



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Estudio de regeneración de la playa de El Castillo, Gran Canaria

Trabajo realizado por:
Guillermo García Carro

Dirigido:
Raul Medina

Titulación:
Grado en Ingeniería Civil

Santander, Junio de 2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

TÍTULO: ESTUDIO DE REGENERACIÓN DE LA PLAYA DE EL CASTILLO,
GRAN CANARIA



AUTOR: GUILLERMO GARCÍA CARRO

DIRECTORES: RAÚL MEDINA

CONVOCATORIA: JULIO 2016

PALABRAS CLAVE: REGENERACIÓN, ESTUDIO, COSTAS, OLAS, PROPAGACIÓN

REFERENCIAS:

- Raúl Medina, Iñigo Losada, Miguel A. Losada and Cesar Vidal. “VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA: FORMA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA”
- Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria

OBJETO DEL ESTUDIO

El presente trabajo tiene como objetivo general analizar la dinámica litoral del tramo de costa adyacente al Castillo de San Cristobal, ubicado en Gran Canaria, para, con base en dicho análisis, evaluar la afección de las obras de los diques de abrigo construidos en la zona sobre la dinámica litoral de la esta. Este objetivo general se ha estructurado en los siguientes objetivos parciales:

- Diagnóstico de la situación actual.
- Análisis de la situación futura
- Evaluación sobre la factibilidad del proyecto de diques de abrigo en función de si consiguieran desarrollar un sistema de playas estable

DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El tramo de costa se encuentra localizado en el extrarradio de la capital de la isla con una importante presión debido a la autovía que discurre muy cerca de la costa y del crecimiento masivo de edificaciones en los últimos años. Por tanto, la creación de una nueva playa urbana en esta zona supondría un espacio de esparcimiento muy conveniente para la población de la misma.

En el tramo de costa objeto de estudio, que se extiende desde el saliente donde se ubica el ramal de salida de la autovía hasta el Castillo de San Cristóbal, sólo existe actualmente una playa de gravas de gran tamaño de unos 140m de longitud.

Esta playa se encuentra en una situación de equilibrio con una orientación perpendicular al flujo medio de energía.

Las características de la batimetría de la zona, con una fuerte pendiente, y la no existencia de ningún apoyo lateral de la misma, no permiten un mayor avance de la playa y condicionan que el perfil de la playa deba de ser de gravas de manera que presente un perfil de fuerte pendiente que intercepte con la batimetría del sustrato rocoso muy cerca de la costa. Las playas con tamaños de sedimentos de semejante magnitud, y por tanto con perfiles de equilibrio de pendiente elevada, suponen un incómodo disfrute por parte de los usuarios, además de situaciones de peligro a la hora del baño.

En la configuración de la costa en este tramo se pueden distinguir tres alineaciones, de Norte a Sur: un primer tramo con una alineación NNE-SSW, un segundo tramo con alineación prácticamente N-S, y tercer tramo con una playa de gravas orientada NNW-SSE, perpendicular al flujo medio de energía. Por tanto estas distintas alineaciones junto con la dirección del flujo medio de energía (de componente ENE) no permite la formación natural de ninguna otra playa a lo largo de esta costa.

El objetivo de la obra será por lo tanto aumentar la superficie seca de playa intentando evitar grandes pendientes.

Este estudio incluye la propagación del oleaje desde indefinidas y el análisis de los efectos a largo y corto plazo que la construcción de estos diques de abrigo pueda tener en la dinámica litoral, comparando la actual con la planta y perfiles futuros.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que mediante las estructuras de abrigo y retención propuestas se puede conseguir un aumento en la superficie seca de la playa tal como se deseaba. Las playas quedarán así compartimentadas y delimitadas mediante estas estructuras.

Además, esta playa se encontraría en equilibrio y no sufriría pérdidas de sedimentos a largo plazo al estar encajada

EL AUTOR DEL PROYECTO



GUILLERMO GARCÍA CARRO

TÍTULO: STUDY OF REGENERATION OF THE “CASTILLO” BEACH,
GRAN CANARIA



AUTOR: GUILLERMO GARCÍA CARRO

DIRECTORES: RAÚL MEDINA

CONVOCATORIA: JULIO 2016

PALABRAS CLAVE: REGENERACIÓN, ESTUDIO, COSTAS, OLAS, PROPAGACIÓN

REFERENCIAS:

- Raúl Medina, Iñigo Losada, Miguel A. Losada and Cesar Vidal. “VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA: FORMA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA”
- Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria

STUDY AIM

This work has the general scope of analyzing the dynamic coastal stretch of coastline adjacent to the Castillo de San Cristobal , located in Gran Canaria . So , based on that analysis, assessing the effects of the construction of a set of breakwaters in the area . This general objective is structured into the following partial objectives :

- Diagnosis of the current situation.
- Analysis of the future situations
- Evaluation of the feasibility of the proposed breakwaters depending on if they could stand a system of stable beaches

SOLUTION DEVELOPMENT

The stretch of coast is located on the outskirts of the capital of the island with significant pressure due to the highway that runs close to the coast and the massive growth of buildings in recent years. Therefore, the creation of a new urban beach in this area would be a recreational very convenient for the population of the same. In the stretch of coast under study, extending from the ledge where the exit ramp the highway is located to the Castle of San Cristobal, only there is now a gravel beach large about 140m in length.

This beach is in a balanced position with an orientation perpendicular to the flow of energy.

The characteristics of the bathymetry of the area, with a steep slope and nonexistence of any lateral support of it, do not allow further progress to the beach and condition the beach profile should be gravel so that this strong profile slope intercept with the bathymetry of bedrock close to the coast. The beaches with sediment sizes of this magnitude, and therefore with high profiles outstanding balance, represent an uncomfortable enjoyment by users, in addition to dangerous situations bathtime.

In the configuration of the coast in this stretch there are three alignments, from north

to south: a first section with a NNE-SSW alignment, a second section with alignment practically NS, and third tranches with a sandy gravels oriented NNW-SSE , perpendicular to the flow of energy. Therefore these different alignments along with the direction of the mean flow of energy (NSE component) does not allow the natural formation of any other beach along this coast.

The aim of the work will therefore increase the surface dry beach trying to avoid steep slopes.

This study includes the wave propagation from indefinite and analysis of the long-and short-term construction of these breakwaters may have on coastal dynamics, comparing the present with the plant and future profiles.

CONCLUSIONS

It has been proved that the dam and retention sea walls system can develop an increase in the dry surface of the beach, as it was intended. The beaches would be splitted up into smaller ones and delimited by these structures.

Furthermore, this system of beaches would achieve and equilibrium state so it would not lose sediments longitudinally.

PROJECT'S AUTHOR



GUILLERMO GARCÍA CARRO



1. RESUMEN



RESUMEN

1.1. Situación Actual

La zona objeto de estudio se encuentra situada dentro del distrito urbanístico de La Vegueta, localizado en el sur de la capital de las Palmas (Isla de Gran Canaria). En concreto la playa pertenece al barrio de San Cristóbal, uno de los más antiguos de la ciudad, quedando aún pequeños núcleos de edificaciones características de la zona. La construcción de la autopista del Sur ha producido un deterioro urbanístico de este sector, lo que ha dado lugar a la elaboración de un Plan Especial de Reforma Interior (API-06), cuyo ámbito de planeamiento es el suelo urbano consolidado, y que fue aprobado en el año 1994. En este plan se contempla la ordenación de sus calles y edificaciones creando una fachada al mar y un paseo peatonal de borde, además de la remodelación de la circulación interior paralela a la autopista.

Las áreas dotacionales situadas al norte y sur de este sector urbanístico enlazan con el Plan Especial "Frente Marítimo del Levante" (OAS-07), aprobado con posterioridad en el año 1997. Este Plan afecta al terreno urbano no consolidado y rústico, y supone una ampliación y mejora de los espacios de borde para actividades deportivas y de ocio, resolviendo las conexiones necesarias con el resto de la ciudad.

Dentro de este último plan especial se contempla la generación de nueva playa, que abarca desde la actual Playa de El Castillo hasta unos 800 m hacia el norte, con el fin de aumentar el componente estético y recreativo de la zona, intentando compensar los inconvenientes ocasionados por la construcción de la autopista del Sur. Todo este tramo costero será objeto de estudio en el presente informe.

Actualmente, existe una pequeña playa de gravas, cuyo objetivo es expandir a lo largo de la costa en dirección Norte por medio de la construcción de una serie de diques y elementos estructurales.

1.2. Situación Futura

Tras la regeneración de la playa, se espera un cambio drástico de la planta de la playa:

- Por un lado, la playa pasará a quedar compartimentada. Así, se podrán diferenciar distintas zonas de características similares apoyadas en las estructuras construidas.
- Por otra parte, el apoyo lateral de la playa pasará a recaer principalmente en las estructuras de contención, delimitando estas el crecimiento máximo que podría tomar la forma en planta de la playa.



2. INTRODUCCIÓN



1. MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO
3. ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO
4. INFORMACIÓN UTILIZADA



3. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO

El tramo de costa a estudiar se encuentra localizado en el extrarradio de la capital de la isla con una importante presión debido a la autovía que discurre muy cerca de la costa y del crecimiento masivo de edificaciones en los últimos años. Por tanto, la creación de una nueva playa urbana en esta zona supondría un espacio de esparcimiento muy conveniente para la población de la misma.

En el tramo de costa objeto de estudio, que se extiende desde el saliente donde se ubica el ramal de salida de la autovía hasta el Castillo de San Cristóbal, sólo existe actualmente una playa de gravas de gran tamaño de unos 140m de longitud.

Esta playa se encuentra en una situación de equilibrio como se ha comprobado en el ajuste de su forma en planta de equilibrio, su orientación es perpendicular al flujo medio de energía.

Las características de la batimetría de la zona, con una fuerte pendiente, y la no existencia de ningún apoyo lateral de la misma, no permiten un mayor avance de la playa y condicionan que el perfil de la playa deba de ser de gravas de manera que presente un perfil de fuerte de pendiente que intercepte con la batimetría del sustrato rocoso muy cerca de la costa. Las playas con tamaños de sedimentos de semejante magnitud, y por tanto con perfiles de equilibrio de pendiente elevada, suponen un incómodo disfrute por parte de los usuarios, además de situaciones de peligro a la hora del baño.

En la configuración de la costa en este tramo se pueden distinguir tres alineaciones, de Norte a Sur: un primer tramo con una alineación NNE-SSW, un segundo tramo con alineación prácticamente N-S, y tercer tramo con una playa de gravas orientada NNW-SSE, perpendicular al flujo medio de energía. Por tanto estas distintas alineaciones junto con la dirección del flujo medio de energía (de componente ENE) no permite la formación natural de ninguna otra playa a lo largo de esta costa.

La construcción hace unos años de una autopista muy próxima al mar, junto con el crecimiento de la ciudad de Las Palmas por su zona sur, han sometido a este tramo costero a una presión negativa considerable. Se han redactado distintos planes de actuación, uno de ellos, en concreto, el "Plan Especial Frente Marítimo del Levante", contempla la mejora del fachada marítima desde un punto de vista urbanístico, con la dotación de espacios libres. Uno de esos equipamientos consiste en la creación de una playa en el tramo de costa que va desde el saliente donde se ubica el ramal de la citada autopista hasta el Castillo de San Cristóbal.

Este tipo de proyectos deben ser estudiados desde el punto de vista de la sedimentología y cómo pueden quedar afectadas las corrientes marinas y de rotura, así como la estabilidad a corto y largo plazo de la playa creada artificialmente.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El presente trabajo tiene como objetivo general analizar la dinámica litoral del tramo de costa adyacente a la playa del Castillo para, con base en dicho análisis, evaluar la afección de las obras de mejora de esta sobre la dinámica litoral de la zona. Este objetivo general se ha estructurado en los siguientes objetivos parciales:

- Análisis de la evolución pasada.
- Diagnóstico de la situación actual.
- Análisis de la situación futura y, en particular, de la evolución de la línea de costa tras las mejoras de la playa del Castillo.

1.3. ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

El presente trabajo se estructura en los siguientes capítulos:

- *Capítulo 1. Introducción.* En este capítulo se expone la motivación del trabajo, se plantean los objetivos del mismo y se detalla la información utilizada para la elaboración del Estudio.
- *Capítulo 2. Descripción de la zona de estudio.* En este capítulo se describe la morfología actual de la zona de estudio, posteriormente se lleva a cabo un estudio de la evolución histórica en dicha zona.



- *Capítulo 3. Dinámica marina.* En este capítulo se describe el clima marítimo en la zona de estudio, tanto en profundidades indefinidas, como en las inmediaciones de las playas objeto de estudio, finalizando con el análisis de las corrientes de rotura en el tramo de costa objeto de análisis.
- *Capítulo 4. Dinámica litoral actual.* En el presente capítulo se estudia la dinámica litoral en la situación actual en la zona de estudio, analizando la estabilidad y evolución de la playa del Castillo y determinando la tasa de transporte de sedimentos en la zona analizada.
- *Capítulo 5. Descripción de las mejoras del Proyecto de regeneración de la playa de el Castillo.* En este capítulo se describen las mejoras sugeridas, mostrando la configuración geométrica asociada a las mismas.
- *Capítulo 6. Afección a las playas por las mejoras de la playa del Castillo.* En este capítulo se analiza la afección a las playas adyacentes a la playa del Castillo por las mejoras de dicho Puerto.
- *Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones.* En este capítulo se presentan las conclusiones del trabajo y se proponen algunas recomendaciones al proyecto de mejoras del Puerto de Salou.

1.4. INFORMACIÓN UTILIZADA

Para la realización de este estudio, se ha contado con la siguiente información:

- “Asistencia técnica para la redacción del proyecto de la playa de el Castillo”, Trama ingenieros S.L.
- Archivo de AutoCad con información de la batimetría de la playa del Castillo
- Raúl Medina, Iñigo Losada, Miguel A. Losada and Cesar Vidal. “VARIABILIDAD DE LOS PERFILES DE PLAYA: FORMA Y DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA”
- Apuntes de la asignatura “Coastal Engineering”, impartida por Fernando Méndez y Raúl Medina



3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



1. MORFOLOGÍA ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO
 - 1.1. Morfología general del entorno
 - 1.2. Morfología específica de cada zona
2. TRAMO LITERAL DE SAN CRISTÓBAL DEL CASTILLO



1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En el presente capítulo se realiza una descripción de la morfología actual de la zona de estudio y se fija la toponimia que se utilizará a lo largo de este trabajo. Posteriormente se analiza la evolución histórica a la que se ha visto sometida la zona en cuestión.

1.1. MORFOLOGÍA ACTUAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra en las Islas Canarias. Concretamente en la costa Nordeste de la isla de Gran Canaria y con una alineación Norte-Sur, como se muestra en las imágenes:



3.1 Mapa de ubicación



3.2 Mapa de ubicación

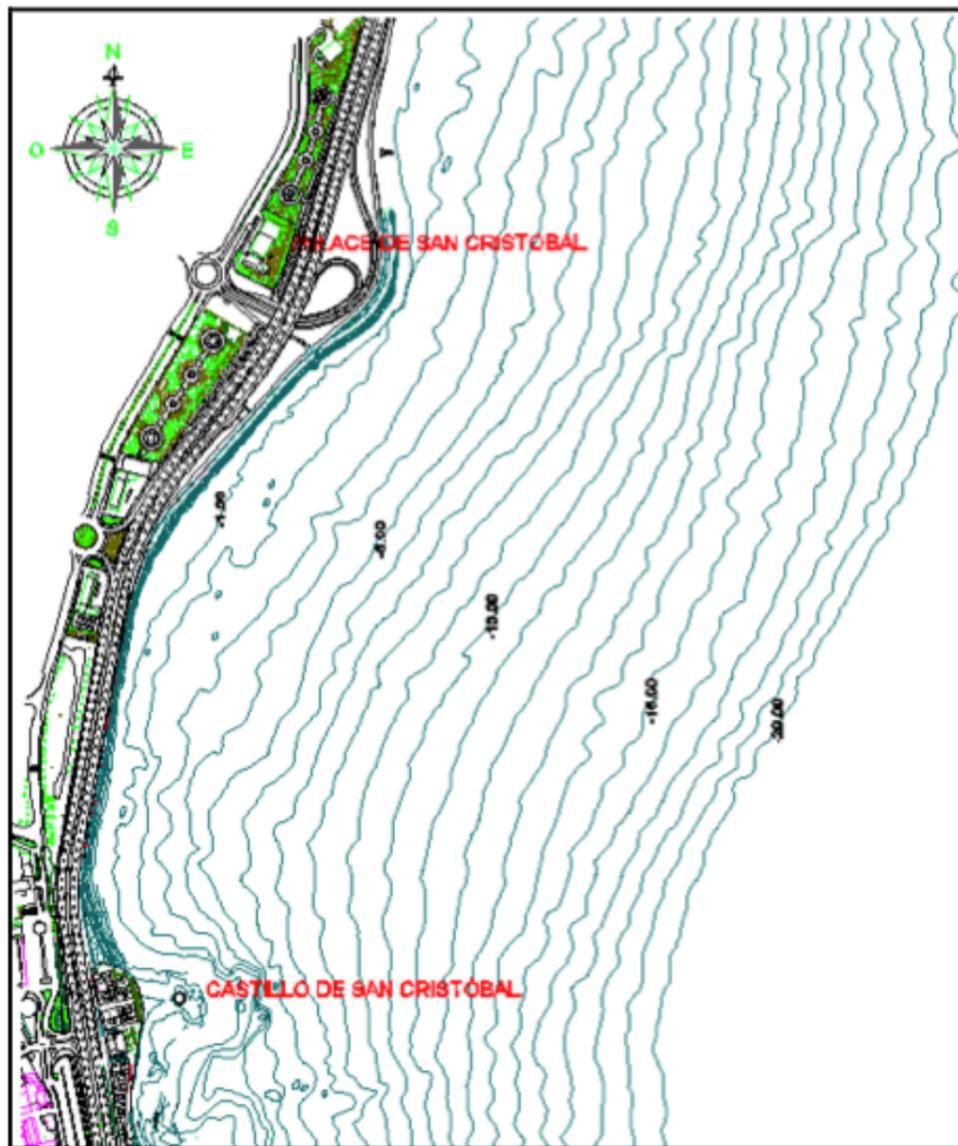


3.3 Mapa de ubicación

En cuanto a la morfología costera, el tramo costero objeto de estudio se engloba dentro del borde costero que se extiende desde Las Palmas hasta la Punta de Jinámar, éste se encuentra ocupado por el puerto y la ciudad, en un tramo de más de 7 km de extensión. Este tramo costero se encuentra revestido por una escollera longitudinal, presentando sólo algún tramo de playa aislado, como la playa de Las Alcaravaneras, dentro del puerto, o la playa de San Cristóbal, al Sur. La costa al Sur del puerto se proyecta en un amplio arco hacia el mar, cuyo centro lo ocupa la salida del barranco de Guinguada. Al Sur del Castillo de San Cristóbal, la costa presenta un frente acantilado, interrumpido por la ensenada de La Laja, recuperada hace unos años mediante obras de defensa y rellenos de arena. Siguiendo más hacia el Sur, el frente sigue siendo acantilado con alguna playa intercalada, formada por arena oscura, de origen volcánico o de origen orgánico.

La costa desde la Isleta hasta el término de San Cristóbal del Castillo, es suavemente irregular, con pequeños salientes, ligeramente acantilados y con playas encajadas entre ellos. Los fondos son relativamente regulares y la batimetría es sensiblemente paralela a la costa. Destacar la depresión localizada a la altura de Triana a una profundidad de unos 200 m y a una distancia de 3000 m de la costa. En cuanto a la batimetría exterior del tramo costero objeto de estudio, presenta un bajo entorno a las batimétricas 40 – 50 m, que como se verá en el capítulo dedicado a la dinámica marina condicionará la propagación del oleaje. Este bajo se encuentra situado a una distancia de unos 3000 m de la costa, siendo por tanto en esta zona la plataforma una mayor anchura.

A cercándonos a la costa, se puede observar cómo la batimetría en la zona de detalle es considerablemente paralela a la costa, exceptuando en el saliente donde se sitúa el enlace de la autovía, situado en el extremo del tramo de costa en estudio, y el saliente donde se localiza el Castillo de San Cristóbal, situado en el extremo sur. La pendiente media del fondo hasta la batimétrica -10 es del orden del 3.5 %.



3.1 Batimetría de la zona

1.2. TRAMO LITORAL DE SAN CRISTÓBAL DEL CASTILLO

Como se ya se ha comentado con anterioridad, el tramo de costa objeto de estudio se extiende desde el ramal de salida de la autovía hasta el Castillo de San Cristóbal, al Sur de la capital de la Isla. Antiguamente, el término de San Cristóbal únicamente estaba formado por un barrio de pescadores, que aún se conserva en la zona del Castillo. En los últimos años esta zona ha pasado a ser un barrio del extrarradio de la capital, sometido a un fuerte crecimiento urbanístico, acompañado de la construcción de la autovía litoral que discurre muy próxima a la costa.

En esta franja costera sólo existe la playa de gravas localizada en las inmediaciones del Castillo de San Cristóbal, de dimensiones reducidas, unos 140 m de longitud y unos 40 m de anchura de playa seca. El resto del tramo costero hasta el enlace de San Cristóbal está recubierto de escollera.

Tal y como se describirá con detalle en capítulos posteriores, los oleajes que inciden en esta costa presentan una dirección en indefinidas perteneciente al sector N-NE. Estos oleajes sufren refracción antes de alcanzar la costa, tendiendo a ponerse paralelos a la batimetría. La orientación NW-SE de la playa actual de gravas y las direcciones de incidencia del oleaje nos indican la dirección del flujo medio de energía del oleaje que actúa en esta costa. Esta costa no presenta ningún tipo de protección frente al oleaje incidente, por lo que esta orientación de la playa de gravas permite explicar porque en el resto del tramo costero a estudiar no existen otras acumulaciones de sedimento: la orientación de la fachada costera y la no existencia de elementos de apoyo no permiten la formación de otras playas.

La batimetría de detalle de la playa y el tipo de sedimento de la misma indica que presenta una pendiente elevada, interceptando con el fondo de rocoso de pendiente del orden del 3.5 % a una profundidad muy reducida entorno a las batimétricas 0 , -1, estando estas cotas referidas a la bajamar media viva equinoccial. El único



elemento morfológico determinante en la configuración de la playa de bolos es el saliente en el que se localiza el Castillo de San Cristóbal pero debido a su magnitud no permite mayor apoyo del perfil.



4. DINÁMICA MARINA



1. INTRODUCCIÓN
2. OLAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS
 - 2.1. Fuentes de datos
 - 2.2. Caracterización del oleaje
3. OLAJE EN LA ZONA DE ESTUDIO
 - 3.1. Introducción
 - 3.2. Batimetría
 - 3.3. Modelo de propagación
 - 3.4. Mallas de propagación
 - 3.5. Casos propagados
 - 3.6. Resultados de las propagaciones
 - 3.7. Regímenes de oleaje en las inmediaciones
4. SISTEMA CIRCULATORIO
 - 4.1. Introducción
 - 4.2. Resultados



3. DINÁMICA MARINA

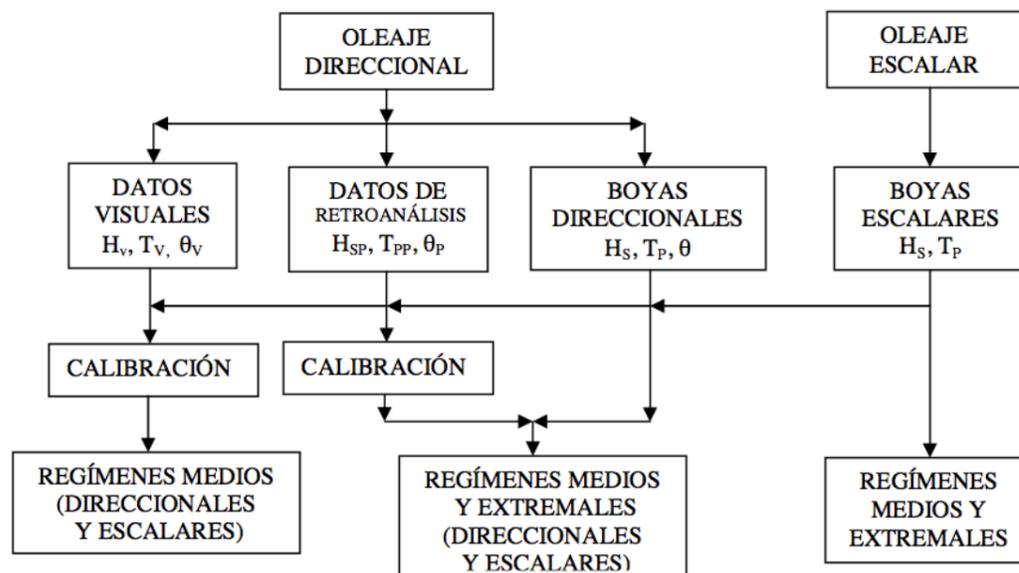
3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analiza la dinámica marina que en mayor medida gobierna el tramo costero en las proximidades de San Cristóbal del Castillo (Gran Canaria). Esto es, el oleaje y el sistema de corrientes de rotura inducido por éste. Previamente, y dado que el oleaje que alcanza la zona de estudio está condicionado por el oleaje existente en aguas profundas y por la propagación del mismo hasta la costa, se analizarán las características de dicho oleaje en profundidades indefinidas. Posteriormente, se estudiará la dinámica marina de forma detallada en las proximidades de la playa.

3.2. OLEAJE EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

3.2.1. Fuentes de datos

Los datos de oleaje de los que se dispone en la actualidad pueden provenir de tres fuentes diferentes, como muestra la figura 4.1: datos visuales obtenidos por observadores desde barcos en ruta, datos instrumentales, procedentes de instrumentos fondeados en puntos fijos y datos de retroanálisis meteorológico.



4.1 Posibles fuentes de datos de oleaje

3.2.1.1. Datos visuales

Estos datos son tomados por observadores entrenados desde los barcos del tráfico marítimo comercial. Estos datos son enviados por radio a centros internacionales que se encargan de su recopilación, almacenamiento y distribución. Parte de la información recogida por los observadores proviene de datos instrumentales: Velocidad del viento, presión atmosférica, posición del barco, fecha y hora. Sin embargo la información recogida sobre el oleaje se realiza a estima y depende del entrenamiento del observador. Además de este inconveniente, los datos visuales sufren de importantes carencias, por lo que no son utilizados en el caso de disponer de fuentes más fiables.

Dado que en la zona de las Islas Canarias se dispone de datos instrumentales escalares de buena calidad y duración y de datos obtenidos de retroanálisis meteorológico, ha sido descartada la utilización de los datos visuales en este estudio.

3.2.1.2. Datos de retroanálisis de oleaje de Puertos del Estado (RPE)

El desarrollo de los modelos previsión de oleaje de última generación y la existencia de información meteorológica digitalizada hace posible en la actualidad la creación de datos de oleaje a partir de la aplicación de los modelos de previsión a las condiciones meteorológicas de tiempo pasado. En la actualidad, en el Norte de



España se dispone de datos de retroanálisis elaborados por diversos organismos (Instituto Nacional de Meteorología, Puertos del Estado).

De las diferentes fuentes disponibles en el presente proyecto, se ha elegido, por su resolución espacial y temporal, la base de datos de retroanálisis de oleaje de Puertos del Estado (RPE), en concreto la base de datos SIMAR- 44.

3.2.1.3. Datos instrumentales

Los datos instrumentales de las redes fijas de medida, como es el caso de la Red Costera de Puertos del Estado (REDCOS), se obtienen mediante boyas dotadas de acelerómetros.

Las boyas utilizan una función de transferencia (que depende del calibrado de la boya) para transformar la lectura del acelerómetro en desplazamiento vertical de la superficie libre. Estos datos de superficie libre son transmitidos a una central de recogida de datos que los procesa y almacena. En la actualidad las boyas envían información durante 20 minutos cada hora, aunque en condiciones de temporal miden en continuo.

Los datos procesados corresponden a estados de mar, que se asume tienen una hora de duración. Como resultado del análisis a corto plazo, se almacenan los momentos espectrales y varios parámetros estadísticos basados en los citados momentos (m_n , H_{m0} , H_{max} , $H_{1/n}$, T_z , T_p , etc). Si la boya es direccional, se suele indicar además la dirección de la frecuencia de pico, θ_p y la dirección media de propagación, θ_m . En España, estos datos instrumentales, así como los visuales y de retroanálisis, son gestionados por el Área de Conocimiento del Medio Físico de Puertos del Estado. La posición de las boyas existentes en la actualidad puede verse en la página de Puertos del Estado (www.puertos.es). La gran ventaja de los datos instrumentales es la calidad y fiabilidad de la información de oleaje que facilitan. Por esta razón y dado que la duración de las series de datos de oleaje direccional son todavía demasiado cortas para su uso directo para la elaboración de los regímenes, se utilizan para el calibrado de los datos obtenidos con el retroanálisis meteorológico.

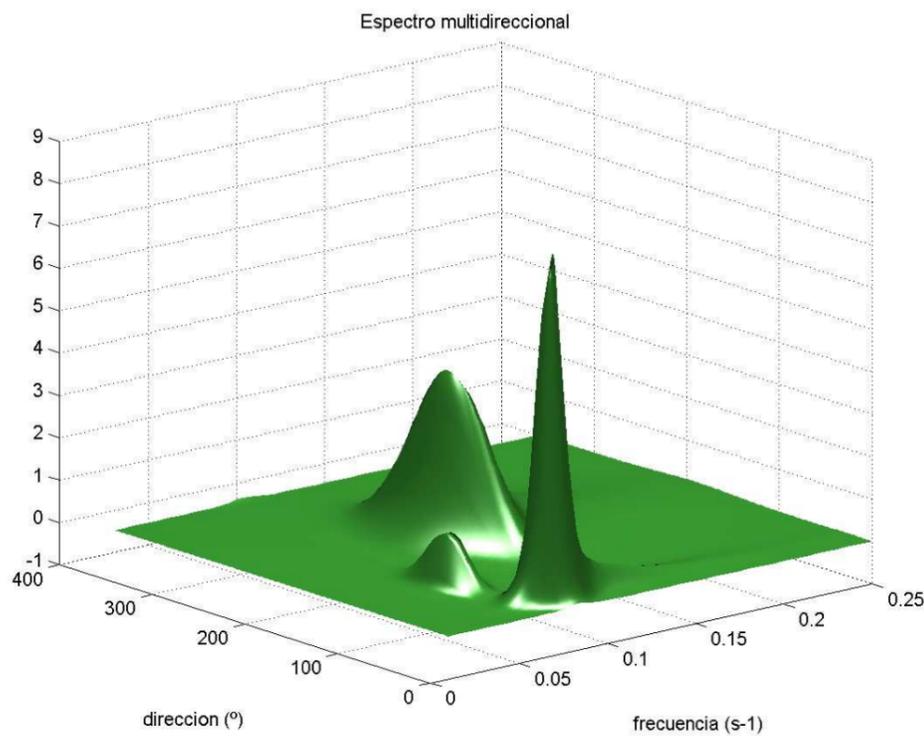
3.2.2. Base de datos RPE (SIMAR-44)

Para la obtención de los regímenes de oleaje en profundidades indefinidas se ha utilizado la base de datos RPE, serie que contiene los parámetros de estado de mar obtenidos de los registros direccionales, espaciados cada hora durante un período de tiempo de 37 años.

La información se divide en 385.572 estados de mar, de una hora de duración, de donde se utilizaron los siguientes parámetros:

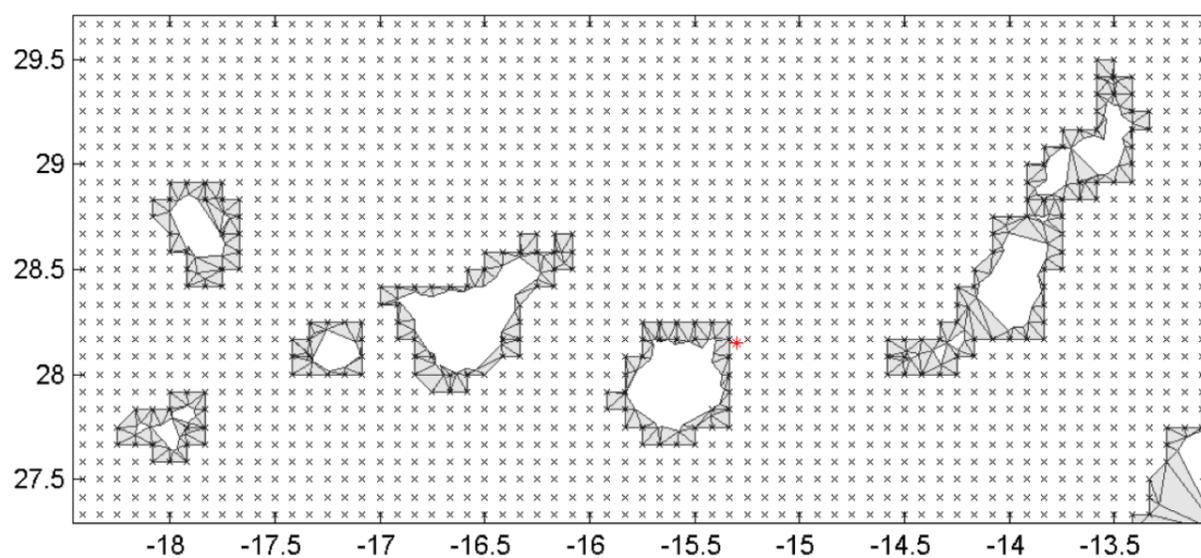
- Altura de ola significativa, H_s
- Período medio, T_m
- Período de pico, T_p
- Dirección media de propagación, θ_m

La base de datos de RPE consta de dos oleajes tipo SWELL y un tipo SEA, de donde se obtiene el espectro direccional de energía, como se muestra en la figura 8.2. De este espectro resultante se calculan los diferentes momentos y parámetros de estado de mar derivados: altura de ola significativa, H_s , período de pico, T_p , período medio, T_m y dirección media de propagación θ_m según las expresiones que correspondan. La base de datos SIMAR-44 del RPE proporciona resultados en puntos cada 0.08 grados de latitud-longitud.



4.2 Ejemplo de un espectro compuesto de oleajes tipo SWELL y SEA de la RPE

En este estudio se ha considerado el punto localizado a 27.50o de latitud y -13.50o de longitud, por su cercanía a la zona de estudio y por encontrarse en profundidades indefinidas. Por lo tanto se considera que este punto representa las condiciones naturales y que la información proporcionada por este punto permite calcular los regímenes escalares, direccionales y extremales de oleaje en la plataforma exterior adyacente a Las Palmas de Gran Canaria.



4.3 Localización del punto RPE utilizado para obtener los datos

3.2.3. Caracterización del oleaje

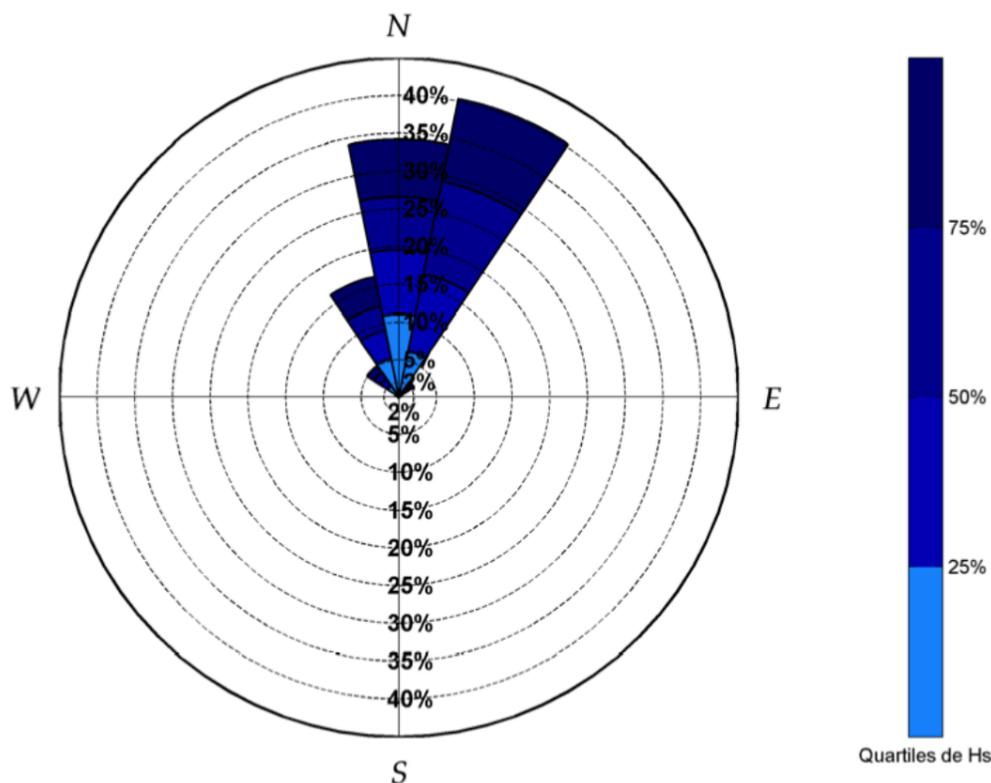
Para la determinación de los regímenes direccionales medios y extremales de la altura de ola significativa se han definido sectores de 22.5o. En la tabla 4.4 se muestra el porcentaje del tiempo que presenta cada uno de estos sectores.



Dirección	Sector	Porcentaje de tiempo %
N	$348.75 < \theta \leq 11.25$	34.14
NNE	$11.25 < \theta \leq 33.75$	40.30
NE	$33.75 < \theta \leq 56.25$	2.43
ENE	$56.25 < \theta \leq 78.75$	0.35
E	$78.75 < \theta \leq 101.25$	0.18
ESE	$101.25 < \theta \leq 123.75$	0.11
SE	$123.75 < \theta \leq 146.25$	0.07
SSE	$146.25 < \theta \leq 168.75$	0.03
S	$168.75 < \theta \leq 191.25$	0.01
SSW	$191.25 < \theta \leq 213.75$	0.10
SW	$213.75 < \theta \leq 236.25$	0.14
WSW	$236.25 < \theta \leq 258.75$	0.13
W	$258.75 < \theta \leq 281.25$	0.20
WNW	$281.25 < \theta \leq 303.75$	0.46
NW	$303.75 < \theta \leq 326.25$	5.06
NNW	$326.25 < \theta \leq 348.75$	16.29

4.4 Ocurrencia de presencia de oleajes en indefinidas en función de su dirección

En la figura 4.5 también se puede ver la rosa de oleaje obtenida con los datos del punto RPE. En esta figura se aprecia como los oleajes reinantes y dominantes en alta mar proviene del N y NE con una probabilidad de ocurrencia del 34% y del 40%, respectivamente. También tienen cierta relevancia los oleajes del NNW, representando un 16% del total de los datos, pero dada la orientación del tramo de costa objeto de estudio apenas intervienen en la dinámica marina. Los oleajes del NE presentan una probabilidad de ocurrencia del 2,5%, pero a diferencia de los oleajes del NNW, inciden de una manera muy directa a la costa, siendo de gran relevancia.



4.5 Rosa de oleaje en indefinidas

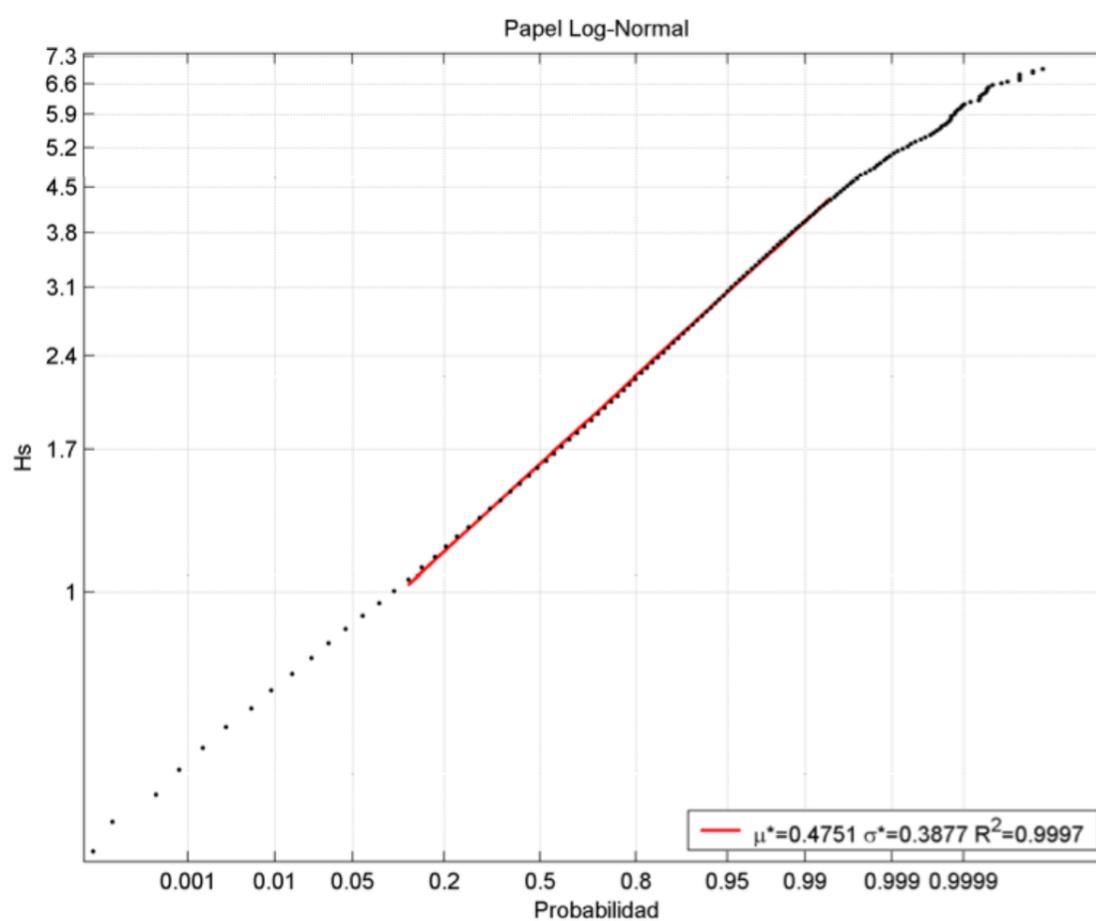
3.2.3.1. Regímenes medios

Se han obtenido los regímenes medios anuales escalares y direccionales de altura de ola en profundidades indefinidas con base a los datos de retroanálisis correspondientes al punto indicado anteriormente. Estos regímenes se han ajustado mediante una distribución lognormal, como se expresa en la siguiente ecuación, donde el parámetro μ es la media de la distribución lognormal, y el parámetro σ es la desviación típica de la distribución lognormal.



