (Active Wave Absorption System) para evitar reflexiones. En el extremo

derecho, se ubica la zona del modelo a ensayar, junto con el dissipador de energía y la entrada del sistema de recirculación de agua del canal.

El canal también cuenta con un falso fondo en la zona opuesta a la generación de oleaje para prevenir la sobre elevación de la lámina de agua. Este fondo tiene una altura de 25 cm, permitiendo que la corriente de retorno establezca el nivel medio en el canal.

A continuación, se describirán con detalle los sistemas mencionados anteriormente en los siguientes apartados.

## 2.1 SISTEMA GENERADOR DEL OLAJE

Como se mencionó anteriormente, el extremo izquierdo del canal de oleaje de LPC-UPV alberga el equipo generador de oleaje, que consiste en una pala montada sobre guías cilíndricas con rodamientos. Esta pala es impulsada hacia adelante y hacia atrás por un pistón hidráulico con un recorrido de 90 cm y un motor eléctrico, generando el oleaje mediante su movimiento longitudinal en el canal.



*Figura 35: Pala generadora de oleaje.*

*Fuente: Elaboración propia*

El software DHI Wave Synthesizer controla la pala, utilizando datos de secuencias teóricas predefinidas, ya sean series regulares o irregulares. Un actuador mueve la pala conforme a la velocidad y posición especificadas por el programa. Antes de este paso, es necesario encender la pala mediante los interruptores que se pueden observar en la imagen.



Figura 36: Equipo de generador de oleaje.

Fuente: Elaboración propia

La pala está equipada con dos sensores de oleaje integrados en su estructura, que permiten realizar correcciones en tiempo real sobre el movimiento del pistón, evitando así la generación de oleaje irreal debido a la re-reflexión del oleaje en la pala.

Existen varias posibilidades de generar oleaje, pero en este estudio se ha creado solo oleaje irregular. Para la generación de oleajes o irregulares los inputs a introducir son los siguientes:

- Escala del modelo físico
- Profundidad existente en la pala de generación
- Altura de ola significativa
- Periodo pico del oleaje
- Espectro (solo en oleaje irregular): Para el caso que nos ocupa el espectro utilizado es el JONSWAP, con un parámetro de 3,3.
- Duración del ensayo
- Periodo máximo y periodo mínimo

## 2.2 SISTEMA DISIPADOR DE ENERGÍA

En el extremo derecho del canal se encuentra un sistema disipador de energía diseñado para absorber la energía del oleaje transmitida a través de los modelos. Este sistema

está compuesto por una serie de paneles con perfiles de sección apuntada y diferentes porosidades, lo que facilita la dispersión de la energía del oleaje y evita posibles reflexiones que podrían afectar los resultados del ensayo.

El sistema disipador de energía, situado en el extremo opuesto a la pala generadora, consta de 13 grupos de paneles metálicos ranurados o rejillas con perfiles angulares de 5 cm de lado.



Figura 37: Disipador de energía.

Fuente: Elaboración propia

### **3. INSTRUMENTACIÓN**

Para llevar a cabo los modelos físicos en el canal de oleaje y realizar su posterior análisis, se utilizan varios instrumentos importantes. El laboratorio cuenta con una amplia variedad de equipos que facilitan la investigación. En este proyecto, se emplearán sensores de nivel y material audiovisual, como una cámara Canon y un escáner Kinect, para visualizar el modelo en 3D y analizar su estabilidad.

#### **3.1 SENSORES DE NIVEL**

Los sensores capacitivos (DHI) miden el oleaje generado, registrando datos sobre la elevación del nivel del agua con la frecuencia seleccionada. Estos sensores se ubican a lo largo del eje longitudinal del canal, aguas arriba de la estructura, para identificar las características del oleaje incidente y reflejado.

Además de medir el nivel del agua, estos sensores distinguen entre el oleaje incidente y el reflejado, lo que justifica su colocación estratégica a lo largo del canal. Para el análisis de esta estructura, se han instalado nueve sensores en total: tres en la zona de generación (S1-S3), cuatro frente al modelo (S4-S7) y los restantes detrás del modelo, frente al dissipador de energía (S8-S11).



Figura 38: Sensores de nivel.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 muestra el conjunto de sensores y las distancias en centímetros, medidas desde el generador de oleaje.

SENSOR	X(cm)	UBICACIÓN
S1	295	Generación
S2	335	Generación
S3	405	Generación
S4	1805	Modelo
S5	1840	Modelo
S6	1855	Modelo
S7	1865	Modelo
S8	2037	Detrás modelo
S9	2047	Detrás modelo

Tabla 7: Posición de sensores de nivel.

Fuente: LPC

### 3.2 MATERIAL AUDIOVISUAL

En el LPC-UPV se dispone de una amplia gama de recursos para la captura de imágenes, vídeos y contenido audiovisual durante la realización de ensayos o según

sea requerido. Se utilizan cámaras Canon y Kinect tanto durante el proceso constructivo como en las pruebas experimentales.

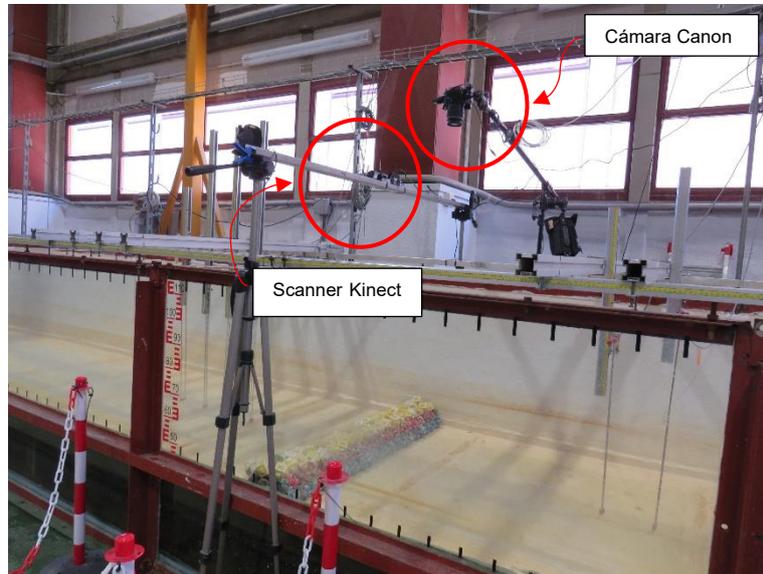


Figura 39: Material audiovisual.

Fuente: Elaboración propia

Estas cámaras permiten realizar una foto antes y después de cada uno de los ensayos con el fin de disponer de información gráfica para el posterior análisis y tratamiento de imágenes para analizar la avería del dique.

### 3.3 MATERIAL DE ENSAYO EN EL LABORATORIO

El material empleado, es el Cubípodo. Los Cubípodos del LPC-UPV son de resina inyectada con un diámetro nominal de  $D_n=4.36$  cm. La Figura 40 muestra las dimensiones de los Cubípodos, y los valores de densidad, peso y volumen se determinan mediante el uso de una balanza hidrostática.

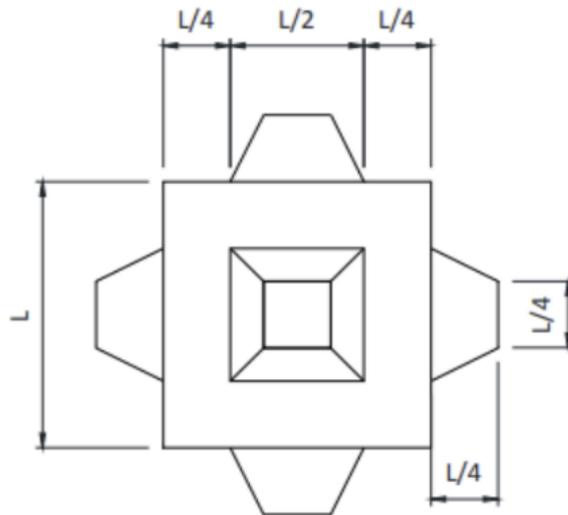


Figura 40: Dimensiones principales del Cubípodo. Vista frontal, lateral y superior.

Fuente: Medina y Gómez-Martín (2016).

Se emplean Cubípodos de distintos colores en cada capa del modelo con el fin de facilitar la detección de desplazamientos entre ellos durante los ensayos estructurales. Esta codificación cromática será de gran utilidad para el análisis posterior de posibles daños. Para organizar los Cubípodos según su color, se disponen en capazos próximos al lugar de construcción del modelo.

#### 4. MODELO FÍSICO

En el proyecto HOLOBRACE se han ensayado dos secciones de los diques homogéneos de baja cota de coronación de Cubípodos con malla cuadrada y malla triangulada, las dos secciones tienen 3 capas, en tronco y morro, pero en este estudio solo se va a centrar en la sección de tronco con malla de colocación cuadrada (remarcada en color coral en la Figura 41).

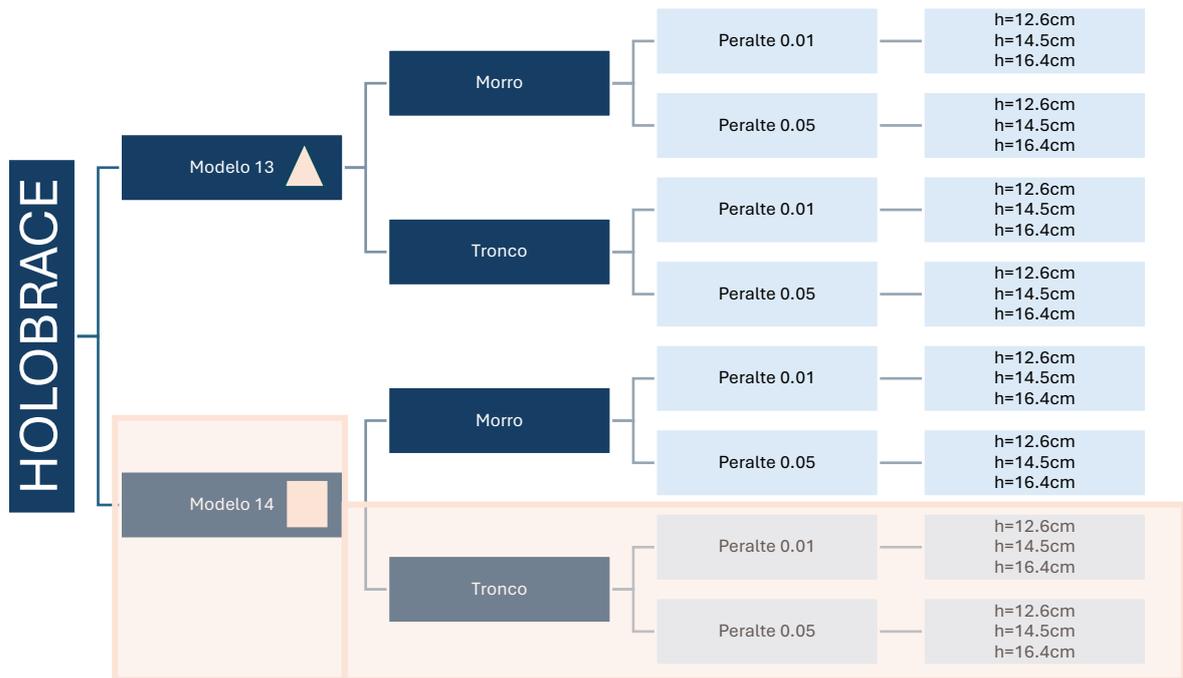


Figura 41: Esquema de los modelos, secciones, peraltes y altura de ola ensayadas en el LPC.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, las características del modelo ensayado se muestran en la Tabla 8:

Nombre	Capas	Filas capa 1	Filas capa 2	Filas capa 3
Modelo 14	3	4	3	2

Tabla 8: Características del modelo 14.

Fuente: Elaboración propia

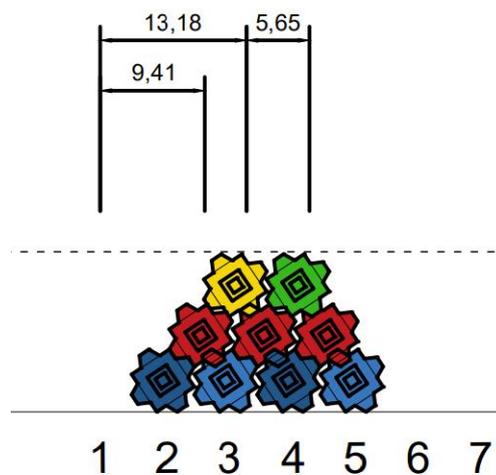


Figura 42: Sección transversal del modelo 14.

Fuente: LPC

## 4.1 MALLA DE COLOCACIÓN

Para el presente proyecto, se han ensayado dos tipos de mallas, la triangular (Mashadyan, 2022) y la cuadrada, centrándonos en la malla de colocación cuadrada debido a sus ventajas en términos de estabilidad estructural y facilidad constructiva. La malla cuadrada permite una mejor distribución de los Cubípodos, lo que contribuye a una mayor uniformidad en la porosidad y una colocación más eficiente de las piezas, factores clave para la estabilidad de las estructuras homogéneas ensayadas.

La malla de colocación queda definida por su porosidad, separación longitudinal y transversal, así como por el coeficiente de capa. En el caso de los diques homogéneos de baja cota de coronación construidos con Cubípodos, la porosidad se mide utilizando la siguiente fórmula:

$$p\% = \frac{1 - n \cdot Dn^2}{nF \cdot \frac{a}{Dn} \cdot nC \cdot \frac{b}{Dn} \cdot Dn^2}$$

Siendo  $a$ , la distancia entre filas en la capa inferior y  $b$  la separación entre Cubípodos en una misma fila.

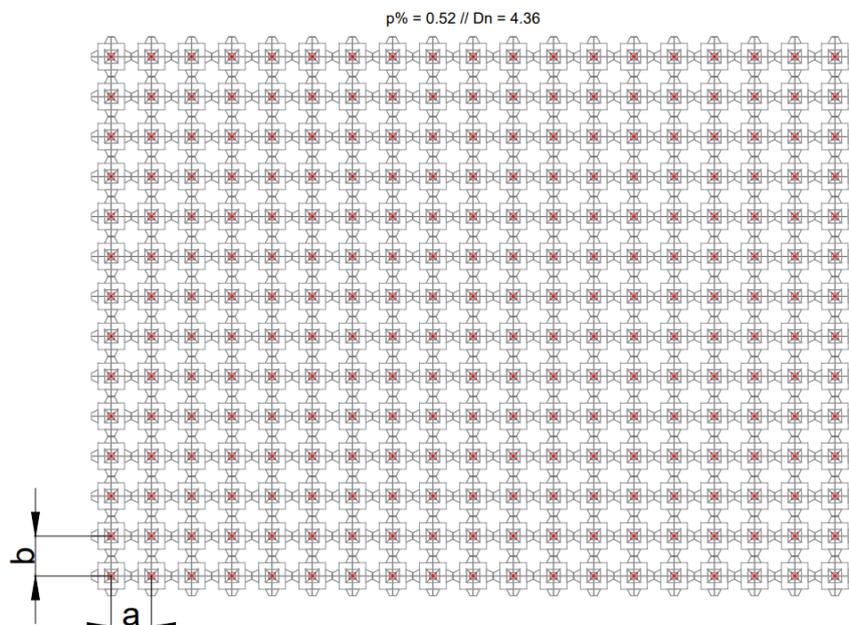


Figura 43: Malla de colocación cuadrada.

Fuente: LPC

Se trata de una malla cuadrada donde los valores de los parámetros son  $a/D_n = 1.44$  y  $b/D_n = 1.44$ , por lo tanto, la malla cuadrada tiene una porosidad del 52%.

En el esquema presentado se ilustra la disposición adecuada de las piezas en una malla cuadrada. Los puntos rojos indicados en la malla representan los lugares donde debe situarse el centro de gravedad de los Cubípodos. La colocación se realiza en varias capas: primero, se dispone la primera capa de Cubípodos; a continuación, la segunda capa se coloca de tal manera que cada pieza se sitúa sobre la intersección de cuatro piezas de la capa anterior. Esta disposición continúa de forma secuencial hasta completar la estructura con la capa final.

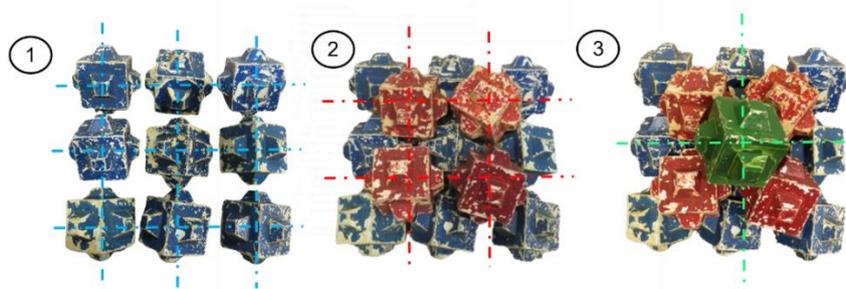


Figura 44: Proceso de colocación de los Cubípodos sobre la malla cuadrada.

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 PROCESO CONSTRUCCIÓN

Para iniciar el proceso constructivo del modelo físico a ser evaluado, es esencial que el canal esté completamente limpio y que los sensores estén correctamente ubicados a las distancias especificadas desde el generador de oleaje.

Una vez completadas todas las operaciones preliminares, se procede a llenar el canal para calibrar la pala generadora de oleaje; esta operación es necesaria realizarla únicamente una vez, a diferencia de la calibración de los sensores que debe llevarse a cabo diariamente. Tras esta etapa, y antes de construir la estructura y llevar a cabo los ensayos, es imprescindible realizar una serie de pruebas en vacío con el fin de validar los métodos de separación del oleaje incidente y reflejado.

A mitad de los ensayos, se vacía el canal y se realiza un escaneo del mismo. Posteriormente, se vuelve a llenar el canal y se lleva a cabo una nueva calibración. Este procedimiento se implementa con el objetivo de validar el modelo numérico obtenido a partir del escaneo.

Hasta este punto, se ha descrito la metodología inicial para la preparación del canal y la disposición de los instrumentos necesarios para realizar los ensayos. A continuación, se detallará el proceso constructivo del modelo físico y los pasos para ejecutar las series de oleaje programadas en una hoja de Excel.

Para iniciar, es necesario obtener la malla de colocación a través de una serie de procesos utilizando AutoCAD. Esta malla se imprime y se perfora en los puntos designados para la colocación de cada Cubípodo de la primera capa. Posteriormente, la malla se coloca en el fondo del canal, utilizándola como plantilla para marcar las ubicaciones correspondientes. Una vez instalada la malla, se mide el coeficiente de capa para determinar la altura alcanzada, utilizando un láser para esta medición.

Con el canal preparado, se procede a construir la estructura a ensayar. Después de completar cada capa, se mide nuevamente el coeficiente de capa con el láser y se toman fotografías utilizando una cámara Canon y un dispositivo Kinect.

Finalmente, una vez construida la estructura, se llena el canal hasta el nivel deseado, se calibra cada sensor de nivel y se inician las series de ensayos programados.

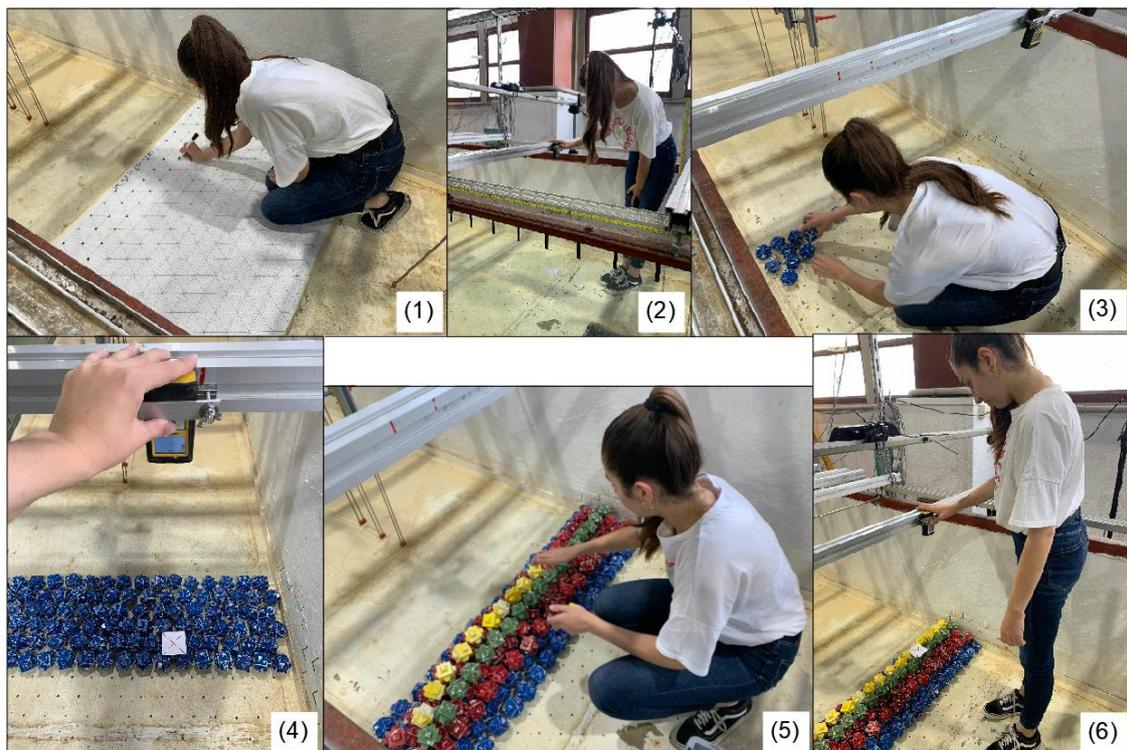


Figura 45: Proceso de construcción de la estructura.

Fuente: Elaboración propia

### 4.3 TEST MATRIX

Los ensayos realizados tienen como objetivo estudiar la estabilidad y transmisión de diques homogéneos de baja cota de coronación. Para ello, se han llevado a cabo pruebas utilizando un modelo físico de este tipo de estructura.

En este proyecto, se han ejecutado exclusivamente ensayos de oleaje irregular, debido a su mayor similitud con las condiciones reales. Estos ensayos se generan utilizando un espectro JONSWAP con un parámetro de pico de 3,3. Cada ensayo se define por una altura de ola y un periodo de pico específico. Se comienza con una altura de ola de 2 cm en el primer ensayo y se incrementa en 1 cm o 0,5 cm en cada ensayo subsiguiente, hasta que se observe el desplazamiento de las piezas en la estructura. En cada ensayo irregular se lanzan 1000 olas irregulares, por lo que la duración de cada ensayo está determinada por el periodo de pico.

Se han realizado más de 660 ensayos, pero a continuación se va a mostrar los realizados del modelo 9, con los parámetros de altura de ola significativa, periodo de pico, peralte.

	Nombre	Modelo	
		Hs (cm)	Tp (s)
<b>hc=12.60 cm ( -0.5*Dn)</b>	<b>s0=0.01</b>	K013_0100	ESCANER EN SECO
		HL13_0103	3 1,39
		HL13_0105	5 1,79
		HL13_0106	6 1,96
		HL13_0108	8 2,26
		HL13_0110	10 2,53
		K013_0110	ESCANER EN SECO
		HL13_0103r	3 1,39
		HL13_0111	11 2,65
		HL13_0112	12 2,77
		HL13_0113	13 2,89
		HL13_0114	14 2,99
	HL13_0103rf	3 1,39	
	K013_0103rf	ESCANER EN SECO	
	<b>s0=0.05</b>	K013_2100	ESCANER EN SECO
		HL13_2103	3 0,62
		HL13_2106	6 0,88
		HL13_2108	8 1,01
		HL13_2110	10 1,13
		K013_2110	ESCANER EN SECO
		HL13_2103r	3 0,62
		HL13_2111	11 1,19
		HL13_2112	12 1,24
		HL13_2113	13 1,29
HL13_2114		14 1,34	
HL13_2115		15 1,39	
HL13_2103r	3 0,62		
K013_2103rf	ESCANER EN SECO		

Tabla 9: Ensayos correspondientes a hc=12.6cm

Fuente: LPC

		Nombre	Modelo	
			Hs (cm)	Tp (s)
			hc=14.50 cm ( 0*Dn)	
s0=0.01	K013_0300	ESCANER EN SECO		
	HL13_0303	3	1,39	
	HL13_0305	5	1,79	
	HL13_0306	6	1,96	
	HL13_0308	8	2,26	
	HL13_0310	10	2,53	
	K013_0310	ESCANER EN SECO		
	HL13_0303r	3	1,39	
	HL13_0311	11	2,65	
	HL13_0312	12	2,77	
	HL13_0313	13	2,89	
	HL13_0314	14	2,99	
	HL13_0303rf	3	1,39	
	K013_0303rf	ESCANER EN SECO		
	K013_2300	ESCANER EN SECO		
	s0=0.05	HL13_2303	3	0,62
		HL13_2306	6	0,88
		HL13_2308	8	1,01
HL13_2310		10	1,13	
K013_2310		ESCANER EN SECO		
HL13_2303r		3	0,62	
HL13_2311		11	1,19	
HL13_2312		12	1,24	
HL13_2313		13	1,29	
HL13_2314		14	1,34	
HL13_2315		15	1,39	
HL13_2303rf		3	0,62	
K013_2303rf		ESCANER EN SECO		

Tabla 10: Ensayos correspondientes a hc=14.5cm

Fuente: LPC

		Nombre	Modelo	
			Hs (cm)	Tp (s)
			hc=16.40 cm ( +0.5*Dn)	
s0=0.01	K013_0500	ESCANER EN SECO		
	HL13_0503	3	1,39	
	HL13_0505	5	1,79	
	HL13_0506	6	1,96	
	HL13_0508	8	2,26	
	HL13_0510	10	2,53	
	K013_0510	ESCANER EN SECO		
	HL13_0503r	3	1,39	
	HL13_0511	11	2,65	
	HL13_0512	12	2,77	
	HL13_0513	13	2,89	
	HL13_0514	14	2,99	
	HL13_0503rf	3	1,39	
	K013_0503rf	ESCANER EN SECO		
	s0=0.05	K013_2500	ESCANER EN SECO	
		HL13_2503	3	0,62
		HL13_2506	6	0,88
		HL13_2508	8	1,01
HL13_2510		10	1,13	
K013_2510		ESCANER EN SECO		
HL13_2503r		3	0,62	
HL13_2511		11	1,19	
HL13_2512		12	1,24	
HL13_2513		13	1,29	
HL13_2514		14	1,34	
HL13_2515		15	1,39	
HL13_2503rf		3	0,62	
K013_2503rf		ESCANER EN SECO		

Tabla 11: Ensayos correspondientes a hc=16.4cm

Fuente: LPC

Cada ensayo tiene un código para poder identificarlo, a continuación, se muestra lo que significa cada una de las partes del código:

HLYN_SLW					
HL	HOLOBRACE				
Y	0	Regular	S = Peralte	0	0,01
	1	Irregular		1	0,02
N = Nº de capas	0	Ensayos en vacío	L = Nivel del mar	2	0,05
	1	1 capa		1	+0,5*Dn
	2	2 capas		2	+0,25*Dn
	3	3 capas		3	0*Dn
	4	4 capas		4	-0,25*Dn
	5	5 capas		5	-0,5*Dn

Tabla 12: Nomenclatura de ensayos.

Fuente: LPC

## 5. ANÁLISIS DE DATOS EXPERIMENTALES

### 5.1 ANÁLISIS DEL OLEAJE

Para el análisis del oleaje, es crucial separar el oleaje incidente del reflejado, ya que los sensores registran el nivel total del agua, que es la suma de ambos. La fiabilidad de los resultados obtenidos depende tanto del oleaje incidente como del reflejado, y la correcta separación de estos afecta directamente la precisión de los modelos de respuesta estructural derivados de los experimentos físicos.

La separación del oleaje en la zona del modelo presenta desafíos en caso de rotura del oleaje, ya que los sensores capacitivos no realizan mediciones precisas debido a la aireación del flujo y las turbulencias. Para llevar a cabo esta separación en el presente estudio, se ha empleado el método LASA-V (Medina, 2001; Figueres y Medina, 2004). Este método, junto con la herramienta informática LPCLab desarrollada en el LPC, permite analizar las alturas de ola registradas, así como sus componentes incidentes y reflejadas. LPCLab realiza un análisis del oleaje tanto en el dominio de la frecuencia como en el dominio del tiempo, generando un informe con todos los parámetros relevantes del oleaje.

Adicionalmente, se ha utilizado el modelo numérico de propagación de oleaje SwanOne para determinar el oleaje incidente en la zona del modelo. Para validar este modelo, se

realiza una serie de ensayos en vacío, donde la ola incidente se registra de manera limpia gracias al sistema disipador de energía, lo que garantiza la precisión de las mediciones de los sensores. La validación del método se lleva a cabo comparando el oleaje total en vacío medido por los sensores con los resultados del modelo numérico de propagación de oleaje.

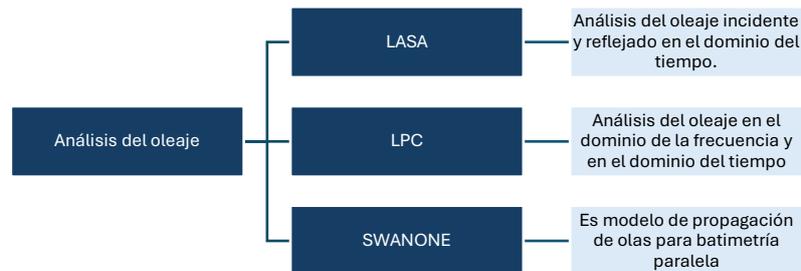


Figura 46: Esquema de los softwares utilizados.

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.1 LASA

El método LASA (Local Approximation using Simulated Annealing), desarrollado por el profesor Medina en 2001, permite el análisis del oleaje incidente y reflejado en el dominio del tiempo. Este método se basa en un modelo local que utiliza tanto la teoría lineal de ondas como la teoría no lineal de Stokes II, y emplea la cristalización simulada para optimizar los parámetros del modelo en cada ventana temporal.

### 5.1.2 LPCLAB

La herramienta informática LPCLab, por su parte, analiza el oleaje tanto en el dominio de la frecuencia como en el del tiempo, generando informes detallados con todos los parámetros relevantes del oleaje y gráficos que permiten verificar la precisión de la separación del oleaje. Esta herramienta será utilizada para obtener los estadísticos del oleaje transmitido, registrados por los sensores ubicados en la zona del modelo.

### 5.1.3 SWANONE

SwanOne es un modelo de propagación de oleaje desarrollado por la Delft University of Technology (TU Delft) específicamente para batimetría paralela, como la de un canal de oleaje. SwanOne modela varios fenómenos físicos importantes, incluyendo:

- Propagación del oleaje en el tiempo y el espacio, con fenómenos de asomeramiento y refracción debido a la profundidad y las corrientes, y cambios de frecuencia causados por la profundidad y corrientes no estacionarias.
- Interacciones no lineales entre ondas.
- Generación de olas por el viento.
- Rotura de olas inducida por la profundidad.
- Bloqueo de las olas debido a las corrientes.

La medición de los sensores no es precisa en casos de rotura del oleaje debido a la aireación y turbulencias en el flujo. Por esta razón, se han llevado a cabo simulaciones con el modelo SwanOne para determinar las características del oleaje incidente en la zona del modelo.

A continuación, se puede observar en las dos graficas siguientes (Figura 47 y Figura 48) resultados de un proceso de calibración del modelo "SwanOne" en condiciones de vacío, comparando las alturas de ola y los períodos de ola simulados por el modelo con las mediciones reales.

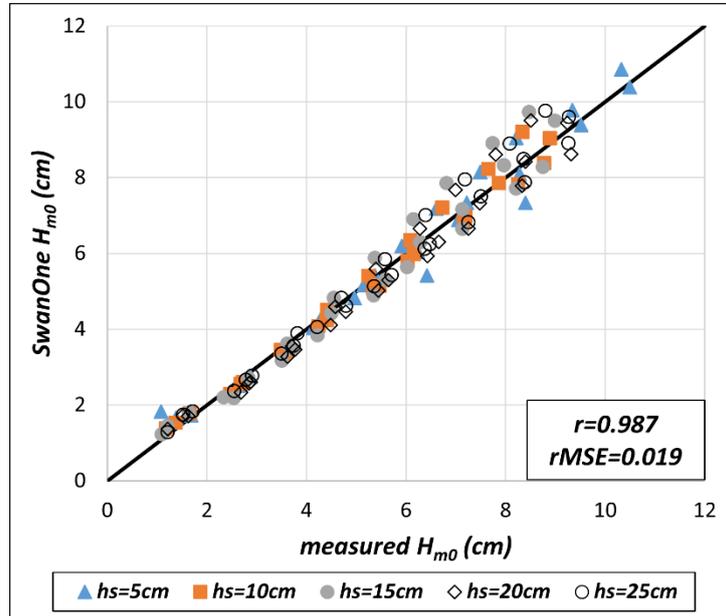


Figura 47: Swan One  $H_{m0}$  vs. measured  $H_{m0}$ .

Fuente: Elaboración propia

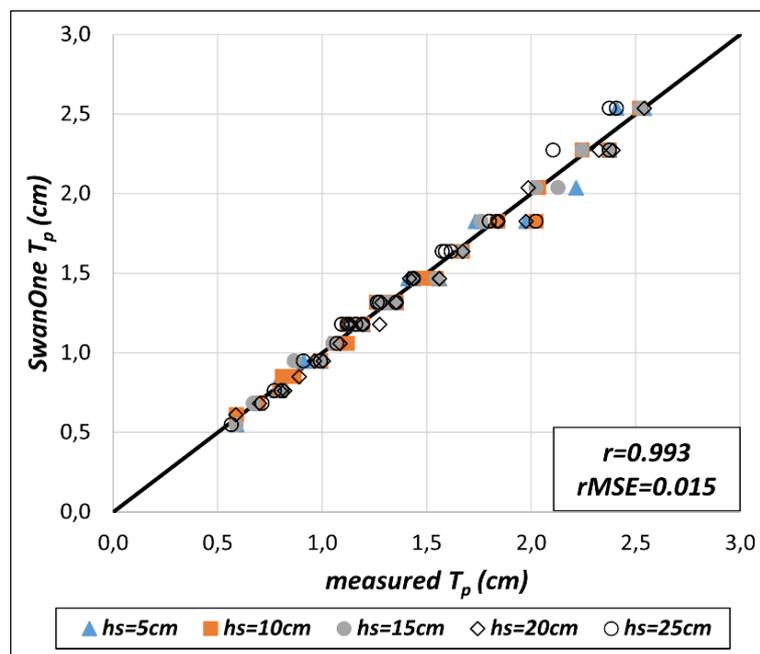


Figura 48: Swan One  $T_p$  vs. measured  $T_p$ .

Fuente: Elaboración propia

Ambas gráficas muestran una alta correlación y baja dispersión entre los valores medidos y los simulados, lo que indica que el modelo SwanOne ha sido calibrado con éxito en vacío para predecir tanto la altura significativa de las olas como el período de ola con gran precisión. Esto sugiere que el modelo es fiable para simular condiciones similares en el futuro.

## 6. ENSAYOS REALIZADOS EN EL LPC-UPV

### 6.1 DESARROLLO GENERAL

El proyecto actual HOLOBRACE representa una evolución del proyecto HOLOBREAK (2019-2022). En la fase inicial de HOLOBREAK, se investigó la transmisión en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en 2018, utilizando un canal con una pendiente del 2%. Se llevaron a cabo ensayos 2D probando varias configuraciones de elementos con 1, 3 y 5 capas. Se determinó que la disposición triangular de los elementos fue la más efectiva. Estos hallazgos se continuaron en 2019 en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), donde se estudió la transmisión y estabilidad de los sistemas de Cubípodos HLCS. Se realizaron más de 100 ensayos en secciones de tronco en un canal 2D con la misma pendiente y condiciones de oleaje rotura por fondo.

Los resultados obtenidos en México respaldaron la elección de la malla triangular como óptima, lo cual guio investigaciones posteriores. Se desarrollaron múltiples modelos físicos, comenzando con configuraciones de 5 capas y finalizando con 3 capas. La configuración de 3 capas demostró ser la más estable y económica, al optimizar el uso de materiales.

Por lo tanto, el proyecto HOLOBREAK engloba desde el modelo 1 hasta el modelo 10 (Mashadyan, 2022) y el proyecto HOLOBRACE engloba desde el modelo 11 hasta el modelo 14, estudio actual (Tabla 13).

El proyecto HOLOBRACE, actualmente en marcha, se centra en: (1) caracterizar el comportamiento hidráulico de diques HLCS de Cubípodos en secciones de tronco y morro y (2) el análisis de mallas de colocación cuadradas y triangulares, definiendo la malla óptima en términos de facilidad constructiva y comportamiento hidráulico (E. Ripoll, 2024).

Para lograr estos objetivos, se están realizando ensayos físicos 2D para secciones transversales de tronco y morro en el canal de oleaje del LPC-UPV. Se están ensayando diferentes mallas de colocación: malla de colocación cuadrada (SPG) con porosidad del 52% y malla de colocación triangular (TPG) con porosidad del 50%, tanto para tronco como para el morro, en condiciones de rotura del oleaje con profundidad limitada (E. Ripoll, 2024).

Este Trabajo final de grado, mencionará la malla triangular, pero solo se centrará en la malla de colocación cuadrada (SPG).

PROYECTO LPC	HOLOBREAK	Modelo 1		Modelo 10 3 capas 
		Modelo 2		
		Modelo 3		
		Modelo 4	Lozano (2021)	
		Modelo 6		
		Modelo 7		
		Modelo 9		
		Modelo 10	Mashadyan (2022)	
	HOLOBRACE	Modelo 11		Modelo 14 3 capas 
		Modelo 12		
		Modelo 13		
		Modelo 14		

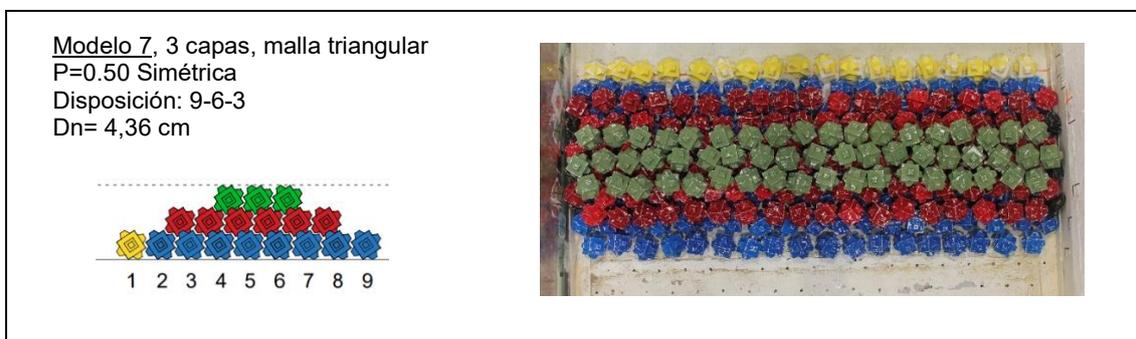
Tabla 13: Resumen de HOLOBREAK y HOLOBRACE. Fuente: Elaboración propia

## 6.2 ENSAYOS 2D

Con la conclusión de que el modelo de 3 capas era el más estable, se procedió a evaluar varias configuraciones adicionales. Inicialmente, se ensayaron pendientes suaves en la zona de exposición al oleaje y pendientes más pronunciadas en la parte posterior, utilizando la malla triangular.



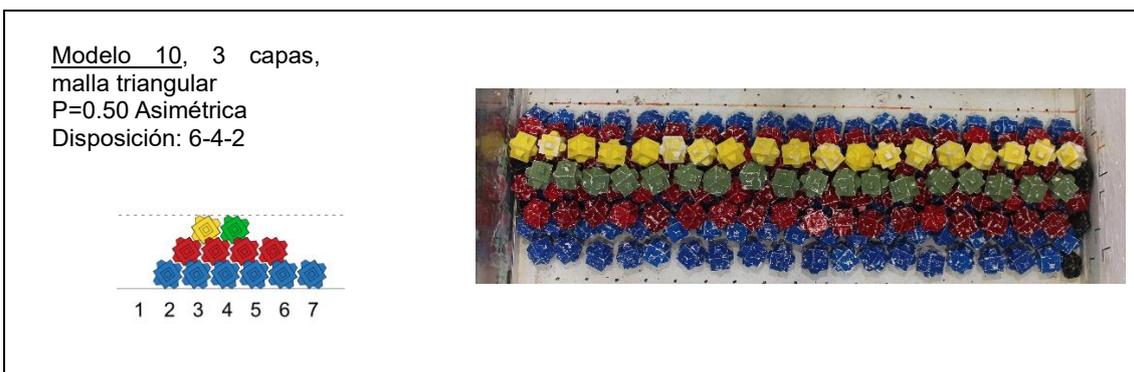
Luego, se decidió evaluar un modelo simétrico con pendientes suaves en ambos lados, similar a los diques convencionales, pero adaptado para estructuras del mismo material, lo cual reveló diferencias en su comportamiento comparado con los diques convencionales, por lo tanto, no funcionaban igual.



Durante los ensayos, se observó que los Cubípodos de la primera fila y capa tendían a desplazarse hacia aguas adentro debido a su capacidad de pivotar, alejándose gradualmente de la estructura. Para abordar este problema, se reubicó esta fila en la coronación, como se observa en el modelo 9.



Posteriormente, se evaluó el modelo 9, caracterizado por una pendiente fuerte en la parte delantera y suave en la trasera, y se determinó a través de numerosos ensayos que esta estructura era notablemente estable. Para optimizar aún más el diseño, se probó el modelo 10 con menos piezas, confirmando su estabilidad sin grandes desplazamientos de Cubípodos.

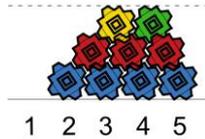


El éxito del modelo 10 condujo a la exploración de una disposición alternativa con la eliminación de la quinta y sexta fila de la última capa y de la última fila de la segunda capa, llamada modelo 11 y 12.

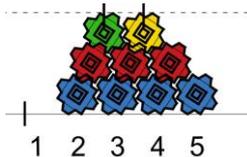
Que es aquí, donde dejamos el proyecto HOLOBREAK cerrado y entramos en HOLOBRACE.

Se hicieron unas pruebas previas, antes de llegar al modelo 13, primero pendiente suave por delante y fuerte por detrás, que sería el modelo 11, y el modelo 12 es exactamente el mismo, pero con la única diferencia de, pendiente fuerte por delante y suave por detrás.

Modelo 11, 3 capas, malla triangular  
P=0.50 Asimétrica  
Disposición: 4-3-2  
Dn= 4,36 cm

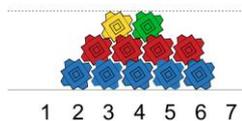


Modelo 12, 3 capas, malla triangular  
P=0.50 Asimétrica  
Disposición: 4-3-2  
Dn= 4,36 cm



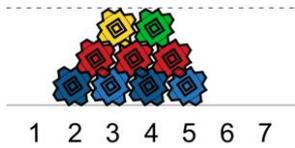
Se descartaron estas pruebas previas y concluimos con el modelo 13, resultando en una configuración con 5 filas azules, 4 filas rojas y 2 filas en la coronación en verde y amarillo.

Modelo 13, 3 capas, malla triangular  
P=0.50 Asimétrica  
Disposición: 5-4-2

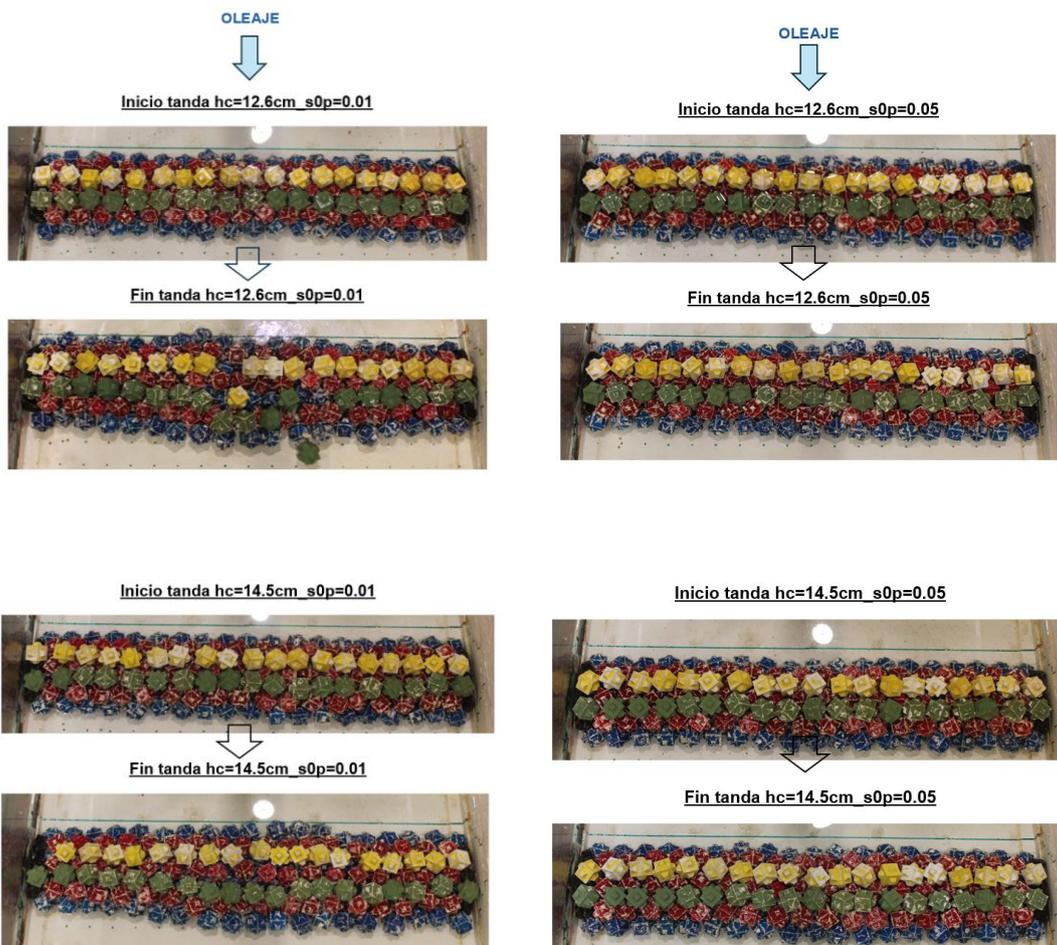


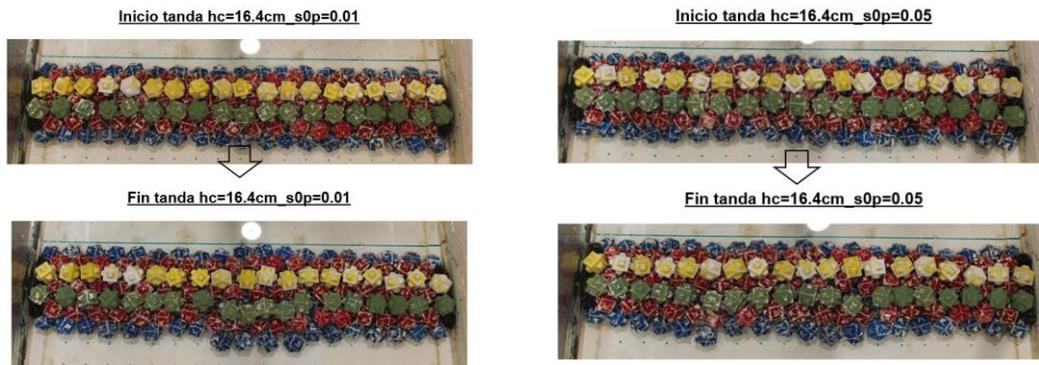
Dada la estabilidad observada con la malla triangular, se decidió investigar la malla cuadrada como una comparación adicional. Se ensayó el modelo 9 con una disposición de 4 filas azules, 3 rojas y 2 filas en la coronación, replicando la disposición del último modelo triangular ensayado.

Modelo 14, 3 capas, malla cuadrada  
P=0.50 Asimétrica  
Disposición: 4-3-2  
Dn= 4,36 cm



A continuación, se va a poner un repertorio de fotos de cada tanda de ensayos lanzados al inicio y fin para poder observar de manera visual el daño producido a causa del oleaje lanzado:





### 6.3 REGISTROS

Se llevaron a cabo más de 660 ensayos a escala 1:50 para evaluar el comportamiento del prototipo bajo diferentes condiciones. La altura incidente varió en un rango de 1.0 a 7.0 metros. Se consideraron tres peraltes distintos:  $s0p= 0.01$ ,  $0.02$  y  $0.05$ . Además, se investigaron hasta cinco condiciones de francobordo, expresadas como  $Rc/Dn[-] = -0.50, -0.25, 0, +0.25$  y  $+0.50$ .

Para analizar la estabilidad y eficacia del diseño, se emplearon dos tipos de mallas de colocación: triangular ( $\phi=0.50$ ) y cuadrada ( $\phi=0.52$ ). Las secciones estudiadas incluyeron tipos tronco y morro, cada una proporcionando datos cruciales para la optimización y validación del modelo propuesto.

Se ha registrado el daño a través de escáneres 3D después de cada ensayo (Muñoz Palao, 2024). Estos registros se explicarán con más detalle en el capítulo 5.



## ANEJO N°3

# LOCALIZACIÓN Y DATOS PREVIOS



## **ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>94</b>
<b>2. LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>94</b>
2.1 PLAYA DE TAVERNES DE LA VALLDIGNA .....	96
2.2 ACCESOS .....	98
2.3 IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO.....	99
<b>3. ANTECEDENTES.....</b>	<b>99</b>
3.1 SITUACIÓN ACTUAL.....	108
<b>4. FUENTE DE DATOS .....</b>	<b>111</b>

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La costa mediterránea ha experimentado importantes alteraciones en las últimas décadas que han transformado su entorno costero (Serra, Chapapría, 2022). La ocupación y el aumento de usos, la urbanización, la degradación y la destrucción de espacios costeros, así como la construcción de infraestructuras portuarias y de transporte terrestre, junto con la regulación hidráulica, han alterado la dinámica litoral y modificado las morfologías costeras, playas, deltas, dunas, desembocaduras, erosiones, acumulaciones por sedimentación y perfiles, entre otros aspectos.

A esto se suma hoy en día el cambio climático y sus graves efectos, especialmente pronunciados en el medio costero-litoral de todo el mundo, particularmente en zonas costeras bajas. El aumento del nivel del mar y los cambios en los patrones climáticos están intensificando la frecuencia de eventos extremos en nuestro planeta.

También exponen los tramos donde la recesión es del 100%. La playa de La Goleta, Tavernes y Marenys el 69% de la costa se encuentra en recesión, en el caso de considerar únicamente las playas de La Goleta y Tavernes es el 87 % de la costa en recesión, pero sí nos quedamos únicamente con la playa de La Goleta se estableció que el 100 % de la playa se encuentra en recesión.

En este Capítulo, tras conocer la problemática existente con la erosión costera, se va a realizar una aplicación práctica real de las estructuras de baja cota de Cubípodos estudiadas a la protección de la costa de la playa de Tavernes de la Valldigna (Valencia).

A lo largo de este capítulo se estudiará las principales características del tramo de costa de la playa la Goleta y la playa de Tavernes de la Valldigna (Valencia). Además, se llevará a cabo un análisis del subsistema físico y natural existente y se propondrá la construcción de una novedosa alternativa como es hoy en día el dique exento de baja cota de coronación homogéneo de Cubípodos que proteja la costa de la erosión y que consiga una adecuada reordenación del frente litoral e intentar recrear la línea de la costa del año 1956.

## 2. LOCALIZACIÓN

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 que tiene como

objetivo el diseño de estructuras homogéneas de baja cota de coronación de Cubípodos para la protección costera de la Playa de Tavernes de la Valldigna.

En este apartado se procede por tanto a analizar la localización, accesos y datos previos referentes a la playa de Tavernes de la Valldigna.

La aplicación práctica de este estudio se sitúa en la Playa de Tavernes de la Valldigna, por lo que en primer lugar definiremos dónde se sitúa la misma. La Playa de Tavernes se encuentra en España, en la Comunidad Valenciana, a lo largo de la costa este del país. En el mapa de España, podemos ubicar Valencia en la región oriental, destacando su proximidad al mar Mediterráneo, como se puede apreciar en la Figura 49.



Figura 49

Más específicamente, la Playa de Tavernes se encuentra en la comarca de La Safor, dentro de la provincia de Valencia. La Safor es una comarca reconocida por sus paisajes naturales y su rica cultura. Dentro de esta comarca, Tavernes de la Valldigna destaca como un importante municipio costero. En el mapa de la provincia de Valencia, La Safor se encuentra en la parte sur, mientras que un plano detallado de La Safor muestra la ubicación precisa de Tavernes de la Valldigna, a poca distancia del litoral.

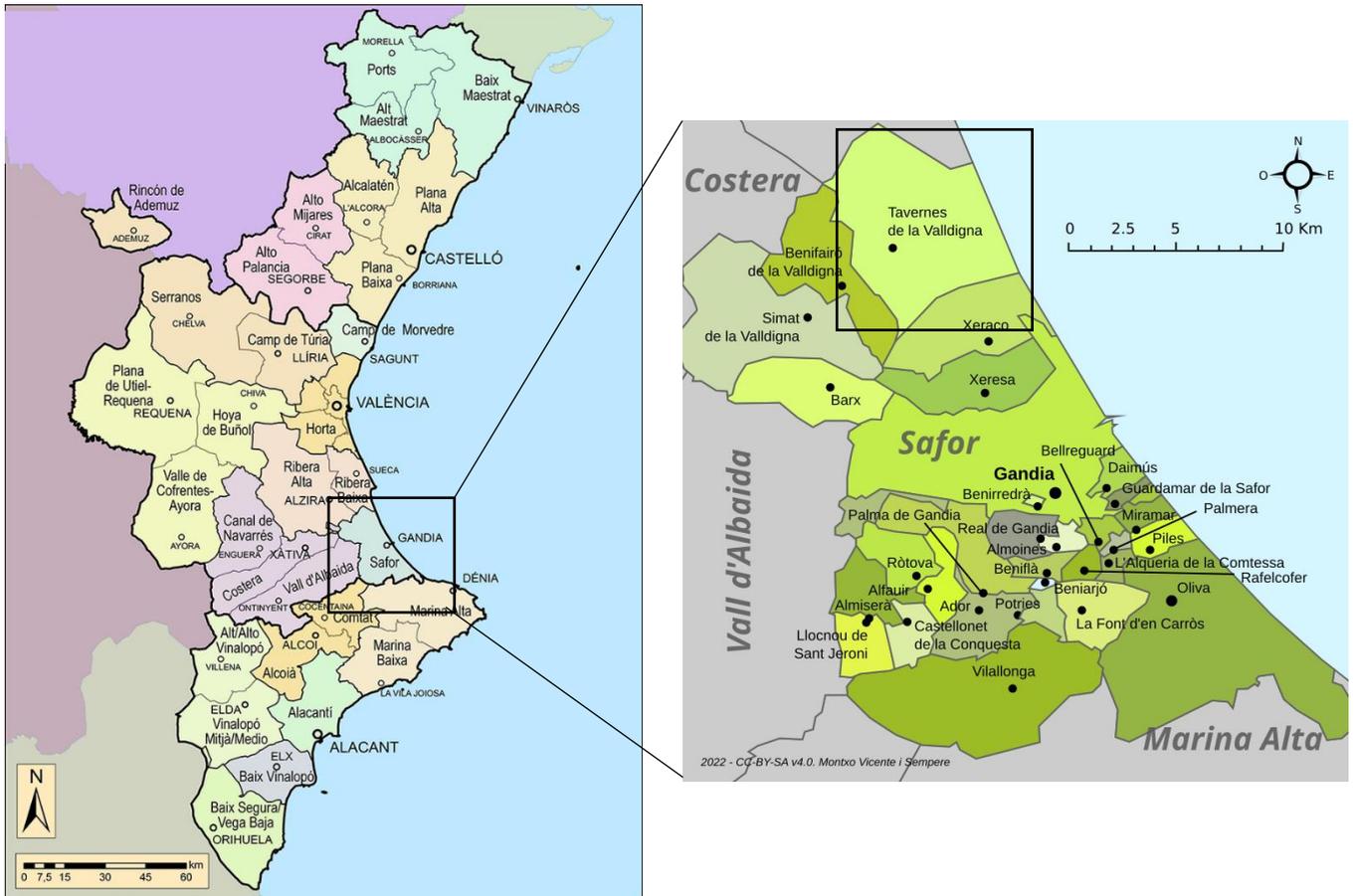


Figura 50: Ubicación de Tavernes de la Vallidigna en España y en Valencia.

Fuente: Google Earth

## 2.1 PLAYA DE TAVERNES DE LA VALLDIGNA

Tavernes de la Vallidigna es un municipio situado en la comarca de la Safor, en la provincia de Valencia, Comunidad Valenciana, España. La Playa de Tavernes se encuentra a 5 kilómetros del casco urbano de la localidad valenciana de Tavernes de la Vallidigna. El término municipal consta de 6 km de costa dividido en tres zonas: la conocida como playa de Tavernes, la playa de la Goleta y un canal que une ambas costas.

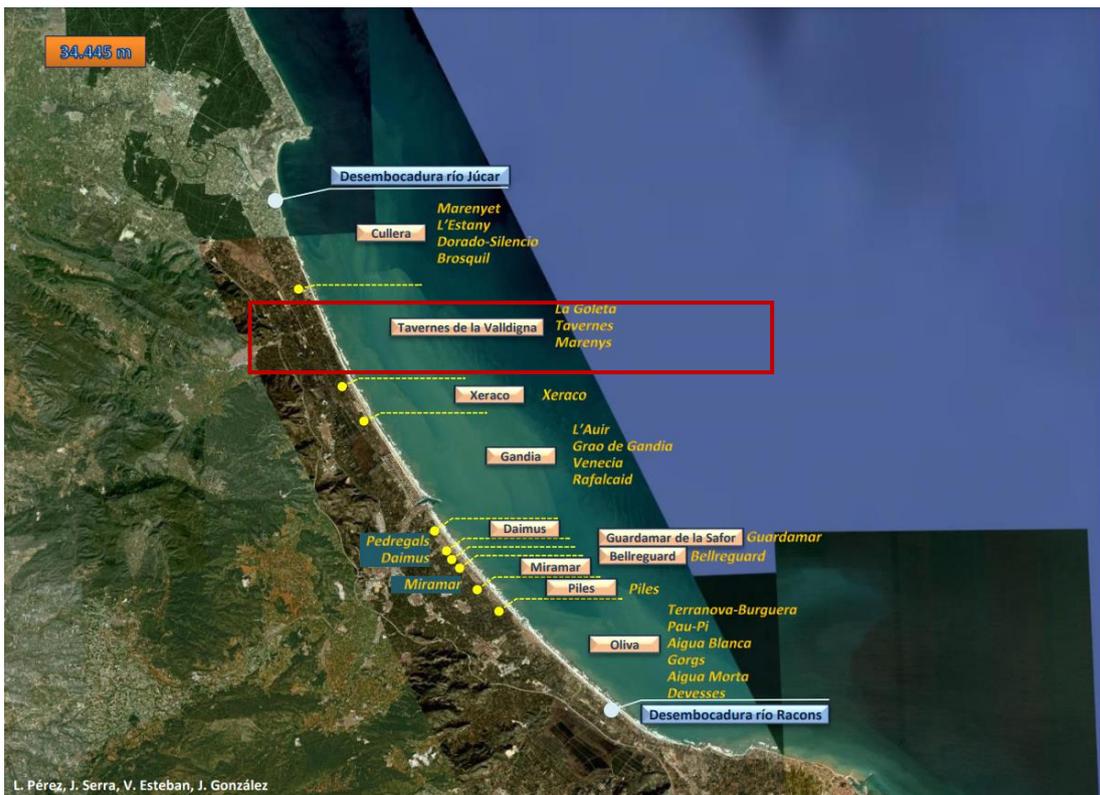


Figura 51: Ubicación de las playas desde la desembocadura río Júcar y el río Racons.

Fuente: L. Pérez, J. Serra, V. Esteban, J. González, 2004

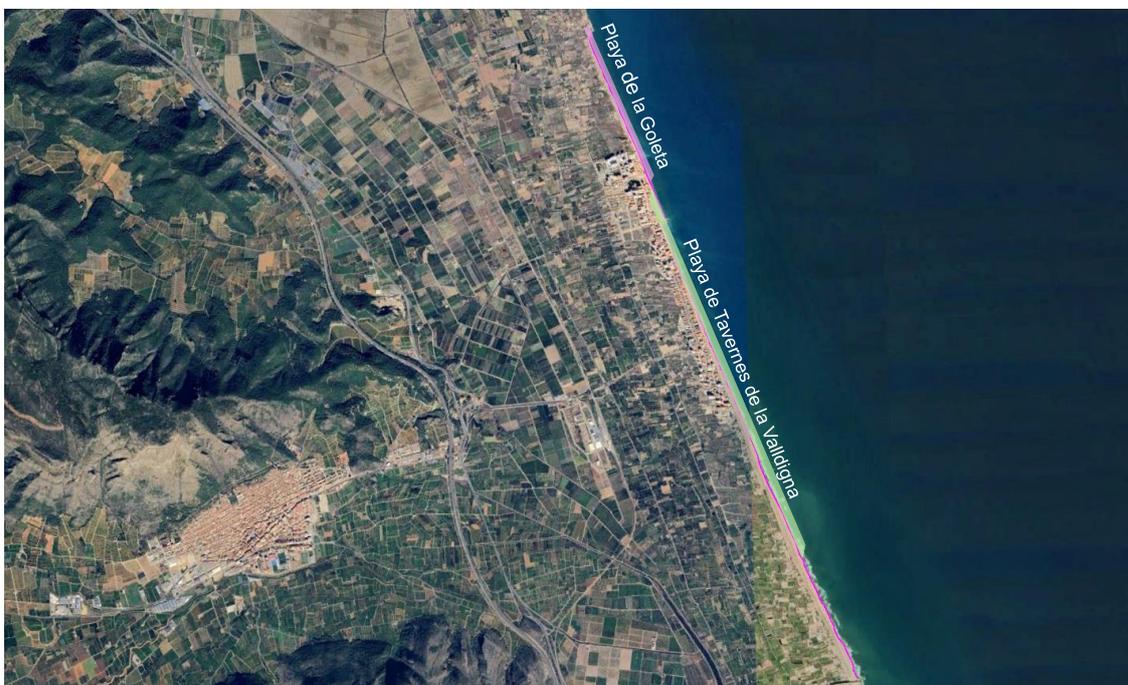


Figura 52: Áreas de actuación.

Fuente: Google Earth

La playa de Tavernes cuenta con aproximadamente dos kilómetros de litoral accesible, y está formada por arena fina y dorada y por un paseo marítimo, paralelo a la costa, que está rodeado de palmeras. Está limitada al norte por la acequia de Tavernes y se desarrolla por un frente urbanizado, con la particularidad de no existir cordón dunar ni paseo marítimo,

Por otro lado, la playa de la Goleta consta de 760 m de costa, también de arena dorada y fina, y en ella destaca el Parc del Llac, un área recreativa. Está limitada por las acequias de la Ratlla y Tavernes, se caracteriza por conservar el escarpe formado por un cordón dunar, diferenciándose de la playa inmediata al sur sin escarpe.

## 2.2 ACCESOS

La playa ofrece diferentes opciones para llegar a la misma, ya que la accesibilidad es un punto destacable. Tanto si se decide ir en vehículo privado como a pie, existiendo para cada medio un acceso adecuado.

Si se opta por acceder con vehículo personal, la carretera o vía que se puede utilizar la carretera CV-50, AP-7, CV-605 y A-38 si se viene desde Valencia o Gandía. Esta carretera conecta directamente con la playa y ofrece un acceso sencillo desde diferentes puntos de la región. Los accesos están claramente señalizados a lo largo de la carretera, lo que facilita su ubicación.

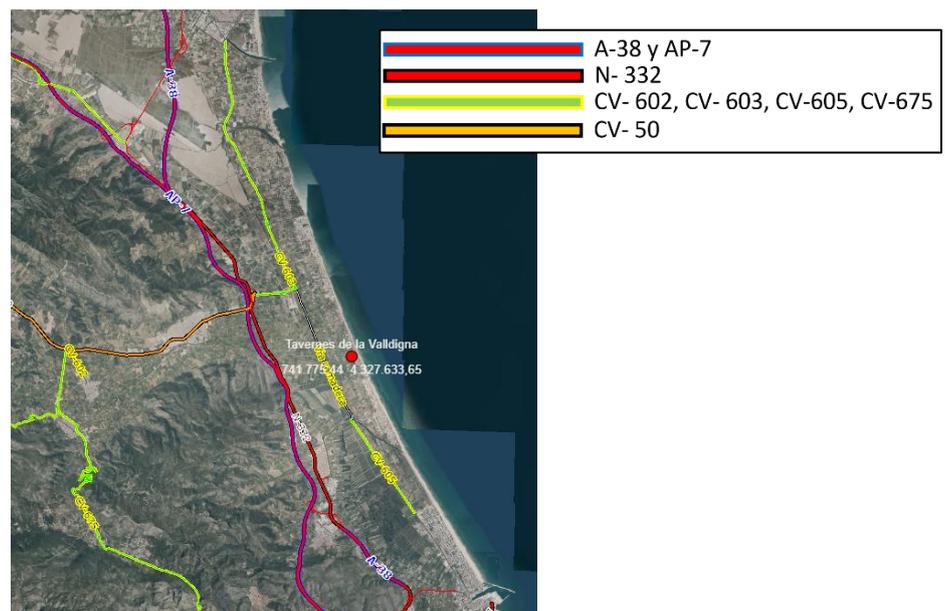


Figura 53: Mapa de accesos de la playa de Tavernes de la Valldigna.

Fuente: Visor GVA



Con una distancia de 60 km a la capital valenciana. La red de autobuses metropolitanos Metrobus proporciona servicios de transporte a Tavernes de la Valldigna. La línea que conecta Valencia con Tavernes de la Valldigna es la línea 55. Esta línea opera con una frecuencia regular y ofrece una opción adicional para aquellos que deseen viajar en autobús desde Valencia a la playa.

También se puede acceder mediante ferrocarril, a través de la línea C-1 de Cercanías Valencia. Existen senderos peatonales los cuales están correctamente señalizados, y brindan indicaciones claras para una llegada sin complicaciones.

### **2.3 IMPACTO SOCIAL Y ECONÓMICO**

Tavernes de la Valldigna, se encuentra en un entorno privilegiado, rodeado de montañas y con una extensa línea de costa que incluye la Playa de La Goleta, una de sus principales atracciones turísticas.

Es conocida por su ambiente familiar y por ser un lugar ideal para el descanso y el ocio. La playa cuenta con diversas instalaciones y servicios, como duchas, puestos de socorro, alquiler de sombrillas y hamacas, y una oferta variada de chiringuitos y restaurantes.

Durante el verano, la playa acoge diversos eventos y actividades culturales, deportivas y de ocio, que incrementan su atractivo turístico. Conciertos, mercados y competiciones deportivas son comunes en la temporada alta.

La Playa de La Goleta y Tavernes de la Valldigna tienen una gran importancia en el ámbito turístico, social y económico. La atracción de turistas genera beneficios económicos significativos y promueve el desarrollo de la localidad. Además, la interacción cultural contribuye positivamente a la calidad de vida de los residentes. Por todo ello, la Playa de La Goleta es un activo valioso para Tavernes de la Valldigna y su entorno (Turisme Tavernes Valldigna, 2024)

## **3. ANTECEDENTES**

Las playas de La Goleta y Tavernes, ubicadas en la costa mediterránea, han experimentado un problema de erosión costera debido a una combinación de factores naturales y humanos. Recientes noticias corroboran la magnitud de la erosión costera

en estas playas, lo que ha llevado a la necesidad de buscar soluciones efectivas para proteger la costa y mitigar los impactos negativos en la comunidad local.

Este fenómeno es atribuido a varias causas interrelacionadas (Serra, Chapapriá, 2022):

- **Efecto Barrera:** Las obras de abrigo del Puerto de Valencia y los sistemas de defensa al norte del frente de La Goleta interfieren con el transporte sólido litoral, impidiendo la llegada natural de sedimentos que podrían contrarrestar la erosión
- **Encauzamiento de Ríos:** Los cauces del Turia y Júcar, que desembocan en las cercanías, no aportan sedimentos suficientes debido a su represamiento y sobreexplotación.
- **Presión Urbanística:** La urbanización ha reducido significativamente la capacidad de recuperación natural de la playa, alterando el equilibrio sedimentario y aumentando la vulnerabilidad de la costa a la erosión.
- **Elevación del Nivel del Mar:** El cambio climático y el consecuente aumento del nivel medio del mar agravan la situación, haciendo que las olas alcancen y erosionen el primer cordón dunar, lo que lleva a una mayor recesión.

Existen numerosos estudios y proyectos, como la "Regeneración de la playa del Brosquil Sur y La Goleta" (código de expediente: 46-0347) y el "Estudio integral del frente litoral entre las desembocaduras del Júcar y del río Racons", que se han llevado a cabo para abordar este problema y que serán considerados en el desarrollo de este apartado.

La falta del aporte natural de áridos a las playas se debe fundamentalmente a los siguientes motivos: (Sánchez J., M. y Gómez F., C., 2023)

- La construcción en los años 50 y posterior ampliación en los años 80 de los espigones de encauzamiento de la desembocadura del río Júcar interrumpió la dinámica litoral, generando un déficit sedimentario en las playas situadas al sur. Este fenómeno provocó una onda erosiva sedimentaria que se ha propagado hacia el sur, llegando a alcanzar la playa de La Goleta.
- La construcción durante los años 50 y 60 de las distintas obras de regulación del cauce del río Júcar supuso una interrupción prácticamente total del aporte de sedimento externo a las playas por parte de este río, lo que impidió compensar los efectos perjudiciales provocados por la interrupción de la dinámica litoral mencionada anteriormente.

- La ocupación de las dunas, e incluso de la playa seca, en gran parte del tramo, principalmente por obras de infraestructuras como paseos marítimos, edificaciones y otros tipos de construcciones, también contribuyó a la falta de aporte de sedimentos a las playas.

Estos factores han contribuido a que, en la actualidad, este tramo de costa sea incapaz de resistir los temporales más intensos, provocando daños no solo en las playas, sino también en las infraestructuras, e incluso pudiendo suponer un riesgo para la población.

La urbanización en estas zonas ha agravado el problema de la erosión costera, representando un desafío crucial para la estabilidad de estas áreas costeras.

La urbanización en estas zonas ha resultado en la pérdida de sedimentos debido a la ocupación del escarpe de la playa. Aunque el volumen de sedimentos perdidos puede considerarse escaso en ciertos puntos, si extrapolamos este fenómeno al conjunto del litoral, representa un valor considerable. Además, la inmovilización de las arenas bajo las edificaciones impide su transporte natural a lo largo de la costa.

En la playa de La Goleta, podemos observar cómo el límite de la urbanización, representado por un muro vertical, se encuentra muy próximo a la línea de costa. Originalmente, las parcelas, incluidos los jardines, se situaban en una posición más retirada respecto a la coronación del escarpe. Sin embargo, el proceso regresivo de la playa ha provocado la desaparición de este escarpe, dejando el muro de la urbanización como el nuevo límite interior de la playa seca, lo que pone en riesgo la estabilidad de las edificaciones (Serra Peris, 2008).

La imagen muestra una vista aérea de la playa de la Goleta en Tavernes de la Valldigna, Valencia, España. Los edificios están muy cerca del borde del agua, lo que plantea la cuestión de si estas construcciones cumplen con la Ley de Costas en España.

