



Trabajo Fin de Grado



Diseño de diques exentos en Playa Granada (Motril)



GRADO DE INGENIERÍA CIVIL. ESPECIALIDAD: CONSTRUCCIONES CIVILES

Autor:

Alfonso Martos Berlanga

Tutores:

Rafael Jesús Bergillos Meca

Dr. Miguel Ortega Sánchez

Granada, junio de 2017

ÍNDICE

Resumen.....	1
1. Introducción.....	3
2. Zona de estudio.....	5
2.1. Clima marítimo.....	7
3. Metodología.....	10
3.1. Recopilación de información existente y elaboración de una base de datos.....	10
3.2. Planteamiento de alternativas.....	15
3.3. Modelado numérico de propagación del oleaje.....	31
4. Resultados.....	33
4.1. Resultados del modelo de propagación del oleaje.....	33
4.2. Selección de la alternativa óptima.....	71
4.3. Optimización de la alternativa elegida mediante la reducción de su cota de coronación.....	77
4.4. Diseño de la estructura seleccionada.....	80
4.5. Descripción del proceso constructivo.....	87
4.6. Presupuesto de la alternativa seleccionada y la estabilización de la playa.....	88
Conclusiones.....	91
Anexo I: Planos.....	93
Líneas de trabajo futuro.....	96
Agradecimientos.....	96
Bibliografía.....	96

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado pretende encontrar una solución óptima al problema de erosión en Playa Granda (Motril), provocado principalmente por la disminución del aporte de sedimentos del río Guadalfeo desde la entrada en funcionamiento de la presa de Rules en 2004. Dado que parecen no dar resultado las continuas regeneraciones de sedimentos en la zona, se planteó como objetivo de este trabajo establecer una solución más rígida basada en la construcción de diques.

Playa Granada se caracteriza principalmente por ser una playa heterogénea, pues es un sistema compuesto por un amplio rango de tamaños de sedimento cuya estratificación vertical es variable y con proporciones y gradación cambiantes tanto transversal como longitudinalmente. Pertenece a un sistema deltaico (el delta del Guadalfeo) situado al sur de la Península Ibérica, en el litoral granadino. La zona se encuentra sometida a un oleaje de carácter bidireccional, siendo las direcciones predominante este-sureste y oeste-suroeste.

En este trabajo, en primer lugar se elaboró una base de datos mediante la revisión de proyectos de espigones y diques exentos previos. Posteriormente, se plantearon y trazaron en AutoCAD las posibles alternativas de diques y/o espigones.

Estas alternativas fueron introducidas como obstáculos en Delft3D, un modelo que realiza la propagación de oleaje desde profundidades indefinidas hacia la costa. Los resultados del modelo de propagación del oleaje, indican que la mejor alternativa consiste en un gran número de diques (6 a 9) con pequeña separación entre ellos (150 m a 300 m), una distancia próxima a la costa (150 m a 250 m) y que priorice la longitud de los mismos frente a su anchura.

Después se ha realizado un estudio comparativo basado en criterios funcionales, económicos y medioambientales para determinar la mejor alternativa en conjunto, consistiendo en la construcción de seis diques exentos de 250 m x 5,5 m de dimensiones, paralelos a la costa a 200 m y separados entre ellos 300 m.

Posteriormente, se determinó la cota de coronación (1 m) y se diseñaron los diques, incluyendo: el peso de las piezas elegidas (7 toneladas para el manto principal, 0.5 toneladas para el secundario y de 25 a 150 kg como material del núcleo), el espesor (2.8 m para el principal y 1.2 m para el secundario), y la inclinación del talud (2H:1V). Para ello, se calculó en primer lugar la altura de ola de diseño en función del periodo de retorno. Este periodo de retorno se determinó mediante los índices de repercusión económica (IRE) y de repercusión social y ambiental (ISA), que caracteriza la importancia de un tramo de obra marítima, así como la repercusión económica, social y ambiental en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad.

Se incluyó el proceso constructivo de cada dique exento así como la secuencia en la que éstos deben ser construidos: primero el situado más a barlomar (oeste en nuestra zona), posteriormente el situado más a sotamar (este) y después proceder a construir el resto de diques exentos siguiendo la secuencia que marcan los dos primeros hasta encontrarse.

Por último, se muestra la valoración económica de la solución adoptada, incluyendo los capítulos de diques exentos, regeneración de playa (vertido de 106.676 m^3 de material sobre un área de 40.000 m^2) y otras partidas varias (inspecciones submarinas y campañas batimétricas), sumando un total de $173.693.307,74 \text{ €}$.

Como línea de trabajo futuro, se podría se plantea incorporar el análisis del transporte de sedimentos usando este trabajo como base para realizar un estudio más profundo de la problemática de este lugar y su solución más óptima.