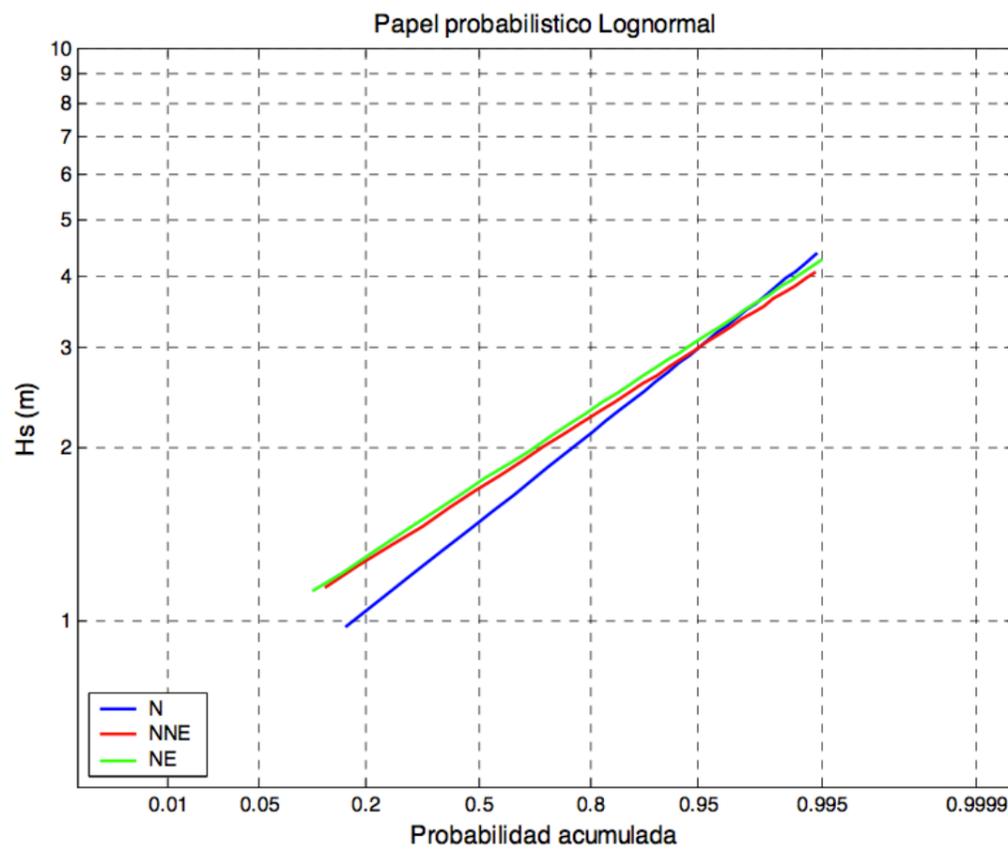
$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \left(\log\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right)\right)^{\frac{1}{2}}}} \int_{-\infty}^x \frac{1}{x} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(x) - \left(\log(\mu) - \frac{1}{2} \log\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right) \right)}{\left(\log\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right)\right)^{\frac{1}{2}}} \right)^2 \right] dx$$

En este apartado se representa, a modo de resumen, el régimen escalar medio de la altura de ola significativa. En la figura que viene a continuación, se han representado todos los datos de RPE de altura de ola significativa del ajustado pero el régimen escalar sólo ha sido determinado en el rango de probabilidad acumulada 10%-99.5% (línea roja). La cola inferior se ha despreciado por tratarse de olas de muy pequeña magnitud, mientras que cola superior de los datos se trata en la determinación de los regímenes extremales. Los parámetros de ajuste (μ , σ) se recogen en la gráfica.



4.6 Régimen escalar medio de la altura de ola significativa en aguas profundas

En la figura 4.7 se muestra el régimen medio direccional de la altura de la significativa para cada una de las direcciones consideradas de interés N, NNE y NE:



4.7 Régimen medio direccional para las direcciones de interés en aguas profundas

3.2.3.2. Régimen extremal

En este apartado se describe la metodología seguida para la obtención de los regímenes extremales direccionales de oleaje, en profundidades indefinidas.

Los valores extremos se ajustan a una de estas tres distribuciones, Gumbel, Fréchet y Weibull, según el teorema de las tres colas (*Fisher y Tippett, 1928*). Estos tres tipos pueden ser combinados en una única expresión denominada distribución de valores extremos generalizados (GEV) con la siguiente expresión:

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 - \frac{\xi(x - \mu)}{\psi} \right)^{1/\xi} \right]$$

Donde:

μ : es el parámetro de localización.

ψ : es el parámetro de escala.

ξ : es el parámetro de forma.

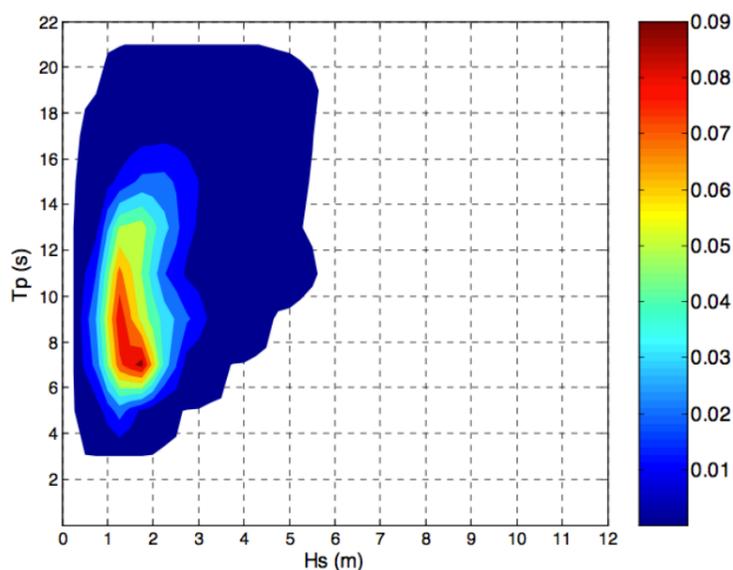
Cuando $-0.05 < \xi < 0.05$ resulta la distribución de Gumbel.

Cuando $\xi > 0.05$ resulta la distribución de Fréchet.

Cuando $\xi < -0.05$ resulta la distribución de Weibull.

Por tanto se ha aplicado la distribución de extremos generalizada a la máxima altura de ola anual para la determinación del régimen extremal escalar del parámetro de estado de mar altura de ola significativa, H_s .

Con el objeto de establecer la relación entre la altura de ola significativa H_s y el periodo de pico T_p se ha establecido la distribución conjunta H_s - T_p , que se muestra en la figura 8.8



4.8 Distribución conjunta Hs-Tp

3.3. OLEAJE EN LA ZONA DE ESTUDIO

3.3.1. Introducción

La propagación del oleaje cumple dos objetivos en este trabajo. En primer lugar, las figuras de propagación permiten obtener una imagen cualitativa y cuantitativa del proceso de propagación desde profundidades indefinidas hasta la zona objeto de estudio, permitiendo detectar zonas de concentración o expansión del oleaje. En segundo lugar, los resultados de las propagaciones permiten crear ficheros de propagación en puntos seleccionados, de manera que sea posible propagar posteriormente los regímenes desde profundidades indefinidas hasta dichos puntos.

3.3.2. Batimetría

La batimetría utilizada en la elaboración de este estudio ha sido obtenida mediante el departamento de oceanografía de la Universidad de Cantabria y provienen de los estudios realizados por este departamento en la playa San Cristóbal del Castillo.

La costa desde la Isleta hasta el término de San Cristóbal del Castillo, tal como se muestra en la figura 7.1, es suavemente irregular, con pequeños salientes, ligeramente acantilados y con playas encajadas entre ellos. Los fondos son relativamente regulares y la batimetría es sensiblemente paralela a la costa. Destacar la depresión localizada a la altura de Triana a una profundidad de unos 200 m y a una distancia de 3000 m de la costa. En cuanto a la batimetría exterior del tramo costero objeto de estudio, presenta un bajo entorno a las batimétricas 40 – 50 m, que como se verá en el anejo dedicado a la dinámica marina condicionará la propagación del oleaje. Este bajo se encuentra situado a una distancia de unos 3000 m de la costa, siendo por tanto en esta zona la plataforma una mayor anchura.

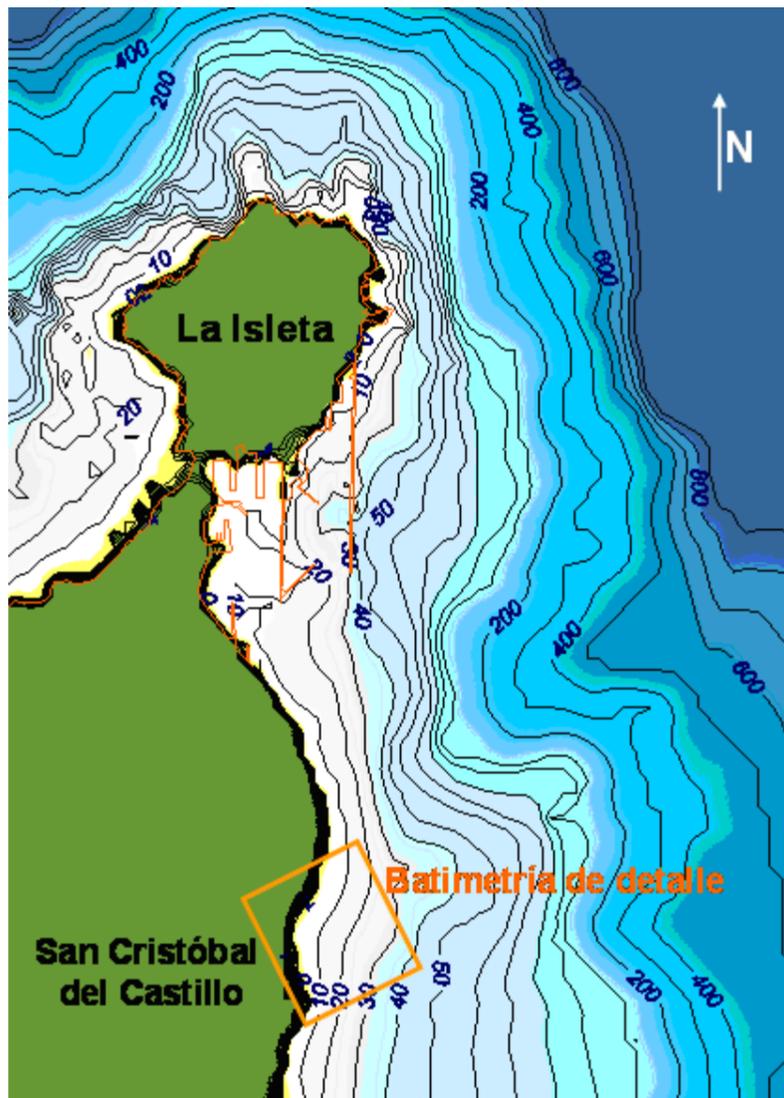


Figura 4.9 Batimetría exterior

A cercándonos a la costa, se puede observar como la batimetría en la zona de detalle es considerablemente paralela a la costa, exceptuando en el saliente donde se sitúa el enlace de la autovía, situado en el extremo del tramo de costa en estudio, y el saliente donde se localiza el Castillo de San Cristóbal, situado en el extremo sur. La pendiente media del fondo hasta la batimétrica -10 es del orden del 3.5

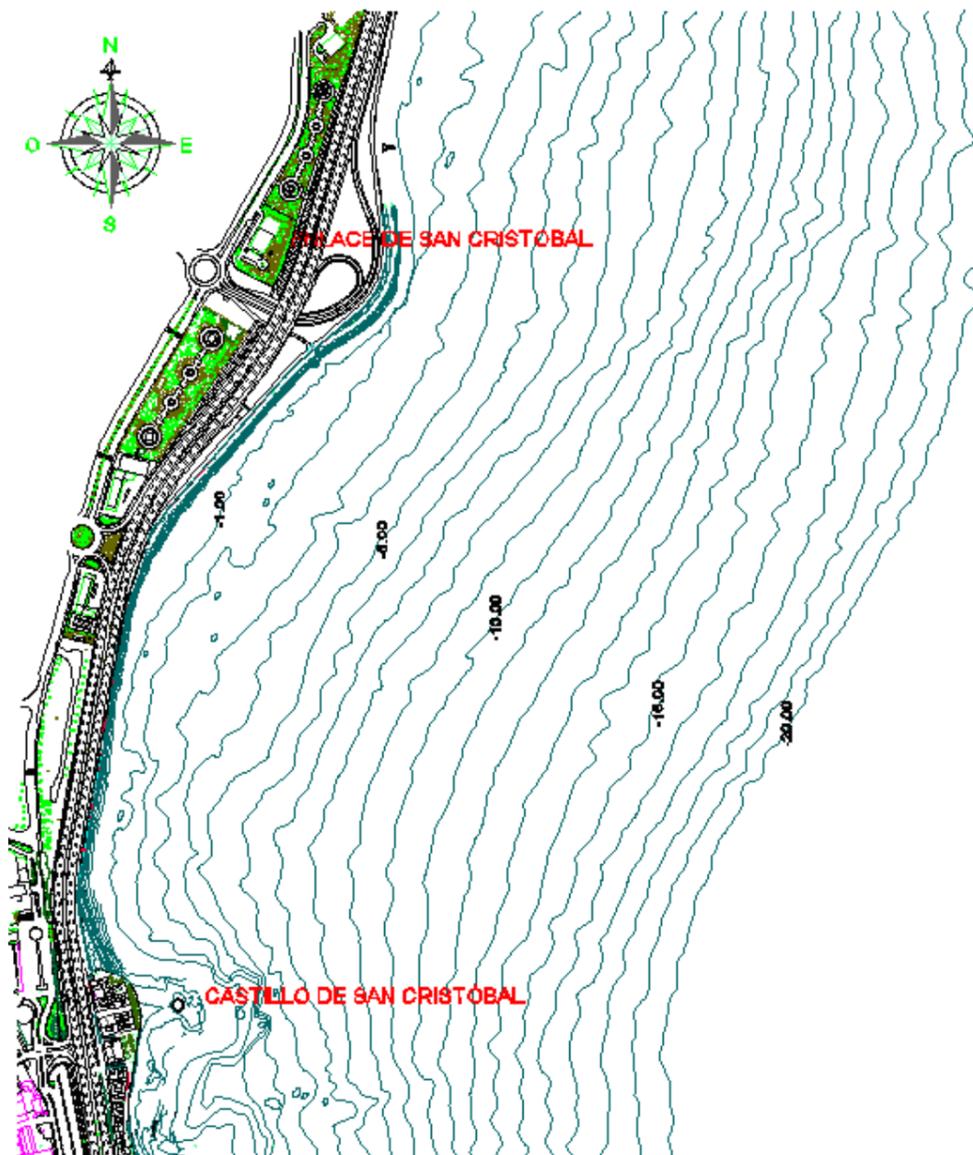


Figura 4.10 Batimetría de detalle

3.3.3. Modelo de propagación

Al propagarse el oleaje hacia la costa, se producen fenómenos de modificación de los frentes de onda y, por tanto, de distribución espacial de la energía del oleaje (refracción, difracción, reflexión, asomeramiento, disipación de energía por fondo, etc.). Al objeto de caracterizar correctamente la dinámica del oleaje en la zona de estudio, se hace necesario propagar los oleajes existentes en aguas profundas hacia la zona de interés. Esta propagación se ha realizado utilizando el Modelo de Propagación de Oleaje y Corrientes (OLUCA), del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria. Dicho modelo es capaz de simular los procesos antes descritos, 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 y 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 citada Universidad y del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria.

Los modelos de propagación de oleaje monocromático (OLUCA-RD) y de propagación de oleaje espectral (OLUCA-SP), han sido desarrollados con base en la formulación no-lineal de la aproximación parabólica de la refracción-difracción, con interacción oleaje-corriente, formulación propuesta por Kirby (1986a).

Estos modelos se clasifican dentro de los modelos no dispersivos en amplitud que resuelven la fase y son aplicables sobre batimetrías complejas en dirección a la costa. La batimetría puede incluir la formación de bajos en las desembocaduras de entradas costeras o estuarios, donde la refracción, difracción, asomeramiento, rotura por fondo e interacción ola-corriente son de forma simultánea importantes.

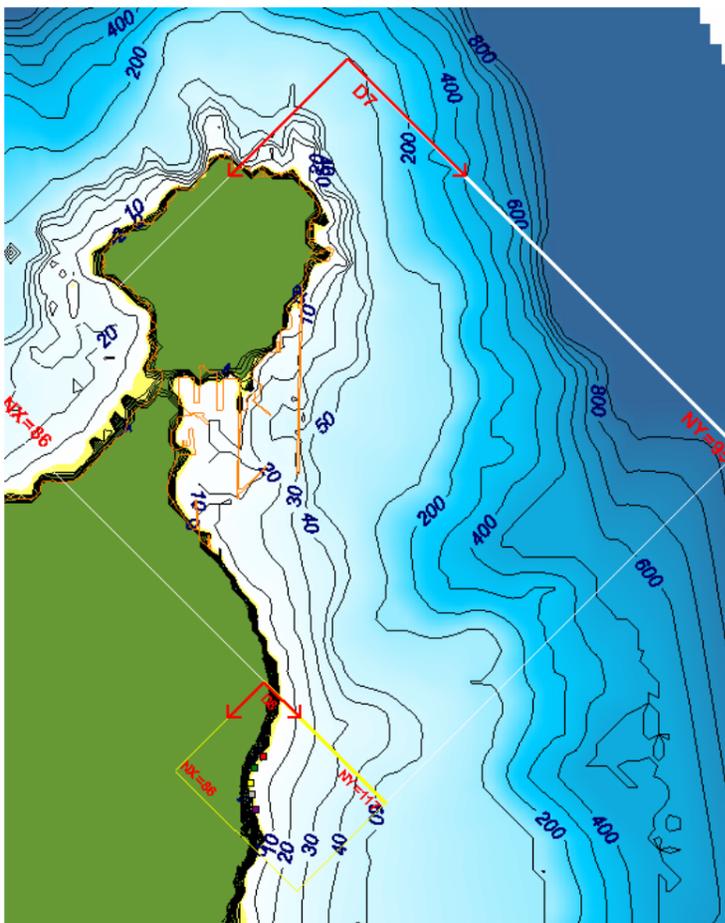
El modelo OLUCA-RD requiere como condición inicial en el contorno exterior (mar adentro), un oleaje definido por una onda (altura de ola, período y dirección), la cual es propagada mediante el modelo parabólico en una malla rectangular sobre la batimetría. De manera análoga, el modelo OLUCA-SP requiere como condición inicial del



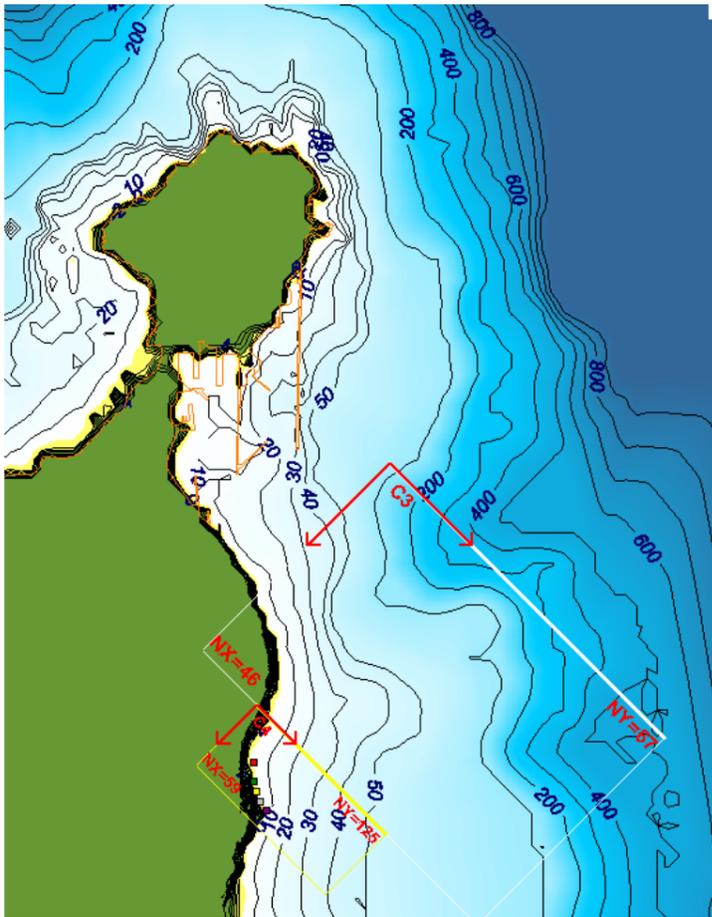
oleaje en el contorno exterior, un estado de mar direccional, el cual se representa mediante un espectro bidimensional discretizado en componentes de energía frecuenciales y direccionales, las cuales se propagan de manera simultánea mediante el modelo parabólico.

3.3.4. Mallas de propagación

Como primer paso para el estudio de la propagación del oleaje, es necesario definir una malla de estudio sobre la batimetría de la zona de estudio, o área en la que se desea analizar la propagación. Por requerimiento del modelo utilizado, una de las alineaciones de la malla ha de coincidir con la dirección de propagación del oleaje, o estar comprendida en un ángulo no superior a $\pm 50^\circ$ respecto a dicha dirección. Por este motivo, y dada la configuración del área de estudio se han seleccionado tres mallas generales de propagación con sus correspondientes mallas de detalle para la zona de estudio que se muestran las figuras 4.11 y 4.12. En las mallas de la figura 4.11. se propagan los oleajes del N, y en las mallas de la figura 4.12, los oleajes del NNE y NE. Las mallas exteriores tienen una discretización del orden de los 100 m mientras que las mallas de detalle tienen un paso de malla de 25 m.



4.11 Mallas de propagación del oleaje (Dirección en indefinidas N)



4.12 Mallas de propagación del oleaje (Dirección en indefinidas NNE y NE)

3.3.5. Casos propagados

Utilizando dichas mallas de estudio se han propagado 252 casos de oleaje espectral, con las direcciones, rangos de alturas de ola y periodos y niveles que se indican a continuación:

Direcciones: N, NNE, NE

Alturas de ola (m): 1 – 8

Periodos (segundos): 5 – 18

Nivel marea (m): 0.0, 2.8 m

Para el caso de la Playa de El Castillo, se han propagado espectros tipo TMA (Boas et al., 1985) al que se le aplica la función de dispersión angular propuesta por Borgman (1984).

Cada espectro propagado queda definido por cinco parámetros:

- H_s : Altura de ola significativa, correspondiente a la altura del momento cero espectral.
- T_p : Periodo de pico.
- θ_m : Dirección media.
- γ : Factor de ensanchamiento del pico.
- σ_θ : Parámetro de dispersión angular.

Los parámetros γ y σ_θ de caracterización de la forma del espectro bidimensional sólo dependen del periodo de pico. La lista de casos de oleaje propagados se recoge en la siguiente tabla:



θ_m	H_s (m)	T (s)	γ	σ_{θ}	Nivel de marea (m)
N (84 casos)	1	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	1.5	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	2.5	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	4	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	6	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	8	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
NNE (84 casos)	1	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	1.5	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	2.5	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	4	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	6	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	8	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
NE (84 casos)	1	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	1.5	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	2.5	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	4	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	6	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8
	8	5; 7; 9	3.3	20	0; 2.8
		11; 13; 15; 18	8	10	0; 2.8

4.13 Casos de propagación de oleaje

3.3.6. Resultados de las propagaciones

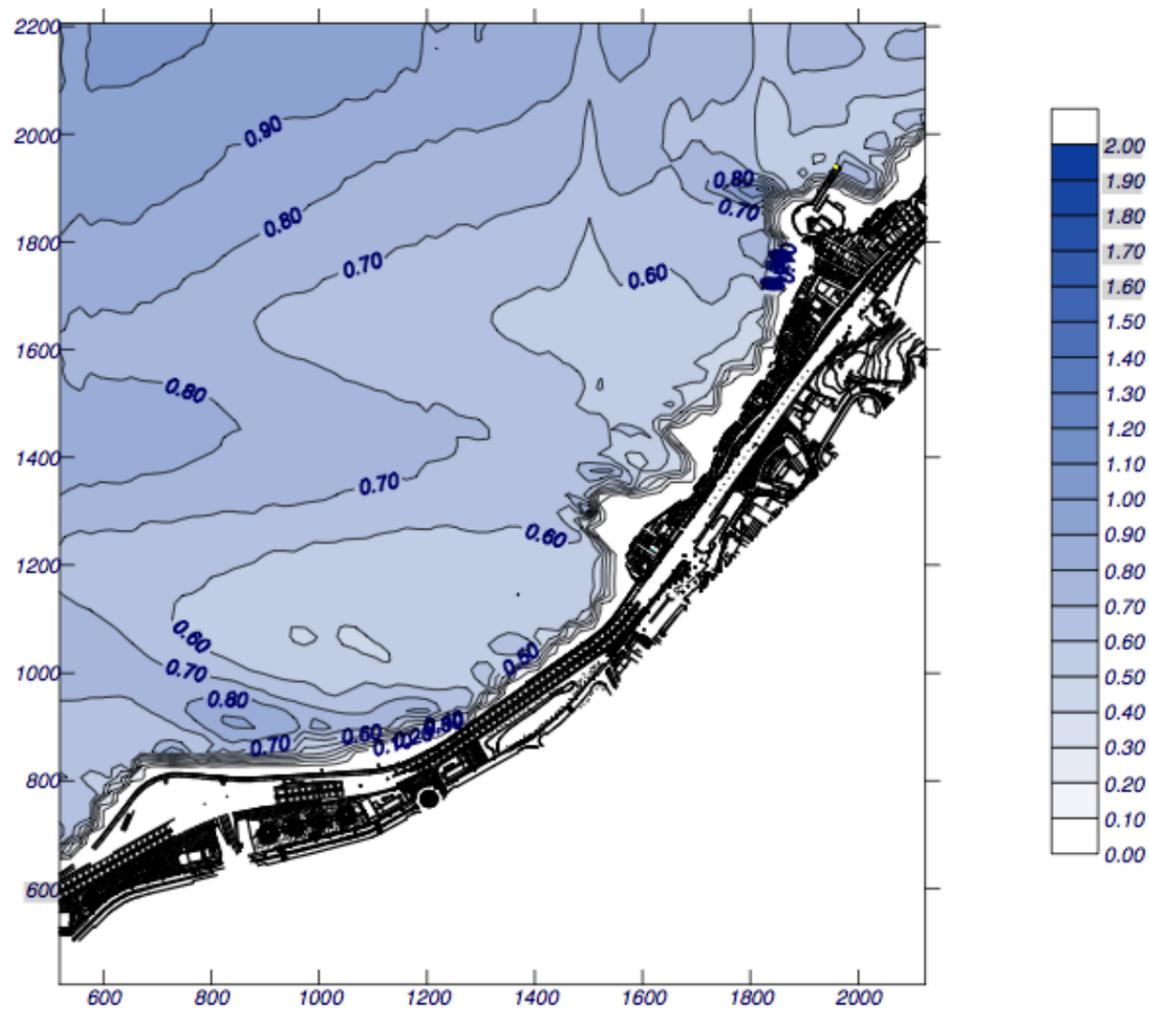
Los resultados obtenidos en cada propagación se almacenan en archivos de datos, a partir de los cuales pueden obtenerse las gráficas siguientes:

- Gráfica de isoalturas de ola significativa.
- Gráfica de vectores altura de ola significativa – dirección media de propagación.

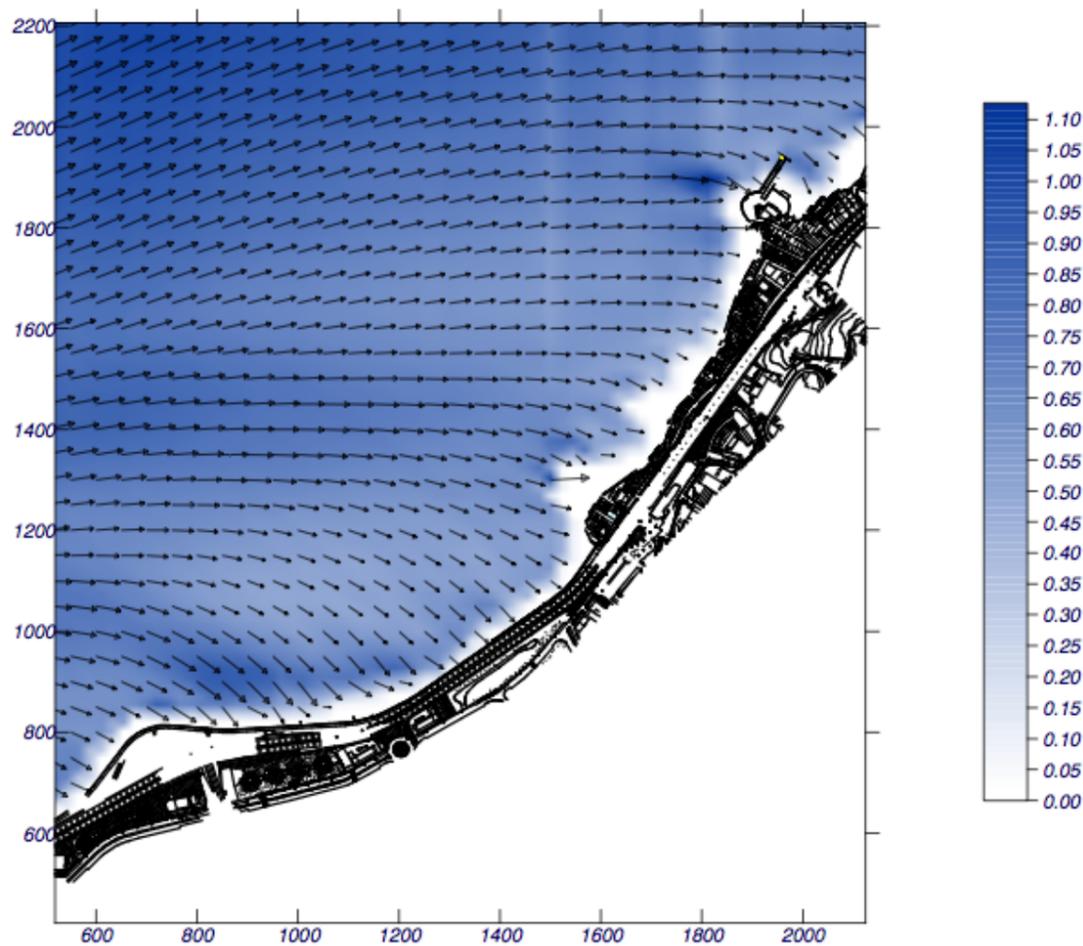
A continuación se presentan los gráficos de vectores e isoamplitudes para un oleaje medio de las direcciones N, NNE y NE en bajamar, para la primera dirección se ha propagado una altura de ola significativa de 1.5 m y un periodo de pico de 9 s, mientras que para las restantes direcciones se ha considerado una altura de ola de 1,5 m y un periodo de pico de 7 s.

Estos oleajes son los que aportan la mayor parte de la energía a la playa.

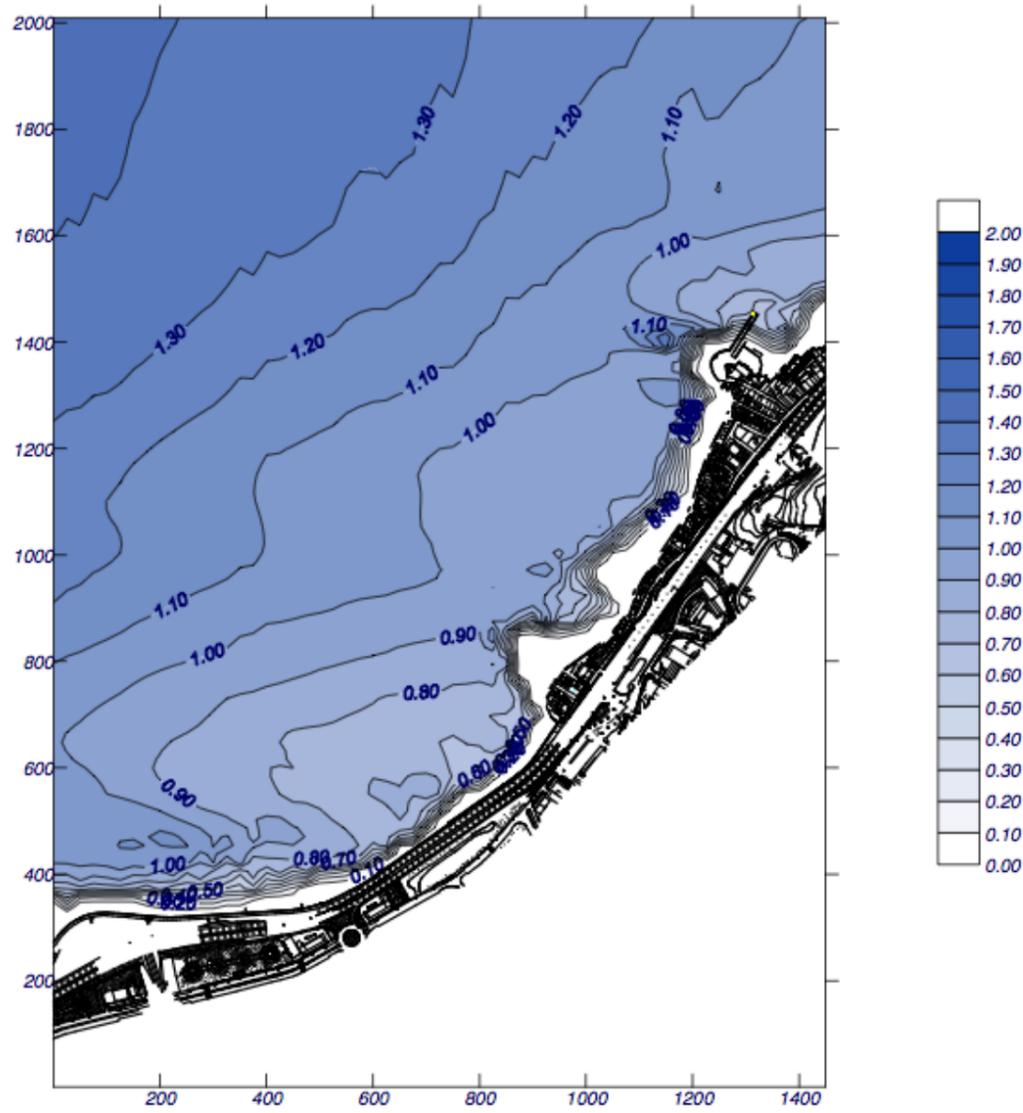
Todos los gráficos han sido obtenidos a partir de la simulación de propagación de oleaje realizada por el IH Cantabria.



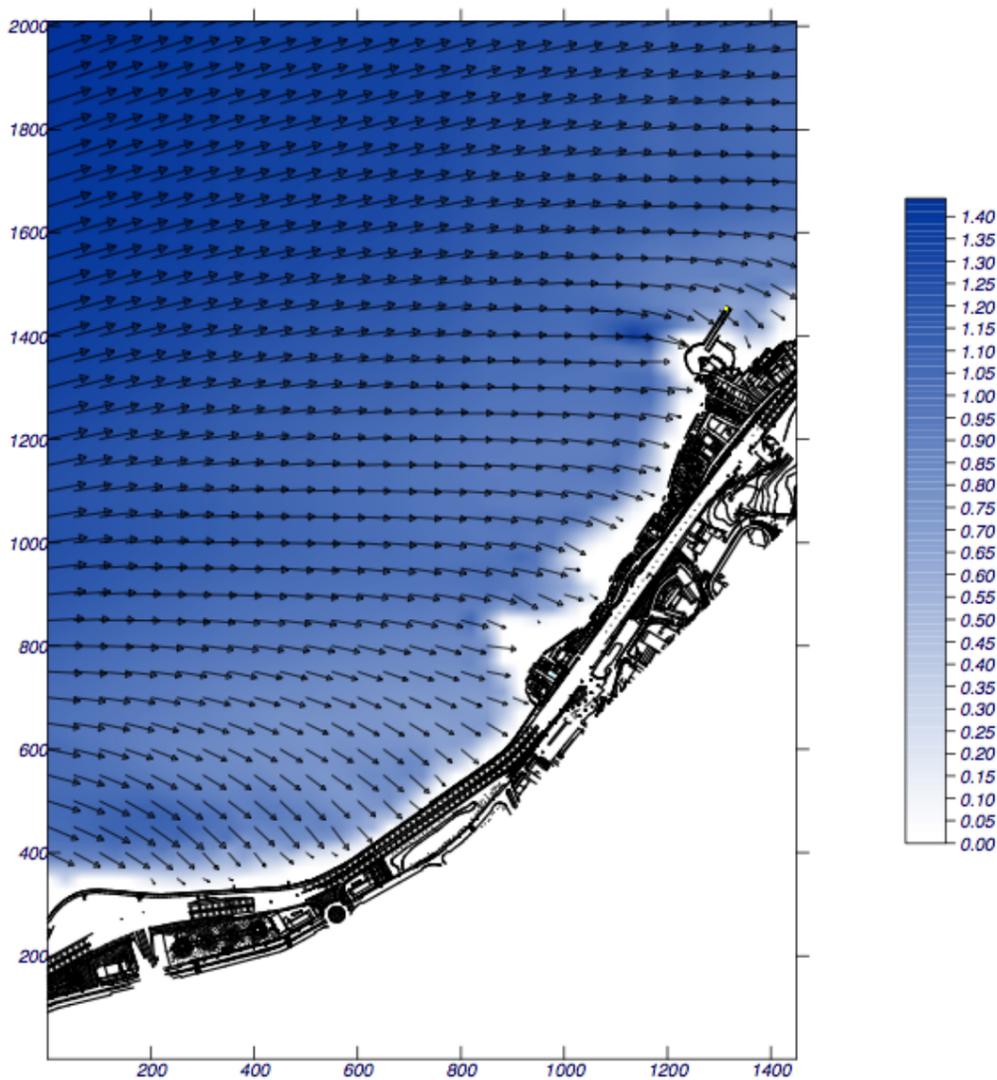
4.14 Gráfico de isoamplitudes de Hs de condiciones N: $H_s=1.5\text{ m}$ y $T_p=9.0\text{ s}$



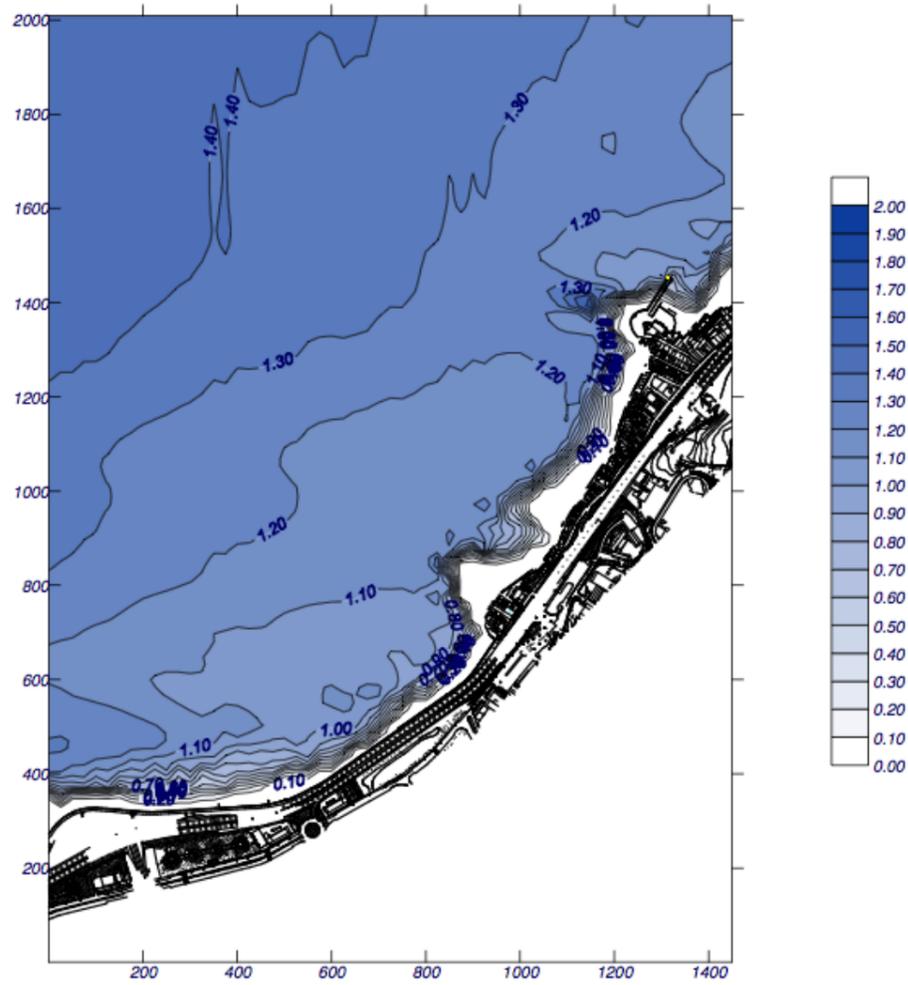
4.15 Gráfico de vectores de Hs con magnitud de condiciones N: $H_s=1.5\text{ m}$ y $T_p=9.0\text{ s}$



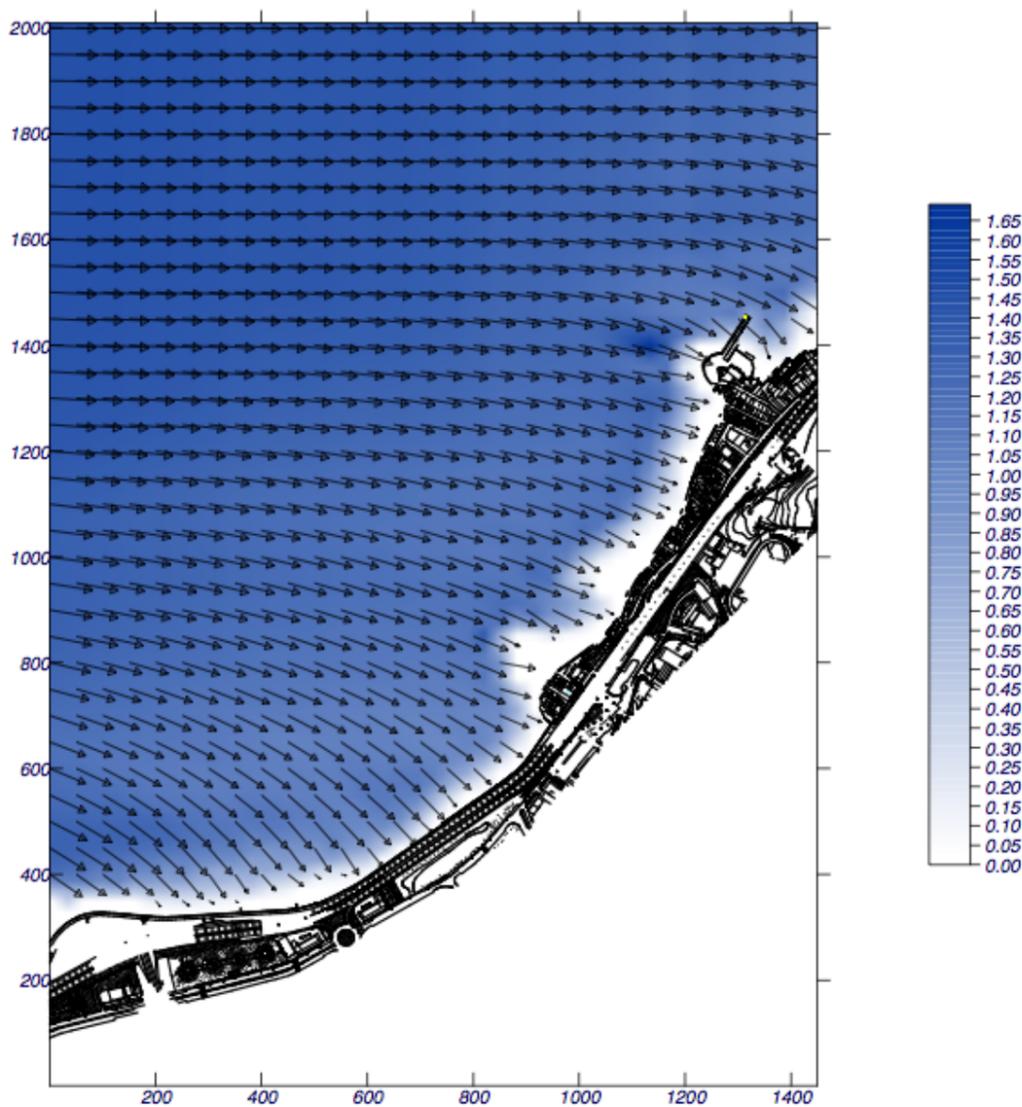
4.16 Gráfico de isoamplitudes de H_s de condiciones NNE: $H_s=1.5$ y $T_p=7.0$ s



4.17 Gráfico de vectores de H_s con magnitud de condiciones NNE: $H_s=1.5$ y $T_p=7.0$ s
Estudio de morfodinámica en la Playa del Castillo



4.18 Gráfico de isoamplitudes de Hs de condiciones NE: $H_s=1.5$ y $T_p=7.0$ s



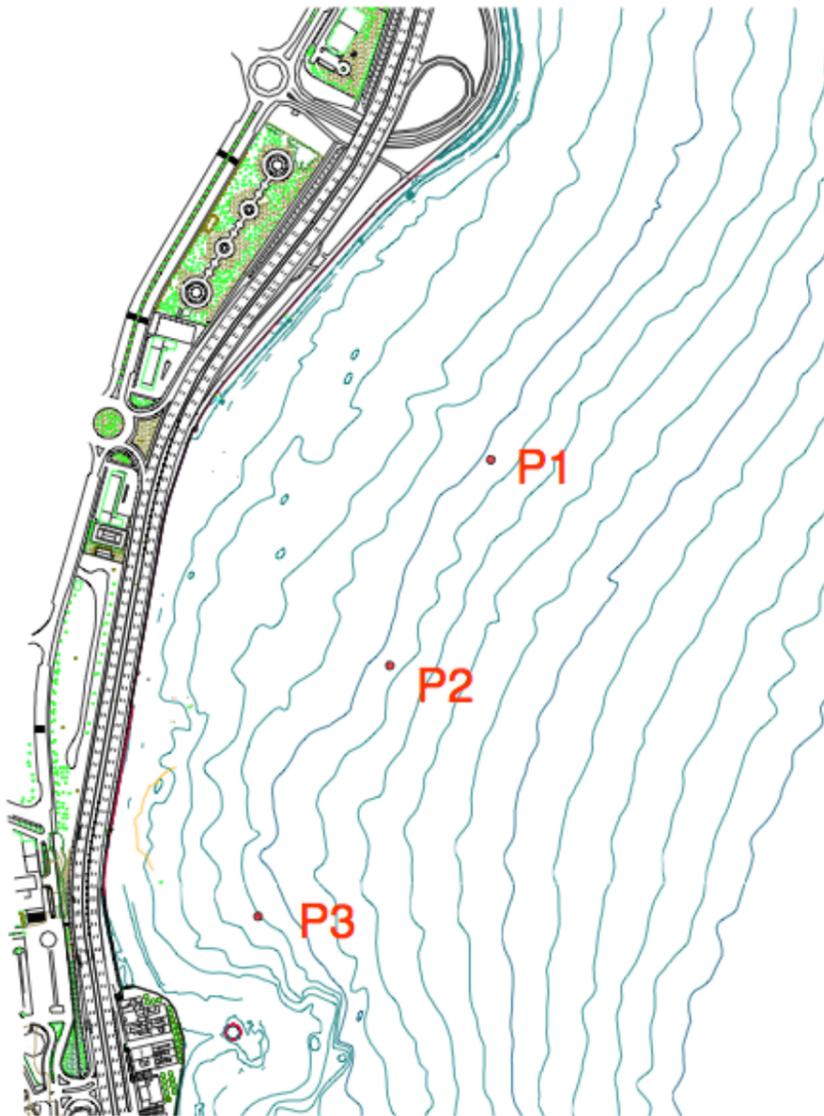
4.19 Gráfico de vectores de Hs con magnitud de condiciones NE: $H_s=1.5$ y $T_p=7.0$ s



3.3.7. Regímenes de oleaje en las inmediaciones

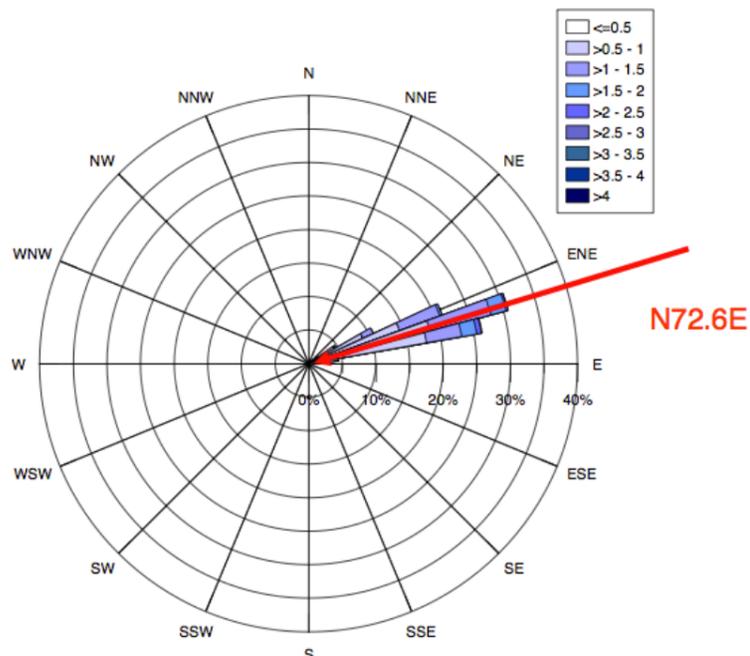
La elaboración de los regímenes de oleaje en las inmediaciones de la zona objeto de estudio permite caracterizar el oleaje en dicha zona, analizar la variabilidad del mismo, definir la dirección del flujo medio de energía, así como determinar diferentes parámetros necesarios para definir el perfil de playa activo y la planta de equilibrio de las playas a analizar.