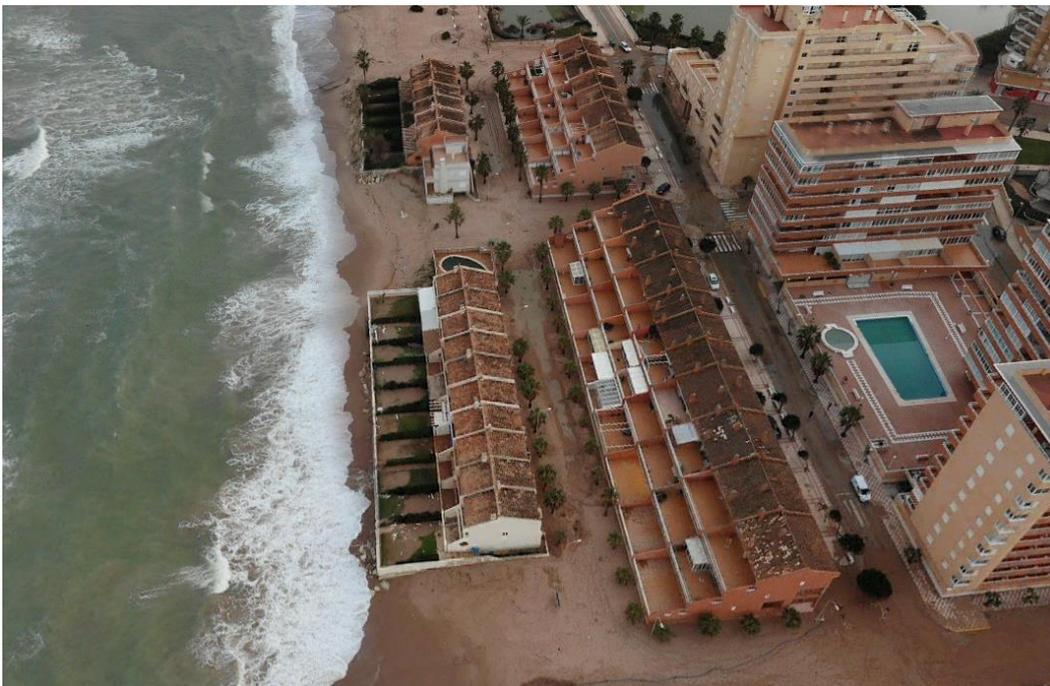
La **Ley de Costas** en España, regulada principalmente por la Ley 22/1988 y posteriormente modificada por la Ley 2/2013, tiene como objetivo proteger el dominio público marítimo-terrestre y garantizar el acceso libre y el uso público de las costas. Esta ley establece una serie de medidas para regular la construcción y el uso de las áreas costeras, incluyendo:

1. Límites del dominio público marítimo-terrestre:

- **Playa:** Se define como la zona de depósito de materiales sueltos, como arena y gravas, que son transportados por el mar. La playa y una franja de 100 metros tierra adentro (ampliable a 200 metros en zonas de especial protección) son consideradas dominio público.
- **Zona de servidumbre de protección:** Dentro de esta franja, se establece una servidumbre de protección, que limita las construcciones a 100 metros desde la línea de costa, aunque puede ser reducida a 20 metros en casos de suelo urbano consolidado antes de 1988.

## 2. Normativa sobre construcción:

- En la zona de servidumbre de protección, la construcción de nuevas edificaciones está muy restringida. Solo se permiten usos que no impliquen una transformación del estado natural del terreno, y las construcciones existentes deben cumplir con una serie de normativas específicas, que podrían incluir la demolición si no se ajustan a las regulaciones vigentes.



*Figura 54: Zonas crítica de la playa de la Goleta.*

*Fuente: Google Earth, enero 2020*



*Figura 55: Zonas crítica de la playa de la Goleta.*

*Fuente: Google Earth, enero 2020*

En la imagen, se observa que las edificaciones están prácticamente sobre la línea de costa, con muy poco espacio entre las estructuras y el agua. Este tipo de urbanización tan próxima a la costa sugiere que podría haber problemas con el cumplimiento de la Ley de Costas.

- **Retroceso de la línea de costa:** En casos donde la línea de costa ha retrocedido debido a la erosión o a otros factores, las edificaciones que antes podían estar en conformidad con la ley ahora pueden encontrarse dentro del dominio público marítimo-terrestre, lo que podría llevar a la revisión de su legalidad.
- **Impacto ambiental y protección del litoral:** La proximidad de los edificios al mar también plantea preocupaciones sobre el impacto ambiental, la vulnerabilidad a la erosión costera y la capacidad de recuperación de la playa en eventos extremos, como tormentas.

La situación de la playa de la Goleta en Tavernes de la Valldigna esté en conflicto con las disposiciones de la Ley de Costas, especialmente si consideramos la proximidad de las edificaciones al agua. Este tipo de desarrollo costero podría estar sujeto a revisiones legales, especialmente en contextos de erosión y retroceso de la línea de costa, que podrían obligar a la toma de medidas correctivas para proteger el dominio público y garantizar la sostenibilidad del litoral.



Figura 56: Zona crítica de estudio en planta.

Fuente: Google Earth, enero 2020

La Playa de Tavernes también enfrenta serios problemas de recesión. Se estima que el 87% de la costa de las playas de La Goleta y Tavernes se encuentra en recesión. Las causas de esta recesión son similares a las de La Goleta y se detallan a continuación:

- **Problemas Erosivos y Desequilibrios Sedimentarios:** La playa de Tavernes sufre de erosión constante y desequilibrios en el aporte y la retirada de sedimentos, lo que lleva a una disminución progresiva de la línea de costa.
- **Falta de Actuaciones Correctivas:** La ausencia de medidas efectivas para corregir estos problemas ha exacerbado la situación, contribuyendo a la pérdida continua de arena y la recesión de la playa

En la playa de Tavernes de la Valldigna, la urbanización se desarrolla directamente sobre el escarpe, sin la presencia de un paseo marítimo (Serra Peris, 2008).



Figura 57: Sotamar de la acequia de Tavernes.

Fuente: Google Earth

El retroceso de la línea de costa ha expuesto ciertos tramos de estudio a los impactos de los temporales, siendo las zonas con mayor problema aquellas donde la fuerte erosión coincide con una alta urbanización. A continuación, se presentan algunas imágenes que muestran los efectos de los temporales ocurridos en la costa de Valencia en los últimos años, especialmente frente a la zona de urbanizaciones ubicadas al sur del tramo de costa estudiado.



*Figura 58: Tramo de playa sin apenas arena para la contención del mar frente a las viviendas en Tavernes de la Valldigna la región de La Safor (Valencia).*

*Fuente: EcoAvant, 2022*



Figura 59: Tramo de la playa de Tavernes. Fuente: Sos platja Tavernes, diciembre 2022



Figura 60: La playa de la Goleta de Tavernes de la Valldigna, con el agua llegando a los muros de los edificios.

Fuente: Levante, 2023



Figura 61: Estado de la playa de La Goleta de Tavernes de la Valldigna.

Fuente: Elperiodic, 2020



Figura 62: Temporal 2023 en la playa de Tavernes.

Fuente: Valenciaplaza, 2023

### 3.1 SITUACIÓN ACTUAL

A continuación, se presenta un reportaje fotográfico propio, realizado el 24 de junio de 2024 a las 13:00 horas.

En la Figura 63 se muestra la planta de la playa de la Goleta, en el que se indica, en orden, la ubicación de cada una de las fotografías tomadas, para facilitar la comprensión y el entendimiento del lector.



Figura 63: Zonas críticas de la playa de la Goleta.

Fuente: Google Earth





Figura 64: Zonas 1, 2 y 3 críticas de la playa de la Goleta.

Fuente: Elaboración propia





Figura 65: Zonas 4 y 5 de la playa de la Goleta.

Fuente: Elaboración propia



Figura 66: Zonas críticas de la playa de Tavernes.

Fuente: Google Earth





Figura 67: Zonas 1, 2, 3 y 4 de la playa de Tavernes.

Fuente: Elaboración propia

#### 4. FUENTE DE DATOS

Una vez se ha identificado la zona de estudio, se ha de proceder a la obtención de los datos del subsistema físico y natural, que incluye el estudio del clima, datos del oleaje, la evolución de la línea de costa, el cambio climático, la cota de inundación, la batimetría, el estudio geológico, geotécnico, etc.

Para la extracción de los datos del oleaje, se recurre a la web de Puertos del Estado y escogiendo la fuente que mejor se adapte. Los datos que se necesitan obtener son las series temporales del oleaje. Para ello, se cuenta con dos tipos distintos de datos en la web de Puertos del Estado:

- Puntos SIMAR: Se trata de una fuente de datos sintética, es decir, los resultados de aplicar métodos numéricos a las cartas meteorológicas. El objetivo es ofrecer series temporales más extensas en el tiempo, actualizadas diariamente y con una distribución espacial más detallada. De este modo, el conjunto SIMAR ofrece información desde 1958 hasta la actualidad.
- Datos instrumentales: que se tratan de medidas directas o indirectas obtenidas a través de instrumentos de medición que se encuentran en una posición fija. Es el caso de la Red Costera de Puertos del Estado (REDCOS). El conjunto de datos REDCOS está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas Costeras de Puertos del Estado. Las boyas de esta red se caracterizan por estar ubicadas en las proximidades de instalaciones portuarias, estando fondeadas a menos de 100 m de profundidad.



- Datos REDMAR: Las fuentes de datos necesarias para establecer los regímenes de nivel de mar en la zona de estudio pertenecen a la Red de Mareógrafos REDMAR. A partir de ellos se caracteriza la magnitud de la marea astronómica (variación del nivel debida a la acción gravitatoria del Sol y la Luna, componente determinista) y de la marea meteorológica (variación del nivel debida a la acción de la presión y el viento, componente aleatoria).

Para el estudio del clima se accede a:

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): <https://www.aemet.es>.

Para el estudio de la evolución de la línea de costa tanto actual como histórica se accede a:

- El Visor Cartográfico de la Generalitat Valenciana (VISOR GVA): <https://visor.gva.es>.
- Google Earth: <https://www.google.com/earth/>.

Los datos relacionados con el cambio climático se han obtenido del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC): <https://www.ipcc.ch>.

Todos los estudios geológicos, geomorfológicos o geotécnicos se han obtenido a través de los archivos descargables del Instituto Geológico y Minero de España (IGME): <https://www.igme.es>.

La batimetría se ha obtenido gracias al archivo público del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO): <https://www.miteco.gob.es> , y a Navionics: <https://www.navionics.com>.



## ANEJO N°4

# BATIMETRÍA



## **INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>115</b>
<b>2. CLIMATOLOGÍA .....</b>	<b>115</b>
<b>3. BATIMETRÍA.....</b>	<b>116</b>
3.1 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA ZONA DE ESTUDIO .....	118
3.1.1 EVOLUCIÓN TEMPORAL 1956-2010 (HISTORIA) .....	118
3.1.2 ESCENARIOS DE RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA .....	125
3.2 DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE (DPMT).....	127

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene como objetivo analizar la batimetría de la zona de estudio, específicamente en la Playa de Tavernes de la Valldigna, situada en la Comunidad Valenciana. La batimetría, que se refiere a la medición de la profundidad del agua, El presente anejo tiene como objetivo analizar la batimetría de la zona de estudio, específicamente en la Playa de Tavernes de la Valldigna, situada en la Comunidad Valenciana. La batimetría, que se refiere a la medición de la profundidad del agua.

En este apartado, se describirán las metodologías utilizadas para la recolección y el análisis de los datos batimétricos, así como las fuentes de información empleadas, incluyendo la capa de datos del Visor Cartográfico de la Comunidad Valenciana y los archivos públicos proporcionados por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). Además, se presentará la batimetría detallada de la zona, que incluye datos de profundidades de hasta 40 metros, esenciales para la correcta ubicación y dimensionamiento de las estructuras propuestas.

Este estudio batimétrico es fundamental para comprender las características morfológicas del fondo marino en la zona de intervención, lo cual influye directamente en la estabilidad y eficacia de las soluciones de protección costera planteadas. Asimismo, la información obtenida servirá para realizar simulaciones y modelos que permitan prever el comportamiento de las estructuras bajo distintas condiciones marítimas.

## 2. CLIMATOLOGÍA

En cuanto al clima de la zona, es importante destacar que la Agencia estatal de Meteorología (AEMET) analizó que la precipitación media anual alcanza los 536.6 mm. Entre los datos significativos de precipitación máxima diaria registrada en los principales observatorios durante el año 2023, destaca Valencia con 86.0 mm.

El año 2023 se caracterizó por un clima entre normal y seco en la mayor parte de la Península Ibérica. En cuanto a las temperaturas, se registró una máxima diaria extrema de 44.5°C en Valencia el 10 de agosto. La temperatura media anual de las máximas más alta registrada en Valencia durante el año 2023 fue de 24.8°C.

### 3. BATIMETRÍA

La batimetría es un dato clave al iniciar un proyecto de cualquier obra marítima, ya que permite obtener una representación detallada del fondo marino, entendiendo la morfología de la zona, base para realizar el diseño de una construcción en el lugar.

Para conocer el clima en la zona de la actuación es imprescindible el conocimiento de la forma del fondo marino, esto es: la batimetría. Para conocerla, primero se ha optado por emplear las siguientes fuentes de información. En primer lugar, para un conocimiento genérico de la zona de actuación se ha empleado el software Navionics, que aporta información acerca del entorno regional tal y como se observa en la Figura 68:

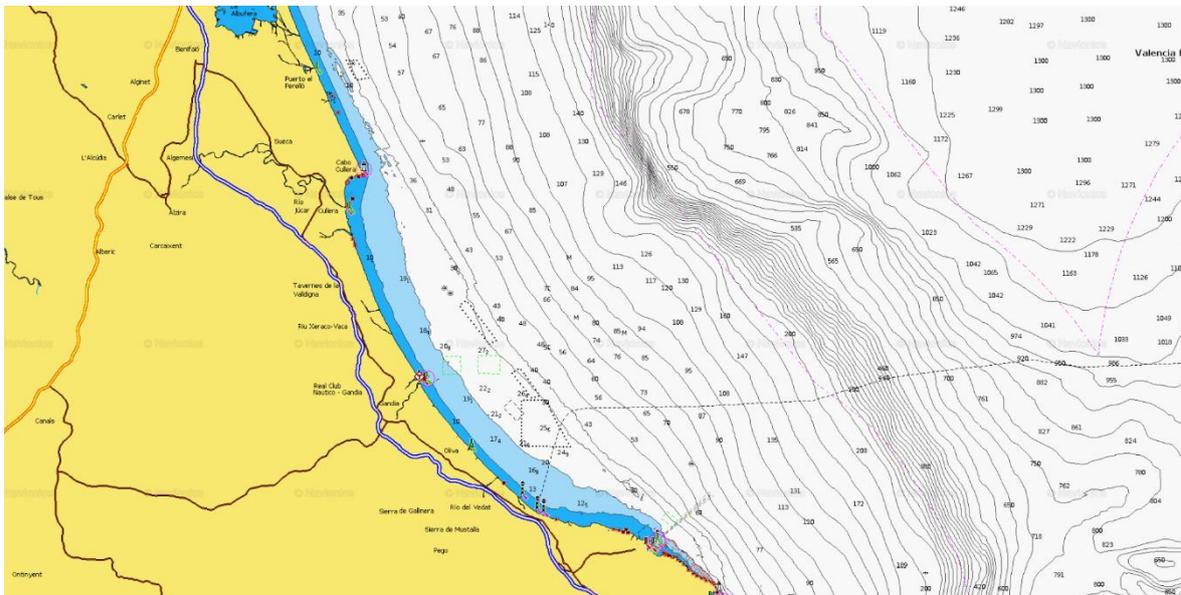


Figura 68: Batimetría

Fuente: Navionics

De la batimetría anterior se aprecian pendientes suaves cerca de la costa donde la batimetría pasa de ser 0 a alcanzar los 140 metros a una distancia de 30 kilómetros de la línea de costa. A partir de esta distancia, las líneas batimétricas se juntan pasando de profundidades de 140 a 500 metros en apenas 4,5 kilómetros de longitud.

En segundo lugar, empleando la capa de datos del Visor cartográfico de la Comunidad Valenciana aplicada en el software Google Earth, que incorpora datos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), se obtiene la batimetría en la

zona de la Playa de Tavernes de la Valldigna, con datos que alcanzan hasta 40 metros de profundidad.

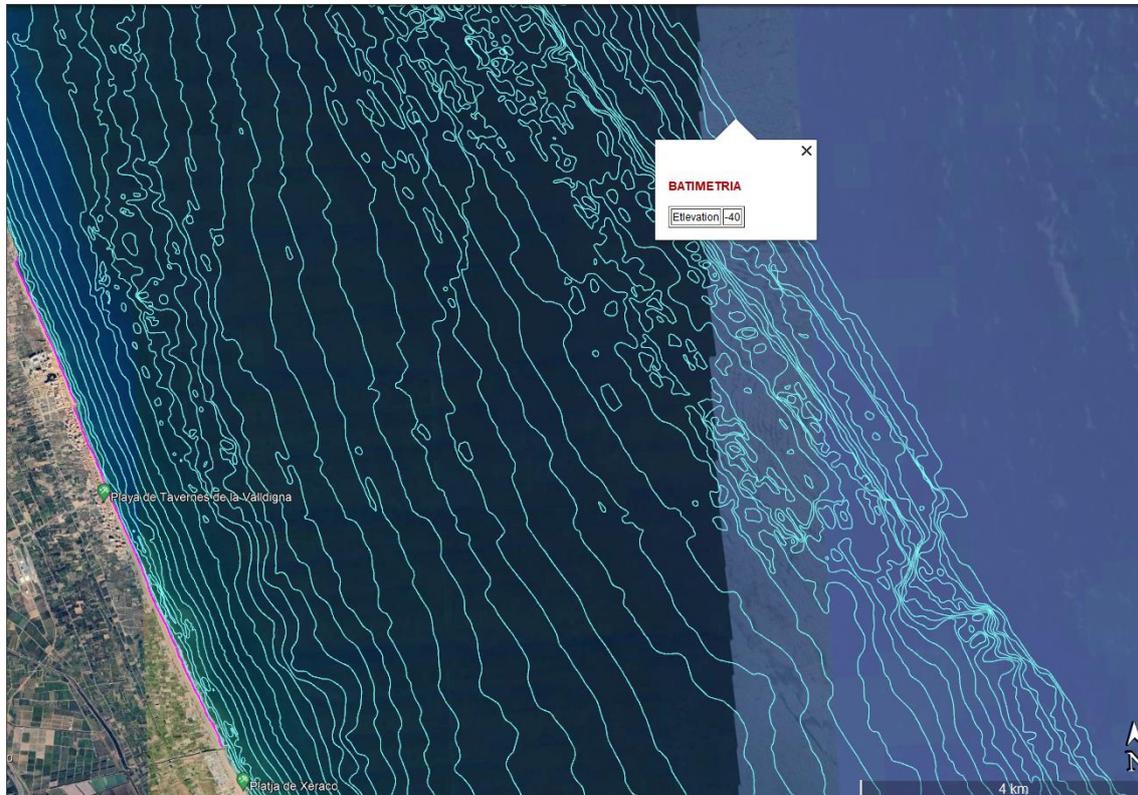


Figura 69: Batimetría en la playa de Tavernes de la Valldigna.

Fuente: Google Earth

Se muestra a continuación en la Figura 70 la ficha técnica proporcionada por el MITECO a través de su estudio ecocartográfico (2007) que proporciona datos sobre la pendiente de la playa de Tavernes de la Valldigna y sobre las dimensiones exactas de la misma:

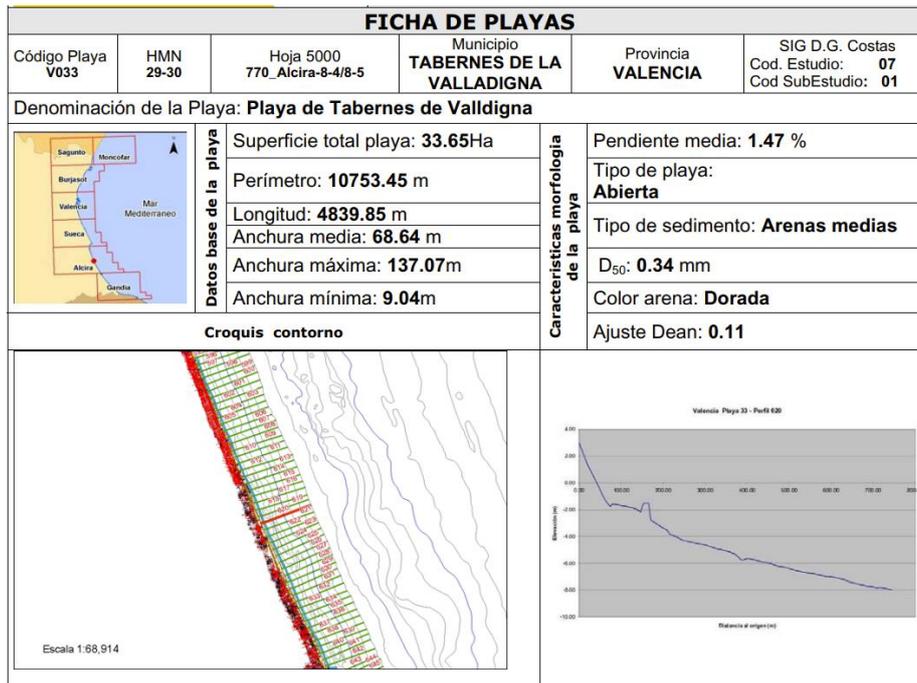


Figura 70: Ficha técnica playa Tavernes de la Vallidigna.

Fuente: MITECO, 2007

### 3.1 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA ZONA DE ESTUDIO

La línea de costa, conforme la conocemos actualmente, es el resultado de la acción modeladora del oleaje, las corrientes y las mareas; por otro lado la línea de costa no es una línea rígida e inmutable, las características del oleaje (dirección, altura y periodo), unido a otros condicionantes como obstáculos a la costa que modifican las condiciones de abordaje al litoral del oleaje, dan como resultado las formas en planta que conocemos, formas en planta que están sometidas a efectos de basculamientos, anuales o hiperanuales, que dan como resultado que la línea de costa oscile, cambie de posición, a lo largo del año medio (Serra Peris, s.f.).

#### 3.1.1 EVOLUCIÓN TEMPORAL 1956-2010 (HISTORIA)

La evolución temporal de la línea de costa de las playas de La Goleta y Tavernes de la Vallidigna entre los años 1956 y 2024 revela cambios significativos. En 1956, estas playas presentaban una configuración costera relativamente estable y extensa. Sin embargo, a lo largo de las décadas, diversos factores, tanto naturales como antropogénicos, han influido en la erosión y modificación de la línea de costa.

Mediante un análisis fotogramétrico se observarán los cambios producidos en la playa de Tavernes a lo largo del tiempo. El periodo de estudio abarca desde 1956 hasta 2024, lo cual proporciona un marco temporal válido y suficiente para este análisis.

A continuación, se presenta una serie de fotografías que ilustran la recesión de las playas de Tavernes a lo largo de los años. Gracias al visor GVA, es posible observar las ortofotos del año 1956 y comparar la evolución de la línea de costa hasta la actualidad.

En la ortofoto inferior, la línea roja marca la línea de costa en 2024 de la playa de La Goleta. Se puede observar claramente que en 1956 no existía la acequia de la Ratlla, que actualmente divide los municipios de Cullera, Tavernes y Xeraco.



Figura 71: Ortofoto 1956 de la playa de la Goleta.

Fuente: Visor GVA

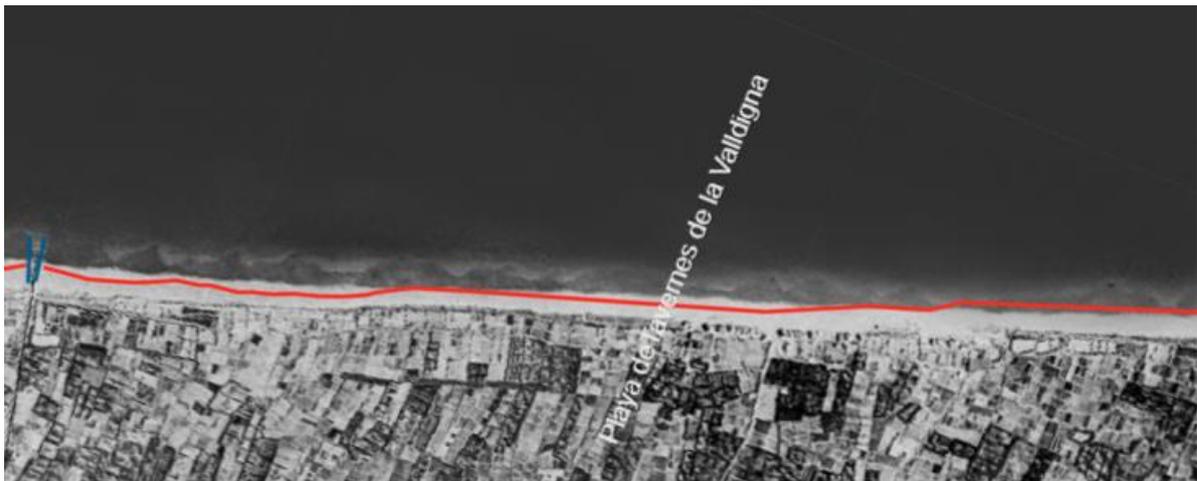


Figura 72: Ortofoto 1956 de la playa de Tavernes.

Fuente: Visor GVA

En el año 2000, como bien se puede observar ya hay presencia de la acequia de la Ratlla y la construcción de las edificaciones cercanas a la línea de la costa.

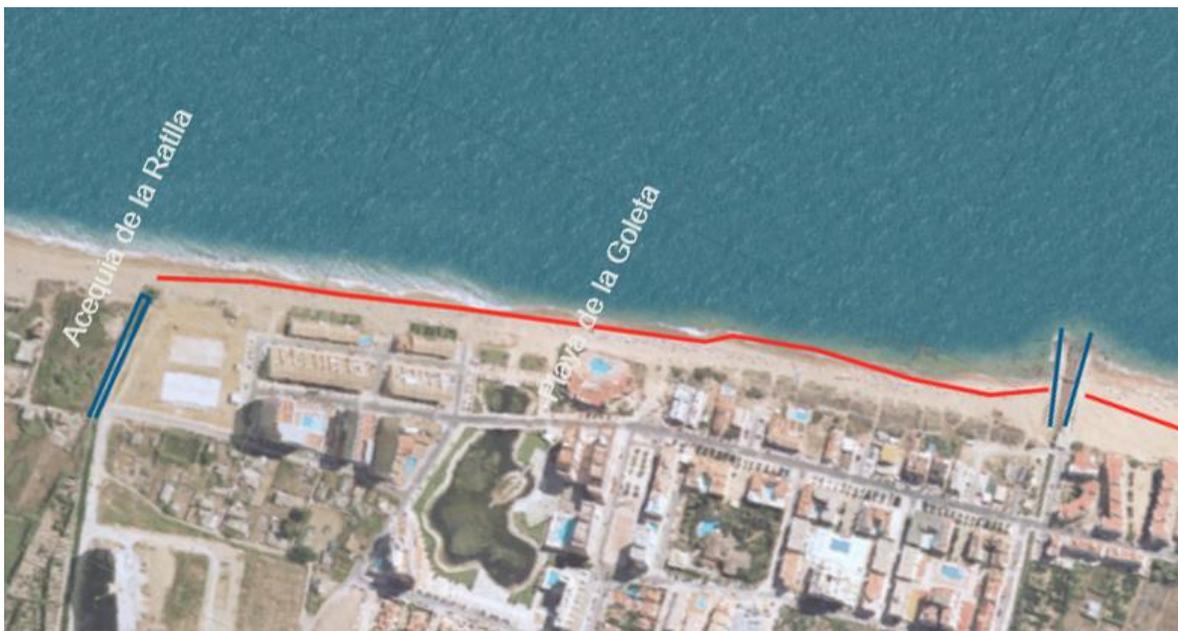


Figura 73: Ortofoto 2000 de la playa de la Goleta.

Fuente: Visor GVA

En el año 2000, la playa de Tavernes aún mantenía una considerable estabilidad y una mayor extensión de la línea costera en comparación con periodos anteriores. No obstante, a medida que se avanza hacia el año 2024, se observa una reducción del

ancho de playa seca, lo que refleja los efectos acumulativos de la erosión costera y posiblemente la influencia de intervenciones humanas en el litoral.



Figura 74: Ortofoto 2000 de la playa de Tavernes.

Fuente: Visor GVA

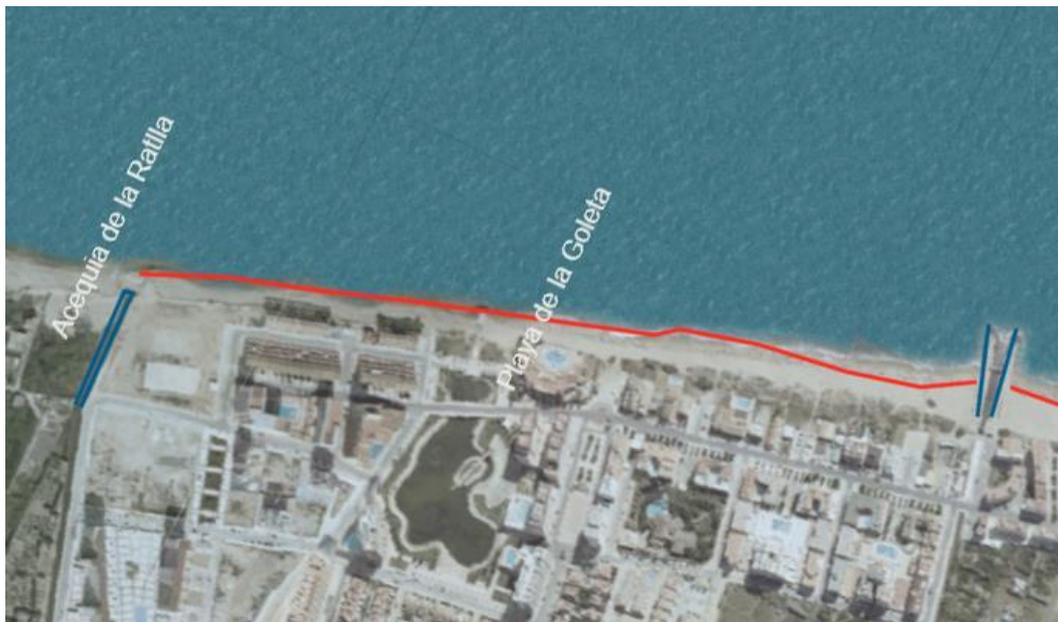


Figura 75: Ortofoto 2004 de la playa de la Goleta.

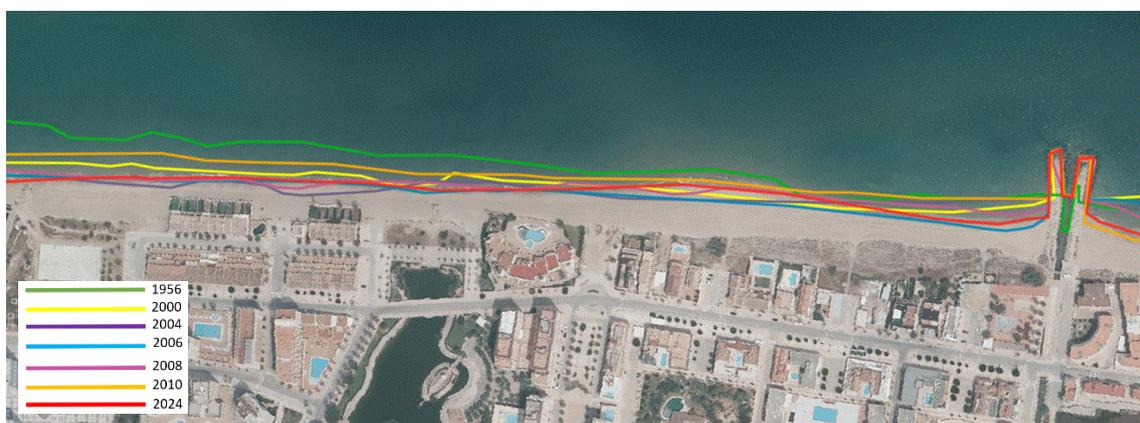
Fuente: Visor GVA



Figura 76: Ortofoto 2004 de la playa de Tavernes.

Fuente: Visor GVA

En resumen, durante los años 2000, 2004, 2006, 2008 y 2010 se observa una evolución significativa de la línea de costa de las playas de Tavernes, marcada por un continuo retroceso de la línea de costa. En particular, en 1956, la costa se encontraba más avanzada hacia el mar en comparación con los años posteriores. Desde el año 2000 se puede apreciar un retroceso progresivo de la línea de costa, siendo más pronunciado en el año 2024, donde la línea de costa se muestra claramente más adentrada en la playa. Los mayores cambios se observan entre los años 1956 y 2024, destacando un retroceso continuo de la línea de costa a lo largo de estas décadas. El cambio más significativo parece ocurrir en el período entre 2000 y 2024, con un retroceso notable en el año 2024, lo que refleja el impacto creciente de la presión urbanística y otros factores en la configuración de la costa (Figura 77).



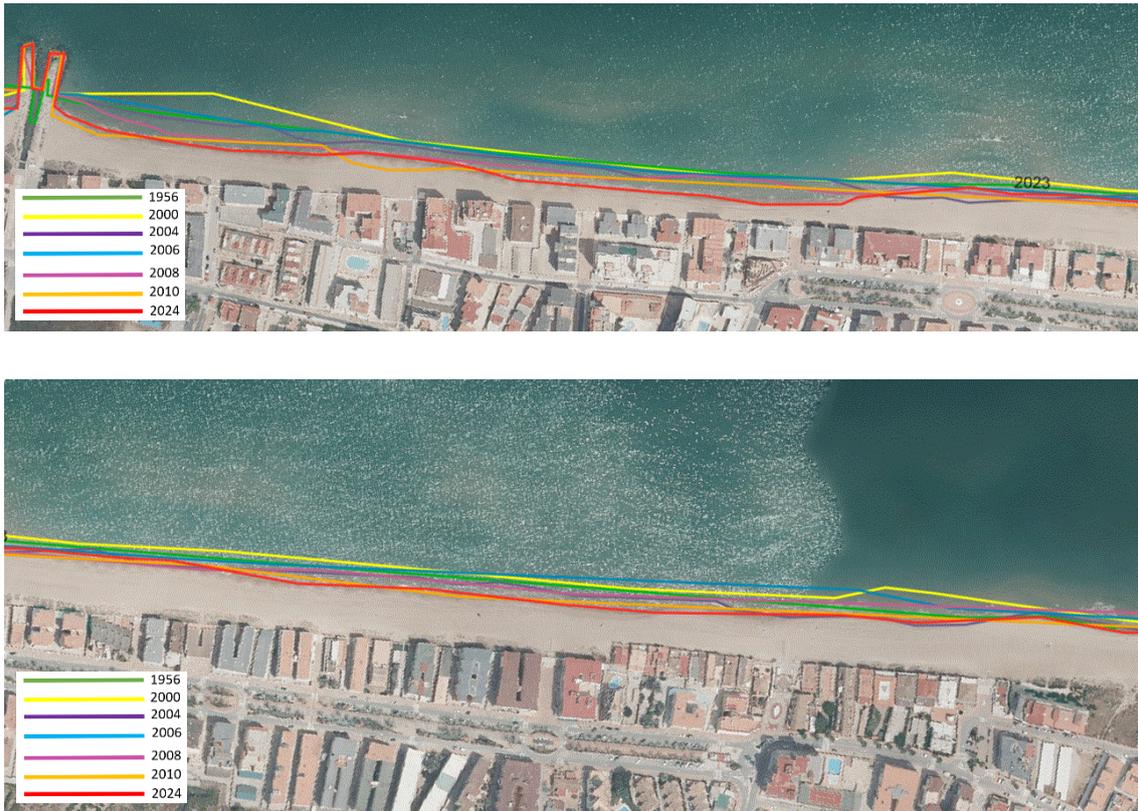


Figura 77: Línea de costa playa de Goleta y Tavernes de los años 1956-2024.

Fuente: Google Earth

Al realizar la comparación con las imágenes correspondientes a los años 2011, 2014, 2017, 2019 y 2024, se puede observar la evolución de la línea de costa a lo largo de estos años, seleccionando estas fechas por la disponibilidad de datos históricos y actuales fiables. En la primera imagen, correspondiente a la zona izquierda, se aprecia un claro retroceso de la línea de costa desde 2011 hasta 2024, con un avance más significativo del agua hacia la playa en los años más recientes. En particular, la línea roja de 2024 indica un retroceso mayor en comparación con los otros años, destacando la vulnerabilidad de esta zona a la erosión costera.

En la segunda imagen, que cubre la zona media, se observa un patrón similar, donde la línea de costa de 2011 se encuentra más avanzada hacia el mar, mientras que en 2024 la línea roja muestra un retroceso más marcado, especialmente en comparación con 2017 y 2019, lo que sugiere un incremento en la erosión o en la pérdida de sedimento.

Por último, en la tercera imagen, correspondiente a la zona derecha, se evidencia nuevamente un retroceso continuo desde 2011 hasta 2024. En este tramo, la

comparación entre las líneas de 2019 y 2024 muestra un retroceso menos abrupto en algunos sectores, pero la tendencia general sigue siendo de una pérdida de playa.

El estudio de la línea de costa es fundamental en cualquier tipo de estudio de ámbito costero ya que, a través de su evolución temporal, se pueden deducir los grandes acontecimientos que han influenciado en la zona de estudio y cómo ha variado su tendencia desde entonces. En este caso, se observa claramente una tendencia hacia el retroceso de la línea de costa, lo que refleja la influencia de la erosión costera y posiblemente la falta de aportes sedimentarios suficientes para mantener la estabilidad de la playa.

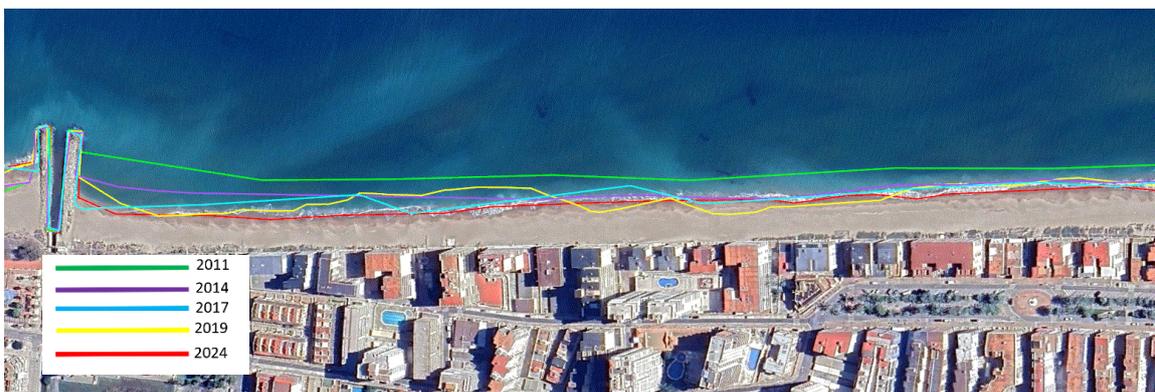




Figura 78: Línea de costa playa de Goleta y Tavernes de los años 2011-2024.

Fuente: Google Earth

### 3.1.2 ESCENARIOS DE RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA

Se va a analizar los diversos escenarios de la línea de costa de la zona de estudio, considerando diversas combinaciones de factores climáticos y probabilidades, realizado por la Dirección General del Cambio Climático, todos estos datos se van a extraer del visor de la GVA para tener así datos más actuales.

Antes de indicar los diferentes escenarios, se definirá según IPCC el término SSP y dos de sus rutas SSP4.5 y SSP8.5.

"Shared Socioeconomic Pathways" (SSP), o "Trayectorias Socioeconómicas Compartidas", como escenarios para analizar el impacto potencial del cambio climático bajo diferentes circunstancias socioeconómicas futuras. Estos escenarios ayudan a los investigadores a evaluar cómo las futuras condiciones sociales, económicas y demográficas pueden influir en la vulnerabilidad al cambio climático y la capacidad de mitigación y adaptación.

SSP2-4.5: Se trata de un escenario "intermedio". Las emisiones de CO<sub>2</sub> rondan los niveles actuales antes de empezar a descender a mediados de siglo, pero no llegan al cero neto hasta 2100. Los factores socioeconómicos siguen sus tendencias históricas, sin cambios notables. El progreso hacia la sostenibilidad es lento, y el desarrollo y la renta crecen de forma desigual. En este escenario, las temperaturas aumentan 2,7 grados a finales de siglo.

SSP5-8.5: Este es un futuro que hay que evitar a toda costa. Los niveles actuales de emisiones de CO<sub>2</sub> se duplican aproximadamente en 2050. La economía mundial crece rápidamente, pero se alimenta de la explotación de los combustibles fósiles y de estilos de

vida que consumen mucha energía. Para el año 2100, la temperatura media mundial ha subido 4,4 grados.

- Escenario 1: Año 2050 + SSP4.5. + retroceso percentil 50
- Escenario 2: Año 2050 + SSP4.5. + retroceso percentil 95
- Escenario 3: Año 2100 + SSP4.5. + retroceso percentil 50
- Escenario 4: Año 2100 + SSP4.5. + retroceso percentil 95
- Escenario 5: Año 2100 + SSP8.5. + retroceso percentil 50
- Escenario 6: Año 2100 + SSP8.5. + retroceso percentil 95

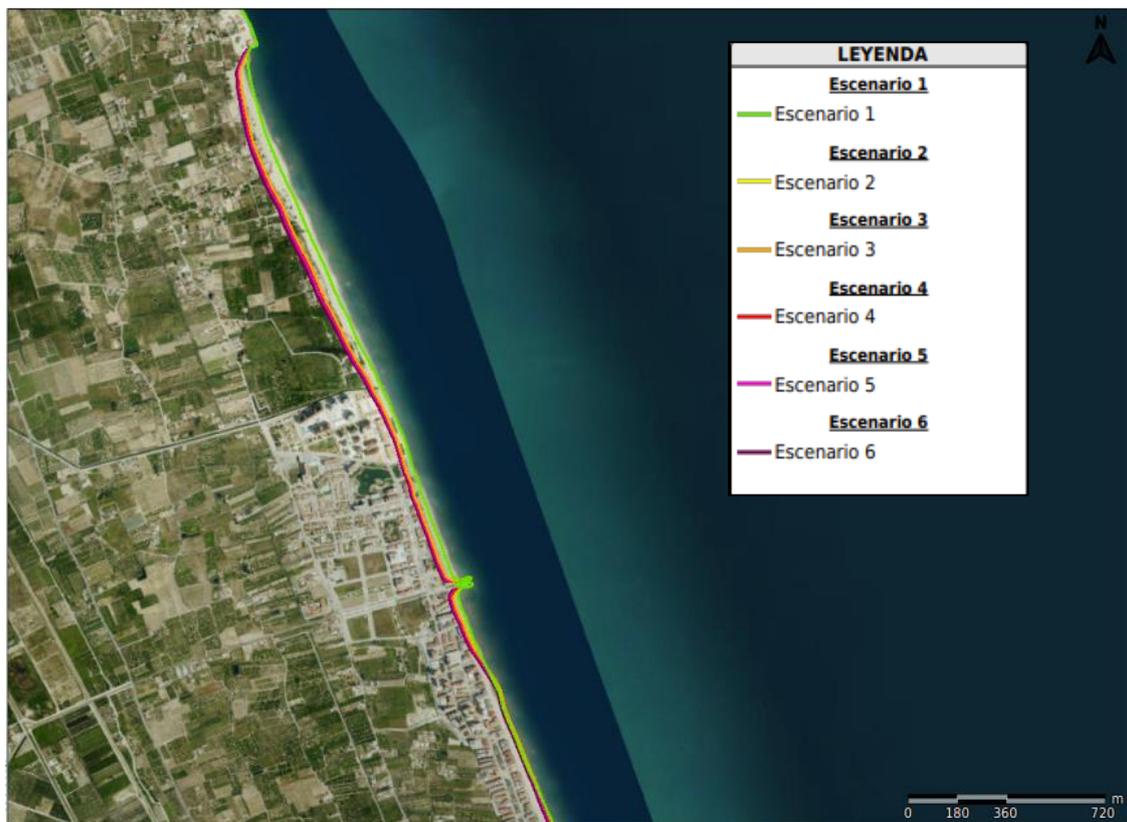


Figura 79: Escenarios de retroceso de la línea de costa de la playa Goleta.

Fuente: visor GVA

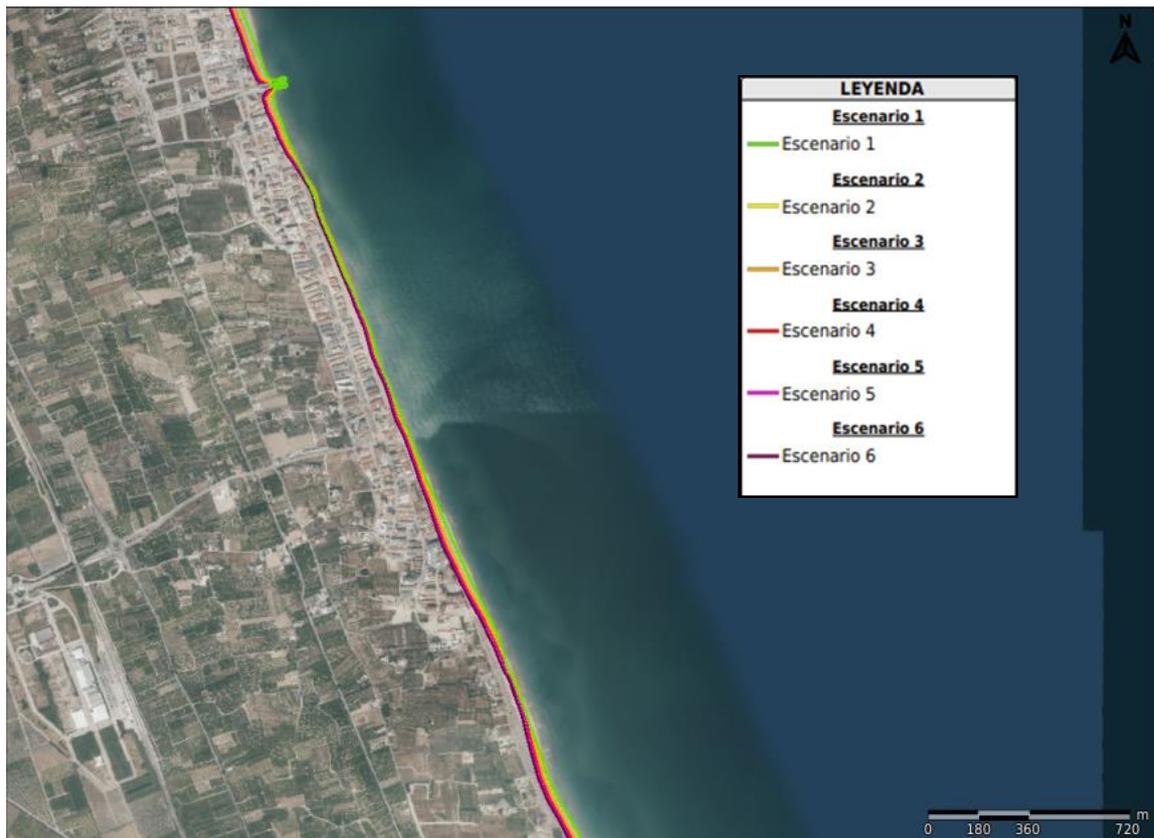


Figura 80: Escenarios de retroceso de la línea de costa de la playa de Tavernes.

Fuente: visor GVA

### 3.2 DOMINIO PÚBLICO MARÍTIMO TERRESTRE (DPMT)

De acuerdo con la Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (BOE núm. 129, de 30 de mayo de 2013), el dominio público marítimo-terrestre abarca el mar territorial, las aguas interiores, los recursos naturales de la zona económica exclusiva y de la plataforma continental, así como las playas y costas hasta el alcance de los mayores temporales conocidos. Para cualquier actuación propuesta en el litoral, es esencial conocer la línea de deslinde del dominio público marítimo-terrestre. En la Figura 81 se muestra las líneas del dominio público marítimo-terrestre de la zona de estudio:

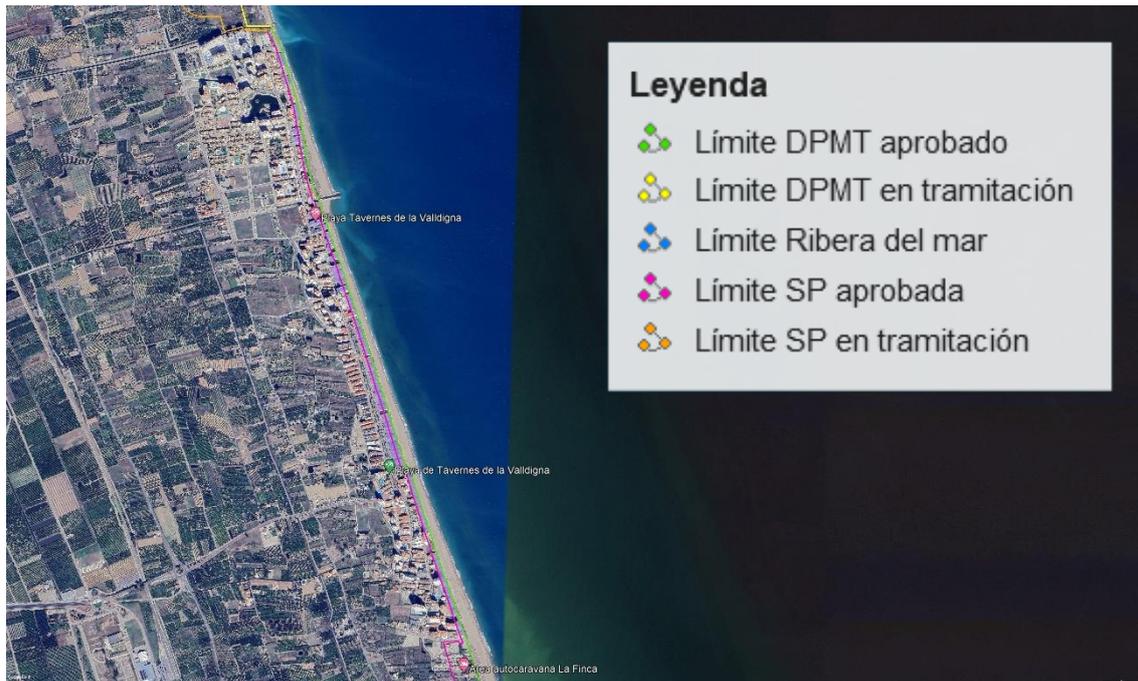


Figura 81: Dominio público marítimo-terrestre.

Fuente: Google Earth

En la playa de la Goleta no existe una ocupación significativa del Dominio Público Marítimo-Terrestre, excepto por la instalación de desagüe de la urbanización Lago Azul. Sin embargo, hay edificaciones en la servidumbre de protección y algunas sobre el cordón dunar (marcado en lila). Esta playa ha respetado en gran medida el cordón dunar natural, salvo en su extremo norte, donde algunas construcciones adosadas se encuentran sobre este cordón y ya han sido afectadas por la acción del oleaje.



Figura 82: DPMT de la playa de la Goleta.

Fuente: Google Earth

La playa de Tavernes tiene una ocupación completa del cordón dunar que conforma el escarpe. La presión urbanística ha sido intensa, resultando en la ocupación total del frente litoral, sin dejar espacio para un paseo marítimo. Esta playa sufre de erosión debido a la insuficiente alimentación sedimentaria, y en situaciones de temporal, el oleaje puede alcanzar y poner en peligro las edificaciones.

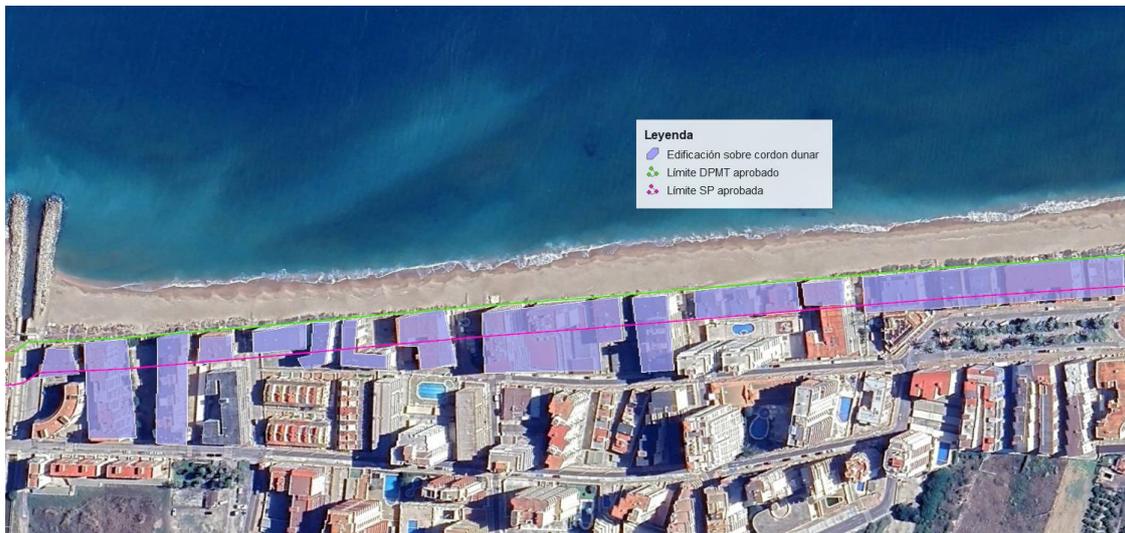


Figura 83: DPMT de la playa de Tavernes.

Fuente: Google Earth



Figura 84: DPMT de la playa de Tavernes.

Fuente: Google Earth

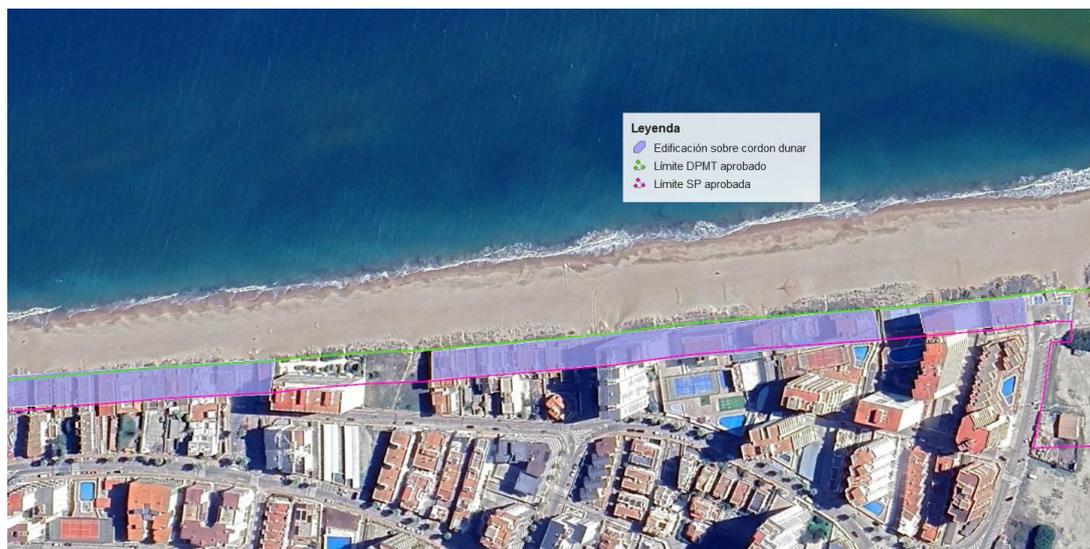


Figura 85: DPMT de la playa de Tavernes.

Fuente: Google Earth

En la playa dels Marenys, no hay ocupación del Dominio Público Marítimo-Terrestre, pero sí de la servidumbre de protección. La ocupación urbanística en esta playa se desarrolla en esta servidumbre, pero el cordón dunar se mantiene relativamente libre de infraestructuras litorales.

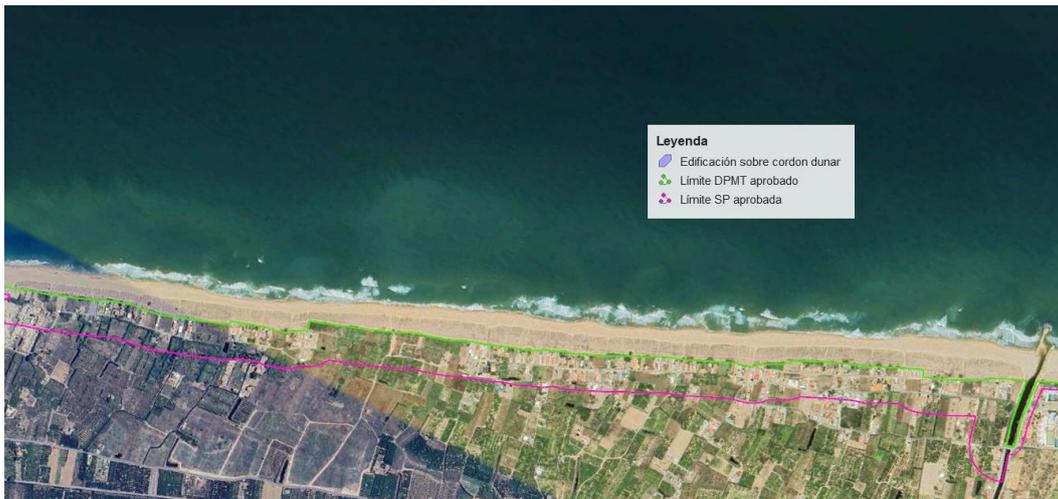


Figura 86: DPMT de la playa del Marenys

Fuente: Google Earth

En resumen, mientras que la playa de la Goleta ha mantenido en gran medida su cordón dunar, la playa de Tavernes enfrenta una ocupación total del mismo, lo que agrava los problemas de erosión. La playa dels Marenys, aunque con ocupación en la servidumbre de protección, mantiene su cordón dunar relativamente intacto, con propuestas para ordenar los accesos y proteger este entorno natural.



ANEJO N°5

**ESTUDIO GEOTÉCNICO,  
GEOMORFOLÓGICO Y GEOLÓGICO**



## **INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>134</b>
<b>2. GEOLOGÍA .....</b>	<b>134</b>
<b>3. GEOTECNIA .....</b>	<b>135</b>
<b>4. GEOMORFOLOGÍA .....</b>	<b>138</b>
4.1 CONTEXTUALIZAR EL TRAMO .....	138
4.2 CLASIFICACIÓN DE LA COSTA Y CARACTERIZACIÓN DE LA COSTA .....	141
4.2.1 MORFOLOGÍA SUBMARINA.....	143



## 1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se analiza la geología, geotecnia y morfología del emplazamiento, con el objetivo fundamental de establecer las características de los suelos submarinos que albergarán este estudio. Primero se analizará la geología para posteriormente realizar un buen análisis geotécnico. Al ser una playa, es posible prever el tipo de geología, pero se realizará un estudio detallado. La geotecnia se considera la evolución hacia la ingeniería civil de la geología, proporcionando datos cualitativos y cuantitativos para ejecutar las obras según el terreno. El propósito es evaluar la factibilidad de la obra en relación con el entorno físico, utilizando mapas geológicos y geotécnicos elaborados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 1973), así como estudios morfológicos del terreno realizados 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 770 (29-30) que se corresponde con la localidad de Alzira, muestra los datos geológicos de la zona de estudio.

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

- 47 DUNA SUBFÓSILES. Arenas doradas
- 54 DUNAS RECIENTES. Arenas
- 57 PLAYA. Arenas

Se muestra a continuación un extracto del mapa geológico focalizado en la zona de estudio:

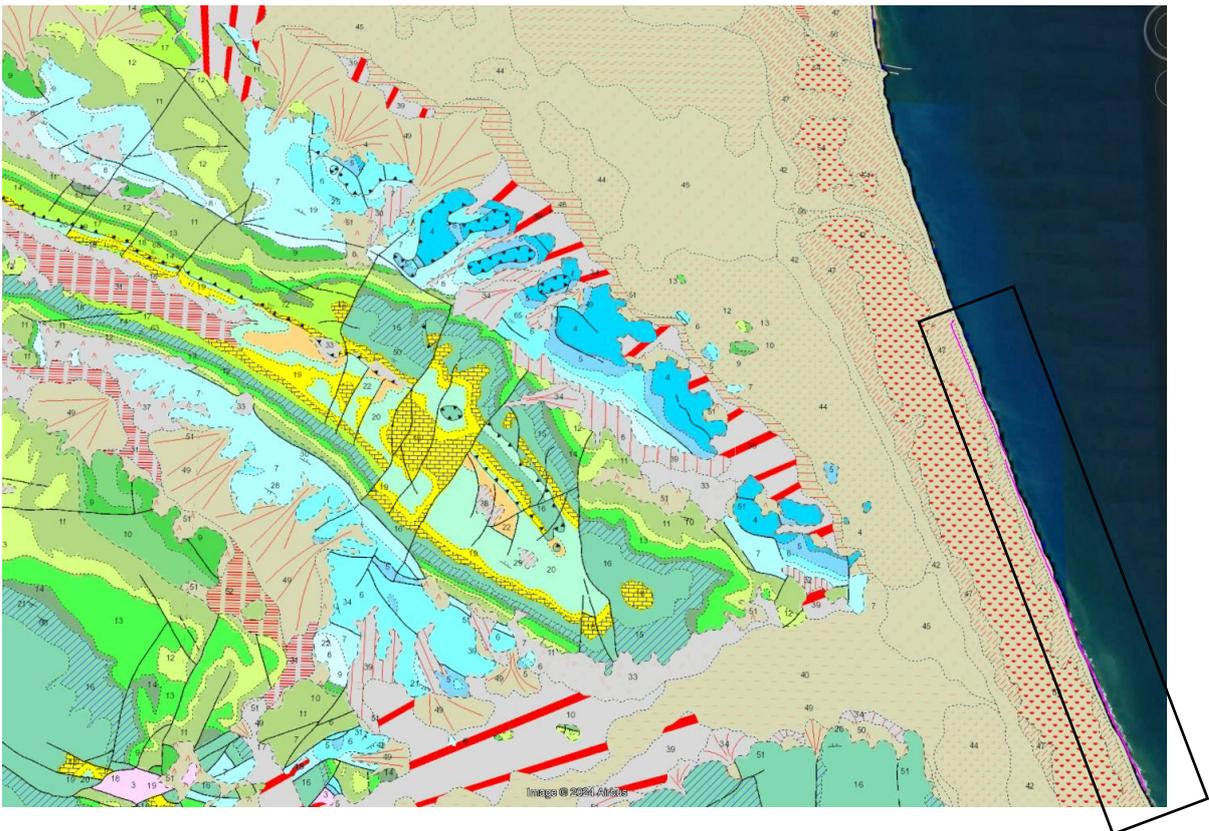


Figura 87: Extracto del MAGNA en la zona de estudio.  
Fuente: IGME, 1973.

CUATERNARIO	HOLOCENO		57	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43	42	41	40		
			39	38	37	36	35	34	33	32	31											
	PLEISTOCENO	SUPERIOR																				
		MEDIO																				

57 PLAYA. Arenas  
 56 ALUVIAL. Arenas y limos  
 55 ALUVIAL-COLUVIAL. Arenas y cantos subangulosos  
 54 DUNAS RECIENTES. Arenas  
 53 PLAYA DE GLACIS. Arcillas marrones  
 52 LIMOS DE INUNDACIÓN. Limos arenosos  
 51 COLUVIÓN RECIENTE. Arcillas y cantos angulosos  
 50 CAUCE ABANDONADO. Limos arenosos  
 49 CONO DE DEYECCIÓN RECIENTE. Arcillas rojas con cantos subredondeados  
 48 DERRAME DE GLACIS. Limos pardos  
 47 DUNA SUBFÓSILES. Arenas doradas  
 46 LIMOS PARDOS OSCUROS. Limos orgánicos  
 45 LIMOS GRISES DE ALBUFERA. Limos orgánicos  
 44 TURBA

Figura 88: Leyenda del mapa geológico.  
Fuente: IGME, 1973

### 3. GEOTECNIA

La geotecnia es la disciplina que aborda el estudio de las propiedades y comportamiento de los suelos y rocas en el contexto de la ingeniería y la construcción. En la zona de estudio correspondiente con la playa de Tavernes de la Valldigna, según el Mapa de

propiedades Geotécnicas elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) se trata de una zona con capacidad de carga baja y asentamientos medios a corto plazo. Según la memoria elaborada para este mismo mapa por el IGME (memoria mapa geotécnico, IGME – 1973), esta zona formada por el cordón litoral constituido por playas y dunas de arena fina.

La litología del área se compone principalmente de arenas finas de playa, que muestran una gran uniformidad. Se observa en su curva granulométrica la influencia del viento en su transporte y deposición. La morfología del terreno es relativamente simple, caracterizada por un suave montículo formado por el cordón de dunas. Los materiales presentan una permeabilidad notable y un buen drenaje superficial, aunque naturalmente cuentan con un nivel freático somero. Debido a estas características, la capacidad de carga del suelo es baja. A pesar de ello, la zona está densamente edificada, con una gran cantidad de construcciones turísticas que se extienden desde Valencia hasta Gandía

Se muestra a continuación un extracto del mapa geotécnico focalizado en la zona de estudio:

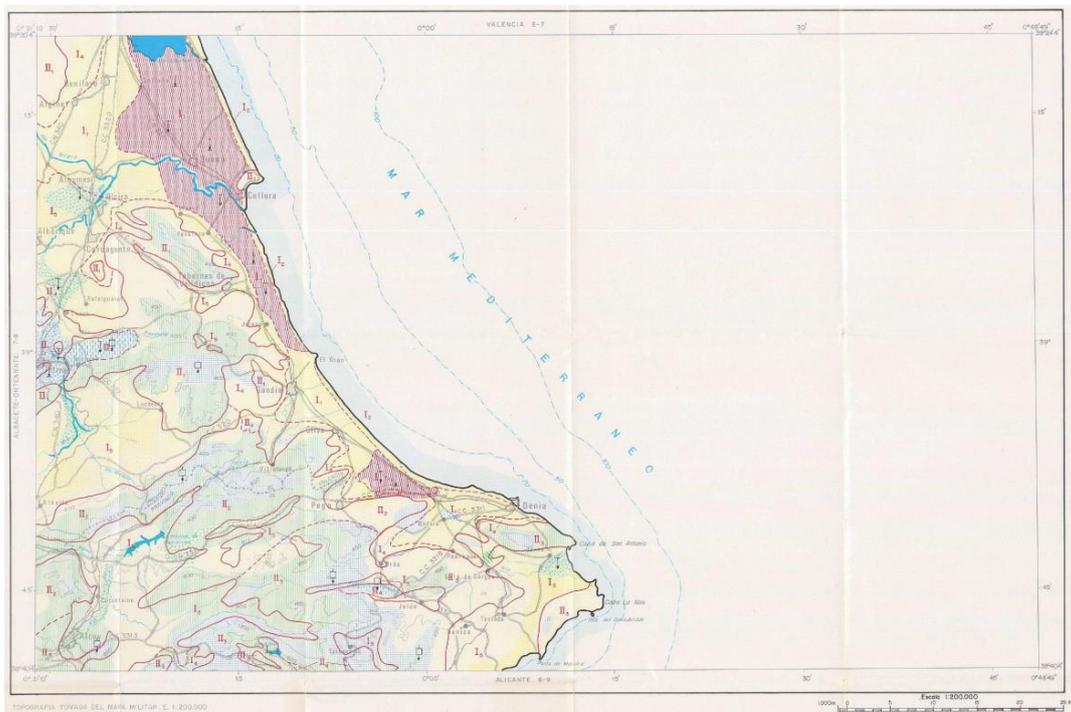


Figura 89: Mapa Geotécnico general.  
Fuente: IGME, 1973.

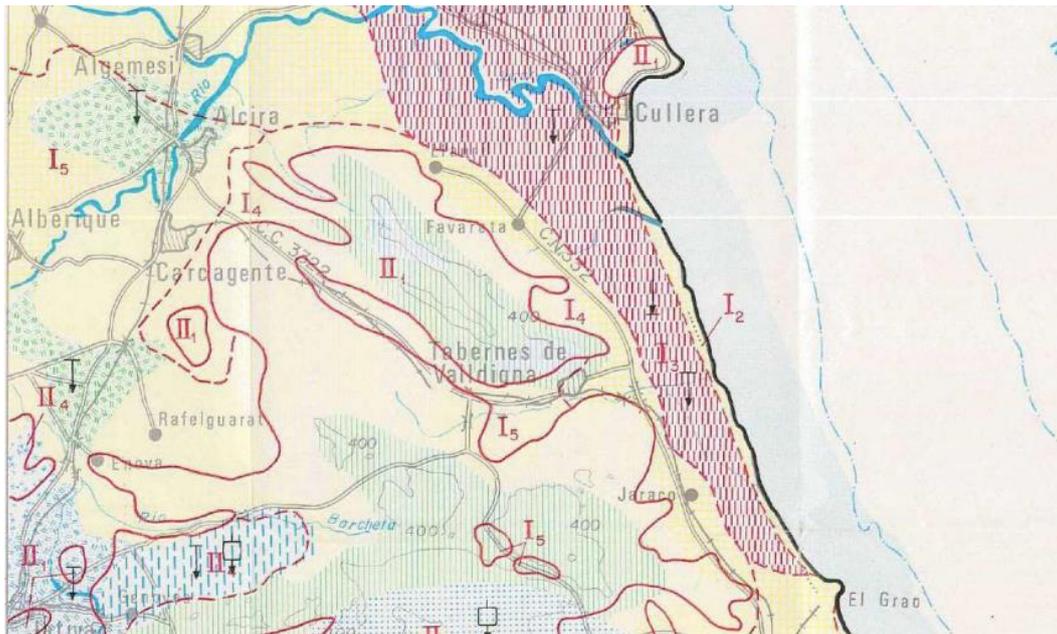


Figura 90: Mapa geotécnico en detalle de la zona.  
Fuente: IGME, 1973.

CRITERIOS DE CLASIFICACION										
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS	PROBLEMAS "TIPO" EXISTENTES	CONCURRENCIA DE 2 PROBLEMAS "TIPO"			CONCURRENCIA DE 3 PROBLEMAS "TIPO"		CONCURRENCIA DE 4 PROBLEMAS "TIPO"		PROBLEMAS GEOTECNICOS	NOTACION
Muy Favorables	Litológicos	Litológicos y Geomorfológicos	Geomorfológicos e Hidrológicos	Litológicos, Geomorfológicos e Hidrológicos					De Capacidad de Carga	↓
Favorables	Geomorfológicos	Litológicos e Hidrológicos	Geomorfológicos y Geotécnicos	Litológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (p.d.)			Litológicos, Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)		De Asientos	↓
Aceptables	Hidrológicos	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)					Geotécnicos Varios	↓
Desfavorables	Geotécnicos (p.d.)			Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)						
Muy Desfavorables										

Figura 91: Criterios de clasificación.  
Fuente: IGME, 1973.

