



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



ESTUDIO DE AFECCIÓN DE LA PROTECCIÓN DE ABOÑO A LA DINÁMICA SEDIMENTARIA DEL ENTORNO

Trabajo realizado por:
Rubén Martínez Ochagavía

Dirigido:
Raúl Medina Santamaría

Titulación:
Grado en Ingeniería Civil

Santander, Junio de 2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

INDICE

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

- 1.1 MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO
- 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO
- 1.3 ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO
- 1.4 INFORMACIÓN UTILIZADA

CAPÍTULO 2 – LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

- 2.1 INTRODUCCIÓN
- 2.2 MARCO REGIONAL
- 2.3 MARCO LOCAL

CAPÍTULO 3 – GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

- 3.1 INTRODUCCIÓN
- 3.2 GEOLOGÍA EN ASTURIAS
- 3.3 GEOLOGÍA EN GIJÓN
- 3.4 GEOLOGÍA DEL FONDO MARINO
- 3.5 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

CAPÍTULO 4 – CLIMATOLOGÍA

- 4.1. INTRODUCCIÓN
- 4.2. RÉGIMEN DE TEMPERATURAS
- 4.3. RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES
- 4.4. VIENTOS

CAPÍTULO 5 – MORFOLOGÍA, BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA

- 5.1 INTRODUCCIÓN
- 5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL
- 5.3 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE LA COSTA

CAPÍTULO 6 – NIVEL DEL MAR

6.1 INTRODUCCIÓN

6.2 FUENTES DE DATOS

6.3 RÉGIMEN MEDIO DE MAREA ASTRONÓMICA

6.4 MÁXIMO NIVEL DEL MAR

CAPÍTULO 7 – ESTUDIO HIDRODINÁMICO

7.1. INTRODUCCIÓN

7.2 CLIMA MARÍTIMO

7.2.1 FUENTES DE DATOS

7.2.2 CALIBRACIÓN

7.2.3 RÉGIMENES MEDIOS EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

7.2.4 RÉGIMENES EXTREMALES EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

7.3 OLEAJE EN LA ZONA DE ESTUDIO

7.3.1 METODOLOGÍA DE PROPAGACIÓN DE OLEAJE

7.3.2 MALLAS DE PROPAGACIÓN Y CASOS PROPAGADOS

7.3.3 PROPAGACIÓN DE OLEAJE

7.3.4 RÉGIMENES DE TEMPORALES SOBRE LOS PUNTOS OBJETIVO

CAPÍTULO 8 – DINÁMICA LITORAL ACTUAL

8.1 INTRODUCCION Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

8.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD A LARGO PLAZO

8.2.1 CARACTERIZACION DEL PERFIL DE PLAYA EN LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO

8.2.2 PLANTA DE EQUILIBRIO

CAPÍTULO 9 – DESCRIPCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE LA EXPLANADA DE ABOÑO

9.1 DESCRIPCIÓN

9.2 SELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE DIQUE



CAPÍTULO 10 – AFECCIÓN DE LA AMPLIACIÓN AL ENTORNO

10.1 LARGO PLAZO

10.1.1 PERFIL

10.1.2 PLANTA

CAPÍTULO 11 – CONCLUSIONES

11.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN CON LA AMPLIACIÓN DE LA EXPLANADA DE ABOÑO

11.2 RECOMENDACIONES



RESUMEN

- Título de Trabajo de Fin de Grado:

ESTUDIO DE AFECCIÓN DE LA PROTECCIÓN DE ABOÑO A LA DINÁMICA SEDIMENTARIA DEL ENTORNO

- Autor del TFG:

RUBÉN MARTÍNEZ OCHAGAVÍA

- Director del TFG:

RAÚL MEDINA SANTAMARÍA

- Convocatoria:

JUNIO 2016

- Palabras clave:

PLANTA, PERFIL, MODIFICACIÓN, SEDIMENTOS, PLAYA, OLEAJE, DIQUE

1. OBJETO DEL ESTUDIO

El presente trabajo tiene como objetivo general analizar la dinámica litoral del tramo de costa adyacente al Dique de Aboño para, con base en dicho análisis, evaluar la afección de las obras de ampliación de la explanada sobre la dinámica litoral de la zona.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El dique existente de la explanada de Aboño fue construido en 1986 para la construcción de un parque de carbones en la zona. Desde entonces, la playa de Xivares y contiguas no han sufrido cambios significativos de forma, tanto de planta como de perfil.

Ahora, con las necesidades de un parque de carbones más amplio para aumentar la capacidad de acopio de materiales, se ha decidido ampliar esta explanada.

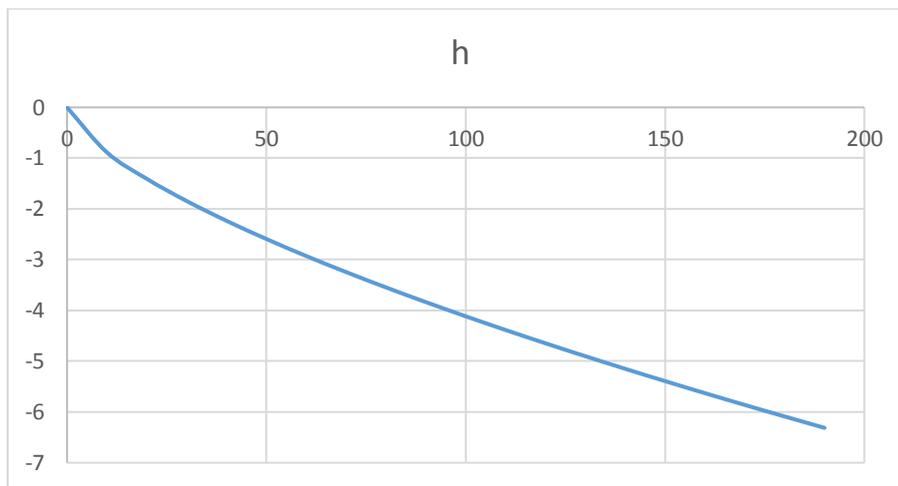
Esta ampliación puede que cause modificaciones en la playa colindante y es por ello que se necesita de un estudio para analizar esta influencia del nuevo dique en la dinámica sedimentaria del entorno.

3. SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual, previa a la construcción del dique, ha sido analizada y estudiada para obtener las características de la playa tanto en planta como en perfil para así tener una visión global de toda la zona.

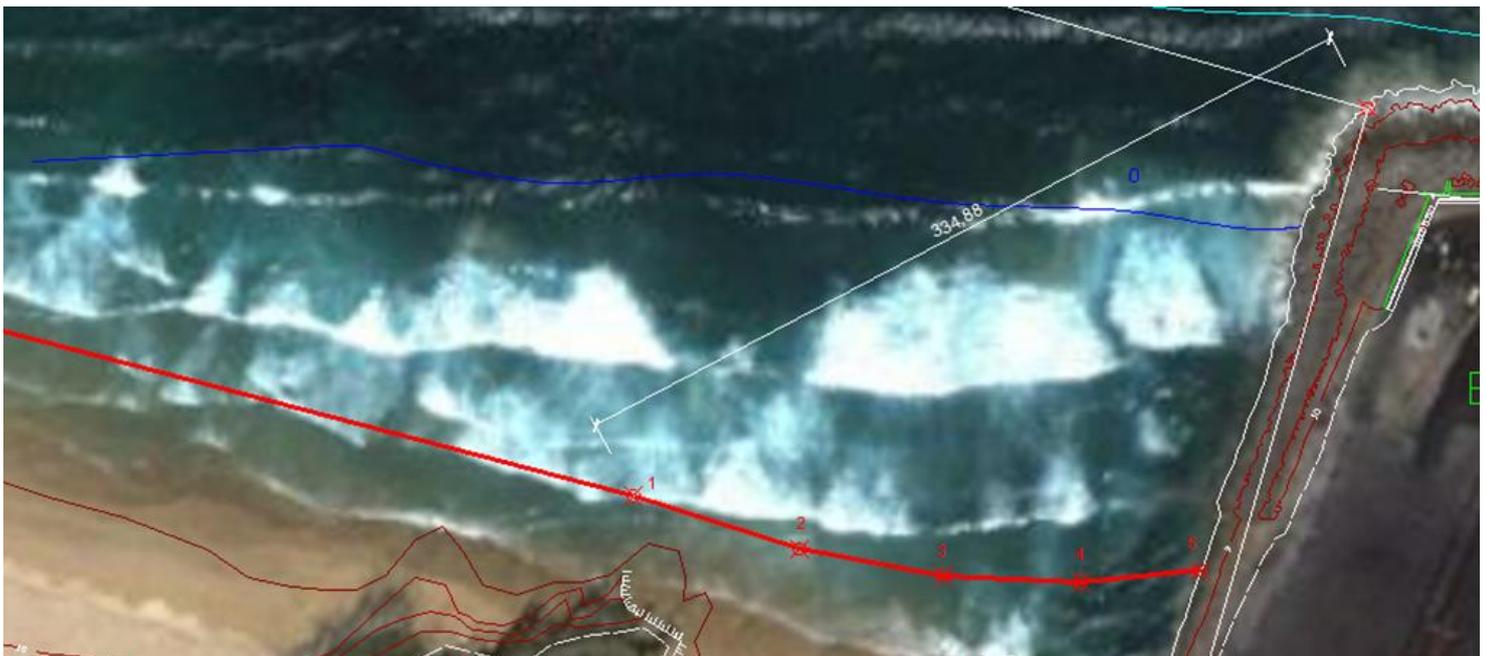
En cuanto a la situación en perfil de la playa, se ha establecido que el diámetro de la arena de la playa de Xivares es de 0.8 mm y, por tanto, el perfil de equilibrio del terreno de la playa quedaría tal que así:

$$h = 0.191 * x^{2/3}$$



Perfil de equilibrio de la playa.

Para el cálculo de la planta de equilibrio actual se ha necesitado realizar un estudio del clima marítimo previamente y con los resultados obtenidos de este, se ha llegado a la siguiente disposición en planta de la playa de Xivares:



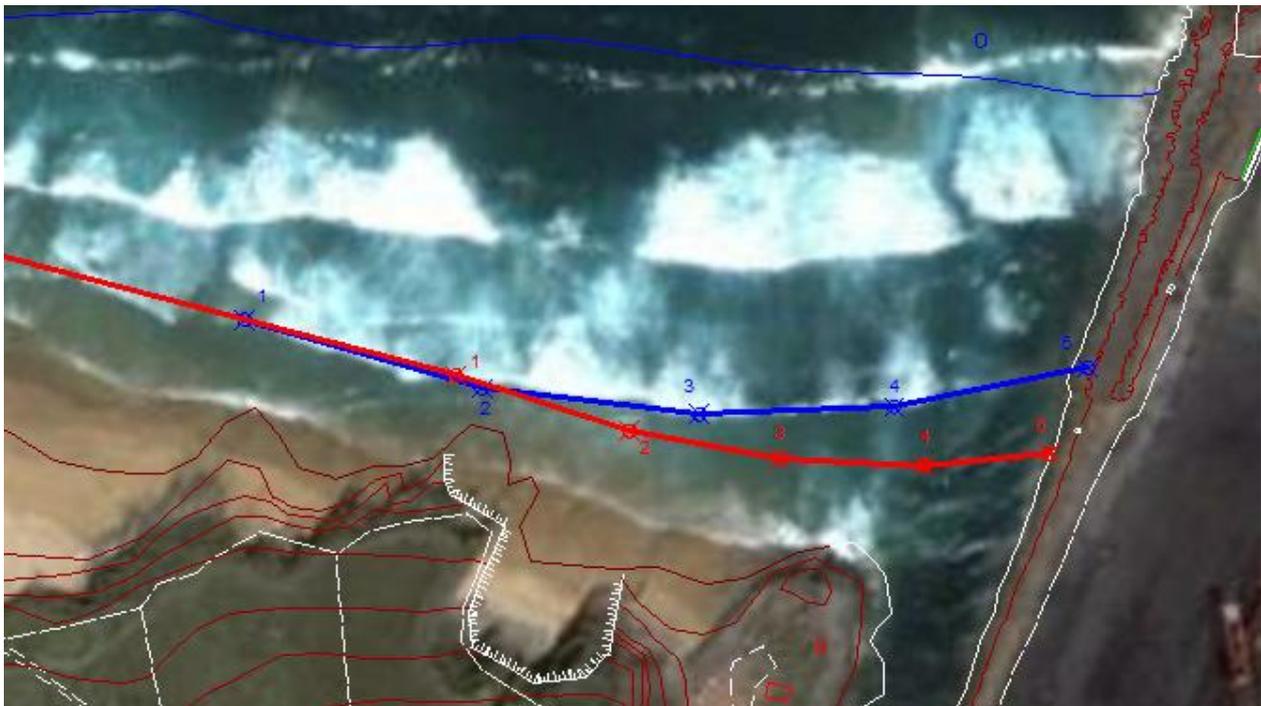
Situación actual.

4. SITUACIÓN FUTURA

Tras la ampliación del dique de la explanada de Aboño, en el cual se ganan 8.4 hectáreas al mar adentrándose unos 200 metros en este, se vuelve a estudiar la posición de equilibrio en perfil y en planta para observar y analizar las modificaciones que se producen.

La disposición del nuevo perfil de equilibrio será prácticamente el mismo que en la situación previa ya que el diámetro de la arena de la playa no varía.

Pero en el caso de la planta de equilibrio, esta variará ligeramente debido a la modificación del oleaje por la acción del nuevo dique. Los cambios que se producen en la planta de la playa se observan en la siguiente figura:



Situación actual (en rojo) y situación futura (en azul).

5. CONCLUSIONES

La modificación de la planta de la playa es muy pequeña, unos 3582.54 metros cuadrados de superficie total y solo afecta a la primera parte de la playa de Xivares. Esta superficie de arena deberá ser aportada a la zona para que no se produzca la erosión de otras partes de la playa.

Una recomendación al proyecto de la ampliación del dique de la explanada de Aboño, es el dragado de la arena del fondo marino que va a ser rellenado posteriormente por la explanada, para así evitar pérdidas en otras zonas de la playa de Xivares.

Esta solución no supondría un gasto económico alto y el área de playa disponible no se vería afectado negativamente ya que incluso se incrementaría esta área.



ABSTRACT

- Title of the undergraduate final project:

RESEARCH OF IMPACT OF THE ABOÑO PROTECTION ON THE SEDIMENT DYNAMICS OF THE ENVIRONMENT

- Author of the project:

RUBÉN MARTÍNEZ OCHAGAVÍA

- Director of the project:

RAÚL MEDINA SANTAMARÍA

- Call:

JUNE 2016

- Key words:

PLAN, PROFILE, MODIFICATION, SEDIMENT, SHORELINE, WAVES, BREAKWATER

1. AIM OF THE PROJECT

The present work has as general objective to analyze the sediment dynamics of the coastline adjacent to the esplanade of Aboño for, based on that analysis, evaluating the impact of the expansion works of the esplanade on sediment dynamics of the area.

2. PROBLEM TO SOLVE

The existing breakwater of the Aboño esplanade was built in 1986 for the construction of a coal yard in the área of Gijón. Since that work, the Xivares beach (next to the esplanade) has not suffer any significant change of shape (in plan or profile).

Nowadays, with the needs of a larger coal yard to increase the capacity of the amount of coal, an expansion of the esplanade will be built.

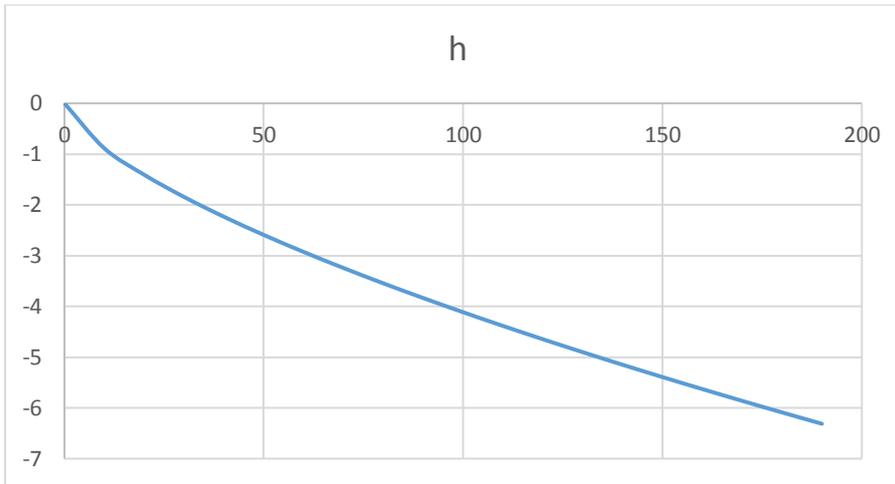
This enlargement can cause changes and modifications in the nearest beach (Xivares) and that is the reason why a research is needed to analyze the influence of the new breakwater in the sediment dynamics of the environment.

3. CURRENT SITUATION

The current situation, before the construction of the breakwater, has been analyzed and studied to get the characteristics of the beach both in plan and in profile, in order to obtain a global vision of the whole area.

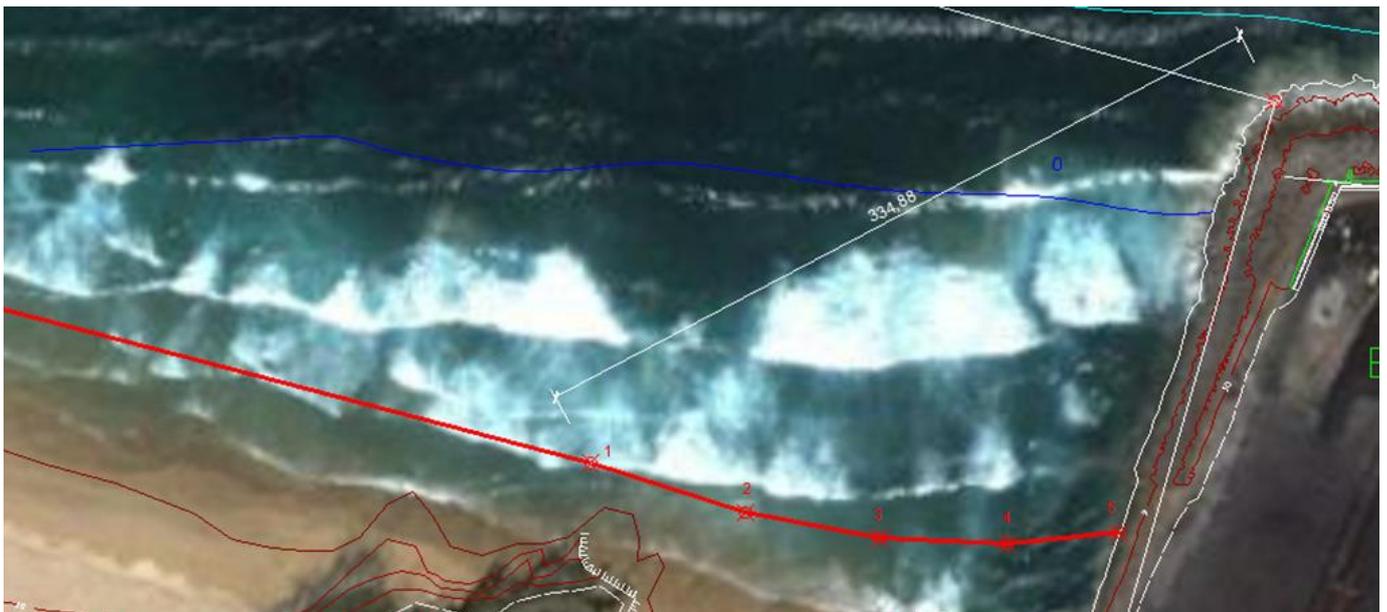
Respect to the profile balance situation, we need to know before that the diameter of the sand of the beach is 0.8 mm and, thus, the equilibrium profile will be:

$$h = 0.191 * x^{2/3}$$



Equilibrium profile of the beach.

For the calculation part of the plan balance shape, we have needed to carry out a study of the wave conditions previously, and with all the results from this study, we have arrived to the next plan balance shape of the beach of Xivares:



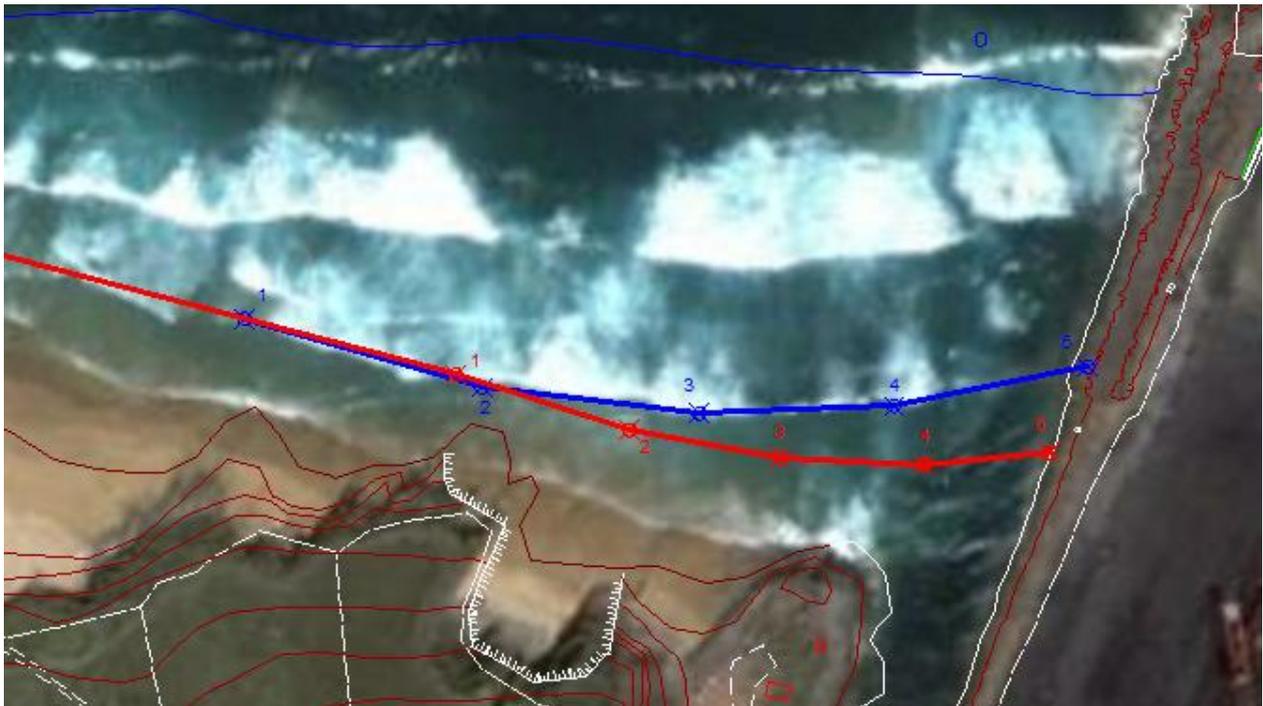
Current situation

4. FUTURE SITUATION

After the ampliation of the breakwater of the Aboño esplanade, where we win 8.4 hectares, going 200 meters to the offshore, we analyze again the shape of the beach (both in plan and profile) in order to obserb the modifications produced

The shape of the new profile will be the same than in the previous situation because the sediment diameter has not change.

But in the case of the equilibrium plan view, it will change a few due to the modification of the waves conditions because of the action of the new breakwater. The modifications produced in the plan view of the beach are shown in the figure below:



Current situation (red) and future situation (blue).

5. CONCLUSION

The modification of the plan shape of the beach is only about 3582.54 m² and it only affects to the first part of the Xivares beach. That surface of sand should be provided to the zone in order to avoid the erosion of other parts of the beach of Xivares.

A recomendation to the Project of enlargement of the breakwater of Aboño esplanade is to dredge the sand from the terrain under the esplanade, before it is filled in.

This solution would not cause a huge amount of money and the area of the available beach would not be affected in a bad way, even the beach would increase that area.



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



1. MOTIVACIÓN DEL ESTUDIO

El dique existente de la explanada de Aboño fue construido en 1986 para la construcción de un parque de carbones en la zona. Desde entonces, la playa de Xivares y contiguas no han sufrido cambios significativos de forma, tanto de planta como de perfil.

Ahora, con las necesidades de un parque de carbones más amplio para aumentar la capacidad de material en acopios, se ha decidido ampliar esta explanada, ganando 8.4 hectáreas al mar.

Esta ampliación será de gran valor para la industria local de Gijón, e incluso para la provincia de Asturias ya que el desarrollo industrial de la ciudad aumentará considerablemente.

Pero esta ampliación, debido a los procesos marítimos que se producen como difracción, reflexión, etc., hará que se modifique la playa colindante (Playa de Xivares).

En este contexto se plantea el presente Estudio, el cual tiene como misión establecer la dinámica litoral del mencionado proyecto de la ampliación de la explanada de Aboño.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El presente trabajo tiene como objetivo general analizar la dinámica litoral del tramo de costa adyacente al Dique de Aboño para, con base en dicho análisis, evaluar la afección de las obras de ampliación de la explanada sobre la dinámica litoral de la zona. Este objetivo general se ha estructurado en los siguientes objetivos parciales:

- Diagnóstico de la situación actual.
- Análisis de la situación futura y, en particular, de la evolución de la línea de costa tras la ampliación del dique de Aboño.

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. Localización geográfica:

En este capítulo se describe la localización del proyecto de ampliación, así como las playas afectadas por esta.

• Capítulo 3. Geología y Geotecnia:

En este capítulo se explican las características del suelo de la zona (terrestre y marino) y el diámetro del sedimento de la playa en cuestión.



- **Capítulo 4. Climatología:**

En el presente capítulo se estudia el régimen de precipitaciones y temperaturas, así como los vientos de la zona a estudio.

- **Capítulo 5. Morfología, batimetría y topografía:**

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 6. Nivel del mar:**

En este capítulo se analiza el régimen del nivel del mar que existe en la zona a estudio gracias a los datos del mareógrafo de Gijón.

- **Capítulo 7. Estudio hidrodinámico:**

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

- **Capítulo 8. 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 de Xivares.

- **Capítulo 9. Descripción de la ampliación de la explanada de Aboño:**

En este capítulo se describen la ampliación de la explanada de Aboño, mostrando la configuración geométrica asociada a la misma.

- **Capítulo 10. Afección de la ampliación al entorno:**

En este capítulo se analiza la afección a las playas adyacentes al dique de Aboño por la ampliación de éste.

- **Capítulo 11. Conclusiones:**

En este capítulo se presentan las conclusiones del trabajo y se proponen algunas recomendaciones al proyecto de ampliación de la explanada de Aboño.



4. INFORMACIÓN UTILIZADA

- Batimetría general de la zona obtenida mediante las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina.
- Archivo AutoCAD con la batimetría de la zona.
- Estudio hidrodinámico en aguas profundas y en aguas someras proporcionado por el IH.
- Series históricas fotográficas de la zona con Google Earth.
- Proyecto de ampliación de la explanada de Aboño, Gijón.



CAPÍTULO 2

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA



1. INTRODUCCIÓN

Antes de plantear cualquier estudio es imprescindible conocer el entorno en el que se va a desarrollar con el fin de asegurar los mejores resultados posibles del mismo

A continuación, se va a proceder a analizar el marco regional del estudio y posteriormente el marco local.

Este estudio tiene como objeto el análisis del efecto producido por la Ampliación del Dique de la Explanada de Aboño, Gijón, a la dinámica sedimentaria de las playas colindantes. Se localiza en la Comunidad autónoma de Asturias, al norte de España.



Figura 2.1. Mapa de España por Comunidades Autónomas.

2. MARCO REGIONAL: ASTURIAS

La Comunidad Autónoma del Principado de Asturias está situada al noroeste del territorio español, limitando al Norte con el mar Cantábrico y al Sur con la Cordillera Cantábrica, barrera natural que le confiere una orografía muy accidentada.

Al mismo tiempo esta cordillera montañosa sirve de separación geográfica con las regiones de Castilla - León, Galicia y Cantabria, con las que limita al Sur, Oeste y Este, respectivamente.

Asturias es una Comunidad Autónoma uniprovincial constituida por 78 municipios, pudiendo distinguirse tres grandes áreas: central, occidental y oriental. En el área central, a pesar de su menor tamaño, se concentra la mayor parte de la población y de la actividad económica. En las otras dos zonas predomina el sector agrario.



La Capital política y administrativa es Oviedo, situada en el centro de la región. Las otras dos ciudades más importantes del Principado son Gijón, auténtica capital de la costa asturiana, y Avilés, situadas en los dos extremos del cabo de Peñas, el vértice septentrional de Asturias. Estas tres urbes se comunican entre sí mediante la autopista conocida popularmente como "Y".



Figura 2.2. Mapa de Asturias.

Su geografía tiene una estructura alargada en dirección paralela al mar, de anchura decreciente de oeste a este con poco más de 200 km. de longitud, y anchura entre 75 km. en la parte occidental y 15 km. en la oriental, con un promedio de 50 km.

Cartográficamente, su ámbito geográfico se enmarca entre los meridianos de longitud Oeste $0^{\circ} 47'$ y $3^{\circ} 30'$ (longitudes referidas al meridiano de Madrid, situado $3^{\circ} 4 1'$ al oeste de Greenwich), y los paralelos de latitud Norte $43^{\circ} 42'$ y $42^{\circ} 51'$.

El relieve del Principado de Asturias constituye un factor primordial en la descripción de su territorio. La orografía y morfología que caracterizan el medio físico asturiano condicionan de manera especial el régimen termo-pluviométrico de sus distintas regiones la evolución y usos de sus suelos. En definitiva, definen la vocación agrícola, ganadera o forestal de sus comarcas y la organización de la vida económica y administrativa de sus gentes.

De forma general, la fisiografía asturiana presenta unos rasgos con fuertes variaciones. Así, zonas de altas montañas (Cordillera Cántabro-astúrica) caracterizadas por presentar elevadas altitudes, fuertes pendientes originadas por una red hidrográfica joven y con disposición preferente norte-sur, contrastan con áreas (Rasas litorales o Cuenca Central Hullera) de altitudes inferiores a 100 m. y pendientes por debajo del 3% sin dirección definida.



La característica fundamental de la unidad fisiográfica definida anteriormente es la alineación NW-SE de la costa y de la batimetría que, como se verá más adelante, confiere un importante abrigo frente a los oleajes del cuarto cuadrante, dominantes y reinantes en el litoral cantábrico.

