

---

# **ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE A PARTIR DE UN MODELO NUMÉRICO**

---



## **Grado en Ingeniería Civil Trabajo Fin de Grado**

**Autor:**

Miguel Fernández Andrade

**Tutores:**

Miguel Ortega Sánchez  
Rafael Jesús Bergillos Meca

Granada, junio de 2016



*ugr*

Universidad  
de Granada



---

# **ANÁLISIS DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE A PARTIR DE UN MODELO NUMÉRICO**

---

**Grado en Ingeniería Civil  
Trabajo Fin de Grado**

**Autor:**

Miguel Fernández Andrade

**Tutores:**

Miguel Ortega Sánchez

Rafael Jesús Bergillos Meca

Granada, junio de 2016



**ugr** | Universidad  
de Granada



# **INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>2</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>5</b>
3.1. Datos WANA	5
3.2. Modelo numérico	8
3.2.1. Calibración del modelo	8
3.2.2. Validación del modelo	10
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>10</b>
4.1. Variación longitudinal del coeficiente de propagación del oleaje	10
4.2. Variación transversal del coeficiente de propagación del oleaje	24
4.3. Variación transversal del coeficiente de propagación en función de la altura de ola significante en profundidades indefinidas.	33
4.4. Variación longitudinal de la refracción del oleaje	40
4.5. Variación transversal de la refracción del oleaje	45
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>54</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las costas españolas han sufrido un gran impacto debido a la cada vez mayor presencia humana. Las playas son un gran recurso ecológico, cultural, social y turístico en nuestro país y esta importancia, finalmente, también se ve reflejada en asuntos económicos. El sector turístico; en el cual nuestro país es la tercera potencial mundial con más de 60 millones de visitantes anuales y que representa el 10.2% del Producto Interior Bruto (PIB) y el 11.5% del empleo en España; está basado fundamentalmente en la oferta de “sol y playa”.

Por otro lado, los factores climáticos son también muy influyentes en el comportamiento del mar y son algo complicados de predecir. En numerosas ocasiones, fuertes temporales han arrasado con playas y construcciones civiles que se encontraban en las proximidades de la línea de costa. Estos eventos podrían ser evitados con previo estudio exhaustivo de las variaciones en el oleaje.

En particular, el lugar en donde se va a realizar el trabajo de investigación es la playa de Carchuna. Ésta es una playa cuya línea de costa está compuesta por un sistema de puntas-bahías alternadas, no muy separadas entre sí. Las aguas del Mar de Alborán navegan por encima de valles fluviales sumergidos tales como el cañón de Carchuna que parte del Cabo Sacratif. El mayor atractivo que tiene la playa de Carchuna es que es una playa heterogénea en la se puede hacer una clara distinción entre los distintos tipos de sedimentos según su tamaño y su distribución a lo largo del litoral.

Las playas de arenas y de gravas han sido más que estudiadas y su comportamiento es bastante previsible, puesto que hay mucha investigación sobre los patrones que siguen. En cambio, no podemos afirmar lo mismo para las playas heterogéneas: los resultados de las anteriores no se pueden extraer a estas playas. A pesar de ser muy comunes en todo el mundo, la información de la que disponemos sobre ellas no es muy significativa. Se va a realizar un análisis estadístico con los datos históricos registrados en esta playa y, posteriormente, razonar su variación relacionando los resultados con los distintos procesos de transformación de ondas: reflexión, refracción, asomeramiento, disipación y rotura.

De esta manera, se busca encontrar los patrones de propagación que puedan seguir las playas heterogéneas a partir de modelos numéricos que sirvan para futuras investigaciones. Esto tiene una importancia notable para prever eventos de fuertes tormentas y disponer de un análisis energético de la línea de costa considerando, sobre todo, el previsible aumento del nivel medio del mar debido al cambio climático. Poseer datos que modelen el comportamiento del oleaje es vital de cara a la protección, gestión y recuperación de costas, sin olvidar que son necesarios si se desea realizar cualquier tipo de obra marítima en la zona.

## 2. ZONA DE ESTUDIO.

Situamos este estudio en la Playa de Carchuna, en la Costa Tropical de la provincia de Granada, bañada por el Mar de Alborán. Está delimitada al norte por la Sierra de Lújar (perteneciente a Sierra Nevada) y la Sierra de Carchuna (perteneciente a la Alpujarra granadina), al oeste por el Cabo Sacratif y al este por Punta del Llano. Es una playa semi-reflectante, de unos 3900m de longitud y orientación media Oeste-Este. Se ha considerado la línea batimétrica de los 200m de profundidad como el límite a partir del cual el fondo marítimo no tendría efecto significativo sobre el oleaje.

Presenta un sistema de puntas-bahías formado por una serie de cúspides que se alternan con las bahías con separaciones variables (*Ortega-Sánchez et al., 2003*). Se podría llegar a la conclusión de que estas cúspides son como las originadas en las playas con topografía rítmica; en cambio, las de Carchuna tienen características distintas a éstas y no se encuentran recogidas en la literatura. Según recientes estudios, se ha comprobado que la forma y localización de estas puntas varían a lo largo del tiempo de manera local. Se intenta justificar la formación de esta morfología con la relación entre el ángulo de incidencia del oleaje y la orientación de la línea de costa.



Figura 1: Playa de Carchuna. Localización dentro de la geografía española.

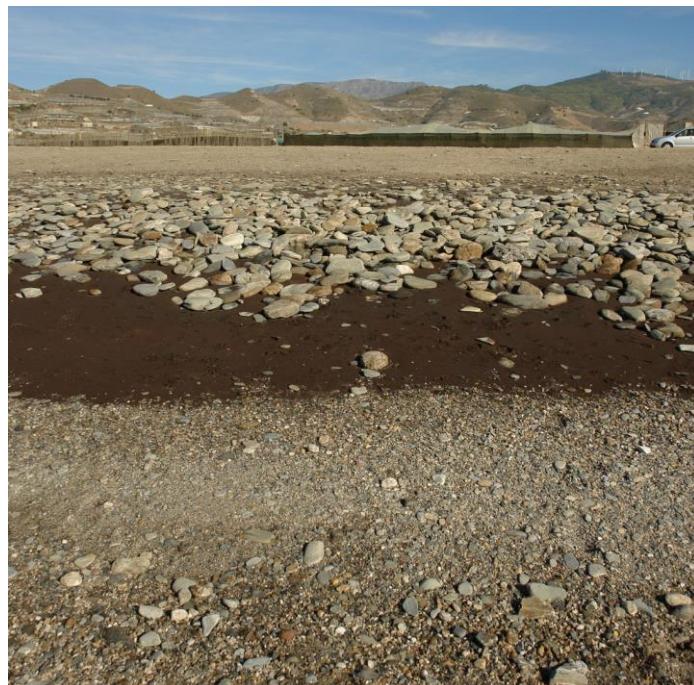
La línea de costa se divide en 6 cabos (locales): P2, P3, P4, P6, P8, P10. Este estudio analiza las características del olaje en puntas y sus respectivas bahías, conformando un total de 10 puntos de control designados desde P1 hasta P10. Para cada punto de control se van a estudiar los valores a las profundidades de 4m, 8m, 15m y 30m: lo que haría un total de 40 puntos de control realmente.

La playa de Carchuna no se encuentra en su estado natural, ya que hay una gran presencia de actividades humanas en la zona. Existen numerosos invernaderos, que cubren la mayoría de la zona, salpicados por pequeños grupos de edificaciones residenciales, ya que esta playa tiene gran interés turístico en los meses más cálidos del año. Destacan pedanías como Calahonda y urbanizaciones como La Perla (López Ruiz, 2009). En esta zona es reseñable que, debido a eventos de gran contenido energético, se han producido erosiones intensas en la costa llegando a afectar a construcciones que, por una excesiva presión sobre el litoral y el desconocimiento del comportamiento de la línea de costa dentro de la gestión del litoral, se encontraban demasiado cerca de la misma. Esta eventualidad ha obligado en los últimos años a realizar algunas actuaciones de emergencia en chiringuitos y duchas de estas playas que se habían visto afectados por temporales de poniente muy severos. Esto hace patente la necesidad de un estudio pormenorizado de los procesos costeros en este tipo de zonas.

El nivel medio de marea es de 0.6 m y los oleajes predominantes en la zona son dos:

- ❖ Los generados en el Golfo de Cádiz, que inciden sobre la playa con una marcada componente del oeste y períodos largos.
- ❖ Los originados en el Mar de Alborán, que inciden oblicuamente desde el Este con períodos cortos (Ortega-Sánchez et al., 2004).

Por otro lado, las precipitaciones a lo largo de la Costa Tropical de Granada son escasas, rondan los 350-400 mm/año, con una distribución temporal muy irregular, sobre todo en verano, donde frecuentan las lluvias torrenciales, por lo que el aporte de sedimentos a la playa a lo largo del año es escaso.



**Figura 2:** Sedimentos finos y gruesos en la playa de Carchuna. [Fuente: López Ruiz et al., 2015]

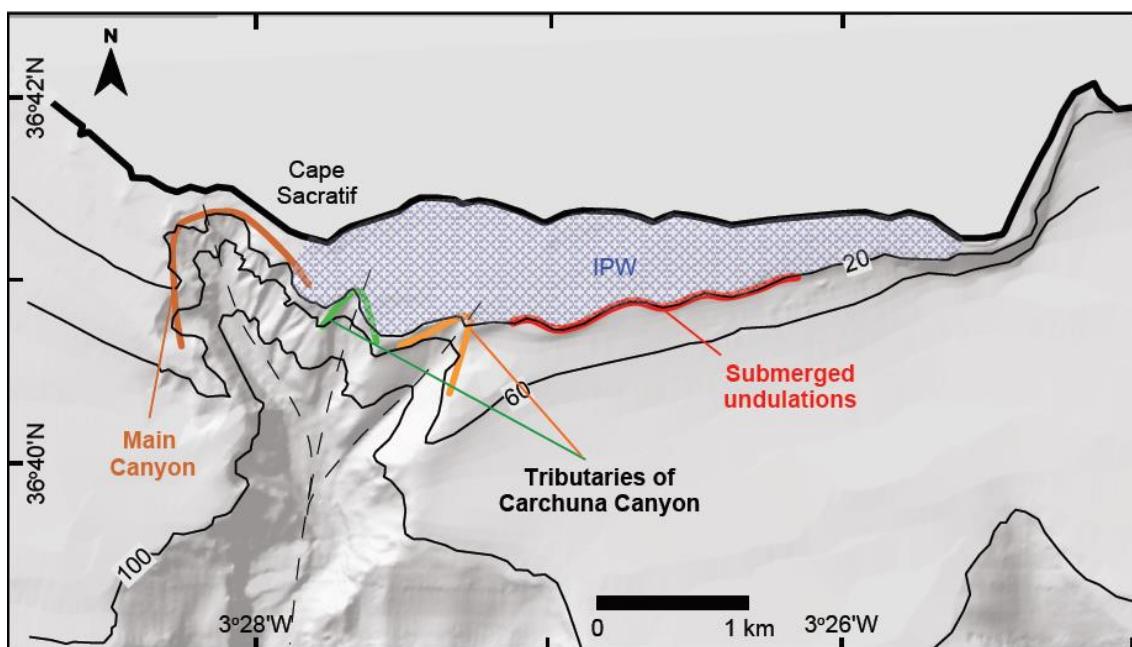
En cuanto a la granulometría, la playa es heterogénea de composición mixta; es decir, tiene una proporción de finos del 30% y de gruesos del 70%. Muchos de estos sedimentos tienen origen en los procesos fluviales de cauces irregulares que, cuando las lluvias son torrenciales durante la época estival, desembocan en la playa (López Ruiz, 2009). Los materiales predominantes son materiales preorogénicos que constituyen los mantos de los Alpujárrides y otros más modernos, del Holoceno, que constituyen los depósitos aluviales de la playa.

La batimetría está también muy influida por los procesos marítimos que se producen, fundamentalmente por las tormentas invernales que afectan a esta zona del mar Mediterráneo. Es menester tener en cuenta que las aguas del Mar de Alborán recorren una serie de valles sumergidos, entre los que destaca el cañón de Jolúcar, pues éste será determinante para predecir el comportamiento de la línea de costa.

El cañón de Jolúcar tiene una orientación Norte-Sur. Está dividido en 3 partes: el cañón principal, el cañón tributario del este y el cañón tributario del oeste.

El cañón principal tiene su punta situada a menos de 100m de la línea de costa (a unos 200m al oeste de P1), alcanza su cota mínima a los 700m de profundidad (bajo el nivel del mar), y tiene una longitud total de aproximadamente 5km.

Los otros dos cañones tributarios, se encuentran al este del principal y se extienden desde los 10m hasta los 180m de profundidad (Ortega-Sánchez *et al.*, 2014).

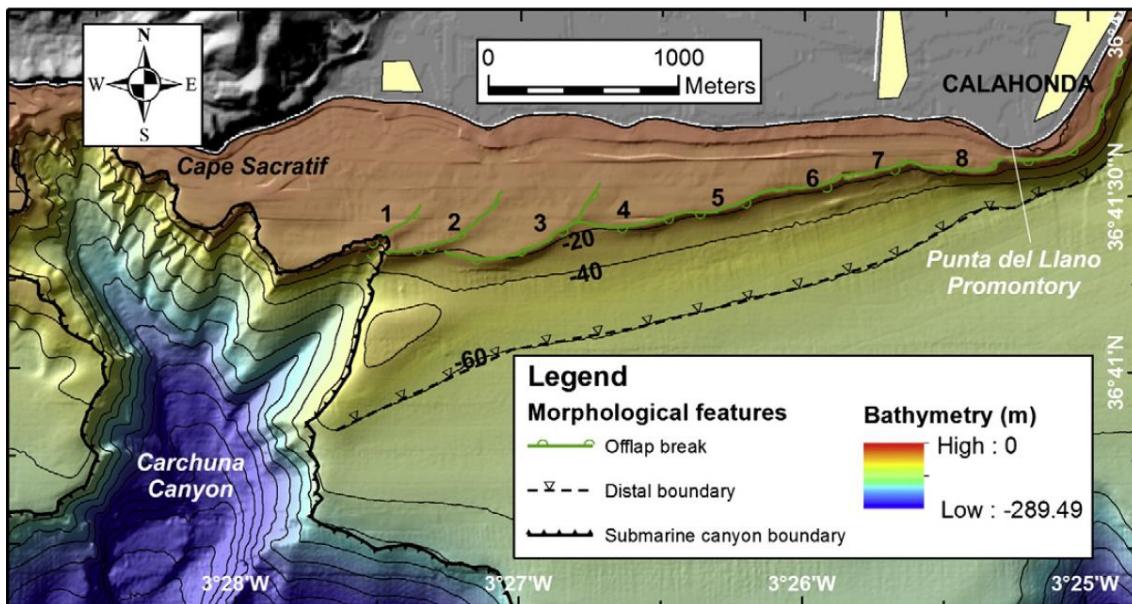


**Figura 3:** Cañón de Jolúcar con los dos cañones tributarios y la barrera de sedimentos sumergida.

[Fuente: López Ruiz *et al.*, 2015]

Al este del cañón de Jolúcar, se encuentra una importante plataforma formada por la acumulación de sedimentos debido a la progradación que sufre el este de la playa de Carchuna y la playa de Calahonda. Esta plataforma progradante se extiende desde la línea de costa hasta los 20m de profundidad. Su superficie es mayor en la zona colindante con el cañón y va disminuyendo de Oeste a Este. La línea batimétrica de los 20m sería el límite de la plataforma en donde se produce la rotura del offlap. Esta línea de rotura se ha dividido en 8 segmentos discontinuos u ondulaciones, las cuales son de dos tipos:

- ❖ Las ondulaciones 1-3 tienen su extremo más lejano a la costa con orientación E-O y su extremo más cercano con orientación NE-SO.
- ❖ Las ondulaciones 4-8 tienen una orientación ENE-OSO más constante pero discontinua (*Ortega-Sánchez et al., 2014*).



**Figura 4:** Línea de rotura del offlap al este del cañón de Jolúcar y las ocho ondulaciones que la componen.  
[Fuente: *Ortega-Sánchez et al., 2014*]

## 3. Metodología

### 3.1. Datos WANA: Estadística de los casos más representativos.

El análisis fue realizado sobre los datos del archivo WANA, facilitado por Puertos del Estado (Ministerio de Fomento); el cual caracteriza el oleaje y viento en profundidades indefinidas. Se recopilaron todos los datos de los estados de mar desde 1958 hasta 2015, gestionados convenientemente con el programa Notepad2. Esta información se ha usado para analizar el clima marítimo y seleccionar las condiciones de forzamiento predominantes en la zona de estudio.

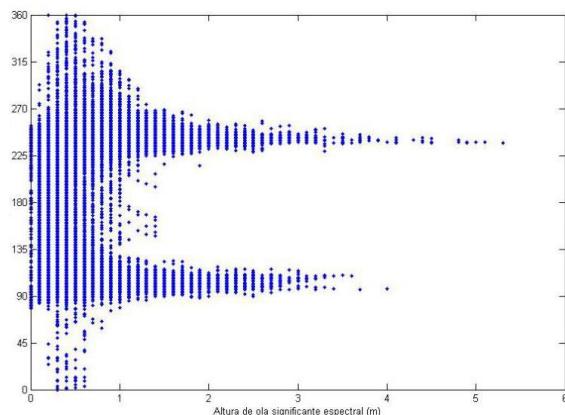
Estos datos se cargaron en el programa Grapher para poder exportarlos a una rosa de los vientos y posteriormente ordenarlos en tres tablas. Los parámetros a estudiar y sus valores han sido los siguientes:

- Altura de ola: desde 0 hasta 5 metros en intervalos de 25 cm.
- Dirección del viento: desde  $0^\circ$  hasta  $360^\circ$  en intervalos de  $22,5^\circ$ .
- Período pico espectral: desde 0 hasta 24 segundos en intervalos de 1 segundo.

Cada una de las tablas ha relacionado los parámetros de la siguiente forma: dirección del viento - altura de ola; período - altura de ola; dirección del viento - período. En cada celda se contempla la frecuencia discreta con la que se da ese par de valores en todo el archivo WANA. Con estas tablas se han recogido un total de 64 estados de mar para el Oeste y 64 más para el Este.

Estos dos grupos de 64 datos se han dividido en dos archivos de notas que se han utilizado para, mediante una rutina introducida en el programa MATLAB, generar un par de archivos .wavecon (Este y Oeste), de forma que el modelo pueda interpretarlos.

Así mismo, se ha estudiado el régimen medio con los datos del archivo SIMAR. Al representarlos con la altura de ola significante, se obtiene el valor punta de la dirección tanto para el oleaje del Este como del Oeste. Por consiguiente, tomaremos como ángulo de procedencia en profundidades indefinidas para el Oeste de  $223^\circ$  y para el Este de  $94^\circ$ . De igual forma, analizando los valores de las tablas, se va estudiar el régimen medio para un período pico espectral de 8 segundos.

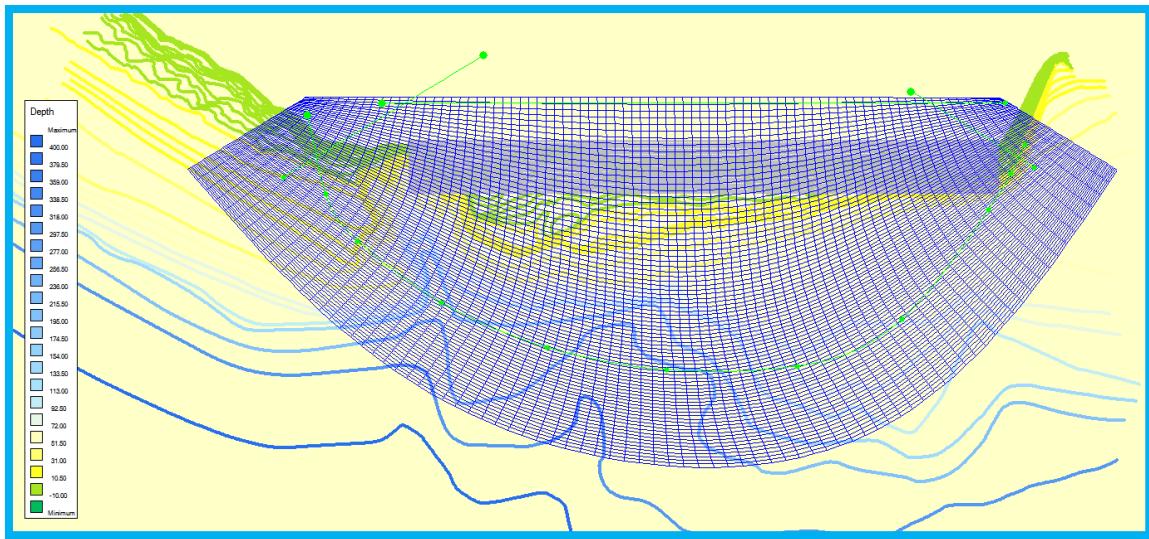


**Figura 5:** Dirección media de procedencia del oleaje del Este (pico inferior) y Oeste (pico superior).

Para elegir los puntos de control, se ha escogido una batimetría simplificada de la zona (con menos puntos) en formato .cad y se ha cargado en el modelo. La citada batimetría ha sido previamente cargada en el programa AUTOCAD para señalar los puntos de control y sacar sus coordenadas. Además, gracias a una aplicación de este mismo programa, se ha generado un archivo con todos los puntos de la batimetría para exportarlo al DELFT3D.

Una vez en el programa DELFT3D, se ha utilizado la opción RFGRID para exportar el archivo con todos los puntos de la batimetría. Gracias a esta opción, se han dibujado dos mallas sobre la batimetría de la playa de Carchuna. Se han seguido los dos modelos de malla que propone Miguel Ortega-Sánchez (*Ortega-Sánchez et al., 2014*):

- ❖ Una malla grande compuesta por 244 x 73 celdas.
- ❖ Una malla más pequeña de 325 x 82 celdas, que además está más refinada que la anterior.



**Figura 6:** Modelo de dos mallas (grande y pequeña) sobre una simplificación de la batimetría de la playa de Carchuna [Fuente: DELFT3D].

Tras recopilar todos los datos, se han introducido en el modelo DELFT3D en el módulo WAVE y éste ha generado una serie de archivos para cada estado de mar, cada malla y cada dirección de procedencia. En estos archivos se encuentra toda la información necesaria con los datos del oleaje en cada uno de los puntos de control para cada profundidad.

A continuación, se han escogido los parámetros que son de mayor importancia para el estudio (altura de ola y ángulo de procedencia) y se han exportado a una serie de documentos en EXCEL, donde se han calculado los coeficientes de propagación y las variaciones de dirección.

Coeficiente de propagación:

$$Cp = \frac{H_{Prof}}{H_0}$$

Variación de Dirección:

$$\Delta\theta = |\theta_{Prof} - \theta_0|$$

Siendo:

$H_{Prof}$ : Altura de ola en el punto de control a una determinada profundidad.

$H_0$ : Altura de ola significante en profundidades indefinidas.

$\theta_{Prof}$ : Ángulo de procedencia del oleaje en el punto de control a una determinada profundidad.

$\theta_0$ : Ángulo de procedencia del oleaje en profundidades indefinidas.

Por último, se han asignado los coeficientes de propagación y las variaciones de dirección del oleaje para cada punto de la costa, cada profundidad y para ambas direcciones. Con los datos obtenidos, se han podido realizar una serie de gráficas, gracias al programa Grapher, que han ayudado a comprender mejor la evolución del oleaje a lo largo de la playa.

## 3.2. Modelo numérico

El modelo numérico empleado para la propagación de oleaje y análisis hidrodinámico es el del programa Delft3D.

Se ha utilizado este modelo ya que es el que mejor se adapta a las necesidades exigidas, entre ellas: la necesidad de un código que trabaje tanto en agua profundas como someras. Esto permitirá estudiar la propagación del oleaje desde su generación hasta la costa, teniendo a su vez en cuenta los procesos físicos de disipación de energía, reflexión, refracción, interacciones no lineales..., y, lo más importante, se trata de un software libre (*Del Rosal Salido, 2013*).

El modelo Delft3D fue desarrollado por la Universidad tecnológica de Delft (Países Bajos) para estimar las características del oleaje en zonas costeras, estuarios, lagos, canales, islas..., generados por vientos locales y corrientes ambientales. Dicho programa engloba varios módulos. En este trabajo se ha utilizado el módulo WAVE, con el cual se obtiene bastante precisión de los parámetros del oleaje.

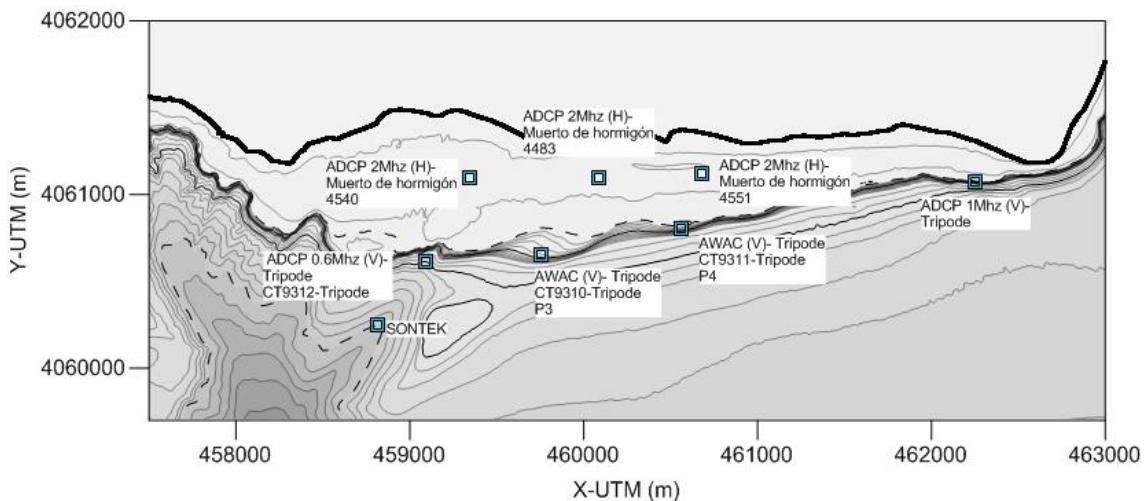
El trabajo a realizar con el modelo se descompone en:

- Calibración y validación del modelo.
- Simulación de las condiciones de forzamiento en los escenarios.

### 3.2.1. Calibración del modelo

Para la calibración del modelo se emplean los datos medidos por 7 instrumentos de medidas hidrodinámicas (ADCPs) durante la campaña de campo. La ubicación de los instrumentos viene indicada en la Figura 7.

Se eligió un periodo de tiempo para la simulación dentro de los dos meses que duró la campaña de campo. Posteriormente se modifica un parámetro dejando los demás con su valor por defecto. Se realiza la simulación obteniendo una altura de ola simulada  $H_s^{stm}$  en el punto de control donde los instrumentos midieron durante la campaña. Resultado de dicha medición se obtiene  $H_s^{medida}$ . Se comparan dichas alturas de ola empleando el coeficiente de correlación (R).



**Figura 7:** Ubicación de los instrumentos de la campaña de campo.

Formulación del coeficiente de correlación (R):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (H_{Delft_i} - \overline{H_{Delft}}) (H_{ADCP_i} - \overline{H_{ADCP}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (H_{Delft_i} - \overline{H_{Delft}})^2 \sum_{i=1}^n (H_{ADCP_i} - \overline{H_{ADCP}})^2}}$$

Siendo:

$H_{Delft}$ : El valor de altura de ola obtenido de la simulación del modelo.

$H_{ADCP}$ : El valor de altura de ola obtenido de la medición del instrumento.

$H_{Delft_i}$ : Media de los valores de altura de ola obtenidos de la simulación del programa.

$H_{ADCP_i}$ : Media de los valores de altura de ola obtenidos de la medición del instrumento.