LEYENDA			
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS FAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES
<p>Zonas sin problemas específicos o apenas Problemas muy localizados de tipo Hidrológico, Geotécnico y Litológico.</p>	<p>Problemas de tipo Litológico.</p>	<p>Problemas de tipo Geomorfológico.</p>	<p>Problemas de tipo Litológico, Geotécnicos e Hidrológicos</p>
<p>Problemas de tipo Geomorfológico.</p>	<p>Problemas de tipo Geomorfológico.</p>	<p>Problemas de tipo Geomorfológico y Geotécnico.</p>	
<p>Problemas de tipo Hidrológico.</p>	<p>Problemas de tipo Hidrológico y Geotécnico.</p>	<p>Problemas de tipo Geotécnico e Hidrológico.</p>	
<p>Problemas de tipo Hidrológico y Geomorfológico.</p>	<p>Problemas de tipo Hidrológico y Geomorfológico.</p>	<p>Problemas de tipo Litológico y Geotécnico.</p>	
		<p>Problemas de tipo Litológico, Geomorfológico y Geotécnico.</p>	

Figura 92: Leyenda del mapa geotécnico.  
Fuente: IGME, 1973.

## 4. GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología litoral estudia las formas del relieve propias de las zonas costeras como barras, flechas, albuferas, entre otros, así como también procesos de erosión y sedimentación costera.

La geomorfología como condicionante de la evolución morfológica de la línea de costa hasta alcanzar su configuración actual y su afección en el funcionamiento dinámico del frente costero.

### 4.1 CONTEXTUALIZAR EL TRAMO

Al analizar un tramo de costa, es importante clasificarlo dentro de las unidades y subunidades morfodinámicas. Esto nos proporciona información sobre quién o qué factores pueden impactar o representar riesgos para dicho tramo de costa, y en caso de intervenir, a quién afectaría.

El primer paso consiste en ubicar la playa dentro de la unidad y subunidad morfodinámica correspondiente, pues, estos dos términos se definen a continuación (Serra Peris, s.f.).

Definimos como Unidad Morfodinámica el tramo de costa limitado por barreras totales al transporte, define aquel tramo sobre el que cualquier actuación sobre las condiciones de contorno del medio costero puede afectar al equilibrio del mismo a corto, medio o largo plazo; en el caso de que las barreras totales sean naturales (Cabos, acantilados, deltas, ...) diremos que la unidad es natural, y en el caso de que al menos una de las barreras sea artificial (obras de abrigo, espigones, ...) diremos que la unidad es artificial ((Serra Peris, s.f.).

Definimos como Subunidad Morfodinámica el tramo limitado por barreras parciales o totales, y define tramos litorales sobre los que cualquier actuación sobre las condiciones de contorno del medio costero, puede afectar al equilibrio del mismo a corto o medio plazo, como en el caso anterior si las barreras son naturales la subunidad es natural, y si al menos una barrera es artificial la subunidad es artificial. Las subunidades pueden clasificarse como de Primer Orden cuando el efecto es a corto medio plazo y de Segundo Orden cuando el efecto es a corto plazo (Serra Peris, s.f.).

La playa de Tavernes de la Valldigna se encuentra en la unidad morfodinámica natural denominado “Ovalo Valenciano”, o más conocido como Golfo de Valencia. Y a su vez se encuentra en el tramo limitado por el Cabo de Cullera y el Cabo de San Antonio. Y al introducir las barreras artificiales, la costa queda dividida en tres unidades morfodinámicas (UMA).



Figura 93: Unidades y subunidades entre el río Genia y el cabo de San Antonio

Fuente: Serra Peris, s.f.

Por lo tanto, la playa se encuentra en UMA Cullera, tramo limitado por las obras de abrigo del Puerto de Valencia y el Cabo de San Antonio. La dinámica litoral es norte-sur, con la particularidad que, en el extremo sur, la costa de Denia, la dinámica puede definirse como nula, la orientación del frente litoral en este tramo así lo provoca.

Se recoge la subdivisión de cada unidad, en subunidades de primer orden, y en según el caso, de segundo orden. En este caso, la playa se encuentra en SMA 1er orden Gandía, tramo de costa limitado por el Cabo de Cullera y el Cabo de San Antonio y particularmente singular, por las obras y la presión urbanística, como por la escasa, o nula, capacidad de transporte en el tramo final. Y a su vez, se encuentra en SMA 2º orden Tavernes limitada por el cabo de Cullera y la obra portuaria del puerto de Gandía.

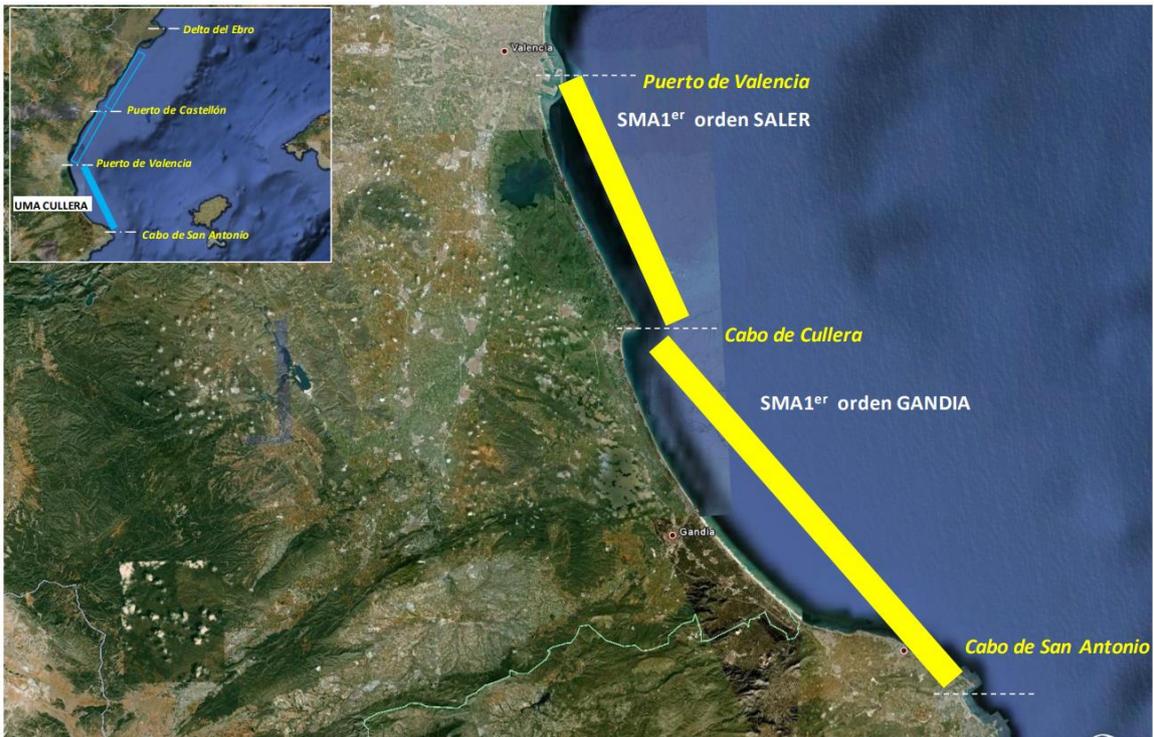


Figura 94: Subunidades UMA Cullera

Fuente: Serra Peris, s.f.

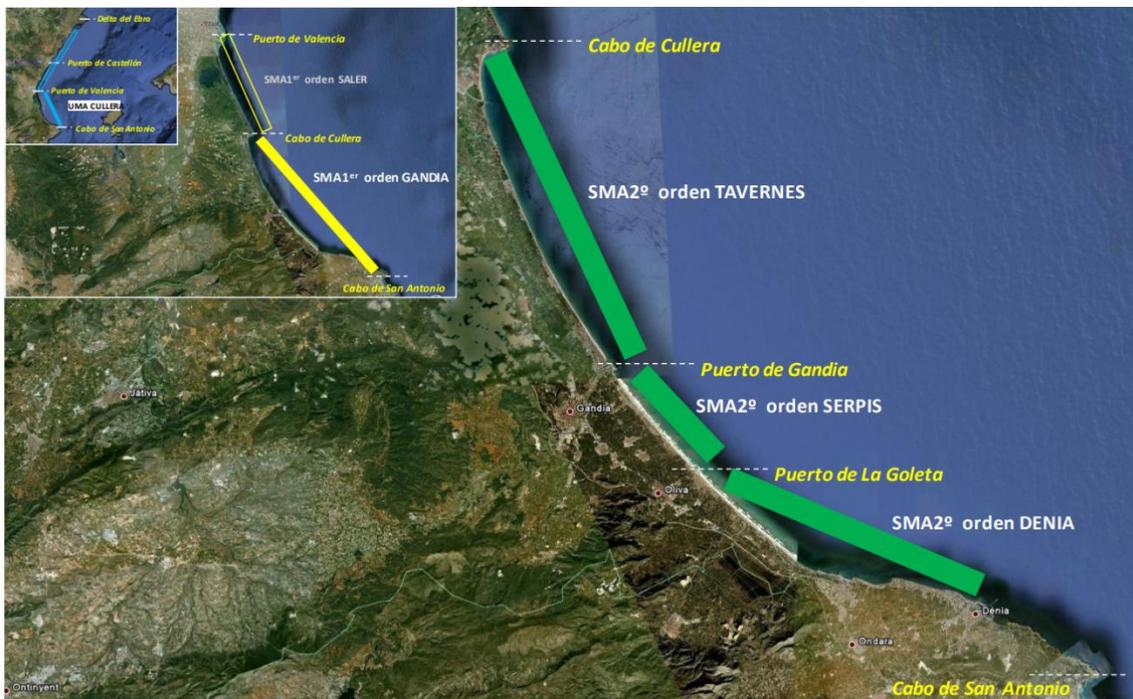


Figura 95: Subunidades UMA Cullera

Fuente: Serra Peris, s.f.



## 4.2 CLASIFICACIÓN DE LA COSTA Y CARACTERIZACIÓN DE LA COSTA

En este presente apartado, se va a clasificar la costa de la zona de estudio, que son la playa de la Goleta y la de Tavernes.

Las clasificaciones, algunas de ellas, lo que nos presentan es la génesis de las formas costeras, que condiciones de contorno dan como resultado determinadas formas, nos enseñan cómo se forman y como pueden evolucionar, y son conceptos que posteriormente empleamos al plantear alternativas, actuaciones, para la defensa, protección y regeneración de la costa (Serra Peris, s.f.).

En primer lugar, se va a realizar una clasificación básica de la costa, en función de los diferentes procesos a los que haya estado expuesto la playa, según costas bajas (playas), altas (acantilados) o rocosas bajas, resultado de los procesos de depósito y de erosión respectivamente.

Las costas altas, también denominados costas estructurales, costas de erosión o acantilados. El termino costa de erosión hace referencia a su génesis, el acantilado se ha formado por la erosión de un macizo rocoso, de ahí lo de costa estructural. Producidas por el hundimiento de la corteza terrestre cerca del borde de un área continental o el aumento del nivel del mar (Serra Peris, s.f.).

Mientras que las costas bajas, también denominados costas de depósito o playas, son el resultado de descenso del nivel del mar o de la elevación de la corteza terrestre.

Como se ha mencionado en varias ocasiones durante este trabajo, la zona de estudio es una playa, por lo tanto, se clasifica como una costa baja de arena fina.

En segundo lugar, se va a clasificar la costa con la clasificación que propone Pedro Suárez Bores.

Suárez Bores establece la clasificación de formas costeras más completa al presentar cuatro criterios, aunque podríamos añadir que su clasificación lo que hace es recoger otras clasificaciones, como la de Laval y Bruun, y presentar una definición completa de la costa. Los cuatro criterios son: (Serra Peris, s.f.).

- **Clasificación por fondos:** El fondo es fijo en costas de erosión y móvil si la costa es de depósito. En el caso de las playas de Tavernes, es de fondo móvil con sedimentos de material fino en continuo desplazamiento.
- **Clasificación por estabilidad:** Un tramo de costa puede ser clasificado como hiperestable cuando recibe una cantidad de sedimentos mayor a la que cede; como estable cuando la cantidad de sedimentos entra y sale es la misma; o como inestable cuando se pierde una mayor cantidad de material suelto. Para el caso de las playas de Tavernes, se considera una costa inestable, ya que entra menos sedimentos de las que sale.

$Q_1 > Q_2$  Tramo Hiperestable  
 $Q_1 = Q_2$  Tramo Estable  
 $Q_1 < Q_2$  Tramo Inestable

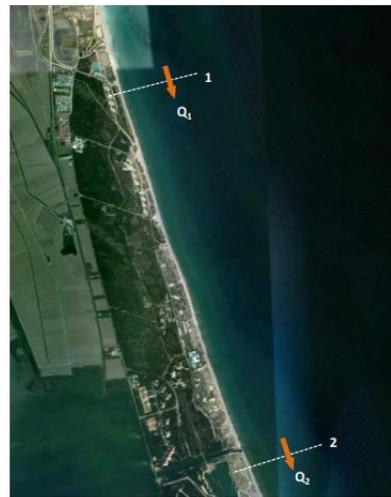


Figura 96: Clasificación genética de la costa según la estabilidad.  
Fuente: Serra Peris, s.f.

- **Clasificación por alzado:** El criterio de alzado lo que hace es establecer el perfil trasversal de la playa y compararlo con el perfil teórico, en este caso no se centra en perfil de calmas o temporales, únicamente se fija en si el perfil presenta todas sus partes o no; así tendremos tres casos (Perfil completo, incompleto o hipercompleto).

### Perfil completo:

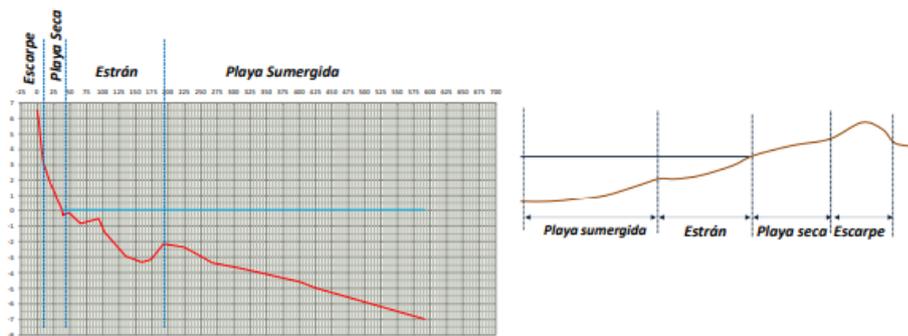


Figura 97: Perfil completo de playa.  
Fuente: Serra Peris, s.f.

### Perfil incompleto:

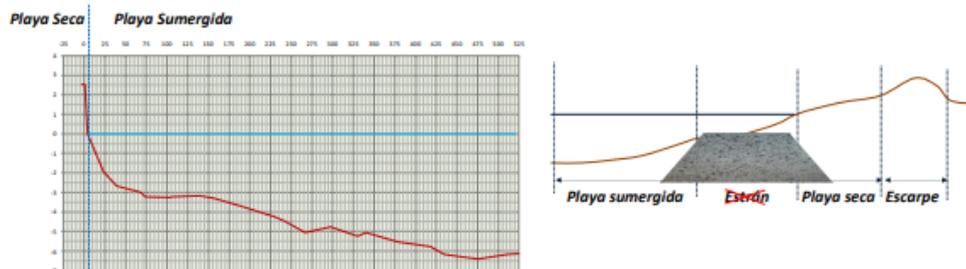


Figura 98: Perfil incompleto de playa  
Fuente: Serra Peris, s.f.

Esta playa tiene algunas zonas perfil completo y otras incompleto, ya que, gracias a la visita de la playa, se pudo observar cómo no hay escarpe en la mayoría de la línea de la costa, por no recalcar que en alguna zona en concreto tampoco había presencia de playa seca.

#### 4.2.1 MORFOLOGÍA SUBMARINA

La morfología submarina proporcionada por Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el año 2007, se refiere a la configuración y características del relieve submarino en una determinada área. Estos estudios pueden incluir la topografía, la geomorfología, la estructura y otros aspectos relevantes del lecho marino, con el fin de comprender mejor el entorno marino y sus recursos, así como para planificar y gestionar de manera adecuada actividades de protección costera, como es este caso.

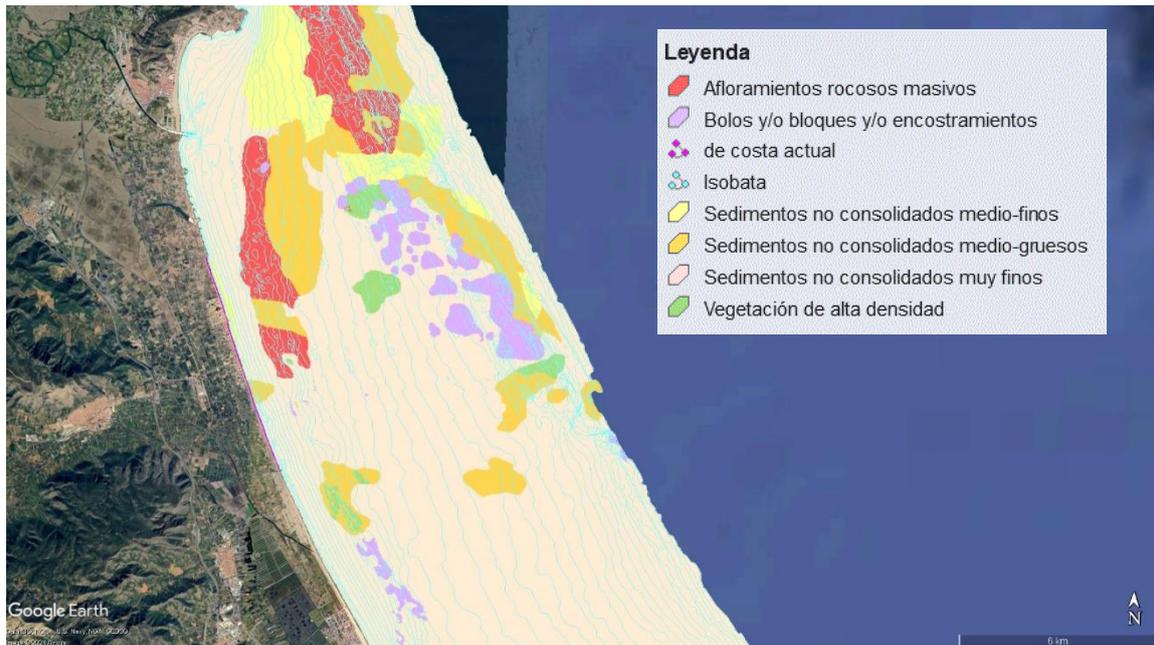


Figura 99: Extracto del mapa de la morfología terrestre en la zona de estudio.  
Fuente: MITECO, 2007.

A continuación, se va a mostrar las comunidades marinas existentes en la zona de estudio:

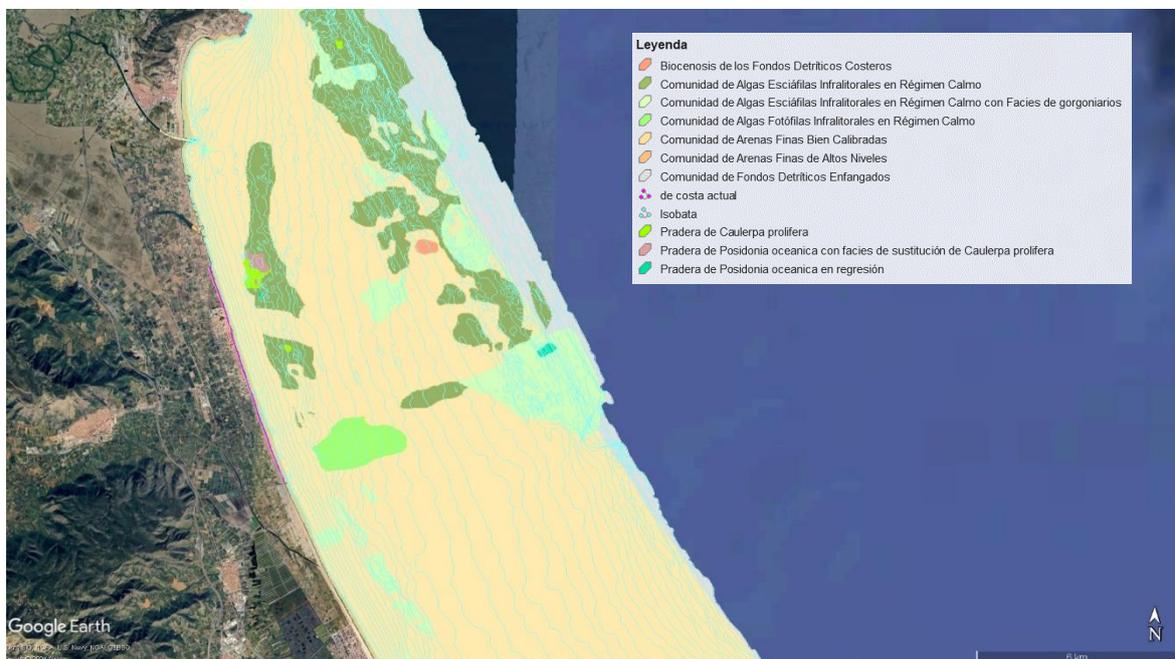


Figura 100: Extracto del mapa de la comunidad marina en la zona de estudio.  
Fuente: MITECO, 2007.

En la Figura 101, se observa con mayor detalle, la localización de la zona de praderas de Posidonia oceánica en la zona de estudio proporcionada por MITECO (2007):

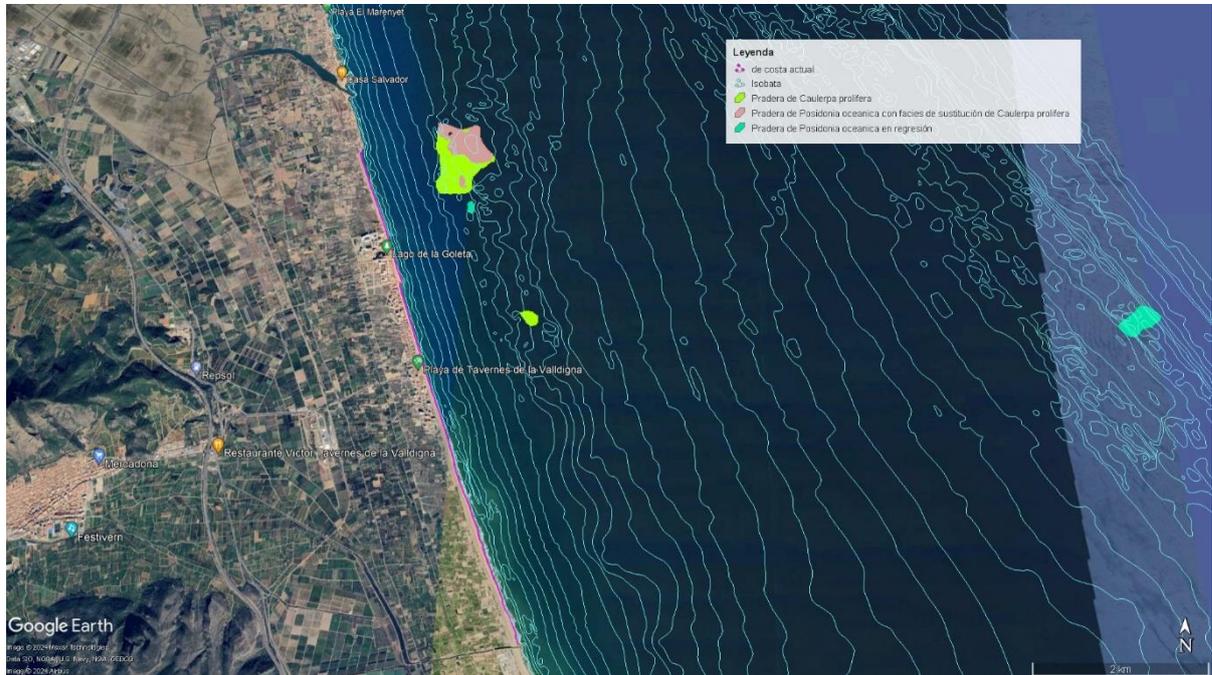


Figura 101: Praderas de Posidonia oceánica.

Fuente: MITECO, 2007.



## ANEJO N°6

# CLIMA MARÍTIMO



## **ÍNDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>148</b>
<b>2. NIVEL DEL MAR .....</b>	<b>148</b>
2.1 VARIACIÓN DEL NIVEL DEL MAR DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO .....	150
<b>3. SELECCIÓN DE PUNTO SIMAR Y BOYA PARA TOMA DE DATOS.....</b>	<b>151</b>
<b>4. RÉGIMEN DE VIENTO .....</b>	<b>155</b>
<b>5. OLEAJE.....</b>	<b>156</b>
5.1 RÉGIMEN MEDIO DIRECCIONAL EN EL PUNTO SIMAR .....	158
5.2 RÉGIMEN MEDIO DIRECCIONAL EN AGUAS PROFUNDAS Y RELACIÓN TP- HS.....	159
5.3 RÉGIMEN EXTREMAL EN AGUAS PROFUNDAS Y DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL .....	161
5.3.1 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE .....	162
<b>6. DINÁMICA LITORAL.....</b>	<b>168</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

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 0.3-91).

El "clima marítimo" en el campo de la ingeniería de puertos y costas se refiere a las condiciones atmosféricas y oceanográficas predominantes en las zonas costeras. Estas condiciones necesarias para el diseño, construcción y la operación de infraestructuras marítimas y costeras. Es por ello por lo que es necesario llevar a cabo un estudio en profundidad previo al cálculo de las estructuras para evitar costes económicos innecesarios.

Este apartado tiene como objetivo describir y caracterizar las acciones del oleaje en la playa de Tavernes de la Valldigna 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 diques homogéneos de baja cota de coronación de Cubípodos.

Los aspectos relativos al clima marítimo que serán objeto de estudio en el presente apartado son los siguientes:

- Análisis de las fuentes de información existentes (Puertos del Estado).
- El régimen medio direccional en aguas profundas y la relación Tp-Hs.
- Régimen extremal en aguas profundas y distribución direccional.

## 2. NIVEL DEL MAR

Se define nivel del mar a la posición media de la superficie libre del mar cuyas oscilaciones son causadas por movimientos de largo periodo debidos a la meteorología y a los movimientos astronómicos. La marea meteorológica se define como los cambios en la altura de agua debidos a variaciones de la presión atmosférica, así como los producidos por la acción del viento. La marea astronómica es un movimiento periódico y alternativo de ascenso y descenso de las aguas del mar, producido por las acciones atractivas del Sol, la Luna y otros astros, y que se repite con periodicidad (ROM 3.1-99., págs. 218 y 221). La marea meteorológica tiene un carácter aleatorio mientras que la

marea astronómica es determinista. La combinación de ambas da lugar al nivel medio del mar.

Se analizaron los datos disponibles de nivel del mar, marea astronómica y marea meteorológica para el puerto de Gandía. La información se obtuvo del informe "REDMAR: Red de mareógrafos de Puertos del Estado" del año 2017 y se referencia al CERO REDMAR.



Figura 102: Ubicación del mareógrafo de Gandía.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

Con base en este análisis, se calcularon los valores máximos y mínimos de cada componente. La carrera de marea máxima, que se define como la diferencia entre el nivel máximo y el nivel mínimo observado, es de 1,03 m.

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

Tabla 14: Estadísticas de mínimos y máximos observados. Extremos (máximos y mínimos) y momentos muestrales de las series de mínimos (izq.) y máximos (dcha.) observados.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

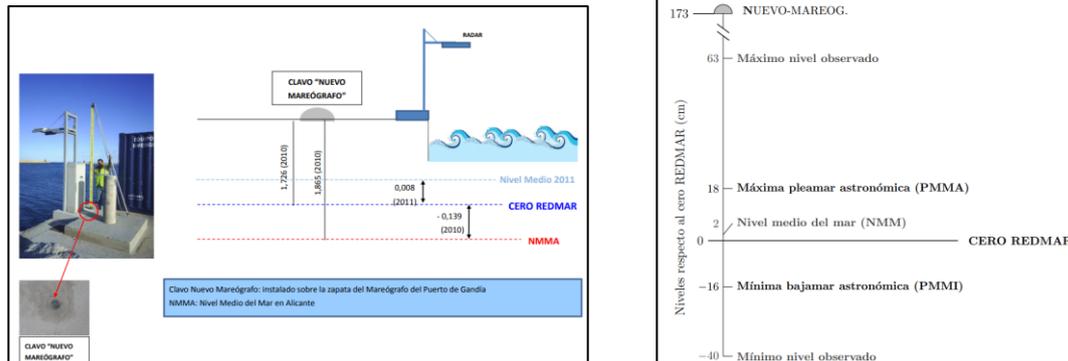


Figura 103: Esquema datum mareógrafo REDMAR Gandía y referencia del nivel del mar.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

Como se aprecia de los datos extraídos del mareógrafo, el nivel máximo observado perteneciente a la suma de marea astronómica y marea meteorológica es igual a +63 centímetros. El nivel mínimo observado es igual a -40 centímetros.

## 2.1 VARIACIÓN DEL NIVEL DEL MAR DEBIDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

Se ha utilizado la información suministrada por la Universidad de Cantabria para la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, titulada "Impactos en la costa española por efecto del cambio climático", para evaluar la posible elevación del nivel del mar en la zona bajo estudio.

Según el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, los principales problemas del cambio climático en las zonas costeras se relacionan con potenciales cambios en la frecuencia y/o intensidad de las tormentas, así como con el posible ascenso del nivel medio del mar (NMM).

El horizonte de análisis del Proyecto citado es el año 2050; por lo que éste es el que se usará para la evaluación de los efectos del cambio climático en la costa sur valenciana.

Con relación a las zonas costeras próximas al sur de Valencia indica: "En las costas bajas (deltas, humedales costeros y zonas de uso agrario o construidas en el entorno de estuarios o en llanuras aluviales costeras), ese escenario de ascenso del NMM podría implicar una inundación de las mismas".

El IPCC en su último informe muestra predicciones hechas sobre el ascenso que se puede producir en el nivel del mar y se resumen en la figura siguiente:

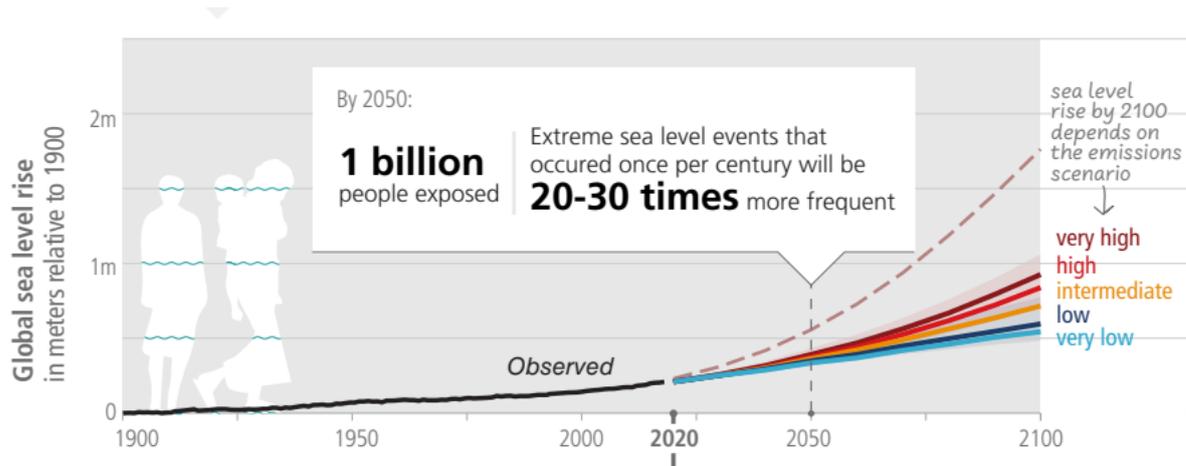


Figura 104: Variaciones del nivel medio global del mar.

Fuente: IPCC.

Según este gráfico, la subida del nivel del mar seguirá aumentando durante el siglo XXI. En relación con el período 1995-2014, el aumento medio probable del nivel del mar para 2050 se sitúa entre 0,15 y 0,23 m en el escenario de emisiones de GEI muy bajas (SSP1 1.9) y entre 0,20 y 0,29 m en el escenario de emisiones de GEI muy altas (SSP5-8.5); para 2100, entre 0,28 y 0,55 m en el escenario SSP1-1.9 y entre 0,63 y 1,01 m en el escenario SSP5-8.5; y para 2150 entre 0,37 y 0,86 m en SSP1-1.9 y 0,98 y 1,88 m en SSP5-8.5 (confianza media). Los cambios con respecto a 1900 se calculan sumando 0,158 m (aumento medio global del nivel del mar observado entre 1900 y 1995-2014) a los cambios simulados en relación con 1995-2014. (IPCC, 2023).

### 3. SELECCIÓN DE PUNTO SIMAR Y BOYA PARA TOMA DE DATOS

La Figura 105 presenta la ubicación de las boyas y puntos sintéticos (puntos SIMAR) utilizados para analizar el oleaje en las costas valencianas.



Figura 105: Conjunto de boyas y puntos SIMAR de la costa valenciana.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

Para poder seleccionar la fuente de información que se va a tomar como referencia para el análisis del oleaje, es necesario analizar diferentes aspectos y compararlos entre cada una de las boyas y puntos sintéticos. 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. El conjunto de datos SIMAR (Sistema Integrado de Información del Medio Ambiente Marino) está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numéricos. Son por tanto datos sintéticos y no proceden de medidas directas de la naturaleza.

Estos modelos y datos permiten estimar aspectos esenciales del oleaje, como su altura, dirección y periodo, en los puntos sintéticos. Esta información resulta útil para hacer predicciones y análisis sobre el oleaje en áreas donde no contamos con mediciones directas más precisas, como las de las boyas.

Se va a seleccionar como fuente de datos del oleaje la boya de Valencia y como punto cercano a la Playa de la Valldigna de Tavernes, el punto SIMAR 2082109.

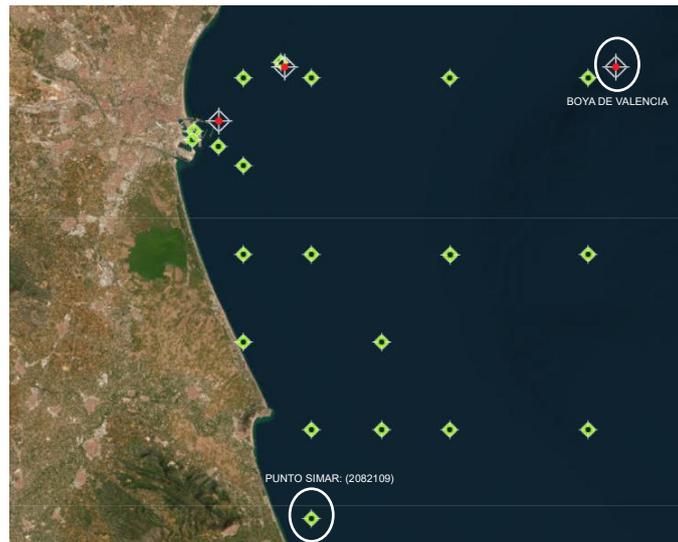


Figura 106: Boya de Valencia y punto SIMAR escogido como fuente.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

Se muestra a continuación una imagen en la que puede observarse la localización del punto SIMAR escogido, este punto debe de ser el más cercano para obtener datos más fiables, llamado Punto SIMAR: (2082109), cuyas coordenadas son:

- Longitud: -0.167 E
- Latitud: 39.083 N
- Profundidad: Indefinida

Este punto lleva recabando datos desde 1958 hasta la actualidad.

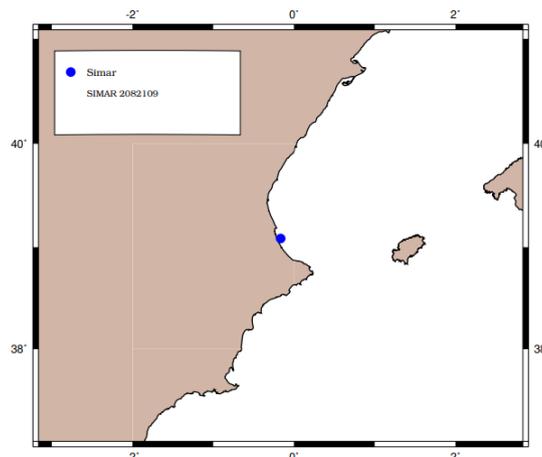


Figura 107: NODO SIMAR 2082109.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

También se muestra la localización de la Boya de Valencia, y cuyas coordenadas son:

- Longitud: 0.200 E
- Latitud: 39.510 N
- Profundidad: 260.000 m

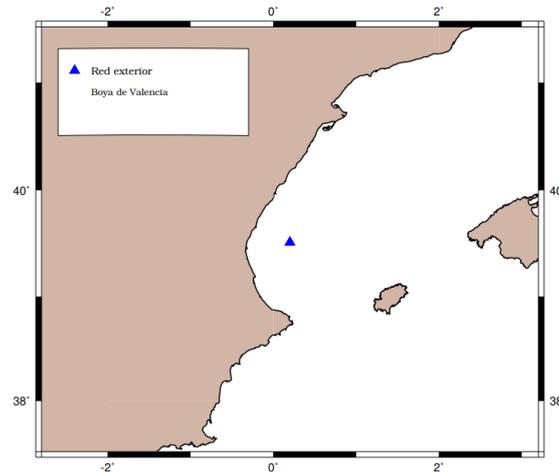


Figura 108: Boya de Valencia.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

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. Según su profundidad, se puede clasificar como:

- Aguas someras ( $d/L < 0,5$ )
- Aguas intermedias ( $0,05 < d/L < 0,5$ )
- Aguas profundas ( $0,5 < d/L$ )

Donde “d” equivale a la profundidad y “L” a la longitud de onda en aguas profundas que viene definido con la siguiente expresión:

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2\pi}$$

Para obtener el valor del periodo se acude al informe de régimen extremal proporcionado por Puertos del Estado:

P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	300.00	500.00
Estima Central de Hs (m)	7.32	8.80	12.16	13.22
Banda Sup. 90% Hs	9.21	12.02	19.62	22.34
Valor Esperado de Tp (s)	11.20	12.24	14.30	14.89
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.06	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.15	0.10
Parametros del Ajuste POT de Altura Significante				
Umbral de Excedencia	3.00 (m)	Parametros de la		
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Alfa = 3.32		
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	4.12	Distribucion Beta = 0.35		
		Weibull de Gama = 0.61		
		Excedencias		
Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s)				
$T_p = 4.30 H_s^{0.48}$				

Figura 109: Informe de régimen extremal.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

Analizando los datos obtenidos por Puertos del Estado (2024), 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. La altura de ola significativa es de 13.22 metros y una  $T_p$  de 14.85s, por lo tanto, se cumple que la boya de Valencia se encuentra en aguas profundas ya que:

$$T_p = 4.3 \cdot H_s^{0.48} = 4.3 \cdot 13.22^{0.48} = 14.85 \text{ s}$$

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} = \frac{9.81 \cdot 14.85^2}{2\pi} = 344.37 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad de la boya} = 260 \text{ m}$$

$$\frac{d}{L} = \frac{260}{344.37} = 0.75 \rightarrow \text{Aguas profundas } (0,5 < 0,75)$$

#### 4. RÉGIMEN DE VIENTO

El Nodo SIMAR 2082109 permite obtener la distribución conjunta de dirección y velocidad media del viento.

Se obtienen los siguientes histogramas (Figura 110) desde el año 1958 hasta el 2022, que muestran la velocidad media (m/s) y la dirección de procedencia del viento.

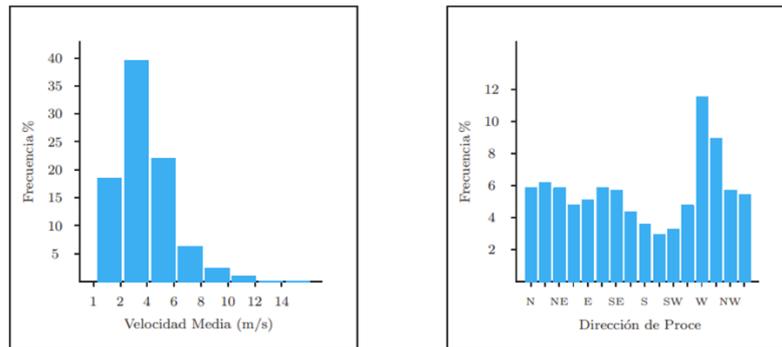


Figura 110: Distribución conjunta de dirección y velocidad media del viento.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

Dirección	Ve (m/s)									Total	
	≤1	2	4	6	8	10	12	14	>14		
CALMAS	10.687										
N	0	1.72	2.912	0.833	0.243	0.085	0.035	0.012	0.005	5.845	
NNE	22.5	1.353	2.554	1.367	0.49	0.203	0.083	0.033	0.021	6.104	
NE	45	1.155	2.487	1.409	0.458	0.197	0.078	0.027	0.023	5.835	
ENE	67.5	0.928	2.337	1.192	0.184	0.074	0.029	0.006	0.004	4.753	
E	90	0.935	2.46	1.483	0.135	0.031	0.009	0.003	-	5.056	
ESE	112.5	0.914	2.177	2.074	0.438	0.173	0.048	0.005	-	5.829	
SE	135	0.991	1.994	1.991	0.627	0.095	0.022	0.001	-	5.722	
SSE	157.5	0.961	1.812	1.001	0.373	0.062	0.005	-	-	4.214	
S	180	1.046	1.766	0.572	0.102	0.012	0.002	0.002	-	3.502	
SSW	202.5	0.936	1.466	0.457	0.086	0.01	0.003	-	-	2.957	
SW	225	0.954	1.701	0.52	0.093	0.01	-	-	-	3.278	
WSW	247.5	0.954	2.292	1.152	0.325	0.069	0.019	0.002	0.002	4.816	
W	270	1.134	3.887	4.023	1.563	0.617	0.194	0.046	0.016	11.479	
WNW	292.5	1.223	3.832	2.586	0.742	0.268	0.139	0.04	0.012	8.841	
NW	315	1.504	2.973	0.891	0.232	0.083	0.026	0.018	0.005	5.731	
NNW	337.5	1.772	2.748	0.572	0.167	0.056	0.025	0.006	0.005	5.351	
Total		10.687	18.478	39.398	22.123	6.26	2.045	0.715	0.201	0.093	100%

Tabla 15: Tabla Velocidad Media (Ve) - Dirección de Procedencia en %.

Fuente: Puertos del Estado, 2024

La Figura 3 presenta un diagrama de rosa de vientos, donde se observa la frecuencia de aparición del viento en cada dirección. Tras un análisis de la figura, se observa un claro predominio de los sectores Oeste (W) con un 11.5% aproximadamente, Oeste Noroeste (WNW) con un 8.8%, y Norte Noreste (NNE) con un 6.1%. Sumando entre todos ellos una frecuencia anual superior al 25 %.

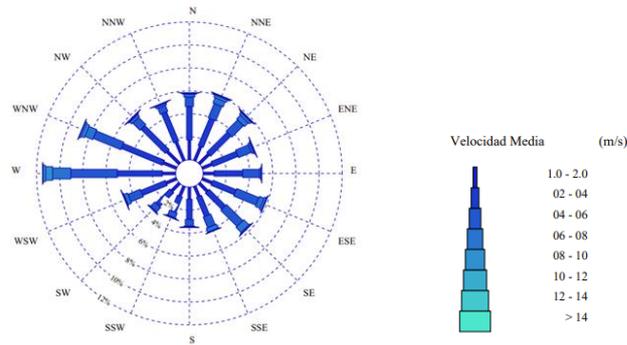


Figura 111: Rosa de Viento anual.

Fuente: Puertos del Estado

## 5. OLEAJE

Respecto al posible oleaje incidente en la costa, la boya situarse en mar abierto recoge oleaje proveniente de todas las direcciones, mientras que el punto SIMAR al estar tan cerca de la costa solo recoge en las direcciones dibujadas a continuación.

De este modo, las direcciones de las que puede llegar el oleaje provienen del siguiente rango: Norte-este (NE) 45°, Este-noreste (ENE) 67. 5° y Este (E) 90°, ángulos respecto al Norte.

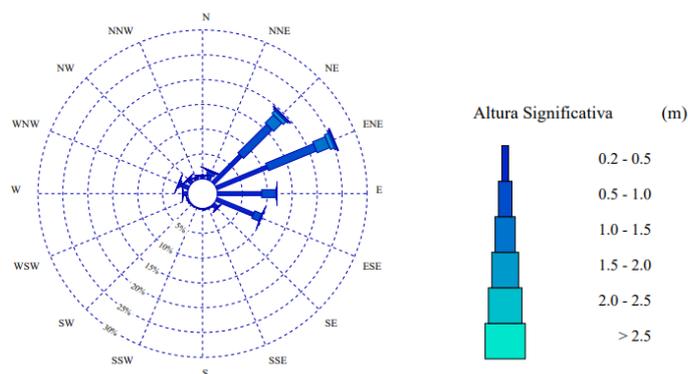


Figura 112: Rosa de oleaje anual.

Fuente: Puertos del Estado

## 5.1 RÉGIMEN MEDIO DIRECCIONAL EN EL PUNTO SIMAR

El objetivo del estudio del régimen medio es caracterizar la probabilidad de no superación de los diferentes niveles de altura de ola en un año medio. Se define régimen medio de oleaje a la distribución estadística que establece el porcentaje de tiempo en que, durante el año medio, la altura de ola (o el periodo) no excede de cada valor.

Para determinar estas características se emplean las siguientes tablas extraídas del informe del régimen medio del clima marítimo:

Dirección	Hs(m)												Total	
	≤0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	>5.0		
CALMAS	23.668													
N 0.0		.491	.147	.033	.008	-	-	-	-	-	-	-	-	.679
NNE 22.5		1.040	.589	.197	.048	.010	.005	.002	-	-	-	-	-	1.892
NE 45.0		7.842	8.134	2.356	.804	.303	.105	.039	.017	.007	.004	.005	-	19.617
ENE 67.5		11.020	10.388	2.724	.891	.314	.150	.038	.011	.003	.003	-	-	25.543
E 90.0		8.871	2.884	.170	.024	.006	.004	-	-	-	-	-	-	11.959
ESE 112.5		8.012	1.565	.113	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	9.691
SE 135.0		.972	.215	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.188
SSE 157.5		.181	.019	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.202
S 180.0		.136	.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.141
SSW 202.5		.098	.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.099
SW 225.0		.133	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.135
WSW 247.5		.258	.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.279
W 270.0		.881	.123	.005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.009
WNW 292.5		1.811	.372	.012	.004	-	-	-	-	-	-	-	-	2.199
NW 315.0		.886	.226	.019	.001	-	-	-	-	-	-	-	-	1.132
NNW 337.5		.436	.112	.016	.003	-	-	-	-	-	-	-	-	.567
Total	23.668	43.066	24.802	5.648	1.786	.635	.265	.079	.028	.010	.008	.006	-	100%

Tabla 16: Relación Hs - Dirección del oleaje del punto SIMAR

Fuente: Puertos del Estado

La tabla anterior, muestra la relación de la dirección del oleaje con la altura de ola significativa, dando una probabilidad de ocurrencia para cada coincidencia de valores. Como se puede observar las mayores probabilidades (coloreadas en naranja) se asocian a alturas de olas iguales a 0.5, 1 y 1.5 metro con dirección proveniente de la dirección de NE, ENE y E.



Hs(m)	Tp(s)											Total
	≤1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	>10.0	
≤0.5	0.018	2.900	7.753	10.961	15.200	15.125	8.585	3.836	1.483	0.550	0.148	66.558
1.0	-	-	0.251	2.236	4.209	5.575	5.937	3.566	1.938	0.882	0.338	24.933
1.5	-	-	-	0.028	0.349	1.130	1.215	1.053	0.872	0.617	0.414	5.678
2.0	-	-	-	-	0.007	0.118	0.460	0.410	0.285	0.260	0.254	1.795
2.5	-	-	-	-	-	0.003	0.056	0.208	0.151	0.107	0.113	0.638
3.0	-	-	-	-	-	-	0.002	0.055	0.107	0.065	0.037	0.266
3.5	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.030	0.021	0.026	0.080
4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	0.012	0.010	0.028
4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.004	0.006	0.010
5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.007	0.008
>5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.006	0.006
Total	0.018	2.901	8.004	13.225	19.766	21.951	16.254	9.131	4.873	2.519	1.359	100%

Tabla 17: Relación Tp – Hs del punto SIMAR.

Fuente: Puertos del Estado

La tabla anterior, muestra la relación del periodo de pico con la altura de ola significativa, muestra que la mayor probabilidad se atribuye a la altura del oleaje igual a 0.5 y 1 metro y periodo de pico igual a 5 segundos.

## 5.2 RÉGIMEN MEDIO DIRECCIONAL EN AGUAS PROFUNDAS Y RELACIÓN TP-HS

A continuación, las siguientes tablas están extraídas del informe del régimen medio del clima marítimo de la Boya de Valencia:

- **Relación Hs- Dirección del oleaje**

Dirección	Hs (m)												Total
	<0,2	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	>5,0	
CALMAS	2.17												2.17
N	0	0.323	0.559	0.431	0.192	0.045	0.016	0.002					1.568
NNE	22.5	0.758	1.886	1.306	0.535	0.131	0.061	0.016	0.002	0.002			4.697
NE	45	2.093	5.037	2.788	1.137	0.553	0.293	0.187	0.092	0.025	0.014	0.05	12.264
ENE	67.5	4.212	7.442	3.309	1.387	0.634	0.284	0.169	0.074	0.023	0.009	0.01	17.55
E	90	5.351	4.938	0.981	0.284	0.106	0.029	0.023	0.007				11.719
ESE	112.5	5.461	3.246	0.386	0.07	0.011	0.009	0.002	0.002				9.187
SE	135	6.061	4.286	0.259	0.034	0.007							10.647
SSE	157.5	3.889	5.421	1.236	0.122	0.007							10.675
S	180	1.191	1.062	0.158	0.016								2.427
SSW	202.5	0.796	1.006	0.176	0.029								2.007
SW	225	0.986	2.664	1.004	0.065								4.719
WSW	247.5	0.453	2.432	2.716	0.668	0.079	0.009	0.002					6.359
W	270	0.153	0.582	0.546	0.149	0.032	0.005						1.467
WNW	292.5	0.129	0.302	0.311	0.113	0.011							0.866
NW	315	0.111	0.316	0.318	0.111	0.009							0.865
NNW	337.5	0.153	0.318	0.219	0.102	0.011	0.002	0.007					0.812
Total	2,170	32,120	41,498	16,145	5,012	1,635	0,708	0,408	0,178	0,05	0,023	0,05	100,00

Tabla 18: Relación Hs - Dirección del oleaje de la Boya de Valencia

Fuente: Puertos del Estado

• **Relación Tp-Hs**

Hs (m)	TP (s)											Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	> 10,0	
<0,5		0.077	4.468	9.186	8.721	7.058	3.458	0.922	0.169	0.142	0.005	34.201
1			1.062	12.05	11.571	6.803	5.306	3.991	0.601	0.145	0.023	41.529
1.5				0.933	7.228	2.677	1.764	2.105	1.01	0.434	0.016	16.151
2				0.002	1.025	1.466	0.768	0.754	0.454	0.522	0.027	4.991
2.5					0.014	0.278	0.411	0.375	0.217	0.309	0.034	1.604
3						0.023	0.147	0.248	0.124	0.133	0.034	0.675
3.5						0.002	0.036	0.151	0.072	0.129	0.018	0.39
4							0.002	0.075	0.036	0.047	0.018	0.16
4.5								0.005	0.009	0.025	0.011	0.039
5								0.002	0.005	0.005	0.011	0.012
>5,0									0.002	0.023	0.027	0.025
Total		0.077	6	22	29	18	12	9	3	2	0.224	100%

Tabla 19: Relación Tp – Hs de la Boya de Valencia.

Fuente: Puertos del Estado

Respecto a la relación Tp-Hs, siguiendo las recomendaciones de la ROM 0.3-91 y conociendo la relación entre la altura de ola significativa y su periodo de pico asociada, se obtiene la siguiente fórmula:

$$T_{p,ponderado}(Hs, i) = \frac{\sum_j P(T_p, ij) \cdot T_p, ij}{P(Hs, i)}$$

Hs [m]	H^(1/2)	Tp [s]
0.50	0.71	4.99
1.00	1.00	5.44
1.50	1.22	6.10
2.00	1.41	6.94
2.50	1.58	7.89
3.00	1.73	8.29
3.50	1.87	8.74
4.00	2.00	8.80
4.50	2.12	9.51
5.00	2.24	9.25
>5,50	2.35	9.92

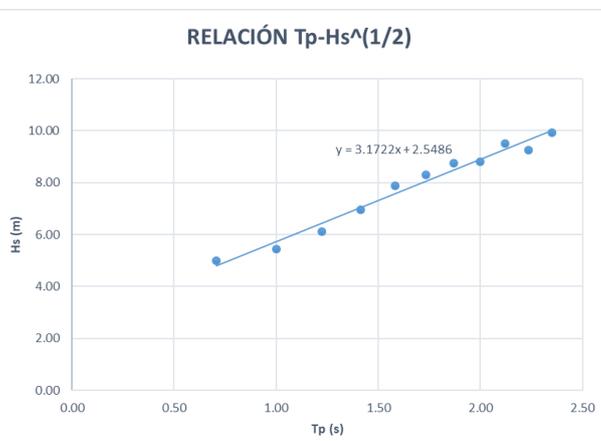


Figura 113: Relación Tp-Hs

Fuente: Elaboración propia

### 5.3 RÉGIMEN EXTREMAL EN AGUAS PROFUNDAS Y DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL

La función de distribución del régimen extremal del oleaje tiene la tarea de ofrecer la probabilidad de que ocurra un estado del mar con vientos de alta intensidad y una altura de riesgo particular durante un periodo específico, también conocida como temporal.

Para esto, se utiliza como base el análisis extremal proporcionado por Puertos del Estado en su informe climático (Puertos del Estado, 2022), el cual se elabora a partir de los datos recopilados por la Boya de Valencia.

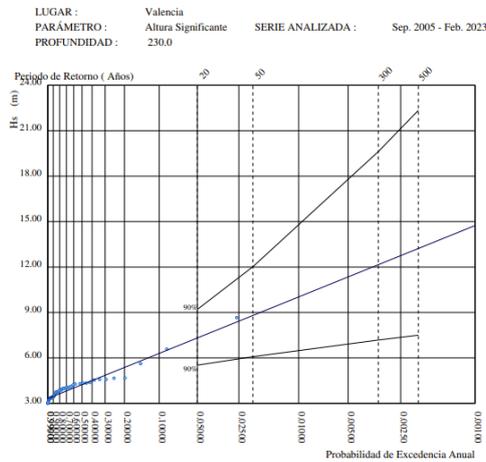


Figura 114: Regimen extremal escalar del oleaje

Fuente: Puertos del Estado

LUGAR : Valencia  
 CRITERIO DE DIRECCIONES : Procedencia  
 INTERVALO DE CALMAS : 0 - 0.2  
 PERIODO : Global  
 SERIE ANALIZADA : Sep. 2005 - Feb. 2023  
 PORCENTAJE DE CALMAS : 0.79%

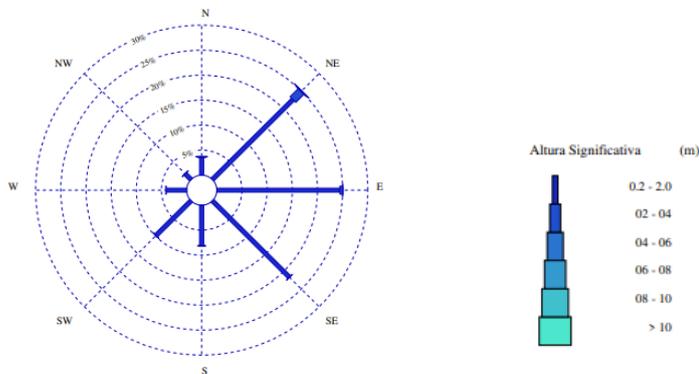


Figura 115: Direcciones Dominantes: Rosa de ALTURA SIGNIFICANTE

Fuente: Puertos del Estado

Para la estimación del régimen extremal se ha seguido la metodología detallada en la ROM 0.3-91. En primer lugar, a partir de los regímenes medios direccionales, se obtiene una altura de ola asociada a una probabilidad de no excedencia del 99%, denominada  $H_s^*$ . De manera similar, se determina una altura de ola asociada a una probabilidad de no excedencia del 99,9%, denominada  $H_s^{**}$ . Estos valores se han calculado aplicando la fórmula de distribución de Weibull y utilizando la función Solver, obteniendo los siguientes valores de direccionalidad:

DIRECCIONES	A	B	C	$F(x)^I$	$H_s^I$	$F(x)^{II}$	$H_s^{II}$	$H_s,media$	Kalfa	$T_p$
N	0.92	0.15	1.66	0.99	0.96	0.999	1.36	1.16	0.624	4.612
NNE	0.9	0.19	1.52	0.99	1.10	0.999	1.55	1.32	0.713	4.919
NE	0.62	0.36	0.87	0.99	1.56	0.999	2.15	1.86	1	5.785
ENE	0.95	0.08	1.29	0.99	1.28	0.999	1.89	1.59	0.854	5.365
E	0.46	0.14	1.03	0.99	0.90	0.999	1.27	1.09	0.585	4.473
ESE	0.24	0.23	0.91	0.99	0.67	0.99901	0.90	0.79	0.424	3.832
SE	0.25	0.24	1.08	0.99	0.63	0.99901	0.83	0.73	0.393	3.695
SSE	0.52	0.18	1.65	0.99	0.64	0.999	0.87	0.76	0.407	3.758

Tabla 20: Estimación régimen extremal, metodología ROM 0.3-91.

Fuente: Elaboración propia

Destacar que,  $K\alpha = 1$ , cuando la  $H_s$  es la máxima de todas las  $H_s$  direccionales. o Para el resto, el valor de  $K\alpha$  será inferior a la unidad y superior a 0. Este valor se obtiene como la relación de cada altura de ola significativa de cada dirección y la altura de ola significativa máxima.

También, se observa que las direcciones cercanas al Este son las más afectadas por este coeficiente al disponer de menor fetch y por lo tanto menor probabilidad de oleaje de estas direcciones.

### 5.3.1 PROPAGACIÓN DEL OLAJE

La propagación del oleaje resulta un elemento clave en cualquier estudio de obras marítimas, pues los datos obtenidos de Puertos del Estado se encuentran en aguas profundas, pero es necesaria conocerla a los pies del dique que se vaya a construir. Para obtenerlos, se pueden usar tanto la formulación analítica como el ábaco de asomeramiento y refracción, propuesto por el SPM en 1984. En este documento se ha optado por utilizar las fórmulas analíticas como se muestra a continuación.

El oleaje incidente es necesario referenciarlo respecto a la perpendicular de la traza batimétrica a pie de playa, para poder calcular la refracción. Las figuras siguientes (Figura 116 y Figura 117) representan: en color verde la línea batimétrica con la que se desarrolla de forma casi paralela a la línea de playa, ya que la idealización de la batimetría con líneas rectas y paralelas se basa en la necesidad de simplificación para poder aplicar el modelo teórico, en color rojo los límites propios de la costa por su morfología, en color blanco las direcciones principales de oleaje y en color morado la línea de máxima pendiente.

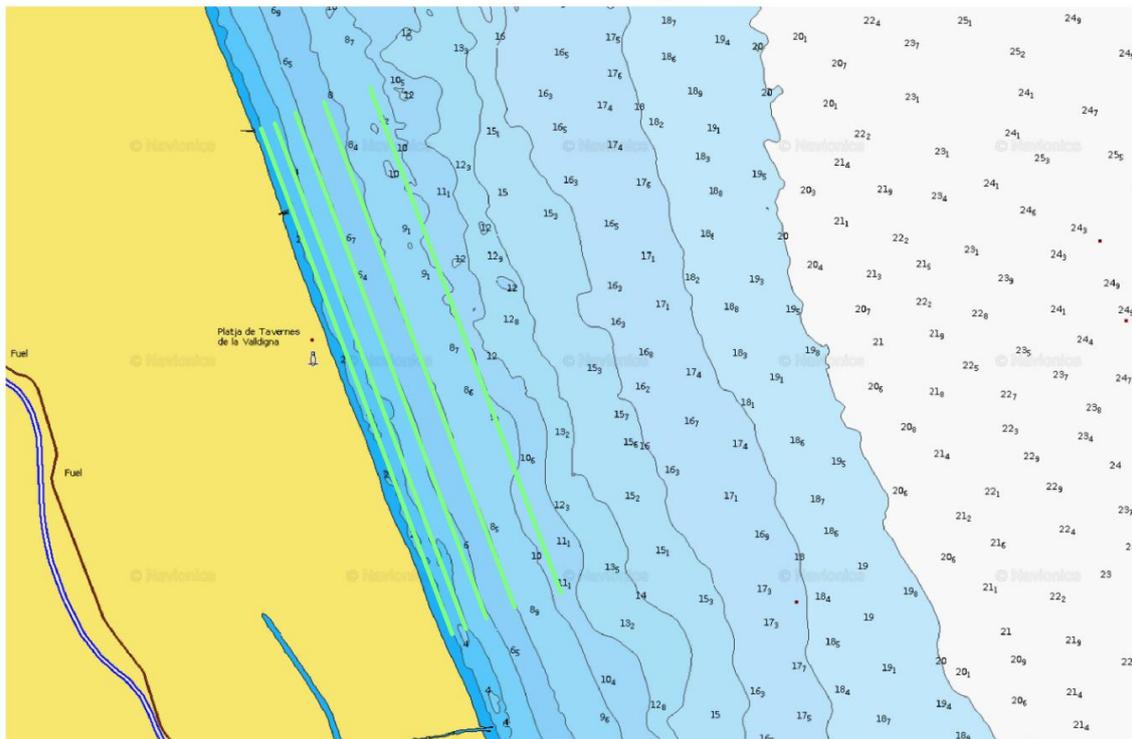


Figura 116: Batimetría paralela a la línea de playa.

Fuente: Elaboración propia

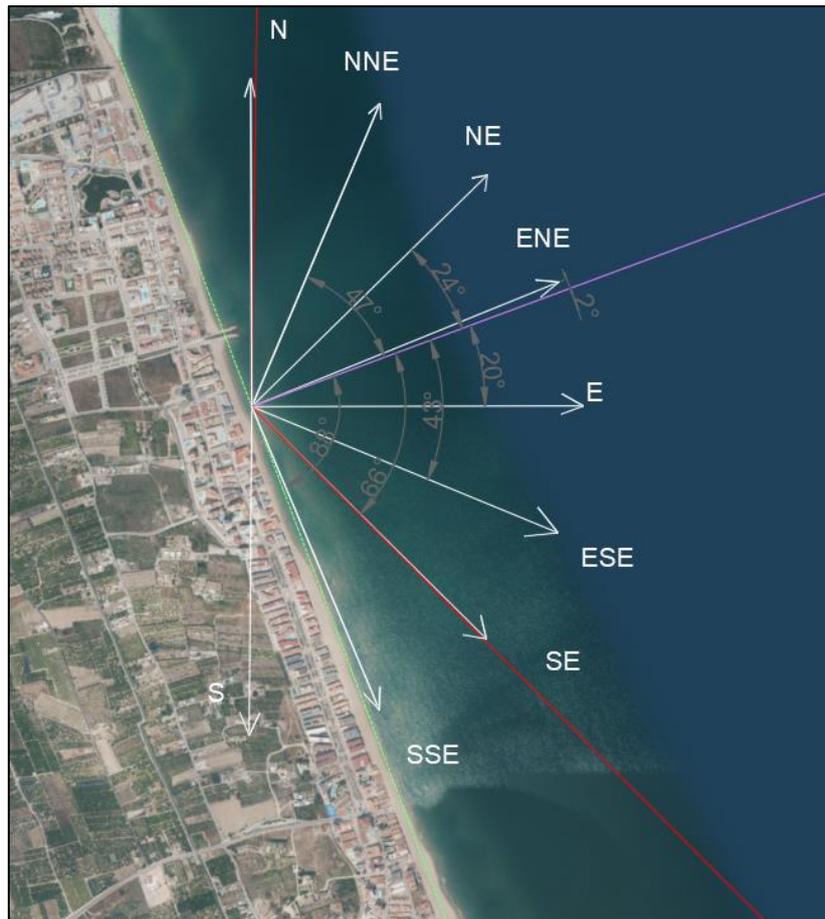


Figura 117: Batimetría, líneas generales de oleaje y máxima pendiente.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 21 recoge las direcciones principales de oleaje y su orientación respecto a la línea de máxima pendiente

Dirección	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
Ángulo respecto Norte [°]	23	45	67	90	112	135	157
Ángulo respecto LMP [°]	47	24	2	20	43	66	88

Tabla 21: Direcciones principales de oleaje y orientación respecto a línea de máxima pendiente.

Fuente: Elaboración propia

- **Procedimiento de cálculo de la altura de ola corregida**

El período de retorno para la caracterización del oleaje extremal en aguas profundas se determina en función de la vida útil y la probabilidad de fallo para la cual se diseñan las actuaciones, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - P_f)^{1/V_m}}$$

Donde:

$T_R$ : Periodo de retorno (años)

$V_m$ : Vida útil (años)

$P_f$ : Probabilidad de fallo frente a los modos de fallo.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE IRE <sup>1</sup>	VIDA ÚTIL MÍNIMA (V <sub>m</sub> ) <sup>2</sup> (años)	TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE ISA	P <sub>f,ISA</sub>	P <sub>f,ES</sub>
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráfico	r <sub>1</sub>	Alto	50	Mercancías peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>3</sub>	Alto 0.01 0.07
		Puertos para tráfico especializado	r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>1</sup>	Medio (alto) <sup>1</sup>	25 (50) <sup>1</sup>	Pasajeros y Mercancías no peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>2</sub>	Bajo 0.10 0.10
	PUERTO PESQUERO	r <sub>2</sub>	Medio	25	Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique	r <sub>1</sub>	No significativo	0.20 0.20
	PUERTO NAÚTICO-DEPORTIVO	r <sub>2</sub>	Medio	25	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	s <sub>2</sub>	Bajo 0.10 0.10	
	INDUSTRIAL	r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>1</sup>	Medio (alto) <sup>1</sup>	25 (50) <sup>1</sup>	Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	s <sub>1</sub>	No signif.	0.20 0.20
	MILITAR	r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>2</sup>	Medio (alto) <sup>2</sup>	25 (50) <sup>2</sup>	Mercancías peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>3</sub>	Alto 0.01 0.07	
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES	r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>3</sup>	Medio (alto) <sup>3</sup>	25 (50) <sup>3</sup>	Mercancías no peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>2</sub>	Bajo 0.10 0.10	
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES <sup>4</sup>	r <sub>3</sub>	Alto	50	Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique	r <sub>1</sub>	No signif.	0.20 0.20
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO	r <sub>2</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>1</sup>	Medio (alto) <sup>5</sup>	25 (50) <sup>5</sup>	Mercancías peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>3</sub>	Alto 0.01 0.07	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES	r <sub>1</sub> (r <sub>3</sub> ) <sup>6</sup>	Bajo (alto) <sup>5</sup>	15 (50) <sup>7</sup>	Mercancías no peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>2</sub>	Bajo 0.10 0.10	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS	r <sub>1</sub>	Bajo	15	Mercancías no peligrosas <sup>2</sup>	s <sub>1</sub>	No signif.	0.20 0.20
	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES <sup>5</sup>	r <sub>4</sub>	May alto	0.0001 0.07				

Tabla 22: IRE y vida útil mínima en función del tipo de obra para áreas litorales e ISA y probabilidad conjunta de fallo en función del tipo de obra para áreas litorales. Fuente: ROM 1.0-09

Dado que la principal actuación a realizar es la regeneración de las playas de La Goleta y Tavernes, se ha asignado un índice IRE R1, ya que esta área litoral está sujeta a una serie de intervenciones clasificadas bajo “Regeneración y defensa de playas”. Por lo tanto, se establece una vida útil mínima de 15 años para la playa.

Siguiendo las recomendaciones, se ha considerado un índice ISA S1, debido a que las acciones se enmarcan en “Regeneración y defensa de playas”. Con base en los valores determinados en los puntos anteriores, se obtiene de manera general el valor de diseño recomendado para el período de retorno:

Tipo de área	Vida útil Mínima	Pf	Periodo de retorno
Regeneración y defensas de playas	15	0,2	68

Tabla 23: Cálculo del periodo de retorno.

Fuente: ROM 1.0-09

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

$$t = \frac{\text{seno}(\alpha_1)}{C1} = \frac{\text{seno}(\alpha_2)}{C2}$$

Donde C es la celeridad que varía según la longitud de onda propia (aguas profundas o aguas someras) de cada cota batimétrica:

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

La Longitud de Onda se ha calculado en aguas someras mediante la ecuación de dispersión:

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

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

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

El coeficiente de asomeramiento viene dado por la siguiente expresión:

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

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

$$H_{\text{corregida}} = H_s \cdot K_r \cdot K_s$$

Para un periodo de retorno de 68 años, se tiene una Hs de 9.28 metros.

Por lo tanto, la Hs corregido que se obtiene para este caso es el siguiente:

PERIODO DE REOTORNO =68 AÑOS	
Hs	9.28

DIRECCIÓN		NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
Aguas profundas	g [m/s <sup>2</sup> ]	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
	T [s]	10.7	12.5	11.6	9.7	8.3	8.0	8.1
	Kalfa	0.71	1.00	0.85	0.59	0.42	0.39	0.41
	Hs [m]	6.6	9.3	7.9	5.4	3.9	3.6	3.8
	alfa [°]	47	24	2	20	43	66	88
	Lo [m]	177.0	244.9	210.6	146.4	107.4	99.9	103.3
	Co [m/s]	16.6	19.5	18.1	15.1	12.9	12.5	12.7
Aguas someras	d[m]	5	5	5	5	5	5	5
	Tp [s]	10.65	12.53	11.62	9.68	8.30	8.00	8.14
	alfa [°]	47	24	2	20	43	66	88
	Ls [m]	72.34	85.81	79.29	65.36	55.24	53.05	54.06
	Ec	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	d/L	0.07	0.06	0.06	0.08	0.09	0.09	0.09
	Aguas	Someras						
	C [m/s]	6.79	6.85	6.83	6.75	6.66	6.63	6.64
	Ks	1.14	1.22	1.18	1.10	1.04	1.02	1.03
	alfa2 [°]	17.39	8.19	0.75	8.79	20.53	29.03	31.53
	Kr	0.85	0.96	1.00	0.98	0.88	0.68	0.20
	Hcorregida [m]	6.37	10.88	9.36	5.81	3.60	2.54	0.79

Tabla 24: Periodo de retorno 68 años y estimación central de Hs igual a 9.28 metros.

Fuente: Elaboración propia

- **Cálculo de la altura de ola de cálculo**

Para llevar a cabo un correcto dimensionamiento, es necesario escoger el periodo de retorno adecuado a la infraestructura. En este caso, se ha calculado anteriormente y se tiene un periodo de retorno de 68 años.

Es necesario tener en cuenta una posible rotura por fondo. Esta cifra viene dada por el producto de la batimetría por 0,78. Siendo para una profundidad de 5 metros, una altura de ola de 3.9 metros aproximadamente.

Todas las alturas de ola corregidas vistas en la tabla anterior, la mayor altura de ola correspondiente a un periodo de retorno de 68 años es de 10,88 (valor inferior a la condición de rotura), el oleaje no romperá a esta profundidad. Se define la altura de ola para dimensionamiento de la estructura la siguiente expresión:

$$H_{\text{cálculo}} = \text{mín}\{0.78 \cdot d; H_{\text{corregida}}\} = \text{mín}\{3.9; 10.88\} = 3.9 \text{ metros}$$

## 6. DINÁMICA LITORAL

En este apartado, se va a estudiar el transporte sólido litoral en el tramo de estudio. El transporte de sedimentos es fundamental para caracterizar un tramo de costa e identificar zonas de erosión/acreción, barreras al transporte longitudinal, etc.