1. INTRODUCCIÓN

Las playas son un gran recurso ecológico, cultural, social y económico en nuestro país, puesto que gran parte de nuestra economía se basa en el turismo que reciben estas zonas del litoral. Sin embargo, en los últimos años las costas españolas han sufrido un gran impacto debido principalmente a los cierres de transporte de sedimentos debido a la construcción de presas en las últimas décadas, la subida natural del nivel medio del mar a nivel mundial y a la ocupación por el hombre de la primera línea de playa.

Estas causas se plasman en la reciente erosión y por tanto pérdida de playas en nuestro litoral, siendo nuestro caso de estudio, Playa Granada, un ejemplo de esta situación (**figura 1**).



Figura 1. Foto aérea de Playa Granada.

El tramo de costa que alberga Playa Granada al estar destinado para un uso principalmente turístico, puesto que aquí podemos encontrar un hotel, un campo de golf, pistas deportivas, restaurantes y varios apartamentos vacacionales, ha sido objeto de numerosos proyectos de regeneración artificial de sedimentos desde la entrada en funcionamiento de la presa de Rules en 2004. Un ejemplo es el aporte realizado en noviembre de 2014 con un volumen total de 106.676 m³ de material sobre una longitud de 627 m de costa al sureste de la desembocadura del río Guadalfeo (**figura 2**).

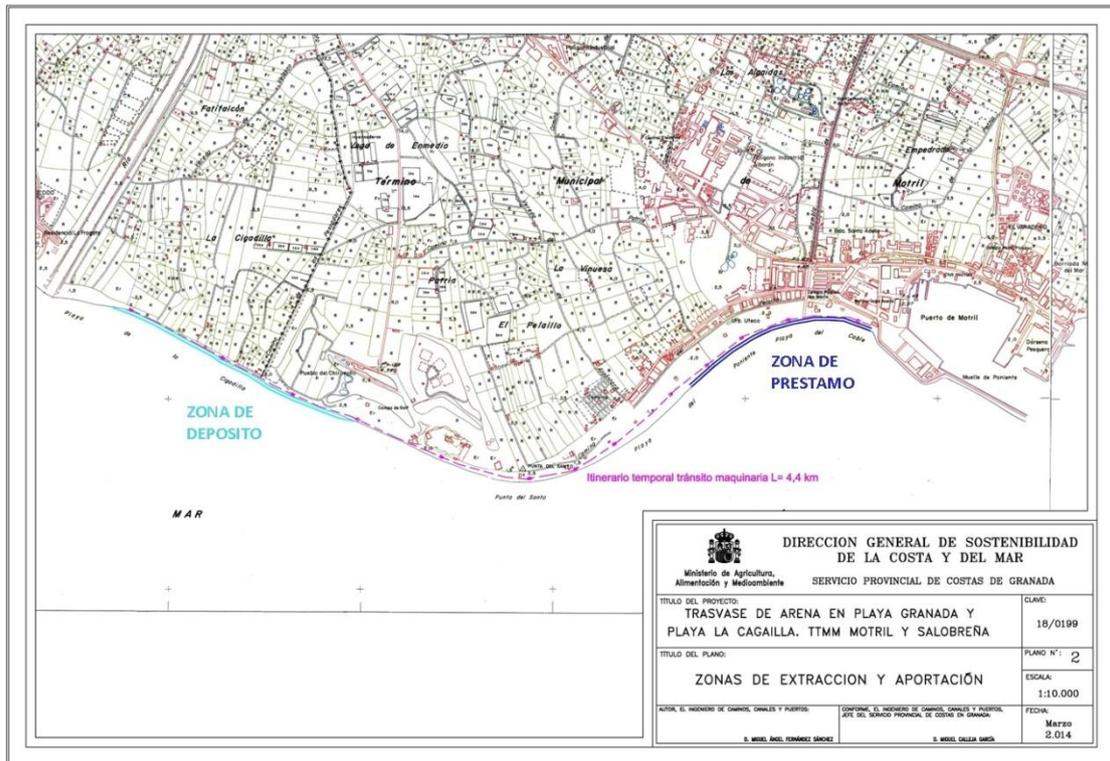


Figura 2. Traslado de arena en Playa Granada y Playa la Cagailla, marzo de 2014.

Sin embargo, estos trabajos de recuperación de playa no parecen dar resultado, puesto que basta con que llegue un temporal para que se lleve este material aportado. Por ello, dada la importancia turística de la zona, queda clara la búsqueda de una mejor solución. Es por ello que en este Trabajo Fin de Grado se optará por la construcción de diques y/o espigones, obteniendo así una solución más eficaz y duradera en el tiempo.

