

*Anejo 08: Clima marítimo y dinámica
litoral*

HOJA DE FIRMAS

Proyecto con fecha y firma electrónica

CONDICIÓN DE FIRMANTE	NOMBRE Y APELLIDOS	FIRMA ELECTRÓNICA
Examinado y conforme El Ingeniero Jefe de la Demarcación de Costas	Daniel Caballero Quirantes	
La ingeniera de Caminos, Canales y Puertos Directora del proyecto	Encarnación Segura Torres	
El ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Autor del proyecto	Mario F. Arias Blanco	

Hoja de control de calidad

Documento	Anejo 08: Clima marítimo y dinámica litoral		
Proyecto	PROYECTO DE RETIRADA DE INSTALACIONES DE PUERTO MAYOR Y RECUPERACIÓN AMBIENTAL DEL ESPACIO OCUPADO POR LAS MISMAS, EN EL T.M. DE SAN JAVIER (MURCIA)		
Código	CP9370-PC-AN-HE-CLIM_MARITIM_DIN_LITORAL-080000-D01.docx		
Autores:	Firmado:	DGM	
	Fecha:	06/03/2023	
Verificado	Firmado:	FBA	
	Fecha:	06/03/2023	
Destinatario			
Notas			

Índice

1. OBJETO1

2. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA.....1

3. SOFTWARES EMPLEADOS1

4. RESUMEN EJECUTIVO1

 4.1. ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO.....1

 4.2. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL3

APÉNDICE 1. ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO Y DINÁMICA LITORAL.....5

Índice de Figuras

Figura 1. Rosas direccionales, función de densidad y de distribución de Hs. Profundidades indefinidas, Nodo SIMAR 20780942

Figura 2. Tabla de ocurrencia de altura de la significativa y direcciones del oleaje. Profundidades indefinidas, Nodo SIMAR 20780942

Figura 3. Puntos de control seleccionados 1-6 y A-C2

Figura 4.Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de difracción B.....3

Figura 5.Tabla de altura de ola significativa Hs asociada a distintos periodos de retorno.....3

Figura 6. Forma en planta de la alternativa 1., línea color cian, recreación sobre ortofoto actual.....3

Figura 7. Forma en planta de la alternativa 2., línea color cian, recreación sobre ortofoto actual.....4

Figura 8. Forma en planta de la alternativa 3., línea color cian y puntos de difracción, recreación sobre ortofoto actual4

1. OBJETO

El presente anejo tiene como finalidad la descripción de las variables metoceánicas en las proximidades e interior de las instalaciones de Puerto Mayor.

El análisis de la dinámica litoral permite conocer la forma en planta y perfil de equilibrio del frente costero para cada una de las alternativas de restauración del entorno, mostrando el funcionamiento morfodinámico de la costa y su influencia sobre las unidades fisiográficas adyacentes.

2. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

Para la elaboración de los estudios abordados en el presente anejo se ha empleado la siguiente documentación.

Información previa

- Evolución histórica de la costa considerando los registros del visor geomap.com de España y fotografías satelitales de Google Earth.
- Datos de oleaje del nodo SIMAR 2078094 con datos horarios de altura de ola significativa, periodo pico y dirección del oleaje desde el 4 de enero de 1958 al 30 de septiembre de 2022.
- Datos de nivel de mare. Base de datos del nivel del mar del mareógrafo de Carboneras con datos horarios desde el 17 de julio del año 2013 hasta el 30 de septiembre del año 2022.
- Batimetría general. Ecocartografía de la Región de Murcia realizada por HIDTMA e IBERINSA en los años 2008 y 2009.
- Batimetría de detalle. Realizada por Oceansnell para la redacción de este proyecto.
- Campaña de caracterización de sedimentos, granulometría. Realizada dentro del alcance del presente proyecto.
- Estudio de alternativas de actuación en la Manga del Mar Menor, en el tramo de costra entre el puerto de San Pedro del Pinatar y el Cabo de Palos. Elaborado por el Instituto de Hidráulica de Cantabria en 2011.

Documentos relacionados del Proyecto.

- Estudio de alternativas (Anejo 3 del presente proyecto)
- Caracterización del fondo marino y caracterización de materiales (incluido en el anejo 2 del presente proyecto).

3. SOFTWARES EMPLEADOS

- SMC

El Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria), en colaboración con la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, desarrolló entre 1995 y 2002 el Sistema de Modelado Costero (SMC), que es un conjunto de metodologías y modelos numéricos que permiten estudiar los procesos costeros y

sus efectos en la costa debidos a eventos naturales o actuaciones humanas en la costa. Dentro de este proyecto, se desarrollaron un conjunto de documentos técnico-científicos que recogían todas las metodologías de diseño y evaluación de procesos costeros implementados en el SMC.

- IHAMEVA

Conjunto de funciones desarrolladas en MATLAB que integra varios métodos de análisis estadístico para el estudio y caracterización de variables medioambientales. Desarrollado por el IHCantabria.

- HIPERCUBO MAXDISS

Es una herramienta complementaria que permite en diferentes pasos la reconstrucción del clima marítimo en un punto cerca de la costa a partir de una base de datos en aguas indefinidas y el modelo de propagación MOPLA.

- AutoCAD Civil 3D

Software de diseño de ingeniería civil principalmente relacionada con el movimiento de tierras, topografías, batimetrías, etc. Es un producto de Autodesk por lo que comparte herramientas con AutoCAD 2D y 3D.

4. RESUMEN EJECUTIVO

El estudio de clima marítimo y de dinámica litoral del presente proyecto ha sido elaborado por la consultoría PHAROS Ports & Coastal Engineering con la supervisión y coordinación de TYP SA.

A continuación se muestran los resultados principales de ambos estudios, para más información ver APÉNDICE 1 del presente anejo.

4.1. ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO

La caracterización del clima marítimo se ha realizado contando con los datos de oleaje (altura de ola, periodo y dirección) y nivel del mar indicados anteriormente.

Se dispone de 64 años de datos de oleaje, lo cual ha permitido la caracterización tanto en régimen medio como extremal en profundidades indefinidas. Presenta valores de altura significativa inferiores a 2 metros en todo el rango de periodos y valores máximos de 5 metros con periodos de 10 segundos, se detecta algún caso excepcional de 7 metros con 12 segundos. Se observa que las mayores alturas de ola significativa corresponden a la dirección de los SSO, seguidas del rango de direcciones NE-E.

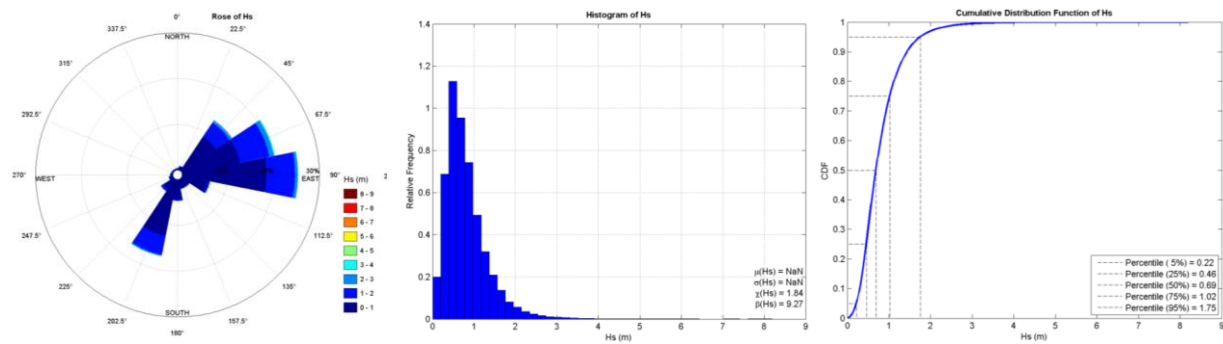


Figura 1. Rosas direccionales, función de densidad y de distribución de Hs. Profundidades indefinidas, Nodo SIMAR 2078094

	H _s min	H _s máx	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	Total
H _{s1}	0	1	9,13	12,97	18,54	5,78	2,04	2,03	4,33	12,60	2.76	73.59
H _{s2}	1	2	3,67	6,58	6,25	0,49	0,13	0,15	0,38	4,26	0.59	23.37
H _{s3}	2	3	0,47	1,00	0,61	0,01	0,01	0,00	0,01	0,27	0.05	2.52
H _{s4}	3	4	0,10	0,22	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0.01	0.44
H _{s5}	4	5	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.07
H _{s6}	5	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.01
Total			13.39	20.81	25.50	6.28	2.18	2.19	4.72	17.16	3.41	100

Figura 2. Tabla de ocurrencia de altura de la significativa y direcciones del oleaje. Profundidades indefinidas, Nodo SIMAR 2078094

Se ha seleccionado 9 puntos de control para reconstruir el oleaje una vez propagado. Seis (6) puntos para conocer el clima en la zona de estudio y adicionalmente tres más (A-C) considerando los puntos de difracción de las playas para la configuración actual y en caso de retroceder el contradique.

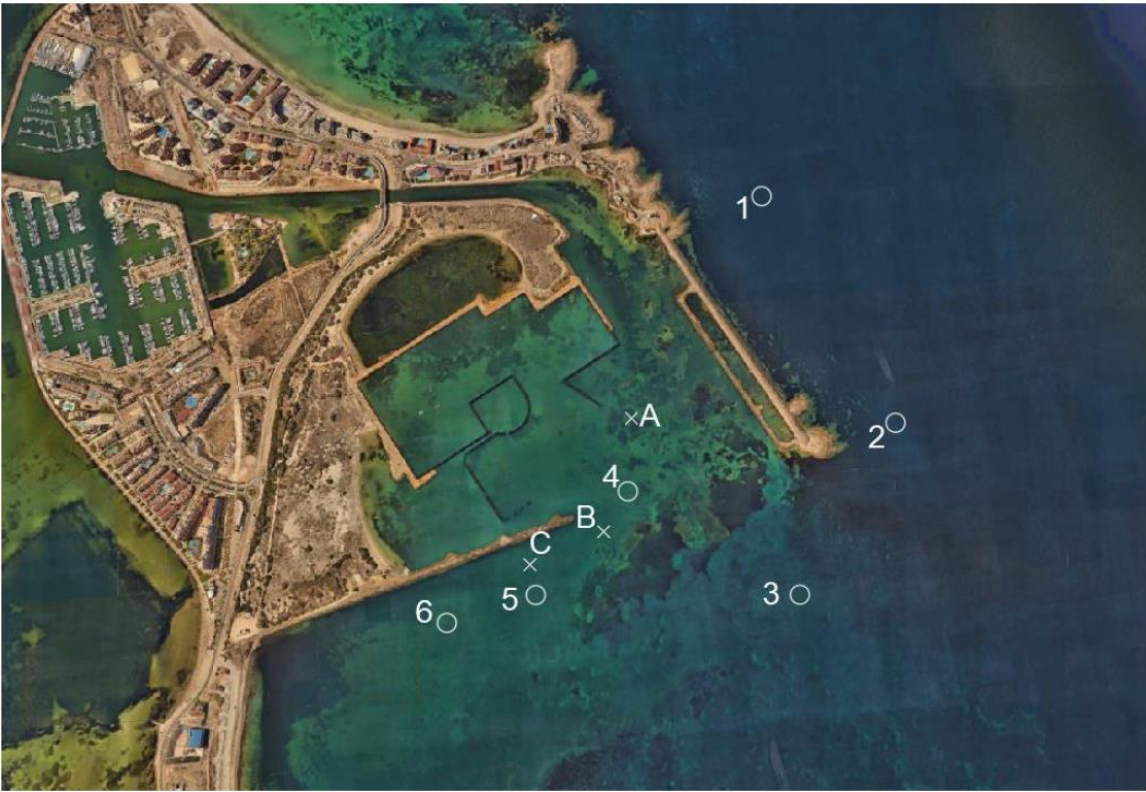


Figura 3. Puntos de control seleccionados 1-6 y A-C

Se estudia el régimen medio y extremal en cada punto, a continuación se muestra un ejemplo de los resultados del régimen medio en el punto B y las tablas del oleaje asociado al periodo de retorno.

Punto B			H _{s 1}	H _{s 2}	H _{s 3}	H _{s 4}	H _{s 5}	H _{s 6}	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
T _{p1}	1	2,3	0,01	0,09	0,03	0,14	0,00	0,00	0,27
T _{p2}	2,3	3,6	0,01	1,75	1,81	2,61	0,06	0,00	6,24
T _{p3}	3,6	4,9	0,00	2,65	10,17	10,78	0,57	0,00	24,18
T _{p4}	4,9	6,2	0,01	3,53	9,91	14,93	4,90	0,00	33,29
T _{p5}	6,2	7,5	0,01	4,43	5,49	6,94	4,24	0,00	21,10
T _{p6}	7,5	8,8	0,00	2,92	3,69	2,71	0,96	0,00	10,28
T _{p7}	8,8	10,1	0,00	0,77	1,84	0,83	0,26	0,00	3,70
T _{p8}	10,1	11,4	0,00	0,10	0,51	0,15	0,05	0,00	0,81
T _{p9}	11,4	12,7	0,00	0,01	0,09	0,02	0,00	0,00	0,12
T _{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			0,04	16,26	33,55	39,09	11,05	0,01	100,00

Figura 4. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de difracción B

Punto de control / Tr (años)	1	5	25	50	150	250
1	2,02	2,48	2,64	2,7	2,78	2,82
2	2,11	2,65	2,82	2,88	2,96	2,99
3	1,66	2,08	2,18	2,21	2,25	2,26
4	0,99	1,05	1,07	1,08	1,09	1,1
5	1,17	1,83	1,87	1,88	1,89	1,89
6	1,14	2	2,05	2,06	2,07	2,07

Figura 5. Tabla de altura de ola significativa Hs asociada a distintos periodos de retorno.

4.2. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL

Se analiza la dinámica litoral en cada una de las alternativas analizadas..

Las alternativas analizadas son las siguientes:

- Alternativa 0

No modificación de Puerto Mayor.

- Alternativa 1
Desmantelar/retirar las tablestacas del interior de Puerto Mayor, restaurar/reforzar la traza del espigón sur y retirar el relleno del recinto interior del dique de abrigo.
- Alternativa 2
Desmantelar/retirar las tablestacas del interior de Puerto Mayor, retranquear en 200 m el espigón sur restaurar/reforzar la traza que se mantiene y retirar el relleno del recinto interior del dique de abrigo..
- Alternativa 3
Desmantelar/retirar las tablestacas del interior de Puerto Mayor, desmantelar el espigón sur y desmantelar el dique de abrigo.

Tras la reconstrucción del oleaje en los distintos puntos de control y conocimiento del flujo medio de energía se obtiene las plantas de equilibrio de la costa para las distintas alternativas.



Figura 6. Forma en planta de la alternativa 1., línea color cian, recreación sobre ortofoto actual

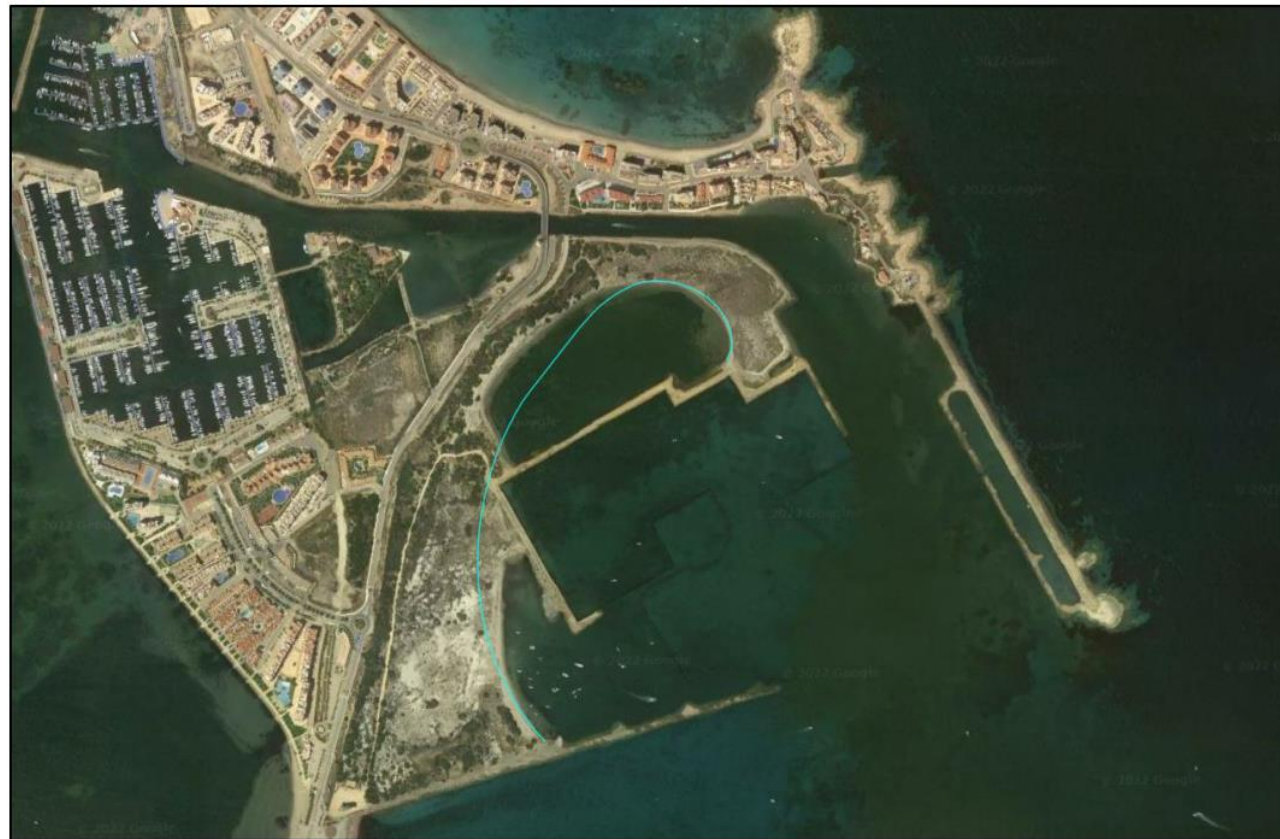


Figura 7. Forma en planta de la alternativa 2., línea color cian, recreación sobre ortofoto actual



Figura 8. Forma en planta de la alternativa 3., línea color cian y puntos de difracción, recreación sobre ortofoto actual

Como se observa en las imágenes anteriores, no se esperan modificaciones significativas en la playa norte de las alternativas 1 y 2, mientras que la playa oeste cambiará notablemente su línea de costa con la eliminación de las tablaestacas. Por otra parte, el retranqueo del contradique que se plantea para la alternativa 2, conduce a un ancho de playa seca más uniforme al llevar la zona de transición entre playas más al norte, lo cual servirá para evitar problemas de erosión en zonas con un ancho de playa reducido.

Finalmente, la alternativa 3 conllevará una línea de costa similar a la del año 1957, ya que se elimina el contradique y dique principal. Se trata de una línea de costa continua entre la zona sur previa al contradique y la desembocadura. Los rellenos efectuados en la zona se redistribuirán y a causa de esto, la línea de costa de esta playa exterior al sur del puerto avanzará en los primeros metros. En caso de eliminar el material de los rellenos, la playa encajaría con la actual ya que, como se puede ver en la forma en planta, esta es paralela a la actual. Cabe destacar que al desmantelar el espigón Sur y el dique de abrigo Norte, el Canal del Estacio puede verse afectado debido al transporte de sedimentos dirección Sur-Norte pudiendo afectar la navegabilidad del mismo.

El estudio completo se muestra en el Apéndice 1 del presente documento.

APÉNDICE 1. ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO Y DINÁMICA LITORAL

ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO, PROPAGACIÓN DEL OLEAJE Y DINÁMICA LITORAL. PLAYA DE PUERTO MAYOR, MURCIA

Fecha: NOVIEMBRE 2022

Ciente:



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS	1
1.2. DATOS UTILIZADOS	1
1.3. ESTRUCTURA DEL INFORME.....	1
2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	3
2.1. MORFOLOGÍA GLOBAL DE LA ZONA.....	3
2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS FONDOS MARINOS.....	5
2.2.1. Batimetría.....	5
2.2.2. Sedimentos.....	6
2.2.3. Naturaleza de los fondos marinos.....	7
2.3. MORFOLOGÍA ZONA DE ESTUDIO	8
2.4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA	8
2.5. RASGOS GENERALES DE LA UNIDAD FISIOGRAFICA.....	10
3. DINÁMICA MARINA EN EL EXTERIOR.....	12
3.1. MAREA.....	12
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS	13
3.2.1. Descripción de los datos.....	14
3.2.2. Análisis direccional	17
3.2.3. Análisis estacional	17
3.2.4. Régimen medio total.....	18
3.2.5. Régimen extremal total.....	19
3.2.6. Casos representativos	21
4. DINÁMICA MARINA EN LA ZONA DE ESTUDIO	24
4.1. PROPAGACIÓN DEL OLEAJE.....	24
4.2. RECONSTRUCCIÓN	26
4.3. CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA EN PUNTOS DE ESTUDIO	27
4.4. FLUJO DE ENERGÍA	32
5. DINÁMICA LITORAL	35
5.1. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS.....	35
5.2. LARGO PLAZO	37
5.2.1. Perfil de equilibrio	37
5.2.2. Forma en planta de equilibrio	39
5.3. CORTO PLAZO.....	43
5.3.1. Perfil	43
5.3.2. Planta.....	46
5.4. MODELO MORFODINÁMICO	47
6. DINÁMICA LITORAL DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERANDO LA AFECCIÓN POR CAMBIO CLIMÁTICO	52
7. ANEXO 1: Resultados de sistema de corrientes: Alternativa 1	58

8.

ANEXO 2: Resultados de sistema de corrientes: Alternativa 2

64

9.

ANEXO 3: Tablas de ocurrencia Hs-Tp en los puntos de control

70

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente estudio es analizar la posible modificación de la costa promovida por las diferentes alternativas planteadas para la rehabilitación de la playa de Puerto Mayor en la Manga.

Las alternativas planteadas son:

- Alternativa 1: retirar tablestacas y restaurar el espigón sur (contradique).
- Alternativa 2: retirar las tablestacas, retranquear 200 m el espigón sur y restaurar el tramo que se mantiene.
- Alternativa 3: Desmantelar el dique de abrigo y el espigón sur en su totalidad.

Para ello se realiza un estudio de la zona con el objeto de evaluar la situación actual y las situaciones futuras con las siguientes tareas:

- Analizar la morfología en la que se encuentra la zona de estudio en detalle, así como su evolución histórica.
- Estudiar de la dinámica marina global y en la zona de estudio.
- Analizar la dinámica litoral en las diferentes escalas de tiempo, corto y largo plazo, incluyendo la potencial influencia del cambio climático, para finalmente conocer el modelo morfodinámico de funcionamiento de la playa en las tres alternativas de estudio.

1.2. DATOS UTILIZADOS

Para los estudios y análisis expuestos en el presente documento se ha utilizado la siguiente información de partida:

- Batimetría general de la zona.
- Batimetría de detalle.
- Serie de oleaje de Puertos del estado, Punto SIMAR.
- Serie de datos del mareógrafo de Carboneras.
- Ortofotos de la zona de estudio.
- Fotografías históricas.
- Muestras de sedimentos de la zona de estudio.

1.3. ESTRUCTURA DEL INFORME

Para facilitar la redacción y la lectura del presente documento se ha organizado en capítulos y anejos del siguiente modo:

- Capítulo 1. Introducción, en la que se describe la finalidad del estudio y los objetivos establecidos.
- Capítulo 2. Descripción de la zona de estudio, en el que se describen los elementos morfológicos más relevantes de la zona de estudio.

- Capítulo 3. Dinámica marina en el exterior, donde se analizará el oleaje en profundidades indefinidas
- Capítulo 4: Dinámica marina en la zona de estudio, en la que se explicará el modo de propagación del oleaje, así como los flujos de energía en los puntos objetivo.
- Capítulo 5. Dinámica litoral de las dos alternativas presentadas, se analizan la planta y el perfil a corto y largo plazo, y de este modo se define el modelo morfodinámico del funcionamiento.
- Capítulo 6. Dinámica litoral de las alternativas, planta y perfil a muy largo plazo, considerando la afección por cambio climático.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El presente capítulo se destina a la descripción de la morfología del tramo de costa objeto de estudio desde su unidad fisiográfica hasta el detalle. Se pretende determinar los condicionantes del medio, las formas costeras que la dinámica y la influencia humana han ido formando a lo largo del tiempo, así como las fuentes que lo han ido alimentando. Por lo que también se realizará un estudio histórico de la línea de costa.

2.1. MORFOLOGÍA GLOBAL DE LA ZONA

El estudio se realiza en la costa mediterránea al sureste de España, en la localidad de La Manga del Mar Menor, perteneciente a los municipios de Cartagena en su parte sur y San Javier en su parte norte, siendo un centro turístico de gran importancia en la Región de Murcia. Aquí se encuentra el Puerto Mayor, con una estructura descuidada desde los años 70s-80s, resultado de una ampliación del puerto que nunca se llevó a cabo. Hoy se pretende recuperar este espacio.

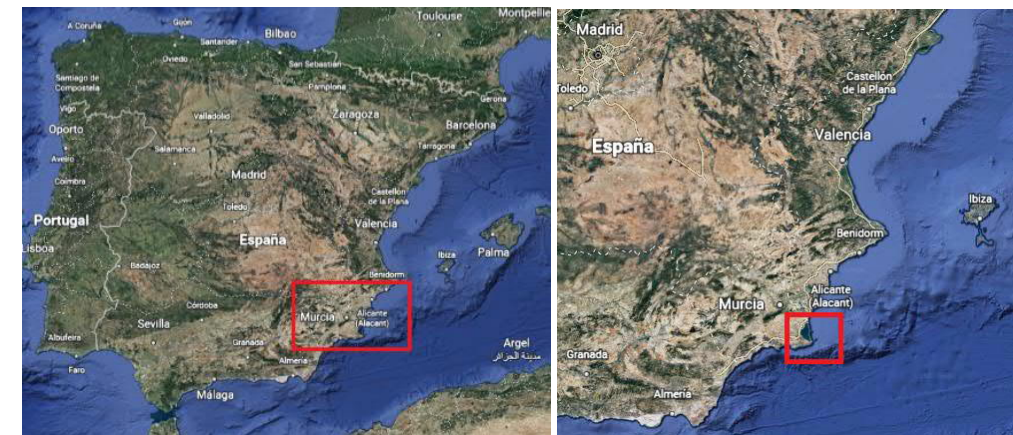


Ilustración 1: Situación en España

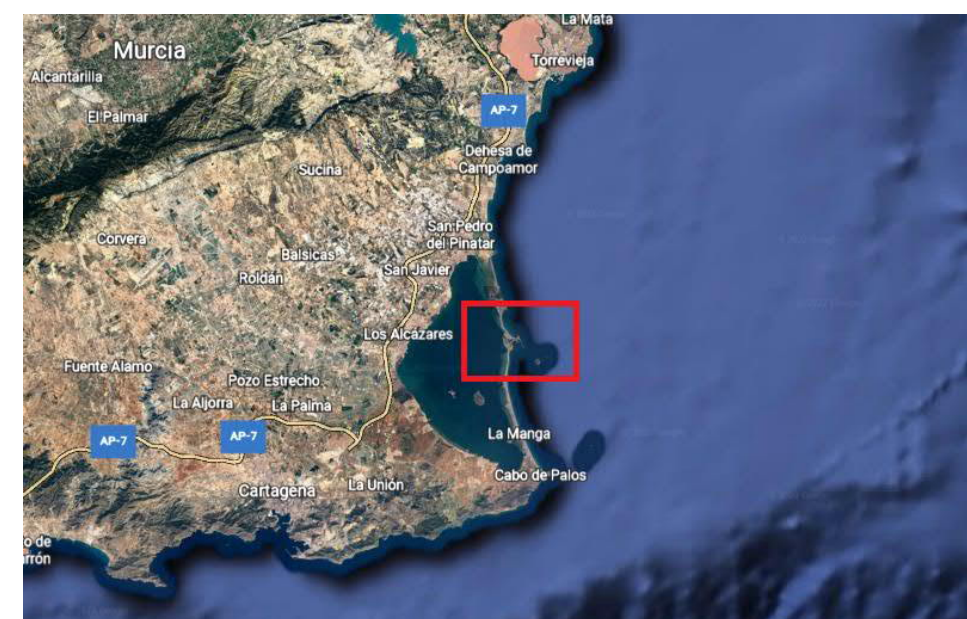


Ilustración 2: Situación en la Región de Murcia

La costa se puede dividir en unidades fisiográficas, por las que se entienden aquellos tramos de costa independientes del resto de la costa adyacente respecto a la dinámica litoral. Para que estas condiciones tan estrictas se cumplan debe haber una interrupción del transporte sólido litoral longitudinal como condición de borde para ambos extremos del tramo en cuestión.

En la zona de estudio se cuenta con las unidades del Mar Menor y el Mar Mayor (Mar Mediterráneo). Estas unidades específicas se encuentran comunicadas por 3 canales que intercambian aguas y sedimentos y se denominan golas. La gola del norte se denomina Golas de las Encañizadas, la del sur Gola de Marchamalo y La central, donde se realiza este estudio la Gola de El Estació.

Actualmente, el canal del Estacio divide dos de las unidades fisiográficas como se identifica en el informe "Estudio de Alternativas de actuación en la Manga del Mar Menor" de IH Cantabria y que se detalla en el apartado 2.5. del presente estudio.



Ilustración 3: A la izquierda las unidades fisiográficas y golas de la zona y a la derecha la Gola de El Estació donde se define la zona específica de actuación.

La fuerte urbanización en La Manga constituye una barrera al transporte eólico, lo que ha contribuido a la desaparición del sistema dunar de la Manga debido a la reducción del volumen de arena que alimentaba dicho sistema dunar, además de presentar un aumento de aguas residuales y de contaminantes en el Mar Menor y el Mar Mayor provocando un cambio en la biocenosis y un posible impacto en el balance sedimentario.

La Gola de El Estació está situada en el medio de la Manga. Es la vía de comunicación más larga con 1725 m, la más profunda con una media de 3.5 m, alcanzando hasta los 5 m y con anchura media de 60 m. Representa el mayor caudal de agua y sedimentos que entran en el Mar Menor

donde entra y sale diariamente 1,6 millones de m³ de agua con unas velocidades observadas de hasta 60 cm/s.

Aunque es de origen natural, desde los años 70 ha sufrido importantes cambios como el dragado para la construcción del puerto de Tomás Maestre, y abrir un canal navegable. Estas obras han provocado un descenso de la salinidad y una estabilización de las temperaturas. Estos cambios en la composición del agua provocan la aparición de nuevas especies y se ha detectado desaparición de la película oxidada de sedimento en el fondo por fangos negros.

Como se puede observar se trata de una la costa que está formada principalmente por playas, de uso turístico, pero también sirven como protección de una zona excesivamente urbanizada.