Esto es, cuando las olas rompen oblicuas a la playa, la ola rota asciende por el perfil, swash, siguiendo la dirección del oleaje, pero la corriente de retorno, backswash, se hace perpendicular al perfil siguiendo la línea de máxima pendiente. Lo que origina un movimiento en zig-zag dando lugar a la deriva litoral, longshore currents, corriente litoral, corriente que genera un transporte de sedimentos por lo que igualmente conocemos como corriente litoral de transporte (Serra Peris, s.f.).

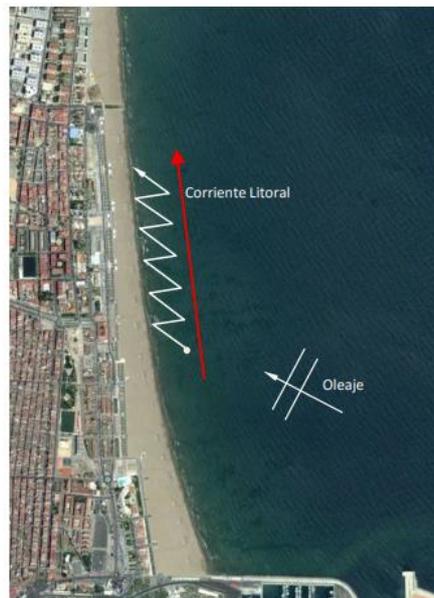


Figura 118: Corriente litoral.

Fuente: Serra Peris, s.f.

El transporte sólido litoral se localiza en una franja costera desde la profundidad de cierre y la línea de costa, distinguiendo dos zonas de transporte, entre la profundidad de cierre y la línea de rompientes, y desde ésta hasta la orilla (Serra Peris, s.f.).

Para aproximar la capacidad de transporte litoral en sentido longitudinal se puede emplear la formulación del CERC incluida en el Shore Protection Manual (SPM, 1984).

La formulación incluye varias expresiones, entre ellas una con parámetros en aguas profundas (suponiendo batimetría recta y paralela) y otra con parámetros en las proximidades de rotura (para cualquier batimetría, siendo requisito previo la propagación del oleaje).

Para la batimetría idealizada (con batimétricas rectas y paralelas a la línea de costa), la expresión es (sumando para cada dirección y altura de ola):

$$Q(m^3/año) = \sum \left[ 2.027 \cdot 10^6 \cdot H_0^{5/2} \cdot \text{sen}(2\alpha_0) \cdot \cos(\alpha_0)^{1/4} \cdot K_p \cdot K_g \right]$$

Donde:

- $H_0$  = altura de ola significativa en profundidades indefinidas
- $\alpha_0$  = dirección del oleaje en profundidades indefinidas respecto de la normal de la costa
- $K_p$  = probabilidad, en tanto por uno, de presentación de una altura de ola en una determinada dirección
- $K_g$  = coeficiente geométrico

Para ello se ha utilizado el Punto SIMAR descrito previamente (Nodo SIMAR 2082109) para extraer la información relativa a la altura de ola significativa ( $H_s$ ) y la probabilidad de dirección de procedencia en porcentaje (%). En la Figura 119 podemos ver las direcciones de oleaje que tienen influencia en la costa de estudio, y en la Tabla 25 adjunta los datos registrados.



Figura 119: Oleaje incidente.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Puertos del estado

En la tabla recogemos los datos registrados, remarcando los oleajes que sí que generarían transporte; la tabla igualmente nos indica cual debe ser las alturas de ola a considerar en cada dirección.

Dirección	Hs(m)											Total	
	≤0.2	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		>5.0
CALMAS	2.17												
N	0.0	0.32	0.56	0.43	0.19	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57
NNE	22.5	0.76	1.89	1.31	0.54	0.13	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70
NE	45.0	2.09	5.04	2.79	1.14	0.55	0.29	0.19	0.09	0.03	0.01	0.05	12.27
ENE	67.5	4.21	7.44	3.31	1.39	0.63	0.28	0.17	0.07	0.02	0.01	0.01	17.55
E	90.0	5.35	4.94	0.98	0.28	0.11	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	11.72
ESE	112.5	5.46	3.25	0.39	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.19
SE	135.0	6.06	4.29	0.26	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.65
SSE	157.5	3.89	5.42	1.24	0.12	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.67
S	180.0	1.19	1.06	0.16	0.02	-	-	-	-	-	-	-	2.43
SSW	202.5	0.80	1.01	0.18	0.03	-	-	-	-	-	-	-	2.01
SW	225.0	0.99	2.66	1.00	0.07	-	-	-	-	-	-	-	4.72
WSW	247.5	0.45	2.43	2.72	0.67	0.08	0.01	0.00	-	-	-	-	6.36
W	270.0	0.15	0.58	0.55	0.15	0.03	0.01	-	-	-	-	-	1.47
WNW	292.5	0.13	0.30	0.31	0.11	0.01	-	-	-	-	-	-	0.87
NW	315.0	0.11	0.32	0.32	0.11	0.01	-	-	-	-	-	-	0.86
NNW	337.5	0.15	0.32	0.22	0.10	0.01	0.00	0.01	-	-	-	-	0.81
Total		32.12	41.50	16.15	5.01	1.64	0.71	0.41	0.18	0.05	0.02	0.05	100.00

Tabla 25: Altura Significativa (Hs)- Dirección de procedencia en %.

Fuente: Puertos del estado

El valor de  $K_p$  será en tanto por uno la probabilidad de presentación de cada altura de ola que consideremos; el valor de  $\alpha_0$  será el ángulo que forma el oleaje con la

perpendicular a la línea de costa, lo que nos dará el signo del transporte para cada dirección.

Q/Dirección	Angulo	Hs										Total	
		0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		5.5
Q(N)	68.0	125.80	1231.57	2616.70	2392.90	979.74	549.51	100.98	0.00	0.00	0.00	0.00	7997.21
Q(NNE)	45.5	496.97	6994.79	13347.64	11224.37	4801.25	3526.68	1359.95	237.36	318.64	0.00	0.00	42307.64
Q(NE)	23.0	1056.86	14387.86	21945.49	18372.14	15609.88	13046.53	12241.54	8409.34	3067.58	2235.51	9118.92	119491.67
Q(ENE)	0.5	52.68	526.53	645.15	555.12	443.28	313.22	274.03	167.54	69.90	35.60	35.13	3118.18
Q(E)	-22.0	-2614.01	-13645.75	-7470.40	-4439.56	-2894.69	-1249.24	-1456.61	-619.01	0.00	0.00	0.00	-34389.27
Q(ESE)	-44.5	-3596.05	-12091.40	-3962.27	-1475.03	-404.92	-522.61	-170.74	-238.40	0.00	0.00	0.00	-22461.41
Q(SE)	-67.0	-2470.34	-9881.88	-1645.57	-443.45	-159.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-14600.72
Q(SSE)	-89.5	-14.87	-117.23	-73.65	-14.92	-1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-222.17
Total		-6962.95	-12595.50	25403.10	26171.57	18373.55	15664.09	12349.15	7956.84	3456.12	2271.11	9154.06	101241.13

Tabla 26: Transporte anual.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, con todos los datos y la ecuación del CERC, se observa que el transporte es de aproximadamente de 100.000 m<sup>3</sup> /año y el sentido en el tramo es de Norte- Sur.

El mayor transporte de sedimento se produce con oleaje del NE y el menor con oleaje del ENE debido a su incidencia perpendicular. En términos de dirección, la movilización de arena está gobernada por la dirección de las corrientes, es decir, oleajes del NE generan transporte de arena de norte a sur, mientras que oleajes de E y ESE generan transporte de sur a norte (de menor magnitud debido a una menor intensidad de las corrientes). (Acadar, 2023)

Este modelo de funcionamiento que supone un desequilibrio entre el transporte hacia el sur y hacia el norte, supone la desestabilización del sistema debido a la falta de suministro de arena al norte del ámbito de estudio. (Acadar, 2023)

La playa de la Goleta, ubicada en Tavernes de la Valldigna, ha sufrido importantes impactos debido a los temporales recurrentes en la costa valenciana, lo que ha requerido intervenciones continuas cada verano, particularmente a lo largo de los años 2016, 2017 y 2018, para restaurar su arena mediante trasvases. Las Figura 77 y Figura 78 demuestran la dinámica de la playa en respuesta tanto a procesos naturales como a estas acciones humanas. Las intervenciones, como los trasvases de arena, han sido cruciales para intentar conservar la playa frente a la erosión, y las figuras permiten visualizar cómo estas acciones han modificado o estabilizado la línea de costa a lo largo del tiempo.



Figura 120: Traslado de arena en la playa de Tavernes de la Valldigna.

Fuente: MITECO

En noviembre y diciembre de 2016, la costa valenciana fue azotada por fuertes temporales que causaron graves daños debido a la erosión. En respuesta, se abrió el expediente 46-0328 para la reparación de estos daños. Durante este periodo, se llevaron a cabo dos aportaciones de material en la playa de la Goleta. La primera consistió en la aportación de 11.090 toneladas de arena procedente de préstamo, y la segunda con arena de trasvase procedente de la playa de Tavernes Sur. Aunque se realizaron estas acciones de emergencia, la playa de la Goleta continuó siendo vulnerable debido a la presencia de muros verticales que delimitan las propiedades privadas, lo que facilitó la pérdida de arena con el impacto del oleaje (MITECO, 2016).

A principios de 2017, entre el 16 y el 22 de enero, se produjo otro episodio de fuertes temporales que afectó nuevamente a la playa de la Goleta. Los daños de este temporal se sumaron a los del año anterior, exacerbando aún más la erosión de la costa. Para mitigar estos efectos, durante los meses de marzo y abril de 2017, se realizó un aporte de arena de cantera como parte del expediente 46-0328. Sin embargo, esta intervención inicial no fue suficiente para restaurar completamente la playa.

Posteriormente, en una segunda fase de intervención en 2017, se realizó un nuevo aporte de arena, esta vez procedente de la playa de San Antonio en Cullera. En esta operación, se trasladaron aproximadamente 17.100 toneladas de arena, implicando



trabajos de dragado, acopio, transporte y distribución del material, así como su extendido y perfilado en la playa de la Goleta (MITECO, 2017).

En 2018, los temporales de febrero y marzo causaron nuevamente significativas pérdidas de arena en la playa de la Goleta, así como en otras playas ubicadas al sur de la desembocadura del río Júcar. Para abordar estos daños, se llevó a cabo una primera fase de trasvase de arena procedente de la playa Norte de Gandía y la playa de Xeraco, aportando un total de 41.623 toneladas de arena a la playa de la Goleta. Se planificó una segunda fase de esta intervención para después de la temporada estival, con el objetivo de completar la restauración de la playa conforme al presupuesto previsto (MITECO, 2018).

Estos sucesivos trasvases de arena reflejan los esfuerzos continuos por mitigar los efectos de la erosión y los daños causados por los temporales en la playa de la Goleta, buscando preservar este tramo vulnerable de la costa valenciana.



## ANEJO N°7

# MODELO NÚMÉRICO



## **ÍNDICE**

<b>1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO .....</b>	<b>176</b>
1.1 MODELO NUMÉRICO DE PROPAGACIÓN WAPO .....	176
1.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO .....	176
1.1.2 ESTRUCTURA .....	178
1.2 CONDICIONES DE OLEAJE SIMULADAS Y SISTEMA DE MALLADO .....	181
1.2.1 RÉGIMEN MEDIO DE OLEAJE .....	183
1.2.2 ANÁLISIS DE TORMENTAS .....	183
<b>2. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>184</b>
<b>APÉNDICE I. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO .....</b>	<b>186</b>
<b>1. PRIMER CASO: RÉGIMEN MEDIO .....</b>	<b>187</b>
1.1 NORESTE (NE) .....	187
1.2 ESTE (E) .....	189
1.3 ESTE-NORESTE (ENE) .....	191
<b>2. SEGUNDO CASO: TORMENTA .....</b>	<b>193</b>
2.1 NORESTE (NE) .....	193
2.2 ESTE-NORESTE (ENE) .....	194

## 1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO

Una vez identificadas las características más significativas de la zona de estudio y las condiciones del clima marítimo que pueden influir en ella, se procede al modelado numérico de la propagación del oleaje en las proximidades de la costa utilizando el modelo numérico WAPO (Silva et al, 2005).

En este apartado, se presenta el fundamento teórico, las hipótesis y los aspectos más relevantes del programa. Asimismo, se describen las condiciones climáticas marítimas simuladas, basándose en sus características predominantes y recurrentes en la zona, y el sistema de mallado empleado.

### 1.1 MODELO NUMÉRICO DE PROPAGACIÓN WAPO

Durante su propagación hacia la costa, el oleaje experimenta diversos procesos de transformación, tales como refracción, asomeramiento, disipación de energía por fricción debido al fondo, rotura del oleaje y turbulencia; además de fenómenos de reflexión y difracción cuando las olas interactúan con obstáculos. Estos fenómenos modifican la altura y la dirección de las olas, lo que influye en la respuesta final de la línea de costa debido a las corrientes litorales generadas y al transporte de sedimentos resultante.

En los siguientes apartados se detalla la estructura general del programa de propagación utilizado, el fundamento teórico y las hipótesis en las que se basa, los ficheros y parámetros de entrada necesarios para su ejecución, y los ficheros de salida resultantes de la simulación con las características del oleaje propagado.

#### 1.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

El modelo se basa en la ecuación modificada de la pendiente suave (MMSE) desarrollada por Massel (1993), Chamberlain y Porter (1995), Kirby y Dalrymple (1994), y Losada, Silva et al. (1996b). Esta ecuación considera ciertos términos de segundo orden y permite representar con mayor precisión la propagación del oleaje en presencia de batimetrías complejas, sin la restricción de “fondo suave” (inferior a 1:3) que corresponde a la ecuación de la pendiente suave (MSE). El desarrollo de la ecuación modificada de la pendiente suave (Silva, Salles et al., 2002b) asume flujo incompresible, homogéneo e irrotacional, donde las olas se propagan sobre un fondo impermeable

continuo  $h(x,y)$ , siendo  $x$  e  $y$  las coordenadas cartesianas horizontales. Además, considera el campo de oleaje generado por viento, la disipación de energía debido a la fricción del fondo y la rotura del oleaje, y la gravedad como fuerza restauradora de las olas al romperse.

Para el problema tridimensional, la ecuación de gobierno se deriva de la ecuación de continuidad y puede expresarse como:

$$\nabla_h^2 \Phi + \frac{\partial \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad -h(x,y) \leq z \leq 0$$

donde  $z$  es la coordenada vertical, positiva hacia arriba y el nivel  $z = 0$  se encuentra en el nivel medio del mar;  $\Phi(x, y, z, t)$  es el potencial de velocidades que describe el flujo;  $t$  es el tiempo; y  $\nabla_h = (\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y})$ .

El desarrollo de la ecuación modificada de la pendiente suave se basa en la teoría lineal o de Stokes, y las condiciones de frontera son:

1. Condiciones dinámica y cinemática de superficie libre

$$\eta = -\frac{1}{g} \frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\frac{1}{g} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad z = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} - \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial \varphi}{\partial z} - \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad z = 0$$

2. Condición de impermeabilidad en el fondo

$$w = \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \nabla_h h \cdot \nabla_h \Phi \quad z = -h(x,y)$$

La presión,  $p$ , está dada por la ecuación linealizada de Bernoulli:

$$p = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \Phi}{\partial z} + gz \right) \quad -h \leq z \leq 0$$

Chamberlain y Porter 1995 resolvió el problema planteado y obtuvo la siguiente ecuación modificada de la pendiente suave:

$$\nabla_h \cdot (I_1 \nabla_h \phi) + (K^2 I_1 + r(h)) \phi = 0$$

A esta ecuación le incorpora la pérdida de energía mediante un término disipativo y queda como:

$$\nabla_h \cdot (I_1 \nabla_h \phi) + ((K^2 - i\sigma W) I_1 + r(h)) \phi = 0$$

donde  $W$  es el término disipativo;  $\sigma$ , la frecuencia angular;  $T$ , el periodo;  $H_B$ , la altura de ola de rotura.

Las condiciones de frontera consideradas en los contornos incluyen: una condición general de radiación al infinito, así como fronteras abiertas o parcialmente reflectantes.

La implementación numérica de la ecuación modificada de la pendiente suave se ha llevado a cabo utilizando la técnica de diferencias finitas de segundo orden de aproximación, con la excepción de una aproximación de cuarto orden para la evaluación del oleaje incidente en las fronteras con fondo variable.

### 1.1.2 ESTRUCTURA

El modelo numérico WAPO es un programa codificado en el lenguaje de programación Fortran 77, elegido por sus ventajas en portabilidad y robustez. Está compuesto principalmente por tres subprogramas: BWAPO4, WAPO4 y OLUCA-UNAM, los cuales pueden ser ejecutados desde el programa principal MWAPO4.

Las siglas WAPO provienen del inglés "WAve Propagation On the coast", versión 4.

Los módulos de preprocesamiento WAPO4 y BWAPO4 resuelven la ecuación modificada de la pendiente suave (Modified Mild Slope) mediante una aproximación elíptica, lo que permite abordar adecuadamente los procesos de reflexión y difracción. Por ello, se utiliza para propagar el oleaje desde aguas intermedias a aguas someras.

El subprograma WAPO4 genera y resuelve el sistema de ecuaciones que permite conocer el oleaje propagado, mientras que el subprograma BWAPO4 construye la malla de cálculo y reúne todos los parámetros necesarios para la ejecución de la rutina principal MWAPO4.

La información requerida para ejecutar los programas se introduce a través de una serie de ficheros de entrada, que incluyen datos batimétricos del área de estudio, y los resultados se obtienen mediante una serie de ficheros de salida.

#### 1.1.2.1 FICHEROS DE ENTRADA Y SALIDA

El modelo numérico WAPO permite propagar las características de una onda monocromática, definida por la altura de ola (H), periodo (T) y dirección (Dir). Para ejecutar el modelo numérico WAPO, se requieren los siguientes ficheros y parámetros de entrada:

- Batimetría

- Características oleaje incidente (H, T, Dir)
- Frontera de entrada del oleaje
- Valores de coeficiente de reflexión en tierra
- Sobreelevación del nivel del mar, en caso de considerar marea de tormenta.

#### 1.1.2.1.1 Fichero que contiene la batimetría

Los archivos utilizados tienen la extensión grd y se introduce uno por cada malla de propagación de oleaje empleada.

La batimetría utilizada en este estudio se representa mediante archivos denominados MIBAT.grd, correspondientes a las mallas de aproximación y detalle. En la Figura 121 se muestra la malla utilizada, la cual está dividida en celdas de 7x7 metros, representando la batimetría de la zona de estudio. Esta malla permite una aproximación detallada de las condiciones del fondo marino, esencial para la correcta propagación del oleaje en los modelos numéricos.

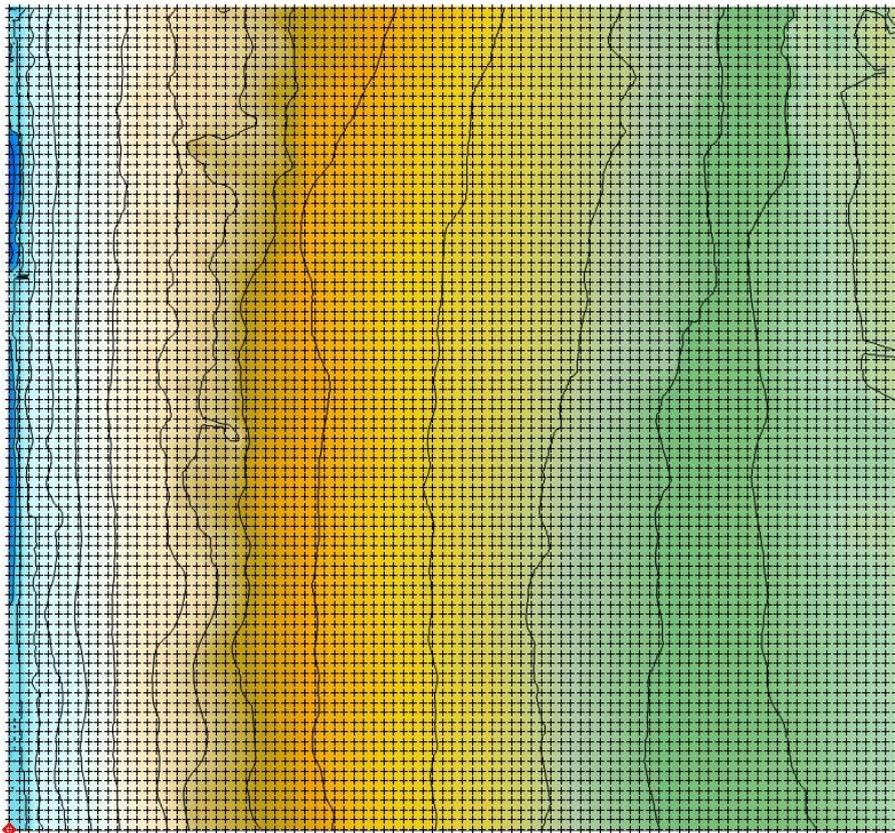


Figura 121: Batimetría.  
Fuente: Elaboración propia

### 1.1.2.1.2 Fichero con las condiciones de entrada y datos de salida

Mediante un archivo con extensión inp (MI01wap.inp en Figura 122/ Figura 116) se especifica la frontera de entrada del oleaje en la malla de cálculo y las características del oleaje que se desea propagar, definidas por la amplitud de ola, el período de oleaje; y el ángulo que forma la dirección del oleaje con la normal al contorno.

```
MI09wap: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
PRIMERAS PRUEBAS DE LA NUEVA VERSION - JUNIO DE 2009 -
FRONTERAS DE FORZADO WAPO (1=NORTE,2=OESTE,3=ESTE,4=SUR), WAPO+REFDIF(6,6,7,8)
3 CLAVES: REFDIF(11=NORTE,12=OESTE,13=ESTE,14=SUR)
7 PERIOD (SEC)
1 INCIDENT WAVE AMPLITUDE
0.5 ANGLE
1 BREAKING (YES = 1, NO = 0)
1 WAVENUMBER APPROXIMATION (LINEAR=1, HEDGES = 2)
.2 MINIMUM WATER DEPTH CONSIDER AS A WATER
0. TIDAL LEVEL (M)
0. NUMBER OF DIFFERENTS FRICTION AREAS
.0 1 1 402 1691 .VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1 NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS TOP
.0 1 1691 .VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1 NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS LEFT
.0 1 402 .VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1 NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF. AREAS RIGHT
.0 1 402 .VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1 NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
.0 1 1691 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
1 NUMBER OF DIFFERENTS REFLECTION COEF AREAS BOTTOM
0.3 1 1 1000 926 VALUE AND RECTANGULAR COORDINATES
0 =1 SI LOS DATOS DE FRICCION ENTRAN POR MALLA
MALLA_FRI.GRD MALLA CON LAS CLAVES DE FRICCION (14 CARACTERES MAX)
CLAVE_FRI.TXT CLAVE QUE RELACIONAN VALORES (14 CARACTERES MAX)
```

Figura 122: Fichero de entrada.

Fuente: Elaboración propia

También en este fichero se decide la consideración o no del proceso de rotura del oleaje y fricción del fondo, tipo de aproximación del número de onda, profundidad del agua mínima a tener en cuenta y elevación del nivel del mar por marea de tormenta.

Como datos de salida, la información sobre el oleaje propagado se obtiene principalmente en dos archivos con extensión grd. Uno de estos archivos registra los valores de la altura máxima del oleaje propagado, mientras que el otro contiene los resultados de la superficie libre del mar en un instante específico.

- Mapas de altura de ola máxima (MI01AMP.GRD)
- Mapas de superficie libre del mar instantánea (MI01SUP.GRD)

A modo de esquema, los archivos de entrada y salida del modelo numérico WAPO se muestran en la Figura 123. El fichero LIST.TXT permite indicar la secuencia de aplicación del modelo para diferentes condiciones de oleaje.

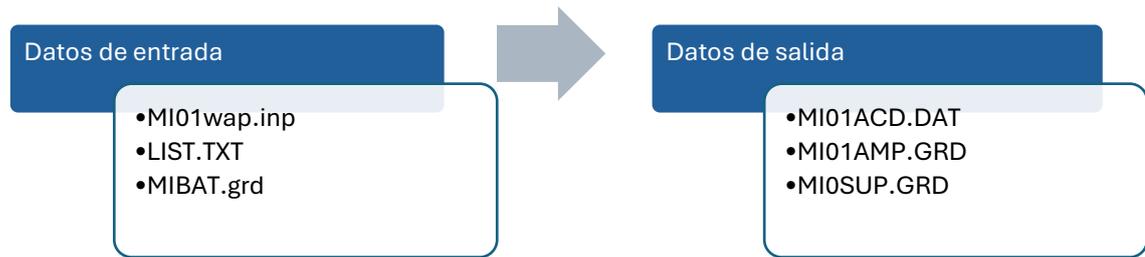


Figura 123: Esquema de los datos de entrada y datos de salida del modelo numérico.

Fuente: Elaboración propia

## 1.2 CONDICIONES DE OLAJE SIMULADAS Y SISTEMA DE MALLADO

Los casos de oleaje han sido seleccionados según las condiciones del clima marítimo que pueden influir en la zona de estudio.

De las siete direcciones principales que caracterizan el oleaje en aguas profundas (N, NNE, NE, ENE, E, ESE y SE), las que tienen mayor impacto en el litoral de estudio debido a su ubicación y a los procesos de transformación que sufre el oleaje durante su propagación son NE, ENE y E.

Para la construcción de las mallas de cálculo, es necesario ajustar la orientación de la batimetría de la zona de tal manera que el contorno de entrada del oleaje tenga una profundidad constante y el ángulo de incidencia del oleaje en relación a la normal al contorno exceda los límites establecidos para el óptimo funcionamiento de los modelos de propagación. Se ha determinado que un giro de 22° en sentido antihorario es adecuado.

La malla de simulación utilizada es rectangular, con dimensiones de 6.993 km de ancho y 6.475 km de alto, compuesta por un total de 926,000 celdas cuadradas, distribuidas en 1000 celdas a lo largo de la dirección x y 926 celdas a lo largo de la dirección y. Cada celda tiene una dimensión de 7 metros por 7 metros. Las condiciones de oleaje a analizar son introducidas en el contorno Este de la malla, donde la profundidad varía entre -27 metros y 4.869 metros. A continuación, en la Figura 124, se puede observar la distribución batimétrica de la malla, así como las características descritas anteriormente.

## Batimetría

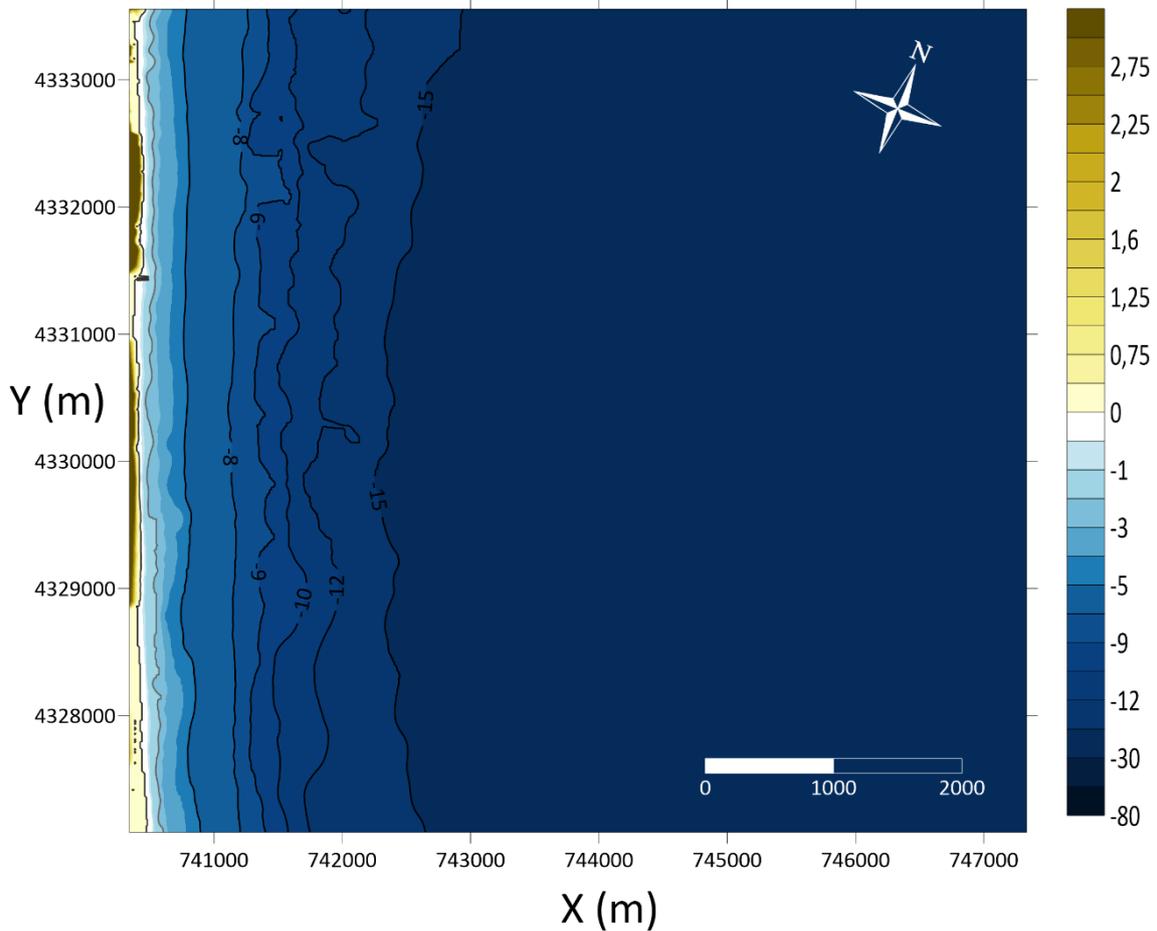


Figura 124: Batimetría

Fuente: Elaboración propia

Así, el ángulo de incidencia del oleaje que se debe introducir en el modelo de propagación (es decir, el ángulo entre la dirección del oleaje y la normal al contorno de entrada de la malla) para las diferentes direcciones consideradas es:

Dirección	Ángulo respecto Este
NE	23°
ENE	0.5°
E	-22

Tabla 27: Ángulo de entrada del oleaje en el contorno de la malla de propagación, para las distintas direcciones

Fuente: Elaboración propia

En los siguientes apartados se presentan los distintos casos simulados para condiciones de oleaje en régimen medio y de tormenta.

### 1.2.1 RÉGIMEN MEDIO DE OLAJE

Los valores de altura de ola (H) y período (T) monocromáticos utilizados en la simulación se derivan directamente de los valores de altura de ola significativa (Hs) y período de pico (Tp) del régimen medio.

Las alturas de ola seleccionadas para representar el régimen medio de oleaje son de 1 m, con períodos asociados de 7 y 8 s. Las direcciones analizadas en cada caso se presentan en la Tabla 28, de acuerdo con la frecuencia de ocurrencia para cada condición de oleaje. En total, se han realizado 6 casos de simulación en régimen medio:

		Primer caso					
		MI02wap	MI03wap	MI04wap	MI05wap	MI06wap	MI07wap
H		1	1	1	1	1	1
T		8	7	7	9	9	9
Ángulo	NE	23	-	-	23	-	-
	ENE	-	0.5	-	-	0.5	-
	E	-	-	-22	-	-	-22

Tabla 28: Casos simulados representativos del régimen medio de oleaje en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia

### 1.2.2 ANÁLISIS DE TORMENTAS

Un oleaje con altura de ola significativa de 2 metros es considerado como oleaje de tormenta (Puertos del Estado). Los casos que se han seleccionado por su representatividad en el área se muestran en la Tabla 29. En total 2 casos de simulación analizados en condiciones de tormenta.

		Segundo caso	
		MI08wap	MI09wap
H		2	1
T		7	7
Ángulo	NE	23	-
	ENE	-	0.5
	E	-	-

Tabla 29: Casos de oleaje a simular en condiciones de tormenta.

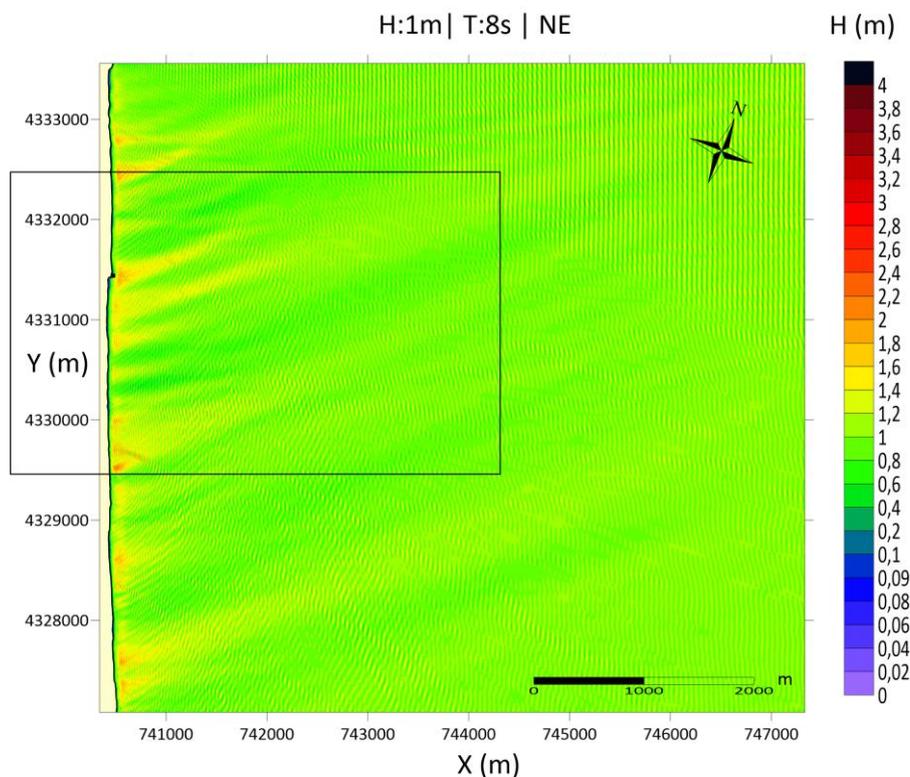
Fuente: Elaboración propia

## 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la modelación numérica evidencian la concentración de energía del oleaje, representada por la altura de ola, en la zona de playa frente al predio, tanto para las condiciones de oleaje más frecuentes en situaciones de calma como en situaciones de tormenta.

En condiciones de calma, se observa la llegada de olas energéticas a la zona de estudio para las tres direcciones predominantes de procedencia: Noreste, Este-Noreste y Este. A continuación, se presentan los resultados correspondientes a un escenario de oleaje en calma. En estas figuras, la concentración de energía del oleaje se identifica mediante tonos amarillos y naranjas, indicando alturas de ola superiores a 1 metro en la zona próxima a la costa.

Para un análisis más detallado de los resultados de la modelación numérica, se puede consultar el *APÉNDICE I. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO*, donde se presentan de manera exhaustiva los resultados obtenidos.



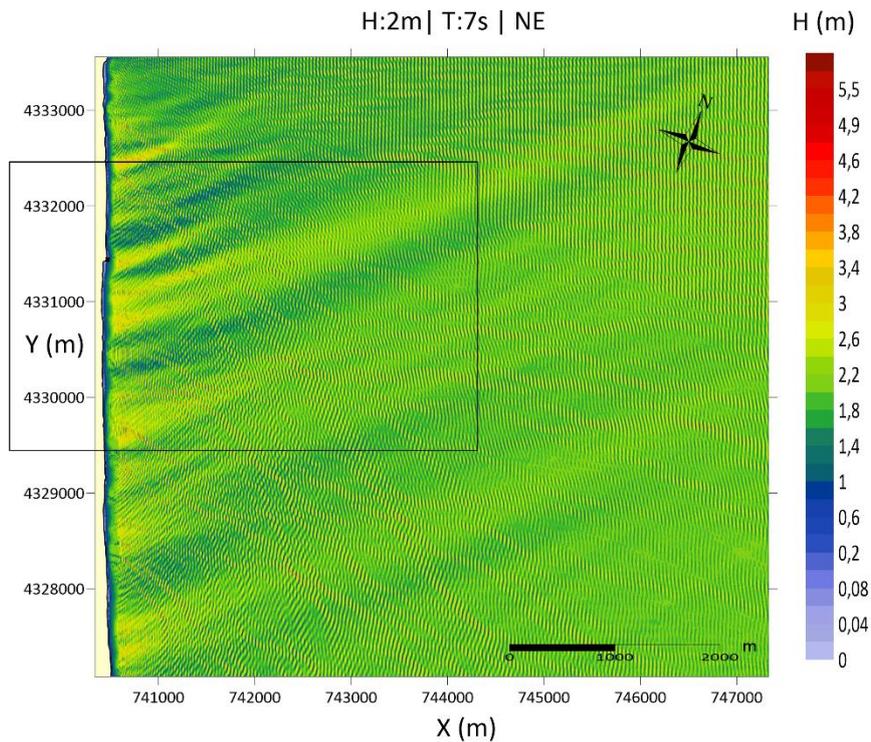


Figura 125: Ejemplos de los resultados de propagación de altura de ola de escenarios en condiciones de calma.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la propagación del oleaje en la malla correspondiente a la celda litoral, se puede observar que el área de estudio delimitada por el rectángulo se encuentra en una de las zonas más expuestas a la acción del oleaje, careciendo de protección costera. La configuración del lecho marino en esta región favorece la concentración de energía del oleaje cerca de la costa.

Por lo tanto, los resultados evidencian una zona vulnerable a las condiciones del oleaje, lo que explica el retroceso de la línea de costa debido a la erosión de la playa a lo largo de los años. De esta forma, se justifica la necesidad de actuar para proteger la zona costera objeto del proyecto y así proporcionar un espacio de playa seca más adecuada para el turismo.

En tormentas, las condiciones de oleaje más desfavorables se producen debido principalmente a oleaje de dirección Noreste y Este-Noreste, afectando a prácticamente todo el litoral.

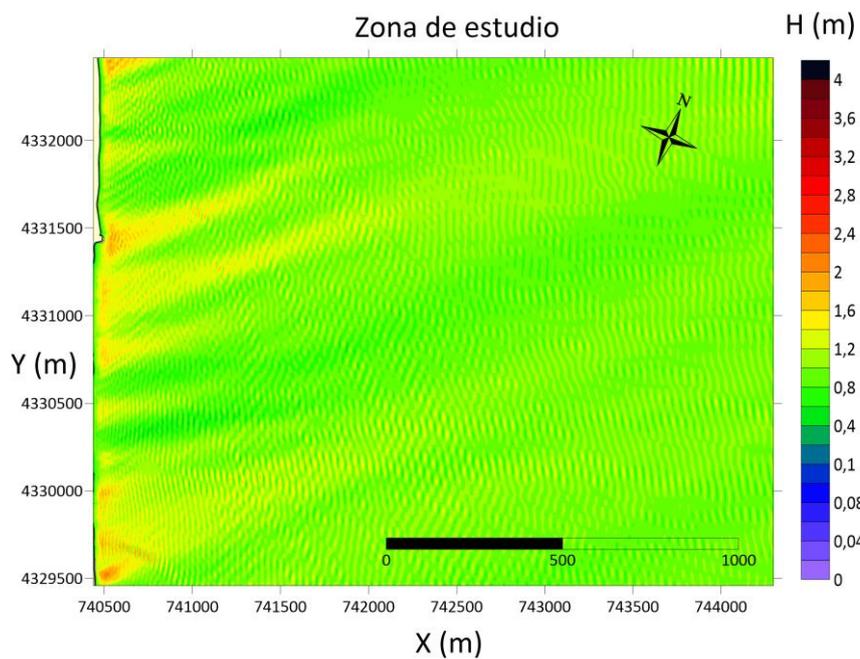
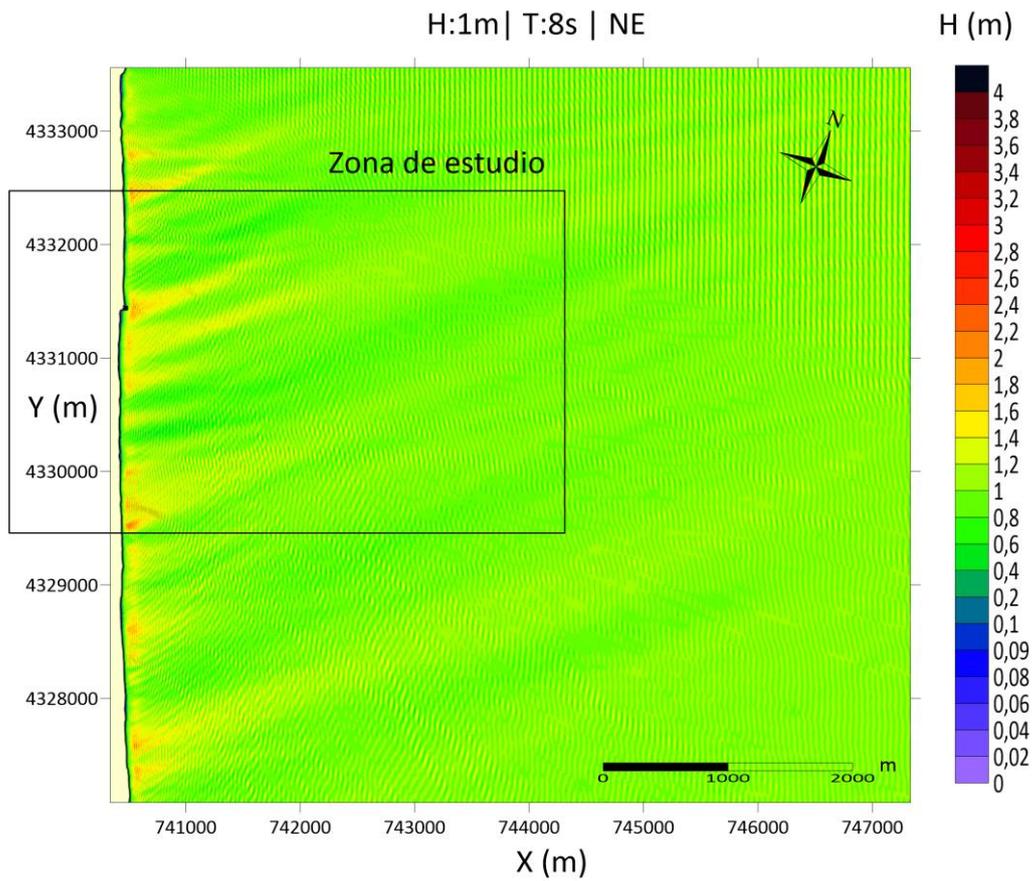


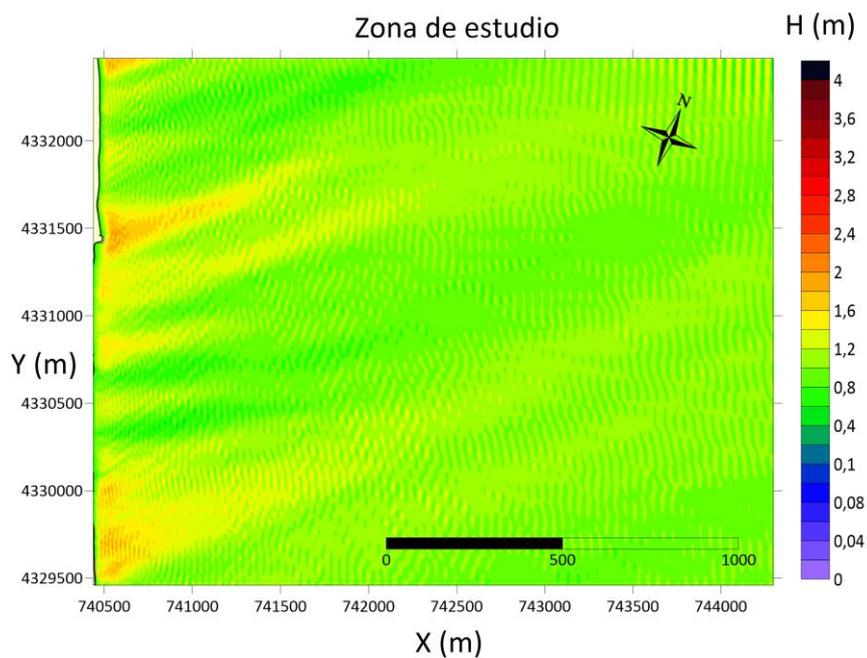
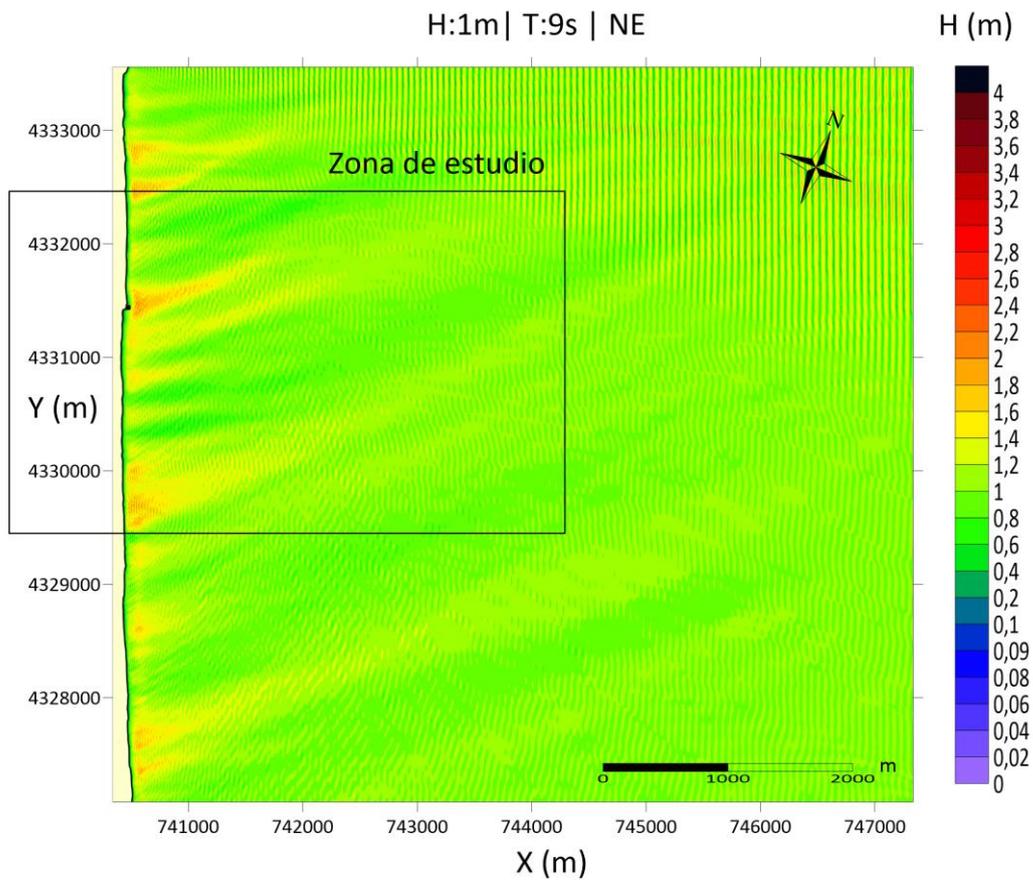
## APÉNDICE I

# RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO

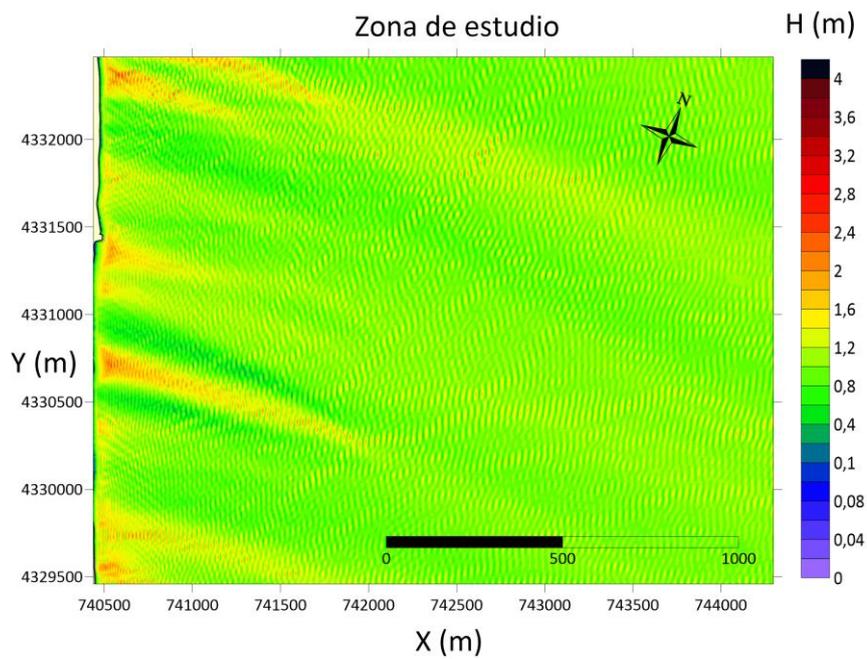
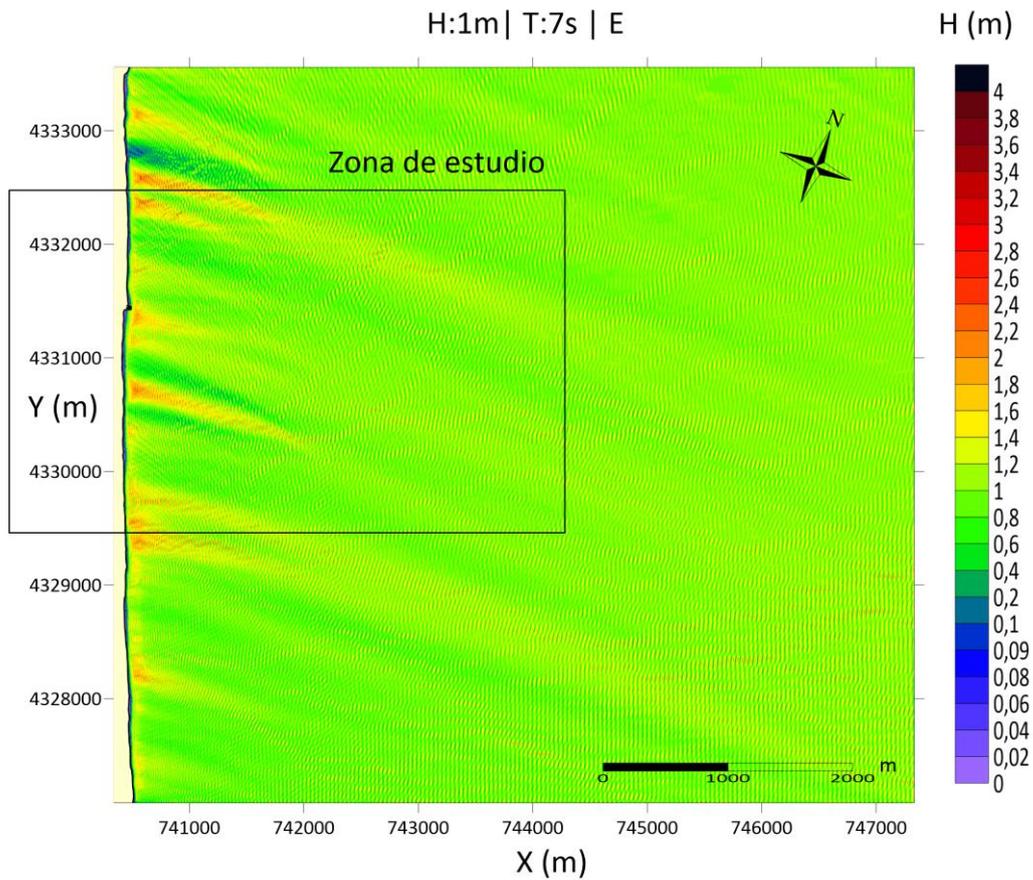
# 1. PRIMER CASO: RÉGIMEN MEDIO

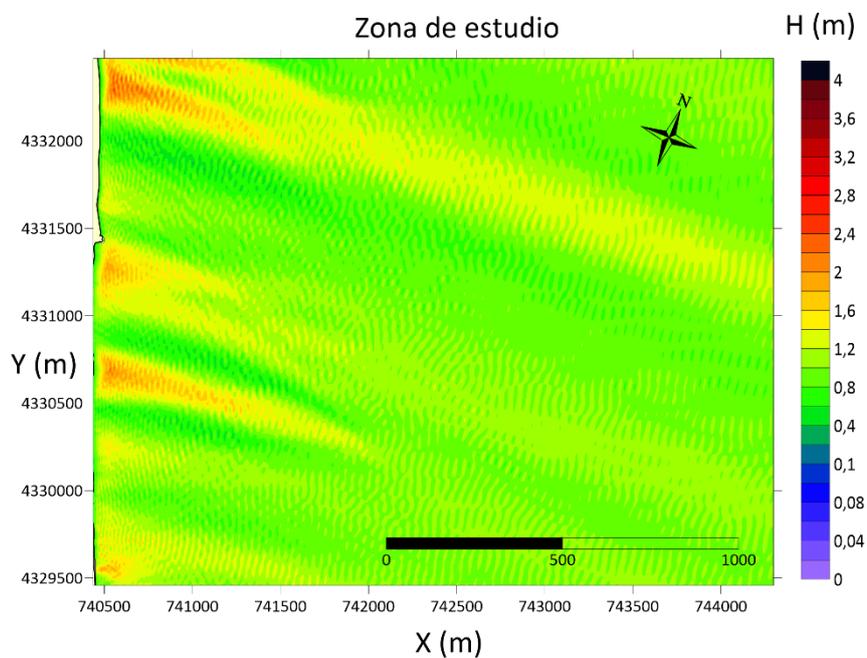
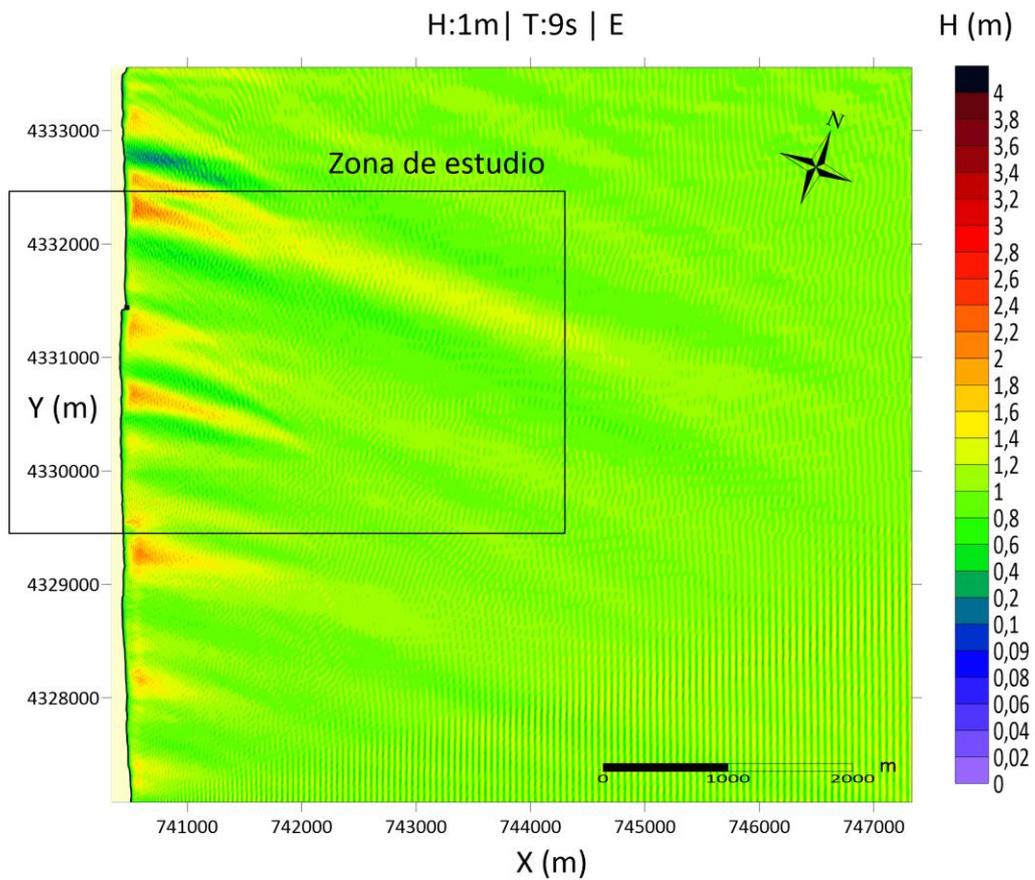
## 1.1 NORESTE (NE)



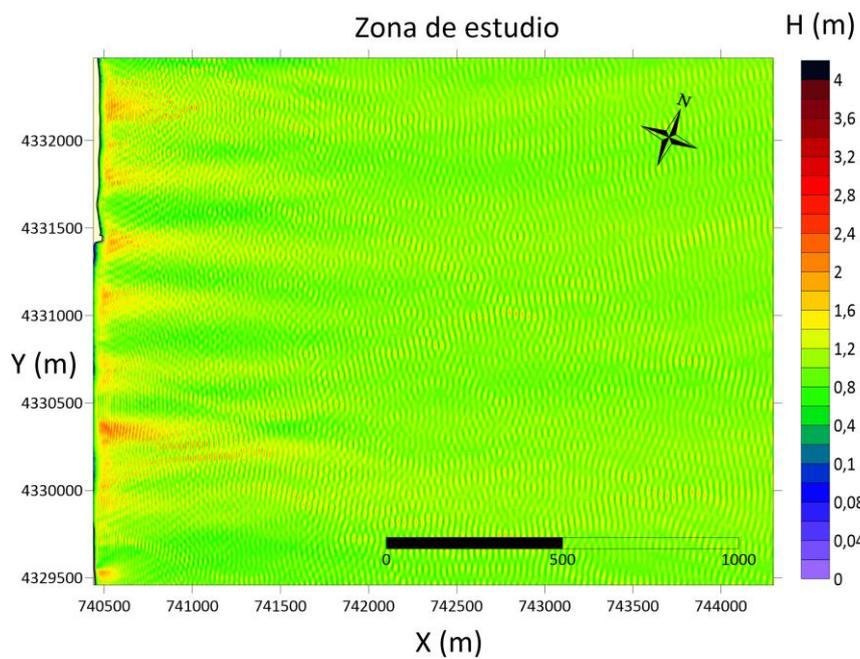
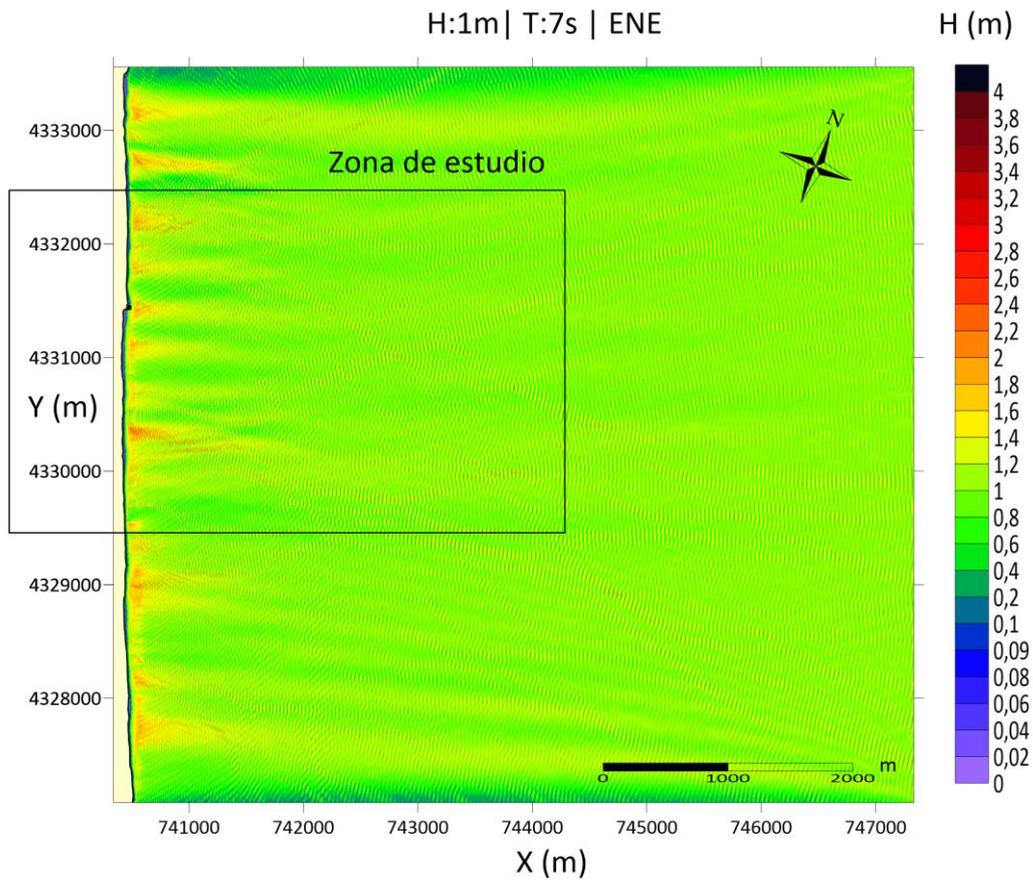


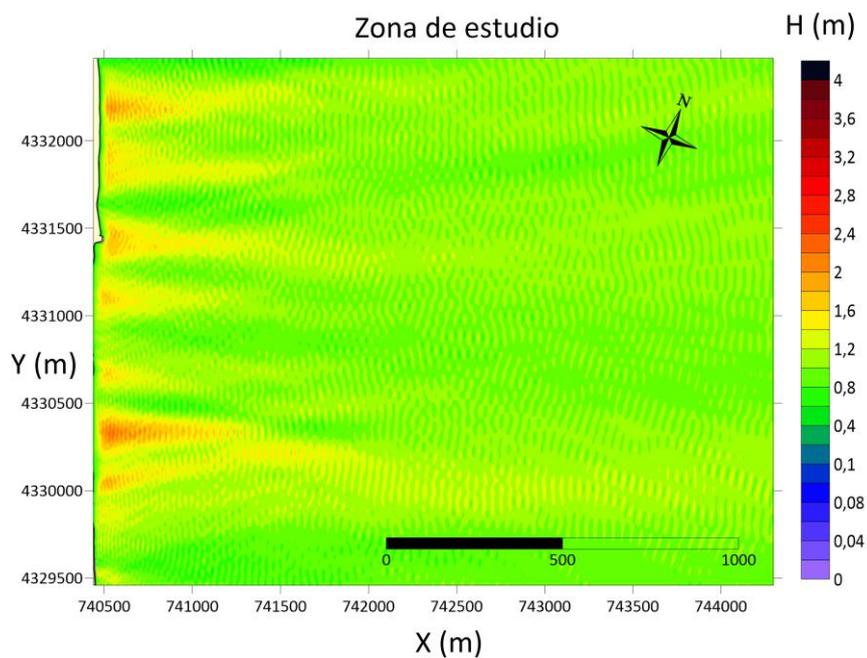
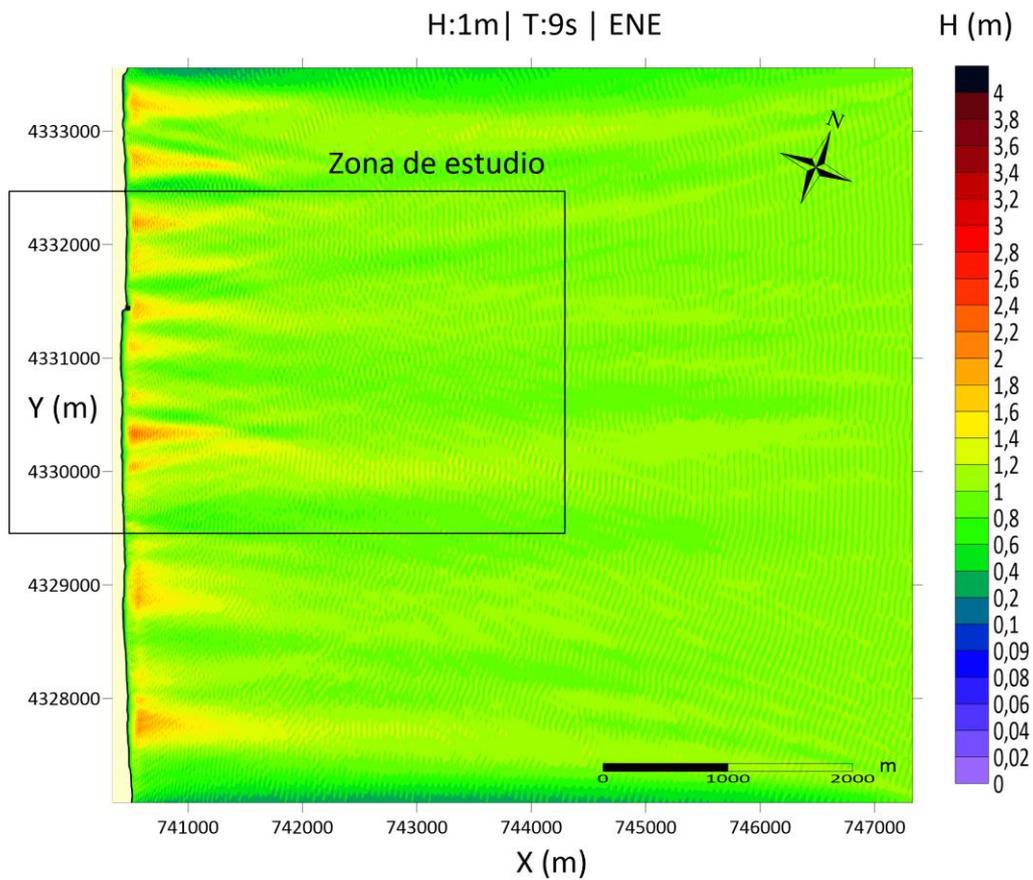
## 1.2 ESTE (E)





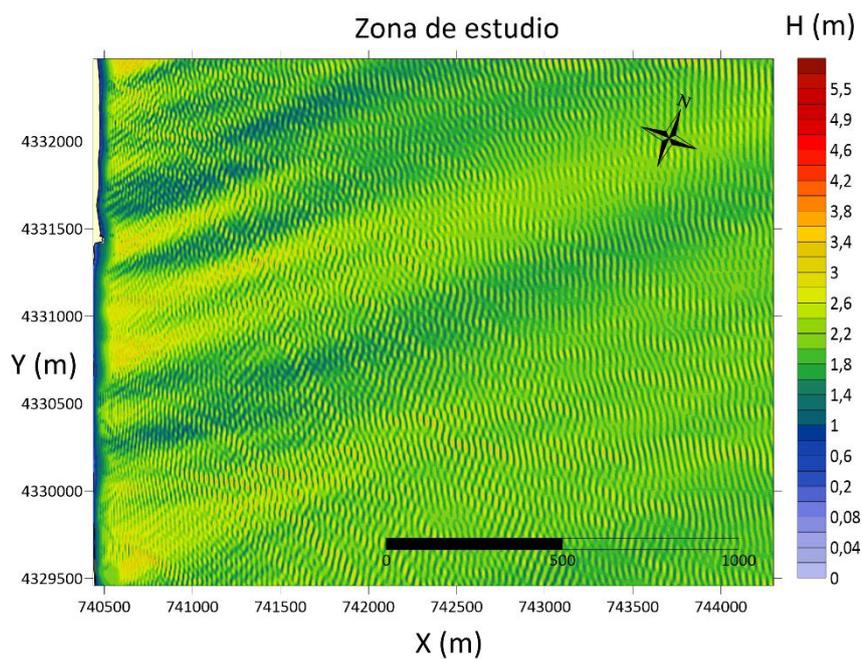
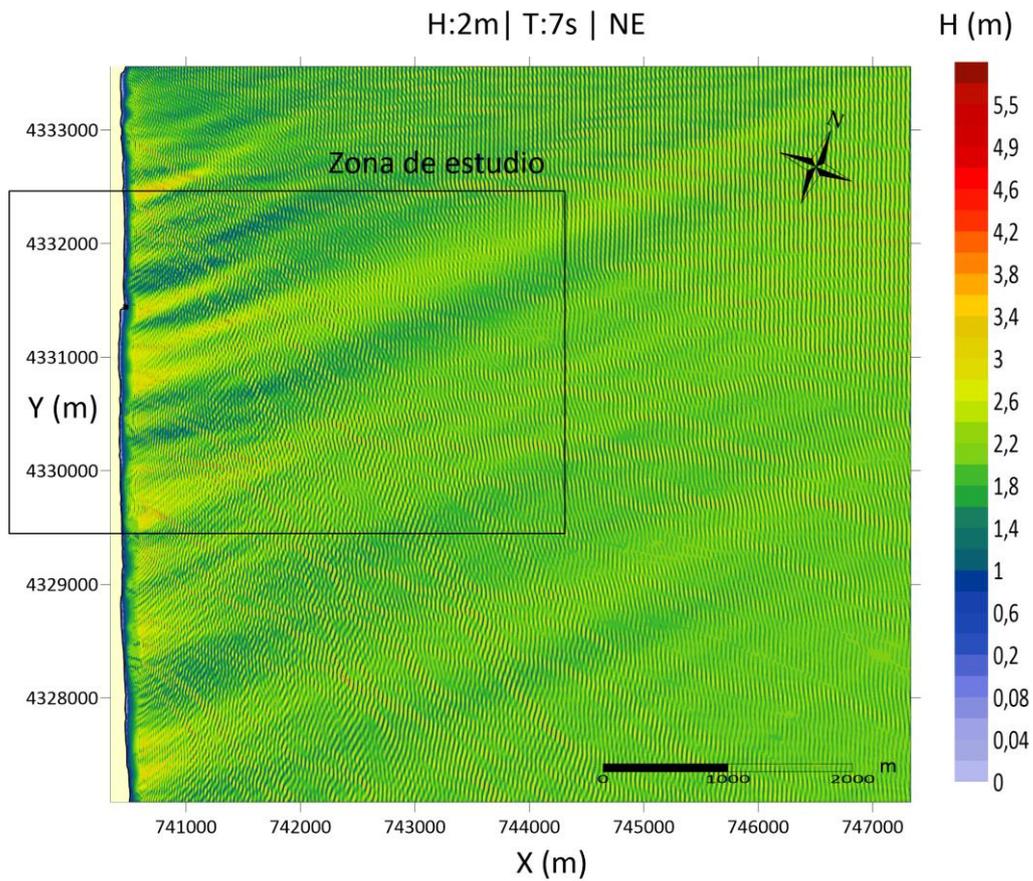
### 1.3 ESTE-NORESTE (ENE)



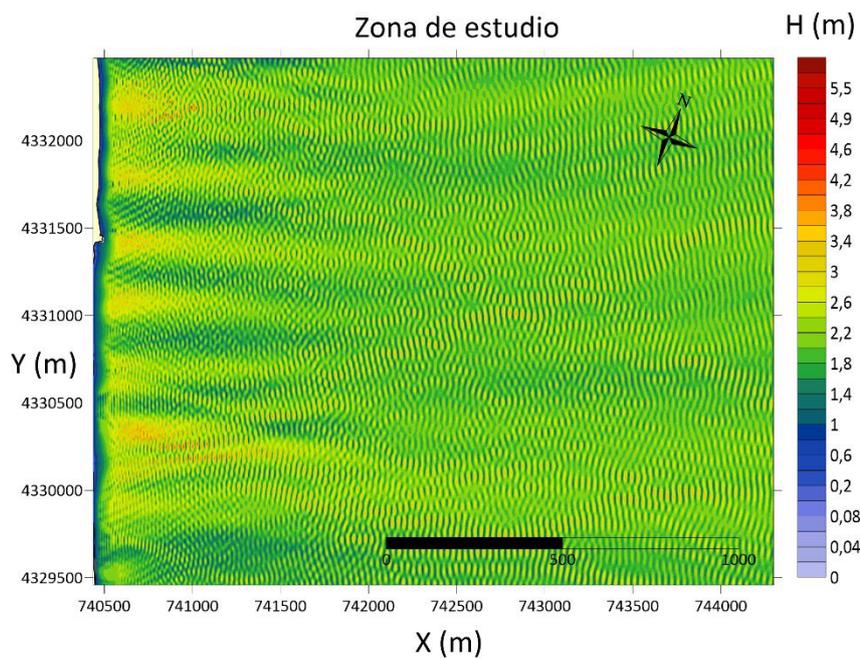
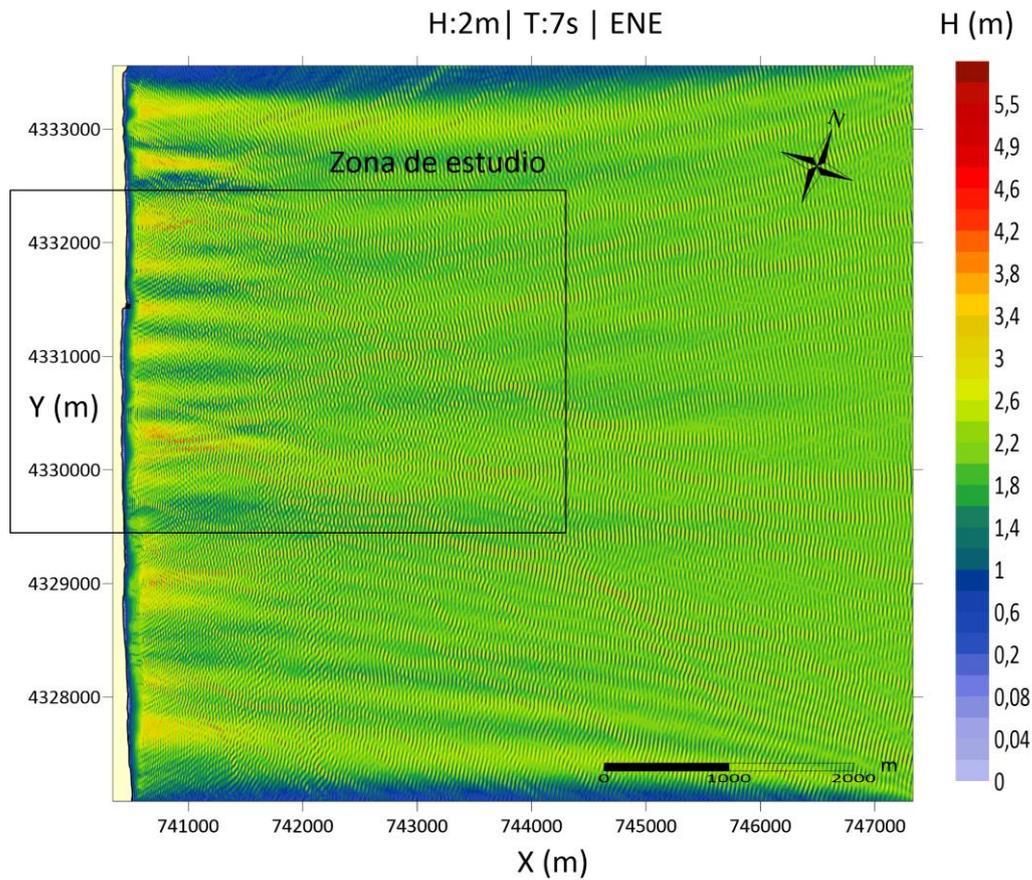


## 2. SEGUNDO CASO: TORMENTA

### 2.1 NORESTE (NE)



## 2.2 ESTE-NORESTE (ENE)





## ANEJO N°8

# ESTUDIO DE SOLUCIONES



## **ÍNDICE**

<b>1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....</b>	<b>199</b>
1.1 CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO .....	199
1.2 ALTURA DE OLA DE CÁLCULO .....	201
1.3 TAMAÑO DE CUBÍPODOS.....	202
1.4 DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN .....	202
<b>2. CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....</b>	<b>204</b>
2.1 CRITERIO FUNCIONAL.....	205
2.2 CRITERIO ECONOMICO.....	205
2.3 CRITERIO SOCIAL .....	205
2.4 CRITERIO MEDIOAMBIENTAL.....	205
2.5 DETERMINACIÓN DE PESOS DE LOS CRITERIOS SELECCIONADOS....	206
<b>3. ESTUDIO DE SOLUCIONES.....</b>	<b>208</b>
3.1 ALTERNATIVA 1: DOS DIQUES DE 150 METROS.....	208
3.2 ALTERNATIVA 2: DOS DIQUES DE 200 METROS.....	212
3.3 ALTERNATIVA 3: CUATRO DIQUES DE 150 METROS.....	212
3.4 ALTERNATIVA 4: CUATRO DIQUES DE 200 METROS.....	217
3.5 RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS .....	219
<b>4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA .....</b>	<b>219</b>
4.1 CRITERIO FUNCIONAL.....	219
4.2 CRITERIO ECONÓMICO.....	220
4.3 CRITERIO SOCIAL .....	220



4.4	CRITERIO MEDIOAMBIENTAL.....	221
<b>5.</b>	<b>ALTERNATIVA ÓPTIMA POR EL ANÁLISIS MULTICRITERIO.....</b>	<b>222</b>
<b>6.</b>	<b>DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA .....</b>	<b>223</b>
6.1	PROFUNDIDAD Y POSICIÓN FINAL DE LAS ESTRUCTURAS.....	223
6.2	DISEÑO FINAL DE LAS PIEZAS .....	224
6.3	EFFECTOS DE LAS ESTRUCTURAS DISEÑAS SOBRE EL OLEAJE.....	226
	<b>APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO CON LOS DIQUES .....</b>	<b>227</b>
<b>1.</b>	<b>ALTERNATIVA 1: DOS DIQUES DE 150 METROS .....</b>	<b>228</b>
1.1	PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO .....	228
1.1.1	NORESTE (NE).....	228
1.1.2	ESTE-NORESTE (ENE) .....	230
1.1.3	ESTE (E) .....	231
1.2	SEGUNDO CASO: TORMENTA.....	234
1.2.1	NORESTE (NE).....	234
1.2.2	ESTE-NORESTE (ENE) .....	235
<b>2.</b>	<b>ALTERNATIVA 2: DOS DIQUES DE 200 METROS .....</b>	<b>236</b>
2.1	PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO .....	236
2.1.1	NORESTE (NE).....	236
2.1.2	ESTE-NORESTE (ENE) .....	238
2.1.3	ESTE (E) .....	240
2.2	SEGUNDO CASO: TORMENTA.....	242
2.2.1	NORESTE (NE).....	242



2.2.2	ESTE- NORESTE (ENE) .....	243
<b>3.</b>	<b>ALTERNATIVA 3: CUATRO DIQUES DE 150 METROS .....</b>	<b>244</b>
3.1	PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO .....	244
3.1.1	NORESTE (NE) .....	244
3.1.2	ESTE- NORESTE (ENE) .....	246
3.1.3	ESTE (E) .....	248
3.2	SEGUNDO CASO: TORMENTA.....	250
3.2.1	NORESTE (NE).....	250
3.2.2	ESTE- NORESTE (ENE) .....	251
<b>4.</b>	<b>ALTERNATIVA 4: CUATRO DIQUES DE 200 METROS .....</b>	<b>252</b>
4.1	PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO .....	252
4.1.1	NORESTE (NE).....	252
4.1.2	ESTE- NORESTE (ENE) .....	254
4.1.3	ESTE (E) .....	256
4.2	SEGUNDO CASO: TORMENTA.....	258
4.2.1	NORESTE (NE).....	258
4.2.2	ESTE- NORESTE (ENE) .....	259

## 1. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

### 1.1 CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO

Para el diseño de la HLCS de Cubípodos es necesario predefinir algunas de las características de estos.