2. ZONA DE ESTUDIO

De forma general, nuestro tramo de costa objeto de estudio está comprendido por las playas de La Charca o Salomar, Granada y Poniente, resultando una distancia de poco menos de 7 kilómetros que está comprendida entre el Peñón de Salobreña hasta el Puerto de Motril. Sin embargo, a la hora de definir las posibles alternativas, nos centraremos en Playa Granda, es decir, el tramo de costa que va desde la desembocadura del río Guadalfeo hasta la Punta del Santo, de casi 3 kilómetros de longitud.

Playa Granada se caracteriza principalmente por ser una playa heterogénea perteneciente a un sistema deltaico que está situado al sur de la Península Ibérica, en el litoral granadino (**figura 3**).



Figura 3. Situación geográfica de la Zona de Estudio y zona costera del Delta del Guadalfeo.

Entre las distintas tipologías costeras, las playas heterogéneas son sistemas compuestos por un amplio rango de tamaños de sedimento cuya estratificación vertical es variable y con proporciones y gradación cambiantes tanto transversal como longitudinalmente (*Holland and Elmore, 2008*). Estas variaciones pueden ser reforzadas por la presencia de formas rítmicas, como las formas cuspidales (*Short, 1999; Ortega-Sánchez et al., 2008*). Las principales particularidades de las playas heterogéneas son las de presentar elevadas pendientes y reflejar una gran proporción de la energía incidente. Suelen tener una línea de rotura bien definida así como distintos escalones y bermas distribuidos en el perfil que se modifican en función de las condiciones de forzamiento y los procesos erosivos deposicionales que se produzcan. Son

playas que, en general, se erosionan poco y se recuperan de forma rápida tras el paso de una tormenta (*Williams et al., 2012*).

Por sistema deltaico, entendemos un sistema situado en la transición entre ambientes fluviales y marítimos dado que en esta zona encontramos la desembocadura del Guadalfeo. Como consecuencia de su naturaleza, los deltas suelen responder de manera rápida a cambios naturales, estando dicha respuesta controlada principalmente por las variaciones en el suministro de sedimento que llega al dominio costero (*Mateo and Siringan, 2007*).

El río Guadalfeo es la fuente más importante de sedimentos en Playa Granada y está ubicado en el litoral andaluz del mar de Alborán que se caracteriza por la presencia de la cordillera Penibética que hace que los cauces fluviales sean cortos y con elevadas pendientes (*Polo et al., 2013*). Su cuenca tiene un área de 1252 km², incluyendo el pico más alto de la Península Ibérica (*Herrero et al., 2011*), el Mulhacén (~3400m). Las precipitaciones son escasas, con una distribución espacial irregular (*Moreno Aranda et al., 2010*), además, la fuerte pendiente del cauce hace que sea uno de los hidrológicamente más energéticos del litoral mediterráneo y que los sedimentos aportados comprendan un amplio rango de tamaños (*Millares et al., 2014*.) Consecuentemente, Playa Granada es una playa heterogénea con tamaños de grano que varían entre arenas y gravas. De acuerdo con Bergillos et al. (2016), en Playa Granada se identifican tres fracciones predominantes en cuanto al tamaño de sedimento: una de arena (~0,35 mm), y dos de grava (~5mm y ~20mm).

En este río podemos encontrar la presa de Rules, la mayor responsable de la falta de entrada de sedimento natural a la zona costera. Fue construida desde 1993 hasta 2003 y está situada a poco menos de 4 kilómetros aguas debajo de la confluencia de los ríos Izbor y Guadalfeo. Esta presa intercepta la práctica totalidad de la carga sólida del río Guadalfeo, especialmente la arena y grava. Además, las cantidades de sedimento que se evacuan en las pocas veces que se abren los desagües de fondo de las presas no tienen importancia alguna.

El clima en la zona de estudio sufre un gran contraste entre verano e invierno. Durante el invierno, esta región sufre temporales con vientos de 18 y 22 m/s, con un fetch de unos 300 km (*Ortega-Sánchez et al., 2008*). El oleaje es bidireccional dominando las direcciones oeste-suroeste y este-sureste. Durante los eventos de tormenta, la altura de ola en profundidades indefinidas supera los 3 m, pudiendo alcanzar picos de 4,5-5 m. El rango de la marea astronómica se sitúa entorno a los 0,6 m, siendo por tanto una zona micromareal (*Ortega-Sánchez et al., 2014*).

2.1. CLIMA MARÍTIMO

Los datos de clima marítimo han sido obtenidos mediante el punto SIMAR 2041080 perteneciente a Puertos del Estado y situado en las coordenadas UTM (448.171, 4.058.422). Este nos proporciona 507.200 estados de mar recogidos desde el año 1958 hasta el 10 de mayo de 2016 con una cadencia de una hora que nos han servido para realizar un análisis general del régimen medio del clima marítimo. Para realizar este análisis se han usado los datos de altura de ola significativa espectral (m), el período de pico espectral (s), dirección media de procedencia del oleaje (N=0°, E=90°), velocidad media del viento (m/s) y dirección media de procedencia del viento (N=0°, E=90°).