2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS FONDOS MARINOS

2.2.1. Batimetría

La configuración de la batimetría es fundamental para definir el oleaje que alcanza la costa. El litoral sumergido de la Región de Murcia presenta dos tramos muy diferenciados: de Cabo de Palos (sur de La Manga) hacia el sur y de Cabo de Palos hacia el norte. Nuestra zona de estudio se encuentra en las inmediaciones del segundo tramo, donde la plataforma es muy reducida, variando su anchura entre los 2,5 km que tiene frente de Cabo Tiñoso (a unos 70 km por la costa hacia el sur de La Manga) y los 11 km que tiene en las proximidades de Cabo de Palos. La pendiente media varía entre 0,18 y 0,19 % hasta Cabo Tiñoso, suavizándose a medida que se avanza hacia el límite con Almería. El talud continental comienza entre los 100 y 200 m de profundidad, es estrecho, de unos 10 km de anchura y con grandes irregularidades morfológicas, entre las que destacan varios cañones submarinos. El talud termina en la llanura abisal Argelo-Balear, extensa llanura de más de 2.600 m de profundidad.

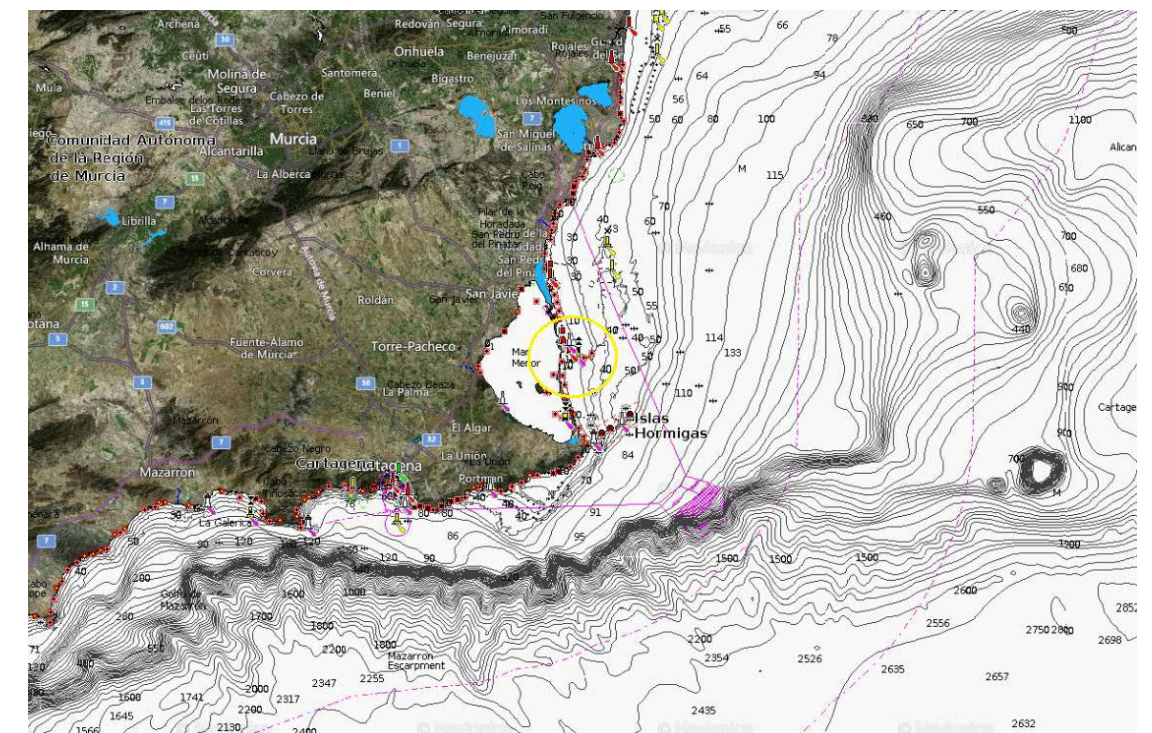


Ilustración 4: Batimetría general. Fuente: Navionics (<https://webapp.navionics.com/>)

Si nos acercamos a la zona de estudio como se muestra en la siguiente imagen, la batimetría frente a la costa, en el Mar Mayor, se presenta con las batimétricas relativamente separadas debido a la amplia plataforma continental de esta zona.

Al frente del Puerto Mayor las batimetrías varían desde los 4 metros en el interior del puerto hasta a los 8 metros a una distancia de 2 km de la bocana, donde nos encontramos con la Isla Grosa y el Islote el Farallón. En la bocana del puerto nos encontramos la presencia de un bajo que alcanza los 2 y 3 metros y que, probablemente afecte a la propagación del oleaje haciendo que se concentre en estas zonas.

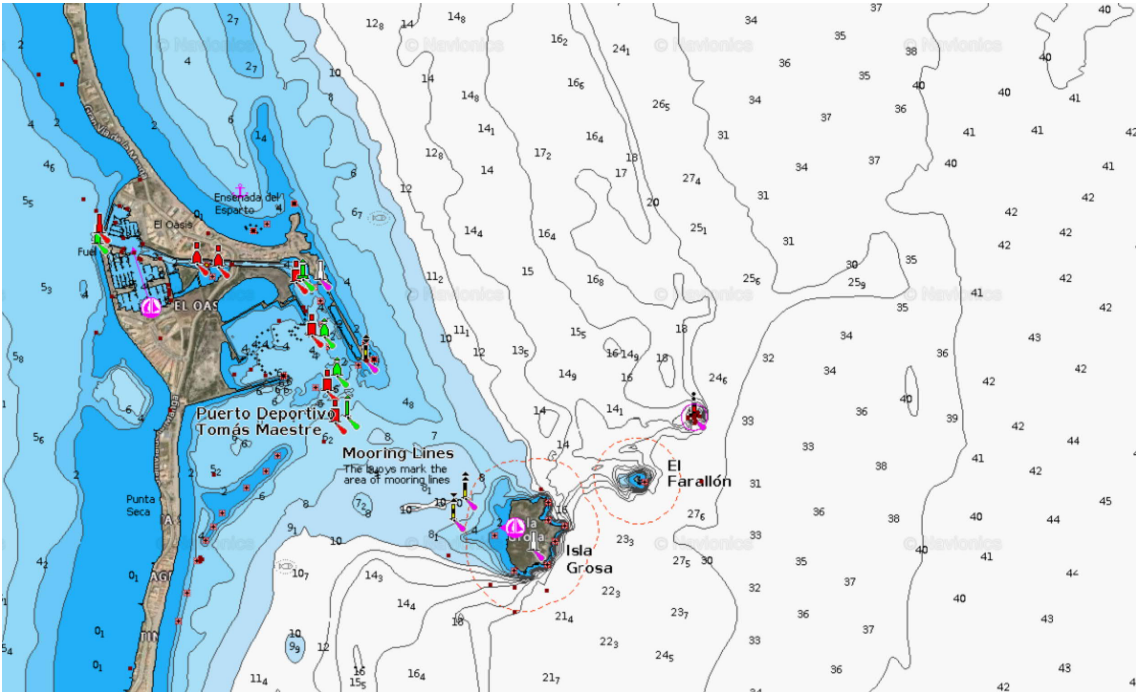


Ilustración 5: Batimetría de la zona de estudio. De azul se pinta las profundidades menores a 10m. Fuente: Navionics (<https://webapp.navionics.com/>)

2.2.2. Sedimentos

La caracterización de los sedimentos en la zona de estudio se obtienen todas las medidas necesarias con los datos del análisis granulométrico resumido en la imagen y tabla siguientes, donde se muestra el D_{50} promedio para cada perfil en cada una de las ubicaciones. Asimismo, se obtuvo el correspondiente a la zona sumergida. Este último es el utilizado en la definición de los perfiles ya que estos se establecen entre la berma y la profundidad de cierre, estando la mayor parte de este bajo agua.

Para la playa norte se utilizó el promedio de los D_{50} de los perfiles P3, P4 y P5 (0.21mm). Para la playa oeste se utilizó el perfil P2. En el caso de la tercera alternativa estudiada, se aplicó el promedio de los perfiles P2, P3, P4 y P5 para la playa norte y el P1 para la playa sur influenciada por el islote del morro del dique, como se verá en el apartado correspondiente.



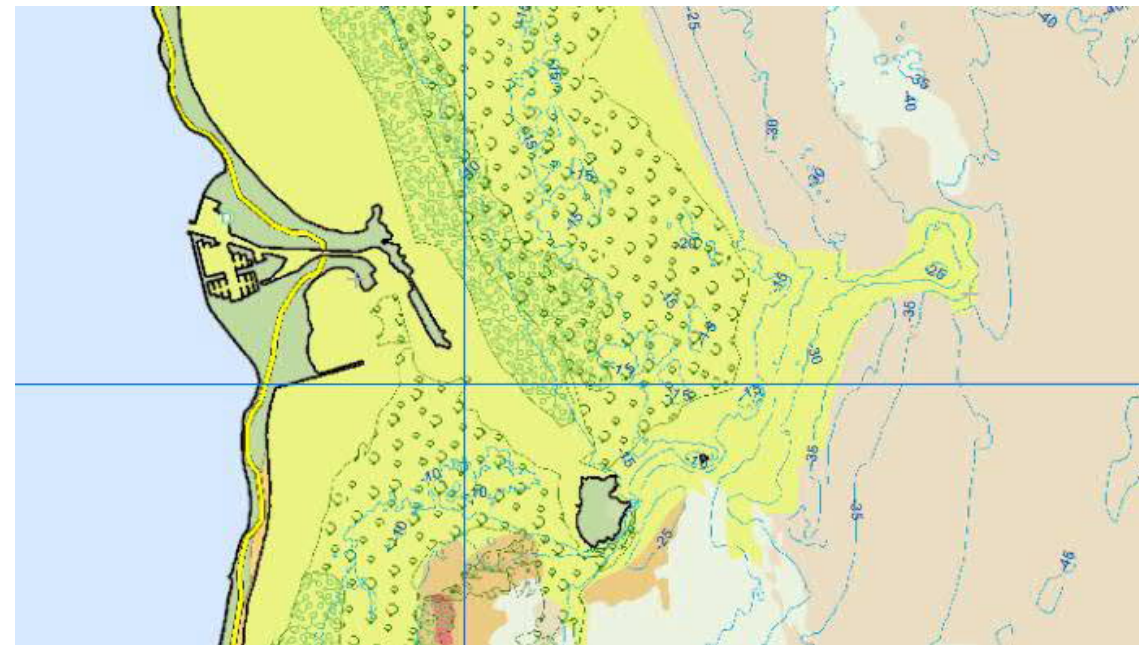
Ilustración 6: Ubicaciones de las muestras de sedimentos tomadas

Tabla 1. Valores de D_{50} promedio para los perfiles de estudio.

Diámetro nominal (mm)		
P1	D_n	0.23
	D_n sum	0.21
P2	D_n	0.19
	D_n sum	0.14
P3	D_n	0.23
	D_n sum	0.21
P4	D_n	0.22
	D_n sum	0.20
P5	D_n	0.28
	D_n sum	0.23

2.2.3. Naturaleza de los fondos marinos

La batimetría de la zona de estudio se encuentra definida por los sedimentos del fondo marino. Los oleajes incidentes pueden verse afectados dependiendo de estos sedimentos. En el mapa de fondos marinos, se puede apreciar como toda la zona de estudio, que es bastante regular y llana, incluido la zona de bajos, compone de arenas (de color amarillo en el mapa).



NATURALEZA DEL FONDO

Arenas finas	Arenas fangosas	Fango
Arenas medias	Arenas sin diferenciar	Gravas
Arenas gruesas	Fangos arenosos	Roca

Ilustración 7: Fondos marinos. Fuente Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

2.3. MORFOLOGÍA ZONA DE ESTUDIO

Este apartado se destina a la descripción más concreta de los elementos morfodinámicos que se encuentran en el área de estudio. En este caso en concreto la zona de estudio está encajada dentro del Puerto Mayor por lo que los demás elementos de la Gola no afectan las condiciones internas del puerto.

En 1975 el Consejo de Ministros otorgó una concesión para construir un puerto deportivo en la ribera mediterránea de la Manga del Mar Menor, las obras apenas empezaron. Este puerto de traspasó en 1982 a la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia donde se retomaron las obras. Sin embargo, dichas obras de Puerto Mayor nunca se terminaron y este proyecto de puerto nunca entró en funcionamiento.

No obstante, las instalaciones iniciales (diques, tablestacas, etc.) permanecen en el Dominio Público Marítimo-Terrestre alterando la dinámica litoral, el paisaje y la biodiversidad. En agosto de 2020 el Gobierno de la Región de Murcia declaró la caducidad de la concesión. Desde entonces se busca una restauración ambiental de la zona para la retirada de las instalaciones de Puerto Mayor y la restauración del Dominio Público Marítimo Terrestre en esta zona con el fin de devolverle sus características naturales y su uso público.

2.4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA

Las costas cambian a lo largo del tiempo debido tanto al cambio de las dinámicas actuantes como de actuaciones realizadas por el hombre. Estas últimas pueden generar barreras importantes y cambiar las dinámicas que mantenían el equilibrio. La zona de La Manga a más de

no ser una excepción es un ejemplo de las fuertes actuaciones antrópicas que existen en la costa mediterránea española:



Ilustración 8 Estado de urbanización de La Manga en la década de 1950 (izquierda) y 2010 (derecha)

Para conocer las variaciones en la zona de estudio, a falta de datos de línea de costa, se utilizan las fotografías históricas de la fototeca del visor geomap.com de España y fotografías de Google Earth.

En la Ilustración 9 se muestran los registros fotográficos de los años 1957 y 1997. Se ve como en los años 50 la zona del Gola de El Estació se encontraba prácticamente intacto, con la zona sureste natural conformada por una playa y rocas.

Para los años 90 se puede apreciar un gran cambio, encabezado principalmente por la construcción del Puerto Deportivo Tomás Maestre en el Mar Menor y los diques que encajan una playa en el Mar Mayor. En la zona de estudio, la playa se encaja dentro de dos diques que nacen desde la Punta del faro al norte y en al este de playa Mistral (localizada en el Mar Menor).



Ilustración 9: Fotografía de los años 1957 y 1997 Fuente: Olistat

En la siguiente fotografía, que data de entre los años 2004 y 2007, se nota como principal cambio en la zona son actuaciones de ampliación y mejoras en el Puerto Deportivo Tomás Maestre. Mientras en la zona de estudio se aprecian pequeñas estructuras como las tablestacas que se construyeron en los años 70 y 80 como parte de la ampliación al Puerto Mayor. Como se ha

mencionado anteriormente estas obras nunca culminaron por lo que la apariencia actual de la zona es la misma.

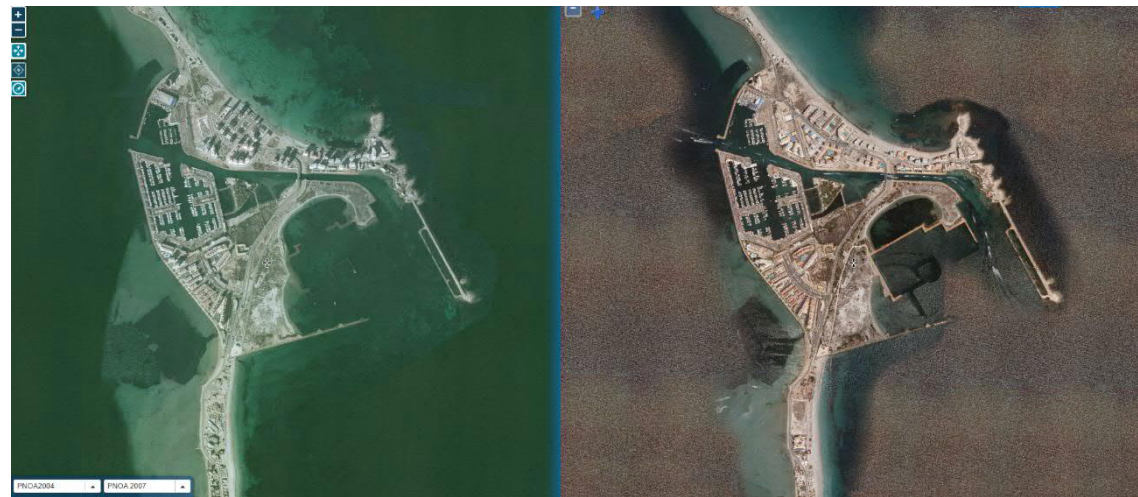


Ilustración 10: Fotografía de los años 2004 y 2007 Fuente: PNOA

2.5. RASGOS GENERALES DE LA UNIDAD FISIAGRÁFICA

Las unidades fisiográficas que componen el Mar Menor se pueden dividir en función de algunos elementos que rompen su uniformidad, estos son las construcciones y las golas. La zona de estudio es precisamente una de estas golas y concretamente la gola de El Estacio, situada en el medio de la Manga.

Como se expuso, esa gola tiene un origen natural, pero ha sufrido cambios importantes a causa de los dragados y construcciones para el Puerto de Tomás Maestre. Actualmente, el canal de El Estacio es la vía de comunicación más larga y profunda. Esta formación divide dos de las unidades fisiográficas como se identifica en el informe “Estudio de alternativas de actuación en la Manga del Mar Menor” de IH Cantabria. Se exponen a continuación las conclusiones de dicho estudio referentes a las dos unidades fisiográficas:

- La unidad norte es la unidad 2, denominada " El Pudrimel". Se compone de la playa encajada del Pudrimel entre las golas de Las Encañizadas y el Puerto del Estación. En ambos extremos se encuentran rocas que pueden influir en el comportamiento y equilibrio de la playa. Por otra parte, el tamaño de grano medio es de 0.30 mm en el medio de la playa. La forma del perfil muestra una playa menos afectada por problemas de erosión, de hecho, un agujero a 7 m de profundidad en el centro de la unidad denota la ausencia de transporte longitudinal.
- La unidad al sur de la gola de la Estacio es la considerada unidad 3 en el estudio macro, denominada unidad "El Estacio". Se extiende al sur hasta la Punta Calnegre. La zona sur hasta la playa Arsenal, se caracteriza por una zona rectilíneas mientras la línea de costa de la zona norte tiene una cierta concavidad. En cuanto a los perfiles, estos son muchos más abruptos que en la unidad del norte, ya que la roca se sitúa más cercana a la costa (5m de profundidad). El tamaño de sedimento es similar a la zona norte de la gola de estudio ($D_{50}=0.34\text{mm}$), acumulándose al sur el sedimento más fino ($D_{50}=0.24\text{mm}$).

El oleaje afecta de diferente modo a las dos unidades, en la zona norte es característica de una playa encajada mientras que en la unidad sur la Isla Grosa y las pequeñas islas vecinas afectan a la propagación del oleaje del NE hasta la mitad norte de la zona y al oleaje del E en la playa de El Estació.

El oleaje influye a su vez en el sistema de corrientes del siguiente modo. En la unidad fisiográfica norte, se genera una corriente del sur al centro de la playa para el oleaje del NE y una corriente del norte al centro para el oleaje del E, lo cual genera una zona de convergencia en el centro. Esta convergencia implica el centro de la playa es una zona de acumulación de sedimento. En cuanto a la zona sur, se detectó una corriente longitudinal que varía hacia el norte o el sur dependiendo de la dirección del oleaje. Cabe destacar que el transporte longitudinal parece débil debido a la ausencia de acumulación de sedimento en la frontera norte (puerto de El Estació) y al sur (Punta Calnegre).

Con relación a los cambios experimentados por la línea de costa, la unidad del norte presenta una estabilidad global de la zona central en los últimos 50 años y un retroceso de 30-40 metros en los laterales, fundamentalmente en las décadas de los 70s y 80s, que se describe como estable en la última década. En la unidad El Estació no se identificaron cambios particulares, las playas presentan equilibrio con variabilidad a corto plazo: erosión durante las tormentas y recuperación en los periodos de calma. Cabe destacar la ausencia de transporte longitudinal en esa unidad.

3. DINÁMICA MARINA EN EL EXTERIOR

Este capítulo está destinado al estudio de la dinámica marina. Se analiza, en primer lugar, la marea, continuando con el oleaje en profundidades indefinidas ya que será el que condicione el oleaje que llegue al litoral. Posteriormente se explica el método de propagación del oleaje hasta costa y finalmente los flujos de energía en los puntos de interés para la planificación de la playa antes y después de la ampliación del dique principal.

3.1. MAREA

En el estudio del nivel de marea en la zona de estudio se emplea la base de datos procedente de nivel del mar del mareógrafo de Carboneras con datos horarios desde el 17 julio del año 2013 hasta el 30 de septiembre del año 2022, cuya descripción se presenta a continuación:

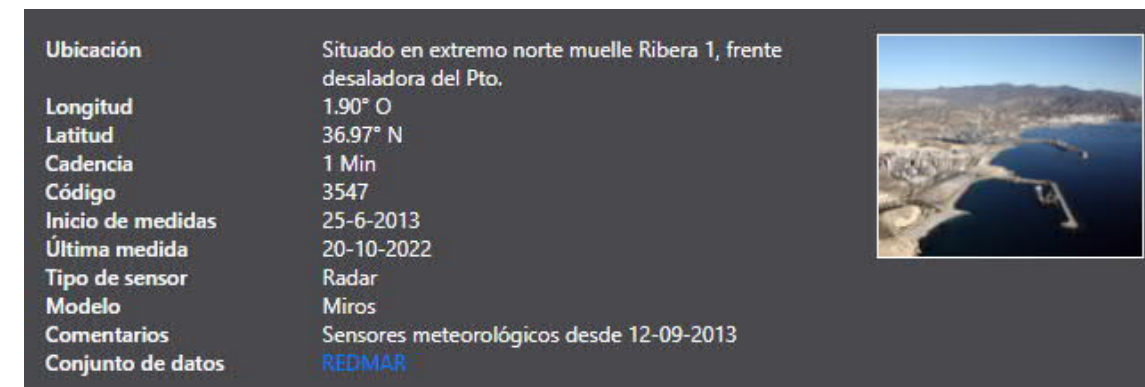


Ilustración 11: Descripción mareógrafo de la Carboneras

En esta base de datos es procesada con el modelo T-Tide para analizar y reconstruir la serie de marea en el intervalo de tiempo deseado. Se muestra a continuación la serie de marea astronómica y meteorológica diferenciada en el intervalo de tiempo de datos disponibles.

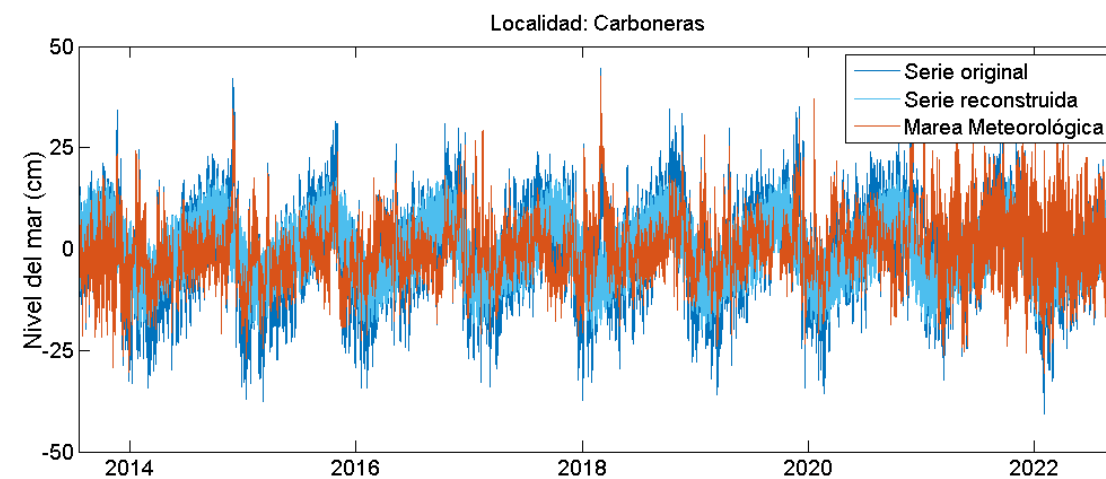


Ilustración 12: Serie horaria de datos de nivel de marea astronómica (serie original y reconstruida) y meteorológica

La serie de datos reconstruida abarca 64 años de datos horarios, entre 1958 y 2022. Se puede observar en la figura anterior la carrera de marea es de 0,24m.

Se muestra a continuación la función de densidad de la marea astronómica, en este se puede determinar la probabilidad de que se encuentre en cada uno de los niveles. Siendo la probabilidad del 50% el correspondiente al nivel medio 0.

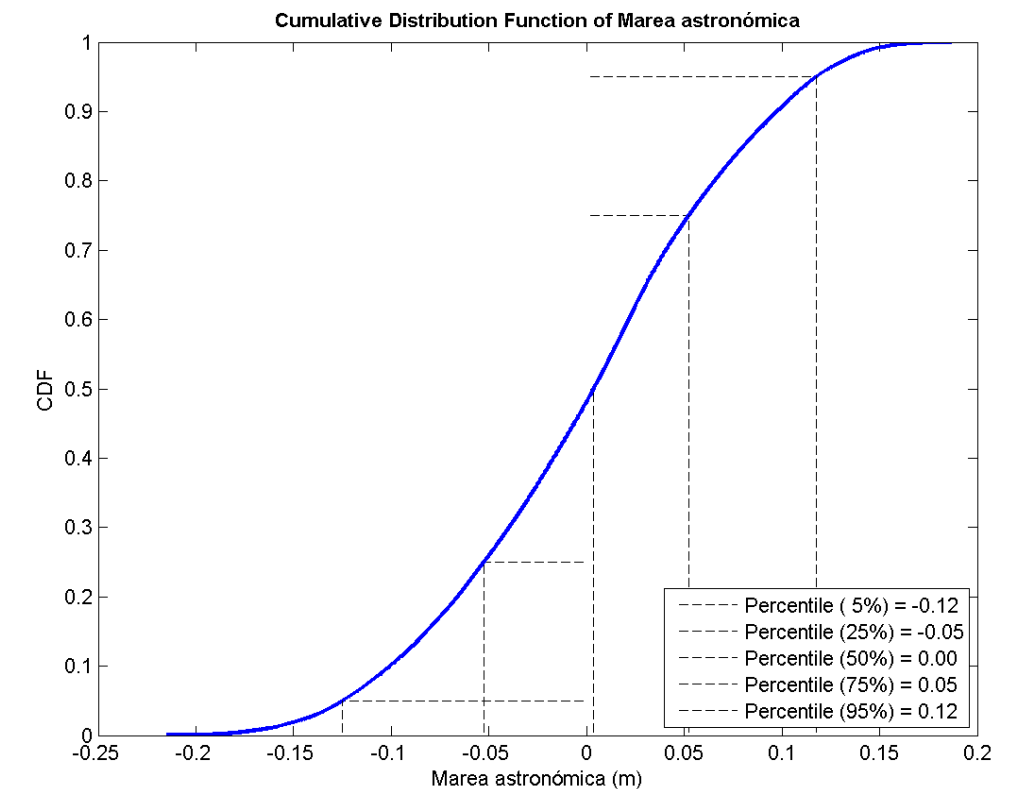


Ilustración 13: Función de distribución de la marea astronómica

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

Para caracterizar el clima marítimo en el emplazamiento del estudio se emplea la base de datos SIMAR de Puertos del Estado, en concreto el nodo 2078094, que se encuentra en las inmediaciones de la zona de estudio, cuya descripción se presenta en la siguiente ilustración:



Ilustración 14: Descripción Punto Simar 2078094

Los valores de partida que se emplearán del nodo SIMAR son los datos horarios de altura de ola significativa, periodo pico y dirección del oleaje desde el 4 de enero de 1958 al 30 de septiembre de 2022.

3.2.1. Descripción de los datos

En las gráficas siguientes observamos el comportamiento de la altura de ola significativa y el periodo pico a lo largo del tiempo. Se dispone de 64 años de datos y se puede observar que las alturas de ola significativa varían entre 0 y 5 metros, los periodos entre 1,8 y 12 segundos hasta el año 2005 aproximadamente, aumentando los máximos hasta 13,5 segundos a partir de este año.

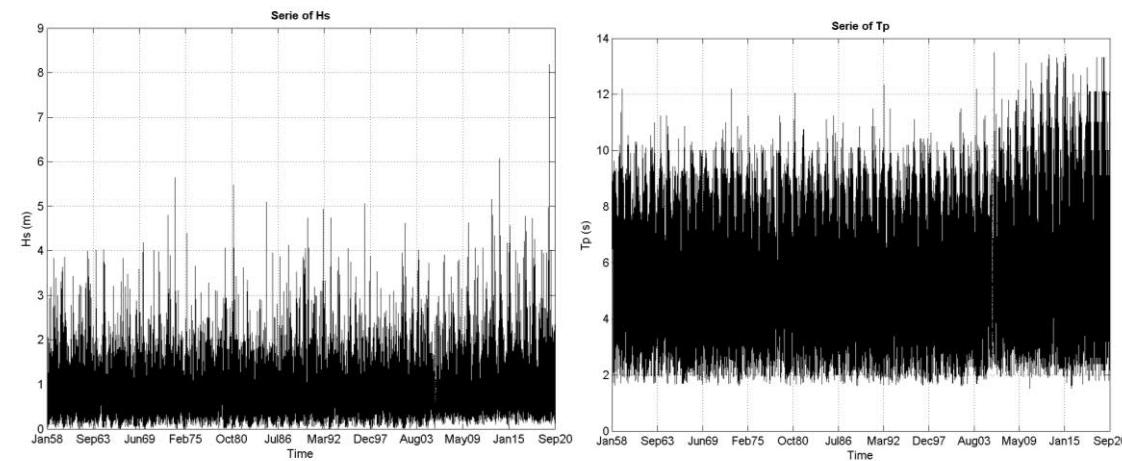


Ilustración 15: Series de H_s y T_p

Con el fin de comprender de una forma mejor los datos disponibles se muestran los gráficos de dispersión combinando las distintas variables. La primera figura representa la altura de ola significativa frente el periodo pico donde se observa una gran variedad de casos de alturas de ola inferiores a 2 metros en todo el rango de periodos y valores máximos de 5 metros con periodos de 10 segundos. Se detecta algún caso excepcional de 7 metros con 12 segundos.

En la segunda figura se representa la altura de ola significativa frente las direcciones de los oleajes discretizados en clases de 90° . Se observa que las mayores alturas de ola significativa corresponden a la dirección de los 209° , seguidas del rango de direcciones 45° - 77° , es decir, direcciones SSO y NE-E, en función de si el oleaje proviene de levante o del estrecho.

Este mismo comportamiento se observa en la tabla de periodos pico frente direcciones con una mayor dispersión, ya que los periodos mayores indican oleajes más desarrollados y por lo tanto más energéticos.