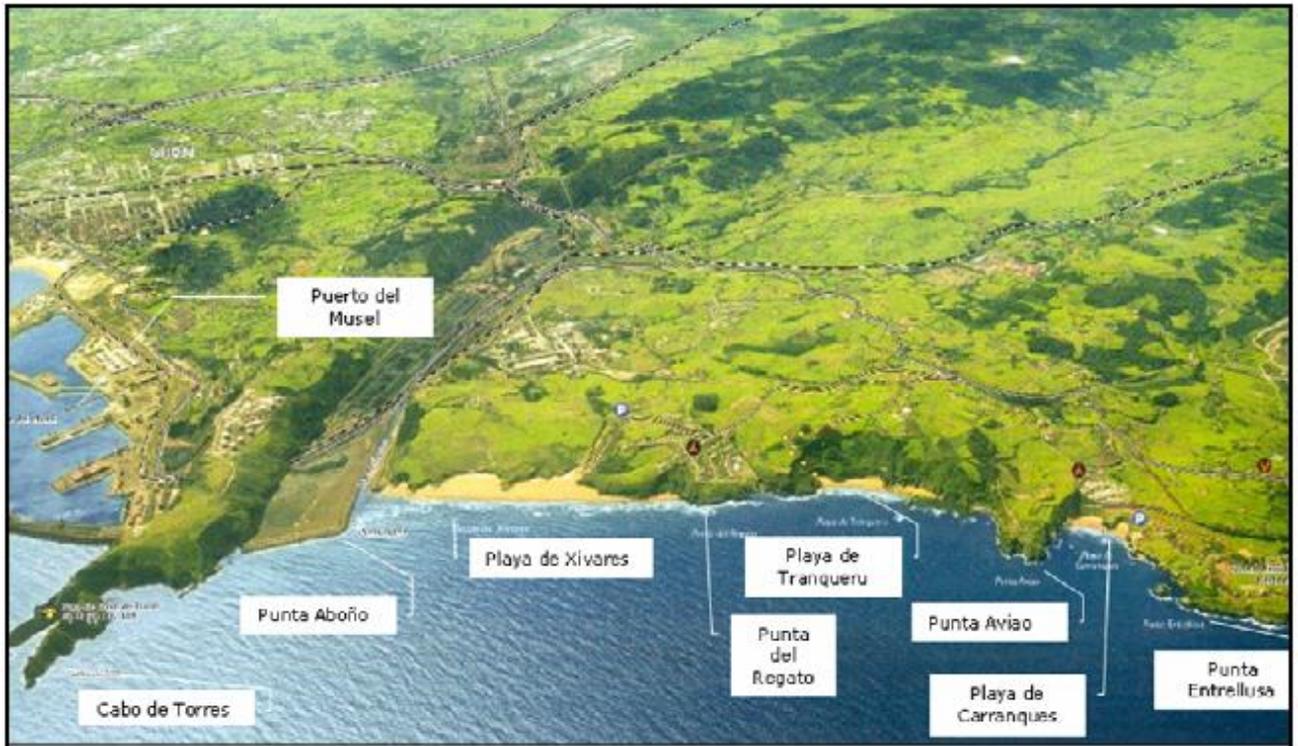


Figura 2.5. Detalle de la zona de realización del estudio.

Como se ve en la figura previa, la playa de Xivares será la única afectada por la Ampliación de la explanada de Aboño y en la que se centrará este estudio.



CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA Y

GEOTECNIA

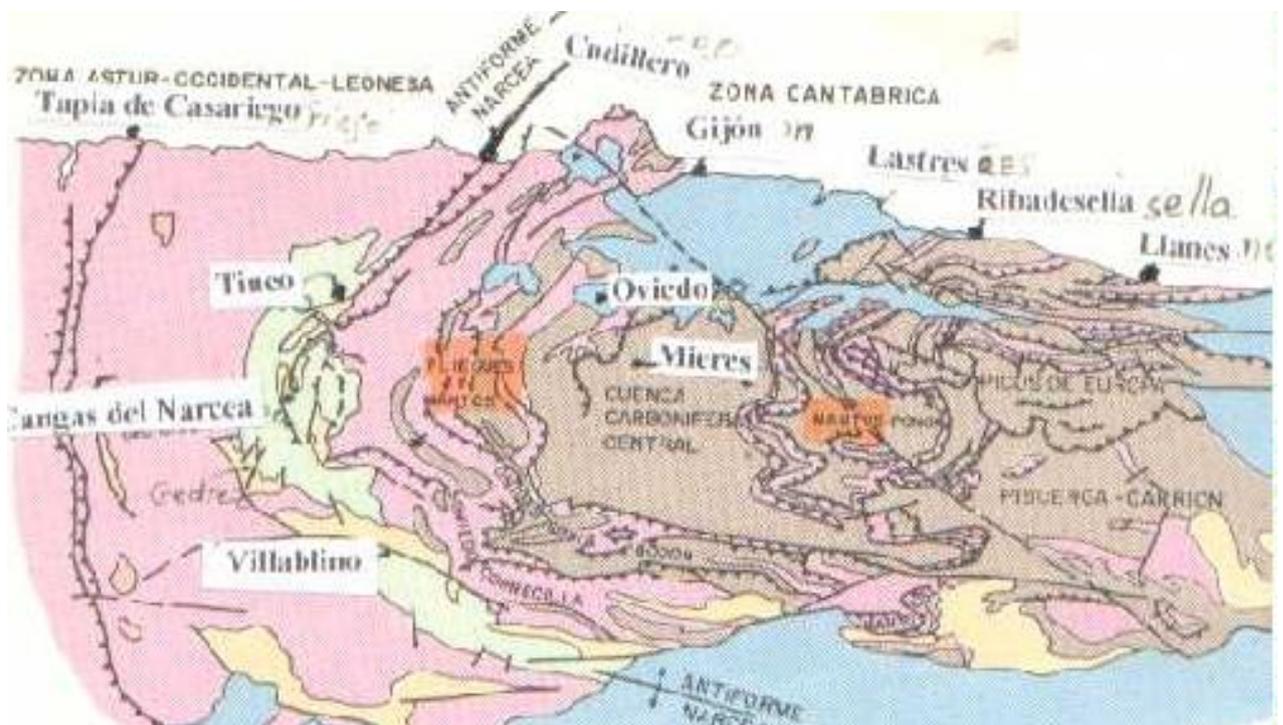


1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista geológico, la Hoja de Gijón del Mapa Geológico Nacional se sitúa dentro de la Zona Asturoccidental-leonesa. La mayoría de los materiales geológicos que se ven en esa hoja del centro de Asturias son de origen sedimentario (Rocas sedimentarias, depositadas en medios marinos someros), hay unos pocos afloramientos de rocas ígneas y metamórficas en el occidente.

2. GEOLOGÍA EN ASTURIAS

En Asturias Occidental se localizan los materiales más antiguos de Asturias que corresponden al precámbrico (con una antigüedad entre 570- 2.500 m. a.) del anticlinorio del Narcea y paleozoico inferior (408-570 m. a.) que describen un arco que se denomina por los geólogos como "Arco o rodilla astúrica". Según éste arco se encuentran los afloramientos graníticos de Salave, Boal, El Pato, por debajo del Carbonífero de Tineo y Cangas de Narcea se intuye que hay granito, pues el carbón es antracita más evolucionado, que el de la Cuenca Central Asturiana (hulla), a pesar de ser más moderno que aquel, y llega hasta Ponferrada (León). Discordantemente sobre ellos se depositaron los materiales carboníferos de origen fluvial (286-300 m. a.) de las cuencas de Tineo y Cangas del Narcea. La zona occidental, denominada astur - occidental leonesa es muy silíceo, se encuentran las denominadas Pizarras de Luarca.



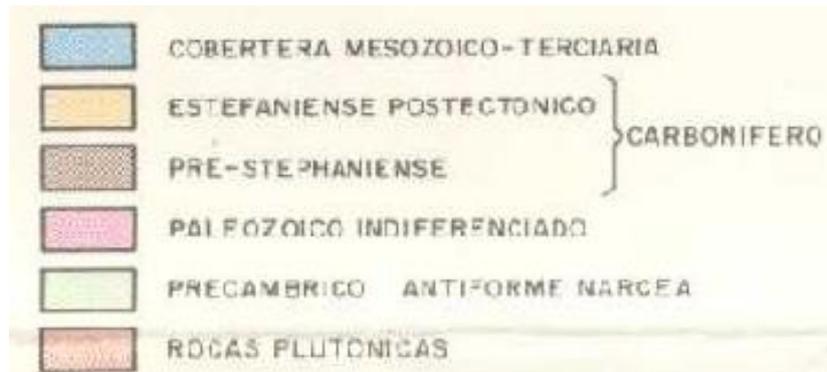


Figura 3.1. Geología en Asturias.

En Asturias Central en donde destaca la Cuenca Hullera Central Asturiana con predominio de materiales plásticos como pizarras, carbón y areniscas dando lugar a una zona muy plegada con suelo ácido sobre el que se extienden numerosos bosques de hayedos, castaños, abedules, etc. En éste área destacan las explotaciones de hulla, cinabrio, cobre, etc. En su parte occidental se encuentran la zona de pliegues y mantos, con abundantes afloramientos calcáreos que dan lugar a relieves kársticos. En el centro y al Norte se encuentra los materiales mesozoicos y terciarios que han sido muy poco deformados, están constituidos principalmente por calizas, marga, arcillas, areniscas y conglomerados.

En Asturias Oriental, de su simple observación en el plano adjunto se deduce que es la zona más fracturada y por tanto más afectada por las distintas orogenias, esto se traduce en que allí se encuentran las mayores alturas y los relieves más acusados, destacando litológicamente la caliza de montaña, que es una formación geológica de edad carbonífero medio-inferior que se originó hace unos 400 m.a. En su sector occidental se encuentra la zona de mantos (Ponga), con estructuras de dirección norte - sur, mientras que más al norte y al este se encuentran los Picos de Europa y Sierras Litorales como la del Cuera en donde adquieren la alineación este - oeste.

3. GEOLOGÍA EN GIJÓN

Con la información que nos da la hoja de Gijón del mapa geológico se ve que en el Cabo Torres, zona cercana a las obras del proyecto, se encontrará una falla que viene indicada en dicho mapa.

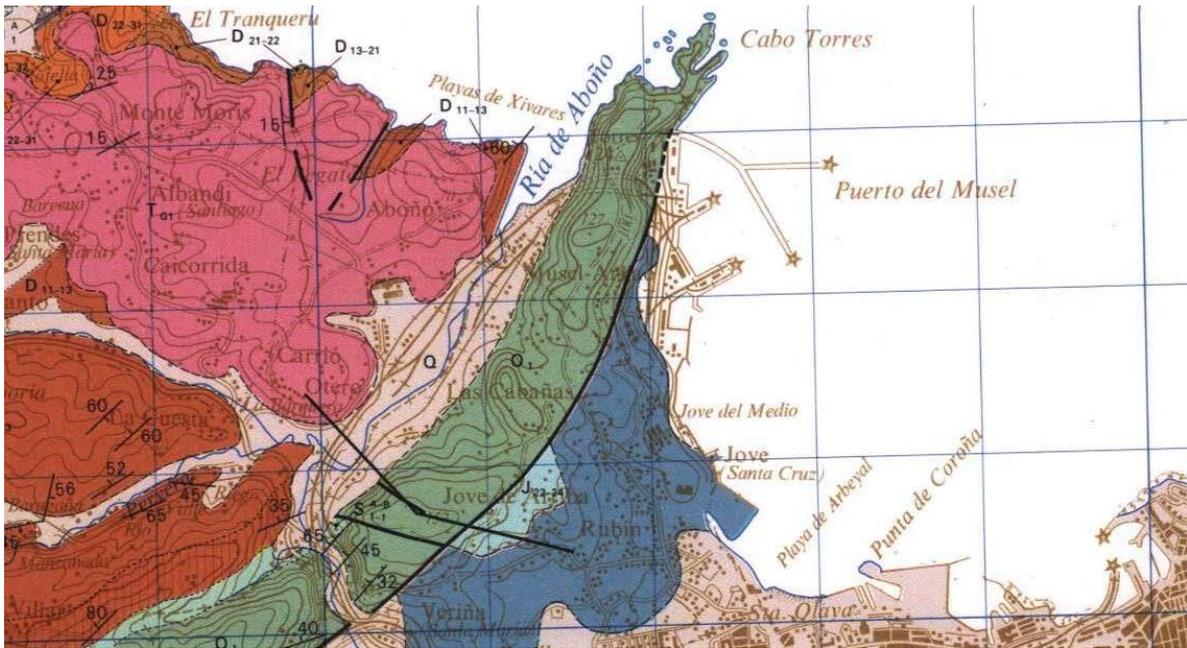


Figura 3.2. Geología en Gijón.

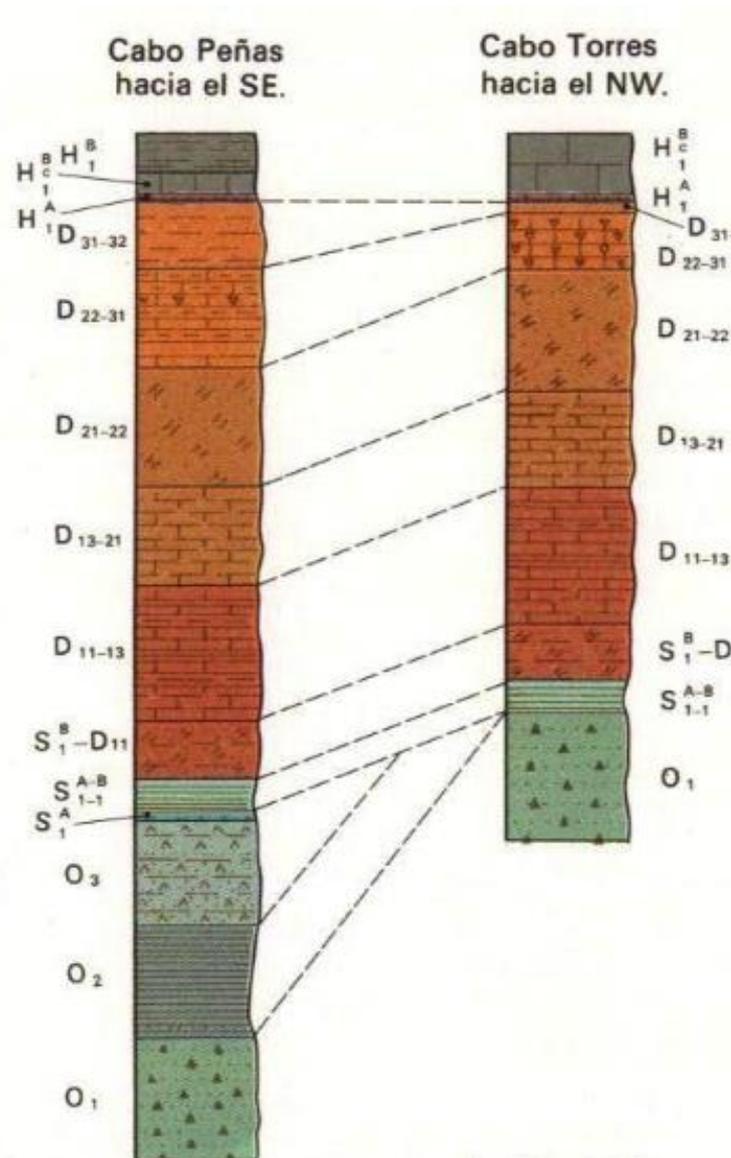


Figura 3.3. Columna estratigráfica en el Cabo Torres.

De esta falla tendremos: por un lado en la zona que quedaría al este del nuevo dique aparecería la formación Q, que se daría en el área marítima y que corresponde con depósitos del cuaternario. En esa misma zona, en tierra firme, se aprecia la formación J O-2 que corresponde con una formación típica del centro oeste asturiano como son las calizas, las dolomías y las arcillas negras. Por otro lado, en la zona oeste del puerto, es decir, sobre la localización del proyecto, la formación existente sería la O1 que corresponde con la cuarcita blanca.

Aquí en esta imagen contigua podemos observar un corte transversal paralelo a la costa donde se pueden ver la formación de cuarcitas blancas en verde, la falla próxima al Cabo Torres y los depósitos cuaternarios y las calizas y arcillas negras a la otra parte de la falla.

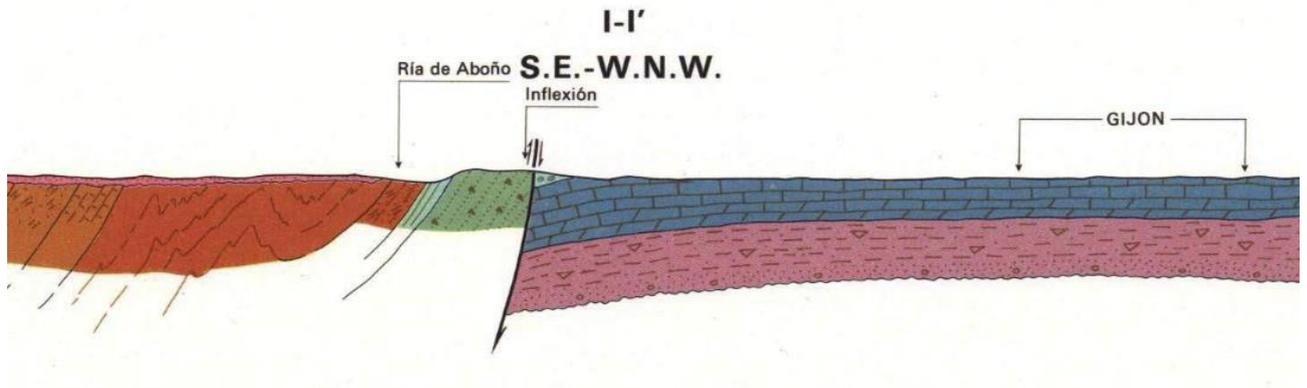


Figura 3.4. Corte Geológico paralelo a la costa.



LEYENDA

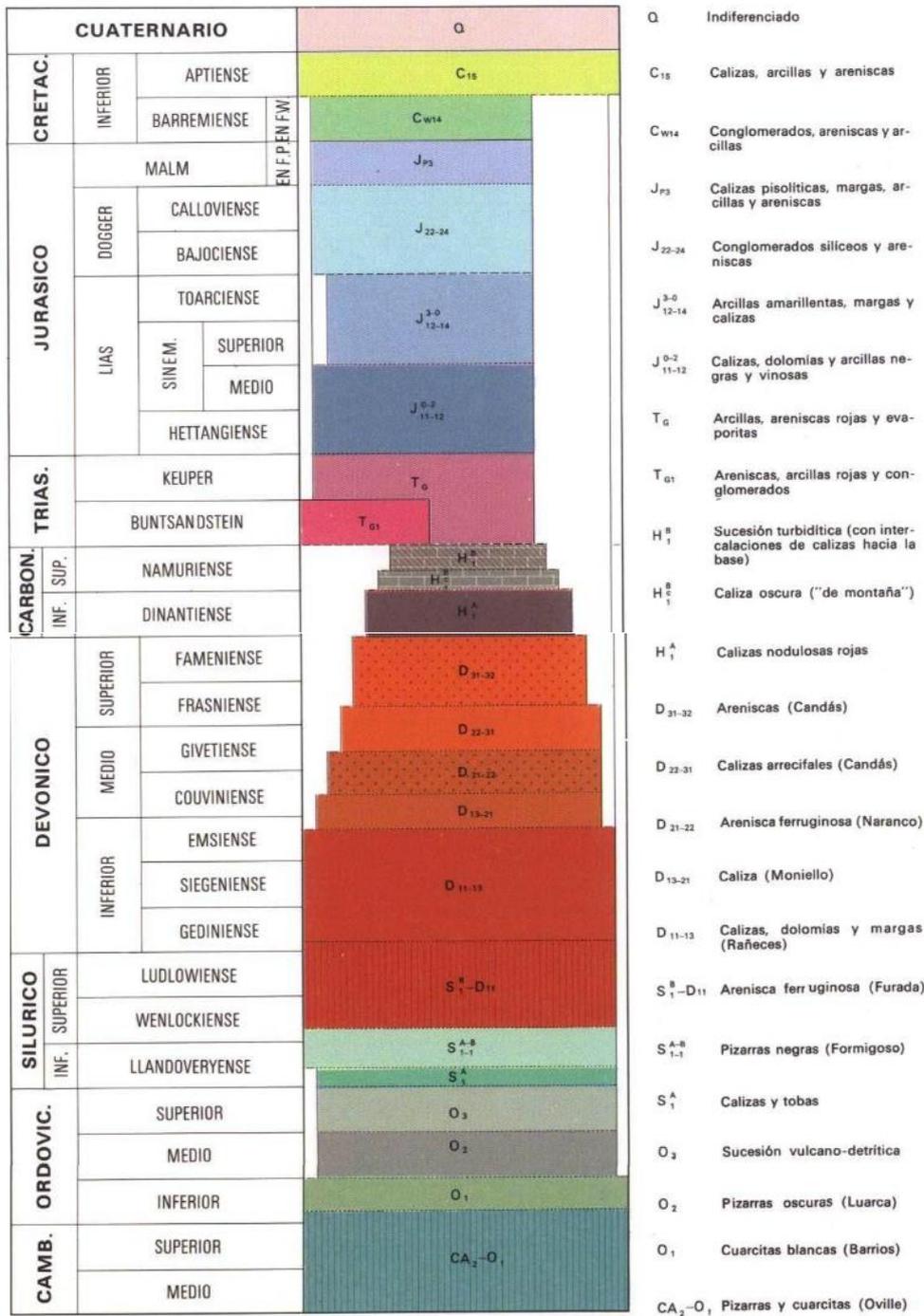


Figura 3.5. Leyenda de los mapas previos.

4. GEOLOGÍA DEL FONDO MARINO

Los estudios geofísicos realizados en la zona señalan que la plataforma continental de la unidad fisiográfica está constituida por un lecho de roca con pequeños y escasos depósitos de arena, entre los que cabe destacar el existente frente a Candás y frente al Cabo Torres. Ambos depósitos fueron analizados por ESGEMAR, S.A. en un estudio realizado en 1993 para la Dirección General de Costas, ver figura 3.6.

Esta ausencia de depósitos arenosos en la unidad fisiográfica da como resultado una batimetría irregular con numerosos bajos rocosos que incluso provocan la rotura del oleaje bajo condiciones de temporal (bajos de Jomas Llugo, Piedra Perico, Sierra de Santa Olalla, Piedra de La Concha, Las Amosucas).

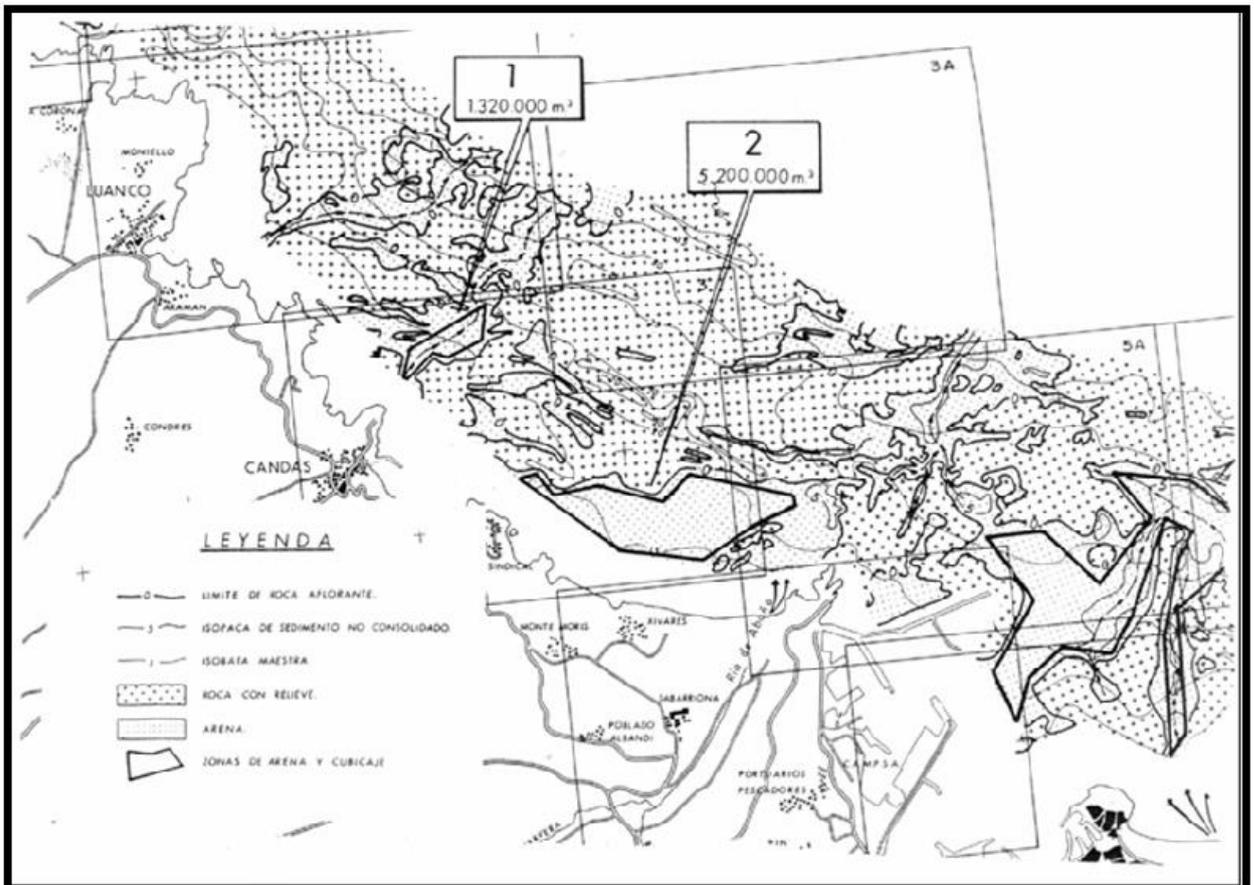


Figura 3.6. Tipología de los fondos en la zona.

Además se ha analizado la zona donde se va a realizar el nuevo dique de la explanada de Aboño y se observa la existencia de lechos de arena de entre 5 y 10 m de espesor entre la plataforma de Aboño y la batimétrica de -15 m, es decir, la totalidad de nuestra zona.



5. CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS

En cuanto al tamaño de la arena en la playa no se tienen datos precisos sobre su diámetro. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la arena de playa suele variar entre 0.1 mm y 2mm, se ha supuesto un tamaño de la arena de 0.8mm, un valor aproximadamente intermedio.

El tamaño de la arena será un factor determinante a la hora de calcular el perfil resultante de la playa como se mostrará en capítulos posteriores.



CAPÍTULO 4

CLIMATOLOGÍA



1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se aborda el estudio de la climatología, muy importante para el conocimiento del medio físico al cual condiciona determinando el tipo de suelo, las formaciones vegetales, la hidrología, la geomorfología y los usos del suelo.

Como consideraciones previas al estudio del clima en Gijón hemos relacionarlo con su situación, que es dentro de la fachada atlántica española, con una proximidad del mar que influencia mucho el clima suavizando las temperaturas y aumentando las precipitaciones; por lo cual resulta un clima templado y húmedo.

2. RÉGIMEN DE TEMPERATURAS

El régimen de temperaturas de la zona depende de varios factores pero el primario es, sin duda, la radiación solar que recibe. La latitud de Asturias, cercana a los 45° N implica una fuerte influencia de las estaciones en la radiación, ya que la duración de los días es muy variable. Esto se manifiesta en las horas de sol recibidas mensualmente: en el Observatorio de Oviedo varían desde las 171 horas en julio hasta las 101 de diciembre. La trayectoria más alta del sol en el verano hace que, a efectos de radiación solar, los contrastes sean aún más fuertes: la radiación solar global alcanza los 1756 J/ (m².día) en junio y desciende hasta los 454 en diciembre.

En función de estos datos se espera que las temperaturas en Asturias sigan una tendencia similar a la de la radiación. Se observan por contra dos cuestiones de interés: la primera es que la fluctuación térmica es menor que la correspondiente de radiación. La segunda es que tanto el máximo como el mínimo están desplazados, al menos, un mes con respecto a los de radiación solar.

El origen de ambos fenómenos es el mismo y reside en la presencia y proximidad del mar, que actúa como un enorme almacén de calor, capaz de absorberlo y cederlo a las capas bajas de la atmósfera. El papel del mar en este aspecto es mucho más importante que el del suelo debido a su capacidad calorífica, unas 5.6 veces mayor. Esto significa que el mar cede calor en las épocas más frías y lo absorbe en las más cálidas, amortiguando las variaciones de temperatura de tal forma que, probablemente, la costa cantábrica tiene el régimen térmico más templado de Europa.

Según los datos ofrecidos por la Agencia Estatal de Meteorología para la estación meteorológica de Gijón (período 1971-2000), la media del mes más frío (enero) es de 8,9 °C, la media del mes más cálido (agosto) es de 19,7 °C, la temperatura media anual es de 13,8 °C (media anual de máximas: 17,6 °C; media anual de mínimas: 10 °C).



Temperaturas - Precipitaciones - Sol

	Enero	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Temperatura máx. en °C	13	14	15	16	18	20
Temperatura mín. en °C	5	5	7	8	11	14
Precipitaciones en mm	94	85	74	93	79	47
Días con precipitaciones	12	11	10	12	11	7
Horas de sol	103	109	137	151	167	180
	Julio	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura máx. en °C	22	23	22	19	16	14
Temperatura mín. en °C	16	16	14	11	8	6
Precipitaciones en mm	45	54	70	104	120	104
Días con precipitaciones	6	7	8	11	12	12
Horas de sol	194	190	158	132	106	92

Tabla 4.1. Temperaturas, precipitaciones y horas de sol en Gijón.

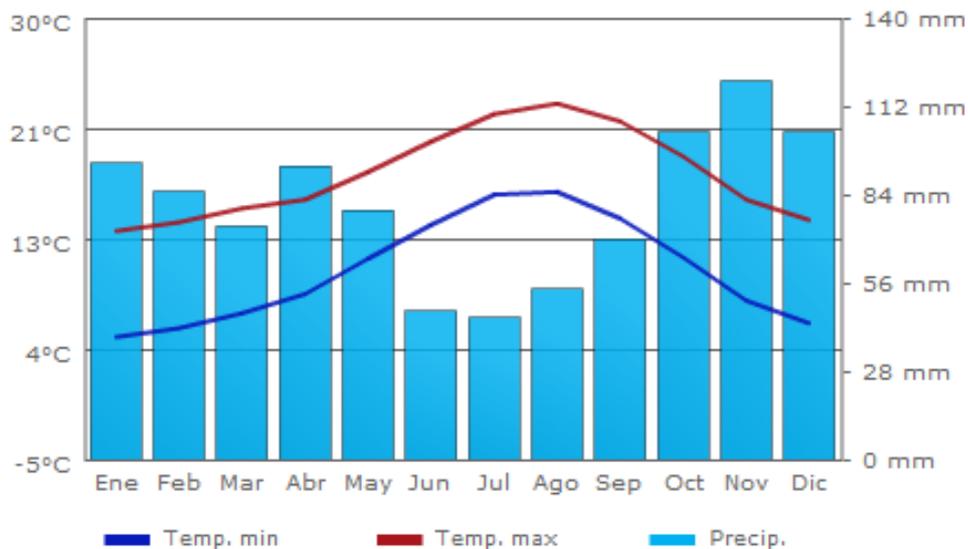


Figura 4.1. Climatograma de Gijón.

Sobre los efectos generales de la influencia del océano y altitud se superponen otros efectos locales que conducen finalmente a una notable variedad térmica del clima asturiano. Por ejemplo, el relieve tiene una notable influencia en la radiación solar que se recibe, y establece fuertes contrastes entre las laderas en función de su orientación y pendiente.