La dirección del flujo medio de energía es fundamental para el análisis de la forma en planta de equilibrio de las playas y la comprobación de su situación de equilibrio. Además la determinación de esta dirección es necesaria para plantear nuevas configuraciones de la línea de costa mediante la creación de nuevas playas. Por tanto, se ha determinado la dirección del flujo medio de energía en una serie de puntos a lo largo del tramo costero en estudio que nos servirán posteriormente para el análisis a largo plazo de la dinámica marina de la playa actual y para el planteamiento de alternativas.

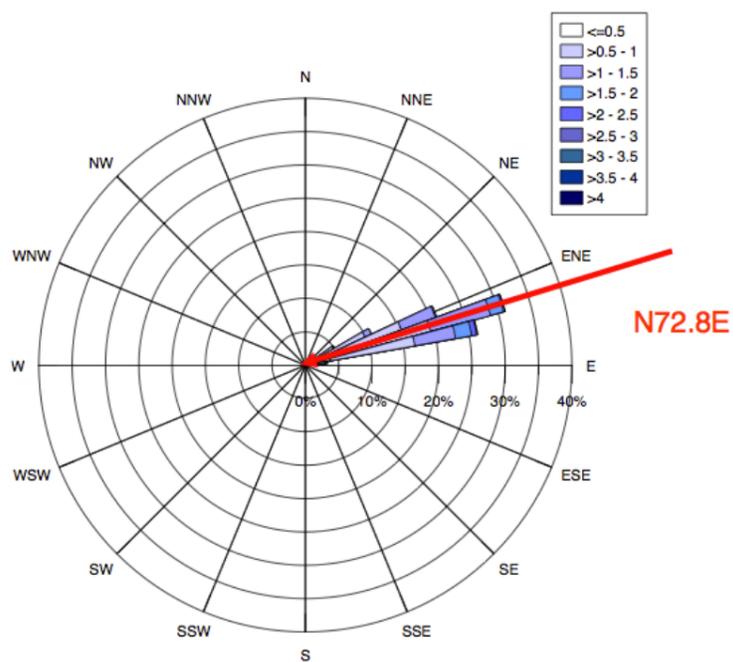


4.20 Ubicación de los puntos de cálculo de la dirección del flujo medio de energía.

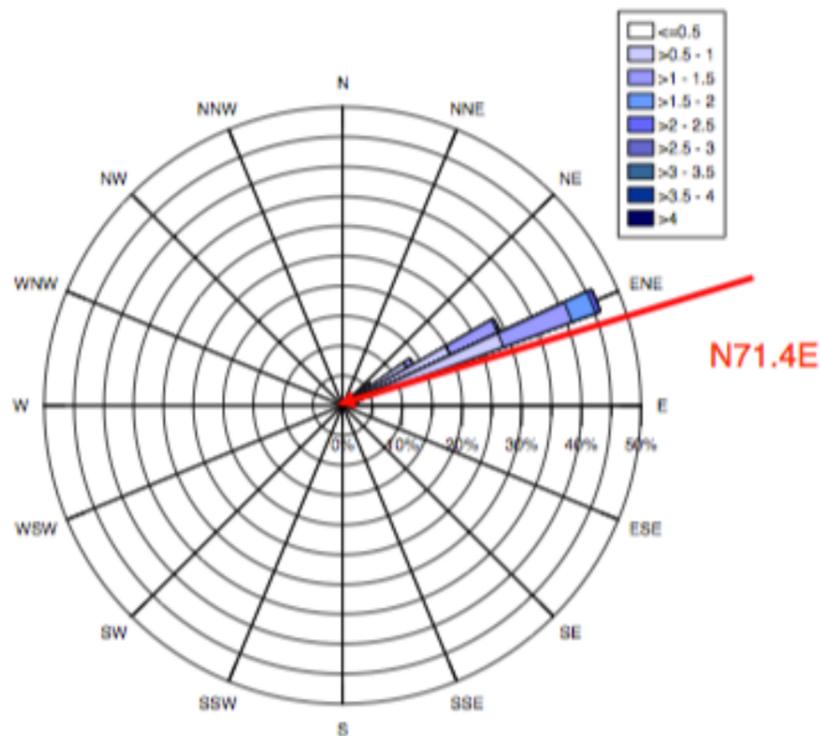
A continuación se han representado las rosas del oleaje incidente en los puntos considerados y se ha indicado la dirección del flujo medio de energía obtenido en cada uno de ellos.



4.21 Dirección del flujo medio de energía en el Punto 1



4.22 Dirección del flujo medio de energía en el Punto 2

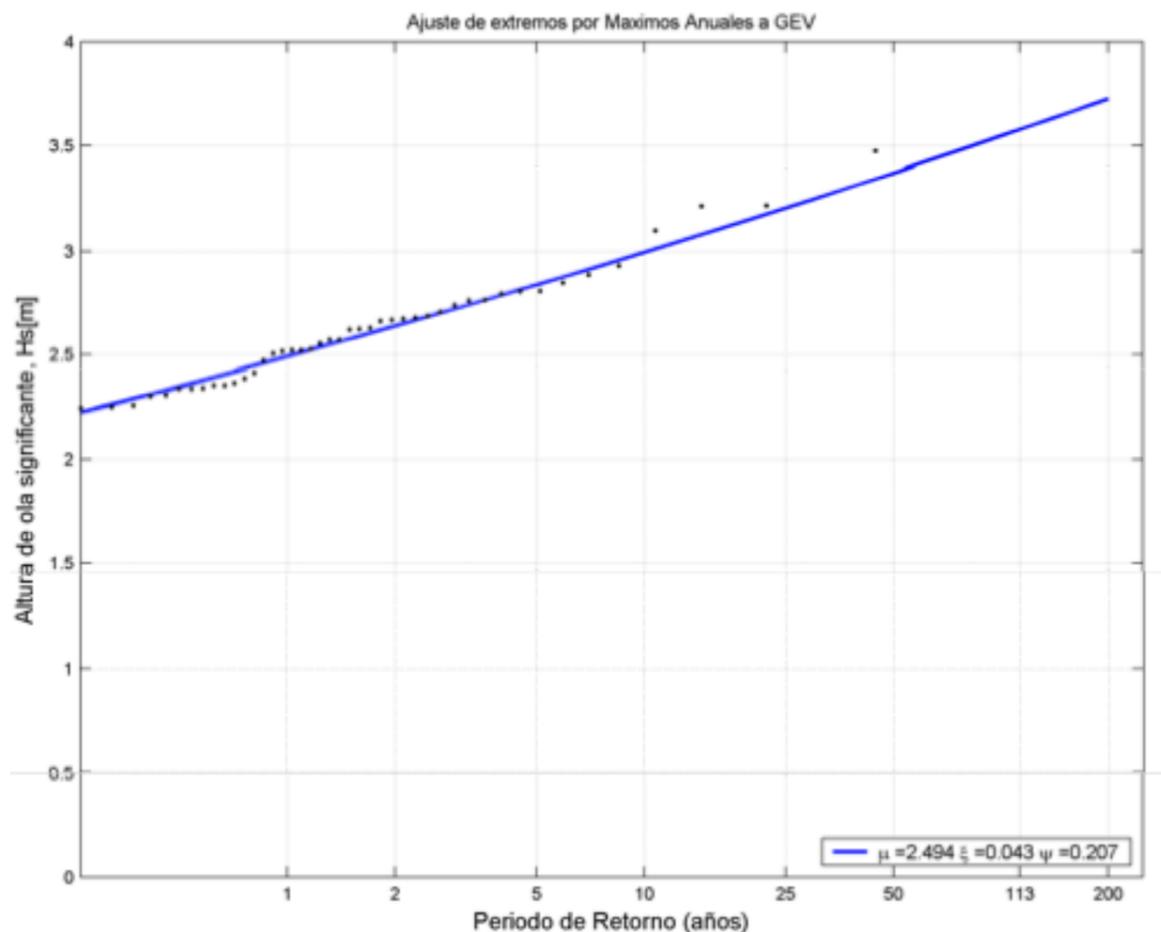


4.23 Dirección del flujo medio de energía en el Punto 3

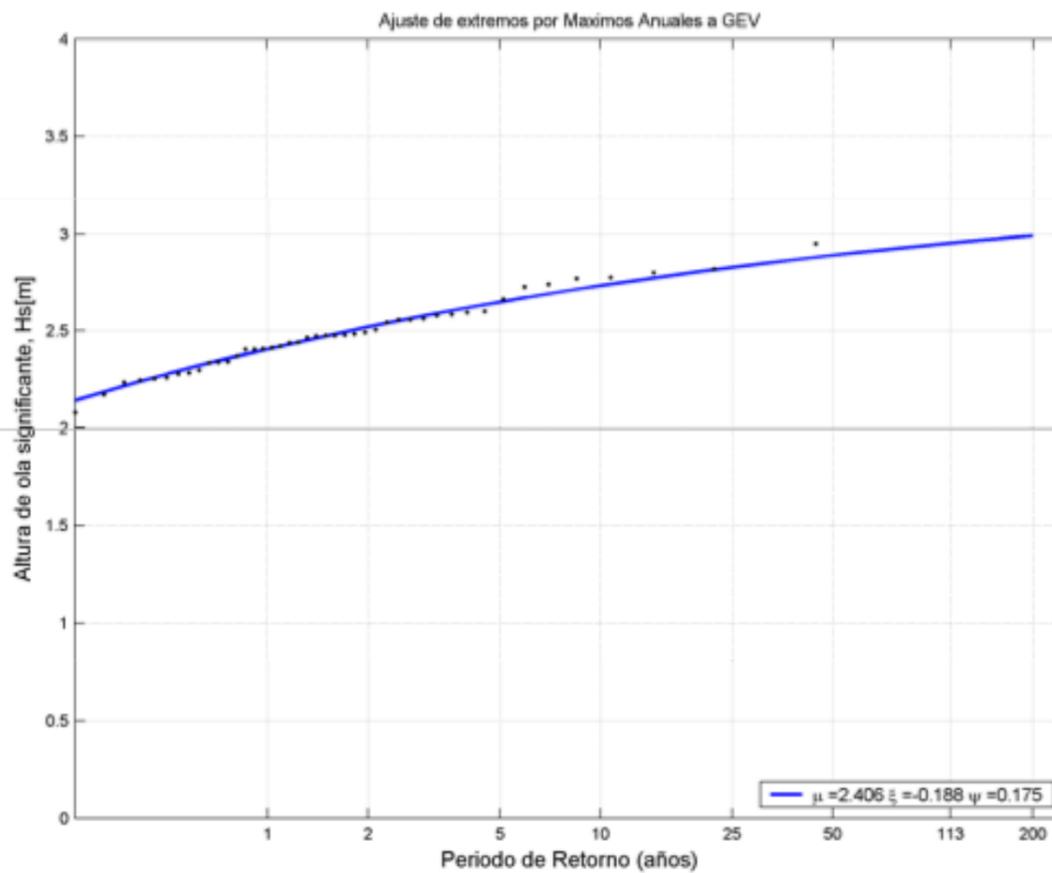
Los oleajes reinantes y más frecuentes en aguas profundas pertenecen al sector N-E.

Para el diseño de estas estructuras será necesario determinar las acciones ambientales. En concreto, la altura de ola en el temporal de cálculo, que se establece a partir de un periodo de retorno, función a su vez, de la vida útil de la estructura y de la probabilidad de fallo. Por tanto, es necesario definir el régimen extremal a pie de las estructuras.

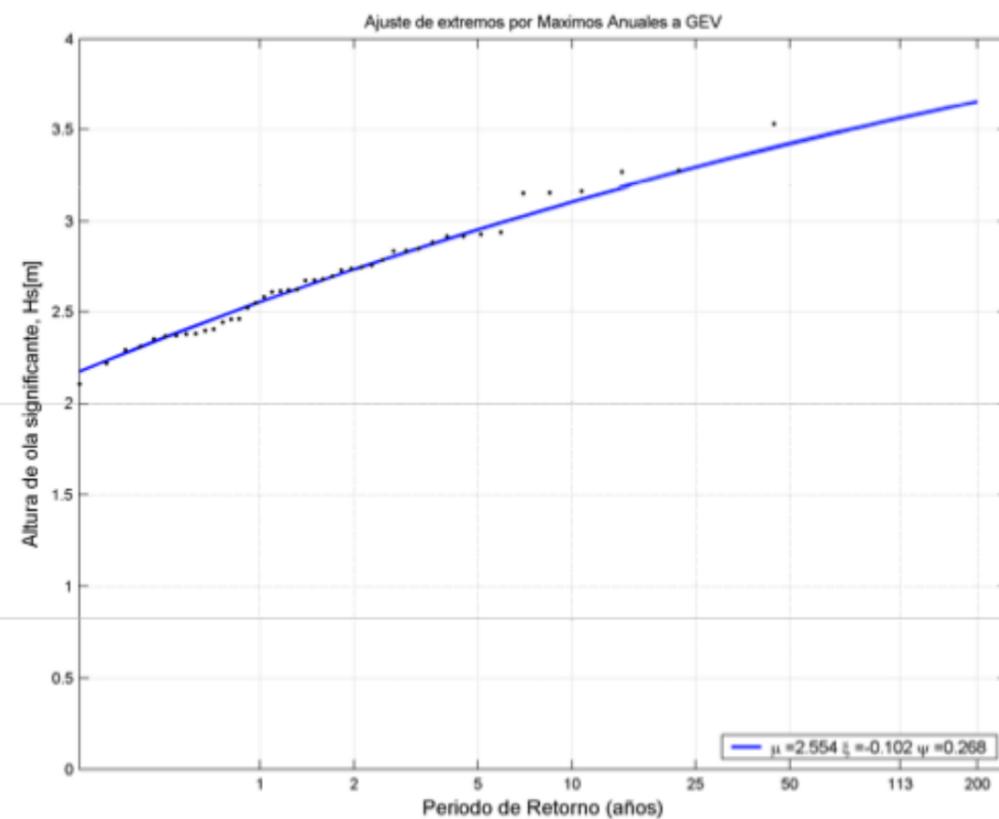
A continuación se muestran los regímenes extremales en cada uno de los puntos indicados. Se puede observar como estos puntos situados en profundidades reducidas las máximas alturas de ola significativa son del orden de 3.5 m, debido a que la altura de ola está limitada por fondo. En el punto 2, cuya profundidad es menor ($h=3.0$ m), las alturas máximas sitúan entorno a los 3.0 m.



4.24 Régimen extremal de la altura de ola significativa en el punto 1.



4.25 Régimen extremal de la altura de ola significativa en el punto 2.



4.26 Régimen extremal de la altura de ola significativa en el punto 3.

3.4. SISTEMA CIRCULATORIO

3.4.1. Introducción

La rotura del oleaje genera una corriente, fundamentalmente paralela a la playa, que es función del ángulo con el que el oleaje aborda la costa (corrientes de incidencia oblicua) y de su altura de ola. Estas corrientes, denominadas



corrientes longitudinales, son de especial importancia en la disposición de equilibrio de una playa y, más concretamente, en su forma en planta, dado su importante capacidad de transporte de arena.

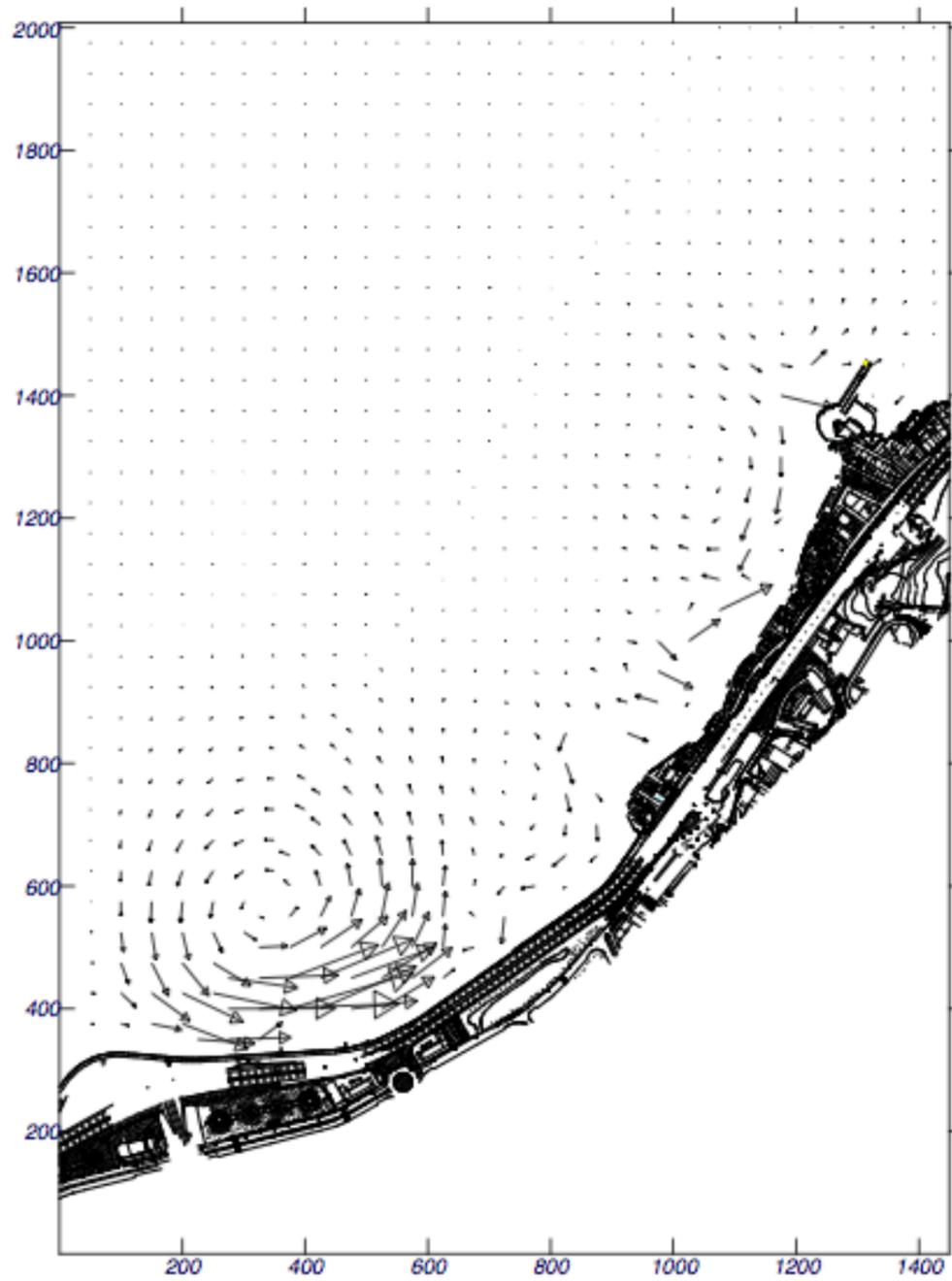
En efecto, las corrientes longitudinales se producen en la zona de rotura del oleaje y, por tanto, en un área donde el sedimento se encuentra en suspensión (por la acción propia de la rotura del oleaje) y es fácilmente transportable por efecto de dichas corrientes. De este modo, para que una determinada forma en planta esté en equilibrio es necesario que, o bien no existan corrientes longitudinales, o bien que, aún existiendo, el gradiente de transporte generado por éstas sea nulo (la arena que es erosionada de una zona es reemplazada por arena de otra, de modo que se establezca un circuito cerrado).

La determinación de estas corrientes longitudinales ha sido realizada por parte del IH Cantabria a través de métodos numéricos. Para la obtención de datos se ha utilizado como modelo de cálculo de corrientes asociado a la rotura del oleaje, el modelo COPLA desarrollado por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria. Básicamente, en lo que refiere a las corrientes por rotura, el modelo determina el tensor de radiación del oleaje a partir de los resultados obtenidos de altura e incidencia del oleaje obtenidos en la propagación, calculando el campo de corrientes y niveles debido a dichos tensores de radiación por medio de un modelo no-lineal que resuelve las ecuaciones integradas de Navier-Stokes.

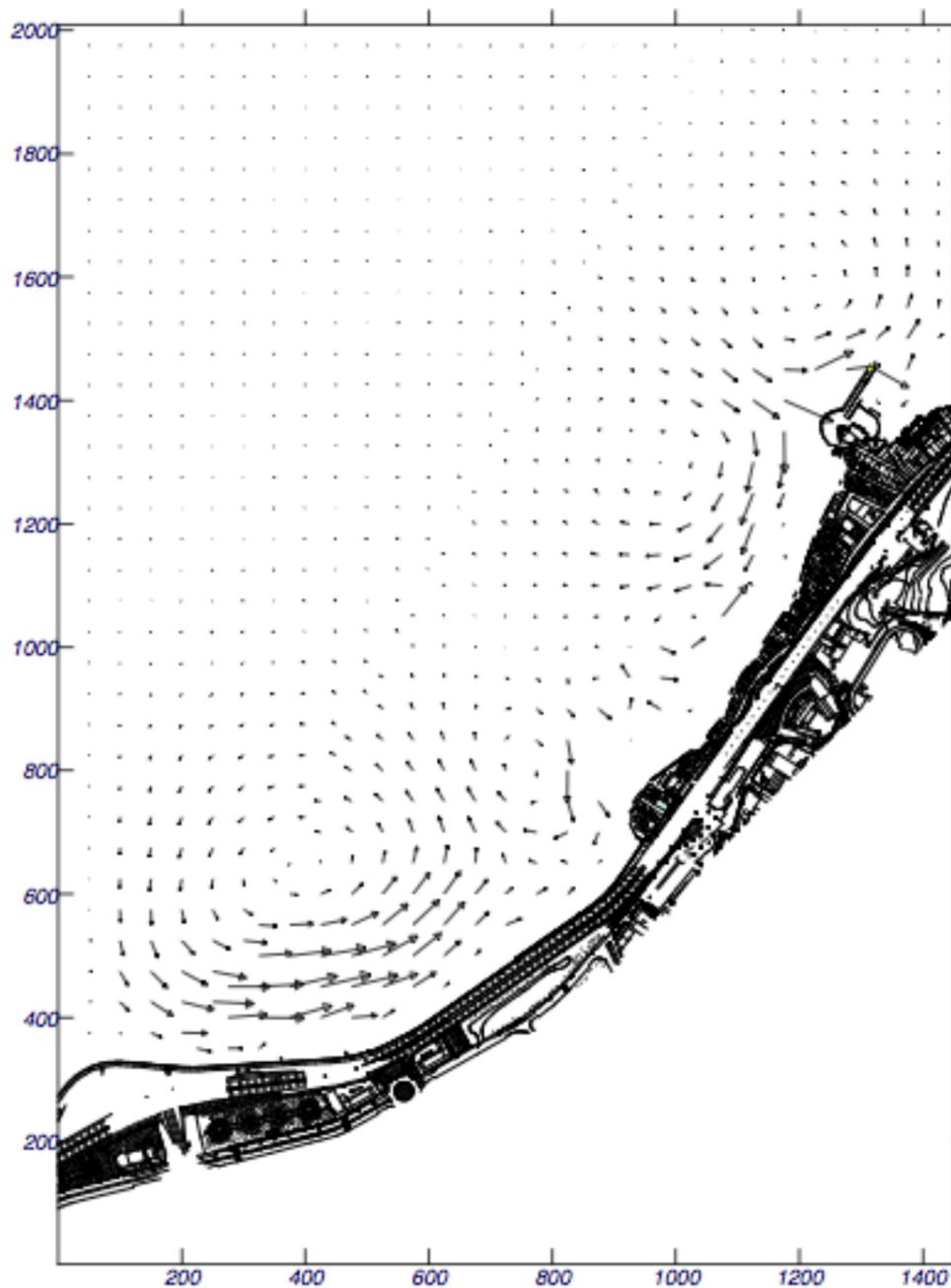
3.4.2. Resultados

Antes de describir las corrientes generadas por el oleaje medio y los temporales por separado, señalar que en todos los casos analizados se ha comprobado que no se generan corrientes en las situaciones de pleamar, esto es debido al perfil de la batimetría, que presenta una fuerte pendiente tanto en el tramo de la playa, al ser gravas de gran tamaño, y en el resto de la costa debido a la existencia de escollera.

Se mostrarán a continuación una serie de representaciones de las corrientes generadas por los oleajes anteriormente descritos obtenidas con COPLA a modo de ejemplo:



4.27 Velocidad de corrientes provocadas por un oleaje $H_s=1.5\text{ m}$ $T_p=7\text{ s}$



4.28 Velocidad de corrientes provocadas por un oleaje $H_s=4\text{ m}$ $T_p=11\text{ s}$

Se puede entonces concluir entonces que el patrón de corrientes viene marcado por el comportamiento del oleaje al aproximarse a la costa de estudio.

En el caso de los oleajes medios, las corrientes que se generan en dirección NE – SW en el primer tramo son debidas a la oblicuidad del oleaje y a los gradientes de altura de ola que se generan por la concentración de energía en el saliente del ramal de la autopista. En el tercer tramo se generan corrientes en sentido contrario debido a los gradientes de altura de ola que se producen debido a la concentración de energía en la localización del Castillo. Ambas corrientes se encuentran en el tramo central.

En el caso de los temporales anuales, se establece el mismo patrón de corrientes aunque, lógicamente, su magnitud es muy superior.

No se generan corrientes en la zona de estudio en situación de pleamar debido a que el oleaje no rompe como consecuencia del perfil de la batimetría.



5. DINÁMICA LITORAL ACTUAL



1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS
2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EL LARGO PLAZO
 - 2.1. Caracterización del perfil de equilibrio
 - 2.2. Planta de equilibrio
3. ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN EN EL MEDIO-LARGO PLAZO
4. MODELO MORFODINÁMICO DE FUNCIONAMIENTO DE PLAYA DE EL CASTILLO



1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

En el presente capítulo se analiza la estabilidad y evolución de la playa de San Cristóbal del Castillo, en su situación actual para comprender su funcionamiento y poder proponer una serie de alternativas para su ampliación. Previo al desarrollo de dicho análisis se plantea, en este apartado, la metodología que se utilizará en la evaluación de la estabilidad y evolución de la Playa. Una metodología que se fundamenta en dos conceptos previos:

- Dimensionalidad de los procesos.
- Escalas de los procesos.

En el presente capítulo se analiza la estabilidad y evolución de la playa de San Cristóbal del Castillo, en su situación actual para comprender su funcionamiento y poder proponer una serie de alternativas para su ampliación.

Previo al desarrollo de dicho análisis se plantea, en este apartado, la metodología que se utilizará en la evaluación de la estabilidad y evolución de la Playa. Una metodología que se fundamenta en dos conceptos previos:

- Dimensionalidad de los procesos.
- Escalas de los procesos.

Escala espacial y temporal de los procesos

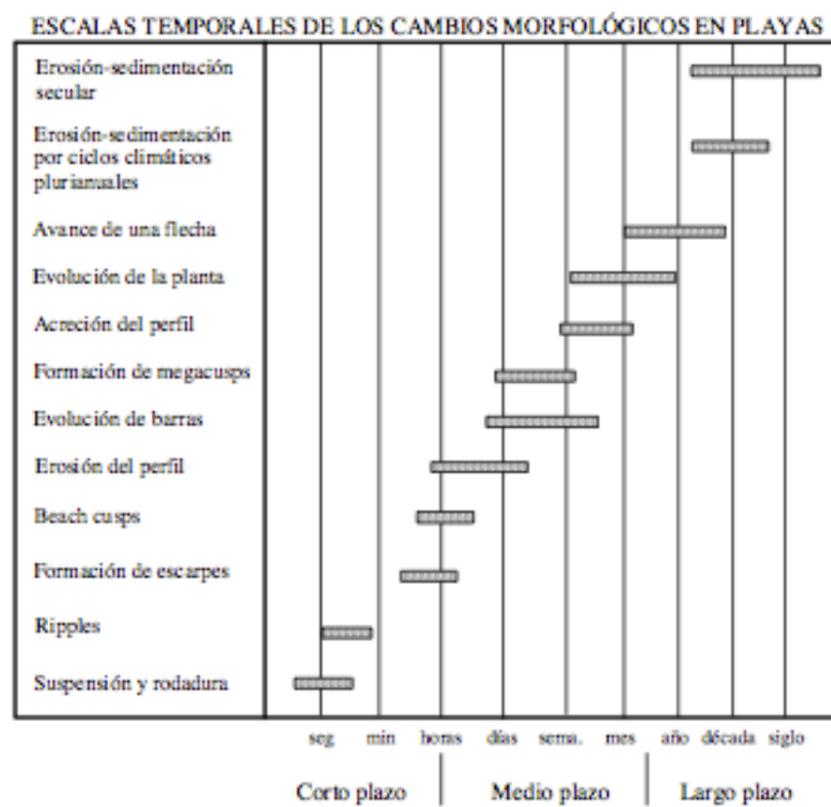
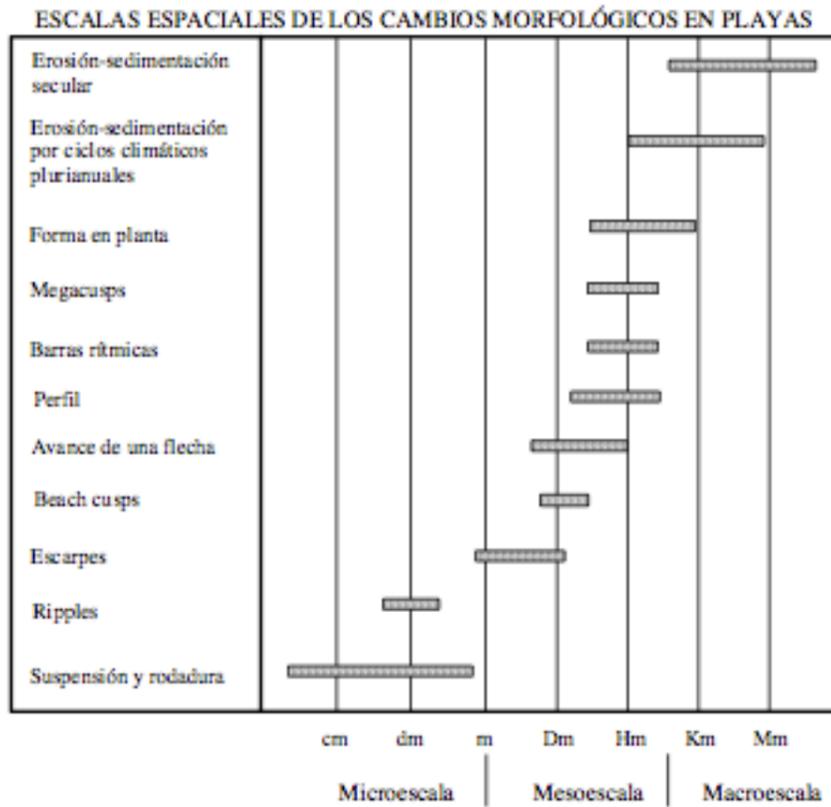
Las diferentes dinámicas que afectan a una playa se presentan en escalas espaciales que van desde los centímetros (turbulencia), hasta las decenas de kilómetros (marea) y en escalas temporales que van desde los segundos (olas) hasta las décadas (ascenso del nivel medio del mar). Como respuesta a dichas dinámicas la morfología de la playa cambia, a su vez, dentro de todas esas escalas: centímetros-kilómetros, segundos-décadas.

A pesar de la potencia de cálculo de los ordenadores, y de los intentos realizados en esa dirección, no es posible (ni adecuado) calcular los cambios que acontecen en las escalas superiores, por integración de los procesos de las escalas inferiores. Esto es debido a la falta de una teoría unificada de transporte de sedimentos que retenga la influencia de todos los efectos que se producen en las diferentes escalas espaciales y temporales.

Esta carencia de teoría unificada da lugar a que los procesos que ocurren en diferentes escalas (de tiempo o espacio) deban ser analizados con diferentes herramientas o formulaciones. Es necesario, por tanto, conocer cuál es la escala de interés en cada problema particular y utilizar la formulación adecuada a dicha escala de interés. Las escalas de las diferentes dinámicas y respuestas morfológicas de las playas suelen ser clasificadas en: Micro escala, Meso escala y Macro escala de acuerdo con la dimensión espacial y en corto plazo, medio plazo y largo plazo.

En el estudio de estabilidad y evolución de una playa las escalas de interés son la Meso escala (decenas-centenas de metro), Macro escala (km) y el largo plazo (años). Los elementos de escalas inferiores (por ejemplo, la erosión producida por un temporal) solo son relevantes si sus efectos permanecen en el tiempo, o en el espacio, en unidades cercanas a las de interés (por ejemplo, meses), o si su efecto provoca el fallo funcional de la obra (por ejemplo, el oleaje alcanza el trasdós de la playa).

El estudio de estabilidad y evolución se realizará, por tanto, con criterios y herramientas de largo plazo verificándose, posteriormente, que los eventos de corto plazo no provocan el fallo de la obra.



5.1. Escalas espaciales y temporales típicas de algunos cambios morfológicos de las playas

Metodología de cálculo

Los elementos más relevantes de la metodología propuesta para el cálculo de estabilidad y evolución de la Playa son:

- Se acepta, como hipótesis inicial, la ortogonalidad de los movimientos longitudinales y transversales de una playa. Consecuentemente, se admite que la estabilidad de la misma 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 la misma. En particular se analiza la estabilidad a Largo Plazo (años) y Corto Plazo (temporal).



Para cada una de estas escalas de interés se analiza la estabilidad y evolución de la forma en planta y perfil.

2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN EL LARGO PLAZO

El objetivo del análisis en largo plazo es determinar cuál será la forma final (planta- perfil) de la playa y/o la evolución temporal de dicha forma en escala de años. El objetivo de este tipo de análisis es asegurar que la funcionalidad de la playa se mantiene durante la vida útil de la misma. Las formulaciones existentes para esta escala de tiempos no intentan analizar los procesos (por ejemplo, transporte de sedimentos ola a ola) sino magnitudes agregadas de los mismos. Para el análisis del perfil y de la planta de una playa dos son los tipos de modelos más utilizados: los basados en la hipótesis de equilibrio y los basados en la ecuación de la difusión.

La hipótesis de equilibrio postula que si la acción de las dinámicas actuantes se mantiene indefinidamente, la forma de la playa alcanzará una posición final constante, en equilibrio con dichas dinámicas. 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, aunque ésta solo tiene sentido en playas encajadas donde no hay una pérdida neta de material.

La ecuación de la difusión se basa, en cierto modo, en el mismo concepto, y establece que la forma de una playa tiende hacia el equilibrio tanto más rápido cuanto más lejos se encuentre de dicha posición de equilibrio. Este tipo de formulaciones permiten determinar la evolución temporal de la forma de la playa y, por este motivo, se denominan modelos de evolución (por ejemplo, modelos de evolución de la línea de costa).

2.1. Caracterización del perfil de equilibrio

Como es sabido, el *perfil de playa* se define como la variación de la profundidad del agua con la distancia desde la línea de costa.

El perfil de playa depende de la granulometría presente ya que el transporte transversal es función de las acciones hidrodinámicas, las dimensiones de la partícula y de su peso. Al mismo tiempo, es de suponer, que el oleaje se verá afectado por los cambios en la configuración del perfil, pues el oleaje responde a la configuración batimétrica. Tal circunstancia, lleva a concluir, que existe una relación biunívoca de equilibrio, entre la dinámica marina y la morfología del perfil.

En general, en todos los modelos se presenta un perfil de equilibrio cóncavo, donde la pendiente de la playa decrece conforme nos alejamos de la costa. También, casi todos los modelos asumen, que el perfil se forma en función de un oleaje que se disipa paulatinamente conforme se propaga hacia la costa.

Naturalmente, a partir de cierta profundidad, el perfil de equilibrio ya no responde activamente a las acciones del oleaje, definiéndose una profundidad a partir de la cual, el transporte de sedimentos transversal y longitudinal no tiene una magnitud apreciable. Esta profundidad se conoce como la profundidad de corte, o límite del perfil activo, y puede ser estimada por la expresión:

$$h^* = 1,75 H_{s12} - 57,9 (H_{s12}^2 / gT_s^2)$$

propuesta por Birkemeier (1985),

donde:



H_{S12} = altura de ola significativa local que es excedida 12 horas al año.

T_S = período significativo asociado a H_{S12} .