El valor de R puede oscilar entre  $-1 \leq R \leq 1$ , siendo mejor el ajuste cuanto más próximo esté R de  $-1$  ó  $1$ .

Ahora tendríamos dos opciones:

**a) La simulación mejora respecto a la anterior:** En ese caso se vuelve a modificar el mismo parámetro para tratar de ajustarlo hasta que los resultados de la simulación no mejoren respecto de la simulación anterior. Es la opción b.

**b) La simulación no mejora respecto de la anterior:** En este caso se cambia de parámetro y se repite todo el proceso.

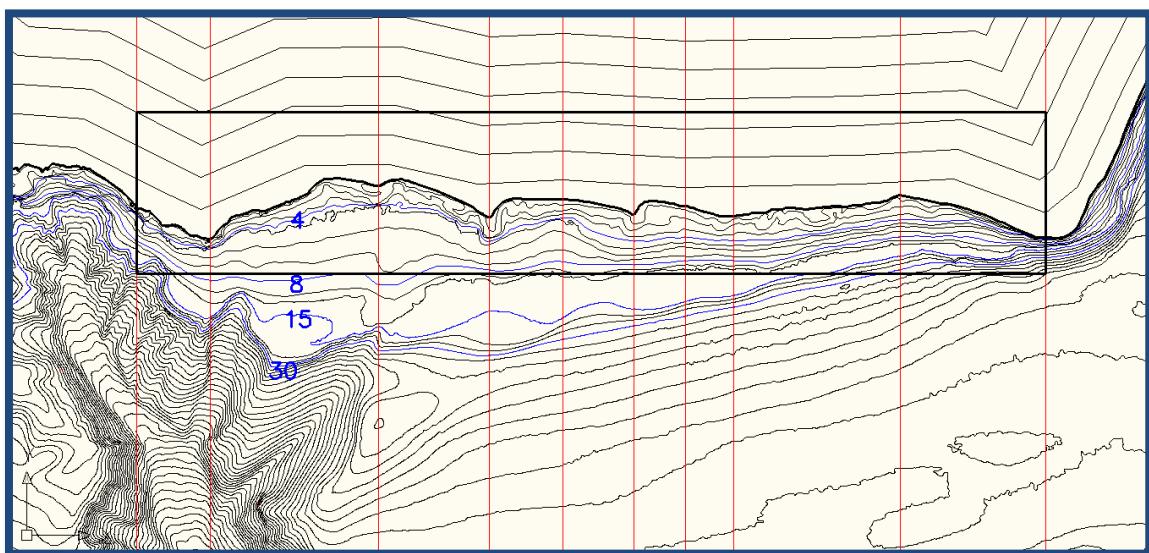
Repetiendo este proceso para cada uno de los parámetros del modelo y para diferentes periodos de tiempo se obtienen unos valores para cada parámetro que permiten propagar oleaje de forma precisa sean cuales sean las condiciones de la costa.

### 3.2.2. Validación del modelo

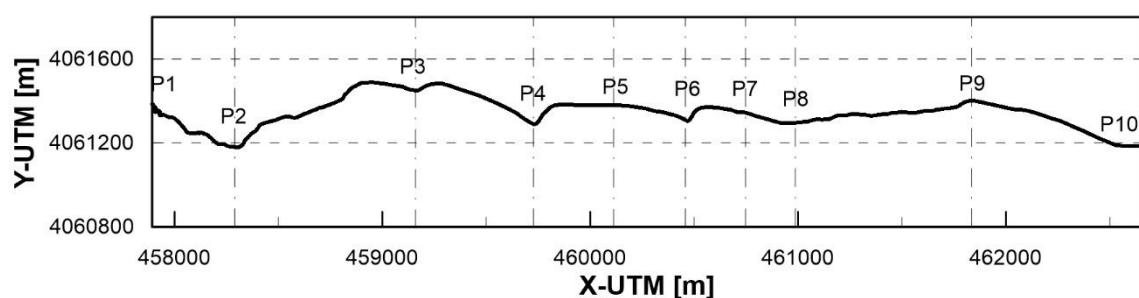
Una vez el modelo ha sido calibrado para varios períodos de tiempo, se elige otro período distinto de los anteriores donde se simulan de nuevo el oleaje sin modificar ningún parámetro. Si el ajuste es bueno, el modelo se puede decir que está bien calibrado y validado. En este caso, se obtuvo un coeficiente de correlación mayor de 0.91 para todos los instrumentos (*Ortega-Sánchez et al., 2014*).

## 4. Resultados

### 4.1. Variación longitudinal del coeficiente de propagación del oleaje.

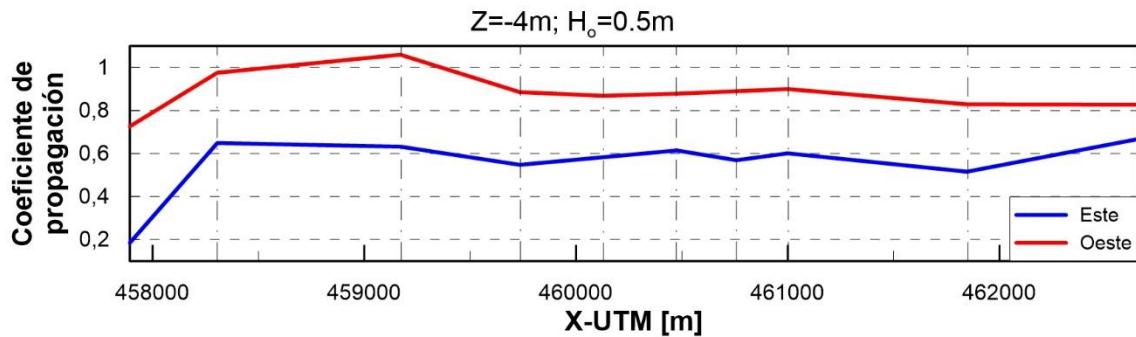


**Figura 8:** Batimetría completa de la playa de Carchuna. Destacados los 10 puntos de control y las 4 líneas batimétricas del estudio.

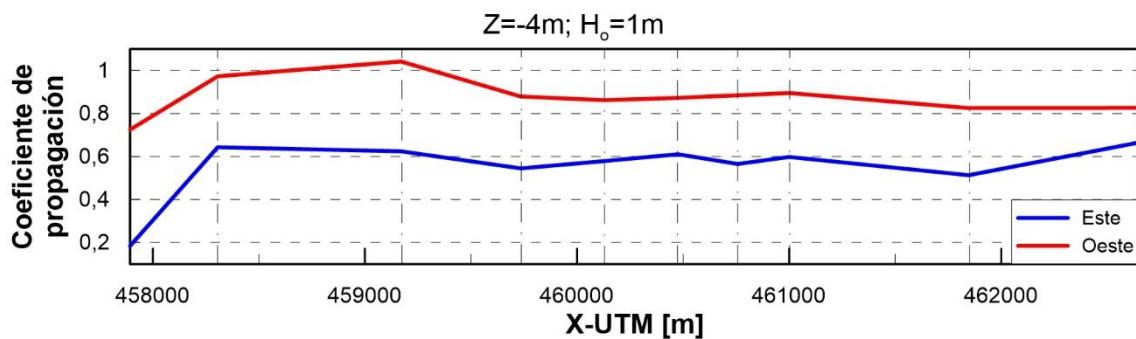


**Figura 9:** Línea de Costa simplificada de la playa de Carchuna. Puntos de control P1-P10.

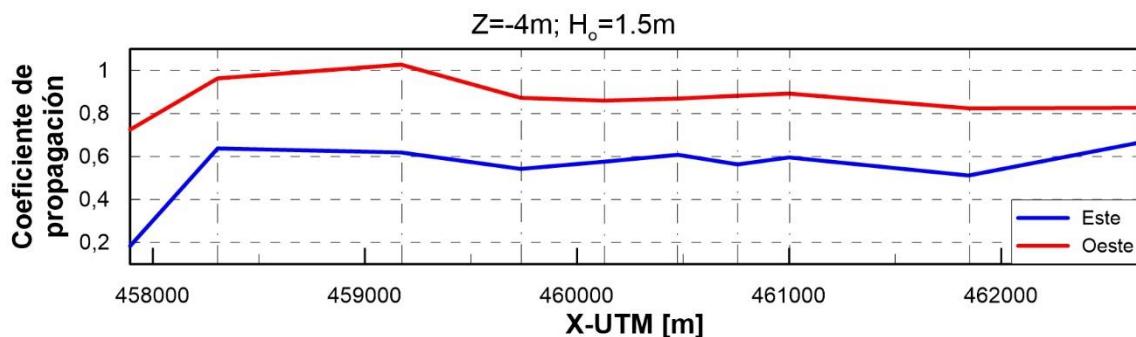
- Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje para cada altura de ola indefinida a una profundidad de 4m.



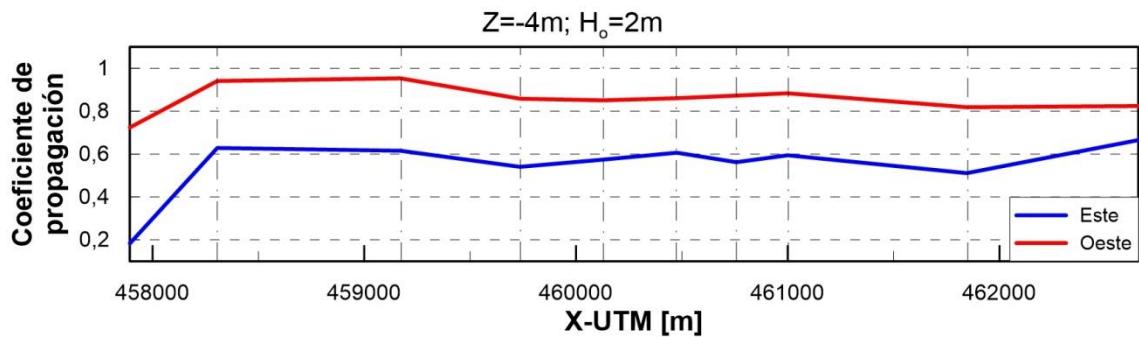
**Figura 10:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 0.5m.



**Figura 11:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 1m.



**Figura 12:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 1.5m.



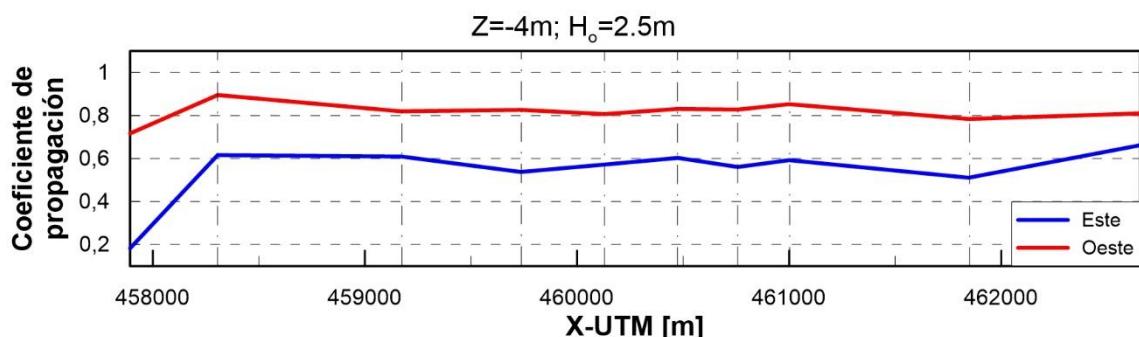
**Figura 13;** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 2m.

A una profundidad de 4m, para alturas de ola desde 0.5m hasta los 2m no existen cambios significativos en cuanto a la variación del coeficiente de propagación tanto para el Oeste como para el Este.

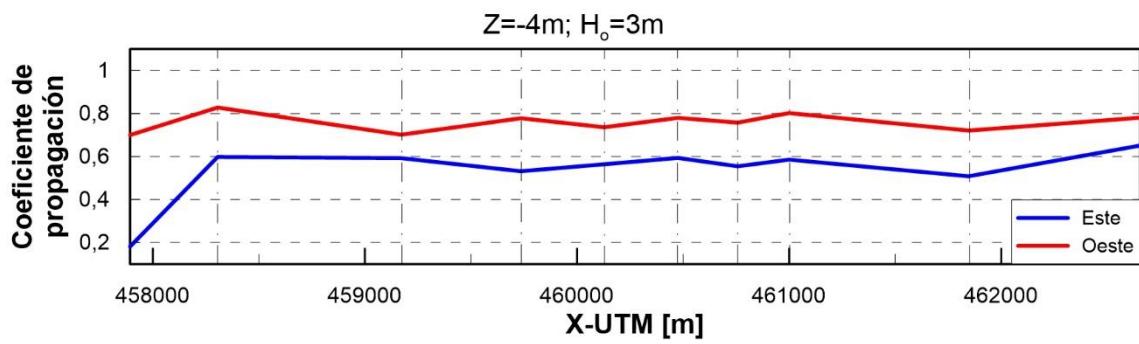
Para la dirección oeste, los puntos de control donde la altura de ola varía menos son P2 y P3; puesto que el coeficiente de variación está en torno a la unidad. El punto de control P1 es en el que más pérdidas sufre el frente de ondas del oleaje, pues este punto es el más cercano al borde norte del cañón; por tanto, las olas tienen que atravesar muchas ondulaciones con distinta pendiente y profundidades. Dicho lo cual, el oleaje al llegar a los 4m ha sufrido previamente rotura y ha reducido bastante su coeficiente de propagación. A partir de P4, el oleaje ya no se ve afectado por el cañón de Jolúcar. En el resto de ellos, hasta llegar a P10, los coeficientes de propagación son muy parecidos: todos algo superiores a 0.8.

Para el Este, lo primero en que nos fijamos es en la situación del punto de control 1º y es algo que se repite para todas las alturas de ola significantes. Según el ángulo de incidencia del oleaje del Este (94º), las olas no tienen espacio para desarrollarse desde profundidades indefinidas; por tanto, se registran alturas de ola mucho menores en ese punto. Para el resto de puntos, los coeficientes de propagación apenas varían y se encuentran en torno a 0.6.

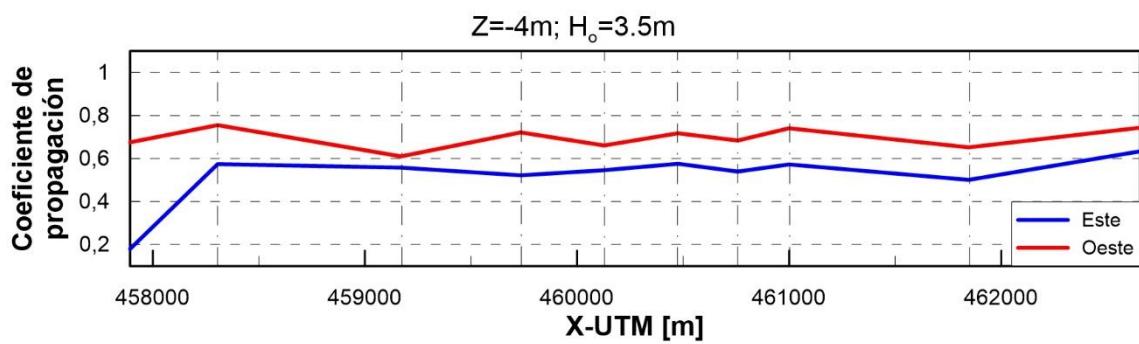
Los valores recogidos para el Este son bastante menores que los del oeste (caen en un 20%), lo que lleva a pensar que esto pueda deberse a que la dirección de las líneas de nivel es más afín a la dirección de las olas del Oeste que las procedente del Este y, por tanto, en las primeras, el fondo tiene menor efecto.



**Figura 14:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 2.5m.

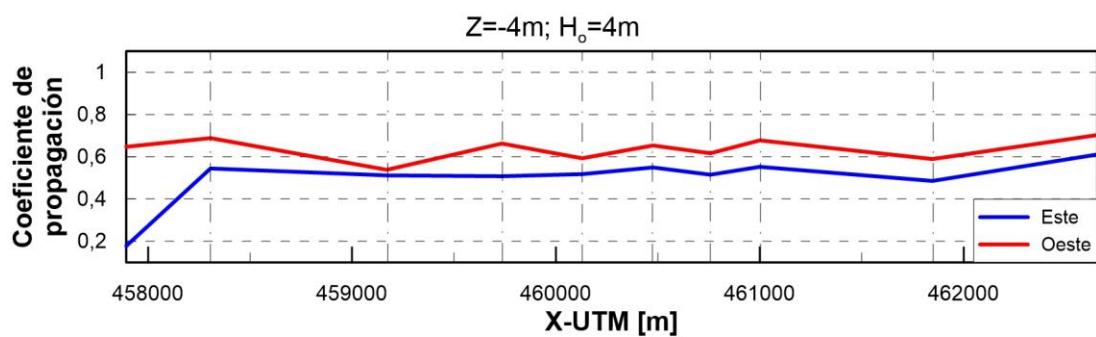


**Figura 15:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 3m.

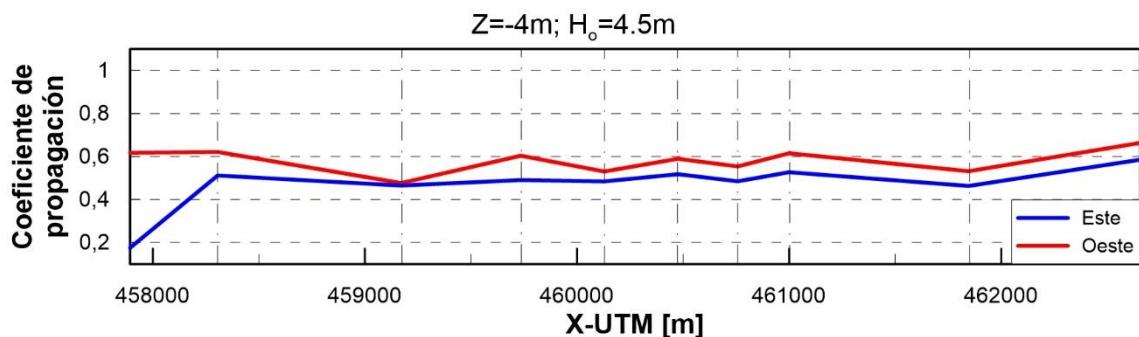


**Figura 16:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 3.5m.

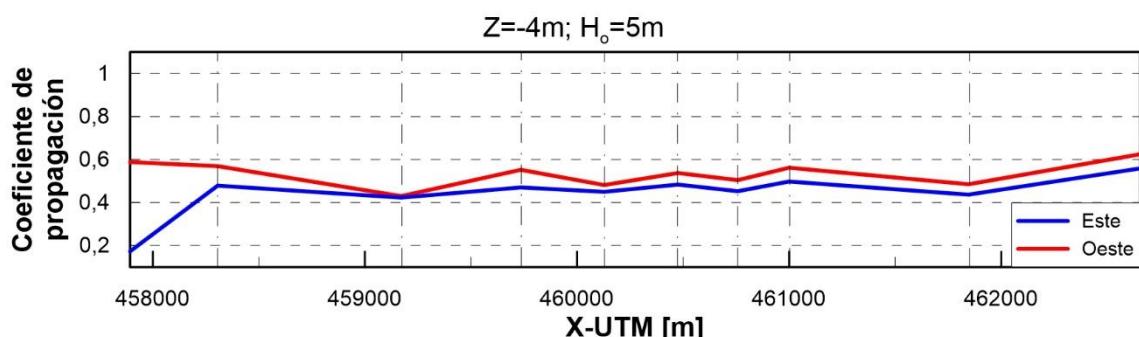
Para alturas de ola entre 2.5m y 3.5m, a la profundidad de 4m, ya se puede ir precisando el reparto de energía a lo largo de la línea de costa. En cuanto al oleaje del oeste, los puntos más afectados son P2 y P3 que respecto a los resultados para las alturas de ola significantes menores a 1m, el coeficiente de propagación se ha visto reducido en un 20% y 40 % respectivamente para una altura de ola de 3.5m. El resto han disminuido también sus coeficientes de propagación, pero más ligeramente, y se encuentran alrededor del 0.7.



**Figura 17:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 4m.



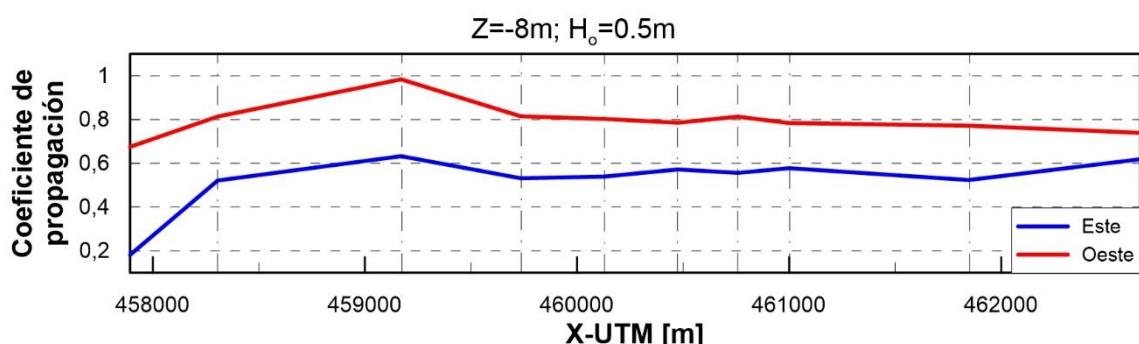
**Figura 18:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 4.5m.



**Figura 19:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 4m para la altura de ola significante de 5m.

Para las alturas de ola mayores se puede ver más claramente el comportamiento del oleaje puesto que éste se ve más afectado por el fondo. Tanto el oleaje del Este como el del oeste, tienen un comportamiento muy similar ya llegando a la costa. Esto se ve reflejado en el paralelismo de las gráficas. A su vez, se puede contemplar cómo ha cambiado el contorno de la línea de costa según estos coeficientes de propagación. De tal forma que en los cabos el coeficiente de propagación toma valores más altos, lo que supone una acumulación mayor de energía; y, por otra parte, en las bahías el coeficiente de propagación es menor y la concentración de energía es menor.

- Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje para cada altura de ola indefinida a una profundidad de 8m.



**Figura 20:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 0.5m.

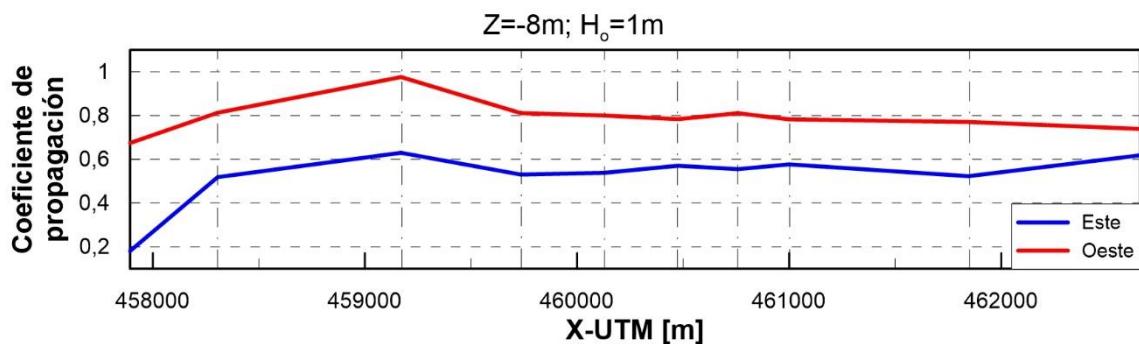


Figura 21: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 1m.

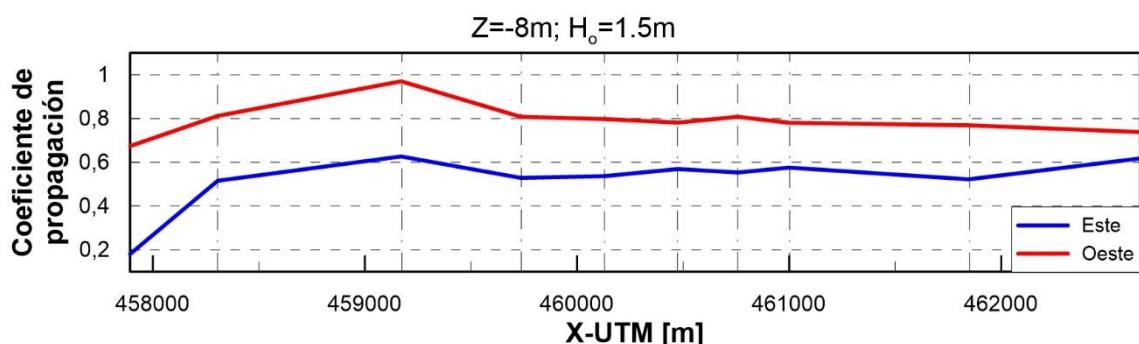


Figura 22: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 1.5m.

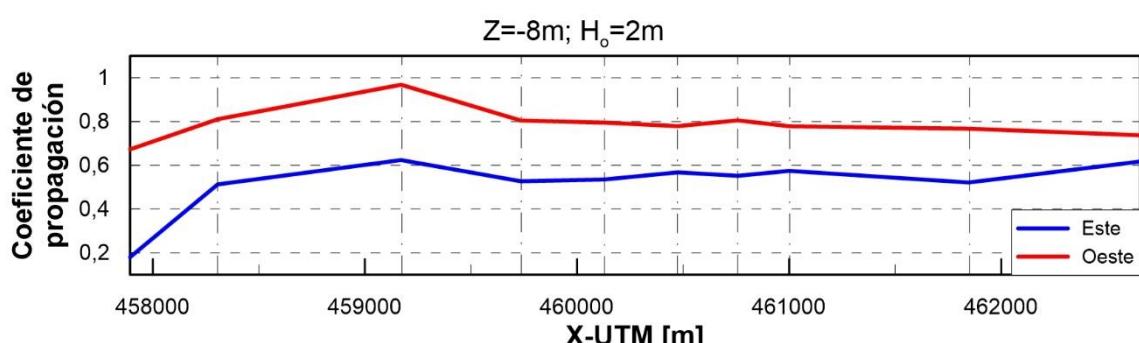


Figura 23: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 2m.