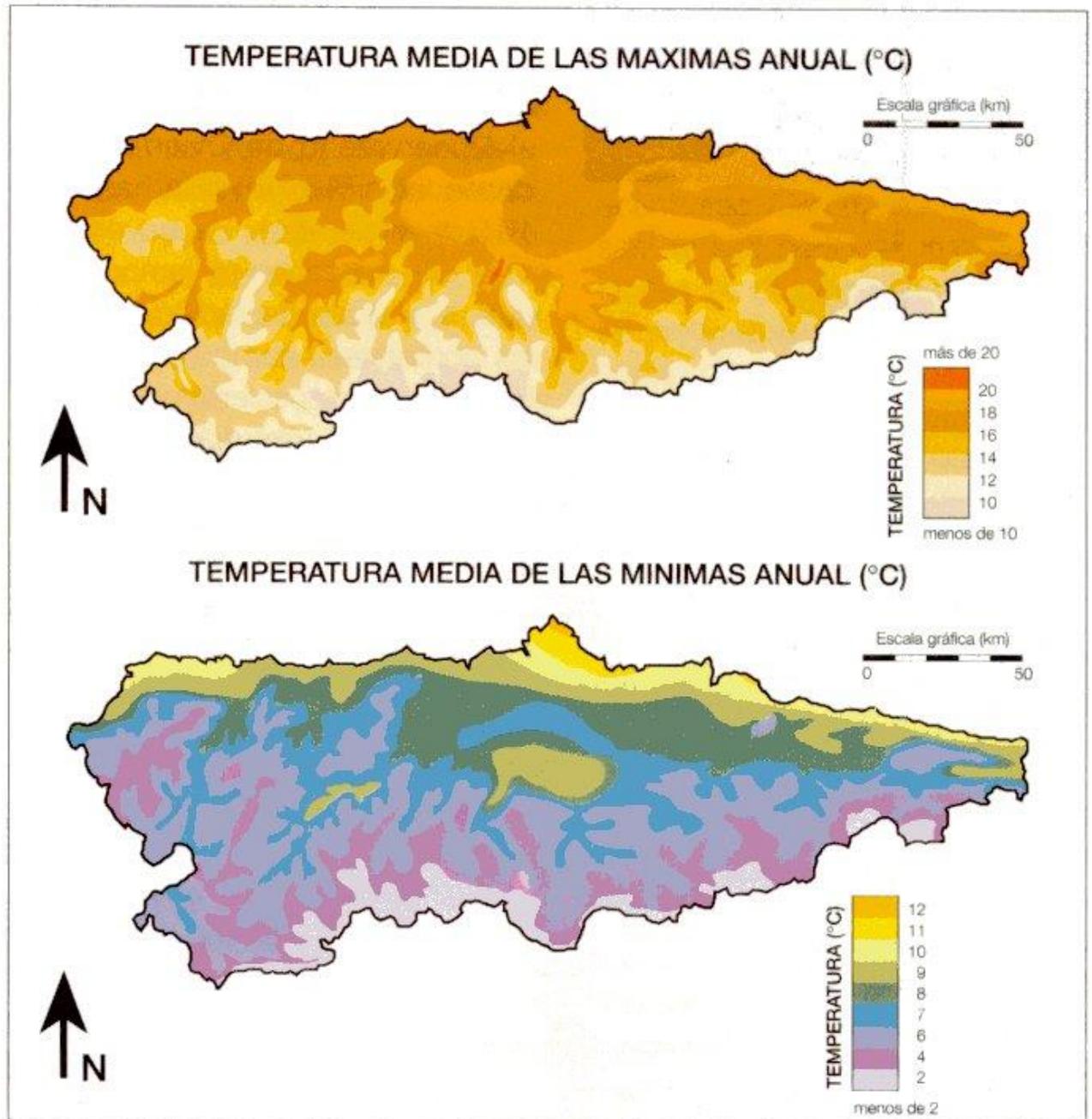


Figura 4.2. Temperaturas máximas y mínimas en Asturias.



3. RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES

Como rasgos generales de la zona del Cantábrico en la que se encuentra Gijón se puede decir que las precipitaciones y las nubosidades son importantes, y que la aridez es escasa. Ahora bien, estos valores varían de unos lugares a otros en función de la latitud, la influencia del mar y de la topografía.

En cuanto a la latitud Gijón se encuentra sobre el paralelo 44° N y por ello se encuentra en medio de la actuación de dos masas de aire, una de origen polar y otra de origen subtropical. Estas dos masas de aire interactúan en estas latitudes y debido a sus diferencias de temperatura forman una serie de frentes que llevan asociadas unas borrascas que se desplazan de oeste a este y que originan precipitaciones que pueden llegar a ser muy intensas en esa zona.

Las borrascas asociadas a esos frentes llegan a la costa cantábrica durante los meses de invierno cuando el frente polar desciende a latitudes más bajas, y en el verano por el contrario el frente polar se retira a latitudes más altas y predominan los anticiclones.

Durante los meses de verano las precipitaciones varían a lo largo de toda la costa cantábrica, siendo los veranos más secos en Galicia, y más húmedos en Euskadi, y en Asturias tienen un término medio. Esto es debido a que en verano se produce un calentamiento del agua superficial del mar en el Golfo de Vizcaya lo que transmite calor y humedad a las capas bajas de la atmósfera.

Otro factor que determina el régimen de precipitaciones en Gijón y en toda Asturias es la presencia de la Cordillera Cantábrica, que actúa como una barrera ante los movimientos de las capas atmosféricas, produciendo un estancamiento de las masas de nubes cargadas de humedad en la zona cantábrica y definiendo el límite entre el clima atlántico y el clima mediterráneo. Cuando esas masas nubosas llegan a la cordillera se ven obligadas a realizar una elevación adiabática produciéndose un enfriamiento que origina precipitaciones más abundantes cuanto mayor es la altitud.

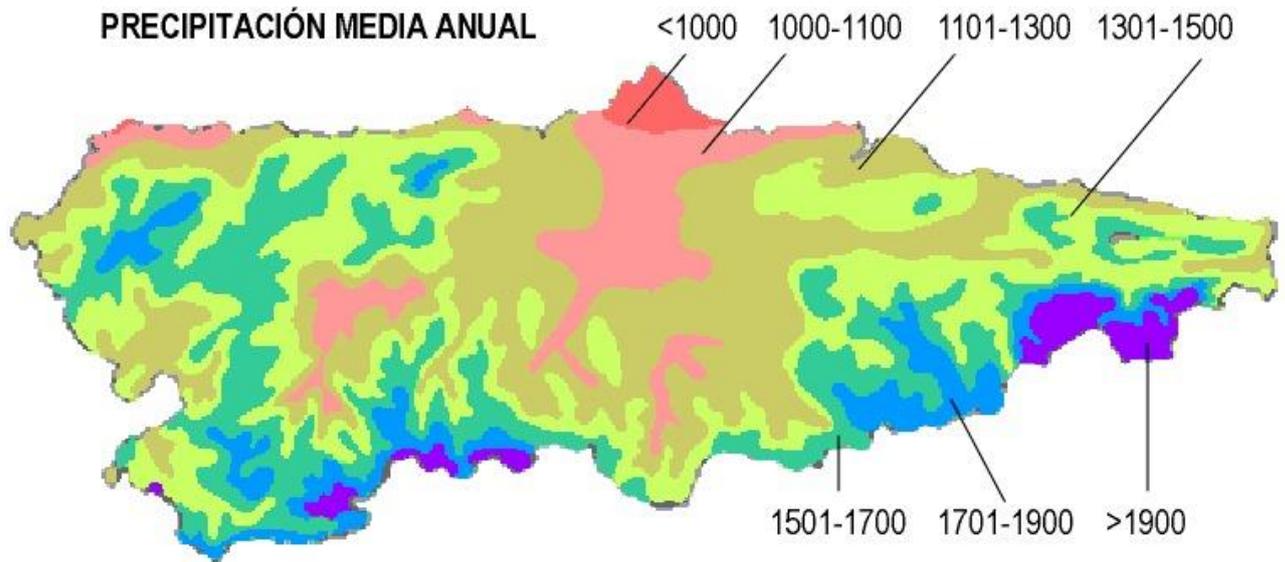


Figura 4.3. Precipitación media anual en Asturias.

Para el caso de Gijón tenemos que la precipitación media anual es una de las más bajas de la región: 971 l/m². Ello se debe al denominado efecto de ladera, según el cual las lluvias más intensas se localizan en las zonas más altas y las mínimas en zonas costeras del centro y el occidente. Coincidiendo con la época de menos lluvias se dan situaciones de aridez y sequía (el 22% de los meses hay aridez y el 11% el déficit hídrico es grave).

4. VIENTOS

El régimen de vientos en Asturias presenta una marcada estacionalidad. En invierno los vientos tienden a ser del Suroeste debido a la retirada del anticiclón de las Azores hacia el Sur que hace que las borrascas tengan un desplazamiento más hacia el Sur también, predominando los vientos del SO. En verano la situación es la opuesta, el anticiclón se desplaza hacia el Norte y a su vez la trayectoria de las borrascas también, predominando los vientos del NE frescos y secos.

Del régimen de vientos se concluye que contribuyen a suavizar las temperaturas y a crear un clima templado, predominando en invierno los vientos del SO que son templados-cálidos y predominando en verano los del NE que son templados-frescos.

Para el caso de Gijón tenemos que los vientos son esporádicos y estacionales. En invierno soplan preferentemente del sureste, templados y cálidos, a causa de la retirada hacia el sur del anticiclón de las Azores, con lo que las borrascas atlánticas siguen una trayectoria más meridional. En verano la situación se invierte, predominando vientos del nordeste, fríos y secos.

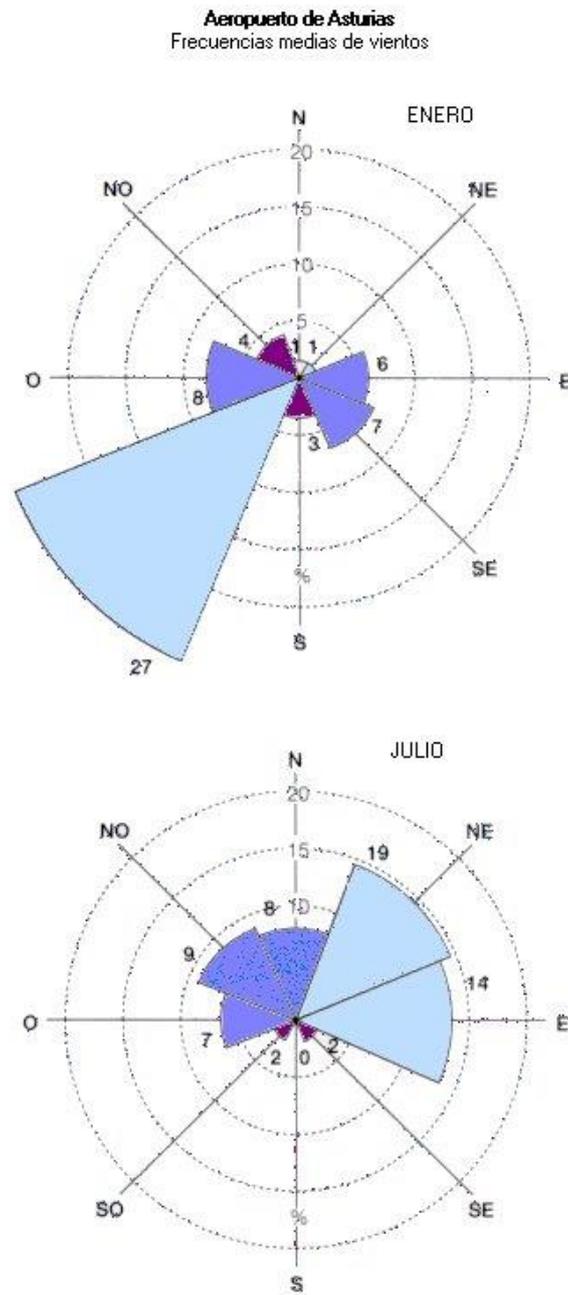


Figura 4.4. Frecuencias medias de vientos en Asturias. (Aeropuerto de Asturias).



CAPÍTULO 5

MORFOLOGÍA, BATIMETRÍA Y TOPOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto por el que se realiza el estudio está ubicado en las proximidades del Cabo de Torres y las profundidades donde se va a ubicar la ampliación varían entre 0 y 5 m, referido desde el Cero del Puerto.

Una imagen de la batimetría usada para realizar los cálculos del proyecto se observa a continuación:



Figura 5.1. Batimetría utilizada.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

Tal y como se puede apreciar en las figuras de las cartas náuticas podemos ver como la batimetría de forma general es paralela a la costa. También se observa como la batimetría desciende bruscamente en la zona más próxima a la costa, hasta alcanzar una pendiente más suave sobre la cota de 20 metros de profundidad.

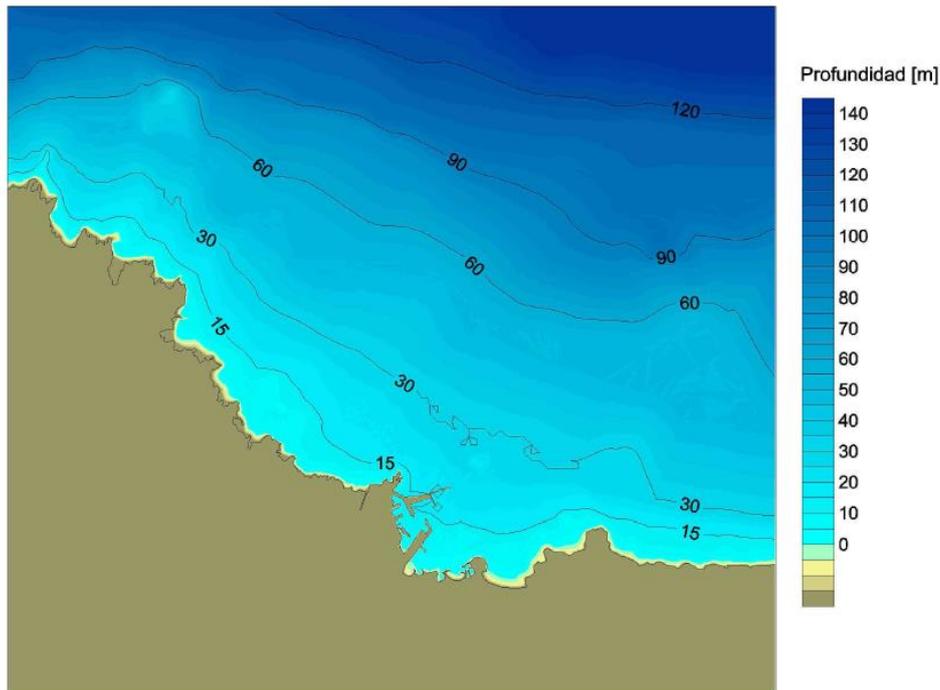


Figura 5.3. Batimetría de la zona.

La batimetría de la plataforma continental presenta una pendiente variable desde su extremo Oeste hasta su extremo Este. Así, en la zona adyacente al Cabo Peñas la pendiente entre las batimetrías 50 a 10 es del orden de 0,015 mientras que en la zona de Cabo Torres la pendiente media se sitúa en torno a 0,006. Esta variación de la pendiente de la plataforma origina, tal y como se desarrolla más adelante, una importante modificación en la propagación del oleaje por efecto de refracción, que condiciona las características del clima marítimo que afecta a la zona de estudio.

En este capítulo también es importante explicar la morfología del dique existente usado para proteger la explanada y por tanto se tendrá que hacer una breve descripción de cómo está protegida actualmente la explanada de Aboño la cual fue construida en 1986.

Ésta queda limitada por un dique de escollera perpendicular a la costa, que confina a la Ría de Aboño y un dique de escollera paralelo a la costa que cierra la explanada contra los acantilados del Cabo Torres. Este dique paralelo de unos 350 metros de longitud, se ubica aproximadamente en la cota de bajamar de la playa y está coronado a la cota +14 metros.

Los detalles de la solución adoptada para la ampliación de la explanada de Aboño serán explicados en el Capítulo 9: "Descripción de la Ampliación de la Explanada de Aboño".

También será importante observar la evolución de la línea de la costa a lo largo de los años para conocer mejor la dinámica litoral que existía y los cambios que se han sufrido.

3. EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE LA COSTA

En este apartado se explica la evolución de la playa a lo largo de los últimos años para observar posibles variaciones y así entender mejor el comportamiento de la playa y del transporte de sedimentos existente.

La creación de la explanada de Aboño fue en 1986 en la entonces playa de Aboño y desde entonces no se han producido grandes modificaciones en las playas colindantes.

La base de datos para comparar la línea de costa a lo largo de los años es muy escasa ya que no se disponen de ortofotos precisamente en la explanada de Aboño anteriores a 2003. De todos modos se mostrarán una imagen de 2003 y 2004 para observar que no se producen variaciones significativas en la playa de Xivares en ese año:

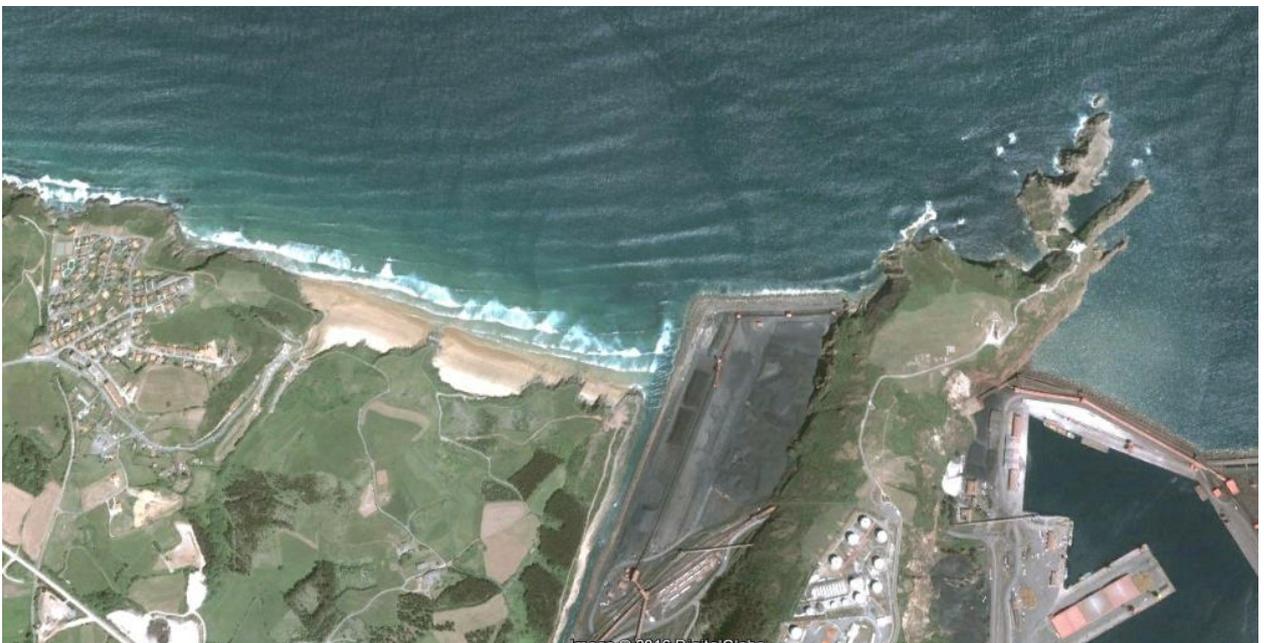


Figura 5.4. Ortofoto del 22/06/2003.



Figura 5.5. Ortofoto del 15/03/2004.

Como se observa, la forma de la playa es prácticamente igual, teniendo en cuenta que el oleaje en el momento de la captura es diferente y puede parecer distinta pero si observamos la línea de arena seca-arena húmeda se ve como la forma de la playa no varía.



CAPÍTULO 6

NIVEL DEL MAR

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del nivel del mar es un parámetro fundamental para el cálculo, el diseño de obras marítimas, estudios y para todo aquello referido a la altura de coronación del dique y también para el criterio de rotura del oleaje debido a que las alturas de ola máxima pueden quedar limitadas por la profundidad del agua, como es el caso que se estudia)

Los principales factores responsables de cambios en el nivel del mar son la marea astronómica y la marea meteorológica.

Este anejo ha sido realizado a partir de la información de un estudio previo realizado por la Confederación Hidrográfica del Norte.

2. FUENTES DE DATOS

La información necesaria para la obtención del régimen del nivel del mar se ha obtenido de registros del mareógrafo localizado en el puerto de Gijón (de donde se tienen datos desde julio de 1995), debido a su proximidad a la zona de estudio. La localización de este punto se muestra en la figura 8.1. Los niveles característicos y de referencia para dicho mareógrafo como son el nivel medio del mar en Alicante (NMMA a partir de ahora), NMM en Gijón, el Cero del Puerto, la Bajamar Media Viva Equinoccial (BMVE) y la Pleamar Media Viva Equinoccial (PMVE) se muestran esquemáticamente en la figura 6.2.

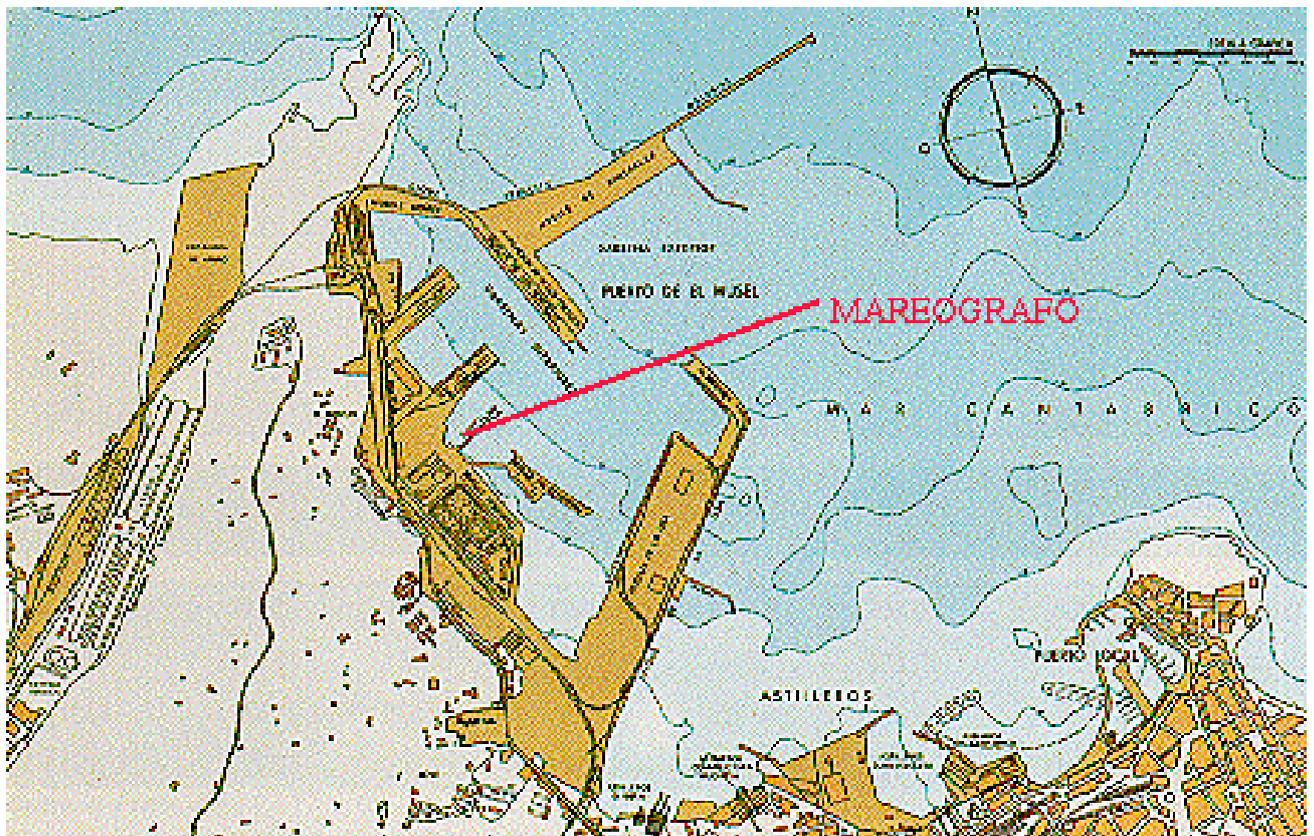


Figura 8.1. Localización del mareógrafo de Gijón.

NIVELES DE REFERENCIA

GIJÓN

Cotas en metros

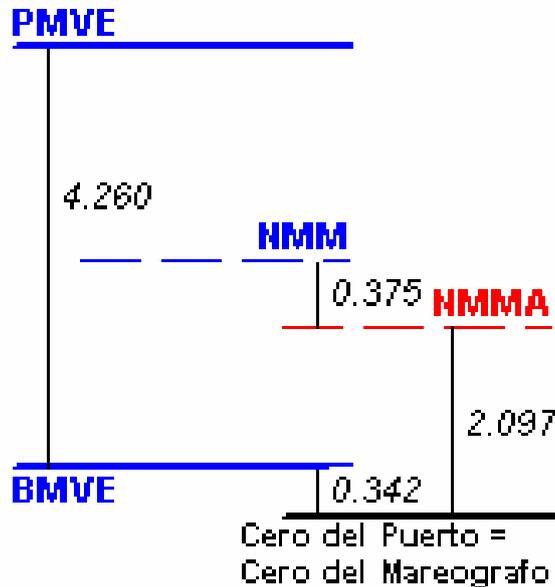


Figura 6.2. Niveles de referencia del mareógrafo de Gijón.

3. RÉGIMEN MEDIO DE MAREA ASTRONÓMICA

El nivel del mar con respecto al cero del puerto está compuesto por la suma del nivel debido a la marea astronómica y a la marea meteorológica.

La marea astronómica se produce por la atracción que los astros (Sol y Luna principalmente) ejercen sobre la masa de agua que son los océanos y que se observa como un movimiento regular de elevación del nivel del mar.

Este fenómeno varía mucho en función del punto de la Tierra que estemos considerando. En un punto en medio del océano el ascenso puede ser de 50 centímetros, mientras que cuando se propaga hacia la costa, por efecto de la plataforma continental, su amplitud aumenta, siendo especialmente importante en golfos y accidentes geográficos. España está sometida a mareas de periodo semidiurno y en la costa Norte un orden de magnitud de carrera de marea media está en torno a los 4 m.

El régimen de nivel de marea astronómica se construye con base en las componentes armónicas principales, obtenidas a partir de un análisis armónico realizado a los datos de la serie de niveles del mar. El período, la amplitud y la fase de las componentes armónicas principales se muestran en la Tabla 6.1, estando Z0 referido al cero del puerto.



Código del Armónico	Frecuencia (ciclos/hora)	Amplitud (cm)	Fase (grados)
Z0	0.000000	272.29	0.00
2Q1	0.035706	0.47	230.05
Q1	0.037218	2.10	280.54
O1	0.038730	7.03	323.96
P1	0.041552	2.24	59.22
K1	0.041780	6.83	70.69
SO1	0.044602	0.14	22.24
OQ2	0.075974	0.41	37.26
EPS2	0.076177	1.07	29.22
2N2	0.077487	3.72	55.85
MU2	0.077689	4.61	50.53
N2	0.078999	27.52	71.45
NU2	0.079201	5.23	74.37
M2	0.080511	131.08	91.20
LDA2	0.081821	0.81	97.40
L2	0.082023	3.20	108.27
T2	0.083219	2.71	117.74
S2	0.083333	45.83	123.43
R2	0.083447	0.27	160.66
K2	0.083561	13.11	121.41
ETA2	0.085073	0.59	143.58
M3	0.120767	1.21	325.76
SK3	0.125114	0.42	28.38
MN4	0.159510	1.01	271.80
M4	0.161022	2.03	316.09
MS4	0.163844	0.66	22.53



MK4	0.164072	0.18	30.17
S4	0.166666	0.19	103.74
2MK5	0.202803	0.07	94.22
2SM6	0.247178	0.06	269.66

Tabla 6.1. Componentes armónicas de la marea astronómica en Gijón. (Fuente: Puertos del Estado).

En los valores obtenidos del análisis armónico se puede observar que la marea está constituida básicamente por la componente semidiurna M2, de periodo 12 horas y 25 minutos que presenta una amplitud de 1,31 m aproximadamente, lo que equivale a una carrera de marea de 2,62 m.

Los factores de forma, F, indican qué tipo de componentes dominan los registros de marea astronómica, de forma que la marea sea semidiurna si $F = 0.00 - 0.25$, mixta pero predominantemente semidiurna si $F = 0.25 - 1.50$, mixta pero predominantemente diurna si $F = 1.50 - 3.00$, y diurna si $F > 3.00$. Este factor de forma se calcula así:

$$F = \frac{a_{K1} + a_{O1}}{a_{M2} + a_{S2}}$$

Con los datos de la tabla 6.1 y la expresión anterior, se obtiene que $F = 0.078$, por lo que se puede concluir que la marea de Gijón es una marea semidiurna.

Con la información de las amplitudes, se genera una serie temporal que puede analizarse estadísticamente y con la que se construye el régimen del nivel de marea astronómica, así como la distribución de probabilidad de la carrera de marea.

Para ello, se calcula nivel de la marea como la suma de las componentes armónicas a través de la ecuación:

$$\eta = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i * \cos(w_i * t - \phi_i)$$

donde:

- η es la cota de la superficie libre
- a_0 es el nivel medio respecto al cero del puerto
- n es el número de componentes armónicas
- a_i es la amplitud de la i-ésima componente
- w_i es la frecuencia de la i-ésima componente
- t es el tiempo
- ϕ_i es la fase de la i-ésima componente.

La serie temporal debe ser lo suficientemente larga para incluir el efecto conjunto de todas las componentes de marea astronómica.



A este efecto se le ha sumado el efecto de la marea meteorológica, calculada como el residuo de la serie a dicha composición armónica. De este modo, se ha elaborado el régimen de nivel del mar mostrado a través de su función de distribución en la figura 6.3, calculado con respecto al cero del puerto.

En la función de distribución se observa que el régimen superior de marea es de 4.6 m, que para una probabilidad de excedencia del 5% esta variable alcanza los 4.0 m y que el nivel del mar excedido el 50% del tiempo (nivel medio de marea) es de 2.5 m.

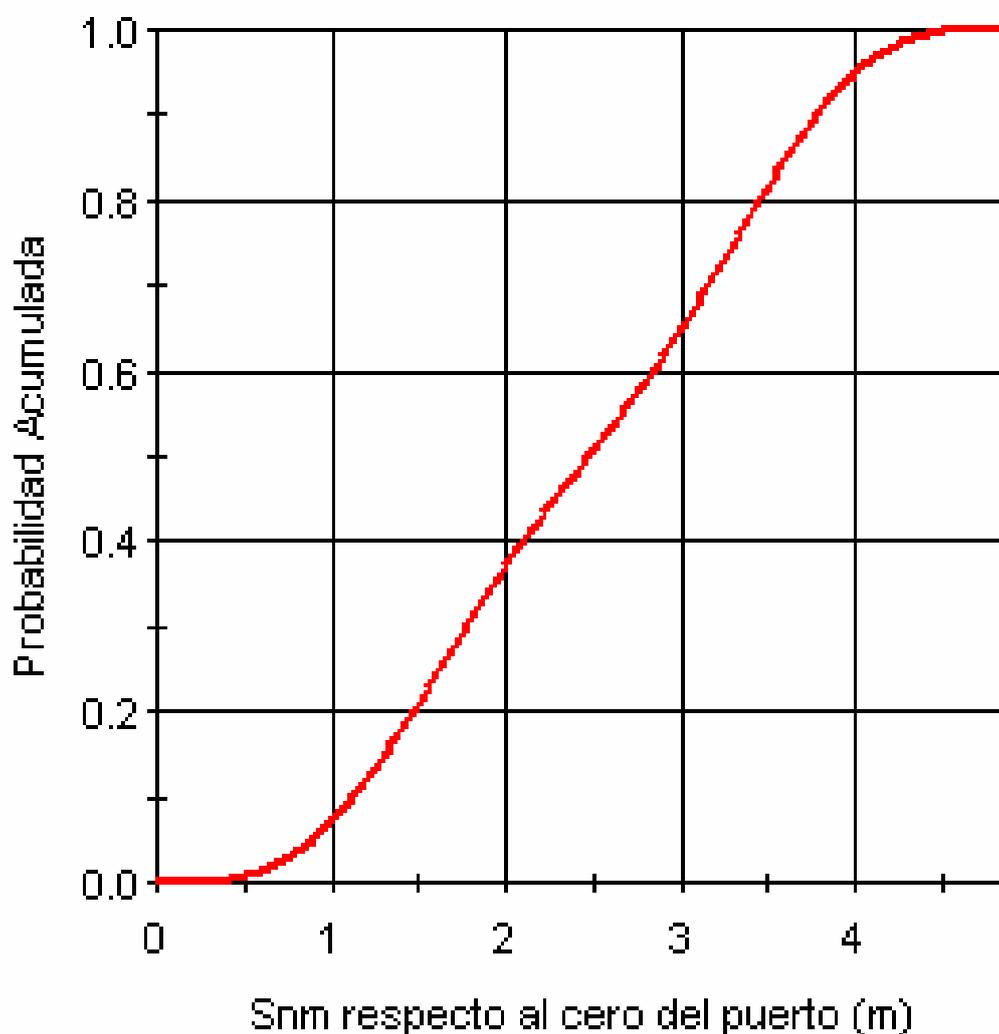


Figura 6.3. Régimen medio de nivel de marea.