Usando el software Matlab, hemos juntado estos datos y relacionado entre sí, obteniendo un análisis histórico de los datos climáticos:

La altura de ola significativa espectral media en la zona de estudio es de 0,5487 m y el período de pico espectral medio es de 4,6529 s, esto nos indica el bajo contenido energético al que usualmente es sometida nuestra zona de estudio.

En cuanto a direcciones de procedencia podemos observar en la **figura 4** que para el oleaje predominan O-SO y E-SE, y para el viento es O y E, con una velocidad media de 3,5571 m/s. Además, si nos fijamos en los colores de la rosa de oleaje y siguiendo la leyenda para la altura de ola, nos damos cuenta que el oleaje con mayor altura de ola, y por tanto el más energético proviene de la dirección O-SO.

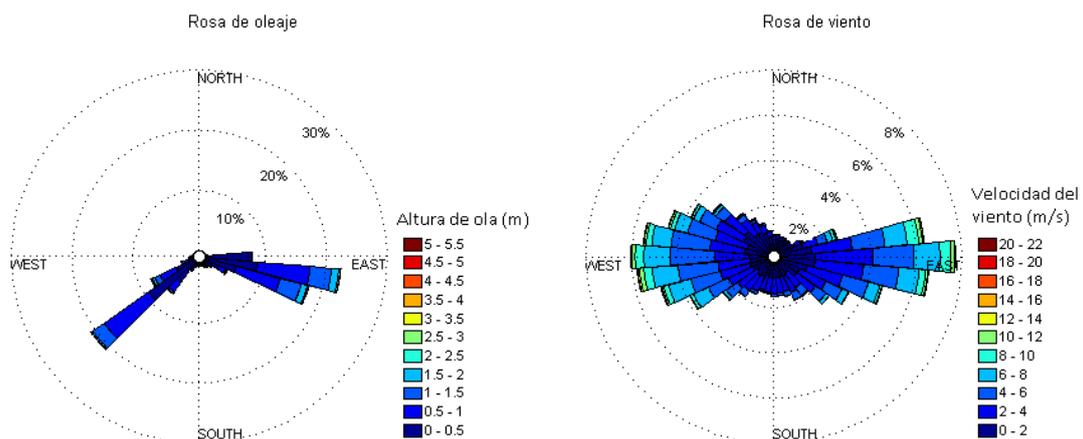


Figura 4. De izquierda a derecha, rosa de oleaje y rosa de viento.

La **figura 5** nos muestra un diagrama de dispersión en el cual observamos la relación entre la altura de ola y su período. Es fácilmente distinguible que para las mayores alturas de ola, el

período se aproxima a 9 segundos, mientras que para las alturas de ola menos frecuentes (menores de 1 m) el periodo está comprendido entre 2 y 12 segundos.

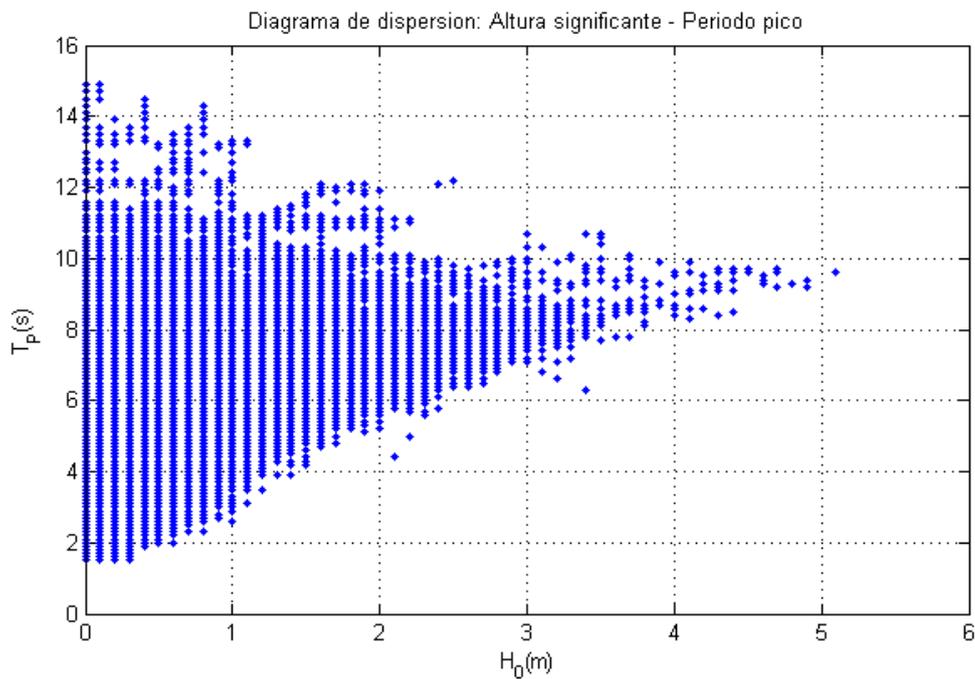


Figura 5. Diagrama de dispersión entre altura de ola significativa espectral y periodo pico espectral.