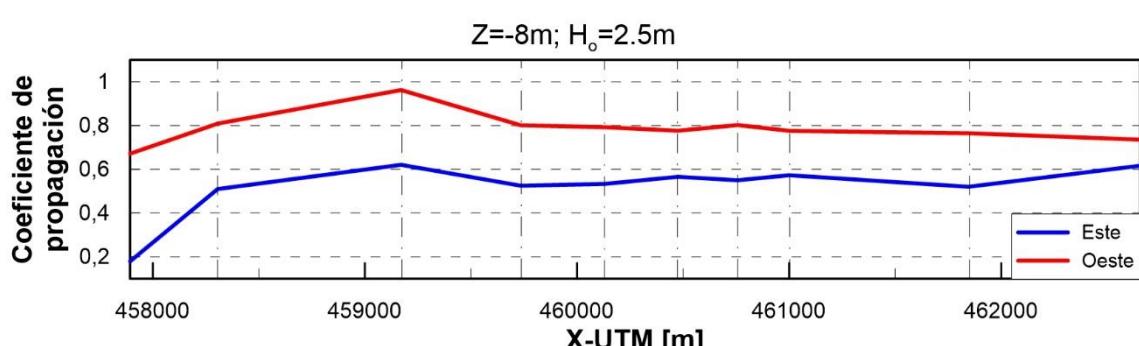
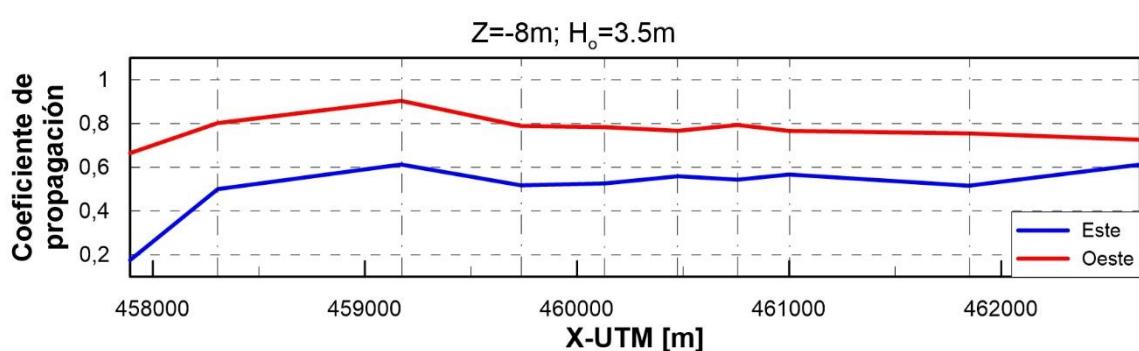
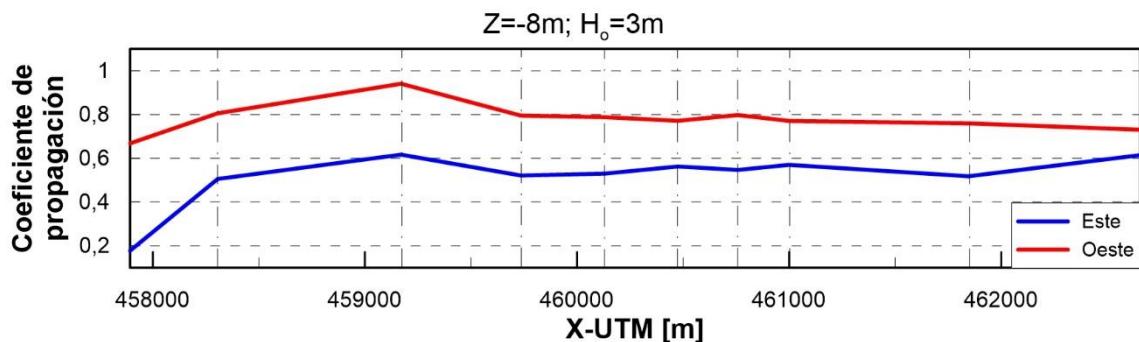
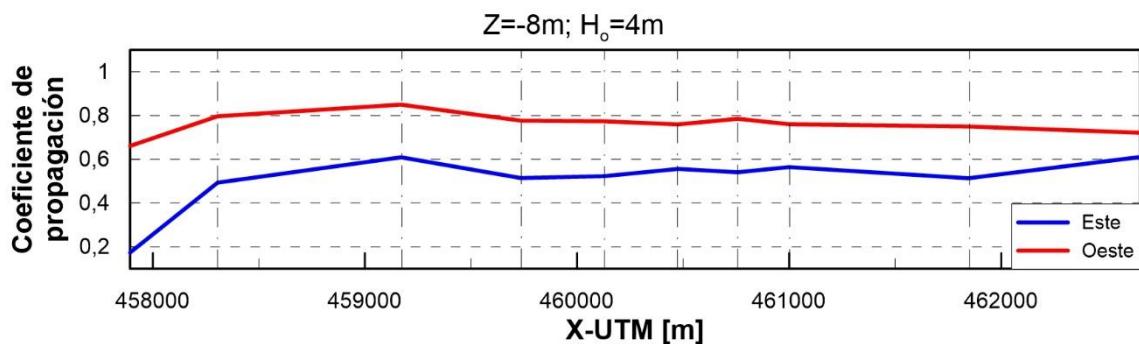


Figura 24: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 2.5m.

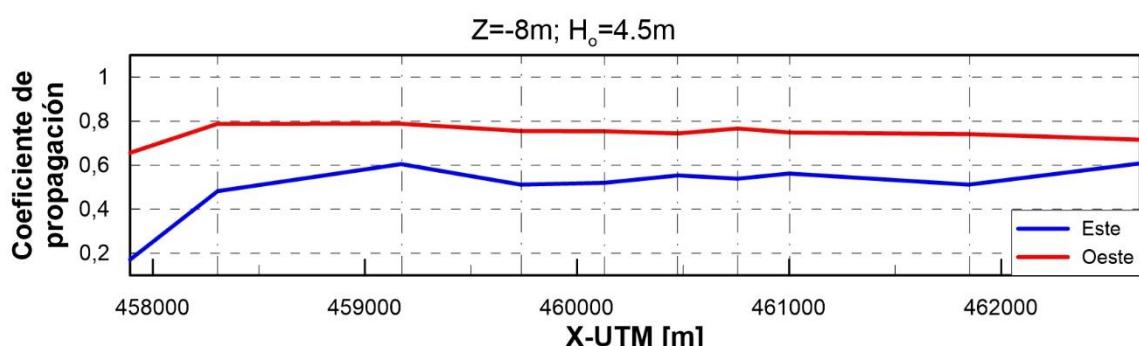


A los 8m de profundidad, en el rango de oleajes con alturas de ola significantes desde 0.5m hasta 3.5m, la variación de los coeficientes de propagación no varía mucho. Para el oleaje del Oeste, se observa que los puntos de control entre P1 y P3 se ven afectados por el Cañón de Jolúcar, en el cual se registran alturas de ola mayores que las que se producirían en el caso de que este no existiera.

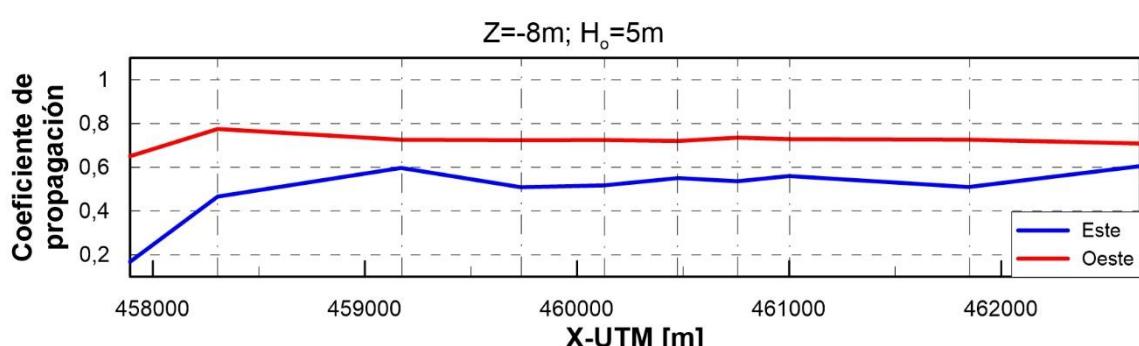
A la salida del cañón, el oleaje pierde esa energía extra. Dependiendo de la morfología del terreno que posteriormente atraviese, esta pérdida será mayor o menor. Todo parece apuntar a que la energía que lleva la ola dentro del cañón sería la que finalmente también se refleja en P2. En cambio, para P1 al salir del cañón la ola pierde fuerza y en P3 el asomberamiento ayudaría al oleaje a aumentar su coeficiente de propagación en ese punto de control. De ahí que, en este último punto, para las alturas de ola significantes menores, su coeficiente de propagación sea cercano a 1. Para el resto de puntos de control en los cuales no afecta el cañón (Este y Oeste), los coeficientes permanecen bastante constantes siendo para el Oeste alrededor de 0.8 y para el Este se reduce aproximadamente en un 25% rondando valores de 0.5.



**Figura 27:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 4m.



**Figura 28:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 4.5m.



**Figura 29:** Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 8m para la altura de ola significante de 5m.

En cambio, para oleajes tormentosos ( $H_o=4m$ ,  $4.5m$  y  $5m$ ), cambian los valores del coeficiente de propagación en los puntos de control P1, P2 y P3 para el oleaje de origen oeste, acercándose estos valores cada vez más a los puntos de control que se encuentran más al Este (0.7). En base a lo anterior, se puede deducir que el asombramiento es mayor para las alturas de ola menores que para las mayores.

En cuanto al oleaje del Este no se aprecian variaciones en el coeficiente de propagación.

- Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje para cada altura de ola indefinida a una profundidad de 15m.

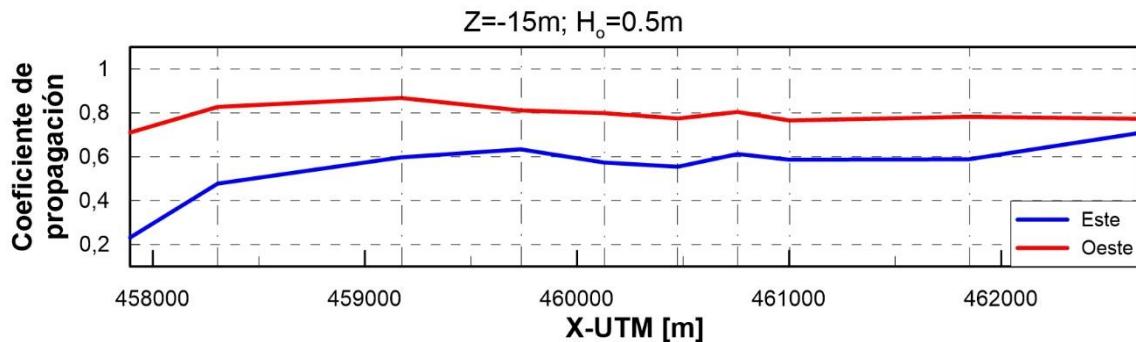


Figura 30: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 15m para la altura de ola significante de 0.5m.

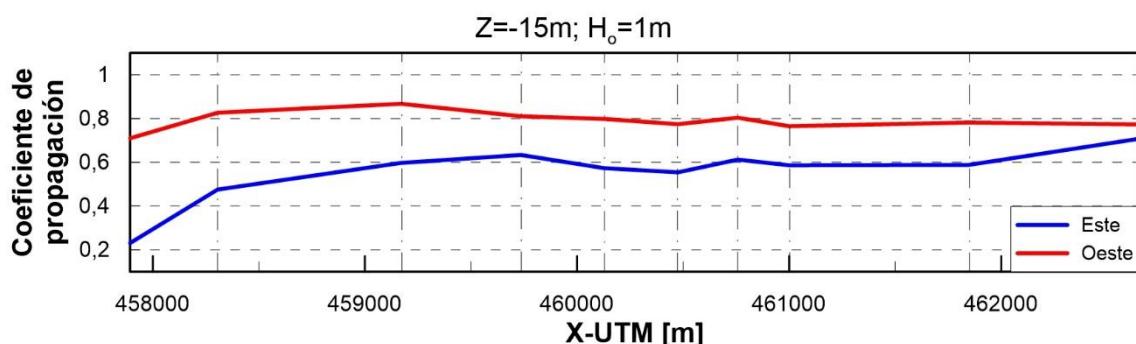


Figura 31: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 15m para la altura de ola significante de 1m.

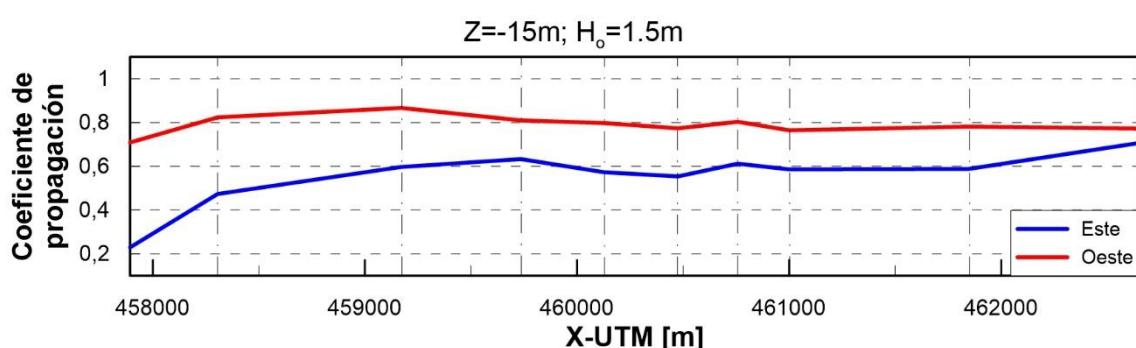
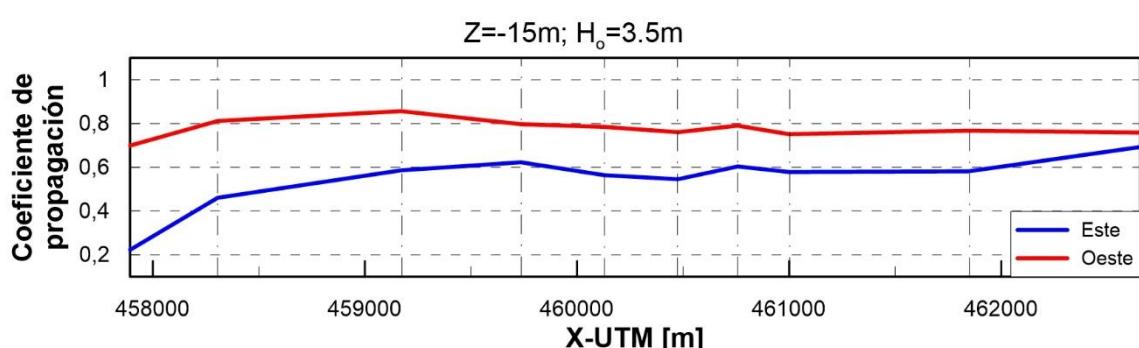
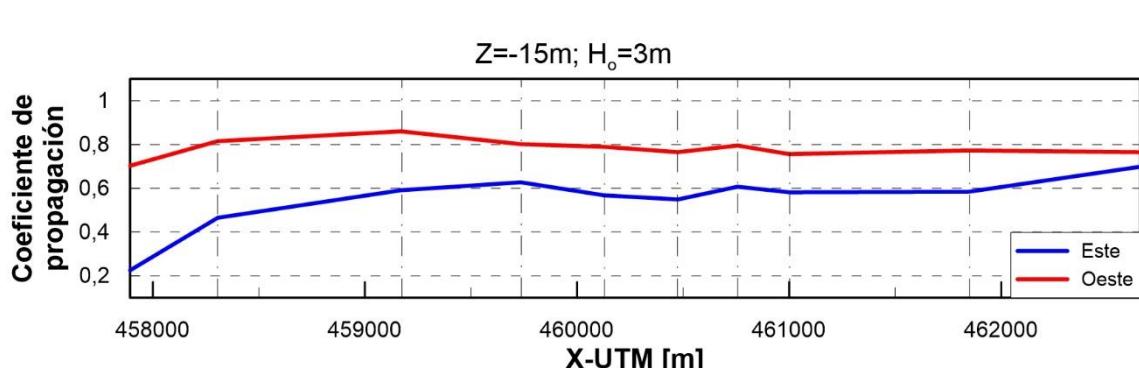
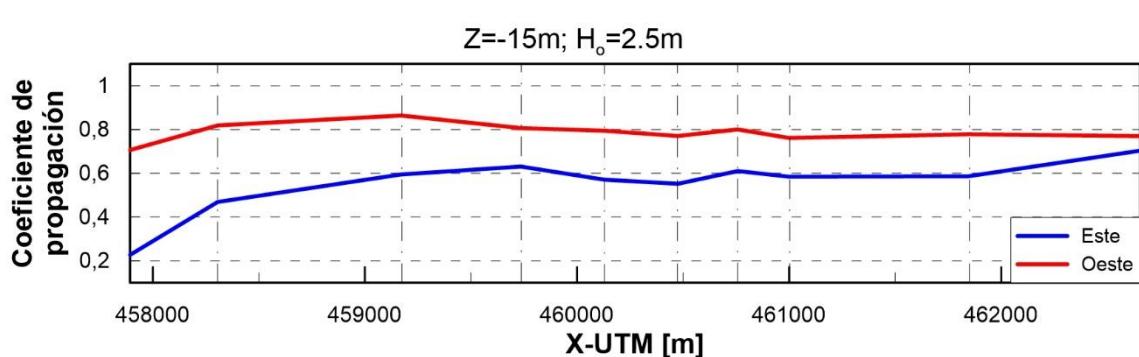
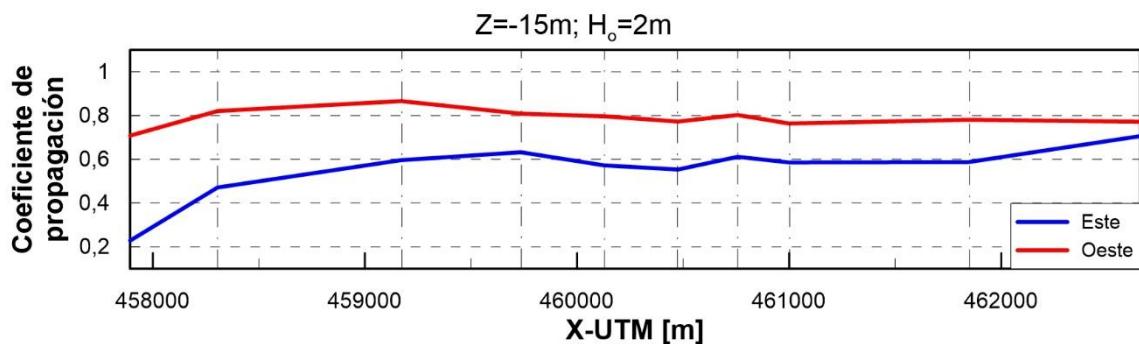
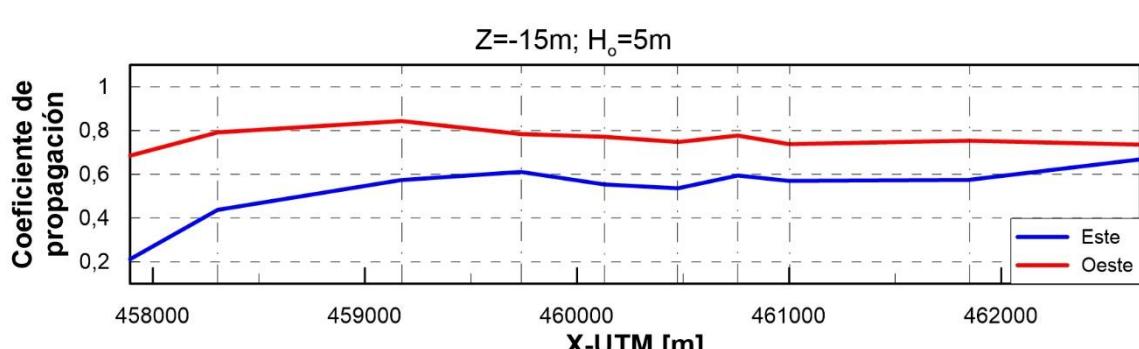
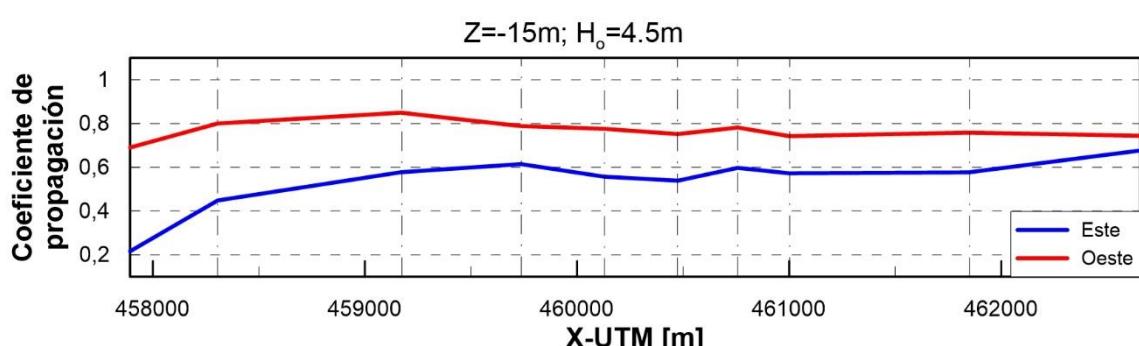
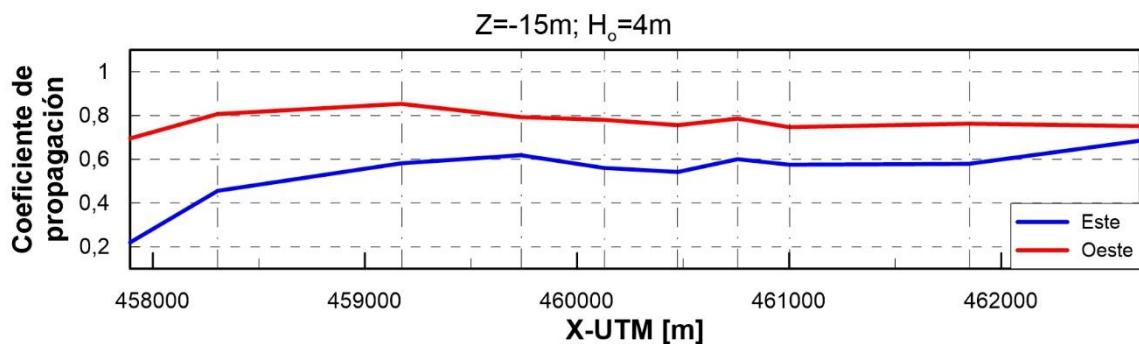


Figura 32: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 15m para la altura de ola significante de 1.5m.





A la profundidad de 15m, el comportamiento de los coeficientes de propagación tanto del Este como del Oeste es bastante similar para cualquier altura de ola significante. Sólo se percibe que los coeficientes de propagación para alturas de ola significantes menores son mayores y que disminuyen ligeramente para oleajes tormentosos. La línea de nivel de los 15m se encuentra bordeando los límites del Cañón de Jolúcar y por el Este se extiende al norte del límite de la plataforma progradante, donde se encuentra la rotura del offlap.

En el oleaje del Oeste, parece que a P1 llega una menor cantidad de energía por encontrarse éste en medio de las ondulaciones del cañón. En el punto 2 llega un poco más de energía al estar situado muy cerca del cañón tributario del Oeste, atravesando pendientes del 32%. El punto P3 es el que menos pérdidas sufre puesto que el oleaje atraviesa sin problemas el cañón tributario del Oeste con pendiente de aproximadamente el 12%. Las olas que llegan al resto de puntos, encuentran justo después la barrera de sedimentos sumergida y la variación en sus coeficientes de propagación se debe básicamente a la reflexión que se produce a causa de ésta en esa zona.

En el oleaje del Este, los coeficientes de propagación vuelven a caer en los tres primeros puntos de control. En la zona de los puntos P1 y P2, el oleaje atraviesa una serie de zonas más llanas y zonas más profundas y, por tanto, no puede desarrollarse la ola en buenas condiciones y ésta cae. El oleaje que llega a los puntos de control P3-P10, sufren modificaciones en sus coeficientes de propagación básicamente debidas a la reflexión debida a las ondulaciones que se encuentran a lo largo de la línea de rotura del offlap.

- Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje para cada altura de ola indefinida a una profundidad de 30m.

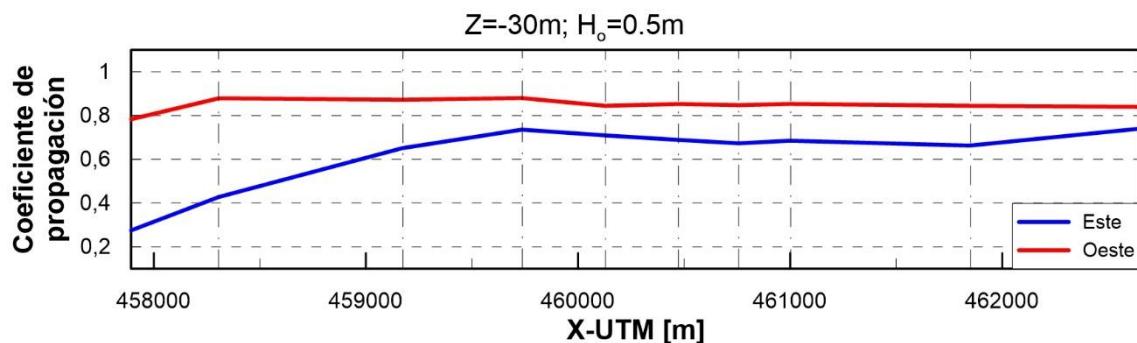


Figura 40: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 30m para la altura de ola significante de 0.5m.