4. MÁXIMO NIVEL DEL MAR

Considerando a la vez los factores de marea astronómica y marea meteorológica como se muestra en la figura 6.3, se puede concluir que, con una probabilidad de excedencia del 5%, el nivel máximo que va a alcanzar el agua será 4.0 m, referida sobre el cero del puerto.

Otros factores como la sobreelevación por rotura del oleaje en playas y la elevación por agrupación de ondas no han sido considerados en este estudio ya que la influencia de estos factores es muy pequeña y el resultado final será prácticamente igual.



CAPÍTULO 7

ESTUDIO

HIDRODINÁMICO



1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se va a analizar el oleaje que afectará a la playa y a la explanada. Para ello, primero se determinarán las características del oleaje en profundidades indefinidas para posteriormente proceder a propagarlo hasta la zona de implantación del puerto analizando el oleaje que llegará hasta la estructura, que estará influenciado por los procesos de refracción y asomeramiento debido a la batimetría y a la morfología costera.

El objetivo de este proceso de análisis es determinar los regímenes medios y extremales en los puntos objetivo que en este caso serán de una zona cercana a la de estudio y que por tanto se considerarán iguales.

Este anejo se ha realizado a partir de la información del estudio previo realizado por el IH Cantabria.

2. CLIMA MARÍTIMO

Como ha sido comentado anteriormente, el oleaje en profundidades indefinidas será el punto de partida para obtener el oleaje en un punto de la costa, tras haber sido propagado previamente.

2.1. FUENTES DE DATOS

Las fuentes de información sobre oleaje disponibles en el área próxima al puerto de Gijón proceden de tres fuentes distintas: 1) datos visuales aportados por los barcos en ruta, 2) datos obtenidos a partir de información meteorológica mediante modelos de generación de oleaje y, finalmente, 3) datos instrumentales aportados por boyas de medida. Dada la longitud de los datos de oleaje generados mediante modelos y la confiabilidad que produce su calibración con los datos instrumentales, a continuación se describe brevemente las características de estas dos últimas fuentes de datos.

- **Base de datos WASA:**

La palabra WASA proviene del acrónimo Waves and Storms in the North Atlantic. Este Proyecto fue financiado por el programa European Union's Environment y su principal objetivo fue la confrontación de la hipótesis de aumento de tormentas, tanto en intensidad como en frecuencia en el Atlántico Nororiental.

Para este propósito, el grupo WASA decidió reconstruir el clima marítimo de los últimos 50 años usando el modelo WAM de generación de oleaje y la información meteorológica existente. De esta manera se obtuvo un conjunto de datos homogéneo que cubrió todo el Atlántico Norte.

Para este estudio se ha recibido de Puertos del Estado la información correspondiente al punto de la malla 23212, de coordenadas 44° N, 6° W, denominado Cabo Peñas (Figura 9.1). Por propia recomendación de Puertos del Estado, sólo se ha utilizado la información de los 25 años comprendida entre las 00:00 horas del 1/1/1970 y las 00:00



horas del 1/1/1995, desechándose la información anterior, por la menor calidad de la base de datos meteorológicos.

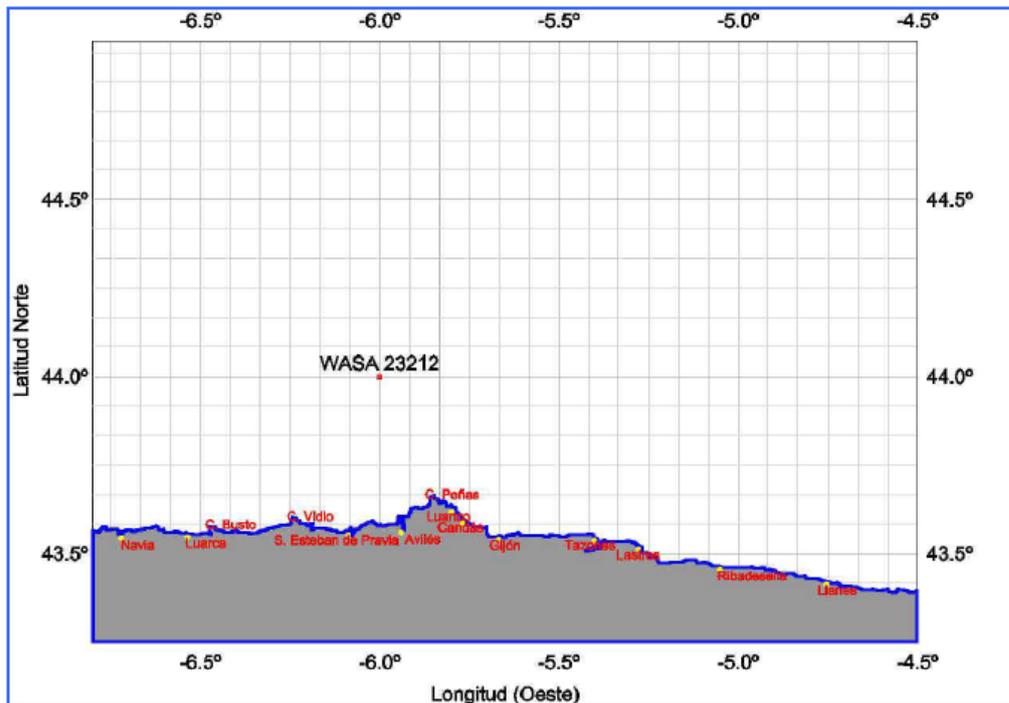


Figura 7.1. Localización del punto de malla WASA 23212.

La información se divide en estados de mar, de tres horas de duración. La información utilizada de cada estado de mar es la siguiente:

- Altura de ola del momento de orden cero espectral.
- Período de pico.
- Dirección del período de pico.

Los datos son secuenciales en el tiempo, por lo que pueden utilizarse para estudios de persistencia. El total de estados de mar es de 73048, por lo que la base de datos es considerablemente más importante que la visual.

- **Datos instrumentales:**

Los datos instrumentales de oleaje proceden de las boyas Gijón 1 y Gijón 2 fondeadas de la Red de Medida y Registro de Oleaje (REMRO) cuya posición se muestra en la figura 9.2. Las características de fondeo de estos instrumentos se presentan en la tabla 9.1. Ambas boyas son escalares de la marca Datawell, modelo waveRider.

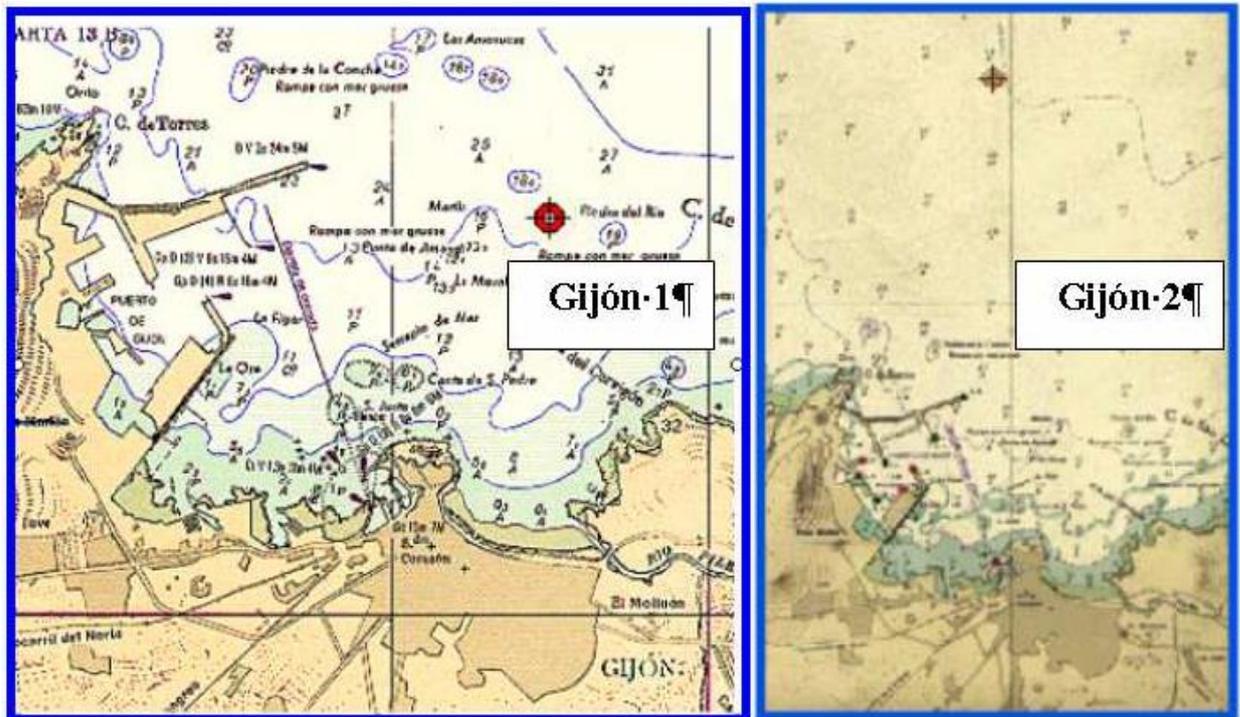


Figura 7.2. Localización de las boyas Gijón 1 y Gijón 2 de la red REMRO.

En las proximidades de la boya Gijón 2 se encuentra una boya del programa Rayo, cuyos datos no se han utilizado debido a su corta base de datos, que se inició en 1997. Asimismo, el programa RAYO mantiene una boya oceanográfica compleja en alta mar frente al cabo Vidio, con capacidad de medida de oleaje direccional. Los datos de dicha boya no se han utilizado debido también al corto periodo de medida, que se inició en Junio de 1997.

Boya	Latitud	Longitud	Profundidad (m)	Fecha inicio	Fecha final
Gijón 1	43° 34.0' N	5° 39.0' W	23	Enero 1981	Diciembre 1999
Gijón 2	43° 36.7' N	5° 40.0' W	43	Marzo 1994	Diciembre 1999

Tabla 7.1. Datos del fondeo de las boyas escalares de oleaje utilizadas.

La boya Gijón 1 inició la toma de datos registrando 20 minutos cada 4 horas, pasando durante el primer año a medir cada 3 horas, con un sistema de alarma en temporales para registrar cada hora. A partir de Abril de 1986 se modificó el esquema de toma de datos, pasando a medir cada hora. En los primeros años el número de fallos de registro es importante, apareciendo importantes huecos en la serie temporal de parámetros de estados de mar. El número total de estados de mar con registro es de 96375.

La boya Gijón 2 ha registrado durante todo el periodo de medida tomando 20 minutos cada hora. Esta boya presenta un funcionamiento más continuo que la boya Gijón 1, de manera que, en los 6 años de funcionamiento el número de estados de mar registrados es de 47097.



La información facilitada por Puertos del Estado son las series temporales de desplazamiento de la superficie libre correspondientes a algunos temporales seleccionados (para el estudio de oscilaciones de largo periodo asociadas a grupos de olas) y las series temporales de parámetros de estados de mar, en particular, para cada registro de estado de mar se dispone de los siguientes parámetros:

- Altura del momento de orden cero del espectro.
- Altura de ola máxima.
- Periodo de pico.
- Periodo medio.
- Momentos espectrales de orden 0, 1, 2, 3 y 4.

2.2. CALIBRACIÓN

Los datos de parámetros de estados de mar del WASA han sido obtenidos mediante la aplicación del programa de generación y propagación de oleaje WAM, utilizando la información meteorológica disponible. La bondad de los resultados obtenidos depende tanto de la calidad de la información meteorológica como de la capacidad del propio modelo numérico. Por estas razones, se hace necesario una calibración de los datos por comparación con datos de mayor fiabilidad, como es el caso de los datos instrumentales.

El proceso de calibrado requiere por lo tanto la ejecución de los siguientes pasos:

1. Propagación de cada uno de los datos del punto WASA hasta la posición de ambas boyas. Para esta propagación se utiliza la tabla de propagaciones espectrales previamente elaborada, interpolando el resultado de propagación en la citada tabla, tomando la altura de ola significativa y el período de pico.
2. Elaboración de los regímenes escalares instrumentales y WASA en los puntos de localización de ambas boyas, y determinación del polinomio de la altura de ola y período de pico WASA que es necesario aplicar para que ambos regímenes coincidan en ambas boyas.
3. Obtenidos los dos polinomios, se aplican a los datos WASA para transformación a altura significativa y período de pico.
4. La transformación del punto 3 modifica el período, lo que a su vez puede modificar la propagación. Por ello, es preciso ejecutar de nuevo los puntos 1 y 2 para determinar si siguen coincidiendo los regímenes. En caso contrario, se aplican nuevos polinomios a los datos visuales hasta que se consigue que tras la propagación de los datos transformados los regímenes coincidan en ambas boyas.

En este caso han sido necesarias tres iteraciones para conseguir un buen ajuste entre los regímenes medios escalares obtenidos a partir de los datos del WASA propagados hasta las boyas y los correspondientes de las boyas. Los polinomios finales que



transforman los datos de altura de ola significativa y período de pico del WASA a datos de altura de ola significativa y período de pico instrumental son los siguientes:

- Altura de ola significativa WASA a altura de ola significativa instrumental:

$$H_s = -0.24352 + 1.15091 H_{\text{wasa}} - 0.03276 H_{\text{wasa}}^2 \quad H_{\text{wasa}} \leq 2.0 \text{ m}$$

$$H_s = -0.42694 + 1.25174 H_{\text{wasa}} - 0.03563 H_{\text{wasa}}^2 \quad H_{\text{wasa}} > 2.0 \text{ m}$$

- Período de pico WASA a período de pico instrumental:

$$T_p = 0.96113 * T_{p \text{ wasa}} - 1.19254$$

En las figuras 9.3 a 9.6 se presentan los ajustes obtenidos de los regímenes escalares instrumentales y los obtenidos con los WASA propagados.

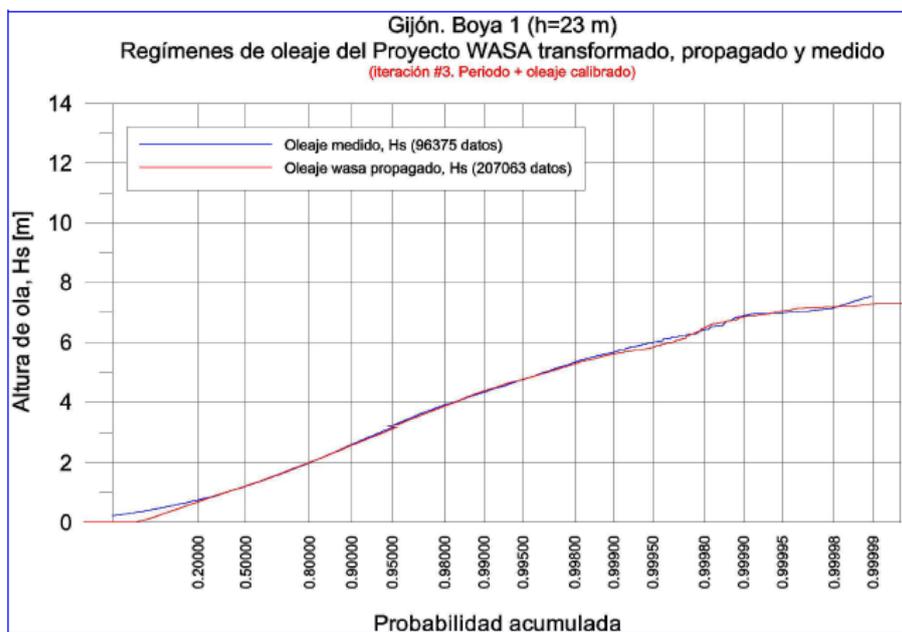


Figura 7.3. Ajuste del régimen medio escalar de altura de ola significativa en la boya 1 con los datos WASA propagados.

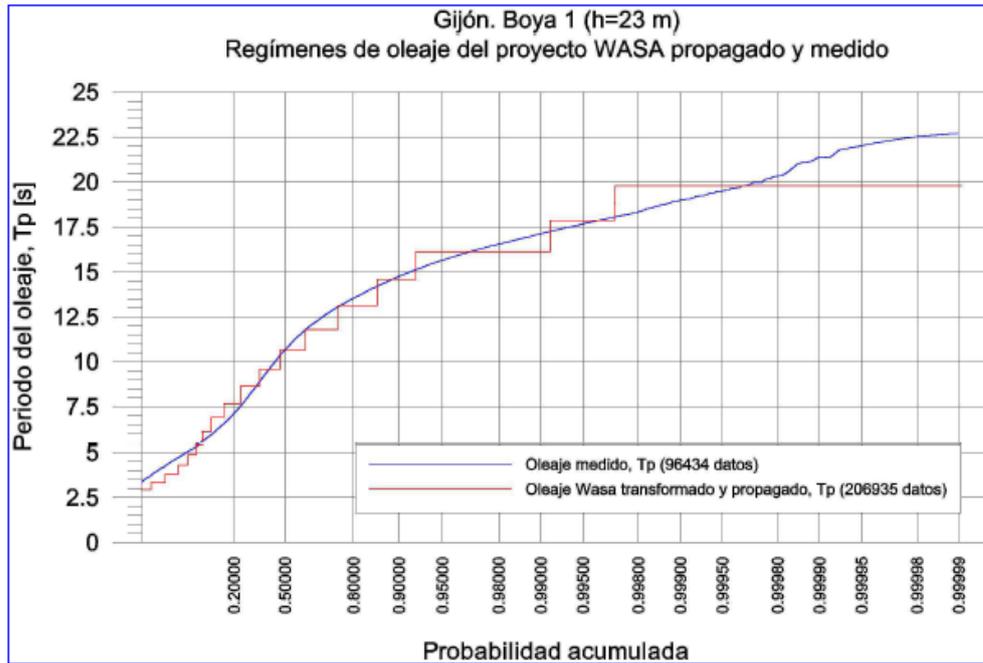


Figura 7.4. Ajuste del régimen medio escalar de periodo de pico en la boya 1 con los datos WASA propagados.

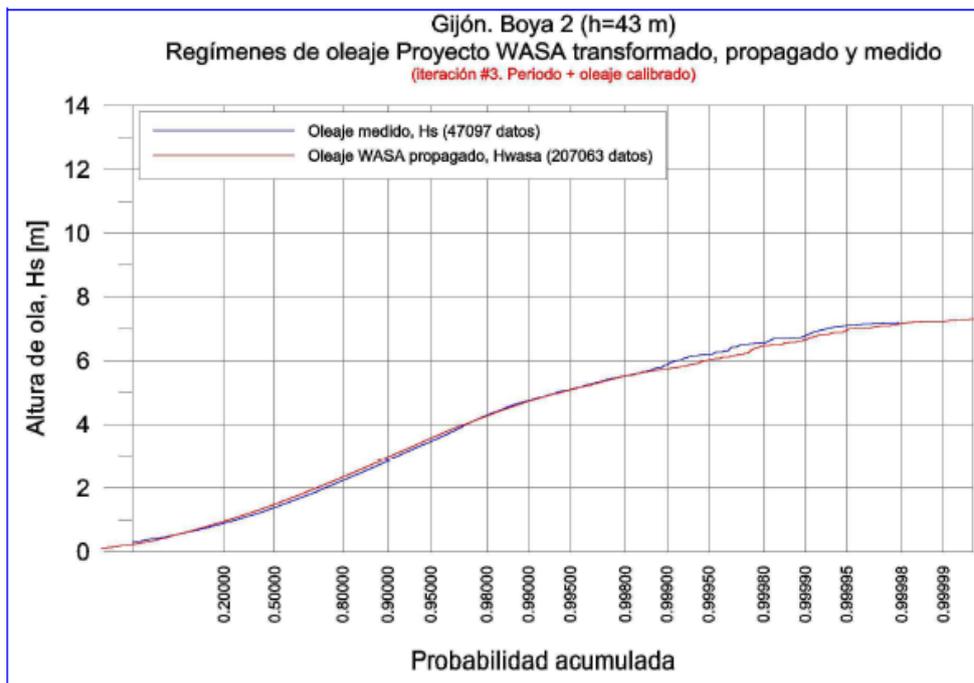


Figura 7.5. Ajuste del régimen medio escalar de altura de ola significativa en la boya 2 con los datos WASA propagados.

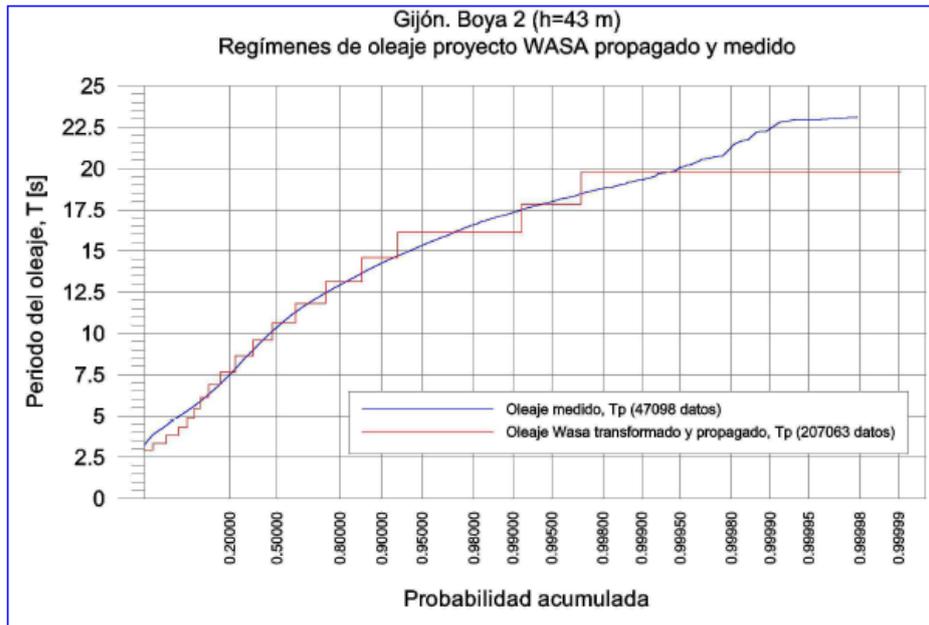


Figura 7.6. Ajuste del régimen medio escalar de periodo de pico en la boya 2 con los datos WASA propagados.

2.3. REGÍMENES MEDIOS EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

En este apartado se describe la metodología seguida para la obtención de los regímenes medios anuales de oleaje en profundidades indefinidas frente a Gijón.

Los regímenes medios que se presentan son los direccionales y escalares de los parámetros de estado de mar altura de ola significativa, H_s y período de pico, T_p .

Los regímenes direccionales se han organizado en sectores de 22.5° en el arco correspondiente al 4º y 1er cuadrante. Los sectores del Oeste y del Este sólo contienen datos en los arcos de 11.25° correspondientes al 4º y 1er cuadrante, respectivamente. Los sectores considerados son los descritos en la tabla 9.2.



Dirección	Sector	Porcentaje del tiempo %
W	$270^\circ < \theta \leq 281.25^\circ$	11.1
WNW	$281.25^\circ < \theta \leq 303.75^\circ$	38.3
NW	$303.75^\circ < \theta \leq 326.25^\circ$	30.6
NNW	$326.25^\circ < \theta \leq 348.75^\circ$	9.8
N	$348.75^\circ < \theta \leq 11.25^\circ$	1.8
NNE	$11.25^\circ < \theta \leq 33.75^\circ$	3.1
NE	$33.75^\circ < \theta \leq 56.25^\circ$	2.3
ENE	$56.25^\circ < \theta \leq 78.75^\circ$	2.1
E	$78.75^\circ < \theta \leq 90^\circ$	0.9
Escalar	$270^\circ < \theta \leq 90^\circ$	100

Tabla 7.2. Sectores correspondientes a cada dirección en los regímenes medios.

Dado que el punto WASA del que se toman los datos se encuentra a 44° de latitud Norte, unos 40 km al Norte de Cabo Peñas, existe un pequeño número de observaciones en los que la energía del pico espectral de oleajes del 2º y 3er cuadrantes supera a la existente en el 4º y 1er cuadrantes. Estos casos corresponden a situaciones de viento del Suroeste, que generan un SEA que en determinadas ocasiones supera al SWELL habitual del 4º cuadrante. El porcentaje del tiempo en que se producen estas situaciones es del 5.57 %. La asignación de estos datos a calmas es erróneo debido a que el SWELL correspondiente no tiene por qué ser necesariamente pequeño. Por estas razones, se ha optado por eliminar estas situaciones de la base de datos, trabajando solamente con la información del 4º y 1er cuadrante, que de esta manera suman el 100% de los datos. Con estas consideraciones, los porcentajes del tiempo asignados a cada dirección se encuentran en la 3ª columna de la tabla previa

- **Regímenes medios de altura de ola significativa, Hs:**

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\lambda}{\delta}\right)\right)$$

En la tabla 7.3 se presentan los parámetros de ajuste de ambos tramos de los regímenes medios direccionales y escalar de altura de ola significativa y la altura de ola significativa que separa ambos tramos de cada régimen.



Dirección	Rama alta		Rama baja		H_s
	λ	δ	λ	δ	
W	6.688	0.428	2.227	1.460	8.48
WNW	5.475	0.534	2.002	1.318	7.90
NW	4.119	0.591	1.674	1.109	6.94
NNW	3.366	0.446	1.325	0.804	5.91
N	2.872	0.397	1.222	0.628	5.66
NNE	2.719	0.208	1.175	0.535	3.69
NE	2.101	0.284	1.259	0.516	3.12
ENE	2.754	0.187	1.379	0.486	3.61
E	4.669	0.000	1.486	0.562	4.66
Escalar	5.558	0.491	1.558	1.268	8.09

Tabla 7.3. Valores de ajuste de los parámetros de los regímenes medios direccionales y escalar de altura de ola significativa en las ramas superior e inferior y valor de H_s que limita ambas ramas. Profundidades indefinidas.

En las figuras 7.7 y 7.8 se presentan los ajustes de los regímenes medios escalar y direccional de altura de ola. En la parte superior de las figuras de los regímenes direccionales se presenta una rosa en la que se indica la proporción del tiempo con oleajes de la dirección correspondiente.

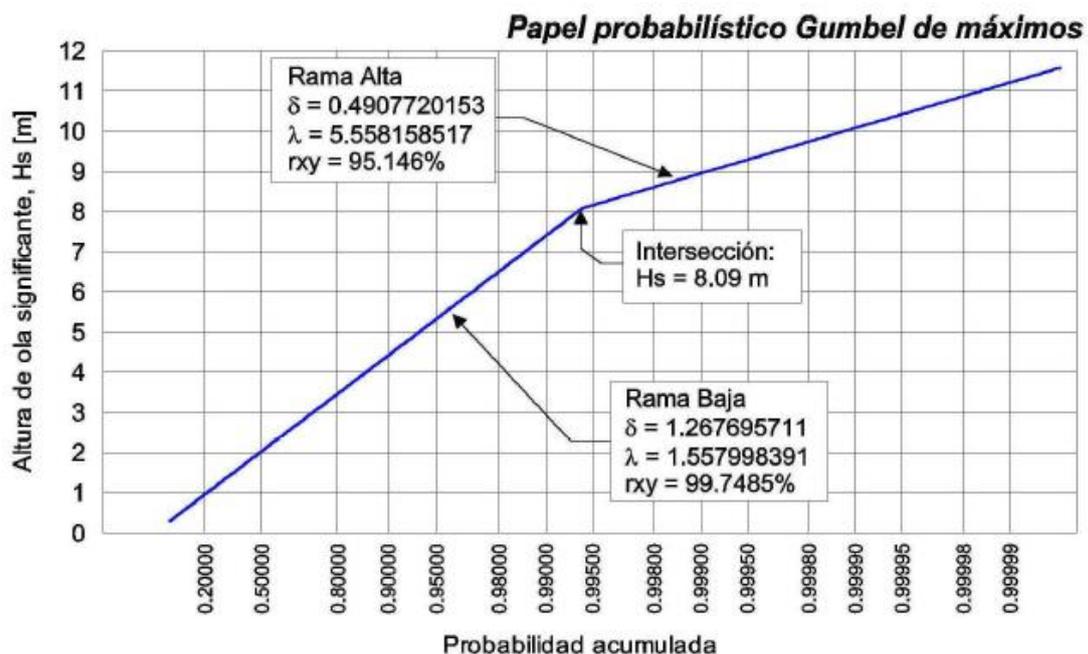


Figura 7.7. Régimen medio escalar de altura de ola.

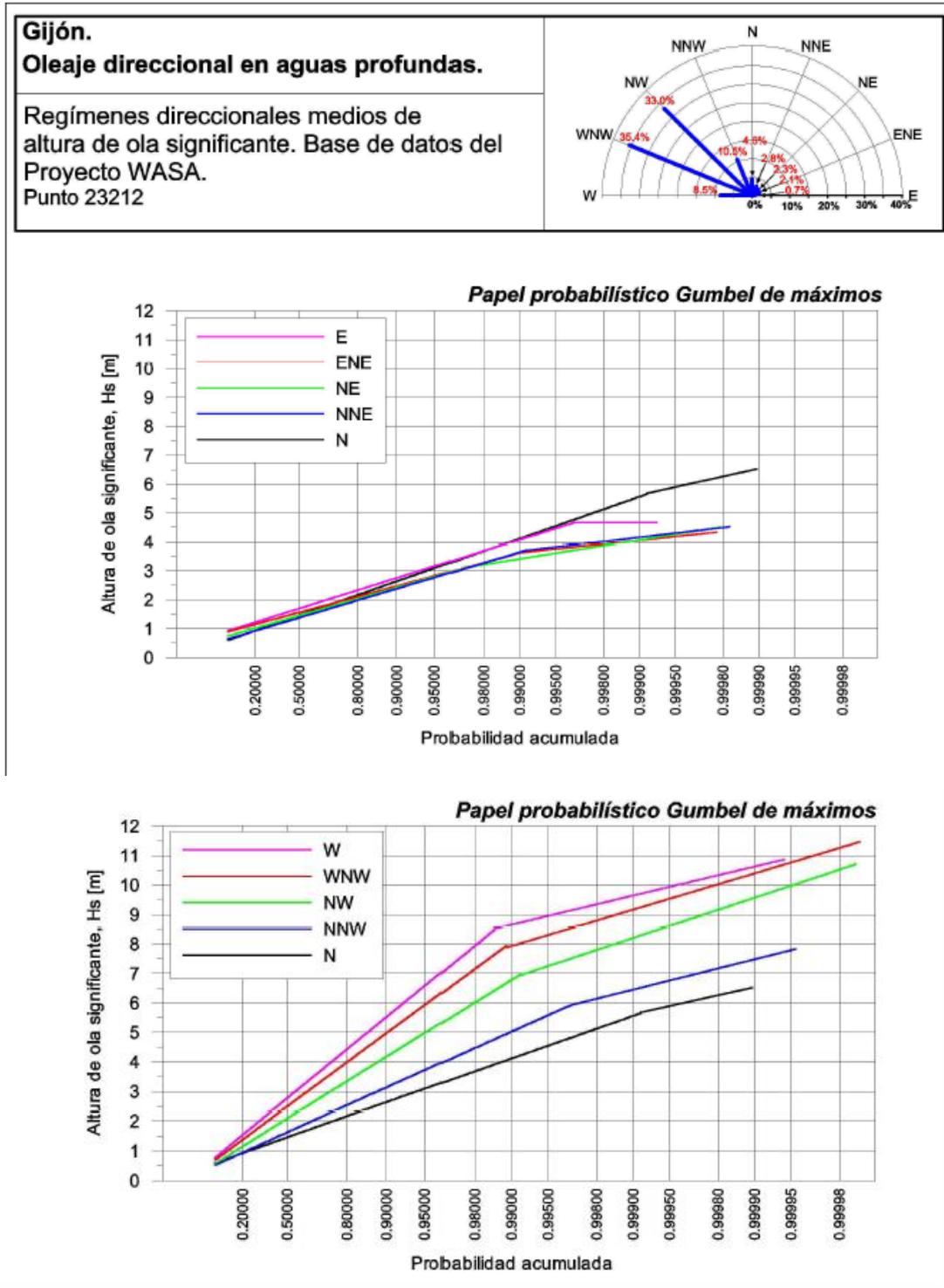


Figura 7.8. Régimen medio direccional de altura de ola.