Existen diversas formulaciones que permiten describir un perfil de playa conocido el tamaño del material existente (arena, grava) y el oleaje actuante. Dean (1977), por ejemplo, obtuvo, a partir de datos referentes a playas en diversos lugares del mundo, las siguientes características para un perfil de equilibrio:

- Ecuación del perfil:

$$h = Ax^{2/3}$$

- Valor del parámetro de forma A :

$$A = k \omega^{0.44}$$

h = profundidad (m)

x = distancia (m)

ω = velocidad de caída del grano (m/s)

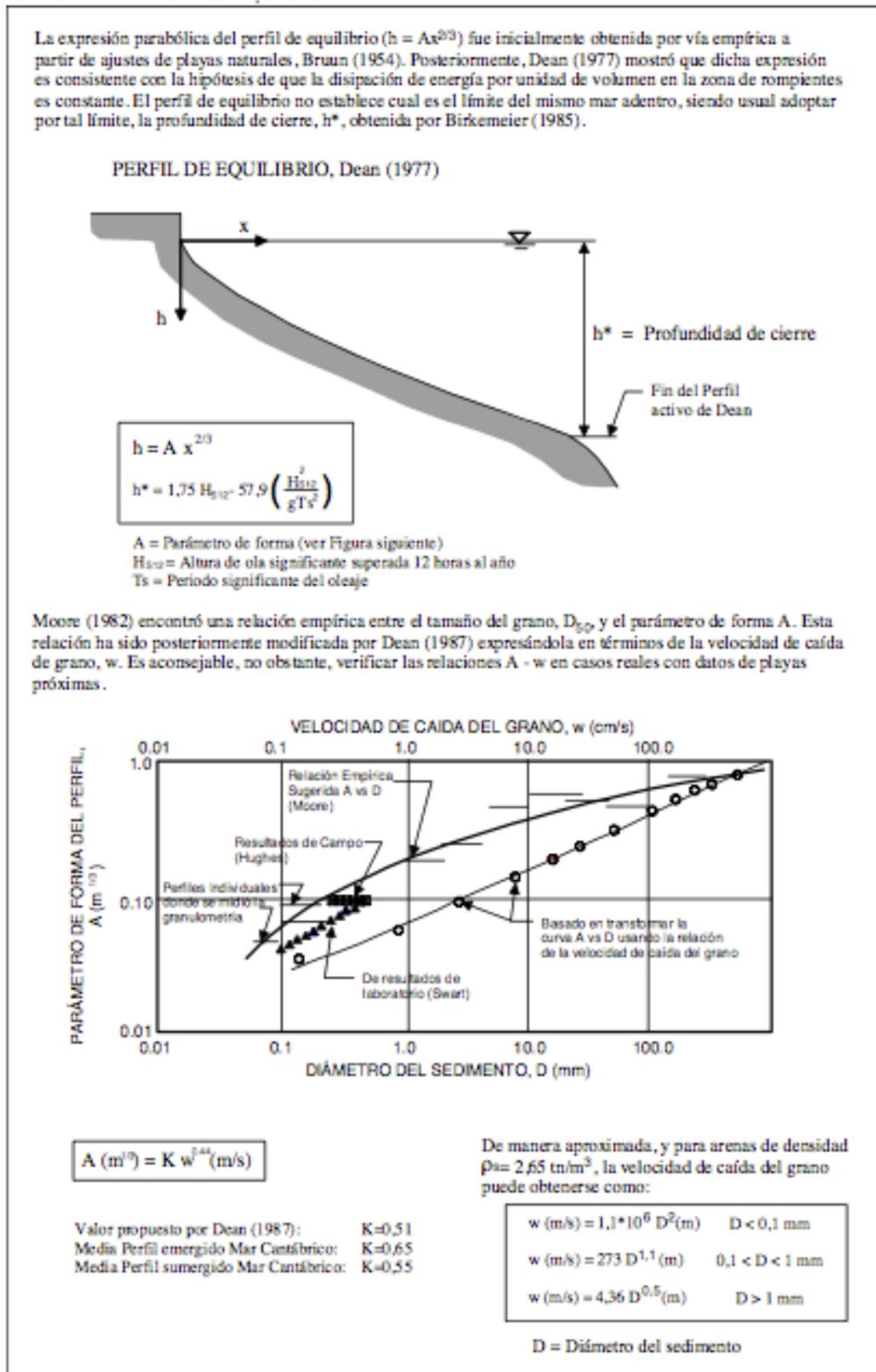
g = gravedad (m/s^2)

Esta formulación es válida hasta la profundidad de corte descrita anteriormente.

Es interesante señalar que en la formulación de Dean (1977) la forma del perfil depende única y exclusivamente del tamaño del sedimento a través del parámetro de forma A , mientras que el oleaje nos señala la cota de finalización del perfil, h^* .

De este modo, una playa de arena tendrá una pendiente más tendida que una playa de gravas. Del mismo modo, una playa abierta al oleaje, esto es, expuesta a un oleaje mayor, tiene un perfil activo más largo que otra playa en un lugar resguardado.

El valor del coeficiente k que relaciona el parámetro A con la velocidad de caída del grano obtenido por Dean (1987) fue $k = 0,51$.



5.2 Perfil de equilibrio

2.2. Planta de equilibrio

Existen formulaciones empíricas que permiten estimar cuál es la forma en planta de playas ubicadas en la zona de sombra de un cabo o elemento de protección.

Hsu *et al.* (1989) propusieron para la forma en planta de una playa la expresión:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \frac{\beta}{\theta} + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2$$

donde:

R = radio vector, tomado desde el punto de difracción, que define la forma de la playa.

R_0 = radio vector, tomado desde el punto de difracción, correspondiente al extremo no abrigado de la



playa.

$C_0, C_1, C_2 =$ coeficientes (función de β)

$\beta =$ Ángulo (fijo) formado entre el frente de oleaje y el radio vector R_0 .

$\theta =$ Ángulo (variable) entre el frente de oleaje y el radio vector R .

González y Medina (2001) desarrollaron una metodología para el diseño de playas encajadas a partir de la formulación de Hsu. En el método desarrollado β es función de:

- El número de longitudes de onda o distancia adimensional que exista hasta la línea de costa (Y/L), siendo Y la distancia a la línea de costa y L la longitud de onda.
- La dirección del frente del oleaje, que corresponde con la dirección del flujo medio de energía en la zona del polo de difracción (punto de control).

Nótese que en el caso que no exista punto de difracción, o que éste no afecte a la playa, la alineación de la misma será paralela al frente del oleaje que corresponde con la dirección del flujo medio de energía.

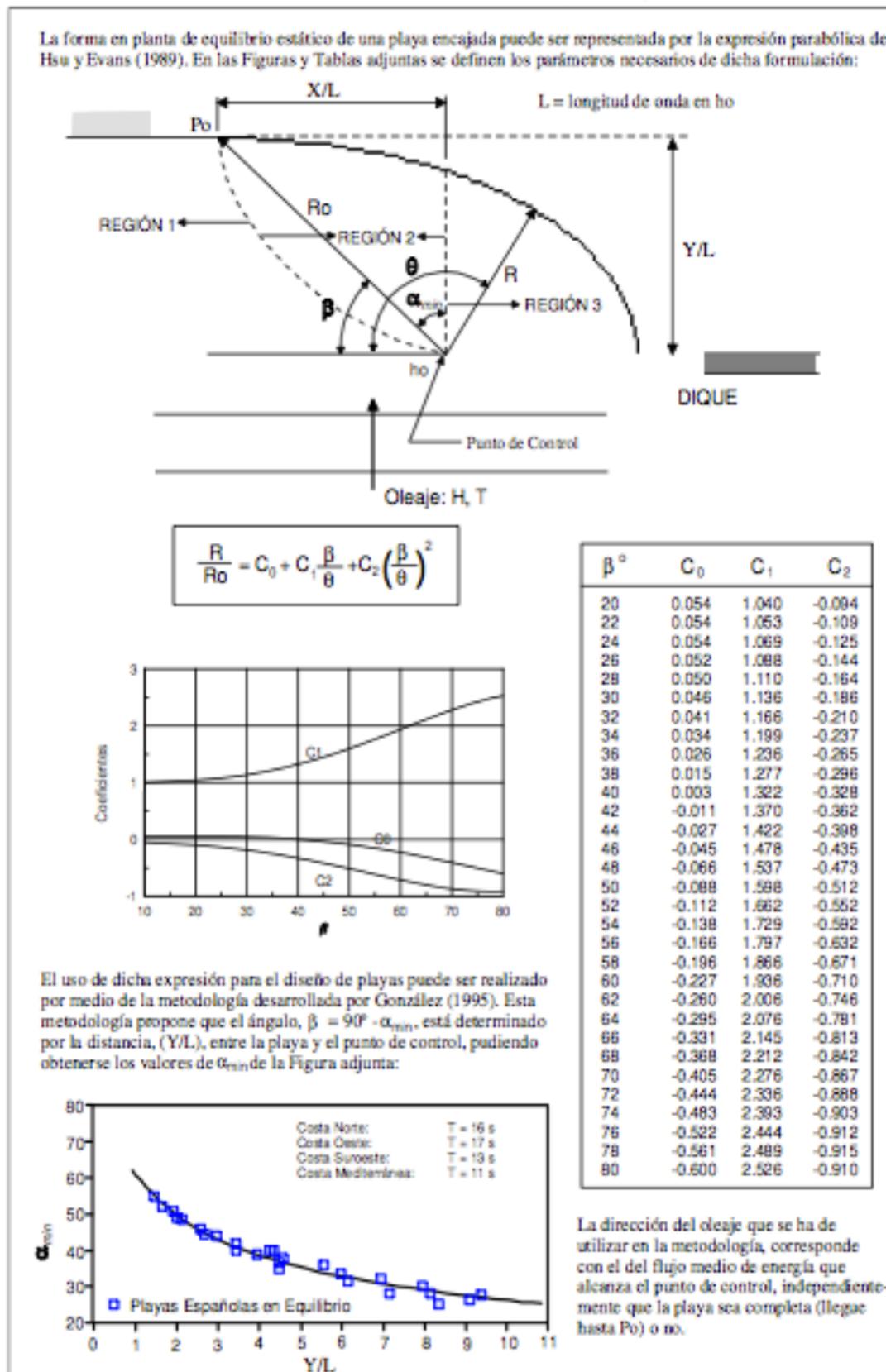


Figura 4.6. Forma en planta de equilibrio estático. Playas encajadas

5.3 Forma en planta de equilibrio estático para playas encajadas

3. ANÁLISIS DE EVOLUCIÓN EN EL MEDIO-LARGO PLAZO

Al tratarse de una playa encajada, los sedimentos no serán transportados fuera de esta, por lo que no existirá un gran desplazamiento de estos en ninguna dirección relevante.



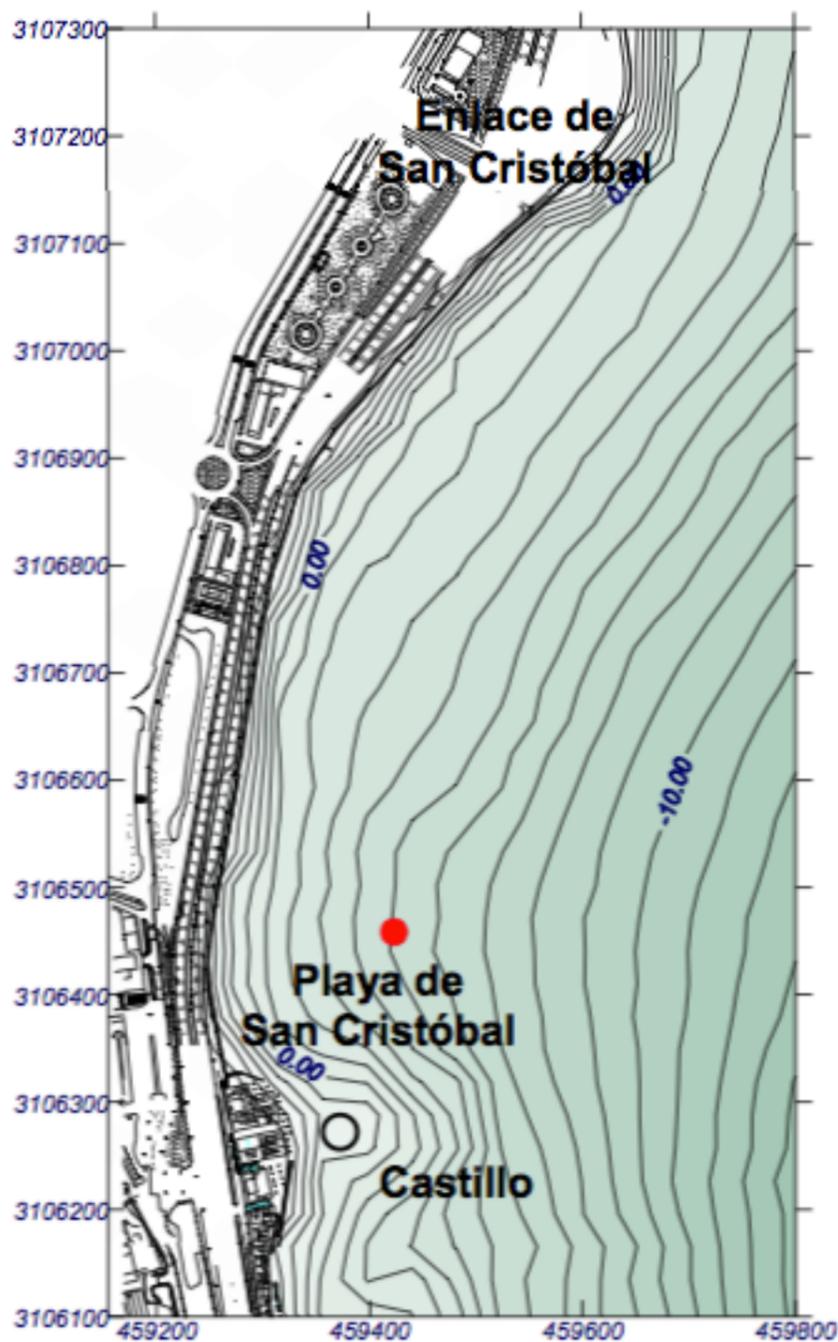
4. MODELO MORFODINÁMICO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PLAYA DE SAN CRISTÓBAL DEL CASTILLO

4.1. Análisis en el largo plazo

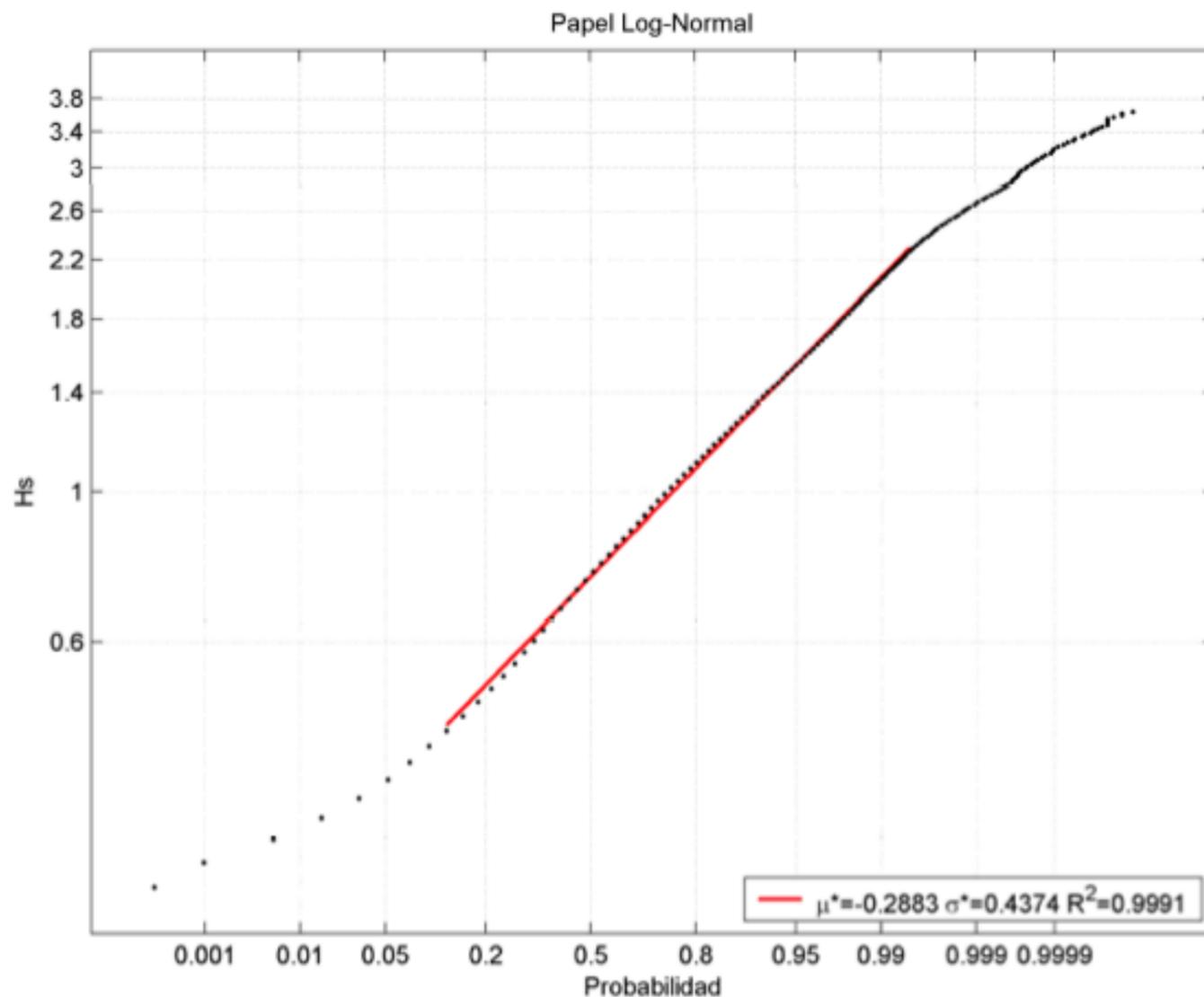
Perfil

Antes de analizar los perfiles de playa vamos a determinar la profundidad de cierre que define el límite del perfil activo. Dado que los oleajes más frecuentes en la zona de estudio presentan una dirección en indefinidas N – NNE y sufren una fuerte difracción y refracción debido a la orientación de la batimetría, h^* debe ser calculado con oleajes locales en la zona de estudio.

Se ha obtenido el régimen escalar de la altura de ola en una zona próxima a la zona de estudio, en las proximidades de la playa localizada en las cercanías del Castillo. En la figura 5.4 se indica la localización y el régimen escalar se recoge en la figura 5.5. La altura de ola de cálculo excedida 12 horas (H_{s12}) es de 2.5 m, y por tanto, la profundidad de cierre es de 4.2 m.



5.4 Localización del régimen escalar



5.5 Régimen escalar

El tramo de costa de estudio se extiende desde el ramal de salida de la autovía hasta la localización del Castillo de San Cristóbal. En este tramo sólo existe una playa de gravas, localizada en las cercanías del Castillo. El resto de línea costera está protegido mediante un revestimiento de escollera con un talud exterior de 1:3, hasta 1 m por encima del nivel de referencia considerado (B.M.V.E).

En la figura 4.6 se recoge la localización de dos perfiles en la playa del Castillo seleccionados, también se muestra la batimetría de detalle, representados en verdes los puntos localizados por encima del cero considerado (B.M.V.E) y en azul los puntos situados por debajo de esta referencia.

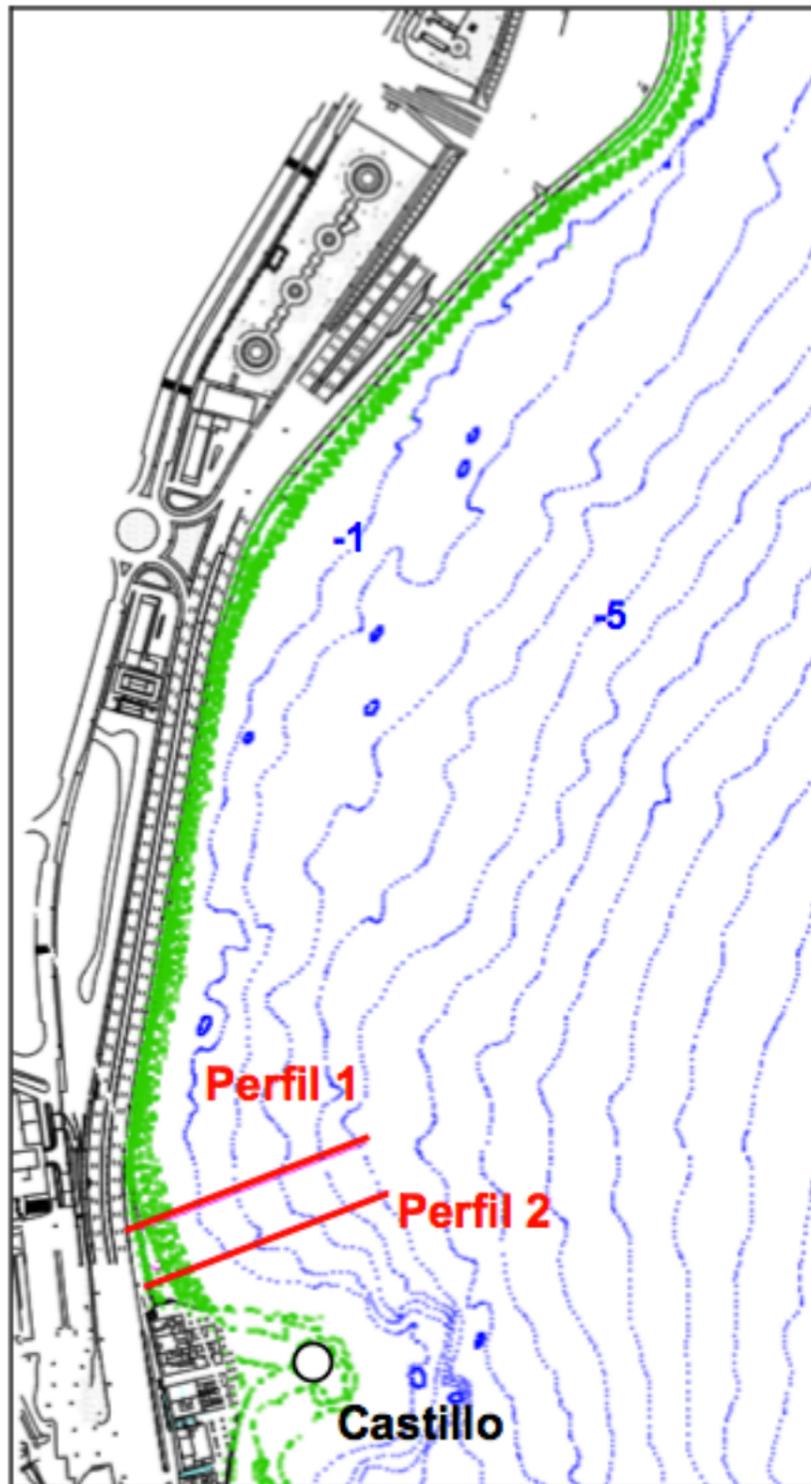
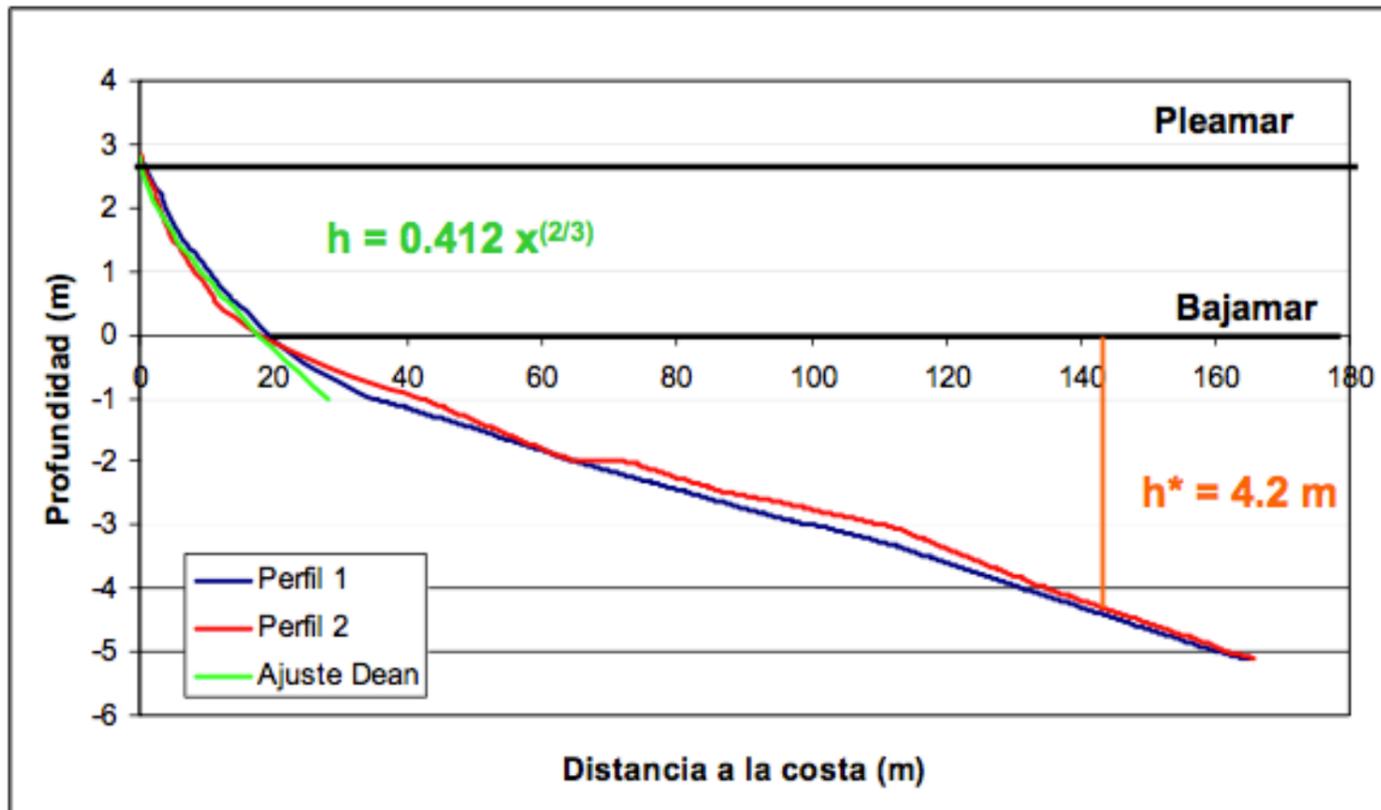


Figura 4.6. Localización perfil

5.6 Localización perfil

Como se puede observar en la figura 5.7 los dos perfiles muestran una batimetría muy similar con una serie de particularidades. En primer lugar, sólo existe perfil de material sedimentario (gravas y bolos) en la zona del perfil emergido (intermareal) y sumergido hasta la batimétrica 1. El resto del perfil se corresponde con el sustrato rocoso. Dicho perfil emergido está formado por gravas de gran tamaño, del orden de los 5-10 mm, presentando por tanto una elevada pendiente.

Por otro lado, debido a la configuración del fondo batimétrico en esta zona, con una pendiente del orden del 3.5 %, y la no existencia de un apoyo lateral en el extremo Sur de esta playa, no es posible la formación de una playa con un tamaño de sedimento menor.



5.7 Perfil Playa del Castillo

4.2. Análisis en corto plazo

Como se ha indicado, únicamente existe la playa de gravas en la zona donde se localiza el Castillo. Para analizar la forma en planta de equilibrio de esta playa se va a aplicar la metodología de González y Medina (2001) indicada anteriormente. El primer paso es la determinación de los puntos de control que generan la difracción del oleaje. El segundo paso es obtener la dirección del flujo medio de energía en este punto de control. La forma en planta de una playa no es capaz de responder instantáneamente a los cambios de dirección del oleaje y tiende a ubicarse en una posición en equilibrio con las condiciones medias energéticas del oleaje.

Consecuentemente, la dirección de los frentes que ha de utilizarse en el estudio de la forma en planta es la definida por el flujo medio anual de energía en el punto de control, F_p

$$\vec{F}_p = \sum_{i=1}^N H_i^2 \vec{c}_{g,i}$$

en donde c_g es la celeridad de grupo, H es la altura de ola y N son todos los oleajes del año.

El procedimiento que se ha seguido para obtener la dirección del flujo medio de energía ha sido el siguiente:

- Selección de la muestra de oleaje en profundidades indefinidas;
- Propagación de cada uno de ellos hasta el punto de control (en función de lo desarrollado en el apartado de propagación del oleaje);
- Obtención de los coeficientes de propagación;
- Obtención de los flujos de energía asociados a cada estado de mar de la muestra;
- Cálculo vectorial de la dirección del flujo medio de energía.

El ajuste de la forma en planta de equilibrio se ha realizado con la dirección del flujo medio de energía en la zona del punto de difracción, obteniéndose que la playa actual se orienta conforme a la dirección del flujo de energía N71E. El ajuste de la forma en planta de equilibrio de la playa se recoge en la figura 4.8, donde también se ha señalado el punto de difracción, localizado en la zona de bajo rocoso sobre el que se sitúa el Castillo de San



Cristóbal, y la dirección del flujo medio de energía. En esta figura se puede comprobar como la línea de pleamar ajusta a la forma en planta de equilibrio definida por las características del oleaje incidente.



5.8 Forma en planta de equilibrio



6. DESCRIPCIÓN DE LAS MEJORAS SUGERIDAS



1. MOTIVACIÓN
2. SOLUCIONES PROPUESTAS
 - 2.1. Líneas de actuación
 - 2.2. Variantes de la solución escogida
3. GEOMETRÍA DE LA SOLUCIÓN ESCOGIDA



1.1. MOTIVACIÓN

La construcción de la autopista del Sur ha provocado un notable deterioro en los alrededores de la zona de estudio, el barrio de San Cristóbal. Esto provocó la elaboración de un plan de actuaciones con el objeto de reformar el entorno urbano, creando un paseo marítimo y una playa con fines recreativos y turísticos.

Este estudio se centra en una parte concreta de todo el plan de reformas: la regeneración de la playa de el Castillo. Se pretende expandir la actual playa de gravas en dirección Norte mediante algún tipo de estructura de contención.

1.2. SOLUCIONES PROPUESTAS

Como se ha indicado en el diagnóstico de la situación actual, existe una serie de condicionantes claves en el planteamiento de alternativas. Por un lado, la dirección del flujo medio de energía junto con las tres orientaciones diferenciadas de la línea de costa.

El otro elemento a tener en cuenta en el diseño de propuestas de actuación es el tamaño de sedimento que se pretende utilizar. La gran pendiente de la batimetría en esta zona, junto con la inexistencia de elementos de apoyo para el perfil, determinan que la playa actual esté formada por gravas de elevado tamaño.

Por tanto, un primer paso en el desarrollo de alternativas es el análisis de las posibilidades de actuación en este tramo costero, considerando todos los condicionantes enumerados con anterioridad. Según esto, en esta primera etapa se va a esbozar una serie de líneas de actuación encaminadas al establecimiento de soluciones óptimas.

Posibles líneas de actuación

Las alternativas que se proponen pretenden en todos los casos mejorar y crear mayor superficie de playa seca en el tramo marítimo citado, en un primer momento se proponen básicamente dos líneas fundamentales de actuación:

- Actuaciones que garantizan el aumento de superficie de playa seca mediante la creación de playas similares a la playa actual. En este caso las estructuras necesarias no modifican la dirección del oleaje y sólo tienen como función servir de apoyo para el perfil.
- Actuaciones encaminadas a generar aumento de superficie seca mediante la creación de estructuras que generen difracción y por tanto giro del ángulo de incidencia del oleaje.

Esta última línea de actuación permite la proposición, a su vez, de dos alternativas; una primera que supone la creación de mayor superficie de playa seca mediante la creación de pequeñas playas a lo largo de la costa, para lo cual es necesaria la construcción de un mayor número de estructuras pero de tamaño más reducido. O bien una segunda propuesta que consiste en crear una única playa de la mayor longitud posible, requiriéndose en este caso la construcción de una estructura de mayor longitud. A continuación veremos tres propuestas que denominaremos alternativas I, II y III. La alternativa I se corresponde con la primera línea de actuación descrita anteriormente, mientras que las otras dos alternativas se corresponden con la segunda línea de actuación.

Descripción de las líneas de actuación propuestas

Alternativa I : Creación de pequeñas playas a imitación de la playa actual

Como se detalló anteriormente, la playa existente está dispuesta con una orientación sensiblemente perpendicular al flujo medio de energía. Consecuentemente, una primera línea de actuación consistiría en tratar de imitar en lo posible este comportamiento natural por medio de la construcción de un conjunto de espigones que sirvieran de apoyo a la forma en planta de la playa. Nótese que el objeto de estas estructuras sería el mero apoyo de la playa, no siendo objetivo de las mismas generar un giro en la forma en planta de las playas.



A modo de croquis se presenta, un esquema de una posible configuración de creación de playas en la zona de estudio de acuerdo con la línea de actuación señalada en el párrafo anterior. En dicha figura se presenta el ajuste de la planta de equilibrio de la playa actual, y una serie de playas dispuestas según la orientación del flujo medio de energía local y apoyadas en una sucesión de espigones perpendiculares a la costa. Nótese como esta línea de actuación da lugar a la creación de playas de forma en planta triangular cada de vez de menor tamaño.



Figura 6.1 Alternativa I

En cuanto a tamaño de sedimento a emplear en las nuevas playas, en la siguiente figura se recoge un perfil correspondiente a la primera playa. Se puede comprobar como para tamaños del orden de 10.0 mm el perfil estaría contenido por los diques de apoyo, mientras que tamaños del orden de 2.0 mm cortarían con el terreno original a profundidades y distancias de la costa muy elevadas. Cabe mencionar, por último, que en esta alternativa no se contempla ninguna intervención en la playa actual. Si se pretendiese reducir el tamaño de los bolos existentes sería necesaria la creación de un espigón de apoyo en las inmediaciones del castillo.

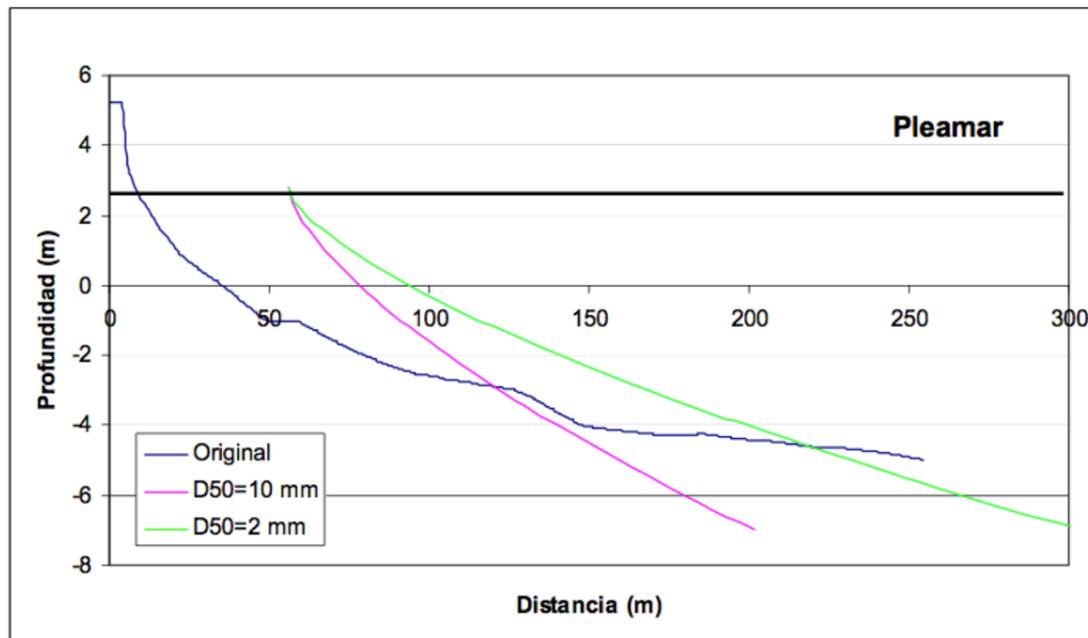


Figura 6.2 Perfil tipo de las nuevas playas (Alternativa I)

Del análisis de esta alternativa se concluye:

- La creación de playa a lo largo de todo el tramo costero de actuación supone un número elevado de pequeñas playas.
- El cambio de orientación en la costa conlleva que este tipo de playas en la primera alineación presenten unas dimensiones con una anchura máxima mayor que la longitud total de la playa.
- El tamaño de sedimento más adecuado para el relleno, debido a la pendiente de la batimetría y a la configuración en planta de la alternativa, sería del orden de 10.0 mm.

Alternativa II Creación de pequeñas playas mediante estructuras que generen difracción

Esta alternativa consiste en la construcción de estructuras de longitud entorno a los 160- 170 m que modifiquen la dirección del flujo de energía y permitan el giro de la línea de costa. Con objeto de abarcar la mayor longitud posible de costa se comenzaría a colocar estructuras desde el saliente en el que se sitúa el ramal de la autovía.

Esta propuesta debe presentar la mayor calidad estética posible por lo que se considera imprescindible que todos los diques tengan la misma orientación en planta respecto de la costa, y se ha tomado como referencia para este planteamiento que la primera estructura, situada más la norte, siga la línea de la costa en este punto.

Es importante señalar, que el cambio en la orientación de la línea de costa en el segundo tramo no permite la continuidad en el planteamiento de este concepto de playas, dado que la orientación de los diques coincidiría con la alineación de la costa, lo que daría como resultado la creación de playas de dimensiones muy reducidas. Este particular se muestra en el esquema de la figura 11.3 donde se puede observar como este segundo tramo de costa se quedaría sin playa y como el intento de ampliar la zona de playa en el tercer tramo (localización de la actual playa) supondría la creación de un espigón de apoyo de considerables dimensiones en las inmediaciones del Castillo de San Cristóbal.

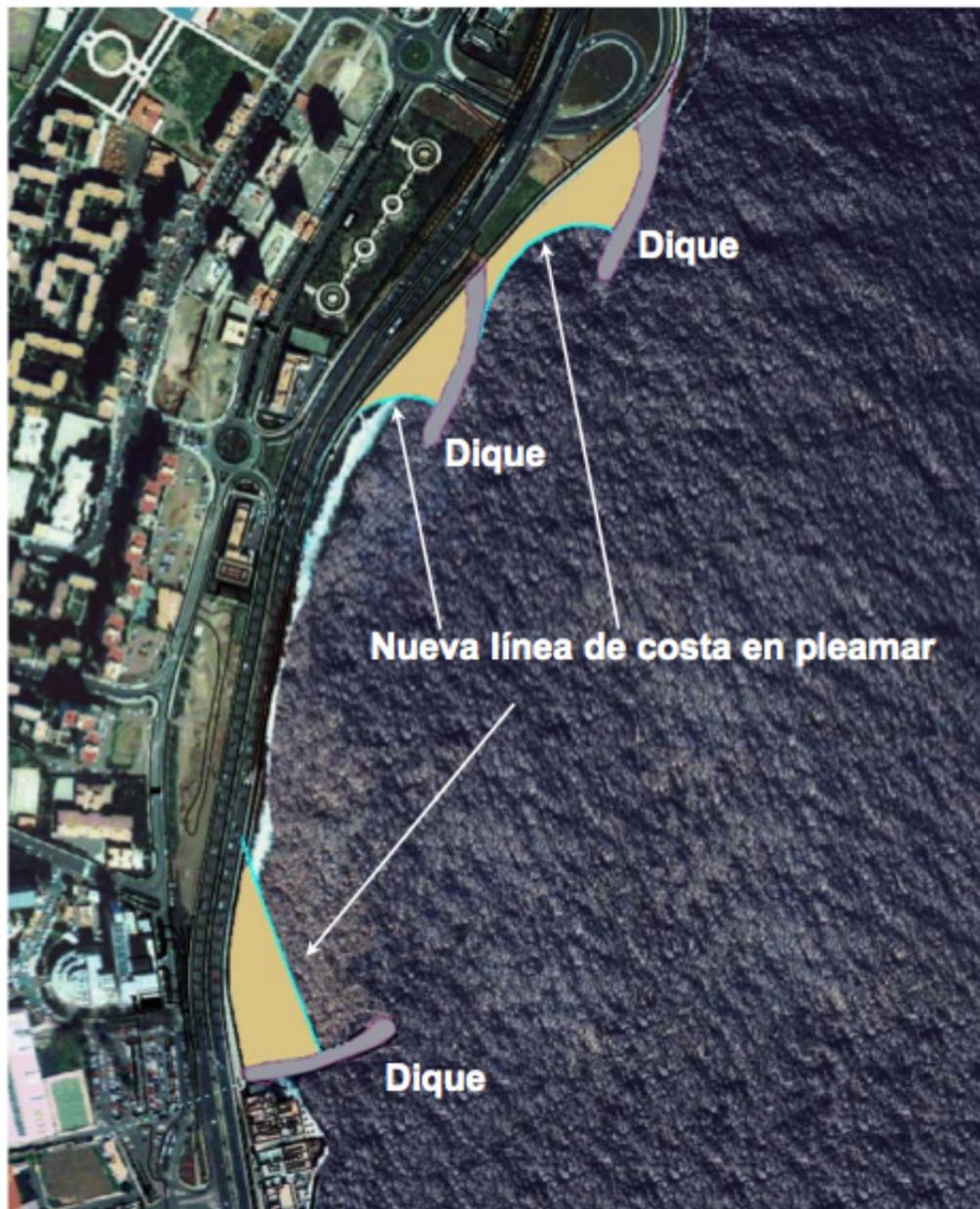


Figura 6.3 Alternativa II

Alternativa III Creación de una gran playa mediante una única estructura

Con la misma idea que en la alternativa anterior se plantea esta posible solución que consiste en la creación de una playa cuya planta de equilibrio esté girada respecto a la dirección del flujo medio de energía en la zona.

Para ello se propone la construcción de un dique de mayores dimensiones, unos 300 m, que genere difracción en su morro. Como se puede observar en el esquema de la figura 11.4, esta estructura permite la definición de una forma en planta de la playa de mayor longitud y con una configuración que aprovecha en cierta medida el cambio de alineación de la costa.

Esta nueva playa requiere la construcción de un dique en su extremo sur que sirva de contención al perfil de la playa. Se ha planteado, como se puede observar en el esquema de la figura 11.4, dotar a este espigón de la orientación adecuada que permita la difracción del oleaje y por tanto del giro de la línea de costa, creando una nueva playa en el entorno de la actual.



Figura 6.4 Alternativa II

Una vez comprobado que esta alternativa permite la creación de playa seca en la totalidad de la longitud del tramo costero se va a proceder al análisis de los perfiles de playa para determinar posibles tamaños de sedimentos de relleno.

En las siguientes figuras se puede ver las batimétricas en la zona de estudio y la localización de los perfiles que se han estudiado.