En primer lugar, es necesario señalar que la estructura que se va a diseñar tendrá unas características similares a los modelos estudiados, ensayados en el LPC. En este caso, debido a la batimetría, estará formada por 3 capas de Cubípodos, dispuestos mediante una malla de colocación con un 52% de porosidad compuesta por rectángulos de parámetros  $a/D_n=1,44$  y  $b/D_n=1,44$ . La sección transversal será simétrica. Los Cubípodos tendrán una densidad de  $2,21 \text{ t/m}^3$ .

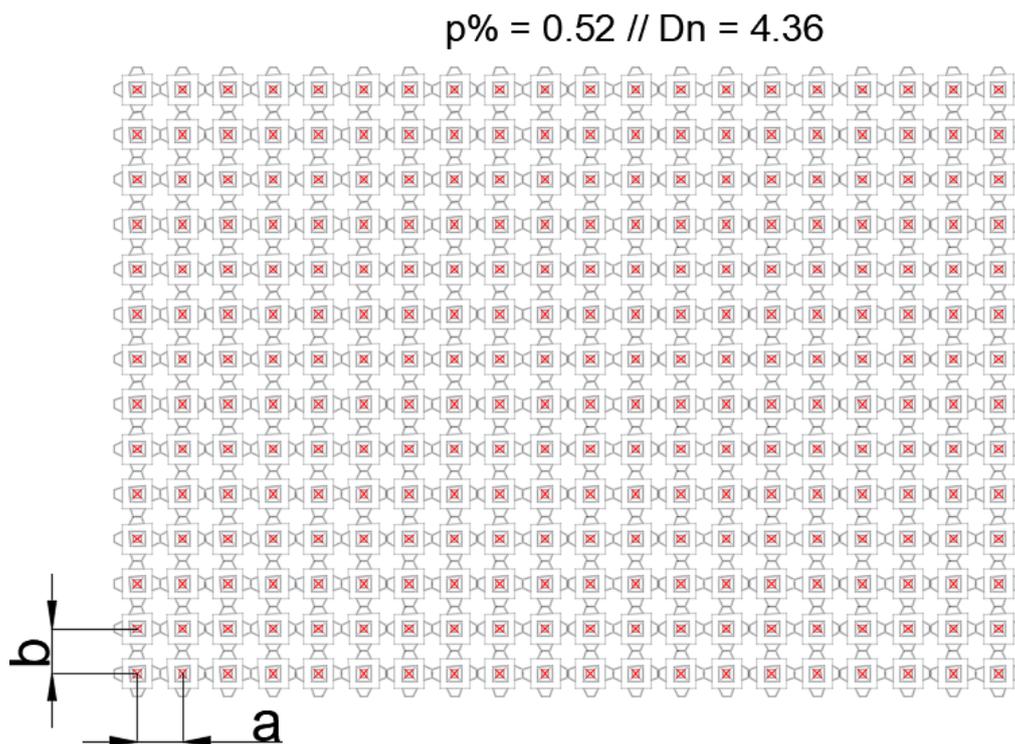


Figura 126: Parámetros de diseño de la malla de colocación.

Fuente: Elaboración propia

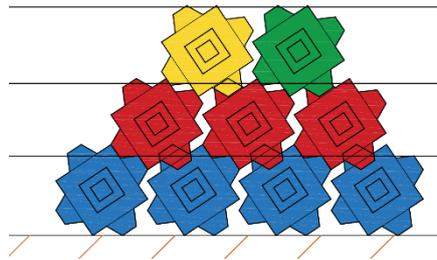


Figura 127: Sección transversal.  
Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la ubicación de la infraestructura, la distancia entre el dique y la costa es crucial para definir las condiciones que se desean crear en la playa intervenida. Dependiendo de esta distancia, la respuesta de la costa variará. Si la distancia es corta, se acumularán más sedimentos detrás del dique, lo que resultará en la formación de un tómbolo o hemitómbolo. Por el contrario, una mayor distancia conlleva una menor sedimentación. A continuación, se presentan algunos de los criterios de diseño basados en la respuesta de la costa:

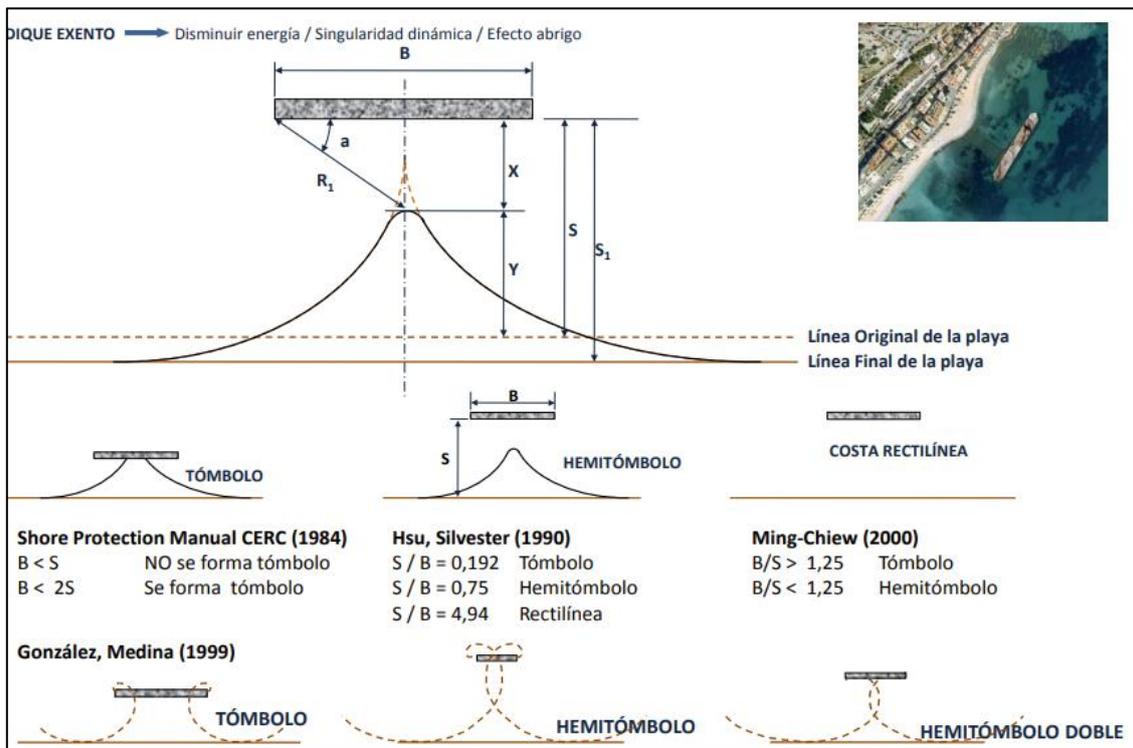


Figura 128: Condiciones de respuesta de la costa ante la construcción de diques exentos.  
Fuente: Apuntes de la asignatura Puertos y Costas

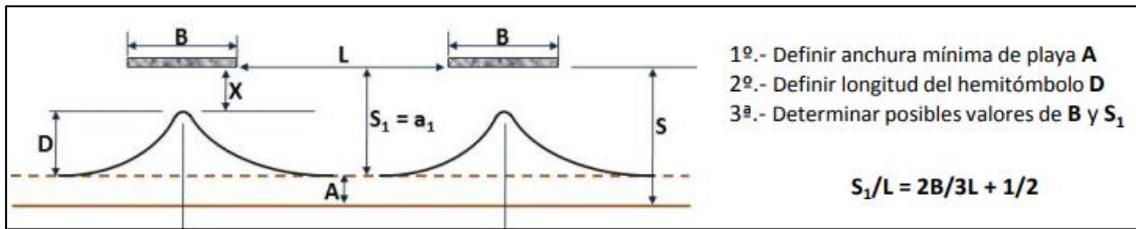


Figura 129: Condiciones de respuesta de la costa ante la construcción de un grupo diques exentos.

Fuente: Apuntes de la asignatura Puertos y Costas

Algunos de los criterios de diseño en función de la respuesta de la costa se recogen en la Tabla 30:

Autores y año	Expresión	Respuesta de la costa
Gourlay (1981)	$B/S < 1$	No hay tómbolo
S.P.M. (1984)	$B/S < 0,4 - 0,5$	Saliente
Dally y Pope (1986)	$B/S = 0.5-0.67$	Saliente
Suh y Dalrymple (1987)	$B/S < 1$	No hay tómbolo (Dique Aislado)
Suh y Dalrymple (1987)	$B/S < 2G/B$	No hay tómbolo (Grupo de diques)
Ahrens y Cox (1990)	$B/S < 1.5$	Saliente bien desarrollado
Ahrens y Cox (1990)	$B/S < 0.8-1.5$	Pequeño saliente

B: Longitud del dique. S: Distancia del dique a la línea de costa G: Separación entre diques exentos alineados

Tabla 30: Condiciones de respuesta de la costa ante la construcción de diques exentos.

Fuente: Elaboración propia

En este caso se quiere evitar la formación de cualquier tómbolo para no interrumpir el transporte de sedimentos y además se prevé la construcción de un grupo de diques. Por tanto, se utilizará la formulación propuesta para un grupo de diques.

El dique se situará sobre la batimétrica -5 metros. Una vez conocidas las dimensiones de los Cubípodos se definirá la longitud, ubicación y número de diques a colocar.

## 1.2 ALTURA DE OLA DE CÁLCULO

La altura de ola de cálculo se ha calculado anteriormente propagando el oleaje desde la boya de valencia hasta aguas someras, por lo tanto, se tiene una  $H_s$ :

$$H_s = 3.9 \text{ metros}$$

### 1.3 TAMAÑO DE CUBÍPODOS

Es necesario obtener el tamaño de los Cubípodos que compondrá el dique homogéneo de baja cota. Para ello, se hará uso de la profundidad adimensional ( $hs/\Delta \cdot Dn$ ), además conociendo los coeficientes de capa medidos en el laboratorio, se obtiene el diámetro nominal de las piezas a colocar introduciendo en la siguiente ecuación:

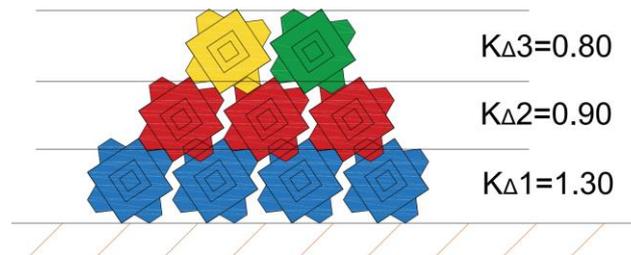


Figura 130: Coeficientes de capa.

Fuente: Elaboración propia

$$Dn = \frac{3.9}{(1.3 + 0.90 + 0.80)} = \frac{3.9}{3} = 1.3m$$

Estos Cubípodos tendrán un peso de, siendo conocida la densidad del material, 2,21 g/cm<sup>3</sup>:

$$W = \gamma \cdot Dn^3 = 2.21 \cdot 1.3^3 = 4.857 \text{ toneladas}$$

### 1.4 DEFINICIÓN DE LA SECCIÓN

Una vez determinado el tamaño necesario para los Cubípodos, se puede definir la sección transversal de la HLCS. Esta sección será la misma que se ensayó en el LPC-UPC y que se analiza en este trabajo. Así, tanto la malla de colocación como los coeficientes de capa serán idénticos.

Con esto en mente, se pueden obtener las principales dimensiones que definen la malla de colocación y la altura de coronación de cada una de las capas, así como el francobordo de la estructura. En cuanto a la malla de colocación, sus dimensiones serán las siguientes:

$$\frac{a}{Dn} = 1.44 \rightarrow a = 2.44 \text{ metros}$$

$$\frac{b}{D_n} = 1.44 \rightarrow b = 2.44 \text{ metros}$$

$$p\% = 0.52 // D_n = 4.36$$

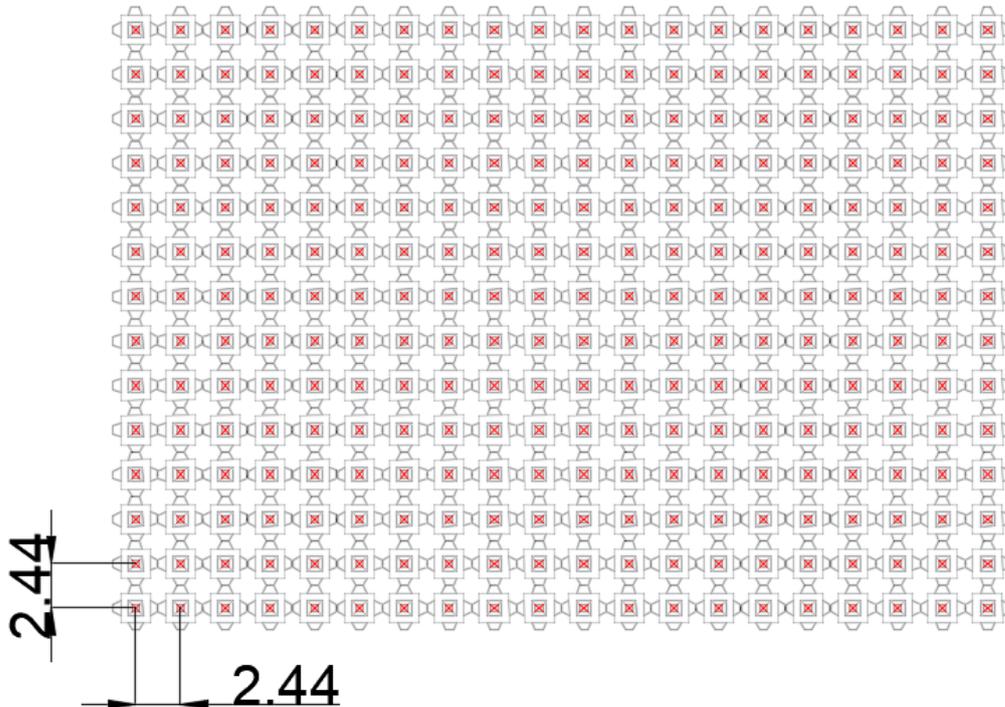


Figura 131: Malla de colocación de la estructura.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se definen los espesores de cada una de las capas y la cota de coronación de la estructura.

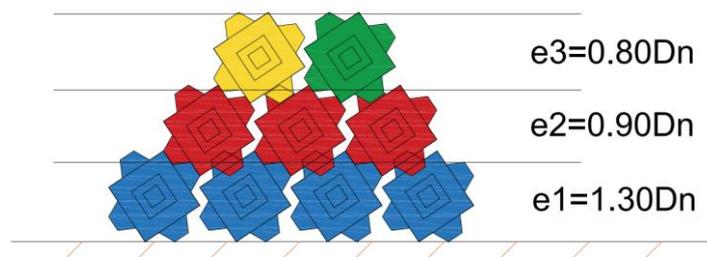


Figura 132: Espesor de las capas de la estructura diseñada.

Fuente: Elaboración propia

Con esto, se tiene una altura total de la estructura de 5 metros, es decir arras al nivel del mar.

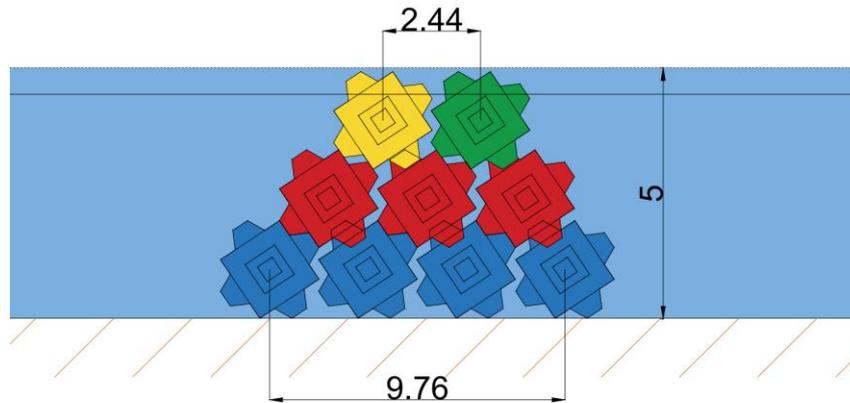


Figura 133: Sección transversal de la estructura diseñada.

Fuente: Elaboración propia

## 2. CRITERIOS ADOPTADOS PARA EL ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En este apartado, se realizará un análisis de las diferentes alternativas mediante un análisis multicriterio. Para ello, se establecerán una serie de criterios de evaluación que se aplicarán a todas las opciones. El objetivo es obtener una puntuación que permita clasificar y priorizar cada alternativa, con el fin de seleccionar la más adecuada.

A continuación, en la Figura 134 se describen los criterios que se utilizarán para medir y evaluar las alternativas propuestas.



Figura 134: Criterio del estudio de soluciones.

Fuente: Elaboración propia

## 2.1 CRITERIO FUNCIONAL

Las alternativas propuestas, así como la alternativa óptima seleccionada, serán evaluadas según la eficiencia con la que resuelven la problemática existente en la zona. Se considerarán los beneficios sobre los ecosistemas marinos y la capacidad de reducción de energía del oleaje, utilizando el análisis realizado con el modelo numérico WAPO. Este criterio medirá cómo cada alternativa contribuye a mejorar la condición actual y su eficacia en la mitigación de impactos negativos.

## 2.2 CRITERIO ECONOMICO

La ejecución y mantenimiento de la solución óptima deben estar comprendidos dentro de un presupuesto razonable. El análisis económico se realizará mediante un estudio comparativo, calculando los costes aproximados de cada alternativa y comparándolos con la media de todas las alternativas. Se tendrán en cuenta los costes de ejecución/construcción y los costes de mantenimiento y/o conservación, buscando la opción más coste-efectiva sin comprometer la calidad y funcionalidad de la solución.

## 2.3 CRITERIO SOCIAL

La solución adoptada como óptima debe ser atractiva para los usuarios de las playas del tramo costero. Es crucial que no obstruya visualmente la estructura, ni cause molestias a los barcos o a los bañistas. Se evaluará la aceptación social y el impacto en la calidad de vida de la comunidad local, asegurando que la alternativa elegida no interfiera negativamente con las actividades recreativas y económicas de la zona.

## 2.4 CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

Se evaluará la capacidad de desmantelamiento de la solución, así como la seguridad para bañistas y embarcaciones, incluyendo el balizamiento necesario. Este criterio considerará el impacto ambiental de cada alternativa, asegurando que se minimicen los efectos negativos sobre el entorno natural y que se garantice la seguridad de todas las actividades relacionadas con la playa y el tramo costero.

## 2.5 DETERMINACIÓN DE PESOS DE LOS CRITERIOS SELECCIONADOS

Una vez establecida la estructura jerárquica para el análisis de soluciones, se procede a la comparación de los criterios. Esta comparación se realiza mediante matrices de comparación por pares, utilizando una escala de referencia fundamental.

En este estudio, la escala de referencia se define en la tabla que se presenta 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	

Tabla 31: Escala fundamental de comparación.

Fuente: Yepes, V., 2018

Utilizando la escala de comparación proporcionada, se ponderan los criterios para determinar su importancia relativa respecto a los demás. Este proceso permite establecer la matriz de comparación, la cual se configura de la siguiente manera:

	C1	C2	C3	C4
C1	1,00	3	6	5
C2	1/5	1,00	5	3
C3	1/6	3	1,00	1
C4	1/5	1	1	1,00

Tabla 32: Matriz de comparación pareada para ponderación de criterios.

Fuente: elaboración propia

Según Yepes, V (2018), esta matriz debe cumplir con propiedades de coherencia, lo que significa que no debe haber contradicciones en las valoraciones realizadas. La coherencia se asegura mediante el uso del índice de coherencia (CI), donde  $\lambda_{max}$  es el autovalor máximo y  $n$  es la dimensión de la matriz de decisión, que en este caso es de

4 filas por 4 columnas (n=4). Una vez obtenido el valor de CI, se calcula la proporción de coherencia (CR), que se considera aceptable si no supera los valores máximos establecidos para el ratio de consistencia CR. Si el CR máximo se excede en una matriz, será necesario revisar las ponderaciones para garantizar la coherencia de la matriz de comparación.

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

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

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

Tabla 33: 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.

$$Rci = \frac{1,98 * (n - 2)}{n}$$

Ci=	0.036760117	
Rci=	0,99	
CR=	0.0371	Consistente

Tabla 34: Resultados de consistencia.

Fuente: elaboración propia

El valor del CR en este caso es menor al límite del 10% para matrices con una dimensión superior a 5 (en este estudio, n = 4). Esto indica que la matriz es consistente y, por lo tanto, se puede proceder con el análisis de las alternativas presentadas. Tras verificar la consistencia de la matriz, se calcula su vector propio, lo que permite determinar los pesos asignados a cada uno de los criterios establecidos. A continuación, se detallan los pesos correspondientes a cada criterio:

		PESOS
C1	FUNCIONAL	56%
C2	ECONOMICO	27%
C3	SOCIAL	8%
C4	MEDIOAMBIENTAL	9%

Tabla 35: Definición de los pesos de los criterios.

Fuente: elaboración propia

### 3. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Los diques se ubicarán entre las batimétricas de -4, -5 y -6 m, ya que, son una serie de diques exentos paralelos a la línea de costa. Dos de las soluciones contemplan la construcción de dos diques de 150 m y 200 m respectivamente, mientras que las otras dos opciones consideran la instalación de cuatro diques de 150 m y 200 m cada uno.

Para las cuatro alternativas propuestas, será necesario llevar a cabo un estudio sobre el aporte de arena para aquellas playas potencialmente afectadas. Además, se implementarán diques a lo largo de todo el tramo de las playas de La Goleta y Tavernes con el objetivo de protegerlas, reducir la erosión y aumentar la extensión de las zonas de playa.

#### 3.1 ALTERNATIVA 1: DOS DIQUES DE 150 METROS

En primer lugar, cabe señalar que todas las alternativas están planteadas para dar solución al problema de erosión costera en la playa de Tavernes, por ello se cuenta en todas ellas con una alimentación artificial de arena, que se tendrá que estudiar y que será repartido en todo el tramo.

En este caso, se ha decidido disponer de dos estructuras de baja cota de coronación de 150 metros separadas a 400 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 playa.

De acuerdo con los criterios de diseño, se busca evitar la formación de tómbolos o hemitómbolos en la costa. Para lograr este objetivo, se empleará la expresión de Suh y Dalrymple (1987) para un sistema de diques exentos alineados.

Para la esta primera alternativa, tendríamos, dos diques exentos de 150 metros con una separación de 400 metros entre ellos.

$$\frac{150}{400} < 2 \cdot \frac{400}{150} \rightarrow CUMPLE$$

A continuación, se va a mostrar una imagen en la que se define la distribución en planta:



Figura 135: Alternativa 1 de dos diques de 150m.

Fuente: Elaboración propia

- CRITERIO FUNCIONAL

Para analizar la capacidad de reducción de energía del oleaje de esta alternativa, se tomarán en cuenta los resultados obtenidos del modelo numérico WAPO. Se medirá la longitud de línea de costa que protegen los diques de cada alternativa.

Como se observa en el *APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO*, que incluye todos los resultados, son mapas de contorno proporcionado por el modelo numérico WAPO muestran la distribución de las alturas de las olas (H) en metros. Las áreas en azul y verde representan alturas de olas más bajas, mientras que, las áreas en amarillo, naranja y rojo representan alturas de olas más altas.

Por lo tanto, al introducir el dique se observa como la energía de oleaje se reduce delante del dique, se puede medir cuanta longitud de costa protegen estos diques, que sería de 1000 metros.

- CRITERIO ECONOMICO

Para llevar a cabo esta comparación, es necesario estimar los costes económicos de las distintas alternativas propuestas. No se ha realizado una valoración económica exhaustiva de todas las alternativas, ya que esto se efectuará únicamente para la solución que finalmente se adopte. Sin embargo, es esencial disponer de un punto de referencia para comparar las alternativas en base a este subcriterio. Este análisis se realizará considerando el volumen total de hormigón necesario para la ejecución de los elementos que formarán la estructura arrecifal. Además, es crucial tener en cuenta la maquinaria necesaria para la colocación de las piezas y las pontonas a utilizar, por lo que también se considerará el tiempo de maquinaria requerido para realizar dicha operación.

Por lo tanto, para saber cuánto costaría construir los dos diques de esta alternativa, habrá que saber cuántos Cubípodos son necesarios.

El número de Cubípodos a colocar en esta alternativa se observa en la Tabla 36:

	Diques de 150 m
Capa 1	246
Capa 2	62
Capa 3	16
Total 1 dique	324
Total 2 diques	648

Tabla 36: Número de Cubípodos de la alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia

El Manual Cubípedo ofrece una metodología para calcular los costos de construcción de diques con unidades Cubípedo. Esta metodología desglosa los costos en seis categorías: suministro de hormigón, fabricación, manipulación, transporte y colocación, almacenamiento y encofrados. La distribución porcentual de estos costos se ilustra en una figura adjunta.

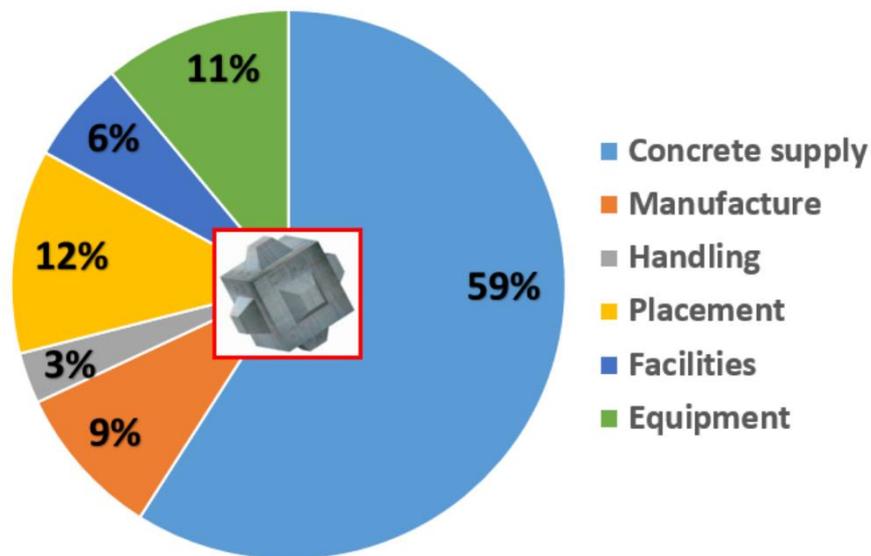


Figura 136: Clasificación de costes de construcción.

Fuente: Cubipod Manual

Corredor et al. (2008), Medina et al. (2010) propusieron la siguiente ecuación para estimar el coste de construcción del manto de diques formados por Cubípodos.

$$C_c \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (265 + HOR) + 1 \left[ 10^5 \left( \frac{1}{\ln(V_c W_c)} \right)^2 - 10^4 \left( \frac{1}{\ln(V_c W_c)} \right) \right]$$

Donde HOR [€/m<sup>3</sup>] es el coste unitario del suministro de hormigón, W<sub>c</sub> (t) es el peso de la unidad de Cubípedo y V<sub>c</sub> (m<sup>3</sup>) es el volumen total de hormigón utilizado en la fabricación de las piezas.

Se considera el suministro de hormigón en masa de 60€/m<sup>3</sup>, el peso de cada Cubípedo de 10.85 toneladas y el volumen total de hormigón es:

$$648 \text{ Cubípodos} * 1.59^3 \frac{\text{m}^3}{\text{Cub}} = 2605 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} C_c \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] &= (265 + 60) + 1 \left[ 10^5 \left( \frac{1}{\ln(2605 * 10.85)} \right)^2 - 10^4 \left( \frac{1}{\ln(2605 * 10.85)} \right) \right] \\ &= 301,3 \text{ €/m}^3 \end{aligned}$$

Por lo tanto, se supone un rendimiento de colocación de 8-12 Cubípodos/hora, teniendo en cuenta, toda la fabricación, encofrado, transporte y colocación, se va a tardar aproximadamente 49 días.

	Volumen de hormigón (m3)	Nº de piezas	Precio total (€)
Alternativa 1	2605	648	784.738,44

Tabla 37: Análisis del coste de la alternativa 1.

Fuente: Elaboración propia

- CRITERIO SOCIAL

La construcción de dos diques de baja cota en una playa erosionada generará múltiples beneficios sociales que justifican su inclusión en el análisis multicriterio del proyecto. Aunque es posible que la solución de poner dos diques no amplíe toda la zona que deseamos, sino solo una parte, la estabilización de la playa reducirá la erosión, permitiendo la acumulación de arena y resultando en una playa más amplia y visualmente atractiva en las áreas afectadas. Este cambio estético, aunque parcial, proporcionará una mayor uniformidad en el paisaje costero, mejorando la calidad de vida de los residentes y aumentando la satisfacción de los visitantes.

Durante la construcción podría generar, molestias a los usuarios por los trabajos con maquinaria.

- CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

La construcción de dos diques en las playas de Tavernes provocará un impacto moderado al principio, pero a largo plazo generará un impacto ambiental muy positivo, ya que fomentará el aumento del ancho de la playa, proporcionando así espacio suficiente para el campo dunar. Durante las semanas de trabajo, la construcción de estas obras de defensa causará ruido y polvo.

En principio, debido al diseño planteado, no afectaría a los bañistas, ya que al situarse sobre la batimétrica de -5 metros, estaría fuera de la zona de baño, impidiendo el acceso de los bañistas a la estructura. Por el contrario, será necesario implementar una campaña de balizamiento específica, ya que no se podrán utilizar las boyas que marcan los límites de la zona de baño para señalar esta estructura.

### 3.2 ALTERNATIVA 2: DOS DIQUES DE 200 METROS

Para esta alternativa 2, se ha decidido disponer de dos estructuras de baja cota de coronación de 200 metros separadas a 400 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.

A continuación, se va a mostrar una imagen en la que se define la distribución en planta:



Figura 137: Alternativa 2 de dos diques de 200m.

Fuente: Elaboración propia

Para la segunda solución se tiene, 2 diques exentos de 200 metros con una separación de 500 metros entre ellos, por lo tanto, cumple con el criterio de diseño:

$$\frac{200}{500} < 2 \cdot \frac{500}{200} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- CRITERIO FUNCIONAL

En esta alternativa, al igual que en la anterior, se medirá el criterio funcional utilizando los resultados obtenidos del modelo numérico, los cuales se pueden ver en el **APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO**. En este caso, los diques están más separados, lo que permite proteger una mayor longitud de línea de costa, alcanzando los 1100 metros. Sin embargo, esta protección sigue siendo insuficiente para evitar una recesión significativa en las playas.

- CRITERIO ECONOMICO

Por lo tanto, para saber cuánto costaría construir los dos diques de esta alternativa, habrá que saber cuántos Cubípodos son necesarios.

El número de Cubípodos a colocar en esta alternativa se observa en la Tabla 38:

	Diques de 200 m
Capa 1	328
Capa 2	82
Capa 3	21
Total 1 dique	431
Total 2 diques	862

Tabla 38: Número de Cubípodos de la alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, siguiendo el mismo criterio explicado para la alternativa 1, se tiene un precio aproximado para esta alternativa de:

	Volumen de hormigón (m3)	Nº de piezas	Precio total (€)
Alternativa 2	3465	862	959.193,28

Tabla 39: Análisis del coste de la alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia

- CRITERIO SOCIAL

La construcción de dos diques de baja cota de 200 metros, 50 metros más que la alternativa anterior, pues generaría más tramo de playa a largo plazo y llegaría a proteger más tramo de la costa.

- CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

La construcción de dos diques de 200 metros en las playas de Tavernes provocará un impacto moderado mayor al principio que en la alternativa anterior, ya que tendríamos 50 metros más de diques, pero a largo plazo generará un impacto ambiental muy positivo.

### 3.3 ALTERNATIVA 3: CUATRO DIQUES DE 150 METROS

Para esta alternativa 3, se ha decidido disponer de cuatro estructuras de baja cota de coronación de 150 metros separadas a 300 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.

A continuación, se va a mostrar una imagen en la que se define la distribución en planta:



Figura 138: Alternativa 3 de dos diques de 150m.

Fuente: Elaboración propia

Para la tercera solución se tiene, 4 diques exentos de 150 metros con una separación de 400 metros entre ellos, por lo tanto, cumple con el criterio de diseño:

$$\frac{150}{400} < 4 \cdot \frac{400}{150} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

- CRITERIO FUNCIONAL

En esta alternativa, al contar con cuatro diques, se protege una mayor extensión de línea de costa, cubriendo exactamente el tramo de estudio, que incluye la playa de la Goleta y la playa de Tavernes, un área notablemente erosionada. La protección abarca

aproximadamente 2000 metros de línea de costa. Los resultados detallados del modelo numérico que respaldan esta evaluación se pueden consultar en el *APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO*.

- CRITERIO ECONOMICO

Por lo tanto, para saber cuánto costaría construir los dos diques de esta alternativa, habrá que saber cuántos Cubípodos son necesarios.

El número de Cubípodos a colocar en esta alternativa se observa en la Tabla 40:

	Diques de 150 m
Capa 1	246
Capa 2	62
Capa 3	16
Total 4 diques	1296

Tabla 40: Número de Cubípodos de la alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, siguiendo el mismo criterio explicado para la alternativa 1, se tiene un precio aproximado para esta alternativa de:

	Volumen de hormigón (m3)	Nº de piezas	Precio total (€)
Alternativa 3	5210	1296	1.283.065,63

Figura 139: Análisis del coste de la alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia

- CRITERIO SOCIAL

La construcción de cuatro diques de baja cota de 150 metros, dos diques más que en la alternativa 1, pues generaría más tramo de playa a largo plazo y llegaría a proteger más tramo de la costa.

Durante la construcción afectaría más a los usuarios de la playa ya que se tardaría el doble en construir que la alternativa 1, pero se protegería más tramo de costa que las alternativas anteriores.

- CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

La construcción de dos diques de 150 metros en las playas de Tavernes provocará mayor impacto al principio que en las dos alternativas anteriores, ya que tendríamos dos diques más, pero a largo plazo generará un impacto ambiental muy positivo. Tanto para el campo dunar, como el tramo de la costa hasta para los ecosistemas marinos.

### 3.4 ALTERNATIVA 4: CUATRO DIQUES DE 200 METROS

Para esta alternativa 4, se ha decidido disponer de cuatro estructuras de baja cota de coronación de 200 metros separadas a 300 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.

A continuación, se va a mostrar una imagen en la que se define la distribución en planta:



Figura 140: Alternativa 4 de dos diques de 200m.

Fuente: Elaboración propia

Para la cuarta solución se tiene, 4 diques exentos de 200 metros con una separación de 350 metros entre ellos, por lo tanto, cumple con el criterio de diseño:

$$\frac{200}{350} < 4 \cdot \frac{350}{200} \rightarrow CUMPLE$$

- CRITERIO FUNCIONAL

En esta alternativa, se protege 100 metros más de línea de costa en comparación con la alternativa anterior, aunque la diferencia no es muy significativa. En total, se protegen 2100 metros de costa. Los resultados detallados del modelo numérico que respaldan esta evaluación se pueden consultar en el *APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO*.

- CRITERIO ECONOMICO

Por lo tanto, para saber cuánto costaría construir los dos diques de esta alternativa, habrá que saber cuántos Cubípodos son necesarios.

El número de Cubípodos a colocar en esta alternativa se observa en la Tabla 41:

	Diques de 200 m
Capa 1	328
Capa 2	82
Capa 3	21
Total 4 diques	1724

Tabla 41: Número de Cubípodos de la alternativa 4.

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, siguiendo el mismo criterio explicado para la alternativa 1, se tiene un precio aproximado para esta alternativa de:

	Volumen de hormigón (m3)	Nº de piezas	Precio total (€)
Alternativa 4	6930	1724	1.577.296,47

Tabla 42: Análisis del coste de la alternativa 4.

Fuente: Elaboración propia

- CRITERIO SOCIAL

La construcción de cuatro diques de baja cota de 200 metros, 50 metros más que en la alternativa 3, pues generaría más tramo de playa a largo plazo y llegaría a proteger más tramo de la costa que las tres alternativas anteriores. Durante la construcción afectaría más a los usuarios de la playa ya que se tardaría el doble en construir que la alternativa

1 y 2 y un poco más que la alternativa 3, pero se protegería más tramo de costa que las alternativas anteriores.

- CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

La construcción de dos diques de 200 metros en las playas de Tavernes provocará mayor impacto al principio que en las dos primeras alternativas, ya que tendríamos dos diques más, pero a largo plazo generará un impacto ambiental muy positivo. Tanto para el campo dunar, como el tramo de la costa hasta para los ecosistemas marinos.

### 3.5 RESUMEN DE LAS ALTERNATIVAS

RESUMEN ALTERNATIVAS	
ESTRATEGÍA COMÚN	Estudio para aportar arena en todas las alternativas y así que proteja el tramo de costa existente.
ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
Dos diques de 150 metros a 400 metros de la línea de costa.	Dos diques de 200 metros a 400 metros de la línea de costa.
ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
Cuatro diques de 150 metros a 300 metros de la línea de costa.	Cuatro diques de 200 metros a 300 metros de la línea de costa.

Tabla 43: Resumen de las alternativas.

Fuente: Elaboración propia

## 4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN ÓPTIMA

### 4.1 CRITERIO FUNCIONAL

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al criterio 1: "Funcional" es el siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1.00	0.50	0.14	0.13
Alternativa 2	2	1.00	0.14	0.14
Alternativa 3	7	7	1.00	1.00
Alternativa 4	8	7	1	1.00

Tabla 44: 3. Matriz de comparación pareada en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia

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	5%
Alternativa 2	7%
Alternativa 3	43%
Alternativa 4	45%

Tabla 45: Ponderación de alternativas en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia

## 4.2 CRITERIO ECONÓMICO

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al criterio 2: “Económico” es el siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1.00	2.00	4.00	8.00
Alternativa 2	1/2	1.00	2.00	7.00
Alternativa 3	1/4	1/2	1.00	5.00
Alternativa 4	1/8	1/7	1/5	1.00

Tabla 46: 3. Matriz de comparación pareada en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia

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	51%
Alternativa 2	29%
Alternativa 3	16%
Alternativa 4	4%

Tabla 47: Ponderación de alternativas en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia

## 4.3 CRITERIO SOCIAL

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al criterio 3: “Social” es el siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1.00	1.00	0.20	0.17
Alternativa 2	1	1.00	0.20	0.20
Alternativa 3	5	5	1.00	1.00
Alternativa 4	6	5	1	1.00

Tabla 48: 3. Matriz de comparación pareada en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia

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	8%
Alternativa 2	8%
Alternativa 3	41%
Alternativa 4	43%

Tabla 49: Ponderación de alternativas en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, la matriz de comparación pareada para comparar las alternativas con respecto al criterio 4: "Medioambiental" es el siguiente:

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Alternativa 1	1.00	1.00	0.20	0.17
Alternativa 2	1	1.00	0.20	0.20
Alternativa 3	5	5	1.00	1.00
Alternativa 4	6	5	1	1.00

Tabla 50: 3. Matriz de comparación pareada en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia

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	8%
Alternativa 2	8%
Alternativa 3	41%
Alternativa 4	43%

Tabla 51: Ponderación de alternativas en función del criterio 1.

Fuente: Elaboración propia.

## 5. ALTERNATIVA ÓPTIMA POR EL ANÁLISIS MULTICRITERIO

Una vez establecidos todos los pesos de las alternativas respecto a las variables, se forma una matriz que será multiplicada por los pesos de las variables, dando como resultado la alternativa que es más adecuada:

$$\begin{bmatrix} 0.05 & 0.5 & 0.07 & 0.07 \\ 0.07 & 0.29 & 0.08 & 0.08 \\ 0.43 & 0.15 & 0.41 & 0.41 \\ 0.45 & 0.043 & 0.43 & 0.43 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0.55 \\ 0.27 \\ 0.07 \\ 0.09 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.17 \\ 0.13 \\ 0.35 \\ 0.33 \end{bmatrix}$$

	Peso obtenido %
Alternativa 1	17.86%
Alternativa 2	13.38%
Alternativa 3	35.37%
Alternativa 4	33.38%

Tabla 52: Ponderación de alternativas final.

Fuente: Elaboración propia.

La opción más adecuada según el análisis multicriterio sería la alternativa 3, es decir, cuatro diques de 150 metros separadas a 300 metros de la línea de costa.

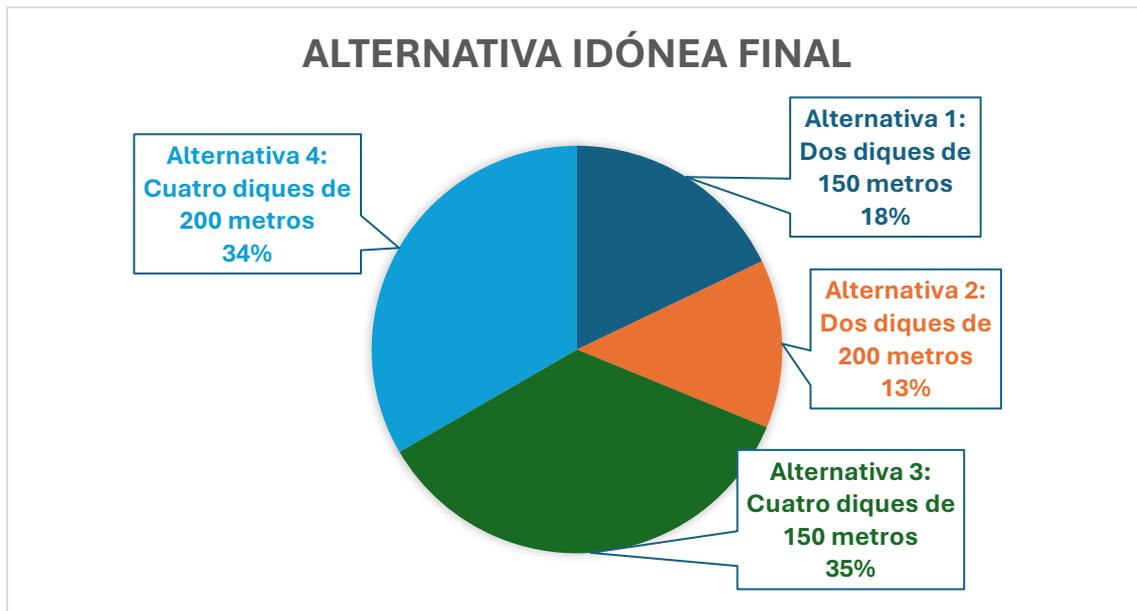


Figura 141: Puntuaciones de las alternativas - Alternativa idónea.

Fuente: Elaboración propia

## 6. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

### 6.1 PROFUNDIDAD Y POSICIÓN FINAL DE LAS ESTRUCTURAS

En este caso, el diseño final de las piezas que formarán las estructuras se ha diseñado para colocarse a bastante profundidad, en concreto fuera de la zona de baño de 300 metros desde la línea de costa. 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 Figura 142 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 300 metros de la línea de costa, lo cual, consultando el plano correspondiente a la batimetría de la zona, se corresponde con una profundidad de 5 metros medidos desde el nivel medio del mar.



Figura 142: Distancia de colocación de las estructuras respecto la línea de costa.

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 DISEÑO FINAL DE LAS PIEZAS

A continuación, se describirán las características geométricas, la posición final y el impacto de las piezas en el oleaje. Siguiendo las recomendaciones de Medina y Gómez-Martín (2015), se ha optado por inclinar ligeramente las caras verticales de los encofrados (3.5%) para facilitar el desencofrado, al igual que en los bloques cúbicos convencionales. Esta inclinación influye en las dimensiones finales de las piezas. Es importante destacar que la dimensión nominal "Dn" no coincide con la medida real del lado del Cubípodo, ya que esta última se define por el parámetro "L" según la relación:

$$L = \frac{Dn}{1.068} = \frac{1.3}{1.068} = 1.217 \text{ metros}$$

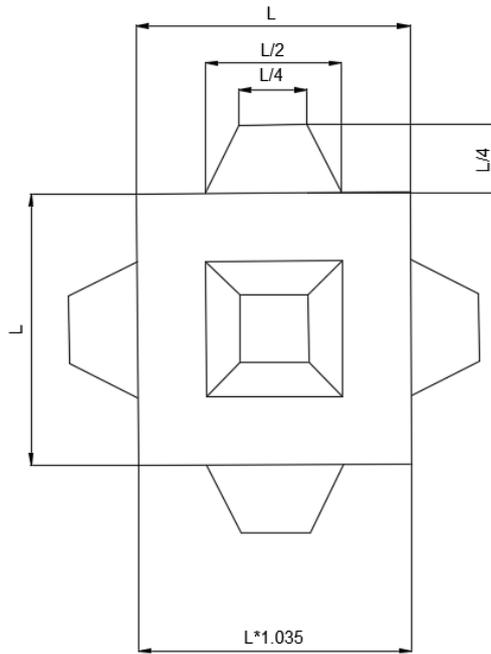


Figura 143: Dimensiones habituales de los cubípodos en función del parámetro  $L$ .

Fuente: Elaboración propia

Entonces, las dimensiones del Cubípedo se observa en la Figura 144.

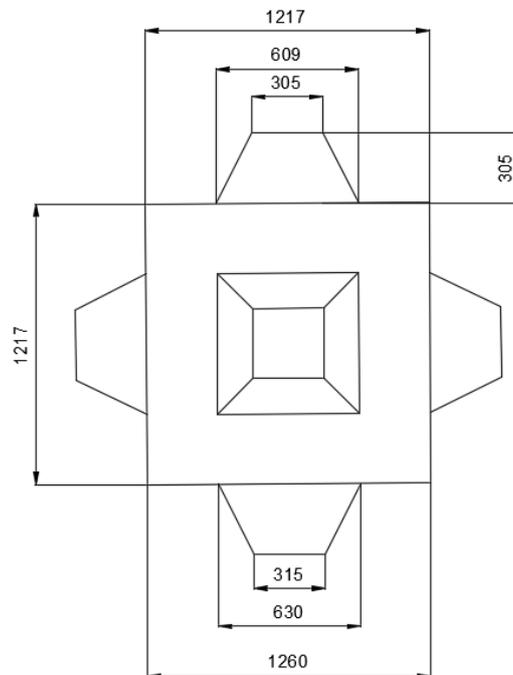


Figura 144: Dimensiones del Cubípedo.

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestran una serie de imágenes de vistas 3D del diseño final de la pieza que formará las estructuras:

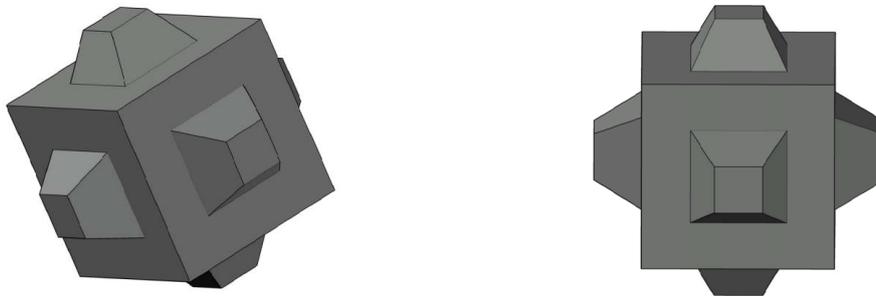


Figura 145: Vista 3D de la solución adoptada.

Fuente: Elaboración propia

Para que se pueda visualizar mejor la solución adoptada, se ha hecho un croquis de como estarían colocados los diques en la playa.

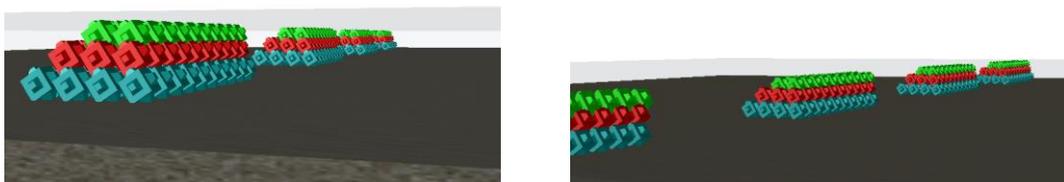


Figura 146: Vistas 3D de los 4 diques.

Fuente: Elaboración propia

### 6.3 EFFECTOS DE LAS ESTRUCTURAS DISEÑAS SOBRE EL OLEAJE

Como se mencionó anteriormente, se han introducido los diques diseñados en el modelo numérico WAPO para evaluar su efecto sobre la energía del oleaje. Los resultados de la simulación se han documentado en los *APÉNDICE I. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO* y el *APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO*. En el *APÉNDICE I. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO*, se presenta la situación sin la implementación de los diques, mientras que en el *APÉNDICE II. RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO*, se muestran los resultados con los diques instalados.:



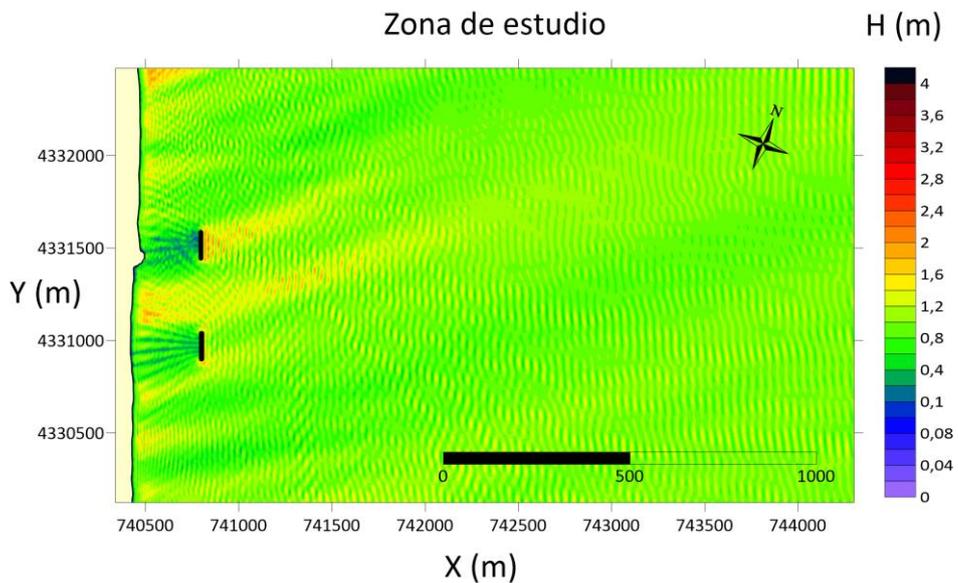
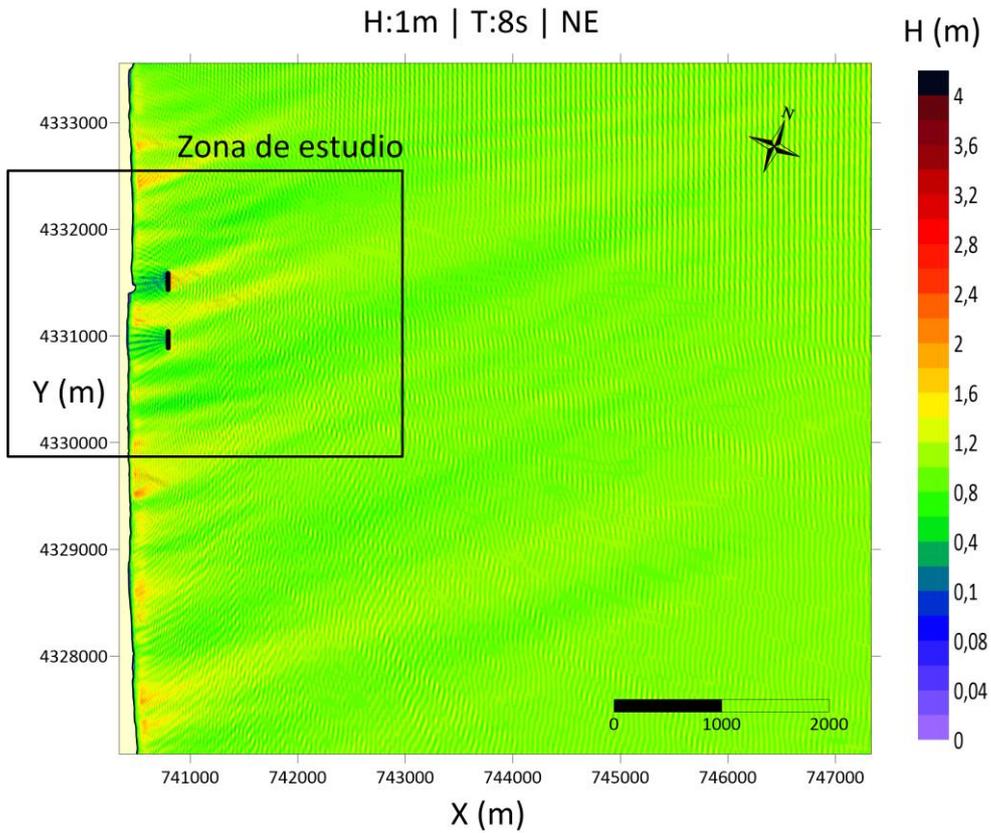
## APÉNDICE II

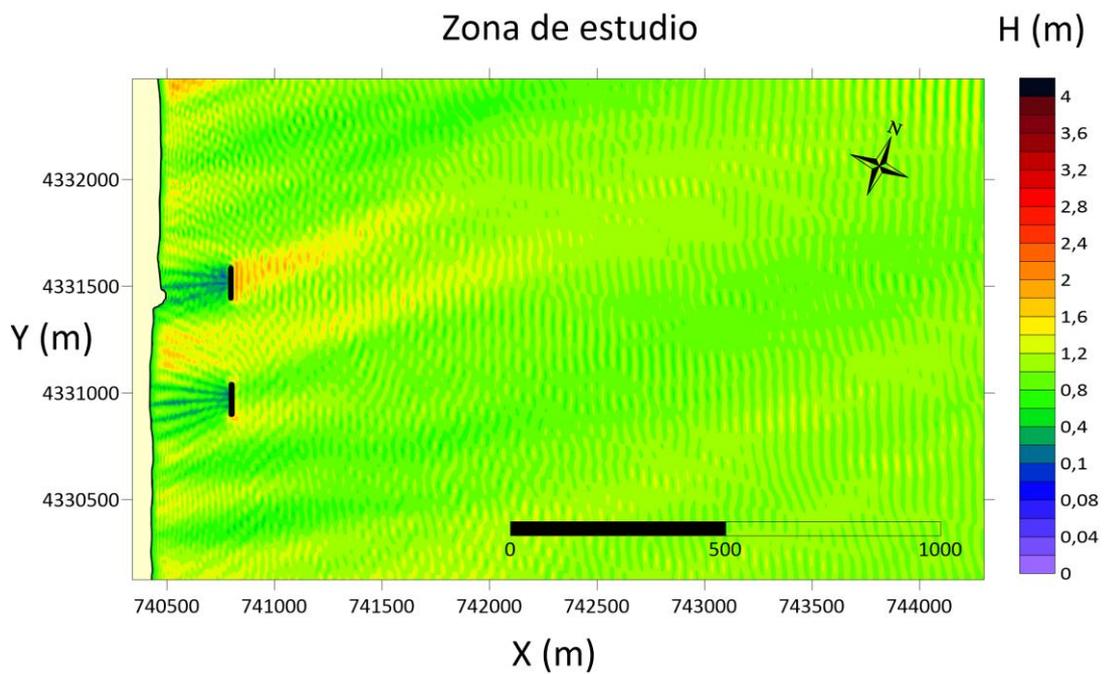
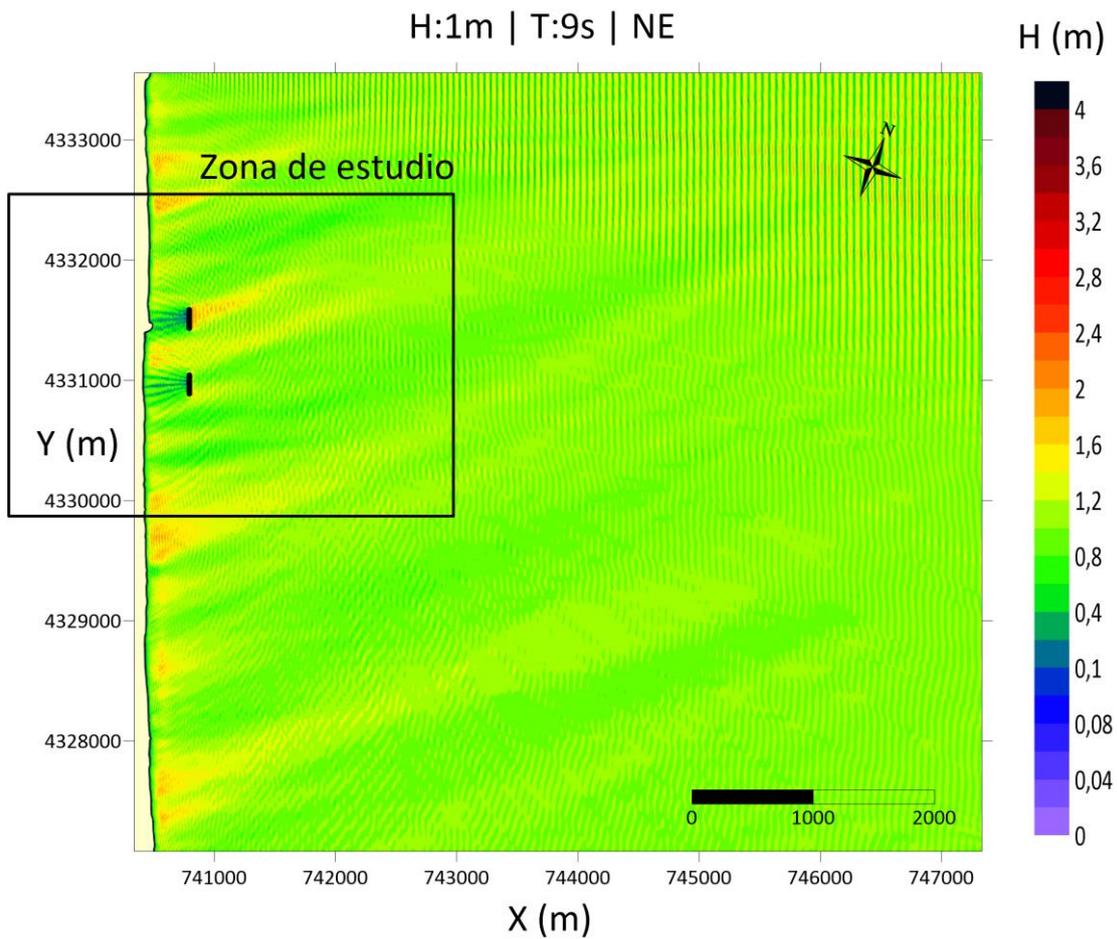
# RESULTADOS DEL MODELO NUMÉRICO CON LOS DIQUES

# 1. ALTERNATIVA 1: DOS DIQUES DE 150 METROS

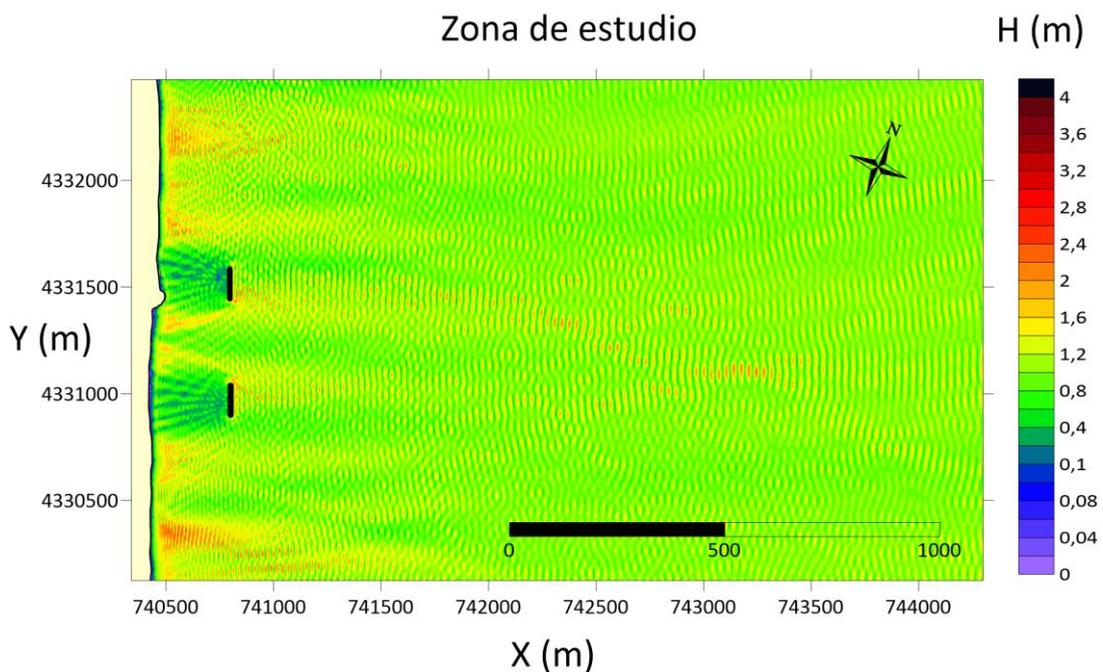
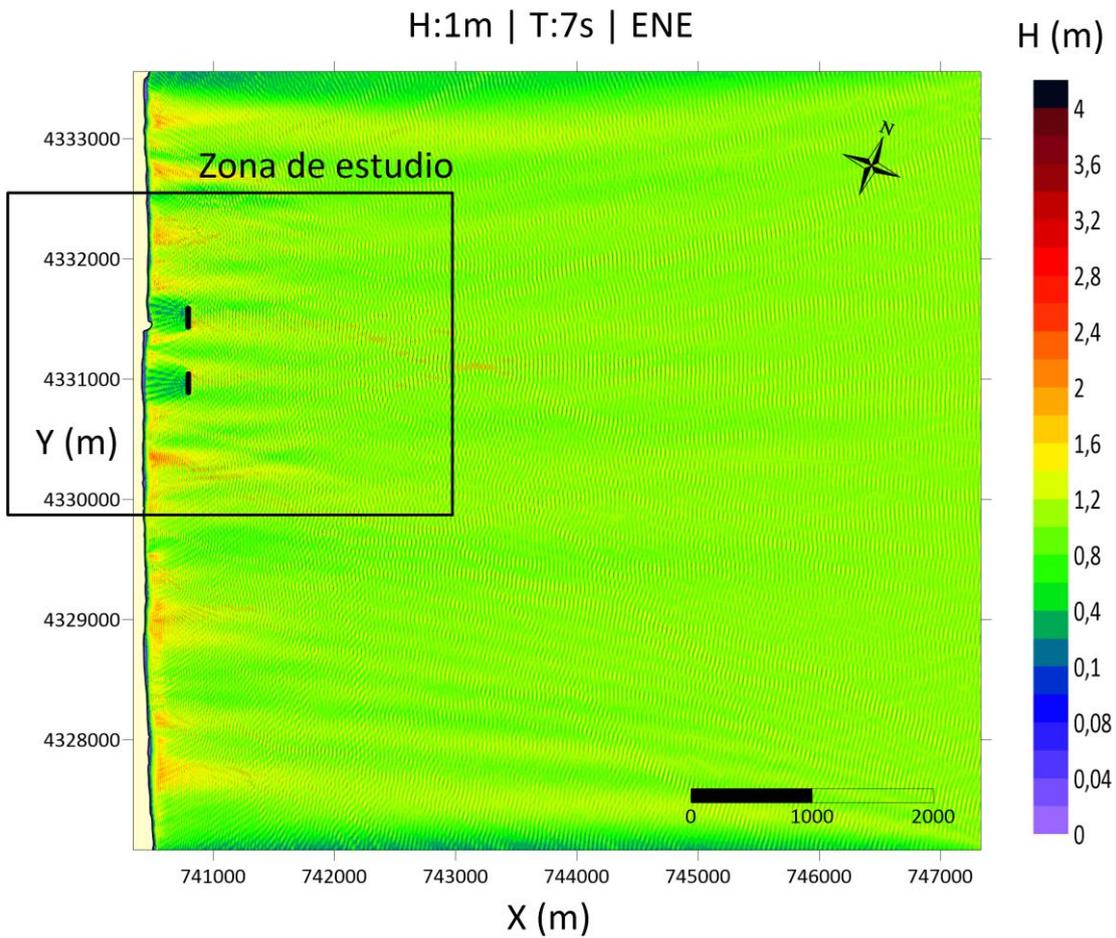
## 1.1 PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO

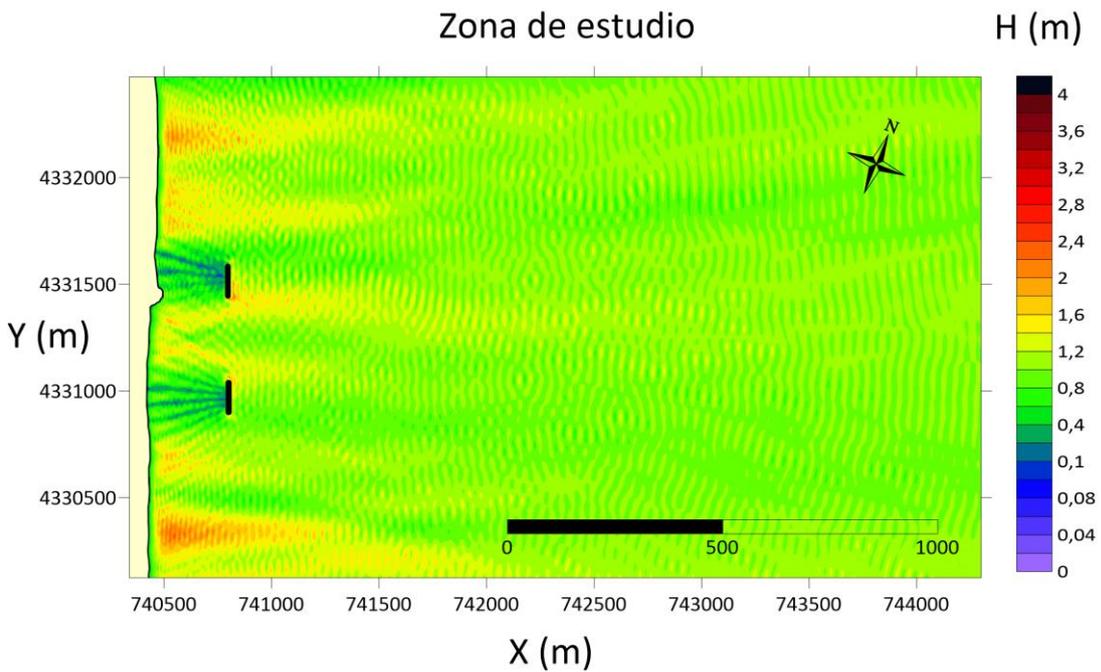
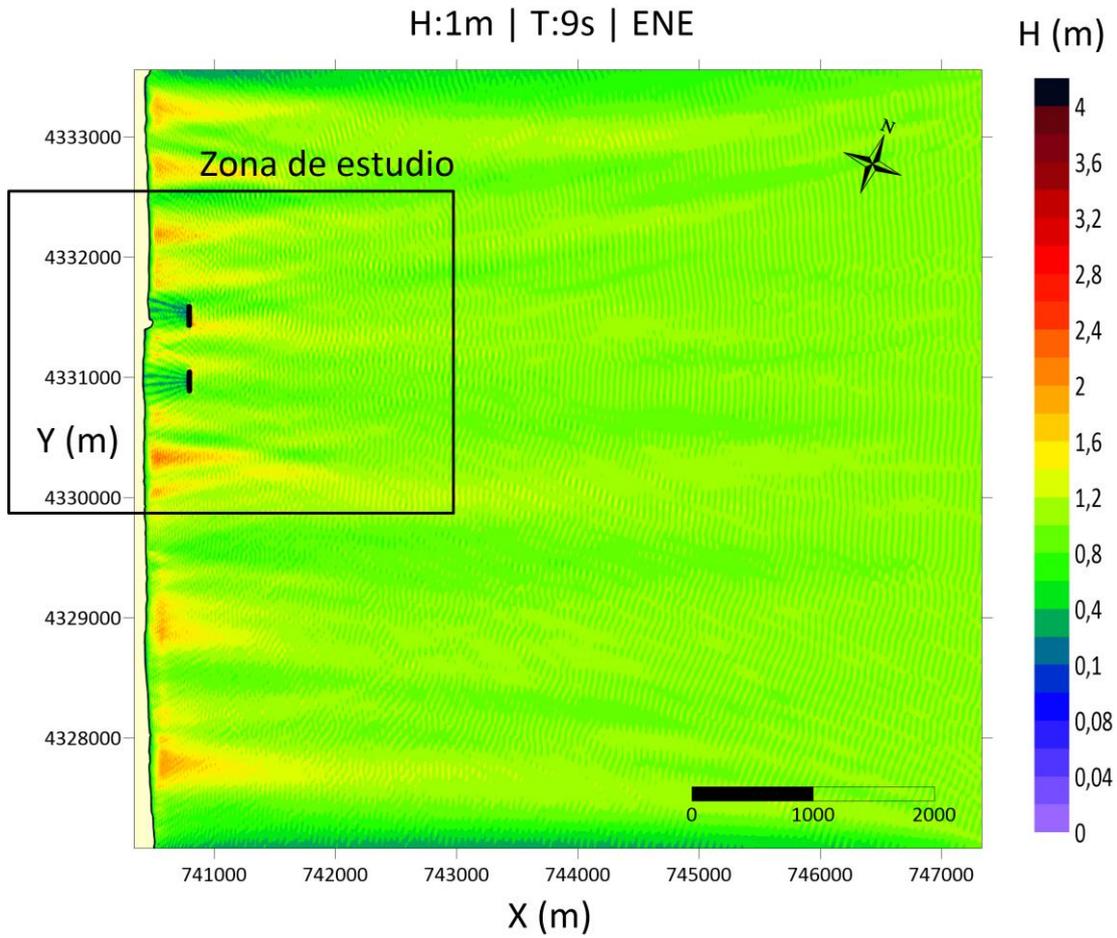
### 1.1.1 NORESTE (NE)



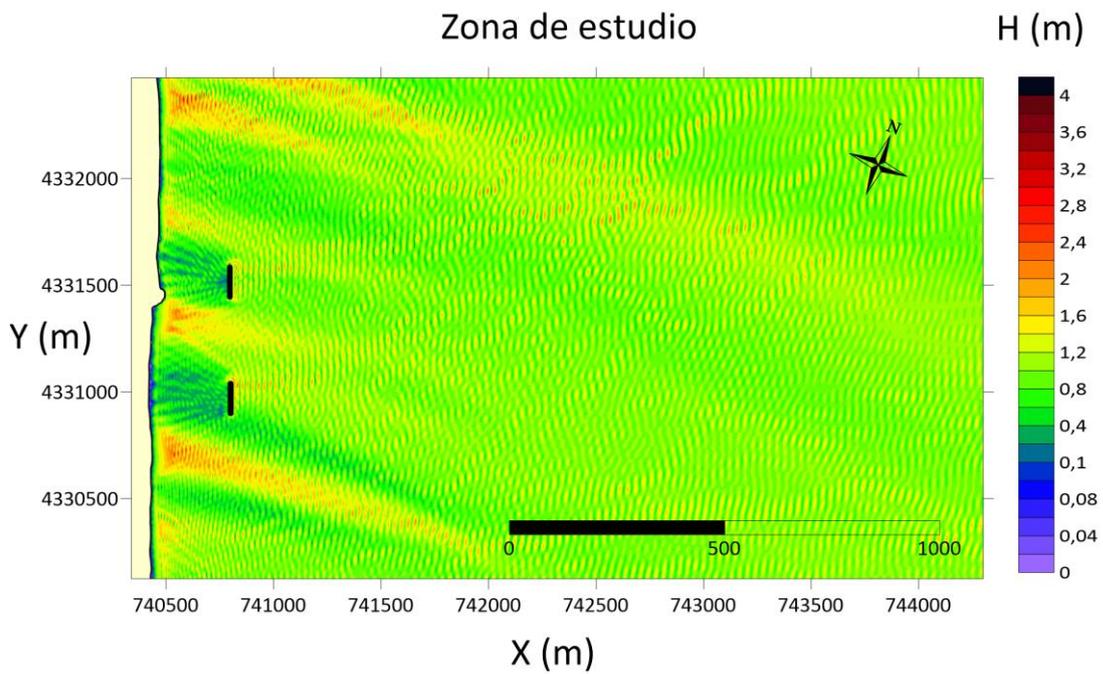
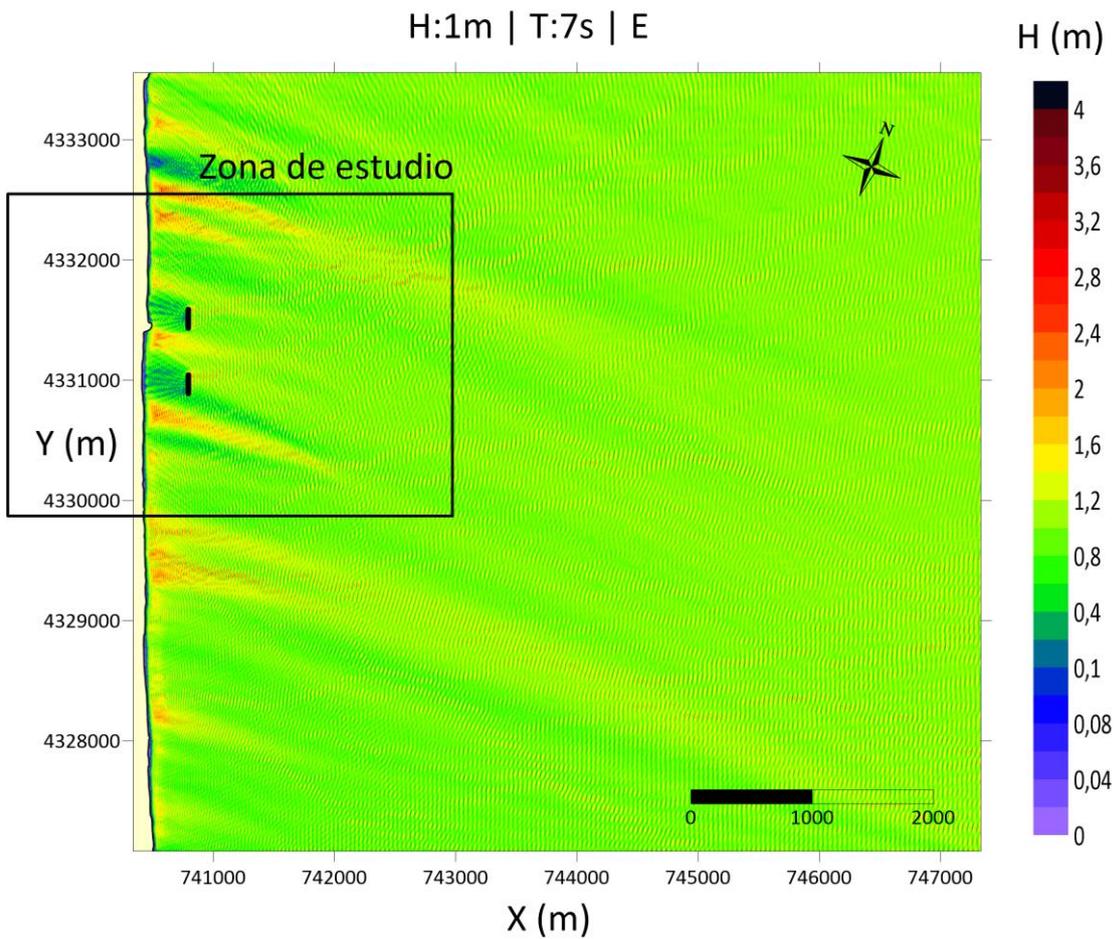


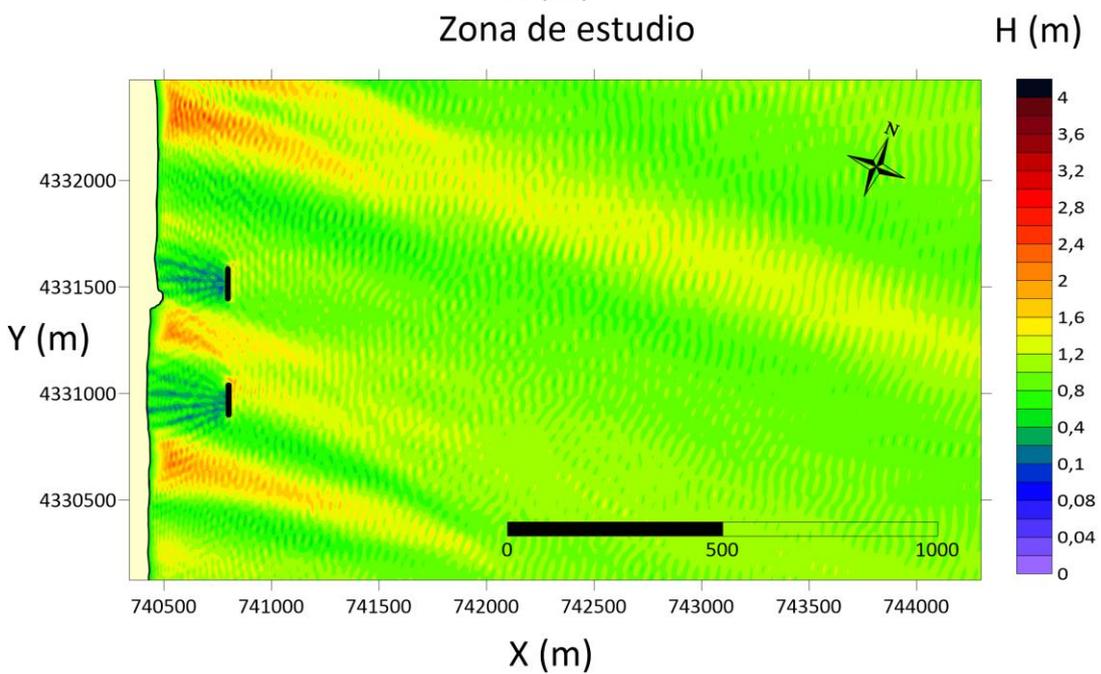
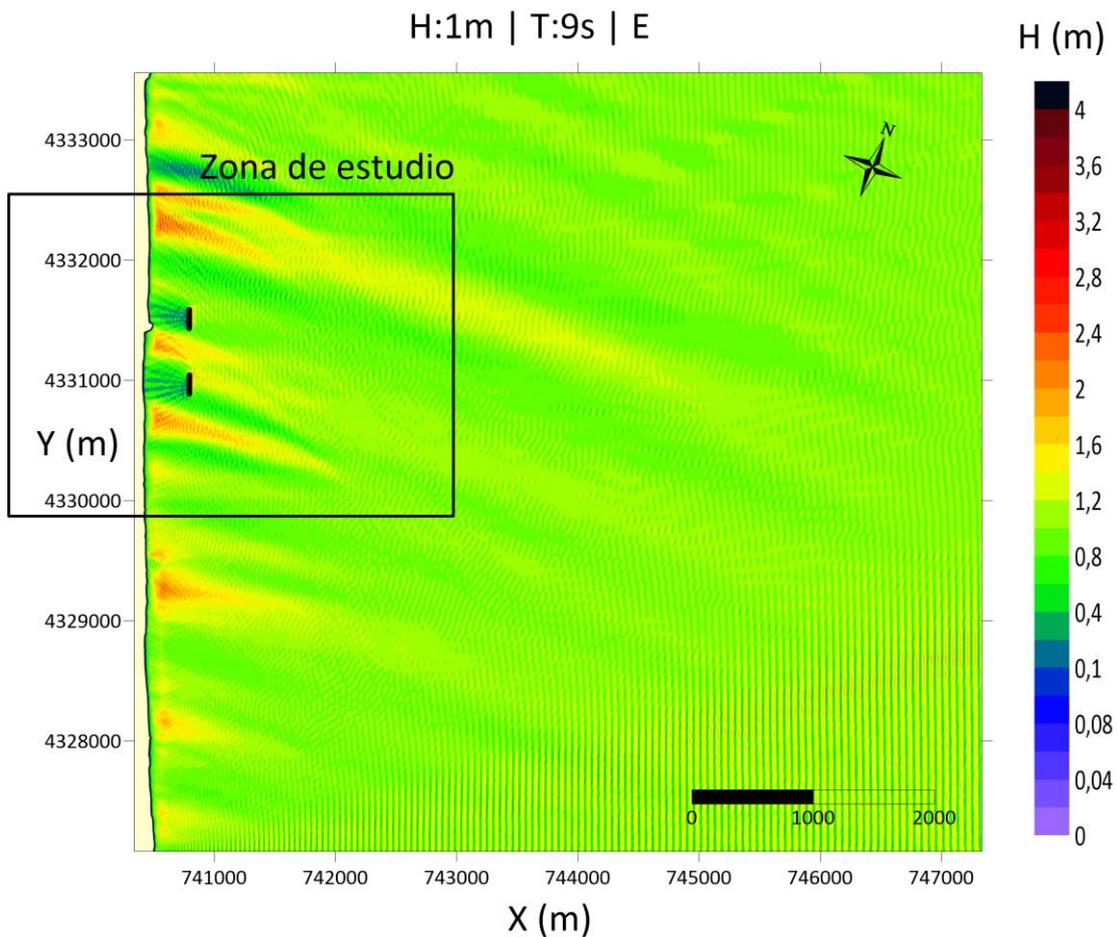
### 1.1.2 ESTE-NORESTE (ENE)





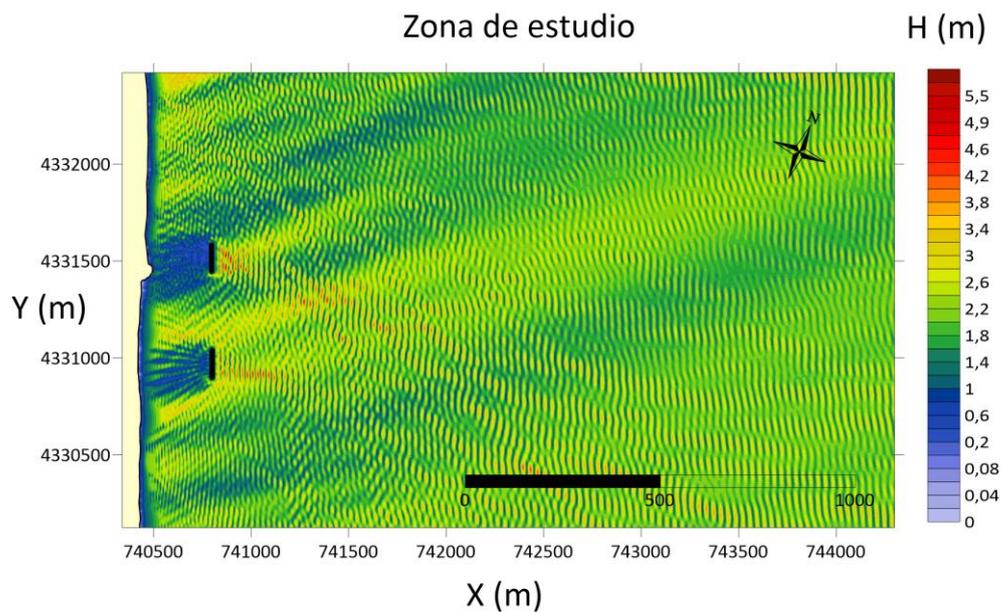
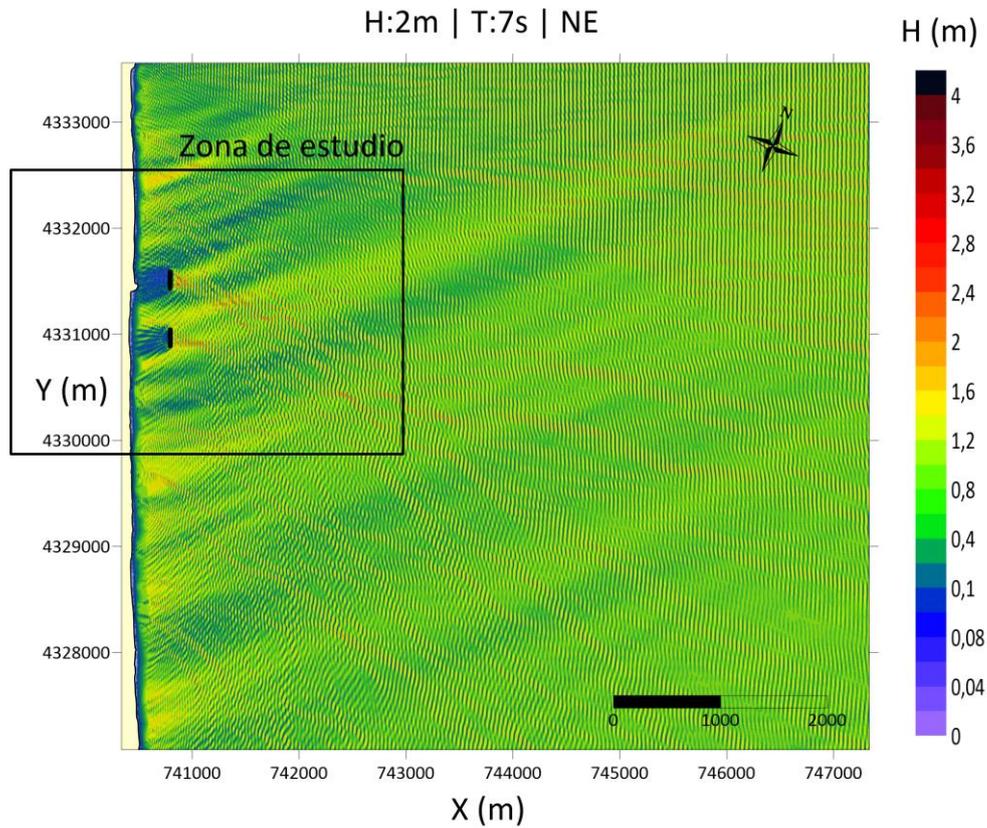
### 1.1.3 ESTE (E)



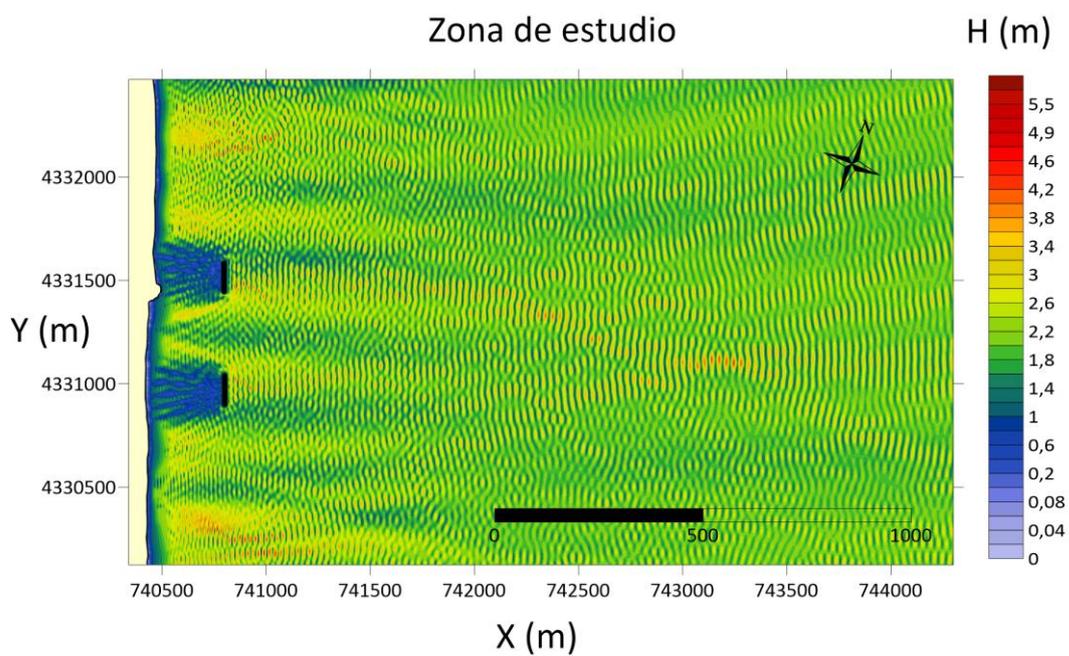
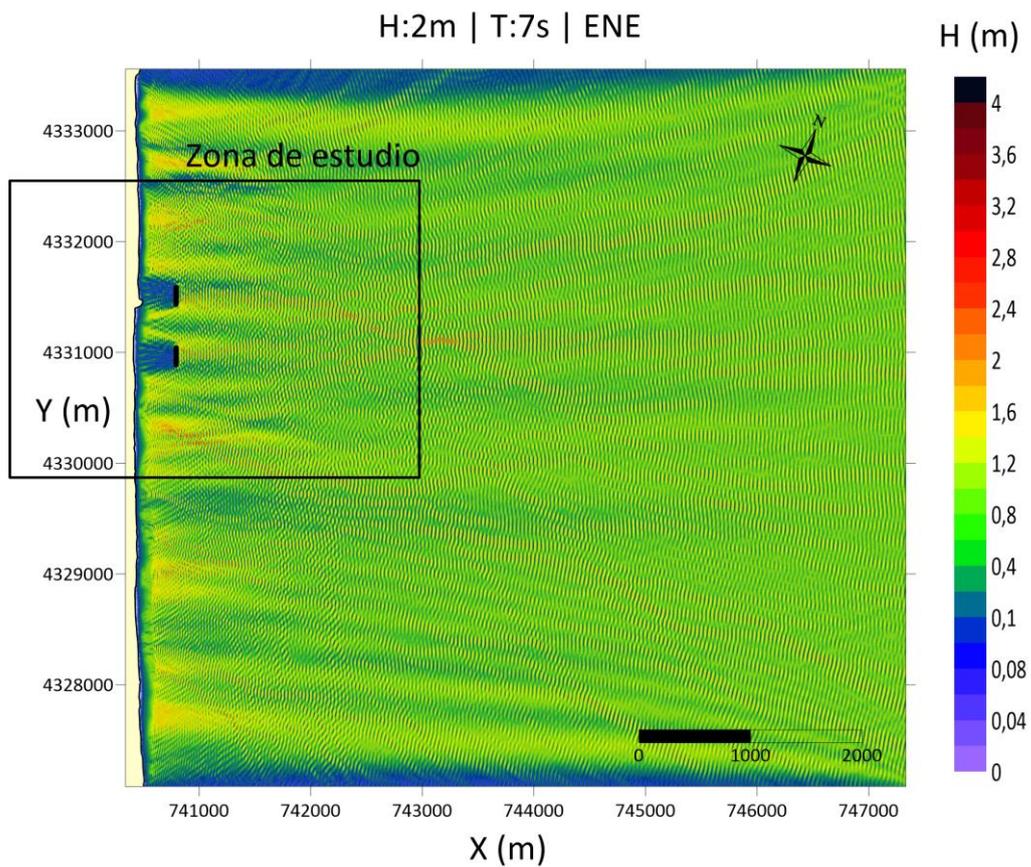


## 1.2 SEGUNDO CASO: TORMENTA

### 1.2.1 NORESTE (NE)



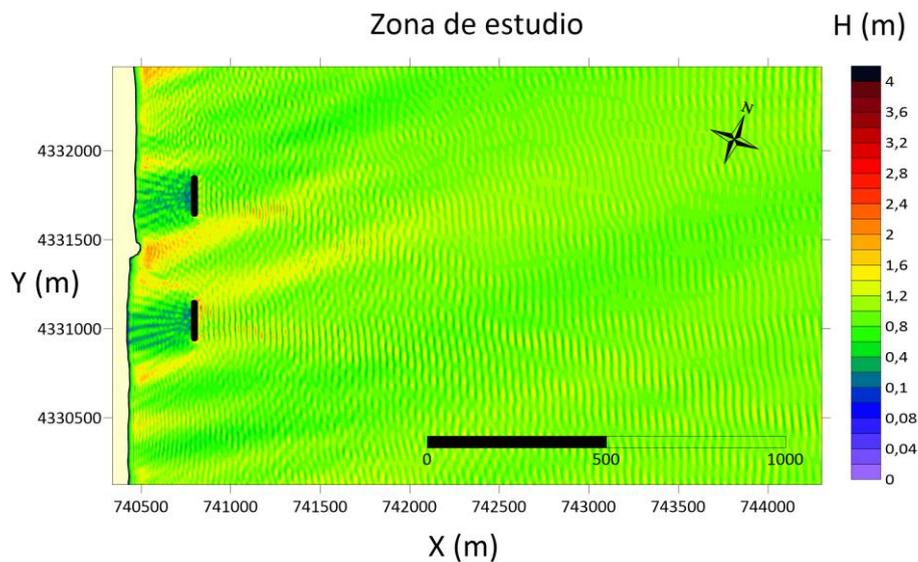
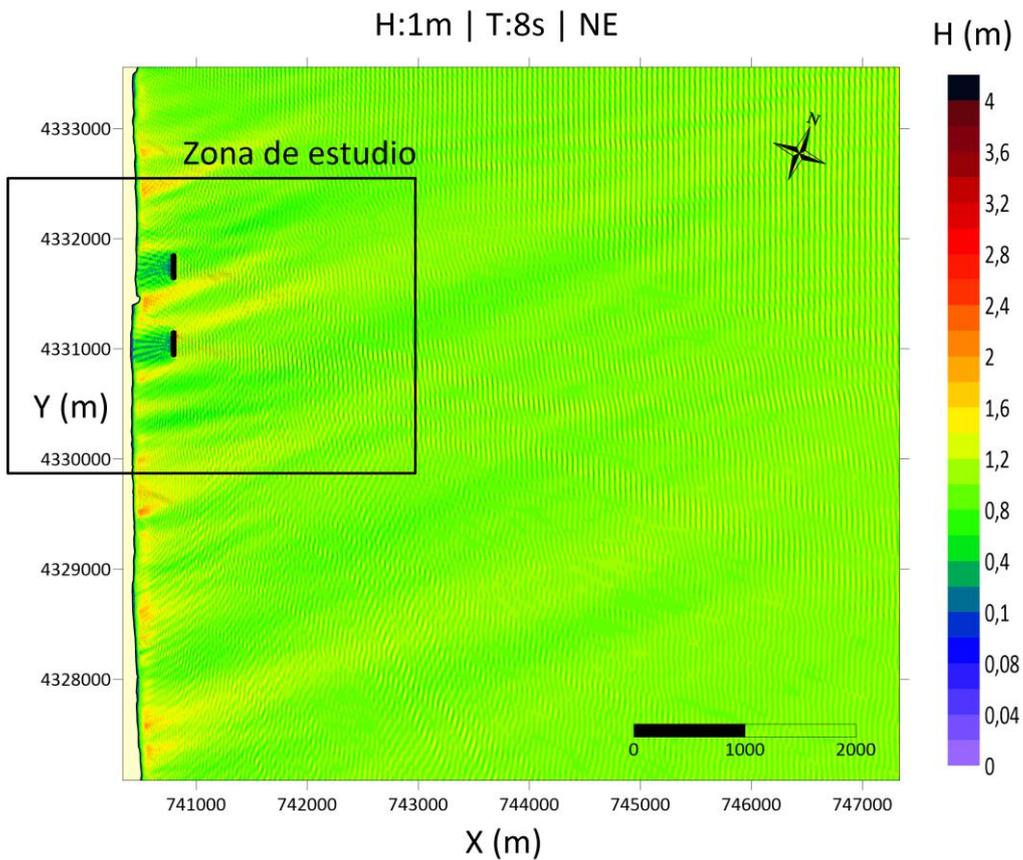
### 1.2.2 ESTE-NORESTE (ENE)

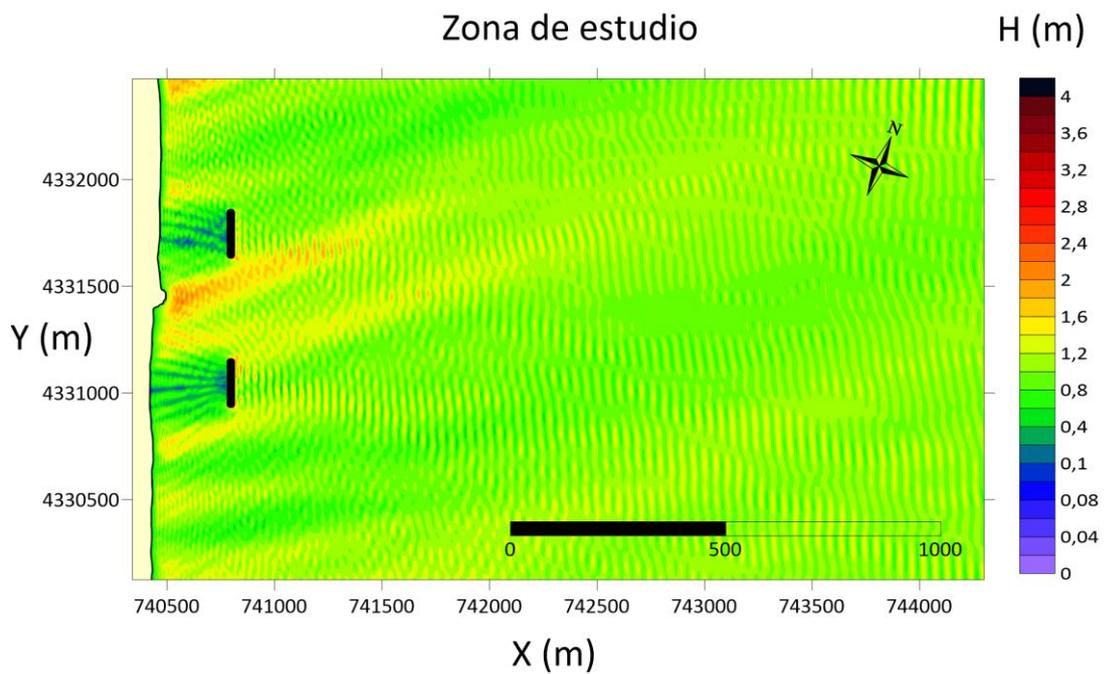
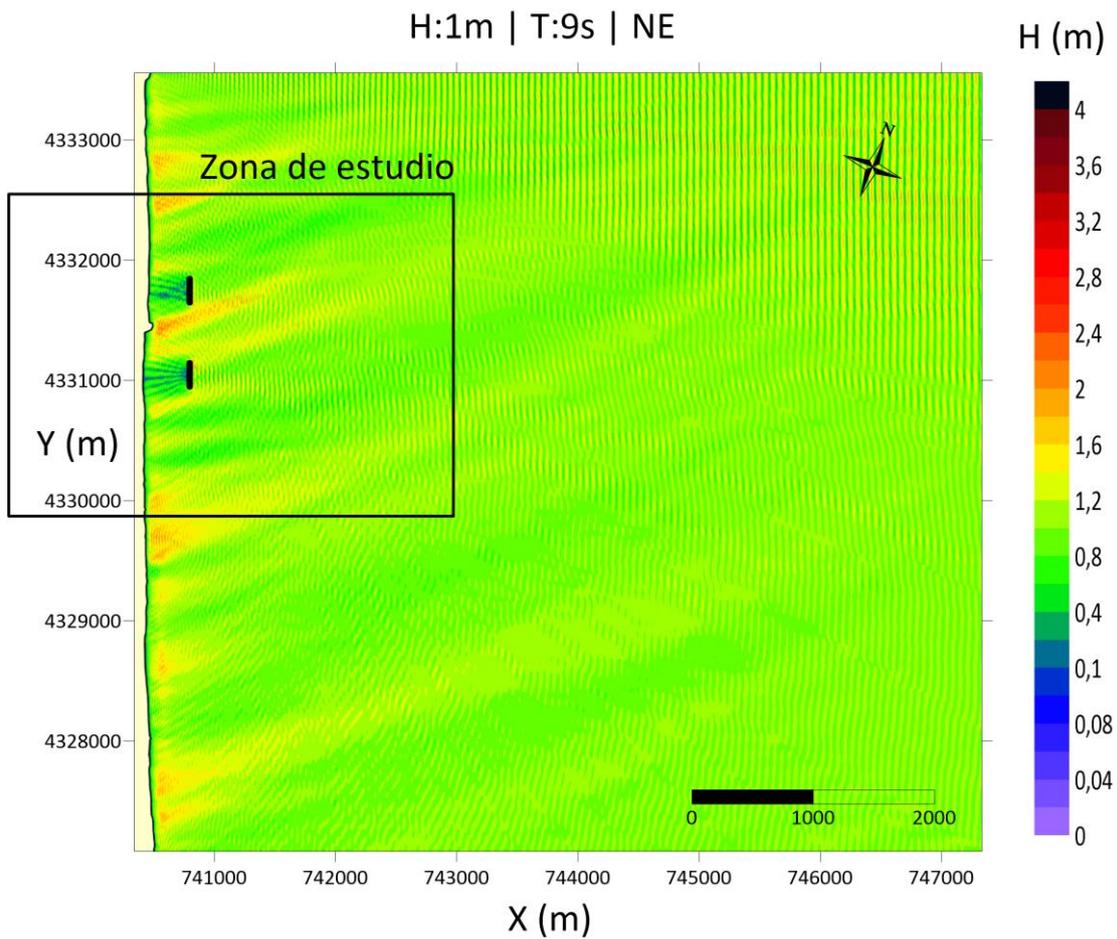


## 2. ALTERNATIVA 2: DOS DIQUES DE 200 METROS

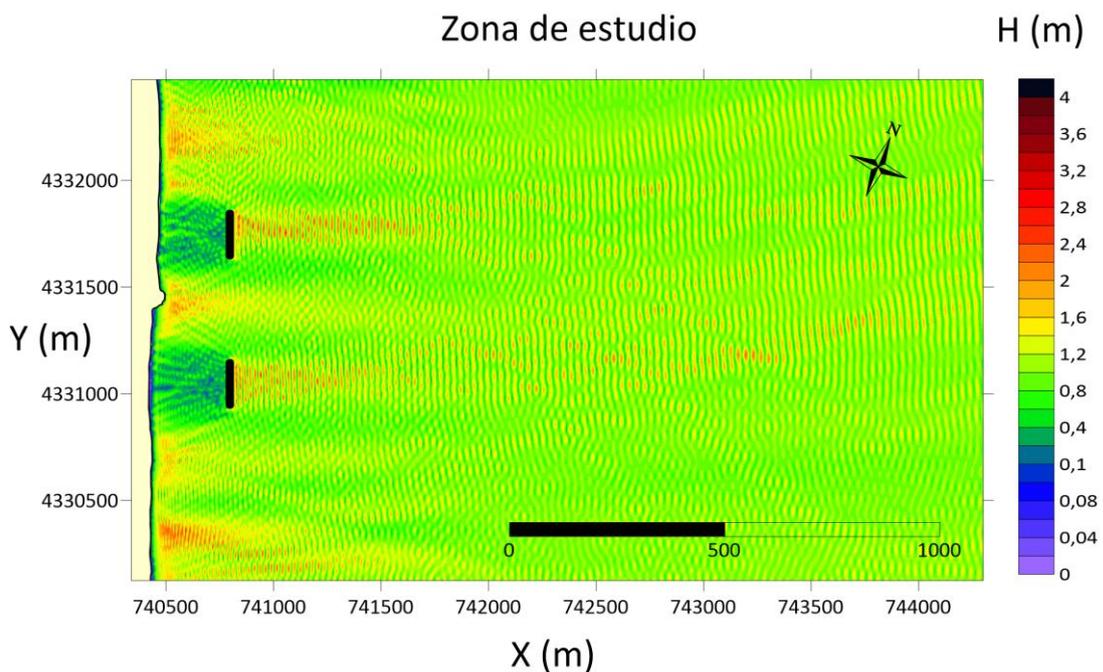
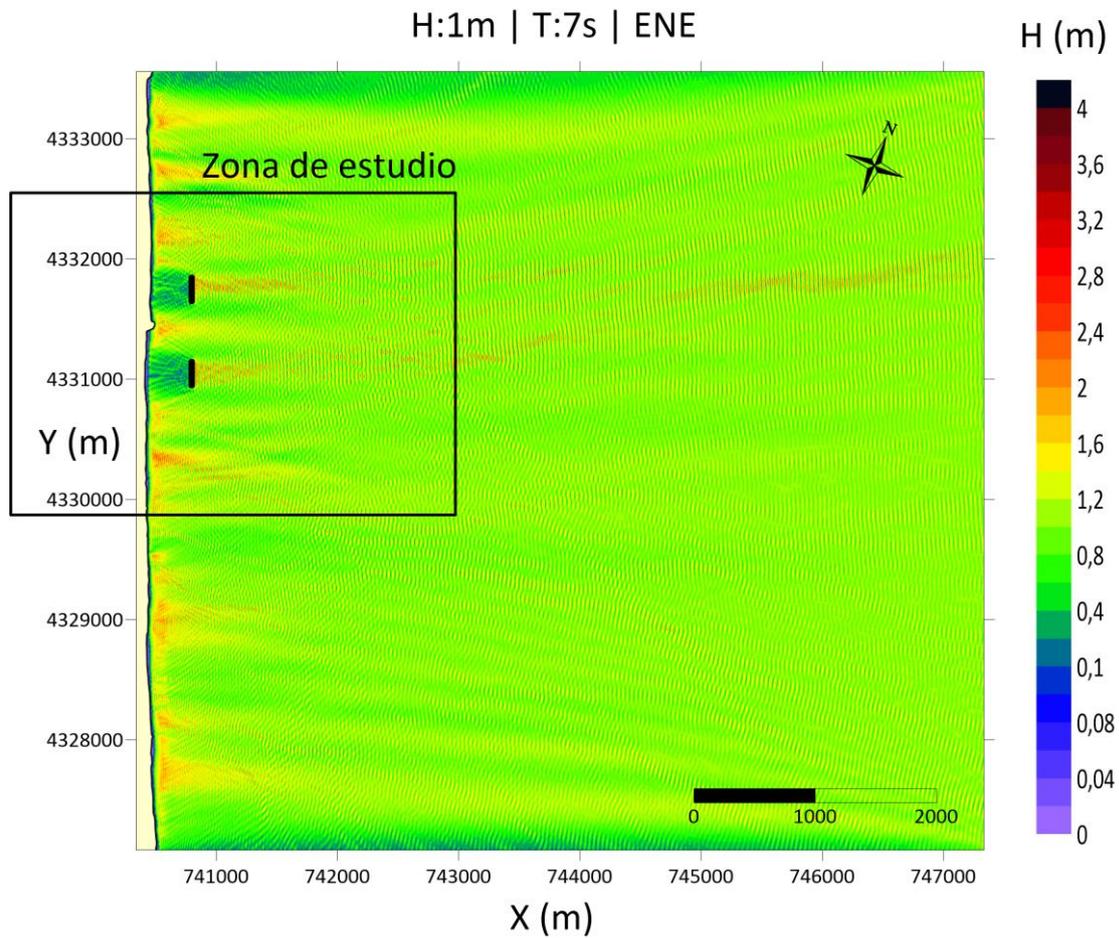
### 2.1 PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO

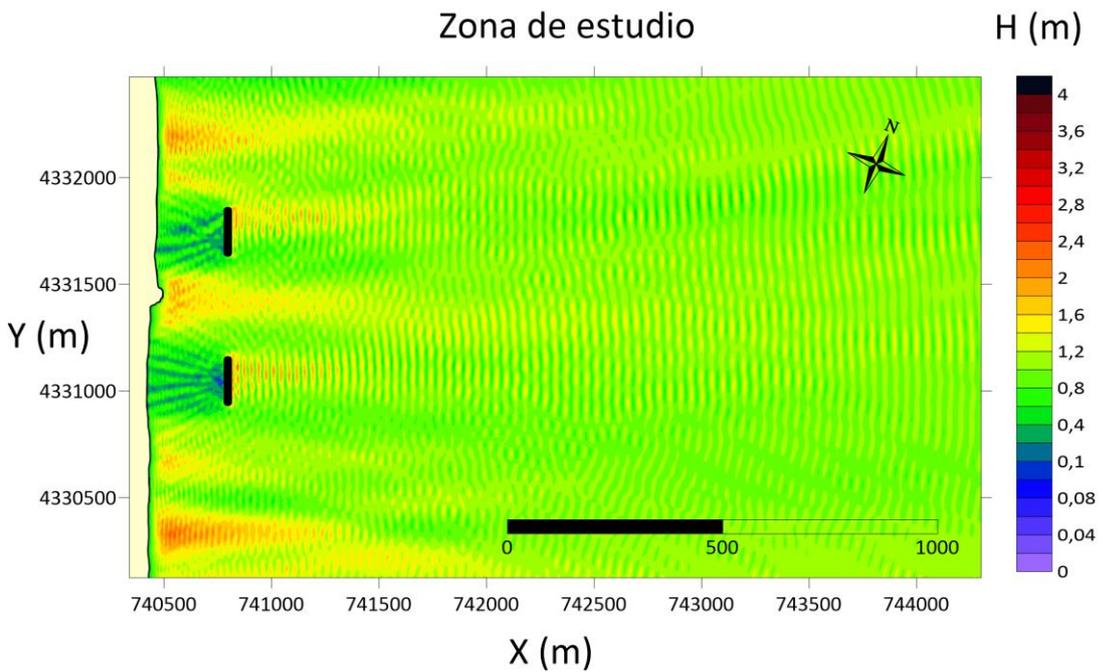
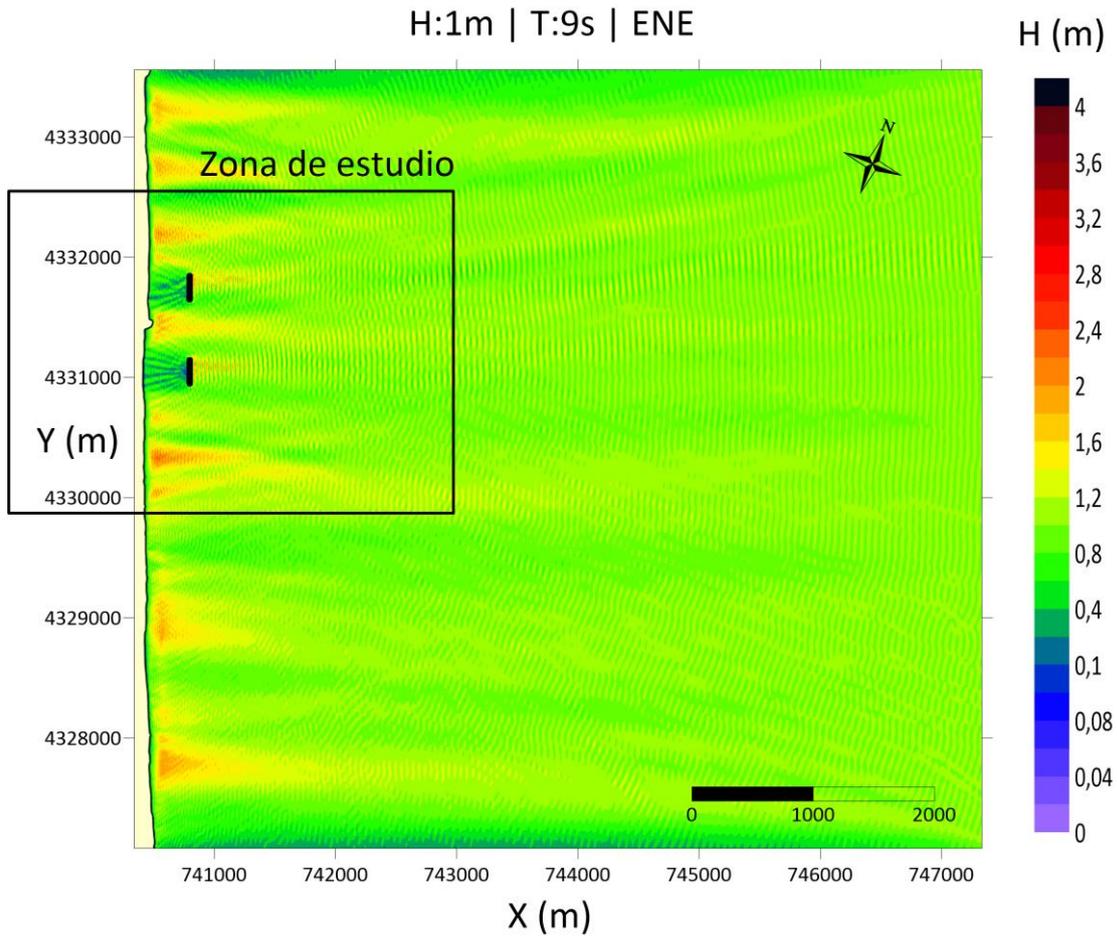
#### 2.1.1 NORESTE (NE)



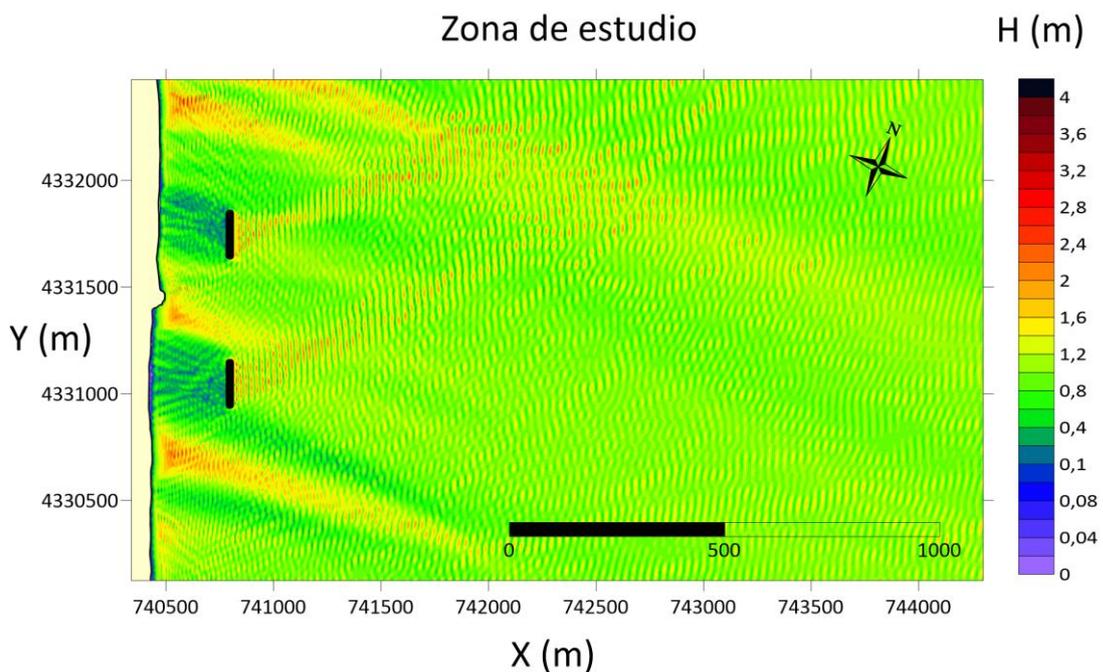
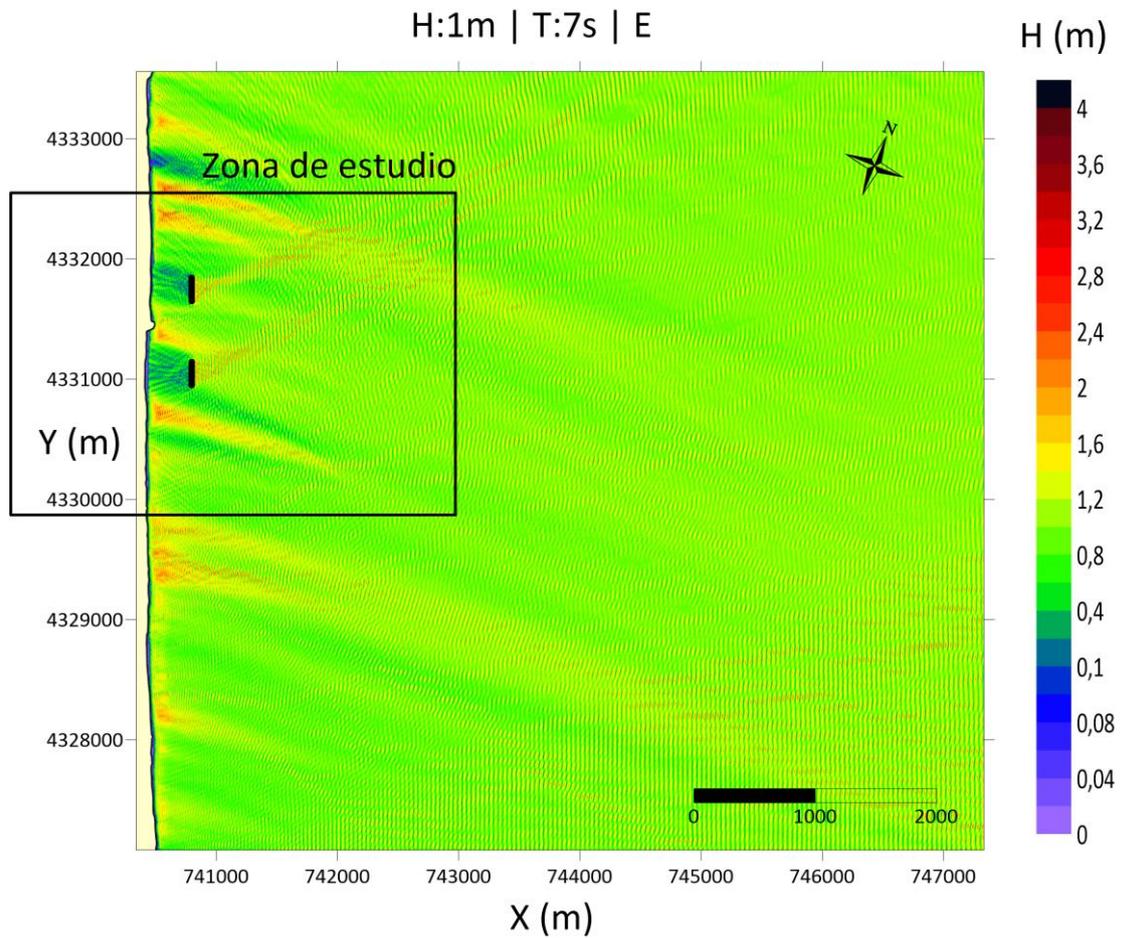


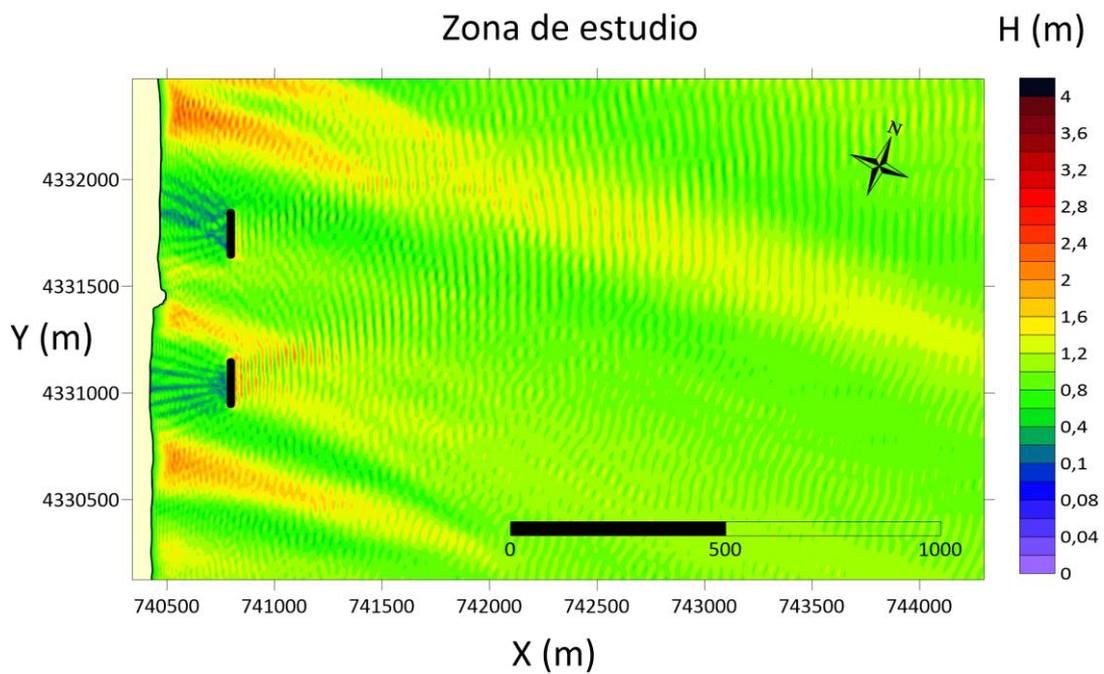
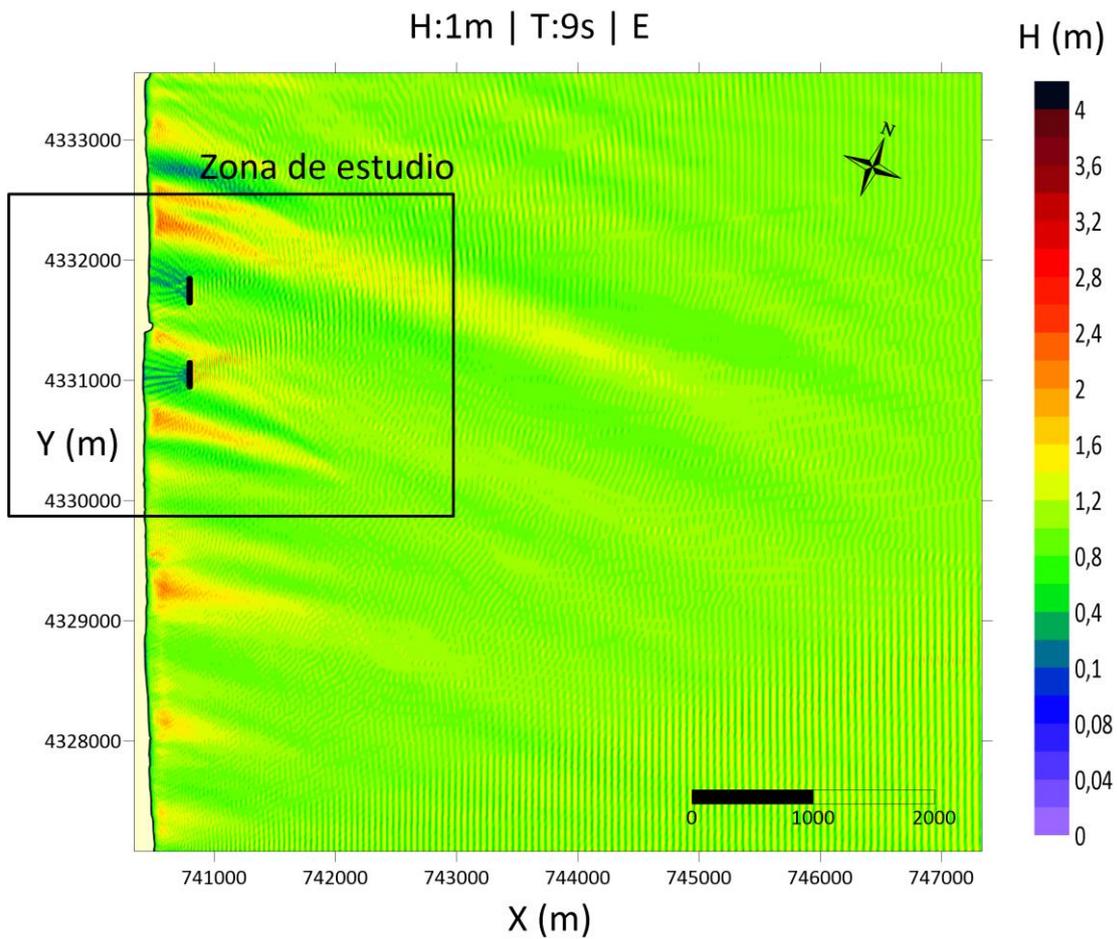
### 2.1.2 ESTE-NORESTE (ENE)





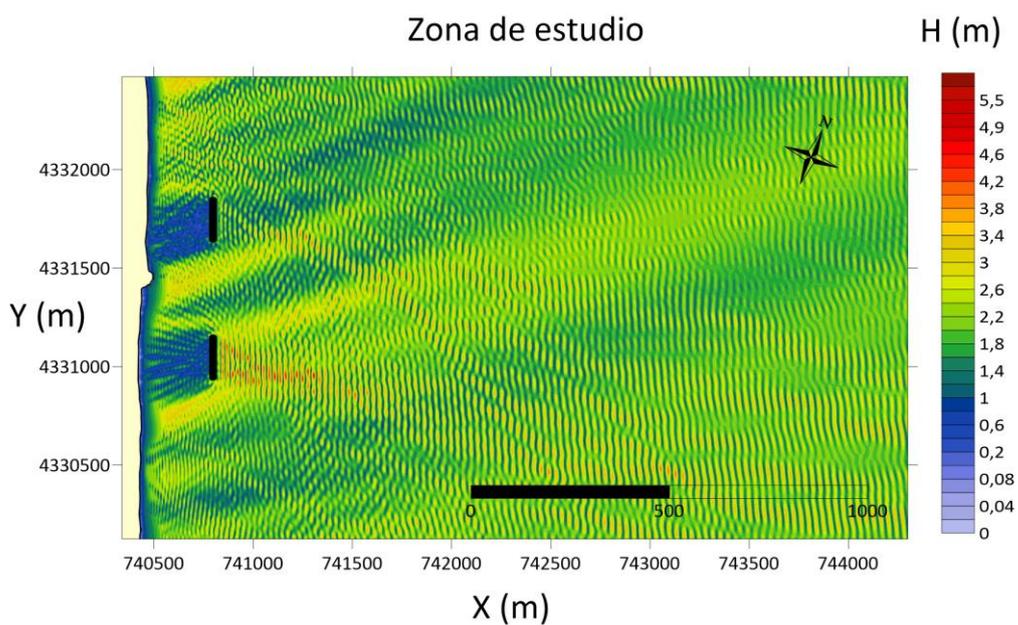
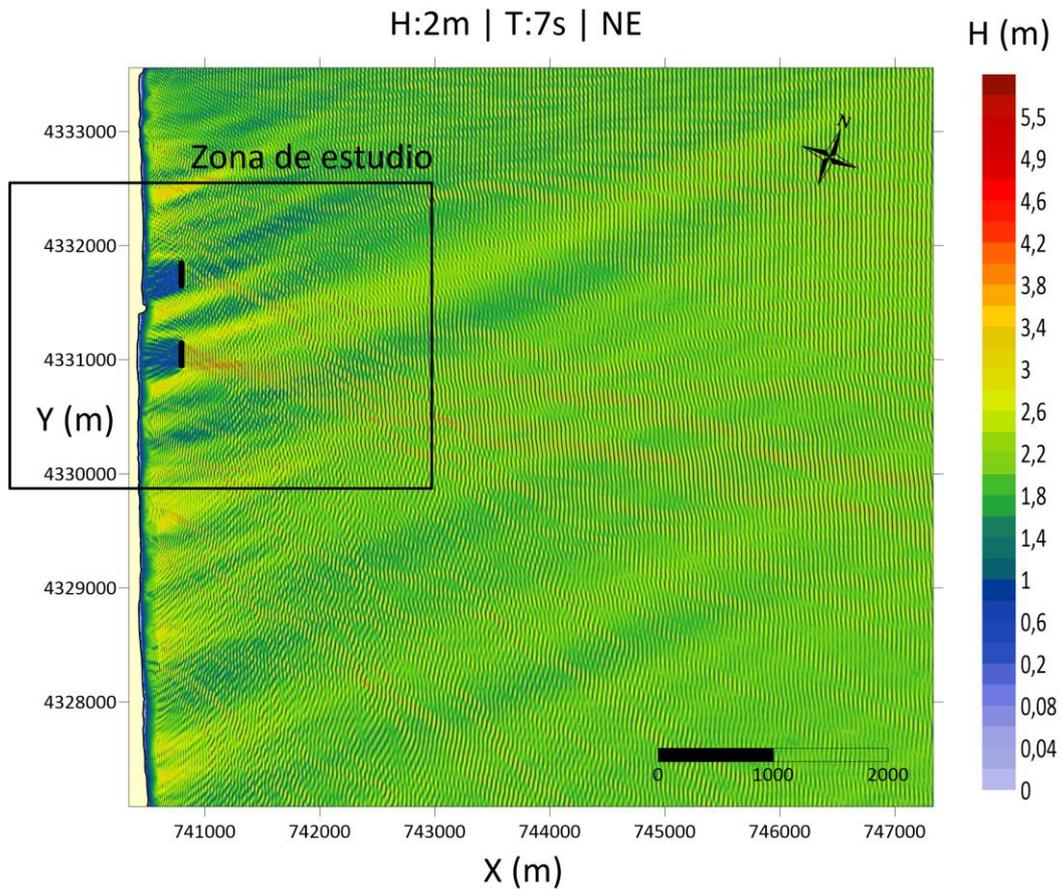
### 2.1.3 ESTE (E)



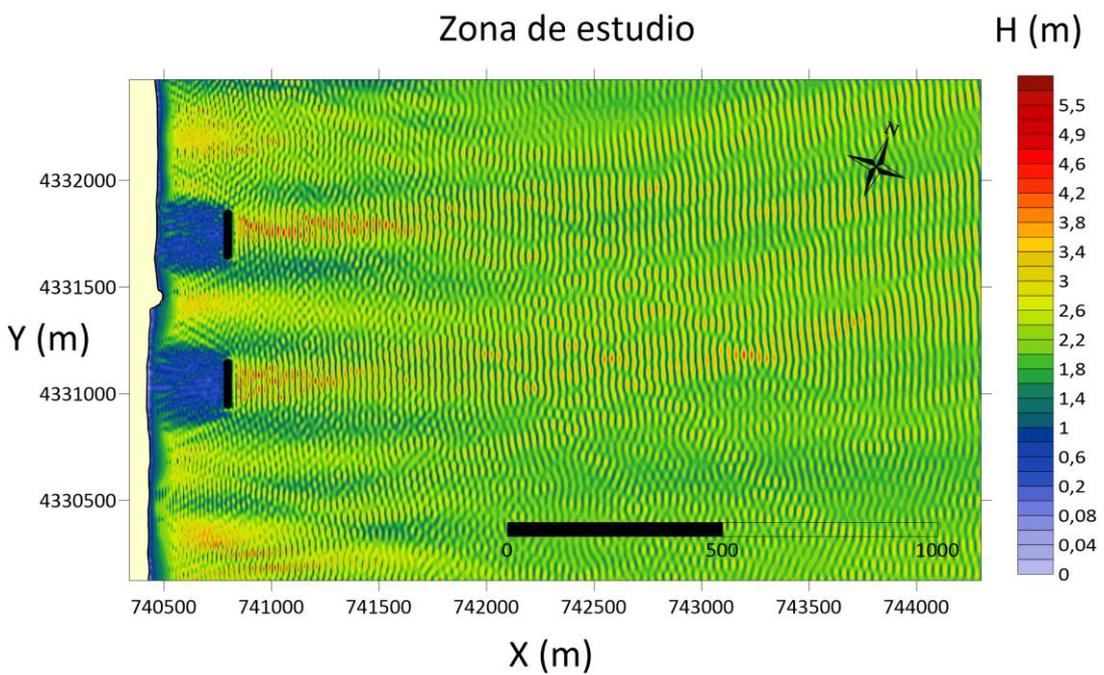
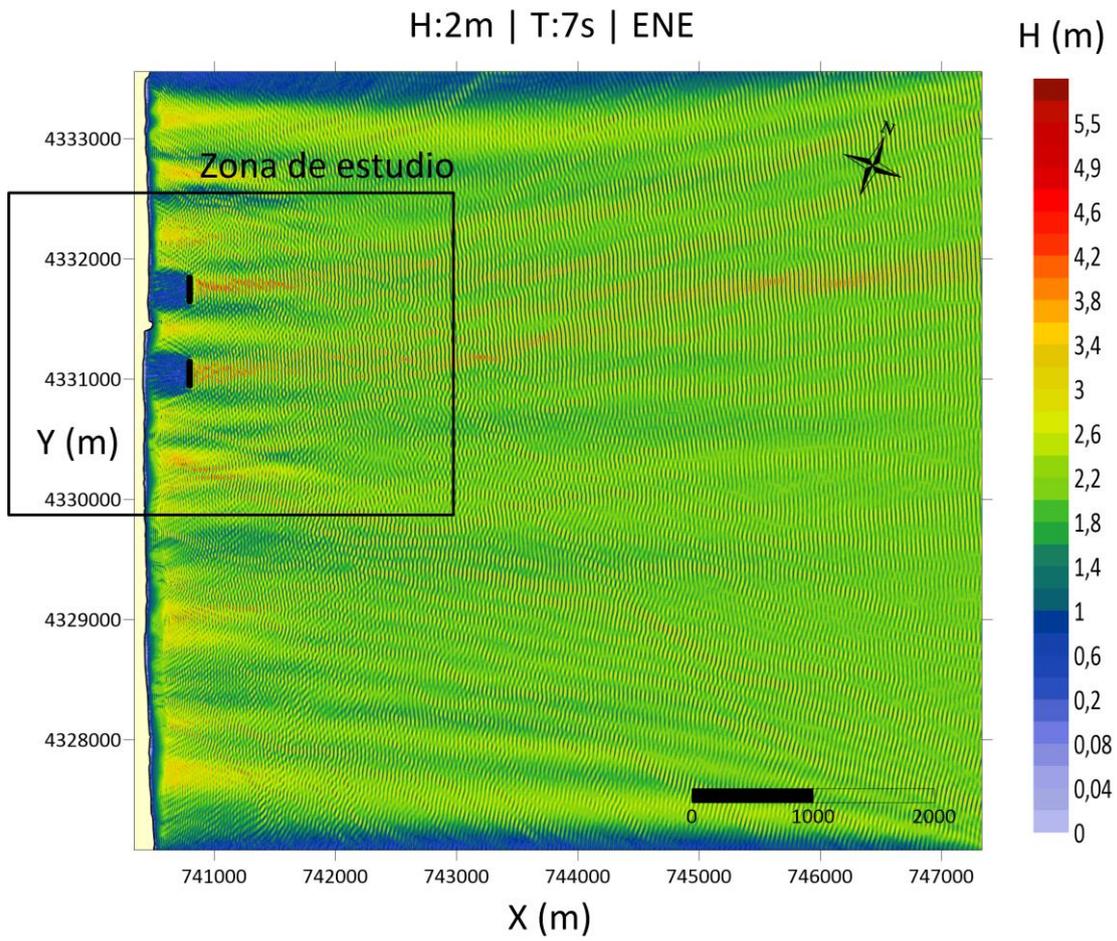