- **Regímenes medios de periodo de pico, T_p :**

En este caso, la función de distribución utilizada es una Weibull triparamétrica de máximos, con expresión general dada por:

$$F(T_p) = P(T_p \leq T_{p_0}) = \exp\left(-\left(\frac{\lambda - T_p}{\delta}\right)^\beta\right)$$

En la tabla 7.4 se presentan los parámetros de ajuste de los regímenes medios direccionales y escalar de periodos de pico.

Dirección	λ	δ	β
E	20.982	16.604	19.231
ENE	24.000	19.706	21.943
NE	20.000	15.264	7.5767
NNE	20.000	13.988	5.4232
N	18.739	11.505	5.0065
NNW	25.283	17.092	7.9346
NW	31.956	22.358	8.9236
WNW	26.384	16.163	5.7702
W	24.332	14.021	4.8286
Escalar	23.646	14.422	4.823

Tabla 7.4. Valores de ajuste de los parámetros de los regímenes medios direccionales y escalar de periodo de pico. Profundidades indefinidas.

En las figuras 7.9 y.10 se presentan los ajustes de los regímenes medios escalar y direccionales de período de pico. En la parte superior de las figuras de los regímenes direccionales se presenta una rosa en la que se indica la proporción del tiempo con oleajes de la dirección correspondiente.

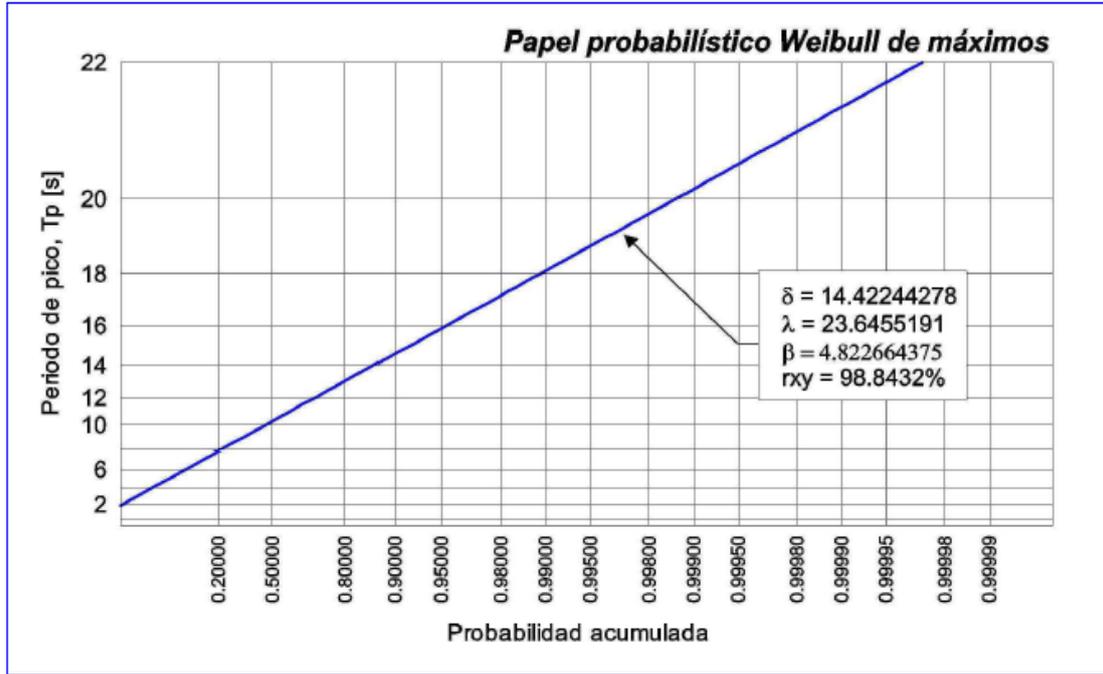


Figura 7.9. Régimen medio escalar de periodo de pico.

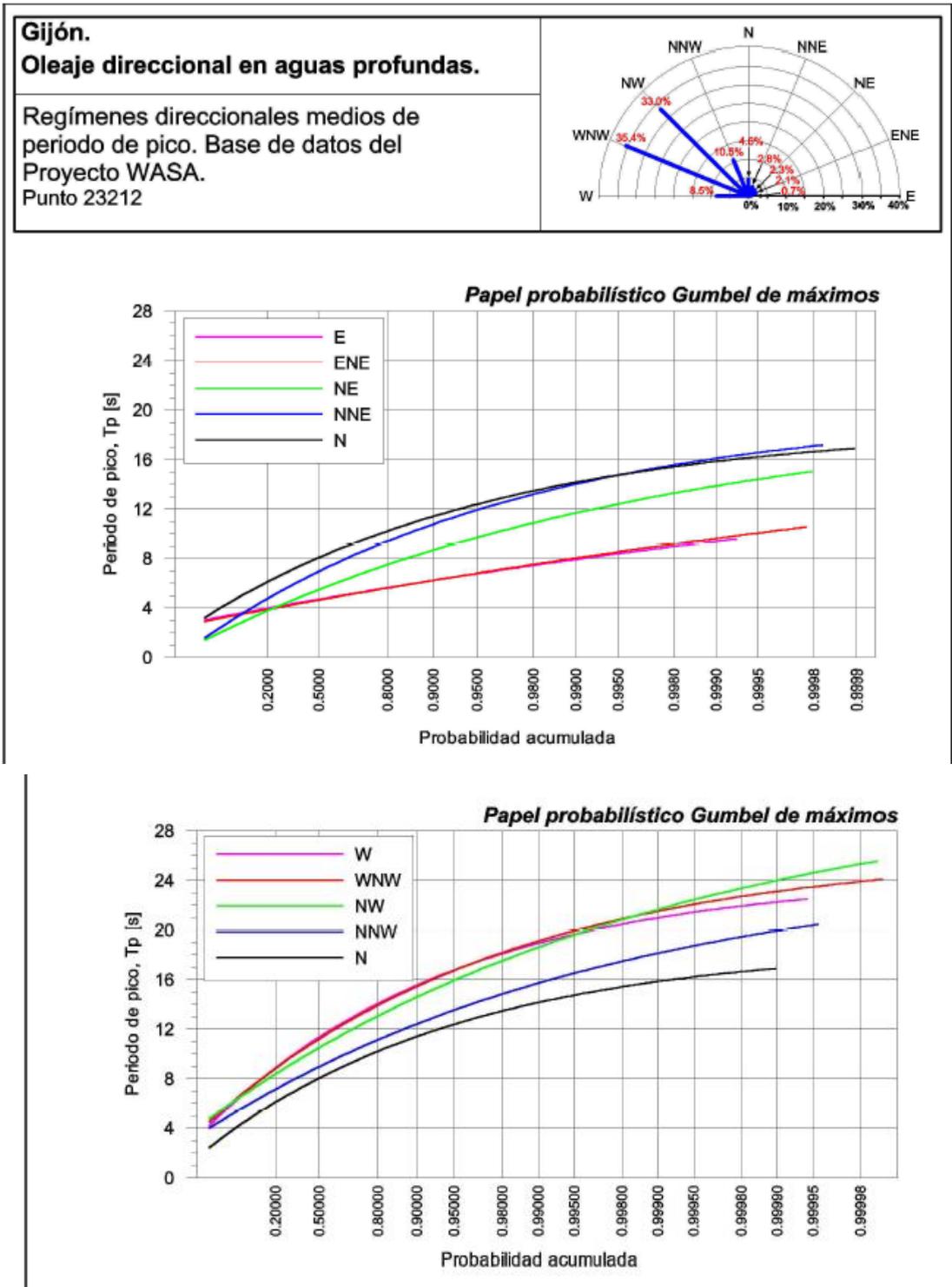


Figura 9.10. Régimen medio escalar de periodo de pico.



2.4. REGÍMENES EXTREMALES EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

En este apartado se describe la metodología seguida para la obtención de los regímenes extremos escalar y direccional de la altura de ola significativa, H_s , en profundidades indefinidas frente a Gijón.

Para la determinación del régimen extremal en un determinado punto se busca la mayor altura de ola significativa de cada uno de los años de la base de datos y se obtiene la probabilidad acumulada, $i/(n+1)$, y el período de retorno asociado, $T_r = 1/(1-P)$.

Estos datos ordenados se ajustaron a una función de distribución Gumbel de máximos, que se expresa mediante la función:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\lambda}{\delta}\right)\right)$$

En la figura 7.11 se presenta el gráfico con el régimen extremal obtenido, definido como la distribución del valor máximo anual de una variable de estado de mar en profundidades indefinidas frente al puerto de Gijón. El régimen extremal que se presenta es el escalares de altura de ola significativa, H_s .

La obtención del régimen extremal escalar en profundidades indefinidas se ha realizado mediante la selección del valor máximo anual de H_s , ya que la serie WASA es lo suficientemente extensa (25 años) como para que este método sea más fiable que un método de excedencias. Tal como se hizo para los regímenes medios, los máximos anuales se ajustan a una distribución Gumbel de máximos.

Para el ajuste se busca el ajuste Gumbel sólo con los datos de la cola superior de la distribución. Nótese cómo las alturas de ola significativa de 20 y 100 años de periodo de retorno son más o menos, respectivamente, 10.5 y 11.5 m.

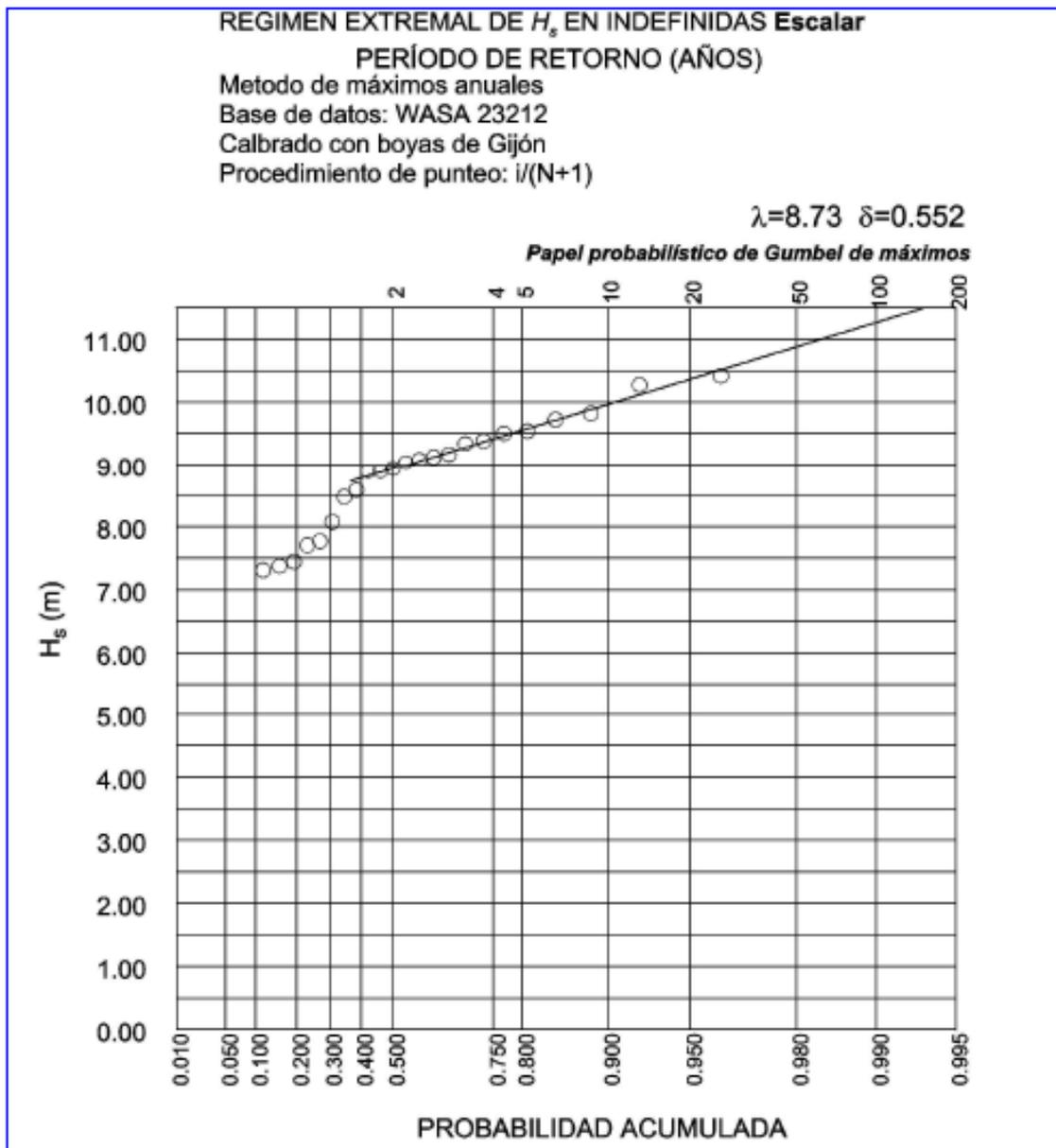


Figura 7.11. Régimen extremal escalar en profundidades indefinidas.

3. OLEAJE EN LA ZONA DE ESTUDIO

La propagación del oleaje tiene 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 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, con los coeficientes de propagación y los ángulos de incidencia en la profundidad objetivo, de manera que sea posible propagar posteriormente los regímenes desde profundidades indefinidas hasta dichos puntos.



A lo largo de este apartado se incluye una descripción detallada del procedimiento seguido para la construcción de los regímenes extremos de oleaje sobre el emisario de Aboño. Una vez conocidos los resultados en los puntos objetivos de este estudio, se aproximarán los datos de uno de ellos a las características del oleaje en el punto objetivo de este proyecto debido a la cercanía de estos puntos. Este análisis comprende también la descripción del modelo de propagación del oleaje, y las mallas y casos utilizados en este proceso.

3.1. METODOLOGÍA DE PROPAGACIÓN DE OLAJE

En la determinación de los regímenes extremos en diferentes puntos localizados sobre el emisario de Aboño, se ha utilizado un modelo espectral de propagación de oleaje que resuelve la ecuación de la pendiente suave en su aproximación parabólica por medio un modelo en diferencias finitas, denominado OLUCA-SP. Este modelo numérico empleado para la propagación incorpora todos los procesos fundamentales asociados a la propagación del oleaje (refracción, difracción, asomeramiento y rotura), además de términos no lineales, simulación de la capa límite turbulenta o laminar y rugosidad por fondo, entre otros.

El modelo fue desarrollado inicialmente en la Universidad de Delaware, E.U., y mejorado posteriormente por el Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas (GIOC) de la Universidad de Cantabria. Entre estas mejoras se encuentra su capacidad para la propagación de oleaje irregular, definido mediante la expresión de un espectro bidimensional (frecuencial y direccional), en el borde exterior de la malla de propagación.

3.2. MALLAS DE PROPAGACIÓN Y CASOS PROPAGADOS

El amplio arco de direcciones propagadas, de 140° , exige la construcción de diferentes mallas de propagación, según la dirección de incidencia en profundidades indefinidas.

En total se ha realizado 5 mallas, una para cada dirección de propagación (figuras 7.12 a 7.16). En el caso de las mallas del N70W y del NW, la gran extensión de la malla ha obligado a anidar dos mallas, ver figuras 7.12 y 7.13. Todas las mallas en la zona de las obras tienen una resolución comprendida entre 25 y 30 m (la resolución de los cálculos es 5 veces superior). En el caso de mallas anidadas, las mallas exteriores tienen una resolución de unos 100 m.

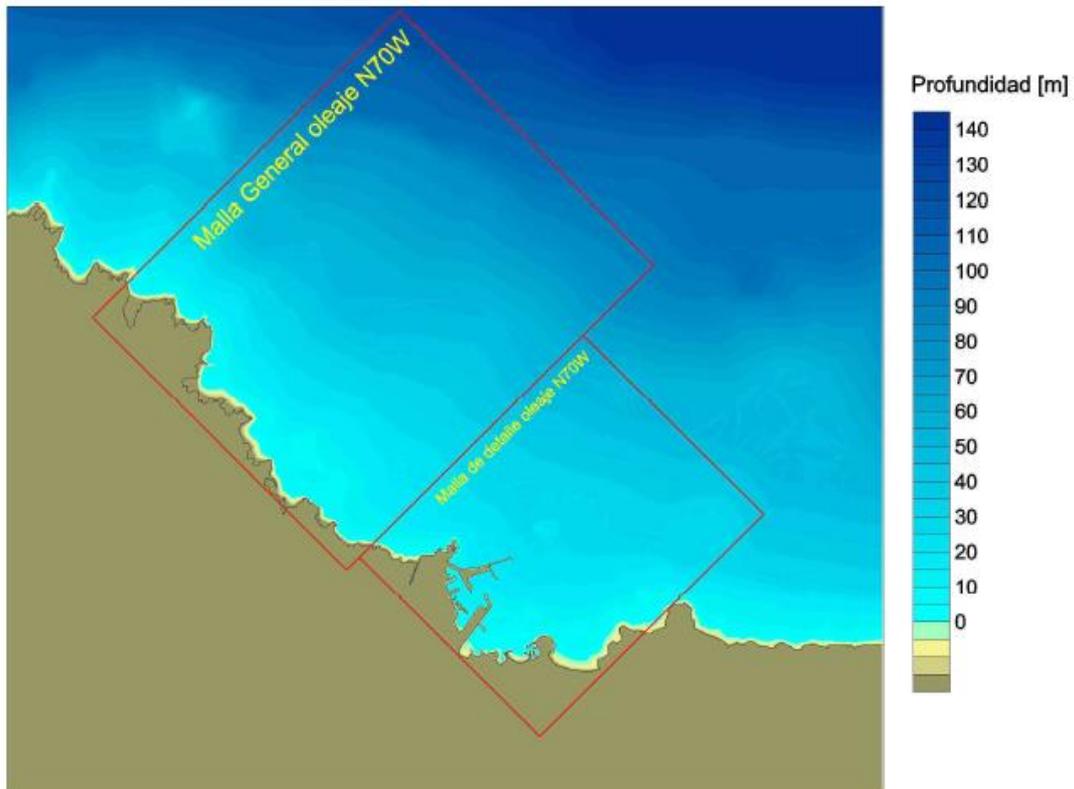


Figura 7.12. Malla de propagación del N70W.

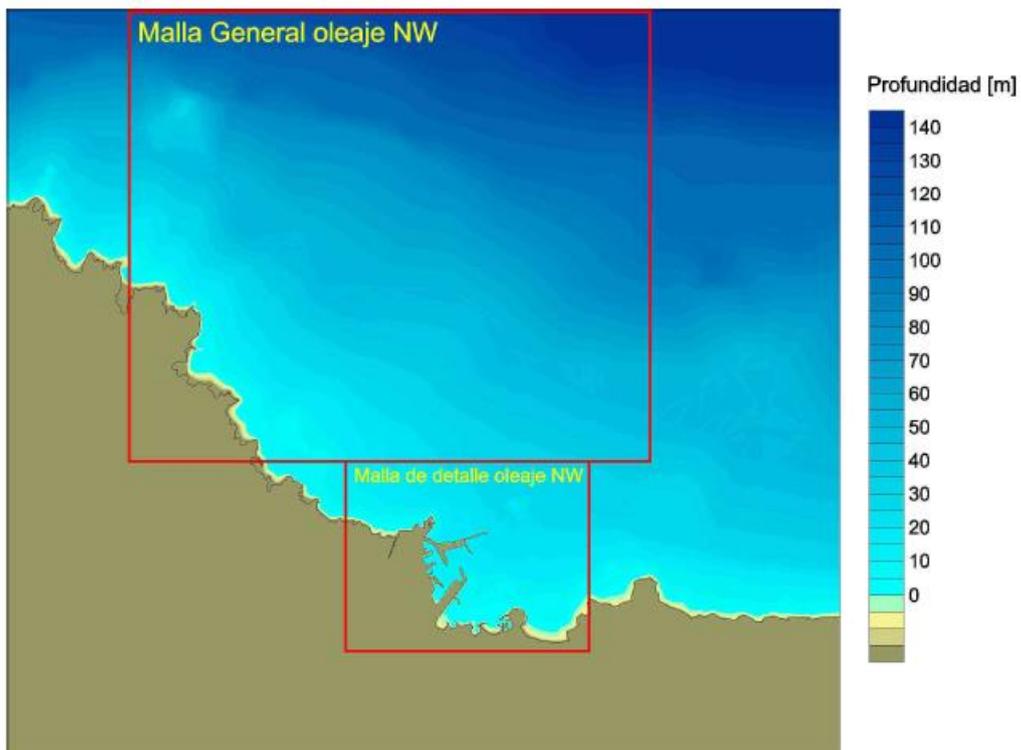


Figura 7.13. Malla de propagación del NW.

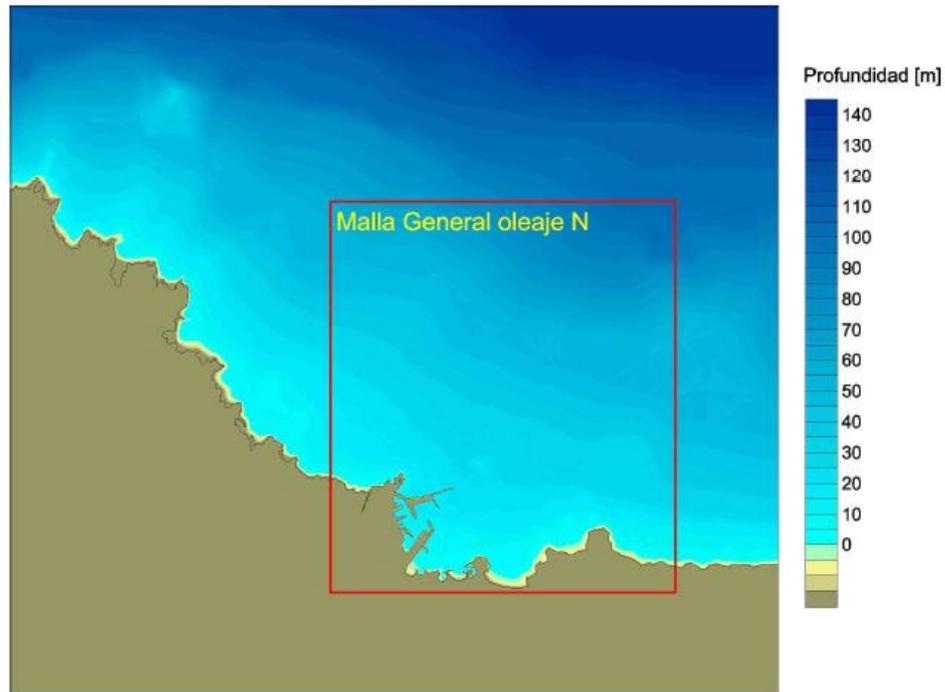


Figura 7.14. Malla de propagación del N.

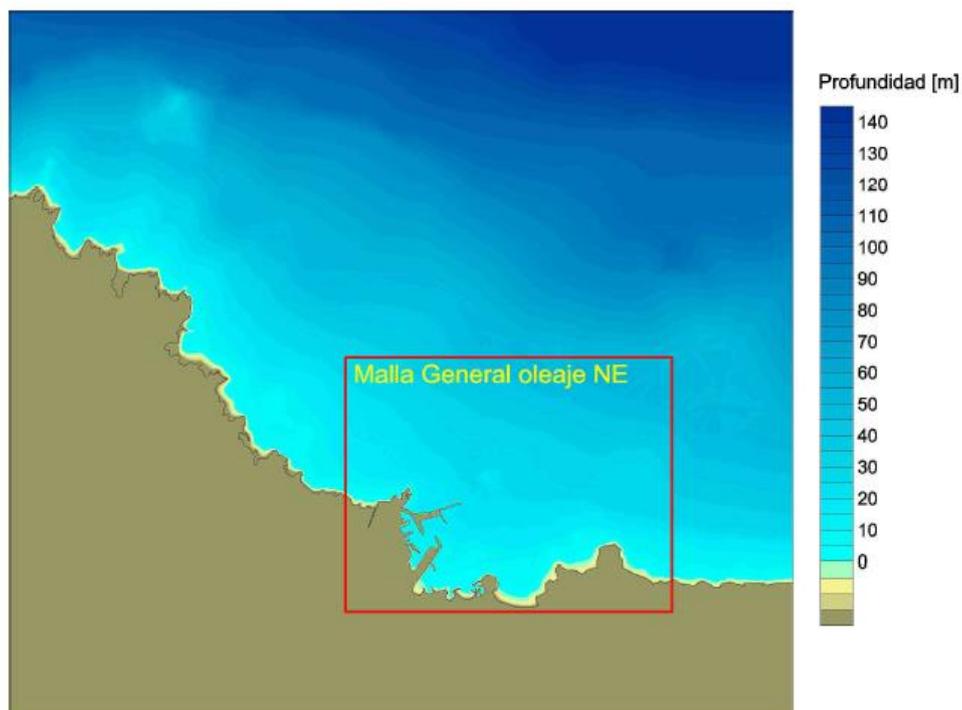


Figura 7.14. Malla de propagación del NE.

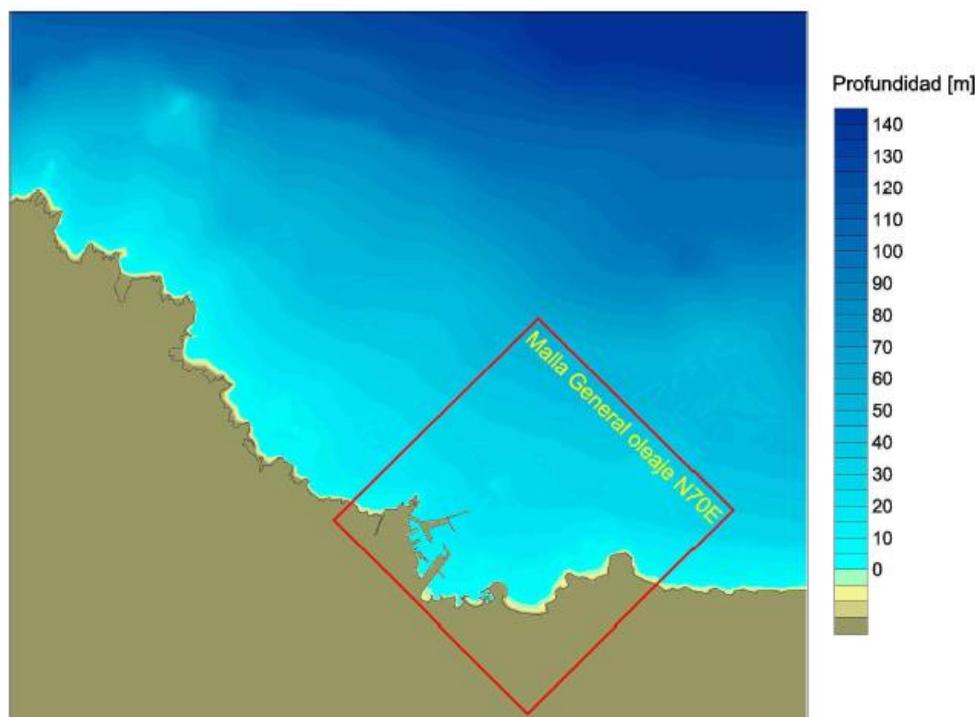


Figura 7.15. Malla de propagación del N70E.

3.3. PROPAGACIÓN DEL OLAJE

Como se mencionó anteriormente, la propagación del oleaje desde profundidades indefinidas hasta el puerto se ha realizado mediante el uso del modelo numérico de propagación de oleaje OLUCA-SP. Dicho modelo permite propagar un espectro direccional de oleaje cualquiera, definido por la forma espectral, altura de ola significativa, período de pico y función de dispersión direccional.

Para este trabajo se han propagado espectros tipo TMA (Bows 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, asociada con la altura del momento cero del espectro
- T_p : Período de pico
- θ_m : Dirección media
- γ : Factor de ensanchamiento del pico
- σ_θ : Parámetro de dispersión angular

En total se han propagado 138 casos, con el fin de obtener, para cada uno de ellos, el coeficiente de propagación y el ángulo de incidencia del oleaje en varios puntos alrededor de la zona de localización del dique de abrigo.



Los parámetros γ , σ_θ y θ_m se mantienen fijos para cada dirección, quedando como variables la altura de ola significativa y el período de pico. Los primeros parámetros, γ y σ_θ , de caracterización de la forma del espectro bidimensional sólo dependen del período de pico, para los que se han utilizado valores en función de la dirección del oleaje, que está íntimamente ligada al período de oleaje o , lo que es lo mismo, al tipo de oleaje, SEA o SWELL.

Otra variable de la propagación es el nivel del mar con respecto al cero del puerto utilizado en la propagación. Se han empleado tres niveles diferentes: 1, 3 y 5 m sobre el cero. Las direcciones propagadas son 5: N70W, NW, N, NE, N70E.

La tabla 7.5 muestra los casos propagados.

θ	γ	σ_θ	h (m)	Hs (m)	Tp (s)	Casos	Nº casos
NW	8	10°	1, 3, 5	2, 5, 7	7, 10, 14, 18	1 - 36	36
				9	10, 14, 18	40 - 48	9
				12	14, 18	55 - 60	6
N70W	8	10°	1, 5	2, 7	7, 10, 14, 18	8A – 8H 8M – 8T	16
				12	7, 10	8I, 8J 8U, 8V	4
				5	14, 18	8K, 8L 8W, 8X	4
N	5	12°	1, 3, 5	2, 5, 7	7, 10, 14	61 – 69 73 – 81 85 - 93	27
				9	10, 14	100 - 105	6
NE	4	15°	1, 3, 5	2, 5, 7	7, 10	121 – 126 133 – 138 145 - 150	18
N70E	4	15°	1, 5	2, 5, 7	7, 10	9M – 9X	12

Tabla 7.5. Características de los casos propagados.