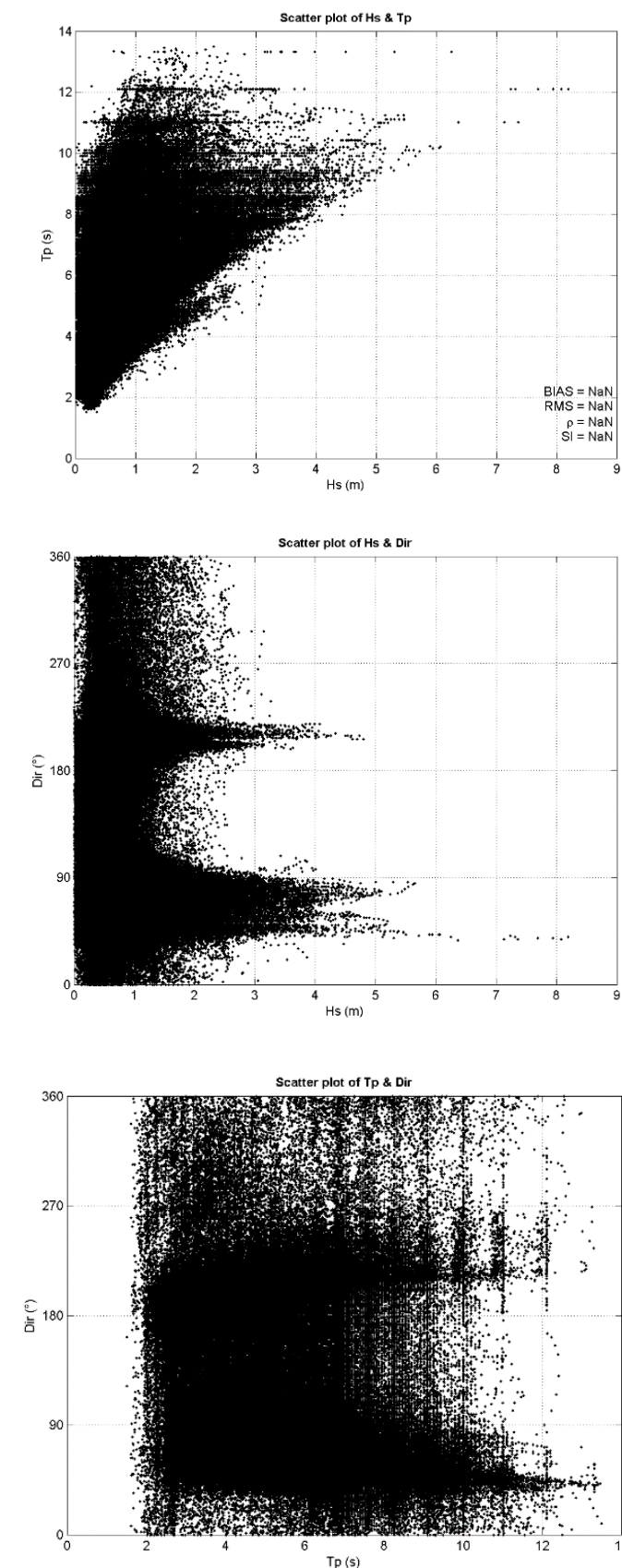


Ilustración 16: Scatterplot conjunto de H_s - T_p , H_s -Dir y T_p -Dir

Con el fin de ahondar en las direcciones de oleaje se muestran las rosas de altura de ola significativa y de periodo pico. Se puede observar, como se ha dicho, que la procedencia del oleaje se centra en el primer y tercer sector, siendo los más probables de la dirección E ya que alcanza un 25.5% del tiempo. Seguida a esta, las más probables son ENE, SSO y NE en ese mismo orden. Las alturas de ola significativas más probables son menores a 3 metros y los periodos más probables son de hasta 11 segundos.

En las rosas de cuantiles se representa la probabilidad de que cada altura de ola significativa (o periodo), en una dirección determinada, alcance este punto. Por lo que puede comprobar que las mayores alturas de ola proceden de la dirección NE-E. Asimismo se observa que el periodo no muestra cambios destacables por direcciones para los periodos más grandes.

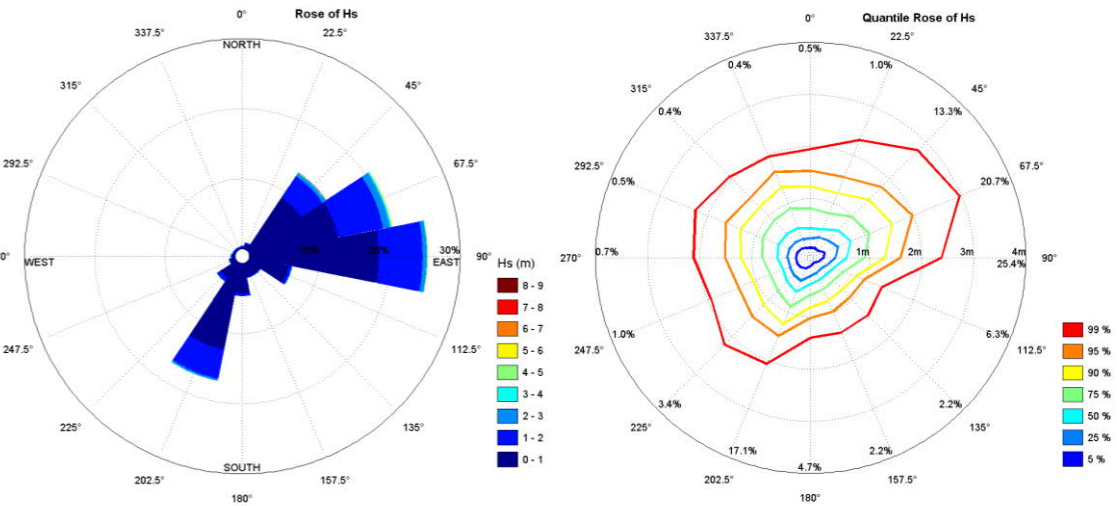


Ilustración 17: Rosas direccionales de H_s

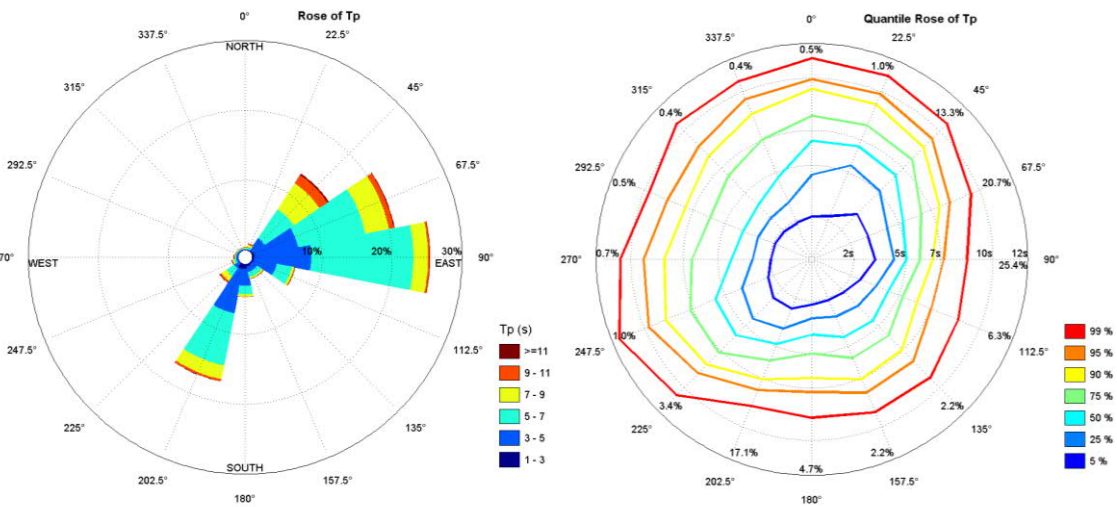


Ilustración 18: Rosas direccionales de T_p

3.2.2. Análisis direccional

Con el fin de conocer el oleaje por direcciones de forma más precisa se analiza la tabla de ocurrencias de alturas de ola frente a direcciones. Dividiendo las alturas de ola en 6 clases en los intervalos de 1 metro entre 0 y 6 metros y las direcciones en 16 sectores empezando desde el norte en sentido horario, se calcula la probabilidad de ocurrencia de que una altura de ola perteneciente a cada una de las clases proceda de cada dirección.

De este estudio se puede concluir que:

- Oleaje proviene del segundo y tercer sector con probabilidades mayores para el NE-E y SSO.
- Oleajes dominantes se encuentran en el rango NE-E, ya que alcanzan mayor probabilidad de ocurrencia en las clases mayores. Siendo ENE la dirección que muestra temporales mayores.
- Los oleajes reinantes: NE-E y SSO, ya que la probabilidad para estas direcciones de alturas de ola de clase 1 y 2 (0 - 2 m) son elevadas.

Tabla 2: Tabla de ocurrencia de altura de ola significativa y direcciones del oleaje

	H_s min	H_s máx	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	Total
H_{s1}	0	1	9,13	12,97	18,54	5,78	2,04	2,03	4,33	12,60	2,76	73.59
H_{s2}	1	2	3,67	6,58	6,25	0,49	0,13	0,15	0,38	4,26	0,59	23.37
H_{s3}	2	3	0,47	1,00	0,61	0,01	0,01	0,00	0,01	0,27	0,05	2.52
H_{s4}	3	4	0,10	0,22	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0.44
H_{s5}	4	5	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.07
H_{s6}	5	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.01
Total			13.39	20.81	25,50	6,28	2,18	2,19	4,72	17,16	3,41	100

3.2.3. Análisis estacional

La forma de las playas cambia en un mismo año en función de las estaciones, esto es debido a la variabilidad estacional del oleaje. Se puede observar a continuación las rosas de oleajes de la serie completa de datos en función de la estación empezando por invierno que incluye los meses de diciembre, enero y febrero; primavera con marzo, abril y mayo; verano con junio, julio y agosto; y finalmente otoño con septiembre, octubre y noviembre.

Se observa que las rosas de las estaciones intermedias, primavera y otoño, apenas presentan diferencias entre ellas. De hecho, son similares a la rosa total, siendo las direcciones de más probables a menos la siguientes: E, ENE, SSO y NE. En cambio, entre invierno y verano los cambios son destacables.

En invierno el oleaje procede principalmente del SSO y NE, reduciéndose la probabilidad de incidencia de ENE-E con respecto al total y a primavera y otoño. En cambio, en verano, el oleaje del tercer sector se reduce a menos de un 10% del tiempo y la dirección E seguida de ENE pasan a ser las predominantes, alcanzando un porcentaje mayor al 40% y 20%, respectivamente.

Además, las alturas de ola se ven reducidas en esta estación, menos de un 5% del tiempo son mayores a 2 metros.

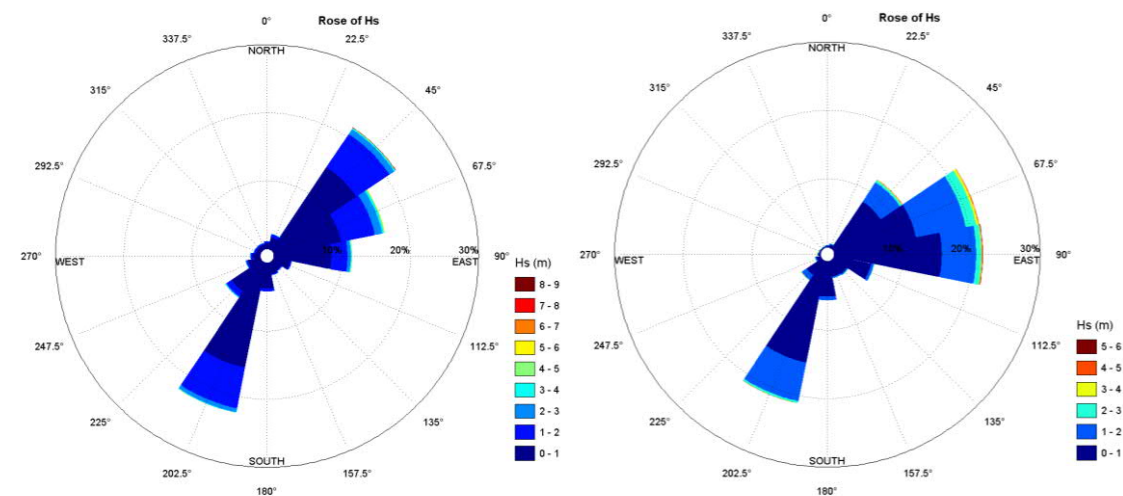


Ilustración 19: Rosa de Hs por estaciones, invierno (izquierda) y primavera (derecha)

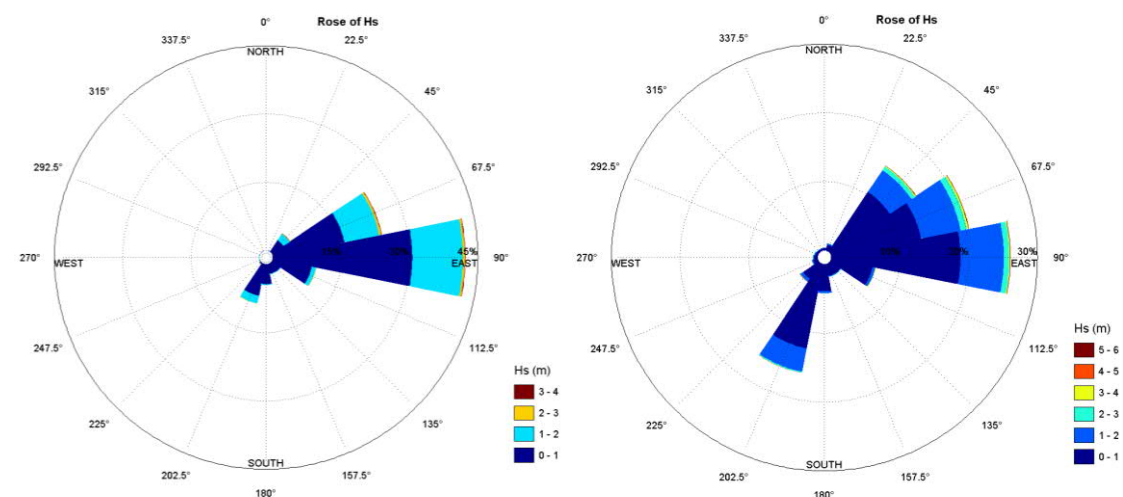


Ilustración 20: Rosa de Hs por estaciones, verano (izquierda) y otoño (derecha)

3.2.4. Régimen medio total

El régimen medio es la distribución estadística de un parámetro de estado de mar en un tiempo determinado. Se ha realizado a través de la herramienta AMEVA la función de distribución acumulada para altura de ola significativa. Se presentan los resultados a continuación.

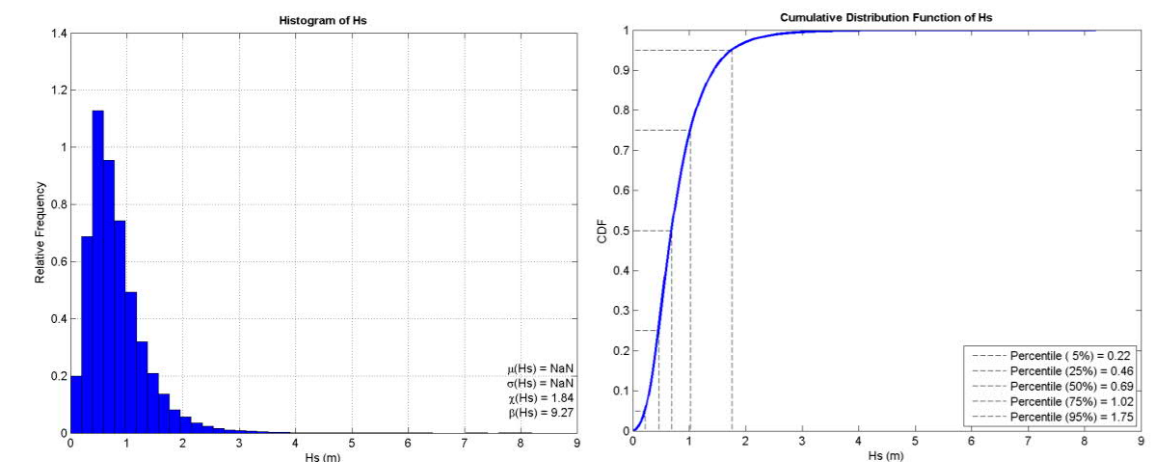


Ilustración 28: Función de densidad y acumulada de Hs

Con la función de densidad se puede obtener la frecuencia de cada altura de ola, así se puede observar cómo las alturas de olas más probables son inferiores a 2 m.

En la función de distribución acumulada se puede obtener la probabilidad de cada altura de ola, por ejemplo, la altura de ola superada el 50% del tiempo es de 0,69 m y la superada el 95% del tiempo es de 1,75 metros. Este gráfico será de especial relevancia para calcular los temporales tipo para cada dirección, H_{s12} , y el oleaje medio en los puntos de la costa.

3.2.5. Régimen extremal total

El régimen extremal, o también denominado régimen de temporales, se define como la distribución estadística del valor máximo de un parámetro de estado de mar en un período de tiempo determinado.

A continuación, se realiza el análisis extremal con la distribución generalizada de Pareto-Poisson, GPD-P. En esta, la frecuencia, que es el número de excedencias sobre el umbral en un año, se distribuye según Poisson y la intensidad siguen la distribución de Pareto. El procedimiento se basa en:

- Selección de extremos.
- Función de distribución.
- Modelo estadístico (técnica de ajuste)
- Obtención periodos de retorno.

Se ha utilizado el método POT (picos sobre umbral) con un intervalo entre temporales independientes de 3 días.

A continuación, se puede observar que la altura de ola aumenta a medida que aumenta el periodo de retorno. Los puntos son los datos con lo que se ha trabajado, la línea continua es la curva de ajuste y las dos líneas punteadas son paralelas a la primera definiendo el intervalo de confianza del 95%. De este modo, si se va a realizar una actuación con una vida útil definida, la cual resulta un periodo de retorno de 10 años, se utiliza la H_s de diseño correspondiente de 5,73 metros, o 7,34 metros para un periodo de retorno de 50 años.

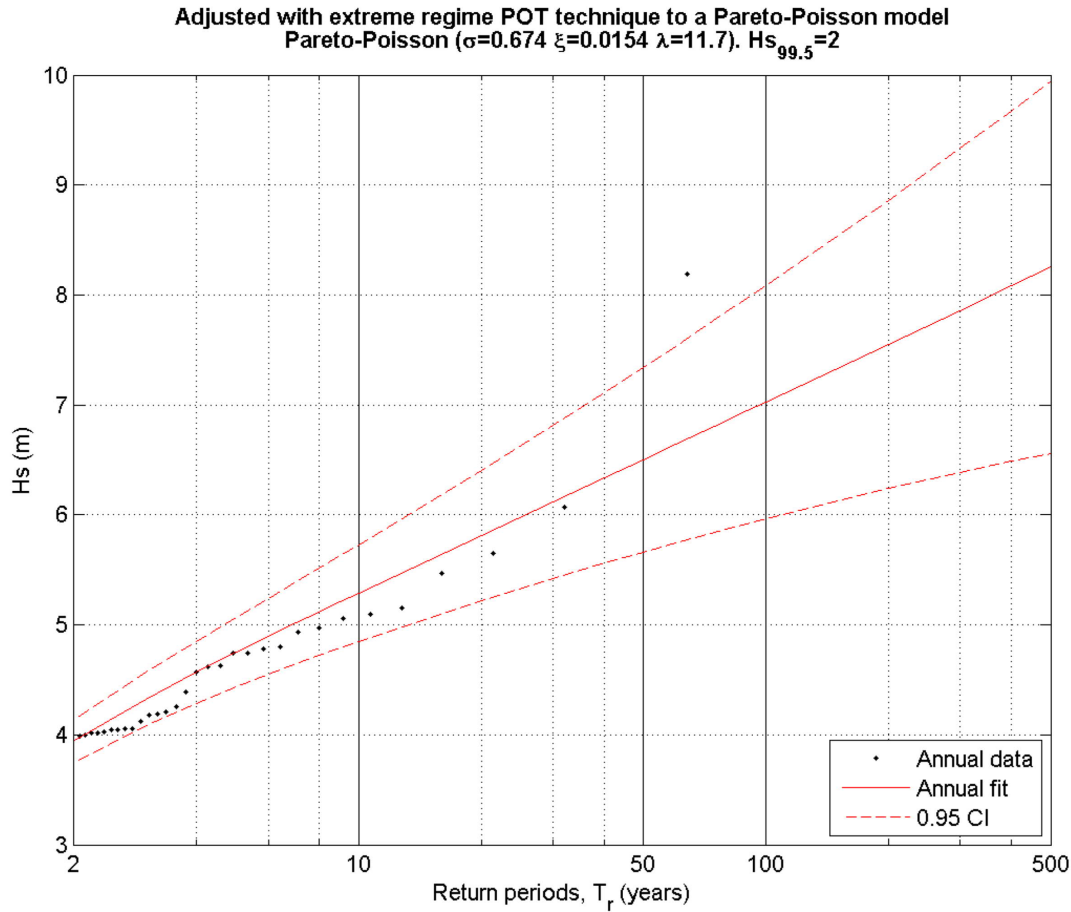


Ilustración 29: Periodos de retorno de H_s con el método POT

3.2.6. Casos representativos

Se seleccionaron los casos representativos del oleaje en el punto SIMAR resultando 6 casos para las tres direcciones principales. Como la costa de estudio tiene una orientación media de 30° a 170° respecto al norte, se han seleccionado las direcciones del oleaje que afectan a la zona y son representativas del análisis de oleaje realizado anteriormente (NE, ENE y E) con el fin de estudiar las condiciones medias y las condiciones en temporales.

Para ello se ha seleccionado el oleaje procedente de cada sector y se realiza un breve análisis para cada uno. A continuación, se pueden observar las rosas de oleaje para cada sector estudiado donde se determina la probabilidad de oleaje y la altura de ola significativa.

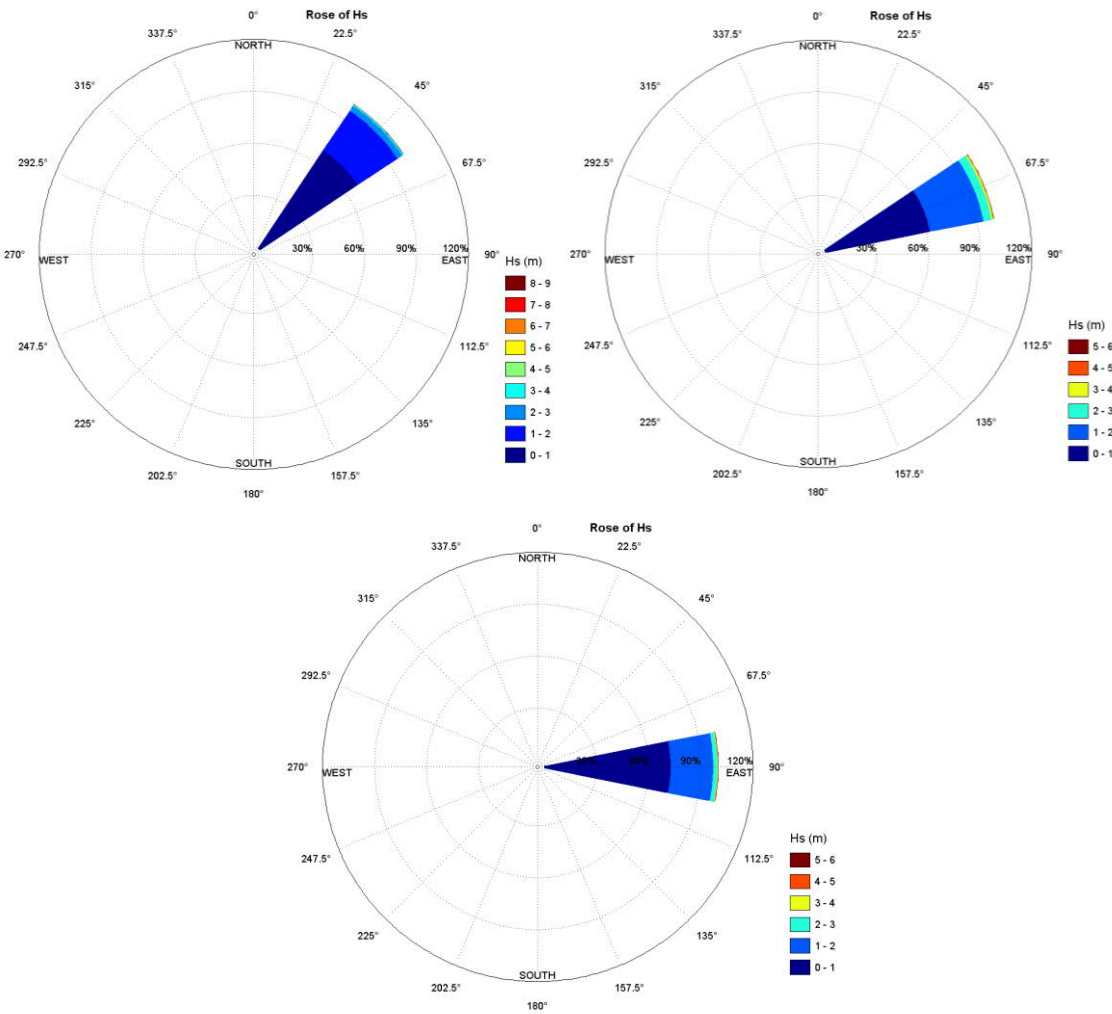


Ilustración 21. Rosas de altura de ola significativa de las tres direcciones principales

Con estos datos seleccionados por direcciones también se han obtenido las funciones de distribución acumulada, las cuales muestran la probabilidad de que la H_s tenga un valor menor o igual al % marcado en el eje y.

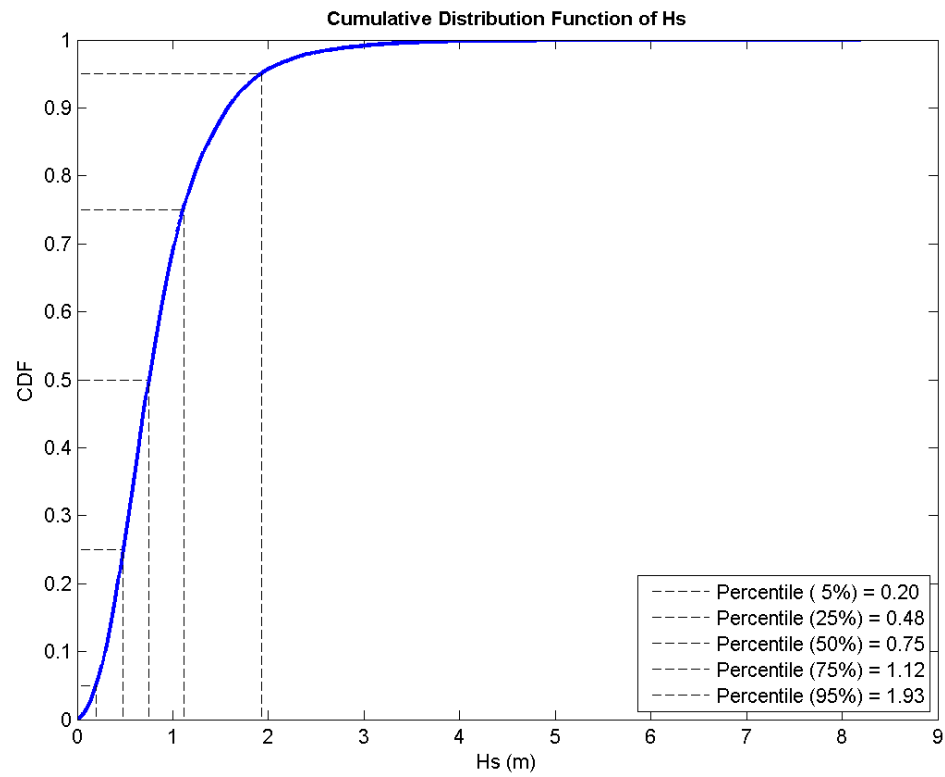


Ilustración 22: Función de distribución acumulada de H_s para la dirección: NE

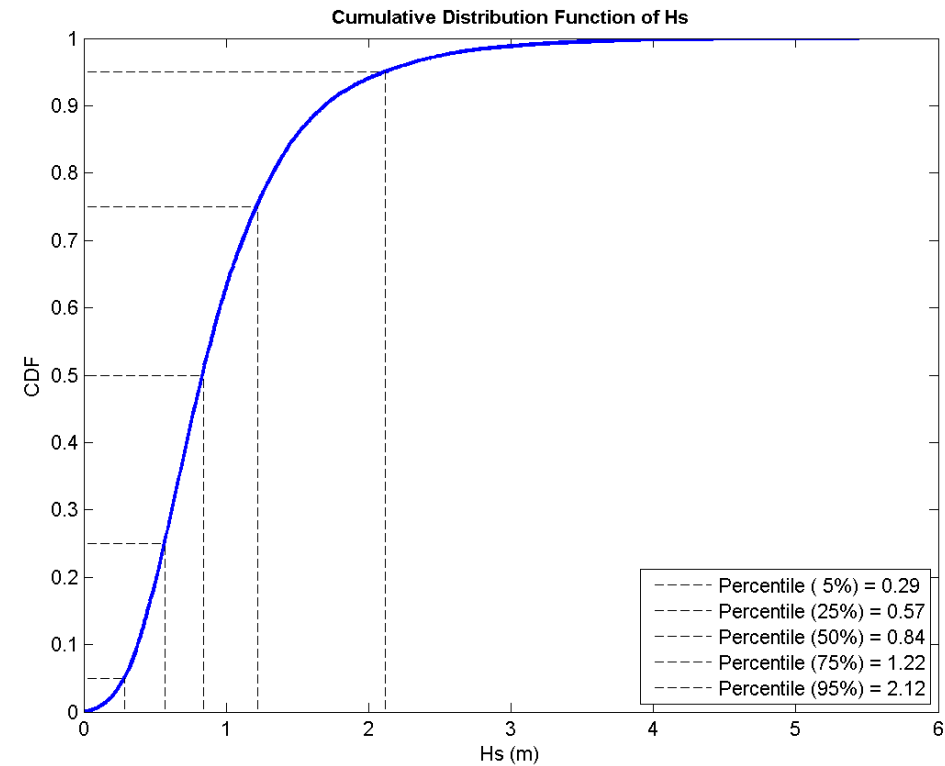


Ilustración 23: Función de distribución acumulada de H_s para la dirección: ENE

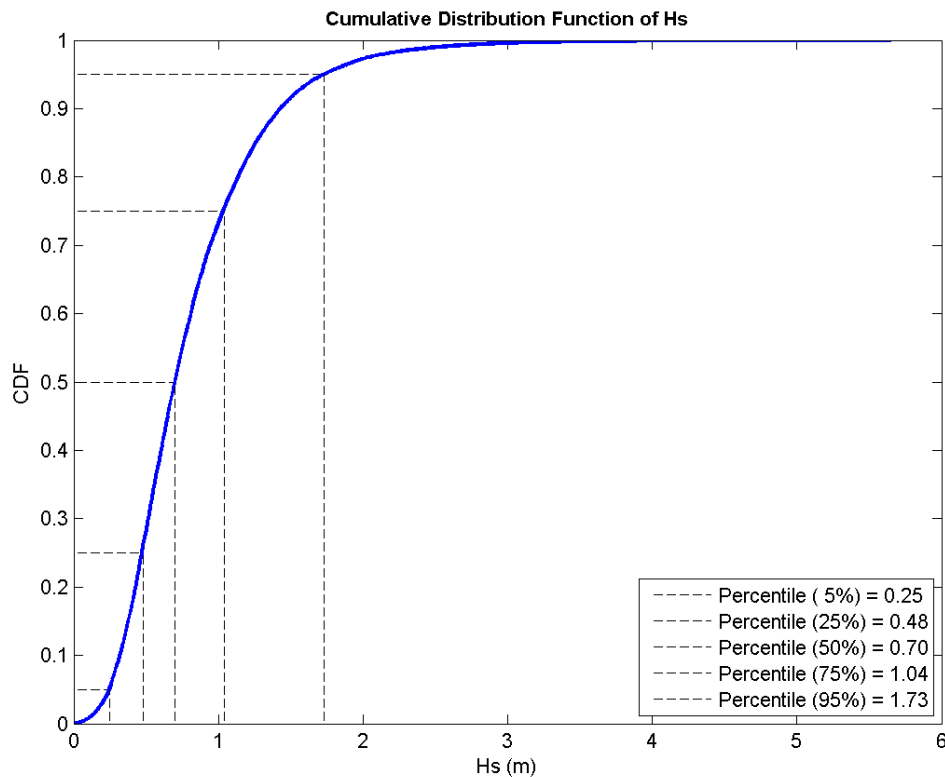


Ilustración 24: Función de distribución acumulada de H_s para la dirección: E

De las funciones de distribución acumuladas se puede obtener el percentil del 50%, es decir, la altura de ola que se supera el 50% del tiempo, y por tanto la que define el régimen medio. Por otra parte, también se identifica el percentil del 99,86%, o lo que es lo mismo, la altura de ola superada 12 horas al año, la cual define el temporal.