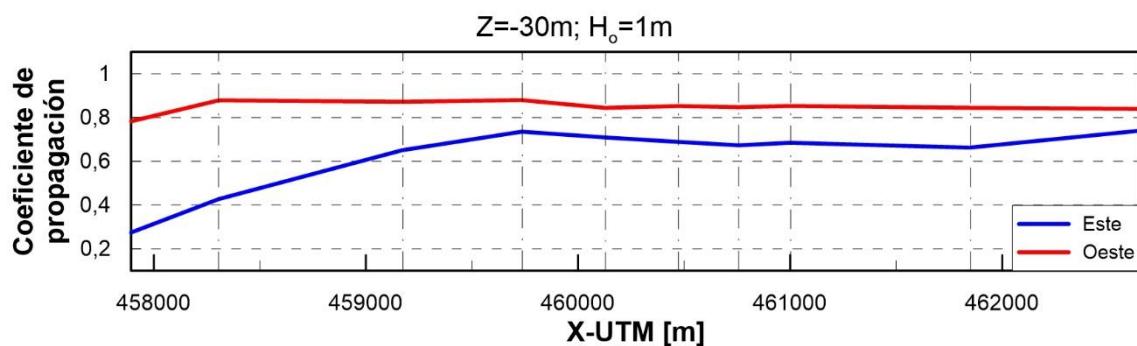
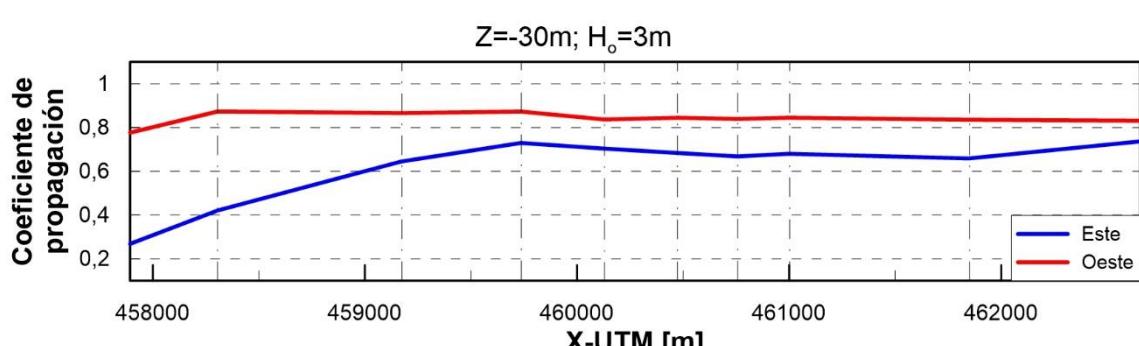
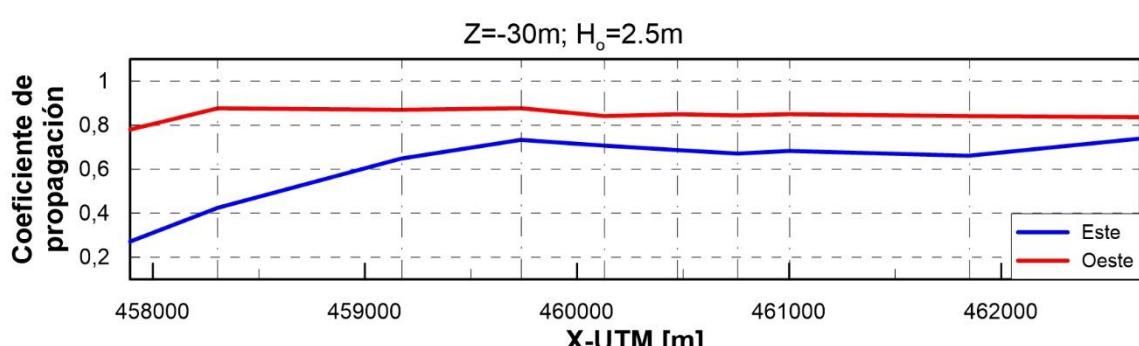
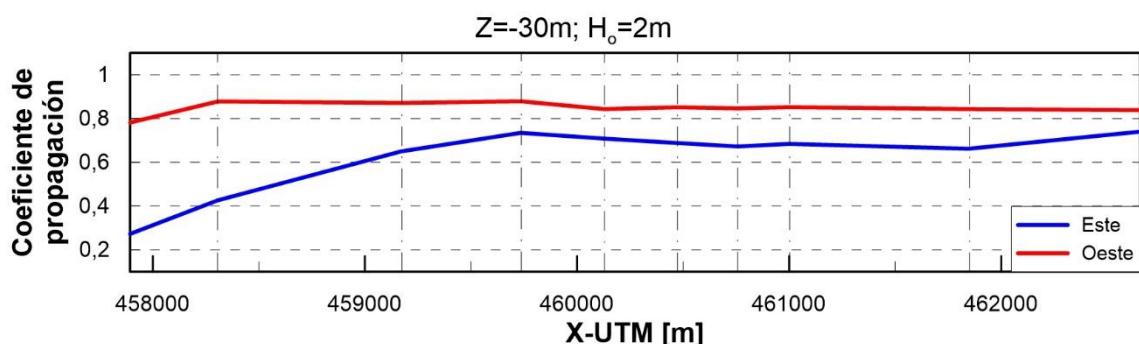
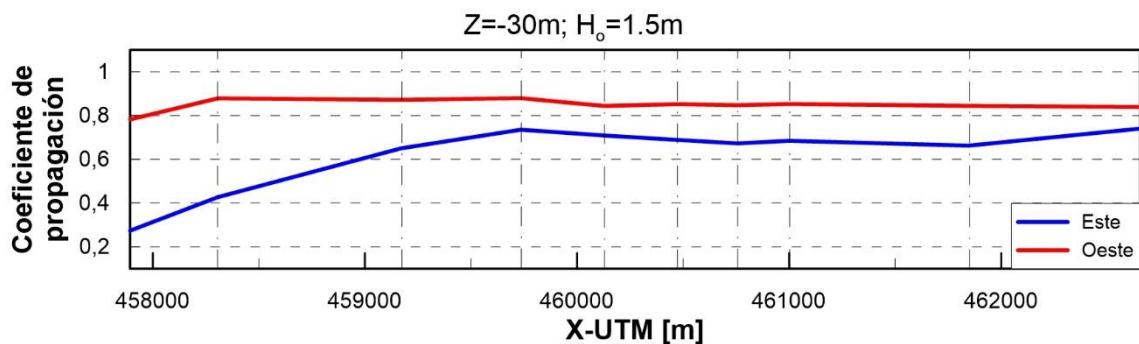
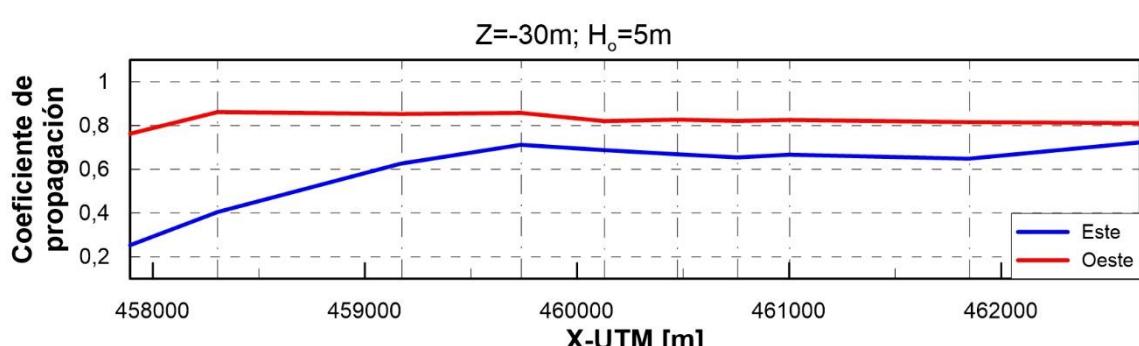
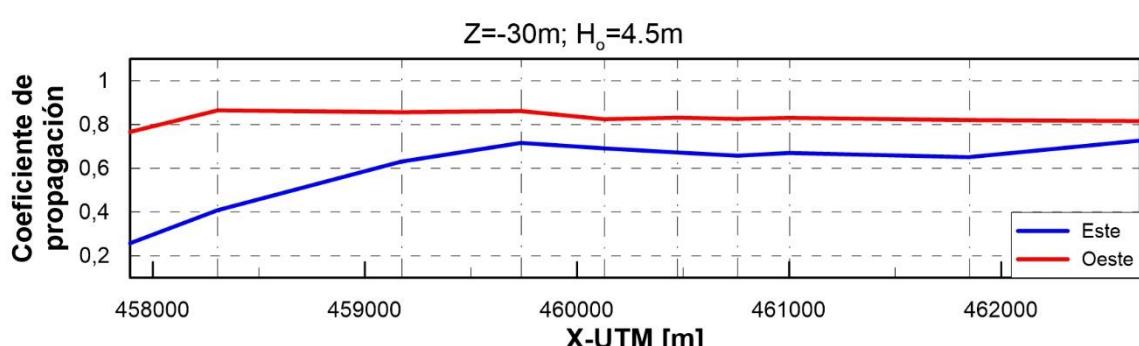
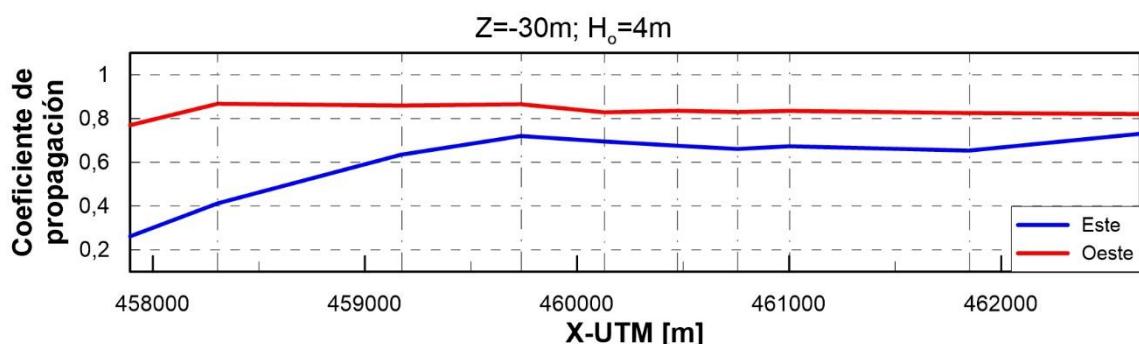
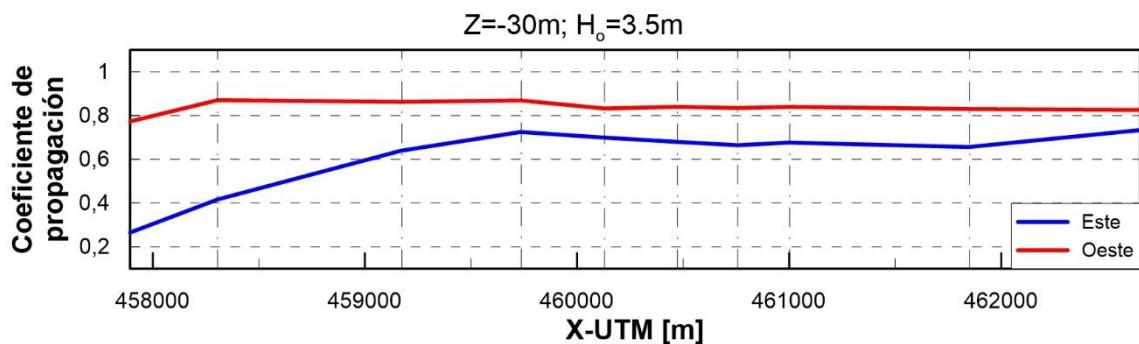


Figura 41: Variación longitudinal de los coeficientes de propagación del oleaje a una profundidad de 30m para la altura de ola significante de 1m.





A los 30m de profundidad los coeficientes de propagación tampoco varían demasiado de una altura de ola significante a otra.

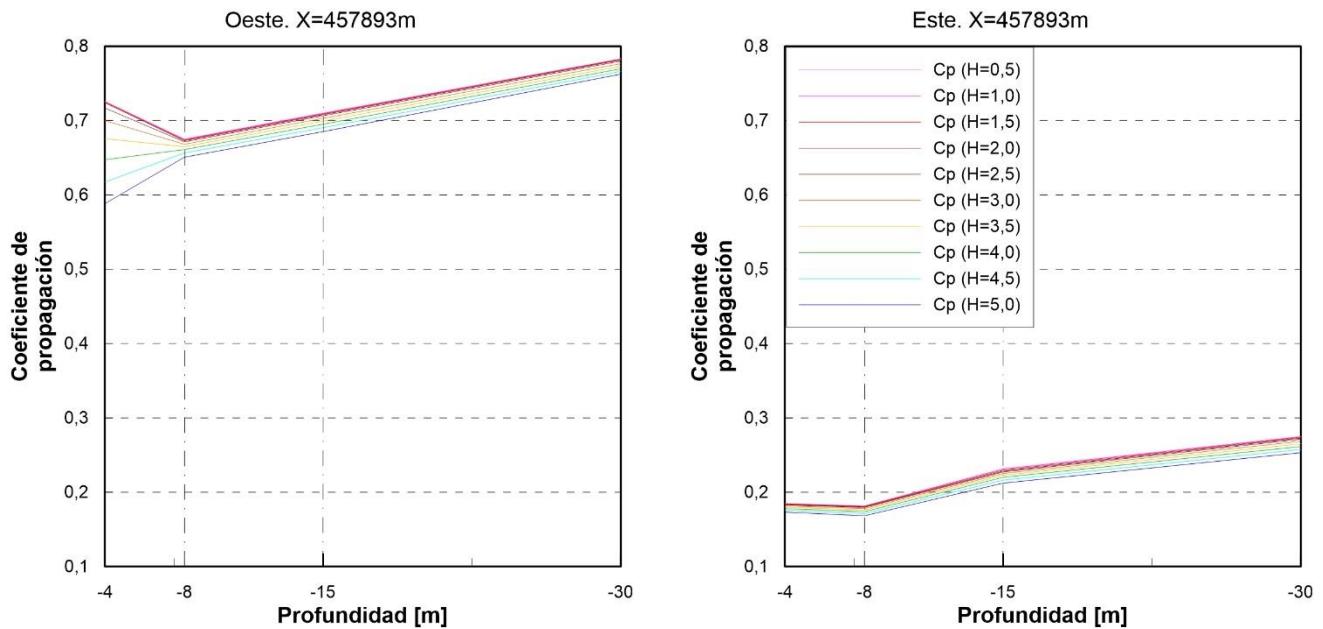
Para el oleaje del Oeste, los coeficientes de propagación tienen unos valores bastante constantes, en torno a 0.8 en todos los puntos de control. Solo son un poco mayores en los puntos P2 y P3 que se encuentran bien metidos en el cañón de Jolúcar. En cambio, los puntos situados más al Este mantienen sus alturas de ola desde profundidades indefinidas puesto que aún no han sufrido la reflexión que se produce al llegar al offlap.

Para el oleaje del Este, en los tres primeros puntos ocurre lo mismo que a la profundidad de 15m. En el resto de puntos de control, la energía es similar a la del Oeste; pero ésta es algo menor por la orientación de la morfología del terreno, el cual, por esta zona, ronda pendientes de 8%-10%.

A lo largo de casi todas estas gráficas, el punto P10 tiene una especial distinción. El oleaje del Este que se aproxima a este punto, en profundidades indefinidas, atraviesa un terreno con una orientación distinta a la del resto y que es más parecida a la orientación del oleaje del Este. Por tanto, el viaje de estas olas se realiza prácticamente por un terreno llano hasta llegar a la línea de nivel de los 60m, donde se encuentra con un escalón bastante pronunciado, pero de escasa longitud. Por esta razón en este punto, los coeficientes de propagación del Este suelen ser mayores al resto de los puntos que se encuentran situados más al Este.

## 4.2. Variación transversal del coeficiente de propagación del oleaje.

- Punto de control 1 (P1) con coordenada X-UTM de 457893m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



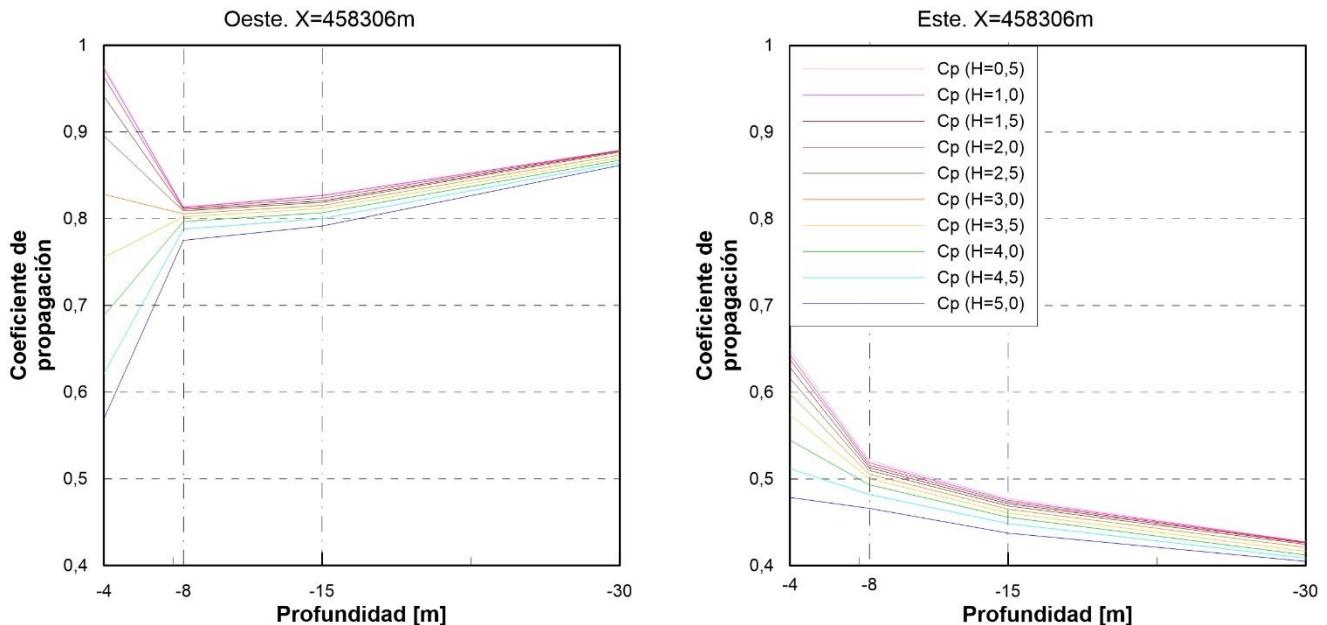
**Figura 50:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 1 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

Se observa en ambas gráficas que el coeficiente de propagación presenta un comportamiento irregular. Primeramente, se destaca que el oleaje con altura de ola en profundidades indefinidas menores, tiene coeficientes de propagación mayores, y éstos van disminuyendo a medida que aumenta la altura de ola en indefinidas. El comportamiento varía de forma decreciente conforme nos acercamos a la costa y cambia esta tendencia cuando se aproxima a los 4m de profundidad para cada valor de altura de ola en profundidades indefinidas. En la figura de la izquierda, el ángulo de procedencia del oleaje es de 223º; es decir, dirección Oeste. Entre los 8m y 30m de profundidad se registra una diferencia del coeficiente de propagación del 16%. Este comportamiento puede estar inducido por la morfología del terreno pues en la zona de 30m de profundidad nos encontramos en el interior del Cañón de Jolúcar con una pendiente media del 30%. A los 15m de profundidad las pendientes bajan al 8%.

Por último, llegando a la orilla, a los 8m y 4m hay pendientes en torno al 6%. Justamente, a partir de los 8m de profundidad, los coeficientes de propagación toman valores muy dispares para las alturas de ola en profundidades indefinidas. Esto puede ser debido a que, antes de llegar a los 4m de profundidad, la ola ha sufrido una rotura. Los oleajes de  $H_o$  menor de 4m aumentan su  $C_p$  y las de más de 4m disminuyen su  $C_p$ .

Por otro lado, en la figura de la derecha, el ángulo de procedencia del oleaje es de 94º; es decir, dirección Este. En ella, la diferencia del coeficiente de propagación entre los 8m y 30m de profundidad es de un 25%. A partir de los 8m, se percibe un aumento en el coeficiente de propagación debido al asombramiento del oleaje y ninguno disminuye puesto que, para esta dirección, no se produce rotura temprana.

- Punto de control 2 (P2) con coordenada X-UTM de 458306m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



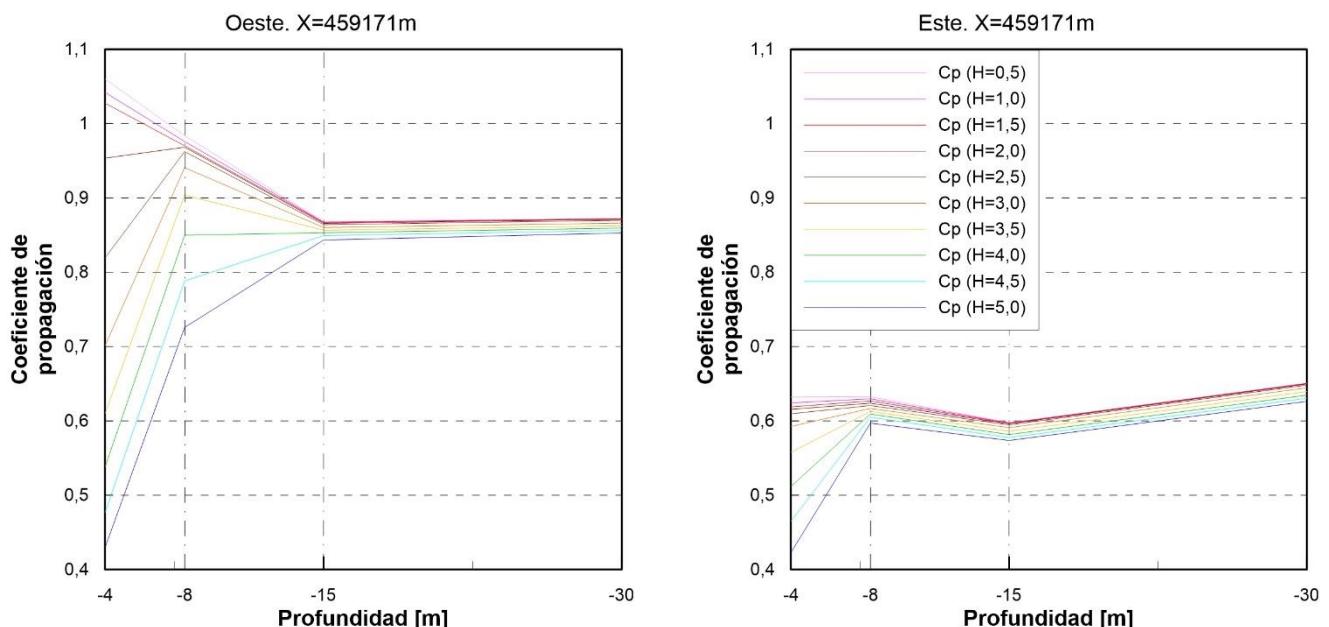
**Figura 51:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 2 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

Estas gráficas representan una evolución totalmente opuesta entre sí. Por un lado, en la gráfica del Oeste, el coeficiente de propagación es bastante estable a medida que disminuye la profundidad para cada una de las alturas de ola en profundidades indefinidas. Desde los 8m a los 30m de profundidad hay una diferencia en el coeficiente de propagación del 8%. Aun así, los coeficientes de propagación son bastante altos (entre 0.8 y 0.9), puesto que en esa zona el cañón proporciona alturas de ola mayores que si éste no existiera. Al salir de esa zona, las pendientes van disminuyendo hasta alcanzar el 8%.

Como en el caso anterior, se comprueba que a la profundidad de 4m, cada altura de ola toma valores de coeficiente de propagación muy distantes entre sí: tiendiendo las alturas de ola mayores a disminuir su coeficiente de propagación, mientras que las alturas de ola menores tienden a aumentarlo. Esto es muy probable que sea debido a la rotura del oleaje en un punto de profundidad mayor de 4m.

En la gráfica de la derecha, en cambio, se ve por primera vez una tendencia ascendente en el coeficiente de propagación conforme las olas se acercan a la costa, en el mismo intervalo de profundidades que se está estudiando. El oleaje con mayor  $H_o$  (5m) aumenta su coeficiente de propagación un 18% y el oleaje con menor  $H_o$  (0.5m) llega a aumentarlo un 52%. La causa puede estar relacionada con que, para que las olas lleguen a profundidades mayores, éstas tienen que atravesar: primero, el cañón tributario del Este (con profundidades de 25%); después, una zona llana sobre los 15m de profundidad; y, por último, pasa por el cañón tributario del oeste, el cual acaba en el punto de control en cuestión. En definitiva, el oleaje se ve afectado por una serie de reflexiones a causa de los bruscos cambios de profundidad que le ocasionan una gran disipación de energía a profundidades mayores y menor disipación en aguas más someras.

- Punto de control 3 (P3) con coordenada X-UTM de 459171m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



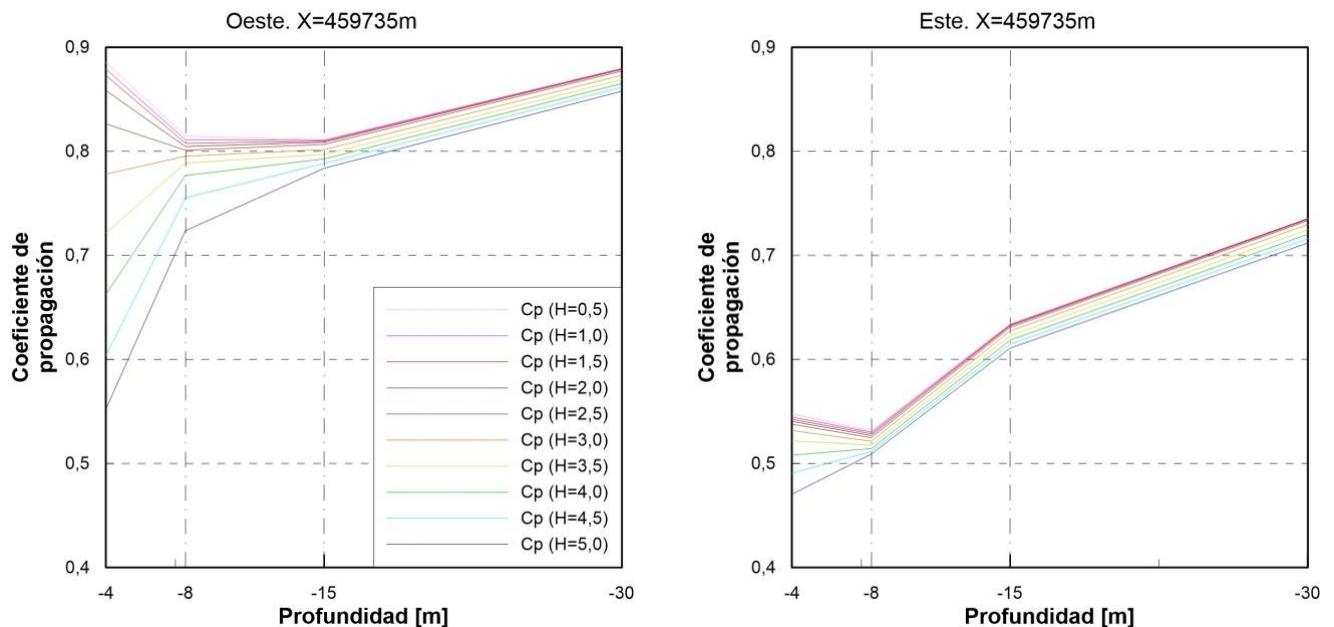
**Figura 52:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 3 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

Este punto de control se encuentra al borde del Cañón de Jolúcar; por lo tanto, para empezar, se entiende que el oleaje procedente del Oeste se verá influenciado por el cañón y el oleaje del Este no lo estará.

En la figura de la izquierda, el oleaje procedente del Sudoeste atraviesa el cañón desde los 30m hasta los 15m de profundidad, siendo el coeficiente de propagación constante en todo ese tramo. Esto es posiblemente debido a que el oleaje atraviesa el cañón tributario del Este paralelamente a su línea de máxima pendiente. El oleaje registrado a la profundidad de 8m ya ha sufrido una rotura previa, cuya causa muy probablemente ha sido el brusco cambio de pendiente que experimenta el fondo entre los 20m y 10m de profundidad. A partir de ese momento, se comprueba a los 4m que el oleaje sufre un drástico descenso en sus coeficientes de propagación (hasta un 40% para  $H_o=5m$ ); excepto en los  $H_o=0.5m$ ,  $H_o=1.0m$  y  $H_o=1.5m$  que aumentan su nivel energético, seguramente debido a la reflexión de las olas que retornan de la línea de costa.

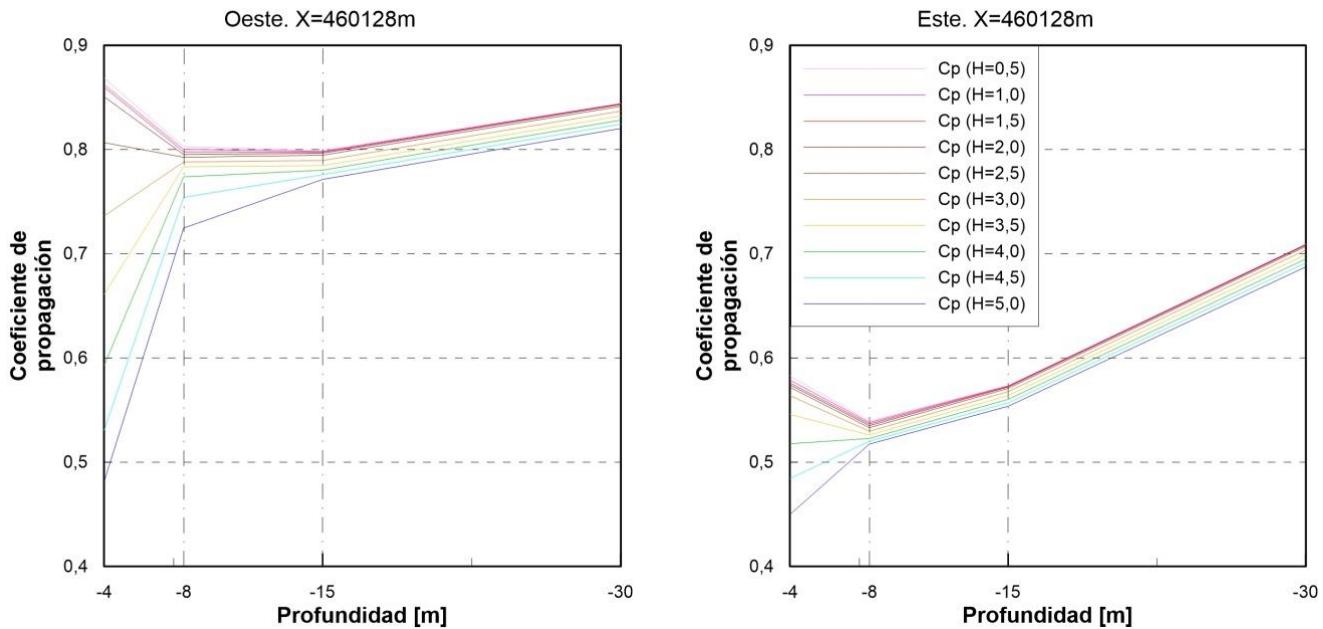
En la figura de la derecha, el coeficiente de propagación disminuye de los 30m hasta los 15m de profundidad en un 9% debido a que las olas atraviesan la zona de rotura del offlap, el cual disipa la energía de la ola por reflexión. A los 8m el coeficiente de propagación es mayor que a los 15m. En este caso, tenemos un terreno bastante llano entre los 15m y 10m de profundidad en el cual el oleaje ganará energía mediante el asombramiento y, posteriormente la ola romperá antes de llegar a los 4m de profundidad.