Los resultados obtenidos en cada propagación se almacenan en ficheros 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.
- Gráfica de isofases.
- Gráfica de superficie libre.

Dado el elevado volumen de figuras que supondría la presentación de todas las gráficas de propagación, se ha optado por presentar en este informe un ejemplo de las gráficas de isoalturas y de vectores de los temporales de cada una de las direcciones.

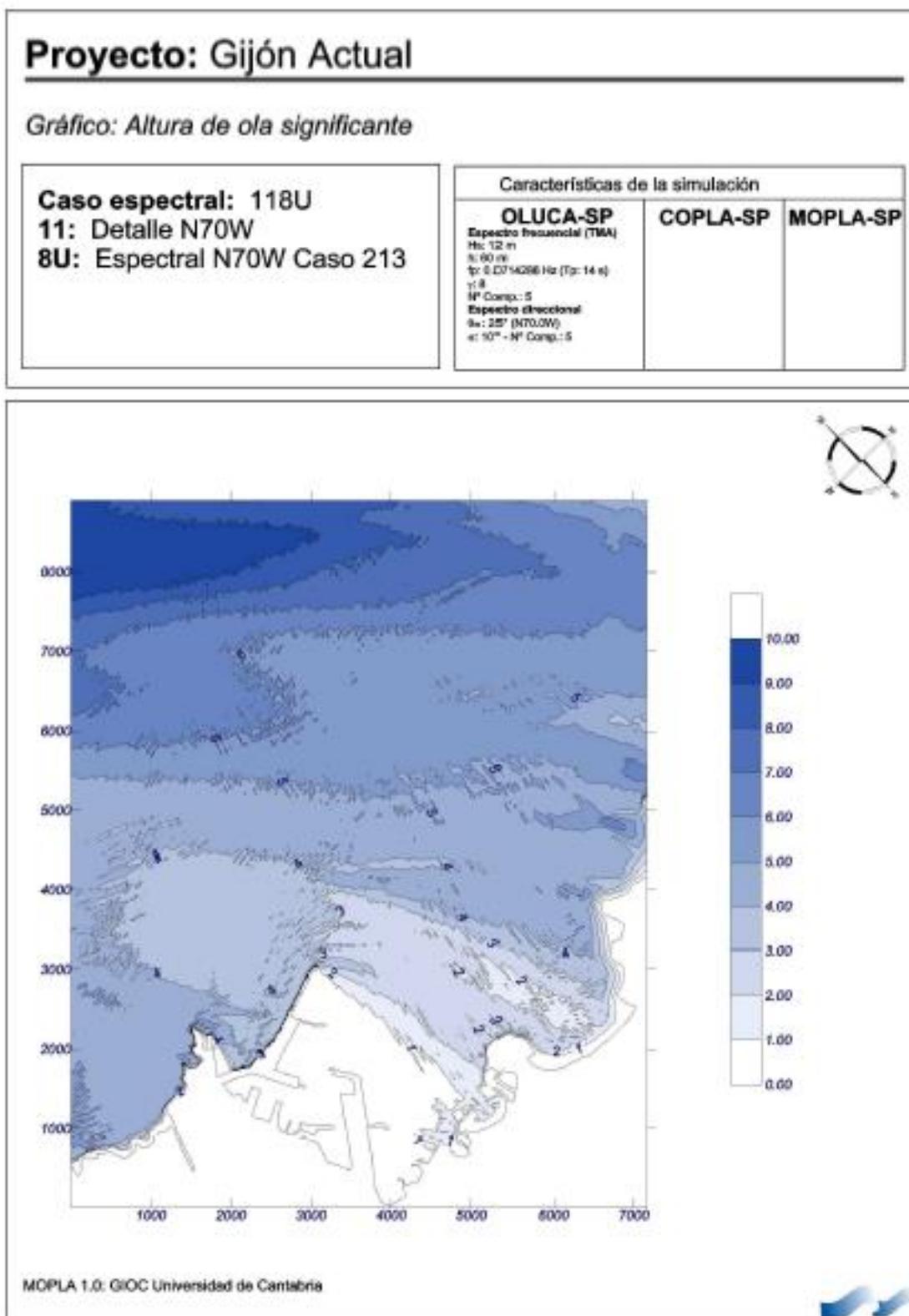


Figura 7.16. Gráfica de isoalturas, para la dirección N70W, $h = 5$ m, $H_s = 12$ m, $T_p = 14$ s.



Proyecto: Gijón Actual

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa

Caso espectral: 118U
11: Detalle N70W
8U: Espectral N70W Caso 213

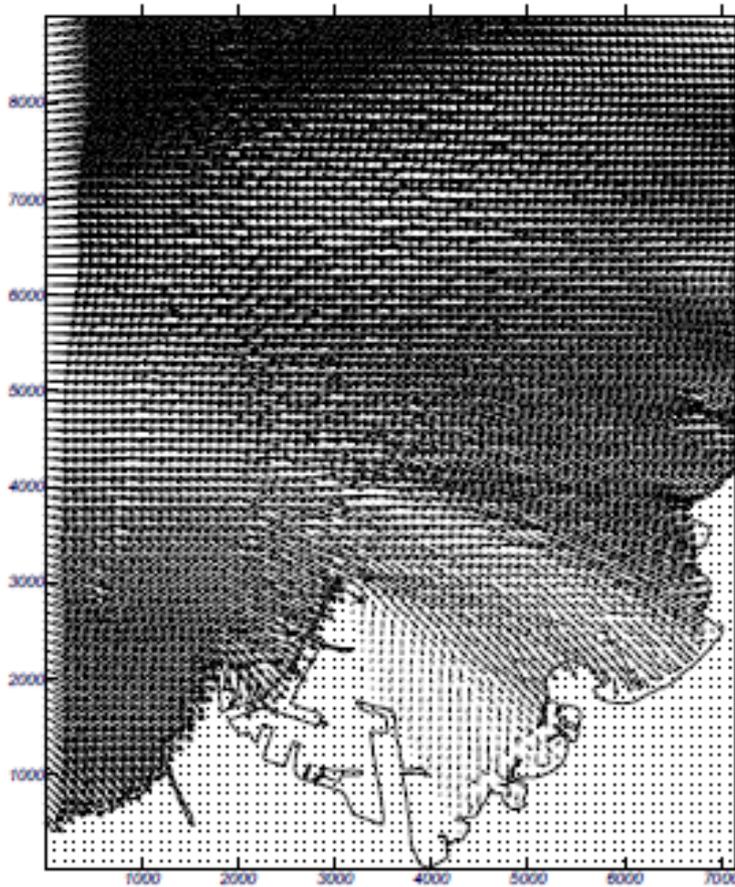
Características de la simulación

OLUCA-SP

Espectro frecuencial (TMA)
Hs: 12 m
h: 60 m
fp: 0.0714286 Hz (Tp: 14 s)
 γ : 3
Nº Comp.: 5
Espectro direccional
 θ : 25° (N70.0W)
m: 10° - Nº Comp.: 5

COPLA-SP

MOPLA-SP



MOPLA 1.0: GIOC Universidad de Cantabria

Figura 7.17. Gráfica de vectores, para la dirección N70W, $h = 5$ m, $H_s = 12$ m, $T_p = 14$ s.

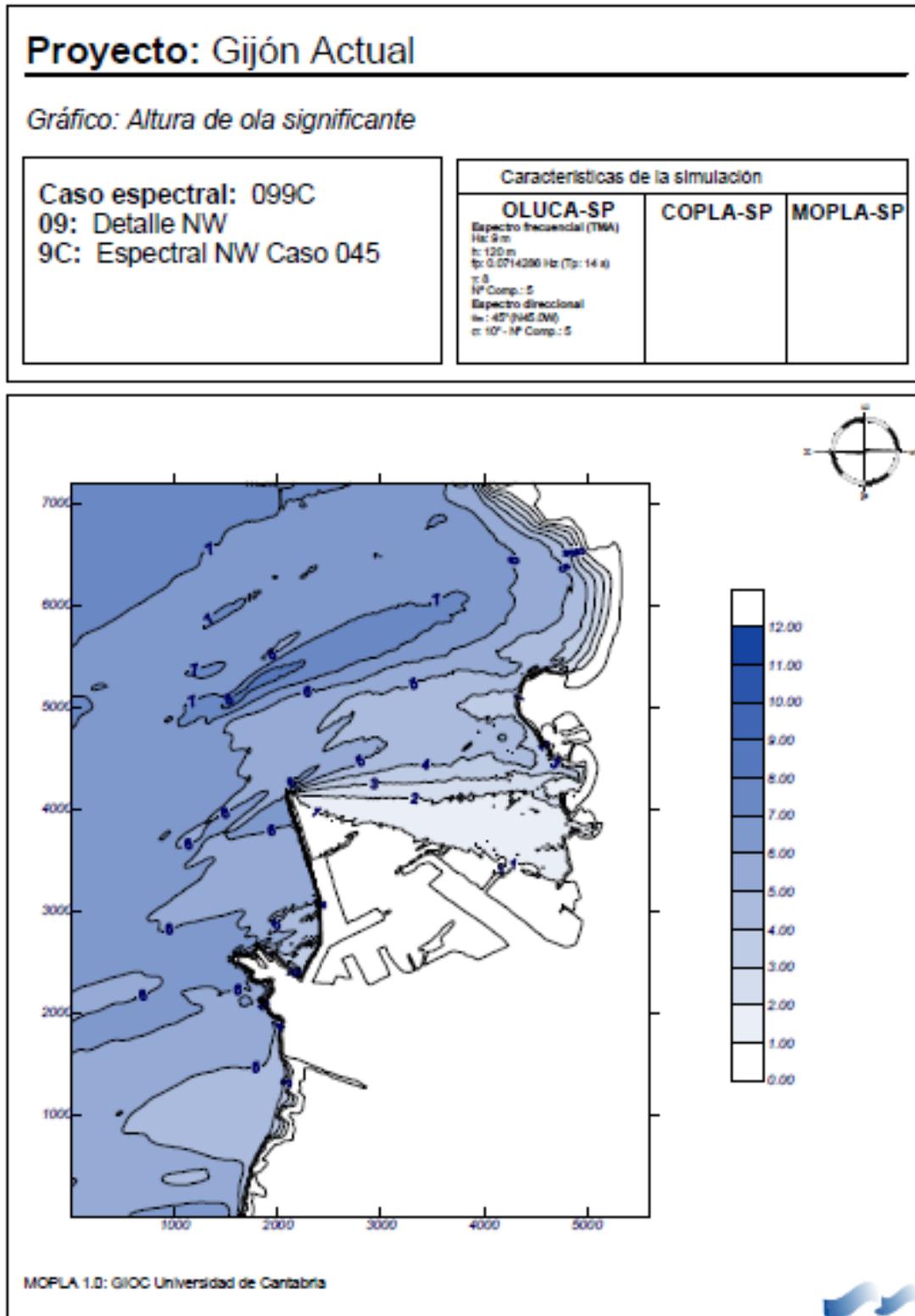


Figura 7.18. Gráfica de isoalturas para la dirección NW, $h = 5$ m, $H_s = 9$ m, $T_p = 14$ s.

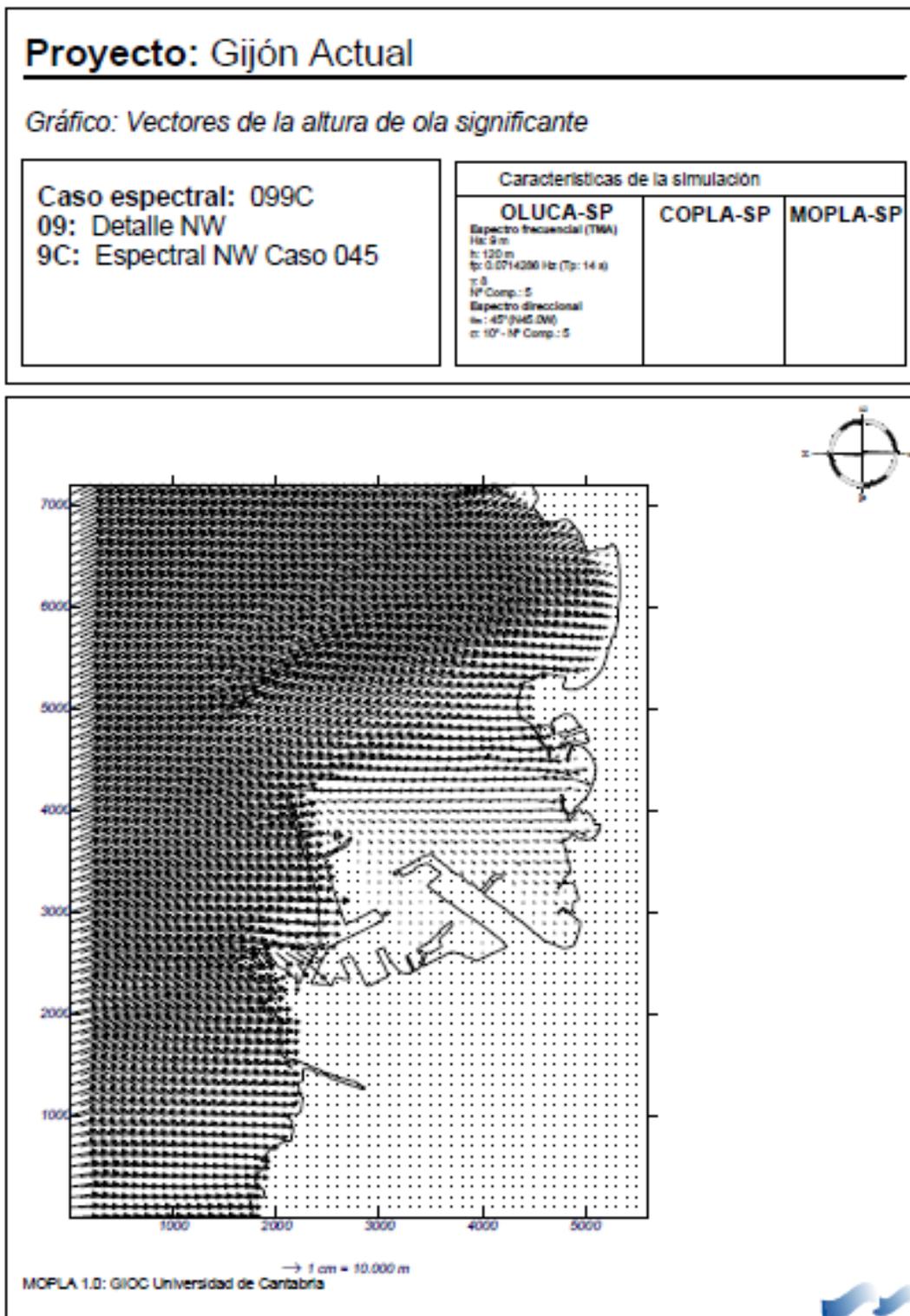


Figura 7.19. Gráfica de vectores, para la dirección NW, $h = 5$ m, $H_s = 9$ m, $T_p = 14$ s.

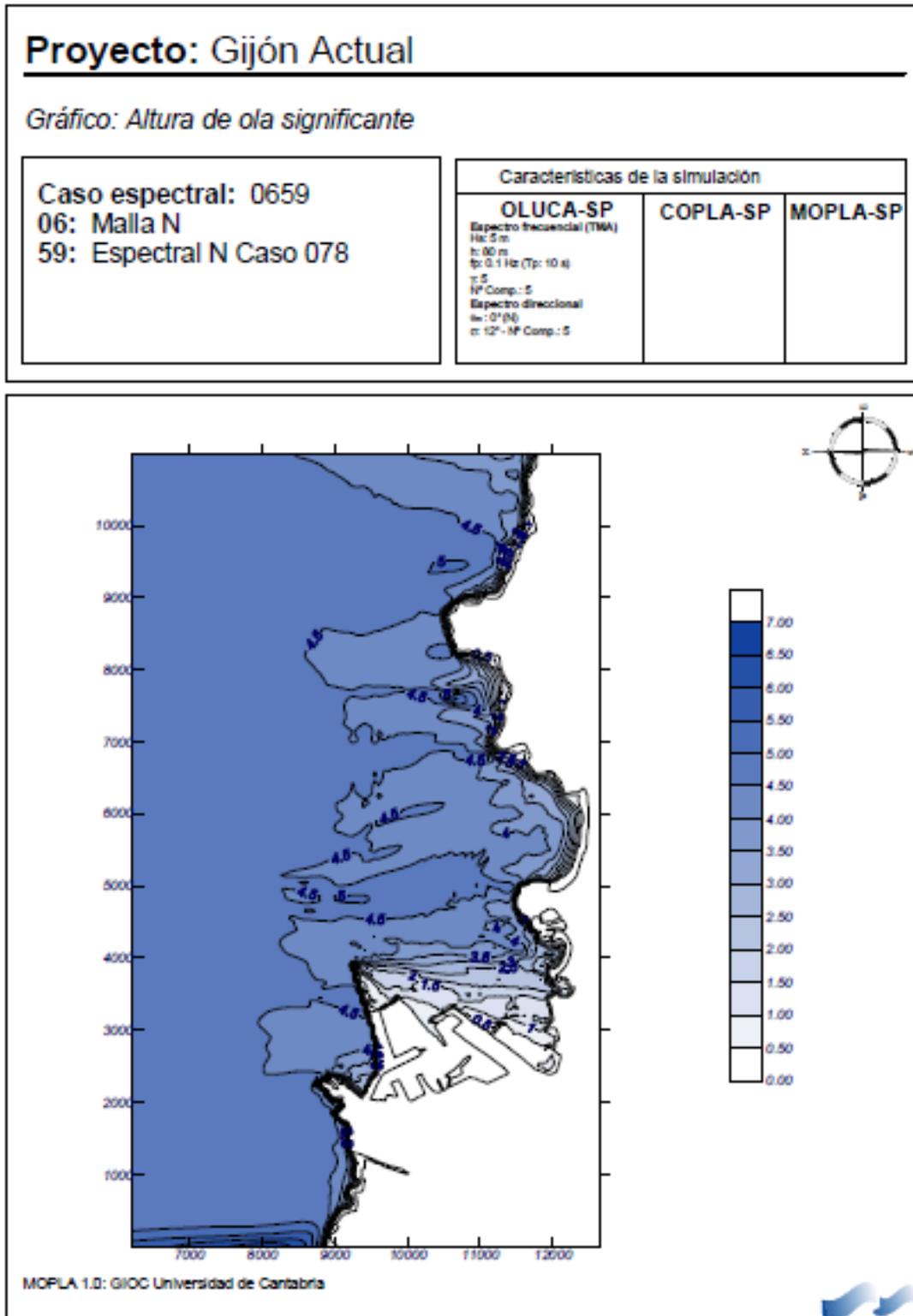


Figura 7.20. Gráfica de isoalturas para la dirección N, $h = 5$ m, $H_s = 5$ m, $T_p = 10$ s.



Proyecto: Gijón Actual

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa

Caso espectral: 0659
06: Malla N
59: Espectral N Caso 078

Características de la simulación

OLUCA-SP	COPLA-SP	MOPLA-SP
Espectro frecuencial (TMA) Hs: 5 m Tz: 00 m Tp: 0.1 Hz (Tp: 10 s) $\gamma: 5$ Nº Comp.: 5 Espectro direccional $\theta_0: 0^\circ (N)$ $\sigma: 12^\circ - N^\circ \text{ Comp.: } 5$		

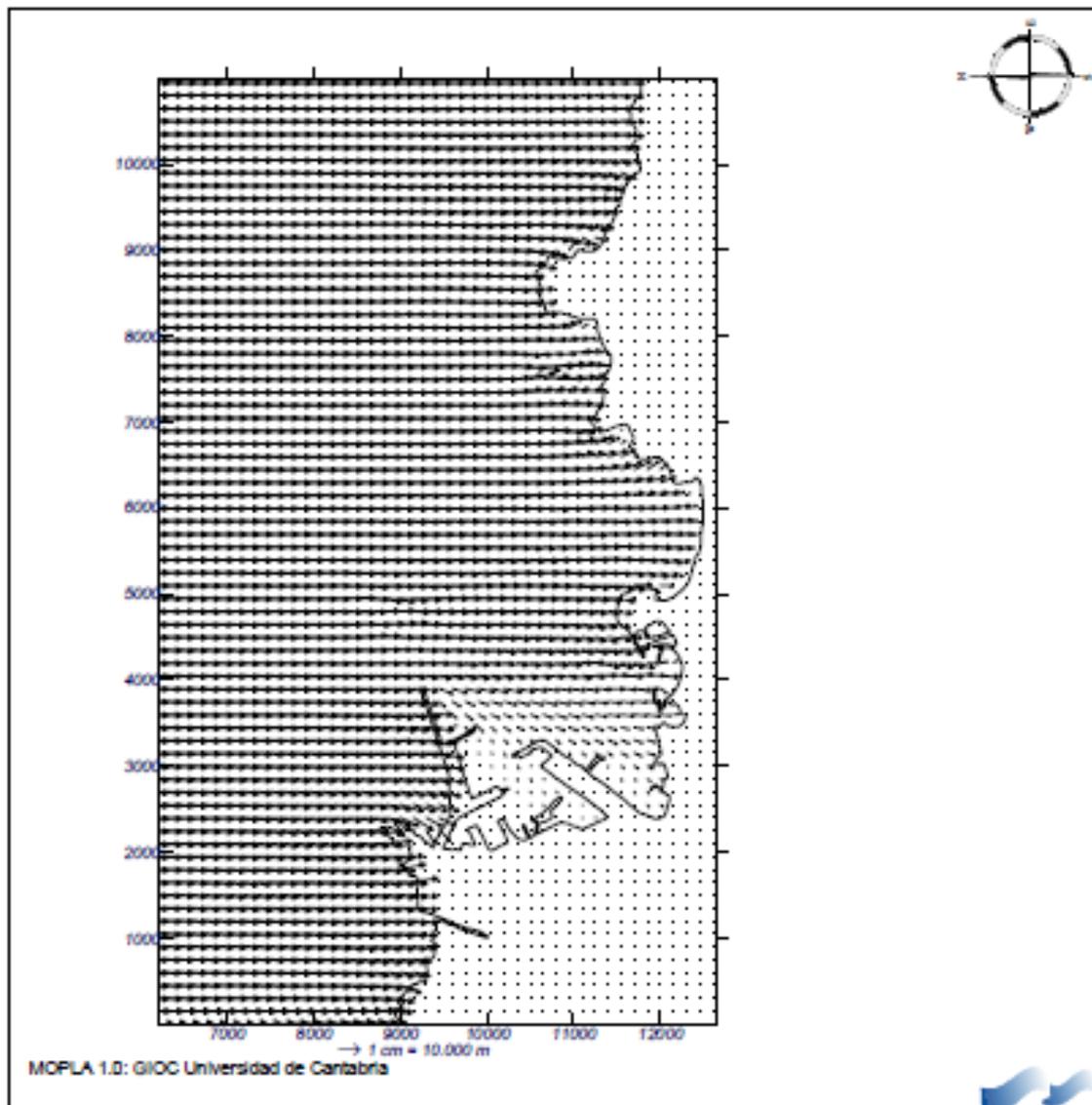


Figura 7.21. Gráfica de vectores, para la dirección N, $h = 5$ m, $H_s = 5$ m, $T_p = 10$ s.

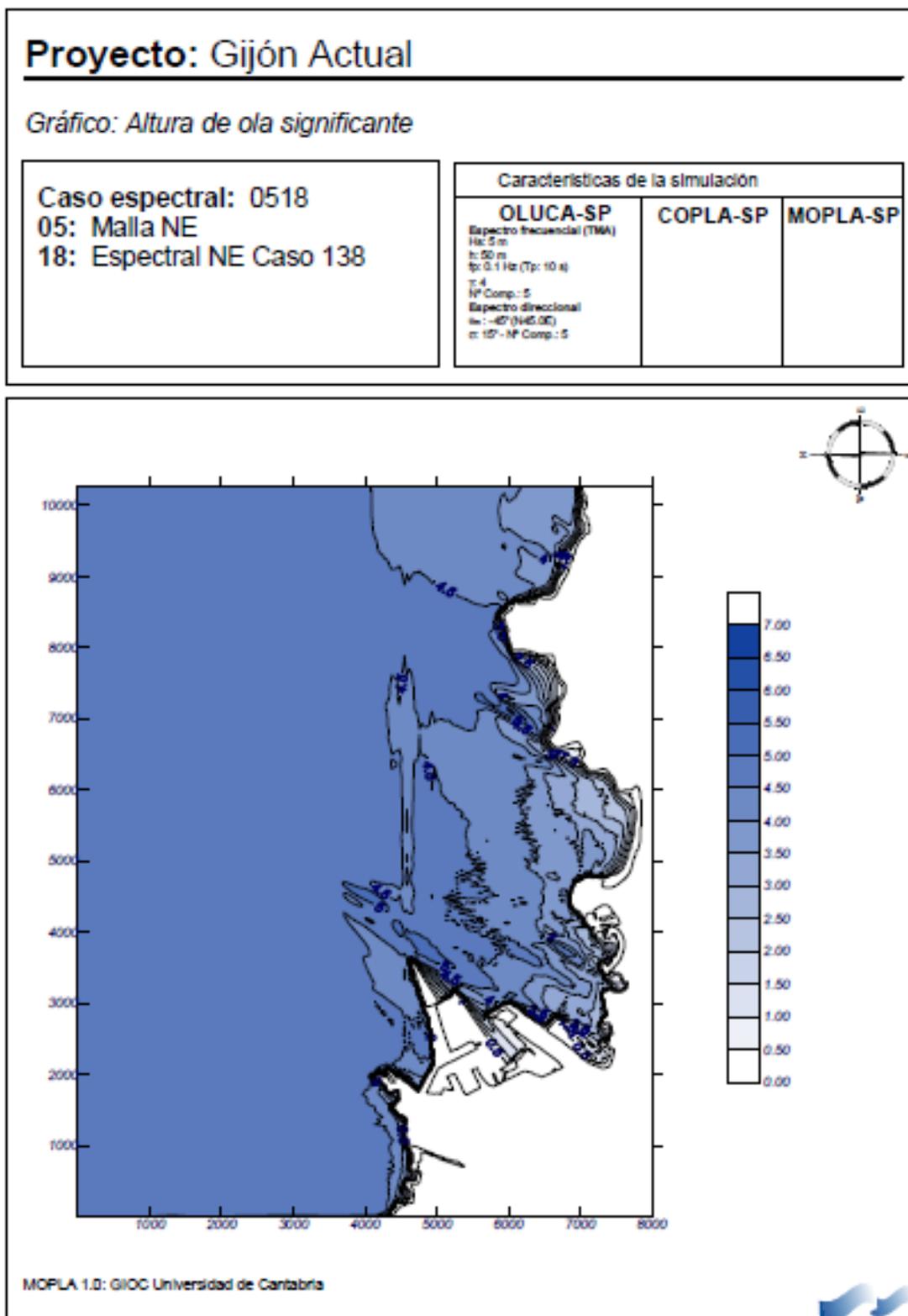


Figura 7.22. Gráfica de isoalturas para la dirección NE, $h = 5$ m, $H_s = 5$ m, $T_p = 10$ s.



Proyecto: Gijón Actual

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa

Caso espectral: 0518
05: Malla NE
18: Espectral NE Caso 138

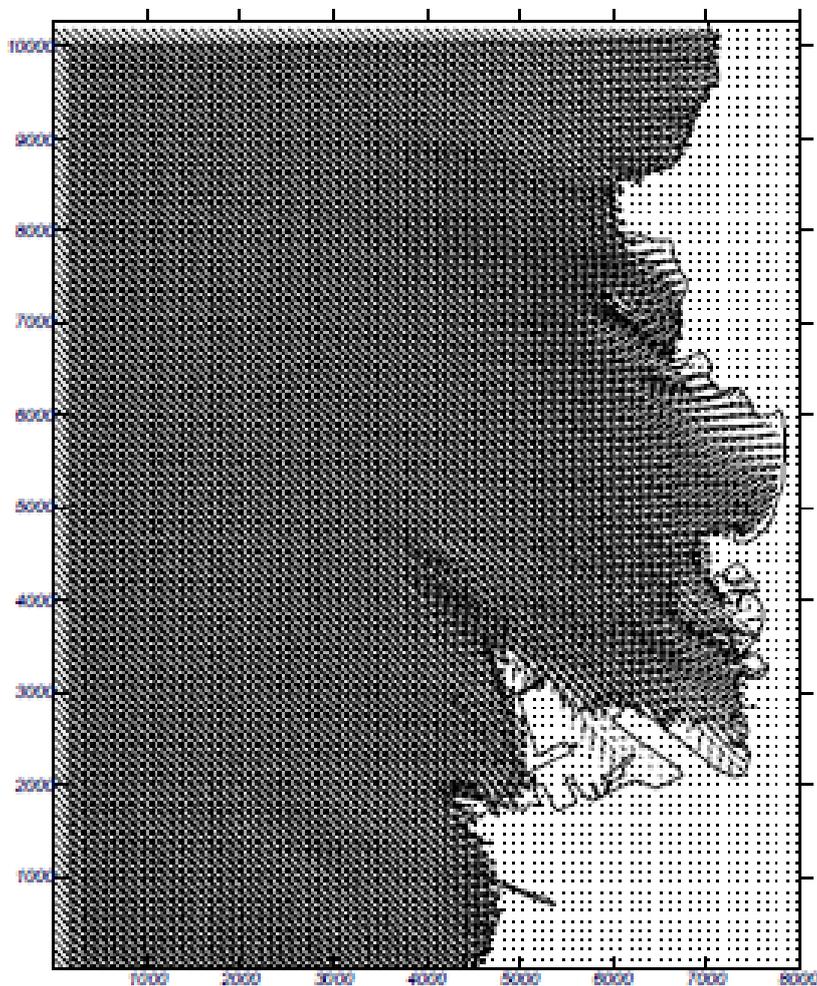
Características de la simulación

OLUCA-SP

Espectro frecuencial (TMA)
Hs: 5 m
h: 50 m
Tp: 10 s (Tp: 10 s)
N: 4
NP Comp.: 5
Espectro direccional
Dir: -45° (H45 0E)
m: 15° - NP Comp.: 5

COPLA-SP

MOPLA-SP



→ 1 cm = 10.000 m

MOPLA 1.0: GIOC Universidad de Cantabria

Figura 7.23. Gráfica de vectores, para la dirección NE, $h = 5$ m, $H_s = 5$ m, $T_p = 10$ s.