## 2.2 SEGUNDO CASO: TORMENTA

### 2.2.1 NORESTE (NE)



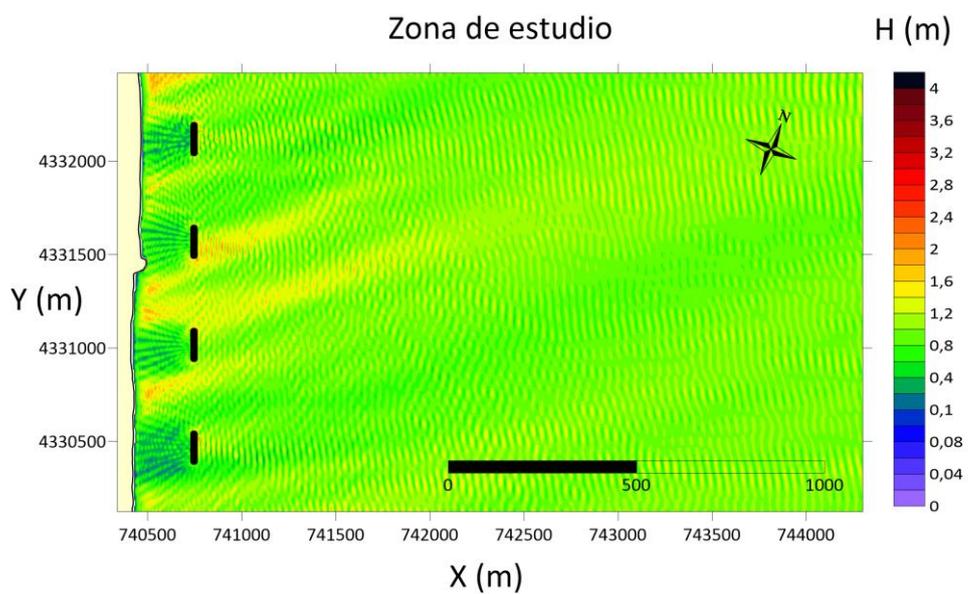
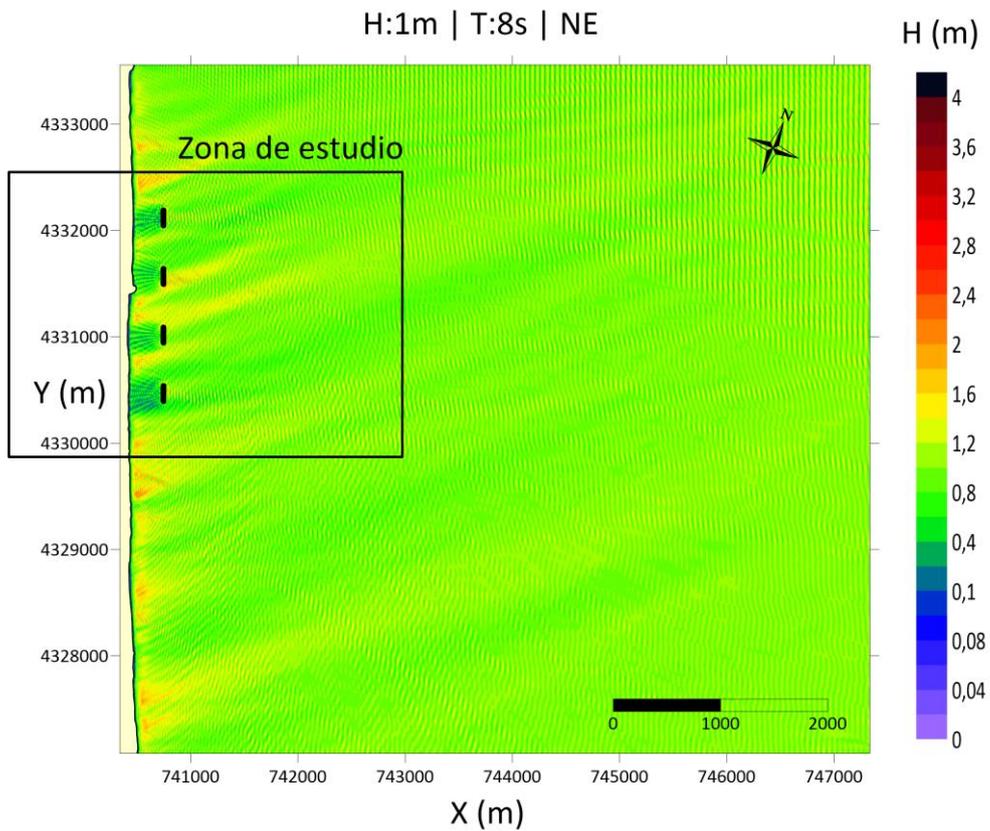
## 2.2.2 ESTE- NORESTE (ENE)

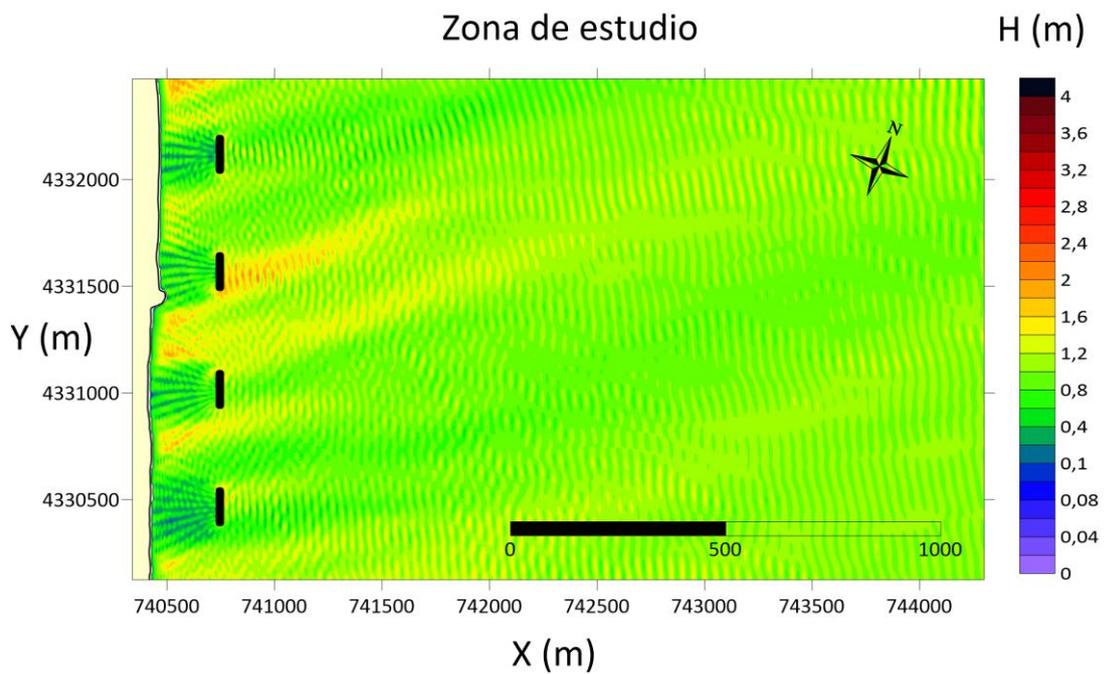
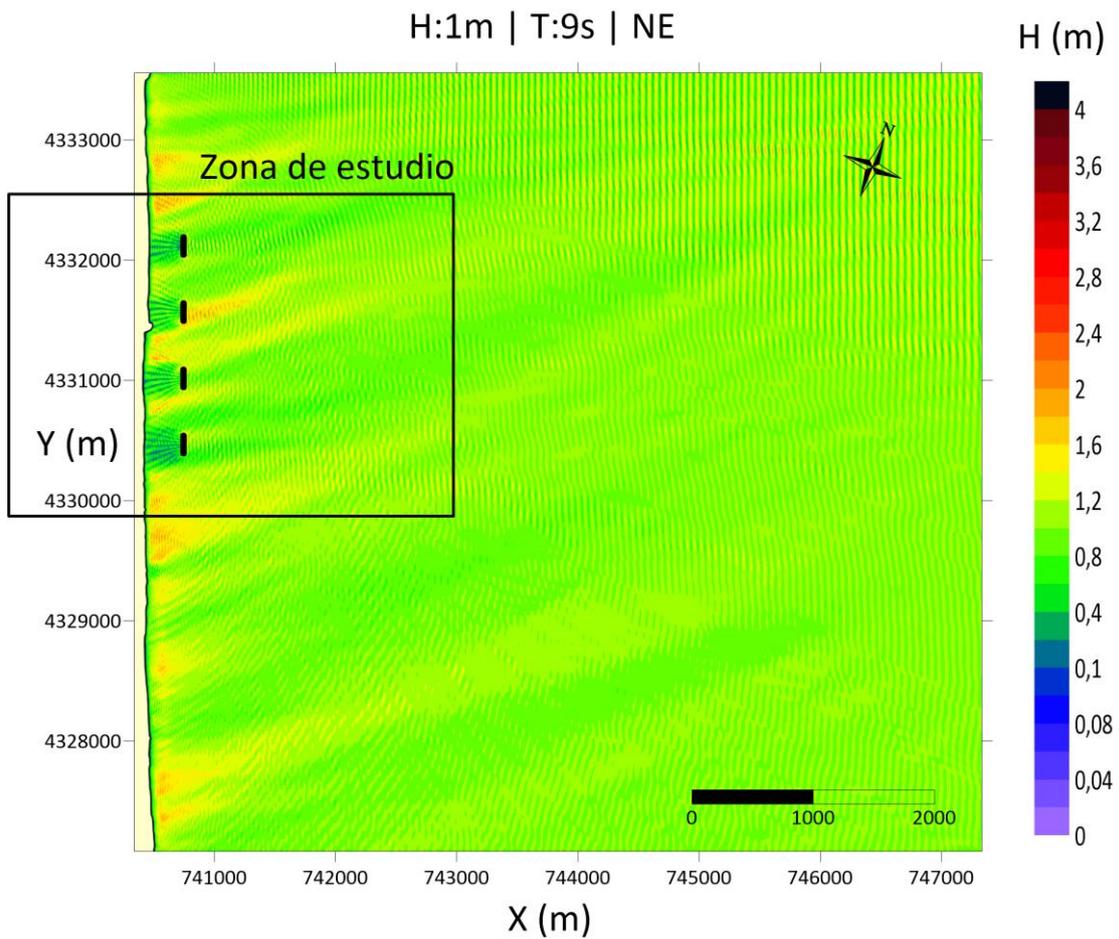


### 3. ALTERNATIVA 3: CUATRO DIQUES DE 150 METROS

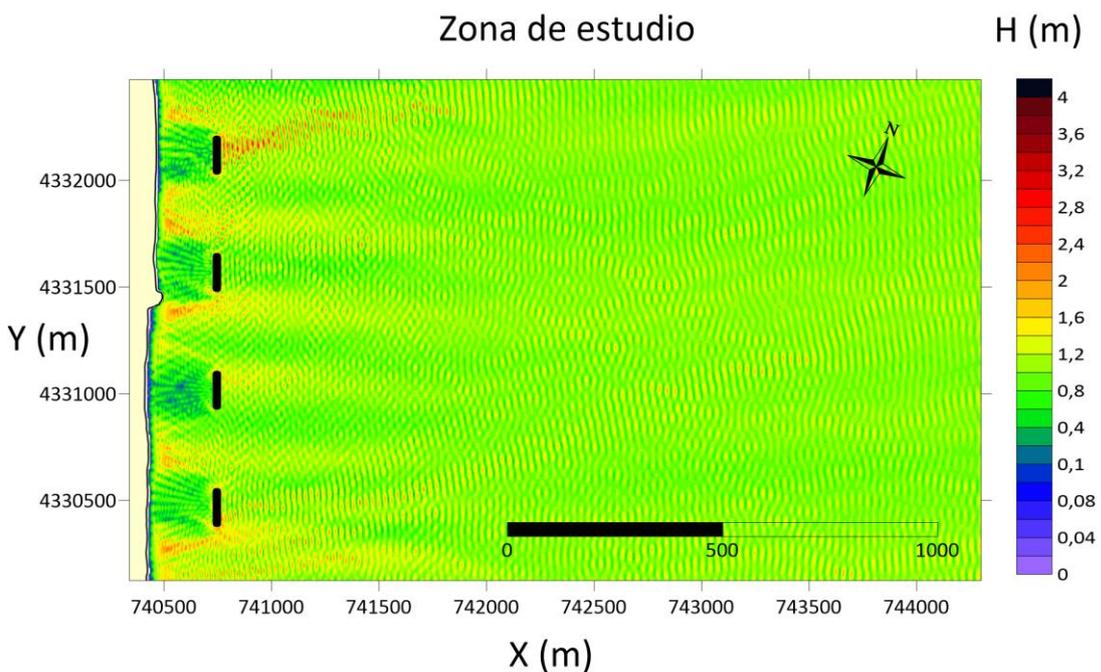
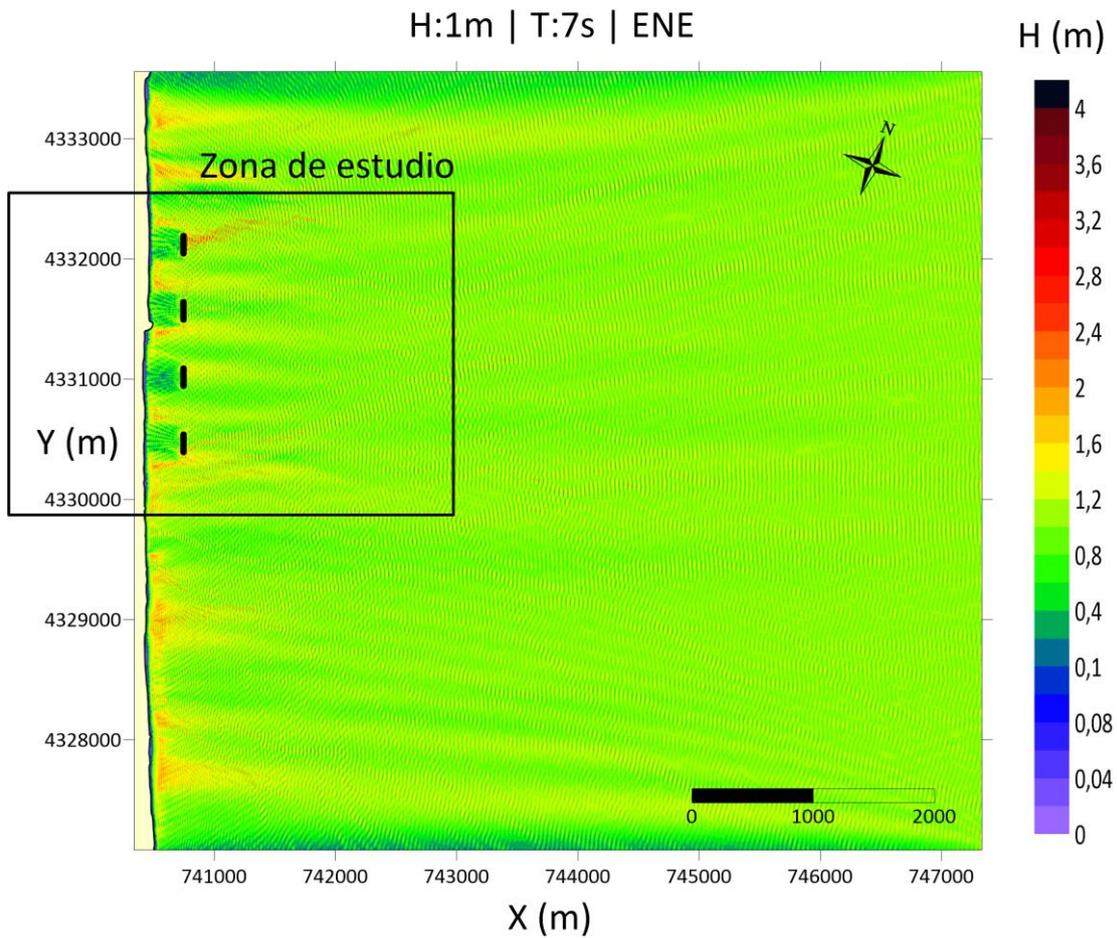
#### 3.1 PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO

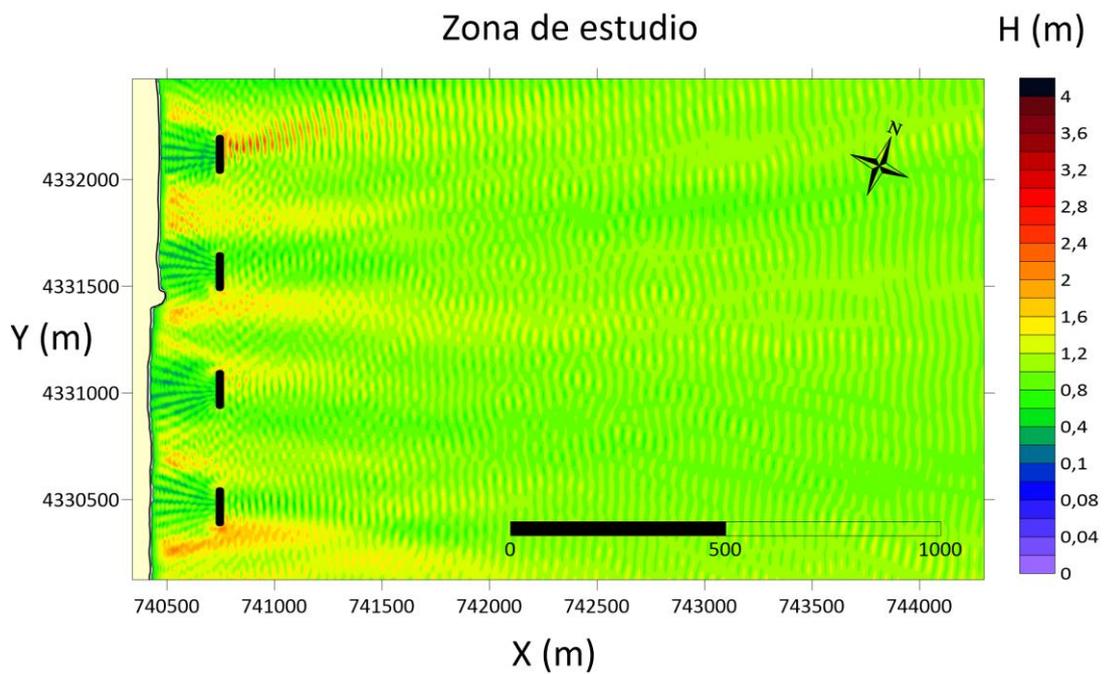
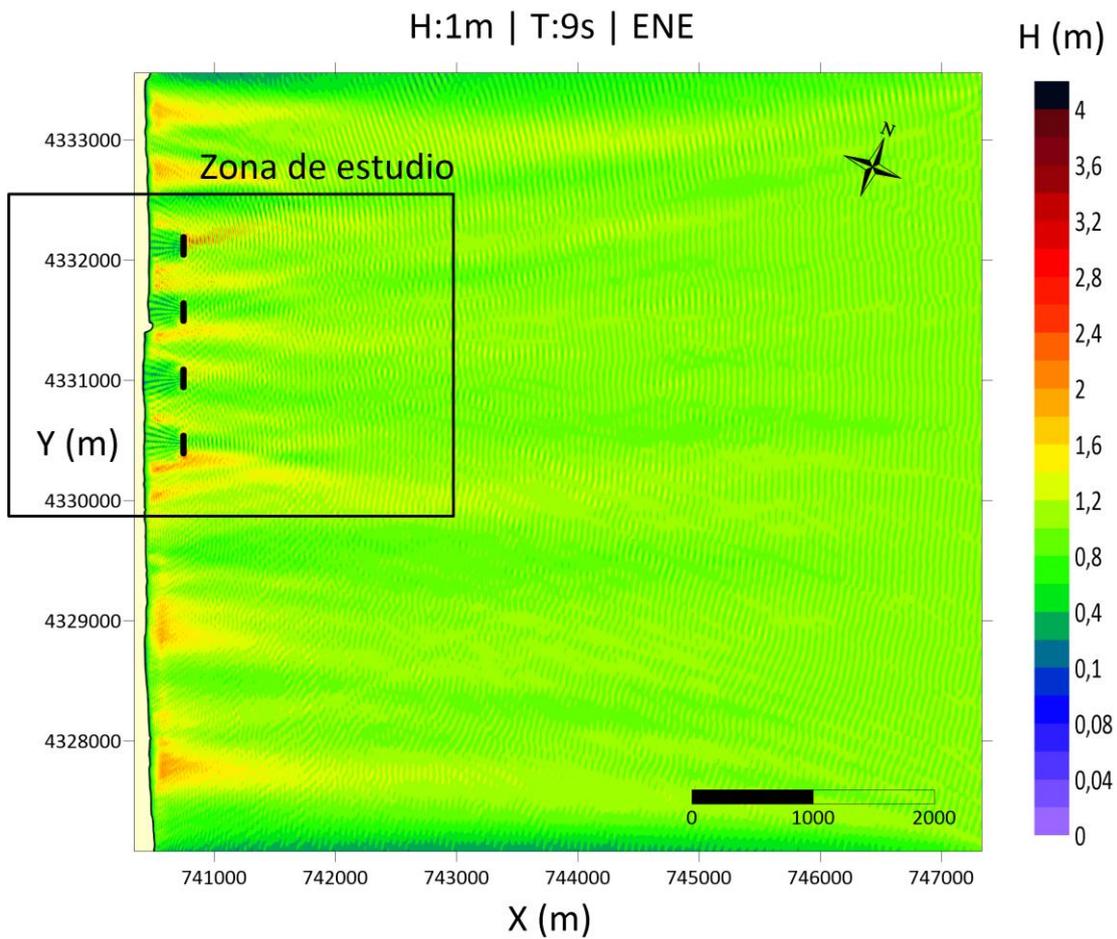
##### 3.1.1 NORESTE (NE)



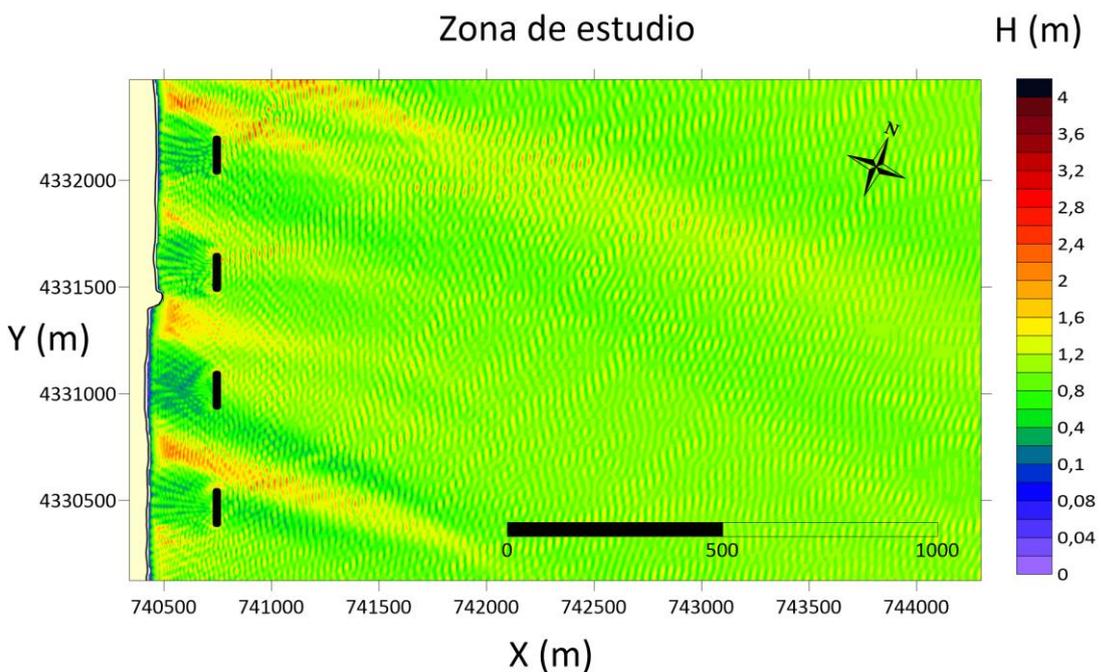
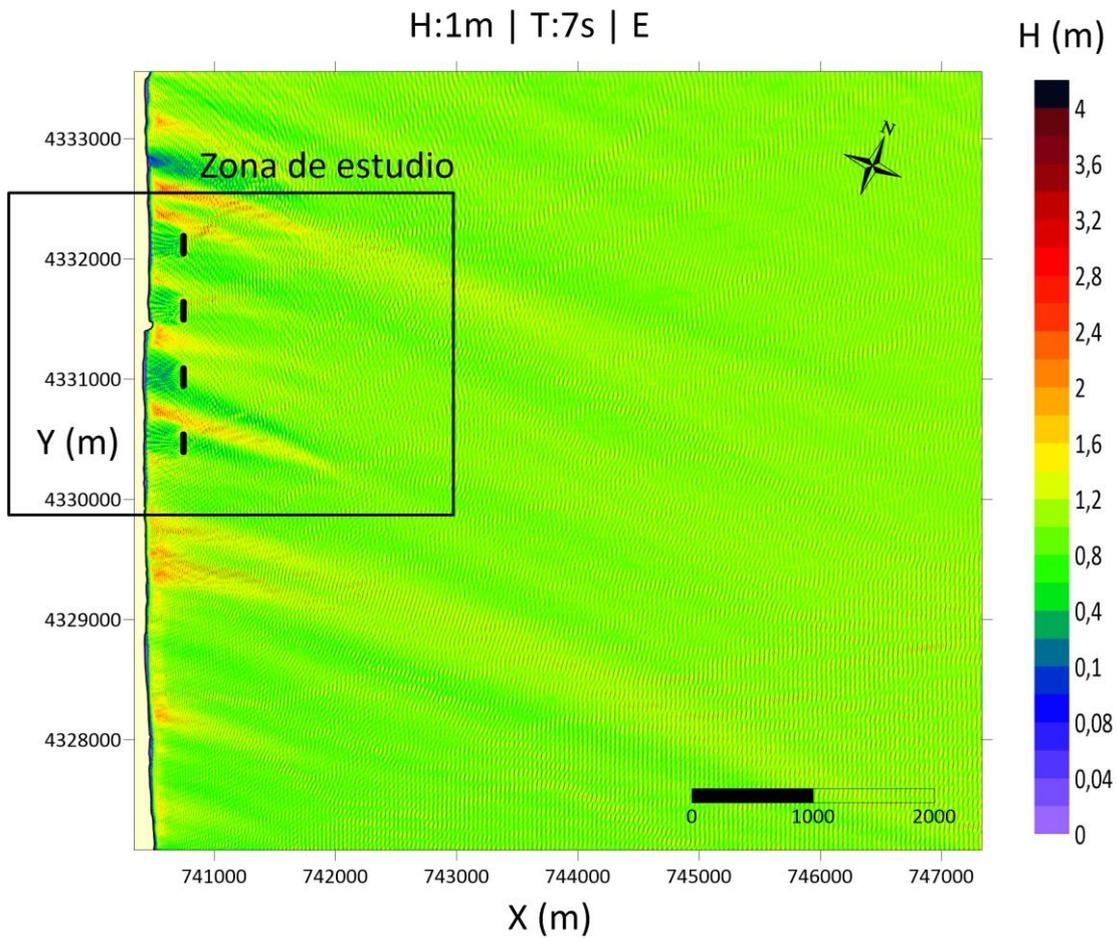


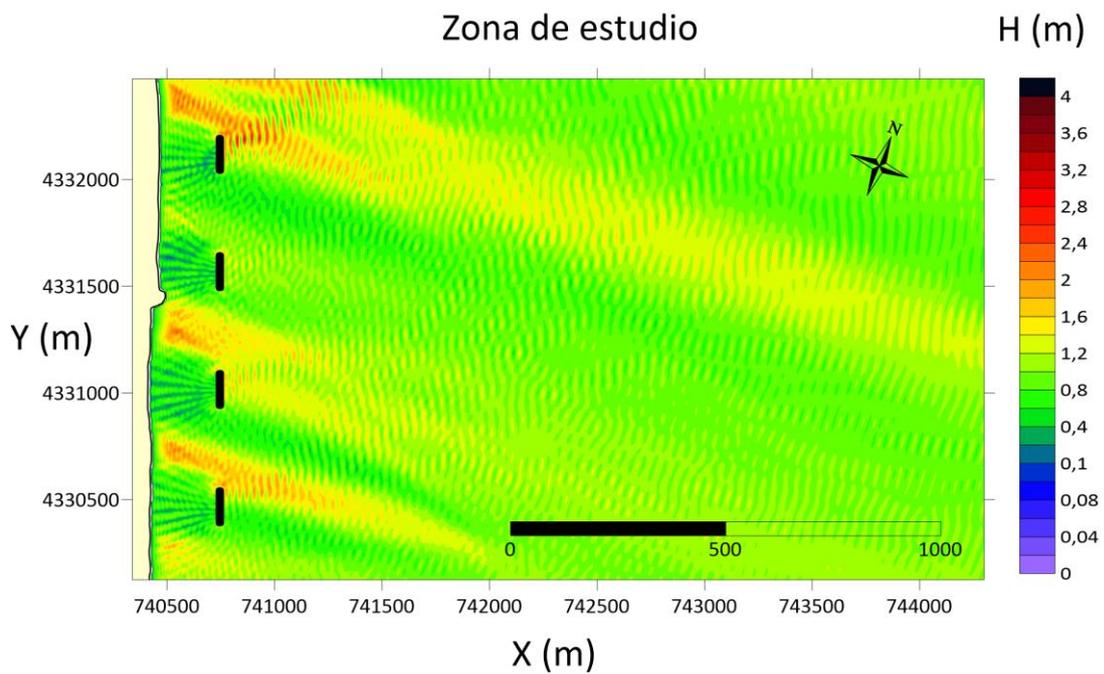
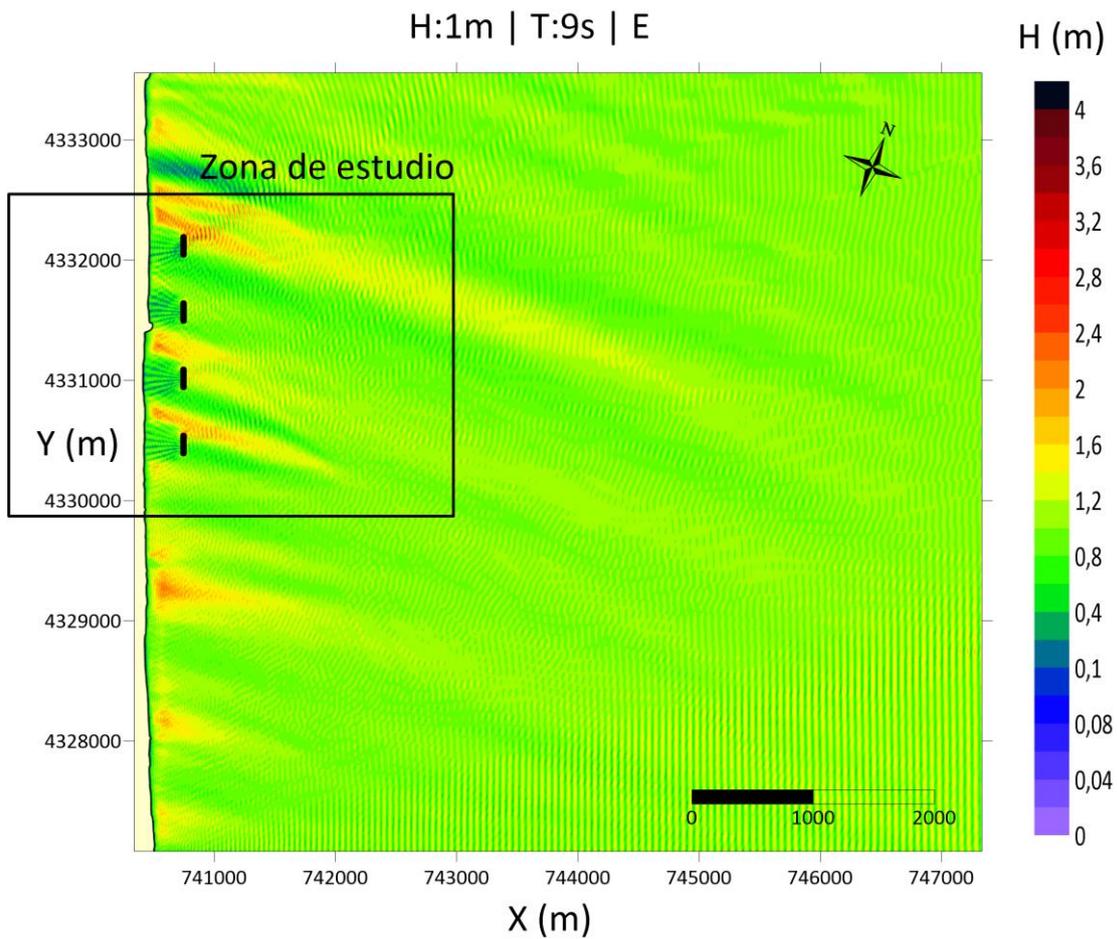
### 3.1.2 ESTE- NORESTE (ENE)





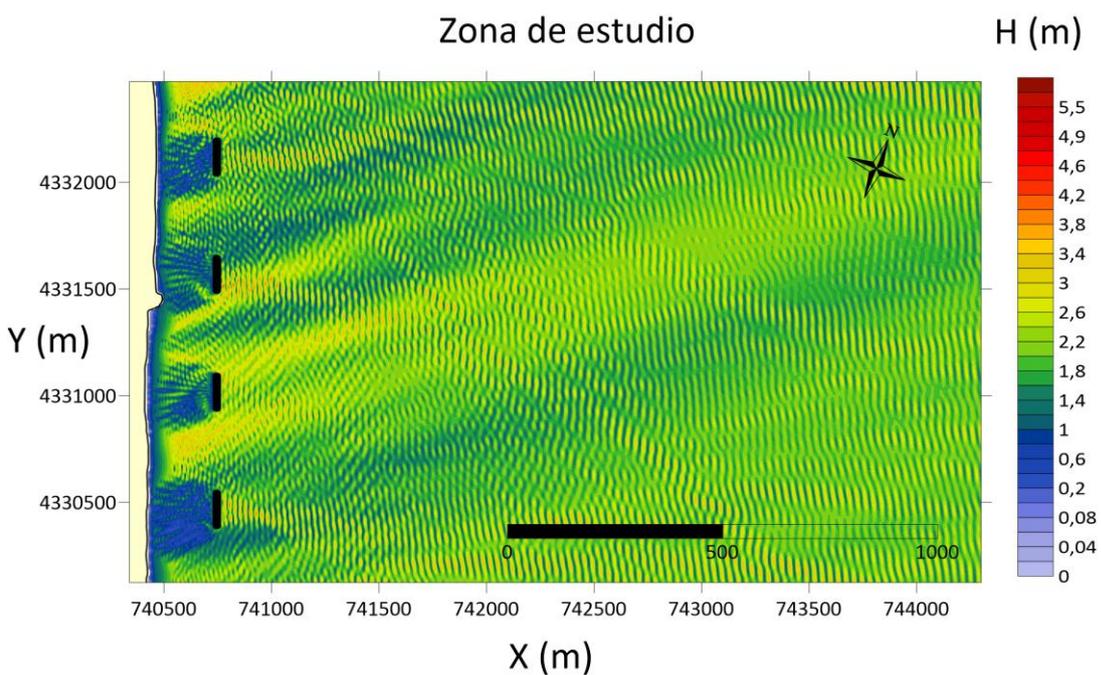
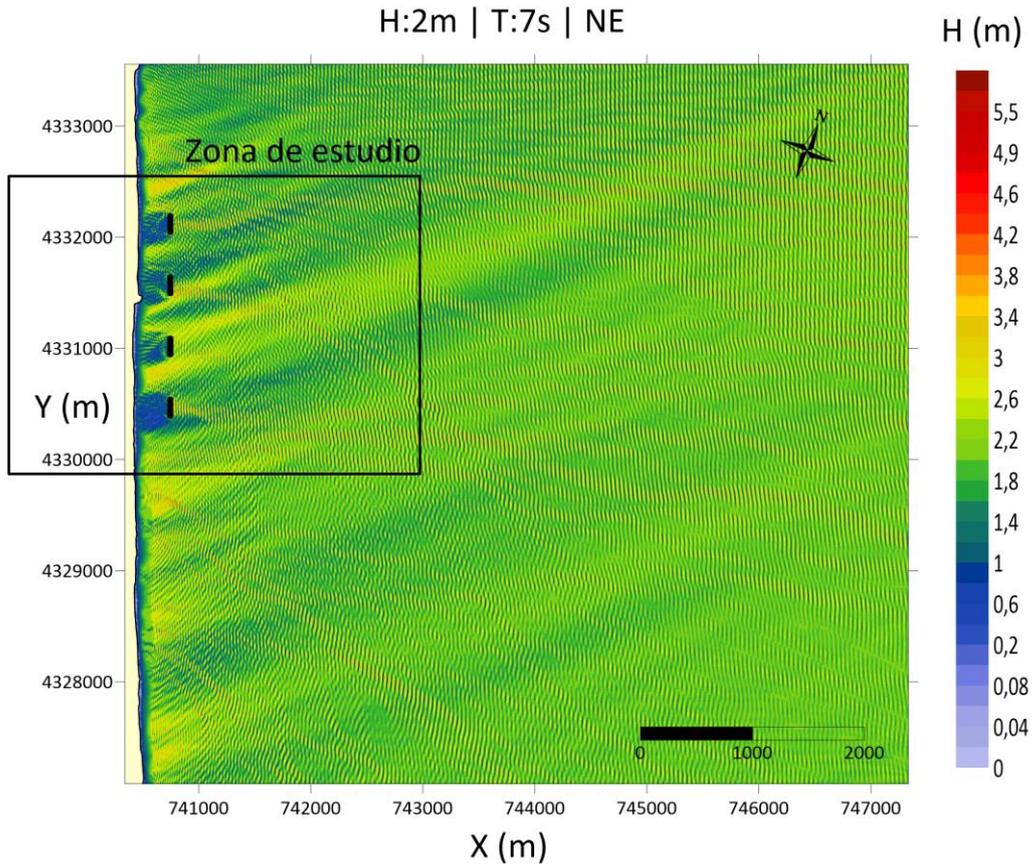
### 3.1.3 ESTE (E)



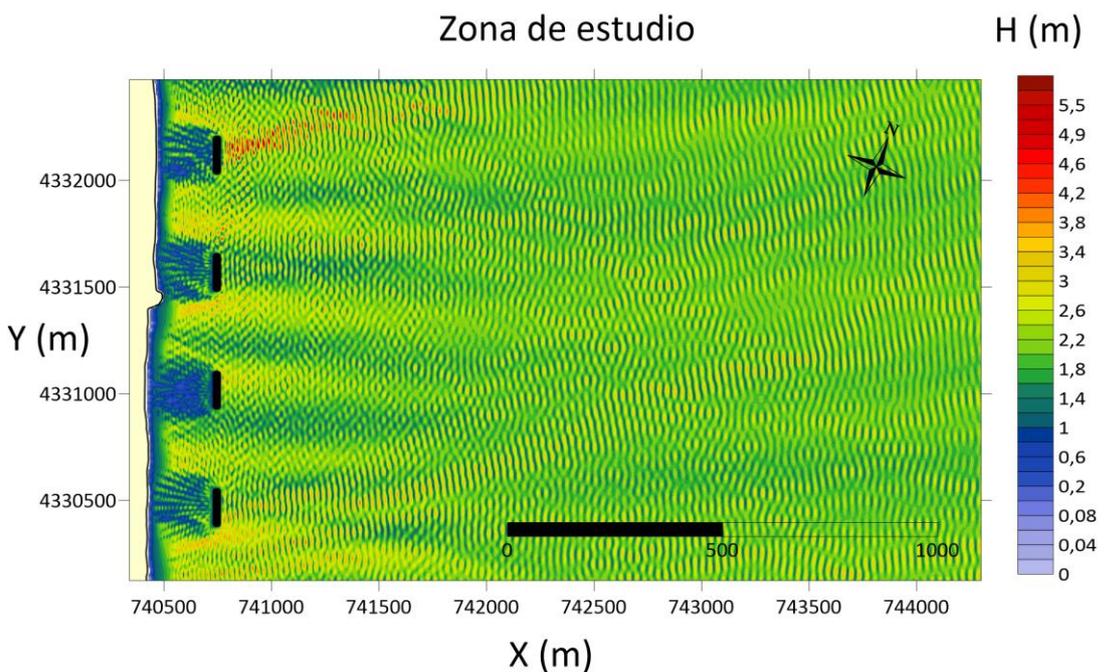
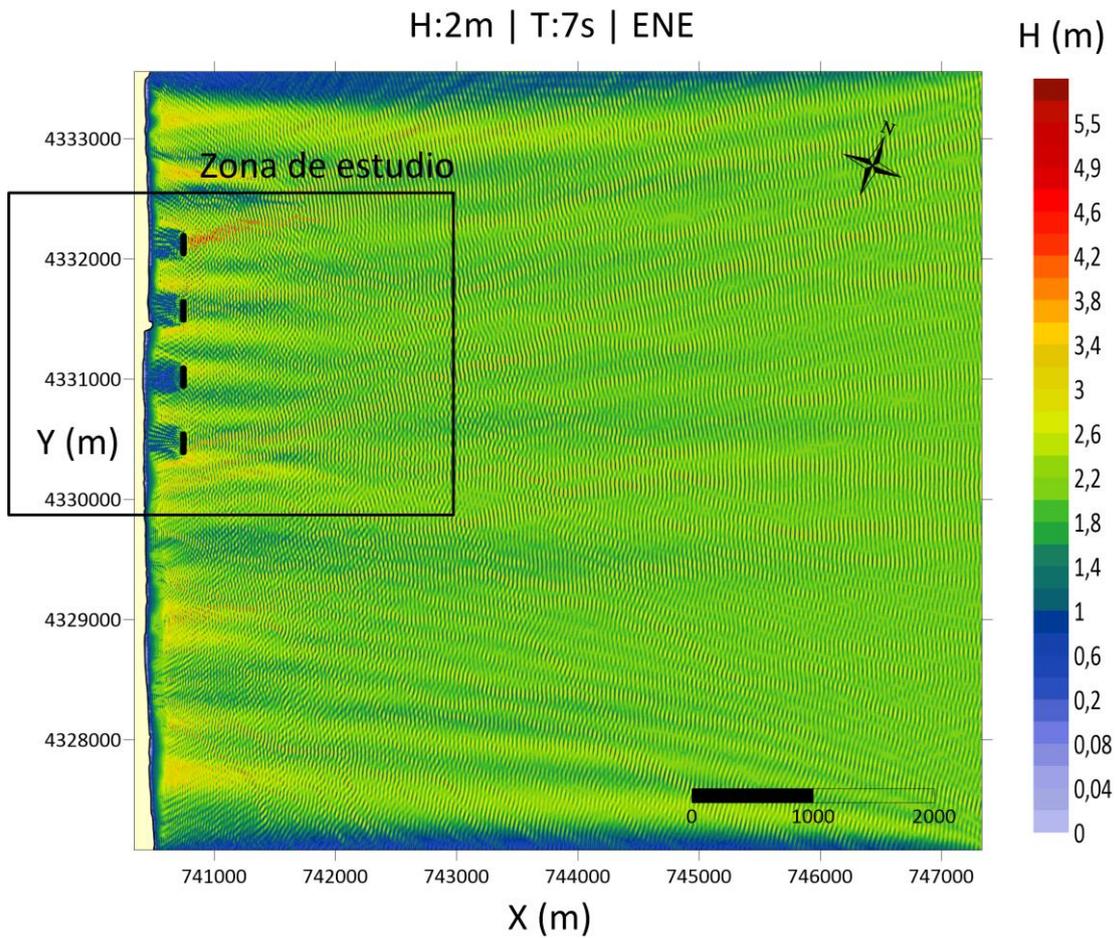


## 3.2 SEGUNDO CASO: TORMENTA

### 3.2.1 NORESTE (NE)



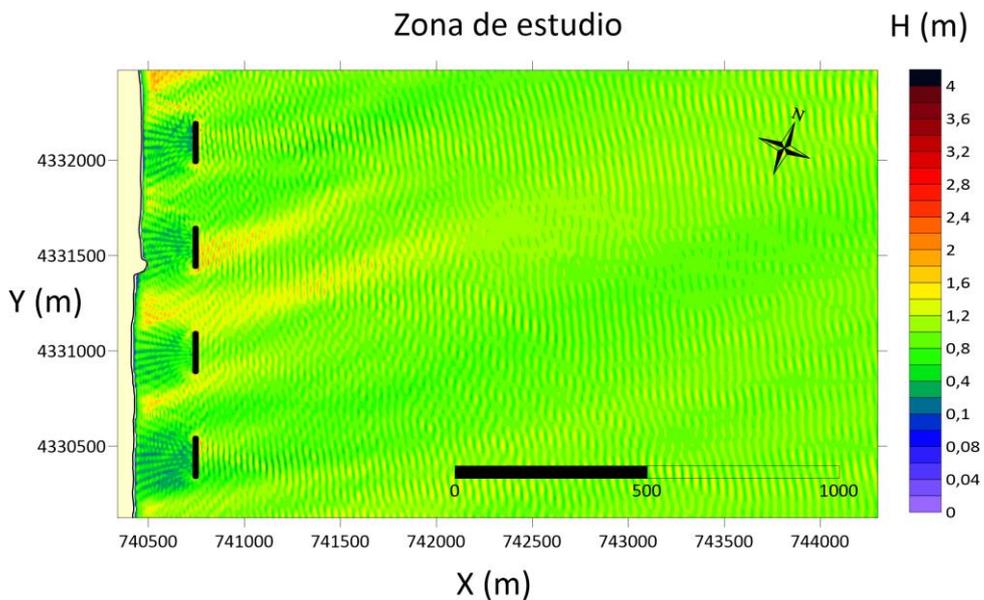
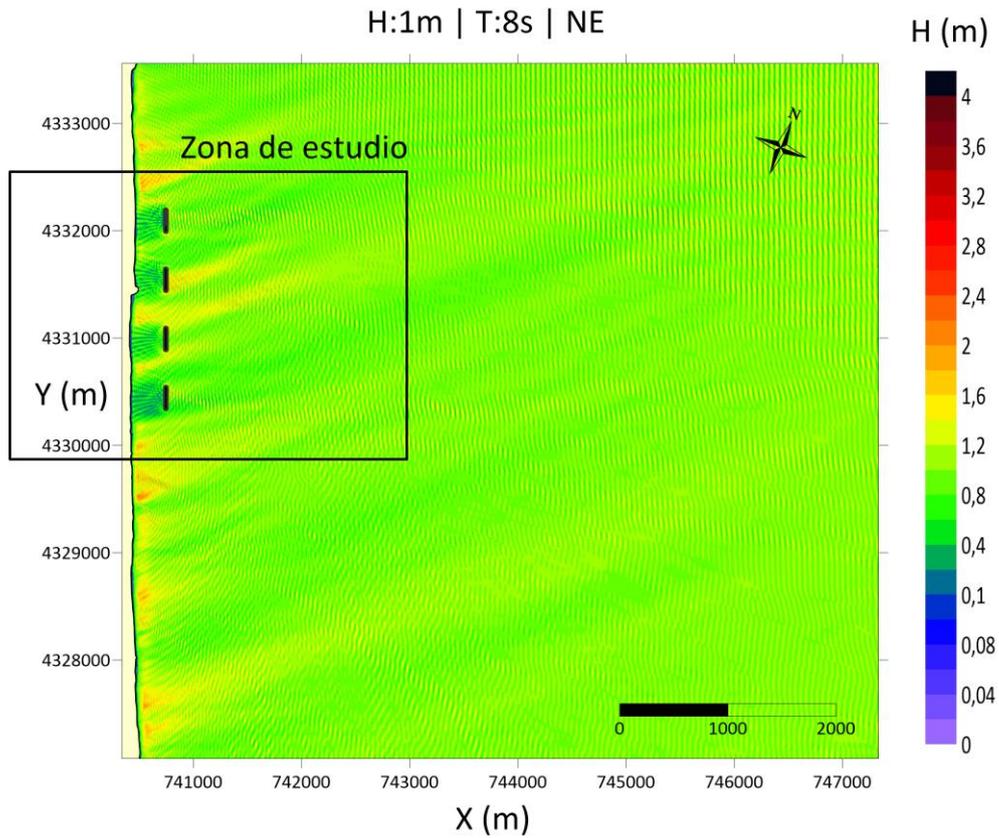
### 3.2.2 ESTE- NORESTE (ENE)

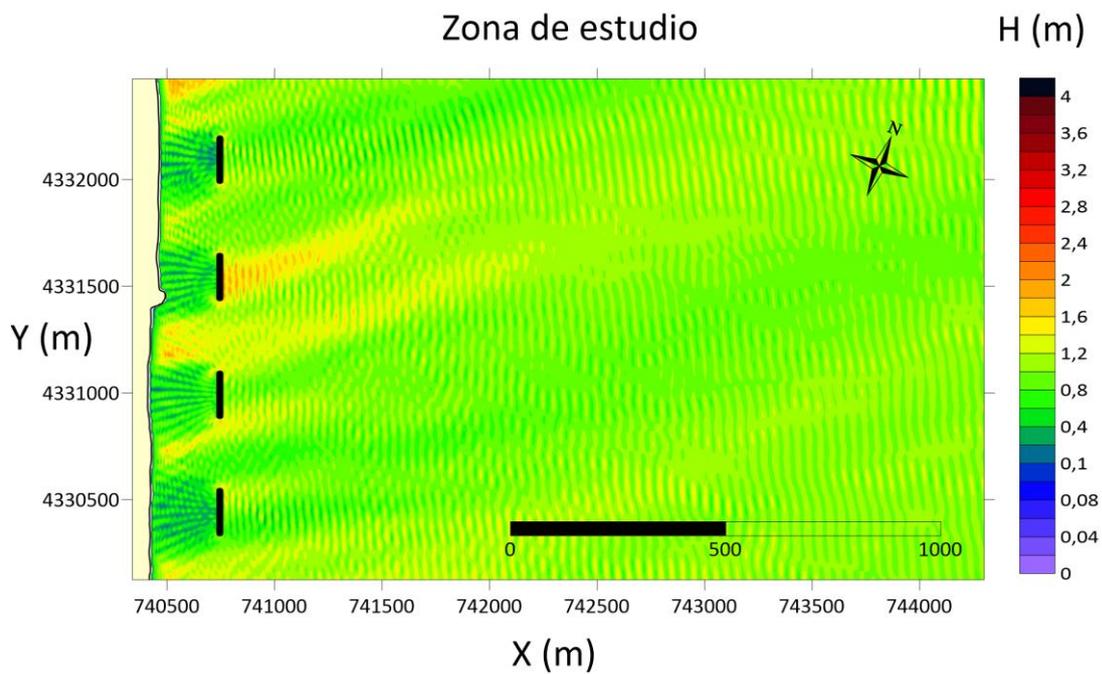
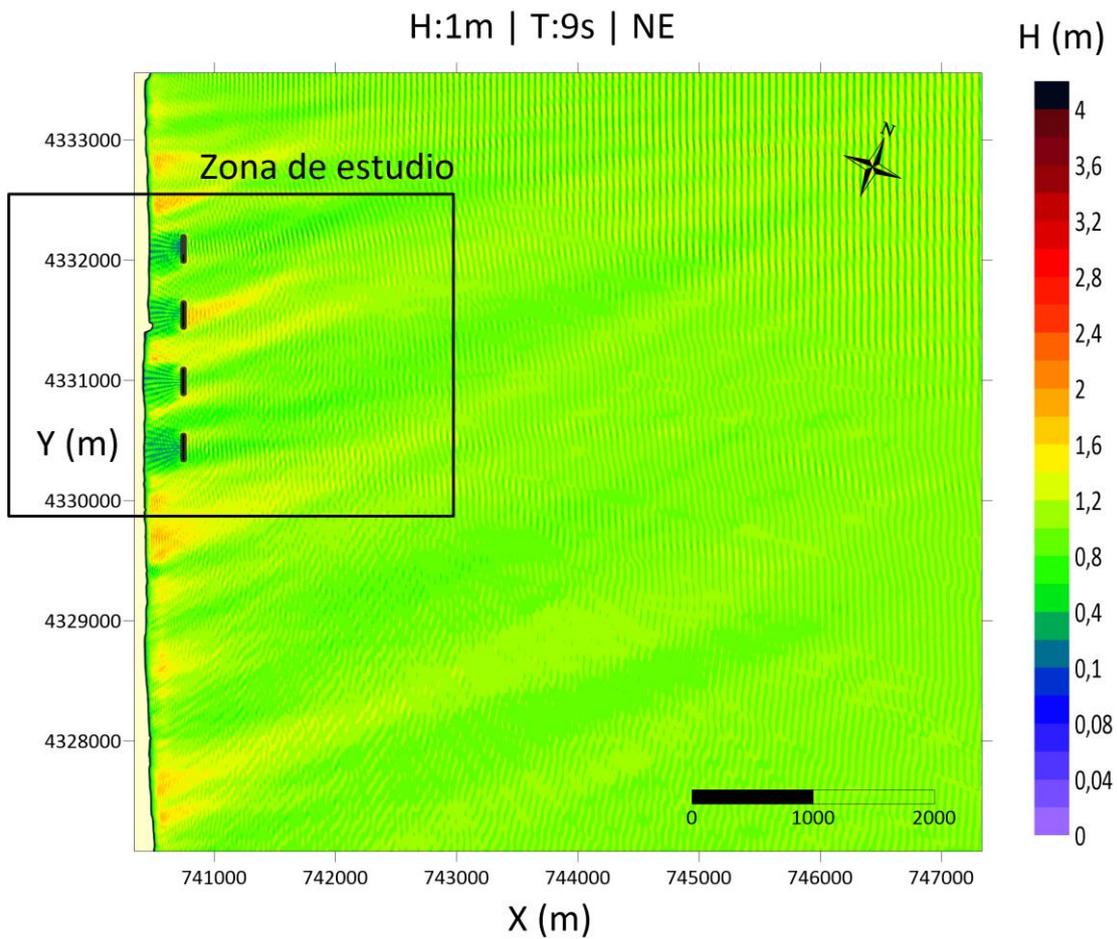


## 4. ALTERNATIVA 4: CUATRO DIQUES DE 200 METROS

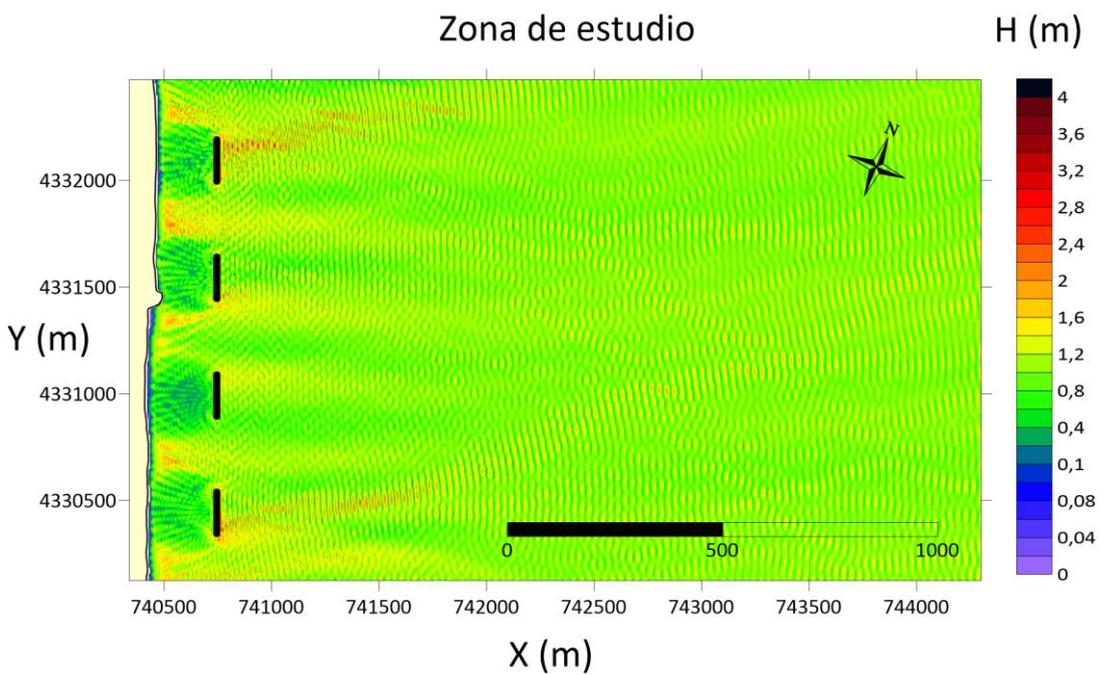
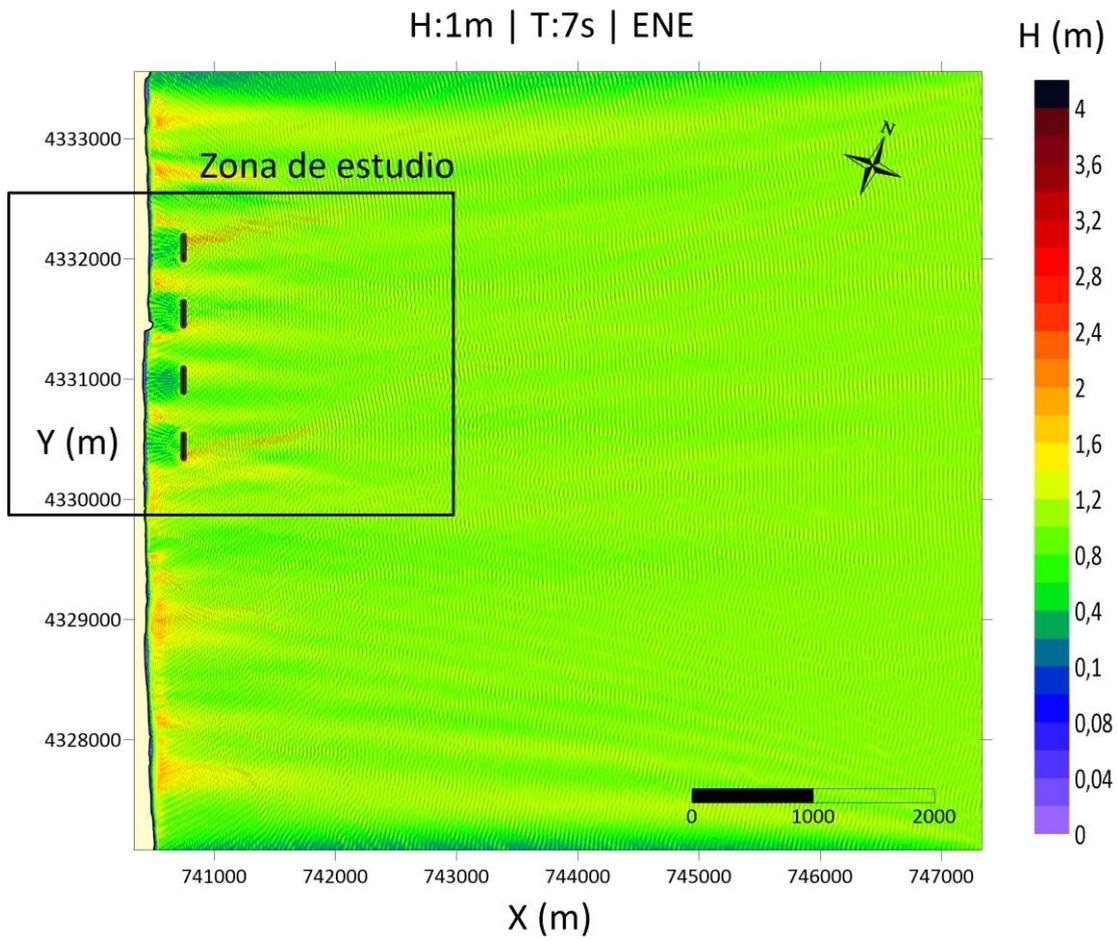
### 4.1 PRIMER CASO: REGIMEN MEDIO

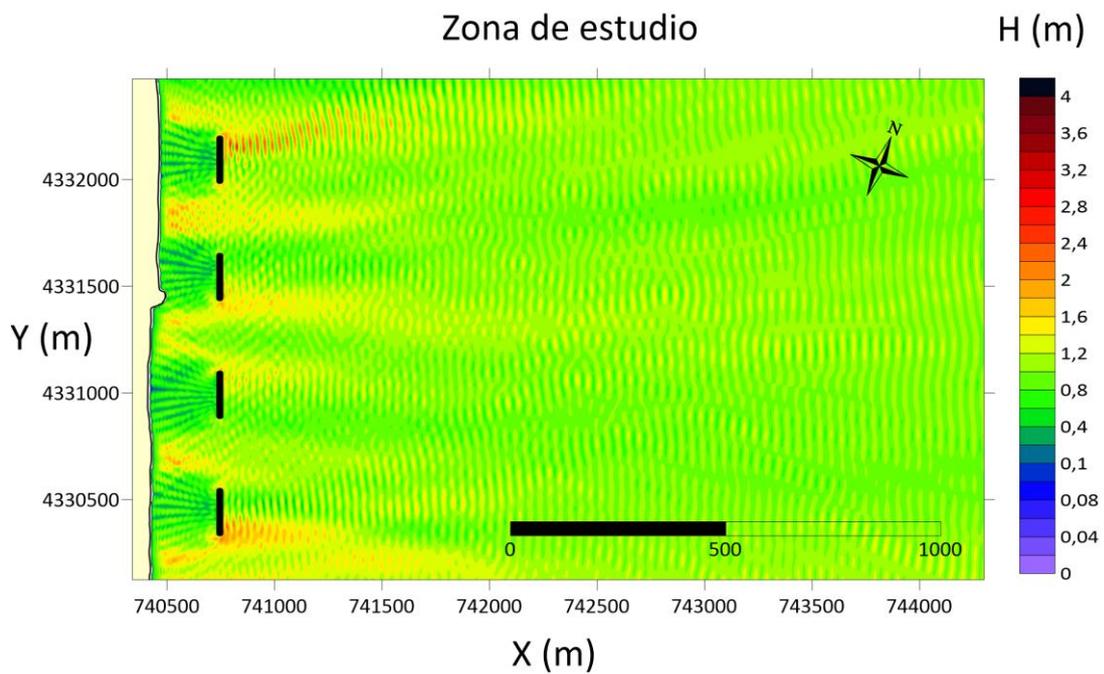
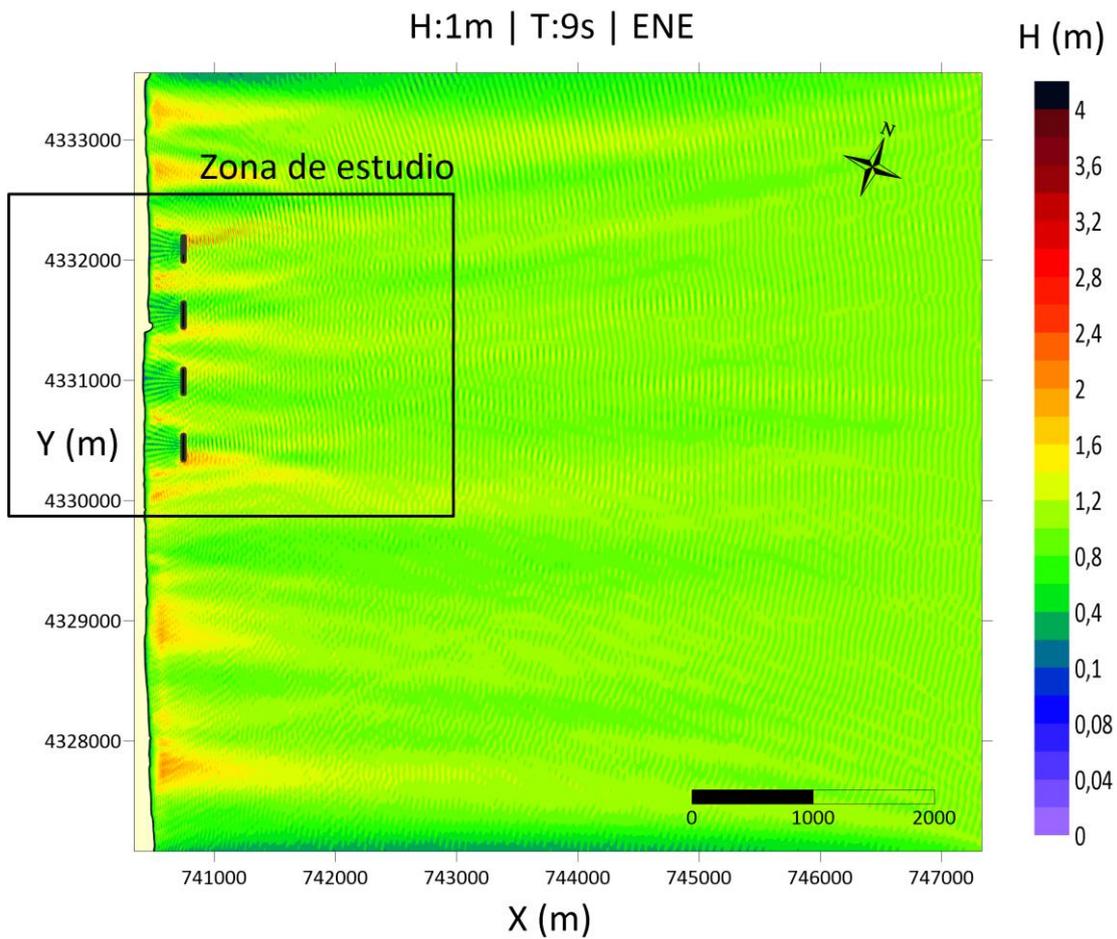
#### 4.1.1 NORESTE (NE)



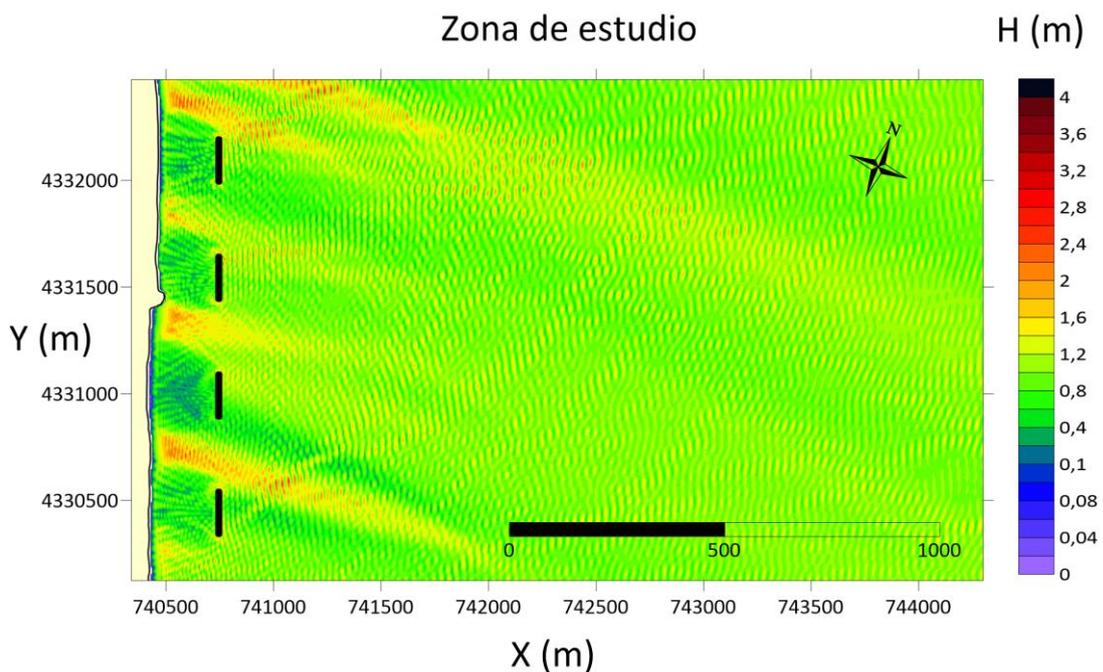
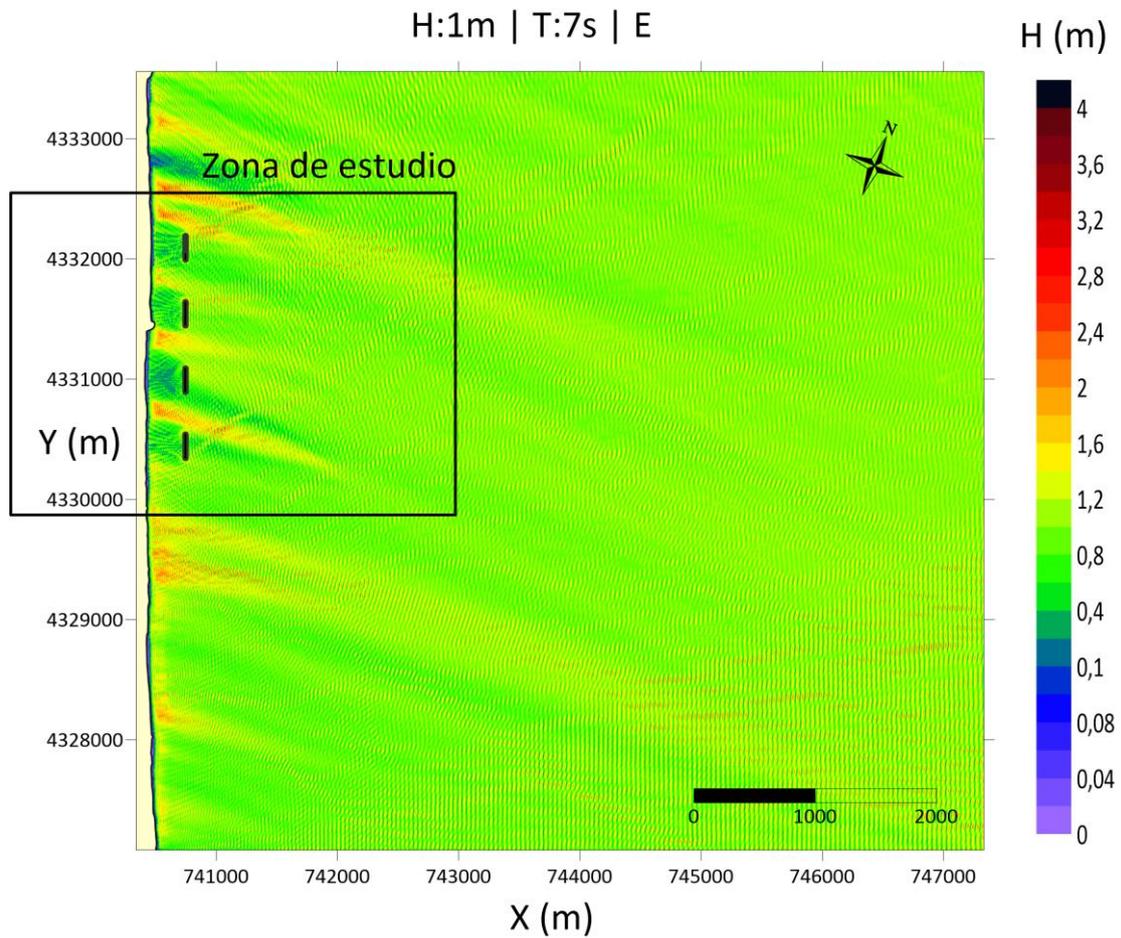