- Punto de control 4 (P4) con coordenada X-UTM de 459735m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



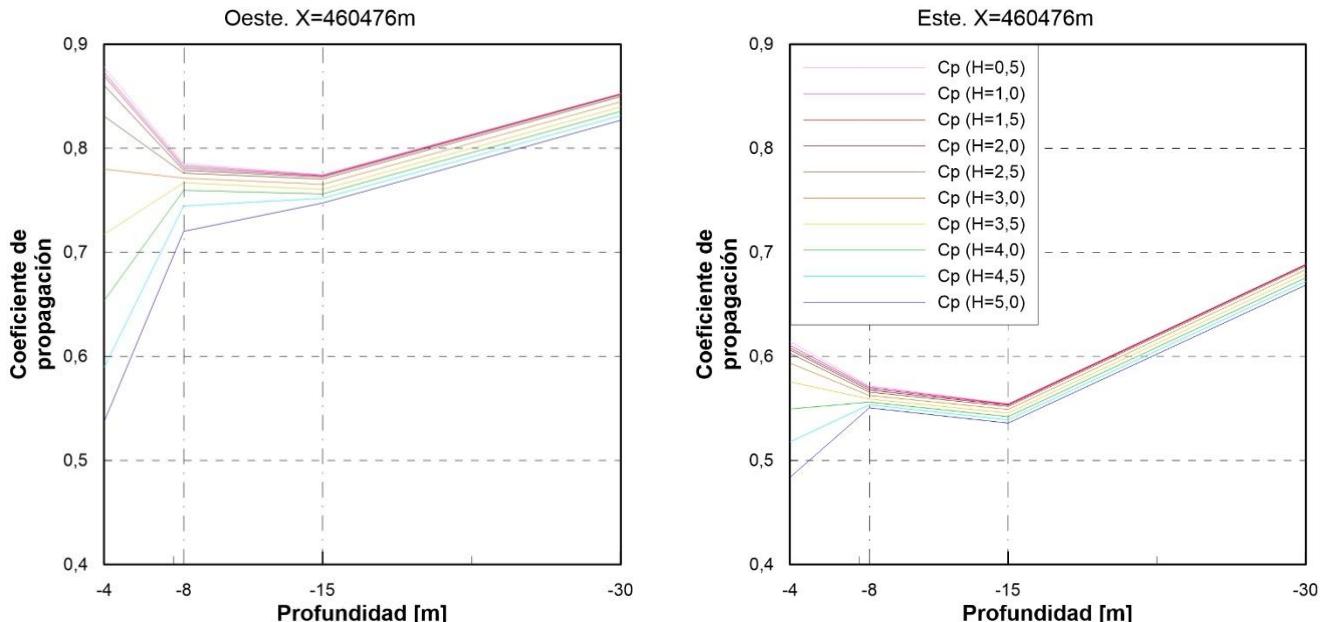
**Figura 53:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 4 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

- Punto de control 5 (P5) con coordenada X-UTM de 460128m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



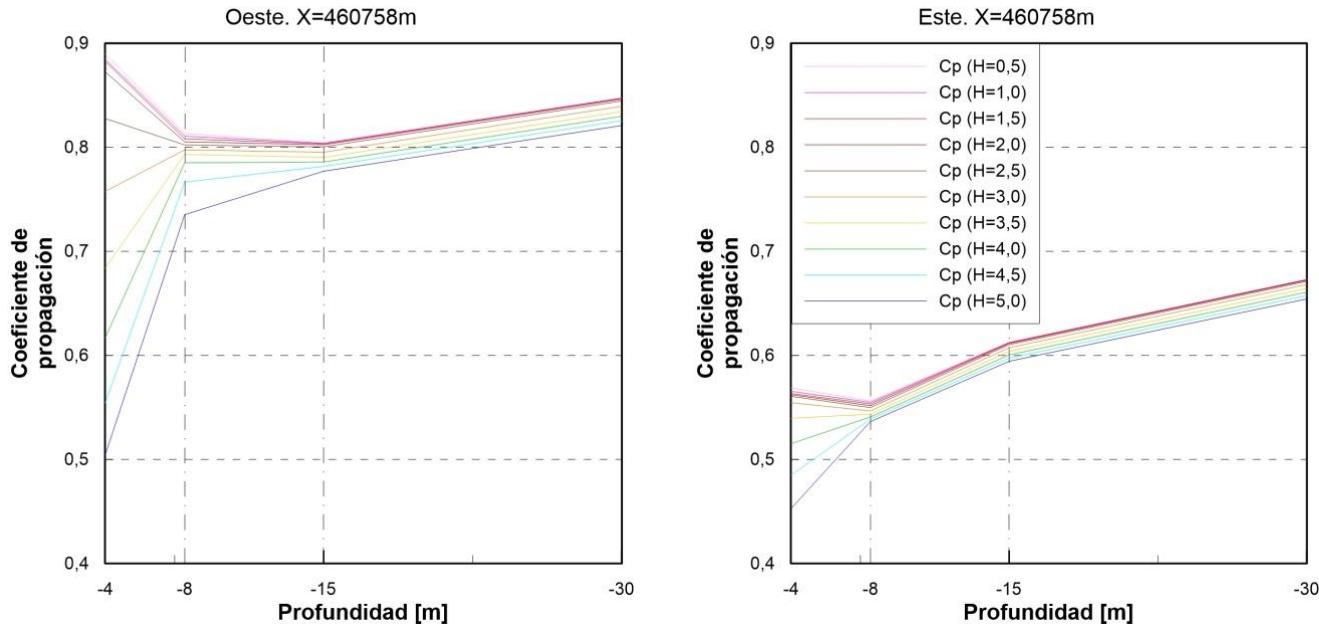
**Figura 54:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 5 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

- Punto de control 6 (P6) con coordenada X-UTM de 460476m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



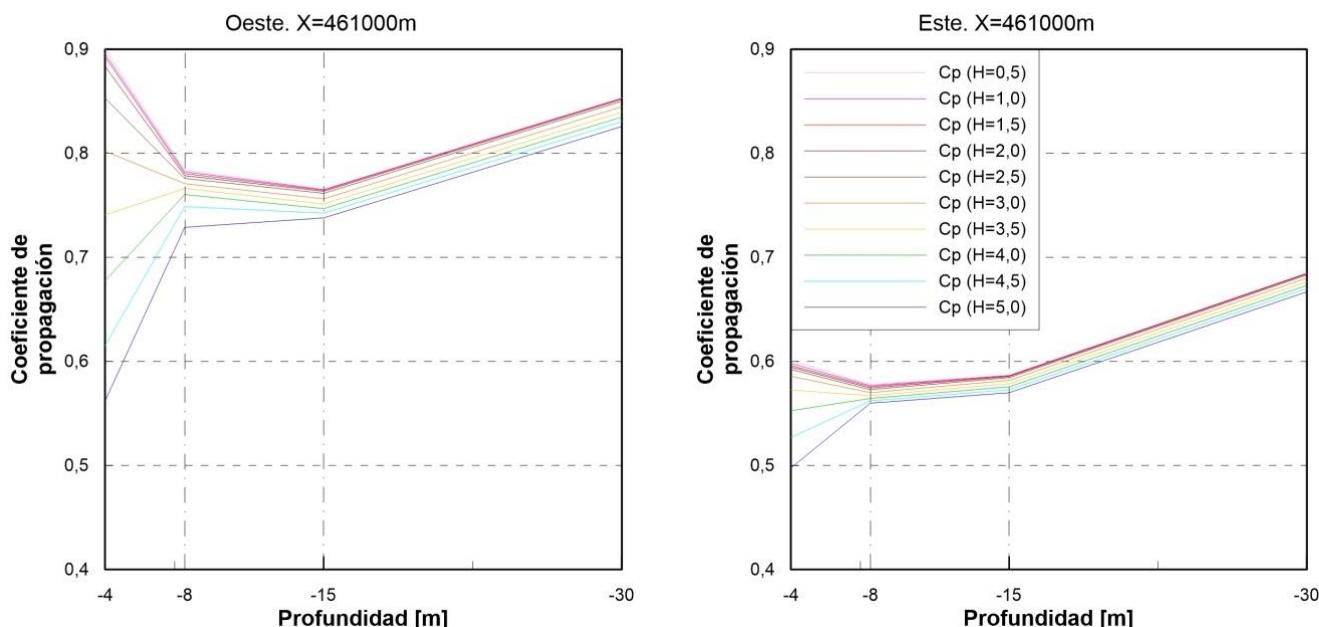
**Figura 55:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 6 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

- Punto de control 7 (P7) con coordenada X-UTM de 460758m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



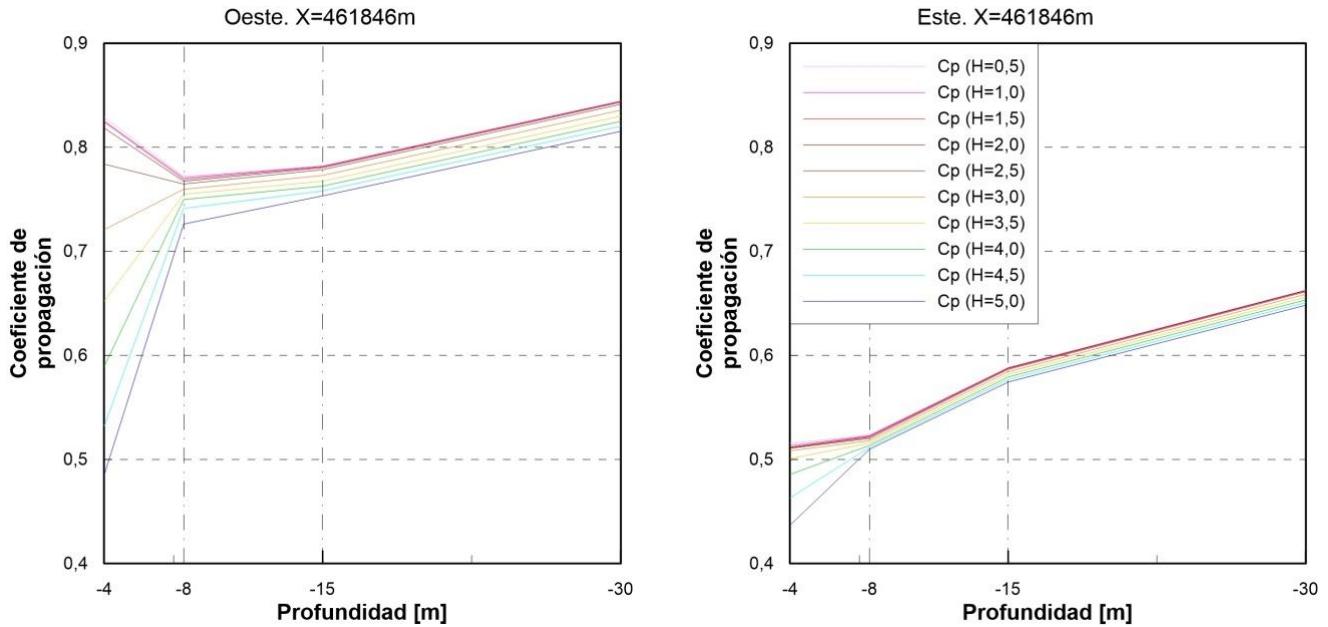
**Figura 56:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 7 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

- Punto de control 8 (P8) con coordenada X-UTM de 461000m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 57:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 8 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

- Punto de control 9 (P9) con coordenada X-UTM de 461846m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 58:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 9 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

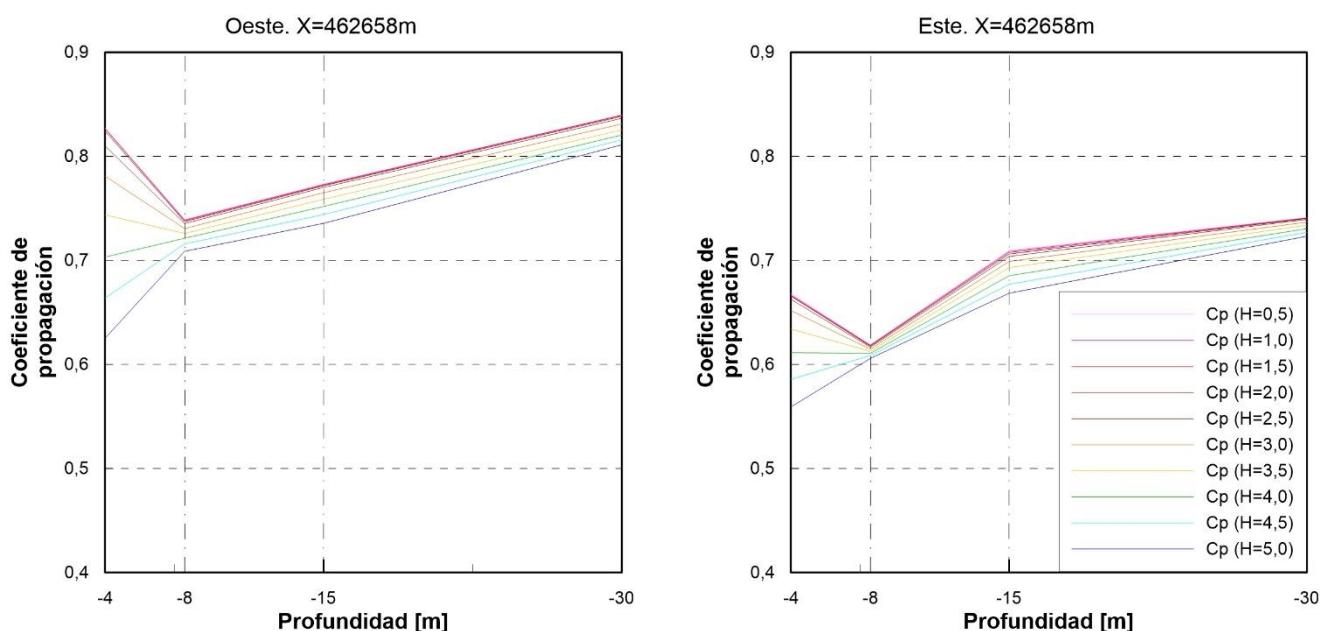
Desde el punto de control P4-P10, el oleaje no se encuentra afectado por el Cañón de Jolúcar. De hecho, el comportamiento de los coeficientes de propagación desde P3 hasta P9 es bastante similar para ambas dimensiones. La mayor fuente de disipación de energía se debe a la plataforma de sedimentos progradante, que comienza a los 20m de profundidad y se extiende hasta la línea de costa, y cuyas ondulaciones son de gran importancia para comprender las pérdidas de energía que producen tanto en el oleaje del Este como del Oeste.

En las gráficas del Oeste, los coeficientes de propagación siguen siendo significativamente mayores que para el Este, obteniendo valores de entre 0,8 y 0,9 para las profundidades de 30m. A medida que el oleaje va acercándose a la línea de costa, la disipación energética va aumentando. Tras pasar el límite del offlap, las olas a una profundidad de 15m registran una disminución de los coeficientes de propagación entre el 5% y 11%, con comportamientos similares para cada altura de ola en profundidades indefinidas. Entre los 8m y 15m de profundidad se percibe una mayor dispersión en cuanto al comportamiento de los coeficientes de propagación para cada altura de ola en indefinidas.

En las zonas más profundas, las olas con  $H_o$  de 5m son sólo un 3% menores que el oleaje con  $H_o$  de 0.5m. En cambio, a los 8m de profundidad, el oleaje de alto contenido energético registra valores de  $C_p$  entre un 7% y 11% menor que los valores del oleaje de bajo contenido energético. Finalmente, en aguas someras, la energía desciende en términos generales a causa de la rotura, lo que no impide que las olas de menor altura de ola significante, crezcan ligeramente antes de finalizar su recorrido en la costa.

En las gráficas del Este, no existen apenas diferencias entre los coeficientes de propagación de las olas con menor altura de ola significante y las de mayor altura de ola significante. Por otro lado, todos los coeficientes de propagación desde los 30m de profundidad a los 8m, son decrecientes; excepto el P6 en el tramo entre los 15m y 8m de profundidad en los que la ola crece y aumenta un 3% su coeficiente de propagación. A diferencia de las del Oeste, las olas procedentes del Este sufren una mayor reflexión a causa de la barrera de sedimentos sumergidos en la línea batimétrica de los 20m. Lo cual se aprecia en que los coeficientes de propagación disminuyen entre un 10% y 20% desde los 30m de profundidad hasta los 15m.

- Punto de control 10 (P10) con coordenada X-UTM de 462658m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



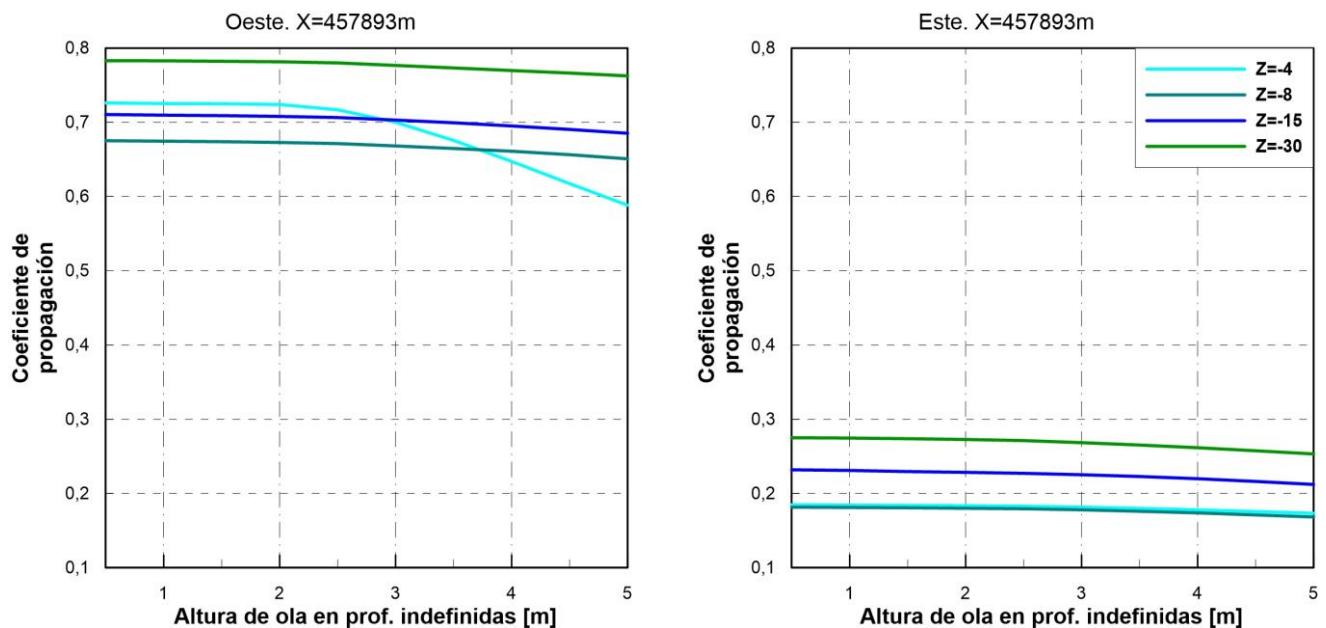
**Figura 59:** Variación transversal de los coeficientes de propagación del oleaje en el punto de control 10 para las distintas alturas de ola significantes para oleajes del Oeste (izq.) y Este (der.).

El P10 tiene un comportamiento similar al resto de los puntos de control situados al este de la playa. Algunas variaciones que se observan tanto para el Este como para el oeste son, por ejemplo, que los valores de los coeficientes de propagación a la profundidad de 4m no se dispersan mucho en el rango de altura de ola en indefinidas desde 0.5m a 5m. En el oeste la diferencia de coeficientes es de 0.2 y en el Este es de 0.1. Esto se debe a que la distancia entre la costa y la línea batimétrica de los 8m es muy corta.

En el oeste, los coeficientes de propagación evolucionan de la misma forma que en P9. En cambio, en P10 se observa que, al llegar la ola a los 15m de profundidad, las olas de altura de ola en indefinidas mayores dispersan una cantidad de energía significativamente mayor que las de menor altura de ola en profundidades indefinidas. El oleaje de  $H_0=0.5$  a  $H_0=5$ m disminuye casi un 6%.

#### 4.3. Variación transversal del coeficiente de propagación en función de la altura de ola significante en profundidades indefinidas.

- Punto de control 1 (P1) con coordenada X-UTM de 457893m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.

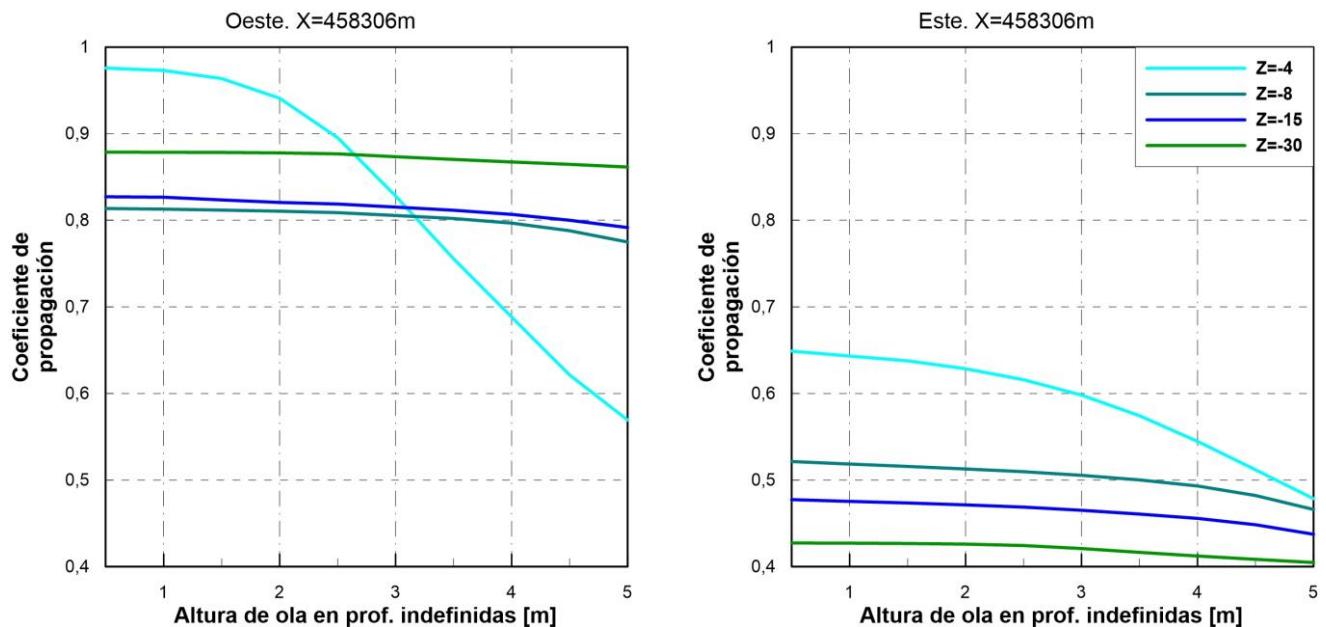


**Figura 60:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 1, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

El P1 es el punto más cercano al extremo norte del cañón de Jolúcar. Se reitera que los coeficientes de propagación del oeste son mucho mayores que los del este. Las curvas para cada profundidad son prácticamente constantes, lo cual indica que los coeficientes de propagación no se ven afectados cuando varía la altura de ola significante en profundidades indefinidas. Por tanto, el parámetro que decidirá lo que varían los coeficientes de propagación será la profundidad a la que se encuentra la ola.

Donde únicamente esto no se cumple, es a los 4m de profundidad en el oleaje del Oeste, que las olas con una altura de ola significante de 0.5m aumentan un 8% respecto a los 8m de profundidad. A esta profundidad, las olas con altura de ola significante de 5m reducen su coeficiente de propagación un 20% respecto a las de 0.5m. Esto último, incita a pensar que en este punto de control las olas del oeste rompen antes de llegar a los 4m de profundidad, en contraste con las del Este que romperán más tarde.

- Punto de control 2 (P2) con coordenada X-UTM de 458306m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.

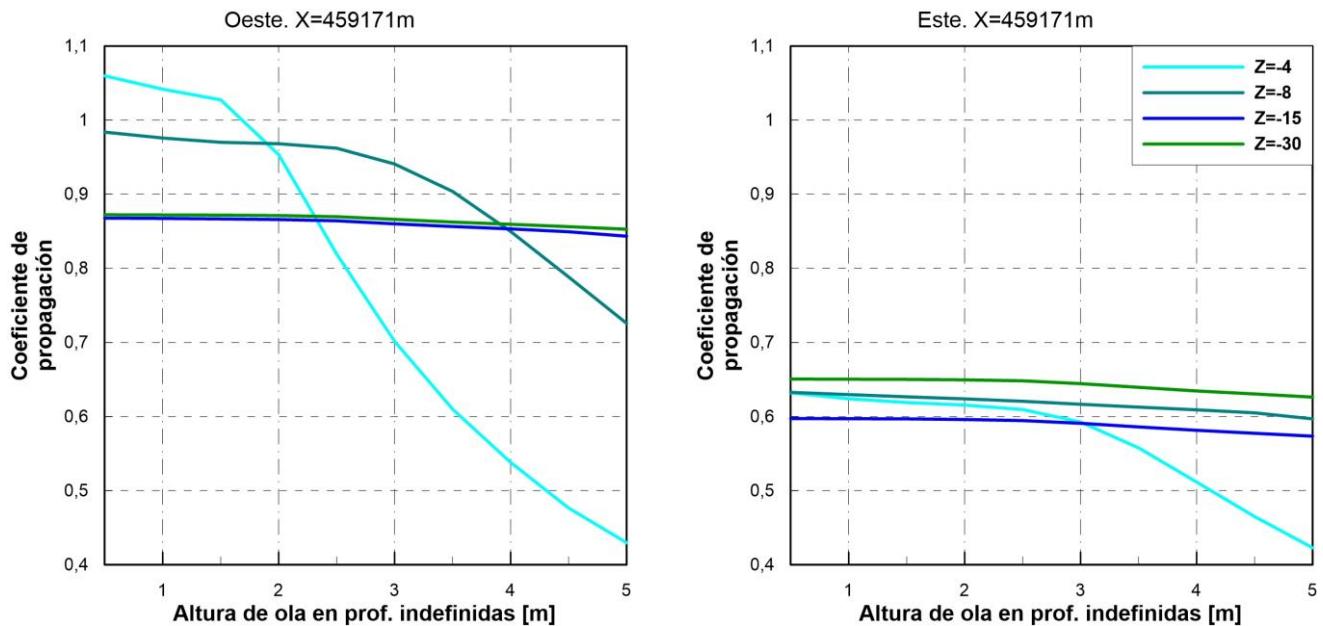


**Figura 61:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 2, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

El punto de control P2 se encuentra al oeste de la salida del cañón tributario del Oeste. Como se ha explicado anteriormente, en P2 existe una particularidad en cuanto al oleaje del Este: conforme se acerca la ola a la costa desde los 30m hasta los 4m, ésta tiende a aumentar su energía en vez de disiparla. Esto significa que, en ese punto a profundidades mayores, la disipación es mayor. De todas formas, se observa que los coeficientes de propagación disminuyen con la altura de ola significante y las olas con un  $H_0$  de 5m tienen coeficientes de propagación que se mueven entre 0.4 y 0.5 para cualquiera de las profundidades estudiadas.