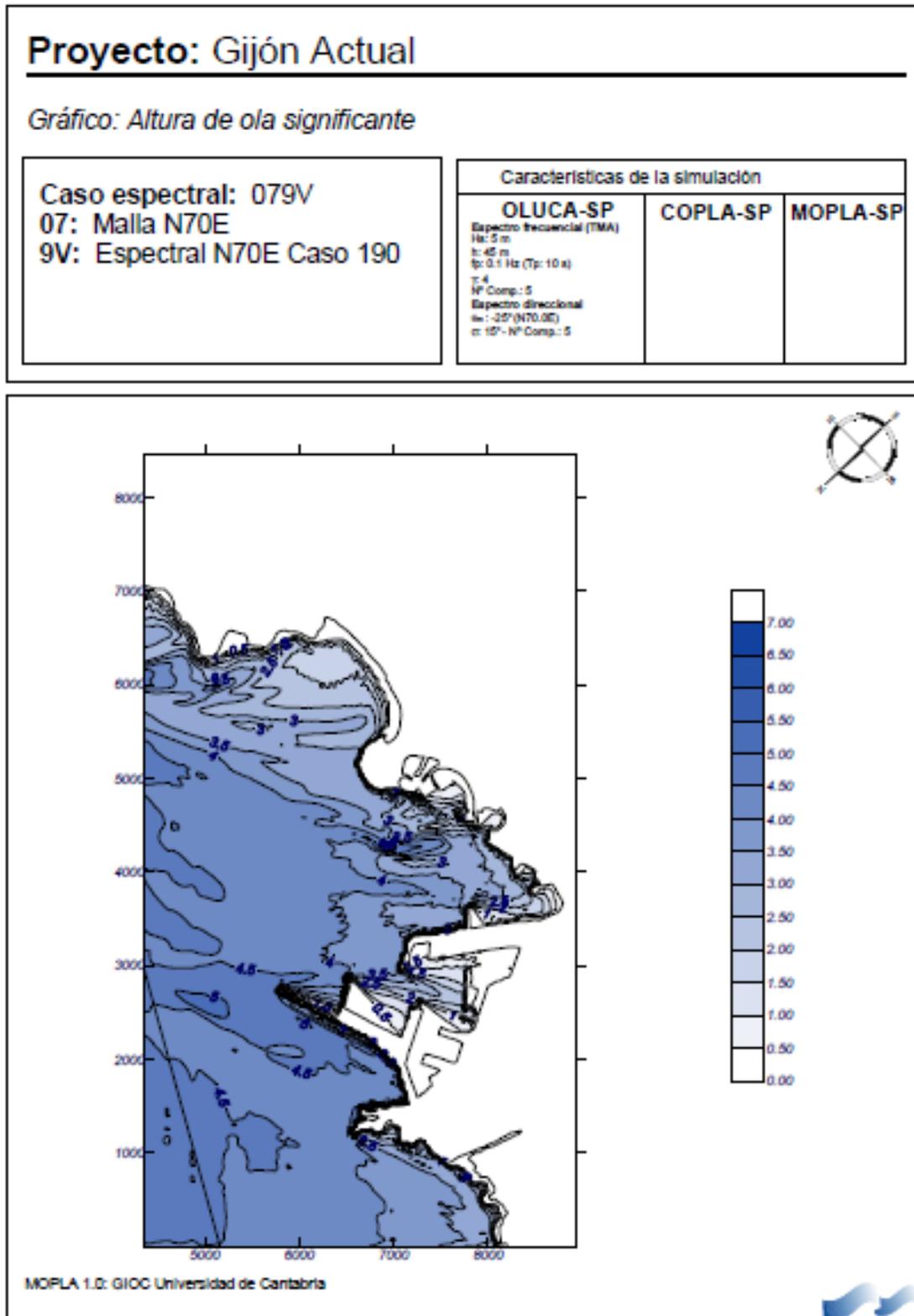


Figura 7.24. Gráfica de isoalturas para la dirección N70E, $h = 5$ m, $H_s = 5$ m, $T_p = 10$ s.



Proyecto: Gijón Actual

Gráfico: Vectores de la altura de ola significativa

Caso espectral: 079V
07: Malla N70E
9V: Espectral N70E Caso 190

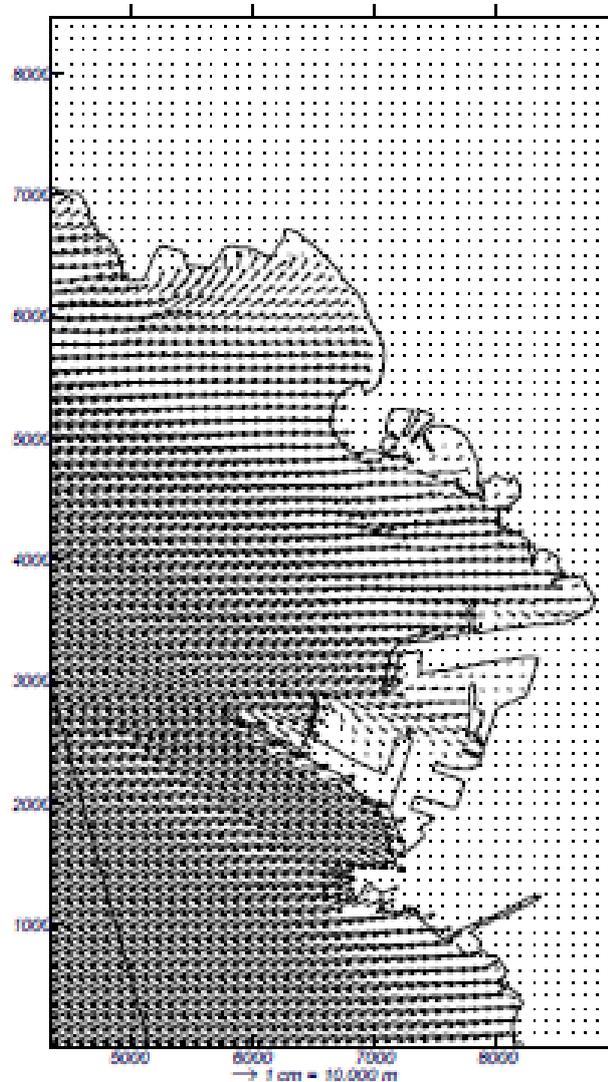
Características de la simulación

OLUCA-SP

Espectro frecuencial (TMA)
Hs: 5 m
h: 45 m
Tp: 9.1 Hz (Tp: 10 s)
T: 4
Nº Comp: 5
Espectro direccional
Dir: -25° (N70.0E)
n: 15° - Nº Comp: 5

COPLA-SP

MOPLA-SP



MOPLA 1.0: GIOC Universidad de Cantabria

Figura 7.25. Gráfica de vectores para la dirección N70E, $h = 5$ m, $H_s = 5$ m, $T_p = 10$ s.



3.4. REGÍMENES DE TEMPORALES SOBRE LOS PUNTOS OBJETIVO

Una vez efectuadas todas las propagaciones de oleaje, es posible realizar la propagación de la base de datos hasta los puntos objetivos en las inmediaciones del emisor. Dicha propagación se realiza asignando a cada dato (H_{si} , T_{pi} , θ_i) de profundidades indefinidas un dato (H_{sp} , T_{pp} , θ_p) en el punto objetivo.

Para asignar los valores en el punto objetivo se construye, para cada uno de dichos puntos, una tabla con la siguiente información:

- H_{sp} en profundidades indefinidas.
- T_{pp} en profundidades indefinidas.
- θ_p en profundidades indefinidas.
- Nivel del mar respecto al cero del puerto.
- Coeficiente de propagación en el punto objetivo.
- Ángulo de incidencia de la frecuencia de pico en el punto objetivo.

Conocido un dato (H_{si} , T_{pi} , θ_i) en profundidades indefinidas, el valor de la altura de ola significativa y de la dirección en el punto objetivo, H_{sip} , θ_{ip} , se determina mediante un procedimiento de interpolaciones lineales en cuatro dimensiones en la tabla de propagación. Se asume que el período de pico no sufre ninguna variación.

Una vez propagada la base de datos hasta el punto objetivo, la determinación de los regímenes extremos escalares se realiza siguiendo la misma metodología empleada en profundidades indefinidas.

Los puntos objetivos seleccionados para el análisis de regímenes son los indicados en la figura 7.26. Dichos puntos, que denominaremos puntos objetivo, se encuentran localizados a lo largo del emisor submarino de Aboño.

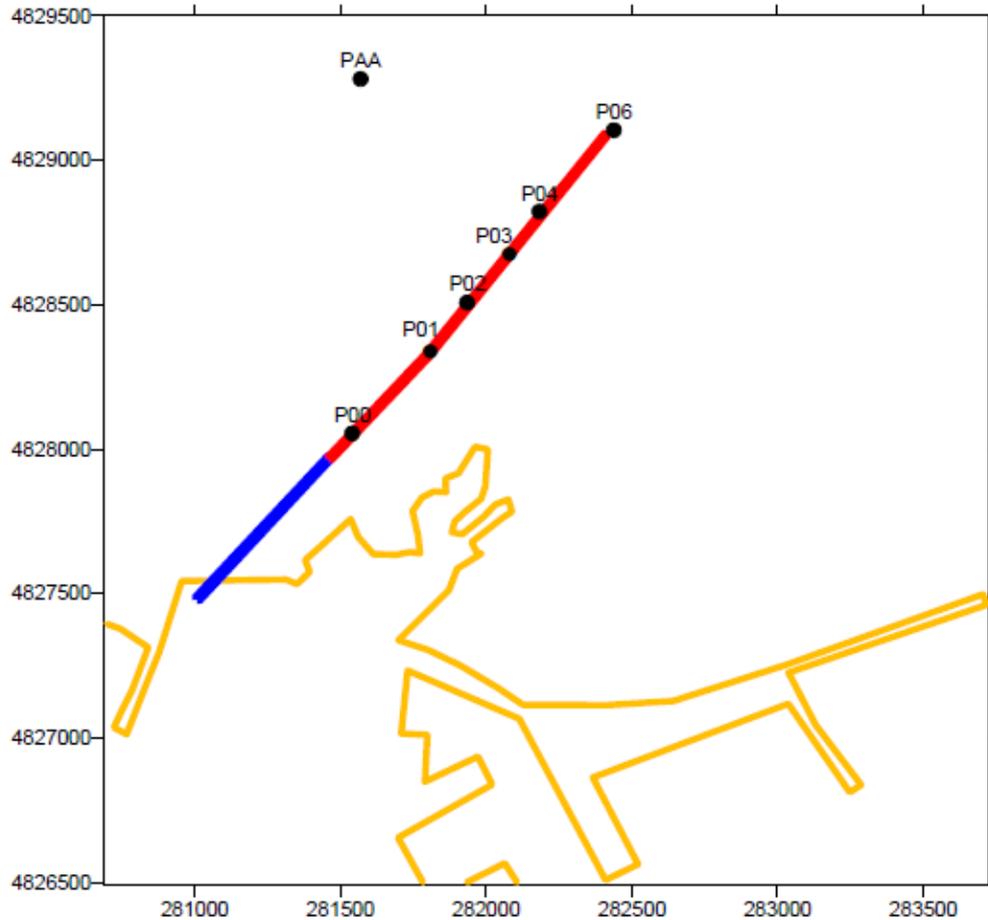


Figura 7.26. Localización de los puntos objetivo del estudio del IH.

El punto objetivo más cercano al nuevo dique de la explanada de Aboño corresponde con el punto P00 y como ya se ha mencionado anteriormente, se ha considerado que los resultados obtenidos en este punto son equivalentes a los que se obtendrían en el punto objetivo de este proyecto debido a la cercanía entre ambos. Por lo tanto, se usará ese punto P00 para el proyecto del cual deriva este estudio.

Debido a que el oleaje que incide sobre Gijón está muy agrupado en las direcciones del NNW y N, como se muestra en la figura 7.27, no se ha considerado necesario construir los regímenes direccionales extremales de oleaje en dichos puntos, siendo suficientemente ilustrativo cualitativa y cuantitativamente los regímenes escalares que se muestran en la figura 7.28.

La tabla 7.6 contiene los parámetros de los ajustes a los regímenes extremales de oleaje en los puntos objetivo.



Dirección	Rama alta	
	λ	δ
PAA	4.9011	0.5739
P00	4.7732	0.5605
P01	4.766	0.5362
P02	4.8003	0.5379
P03	4.6935	0.5804
P04	4.9986	0.5642
P06	5.0271	0.5662

Tabla 7.6. Parámetros de ajuste de los regímenes extremales en los puntos objetivo.

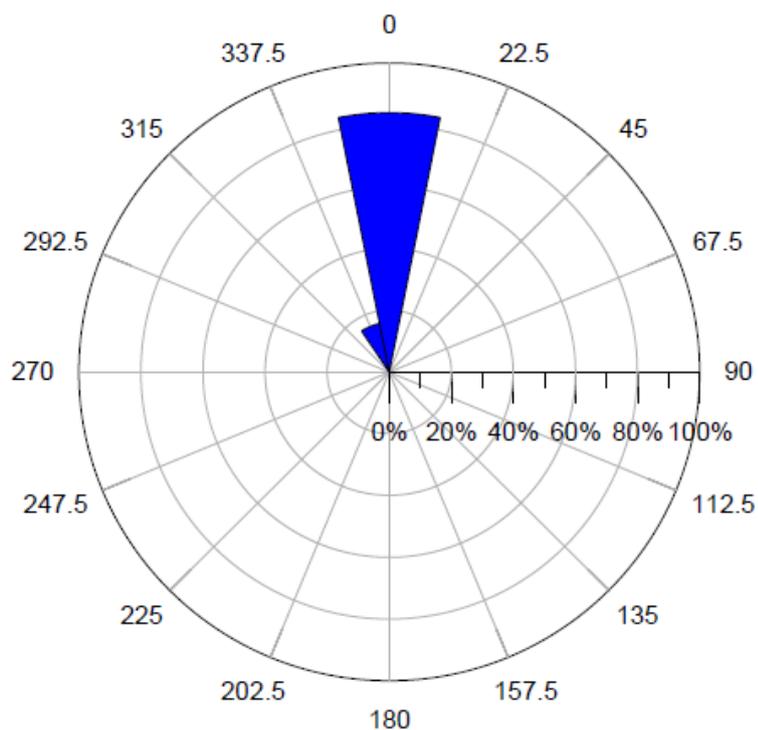


Figura 7.27. Rosa de oleaje extremal.

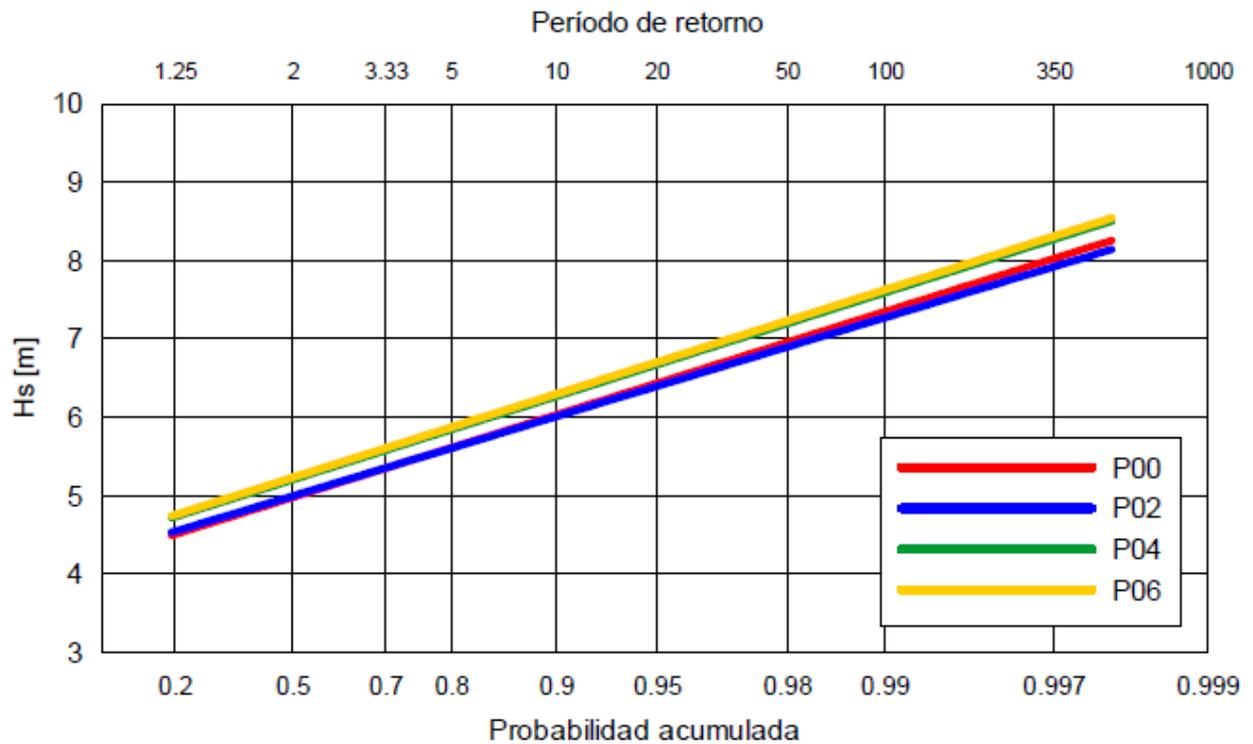


Figura 7.28. Régimen de oleaje extremal en los puntos objetivo.

Como puede observarse, los regímenes extremales de todos los puntos objetivo son prácticamente iguales. Ligeras diferencias se observan entre los regímenes que están a más profundidad (P04 y P06), entre 20 y 25 m, y los que están a menos profundidad (P00 y P02), entre 10 y 15 m, pero los regímenes son muy parecidos. Por ejemplo, las alturas de ola significativa de 20 años de período de retorno, en los regímenes de los puntos P00 y P02 son del orden de 6.4 m, mientras que en los puntos P04 y P06 es un 5% superior. Esta relación entre los regímenes siempre es aproximadamente constante. Las diferencias se deben a que a menor profundidad el oleaje ya ha sufrido más refracción y más disipación con el fondo, lo que provoca una disminución en la altura de ola.



CAPÍTULO 8

DINÁMICA

LITORAL ACTUAL



1. INTRODUCCIÓN Y METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

En el presente capítulo se analiza la estabilidad de las playas en las inmediaciones de la explanada de Aboño, con el objetivo de comprender su funcionamiento. Asimismo, comprender el funcionamiento del sistema en la situación actual es necesario para poder determinar la evolución de dichas playas al llevar a cabo la ampliación del dique de la explanada de Aboño.

Previo al desarrollo de dicho análisis se plantea la metodología que se utilizará en la evaluación de la estabilidad y evolución del sistema de playas objeto de estudio. La metodología se fundamenta en dos conceptos previos:

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

Dimensionalidad de los procesos:

Todos los procesos hidrodinámicos y sedimentarios que acontecen en una playa son, en mayor o menor medida, procesos tridimensionales. Sin embargo, las limitaciones de las herramientas, formulaciones e incluso de nuestra capacidad de entendimiento de dichos procesos no nos permiten analizarlos en toda su complejidad. De este modo, surge como primera y más importante hipótesis de trabajo en el estudio de la estabilidad de una playa, la relativa a la ortogonalidad de los movimientos longitudinales y transversales de la misma.

De acuerdo con esta hipótesis de ortogonalidad, cualquier movimiento de una playa, como por ejemplo el ocurrido tras un temporal, puede ser analizado estudiando los movimientos longitudinales y transversales de la misma, los cuales se asume que son independientes entre sí. Nótese que la hipótesis de ortogonalidad permite analizar la estabilidad de una playa estudiando por separado:

- La estabilidad del perfil de playa (eje transversal).
- La estabilidad de la planta de la playa (eje longitudinal).

La hipótesis de ortogonalidad es, en general, suficientemente aproximada a la realidad, especialmente en playas abiertas con estados morfodinámicos extremos (disipativas o reflejantes). En playas con estados morfodinámicos intermedios, o en playas encajadas con una forma en planta de gran curvatura, existe, sin embargo, una notable interacción planta-perfil, por lo que el análisis por separado del perfil y la planta debe realizarse con cautela.

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, véase Figura 8.1.



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: microescala, mesoescala y macroescala de acuerdo con la dimensión espacial y en corto plazo, medio plazo y largo plazo, véase Figura 8.1.

En el estudio de estabilidad y evolución de una playa las escalas de interés son la mesoescala (decenas-centenas de metro), macroescala (km) y el largo plazo (años). Los elementos de escalas inferiores (por ejemplo, la erosión producida por un temporal) sólo 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).

Metodología de cálculo:

Los elementos más relevantes de la metodología empleada para el cálculo de estabilidad y evolución del sistema de playas objeto de estudio 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.
- Para cada una de estas escalas de interés se analiza la estabilidad y evolución de la forma en planta y perfil.

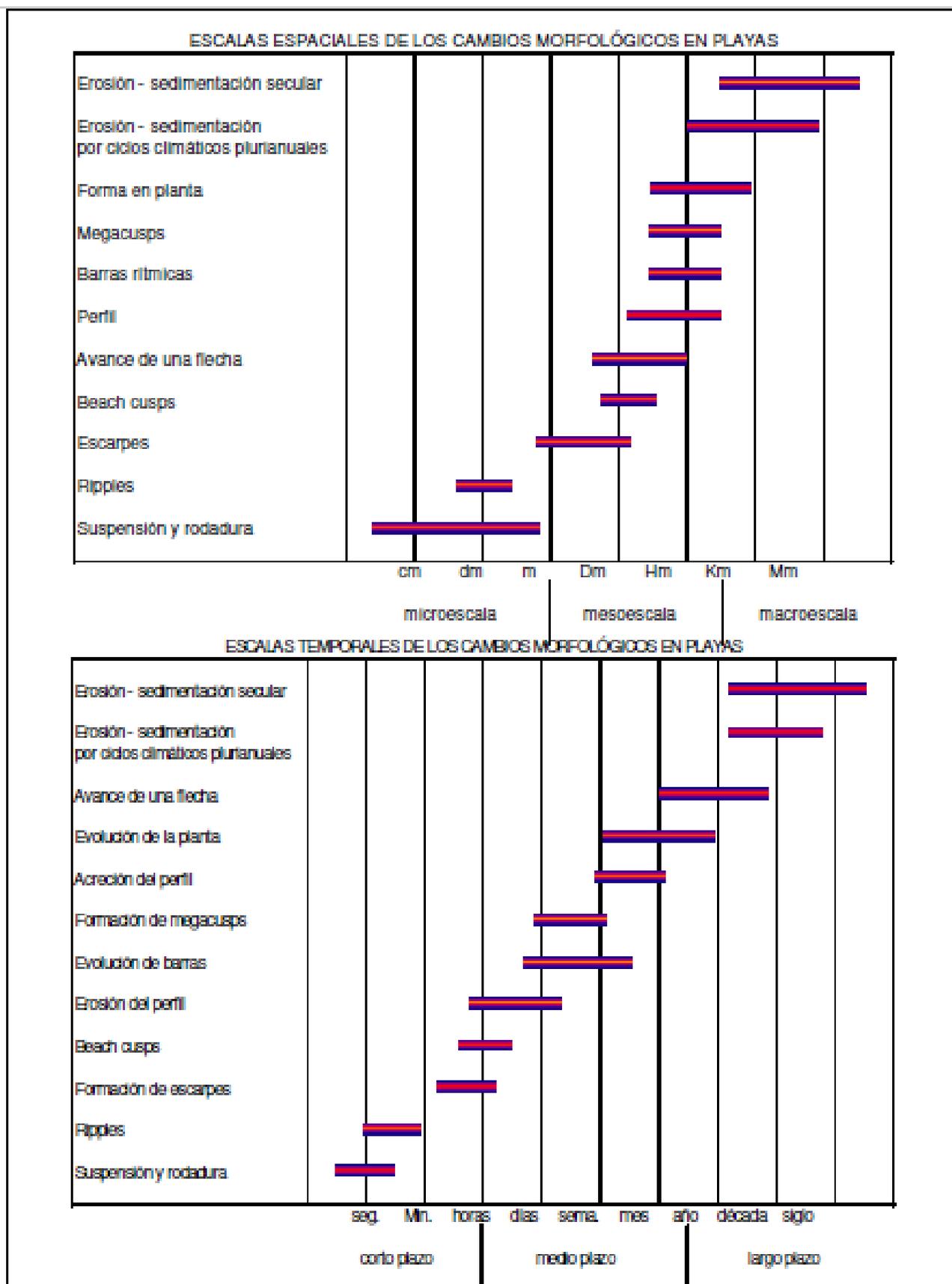


Figura 8.1. Escalas espaciales y temporales típicas de algunos cambios morfológicos de las playas.



2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD A LARGO PLAZO

El objetivo del análisis de estabilidad en el 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 PLAYA EN LA ZONA OBJETO DE ESTUDIO

El perfil de equilibrio ha sido calculado con la formulación de Moore (1982) en la que el perfil depende del diámetro del sedimento.

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

$$A = 0.51 * w^{0.44};$$



$$w \text{ (m/s)} = 1,1 \cdot 10^6 D^2 \text{ (m)} \quad D < 0,1 \text{ mm}$$

$$w \text{ (m/s)} = 273 D^{1,1} \text{ (m)} \quad 0,1 < D < 1 \text{ mm}$$

$$w \text{ (m/s)} = 4,36 D^{0,5} \text{ (m)} \quad D > 1 \text{ mm}$$

D = Diámetro del sedimento

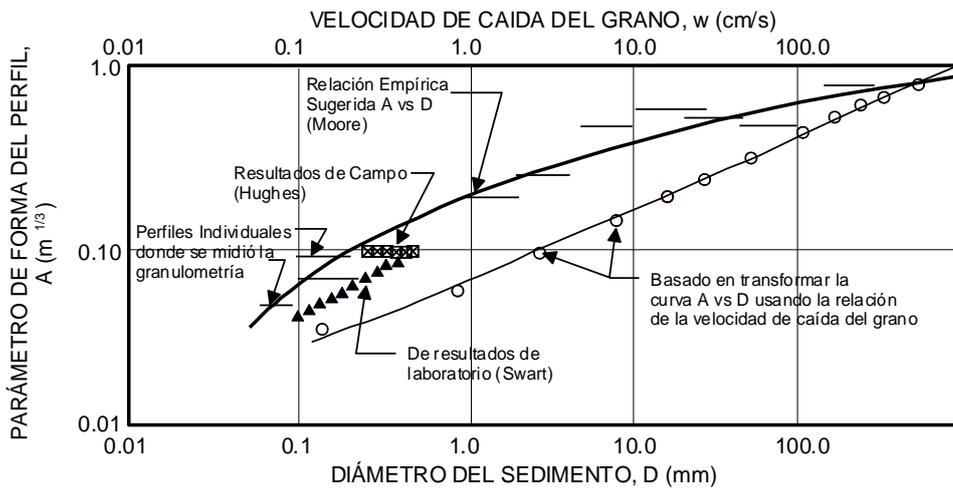
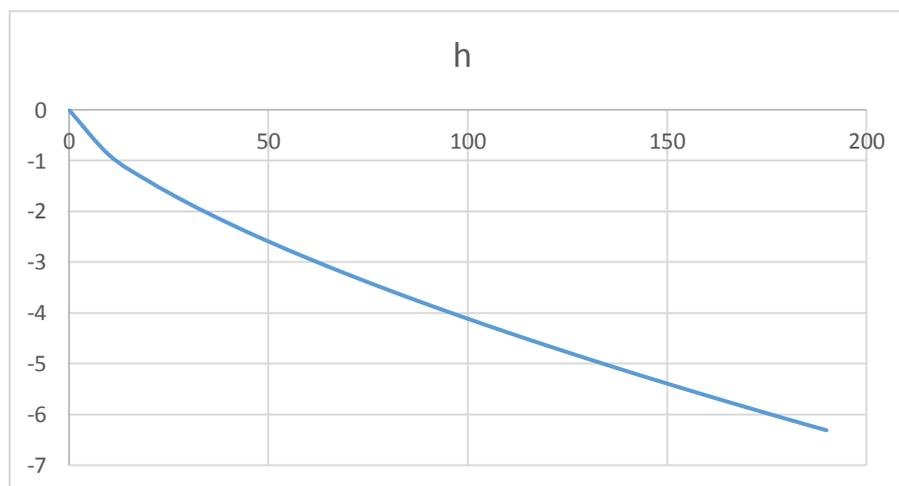


Figura 8.2. Formulación de Moore (1982)

Como se ha mencionado anteriormente, con un diámetro de sedimento de la playa de 0.8 mm, se obtiene:

$$h = 0.191 * x^{2/3}$$

Y la gráfica correspondiente es:





x	h
0	0
10	0.88654347
20	1.40730003
30	1.84408472
40	2.23394955
50	2.59226882
60	2.92730203
70	3.24413357
80	3.54617387
90	3.8358508
100	4.11497026
110	4.38492151
120	4.64680232
130	4.90149919
140	5.14974104
150	5.39213645
160	5.62920013
170	5.8613724
180	6.0890336
190	6.31251517

Figura 8.3. Perfil de equilibrio de la playa de Xivares.

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 en equilibrio estático la expresión:

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

donde:

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

R₀ = radio vector, tomado desde el punto de difracción, correspondiente al extremo no abrigado de la playa.

C₀, C₁, C₂ = coeficientes (función de β).



β = ángulo (fijo) formado entre el frente de oleaje y el radio vector R_0 .

θ = 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). En la Figura 8.4 se muestra de forma resumida la metodología para obtener la forma en planta de equilibrio.

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.

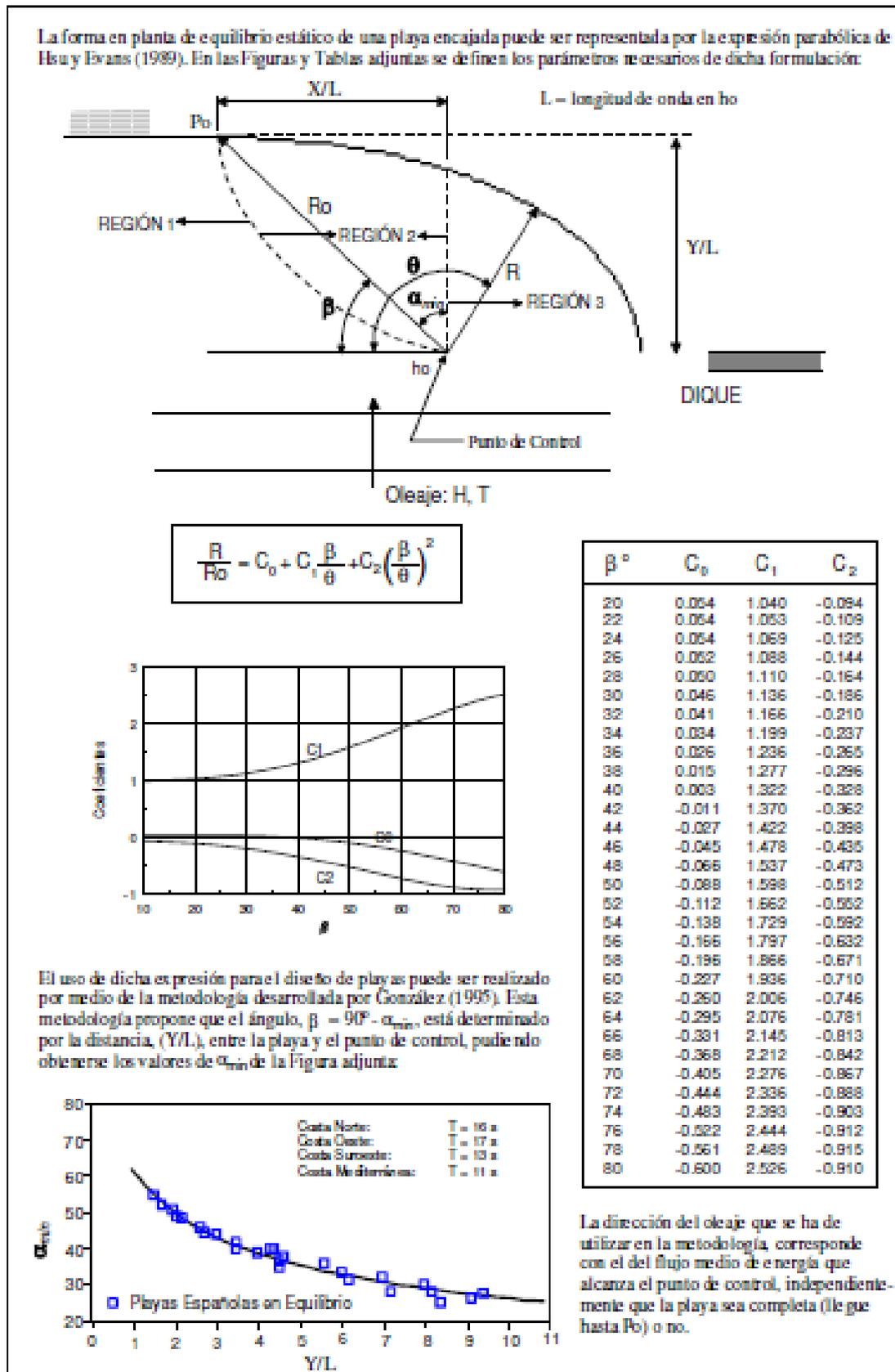


Figura 8.4. Forma en planta de equilibrio estático. Playas encajadas.