Si nos centramos en los máximos valores obtenidos, la mayor altura de ola registrada ha sido de 5,1 m el 19 de enero de 2013 a las 19:00 horas, con una dirección de oleaje de 236° (SO) y un periodo de pico espectral de 9,6 segundos. El mayor periodo de pico espectral es de 14,9 segundos y se alcanzó en varias fechas; el 5 de febrero de 1961 con una dirección de 92° (E), el 10 de abril de 1992 con direcciones de 226° y 246° (SO) y el 20 de enero de 2005 con una dirección de 100° (E), en todas estas fechas con una altura de ola de 0,1 m.

Por último, la mayor velocidad del viento ha sido de 20,6 m/s registrada el 19 de enero de 2013 a las 10:00, proveniente del SO (237°) y con una altura de ola de 3 m.

Como conclusión, y como base de conocimiento de nuestra zona de estudio para la continuidad del trabajo, podemos decir que la morfología de Playa Granada va a estar caracterizada por la bidireccionalidad del oleaje ya que el comportamiento es muy distinto para temporales que provienen de la dirección O-SO (los más energéticos), que para los que provienen de la dirección E-SE.

Una última cuestión es que los temporales del O-SO provocarán un transporte longitudinal de sedimentos de oeste a este acumulándolos en el puerto de Motril, sin embargo, los temporales del E-SE producirán el transporte en sentido contrario, favoreciendo la recuperación de costa en Playa Granada (*Cristóbal Rodríguez Delgado*).

3. METODOLOGÍA

3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE Y ELABORACIÓN DE UNA BASE DE DATOS

El primer paso que he tomado para plantear las posibles alternativas de diques y/o espigones que usaré en mi trabajo ha sido recabar información acerca de otras situaciones que me pudieran ayudar a acotar los parámetros y dimensiones de las alternativas que elegiré. Este paso es bastante importante dado que las posibles soluciones que se pueden plantear son incontables, y es necesario hacer un estudio previo para ver como se han solucionado los problemas de erosión litoral en diferentes tipologías de costas.

Para ello he recogido esta información en 2 tablas. La primera (**figura 6 y 7**) está compuesta por diferentes proyectos que se han realizado sin que se haya construido aún dicha solución. Es importante tener este aspecto en cuenta, puesto que a priori no se sabrá con certeza cuál será la respuesta por parte de la línea de costa.

La segunda (**figura 8**) se ha formado a partir de datos obtenidos principalmente a través de un trabajo realizado por la E. T. S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid. Estos datos corresponden a las medidas de diques exentos y su interacción con el medio. A diferencia de la anterior tabla, aquí ya están construidos, por lo que representan una fuente de datos más fiable (**figura 9**).