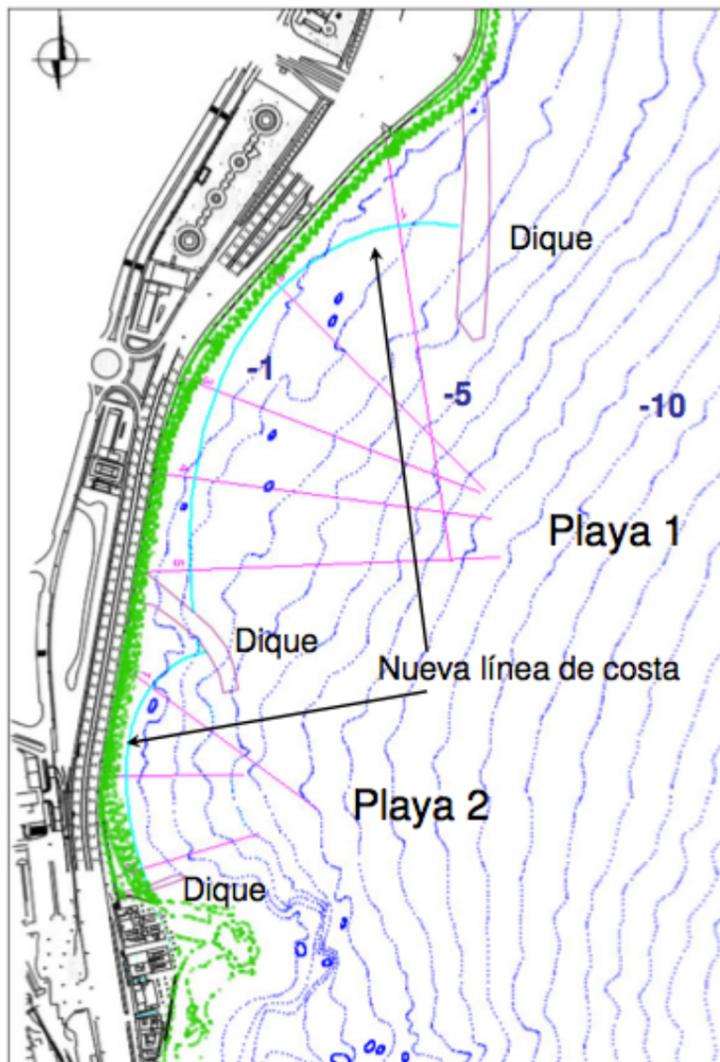


Figura 6. 5 Líneas batimétricas y perfiles a analizar

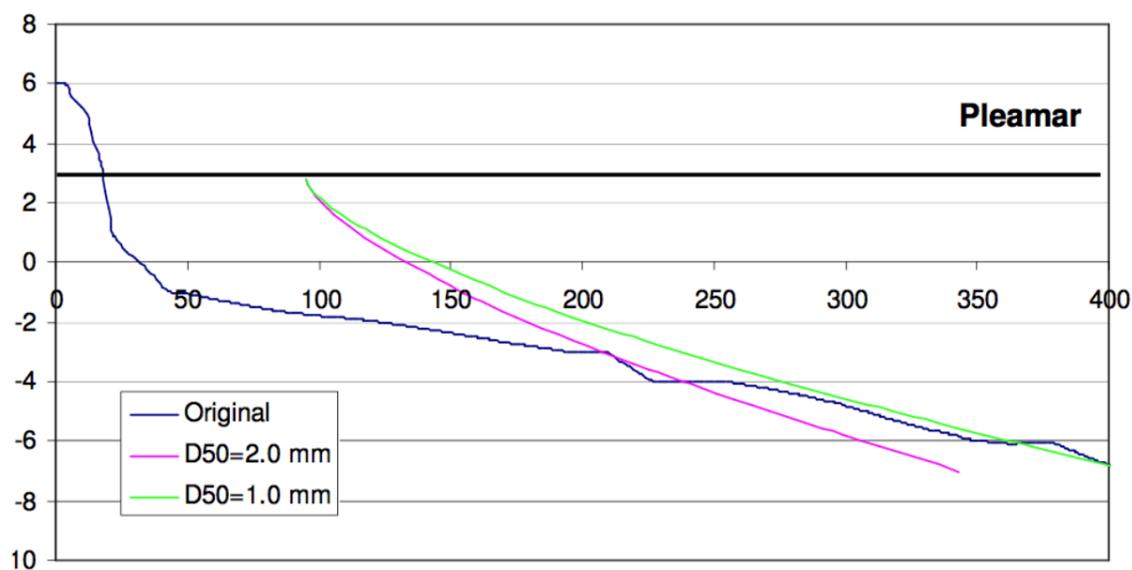


Figura 6. 6 Perfil 1, Playa 1

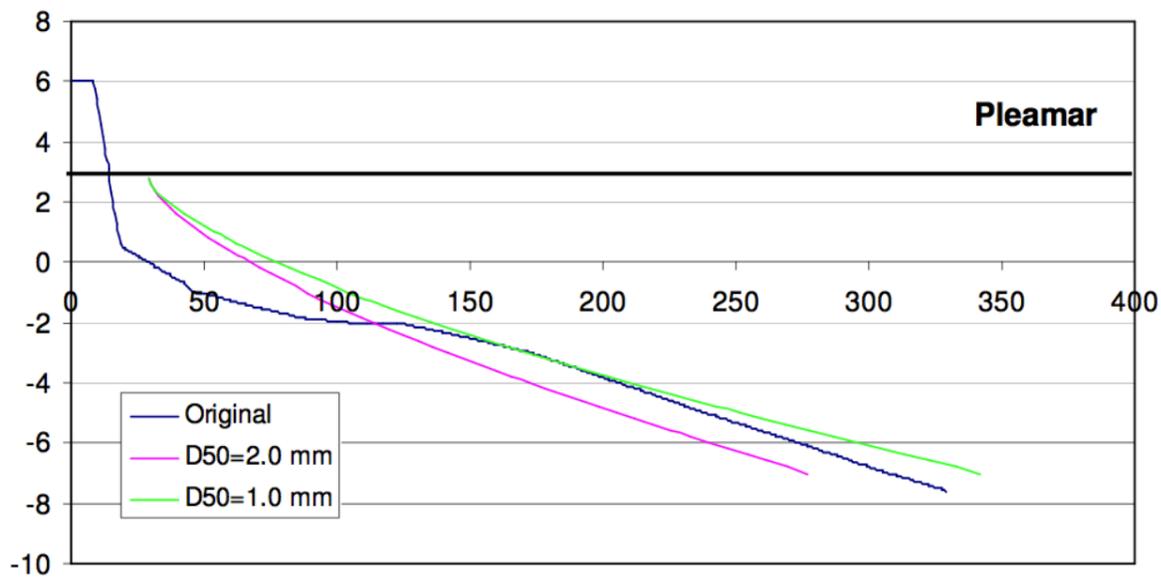


Figura 6. 7 Perfil 2, Playa 1

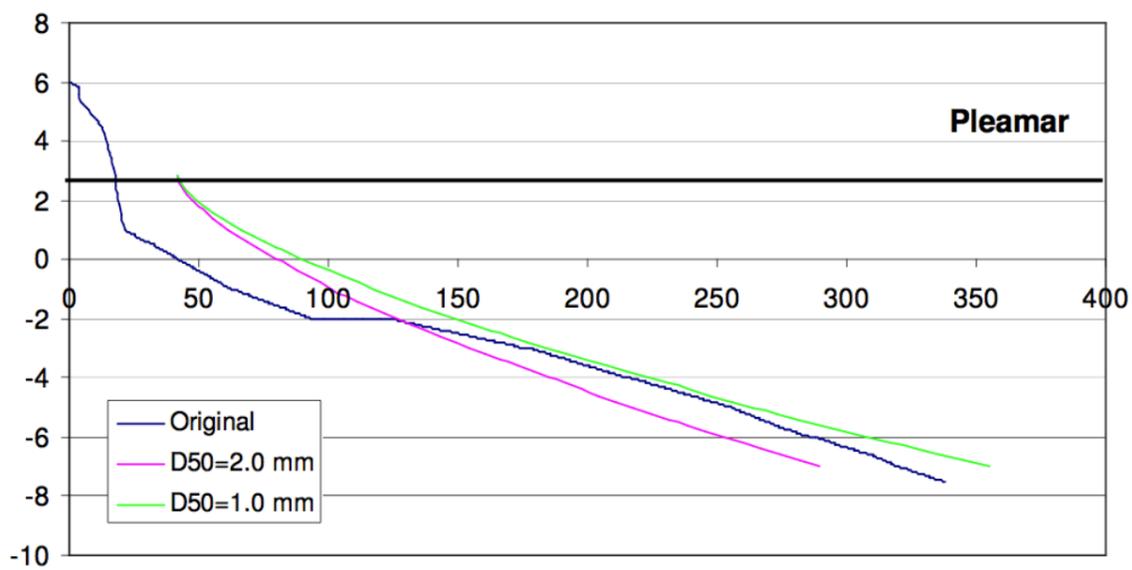


Figura 6. 8 Perfil 3, Playa 1

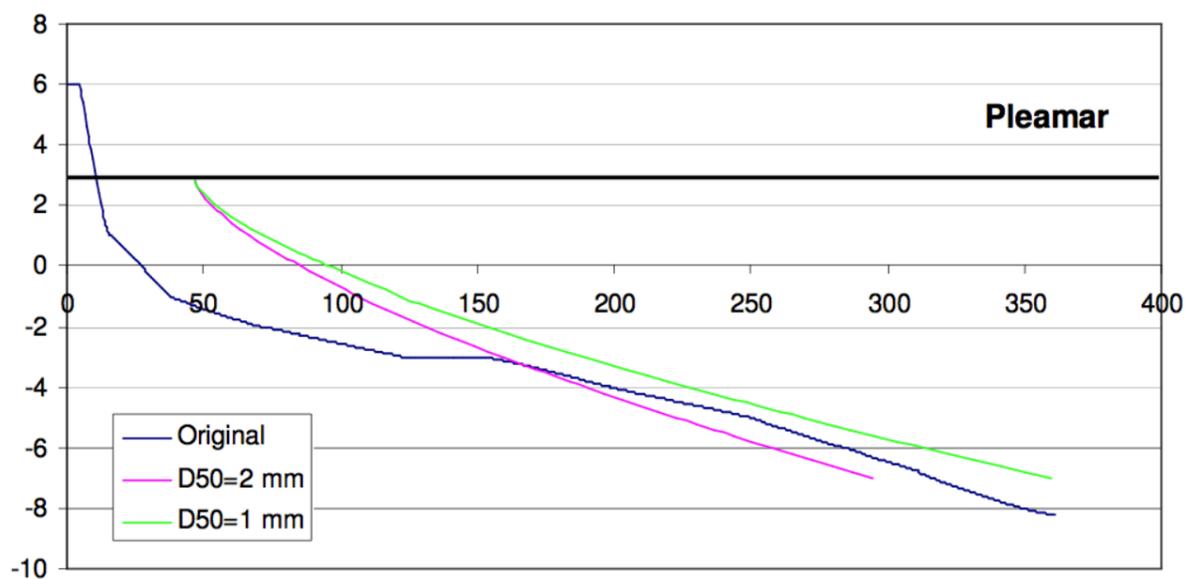


Figura 6. 9 Perfil 4, Playa 1

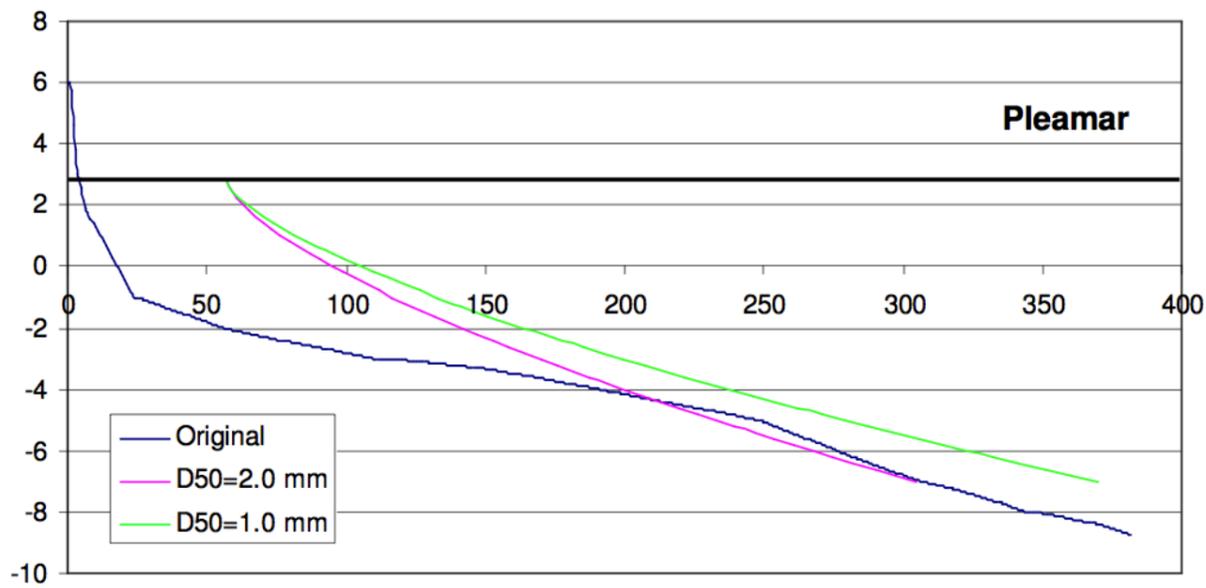


Figura 6. 10 Perfil 5, Playa 1

A la vista de los perfiles se puede comprobar que para que el perfil de regeneración intercepte con el perfil original a una cota no muy elevada (-2 m ó -3 m), en el caso de los cuatro primeros perfiles, es necesario emplear tamaños de sedimento con un D_{50} del orden de 2.0 mm. En cuanto al perfil 5, el relleno con un tamaño de grano de 2.0 mm corta al terreno original más allá de la batimétrica -4 y a una distancia de la línea de costa actual de 200 m, para la contención de este perfil sería necesaria la construcción de un dique sumergido hasta esa profundidad.

En cuanto a la playa en las cercanías del castillo, en las siguientes figuras se representan los tres perfiles de esta playa marcados en la figura de líneas batimétricas y localización de los perfiles:

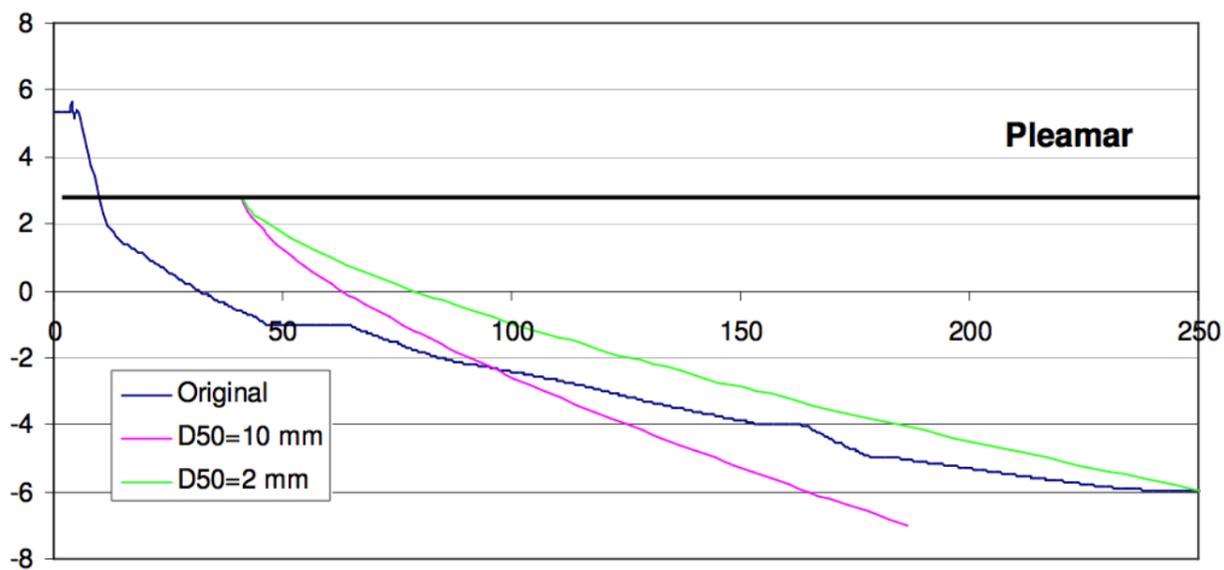


Figura 6. 11 Perfil 1, Playa 2

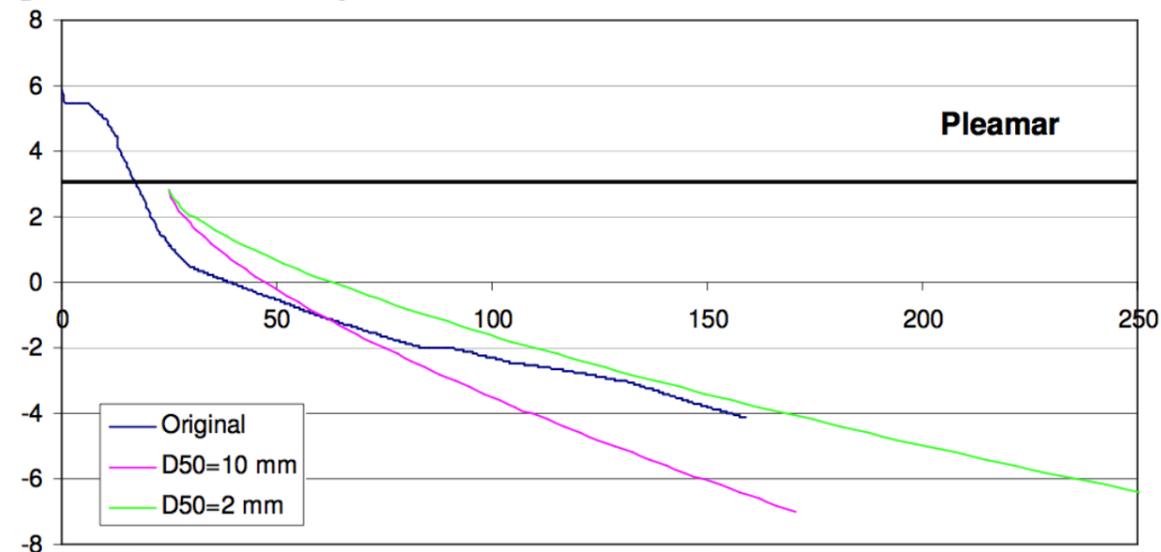


Figura 6. 12 Perfil 2, Playa 2

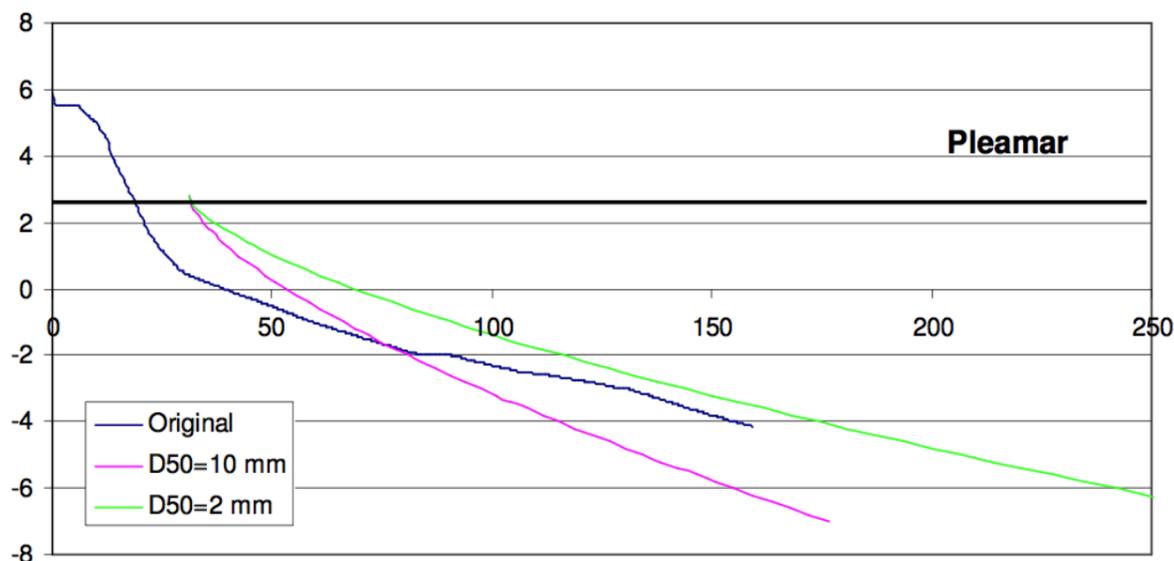


Figura 6. 13 Perfil 3, Playa 2

Se han representado dos posibles rellenos con tamaños de sedimentos D_{50} igual 2.0 mm y 10.0 mm. Se puede comprobar como el perfil de equilibrio con el tamaño de grano menor intercepta a profundidades elevadas y grandes distancias de la línea de costa. En esta playa sería más recomendable realizar rellenos con sedimentos de mayor tamaño, este requisito más restrictivo en esta playa se debe a que la pendiente de perfil original es aún mayor en esta zona que en la localización de la playa 1.

Indicar en esta segunda playa sólo avanza la línea de costa en la parte norte de la misma, permaneciendo igual en las cercanías del Castillo. Por tanto, si pretende modificar el tamaño del sedimento actual con objeto de mejorar las condiciones de baño de esta playa, el tamaño de este sedimento estaría limitado a tamaños del orden de 10 mm, y siempre siendo necesaria la construcción de un espigón de apoyo en la ubicación del Castillo.

Por tanto del análisis de esta alternativa se desprende:

- Esta configuración en planta permite la generación de playa en todo el tramo costero.
- En la primera playa planteada se puede realizar el relleno con un tamaño de sedimento del orden de 2.0 mm, siendo necesario la disposición de un dique semi-sumergido en su extremo sur para la contención del perfil.
- La ampliación de la playa actual iría acompañada de un cambio en el tamaño de sedimento. La pendiente de la batimetría limita el tamaño de éste a un valor del orden de los 10 mm y requiere la construcción de un dique de apoyo en la zona del Castillo de San Cristóbal.

Variantes de la solución escogida

A continuación se va a desarrollar con más detalle tres alternativas que se consideran más adecuadas conforme a las características tan específicas que presenta esta zona de estudio. Estas se considerarán variaciones de la alternativa III, siendo esta la que mejor se adapta a los requisitos y necesidades del proyecto

Básicamente las tres propuestas son similares, por un lado porque en ambas se plantea la construcción de un gran dique en el extremo norte de la zona que gire la dirección de incidencia del oleaje y por tanto permita que la forma en planta de nueva línea de costa tenga diferente orientación a la actual.

Como ya se ha visto en el desarrollo de las distintas variantes la ampliación de la playa seca y/o la modificación del sedimento requieren la creación de un nuevo apoyo lateral. Por tanto, no se puede modificar el estado modal de la playa sin plantear cambios en la zona del bajo rocoso sobre el que se ubica el Castillo de San Cristóbal. La playa actual de gravas no sufrirá ningún cambio. Se ha considerado como requisito adicional resolver la continuidad entre las playas sin ninguna intervención en la zona del Castillo.

Por otro lado, que en la zona de la playa actual se ha considerado no realizar ningún tipo de actuación encaminada a generar nueva superficie de playa seca o modificar la morfología modal de la misma. Se propone la creación en esta playa de una zona de tránsito que permita el uso de esta nueva playa por parte de la población situada al sur del castillo.



Variante I: Creación de una única playa.

Esta propuesta consiste en la construcción de un dique, que arranca del nudo de la autopista, de manera que se produce un giro de la forma en planta de la playa, con la consiguiente creación de área de playa seca en todo el tramo de costa, aprovechando la forma en planta generada por la difracción para poder formar playa en el cambio de alineación de la costa. El dique necesario para generar esta playa tendría una longitud de 300 m.

En la figura se ha marcado el corte del perfil de relleno con la batimetría original, para que corte con éste a una distancia no muy significativa de la costa, el sedimento debe tener un tamaño de grano de 2.0 mm. En el extremo sur de la playa, donde el fondo presenta una mayor pendiente es necesario la construcción de un dique semi-sumergido que alcance hasta la cota -4.0m para contener el perfil de la playa. En la parte próxima a la costa y emergida se pretende crear una zona de estancia, dotando a este elemento de configuración más adecuada para ello.

En esta propuesta se consigue una playa de 575 m, con una anchura mínima de 20 m en su parte central. La anchura máxima se consigue en su extremo sur con un valor de 70 m, mientras que en la parte se norte se establece una anchura de 60 m. En esta zona se pretende dejar espacio para equipamiento.

El volumen de arena necesario en la creación de esta playa es de unos 118700 m³.



Figura 6. 14 Variante I: Creación de una única playa



Variante II: Creación de una playa compartimentada.

En esta propuesta se diseña un dique similar al anterior, ver figura 5.15, arranca en el ramal de la autovía siguiendo cierta alineación con este elemento pero con una longitud algo mayor, 330m. La playa se divide en dos con objeto de no tener un punto crítico en la zona de menor anchura en la playa de la solución anterior. De este modo la playa es más estable y se reduce la variabilidad estacional de la misma. Además esta solución permite por un lado un mayor avance de la playa en la zona norte y se plantea el relleno con un tamaño de sedimento menor, $D_{50}=1.0$ mm. La anchura mínima se establece en 40 m, mientras en la parte con mayor anchura ésta se limita a 60 m, empleando el resto de espacio para crear una zona con los equipamientos característicos de una playa urbana. El perfil de la playa está contenido por el dique exterior de abrigo en su extremo norte y por un elemento de separación en su extremo Sur.

Por otro lado, en la zona sur, que ahora pasaría a ser la segunda playa, se retranquearía la línea de pleamar, estableciendo una anchura mínima en esta zona de 30 m y una máxima de 45 m, ya que los 70 m de anchura de la Variante I pueden resultar excesivos a la par que inseguros por fallo del perfil de playa. Como en la variante anterior, es necesaria la construcción de un dique semi-sumergido que contenga en perfil en esta zona más desfavorable. Al igual que en la solución anterior, a este elemento se le deberá dotar del aspecto y forma necesarios para que sirva de zona de estancia.

El volumen total de arena necesario para la creación de las dos playas en esta solución es de unos 115000 m^3 .



Figura 6. 15 Variante II Creación de una playa compartimentada



Variante III: Creación de una playa compartimentada y una playa de bolos.

Esta propuesta considera, ver figura 5.16, como en la variante anterior, la construcción de un dique de 330 m de longitud, como elemento generador de difracción, y también plantea una primera playa compartimentada en dos, con objeto de dotarla de mayor estabilidad al evitar puntos críticos en el basculamiento que sufre la planta de la playa.

Las diferencias con respecto a la variante II es la creación de una zona de tránsito desde la playa actual del Castillo hasta estas nuevas playas mediante una playa de bolos.

Uno de los inconvenientes que presenta la variante II es el tamaño de sedimento de $D_{50} = 1$ mm del relleno de la segunda playa, que condiciona un corte con el terreno original en la cota -4.0 m, y por tanto, un dique semi-sumergido de longitud considerable. En esta solución se plantea un relleno con arena de tamaño $D_{50} = 2$ mm, que fija un corte con el terreno original entorno a la cota -3, y reduce en unos 55 m la longitud del dique semi-sumergido que es necesario construir para contención del perfil.

Por otro lado, con objeto de crear playa en el resto del tramo costero, y teniendo en cuenta los condicionantes de diseño anteriormente señalados respecto a la pendiente de la batimetría y el tamaño de sedimento compatible con una solución sin intervenciones en la zona del Castillo, se plantea una playa de bolos en este tramo.

Para crear esta playa es necesario dotar a la solución de una pequeña estructura que genere difracción, con una longitud de unos 42 m, planteada con la misma orientación que el dique exterior. Por otro lado, se ha considerado conveniente no generar una playa continua, unida con la playa actual de gravas, planteándose compartimentada. El tamaño del sedimento del relleno de esta playa se establece igual al tamaño de sedimento de la playa de bolos actual (gravas de 5-10 cm). La anchura mínima se ha establecido en 10 m para evitar un avance excesivo del corte del perfil del relleno con el terreno original.

El volumen total de arena necesario de tamaño $D_{50} = 1$ mm para la creación de la primera playa es de unos 107000 m^3 ; el volumen necesario de arena de tamaño $D_{50} = 2$ mm para la segunda playa es de unos 58540 m^3 ; y para la playa con un sedimento tipo bolo es de unos 13000 m^3 .

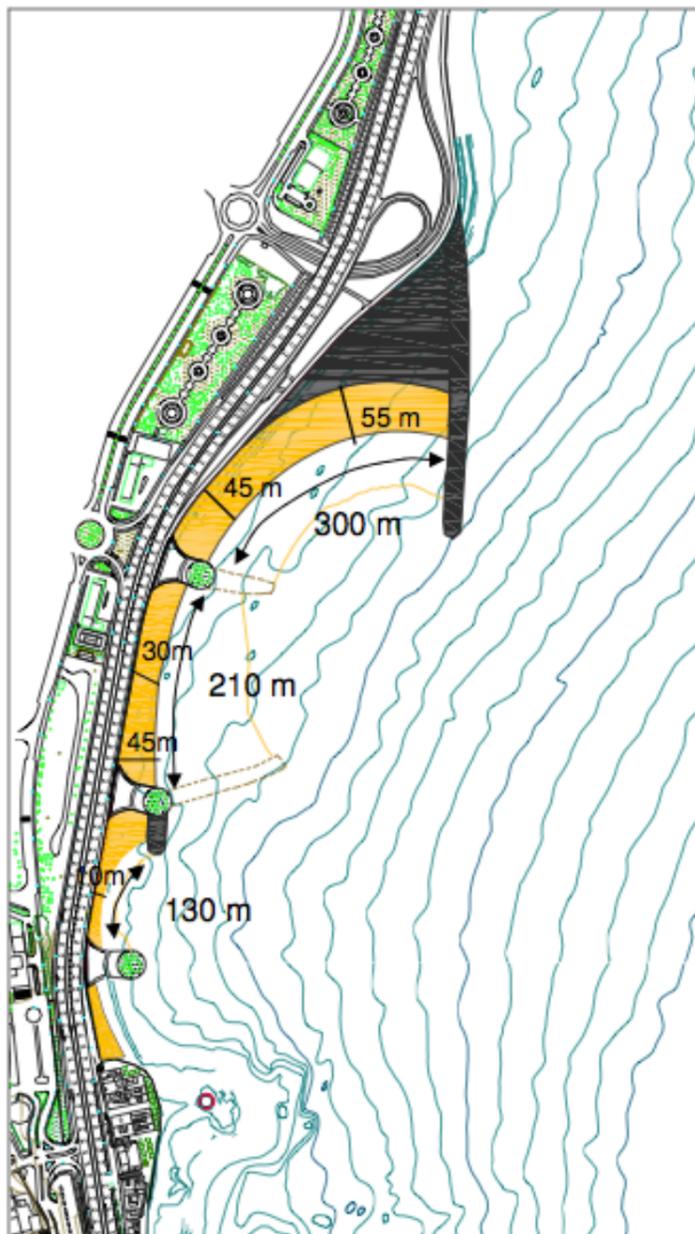


Figura 6. 16 Variante III: Creación de una playa compartimentada y una playa de bolos

Estudio de morfodinámica en la Playa del Castillo



1.3. GEOMETRÍA DE LA SOLUCIÓN FINAL

Atendiendo a los requisitos y necesidades previamente citados, cabe concluir que la solución más adecuada será la variante III.

Esta cuenta con una primera playa de arena compartimentada y una playa de bolos. El diseño de una playa compartimentada resulta más conveniente ya que se evita una zona central de menor anchura, crítica en el basculamiento de la forma en planta ocasionado por los temporales. La primera playa de arena se extiende hasta el cambio de alineación de la costa, coincidiendo con la rotonda de la autovía del litoral. Como material de relleno se ha considerado una arena con $D_{50}=1.0$ mm. Esta playa está contenida en su extremo Norte por el dique exterior, mientras que en su extremo sur es necesario un dique semisumergido. Este elemento estructural sirve como enlace entre las dos playas de arena y se ha concebido, a su vez, como área de estancia.

En el caso de la segunda playa de arena se ha considerado como material de relleno una arena con $D_{50}=2.0$ mm, de esta forma se consigue un corte con el terreno original a menor profundidad y se reduce la longitud del dique semisumergido para la contención del perfil en el extremo sur de la playa. La parte de la estructura que arranca de la costa se ha planteado como zona de estancia y de tránsito entre playas, al igual que en el caso anterior. En este último tramo del área de actuación se plantea la creación de una nueva playa de bolos condicionado por la mayor pendiente del fondo en esta zona. El tamaño medio de estas gravas se ha establecido en 5-10 cm. Se considera adecuado modificar la orientación de la forma en planta, para lo cual se dispone una estructura que genere difracción, que parte de la segunda zona de tránsito y estancia.

Por otro lado, para que no se produzca un excesivo avance de la playa que requiera un dique semisumergido para contener el perfil, se ha limitado la anchura de playa seca mínima a 10-15 m. Se ha planteado otra área de descanso para separar totalmente esta playa de la playa actual, ya que cualquier solución de continuidad de la playa en esta zona supondría una modificación de la playa actual y la disposición de estructuras de contención en la zona del Castillo. Por otro lado, desde el punto de vista estético, el saliente en el que se ubica el Castillo de San Cristóbal se ha considerado un elemento clave en la configuración del tramo costero en estudio. Por este motivo, en el diseño final de la alternativa seleccionada se ha tratado de imitar este elemento en el planteamiento de las áreas de tránsito y estancia entre playas.

En resumen, las características básicas de las playas en esta solución son las siguientes:

- Una primera playa de unos 300 m de longitud, con una anchura mínima de 45 m y una máxima de 55 m. El tamaño de la arena del relleno se ha establecido en $D_{50}=1.0$ mm siendo necesario un volumen exacto de préstamo de unos 10700 m^3 , al que habría que añadir las pérdidas ocasionadas por el oleaje. El valor de estas pérdidas se detallará a continuación.
- Una segunda playa de unos 210 m de longitud, con una anchura mínima de 30 m y una anchura máxima de 45 m. El tamaño de arena del relleno se ha establecido en $D_{50}=2.0$ mm y el volumen de material necesario es de unos 58540 m^3 más las pérdidas ocasionadas por el oleaje.
- La tercera playa presenta una longitud de unos 130 m, con una anchura mínima de 10 m. El sedimento del relleno se ha planteado igual que el de la playa actual, gravas (5-10 cm). El volumen de material necesario es de unos 13000 m^3 más las pérdidas ocasionadas por el oleaje. Conforme a lo establecido por la Dirección General de Costas en la reunión que tuvo lugar en Mayo de 2006, estas gravas de aportación tendrán su origen en los dragados que se están realizando en el Puerto de Arinaga con motivo de las obras que se están realizando.



7. AFECCIÓN A LAS PLAYAS POR LAS MEJORAS SUGERIDAS



1. LARGO PLAZO

1.1. Planta

1.2. Perfil

1.2.1. Arena de aportación

2. CORTO PLAZO

3. TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTO EN LA SITUACIÓN FUTURA



LARGO PLAZO

Las diferentes dinámicas que afectan a una playa se presentan en escalas temporales que van desde los segundos (olas) a las décadas (ascenso del nivel medio del mar).

Por un lado, en el estudio de la estabilidad y evolución de una playa la escala temporal de interés es el largo plazo (años). El objetivo de este análisis en el largo plazo es determinar cuál será la forma final de la playa y asegurar que la funcionalidad de la playa se mantiene durante la vida útil de la misma. Se utilizan los modelos conceptuales de perfil de equilibrio y forma en planta de la playa, que son las herramientas que se han empleado en el planteamiento de alternativas, asegurándose de esta forma, que estas propuestas son estables en el largo plazo.

En el presente capítulo se analiza la afección a la playa estudiada en la situación futura con la realización de la construcción de las obras de abrigo y contención de arena. A lo largo de este capítulo se estudiarán tanto las afecciones que estas obras provocarán al perfil y la planta de la Playa del Castillo.

1. Planta

La construcción de los diques propuestos supondrían una gran variación de la planta de la playa. Esto se debe a que el motivo principal motor de esta obra es buscar un aumento de la superficie seca a través de la difracción que las obras de abrigo generan.

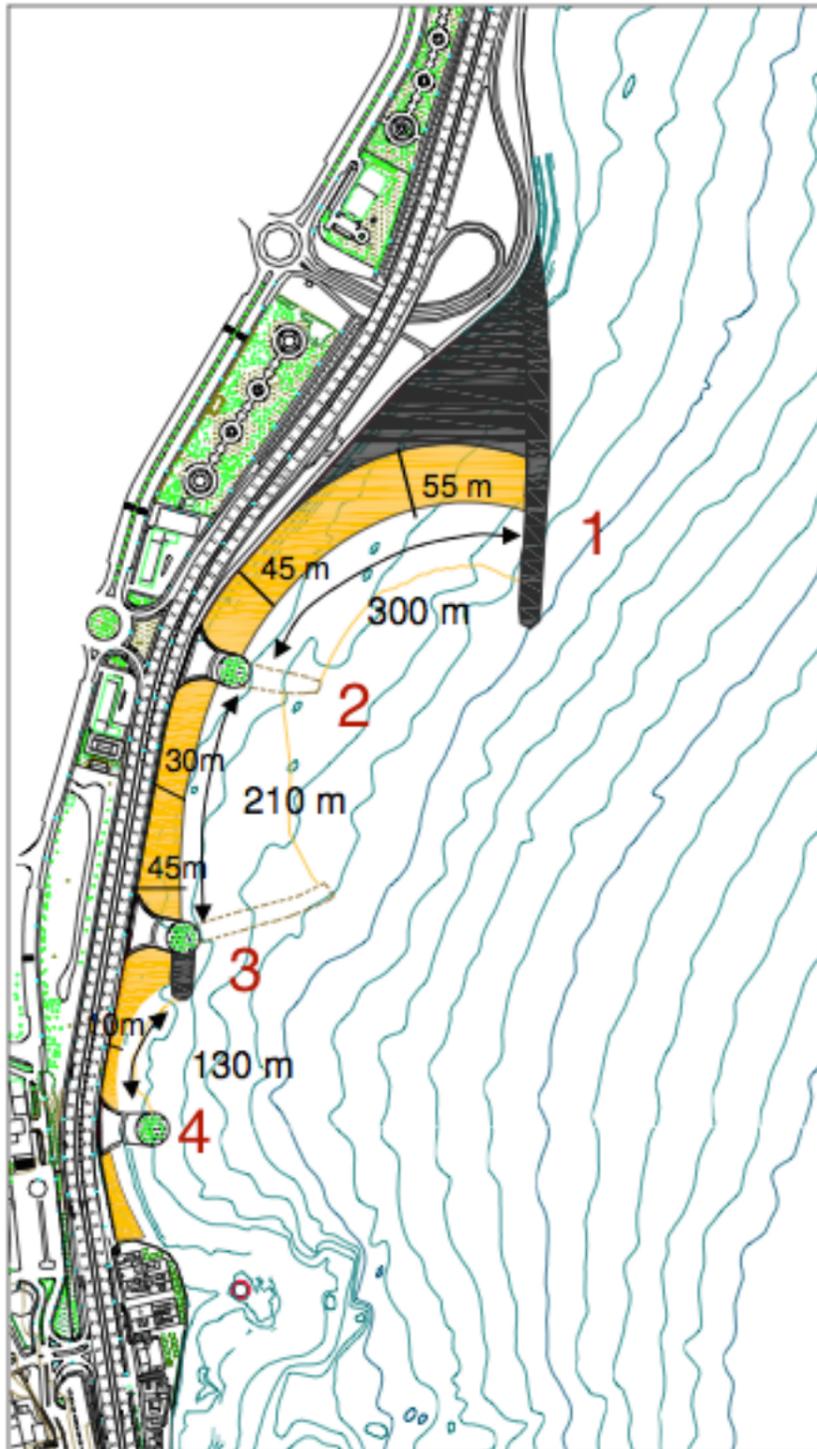
De esta forma, la actual playa de gravas se vería expandida, continuada en forma de playa compartimentada en tres playas diferenciadas.

- La primera playa de arena se extiende hasta el cambio de alineación de la costa, coincidiendo con la rotonda de la autovía del litoral. Como material de relleno se ha considerado una arena con $D_{50}=1.0$ mm. Esta playa está contenida en su extremo Norte por el dique exterior, mientras que en su extremo sur es necesario un dique semisumergido. Este elemento estructural sirve como enlace entre las dos playas de arena y se ha concebido, a su vez, como área de estancia. Esta playa tendría unos 300 m de longitud y unas anchuras mínima y máxima de 45 y 55 m respectivamente. El tamaño de la arena de relleno se ha establecido en $D_{50}=1.0$ mm siendo necesario un volumen exacto de préstamo de unos 10700 m^3 , al que habría que añadir las pérdidas ocasionadas por el oleaje.
- En el caso de la segunda playa de arena se ha considerado como material de relleno una arena con $D_{50}=2.0$ mm, de esta forma se consigue un corte con el terreno original a menor profundidad y se reduce la longitud del dique semisumergido para la contención del perfil en el extremo sur de la playa. La parte de la estructura que arranca de la costa se ha planteado como zona de estancia y de tránsito entre playas, al igual que en el caso anterior. Esta segunda playa tendría unos 210 m de longitud, y contaría con una anchura mínima de 30 m y una máxima de 45 m. El tamaño de arena del relleno se ha establecido en $D_{50}=2.0$ mm y el volumen de material necesario es de unos 58540 m^3 más las pérdidas ocasionadas por el oleaje.
- En este último tramo del área de actuación se plantea la creación de una nueva playa de bolos condicionado por la mayor pendiente del fondo en esta zona. El tamaño medio de estas gravas se ha establecido en 5-10 cm. Se considera adecuado modificar la orientación de la forma en planta, para lo cual se dispone una estructura que genere difracción, que parte de la segunda zona de tránsito y estancia. Por otro lado, para que no se produzca un excesivo avance de la playa que requiera un dique semisumergido para contener el perfil, se ha limitado la anchura de playa seca mínima a 10-15 m. Se ha planteado otra área de descanso para separar totalmente esta playa de la playa actual. Esta tercera playa presenta una longitud de unos 130 m. El



volumen de material (gravas) necesario es de unos 13000 m³ más las pérdidas ocasionadas por el oleaje

- La playa de bolos actual se ha decidido mantener sin alterar. Esto se debe a que una modificación de la playa actual implicaría la disposición de estructuras de contención en el lugar en el que se encuentra el Castillo. Es por esto que la tercera playa y la actual playa de gravas se encuentran incomunicadas, para evitar cualquier tipo de alteración en la planta de la playa actual.



7.1 Solución propuesta en planta

Conviene apreciar cómo las distintas curvas que forman las playas se aproximan a la parábola de Hsu previamente mencionada:

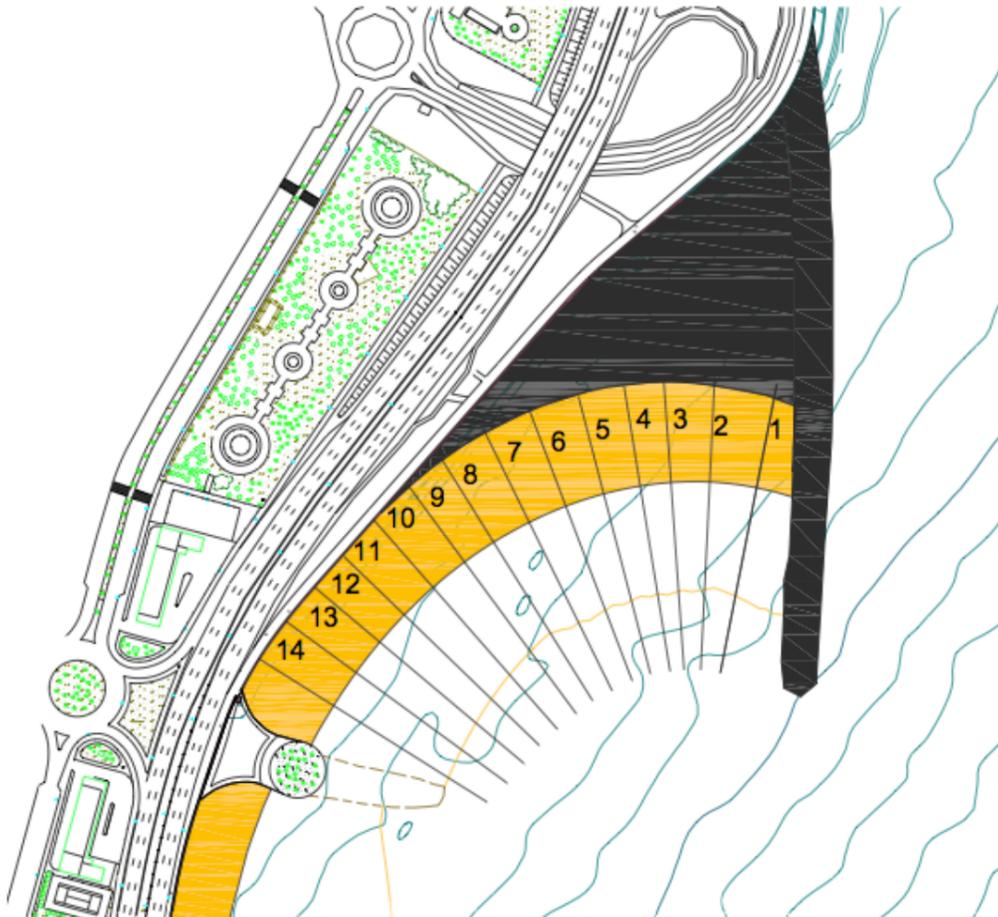


7.2 Línea de la playa teórica

2. Perfil

Como se ha mencionado anteriormente, la playa de bolos actual permanecería inalterada, por lo que su perfil no cambiaría.