Aplicación:

En primer lugar, se debe tener en cuenta que la aplicación de la formulación anterior, sólo tiene sentido en playas que se encuentren en equilibrio estático, esto es, en situaciones en las que el transporte de sedimentos es nulo, o lo que es equivalente, en circunstancias en las que el sistema de corrientes tenga resultante nula.

El primer dato que se debe saber es la dirección del oleaje de flujo medio de energía. Como en el capítulo del estudio hidrodinámico no estaba calculado este dato específicamente, se ha asumido una dirección observando la forma de la playa existente. La dirección es de N16°E.

La profundidad en el punto de control será de 3m (2.5 metros del nivel medio del mar más 0.5 metros de profundidad desde el Cero del Puerto).

Entonces, la longitud de la ola L , será igual a $(g \cdot h)^{1/2} \cdot T$ ya que estamos en aguas someras. Para la Costa Norte, $T = 16$ s, y con eso se obtiene que:

$$L = 86.80 \text{ m}$$

La distancia Y ha sido obtenida escogiendo un punto de la playa ya no afectado por el dique y resulta que $Y = 227.69$ m.

De la gráfica anterior calculamos α_{\min} , igual a 46° y, por tanto, $\beta = 44^\circ$.

Con eso obtenemos las distancias R de algunos puntos para después representarlos en planta:

	1	2	3	4	5
θ (°)	44	54	64	75	86.18
R_i (m)	334.88	290.48	255.35	224.46	199.34

Tabla 8.1. Puntos de la planta de equilibrio.

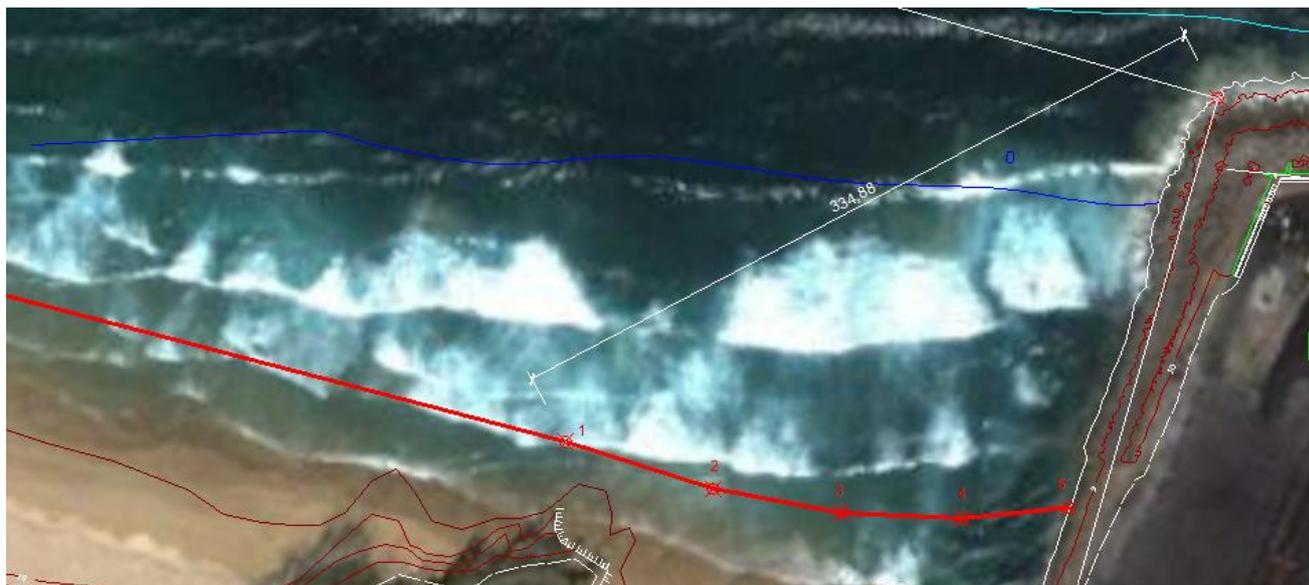


Figura 8.5. Planta de equilibrio actual.



CAPÍTULO 9

DESCRIPCIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE LA EXPLANADA DE ABOÑO

1. DESCRIPCIÓN

La alternativa escogida para la Ampliación de la Explanada de Aboño es descrita en este apartado.

A la hora de realizar la selección de una alternativa respecto a otra hay que tener en cuenta diversos factores entre los que se encuentran económicos, operativos y ambientales y al tener que proponer las diferentes alternativas se ha observado que solo era posible una solución: ganar terreno al mar alargando el dique perpendicular a la costa y luego cerrar la explanada con un dique paralelo al ya existente (horizontal respecto a la costa) hasta los acantilados del Cabo Torres ya que esta es la única forma de no invadir la playa de Xivares (colindante) aprovechando el máximo terreno posible. En cuanto al área nueva habilitada para el acopio de materiales del parque de carbones de Aboño, se ha intentado ampliar la zona lo máximo posible de manera que la obra sea rentable como se puede observar en la Figura 9.1. Finalmente, la ampliación de la explanada será de 84.160 metros cuadrados, es decir, aproximadamente 8,4 hectáreas de terreno.

Por tanto, esta solución del nuevo dique es rentable en cuanto al aspecto económico, no invade ni reduce la extensión de las playas colindantes y el impacto ambiental no será significativo respecto al factor ambiental y respecto a la operatividad también es la solución óptima ya que una ampliación hacia mayores profundidades producirían problemas de uso en algunas zonas debido a los acantilados del Cabo Torres.

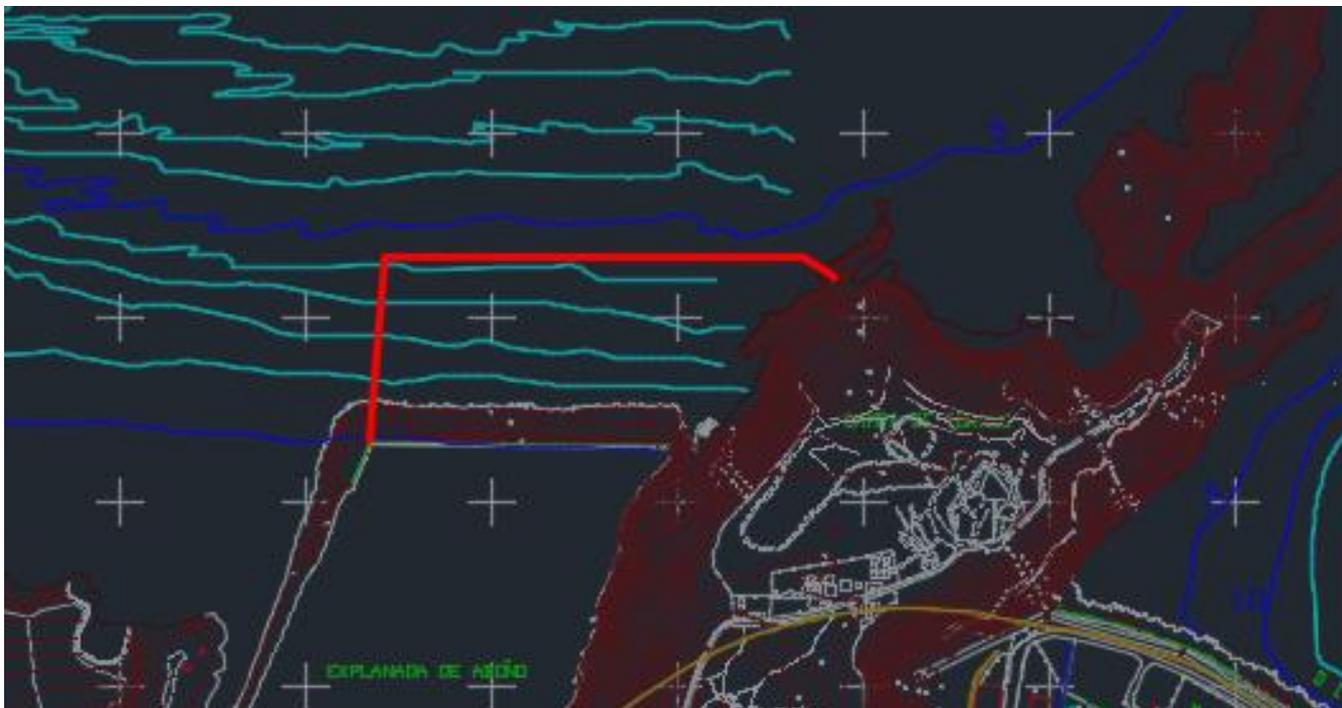


Figura 9.1. Selección de alternativa.



El eje mostrado en la figura previa coincide con la cara externa (hacia el mar) del espaldón (cuya colocación será justificada en el apartado siguiente) y la definición del mismo es:

- 1^{er} tramo: Parte desde el dique ya existente en dirección perpendicular a la costa (formando 5° con el Norte) una distancia de 181.67 metros.
- 2º tramo: Continuando el tramo anterior en dirección Este (paralelo a la costa) una distancia de 426.31 metros.
- 3^{er} tramo: Continúa el tramo previo hasta finalizar en los acantilados del Cabo Torres con una dirección de 120° respecto al Norte (30° respecto a la horizontal). La longitud de este tramo es de 34.64 metros.

En total, la longitud del dique es de 682.77 metros y la transición entre tramos se realizará con un arco de 20 metros, que en la realidad se traduce en una transición de pocos metros de largo en los dos casos (29.67 m en la transición entre el primer tramo y el segundo tramo y 10.47 m en la segunda transición).

Otra imagen de la solución más detallada se muestra a continuación:

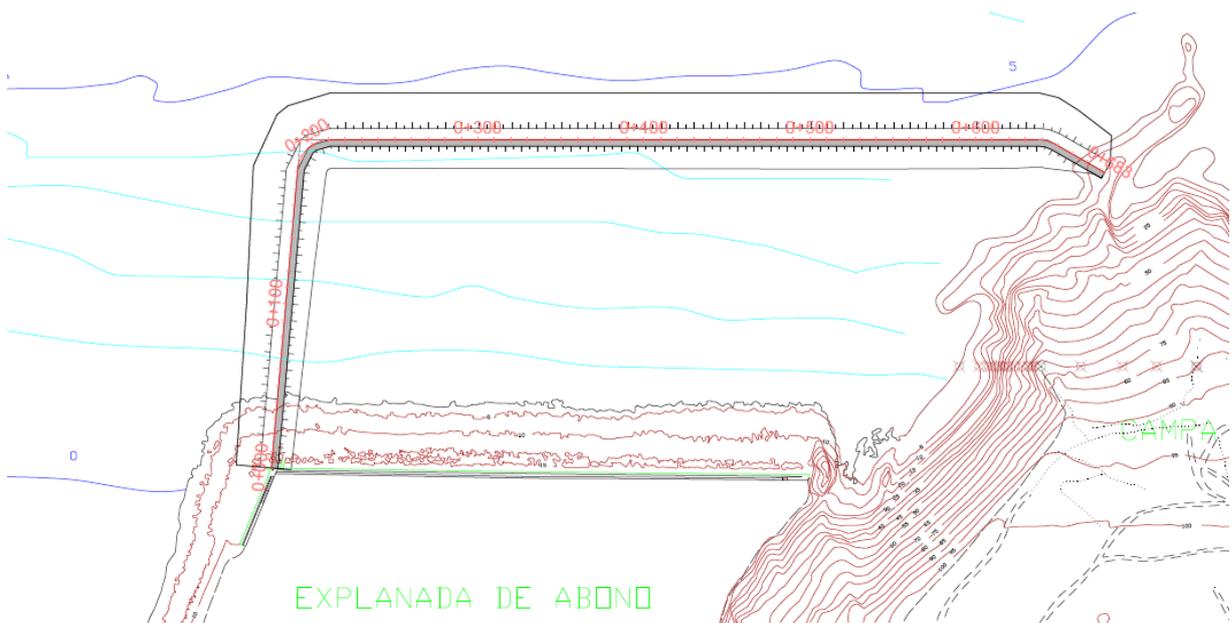


Figura 9.2. Solución adoptada



2. SELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE DIQUE

Tras el análisis de las diferentes tipologías de dique, para la solución adoptada, la tipología elegida ha sido el dique en talud debido a que la profundidad del emplazamiento no es grande y, por lo tanto, los procesos constructivos serán más sencillos.

El talud elegido será de 1.5:1 (H:V) (tanto el exterior como el interior) ya que este ángulo se aproxima al ángulo de equilibrio de la escollera y por tanto será más fácil la colocación de los mantos. Además las grúas necesarias no deberán ser excesivamente largas ya que el talud no se adentra mucho en el mar.

El manto principal estará formado por bloques cúbicos de hormigón de 27 Toneladas y los mantos secundarios por escollera clasificada siempre y cuando sea posible (en este caso son dos mantos secundarios). Tras los cálculos de la escollera, se obtiene un primer manto secundario de escollera de 1500 a 400 Kg y otro manto secundario interior de 100 a 400 Kg. Por último, el núcleo estará formado por todo uno de cantera de 1 a 100 Kg.

Además, como la zona interna del dique será cubierta posteriormente para generar ese nuevo terreno no se necesitará colocar escollera para la protección de las olas durante la vida útil del dique pero, teniendo en cuenta que durante la fase constructiva esta zona estará expuesta al oleaje, se colocará una capa de todo uno seleccionado mayor de 50 Kg para así evitar la erosión del núcleo en esta etapa.

Respecto a las capas mencionadas, el tamaño de estas pueden variar teóricamente a lo largo del dique ya que algunas zonas están más protegidas que otras, o simplemente la profundidad es mucho menor y la ola de rotura será significativamente mayor. Esto ocurre en la ampliación del dique de Aboño a realizar ya que el primer tramo es perpendicular a la costa como ya se ha mencionado y por tanto la profundidad va aumentando rápidamente. En cambio, en el tramo paralelo a la costa la profundidad no varía y es en esta zona donde se produce la ola máxima de rotura. Es decir, en el primer tramo, el tamaño mínimo de los bloques va aumentando a medida que el dique se adentra en el mar y durante el segundo y tercer tramo este tamaño mínimo alcanzará el máximo y será constante. Pero uno de los objetivos principales en todos los proyectos es conseguir una solución económica a la vez que funcional y solo sería rentable usar otro tamaño de bloques y escollera si la longitud de ese tramo diferente fuera mayor de unos 200 – 300 metros y en este caso, el tramo en cuestión sería de 180 metros aproximadamente. Debido al coste económico de manejar diferentes tamaños de bloques de hormigón y escollera se ha decidido realizar todo el dique con los mismos tamaños y características.

Ahora bien, dentro de los diques en talud se podrá colocar un espaldón de hormigón o no, dependiendo de cada caso específico por lo que se ha estudiado la necesidad de colocar un espaldón en el nuevo dique.

Las ventajas de realizar un dique en talud con espaldón se resumen en:



- Reducción de la cantidad de bloques de hormigón y escollera necesitada en el dique para optimizar costos (en el caso de que esta cantidad sea suficientemente alta).
- Impedir el rebase de agua por encima del espaldón de una manera sencilla.
- Impermeabilizar el dique para que no haya transmisión de agua a través de él como si ocurre a través de los bloques de hormigón y escollera.

Tras analizar nuestro caso específico se concluye que aunque la reducción de material suelto no es excesivamente alta, se necesita que no pase agua a la explanada de Aboño (dique no rebasable) por lo que se ha decidido colocar un espaldón sobre el núcleo de todo uno de cantera (también considerado impermeable) para asegurar esta impermeabilización del dique.

Por último, debido a que la pleamar viva equinoccial es de 4.0 metros, se ha decidido colocar la cota de cimentación del espaldón a 4.5 metros para de esta manera evitar subpresiones en la zona posterior del espaldón. Dicho esto, se podrá colocar una pestaña si es necesario (tal y como se mostrará en el siguiente anejo de dimensionamiento del dique) en la parte delantera del espaldón por debajo de la pleamar viva equinoccial (aunque lo más alto posible para evitar problemas de construcción por temas de inundación de la zona) de manera que los mantos principal y secundarios se apoyen en el espaldón para asegurar la estabilidad de la estructura. Además el francobordo de la berma superior se colocará 2 metros por debajo de la cota de coronación del espaldón para que así el espaldón también ayude a la estabilidad y no solo a la impermeabilización de la zona abrigada.

A continuación se muestra una figura mostrando la sección tipo del dique en talud con los valores que se acaban de establecer junto con dimensiones y medidas que se han obtenido:

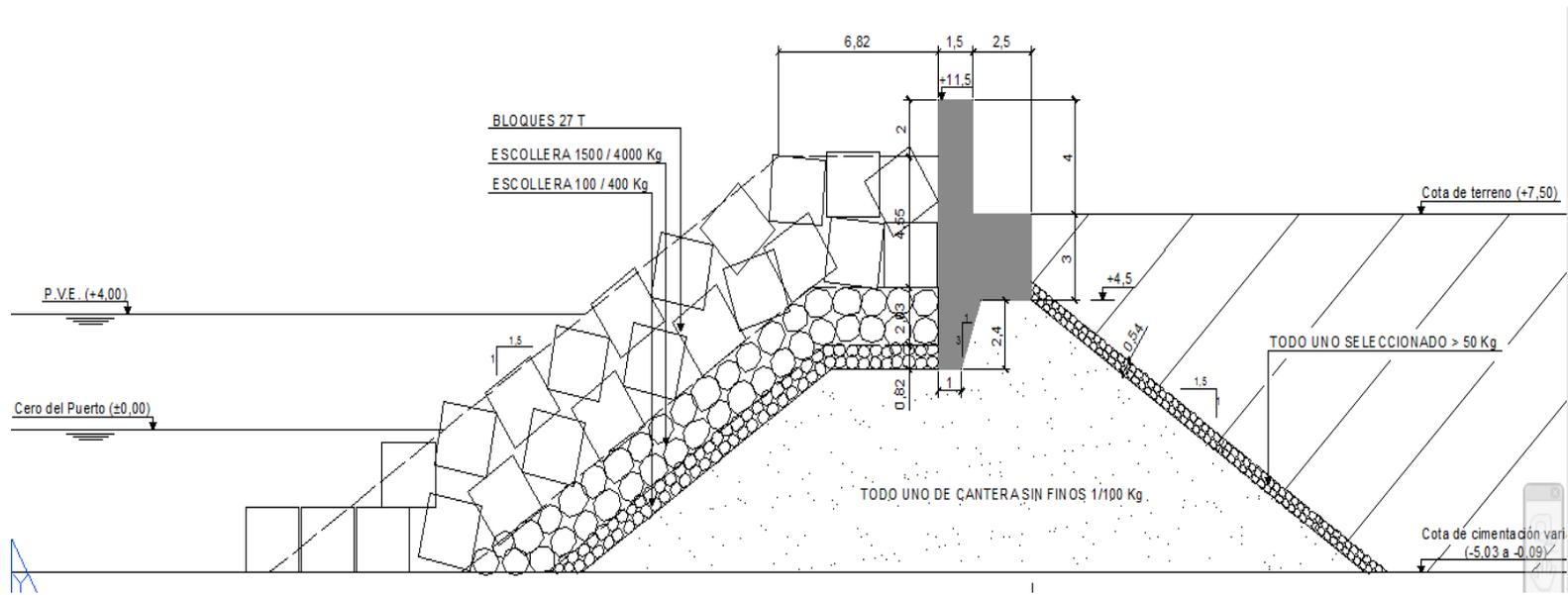


Figura 9.3. Sección tipo del dique en talud.



CAPÍTULO 10

AFECCIÓN DE LA

AMPLIACIÓN

AL ENTORNO

1. LARGO PLAZO

1.1. PERFIL

Al realizar la ampliación de la explanada de Aboño, el perfil de playa no se modificará significativamente.

1.2. PLANTA

Siguiendo la metodología explicada en el capítulo 8, se calcula la nueva planta de equilibrio de la playa de Xivares y los resultados obtenidos son:

	1	2	3	4	5
θ (°)	52	62	72	82	93.52
Ri (m)	483.71	432.26	387.17	348.26	310.28

Tabla 10.1. Puntos de la planta de equilibrio después de la ampliación.

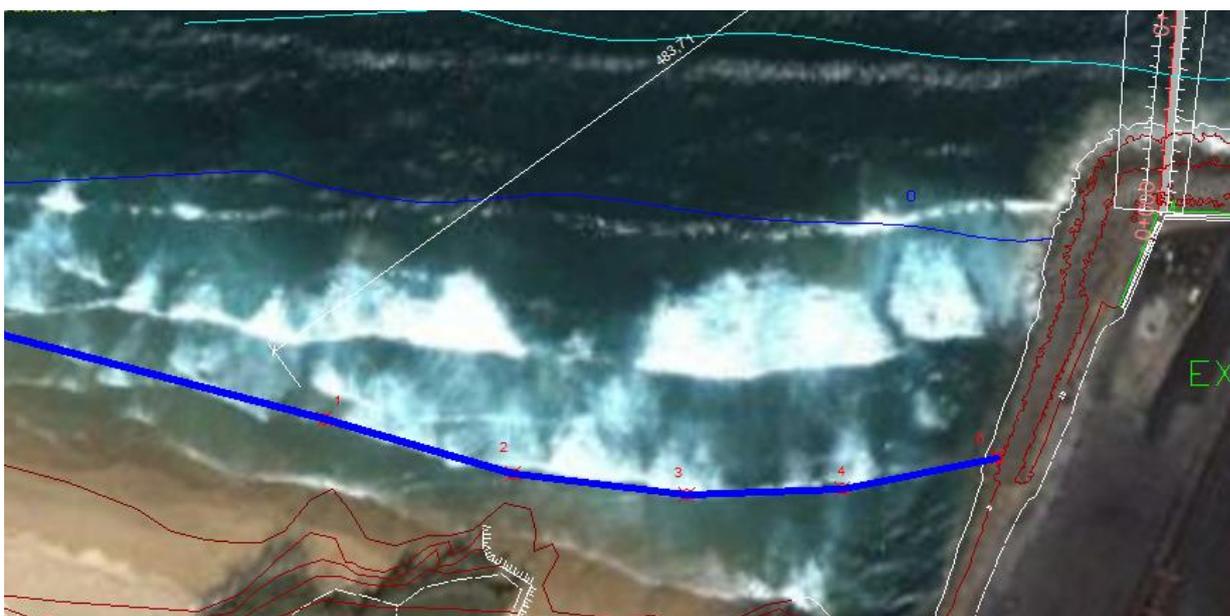


Figura 10.1. Planta de equilibrio después de la ampliación.

Para apreciar mejor los cambios que se producirán, se compararán ambas plantas de equilibrio:

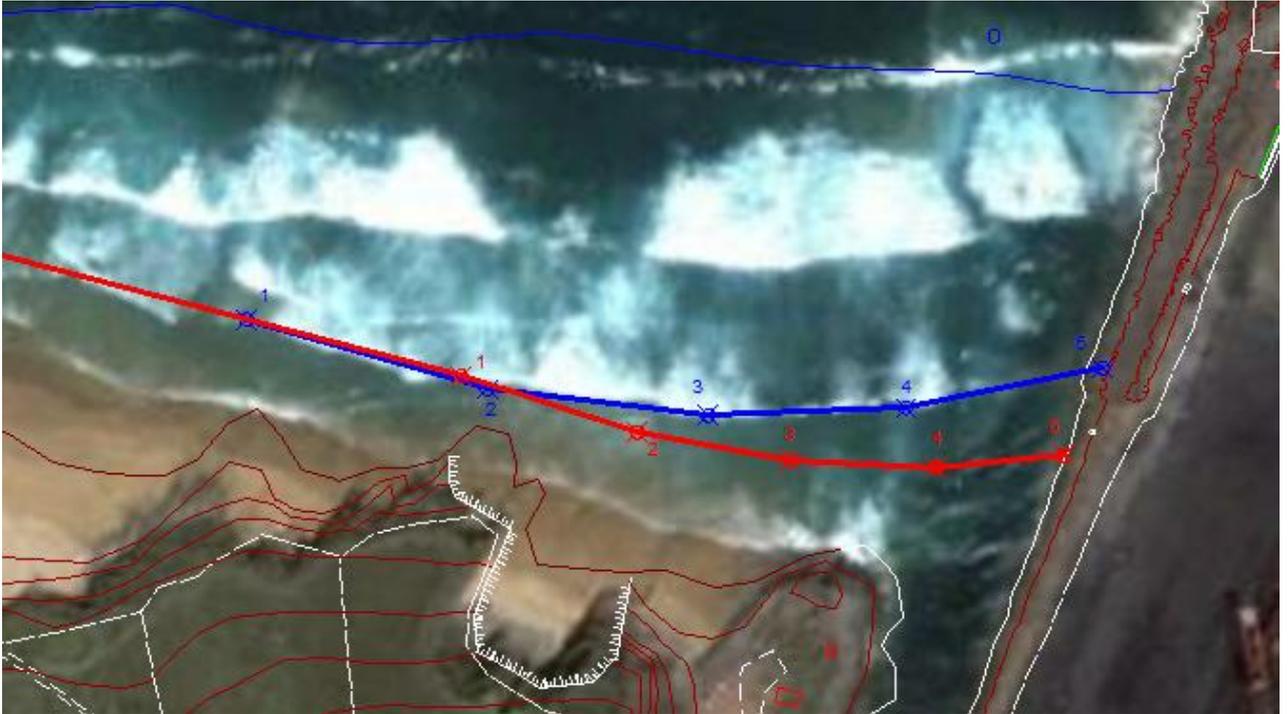


Figura 10.2. Cambios en la planta de equilibrio.

Tras compararlos, el área de terreno que se erosionara para desplazarse hacia la derecha de la imagen es de 121.15 m², mientras que el área de terreno en el que se necesitará añadir sedimentos es de 3703.69 m².

Finalmente, el área de terreno que necesitará ser rellenada de arena para no perder una gran parte de la playa es de 3582.54 metros cuadrados. Partiendo de esta cantidad se podrán sacar conclusiones que serán explicadas en el siguiente capítulo.



CAPÍTULO 11

CONCLUSIONES

1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN CON LA AMPLIACIÓN DE LA EXPLANADA DE ABOÑO

En este capítulo se realiza un diagnóstico de la situación con ampliación de la explanada de Aboño y se presentan algunas recomendaciones al proyecto de ampliación del dique de la explanada de Aboño, Gijón:

- En la situación futura, el perfil de la playa será prácticamente igual al previo ya que el diámetro de los sedimentos no ha variado, y esta era la variable más significativa a la hora de obtener el perfil con la formulación de Moore (1982).
- En la situación futura, la planta de la playa variará un poco debido al incremento de la distancia 'Y' desde el punto de control (situado en el nuevo dique unos 200 metros desplazado hacia el norte) hasta la línea de costa que no varía por el dique. Este cambio no será grande como ya se ha mencionado (ver figura 11.1) pero esa cantidad de arena será requerida por la playa para evitar que la playa desaparezca parcialmente.

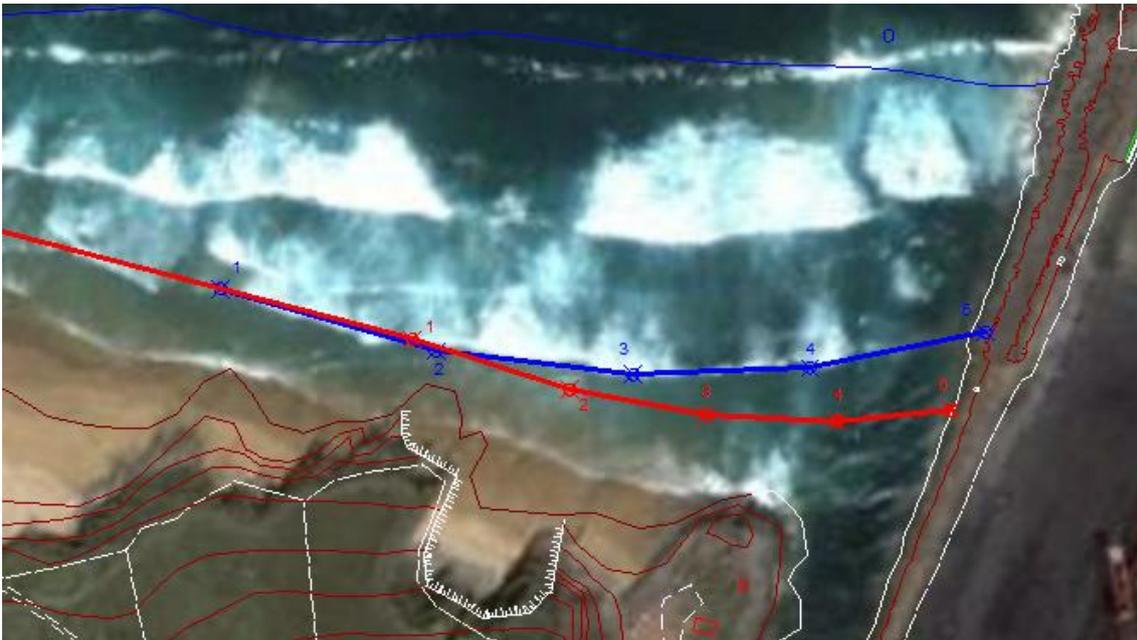


Figura 11.1. Modificación de la planta de equilibrio. Situación futura en azul.

- El avance de la arena hacia el mar no es significativo y por tanto el cambio de una planta a otra no será muy llamativo de manera que casi no se podrá apreciar.
- La cantidad de terreno (en metros cuadrados) que se necesitan rellenar debido a la modificación de esta planta de equilibrio es de 3582.54 m². Esta cantidad no es para nada grande y a continuación se hacen unas recomendaciones para poder satisfacer las necesidades de la playa.



2. RECOMENDACIONES

La recomendación que se puede hacer al proyecto de ampliación del dique de la explanada de Aboño, Gijón, para satisfacer las cantidades de arena que necesita la playa es muy obvia a la vez que barata:

Se propone que una vez que este el dique completado a falta del relleno general de la explanada, se utilice una máquina de dragado para el dragado de la arena desde el fondo marino encerrado por el dique hasta la zona que requiere el material. Posteriormente, se procederá a rellenar la explanada añadiendo como relleno la arena que ha sido extraída.

Se ha recomendado que esta draga se produzca una vez que este el dique finalizado porque si se produce durante la realización de la obra podría haber un exceso de maquinaria en momentos puntuales aunque podría ser todo a la vez ya que la maquinaria de esta obra tampoco es excesivamente numerosa.

Cuando no se debe realizar el dragado es antes de comenzar las obras ya que la planta de equilibrio en ese instante sería todavía la inicial, y, por tanto, esa arena desaparecería de esa zona, malgastando el dinero empleado en el dragado y haciendo que sea necesario otro dragado posteriormente.