Tabla de proyectos de diques y/o espigones			
Localización	Espigón / Dique	Longitud (y separación entre ellos)	Distancia del dique a la costa
Norte de Saplaya (Valencia) (insuficientes)			
Única alternativa	2 Espigones actuales Construcción de espigón	200 m cada uno 130 m + 70 m con 36º inclinación (direcc. predom. Oleaje)	-
Lloret del Mar (Gerona)			
Alternativa 1	Espigón	140 m (zona central costa)	-
Alternativa 2	Espigón	140 m (zona sur costa)	-
Alternativa 3	Espigón	140 m (zona norte costa)	-
Alternativa 4.1	Dique exento	75 m	140 m
Alternativa 4.2	Dique sumergido	75 m	140 m
Alternativa 5.1	2 Diques exentos	75 m cada uno (separados 300 m entre ellos)	140 m
Alternativa 5.2	2 Diques sumergidos	75 m cada uno (separados 300 m entre ellos)	140 m
Alternativa 6.1	2 Diques exentos	50 m cada uno (separados 600 m entre ellos)	140 m
Alternativa 6.2 - opción elegida	2 Diques exentos	50 m cada uno (separados 600 m entre ellos)	140 m
Playas de la Almadra y Les Deveses de Denia (Alicante)			
Única alternativa	3 Espigones	230 m, 210 m y 200 m, (separados 500 m y 850 m entre ellos)	-
Playas de la Peligros-Magdalena-Bikinis, Santander (Cantabria)			
Alternativa 2-A - opción elegida	1 Espigón y 1 dique	195 m (magdalena) y 75 m (Peligros)	Sin información.
Alternativa 2-B	Alternativa A-2 + Espigón	Alternativa A-2 + 115 m	-
Cayo Libertad, Punta Hicacos, Varadero (Cuba)			
Única alternativa	Espigón	290 m	-
Melchor Ocampo, Daxaca (México)			
Alternativa 1 - opción elegida	Espigón	88,67 m	-
Alternativa 2	Espigón	138,08 m	-
Playa de la Costilla, Rota (Cádiz)			
Única alternativa	Espigón	220 m (150 m emergidos y 70 sumergidos)	-
Playa de El Prat de Llobregat (Barcelona)			
Alternativa 1	8 Espigones	De 80 m a 120 m (separados 200 m entre ellos)	-
Alternativa 2	3 Diques exentos	250 m (separados 450 m entre ellos)	500 m
Alternativa 3 - opción elegida	3 Diques sumergidos	250 m	500 m, 450 m y 450 m
Playa de La Pineda (Tarragona)			
Alternativa 1.1 - opción elegida	1 Dique exento	280 m (zona central)	250 m (tómbolo)
Alternativa 1.2	1 Dique sumergido	150 m (zona central)	250 m (saliente / nulo)
Alternativa 2.1	2 Diques exentos	280 m cada uno (separados 485 m entre ellos)	275 m y 250 m. Distantes entre ellos de 485 m. Hay conexión con la playa.
Alternativa 2.2	2 Diques sumergidos	150 m cada uno (separados 610 m entre ellos)	275 m y 250 m (saliente / nulo)
Playa de Serragrossa (Alicante)			
Única alternativa	2 Diques exentos y 1 Espigón	100 m (diques) y 100 m (espigón), (separados 150 m entre los diques)	150 m
Playa de Ferrara, Torrox (Málaga)			
Alternativa 1	Espigón	170 m (de levante)	
Alternativa 2 - opción elegida	Espigón	120 m (de levante)	
Alternativa 3	Alternativa 2 + Dique semisumergido	Alternativa 2 + 180 m (100 m emergidos y 80 m sumergidos)	Sin información.
Alternativa 4	Dique exento	150 m	Sin información.
Alternativa 5	Alternativa 2 + Alternativa 4	Alternativa 2 + Alternativa 4	-

Figura 6. Tabla de recopilación de información de proyectos de diques y/o espigones (parte 1).

Tabla de proyectos de diques y/o espigones				
Localización	Cota coronación sobre nivel del mar o francobordo (m)	Anchura a nivel de cota de coronación (m)	Calado dique exento y al final del espigón (m)	Talud
Norte de Saplaga (Valencia) (insuficientes)				
Única alternativa	1,5	6 m en el tronco 7 m en el morro	3	Sin información.
Lloret del Mar (Gerona)				
Alternativa 1	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 2	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 3	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 4.1	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 4.2	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 5.1	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 5.2	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 6.1	-2	7,5	7	2H: 1V
Alternativa 6.2 - opción elegida	-2	7,5	7	2H: 1V
Playas de la Almadra y Les Deveses de Denia (Alicante)				
Única alternativa	Sin información.	Sin información.	Sin información.	Sin información.
Playas de la Peligros-Magdalena-Bikinis, Santander (Cantabria)				
Alternativa 2-A - opción elegida	Sin información.	Sin información.	Sin información.	2H: 1V
Alternativa 2-B	Sin información.	Sin información.	Sin información.	2H: 1V
Cayo Libertad, Punta Hicacos, Varadero (Cuba)				
Única alternativa	1,2	8	Sin información.	1H: 1,5V
Melchor Ocampo, Oaxaca (México)				
Alternativa 1 - opción elegida	Sin información.	Sin información.	6	2H: 1V
Alternativa 2	Sin información.	Sin información.	8	2H: 1V
Playa de la Costilla, Rota (Cádiz)				
Única alternativa	-1	Sin información.	Sin información.	Sin información.
Playa de El Prat de Llobregat (Barcelona)				
Alternativa 1	-2	Sin información.	2	Sin información.
Alternativa 2	-2	Sin información.	6	Sin información.
Alternativa 3 - opción elegida	-2	4	6	1,7H:1V
Playa de la Pineda (Tarragona)				
Alternativa 1.1 - opción elegida	2,7	5	6	2H:1V exterior 1H:1,5V interior
Alternativa 1.2	-1	5	6	2H:1V para todo
Alternativa 2.1	2,7	5	5,5 y 7	2H:1V exterior 1H:1,5V interior
Alternativa 2.2	-1	5	5,5 y 7	2H:1V para todo
Playa de Serragrossa (Alicante)				
Única alternativa	0 (eventos sumergidos) 1,5 m (dique control)	Sin información.	6 (eventos sumergidos) 3 (dique control)	Sin información.
Playa de Ferrara, Torrox (Málaga)				
Alternativa 1	Sin información.	8	4	Sin información.
Alternativa 2 - opción elegida	1,5	8	3	Sin información.
Alternativa 3	Sin información.	Sin información.	Sin información.	Sin información.
Alternativa 4	Sin información.	Sin información.	Sin información.	Sin información.
Alternativa 5	Sin información.	Sin información.	Sin información.	Sin información.