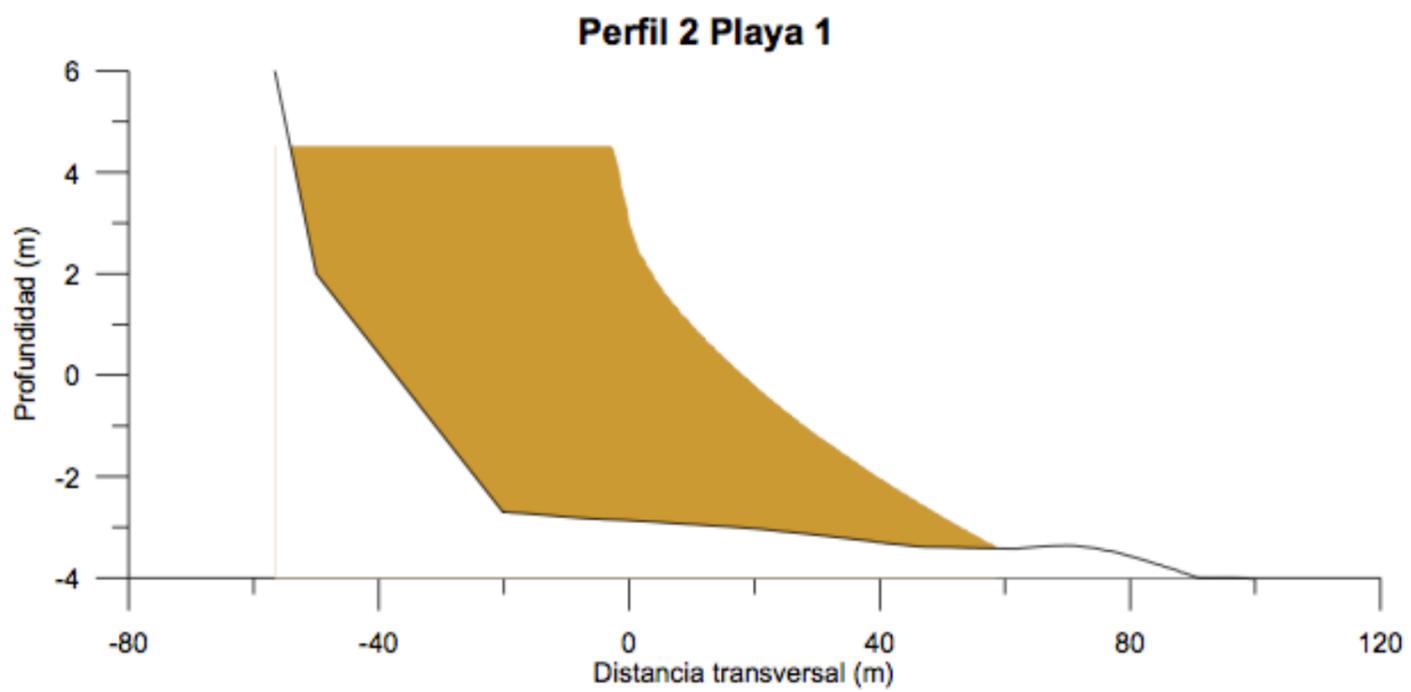
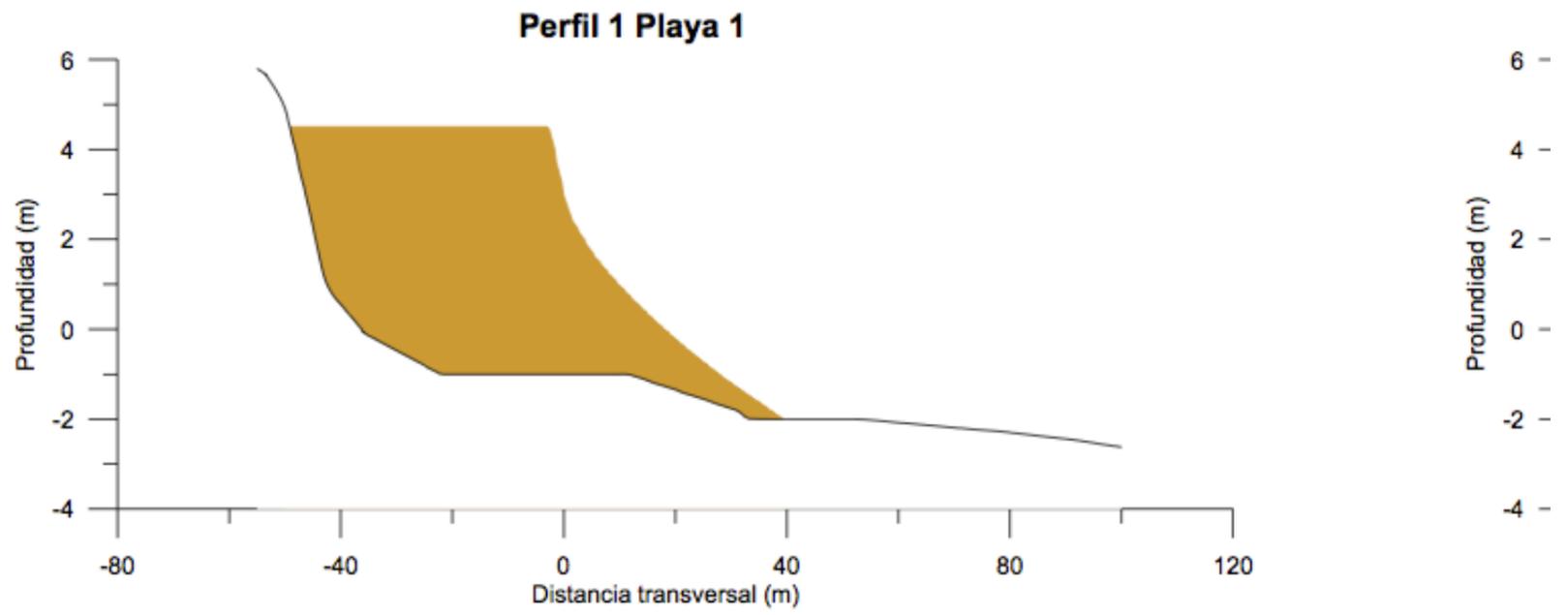
El resto de playas verían sus perfiles modificados, tal y como se muestra en las siguientes figuras, en las que se muestra el perfil anterior y la forma que tomaría tras añadir las arenas de aportación anteriormente mencionadas.

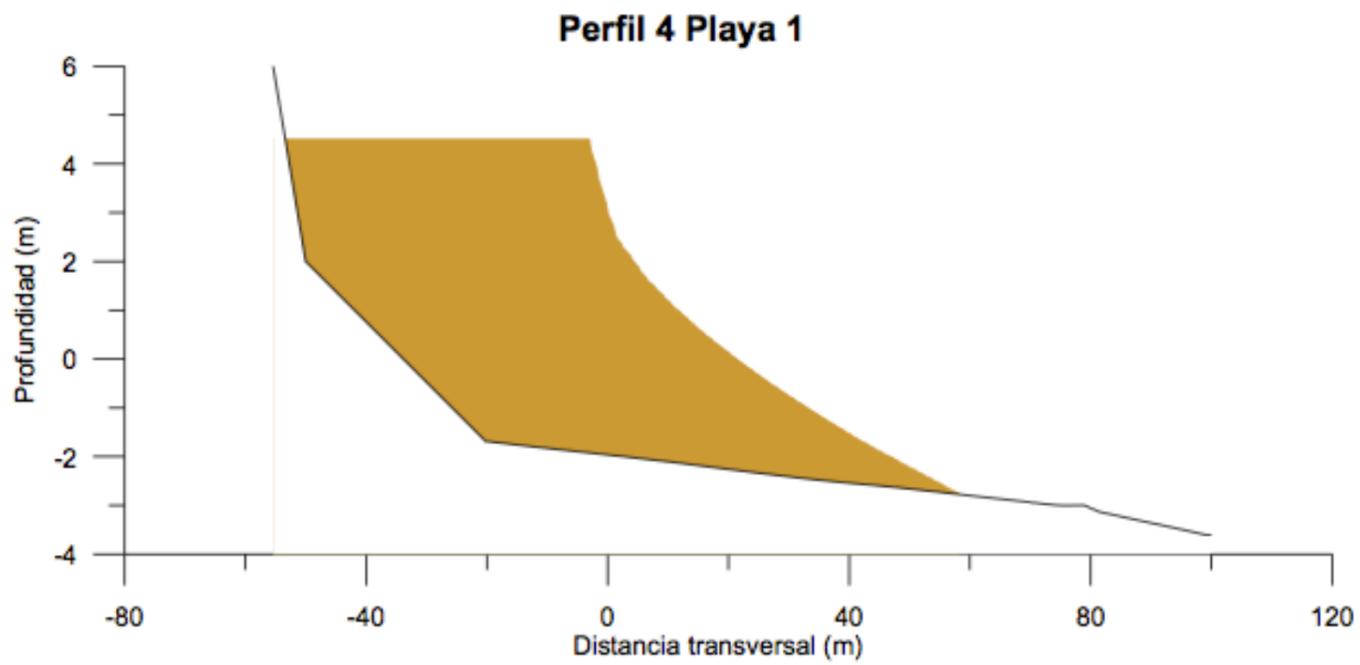
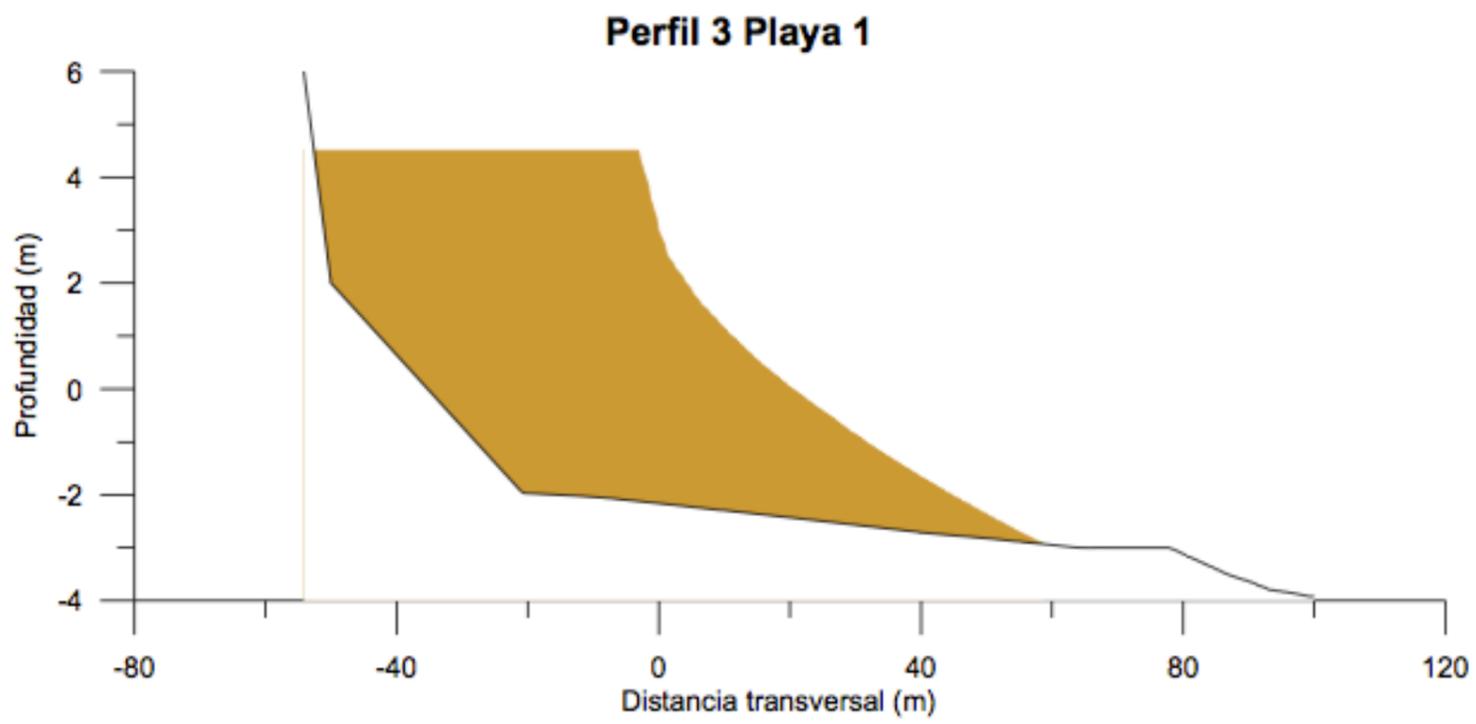


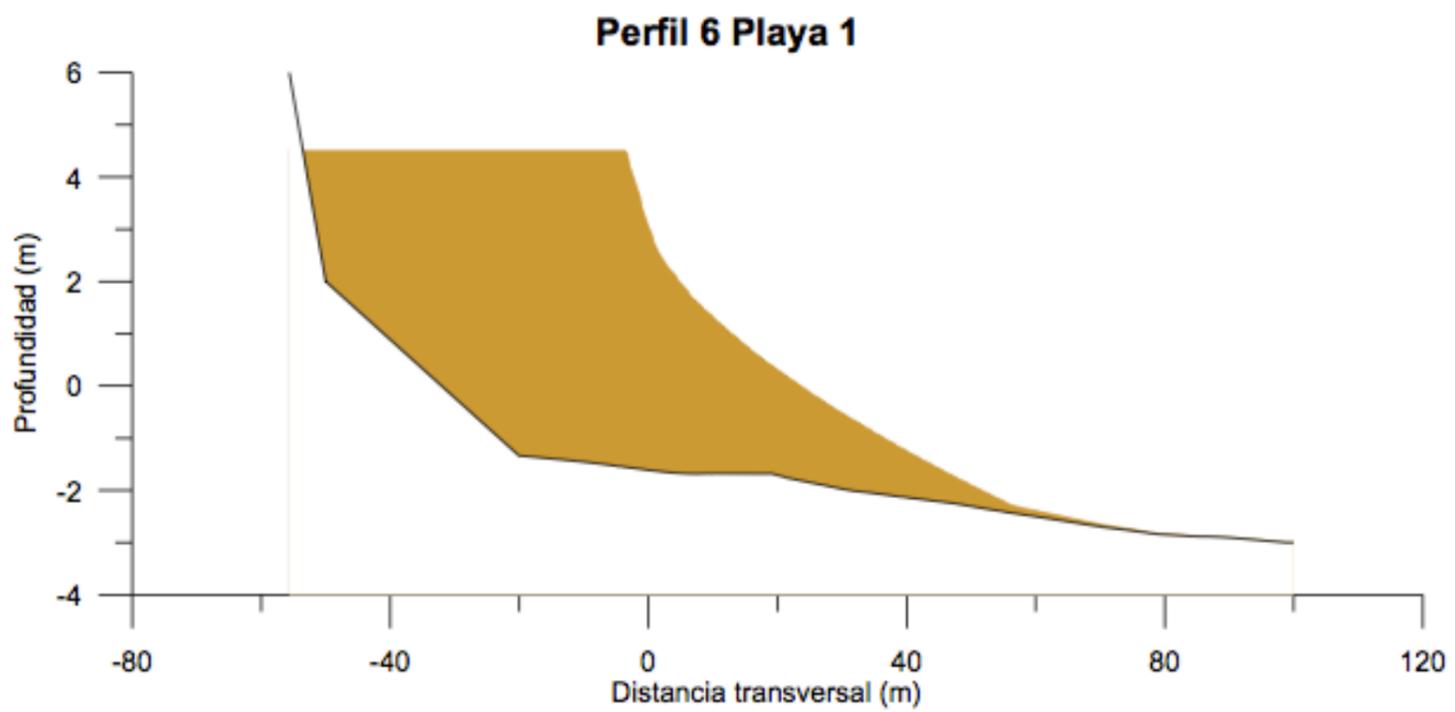
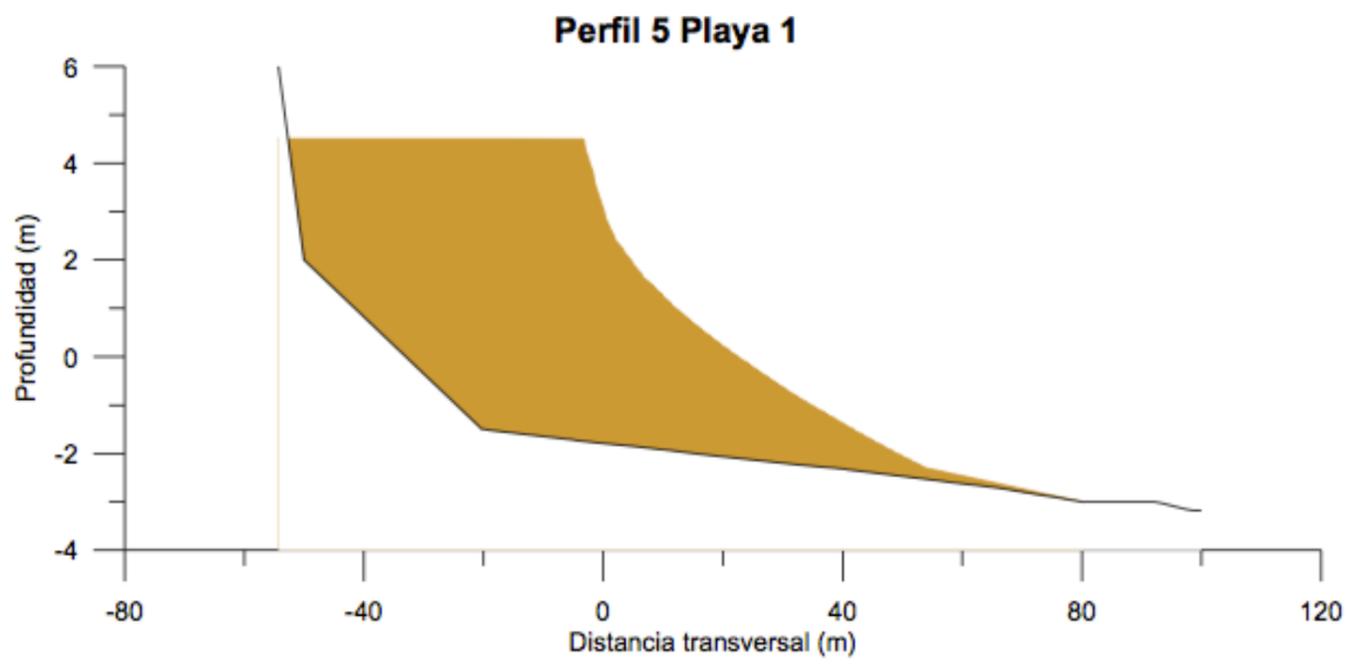


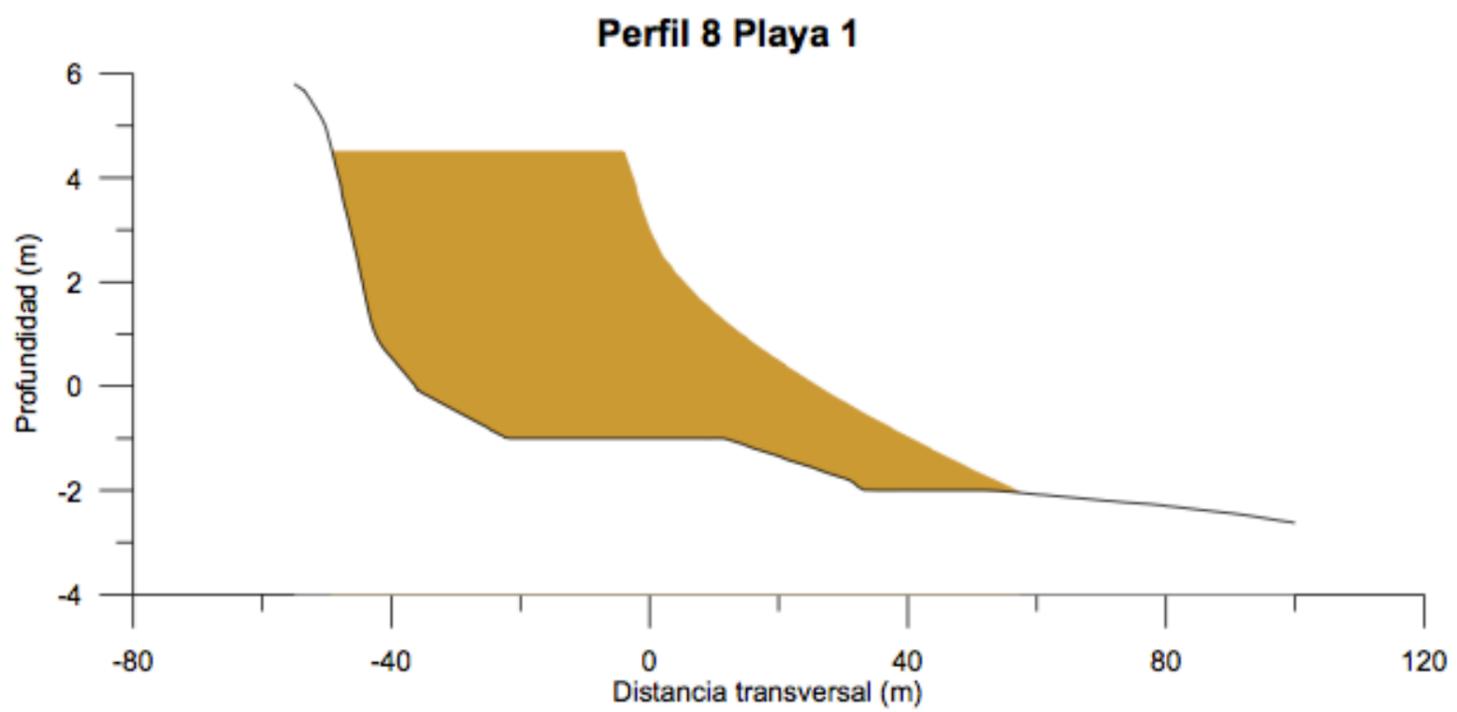
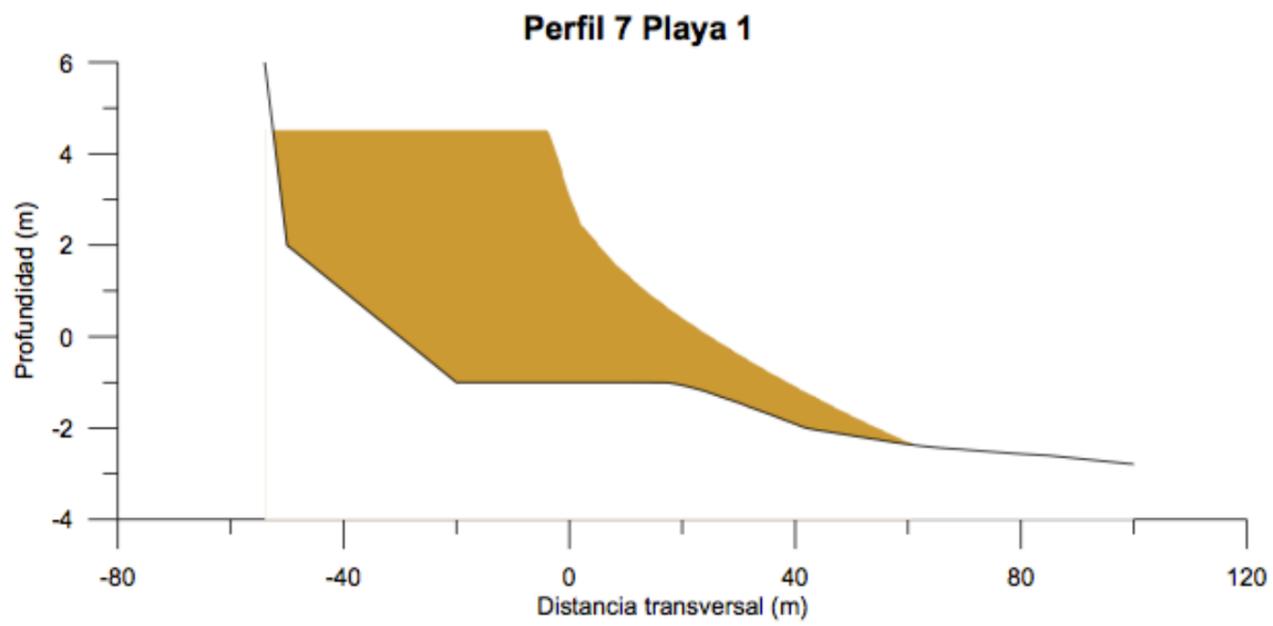
7.3 Localización de los perfiles de la playa 1

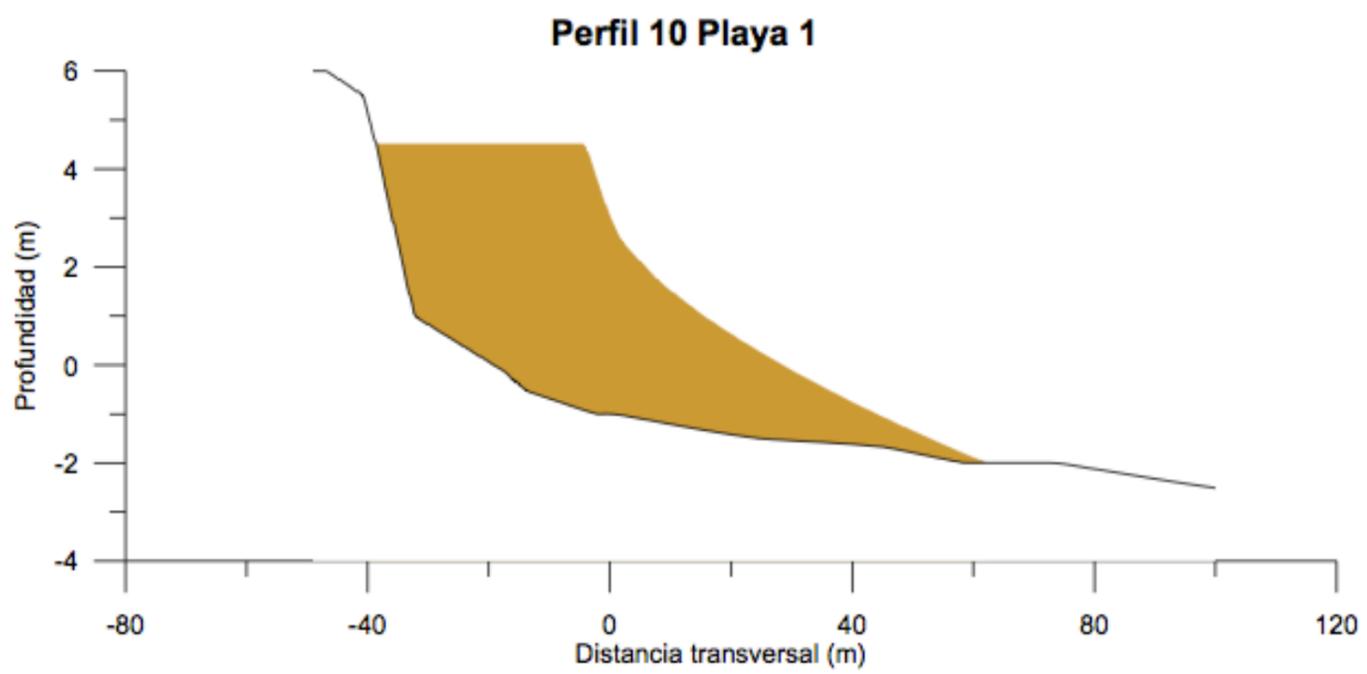
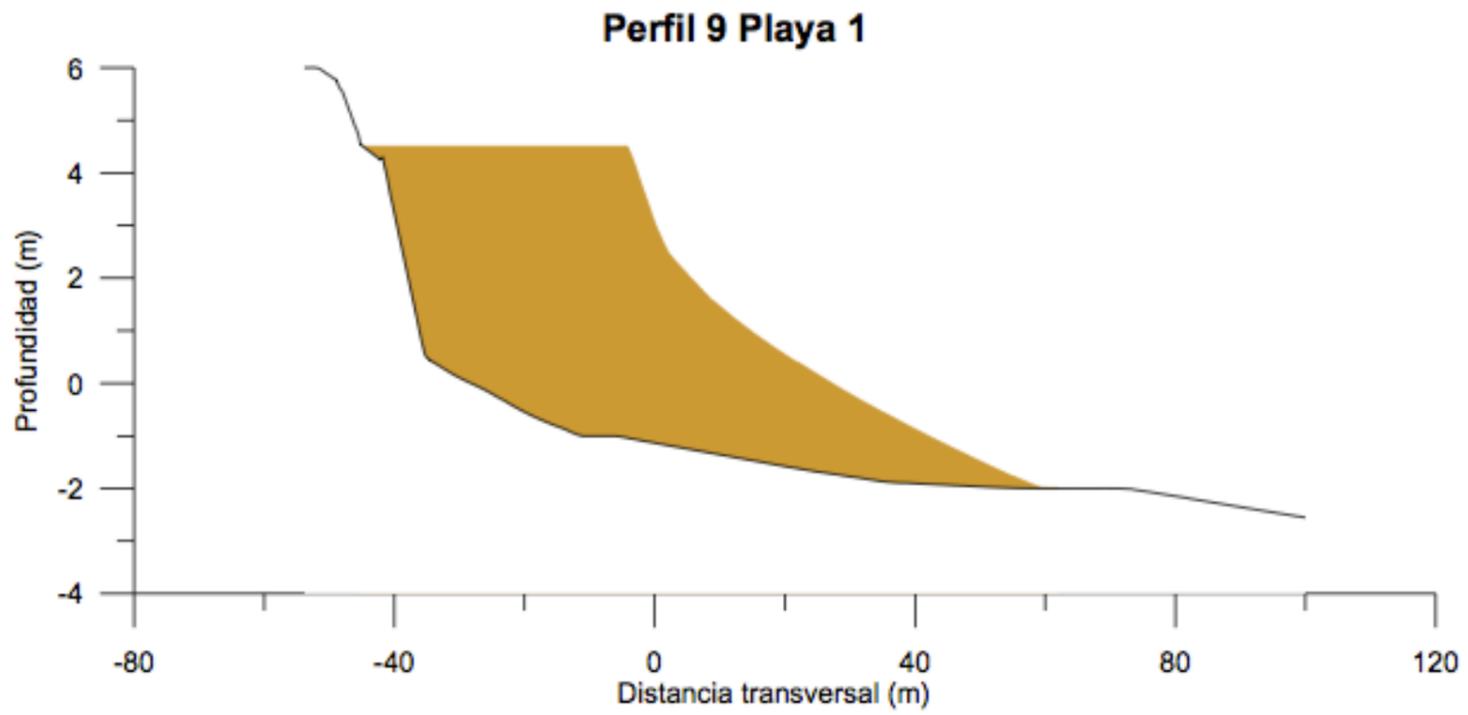
DE EL CASTILLO, 1.MI. LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

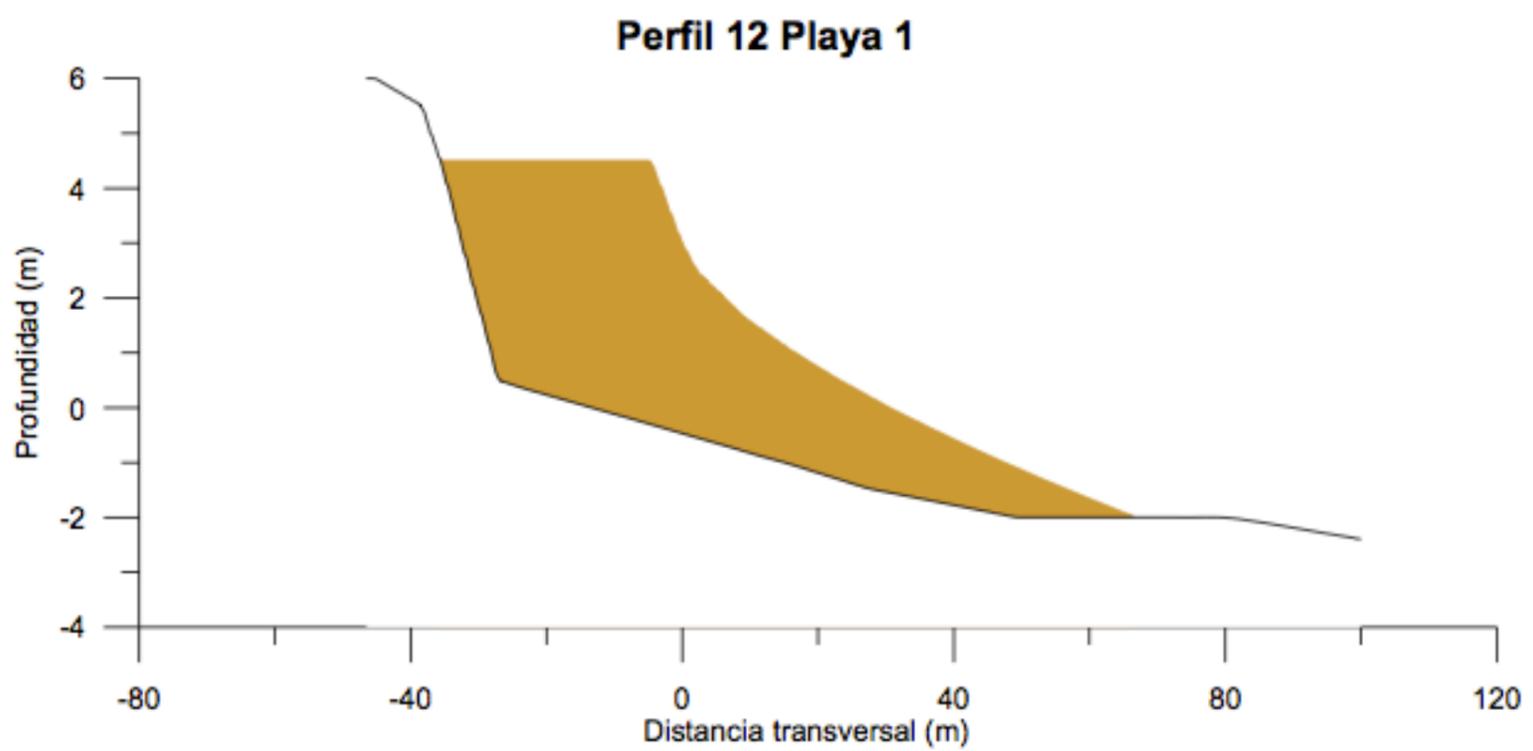
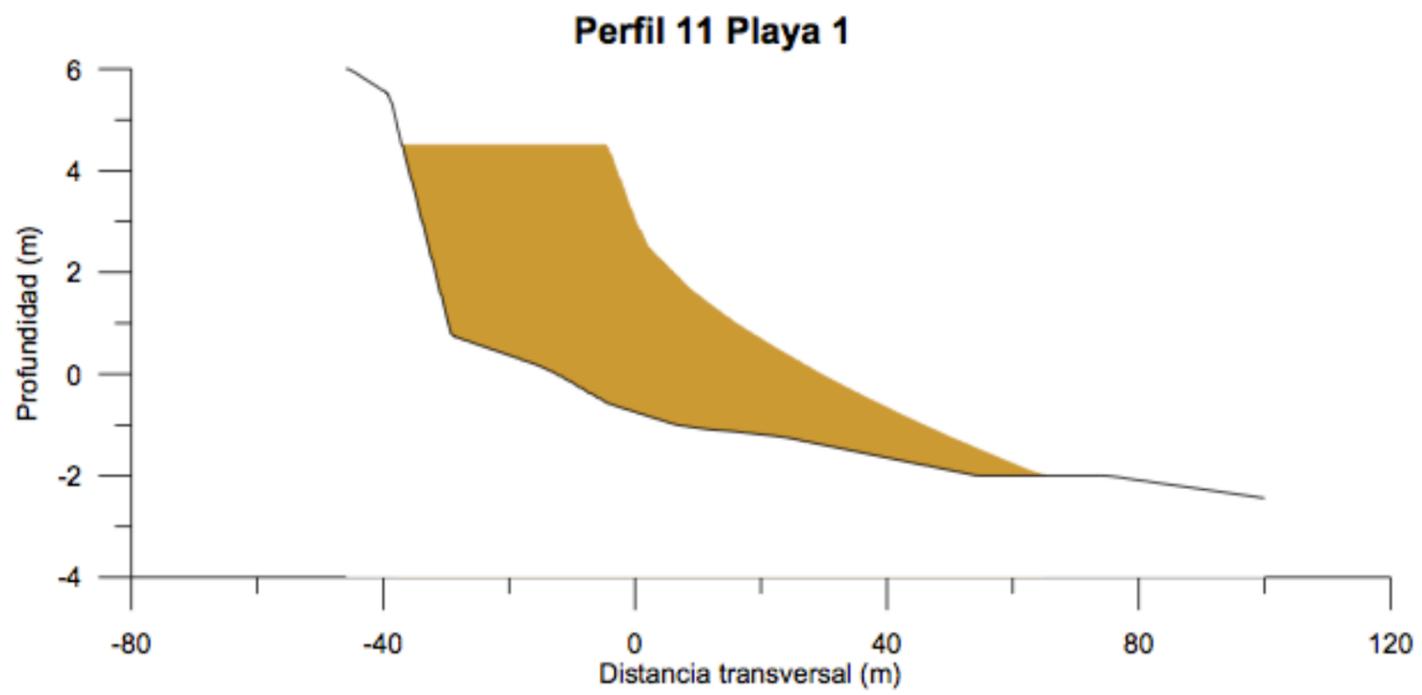


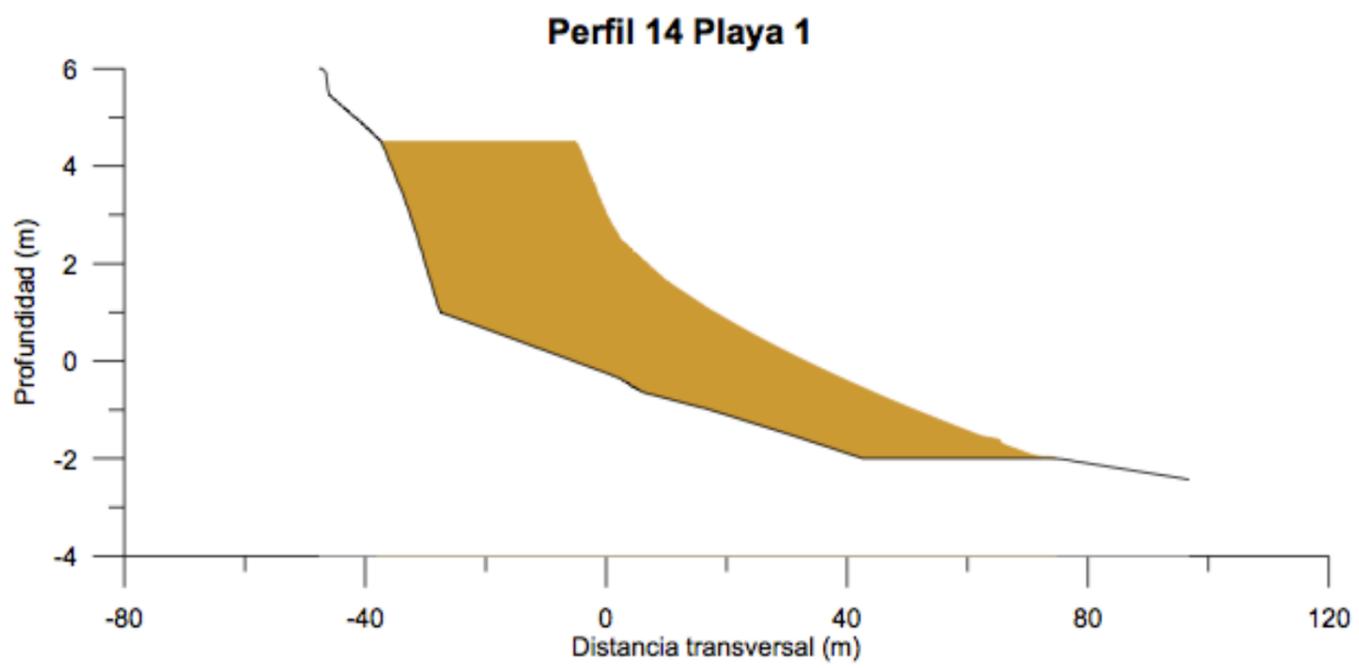
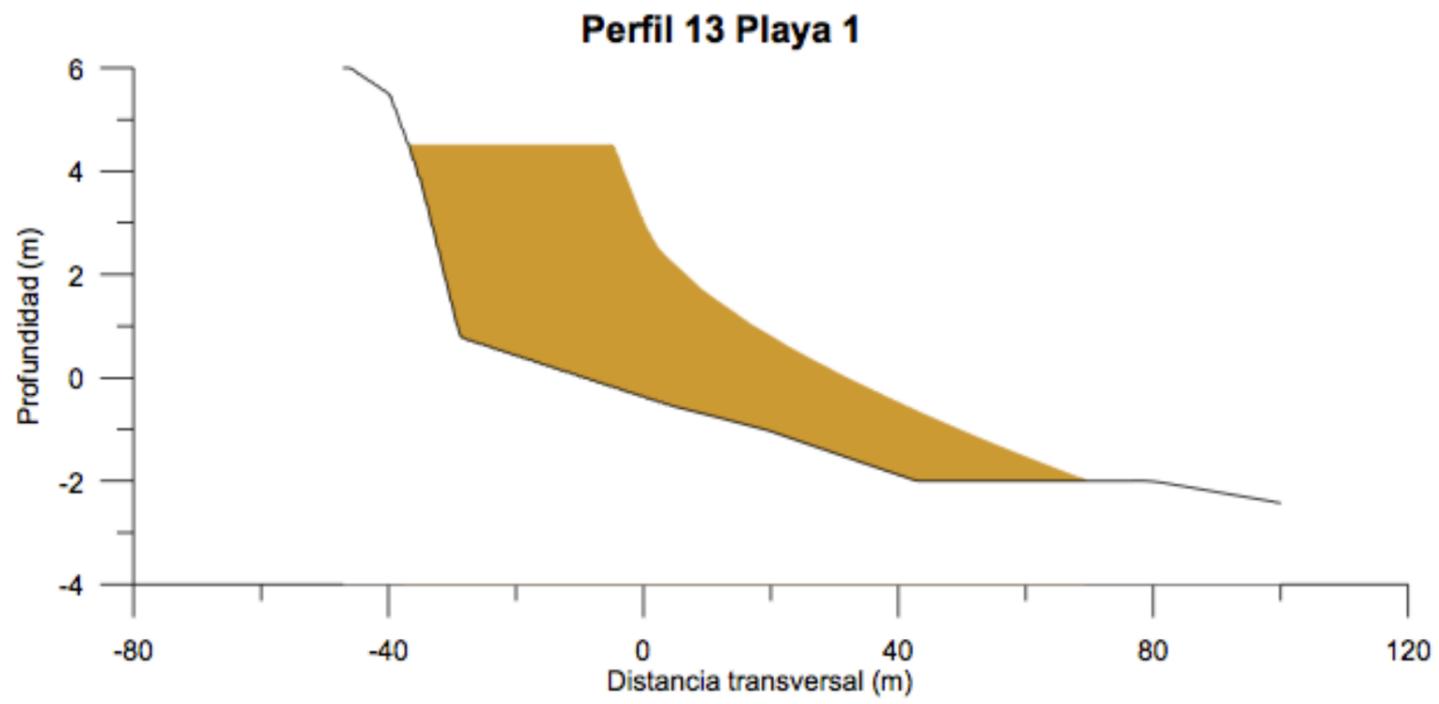