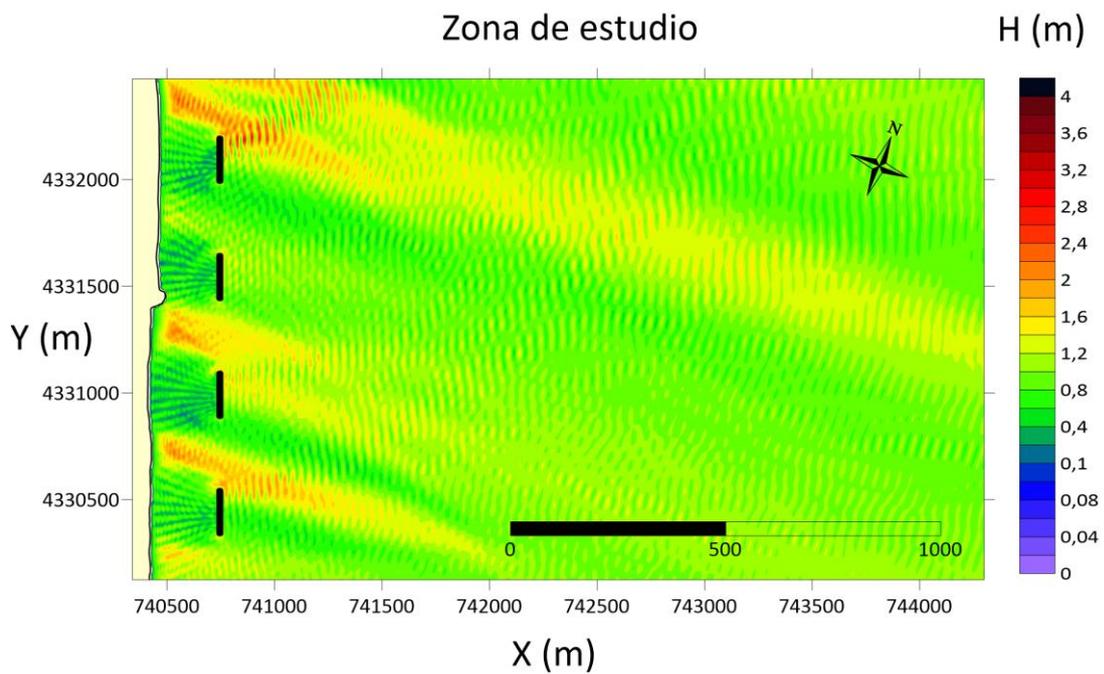
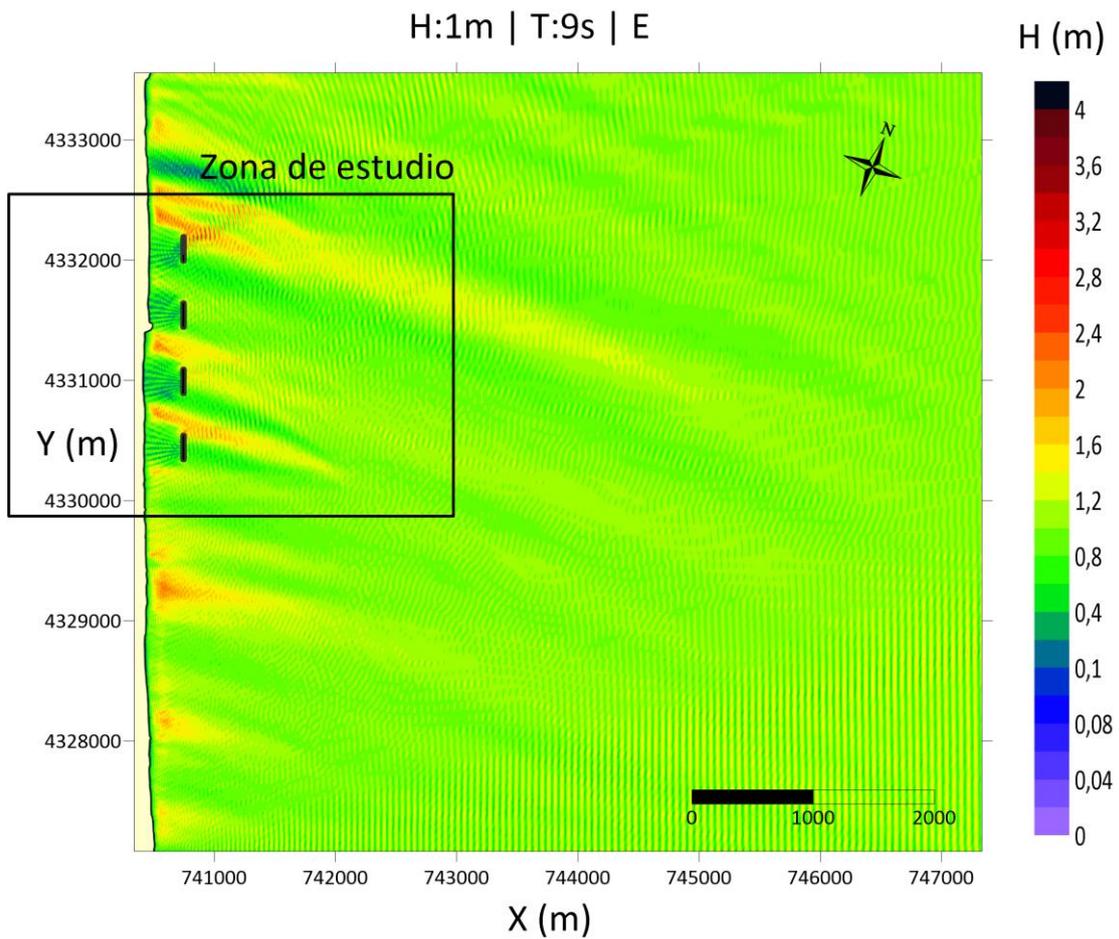
#### 4.1.2 ESTE- NORESTE (ENE)





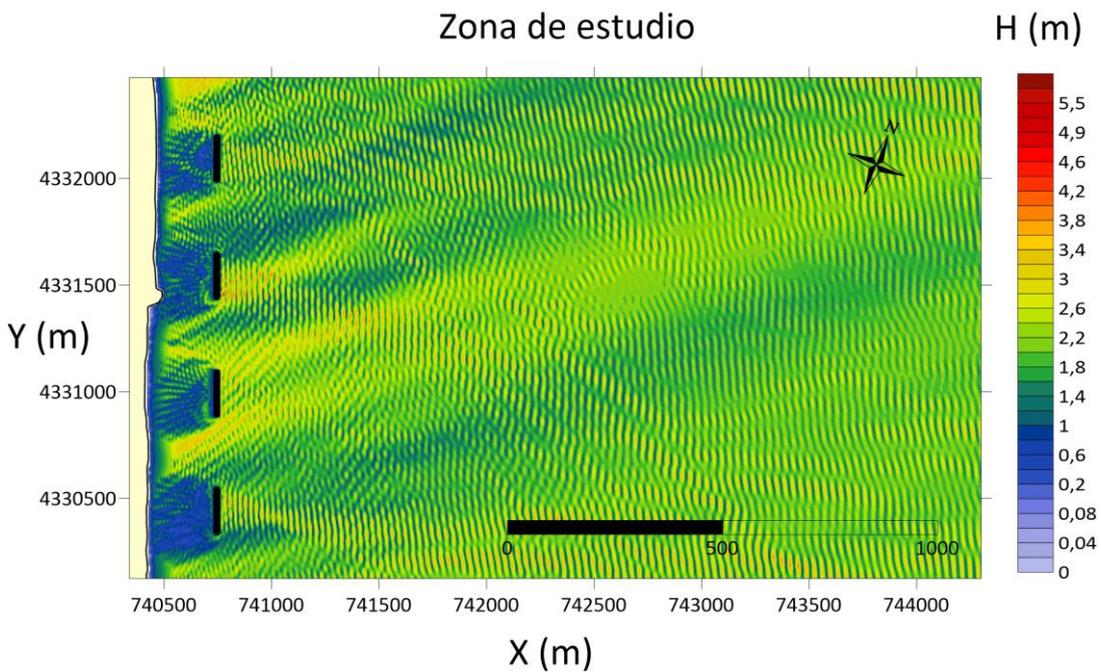
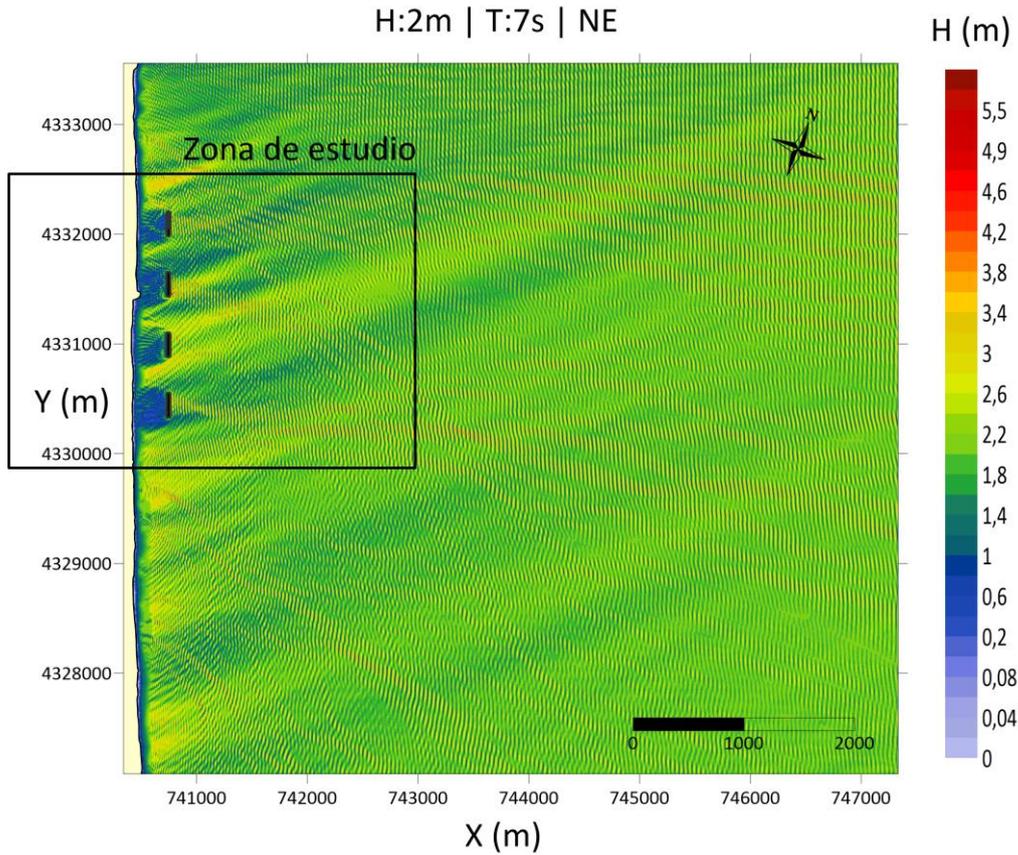
### 4.1.3 ESTE (E)



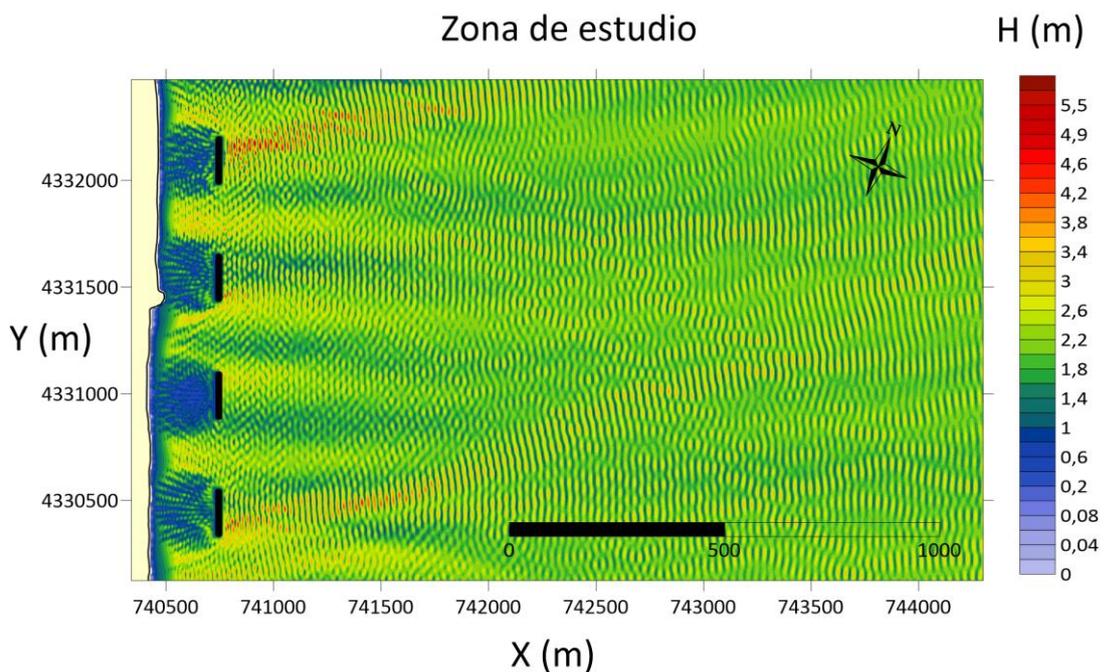
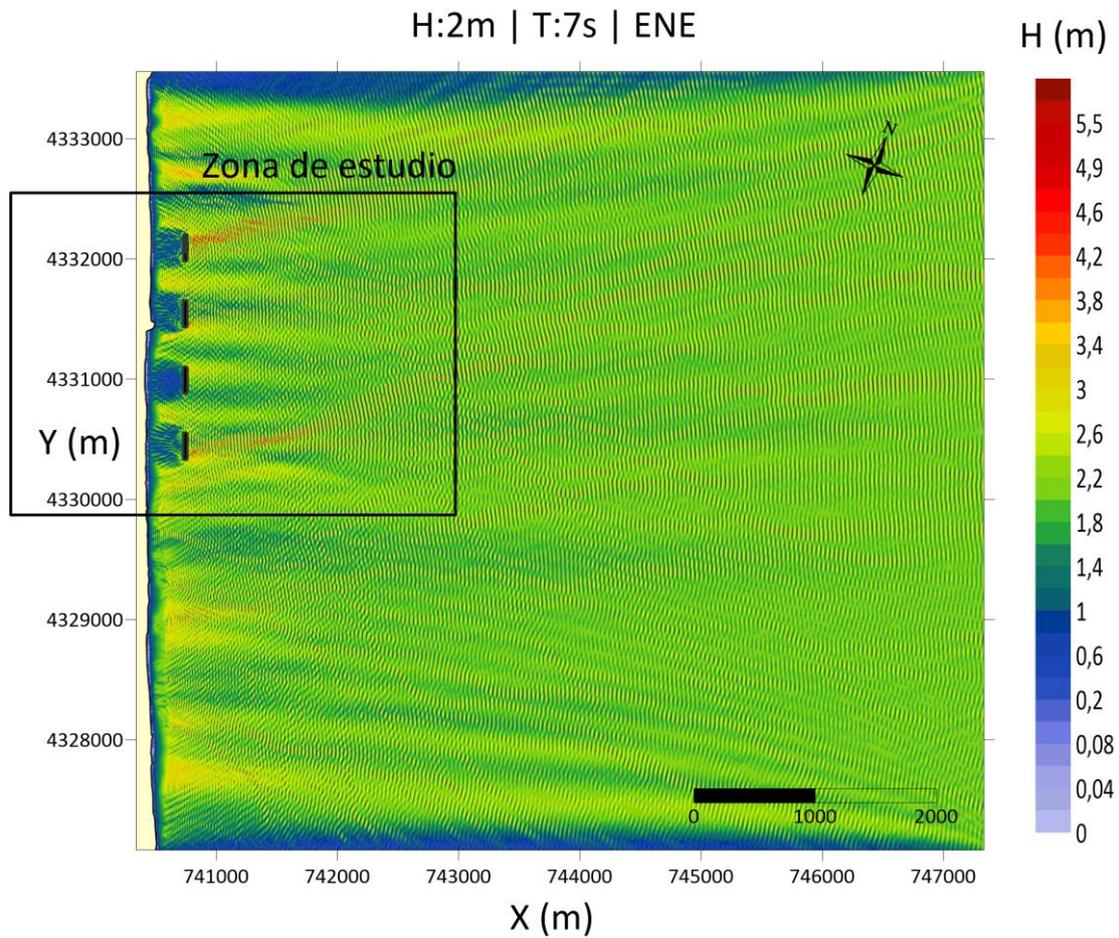


## 4.2 SEGUNDO CASO: TORMENTA

### 4.2.1 NORESTE (NE)



#### 4.2.2 ESTE- NORESTE (ENE)





## ANEJO N°9

# PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO



## **ÍNDICE**

<b>1. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>262</b>
1.1 FASE DE CONSTRUCCIÓN .....	262
1.2 MAQUINARIA Y EQUIPOS .....	265
1.3 ESPACIO .....	265
1.4 PROCEDIMIENTO DE TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE PIEZAS .....	266
<b>2. PROGRAMA DE TRABAJOS .....</b>	<b>268</b>
2.1 TRABAJOS PREVIOS .....	268
2.2 FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE CUBÍPODOS .....	268
2.3 GESTIÓN DE RESIDUOS, SEGURIDAD Y SALUD Y CONTROL AMBIENTAL .....	269
2.4 DIAGRAMA DE GANTT .....	270

## 1. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

En este apartado se detallan las operaciones necesarias para llevar a cabo el proceso constructivo de un dique diseñado con Cubípodos. También se especifican los equipos que se necesitarán durante la fase de ejecución de la obra.

### 1.1 FASE DE CONSTRUCCIÓN

Una vez definido el diseño de la estructura (descrito en los apartados anteriores), se inicia la fase de construcción. La primera etapa consiste en la fabricación de las piezas que compondrán la estructura. Para ello, se utiliza un encofrado vertical específicamente diseñado para optimizar la eficiencia de producción. Este encofrado consta de una base y seis articulaciones en la parte superior que permiten un llenado y vibrado homogéneo en todas las áreas (web del Cubípodo,2024).

Posteriormente, con un carril elevado de hormigonado, los camiones hormigoneras pueden verter el hormigón en los moldes. Una vez que el hormigón ha sido vibrado y ha fraguado, se procede a desencofrar los Cubípodos utilizando unas pinzas que elevan el molde superior (web del Cubípodo,2024).



*Figura 147:Encofrado del Cubípodo.*

*Fuente: Web del Cubípodo,2024*

Este proceso de fabricación es muy simple y presenta un alto rendimiento, permitiendo entre 1 y 3 puestas al día. El diseño de este encofrado facilita el uso de líneas de producción más compactas, optimizando el espacio y reduciendo la cantidad de moldes necesarios. Además, no requiere las grandes losas de nivelación que son necesarias para los encofrados de apertura lateral, lo que disminuye los costos y simplifica los procesos. El hormigonado se lleva a cabo mediante un carril elevado, por el cual los camiones hormigoneras vierten el hormigón directamente en los moldes colocados a

ambos lados del carril. Dado que el Cubípodo es una pieza masiva, la calidad del hormigón utilizado en su fabricación puede ser menor (web del Cubípodo,2024).



Figura 148: Hormigonado de los Cubípodos en obra.

Fuente: Web del Cubípodo,2024

En cuanto a su **almacenamiento**, la forma del Cubípodo permite apilarlo en diferentes alturas, lo que disminuye la necesidad de espacio. Para su almacenamiento, es esencial verificar la capacidad portante del terreno, ya que de ello depende la cantidad de alturas que se pueden apilar. Una vez confirmada la capacidad portante, se nivela el terreno y se excavan una serie de surcos o guías para acomodar la protuberancia inferior de la primera capa apilada. Los niveles superiores se colocan de manera que cada Cubípodo se apoya sobre dos de la capa inferior, con el tronco piramidal entre ellos.



Figura 149: Acopio de Cubípodos.

Fuente: Web del Cubípodo,2024

Una vez almacenados, se procede al transporte de los Cubípodos, para lo cual es crucial conocer cómo manipularlos. Esta manipulación se realiza mediante pinzas de doble presión en el área de fabricación, mientras que para su colocación en la obra se utilizan

pinzas simples. Las pinzas ofrecen un sistema de manejo rápido y seguro, eliminando la necesidad de personal para operaciones manuales. (web del Cubípodo,2024).



*Figura 150: Manipulación del Cubípodo.*

*Fuente: Web del Cubípodo,2024*

El transporte de los Cubípodos desde el área de almacenamiento hasta el dique en construcción es muy sencillo, pudiendo emplearse camiones plataforma, barcazas, entre otros. Para un transporte seguro, los Cubípodos suelen colocarse sobre las bases de su encofrado o sobre estructuras simples (como de madera o hormigón) que permiten que la base del cubo central del Cubípodo se apoye adecuadamente, evitando su protuberancia inferior. En este estudio, se opta por el transporte marítimo mediante barcazas (web del Cubípodo,2024).



*Figura 151: Transporte del Cubípodo.*

*Fuente: Web del Cubípodo,2024*

Finalmente, los Cubípodos se colocan de forma totalmente aleatoria, lo que significa que cada pieza no necesita una orientación específica en relación con las piezas circundantes, simplificando considerablemente su colocación. Se utiliza un sistema de posicionamiento GPS en la pluma de la grúa, que indica al operador dónde debe colocar cada pieza según una malla de colocación diseñada previamente. Generalmente, se

logra una tasa de colocación de 8-12 Cubípodos por hora, sin necesidad de buzos ni mano de obra especializada (web del Cubípedo,2024).



Figura 152: Colocación del Cubípedo.

Fuente: Web del Cubípedo,2024

## 1.2 MAQUINARIA Y EQUIPOS

El equipo necesario para ejecutar este proceso incluye (web del Cubípedo,2024):

- Camiones hormigonera para verter el hormigón en los moldes.
- Grúa y pinza de desencofrado para retirar el molde una vez el hormigón haya fraguado.
- Grúa con pinzas de doble presión para la manipulación de los Cubípodos.
- Grúa equipada con sistema de posicionamiento GPS sobre una pontona, encargada de colocar cada pieza según la malla de colocación diseñada, con una capacidad de colocación de 8-12 Cubípodos por hora.
- Barcazas para transportar los Cubípodos hasta la obra.

## 1.3 ESPACIO

La fabricación y almacenamiento de Cubípodos requieren un gran espacio. Además, este espacio debe estar cerca del punto de embarque de las barcazas que transportarán los Cubípodos a la obra.



Figura 153: Zona de acopio.

Fuente: Elaboración propia

#### 1.4 PROCEDIMIENTO DE TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE PIEZAS

En este apartado se van a definir los medios de transporte por vía marítima que van a ser utilizados para la colocación de Cubípodos.

Para transportar los Cubípodos de la zona de acopio a la zona de actuación se va a realizar mediante un buque Gánguil, diseñado para el transporte y descarga de diferentes clases de materiales dragados, desde roca hasta arena.



Figura 154: Buque Gánguil.

Fuente: SATO

Los Cubípodos se cargan en el buque gánguil en el Puerto de Gandía utilizando grúas con capacidades adecuadas para manejar aproximadamente 10 toneladas por pieza.

El buque gánguil transporta los Cubípodos desde el Puerto de Gandía hasta Tavernes de la Valldigna.

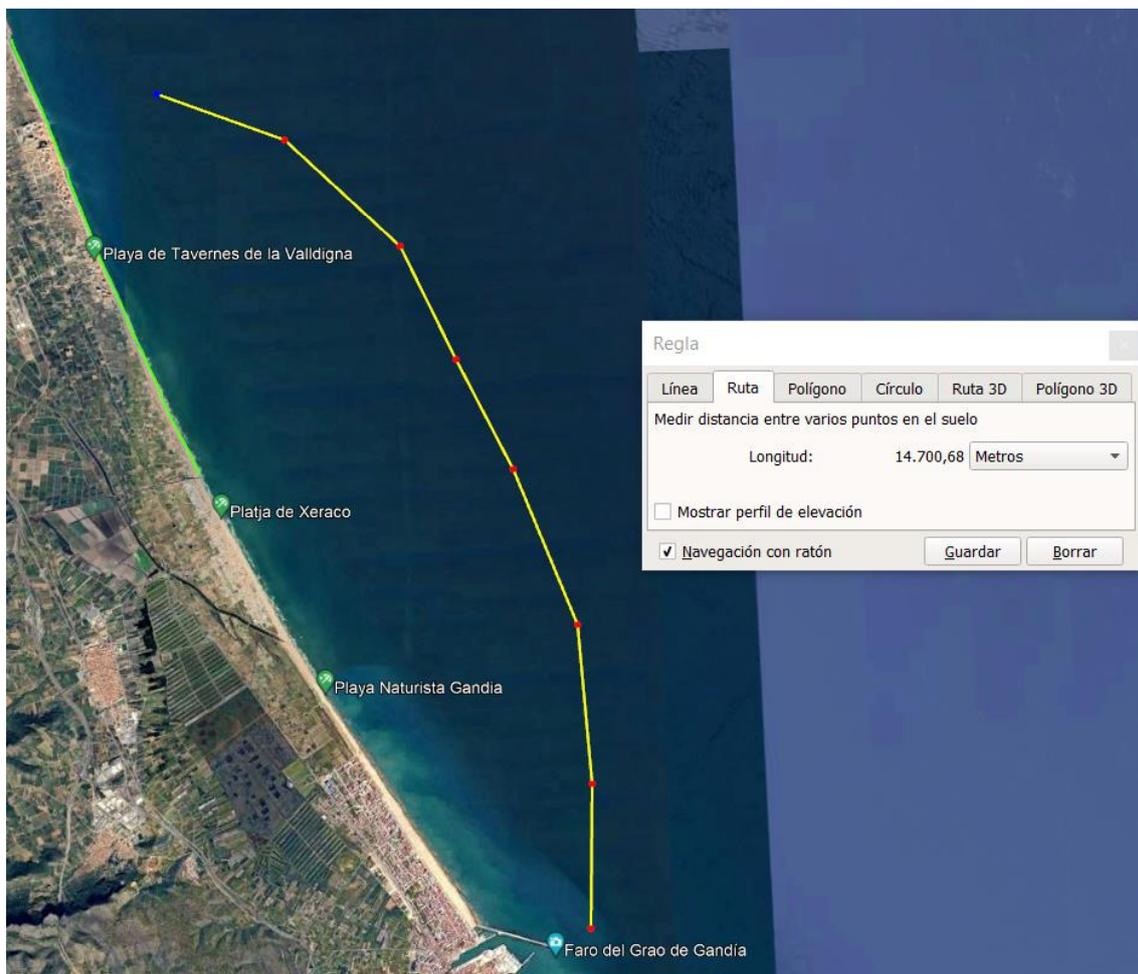


Figura 155: Distancia entre el Puerto de Gandía y la zona de actuación.

Fuente: Elaboración propia.

En las playas de Tavernes, se utiliza una grúa equipada con GPS para la colocación precisa de los Cubípodos.

Para llevar a cabo este proyecto, es esencial la coordinación con varias entidades:

- Autoridad Portuaria de Valencia - Puerto de Gandía: Para la logística y uso del puerto.
- Empresas de Transporte Marítimo: Que ofrezcan buques gánguiles adecuados.

- Empresas de Construcción y Colocación de Estructuras Marinas: Que tengan experiencia en el uso de grúas con sistemas GPS.

## 2. PROGRAMA DE TRABAJOS

### 2.1 TRABAJOS PREVIOS

Entre estas actividades se incluyen la preparación del área para la fabricación y almacenamiento de Cubípodos, la instalación de casetas de obra, el replanteo, la preparación de equipos y maquinaria, el vallado, la señalización, las zonas de acceso, entre otros. Se estima que la duración de estos trabajos será de aproximadamente dos semanas.

### 2.2 FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE CUBÍPODOS

La maquinaria necesaria para llevar a cabo la fabricación y el acopio de los Cubípodos será: sistema de encofrados, camión hormigonera y grúas con pinzas de presión dobles para la manipulación de las piezas.

Para conocer la duración de esta actividad, será necesario definir el número de Cubípodos a fabricar. La cantidad de Cubípodos quedan definidas por el número de filas de cada capa y la longitud de los diques, como la colocación de los Cubípodos, estos colocan una pieza encima de cuatro piezas.

	Diques de 150 m
Capa 1	246
Capa 2	62
Capa 3	16
Total 4 diques	1296

Tabla 53: N.º de Cubípodos.

Fuente: Elaboración propia

Los Cubípodos se fabrican con un encofrado especial que presenta rendimientos de fabricación de 4 Cubípodos/día trabajando las 24 horas, ya que se debe esperar un mínimo de 6 horas para desencofrar. Se propone por tanto el uso de 10 encofrados. Considerando 20 días de trabajo al mes 24 horas/día a turnos de 8 horas.

Para la construcción de los diques se necesitará una grúa con sistema GPS para la colocación de las piezas. Estas grúas alcanzan rendimientos de 8 Cubípodos/hora. Por



tanto, el plazo necesario para colocar las 1296 piezas será de aproximadamente 65 días.

Con el objetivo de minimizar los tiempos de ejecución de la obra, y analizando los tiempos de encofrado, se debe comenzar la colocación de los Cubípodos antes de finalizar la fabricación de todas las piezas.

Para la fabricación de Cubípodos, se considera el uso de 10 encofrados, se fabricarán 40 piezas cada día (4 Cubípodos por molde x 10 moldes). Teniendo así en cuenta que la fabricación de los 1296 Cubípodos conllevaría 33 días laborables.

Para el transporte y almacenamiento, los primeros días de trabajo se irán almacenando las piezas, ya que una vez comience a trabajar la grúa, colocará más piezas de las que se siguen fabricando.

- Cubípodos por viaje: 20
- Total, de viajes necesarios:  $1296 \text{ Cubípodos} / 20 \text{ Cubípodos por viaje} = 65 \text{ viajes}$

La construcción se llevará a cabo mediante barcazas que recogerán los Cubípodos de la zona de acopio y los trasladarán hasta la zona de actuación, donde la grúa con sistema GPS, apoyada sobre una plataforma tipo Jack-up, colocará las piezas en su posición correspondiente.

- Proceso de transporte: Las barcazas recogerán hasta 20 Cubípodos por viaje desde la zona de acopio en el Puerto de Gandía hasta las playas de Tavernes de la Valldigna. Cada viaje se estima que toma un día.
- Colocación precisa: La grúa con GPS asegurará la colocación exacta de los Cubípodos, mejorando la estabilidad y efectividad del dique.

### 2.3 GESTIÓN DE RESIDUOS, SEGURIDAD Y SALUD Y CONTROL AMBIENTAL

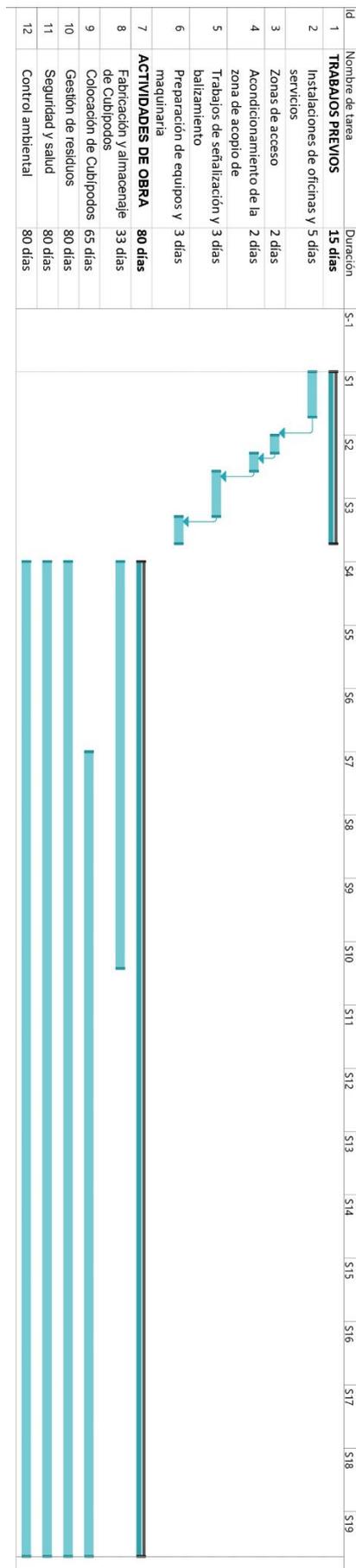
La gestión de residuos, la seguridad y salud, y el control del cumplimiento de las normativas ambientales son actividades cruciales en cualquier proyecto de construcción. Es esencial que se realicen continuamente durante toda la duración de las obras, desde los trabajos preliminares hasta la finalización y entrega del proyecto.



Cualquier tipo de obra genera residuos, por lo tanto, para reducir su impacto ambiental, se clasificarán estos residuos para agilizar y facilitar el transporte, vertido y reciclado. Los residuos serán transportados a la planta de reciclado más cercana a la obra.

## 2.4 DIAGRAMA DE GANTT

A continuación, se presenta el diagrama de Gantt en el que se muestra el programa de trabajos a realizar en el proyecto de construcción de los diques, como puede observarse, la duración total es de 95 días.





## ANEJO N°10

# PRESUPUESTO



## **ÍNDICE**

<b>1. VALORACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>274</b>
1.1 TRABAJOS PREVIOS .....	274
1.2 FABRICACIÓN Y ACOPIO DE CUBÍPODOS .....	274
1.3 TRANSPORTE Y CONSTRUCCIÓN DE DIQUES .....	274
1.4 GESTION DE RESIDUOS.....	274
1.5 SEGURIDAD Y SALUD.....	275
1.6 CONTROL AMBIENTAL .....	275



## **1. VALORACIÓN ECONÓMICA**

En el presente apartado se va a llevar a cabo la valoración económica de la actuación propuesta considerando las mediciones y precios unitarios de las principales actividades definidas.

### **1.1 TRABAJOS PREVIOS**

Corresponde a las actividades relativas a la preparación y acondicionamiento de la zona de fabricación y acopio de Cubípodos, así como los servicios necesarios para el personal, señalización y preparación de equipos. Esto incluye la limpieza y nivelación del terreno, la instalación de vallado y señalización de seguridad, la construcción de infraestructuras temporales como oficinas y almacenes, y la organización de puntos de acceso y circulación para maquinaria pesada.

### **1.2 FABRICACIÓN Y ACOPIO DE CUBÍPODOS**

Corresponde a las actividades relacionadas con la fabricación, manipulación y acopio de los Cubípodos, incluyendo la preparación de encofrados, vertido de hormigón, desencofrado y transporte de las piezas hasta su acopio en parque. Utilizando 10 encofrados, la fabricación se realizará en turnos continuos de 24 horas, permitiendo la producción de 40 Cubípodos por día. Cada Cubípodo se almacenará de manera organizada en el parque de acopio, listo para su posterior transporte.

### **1.3 TRANSPORTE Y CONSTRUCCIÓN DE DIQUES**

Corresponde a las actividades de transporte y colocación de Cubípodos en el lugar de emplazamiento final, incluyendo la manipulación desde el parque de almacenamiento hasta barcaza, transporte hasta emplazamiento y colocación por medios mecánicos dotados de sistema de posicionamiento GPS.

### **1.4 GESTION DE RESIDUOS**

Corresponde a las actividades relacionadas con la gestión de los residuos generados en el parque de fabricación y almacenamiento, así como los que puedan derivarse de la puesta en obra de las piezas. Se dispondrán contenedores específicos para cada tipo de residuo, se implementará un plan de recolección y transporte a vertederos

autorizados y se promoverá el reciclaje de materiales cuando sea posible. La gestión de residuos se hará conforme a las normativas locales y se registrará adecuadamente.

## 1.5 SEGURIDAD Y SALUD

Corresponde a las actividades relacionadas con la prevención de riesgos laborales y la seguridad y salud de los trabajadores. Esto incluye la provisión de Equipos de Protección Personal (EPP) adecuados, la formación y capacitación en prácticas seguras de trabajo, la instalación de señalización y sistemas de seguridad en el sitio, y la supervisión continua por parte de un coordinador de seguridad y salud. Se llevarán a cabo auditorías regulares para garantizar el cumplimiento de todas las normativas y la protección del personal.

## 1.6 CONTROL AMBIENTAL

Corresponde a las actividades relacionadas con el control del cumplimiento de las directivas en materia de protección del medio ambiente y la aplicación de medidas para mitigar los impactos cometidos. Esto incluye el monitoreo de la calidad del aire, agua y niveles de ruido, la implementación de barreras de control de polvo y sedimentos, la obtención de todos los permisos ambientales necesarios, y la realización de auditorías y reportes de cumplimiento. Además, se ofrecerán programas de formación ambiental para el personal y se asegurará que todas las actividades respeten las normativas ambientales vigentes.

Por lo tanto, la valoración económica final quedaría de la siguiente manera:

CAPÍTULO 01.- TRABAJOS PREVIOS					
CÓDIGO	Ud.	Descripción	€/Ud.	Uds.	Total
TP001	-	Preparación de la zona de acopio de Cubípodos			10.000 €
TP002	-	Caseta de obra			15.000 €
TP003	-	Señalización y balizamiento			5.000 €
TOTAL CAPITULO					30.000 €

CAPÍTULO 02.- FABRICACIÓN Y ALMACENAJE DE CUBÍPODOS					
CÓDIGO	Ud.	Descripción	€/Ud.	Uds.	Total
FA001	m3	Hormigón	145,31	5209,50	757.008,72 €
FA002	m3	Encofrado	22,17	5209,50	115.475,91 €
FA003	m3	Maquinaria	22,17	5209,50	115.475,91 €
TOTAL CAPITULO					987.960,54 €



CAPÍTULO 03.- CONSTRUCCION DEL DIQUE					
CÓDIGO	Ud.	Descripción	€/Ud.	Uds.	Total
C001	m3	Transporte	27,09	5209,50	141.137,22 €
C002	m3	Colocación	29,56	5209,50	153.967,88 €
TOTAL CAPITULO					295.105,10 €

CAPÍTULO 04.- GESTION DE RESIDUOS					
CÓDIGO	Ud.	Descripción	€/Ud.	Uds.	Total
GR001	-	Alquiler de contenedores	2000	1	2.000 €
GR002	-	Recolección y transporte de residuos	3000	1	3.000 €
GR003	-	Disposición en vertederos autorizados	4000	1	4.000 €
GR004	-	Reciclaje de materiales	1000	1	1.000 €
TOTAL CAPITULO					10.000 €

CAPÍTULO 05.- SEGURIDAD Y SALUD					
CÓDIGO	Ud.	Descripción	€/Ud.	Uds.	Total
SS001	-	Equipos de protección personal (EPP)	5000	1	5.000,00 €
SS002	-	Formación y capacitación	3000	1	3.000,00 €
SS003	-	Señalización y seguridad en el sitio	7000	1	7.000,00 €
SS004	-	Supervisión y auditorías	10000	1	10.000,00 €
TOTAL CAPITULO					25.000,00 €

CAPÍTULO 06.- CONTROL AMBIENTAL					
CÓDIGO	Ud.	Descripción	€/Ud.	Uds.	Total
CA001	-	Monitoreo ambiental y mitigación	5000	1	5.000,00 €
CA002	-	Gestión de permisos y concienciación	3000	1	3.000,00 €
TOTAL CAPITULO					8.000,00 €

El presupuesto de ejecución material y final será de UN MILLÓN NOVECIENTOS TREINTA Y NUEVE MIL CIENTO SETENTA Y TRES EUROS CON OCHENTA Y SEIS CÉNTIMOS.

	IMPORTE
CAPÍTULO 01.- TRABAJOS PREVIOS	30.000 €
CAPÍTULO 02.- FABRICACIÓN Y ALMACENAJE DE CUBÍPODOS	987.960,54 €
CAPÍTULO 03.- CONSTRUCCION DEL DIQUE	295.105,10 €
CAPÍTULO 04.- GESTION DE RESIDUOS	10.000 €
CAPÍTULO 05.- SEGURIDAD Y SALUD	25.000,00 €
CAPÍTULO 06.- CONTROL AMBIENTAL	8.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>1.356.066 €</b>
16% GASTOS GENERALES	216.970,50 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	81.363,94 €
21% IVA	284.773,78 €
<b>PRESUPUESTO FINAL</b>	<b>1.939.173,86 €</b>



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



**Acadar ingeniería y consultoría (2023).** *Proyecto de regeneración de las playas del broquil sur y la goleta, T.M. de Cullera y Tavernes de la Valldigna (46-0347).*

**Alguacil, F. (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. Universitat Politècnica de València.* <https://riunet.upv.es/handle/10251/158768>

**Argente Garrido, G. (2019).** *Estudio de Estabilidad Hidráulica de Diques en Talud Rebasables Protegidos con mantos de escollera, cubos y Cubípodos. Tesis Doctoral. València: Universitat Politècnica de València* <https://riunet.upv.es/handle/10251/134362>

**BAR Engineering. (n.d.).** *Estudio de viabilidad para el desarrollo urbanístico del Sector Tavernes. Informe técnico. Documento interno.*

**Brisa, C. et al. (2021).** *Estudio de la estabilidad hidráulica de diques exentos homogéneos de baja cota de Cubípodos. Aplicación a la protección de la Playa Bávaro en la República Dominicana. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.*

**Cabezas-Rabadán, Carlos (2019).** *Análisis y caracterización de cambios en playas valencianas mediante líneas de costa derivadas de Sentinel-2.* ResearchGate. [\(PDF\) Análisis y caracterización de cambios en playas valencianas mediante líneas de costa derivadas de Sentinel-2 \(researchgate.net\)](#)

**CEDEX (2015).** *Estrategia de actuación en la costa sur de Valencia (Puerto de Valencia- Puerto de Denia). Informe final para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.*

**Confederación Hidrográfica del Júcar. (2009).** *Análisis de los impactos de las actividades humanas en las masas de agua. Anexo I. Documento interno.*

**De Keyser, K. y Jacobs, E. (2020).** *A literature review on low-crested and submerged structures. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València.*

**Díaz Carrasco, P. (2019).** *Water-wave interaction with mound breakwaters: from the seabed to the armor layer (Doctoral thesis, Universidad de Granada). Universidad de Granada. ISBN: 978-84-1306-425-3. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/59068>*

**Elperiodic.com. (2020, 3 de septiembre).** *Tavernes estalla contra Costas por el grave deterioro de la playa de La Goleta. Recuperado de*



[https://www.elperiodic.com/tavernes\\_valldigna/tavernes-estalla-contra-costas-grave-deterioro-playa-goleta\\_698301](https://www.elperiodic.com/tavernes_valldigna/tavernes-estalla-contra-costas-grave-deterioro-playa-goleta_698301)

**Estado ambiental de las praderas marinas de la Comunitat Valenciana (S.f.). Visor cartográfico de la Generalitat.**

[https://visor.gva.es/visor/?capas=spaicv\\_mediomarinero\\_fanerogamas](https://visor.gva.es/visor/?capas=spaicv_mediomarinero_fanerogamas)

**FUNDICOT (2021).** *Cuadernos de ordenación del territorio.*

**Gómez Martín, M. E. (2015).** *Análisis de la evolución de averías en el manto principal de diques en talud formado por escolleras, cubos y Cubípodos.*

<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/59231>

**Gómez-Martín, M.E. y Medina, J.R. (2014)** “*Heterogeneous Packing and Hydraulic Stability of Cube and Cubipod Armor Units*”, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*, ASCE.

**GVA (2018).** *Plan de acción territorial infraestructura verde del litoral de la Comunitat Valenciana.*

<https://mediambient.gva.es/es/web/planificacion-territorial-e-infraestructura-verde/plan-de-accion-territorial-de-la-infraestructura-verde-del-litoral>

**Instituto Geológico y Minero de España, IGME (1973).** **Mapa Geológico. Ministerio de Ciencia e Innovación.**

<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.**

[http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/Geotecnico200/pdfs/Editado64\\_Geotecnico200.pdf](http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/Geotecnico200/pdfs/Editado64_Geotecnico200.pdf)

**IPCC (2023).** *Climate Change*

**Levante-EMV. (2023, 8 de febrero).** Las Corts abogan por medidas “dolorosas” para proteger la costa de Tavernes. Recuperado de <https://www.levante-emv.com/safor/2023/02/08/corts-abogan-medidas-dolorosas-protger-82648798.html>

**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 Máster - Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/173134>

**Mashadyan, G. (2022).** Estudio experimental de la estabilidad hidráulica de diques homogéneos de baja cota de Cubípodos. Aplicación a la protección costera de la playa San Luis en San Andrés. Trabajo Fin de Grado. Universitat Politècnica de València.

**Mazón García, J. M. (2022).** Estudio experimental de la transmisión en diques homogéneos de baja cota de cubípodos. Aplicación a la protección costera de la playa de Puerto Morelos, Quintana Roo, México. Trabajo Final de Grado. Universitat Politècnica de València.

**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.* <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.*

**Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (MITECO). (2007).** Ecocartografía de valencia. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccioncosta/ecocartografias/ecocartografia-valencia.aspx>

**Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (MITECO). (s. f.).** Líneas de deslinde para el Dominio Público Marítimo Terrestre. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/procedimientos-gestion-dominio-publico-maritimo-terrestre/linea-deslinde/default.aspx>

**Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (MITECO). (2007).** Ecocartografía de valencia - Morfología. <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccioncosta/ecocartografias/ecocartografia-valencia.asp>



**Navionics chartviewer (2024).**

[https://webapp.navionics.com/?lang=es#boating@6&key=%7Bi%60pFv\\_nA](https://webapp.navionics.com/?lang=es#boating@6&key=%7Bi%60pFv_nA)

**Odériz, I., Mendoza, E., Silva, R., & Medina, J. (2018).** *Stability and hydraulic performance of a homogeneous cubipod low-crested mound breakwater.*

**Palomo, A. G. (2022).** La playa de la costa de Tavernes de la Valldigna quiere ser catalogada como zona catastrófica. EcoAvant.

[https://www.ecoavant.com/sostenibilidad/playa-costa-tavernes-valldigna-quiere-ser-catalogada-como-zonacatastrofica\\_8548\\_102.html](https://www.ecoavant.com/sostenibilidad/playa-costa-tavernes-valldigna-quiere-ser-catalogada-como-zonacatastrofica_8548_102.html)

**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 Valencia. Ministerio de Fomento.*

**Puertos del Estado (2022).** *Datos históricos de oleaje: extremos máximos de oleaje por direcciones. Boya de Valencia. Ministerio de Fomento.*

**Puertos del Estado (S.f.).** *Predicción del oleaje, nivel del mar; boyas y mareógrafos*

**ResearchGate. (2022).** Figura 63: Procesos costeros que experimenta el oleaje al sentir el fondo. Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-63-Procesos-costeros-que-experimenta-el-oleaje-al-sentir-el-fondo-Adaptado-de\\_fig10\\_338372298](https://www.researchgate.net/figure/Figura-63-Procesos-costeros-que-experimenta-el-oleaje-al-sentir-el-fondo-Adaptado-de_fig10_338372298)

**Ripoll, E. (2024).** Comportamiento hidráulico de diques homogéneos de baja cota para la protección de playas en zonas coralinas.

**ROM 1.0-09. (2009).** ROM 1.0-09 *Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo. (Parte 1a: Bases y factores para el proyecto. Agentes climáticos). Puertos del Estado. Ministerio de Fomento, Gobierno de España.*

**Serra Peris, J. C. (s.f.).** Oceanografía, dinámica y procesos litorales. Volumen II. Dinámica y procesos litorales. Instituto de Transporte y Territorio, Laboratorio de Puertos y Costas.

**Serra Peris, J. C., & Esteban Chapapría, V. (2008).** Plan de gestión de la costa del Júcar-Gandía. Confederación Hidrográfica del Júcar.



**Serra Peris, J. C., & Esteban Chapapría, V. (2020).** Propuesta de arrecife barrera artificial en la regeneración y sostenibilidad de la playa de La Goleta (T.M. Tavernes de la Valldigna). Instituto de Transporte y Territorio, Universidad Politécnica de Valencia.

**Serra Peris, J. C., & Esteban Chapapría, V. (2021).** Vulnerability of Coastal Areas Due to Infrastructure: The Case of Valencia Port (Spain). *Land*, 10(1344). MDPI. <https://doi.org/10.3390/land10121344>

**Serra, J., Esteban, V., & González, J. (2004).** Gestión integral del frente costero entre la desembocadura del río Júcar y el puerto de Gandía. Laboratorio de Puertos y Costas, Universidad Politécnica de Valencia.

**Silva, R., Borthwick, A. G., and Taylor, R. E. (2005).** *Numerical implementation of the harmonic modified mild-slope equation.* *Coast. Eng.* 52, 391–407. doi:10.1016/j.coastaleng.2004.12.009

**Sosplatjatavernes.com. (2022).** Galería de fotos. Recuperado de <https://sosplatjatavernes.com/galeria-de-fotos/>

**Surfatlantico.com. (n.d.).** Las olas. Recuperado de <https://surfatlantico.weebly.com/las-olas.html>

**UPV (2010).** *Estrategia territorial del litoral de la Comunitat Valenciana.* <https://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0652472.pdf>

Visor GVA (S.f.). Evolución línea de costa.

**ValenciaPlaza. (2023).** Nuevos accesos y 823.226 m<sup>3</sup> de arena: así será el proyecto para regenerar La Goleta y el Brosquil Sur. Recuperado de <https://valenciaplaza.com/nuevos-accesos-823226-m3-arena-asi-sera-proyecto-regenerar-la-goletal-brosquil-sur>

**ValenciaPort (2020).** *Documento ambiental estratégico del plan director de infraestructuras del Puerto de Gandía.*

**Yepes, V (2018).** *Proceso Analítico Jerárquico (Analytc Hierarchy Process – AHP).* El blog de Víctor Yepes. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

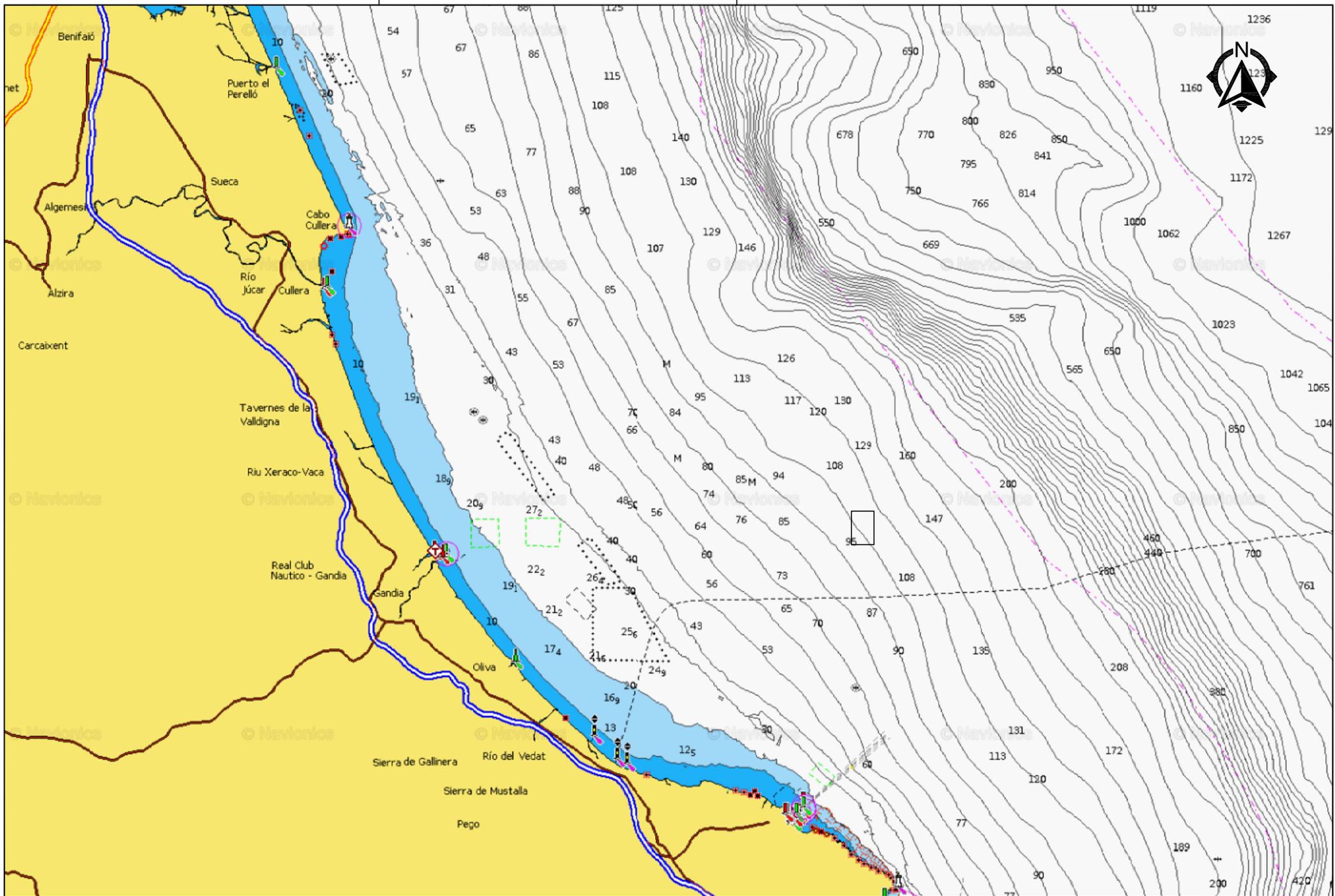




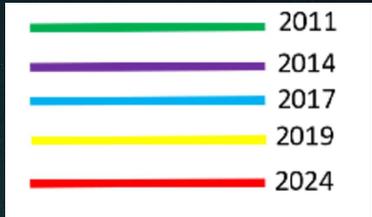
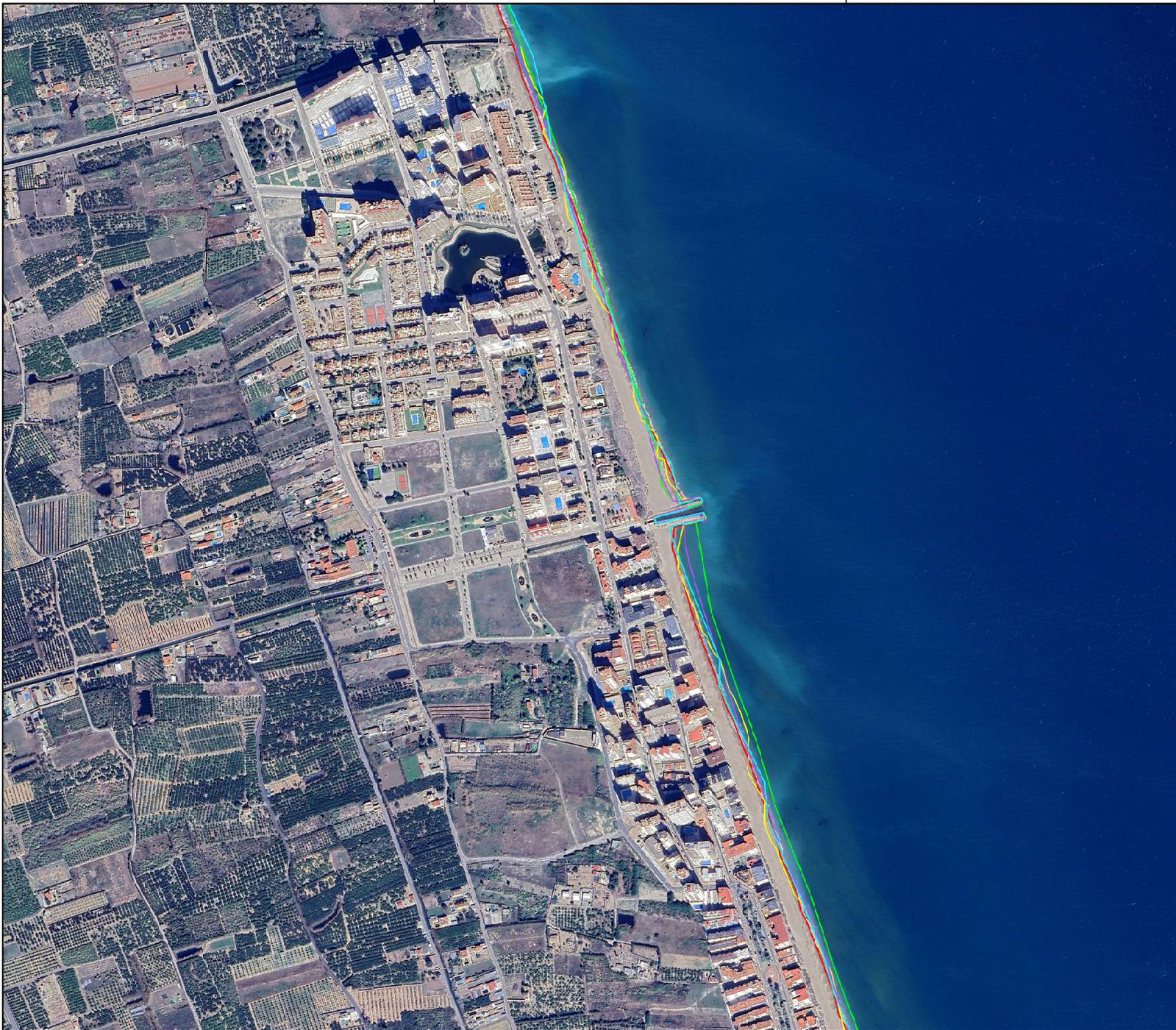
DOCUMENTO N°2

# PLANOS

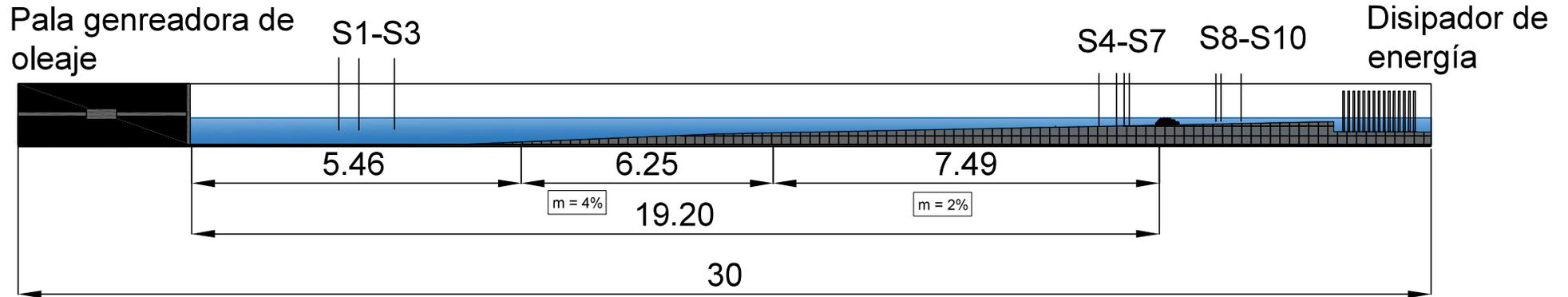




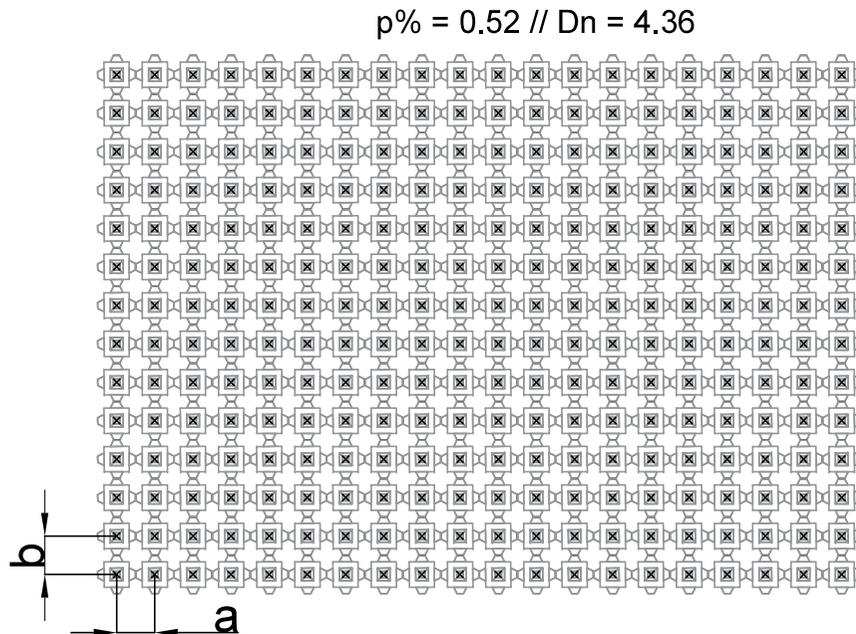




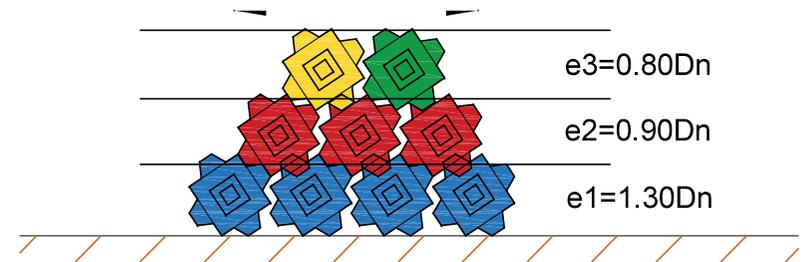
# Sección en alzado del canal de oleaje



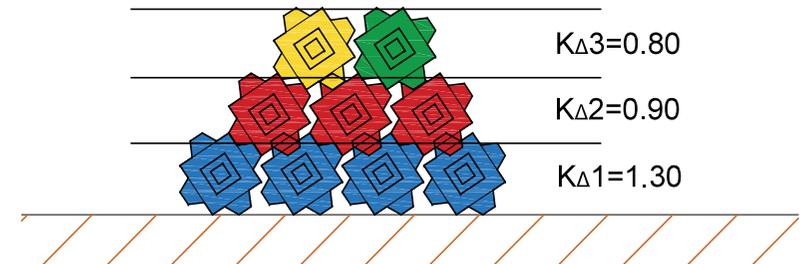
## Malla de colocación



## Espesores de capa



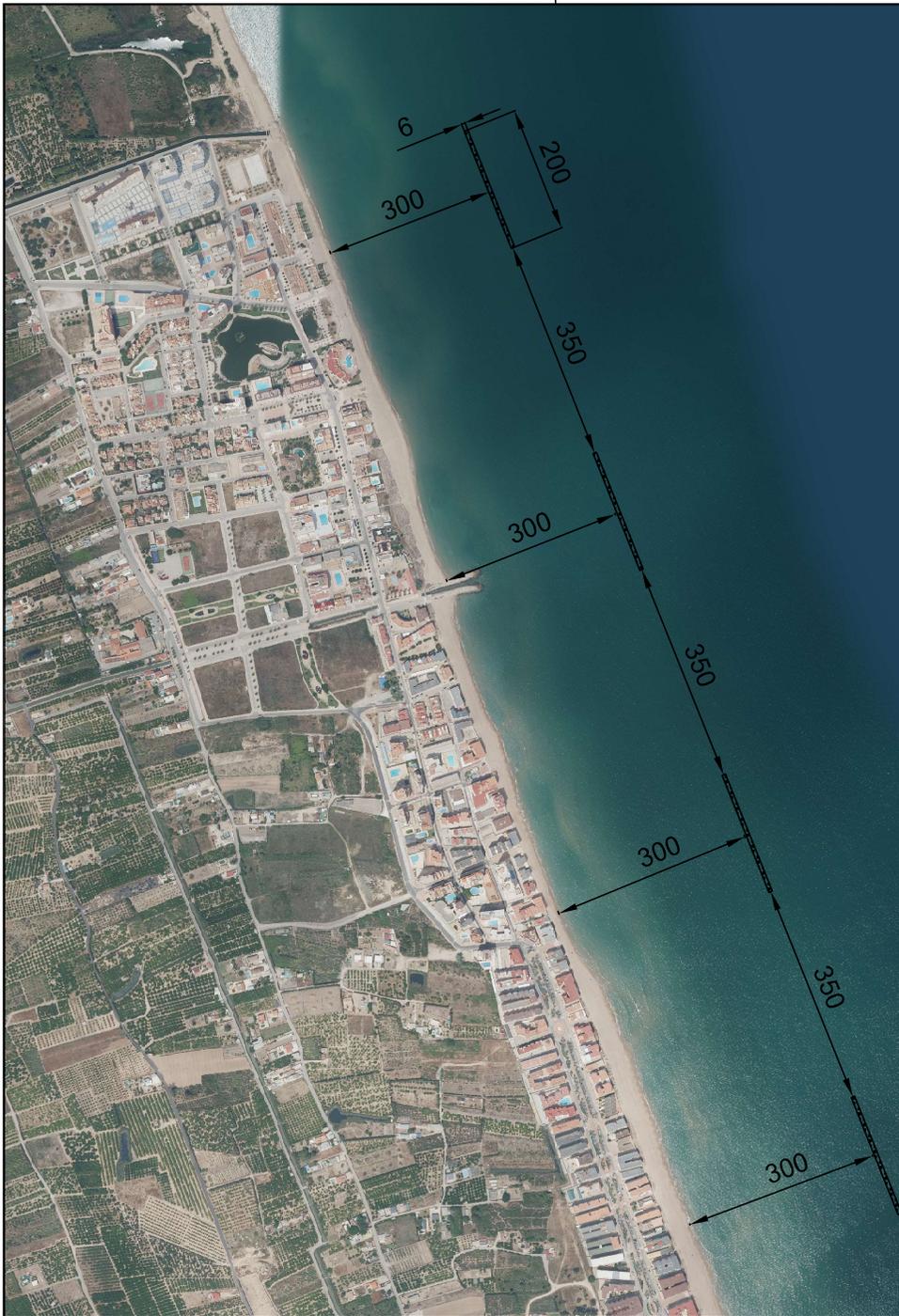
## Coeficientes de capa





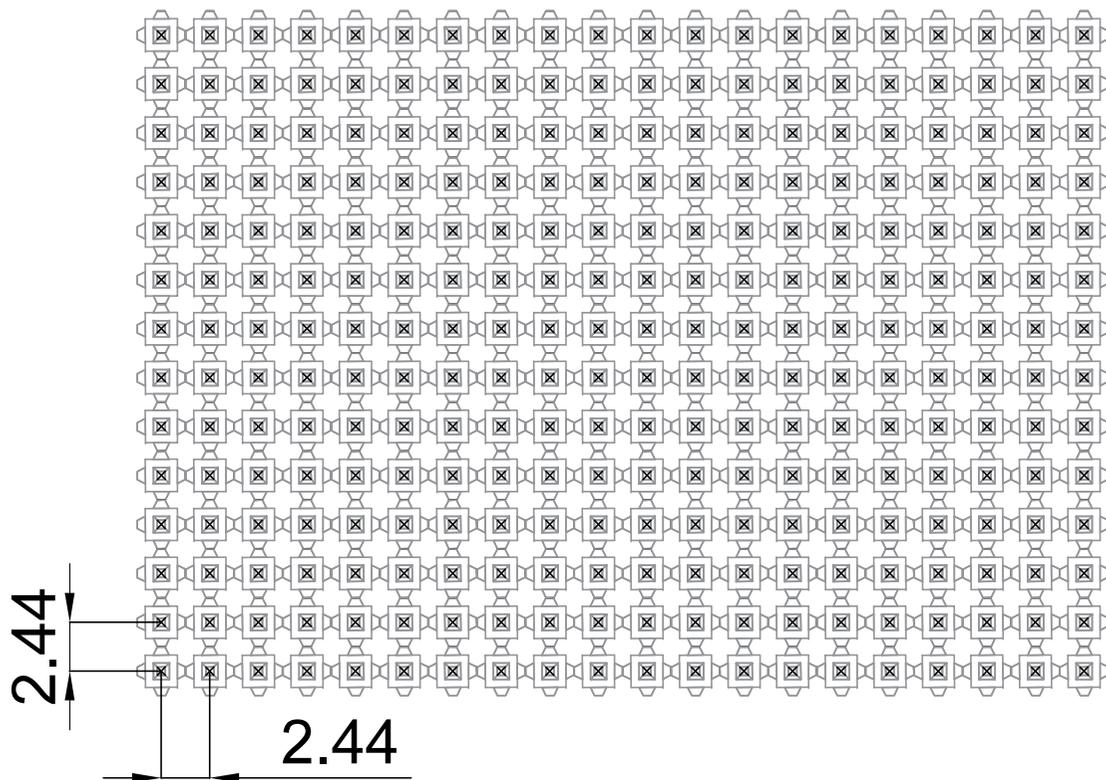




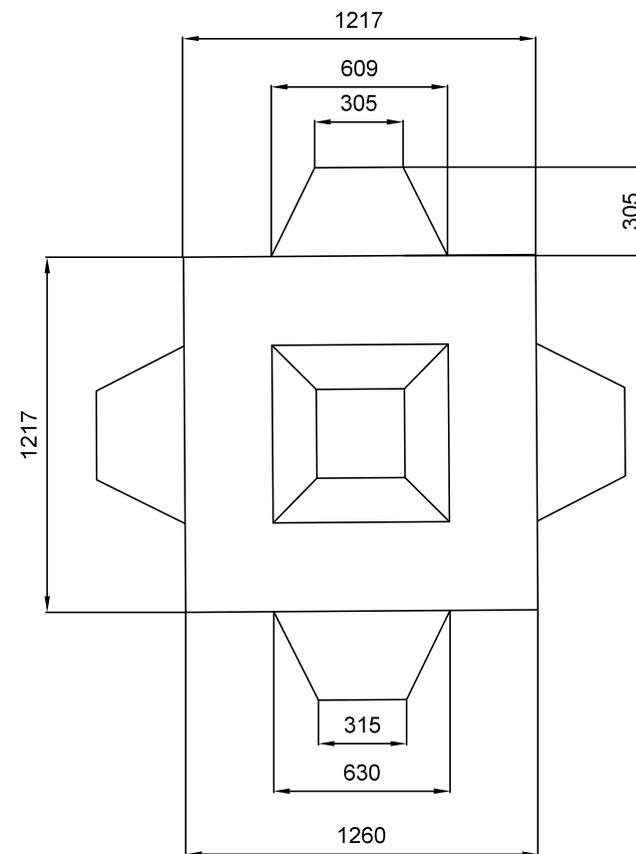


# Malla de colocación de la estructura

$p\% = 0.52$  //  $D_n = 4.36$

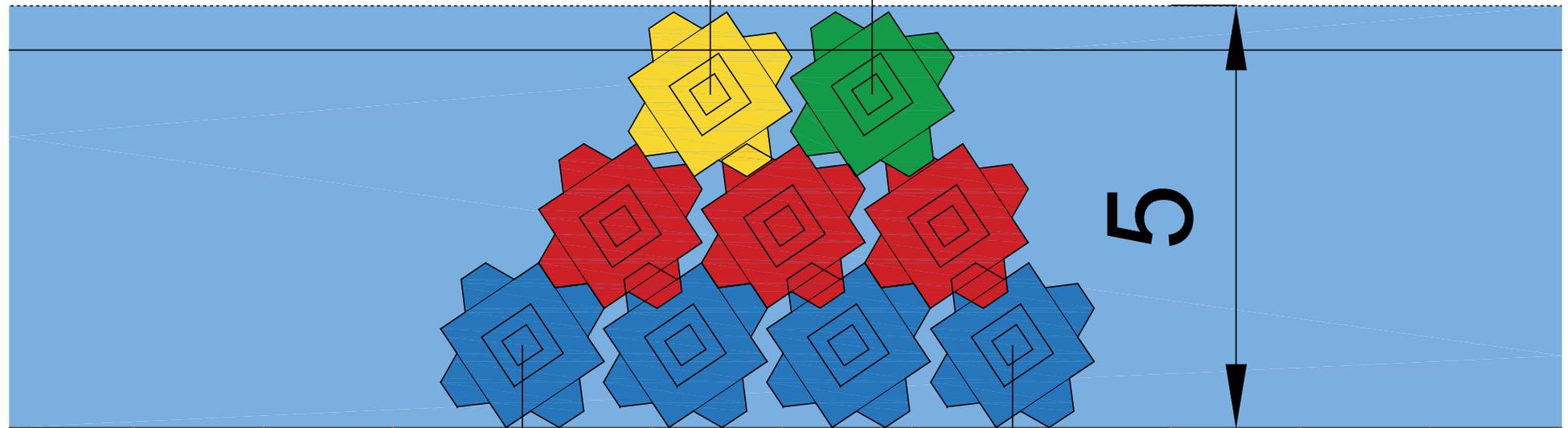


# Dimensiones del Cubípodo



En mm

2.44



5

9.76