De esta forma se obtienen los 6 casos representativos del oleaje diferentes en función de la dirección y régimen que se propagan, se muestran a continuación los 6 casos representativos. Para el cálculo del periodo pico asociado se ha buscado en la serie las alturas de ola de cada caso con una variación de $\pm 0,01$ metros sus posiciones en toda la serie, de este modo se obtienen los periodos pico asociados y se ha calculado una media de los encontrados.

Tabla 3: Casos representativos del oleaje en indefinidas

Dirección	NE		ENE		E	
Régimen	Medio	Temporal	Medio	Temporal	Medio	Temporal
H_s	0,75	4,12	0,84	4,04	0,70	3,54
T_p	6,88	9,62	5,73	9,10	5,41	8,36

4. DINÁMICA MARINA EN LA ZONA DE ESTUDIO

4.1. PROPAGACIÓN DEL OLAJE

El transporte de sedimentos en el litoral y la forma de la playa depende del oleaje y las corrientes por ellos es imprescindible conocer la energía que llega a la playa y cómo se distribuye. Para ello se ha propagado el oleaje desde profundidades indefinidas a varios puntos de interés en la costa aplicando la metodología híbrida que combina modelos numéricos de propagación y métodos matemáticos de clasificación y reconstrucción, se trata del modelo IH-Propaga, desarrollado por IHCantabria.

IH-Propaga permite seleccionar de la serie temporal en indefinidas el abanico de datos que afectan a la zona de estudio y con estos selecciona el número de estados de mar representativos del total de tiempo que le indique, en este caso se ha realizado con 150 casos para dos niveles de marea: bajamar y pleamar. La técnica de clasificación que emplea es el algoritmo de máxima disimilitud MaxDISS, el cual consiste en seleccionar el punto más alejado de los anteriores hasta tener los 150 casos. Se muestra a continuación la selección de los casos obtenida de la nube de puntos completa.

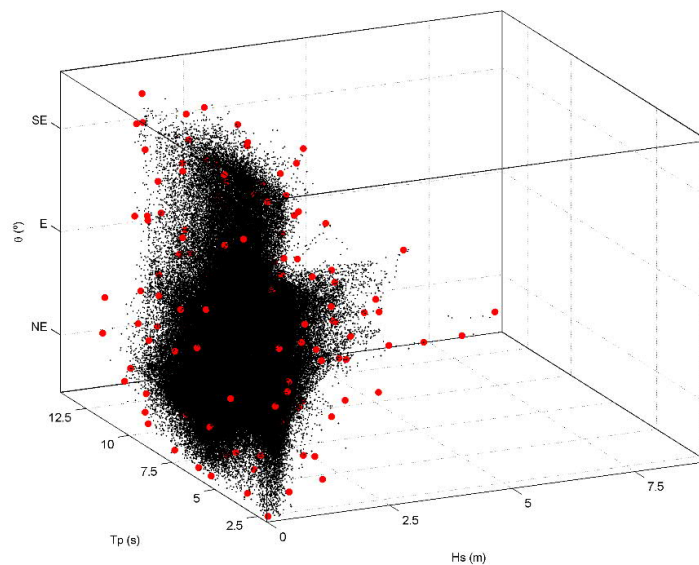


Ilustración 25: Selección de casos de propagación a través del algoritmo MaxDISS

Una vez se tienen los casos seleccionados se propagan a través del Modelo de Propagación de Oleaje y Corrientes (OLUCA). Dicho modelo es capaz de simular los procesos del oleaje, tanto para oleaje monocromático como para oleaje espectral, resolviendo la forma parabólica de la ecuación de pendiente suave (Mild Slope) e incorpora modelos de propagación no lineales, simulación de capa límite turbulenta o laminar, la rugosidad del fondo, entre otros factores. El modelo ha sido desarrollado inicialmente en la Universidad de Delaware, U.S.A. y mejorado posteriormente entre miembros de la Universidad y del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria.

En el estudio de la propagación del oleaje lo primero es definir una serie de mallas sobre la batimetría de la zona a analizar que cubran las direcciones del oleaje que afecta a la zona. Para el funcionamiento del modelo es necesario que una de las alineaciones de la malla coincida con

la dirección de propagación del oleaje, o al menos estar comprendida en un ángulo no mayor que $\pm 45^\circ$ respecto a la dirección de estudio. Por estos motivos se han utilizado cinco mallas, las cuales cubren todo el abanico de oleajes siguiendo las recomendaciones de IH Cantabria. Todas las mallas generales tienen un espaciado de 100 metros en ambos ejes, estas son la A1, B2, C1, D1 y F1. Mientras que las mallas de detalle, A2, B3, C2, D2 y F2 se han utilizado con un espaciado de 20 metros.

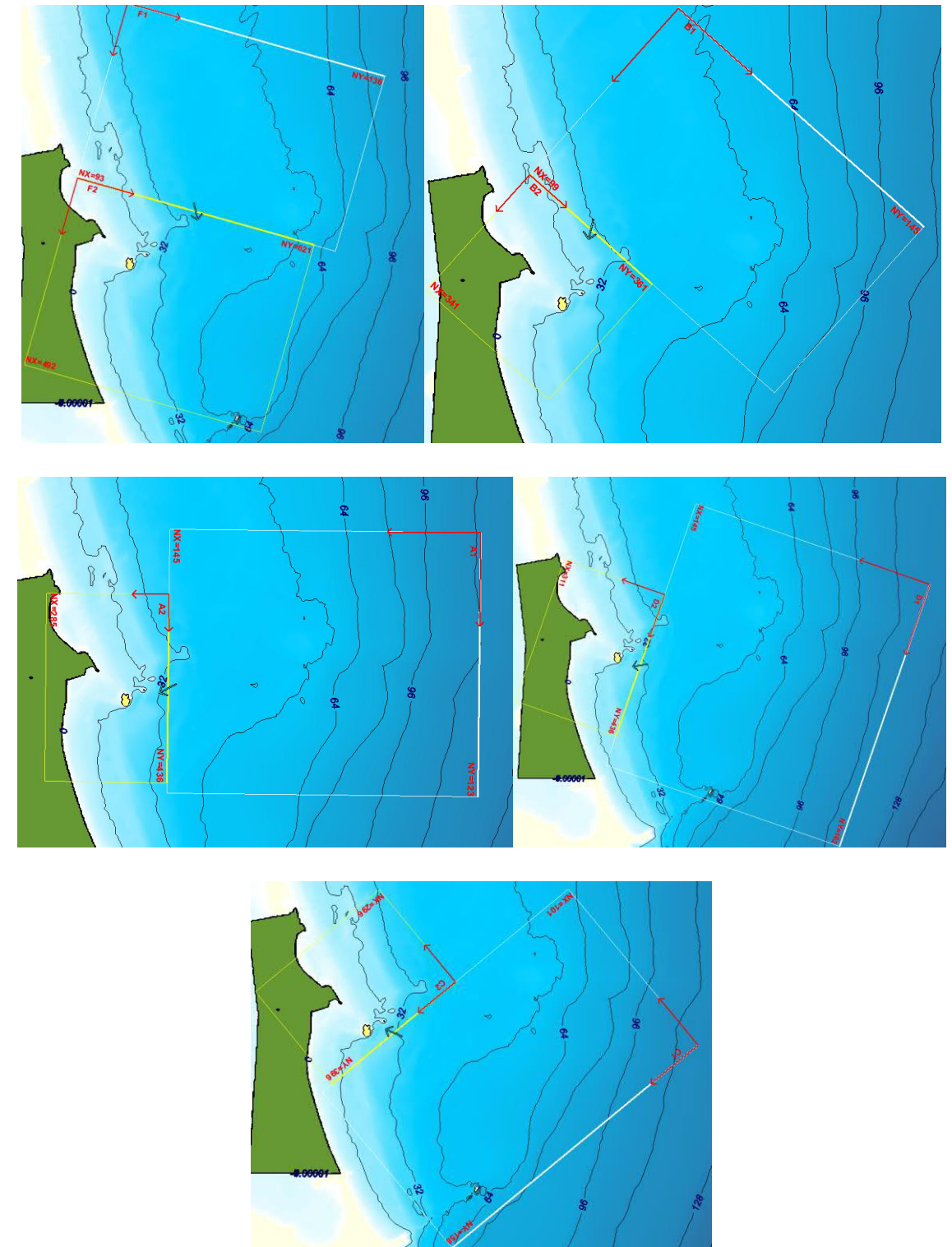


Ilustración 26: Mallas de propagación del oleaje para todo el rango de direcciones incidente a la zona de estudio

Finalmente, con IH-Propaga, a través de los 300 casos propagados utiliza la interpolación para reconstruir los parámetros propagados en los puntos objetivos que se marquen, fuera de la zona de rompientes, pero lo suficientemente cerca de la costa para caracterizar el clima marítimo.

4.2. RECONSTRUCCIÓN

Con los casos propagados se ha realizado la reconstrucción en 6 puntos para conocer el clima en la zona de estudio (Puntos 1-6). Adicionalmente se repitió el proceso para 3 puntos, considerados los puntos de difracción de las playas para la configuración actual y en caso de retroceder el contradique (A, B y C). Cabe destacar que el punto A no coincide exactamente con el punto de difracción de la playa norte. Sin embargo, se considera válido por dos motivos que impiden obtener este dato en el punto de difracción real: por una parte, esta ubicación se encuentra actualmente en una zona de relleno por lo que no sería posible reconstruir la serie de oleaje, por otra, SMC presenta ciertas limitaciones para propagar dentro de un puerto, por lo que el dato obtenido en una zona más abrigada tampoco sería correcto.

Se han colocado los puntos de fuera de la zona de rompientes, pero en cercanías de la costa. Se muestran su localización en la Ilustración 27 y sus coordenadas en la Tabla 4.



Ilustración 27: Ubicación de los puntos de control para la reconstrucción del oleaje

Tabla 4. Coordenadas de los puntos de control para la reconstrucción

Ubicación	X [m]	Y [m]
Punto 1	700659,5	4180090
Punto 2	700979,5	4179470
Punto 3	700699,5	4179030
Punto 4	700259,5	4179330
Punto 5	699999,5	4179070
Punto 6	699759,5	4179010
Punto A	700314,9	4179516
Punto B	700189,2	4179227
Punto C	699988,9	4179151

4.3. CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA EN PUNTOS DE ESTUDIO

Se analiza en este apartado el clima obtenido en los puntos de reconstrucción A, B y C, ya que serán los que den forma a las playas objeto de este estudio. El punto A se corresponde con el punto de difracción de la playa norte; el punto B con el morro del contradique en su configuración actual, por lo que es el punto de difracción de la playa oeste; y el punto C se sitúa 200m al oeste del punto B, por lo que es el punto de difracción de la playa oeste en caso de recortar el dique.

Se presentan las tablas de ocurrencia de las variables altura de ola significativa y periodo pico en los diferentes puntos de reconstrucción del oleaje. En el punto A el 83% del tiempo las alturas de ola son inferiores a 0,50 m, mientras que en el punto B el mayor porcentaje asciende al rango 0,50-0,75 m y en el punto C al 0,75-1,00 m. Los periodos pico más frecuentes se encuentran en el rango 4,90-6,20s.

Tabla 5. Tabla de ocurrencia H_s-T_p en el punto de difracción A

Punto A			H _s 1	H _s 2	H _s 3	H _s 4	H _s 5	H _s 6	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
T _{p1}	1	2,3	0,10	0,06	0,06	0,05	0,00	0,00	0,27
T _{p2}	2,3	3,6	2,39	2,29	1,05	0,51	0,00	0,00	6,24
T _{p3}	3,6	4,9	8,20	12,37	2,86	0,75	0,01	0,00	24,18
T _{p4}	4,9	6,2	10,13	16,85	5,45	0,85	0,01	0,00	33,29
T _{p5}	6,2	7,5	9,37	7,74	3,42	0,55	0,02	0,00	21,10
T _{p6}	7,5	8,8	6,92	2,49	0,61	0,23	0,02	0,00	10,28
T _{p7}	8,8	10,1	2,81	0,63	0,15	0,10	0,01	0,00	3,70
T _{p8}	10,1	11,4	0,68	0,08	0,02	0,02	0,00	0,00	0,81
T _{p9}	11,4	12,7	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
T _{p10}	12,7	14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			40,73	42,52	13,61	3,06	0,08	0,00	100,00

Tabla 6. Tabla de ocurrencia H_s-T_p en el punto de difracción B

Punto B			H_s 1	H_s 2	H_s 3	H_s 4	H_s 5	H_s 6	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
T_{p1}	1	2,3	0,01	0,09	0,03	0,14	0,00	0,00	0,27
T_{p2}	2,3	3,6	0,01	1,75	1,81	2,61	0,06	0,00	6,24
T_{p3}	3,6	4,9	0,00	2,65	10,17	10,78	0,57	0,00	24,18
T_{p4}	4,9	6,2	0,01	3,53	9,91	14,93	4,90	0,00	33,29
T_{p5}	6,2	7,5	0,01	4,43	5,49	6,94	4,24	0,00	21,10
T_{p6}	7,5	8,8	0,00	2,92	3,69	2,71	0,96	0,00	10,28
T_{p7}	8,8	10,1	0,00	0,77	1,84	0,83	0,26	0,00	3,70
T_{p8}	10,1	11,4	0,00	0,10	0,51	0,15	0,05	0,00	0,81
T_{p9}	11,4	12,7	0,00	0,01	0,09	0,02	0,00	0,00	0,12
T_{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			0,04	16,26	33,55	39,09	11,05	0,01	100,00

Tabla 7. Tabla de ocurrencia H_s-T_p en el punto de difracción C

Punto C			H_s 1	H_s 2	H_s 3	H_s 4	H_s 5	H_s 6	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
T_{p1}	1	2,3	0,00	0,03	0,08	0,14	0,02	0,00	0,27
T_{p2}	2,3	3,6	0,00	0,21	2,42	3,13	0,48	0,00	6,24
T_{p3}	3,6	4,9	0,00	0,33	5,46	13,13	5,17	0,09	24,18
T_{p4}	4,9	6,2	0,00	0,65	5,21	13,12	11,93	2,38	33,29
T_{p5}	6,2	7,5	0,00	0,63	5,36	6,35	6,62	2,15	21,10
T_{p6}	7,5	8,8	0,00	0,23	3,91	3,31	2,49	0,33	10,28
T_{p7}	8,8	10,1	0,00	0,05	1,15	1,60	0,77	0,13	3,70
T_{p8}	10,1	11,4	0,00	0,00	0,17	0,43	0,17	0,03	0,81
T_{p9}	11,4	12,7	0,00	0,00	0,03	0,07	0,02	0,00	0,12
T_{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Total			0,00	2,13	23,79	41,29	27,68	5,11	100,00

Como cabía esperar, teniendo en cuenta la ubicación de los puntos de difracción de la alternativa 3, los puntos 1 y 2 registran mayores alturas de ola, concentrándose los casos en el rango 0.75-1.25m.

Tabla 8. Tabla de ocurrencia H_s-T_p en el punto de difracción 1

Punto 1			H_s 3	H_s 4	H_s 5	H_s 6	H_s 7	H_s 8	H_s 9	H_s 10	Total
			0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	
			0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	
T_{p1}	1	2,3	0,08	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
T_{p2}	2,3	3,6	1,34	3,74	1,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24
T_{p3}	3,6	4,9	1,95	10,25	10,51	1,38	0,08	0,01	0,00	0,00	24,18
T_{p4}	4,9	6,2	2,66	6,81	12,07	7,65	3,36	0,72	0,02	0,00	33,29
T_{p5}	6,2	7,5	2,42	4,50	4,46	3,31	3,16	2,52	0,72	0,02	21,10
T_{p6}	7,5	8,8	1,17	2,85	2,14	1,41	0,89	0,81	0,76	0,24	10,28
T_{p7}	8,8	10,1	0,18	0,80	0,96	0,64	0,38	0,29	0,28	0,17	3,70
T_{p8}	10,1	11,4	0,01	0,09	0,18	0,17	0,13	0,11	0,07	0,05	0,81
T_{p9}	11,4	12,7	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,12
T_{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Total			9,82	29,14	31,58	14,59	8,04	4,48	1,86	0,49	100,00

Tabla 9. Tabla de ocurrencia H_s-T_p en el punto de difracción 2

Punto 2			H_s 3	H_s 4	H_s 5	H_s 6	H_s 7	H_s 8	H_s 9	H_s 10	H_s 11	Total
			0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	
			0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	
T_{p1}	1	2,3	0,09	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
T_{p2}	2,3	3,6	1,35	4,11	0,72	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24
T_{p3}	3,6	4,9	1,96	12,62	7,72	1,69	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	24,18
T_{p4}	4,9	6,2	2,65	7,79	11,61	6,91	3,29	0,95	0,08	0,00	0,00	33,29
T_{p5}	6,2	7,5	2,47	4,51	4,35	3,34	3,13	2,20	0,92	0,17	0,00	21,10
T_{p6}	7,5	8,8	1,22	2,65	2,16	1,37	0,93	0,77	0,68	0,39	0,11	10,28
T_{p7}	8,8	10,1	0,20	0,73	0,90	0,64	0,41	0,28	0,25	0,21	0,08	3,70
T_{p8}	10,1	11,4	0,01	0,08	0,16	0,16	0,12	0,11	0,08	0,04	0,03	0,81
T_{p9}	11,4	12,7	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,12
T_{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			9,96	32,62	27,70	14,19	8,06	4,35	2,03	0,82	0,22	100,00

En las rosas de altura de ola significativa se puede observar como el punto A, situado al abrigo del dique principal, recibe oleajes con dirección SSE principalmente y alturas de ola inferiores a 0,5m más del 70% del tiempo. Por otra parte, los puntos B y C muestran unas condiciones similares de alturas de ola, una distribución casi homogénea en cuanto al porcentaje de tiempo en los rangos estudiados entre 0 y 0,8m. Este comportamiento era esperable por la cercanía de los puntos. Sin embargo, en cuanto a las direcciones, el oleaje en el morro del contradique procede de la dirección SO, mientras que 200m más al oeste, la dirección reinante es OSO. Esto puede deberse a las irregularidades del terreno y los bajos rocosos que modifican la refracción del oleaje en la propagación. Este cambio en la dirección es importante ya que la forma en planta de equilibrio de la playa oeste depende directamente del flujo de energía en el punto de difracción.

Por otra parte, las rosas correspondientes al oleaje de la alternativa 3 presentan como direcciones principales ENE y E, un 30 y 35% del tiempo respectivamente para el punto 1 y viceversa para el punto 2, un 28% con dirección ENE y un 35% con dirección E.

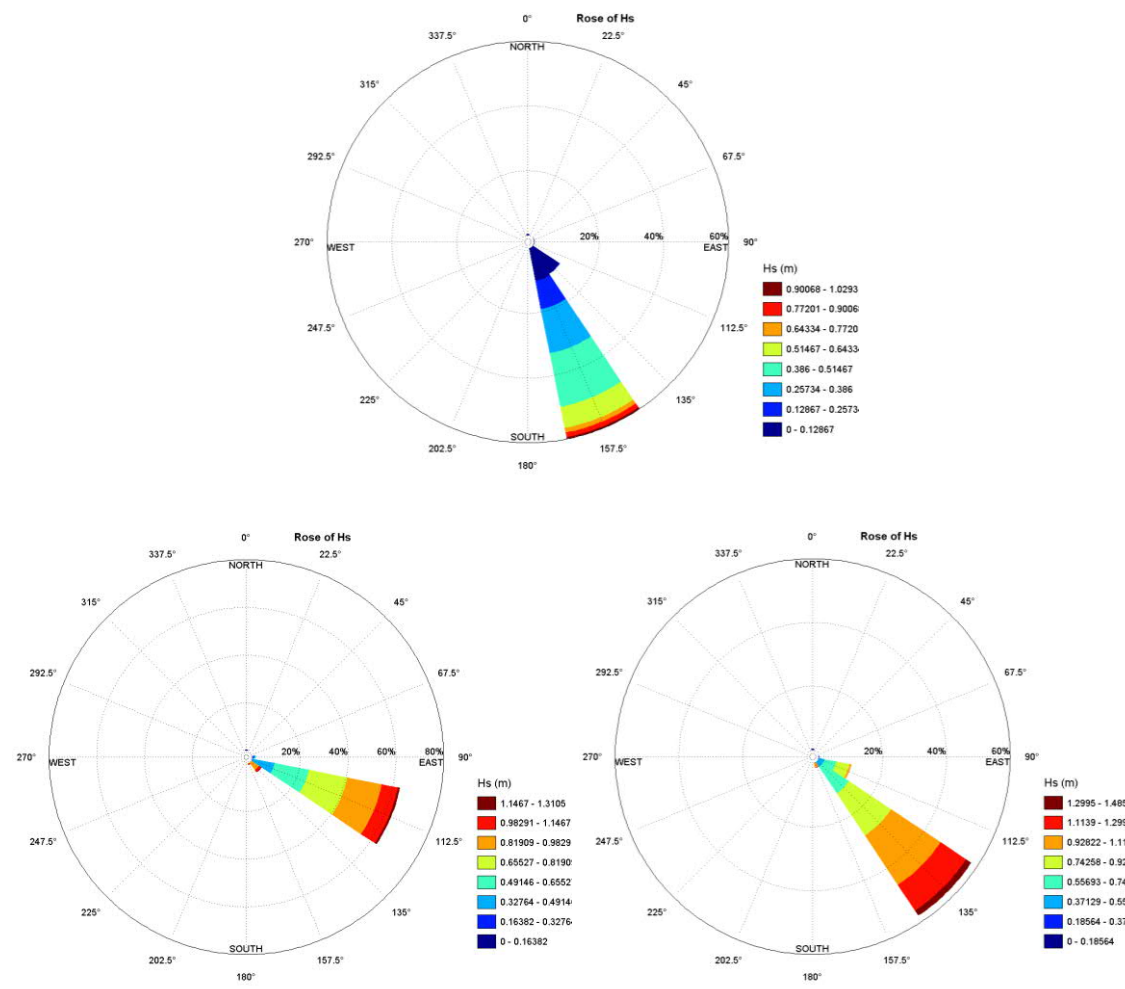


Ilustración 28: Rosas de altura de ola significativa en los puntos de difracción (Punto A, Punto B y Punto C)

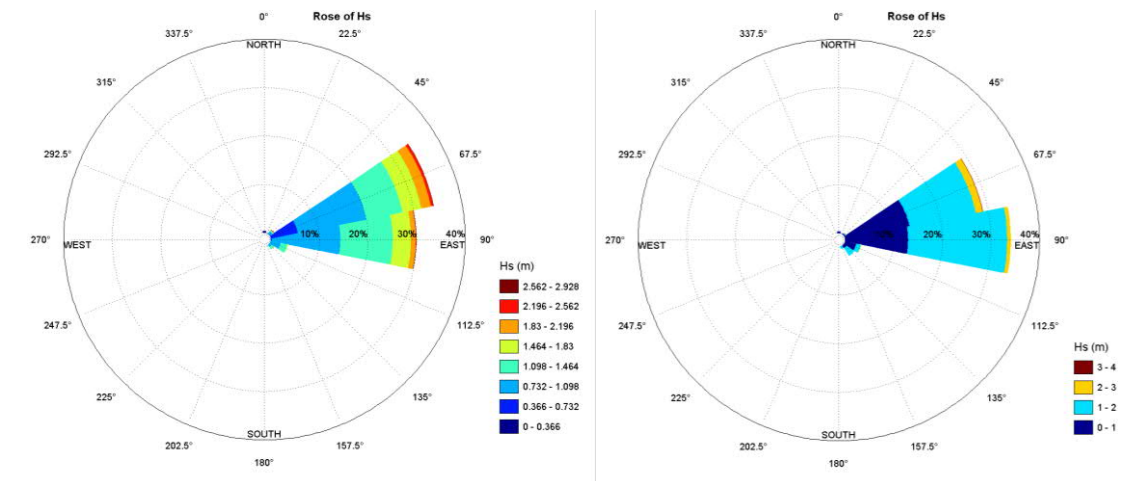
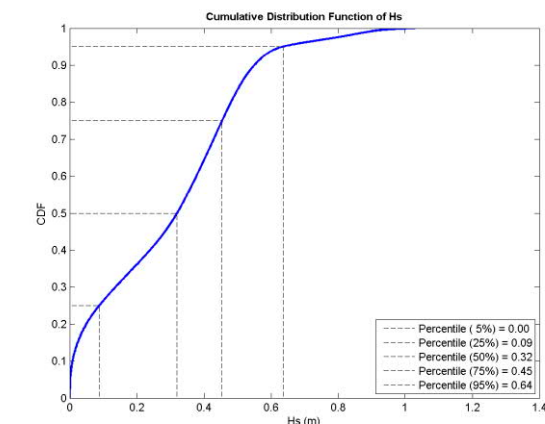


Ilustración 29. Rosas de altura de ola significativa en los puntos de difracción de la alternativa 3 (Punto 1 y Punto 2)

Se presenta en la Ilustración 30 los regímenes medios totales de la altura de ola significativa en las tres ubicaciones citadas. Como se ha expuesto, este parámetro es inferior en el punto abrigado por el dique principal, siendo inferior a 0,64m el 95% del tiempo, mientras que en las localizaciones cercanas al contradique asciende a 1,07m y 1,25m el mismo porcentaje de tiempo. . La distribución de los puntos de la alternativa 3 es ligeramente superior, la altura de ola significativa del percentil 95% se sitúa en 1.84m y 1.87m. Destacan nuevamente las similitudes entre ellos dada la cercanía de estos y los parecidos en la batimetría.



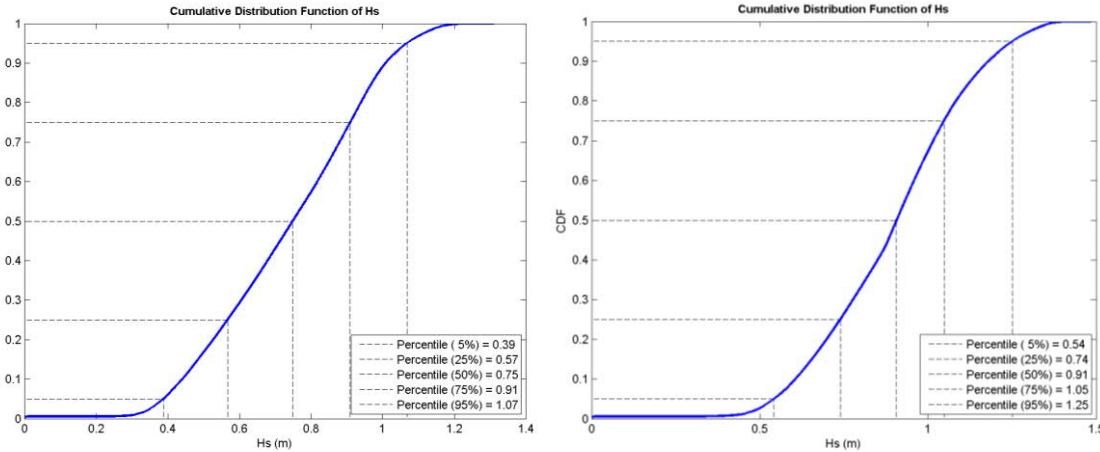


Ilustración 30: Régimen medio total en los tres puntos de difracción (Punto A, Punto B y Punto C)

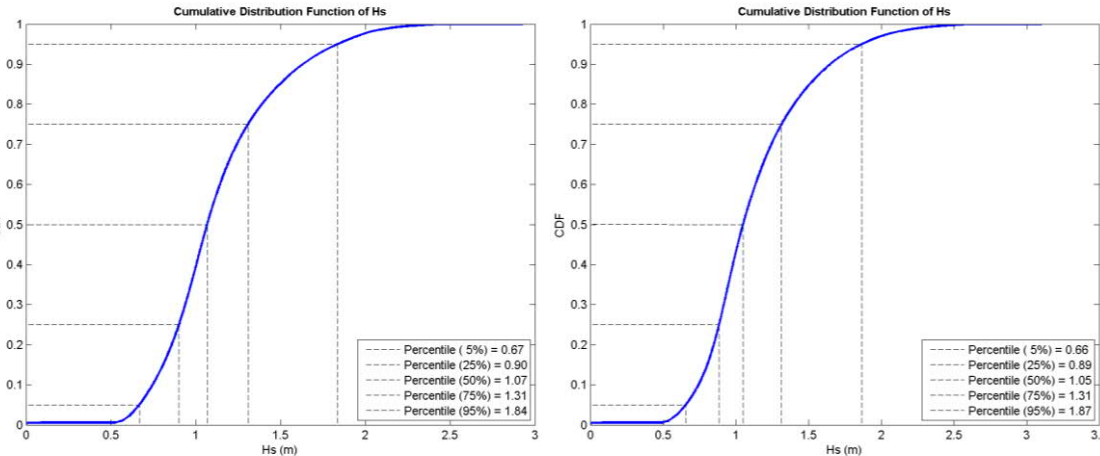


Ilustración 31: Régimen medio total en punto de difracción de la alternativa 3 (Punto 1 y Punto 2)

4.4. FLUJO DE ENERGÍA

La energía que se propaga con el oleaje y llega a costa se denomina flujo de energía. Es imprescindible conocerlo para determinar la forma en planta de las playas. En una playa recta en equilibrio el flujo de energía es perpendicular a la línea de costa, de no ser así genera corrientes y con ellas transporte. Por otro lado, en una playa dominada por un punto de difracción, el flujo de energía en este punto determinará la forma en planta.

El flujo de energía es función de la altura de ola y de la dirección del oleaje, por lo tanto, cada estado de mar tiene uno asociado en cada punto, IH-Propaga integra una herramienta que calcula la dirección del flujo de energía con los datos reconstruidos, la cual se utilizó para obtener el flujo de energía en los cuatro puntos de interés.

En los flujos medios en las diferentes ubicaciones se han obtenido diferencias notables. Entre los puntos B y C separados 200 m la variación es de 12,3°, esto es causado por la forma de la batimetría como se expuso en el apartado anterior y marcará diferencias en la forma en planta de equilibrio de las dos alternativas planteadas. Por otra parte, el punto A presenta una diferencia mayor con un flujo de energía de S20,4E. Esta inclinación más al sur se debe a la ubicación al abrigo del dique principal.

Finalmente, el flujo medio en los puntos 1 y 2 se orientan al este como en el punto SIMAR, puesto que no se encuentran protegidos por el oleaje incidente. Presentan una diferencia de 2.2º entre ellos.

Se muestra a continuación la situación de los puntos con la orientación del flujo respecto al norte sobre el mapa y en una tabla resumen de las direcciones.



Ilustración 32: Flujo de energía en los puntos de estudio

Tabla 10. Flujo de energía en los diferentes puntos de la zona de estudio.