En cuanto al oleaje del oeste, éste sí tiene el comportamiento usual de disminuir sus coeficientes de propagación con la profundidad. A excepción de las olas que llegan a los 4 m de profundidad que tienden a aumentar su contenido energético o a reducirlo en función de si tienen altas o bajas alturas de ola en indefinidas.

- Punto de control 3 (P3) con coordenada X-UTM de 459171m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.

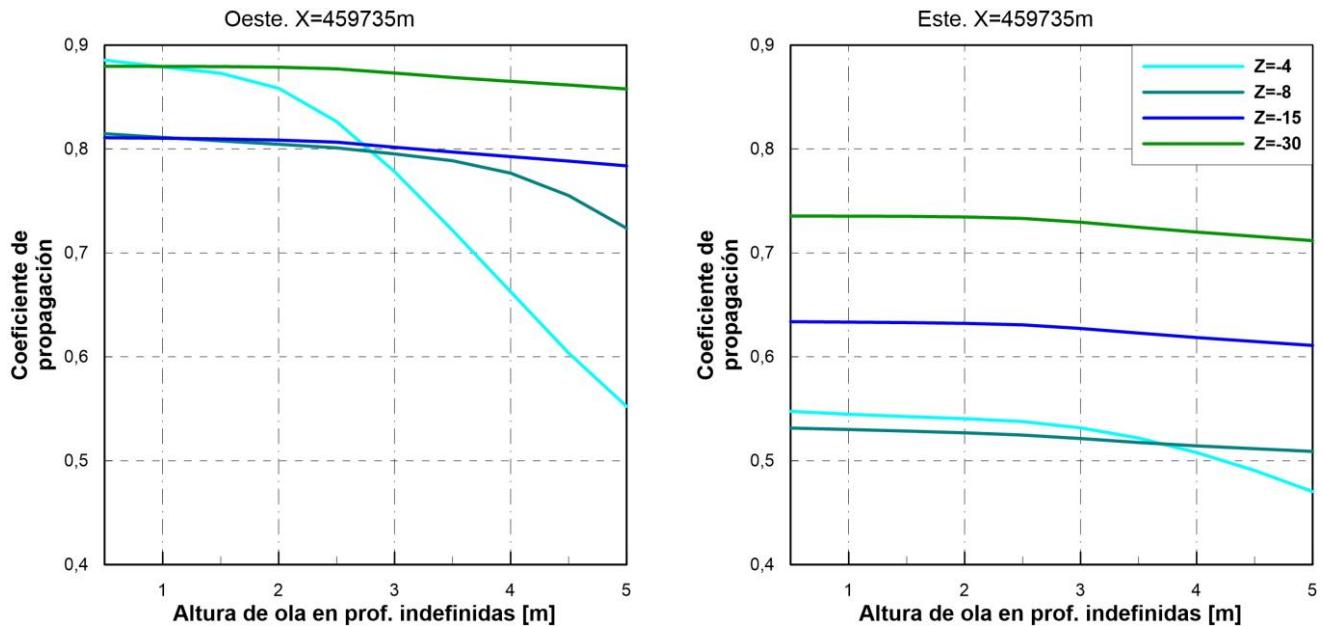


**Figura 62:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 3, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

El punto de control 3 se sitúa justo en el extremo norte del cañón tributario del este. El oleaje del oeste no sufre variaciones del coeficiente de propagación de los 30m a los 15m de profundidad. A los 8m se vuelve más inestable y se producen variaciones: las olas con altura de ola en profundidades indefinidas menor de 4m aumentan su coeficiente de propagación debido al asomberamiento y las olas con altura de ola en indefinidas menor de 4m lo disminuyen. La línea batimétrica de los 4m es lugar donde ya se ha producido la rotura de la ola y es mayor el rango de olas que disminuyen su coeficiente de propagación; aunque los coeficientes de las olas de menor  $H_0$  llegan a superar la unidad.

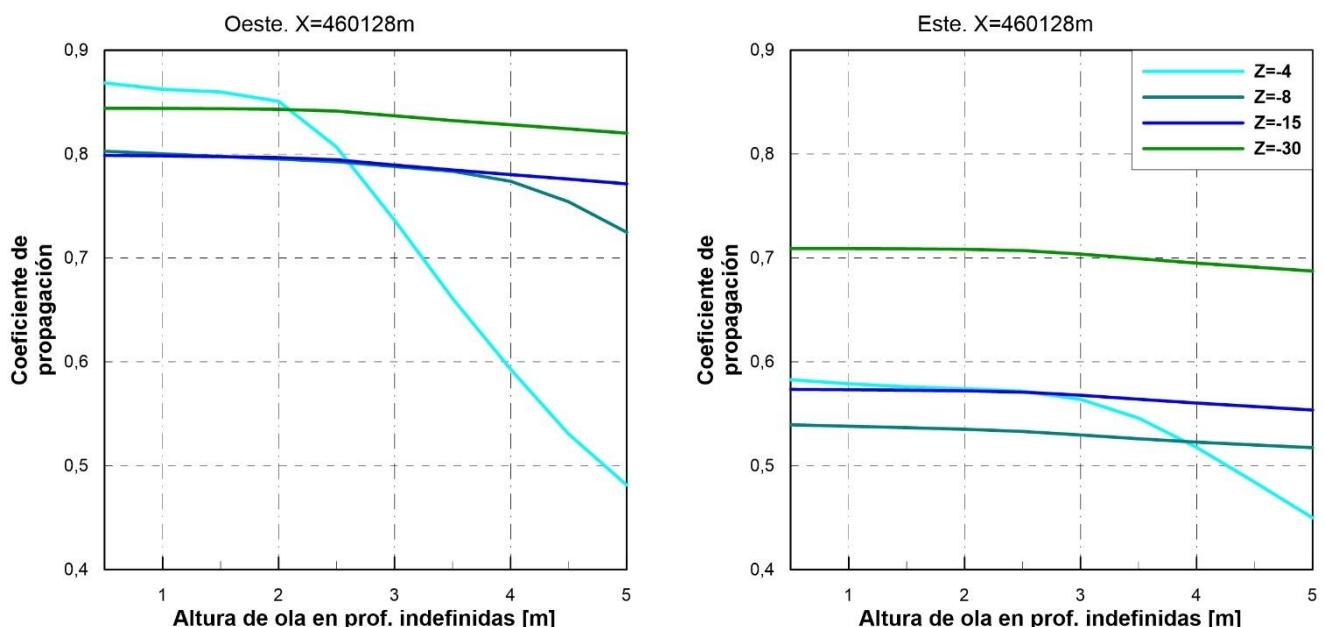
Las olas que llegan del este, en P3 parece que vuelven a recuperar la tendencia normal de disipar la energía a medida que se acercan a la línea de costa. Sin embargo, a los 8m de profundidad, las olas sufren una recuperación de energía respecto de los 15m. Esto mismo se mantiene para los 4m, excepto para las olas con alturas de ola significante mayores de 2m cuyos coeficientes de propagación descienden progresivamente.

- Punto de control 4 (P4) con coordenada X-UTM de 459735m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



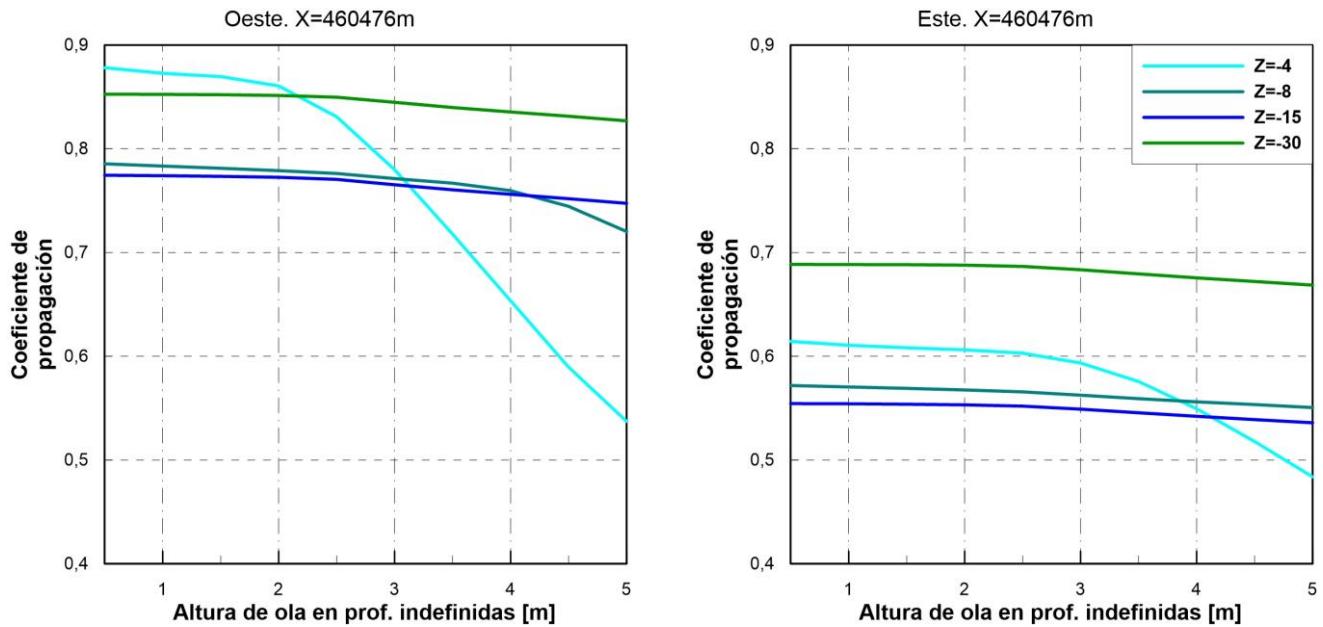
**Figura 63:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 4, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

- Punto de control 5 (P5) con coordenada X-UTM de 460128m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



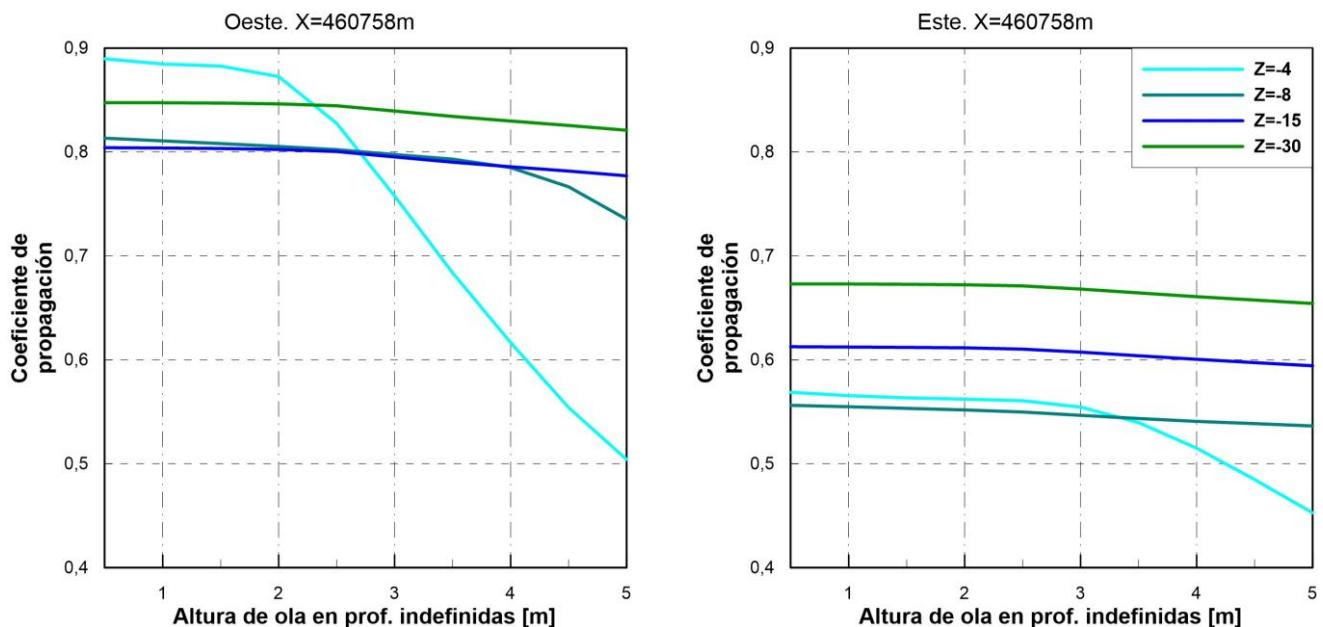
**Figura 64:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 5, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

- Punto de control 6 (P6) con coordenada X-UTM de 460476m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



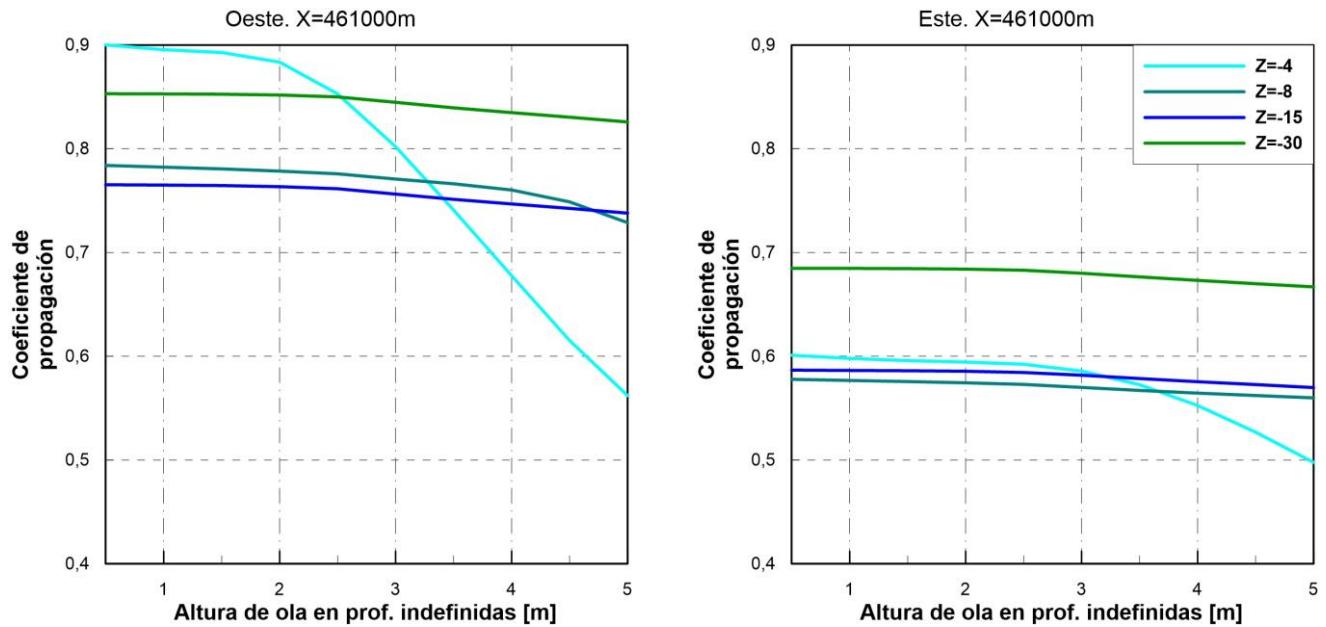
**Figura 65:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 6, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

- Punto de control 7 (P7) con coordenada X-UTM de 460758m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



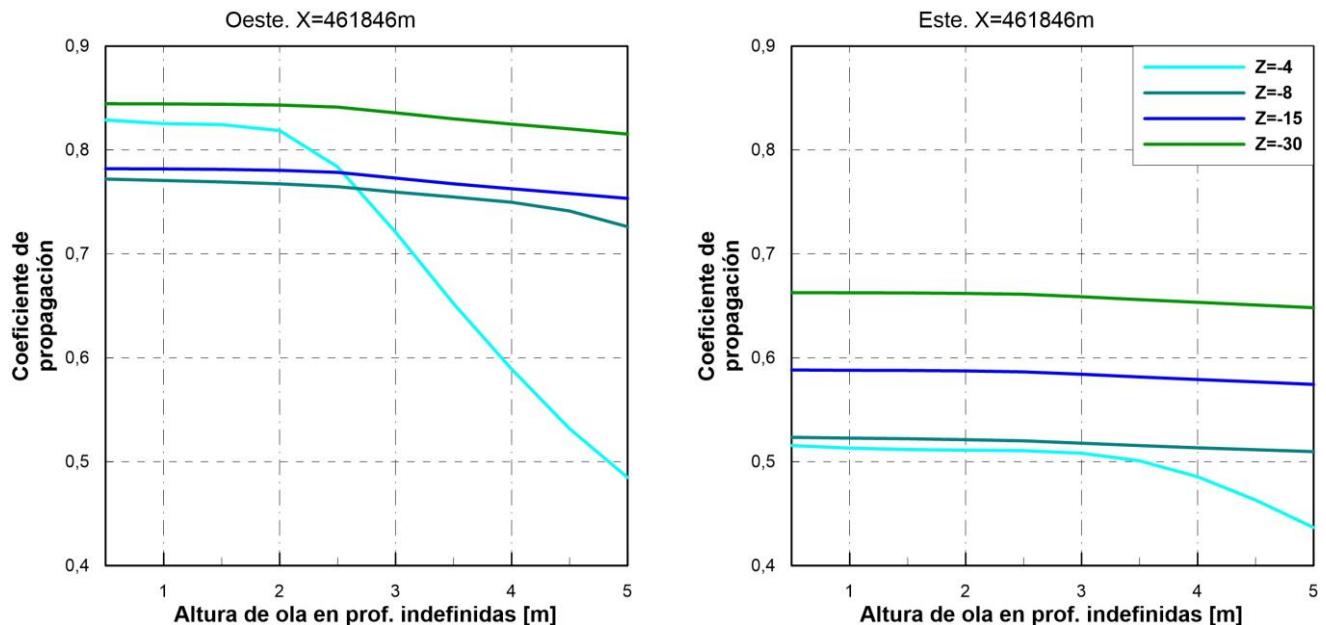
**Figura 66:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 7, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

- Punto de control 8 (P8) con coordenada X-UTM de 461000m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



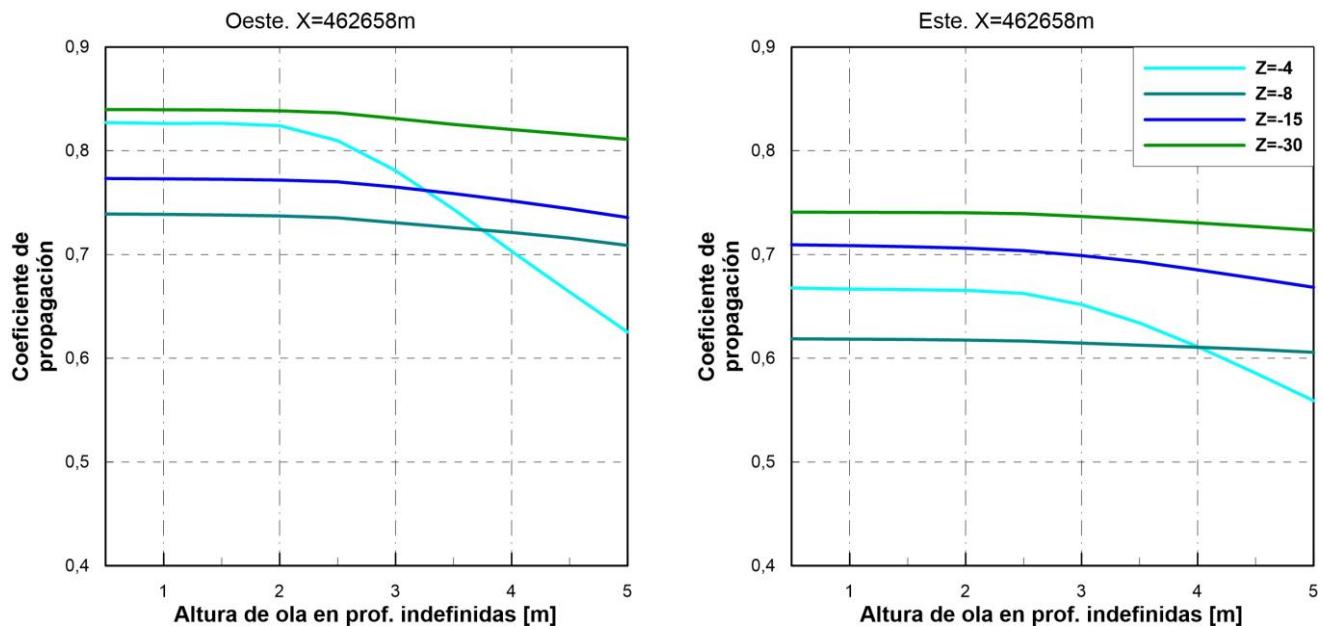
**Figura 67:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 8, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

- Punto de control 9 (P9) con coordenada X-UTM de 461846m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 68:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 9, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

- Punto de control 10 (P10) con coordenada X-UTM de 462658m y estados de mar con profundidades variando desde 4m hasta 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



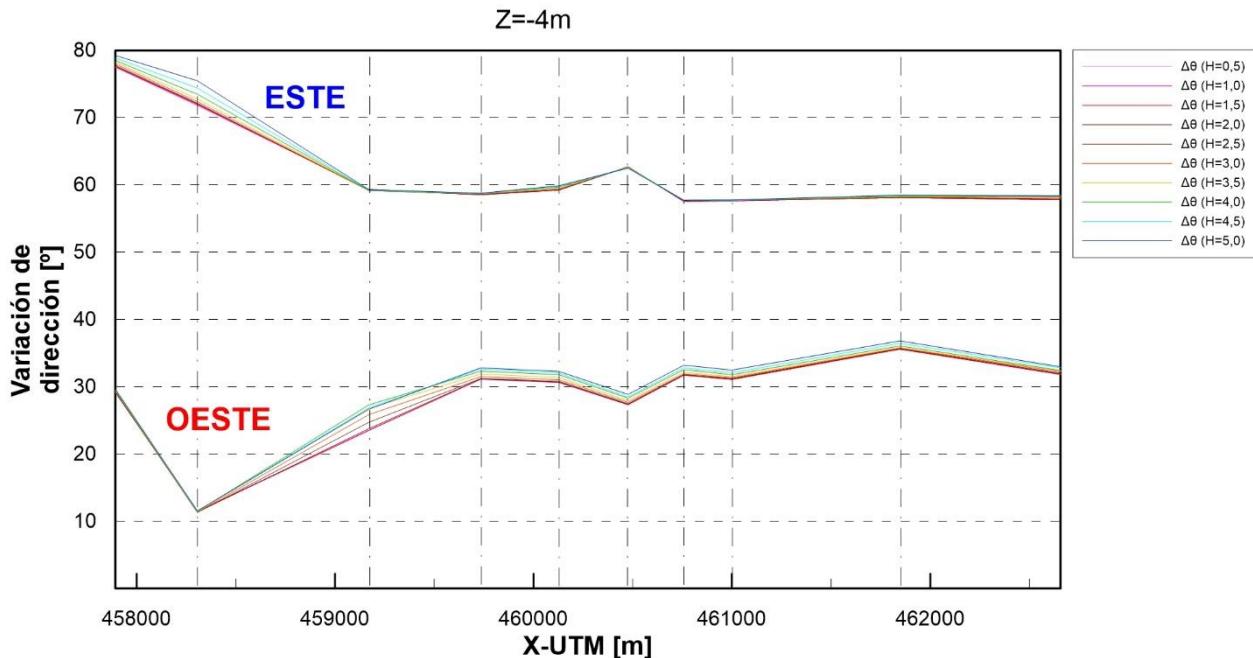
**Figura 69:** Variación de los coeficientes de propagación del oleaje en función de la altura de ola significante en el punto de control 10, para las distintas profundidades y direcciones oeste (izq.) y este (der.).

El resto de gráficas, de P4 a P10, siguen comportamientos similares entre ellas, distinguiendo en ambas direcciones. En el Oeste, los coeficientes de propagación a los 30m son generalmente altos y estos decaen cuando llegan a los 15m a causa de las reflexiones que se producen al atravesar la barrera de sedimentos sumergida de la que ya se ha hablado. A los 8m de profundidad, los coeficientes por lo general permanecen con los mismos valores que a los 15m; pero las olas con mayor contenido energético, comienzan a perderlo a esta profundidad. La línea batimétrica de los 4m se caracteriza por mostrar, en este caso, las modificaciones de los coeficientes de propagación tras la rotura para el oleaje del Oeste.

En el oleaje del Este, igualmente los coeficientes de propagación decrecen conforme lo hace la profundidad (de los 30m a los 8m). A diferencia de las olas procedentes del oeste, aquí, las tres curvas que representan estas profundidades, en P4-P10 son constantes. Lo que significa que no hay diferencia de variación del coeficiente de propagación entre olas con distintas alturas de ola significante en profundidades indefinidas. En la línea batimétrica de los 4m, las olas con mayor contenido energético disminuyen su coeficiente de propagación. Consecuentemente, las olas con contenido energético moderado o bajo tienen dos comportamientos: en los puntos P5, P6, P8 y P10, los coeficientes de propagación aumentan; y en P4, P7 y P9, los coeficientes de propagación se mantienen constantes (en ambos casos respecto a la línea batimétrica de los 8m).

#### 4.4. Variación longitudinal de la refracción del oleaje.

- Variación longitudinal de variación en la dirección del oleaje para cada altura de ola significante a una profundidad de 4m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 70:** Variación longitudinal en la dirección del oleaje a una profundidad de 4m para las distintas alturas de ola significantes.

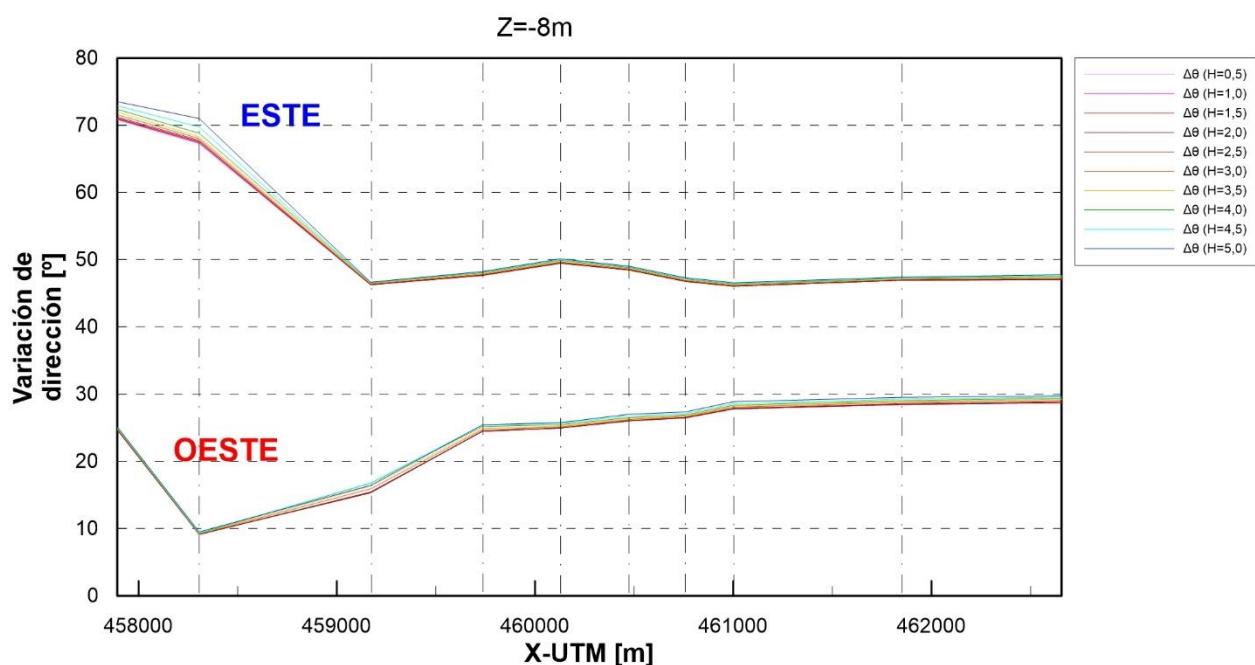
Lo primero que se observa es que el oleaje del este sufre una mayor refracción que el proveniente del Oeste en cualquier punto de control y para cualquier profundidad. Esto tiene sentido, puesto que el oleaje del este tiene un ángulo de incidencia en profundidades indefinidas de  $94^\circ$  y el oleaje del oeste, un ángulo de  $223^\circ$ ; lo cual indica que el oleaje del Este tiene que girar su frente de ondas un ángulo mayor que el que tiene que girar el oleaje opuesto. Así mismo, el oleaje de mayor contenido energético es el que mayor refracción sufre; aunque, por lo general, esta diferencia no es muy significativa.