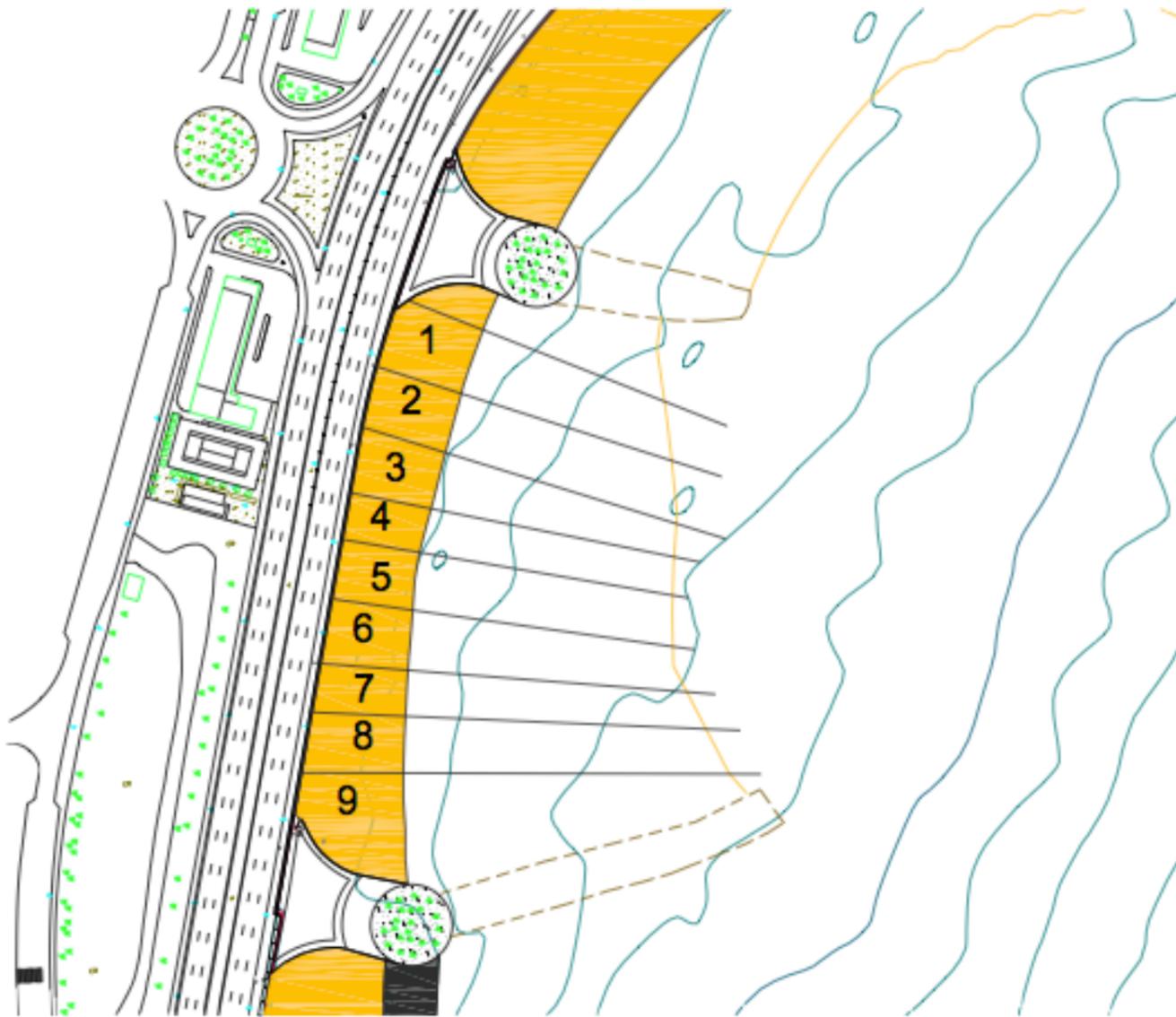




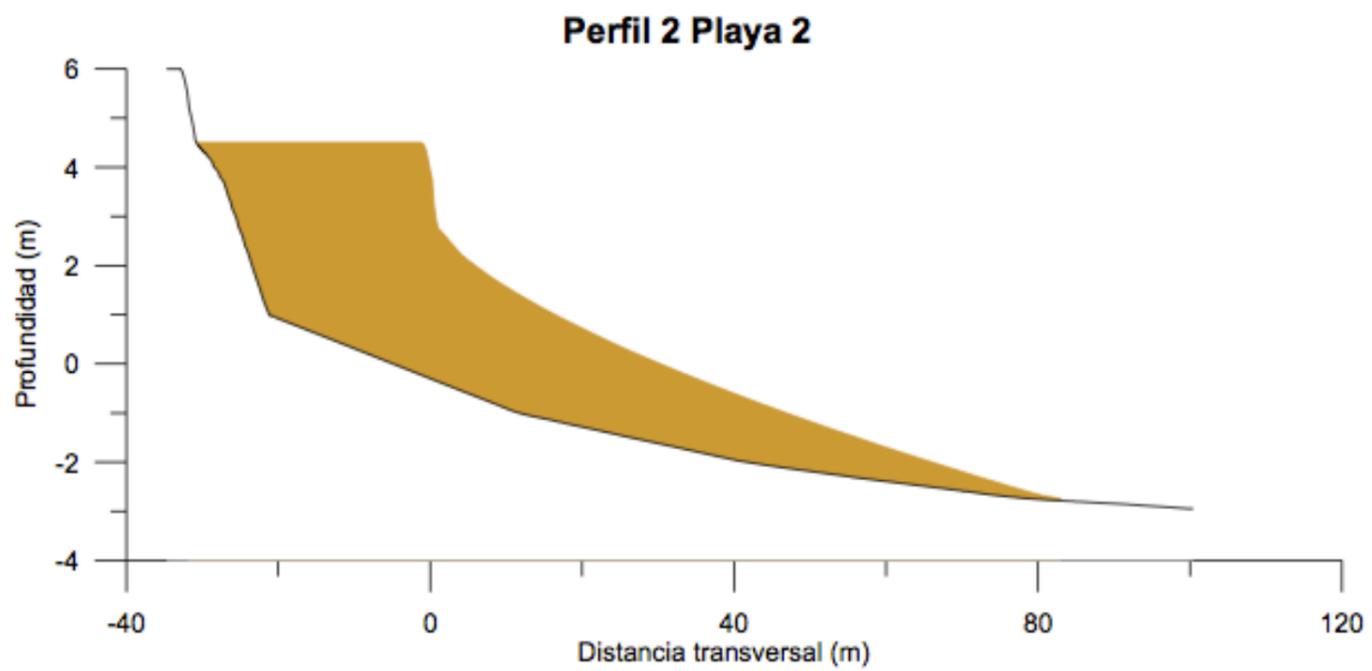
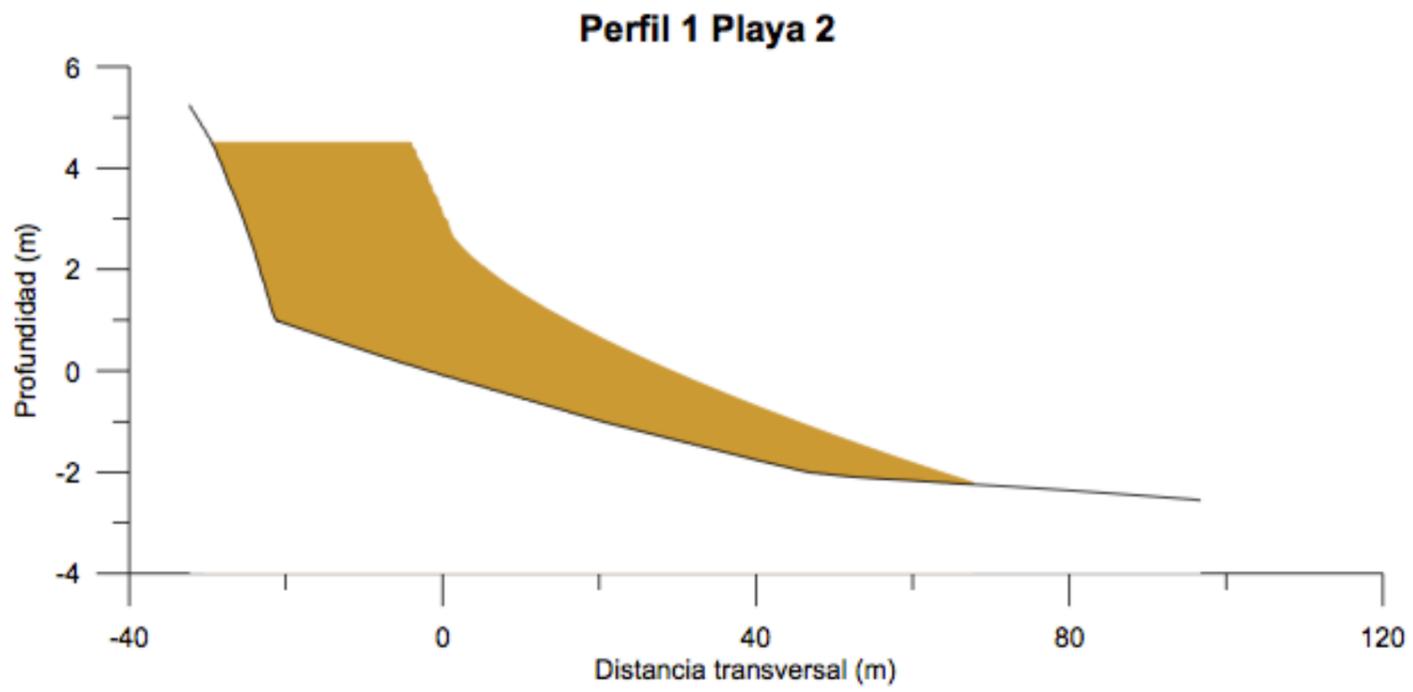


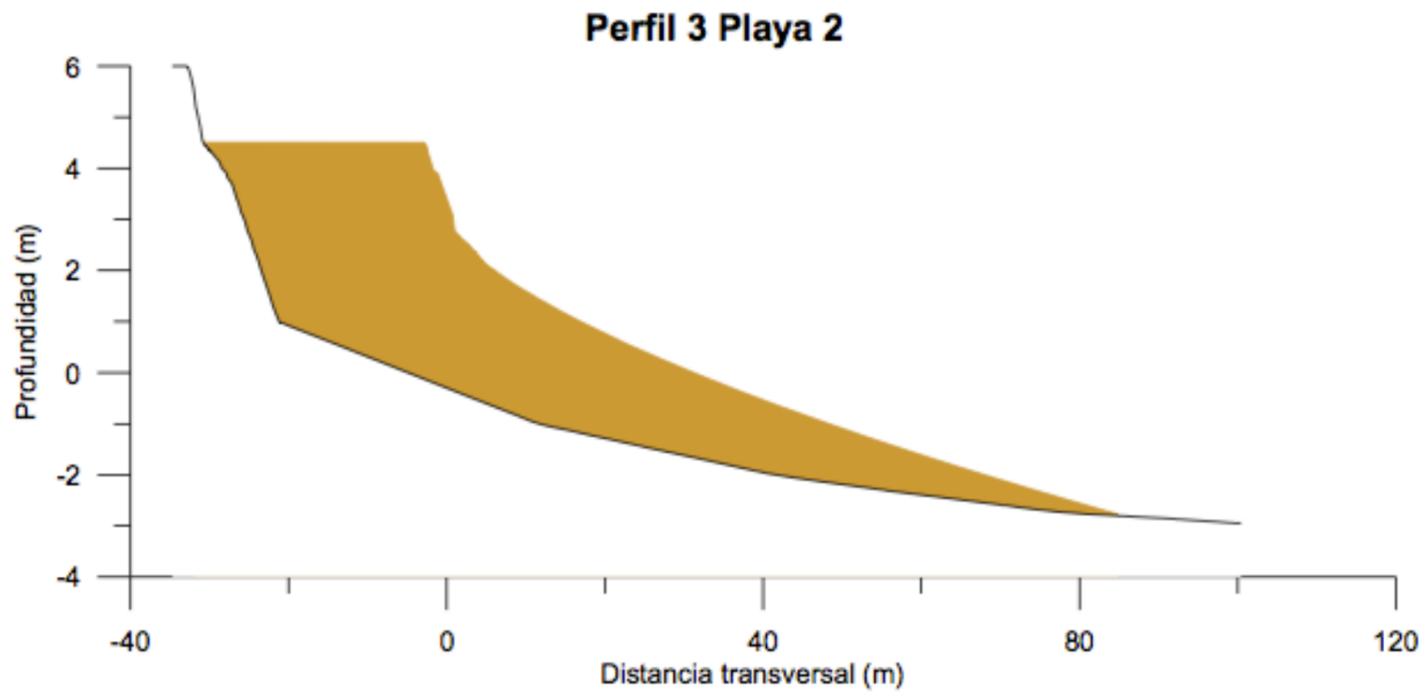


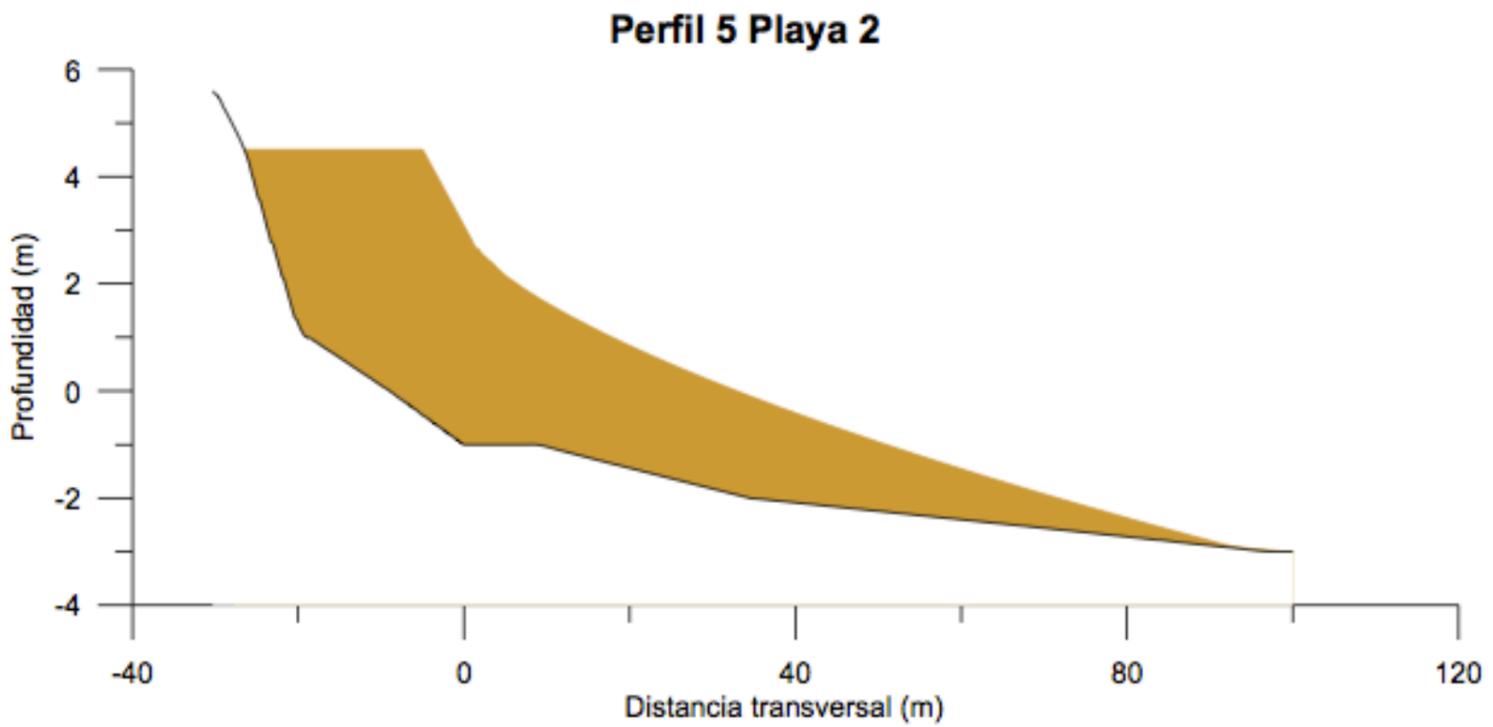
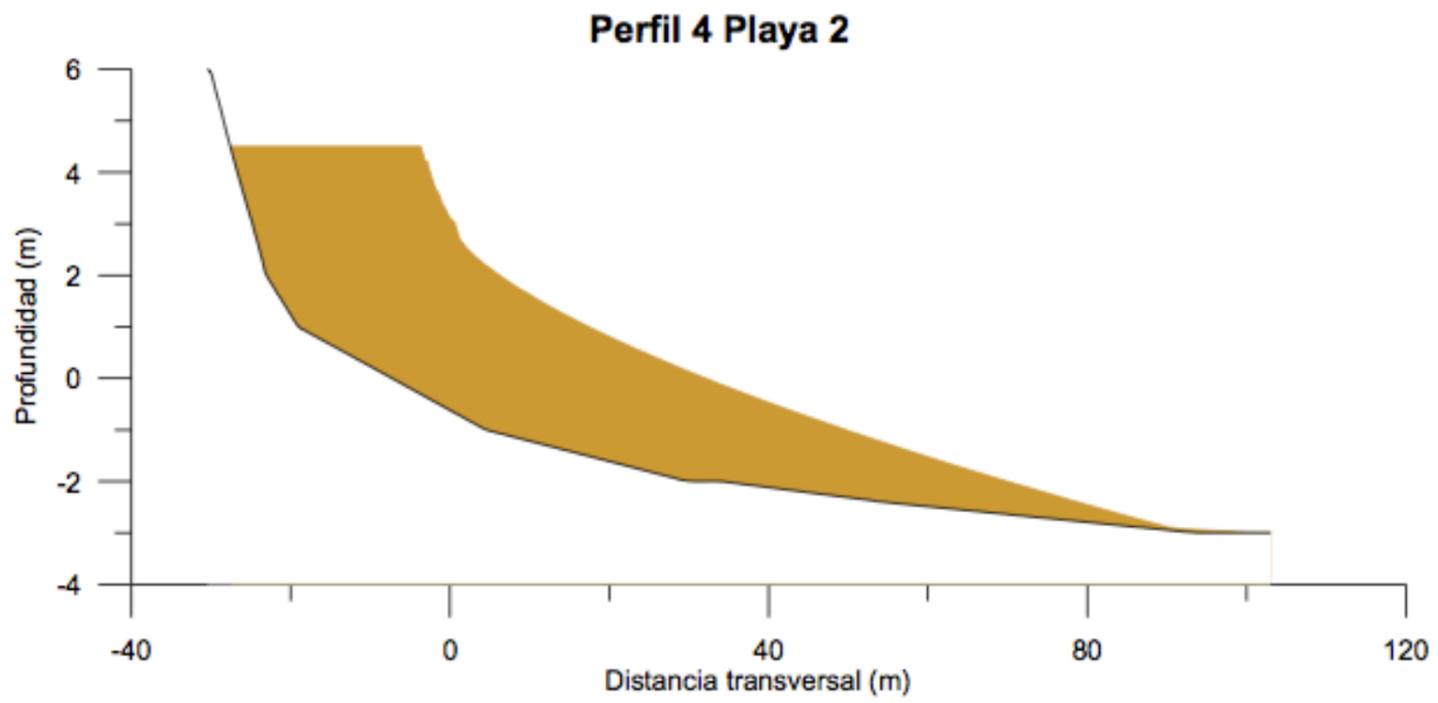
PLAYA 2

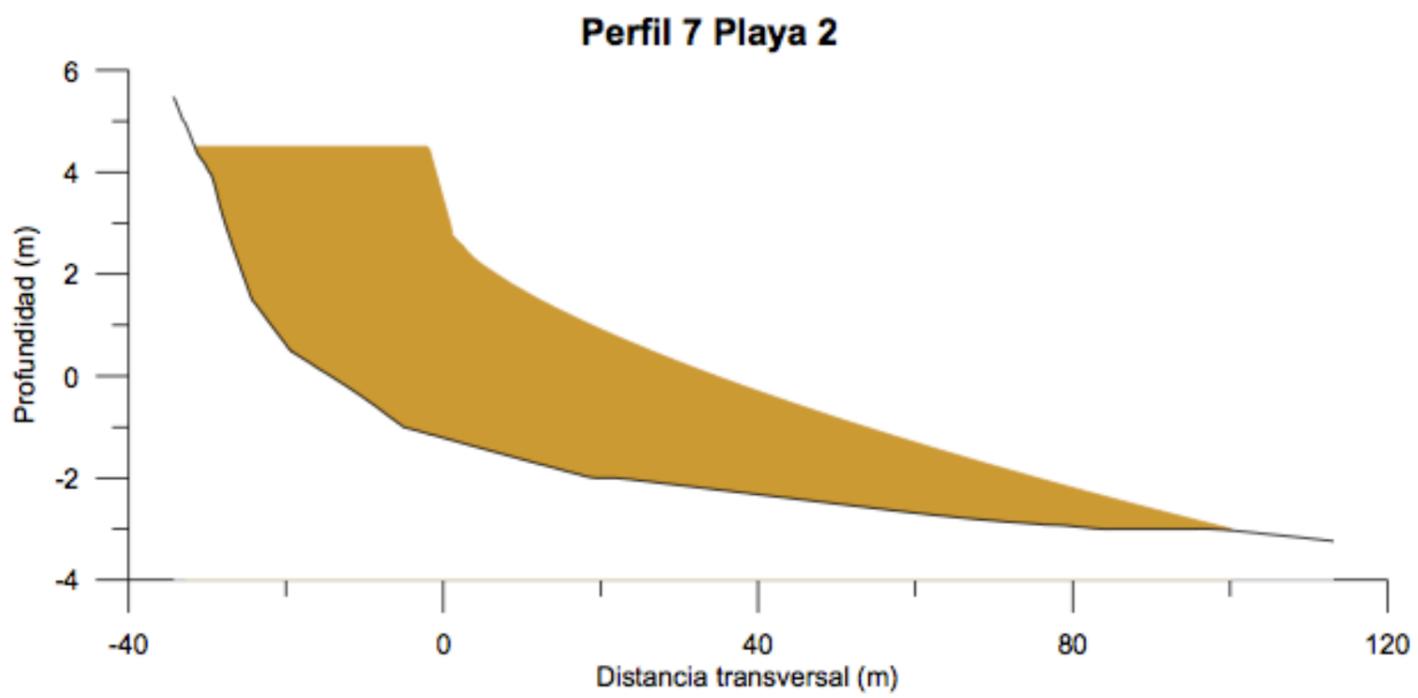
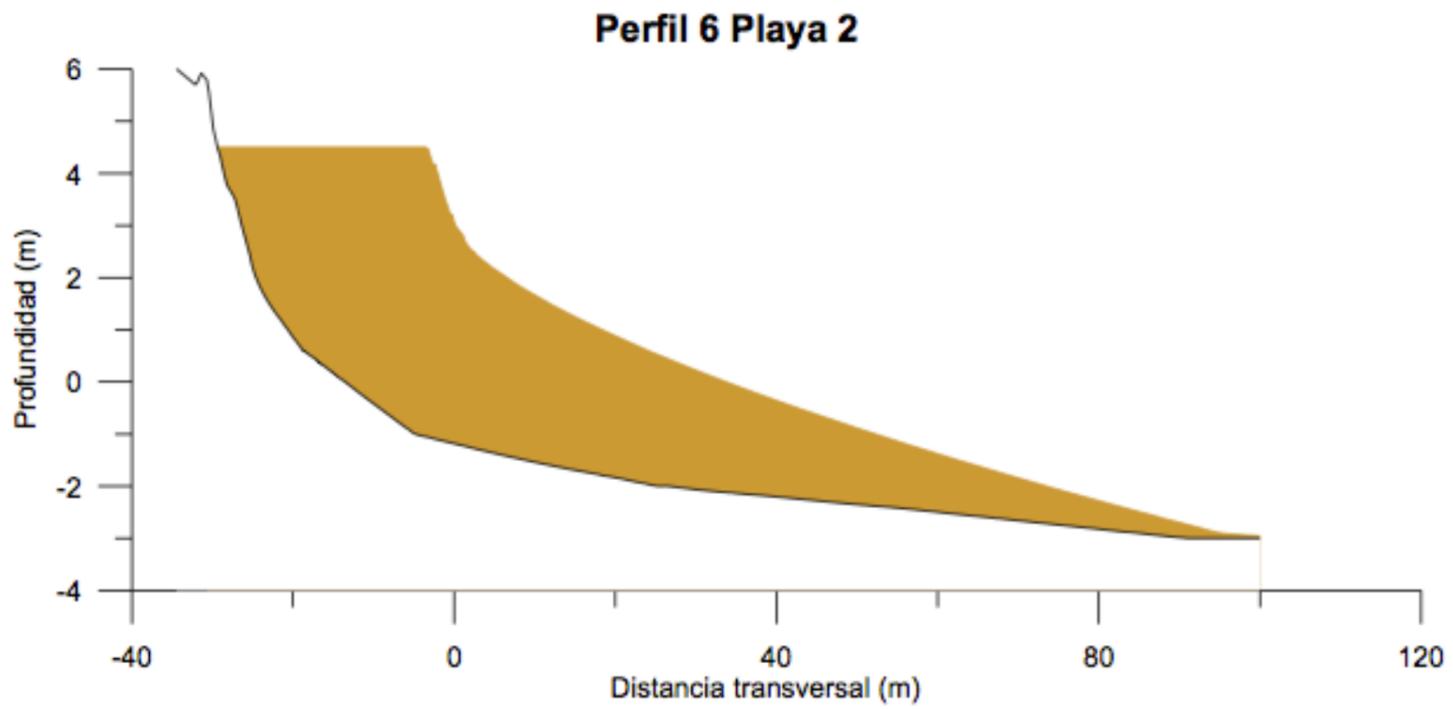


7.3 Localización de los perfiles de la playa 2



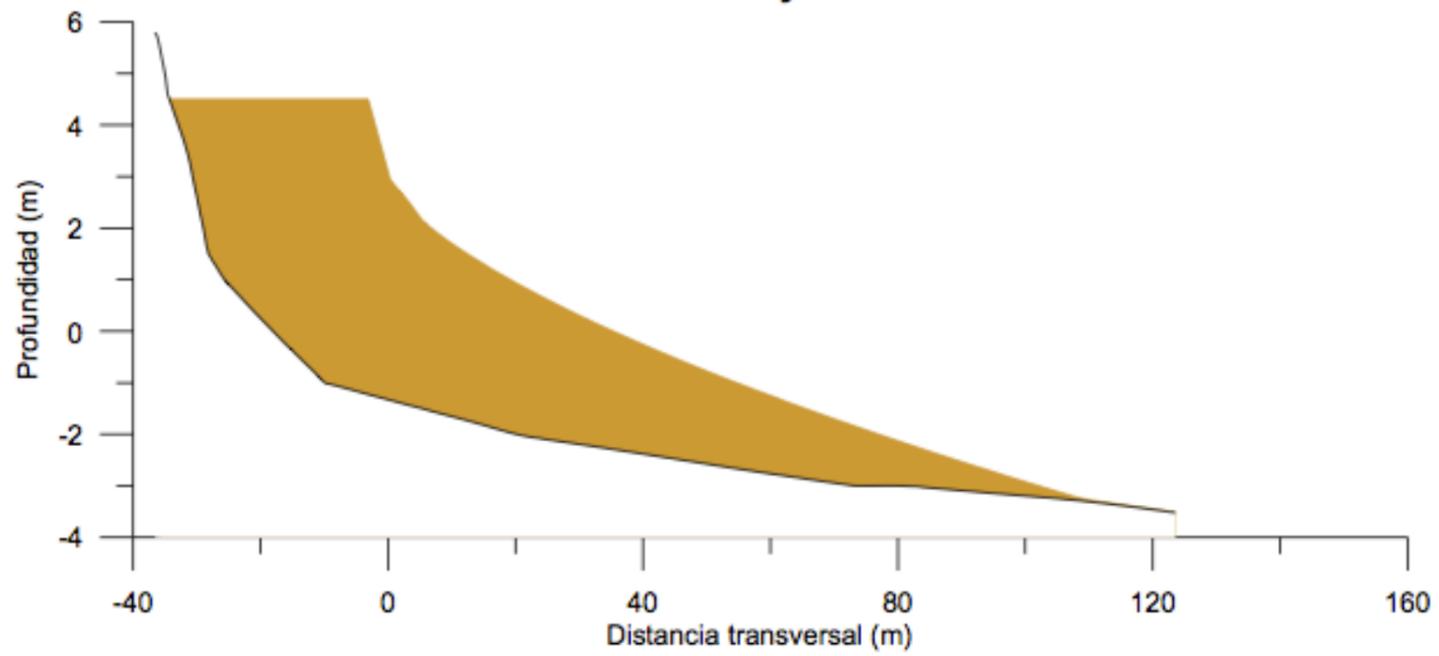




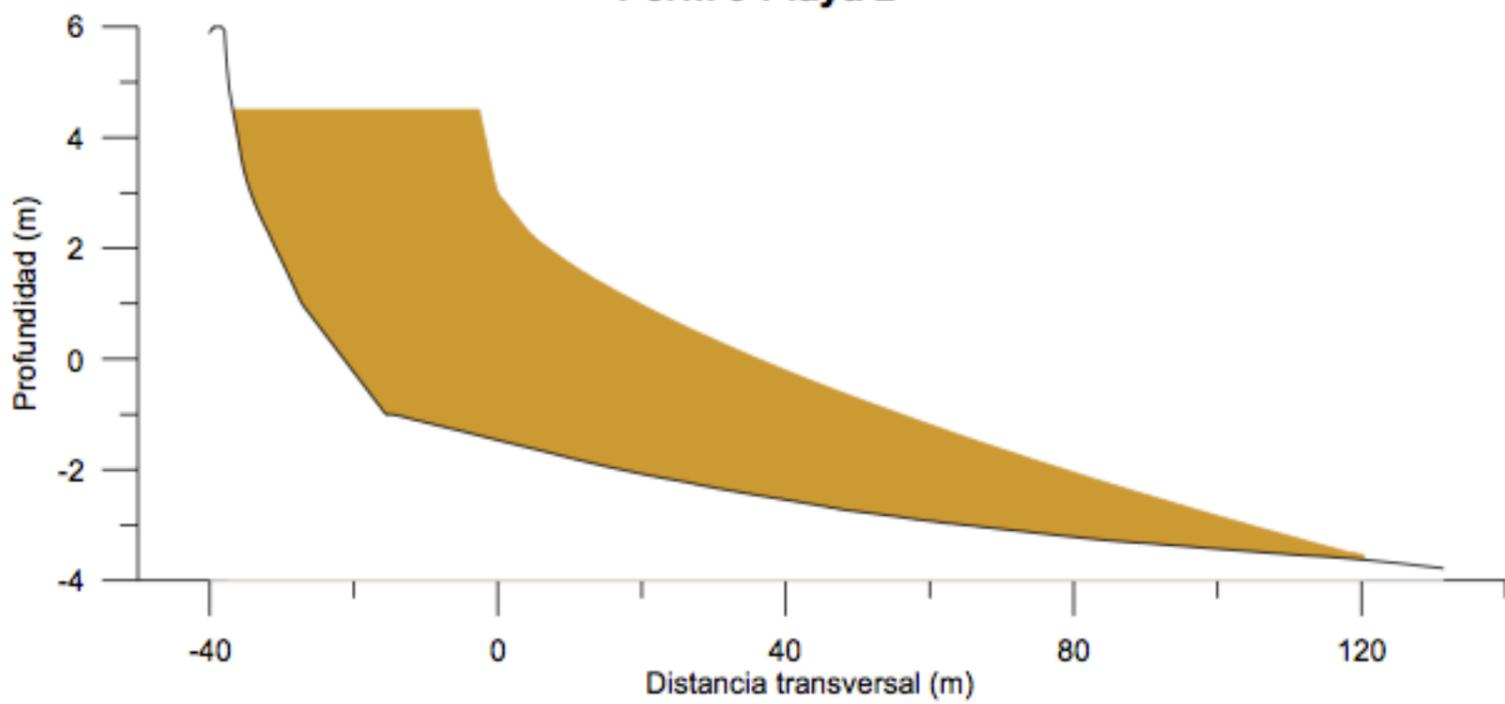




Perfil 8 Playa 2



Perfil 9 Playa 2





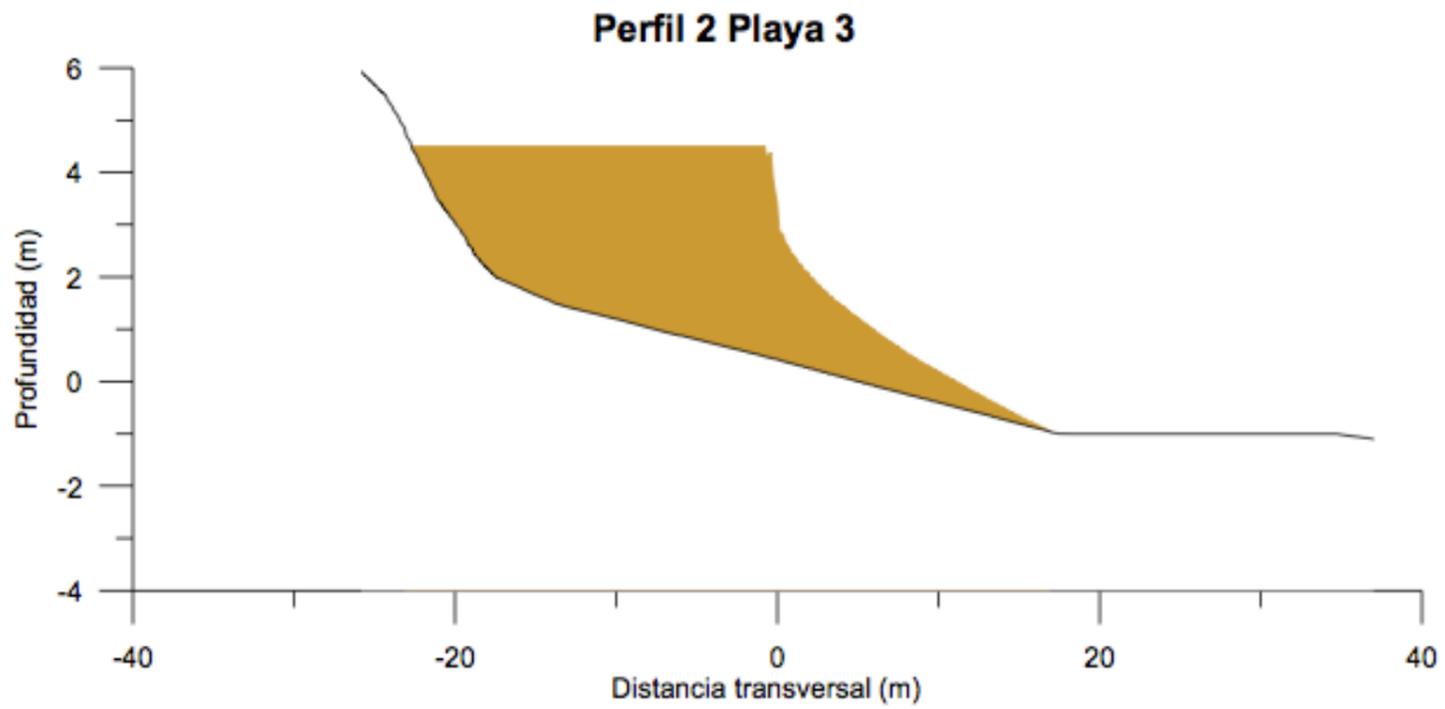
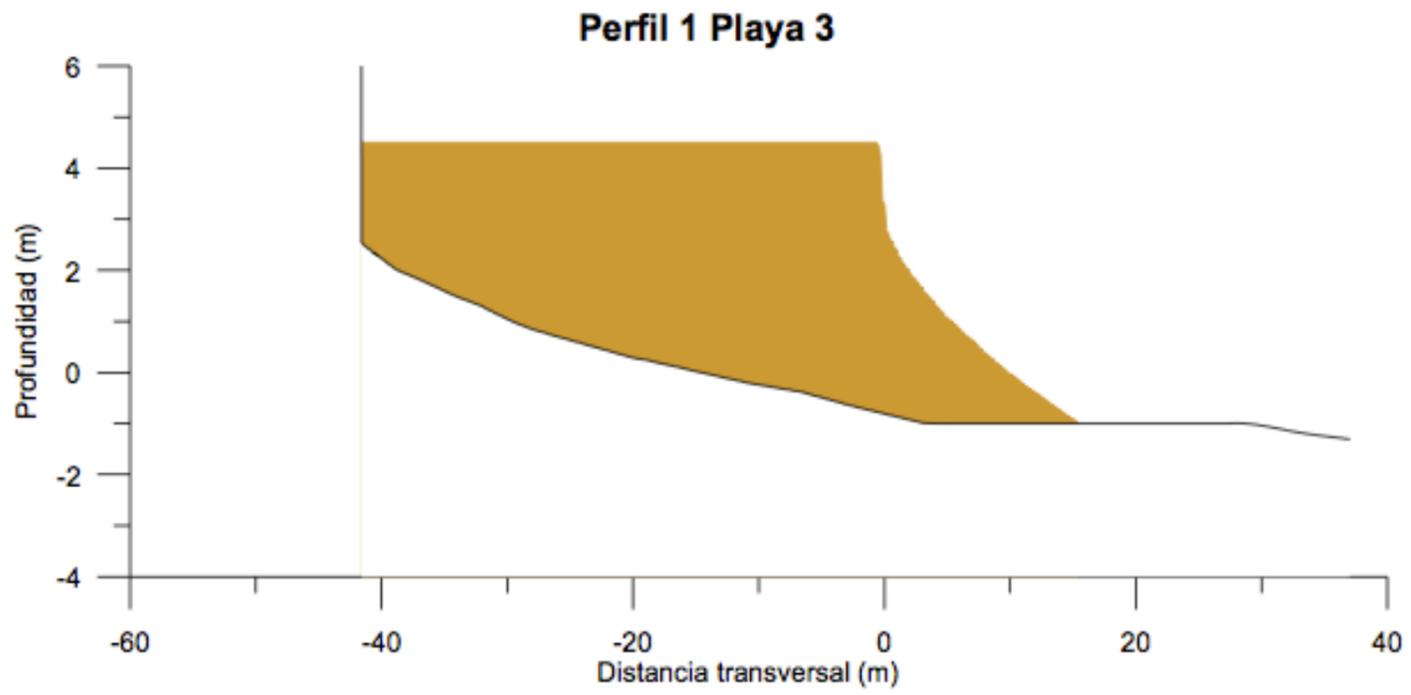
PLAYA 3



7.5 Localización de los perfiles de la playa 3

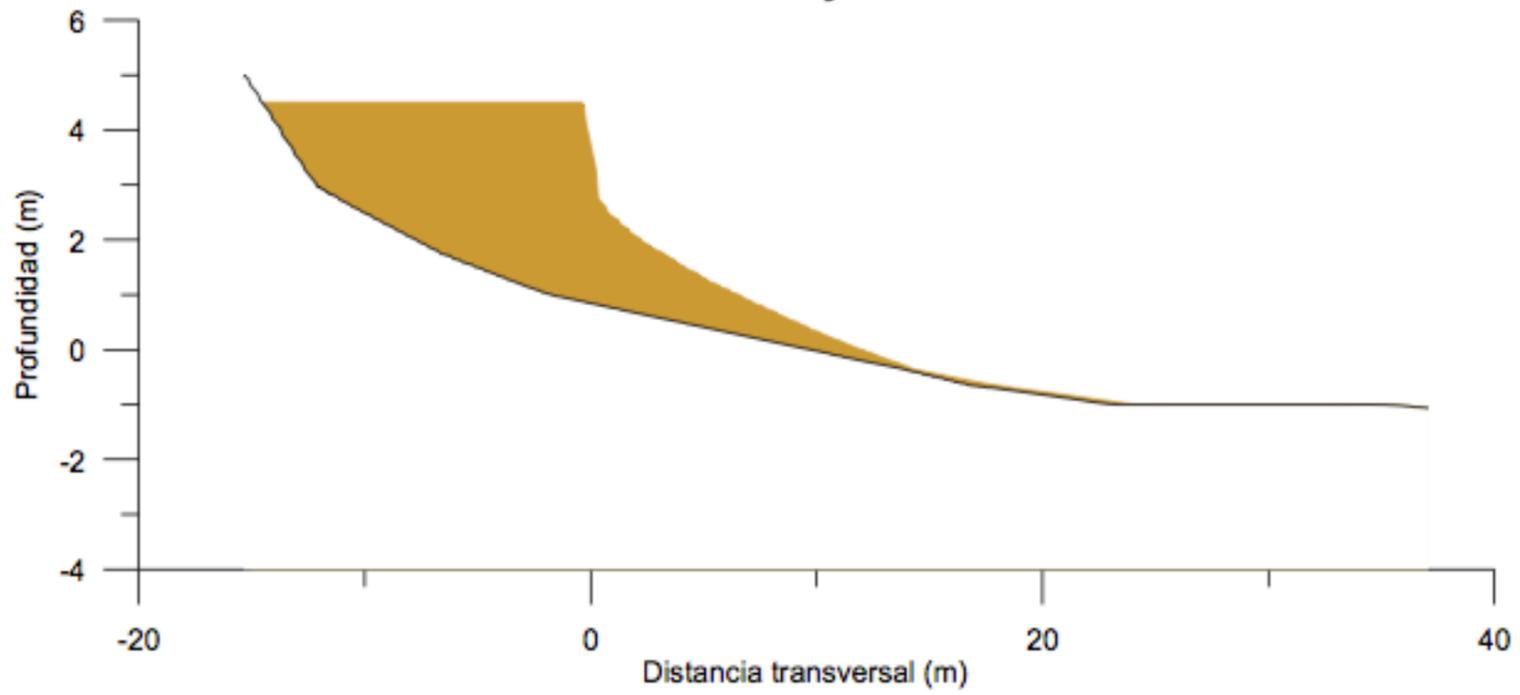


ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO DE LA PLAYA
DE EL CASTILLO, T.M. LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