Ubicación	Flujo de energía
Punto 1	N79,3E
Punto 2	N81,5E
Punto 3	S83,1E
Punto 4	S48,4E
Punto 5	S61,3E
Punto 6	S58,4E
Punto A	S20,4E

Punto B	S64,0E
Punto C	S51,7E

5. DINÁMICA LITORAL

Las playas sufren cambios topobatimétricos bajo la acción de las principales dinámicas que actúan sobre ellas: oleaje, corrientes y viento. En este apartado se analizan estos cambios en la zona de estudio con el fin de evaluar la estabilidad y la evolución. Se realiza para las dos alternativas propuestas de modo paralelo para facilitar la comparación.

5.1. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Los modelos teóricos de evolución de playas tratan de integrar todas las dinámicas actuantes con el objetivo de poder predecir la evolución de las playas cuando la dinámica es conocida.

Sin embargo, la dinámica en la zona de rompientes de las playas se encuentra en desarrollo y el modelado del flujo en la zona de rompientes y de la interacción flujo-sedimento para el establecimiento de los modelos de transporte, sólo se puede realizar imponiendo numerosas simplificaciones. Por otra parte, no existe ningún modelo de evolución tridimensional de playas que sea capaz de predecir las variaciones a corto y medio plazo en el tiempo y de pequeña y media escala en el espacio.

Por lo tanto, la metodología utilizada se fundamenta en dos conceptos previos: dimensionalidad de los proceso y escalas de los procesos, los cuales se detallan a continuación.

En cuanto a la dimensionalidad: los procesos hidrodinámicos y sedimentarios son tridimensionales pero las limitaciones tanto de herramientas como de conocimientos no permiten analizarlos de este modo. Así surge la primera de las hipótesis, la hipótesis de ortogonalidad. Esta implica que cualquier movimiento de una playa pueda ser analizado estudiando los movimientos transversales y longitudinales de esta, asumiéndolos independientes entre sí. Así se analiza por un lado el perfil de playa, eje transversal, y por otro lado la planta de la playa, eje longitudinal. Esta hipótesis es más aproximada a la realidad con los estados morfodinámicos de playa más extremos.

En cuanto a las escalas de los procesos: las dinámicas actuantes sobre la playa oleaje, corrientes, variaciones del nivel medio, aportaciones fluviales, etc. movilizan los sedimentos y modifican la forma de la playa. Estas dinámicas y los cambios de forma producidos son clasificables en determinadas escalas de espacio y tiempo. De esta manera, los modelos desarrollados para el estudio de la hidrodinámica, procesos de transporte y cambios de forma, suelen ser válidos en escalas acotadas en un rango espacio-temporal determinado. Estos cambios se han dividido en corto, medio y largo plazo o pequeña, media y gran escala. Por ello, cuando se pretende medir un determinado proceso, es necesario definir a priori las características del rango, resolución y precisión de las medidas.

A la hora de seleccionar un modelo de evolución, es importante tener en cuenta que, en la actualidad, no existe ningún modelo capaz de describir la morfodinámica de una playa en todo el rango de escalas espacio – temporales. Por ello, es muy importante, conocer la escala espacio – temporal del campo de aplicación de cada uno de los modelos.

Las escalas espaciales y temporales de los procesos que actúan en una playa están relativamente ligadas, por lo que podrían ser definidas conjuntamente. Se presenta, a continuación, las escalas espacio-temporales de algunos de los cambios morfológicos más importante que tienen lugar en las playas.

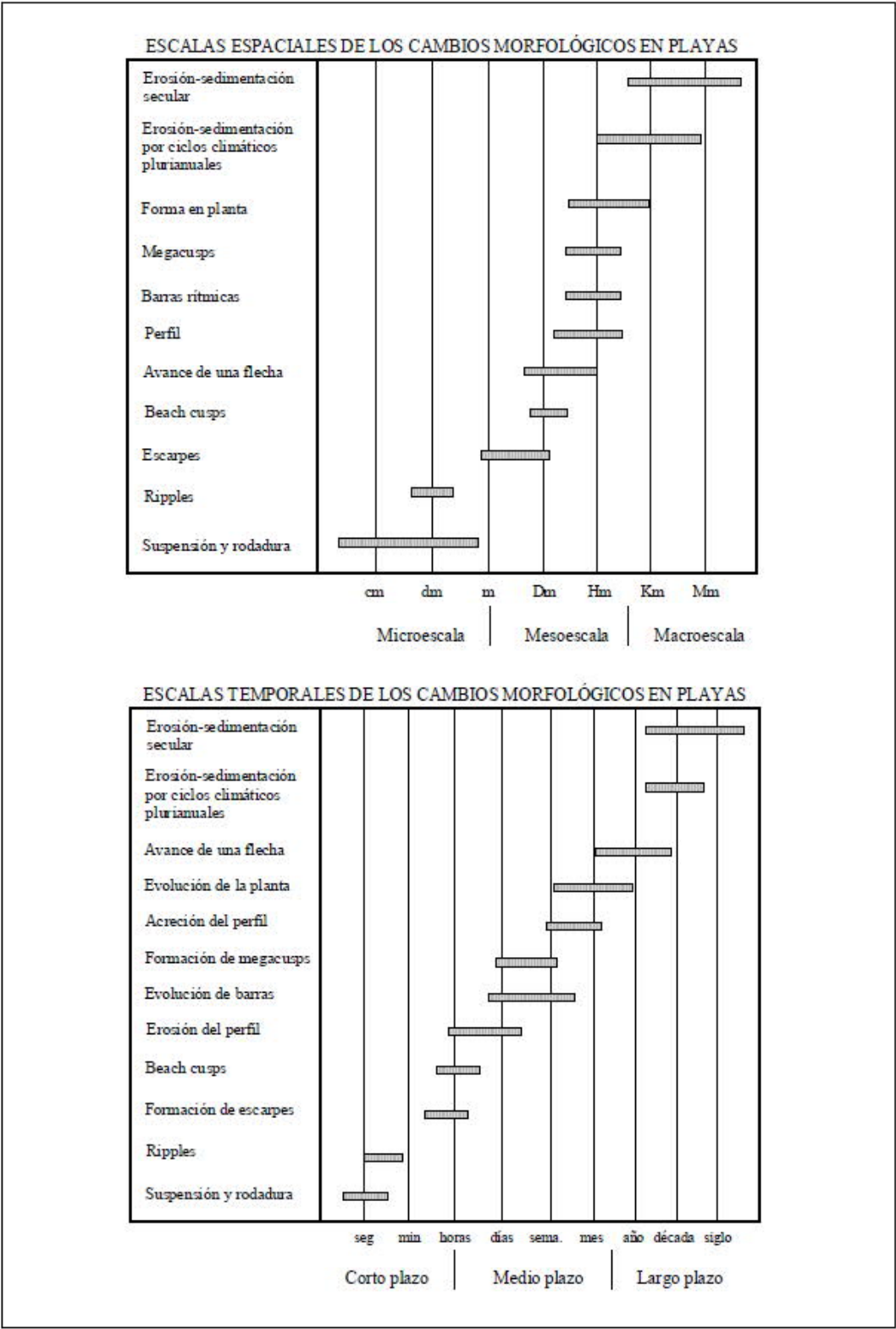


Ilustración 33: Escalas espaciales y temporales de los cambios en playas

Finalmente, aún en el caso de que los modelos de evolución morfodinámica fueran fiables, quedaría por resolver la naturaleza aleatoria de las acciones. Queda claro que cualquier modelo de evolución de playas debe tener en cuenta esta aleatoriedad, mediante el adecuado tratamiento estadístico de las variables de entrada y de los resultados.

Se concluye por lo tanto con las dos hipótesis básicas de cálculo de estabilidad y evolución de playas descritas:

- Se acepta, como hipótesis inicial, la ortogonalidad de los movimientos longitudinales y transversales de una playa. Consecuentemente, se admite que la estabilidad de esta puede ser analizada estudiando la estabilidad de su forma en planta y su perfil.
- Se separa el análisis de la estabilidad y evolución de la playa de acuerdo con las diferentes escalas de variabilidad de esta. En particular se analiza la estabilidad a Largo Plazo (años) y Corto Plazo (temporal).

5.2. LARGO PLAZO

El objetivo del análisis de largo plazo es predecir la forma en planta y perfil de la playa, para esta escala de tiempos, no intentan analizar los procesos sino magnitudes agregadas de los mismos.

Esta forma a la que se llega a largo plazo es la forma en equilibrio. Si la acción de las dinámicas actuantes (marinas y sedimentarias) se mantiene indefinidamente junto con los contornos, la forma de la playa alcanzará una posición final constante, en equilibrio “estático” o “dinámico” con dichas dinámicas.

En equilibrio “estático” el sistema de corrientes es prácticamente nulo (sin transporte litoral) y en equilibrio “dinámico” existe una corriente litoral acompañada de un transporte litoral. En la práctica no es necesario que la acción se mantenga indefinidamente, sino que la respuesta de la forma sea mucho más rápida que la escala de interés.

En el caso del perfil, se asume que las modificaciones del mismo se producen en escalas de tiempo que pueden ser consideradas como instantáneas en un estudio a largo plazo, lo que implica que el perfil siempre alcanza la posición de equilibrio.

En el caso de forma en planta, también se puede analizar la forma final de equilibrio, por un lado, se podría conseguir una situación de equilibrio “estático”. En el caso de playas abiertas no encajadas, se podría llegar a una forma de equilibrio “dinámico”, siempre y cuando se mantenga un balance entre el suministro de sedimentos, la dinámica marina y los contornos.

5.2.1. Perfil de equilibrio

Se define perfil de playa como la variación de la profundidad, h , con la distancia a la línea de costa, x , en la dirección normal a ésta: $h = f(x)$. Todos los perfiles de playa presentan una forma cóncava hacia arriba. Esta regularidad ha permitido el desarrollo de diferentes expresiones matemáticas que describen el perfil y la introducción del concepto de perfil de equilibrio.

El concepto de perfil de equilibrio ha sido definido por diferentes autores, aunque actualmente, el modelo de perfil de equilibrio más utilizado es el conocido perfil de Dean, probablemente por su simplicidad matemática, además de por haber sido ajustado a un número elevado de perfiles de playa. En un sentido amplio, el concepto de perfil de equilibrio se define como el resultado final de la acción de fuerzas constructivas y destructivas actuando sobre el perfil de una playa, por lo que es imprescindible conocerlo.

Dean ajusta el perfil de una playa a través de una expresión potencial donde la única variable es el llamado parámetro A , que Dean (1987) definió como una función del tamaño de grano:

$$h = A x^{2/3}$$

$$A = k w^{0.44}$$

siendo h la profundidad respecto al nivel medio en reposo, x la distancia horizontal desde la línea de costa, A un parámetro dimensional de forma, dependiente de las características del sedimento, w la velocidad de caída de grano $w = 273 D_{50}^{1.1}$ y k un parámetro de valor 0,51 propuesto por Dean.

La profundidad de cierre, h^* , es la profundidad del perfil activo, está relacionado con las condiciones de oleaje. Hallermeier (1978) propuso la zonificación de la playa en función de la variabilidad a lo largo del tiempo y de los modos de transporte dominantes, una zona exterior en la que no se producen cambios, zona de asomeramiento donde los cambios son muy pequeños y por causa del transporte transversal y la zona litoral en la que se producen grandes cambios debido al transporte tanto transversal como longitudinal. Con esta clasificación define la profundidad de cierre como el límite exterior de la zona litoral y ha obtenido la siguiente relación en función de H_{s12} y el periodo asociado T_c , altura de ola superada 12 horas al año y periodo asociado:

$$h^* = 1,75 H_{s12} + 57,9 \frac{H_{s12}^2}{g T_c^2}$$

Tras el cálculo de la profundidad de cierre con H_{s12} y T_c en los puntos de difracción se obtuvieron las profundidades de cierre, datos que se utilizan para definir los perfiles.

Se presentan estos parámetros en la siguiente tabla para el perfil de la playa norte y las dos alternativas de la playa oeste (con el contradique actual y retranqueando 200 m).

Perfil	D_{50} (cm)	A	H_{s12} (m)	T_p (s)	h^* (m)
Playa norte A1 y A2	0,21	0,10	0,98	6,49	1,85
Playa oeste A1	0,14	0,82	1,20	7,06	2,28
Playa oeste A2	0,14	0,82	1,38	6,51	2,69
Playa norte A3	0,19	0,09	2,37	9,15	3,75
Playa sur A3	0,21	0,10	2,53	9,04	3,96

Se muestran a continuación los perfiles en cada una de las playas:

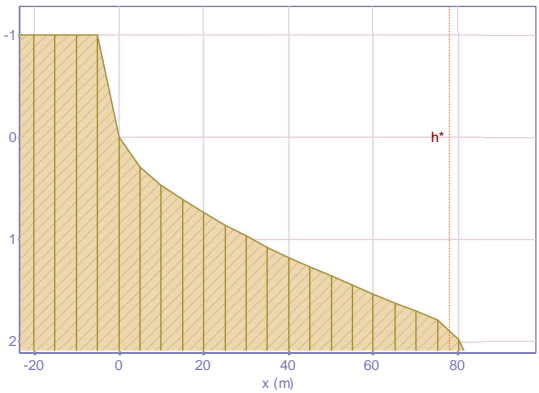


Ilustración 34: Perfil de equilibrio de la playa norte para las alternativas 1 y 2

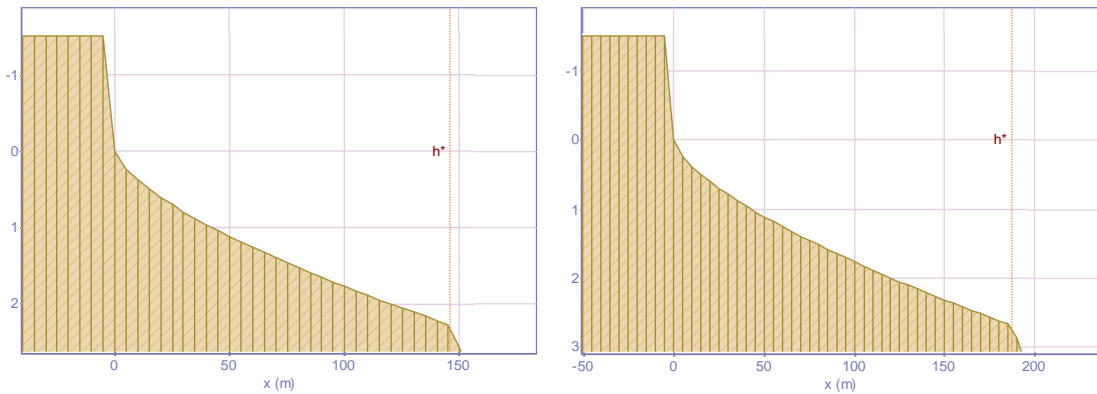


Ilustración 35: Perfil de equilibrio de la playa oeste con el contradique actual (alternativa 1), (derecha) y retrocediendo 200m (alternativa 2), (izquierda)

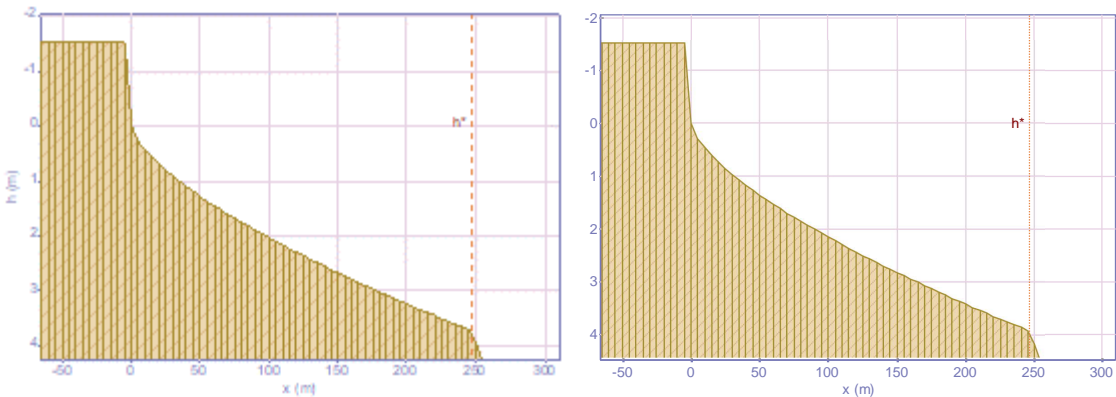


Ilustración 36. Perfil de equilibrio de la playa norte de la alternativa 3, playa norte (izquierda) y playa sur (derecha)

5.2.2. Forma en planta de equilibrio

Se entiende que una playa ha alcanzado una forma en planta de equilibrio si dicha forma en planta no varía bajo la acción de un oleaje incidente constante en el tiempo. Existen dos tipos de equilibrio: el estático y el dinámico.

Si además de mantener una forma constante en el tiempo, el transporte litoral neto es nulo, la playa estará en equilibrio estático.

Para que esto ocurra es necesario que las corrientes longitudinales se anulen existiendo, por tanto, un equilibrio entre las corrientes generadas por el gradiente de altura de ola y por la incidencia oblicua del oleaje en la zona de rompiente. Estableciendo como condición la igualdad entre ambas corrientes puede encontrarse la forma en planta de la playa requerida para satisfacer la igualdad. Otra posibilidad es que existan corrientes pero que la cantidad de sedimento que entra sea igual a la que sale, esto se da en playas paralelas a los frentes. Mientras que el equilibrio en playas generadas por un punto de difracción es necesario la condición de anulación de corrientes y la forma en planta de la playa adoptará una curvatura en forma de “gancho” o “medio-corazón” característica.

La existencia de una playa en equilibrio, tal y como se ha definido no es posible en la naturaleza, puesto que el oleaje está continuamente cambiando. Sin embargo, la reducida velocidad de cambio de la forma en planta, en relación con la velocidad de cambio de las características del oleaje, da como resultado que la forma en planta no sea capaz de responder instantáneamente a los cambios del oleaje y tienda a ubicarse en disposición de equilibrio con las características medias energéticas del mismo.

La playa de estudio dispone de dos zonas diferenciadas debido a los dos puntos de difracción que le dan forma, el de la playa norte y el de la playa oeste. Este último varía según la alternativa seleccionada.

Antes de realizar la descripción de las zonas donde las plantas son determinadas por puntos de difracción es necesario explicar el modelo para la predicción de la forma en planta de equilibrio.

El objetivo de los modelos de forma en planta de playas es la predicción de la misma, conocidos las condiciones de contorno y las características del oleaje y de los sedimentos. Se ha utilizado SMC para definir la forma en planta de esta playa, el cual aplica el modelo de la parábola de H_{su} y Evans con las mejoras añadidas por González (1995), el cual llega a la siguiente ecuación diferencial para la línea de costa:

$$X_s = x_b + K_2 \times \Delta H_b$$

donde la forma en planta de la costa de equilibrio, x_s , se define por la forma en planta de la curva de rotura del oleaje, x_b más una cantidad proporcional al gradiente longitudinal de la altura de ola en rotura. Cuando un oleaje incide en una barrera o dique se presentan efectos de refracción y difracción detrás del mismo, quedando definidas tres regiones desde el punto de vista del oleaje: región 1, donde no existe efecto del dique sobre el oleaje y los gradientes de altura de ola en rotura son nulos, región 2, donde los frentes no se ven modificados en su dirección de propagación, pero la difracción en el dique crea un gradiente longitudinal de altura de ola y región 3, donde la refracción y la difracción se combinan para alterar tanto la dirección de propagación de los frentes como para alterar la altura de ola en rotura. El punto P_o corresponde al límite entre las regiones 1 y 2. En la región 1, la línea de costa coincide con la curva en planta del oleaje en rotura, $x_s = x_b$.

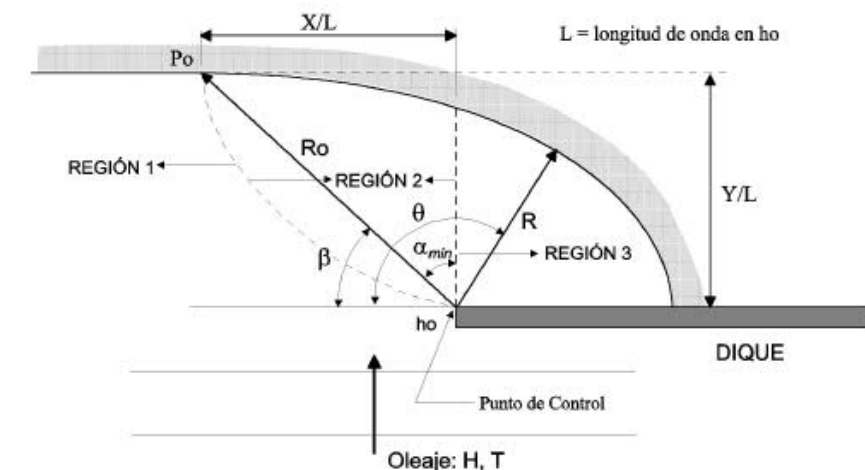


Ilustración 37: Esquema general de una playa encajada en equilibrio estático

Como se ha indicado, González propone la utilización de la parábola de H_{su} y Evans (1989), dada por la siguiente expresión:

$$\frac{R}{R_o} = C_0 + C_1 \frac{\beta}{\theta} + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2$$

Aplicado este modelo a la zona de estudio, con los puntos de difracción marcados y la dirección del flujo de energía calculada, se define la siguiente forma en planta de equilibrio para las tres alternativas estudiadas.

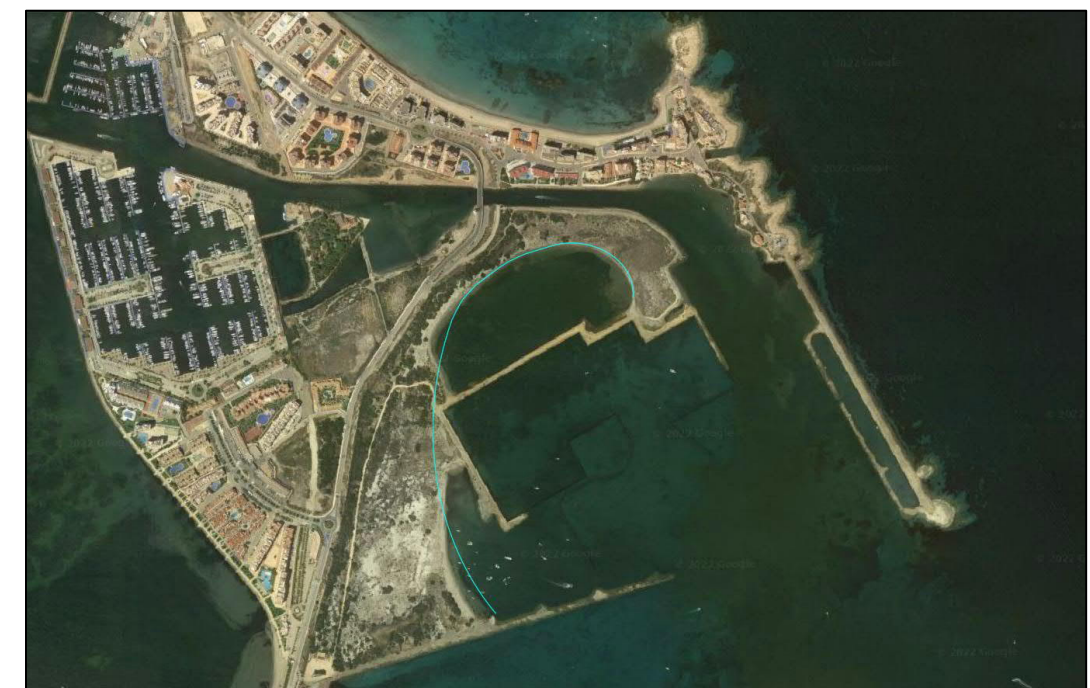


Ilustración 38: Forma en planta y flujo de energía de la alternativa 1



Ilustración 39: Forma en planta y flujo de energía de la alternativa 2



Ilustración 40: Forma en planta de la alternativa 3

Como se observa en las imágenes anteriores, no se esperan modificaciones significativas en la playa norte, mientras que la playa oeste cambiará notablemente su línea de costa con la eliminación de las tablaestacas. Por otra parte, el retranqueo del contradique que se plantea para la alternativa 2, conduce a un ancho de playa seca más uniforme al llevar la zona de transición entre playas más al norte, lo cual servirá para evitar problemas de erosión en zonas con un ancho de playa reducido.

Finalmente, la alternativa 3 conllevará una línea de costa similar a la de la fotografía de la Ilustración 9 del año 1957, ya que se elimina el contradique y dique principal. Se trata de una línea de costa continua entre la zona sur previa al contradique y la desembocadura. Los rellenos efectuados en la zona se redistribuirán y a causa de esto, la línea de costa de esta playa exterior al sur del puerto avanzará en los primeros metros. En caso de eliminar el material de los rellenos, la playa encajaría con la actual ya que, como se puede ver en la forma en planta, esta es paralela a la actual.

5.3. CORTO PLAZO

Como ya se ha dicho, es necesaria la división en escalas temporales y espaciales para la evaluación hidromorfológica de una playa. El corto plazo se corresponde con una escala temporal de horas-días, es decir, eventos especiales. Estos eventos son los que mayores cambios generen en la zona de estudio, los temporales.

Por lo tanto, en este apartado se realiza un estudio de la respuesta del perfil y de la planta ante los temporales que mayor afección producen, y más probables, como se vio en el capítulo del de la dinámica marina.

5.3.1. Perfil

El programa Petra es un modelo numérico de evolución morfológica del Perfil transversal de una playa, forma parte de las herramientas de análisis del modelo de análisis a corto plazo de playas. Este permite conocer la respuesta del perfil de playa ante un evento de temporal en términos de retroceso de la línea de costa y de la forma final del perfil.

Se trata de un modelo de evolución del perfil 2DV está formado por un modelo externo de oleaje y un modelo de corrientes promediado en el periodo del oleaje, por lo que, su resolución temporal será superior al periodo del oleaje. Este modelo no resuelve las formas de microescala como ripples, dunas y antidunas.

Estudiado el clima marítimo en la playa se evalúan tres perfiles en la playa frente al temporal de la altura de ola superada 12 horas al año en el punto de difracción correspondiente a cada playa, obtenido de la reconstrucción de la propagación. Se resumen las variables implicadas para cada perfil en la siguiente tabla:

Tabla 11. Características del temporal representativo para cada perfil

Perfil	1	2	3
H_{s12} (m)	0,98	1,20	1,38
T_p (s)	6,49	7,06	6,51
Dirección oleaje (°)	162,69	125,43	128,75
Punto difracción Alternativa 1	A	B	B
Θ : ángulo perfil – oleaje (A1)	11	28	54

Punto difracción Alternativa 2	A	C	C
Θ : ángulo perfil – oleaje (A2)	11	31	57

Los perfiles analizados serán los mismos que se analizaron en largo plazo se muestran en la siguiente figura:



Ilustración 41: Ubicación de los perfiles estudiados a corto plazo

Con condiciones de oleaje fuerte los perfiles de las playas sufren variaciones, cambian del llamado perfil de verano a invierno. El perfil de verano es un perfil más reflejante con mayor pendiente y por lo tanto con la llegada de los temporales se erosiona de la parte superior del perfil, como se pueden ver en ocasiones en las playas, y se acumula en forma de barra sumergida. En el momento que el oleaje es más calmado empuja el sedimento hacia la playa, generando una playa seca de mayor anchura.

Se analizó la evolución los perfiles de equilibrio resultantes de las características de las playas frente a los temporales tipo obteniendo los siguientes gráficos del perfil a las 6 y 12 horas de temporal. Se puede observar cómo se genera una erosión en el frente de playa, ya que es la sección que queda expuesta a la acción del flujo ascendente y descendente del oleaje. Este sedimento se deposita en la zona sumergida del perfil como mecanismo de defensa. La distancia erosionada desde la línea de costa al punto más alejado afectado por la erosión es el retranqueo, se expone el valor para cada perfil en la Tabla 12 junto con el retroceso de la línea de costa en el plano horizontal. Se puede observar que para los perfiles de la alternativa 2 ambos valores son menores que para la alternativa 1.

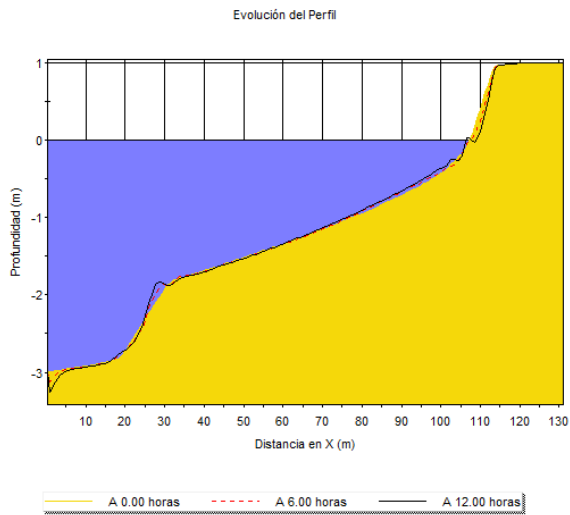


Ilustración 42: Evolución del perfil 1 frente al temporal tipo

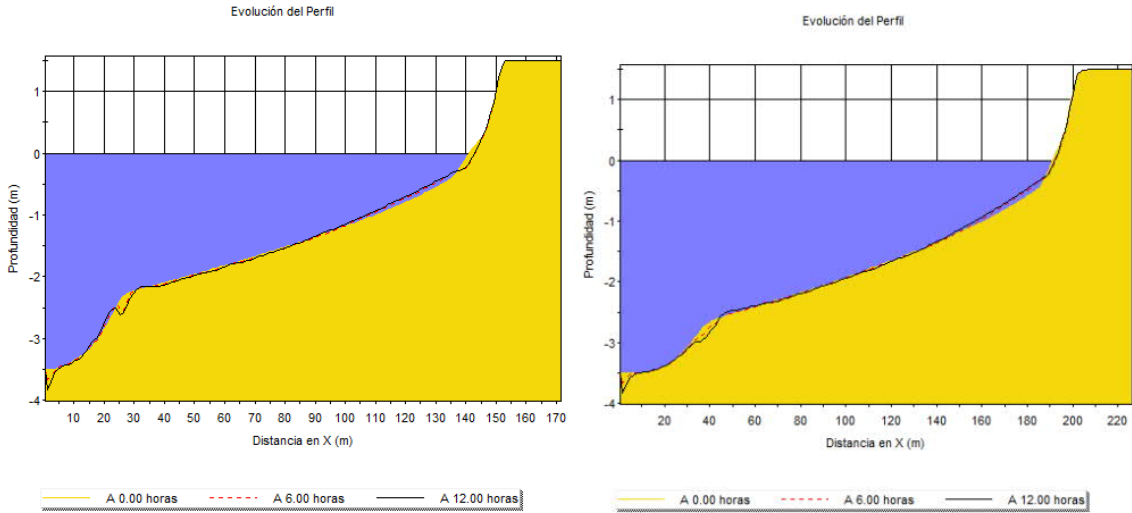


Ilustración 43: Evolución del perfil 2 frente al temporal tipo: alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha)

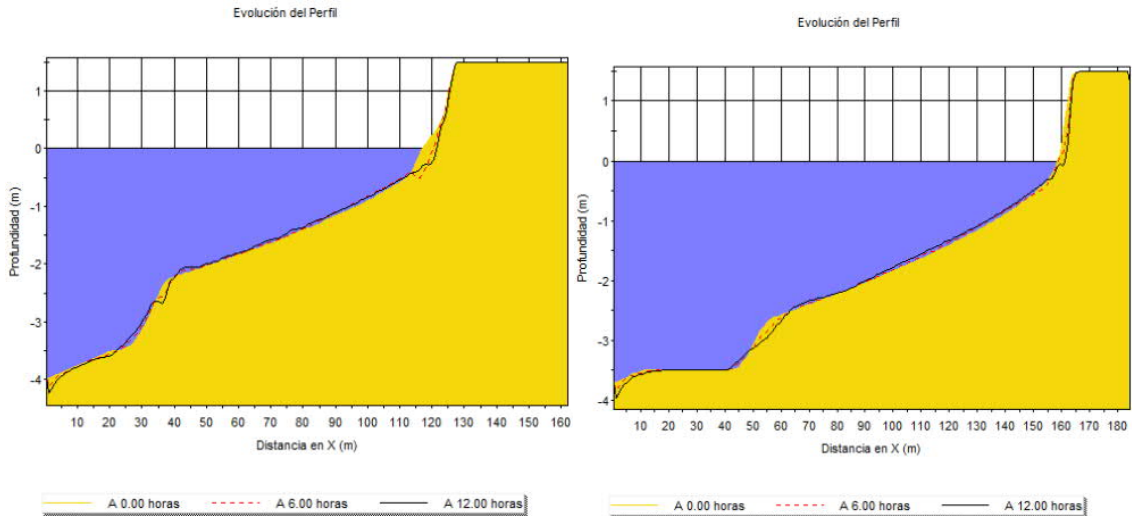


Ilustración 44: Evolución del perfil 3 frente al temporal tipo: alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha)

Tabla 12. Retroceso y retranqueo de los perfiles en ambas alternativas estudiadas

Medida	Perfil 1	Perfil 2		Perfil 3	
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 1	Alternativa 2
Retroceso (m)	1,55	2,1	1,58	4,4	2,75
Retranqueo (m)	7,1	9,05	8,85	9,1	5,25

5.3.2. Planta

Como se vio con anterioridad, las corrientes son las responsables del transporte de sedimentos en planta. Por lo tanto, en este apartado se analiza el sistema de corrientes para los temporales tipo analizados anteriormente en la sección 4.3.