En la dirección del Este, las variaciones de ángulo son las mismas para cualquier altura de ola en profundidades indefinidas, excepto en P1 y P2, donde el oleaje con alto contenido energético se ve más afectado que el resto. En concreto la variación en este oleaje es un 5% mayor que las de bajo contenido energético. Lo que más llama la atención en la gráfica es la gran refracción que sufren las olas en P1 y P2. Como se observa en la figura, el frente de ondas del oleaje ha girado entre  $70^\circ$  y  $80^\circ$ , lo cual cambia completamente el rumbo de estas olas pasando a ser un oleaje procedente del sur (casi perpendicular a la línea de costa). Por esta razón, viendo la dirección final de las olas, incita a pensar que, finalmente, éstas han tenido que verse influenciadas (y refractadas) por el cañón de Jolúcar. Para el resto de puntos, desde P3 a P10, la refracción se mantiene constante; exceptuando en P6 donde se registra un pequeño pico levemente superior a los  $60^\circ$ .

En la dirección del oeste, la refracción apenas varía de una altura de ola significante a otra. El punto donde existe una mayor variación en la dirección es en P3, donde la variación del oleaje de mayor contenido energético es un 13% más alta respecto a la del oleaje de menor contenido energético. De igual forma que en la dirección del este, el oleaje del oeste en P1, P2 y P3 se ve clara y directamente influenciado por el cañón de Jolúcar. En este caso, en estos 3 puntos, la refracción de las olas es menor que en el resto de la línea batimétrica de 4m. El que menor refracción sufre es el oleaje en P2 cuyo frente de ondas solo gira 11º en sentido anti horario.

Si vemos la batimetría de la zona del cañón más cercana a este punto, vemos que el oleaje no necesita girar mucho más para situarse perpendicular a la batimetría del cañón; algo que es contrario al hecho de que debería situarse perpendicular a la línea de costa. El resto de puntos, de P4 a P10, mantienen una variación de ángulo bastante constante (30º), a excepción de P6 (cuya variación de dirección se encuentra sensiblemente por debajo de los 30º) y P6 (cuya variación de ángulo se encuentra más cercana a los 40º).

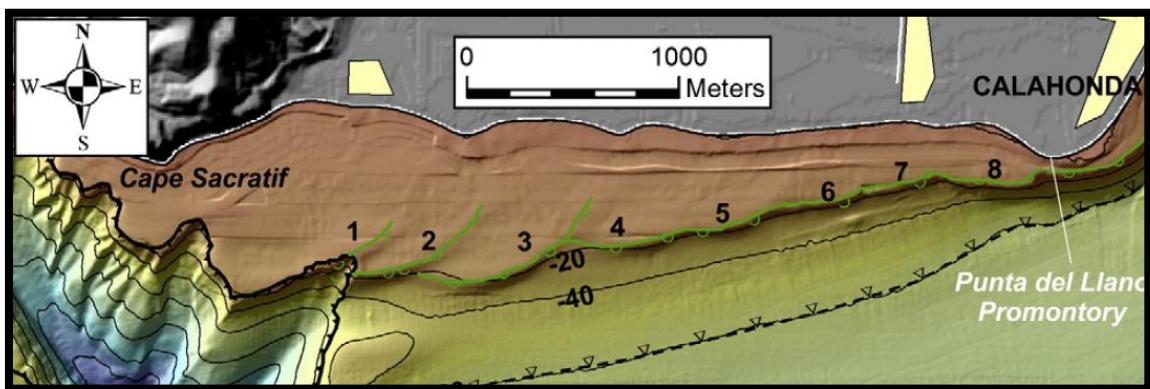
- Variación longitudinal de variación en la dirección del oleaje para cada altura de ola significante a una profundidad de 8m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 71:** Variación longitudinal en la dirección del oleaje a una profundidad de 8m para las distintas alturas de ola significantes.

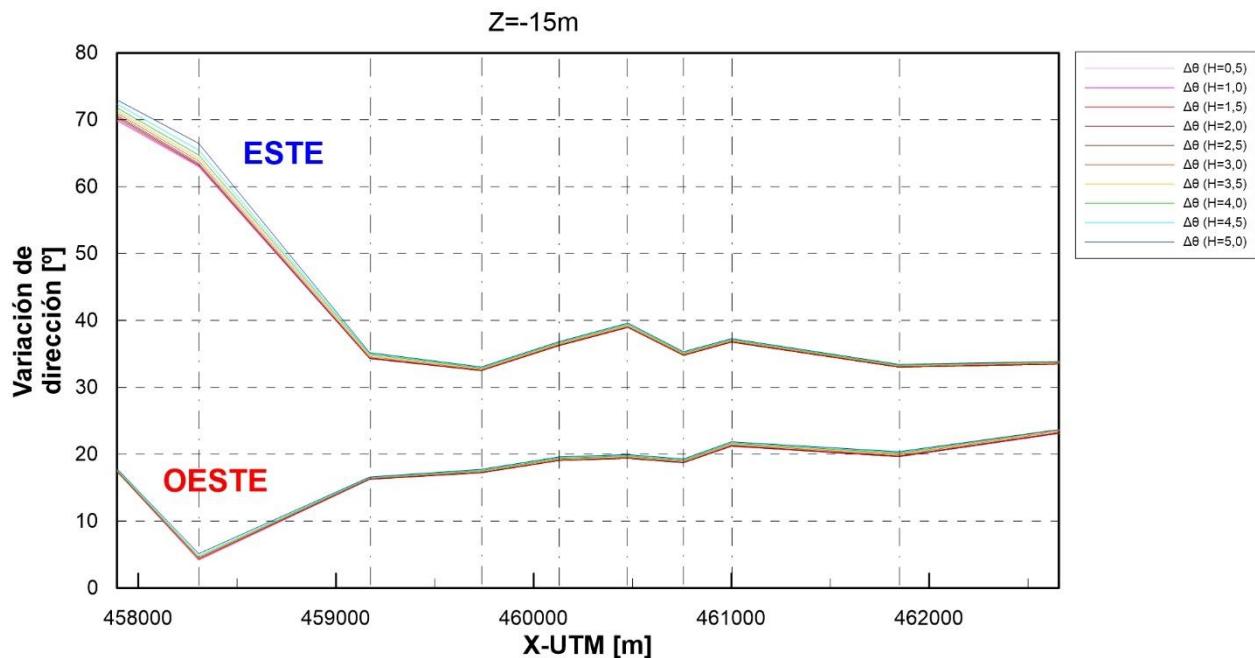
Al igual que en las otras gráficas, no existe distinción entre la variación de dirección que sufren los oleajes de mayor contenido energético y los de menor. En el oleaje del Este, se sigue observando una gran refracción en los puntos P1 y P2. En cambio, en el resto de puntos, para esta profundidad en concreto, las variaciones de dirección se vuelven más constantes, minimizando aún más los picos (que ahora sólo se aprecia en P5).

En el oleaje del Oeste, ya se va apreciando que en P1 el oleaje sufre una mayor refracción que en P2 y P3 (debería tener unos valores de refracción similares puesto que se encuentran influenciados por el cañón de Jolúcar). Da que pensar que en P1, las olas se registran desde fuera del cañón, después entran en la zona norte del cañón y acaban en las proximidades de la costa; lo que produce una mayor variación respecto a su dirección en profundidades indefinidas. En el resto de puntos: de P4 a P7, la variación de dirección está entre los  $20^\circ$  y  $30^\circ$ , y en los puntos de P8 a P10 es de  $30^\circ$ . Este ligero aumento de un grupo de puntos a otro tiene estrecha relación con la forma de las ondulaciones que se forman en la barrera sumergida de sedimentos que se encuentra a una profundidad de 20m. Las ondulaciones de 1-3 son las que afectan al oleaje del Oeste de los puntos P4-P7 y las ondulaciones de 4-8 son las que afectan al oleaje del Este que se registra en los puntos P8-P10.



**Figura 72:** Límite del offlap donde se aprecian los dos grupos de ondulaciones de la barrera de sedimentos. [Fuente: Ortega et al., 2014]

- Variación longitudinal de variación en la dirección del oleaje para cada altura de ola significante a una profundidad de 15m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.

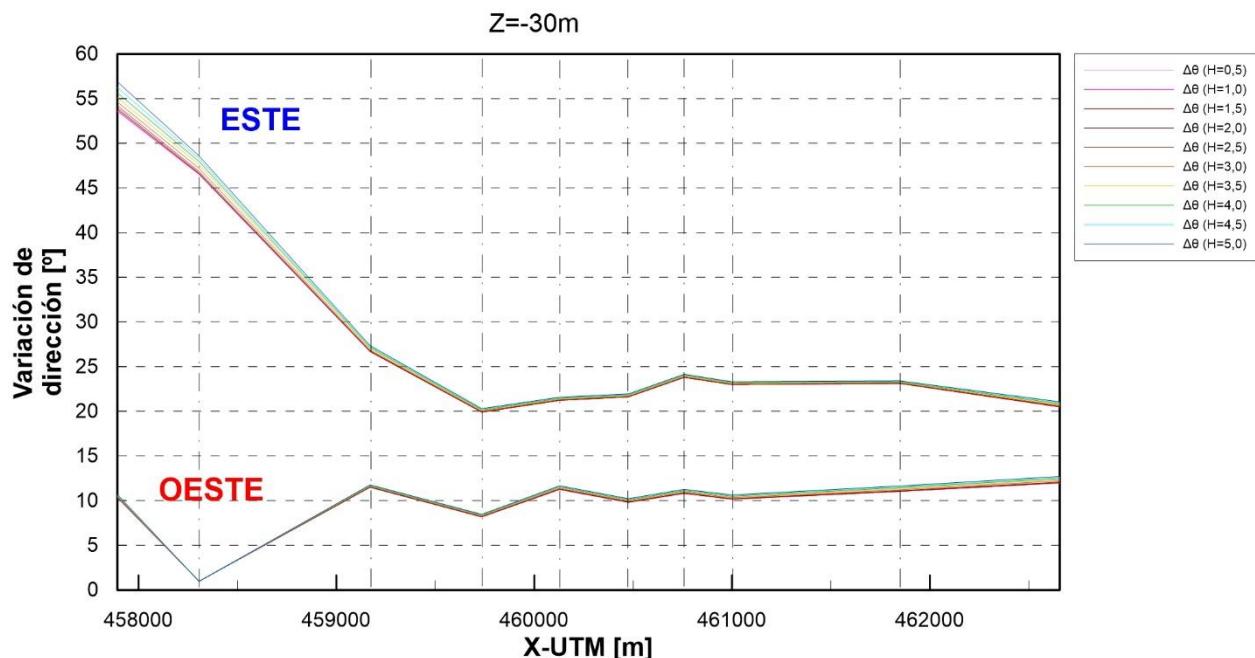


**Figura 73:** Variación longitudinal en la dirección del oleaje a una profundidad de 15m para las distintas alturas de ola significantes.

En el oleaje del Este, las diferencias entre los puntos P1 y P2 con respecto al resto de puntos se vuelven más notables. Mientras los dos primeros siguen sufriendo una refracción muy alta, en el resto el ángulo de procedencia varía mucho menos. Entre P3-P10 los picos más apreciables se registran en P6 y P8; pero, aun así, los valores de la variación de dirección en estos puntos no van más allá del intervalo 30º-40º.

En el oleaje del Oeste, ahora P2 es el único cuya variación de ángulo cae estrepitosamente. P1 y P3 tienen un comportamiento más parecido al resto de puntos. Sin embargo, se confirma la teoría anteriormente expuesta en cuanto a que la refracción en los puntos de P8-P10 es mayor que la refracción de los puntos de P4-P7; a la que ahora se suman P1 y P3.

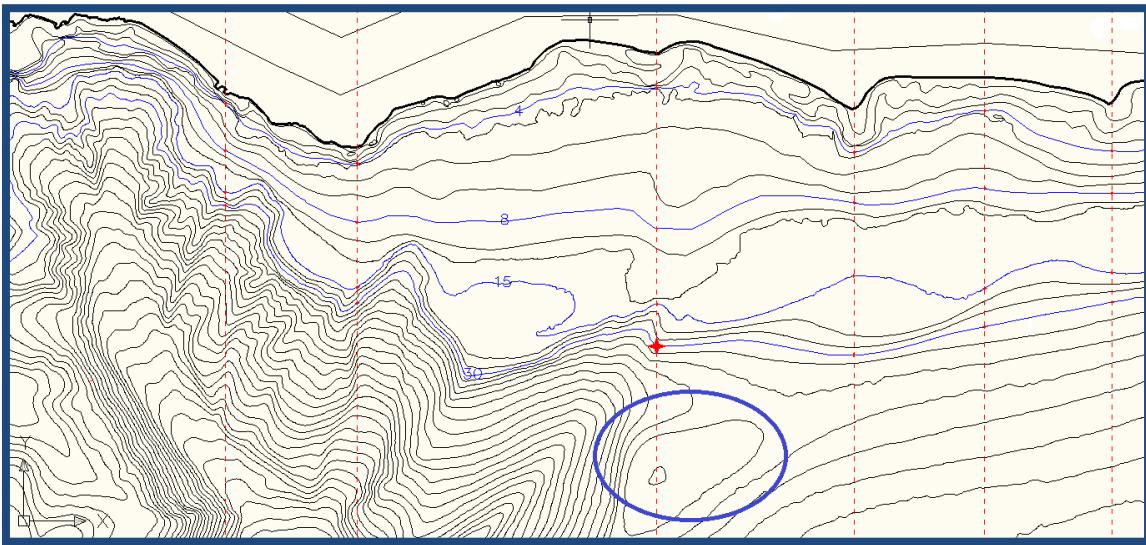
- Variación longitudinal de variación en la dirección del oleaje para cada altura de ola significante a una profundidad de 30m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 74:** Variación longitudinal en la dirección del oleaje a una profundidad de 30m para las distintas alturas de ola significantes.

A esta profundidad, la refracción es menor que en aguas más someras; tiene sentido que la variación de ángulo sea inversamente proporcional a la distancia entre el punto a estudiar y la línea de costa. En el oleaje del Este, los puntos más afectados por la refracción son P1 y P2, que a esta profundidad ya estarían metidos de lleno en el cañón. En este caso, también es destacable el aumento de la refracción en P3 respecto a los demás. Se ha señalado en la *Figura 93* el punto P3 en la línea batimétrica de los 30m (punto rojo) y, al sur, una zona donde ha habido un apilamiento formado por la erosión, el cual sirve como transición entre la batimetría del Oeste (cañón) y la del Este. A causa de esta zona de transición, la cual atraviesa el oleaje del Este, en P3 la refracción es un tanto mayor. En cuanto a los puntos P4-P10, el oleaje varía su dirección de procedencia en todos ellos en torno a 20°-25°.

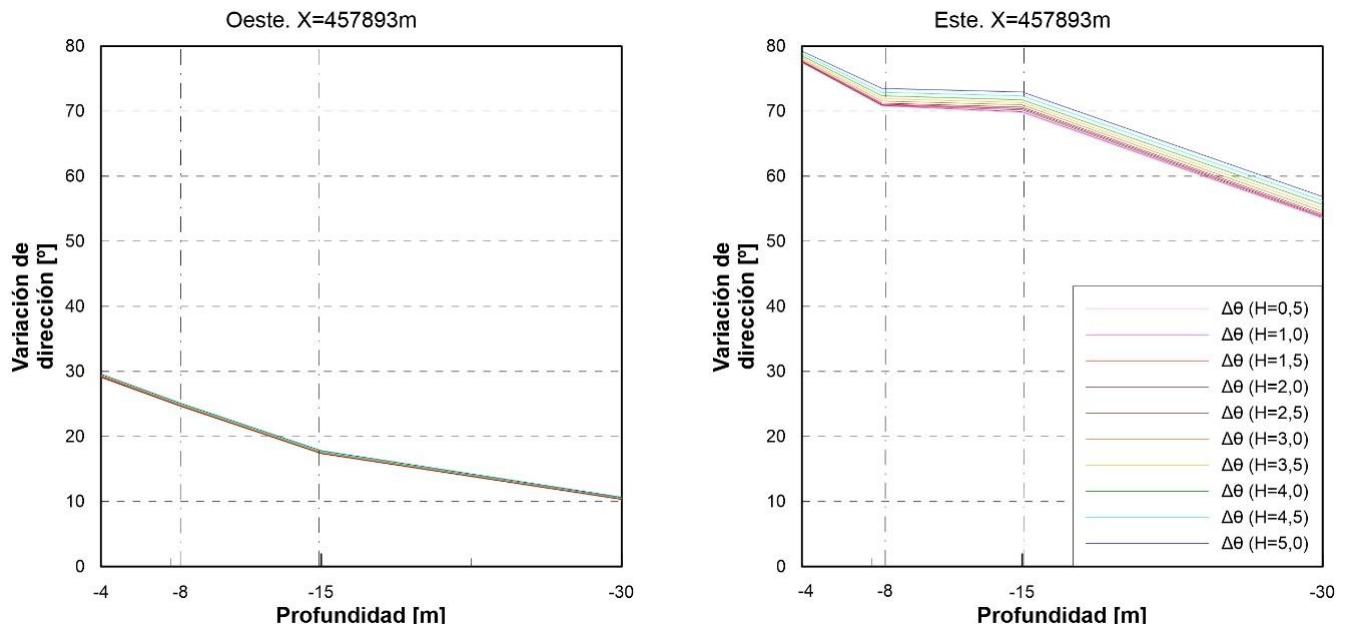
En cuanto al Oeste, en P2 el oleaje no gira apenas su frente de ondas respecto a los 223° en profundidades indefinidas. El resto de puntos P1, P3-P10 sufren una variación de su ángulo de dirección alrededor de los 10°. Es de notar la ausencia de las ondulaciones que han influido tanto en la refracción del oleaje en estos puntos.



**Figura 75:** Zona de transición entre la batimetría del Oeste (cañón) y la del Este.

#### 4.5. Variación transversal de la refracción del oleaje.

- Punto de control 1 (P1) con coordenada X-UTM de 457893m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



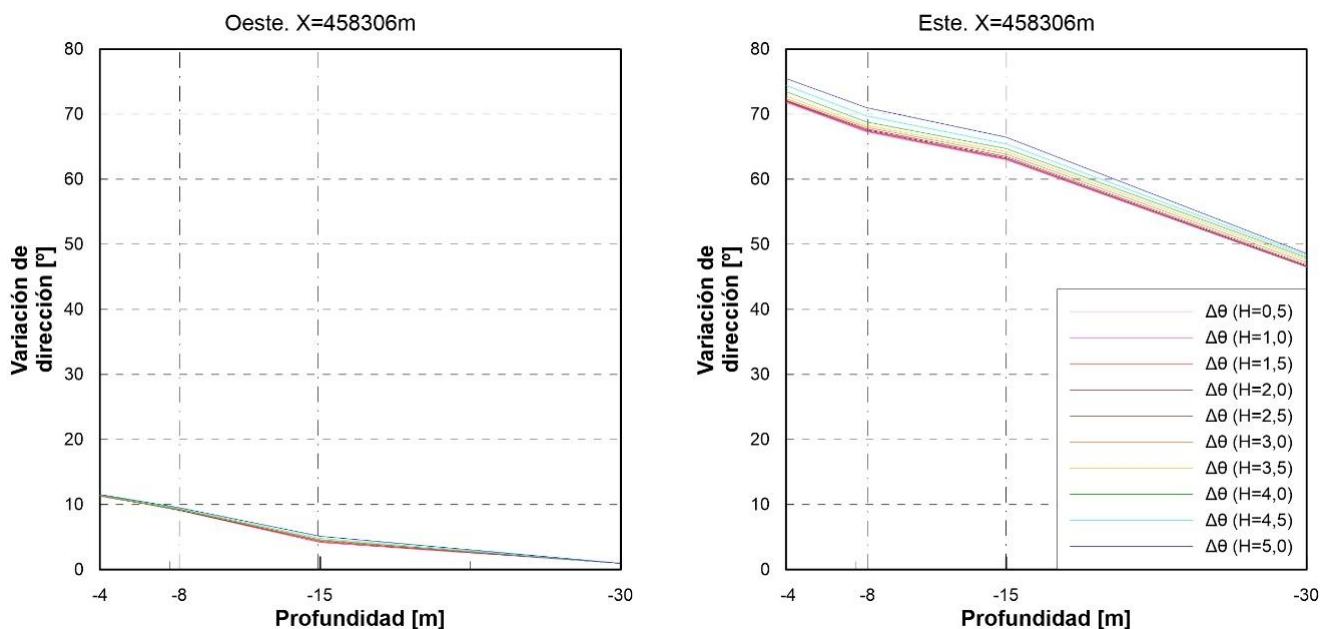
**Figura 76:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 1 para las distintas alturas de ola significantes.

En este punto de control, las olas del este han variado un ángulo de procedencia mucho mayor que las del oeste. De hecho, a los 30m de profundidad la variación de dirección del oleaje del este es 5,7 veces mayor que la del oeste.

En términos generales, esto se puede deducir observando que, a la salida del cañón de Jolúcar, las pendientes son muy elevadas y el oleaje del oeste fácilmente tiende a girar su frente de ondas hasta alcanzar el punto de equilibrio perpendicular a las líneas de la batimetría. En cambio, para el este, el oleaje tiene que recorrer mucho más camino hasta P1, donde las líneas de nivel del terreno tienen un ángulo que no dista en varios grados al de este oleaje. Por tanto, éste intentará girar (casi un ángulo recto a los 4m de profundidad) para situarse de forma perpendicular a las líneas de nivel.

Otro aspecto a tener en cuenta es que mientras la variación de ángulo en el oleaje del oeste apenas varía para las distintas alturas de ola significantes; en el oleaje del este, llega a aumentar casi un 7% de las olas con altura en profundidades indefinidas de 0.5m a las de 5m.

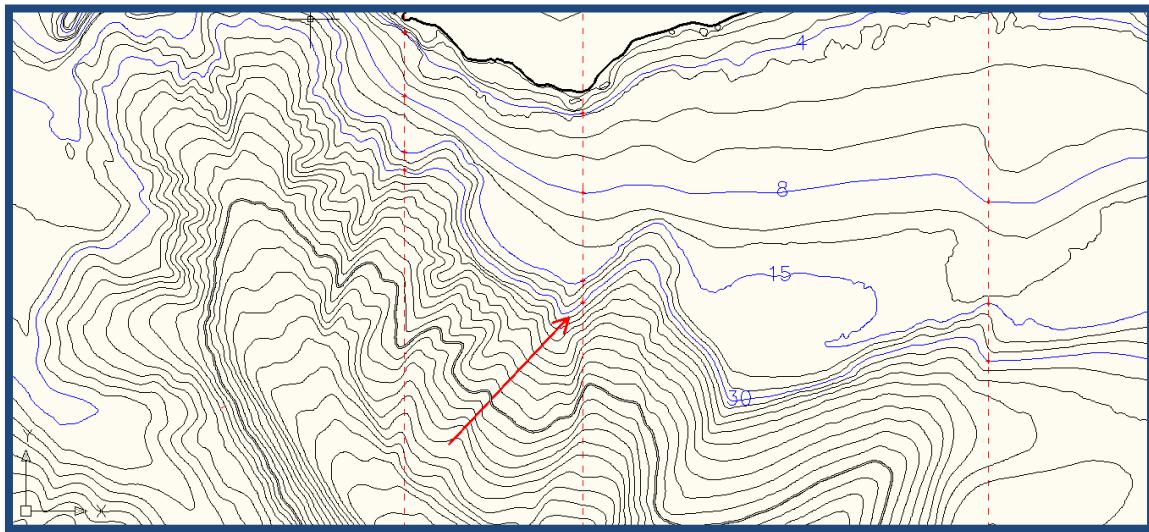
- Punto de control 2 (P2) con coordenada X-UTM de 458306m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 77:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 2 para las distintas alturas de ola significantes.

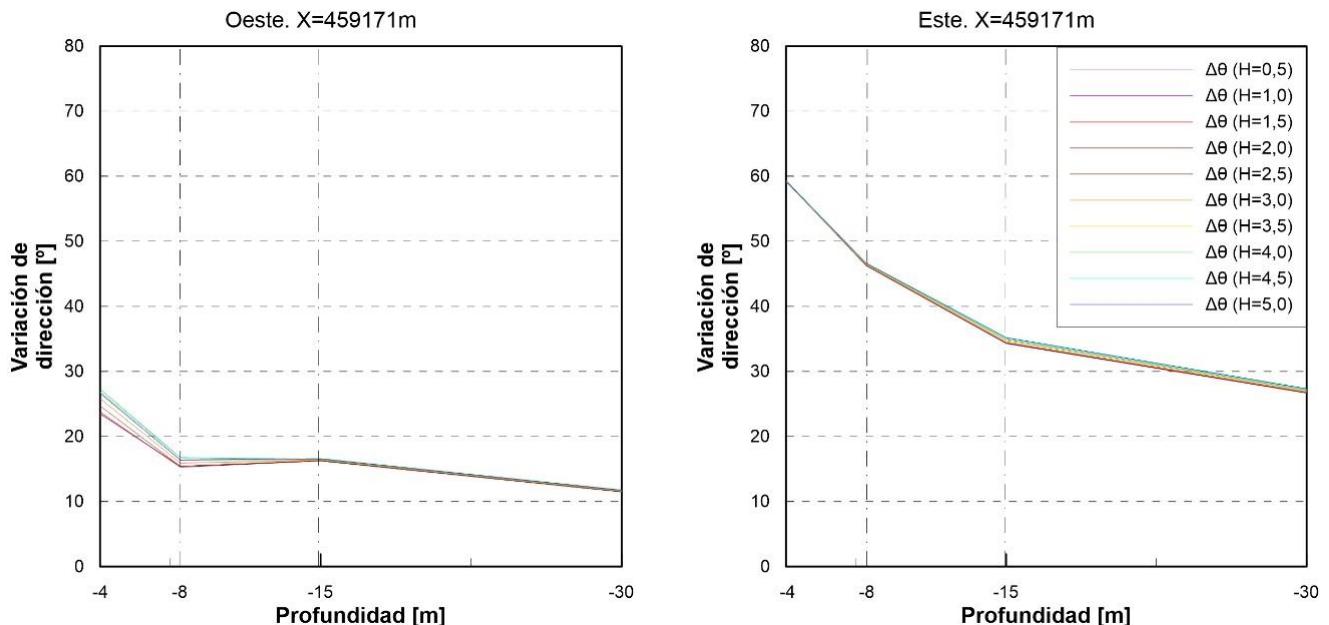
En el punto de control P2, saltan a la vista las amplias diferencias entre el oleaje de una procedencia y su opuesto. En el punto de estudio más cercano a la costa (a los 4m de profundidad), la refracción que sufre el oleaje del este se traduce en una variación en el ángulo de dirección de oleaje que es un 6,5 veces mayor que el del oleaje del oeste. De hecho,

el oleaje procedente del oeste apenas se ve afectado por el fenómeno de la refracción. En la *Figura 98*, se aprecia la dirección que toman las olas precedentes del oeste (las cuales inciden con un ángulo de  $223^{\circ}$ ), y que la batimetría del cañón de Jolúcar en esa zona tiene una dirección perpendicular a la de éstas. Por este hecho, el fenómeno de la refracción no tiene efectos significativos sobre las olas del oeste.