Figura 7. Tabla de recopilación de información de proyectos de diques y/o espigones (parte 2).

Tabla de diques construidos								
Código (mapa)	Situación del dique exento	Long. del dique (m)	Dist. del dique a la costa (m)	Cota de coronación (francobordo) (m)	Anchura de coronación (m)	Profundidad del dique exento (m)	Longitud del saliente formado al resguardo del dique exento	Tipo de respuesta inducida en la costa
T1	Playa Tamarit, Tarragona	100	180	0,5	5	4	82	Saliente
T2	Playa Cap de Sant Pere, Cambrils, Tarragona	120	195	2	12	4,5	34	Saliente
C1	Playa Terrers, Benicàssim, Castellón	205	149	0,7	10	3	132	Saliente
C2	Playa El Serradal, Burriana, Castellón	82	50	0,5	9	3	50	Tómbolo
C3	Playa Chilches, Chilches, Castellón 1	138	138	0,5	8	2	138	Tómbolo
C4	Playa Chilches, Chilches, Castellón 2	150	177	0,5	7	2	177	Tómbolo
A1	Playa Les Basetes, Denia, Alicante	183	290	-0,5	12	2,5	24	Limitada / Nula
A2	Playa La Roda, Altea, Alicante	190	180	0,2	12	5	59	Saliente
A3	Playa Postiguet, Alicante	155	78	1	7	3	78	Tómbolo
MU1	Playa Poniente, Águilas, Murcia	200	120	1	12	4	105	Saliente
AL1	Playa Las Conchas, Almería	190	120	0,5	8	4,5	92	Saliente
AL2	Playa Aguadulce, Roquetas de Mar, Almería	100	88	0,5	6	3	63	Saliente
AL3	Playa San Nicolás, Adra, Almería	102	72	0,5	6	3,5	72	Tómbolo
G1	Playa Puerta del Mar, Almuñécar, Granada	150	130	0	8	6,5	108	Saliente
MA1	Playa Cala del Moral, Rincón de la Victoria, Málaga	175	200	0,5	10	5	80	Saliente
MA2	Playa Malagueta, Málaga	205	180	0,25	6	5	30	Saliente
MA3	Playa La Rada, Estepona, Málaga	160	170	0	12	3,5	14	Limitada / Nula
CA1	Playa Levante, La Línea, Cádiz	165	145	1,8	15	3,7	30	Saliente
ME1	Playa Cárabos, Melilla	200	186	-0,5	10	3,5	13	Limitada / Nula

Figura 8. Tabla de recopilación de información de diques y/o espigones actualmente construidos.



Figura 9. Localización de los diques estudiados en la figura 8.

En la primera tabla (**figura 6 y 7**) podemos observar los diferentes ejemplos que se han recopilado pertenecientes a diversas zonas del litoral ibérico y algunas situaciones más del resto del mundo (Cuba y México). Entre las diversas alternativas que se recogen, hay tanto espigones como diques exentos (emergidos y sumergidos), las longitudes oscilan entre 75 m y 290 m (Varadero, Cuba) y la distancia a la costa de los diques exentos abarca entre 140 m y 275 m, habiendo un caso extremo en la playa de El Prat de Llobregat, Barcelona con una medida de 450 m y 500 m. La cota de coronación, es decir, la distancia del francobordo, varía entre -2 m (sumergidos) y +1,5 m (emergidos). El calado, entendiéndolo como la distancia que hay entre el nivel del mar y la base de la estructura, de las diversas alternativas va desde 3 m hasta 8 m. Decir que en los espigones, puesto que parten desde la línea de costa, se han medido en su parte final. La anchura a nivel de cota de coronación oscila entre 5 m y 12 m y el talud que más se repite en los diferentes casos es el 2H:1V.

La segunda tabla (**figura 8**), como ya se ha comentado antes, pertenece a diques exentos construidos en el litoral mediterráneo. Como observación general la distancia a la costa está comprendida entre 50 m y 290 m, la longitud de los diques oscila entre 82 m y 205 m. La cota de coronación comprende valores de -0,5 m a +2 m, siendo la anchura a este nivel entre 5 m y 15 m y la profundidad a la que llegan estas estructuras va desde 2 m hasta 6,5 m.

Por último, y a diferencia de la primera tabla (excepto en la playa de La Pineda donde sí se ha calculado, al ser estos datos ejemplos de casos ya construidos, podemos estudiar las diferentes respuestas de la línea de costa frente a estas estructuras. Dichas respuestas se pueden clasificar en tres grandes grupos: limitada o nula, saliente o hemitómbolo (cuando se produce un avance de la playa hacia el dique, **figura 10**) y tómbolo (cuando dicho avance llega a conectar con el dique, **figura 10**). Las longitudes de estos salientes oscilan entre 13 m y 177 m para el mayor caso (Playa Chilches, Castellón). Calcular cuál será la forma de la costa una vez que se construyan los diques y espigones no es tarea fácil, puesto que intervienen muchos parámetros que hay que tener en cuenta, sin embargo, más adelante se calculará la distancia de los salientes formados al resguardo de los diques exentos de las alternativas elegidas.