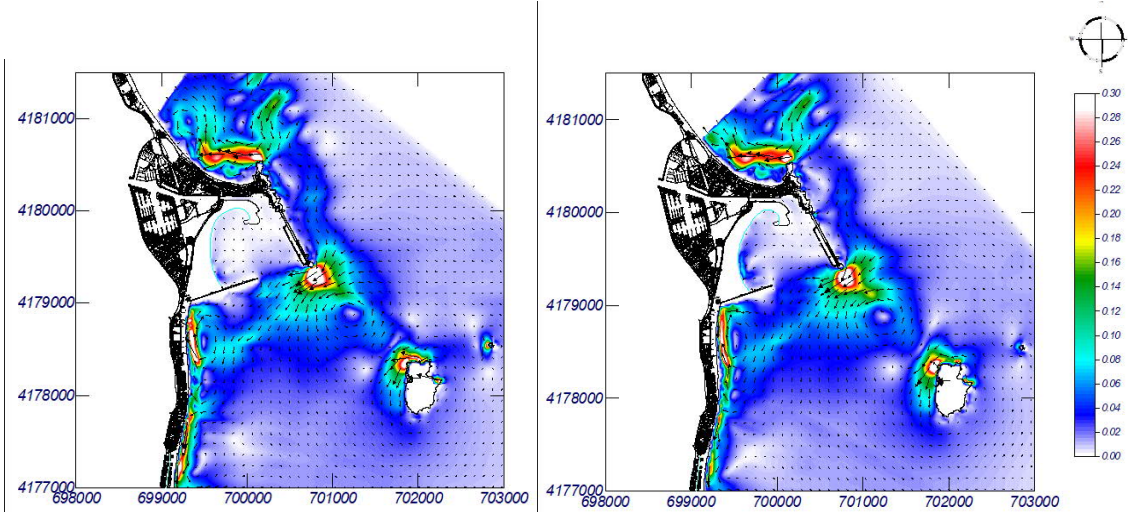


Ilustración 45: Casos de temporal con direcciones NE para la alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha)

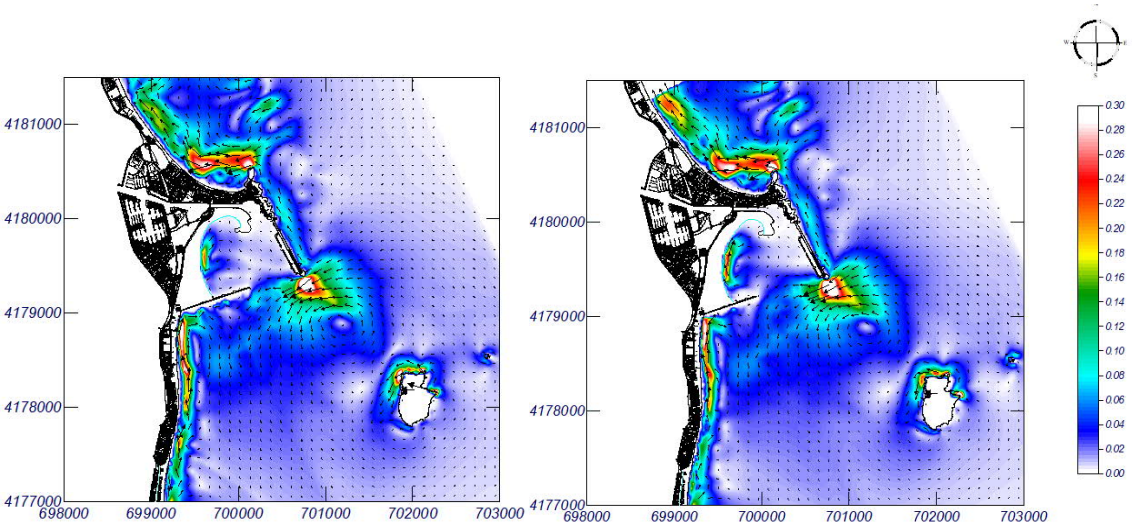


Ilustración 46: Casos de temporal con direcciones ENE para la alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha)

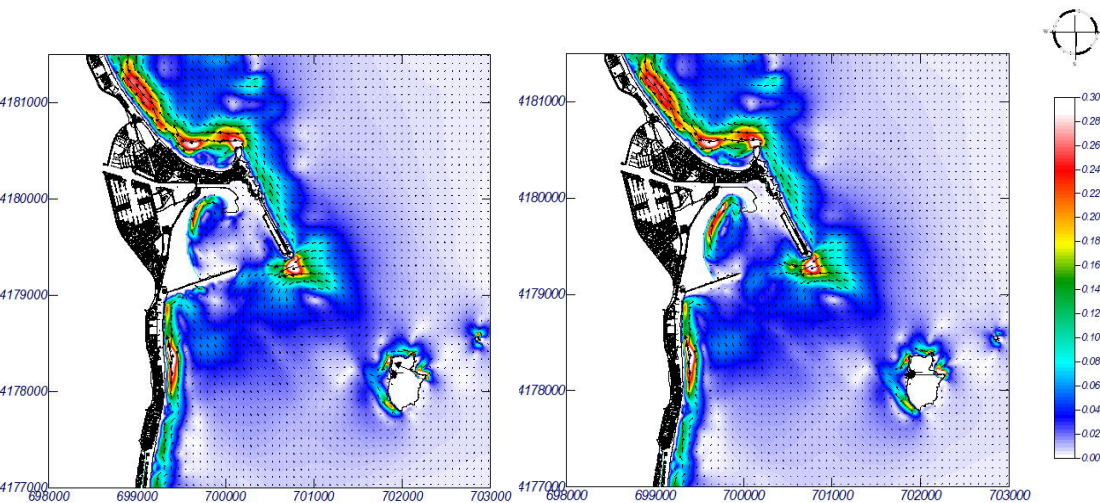


Ilustración 47: Casos de temporal con direcciones E para la alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha)

En todos los temporales de estudio la corriente generada discurre en dirección SSO-NNE provocada por el gradiente de altura de ola. Por este motivo es menos intensa para los temporales con dirección NE y aumenta su magnitud cuanto más hacia el E, alcanzando valores máximos de 0,24m/s para la dirección ENE y de 0,3m/s para la dirección E. En los casos de oleaje medio, el patrón de circulación que se genera en la playa es el mismo que en los temporales, variando también la intensidad con la dirección. En cualquier caso, la magnitud de la corriente se sitúa por debajo de 0,04m/s.

Esta corriente arrastrará los sedimentos a la zona norte de la playa y posteriormente a la zona central en la parte baja en perfil, ya que se forma una corriente circular contenida entre el contradique del puerto y el punto de difracción de la playa norte. Cabe destacar que el sedimento no saldrá de la playa y por tanto no se producirá erosión de la línea de costa a largo plazo.

5.4. MODELO MORFODINÁMICO

Con el fin de comprender el funcionamiento morfodinámico de la playa de estudio se ha realizado un análisis de la dinámica litoral de acuerdo con las escalas temporales y espaciales, como se detalla a lo largo de este capítulo.

En este apartado se resumen las conclusiones obtenidas del estudio de dinámica litoral con el objeto de explicar el modelo de funcionamiento morfodinámico. Se realiza de forma paralela para las alternativas 1, 2 y 3, considerando en la alternativa 1 la extracción de las tablestacas, en la alternativa 2 además de esto la eliminación los últimos 200m del contradique. La alternativa 3 implica adicionalmente la retirada del dique principal y del contradique.

El estado de equilibrio se alcanza en condiciones de oleajes medios, necesitando periodos prolongados de tiempo (semanas a meses) en que la playa alcanza su estado más evolucionado. Por lo tanto, tiende a adoptar la forma en planta teórica estudiada a largo plazo en función del flujo de energía en los puntos de difracción. De este modo, las formas en planta esperadas son las que siguen.

Se observa como en las alternativas 1 y 2 las playas quedan encajadas entre el contradique y la gola, mientras que en la alternativa 3 se aprecia una variación importante de la línea de costa,

especialmente en la playa sur, donde se forma una continuidad con las playas situadas al sur del contradique actual y la playa seca aumenta, consiguiendo una renaturalización del entorno.



Ilustración 48: Forma en planta de equilibrio de la alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha)

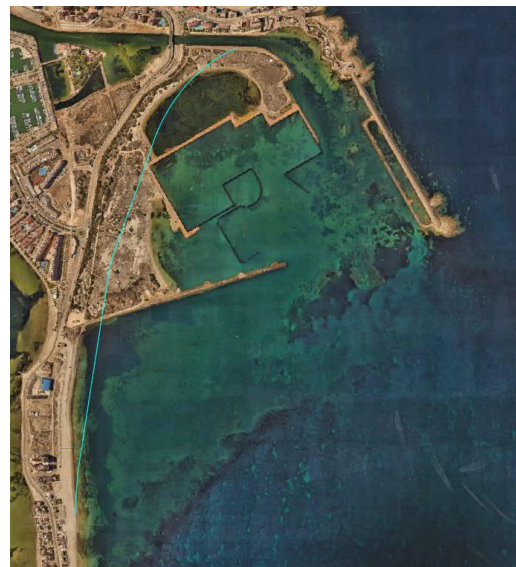


Ilustración 49: Forma en planta de la alternativa 3

Los perfiles de playa se espera que sean cercanos al perfil teórico de Dean en su situación de equilibrio. Se obtuvieron estos perfiles con en base a los sedimentos de cada zona, se muestran a continuación:

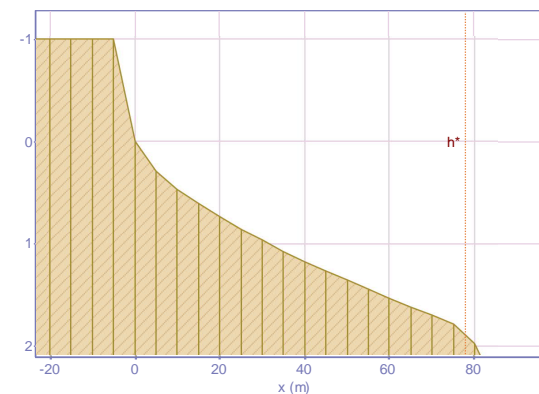


Ilustración 50: Perfil de equilibrio de la playa norte

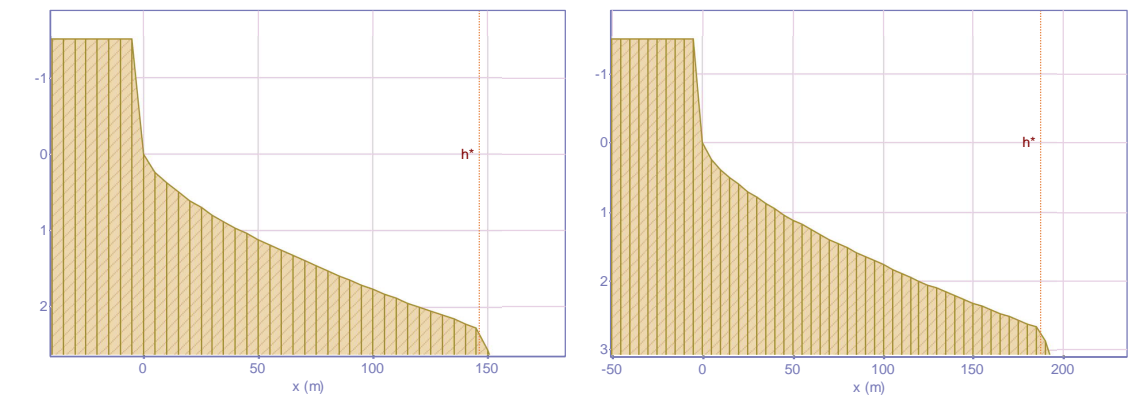


Ilustración 51: Perfil de equilibrio de la playa oeste con el contradique actual (alternativa 1) y retrocediendo 200m (alternativa 2).

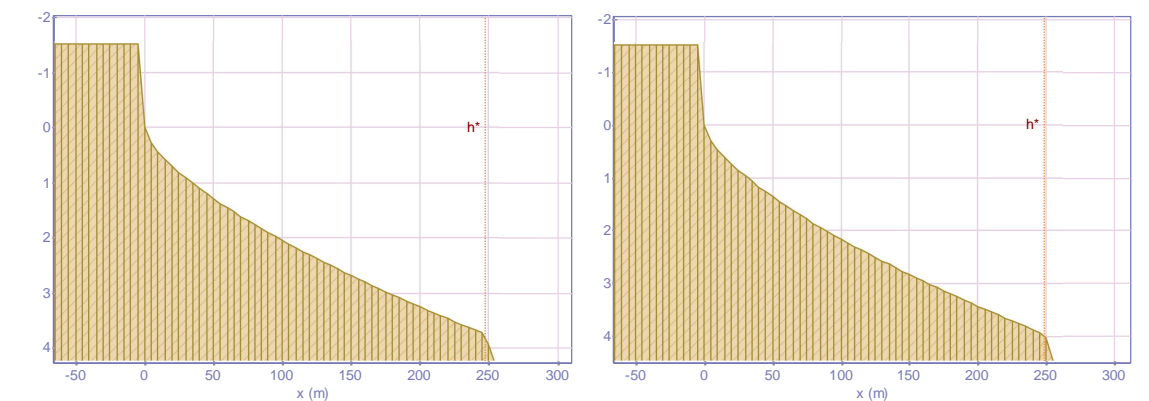


Ilustración 52: Perfil de equilibrio de la playa norte de la alternativa 3, playa norte (izquierda) y playa sur (derecha)

Sin embargo, reduciendo la escala temporal a eventos de temporal, esta forma de la playa se puede ver afectada. El sistema circulatorio pone en evidencia las zonas de erosión y sedimentación de los temporales analizados, identificadas en amarillo y verde respectivamente en las siguientes imágenes. Se puede observar una zona de erosión donde las corrientes son más intensas en la zona más somera del perfil de la parte central de la playa. La corriente transporta este sedimento hasta las zonas más profundas del perfil.

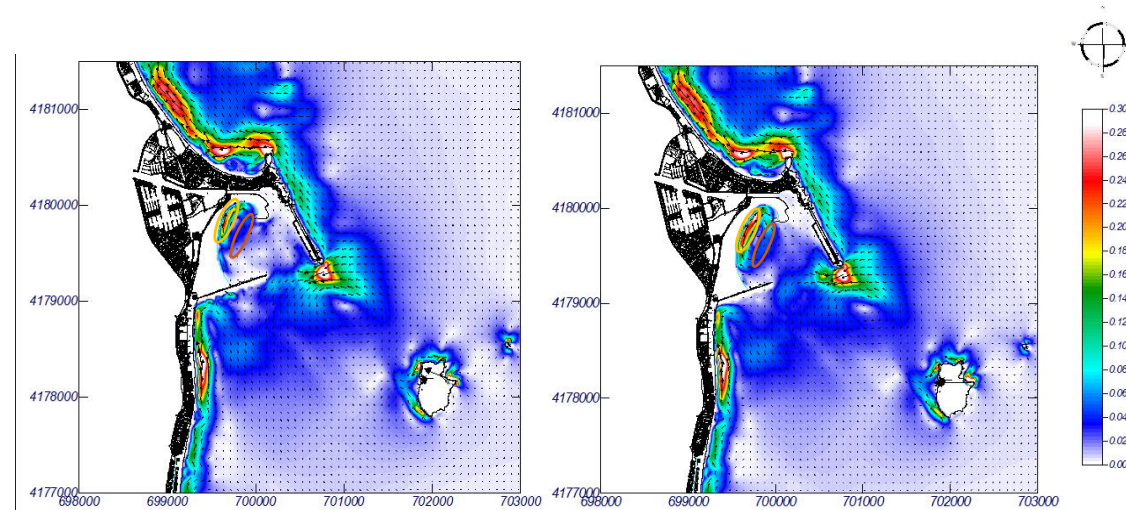


Ilustración 53: Patrón de corrientes generado por un temporal de dirección E en la alternativa 1 (izquierda) y la alternativa 2 (derecha)

Adicionalmente, la respuesta del perfil durante el oleaje de temporales, que tienen lugar desde unas pocas horas a algunas semanas, es la erosión de la parte alta de la playa conformándose una playa disipativa con mayor pendiente. La playa norte no presenta cambios en las alternativas, mientras que los perfiles de la playa oeste tendrán un mayor retroceso y retranqueo de la línea de costa en la alternativa 1 (Ilustración 55).

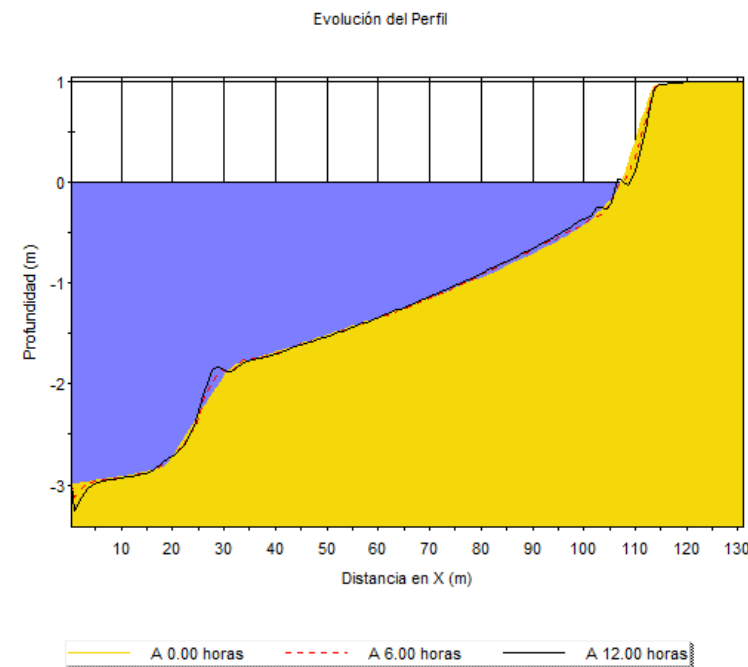


Ilustración 54: Evolución del perfil 1 frente al temporal tipo

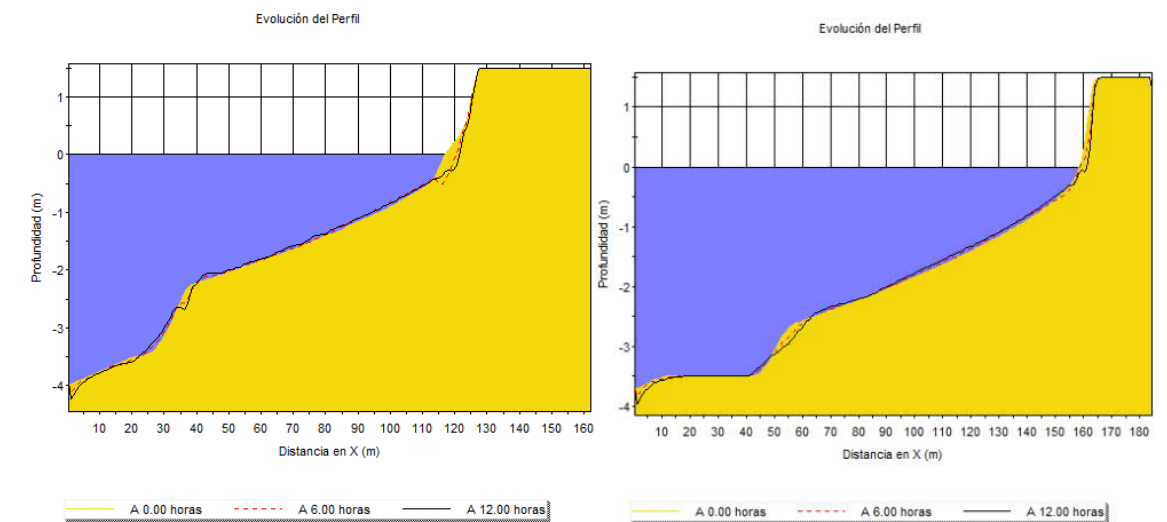


Ilustración 55: Evolución del perfil 3 frente al temporal tipo: alternativa 1 (izquierda) y alternativa 2 (derecha)

En ambas alternativas, esta arena que es bajada en los temporales, tanto por planta como por perfil, es transportada nuevamente a la playa con oleajes medios en un periodo de tiempo mayor. Creándose de este modo un equilibrio dinámico en la playa sin pérdidas de sedimento.

Finalmente, cabe mencionar que las alternativas 1 y 2 no tienen influencia en las playas al sur ni al norte de Puerto Mayor, ya que las modificaciones se encuentran encajadas entre el contradique y la desembocadura del norte. Mientras que la alternativa 3 sí que implica una modificación de las playas al sur de Puerto Mayor, debido a la renaturalización del entorno.

6. DINÁMICA LITORAL DE LAS ALTERNATIVAS CONSIDERANDO LA AFECCIÓN POR CAMBIO CLIMÁTICO

Las zonas costeras son un área de interfase que las hacen especialmente dinámicas y por tanto sensibles a los cambios climáticos. Los potenciales impactos están relacionados con las variaciones de los forzamientos como son el aumento del nivel del mar y la acción del oleaje. Estos pueden provocar consecuencias destacables en los diferentes elementos que configuran la zona costera. Por ello, este apartado se destina al estudio de la evolución de la playa en las tres alternativas analizadas en el presente trabajo a muy largo plazo teniendo en cuenta dos escenarios climáticos, el RCP 4.5 y 8.5, en el horizonte temporal de 2100.

Los agentes involucrados se definen en base a unos parámetros básicos: el nivel del mar, la altura de ola significativa, el periodo pico y dirección del oleaje. Se analizaron las variaciones de estos factores con la información recogida en las dos fuentes de referencia más actualizadas:

- El visor de C3E de IH Cantabria (<https://c3e.ihcantabria.com/>). Para ello se utilizó el punto situado al frente de la zona de interés con longitud -0.6667°E y latitud 37.75°N (Ilustración 56).
- El visor PIMA de Murcia (<https://pimamurcia.ihcantabria.es/visor/>). Para ello se utilizó el punto situado al frente de la zona de interés con longitud -0.7145°E y latitud 37.7413°N.

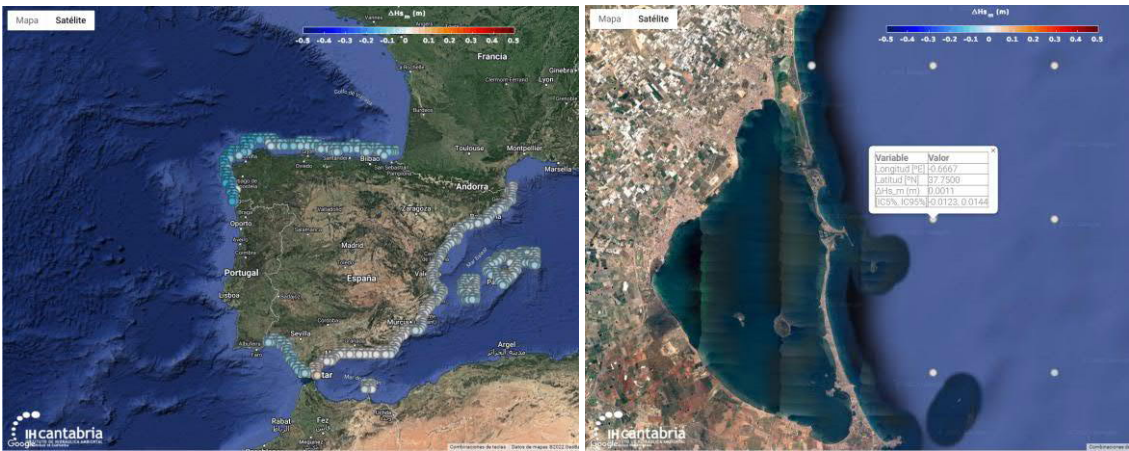


Ilustración 56. Visor C3E del IH Cantabria y ubicación del punto de datos utilizado

Se recogen en la Tabla 13 y en la Tabla 14 las variaciones de la altura de ola significativa y el periodo pico, respectivamente. Asimismo, se incluyeron los intervalos de confianza de 5% y 95% de las mismas. Como se puede observar, los incrementos o disminuciones son del orden de magnitud inferior a centímetros, alcanzando el valor máximo de 2 cm en el intervalo de confianza del 5% en el RCP 4.5.

En cuanto al periodo pico del oleaje, las modificaciones son dos órdenes de magnitud inferiores al segundo en ambos intervalos de confianza. De modo general, las variaciones en estos parámetros son tan pequeñas que se considera que su influencia en las playas sea mínima. Cabe tener en cuenta que estas variables modifican el perfil de la playa principalmente y la profundidad de cierre está varios metros lejos de salir de la zona confinada.

Tabla 13. Variaciones de la altura de ola significativa para el horizonte temporal de 2100

	ΔH_s (m)	Hs IC5% (m)	Hs IC95% (m)
RCP 4.5	-0,0068	-0,0208	0,0073
RCP 8.5	0,0011	-0,0123	0,0144

Tabla 14. Variaciones del periodo pico para el horizonte temporal de 2100

	ΔT_p (s)	T_p IC5% (s)	T_p IC95% (s)
RCP 4.5	-0,0257	-0,0641	0,0127
RCP 8.5	-0,0558	-0,0789	-0,0328

Por otra parte, la dirección del flujo de energía es el principal factor determinante para la forma en planta de equilibrio. Este es función de la altura de ola significativa y la dirección del oleaje, a pesar de que la H_s no sufre variaciones, en la dirección se obtuvieron variaciones de hasta 4°. Como se observa en la Tabla 15, las previsiones para el RCP 4.5 y 8.5 indican una reducción de entre 1° y 2° aproximada y respectivamente. Teniendo en cuenta los intervalos de confianza, la disminución podría superar los 4° o aumentar más de 1°.

Tabla 15. Variaciones de la dirección del oleaje para el horizonte temporal de 2100

	ΔDir (°)	IC5% (°)	IC95% (°)
RCP 4.5	-0,8818	-2,9196	1,1559
RCP 8.5	-1,9283	-4,3011	0,4444

En base a lo expuesto, se recalcularon los flujos de energía en cada uno de los puntos de difracción utilizados en las formas en planta de las alternativas estudiadas. Para ello se aplicaron las variaciones, correspondientes a ambos intervalos de confianza mencionados, a la serie completa de estados de mar en cada uno de los puntos y para cada RCP. De esta forma se obtuvieron los valores recogidos en la Tabla 16, donde se comparan con los flujos actuales. Se puede observar como en el RCP 4.5 el cambio se sitúa en torno a $\pm 3^\circ$ en comparación al vigente,

mientras que en el RCP 8.5, el más pesimista, alcanza variaciones de -7° en el intervalo de confianza de 5% y se mantiene similar al actual para el intervalo del 95%.

Tabla 16. Flujos de energía actual y en los dos RCPs de estudio para el horizonte temporal de 2100

	Actual	RCP 4.5		RCP 8.5	
		IC5%	IC95%	IC5%	IC95%
Punto A	S20.4E	S23.3E	S22.1E	S24.7E	S19.9E
Punto B	S64.0E	S66.9E	S62.8E	S71.2E	S63.5E
Punto C	S51.7E	S54.6E	S50.5E	S58.9E	S51.2E
Punto 1	N79.3E	N76.4E	N80.5E	N75E	N79.8E
Punto 2	N81.5E	N78.5E	N82.6E	N77.2E	N81.9E

Se aplicaron los valores de los nuevos flujos de energía a las formas en planta de las alternativas estudiadas. Se presentan en las siguientes imágenes, diferenciando por RCP, marcadas en verde la correspondiente al intervalo de confianza del 5%, en rojo la del 95% y en azul la propuesta como actual. No se definió la unión de la playa norte y sur para permitir la apreciación de la diferencia entre situaciones.



Ilustración 57. Formas en planta actual (azul), para el intervalo de confianza de 5% (verde) e intervalo de confianza de 95% (rojo) de la alternativa 1 en el RCP 4.5 (derecha) y el RCP 8.5 (izquierda)



Ilustración 58. Formas en planta actual (azul), para el intervalo de confianza de 5% (verde) e intervalo de confianza de 95% (rojo) de la alternativa 2 en el RCP 4.5 (derecha) y el RCP 8.5 (izquierda)

En las alternativas 1 y 2, las playas de estudio generan una playa confinada, es decir, limitada en sus contornos laterales por una estructura “natural” en el norte y una artificial al sur, el contradique, los cuales limitan su dinámica longitudinal. De este modo, y dada la extensión de la misma, los dos puntos de difracción generan dos parábolas en cada extremo sin llegar a disponer de una zona intermedia perpendicular al flujo de energía del oleaje. Al modificar el flujo en los puntos de difracción se observa como la parte de la curvatura sufre pequeñas variaciones, siendo apreciables en donde comienza la zona recta de cada playa (área de transición). Por lo tanto, se puede concluir que las variaciones de los forzadores debido al cambio climático modificarán ligeramente la forma en planta de las playas sin llegar a afectar a zonas construidas dado el tamaño del ancho de playa seca.

La alternativa 3 presenta ciertas diferencias respecto a las anteriores. La playa norte de esta alternativa es de las mismas características, una playa en forma de gancho sin alcanzar su forma recta perpendicular al oleaje, por lo que los cambios son muy leves. Sin embargo, la playa sur es de mayor longitud y no está definida en su totalidad por la forma en gancho. Debido a esto, es más sensible a las variaciones del flujo de energía. Se puede observar como el cambio en la dirección hará que sufra una distribución del sedimento avanzando y retrocediendo la línea de costa en las diferentes zonas.