**Figura 78:** Oleaje procedente del Oeste atravesando el cañón de Jolúcar perpendicularmente a las líneas de nivel.

- Punto de control 3 (P3) con coordenada X-UTM de 459171m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.

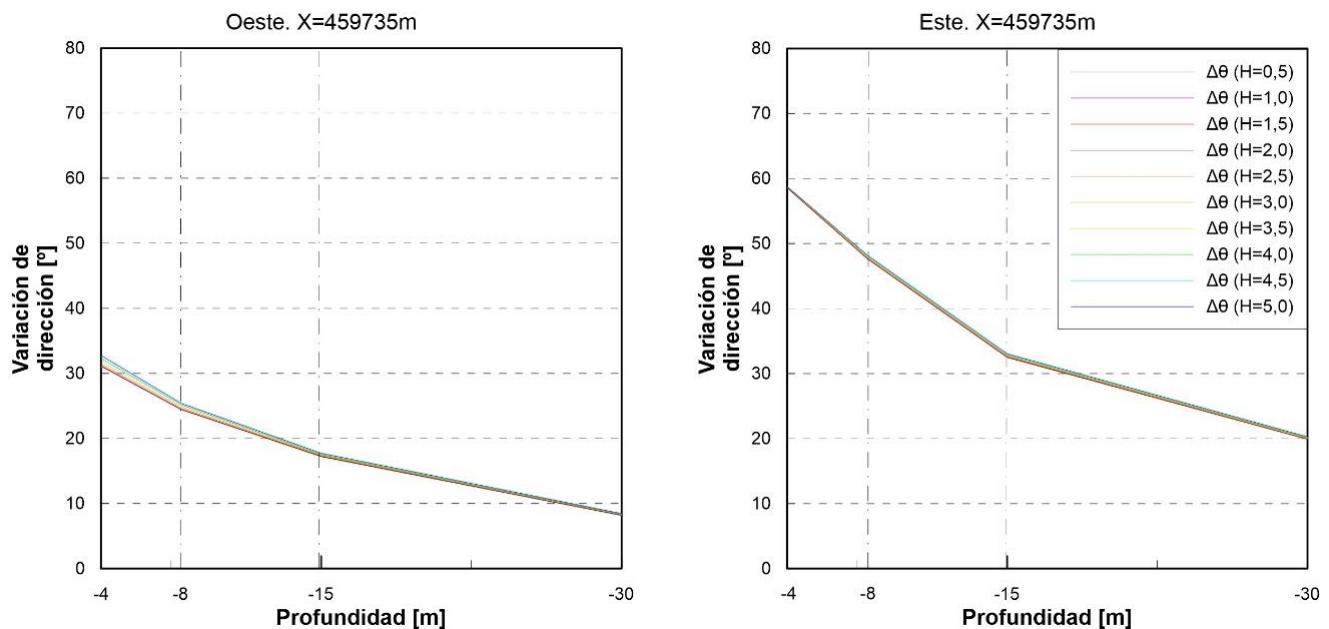


**Figura 79:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 3 para las distintas alturas de ola significantes.

En el punto de control P3, se puede aplicar la misma teoría que se formuló para el oleaje del Oeste en P2. A pesar de que, en profundidades mayores, en este punto el oleaje del oeste varía su ángulo  $10^\circ$  más que en P2; siguen siendo valores muy bajos de refracción. En este caso, las olas atraviesan todo el cañón tributario del este hasta finalizar su recorrido en el punto de control y, como se ha explicado anteriormente, lo hace atravesando la línea de máxima pendiente. Por este hecho, la refracción le afectará en menor medida.

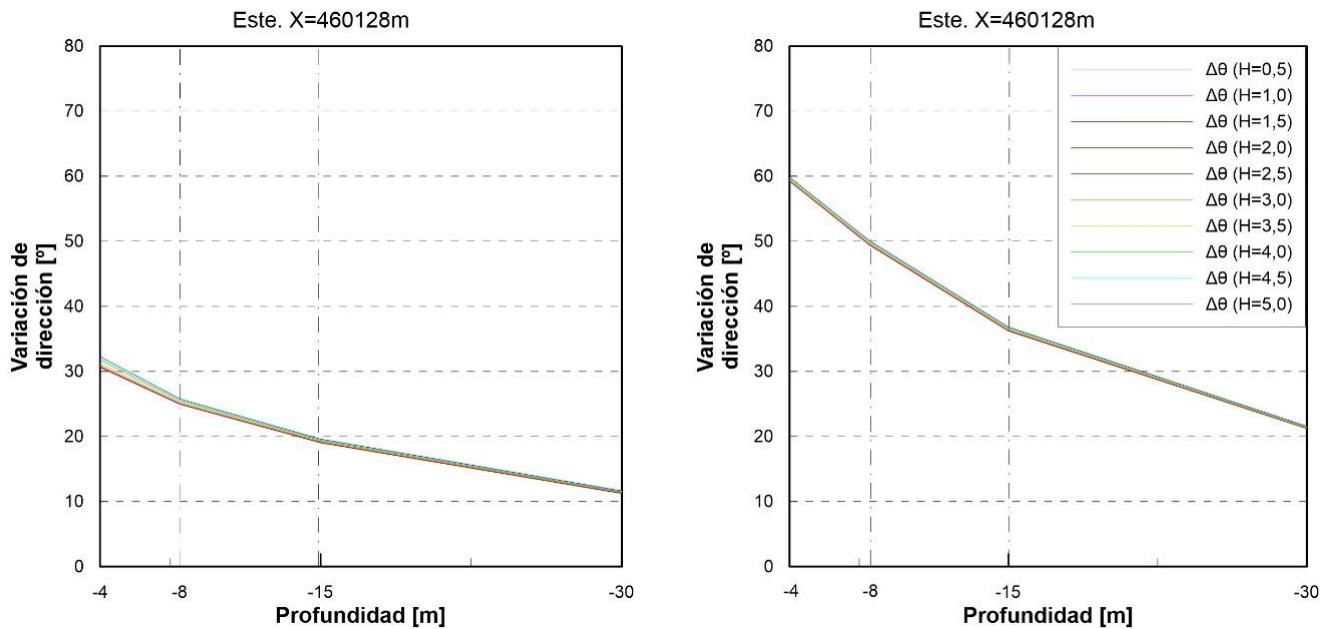
En el oleaje del Este, el comportamiento es muy similar al de los puntos P3-P10; sin embargo, se ha comentado en el *Apartado 4.4* el aumento de la refracción en la profundidad de 30m (respecto al resto de puntos). Para el resto de profundidades, el cañón de Jolúcar ya no tiene ningún efecto sobre el oleaje de este punto

- Punto de control 4 (P4) con coordenada X-UTM de 459735m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



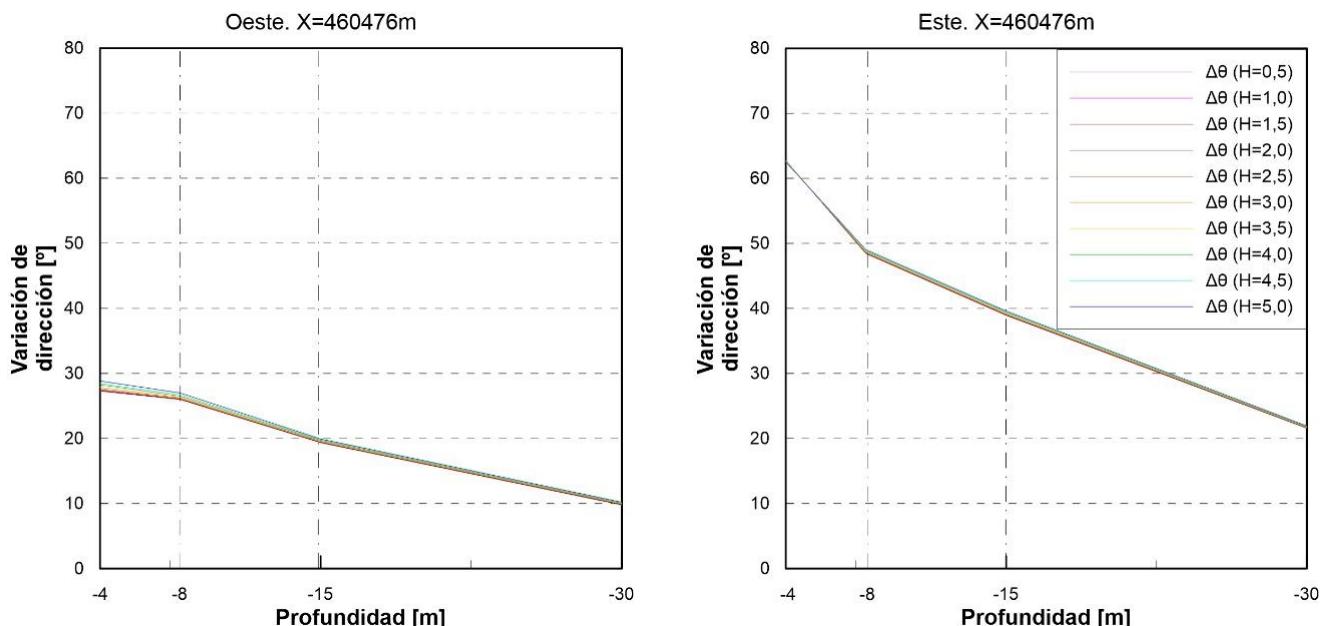
**Figura 80:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 4 para las distintas alturas de ola significantes.

- Punto de control 5 (P5) con coordenada X-UTM de 460128m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 81:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 5 para las distintas alturas de ola significantes.

- Punto de control 6 (P6) con coordenada X-UTM de 460476m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 82:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 6 para las distintas alturas de ola significantes.

- Punto de control 7 (P7) con coordenada X-UTM de 460758m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.

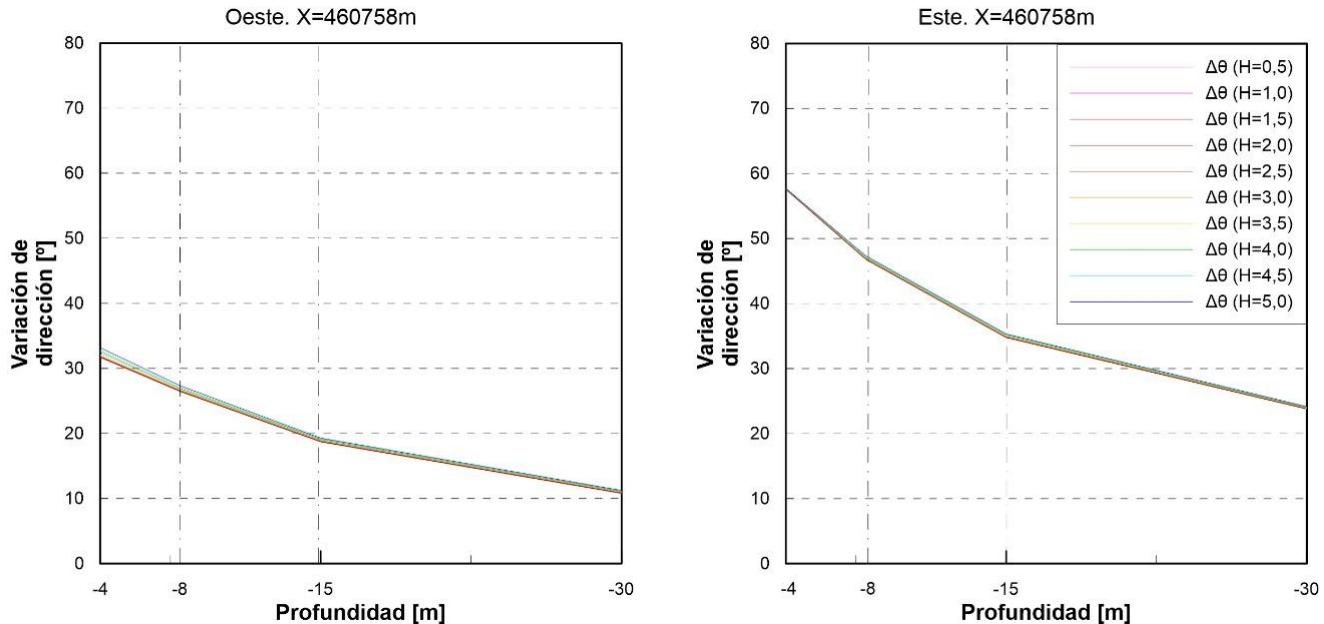


Figura 83: Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 7 para las distintas alturas de ola significantes.

- Punto de control 8 (P8) con coordenada X-UTM de 461000m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.

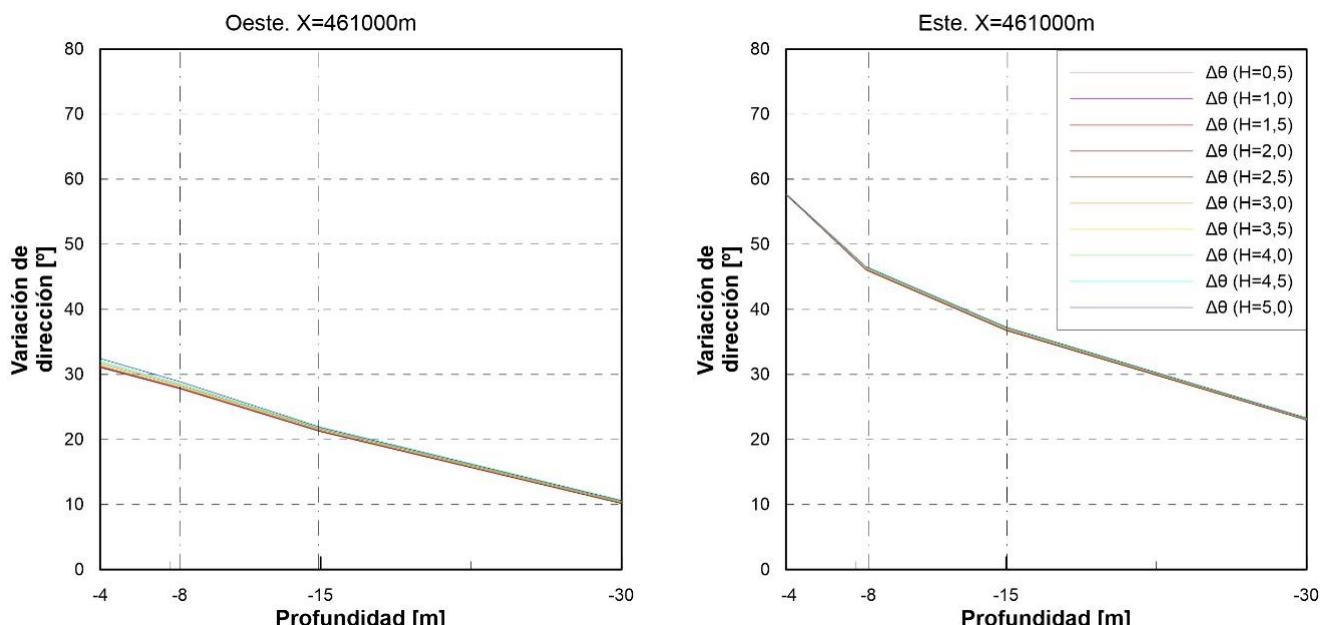
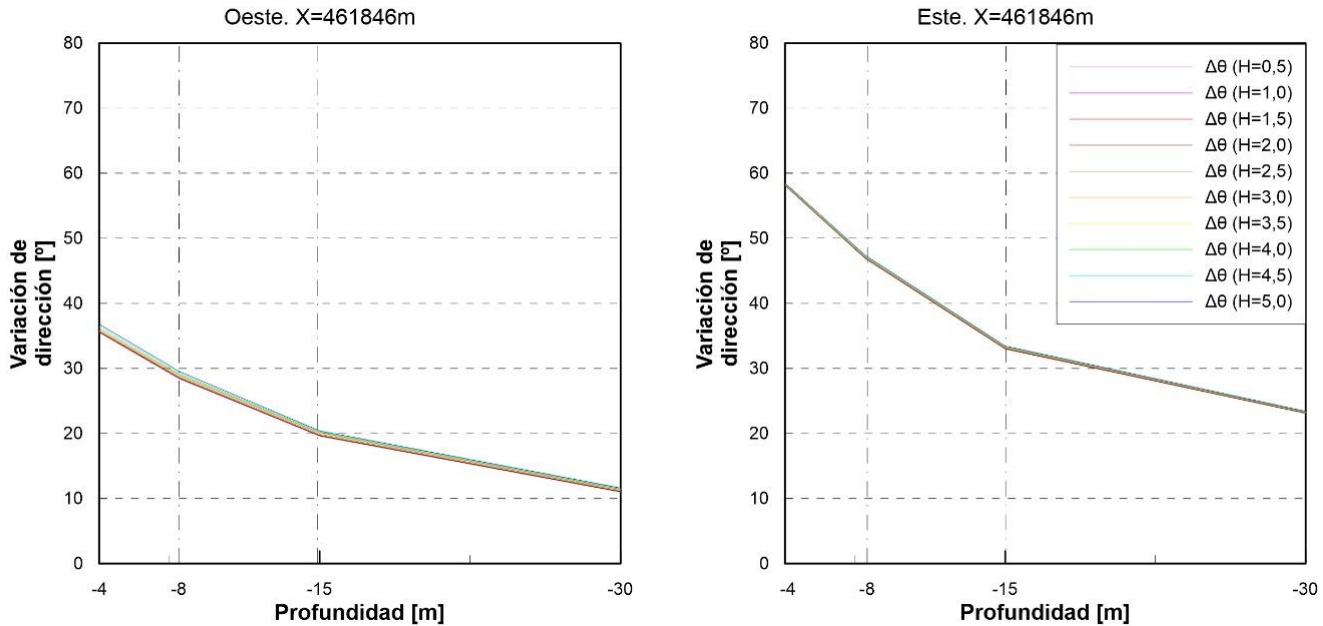


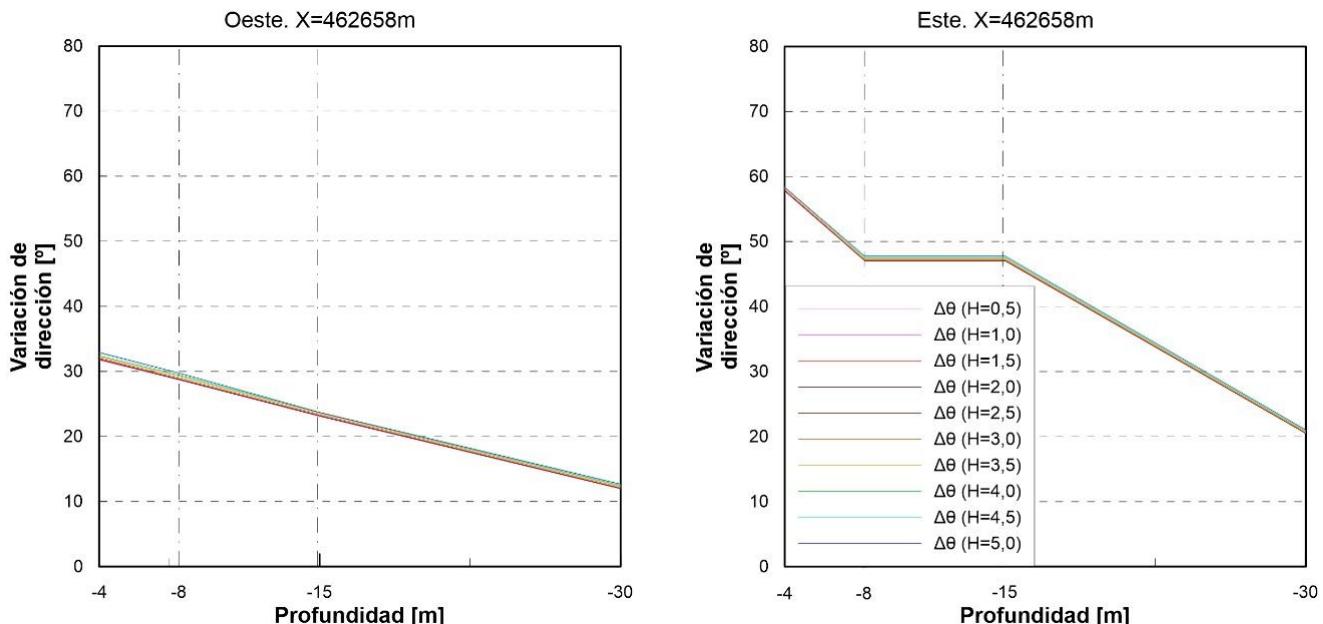
Figura 84: Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 8 para las distintas alturas de ola significantes.

- Punto de control 9 (P9) con coordenada X-UTM de 461846m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 85:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 9 para las distintas alturas de ola significantes.

- Punto de control 10 (P10) con coordenada X-UTM de 462658m y estados de mar con alturas de ola significantes variando desde 0.5m hasta 5m, para las direcciones de procedencia del oleaje Este y Sudoeste.



**Figura 86:** Variación transversal en la dirección del oleaje en el punto de control 10 para las distintas alturas de ola significantes.

En los puntos P4-P10, para el oleaje del Oeste, el comportamiento no varía prácticamente de una gráfica a otra: las olas refractan unos ángulos muy similares entre sí. Cabe destacar los dos grupos de ondulaciones que se forman en la barrera de sedimentos sumergida que se encuentra en el límite del offlap, y que afecta, en estos puntos de control, a todas las olas que han atravesado la línea batimétrica de los 20m. Esto es aplicable tanto al oleaje del Este como al del Oeste. La diferencia entre la variación de dirección que sufre la ola a los 30m y la que sufre a los 4m es de hasta 25º en estos puntos.

Con respecto al oleaje del Este, todos los puntos sufren una variación en la dirección de sus respectivos oleajes muy similar desde los 30m hasta los 4m. La diferencia entre la variación de dirección que sufre la ola a los 30m y la que sufre a los 4m es de hasta 40º en estos puntos.

Llama la atención P10, cuyo tramo entre los 15m y 8m, es de variación de dirección constante. Como se puede apreciar en la batimetría de la zona, esas dos líneas batimétricas para P10 están muy juntas; por tanto, se esperan comportamientos de refracción similares.

## 5. Conclusiones

Este Trabajo Fin de Grado ha analizado patrones de propagación a partir de un modelo numérico avanzado (Delft3D), con el fin de reproducir los forzamientos marítimos en las proximidades de la costa; lo que tiene sus aplicaciones directas en construcciones civiles de tipo marítimo, regeneración y gestión de playas, etc.

Este trabajo se ha centrado en comprender el comportamiento del oleaje las playas heterogéneas y de morfología escarpada, comunes en entornos mediterráneos. Como se ha visto, estas playas no siguen el comportamiento usual de las playas de grava ni de las playas de arena. Por tanto, no podemos predecir los eventos que puedan acontecer en este tipo de costas.

La zona de estudio ha sido la Playa de Carchuna; que presenta ciertas singularidades, entre las que cabe destacar:

- 1) Su fondo marino se encuentra rodeado de cañones submarinos.
- 2) Tiene una forma en planta con ondulaciones irregulares (sistema de puntas-bahías).
- 3) La heterogeneidad que existe en sus sedimentos.

Mediante los datos más representativos de altura de ola, período y ángulo de incidencia del oleaje (obtenidos mediante análisis estadístico), se ha estudiado el oleaje en diez perfiles a lo largo de la línea de costa a cuatro profundidades cada uno.

Tras representar los datos en diversas gráficas, se han extraído las siguientes conclusiones:

- ❖ Según las variaciones en los coeficientes de propagación que se han observado a lo largo de la línea de costa para diferentes niveles energéticos y ambas direcciones de procedencia, el oleaje del Oeste tiene un mayor nivel energético que el del Este; el cual sufre una disipación mayor. Esta disipación, finalmente, se ha podido comprobar que es causa de la refracción tan alta que experimenta este oleaje.
- ❖ En general, se puede afirmar que las olas con mayor contenido energético tienden a disipar más energía que las de menor contenido energético. En particular, se ha visto como en los procesos de rotura (o cercanos a esta), las olas de mayor altura en indefinidas disminuyen sustancialmente su coeficiente de propagación; mientras que las de menor altura de ola en indefinidas lo aumentan debido al asombramiento. Estas observaciones están directamente relacionadas con la refracción: las olas de mayor contenido energético son las que más giran su frente de ondas; mientras que las de menor contenido energético variarán menos su dirección.
- ❖ También se ha observado que, tanto para el Este como para el Oeste, los coeficientes de propagación son especialmente altos en el Cabo Sacratif y la bahía situada al este del mismo, cuando las olas se encuentran más próximas a la costa. Este patrón está directamente relacionado con la forma en planta de la línea costa, puesto que es la zona donde se sitúa la bahía más erosionada de todas. Aquí, el cañón de Jolúcar juega un papel muy importante, sobre todo, para el oleaje que pasa a la altura del Cabo Sacratif y sus proximidades (tanto al este como al oeste). Según se ha podido comprobar, el cañón produce una importante refracción sobre el oleaje. Sin embargo, según este estudio, las olas que han atravesado alguno de los cañones a lo largo de la línea de máxima pendiente, se han visto incrementadas en cuanto a altura de ola y no han sufrido apenas refracción.
- ❖ En Punta del Llano se han registrado niveles de energía provenientes del Este bastante altos. Como consecuencia, la erosión en ese cabo está siendo muy importante y es probable que estas olas estén arrastrando una gran cantidad de sedimentos por los alrededores de esa zona. Por consecuente, habrá que tomar medidas para resguardar este punto y reducir el contenido energético que recibe.
- ❖ La batimetría de la playa de Carchuna está repleta de acumulaciones de sedimentos. Alguna destacable puede ser la que se encuentra entre los dos cañones tributarios a 15m de profundidad, que es la causante de que el oleaje del Oeste rompa antes de que llegue a la bahía al este del Cabo Sacratif. La barrera de sedimentos sumergida, también juega un papel determinante en la reflexión y refracción del frente de ondas, así como las ondulaciones que se forman en ella. Las olas depositan una gran cantidad de sedimentos desde la línea de costa hasta los 20 m de profundidad. Esta plataforma afecta especialmente al oleaje que llega a la parte este de la costa, para ambas direcciones de procedencia. Se ha llegado a la conclusión de que, al atravesar este límite con el offlap, el oleaje del Oeste se ve afectado en mayor parte por la reflexión, mientras que el oleaje del Este sufre una mayor refracción en esta zona.

## 6. Bibliografía

- BRAMATO, S.; ORTEGA-SÁNCHEZ, M.; MANS, C., and LOSADA, M.A., 2012. Natural recovery of a mixed sand and gravel beach after a sequence of a short duration storm and moderate sea states. *Journal of Coastal Research*, 28(1), 89–101.
- DEL ROSAL SALIDO, J (2013). Influencia de las acciones humanas en la hidrodinámica de la Bahía de Cádiz
- LÓPEZ RUIZ, ALEJANDRO (2009). Análisis de la regeneración natural de playas mediante técnicas de vídeo imágenes: Playas de Carchuna (Granada) y Trafalgar (Cádiz).
- ORTEGA SÁNCHEZ, M., BAQUERIZO, A., LOSADA, M.A (2010). Morfodinámica de la playa de Carchuna (Granada): Análisis teórico y mediante técnica de video imágenes. *Ambientalia* vol.1 (2009-2010) 118-128.
- ORTEGA SÁNCHEZ, M., LOSADA, M.A., BAQUERIZO, A. (2003). On the development of large-scale cuspatate features on a semi-reflective beach: Carchuna beach, Southern Spain. *Marine Geology (MarGeol)* 198, 209-223.
- TORRES ALCALDE, A.J. (2015). Dinámica de la zona emergida en playas heterogéneas: análisis con cámaras de alta resolución.
- ZARZUELO ROMERO, C. (2012). Modelado hidrodinámico de la Bahía de Cádiz.