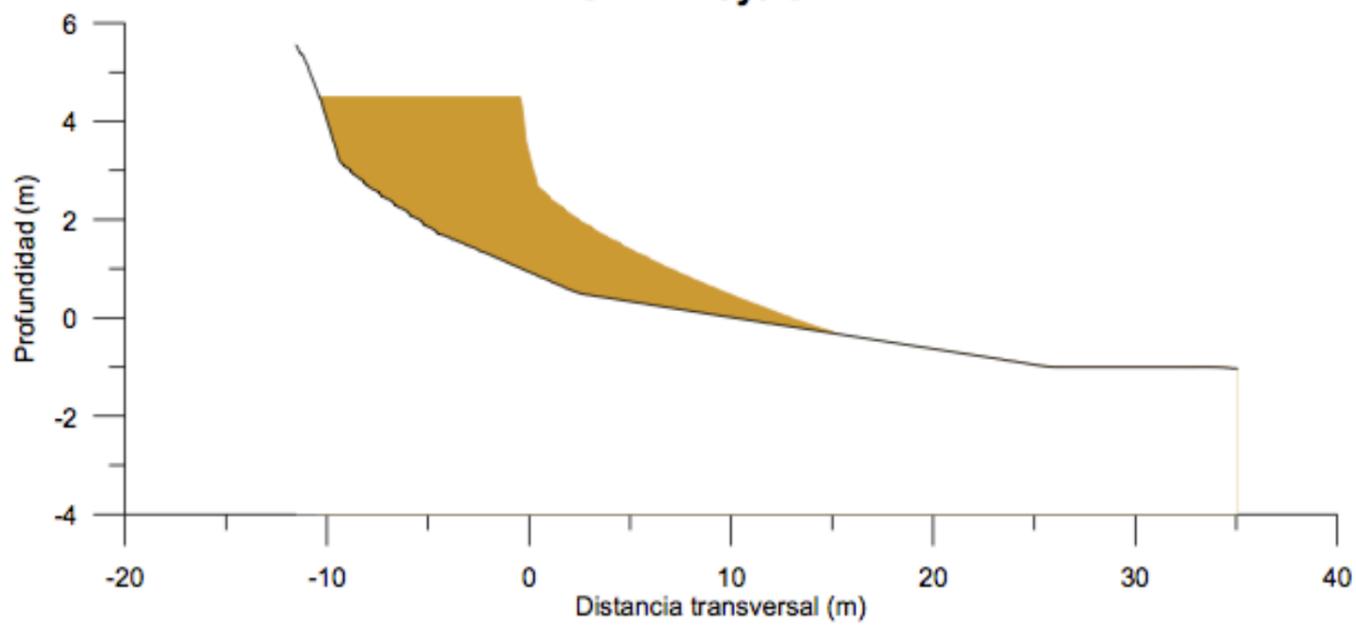




Perfil 3 Playa 3

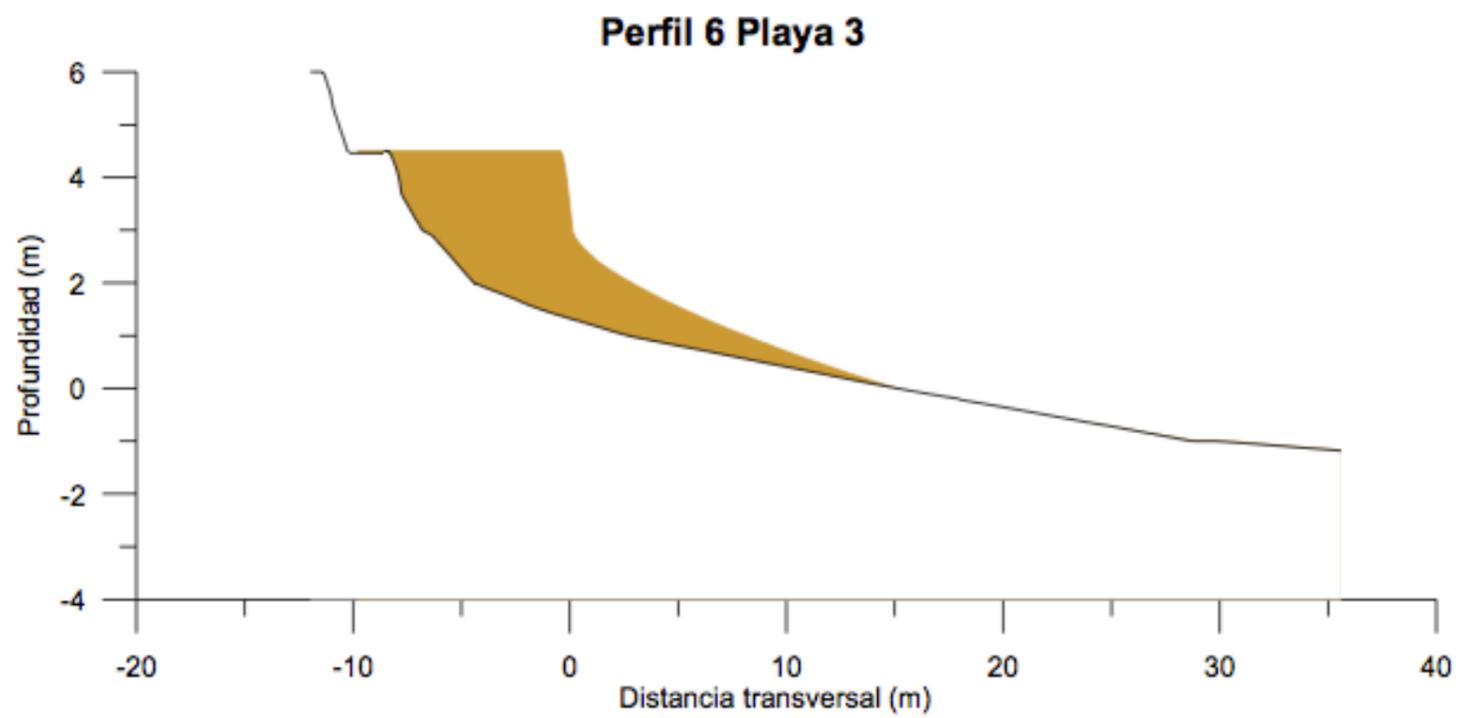
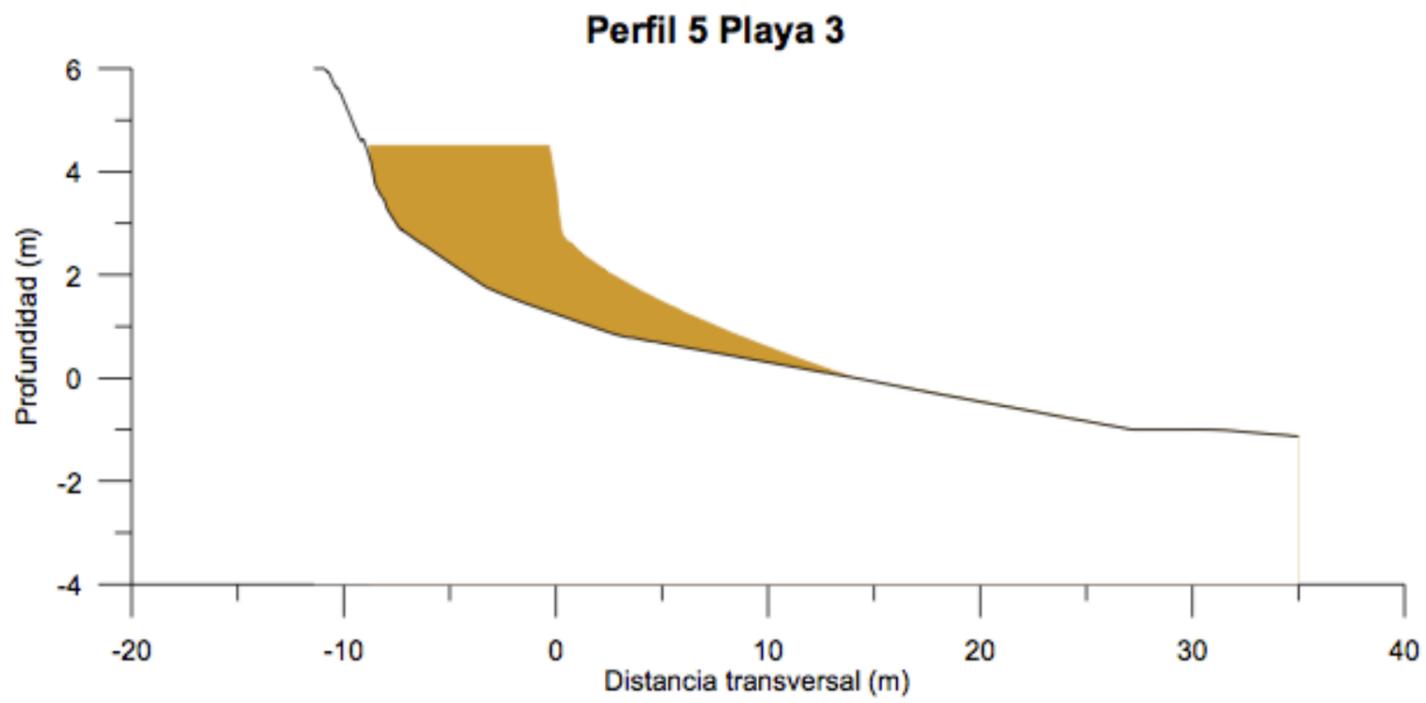


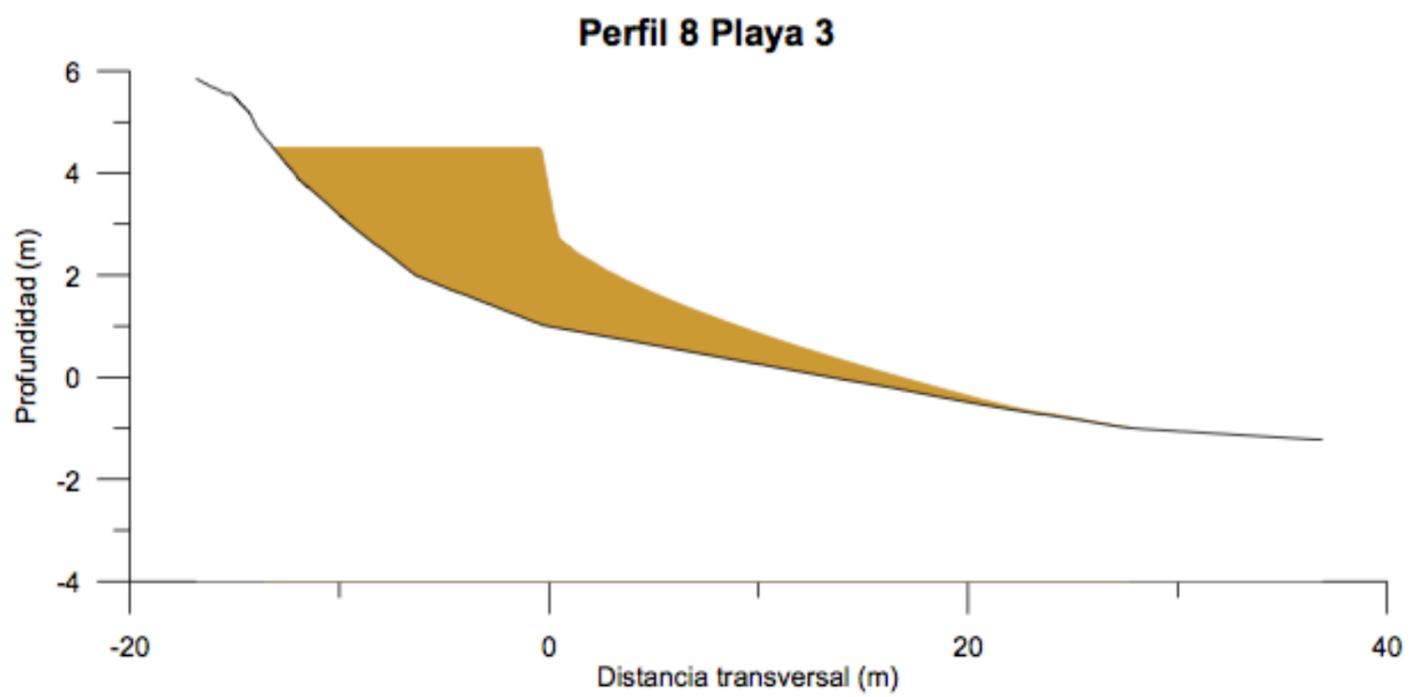
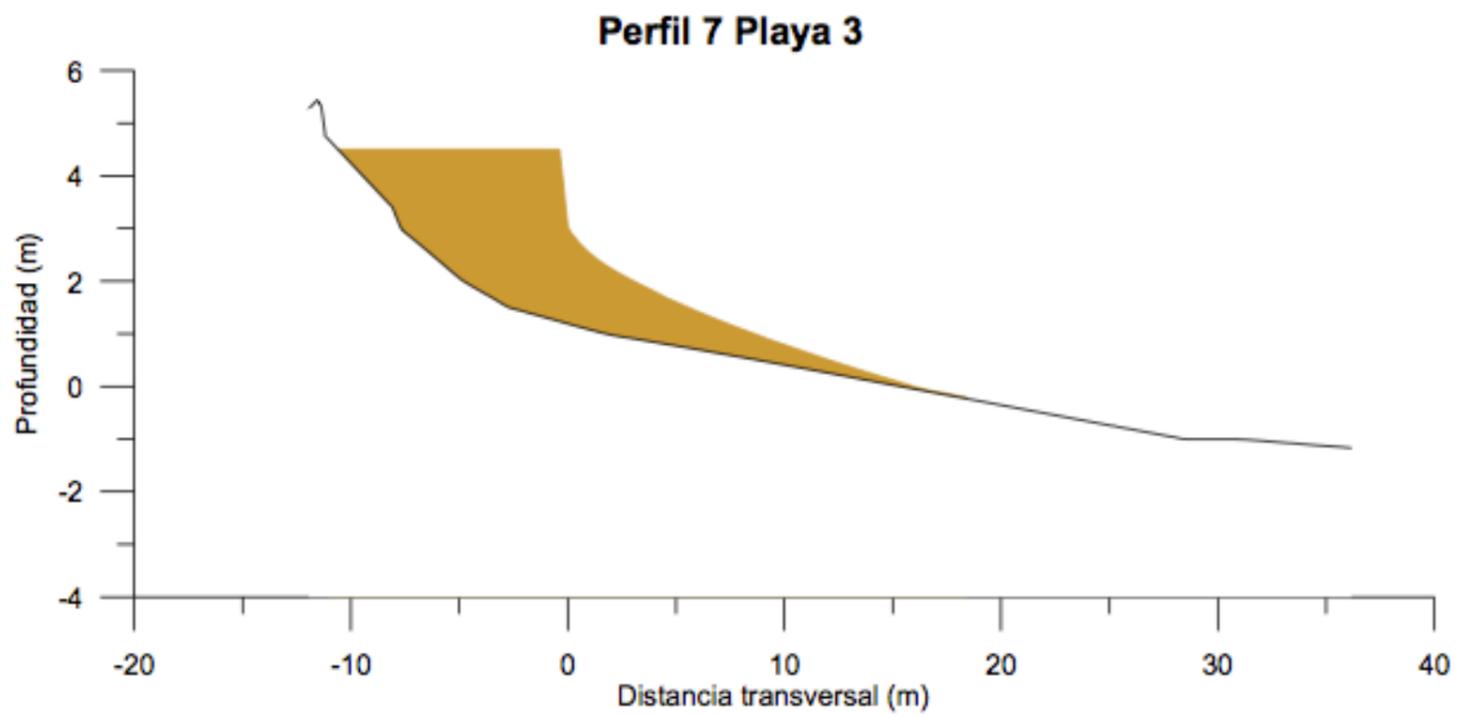
Perfil 4 Playa 3





DE EL CASTILLO, T.M. LAS PALMAS DE GRAN CANARIA





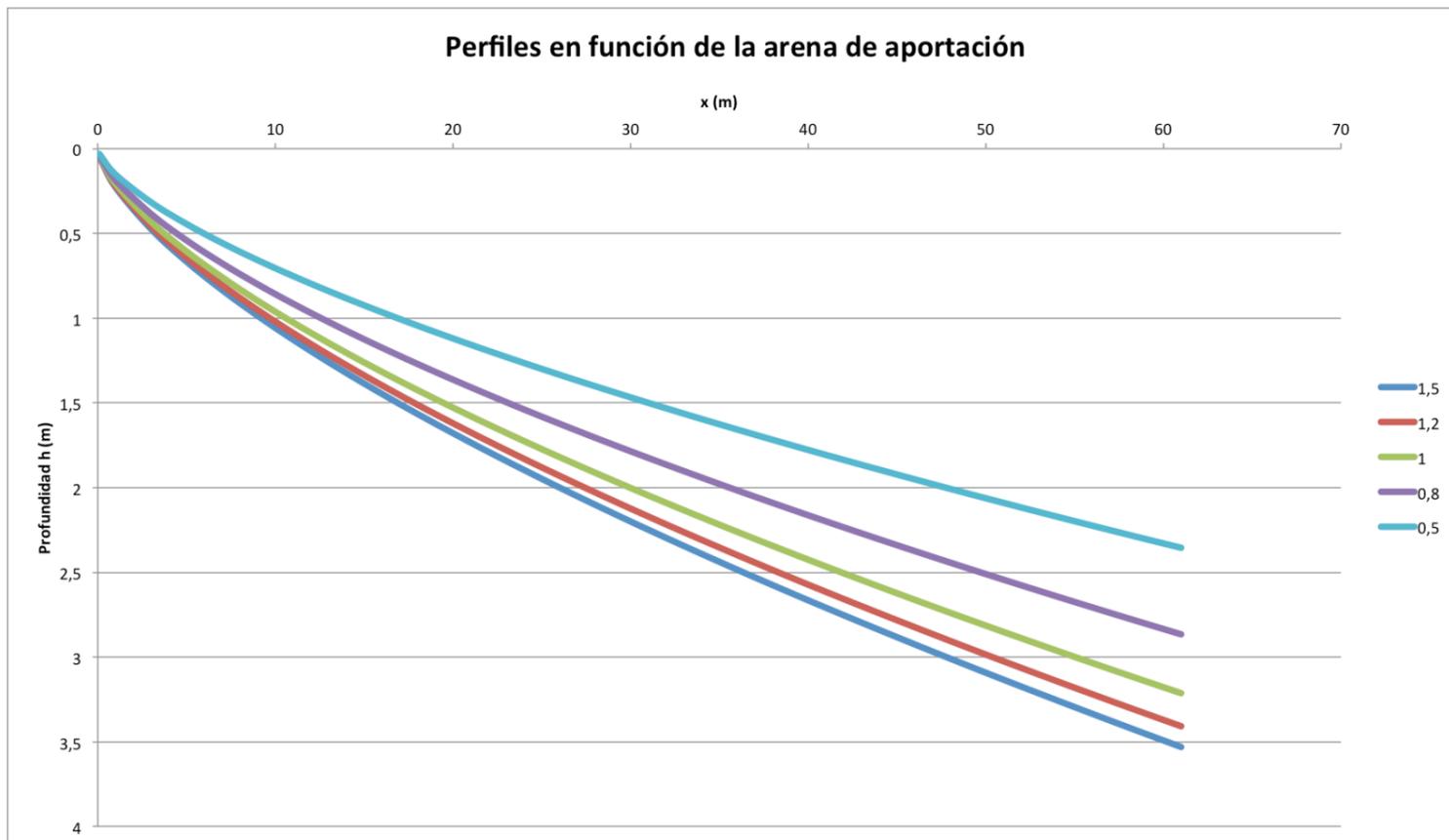
CORTO PLAZO



ARENA DE APORTACIÓN

El diámetro de la arena de aportación jugará un papel fundamental en el perfil que tome la playa a largo plazo. Como se ha explicado anteriormente, este puede aproximarse a la función de equilibrio de Dean.

A continuación, se muestran los diferentes perfiles que tomarían las nuevas playas, dependiendo de la granulometría de la arena de aportación



7.6 Posibles perfiles

LARGO PLAZO

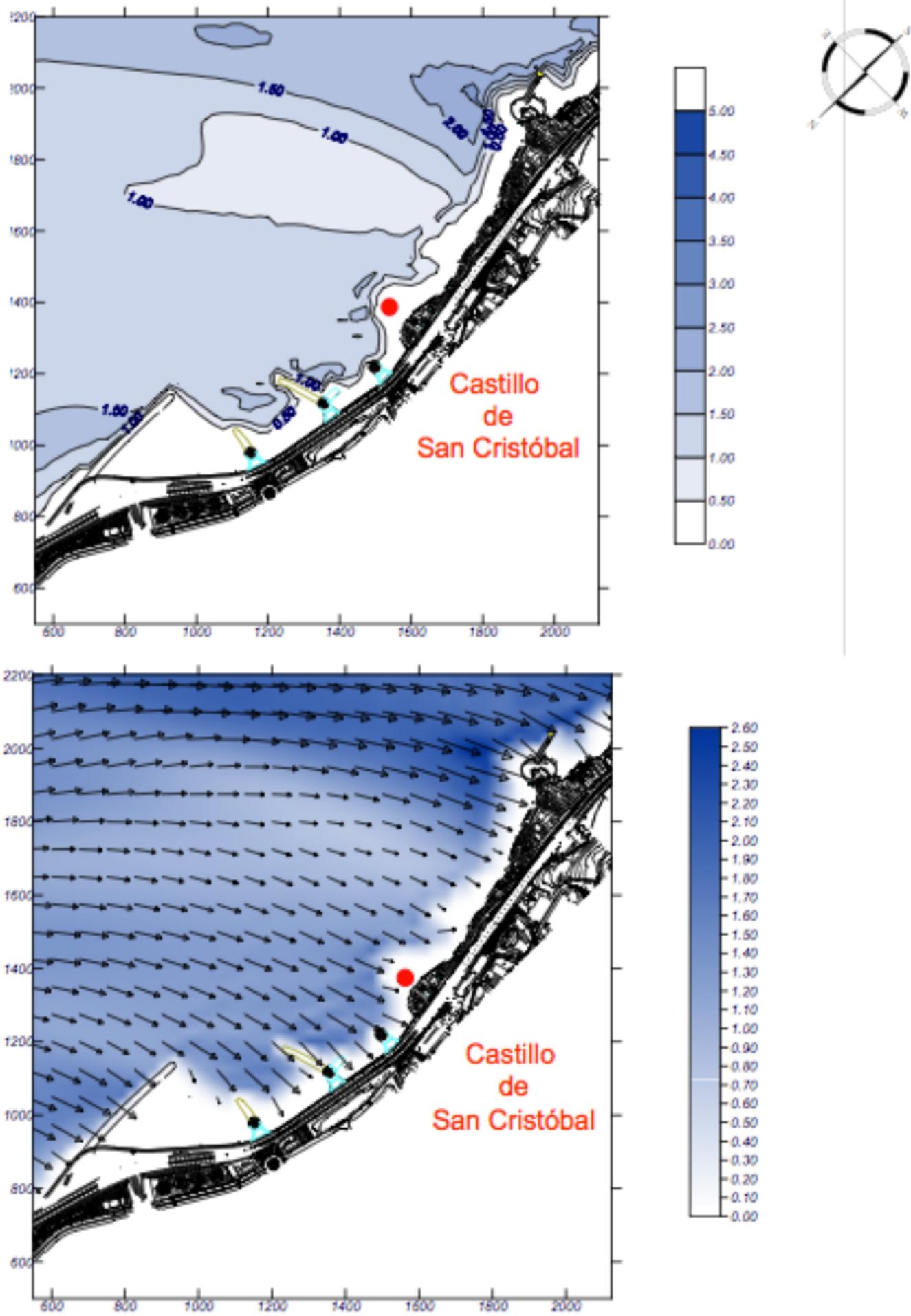
Posteriormente al estudio de la estabilidad y la evolución, es necesario verificar que los eventos de corto plazo no provocan fallo de la obra. Este análisis del modelo

morfodinámico de funcionamiento a corto plazo se realiza a través del estudio de las corrientes de rotura del oleaje en situaciones de temporal.

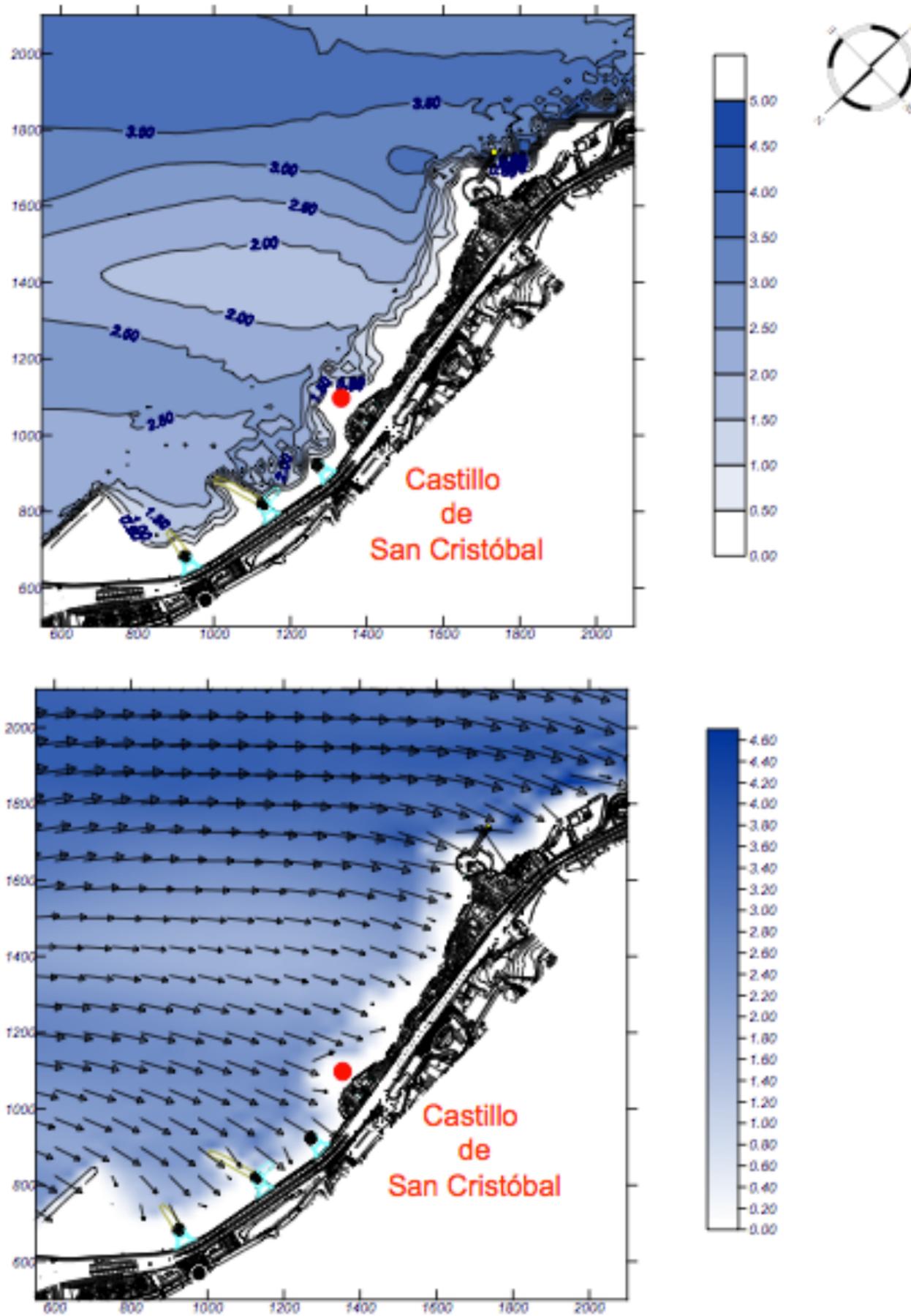
Por tanto, se ha analizado la modificación del oleaje y las nuevas corrientes de rotura generadas por este oleaje en la solución planteada.

Para ello se han elegido los temporales anuales para las 3 direcciones consideradas en el capítulo de la dinámica marina, a continuación se muestran las gráficas de isoalturas de ola y vectores con la dirección media del oleaje, y posteriormente se describe brevemente el comportamiento del oleaje:

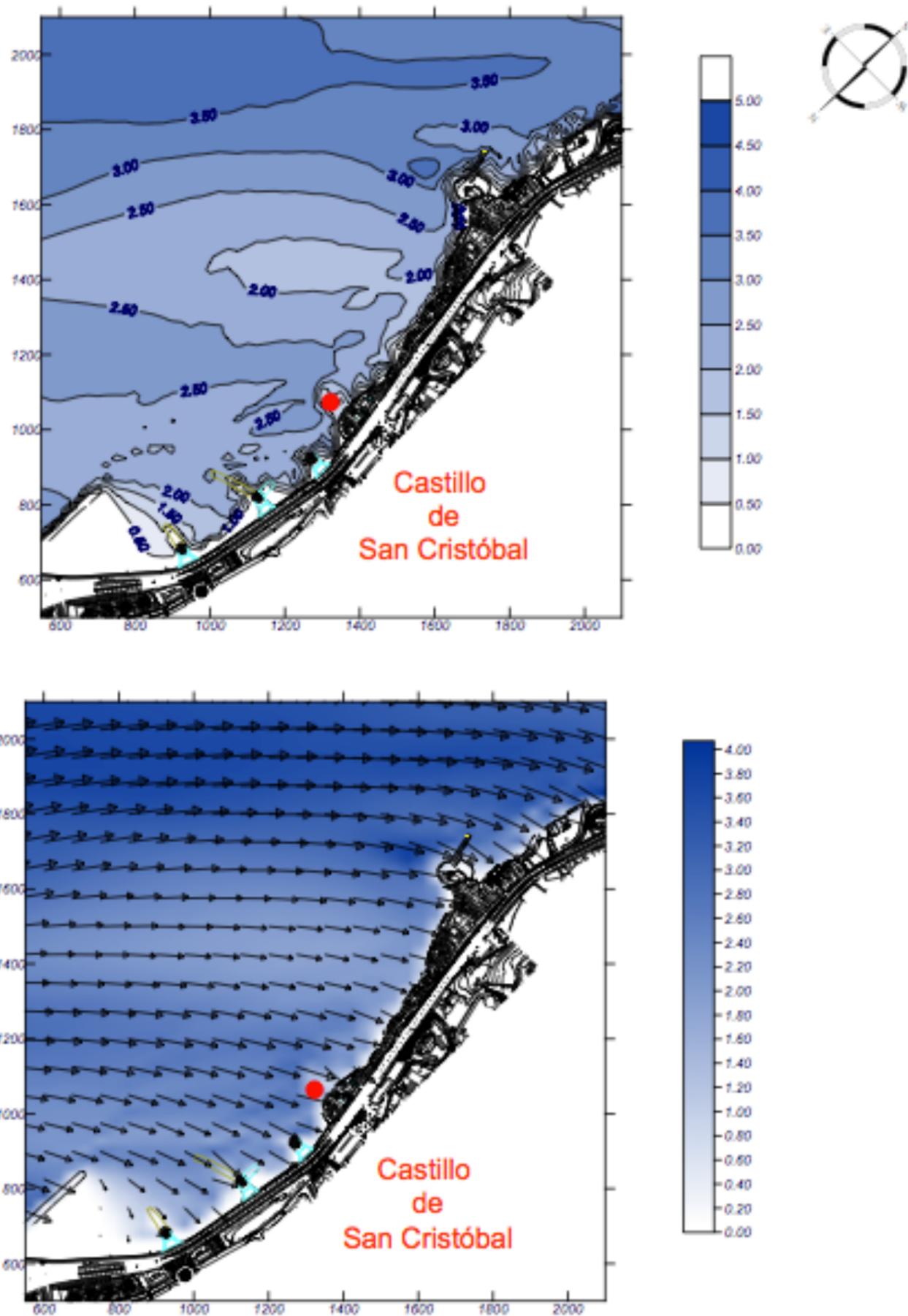
- N Hs=4.0 m Tp=15.0 s y NM=0
- NNE Hs=4.0 m Tp=11.0 s y NM=0
- NE Hs=4.0 m Tp=11.0 s y NM=0



7.7 Propagaciones $N H=4 T=15 NM=0$



7.8 Propagaciones NNE H=4 T=11 NM=0



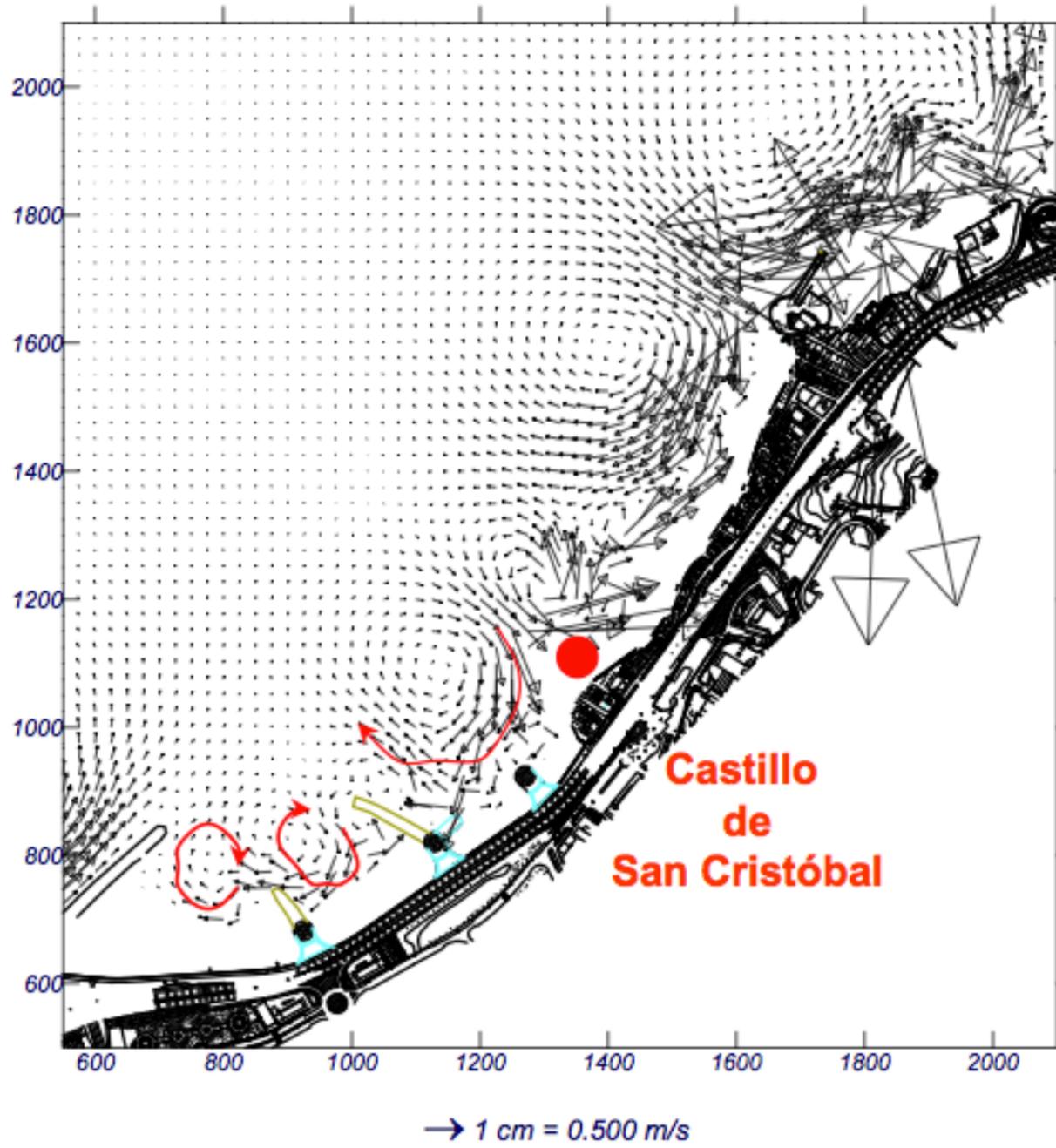
7.9 Propagaciones NNE $H=4$ $T=11$ $NM=3.25$

A continuación se muestran las corrientes de rotura del oleaje para los oleajes expuestos anteriormente:

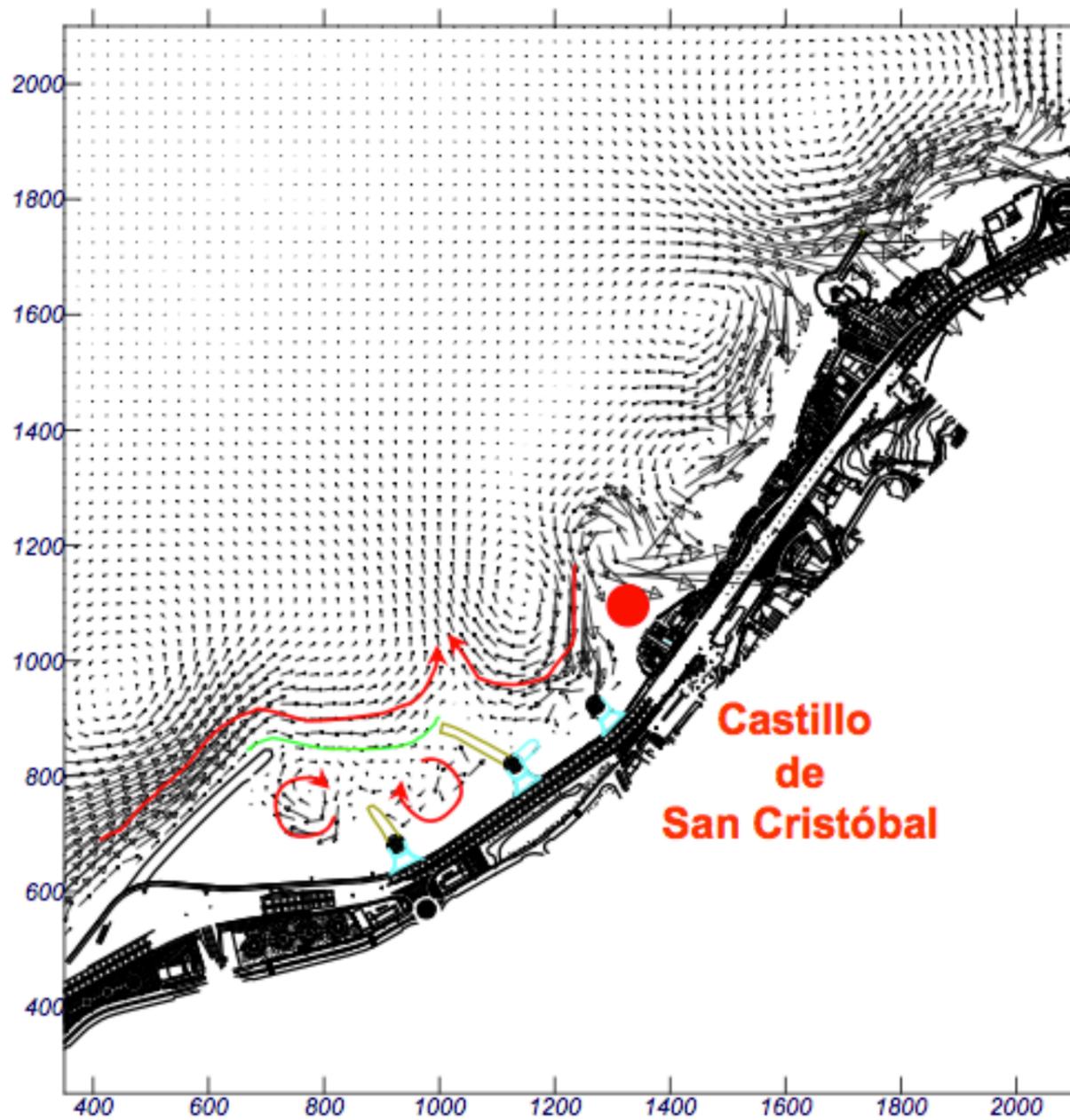
- N $H_s=4.0$ m $T_p=15.0$ s y $NM=0$
- NNE $H_s=4.0$ m $T_p=11.0$ s y $NM=0$



- NE Hs=4.0 m Tp=11.0 s y NM=0



7.10 Propagaciones NNE H=4 T=11 NM=0



7.11 Propagaciones NNE $H=4$ $T=11$ $NM=0$

3. TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTO EN LA SITUACIÓN FUTURA

Al tratarse de una playa encajonada el transporte de sedimentos en el sentido longitudinal de la playa es despreciable.



8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN CON LAS MEJORAS DE LA PLAYA DEL CASTILLO

- 1.1. Largo plazo
- 1.2. Corto plazo
- 1.3. Medio-largo plazo



DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN CON LAS MEJORAS DE LA PLAYA DEL CASTILLO

1.1. Largo plazo

Se ha demostrado que mediante las estructuras de abrigo y retención propuestas se puede conseguir un aumento en la superficie seca de la playa tal como se deseaba. Las playas quedarán así compartimentadas y delimitadas mediante estas estructuras.

Además, esta playa se encontraría en equilibrio y no sufriría pérdidas de sedimentos a largo plazo al estar encajada

1.2. Corto plazo

CONCLUSIONES SOBRE EL OLEAJE

- El oleaje para todas las direcciones consideradas se propaga igual que en la situación actual hasta llegar a la zona de estudio.
- Las modificaciones más importantes que se producen respecto a la situación actual son debidas al dique exterior situado en el extremo norte del tramo de estudio.
- Este dique genera difracción estableciéndose un patrón característico de este fenómeno: disminución de la altura de ola a lo largo de la línea del dique y giro de los frentes.
- En la zona comprendida entre los diques semisumergidos (segunda playa) se produce cierta concentración de la altura de ola debida a la forma de la batimetría.
- Se establece un patrón de difracción generado por el dique transversal situado en la tercera playa.

CONCLUSIONES SOBRE LAS CORRIENTES DE ROTURA

- Se ha comprobado como se ha modificado completamente el sistema de corrientes en la zona donde se ha ubicado el dique exterior. En la situación actual, analizada en el capítulo 3 de dinámica marina, se pudo observar como la oblicuidad del oleaje condicionaba el sistema de corrientes en la dirección NE-SW en este primer tramo, y como se encontraban con las corrientes en sentido contrario que se producían por la concentración del oleaje en la zona del Castillo.
- En la nueva situación planteada este sistema de corrientes prácticamente a desaparecido, excepto para los temporales del NE como se va a exponer a continuación.
- Para los temporales del N, se forma un sistema local de corrientes en la primera playa debido al gradiente de altura de ola generado por la difracción en el dique. En la segunda playa sucede lo mismo, condicionado de la misma manera por la difracción. En el caso de las playas de gravas, sigue existiendo una corriente en dirección SW-NE, que tiene condiciona su salida en el dique semisumergido situado más al sur. En la tercera playa se puede observar una corriente en sentido contrario generada por la difracción del dique pero que afecta localmente a esta playa. En la situación de pleamar las corrientes son menores.
- Para los temporales del NNE se presenta una situación muy similar a la de los temporales del N.
- En cuanto los temporales del NE, se ha observado la existencia de una corriente a la altura del morro del dique en dirección NE-SW, que se encuentra con la corriente en sentido contrario que se genera desde el bajo rocoso en la zona de El Castillo. Estas corrientes presentan su salida al mar en la zona del dique semisumergido, condicionado por la geometría del dique. Por otro lado esta salida se sitúa más al norte que en la situación actual, debido a la menor magnitud de las corrientes de dirección NE-SW. En las playas se producen sistemas corrientes locales similares a las temporales de dirección N y NE.