Otro aspecto a tener en cuenta en la alternativa 3, en la que se propone dismantelar el espigón Sur y el dique de abrigo Norte, es el Canal del Estacio que puede verse afectado debido al transporte de sedimentos dirección Sur-Norte pudiendo afectar la navegabilidad del mismo. Es preciso realizar un estudio detallado para conocer el grado de alcance del mismo.

Para analizar y valorar de forma más detallada esta alternativa bajo los efectos del cambio climático se debería realizar un estudio pormenorizado de toda la costa Sur de la Manga del Mar Menor, de tal manera que se tenga en cuenta toda la unidad fisiográfica completa.



Ilustración 59. Formas en planta actual (azul), para el intervalo de confianza de 5% (verde) e intervalo de confianza de 95% (rojo) de la alternativa 2 en el RCP 4.5 (derecha) y el RCP 8.5 (izquierda)

Por último, para analizar el aumento del nivel medio del mar (ANMM) se han utilizado los datos del visor PIMA de Murcia en el punto más próximo a la zona de estudio obteniendo los siguientes resultados.

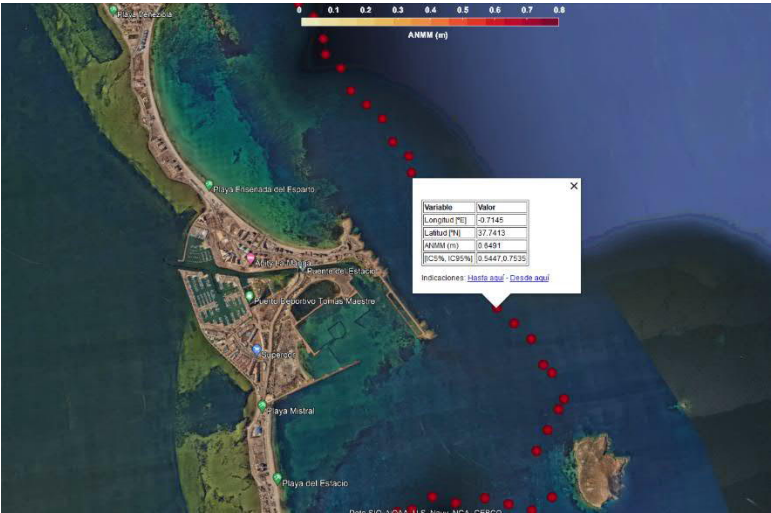


Ilustración 60. Visor PIMA Murcia y ubicación del punto de datos utilizado

Tabla 17. Aumento del nivel medio del mar para el horizonte temporal de 2100

	Δ NMM (m)	ANMM IC5% (m)	ANMM IC95% (m)
RCP 4.5	0,4570	0,3872	0,5268
RCP 8.5	0,6491	0,5447	0,7535

Como se puede observar los valores que se obtienen de aumento del nivel del mar para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el horizonte 2100 son de 46 cm y 65 cm, respectivamente. Incluso llegando a valores superiores en el IC95% de 53 cm y 75 cm, respectivamente.

Este aumento del nivel medio del mar a muy largo plazo va a provocar un retroceso de la línea de costa que puede alcanzar los 11 metros en el RCP 4.5 y los 49 metros en el RCP 8.5, ambos en el horizonte de 2100, en la zona próxima al espigón Sur.



Ilustración 61. Retroceso de la línea de costa en el horizonte de 2100, visor PIMA Murcia. Línea azul: RCP 4.5. Línea roja: RCP 8.5.

7. ANEXO 1: Resultados de sistema de corrientes: Alternativa 1

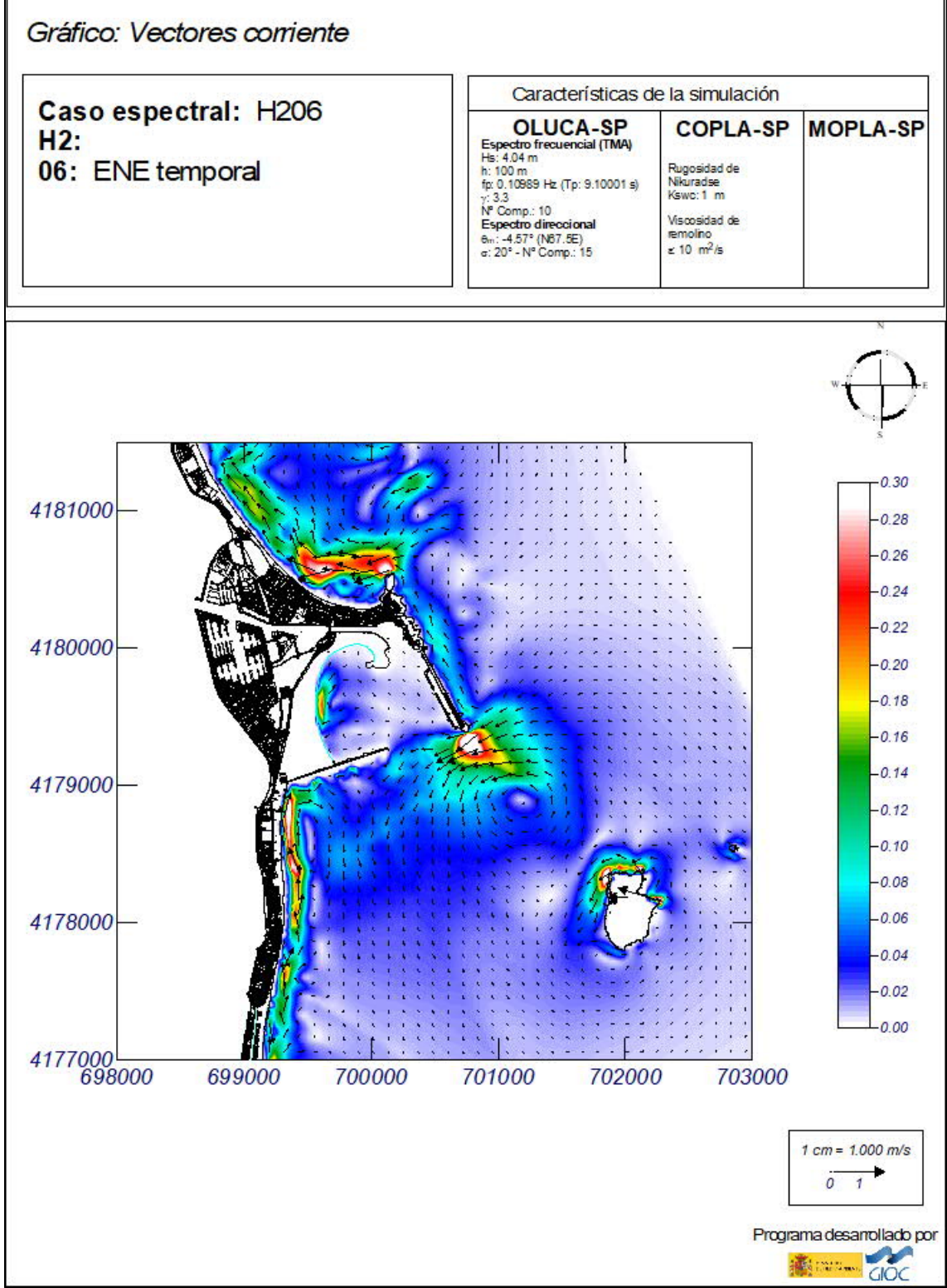
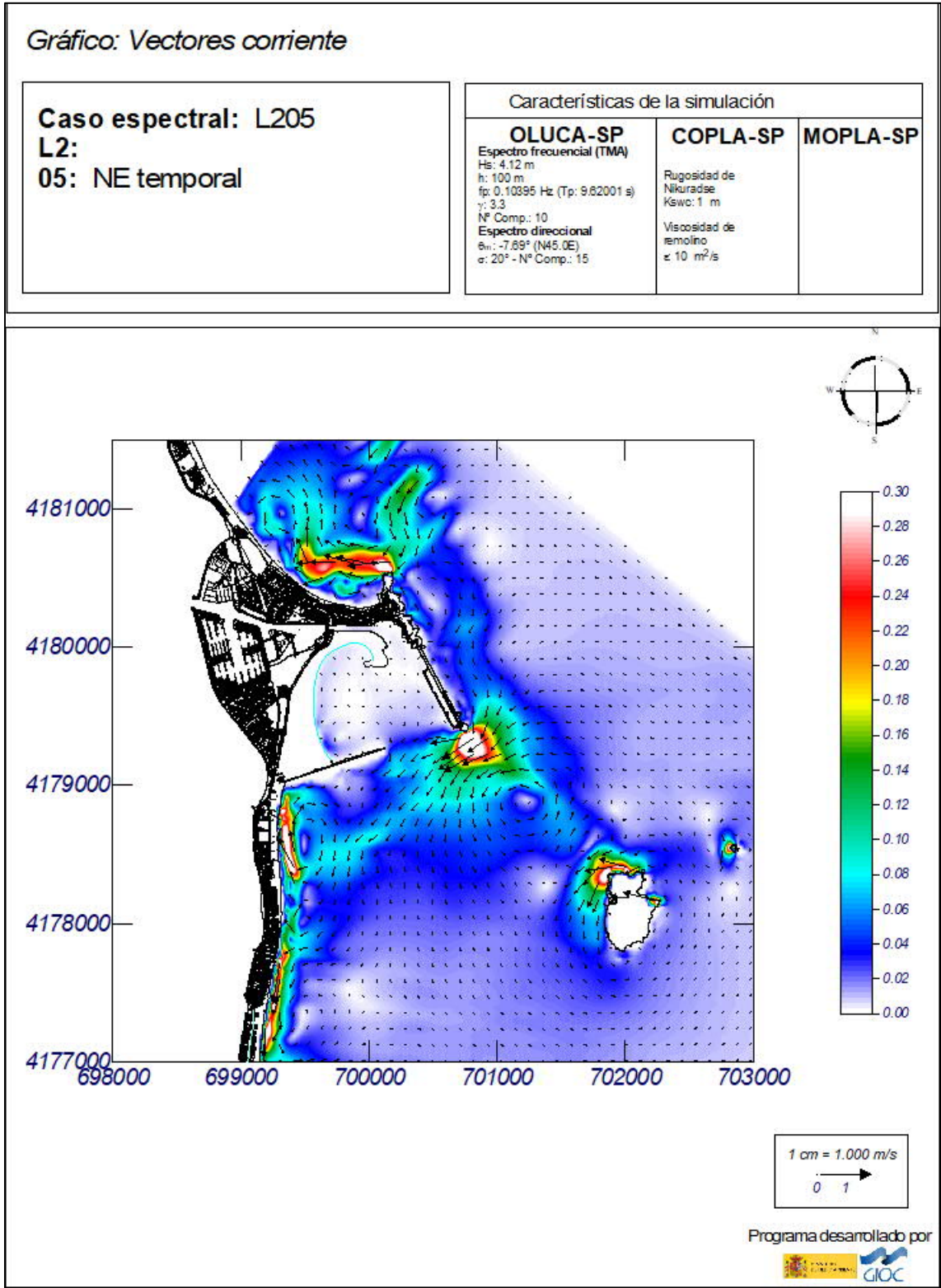
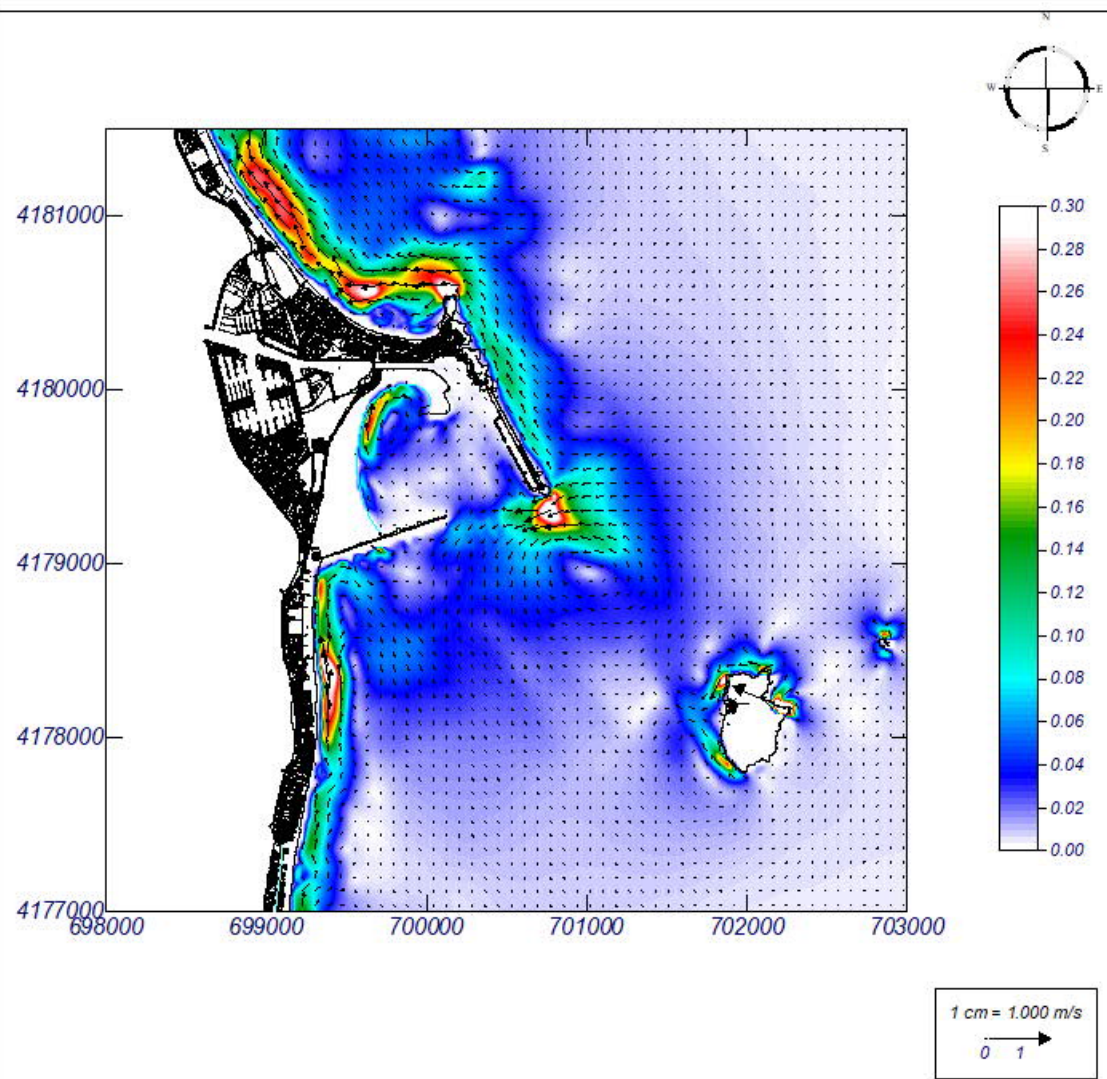


Gráfico: Vectores corriente

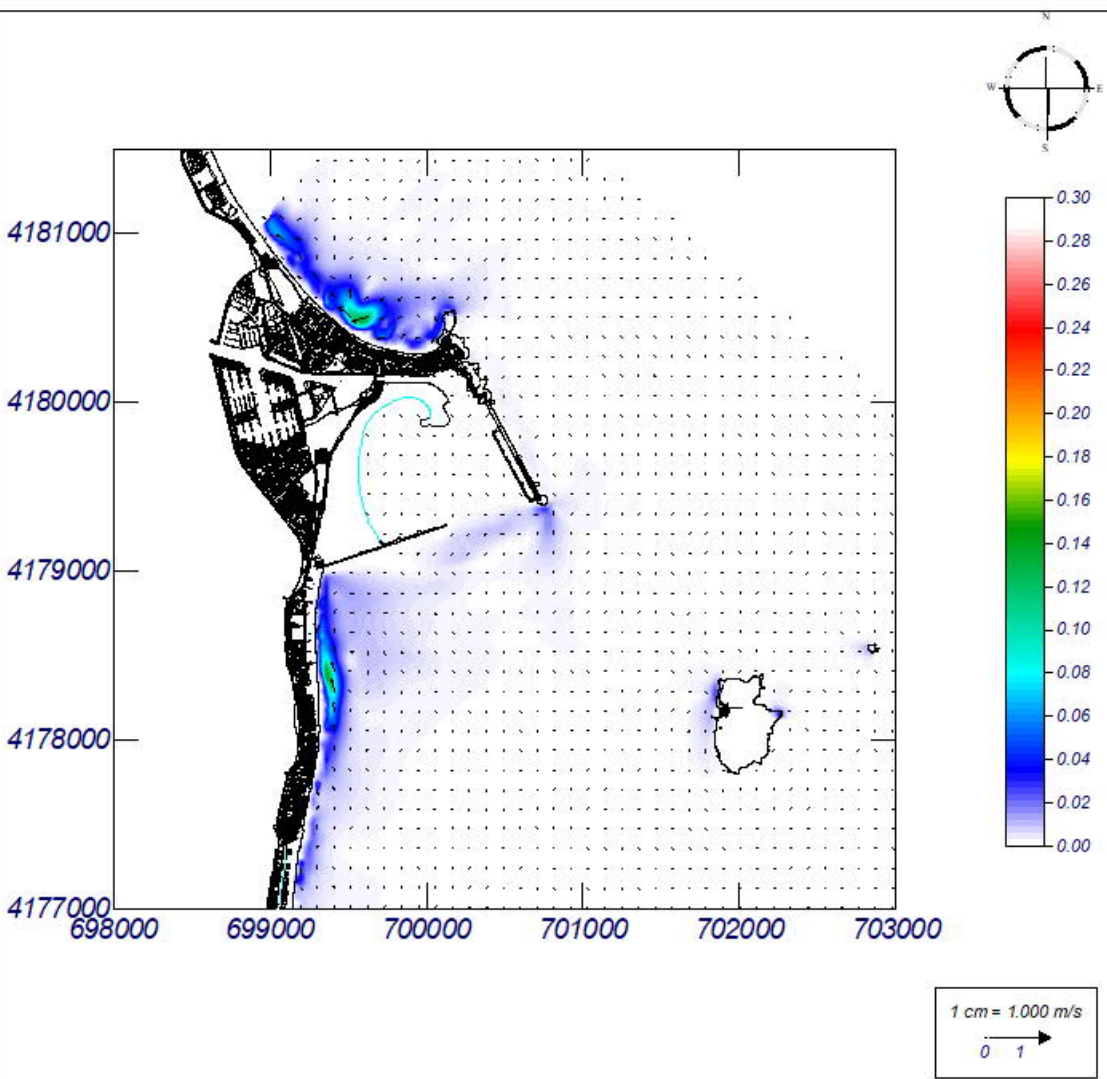
Caso espectral: M207 M2: 07: E temporal	Características de la simulación		
	OLUCA-SP Espectro frecuencial (TMA) Hs: 3.54 m h: 100 m fp: 0.119617 Hz (Tp: 8.36002 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 10 Espectro direccional θw: 0.93° (E) σ: 20° - Nº Comp.: 15	COPLA-SP Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino ε: 10 m²/s	MOPLA-SP



Programa desarrollado por
GIOC

Gráfico: Vectores corriente

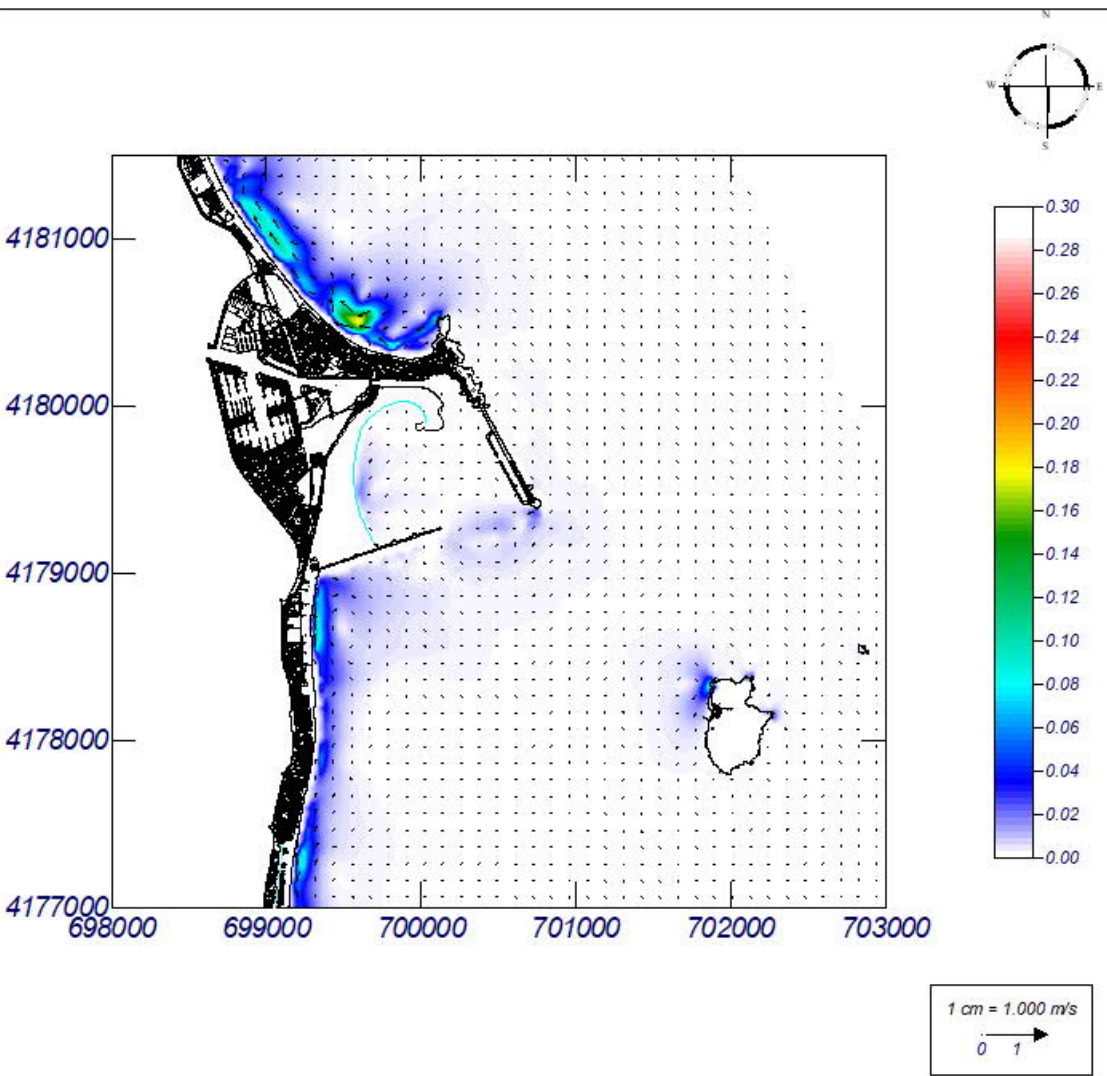
Caso espectral: L209 L2: 09: NE medio	Características de la simulación		
	OLUCA-SP Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.75 m h: 100 m fp: 0.146348 Hz (Tp: 6.86004 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 10 Espectro direccional θw: -7.69° (N45.0E) σ: 20° - Nº Comp.: 15	COPLA-SP Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino ε: 10 m²/s	MOPLA-SP



Programa desarrollado por
GIOC

Gráfico: Vectores corriente

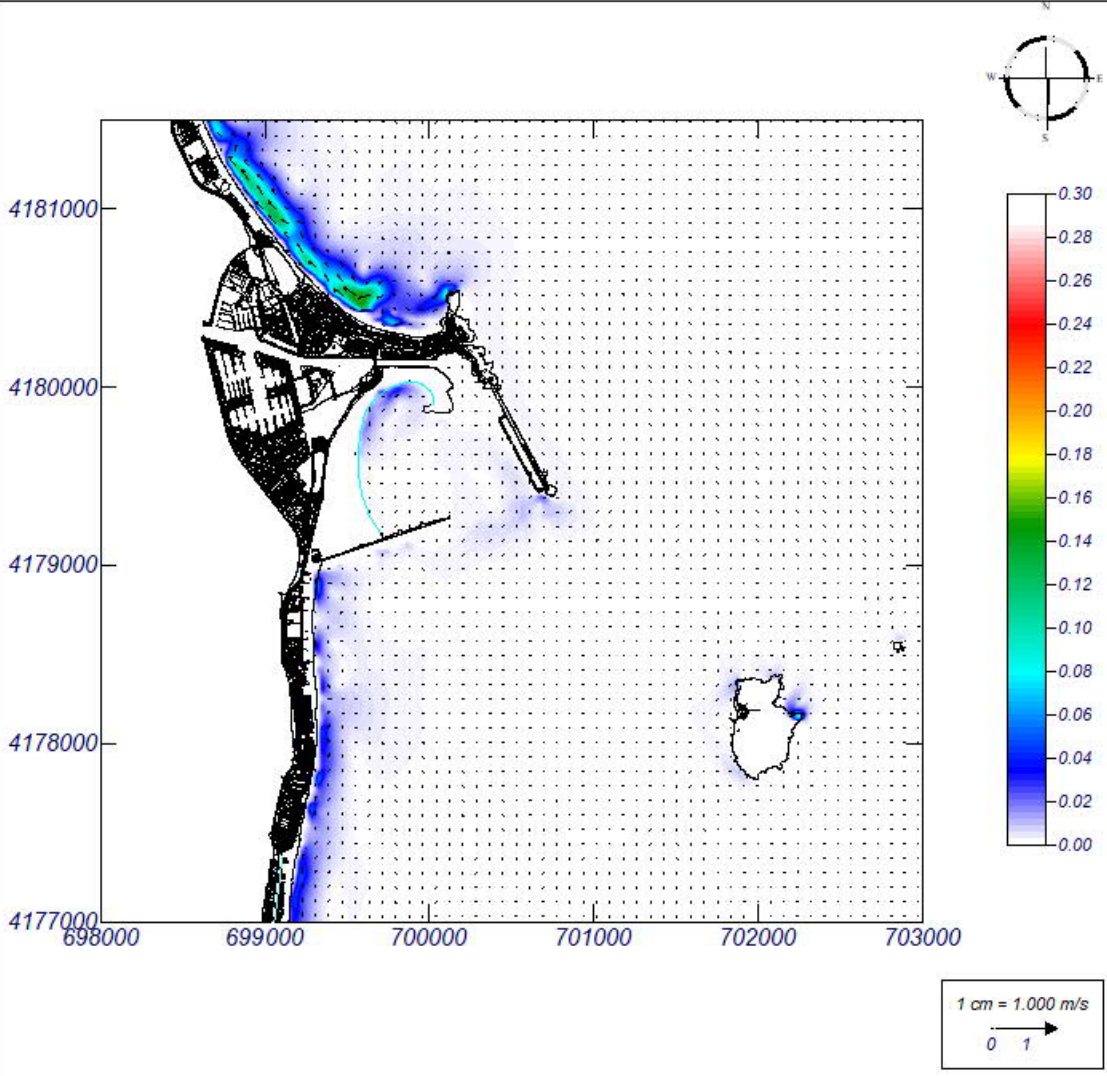
Caso espectral: H204 H2: 04: ENE medio	Características de la simulación		
	OLUCA-SP Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.84 m h: 100 m fp: 0.17452 Hz (Tp: 5.73 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 10 Espectro direccional θw: -4.57° (N87.5E) σ: 20° - Nº Comp.: 15	COPLA-SP Rugosidad de Nikuradse Kswc: 1 m Viscosidad de remolino ε: 10 m²/s	MOPLA-SP



Programa desarrollado por
CIOC

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: M208 M2: 08: E medio	Características de la simulación		
	OLUCA-SP Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.7 m h: 100 m fp: 0.184842 Hz (Tp: 5.41003 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 10 Espectro direccional θw: 0.93° (E) σ: 20° - Nº Comp.: 15	COPLA-SP Rugosidad de Nikuradse Kswc: 1 m Viscosidad de remolino ε: 10 m²/s	MOPLA-SP



Programa desarrollado por
CIOC

8. ANEXO 2: Resultados de sistema de corrientes: Alternativa 2

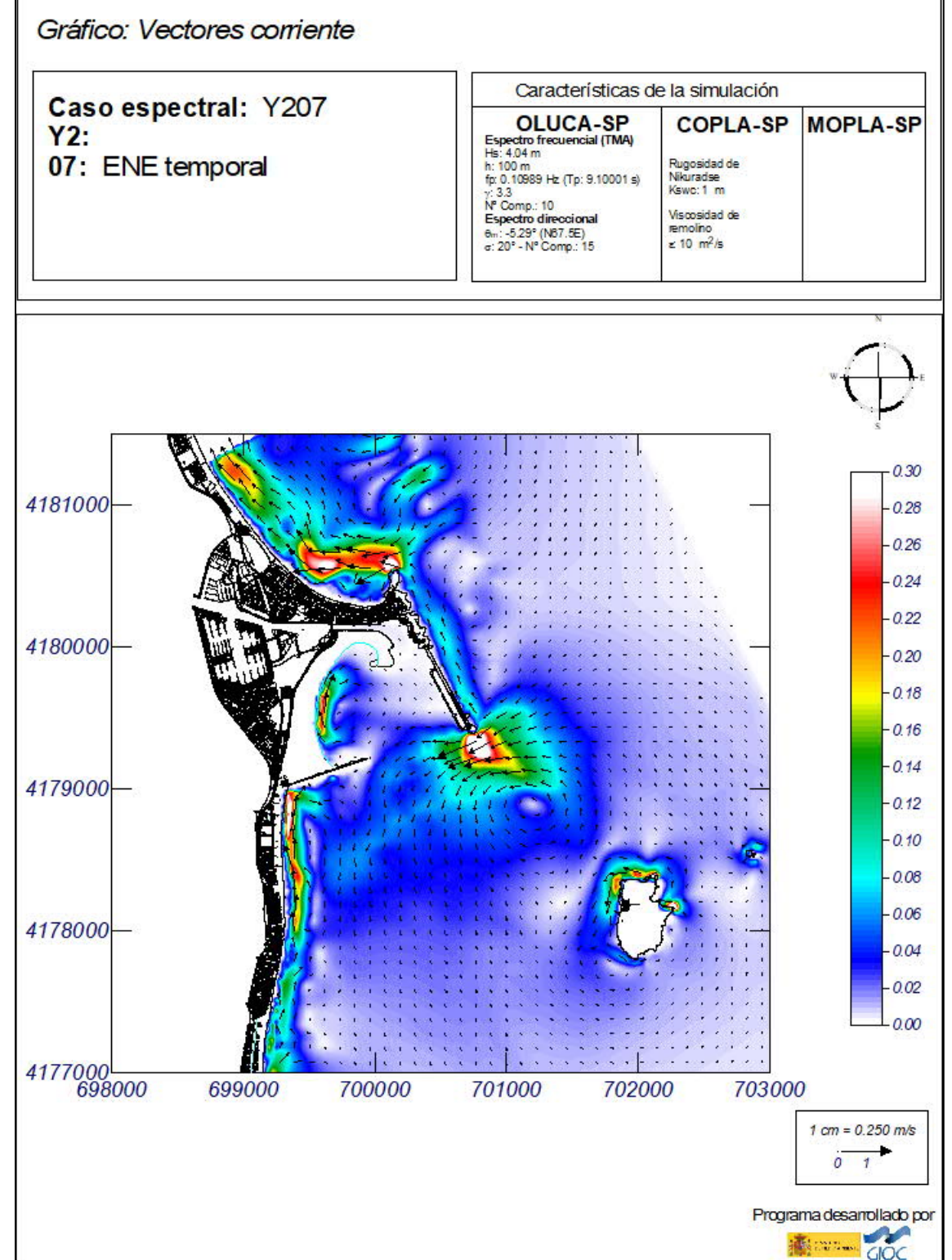
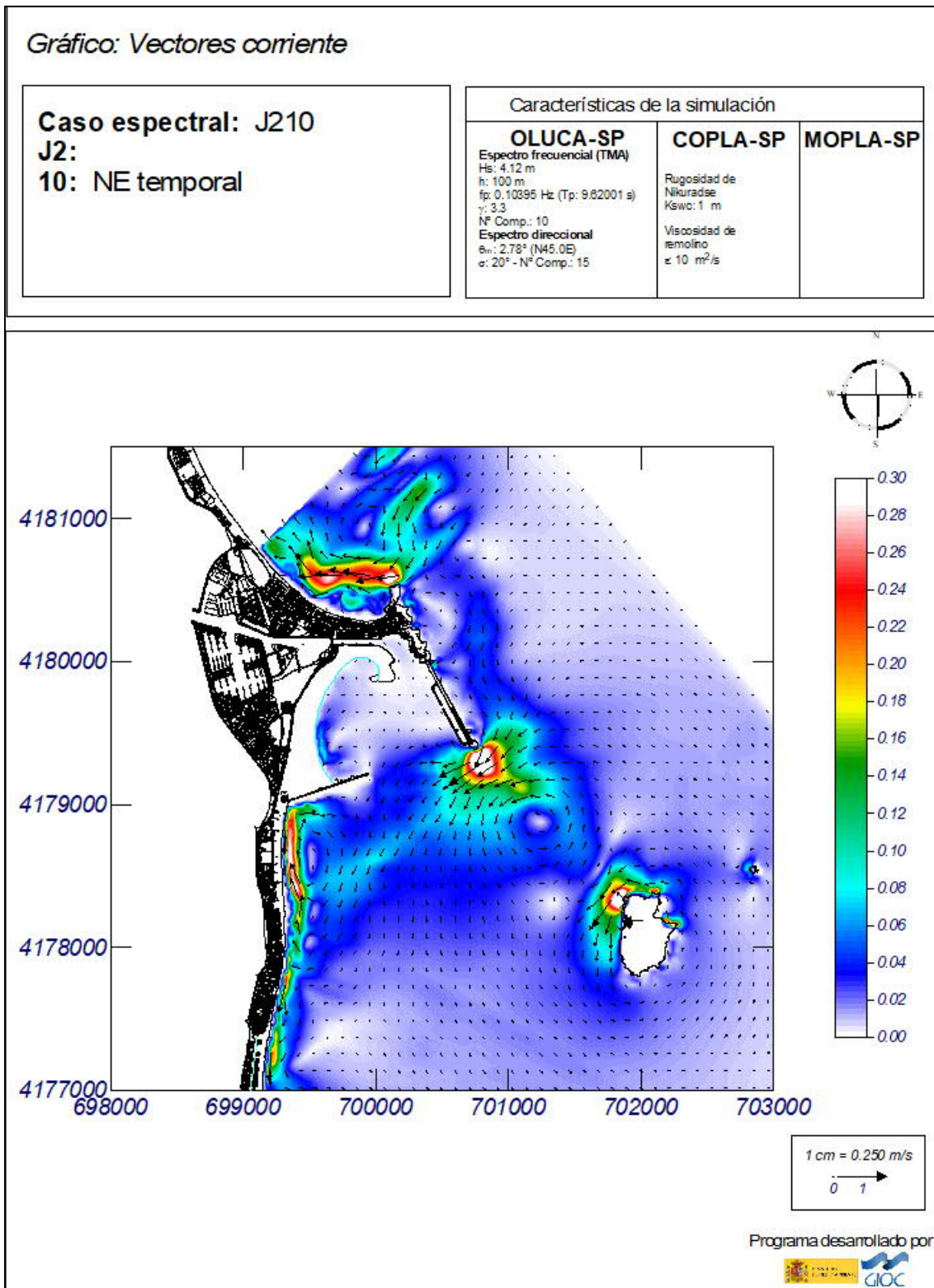
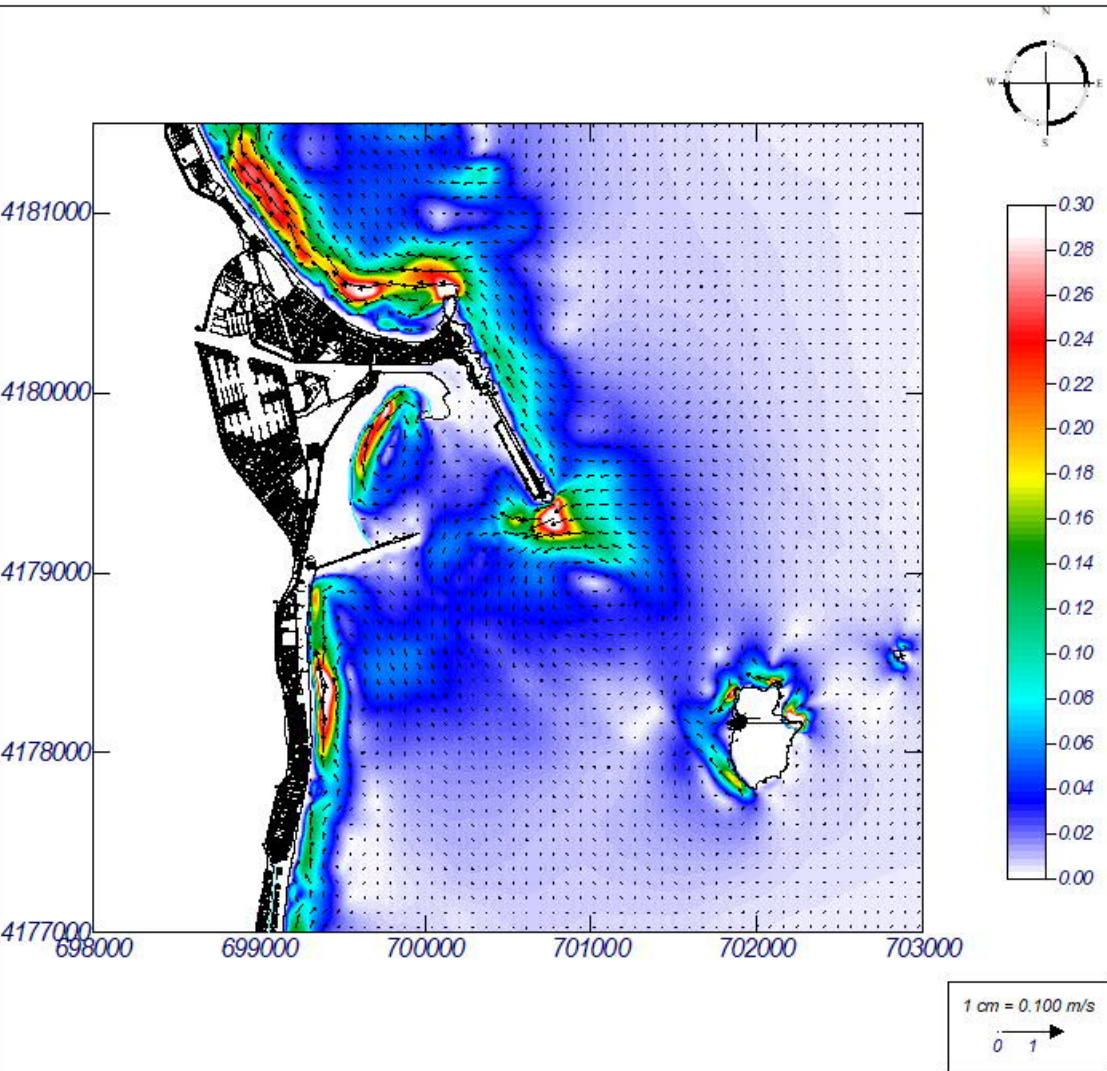


Gráfico: Vectores corriente

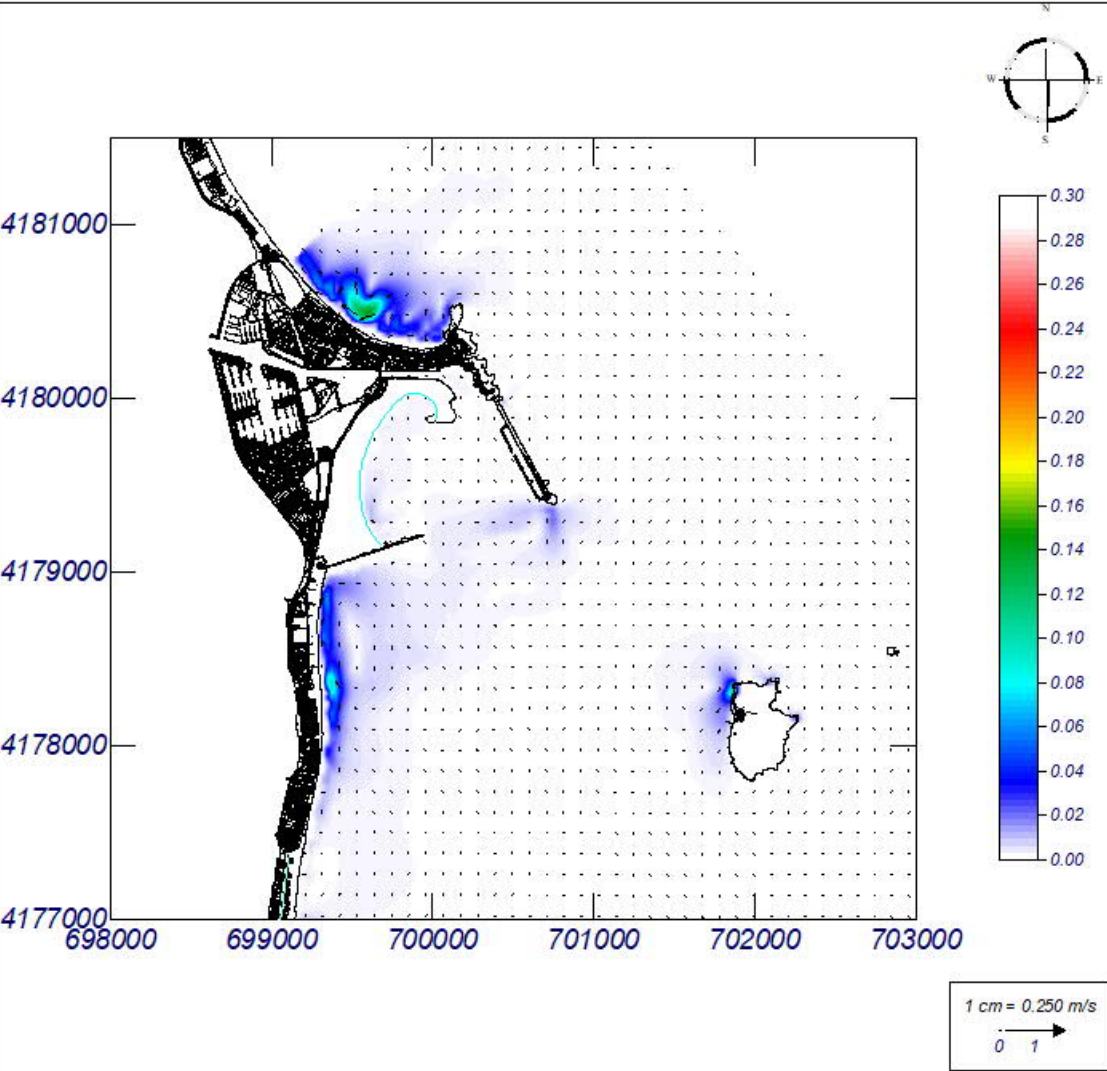
Caso espectral: M206 M2: 06: E temporal	Características de la simulación		
	OLUCA-SP Espectro frecuencial (TMA) Hs: 3.54 m h: 100 m fp: 0.119617 Hz (Tp: 8.36002 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 10 Espectro direccional θw: 0.93° (E) α: 20° - Nº Comp.: 15	COPLA-SP Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino ε: 10 m²/s	MOPLA-SP



Programa desarrollado por
GIOC

Gráfico: Vectores corriente

Caso espectral: J211 J2: 11: NE medio	Características de la simulación		
	OLUCA-SP Espectro frecuencial (TMA) Hs: 0.75 m h: 100 m fp: 0.146348 Hz (Tp: 6.86004 s) γ: 3.3 Nº Comp.: 10 Espectro direccional θw: 2.78° (N45.0E) α: 20° - Nº Comp.: 15	COPLA-SP Rugosidad de Nikuradse Ksw: 1 m Viscosidad de remolino ε: 10 m²/s	MOPLA-SP



Programa desarrollado por
GIOC

Gráfico: Vectores corriente

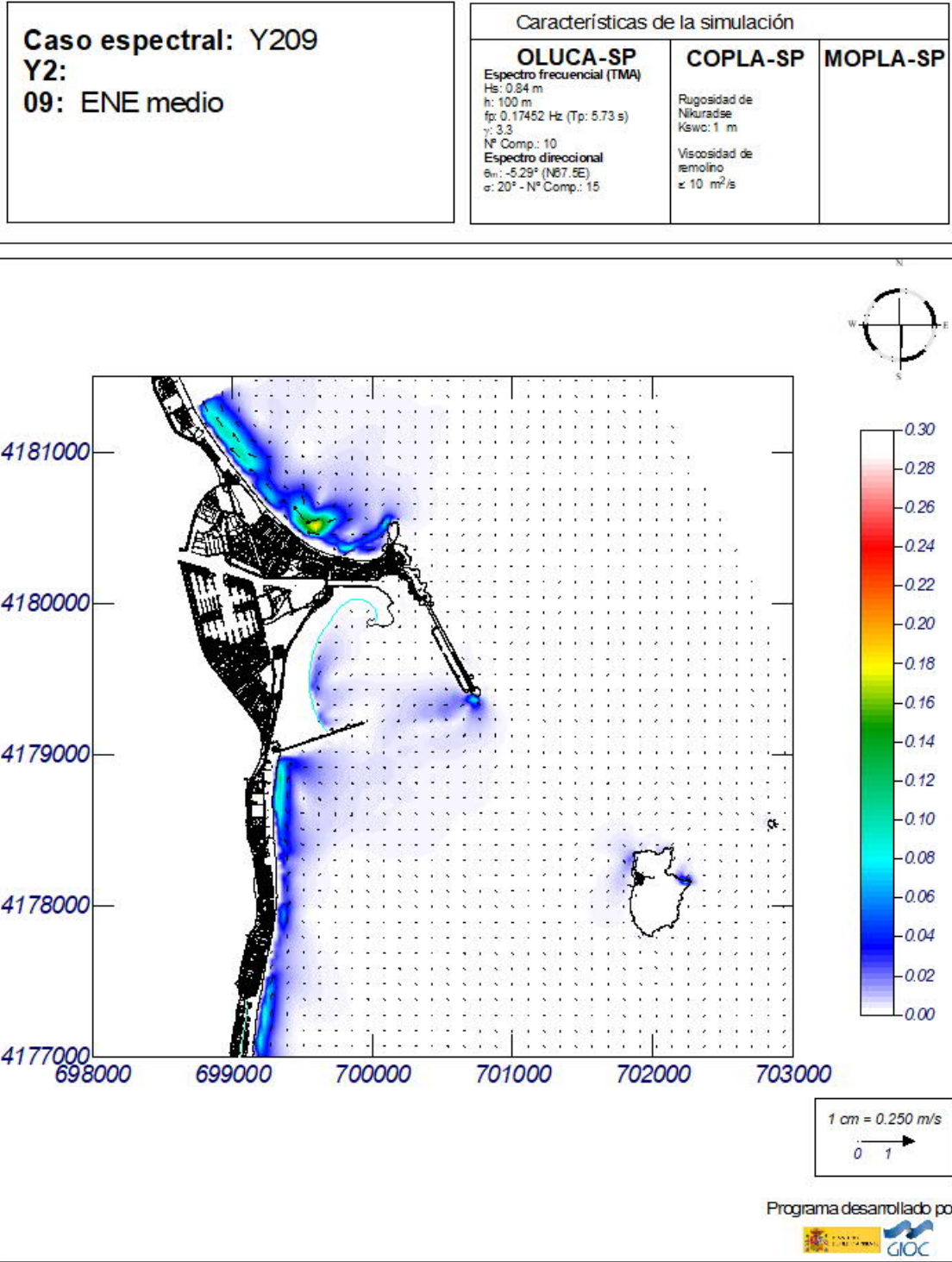
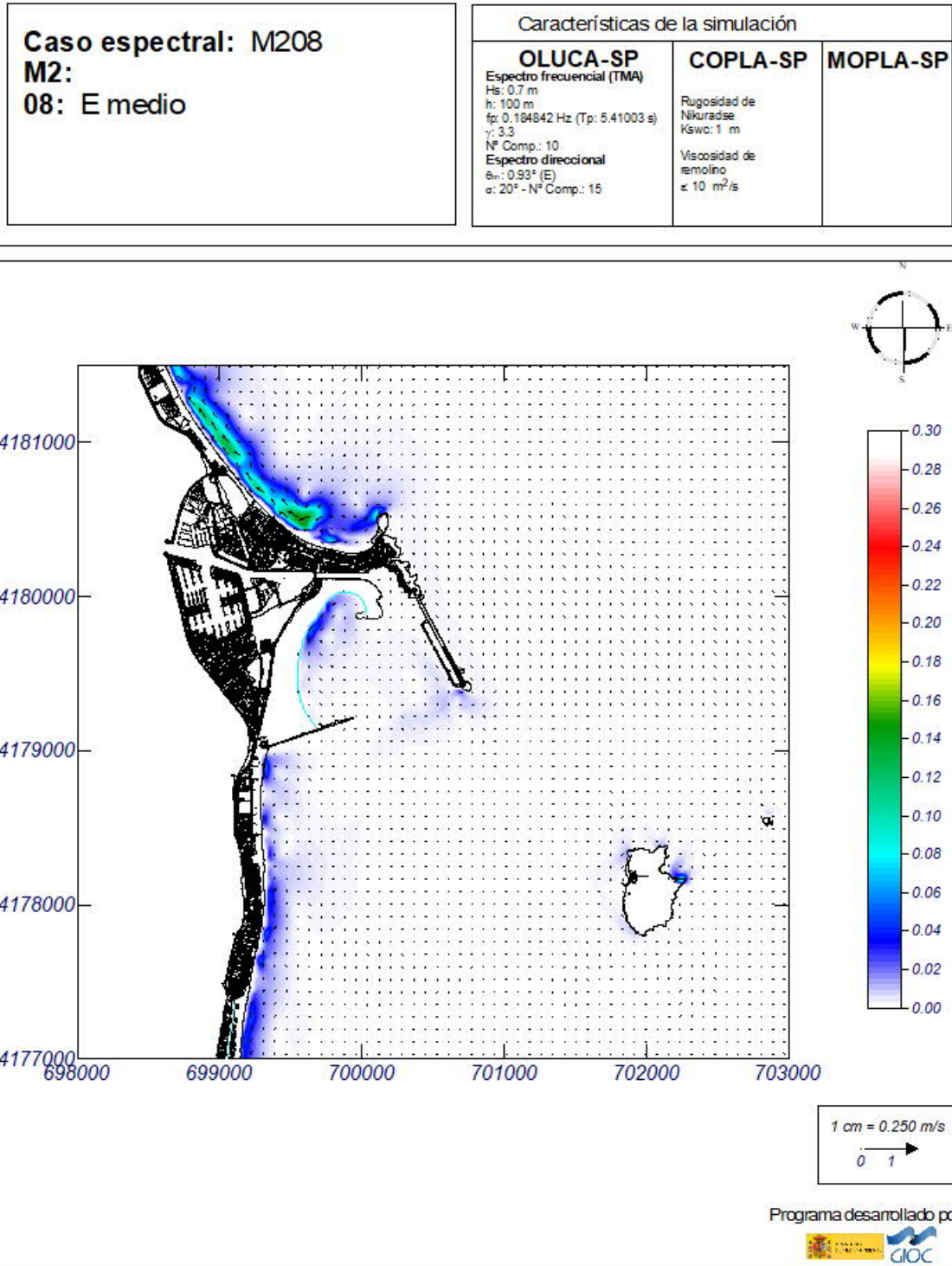


Gráfico: Vectores corriente



9. ANEXO 3: Tablas de ocurrencia Hs-Tp en los puntos de control

Tabla 18. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control A

Punto A			Hs 1	Hs 2	Hs 3	Hs 4	Hs 5	Hs 6	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
Tp1	1	2,3	0,10	0,06	0,06	0,05	0,00	0,00	0,27
Tp2	2,3	3,6	2,39	2,29	1,05	0,51	0,00	0,00	6,24
Tp3	3,6	4,9	8,20	12,37	2,86	0,75	0,01	0,00	24,18
Tp4	4,9	6,2	10,13	16,85	5,45	0,85	0,01	0,00	33,29
Tp5	6,2	7,5	9,37	7,74	3,42	0,55	0,02	0,00	21,10
Tp6	7,5	8,8	6,92	2,49	0,61	0,23	0,02	0,00	10,28
Tp7	8,8	10,1	2,81	0,63	0,15	0,10	0,01	0,00	3,70
Tp8	10,1	11,4	0,68	0,08	0,02	0,02	0,00	0,00	0,81
Tp9	11,4	12,7	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
Tp10	12,7	14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			40,73	42,52	13,61	3,06	0,08	0,00	100,00

Tabla 19. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control B

Punto B			Hs 1	Hs 2	Hs 3	Hs 4	Hs 5	Hs 6	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
Tp1	1	2,3	0,01	0,09	0,03	0,14	0,00	0,00	0,27
Tp2	2,3	3,6	0,01	1,75	1,81	2,61	0,06	0,00	6,24
Tp3	3,6	4,9	0,00	2,65	10,17	10,78	0,57	0,00	24,18
Tp4	4,9	6,2	0,01	3,53	9,91	14,93	4,90	0,00	33,29
Tp5	6,2	7,5	0,01	4,43	5,49	6,94	4,24	0,00	21,10
Tp6	7,5	8,8	0,00	2,92	3,69	2,71	0,96	0,00	10,28
Tp7	8,8	10,1	0,00	0,77	1,84	0,83	0,26	0,00	3,70
Tp8	10,1	11,4	0,00	0,10	0,51	0,15	0,05	0,00	0,81
Tp9	11,4	12,7	0,00	0,01	0,09	0,02	0,00	0,00	0,12
Tp10	12,7	14	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			0,04	16,26	33,55	39,09	11,05	0,01	100,00

Tabla 20. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control C

Punto C			Hs 1	Hs 2	Hs 3	Hs 4	Hs 5	Hs 6	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	
Tp1	1	2,3	0,00	0,03	0,08	0,14	0,02	0,00	0,27
Tp2	2,3	3,6	0,00	0,21	2,42	3,13	0,48	0,00	6,24
Tp3	3,6	4,9	0,00	0,33	5,46	13,13	5,17	0,09	24,18
Tp4	4,9	6,2	0,00	0,65	5,21	13,12	11,93	2,38	33,29
Tp5	6,2	7,5	0,00	0,63	5,36	6,35	6,62	2,15	21,10
Tp6	7,5	8,8	0,00	0,23	3,91	3,31	2,49	0,33	10,28
Tp7	8,8	10,1	0,00	0,05	1,15	1,60	0,77	0,13	3,70
Tp8	10,1	11,4	0,00	0,00	0,17	0,43	0,17	0,03	0,81
Tp9	11,4	12,7	0,00	0,00	0,03	0,07	0,02	0,00	0,12
Tp10	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Total			0,00	2,13	23,79	41,29	27,68	5,11	100,00

Tabla 21. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control 1

Punto 1			Hs 3	Hs 4	Hs 5	Hs 6	Hs 7	Hs 8	Hs 9	Hs 10	Total
			0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	
			0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	
Tp1	1	2,3	0,08	0,10	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
Tp2	2,3	3,6	1,34	3,74	1,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24
Tp3	3,6	4,9	1,95	10,25	10,51	1,38	0,08	0,01	0,00	0,00	24,18
Tp4	4,9	6,2	2,66	6,81	12,07	7,65	3,36	0,72	0,02	0,00	33,29
Tp5	6,2	7,5	2,42	4,50	4,46	3,31	3,16	2,52	0,72	0,02	21,10
Tp6	7,5	8,8	1,17	2,85	2,14	1,41	0,89	0,81	0,76	0,24	10,28
Tp7	8,8	10,1	0,18	0,80	0,96	0,64	0,38	0,29	0,28	0,17	3,70
Tp8	10,1	11,4	0,01	0,09	0,18	0,17	0,13	0,11	0,07	0,05	0,81
Tp9	11,4	12,7	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,12
Tp10	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Total			9,82	29,14	31,58	14,59	8,04	4,48	1,86	0,49	100,00

Tabla 22. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control 2

Punto 2			H _{s 3}	H _{s 4}	H _{s 5}	H _{s 6}	H _{s 7}	H _{s 8}	H _{s 9}	H _{s 10}	H _{s 11}	Total
			0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	
			0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	
T _{p1}	1	2,3	0,09	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
T _{p2}	2,3	3,6	1,35	4,11	0,72	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24
T _{p3}	3,6	4,9	1,96	12,62	7,72	1,69	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	24,18
T _{p4}	4,9	6,2	2,65	7,79	11,61	6,91	3,29	0,95	0,08	0,00	0,00	33,29
T _{p5}	6,2	7,5	2,47	4,51	4,35	3,34	3,13	2,20	0,92	0,17	0,00	21,10
T _{p6}	7,5	8,8	1,22	2,65	2,16	1,37	0,93	0,77	0,68	0,39	0,11	10,28
T _{p7}	8,8	10,1	0,20	0,73	0,90	0,64	0,41	0,28	0,025	0,21	0,08	3,70
T _{p8}	10,1	11,4	0,01	0,08	0,16	0,16	0,12	0,11	0,08	0,04	0,03	0,81
T _{p9}	11,4	12,7	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,12
T _{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			9,96	32,62	27,70	14,19	8,06	4,35	2,03	0,82	0,22	100,00

Tabla 23. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control 3

Punto 3			H _{s 1}	H _{s 2}	H _{s 3}	H _{s 4}	H _{s 5}	H _{s 6}	H _{s 7}	H _{s 8}	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	
T _{p1}	1	2,3	0,00	0,10	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
T _{p2}	2,3	3,6	0,01	1,49	4,39	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24
T _{p3}	3,6	4,9	0,02	2,36	12,71	8,01	1,07	0,01	0,00	0,00	24,18
T _{p4}	4,9	6,2	0,02	2,88	8,56	11,94	8,08	1,80	0,00	0,00	33,29
T _{p5}	6,2	7,5	0,01	2,55	5,13	4,54	4,33	4,26	0,27	0,00	21,10
T _{p6}	7,5	8,8	0,01	1,20	3,06	2,42	1,50	1,47	0,56	0,06	10,28
T _{p7}	8,8	10,1	0,00	0,21	0,91	1,09	0,68	0,48	0,28	0,04	3,70
T _{p8}	10,1	11,4	0,00	0,02	0,11	0,24	0,20	0,18	0,06	0,01	0,81
T _{p9}	11,4	12,7	0,00	0,00	0,01	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,12
T _{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Total			0,07	10,81	35,05	28,65	15,91	8,22	1,18	0,10	100,00

Tabla 24. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control 4

Punto 4			H _{s 1}	H _{s 2}	H _{s 3}	H _{s 4}	H _{s 5}	Total
			0	0,25	0,5	0,75	1	
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	
T _{p1}	1	2,3	0,05	0,06	0,08	0,08	0,00	0,27
T _{p2}	2,3	3,6	0,34	2,40	2,57	0,93	0,00	6,24
T _{p3}	3,6	4,9	0,51	8,67	10,30	4,70	0,00	24,18
T _{p4}	4,9	6,2	1,13	9,24	12,12	10,64	0,16	33,29
T _{p5}	6,2	7,5	1,32	7,74	5,94	5,89	0,21	21,10
T _{p6}	7,5	8,8	0,60	6,04	2,24	1,36	0,03	10,28
T _{p7}	8,8	10,1	0,11	2,55	0,72	0,29	0,03	3,70
T _{p8}	10,1	11,4	0,01	0,65	0,09	0,05	0,00	0,81
T _{p9}	11,4	12,7	0,00	0,11	0,01	0,00	0,00	0,12
T _{p10}	12,7	14	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Total			4,08	37,46	34,08	23,94	0,43	100,00

Tabla 25. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control 5

Punto 5			H _{s 2}	H _{s 3}	H _{s 4}	H _{s 5}	H _{s 6}	H _{s 7}	H _{s 8}	Total
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	
			0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	
T _{p1}	1	2,3	0,00	0,10	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
T _{p2}	2,3	3,6	0,01	1,60	4,51	0,12	0,00	0,00	0,00	6,24
T _{p3}	3,6	4,9	0,02	3,32	14,97	5,67	0,21	0,00	0,00	24,18
T _{p4}	4,9	6,2	0,01	3,26	12,48	14,54	2,99	0,00	0,00	33,29
T _{p5}	6,2	7,5	0,01	2,14	6,94	7,35	4,47	0,20	0,00	21,10
T _{p6}	7,5	8,8	0,00	0,85	3,63	3,36	1,93	0,43	0,07	10,28
T _{p7}	8,8	10,1	0,00	0,15	1,01	1,38	0,87	0,26	0,03	3,70
T _{p8}	10,1	11,4	0,00	0,01	0,14	0,29	0,32	0,05	0,01	0,81
T _{p9}	11,4	12,7	0,00	0,00	0,01	0,05	0,05	0,01	0,00	0,12
T _{p10}	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Total			0,05	11,44	43,85	32,76	10,84	0,94	0,11	100,00

Tabla 26. Tabla de ocurrencia Hs-Tp en el punto de control 6

Punto 6			Hs 2	Hs 3	Hs 4	Hs 5	Hs 6	Hs 7	Hs 8	Hs 9	Total
			0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	
			0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	
Tp1	1	2,3	0,01	0,11	0,14	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27
Tp2	2,3	3,6	0,10	2,31	3,63	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	6,24
Tp3	3,6	4,9	0,16	5,65	14,21	3,34	0,81	0,01	0,00	0,00	24,18
Tp4	4,9	6,2	0,14	4,97	14,95	9,65	2,90	0,67	0,00	0,00	33,29
Tp5	6,2	7,5	0,06	2,78	6,58	6,92	3,61	1,10	0,04	0,00	21,10
Tp6	7,5	8,8	0,03	1,10	3,07	2,95	1,99	0,88	0,25	0,01	10,28
Tp7	8,8	10,1	0,00	0,21	0,81	1,09	0,93	0,49	0,16	0,01	3,70
Tp8	10,1	11,4	0,00	0,01	0,10	0,21	0,24	0,19	0,05	0,00	0,81
Tp9	11,4	12,7	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04	0,03	0,01	0,00	0,12
Tp10	12,7	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
Total			0,52	17,14	43,49	24,40	10,54	3,39	0,51	0,02	100,00