Figura 10. A la izquierda, series de diques exentos formando salientes o hemitómbolos en Elmer (Reino Unido) y a la derecha, tómbolo en Playa Pedregalejo (Málaga).

3.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

A la hora de proponer las diversas alternativas que estudiaré, me he basado en las pautas dadas por el libro “Directrices para el diseño de diques exentos en las costas españolas” (alternativa A, B y C), una fórmula proporcionada por Dally y Pope, 1986 que relaciona la distancia entre diques y la longitud de onda en dicho punto (alternativa F) , y en mi propia intuición (alternativas D, E, G y H), abarcando las diversas opciones en planta posibles tras evaluar la información recopilada anteriormente para una vez obtenidos los resultados proporcionados más adelante por el software Delft3D, elegir la solución más óptima (**figura 11**).

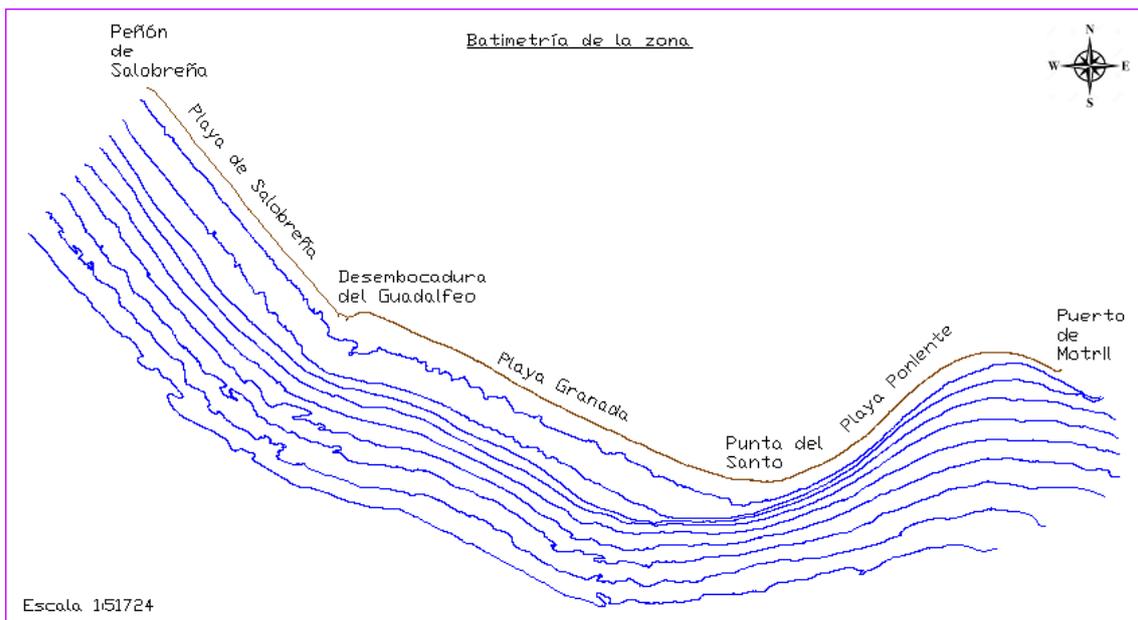


Figura 11. Planta de la zona de estudio con sus curvas batimétricas.

Lo primero de todo ha sido estimar un valor óptimo de superficie en planta para las distintas configuraciones de diques que vamos a realizar, ya que se han encontrado datos y valores para diques aislados, no tanto así como para grupos de diques exentos. De este modo nos cercioraremos de la forma más objetiva posible de que nuestra elección de alternativa final no presenta ventajas respecto a las otras. Así, hemos supuesto la cantidad de 8250 m² de superficie aproximada que, para nuestro tramo de costa de 2953 m de longitud, supone 2,8 m² de dique / m lineal de costa en total. Esto supone una buena proporción si lo comparamos con el caso de la Playa de Pedregalejo Málaga, que con 12760 m² de superficie en planta de diques exentos y 2290 m de playa supone un ratio de 5,6 m²/m. Además, de este modo nos quedamos del lado más económico, pudiendo aumentar dicha superficie una vez escogida la solución más óptima en el caso de que no consiguiésemos una buena reducción de la energía del oleaje incidente.

Antes de definir las alternativas, procederemos a describir dos expresiones descritas en el libro antes mencionado y que usaremos en concreto para las opciones A, B y C, detallando los parámetros utilizados (**figura 12**).

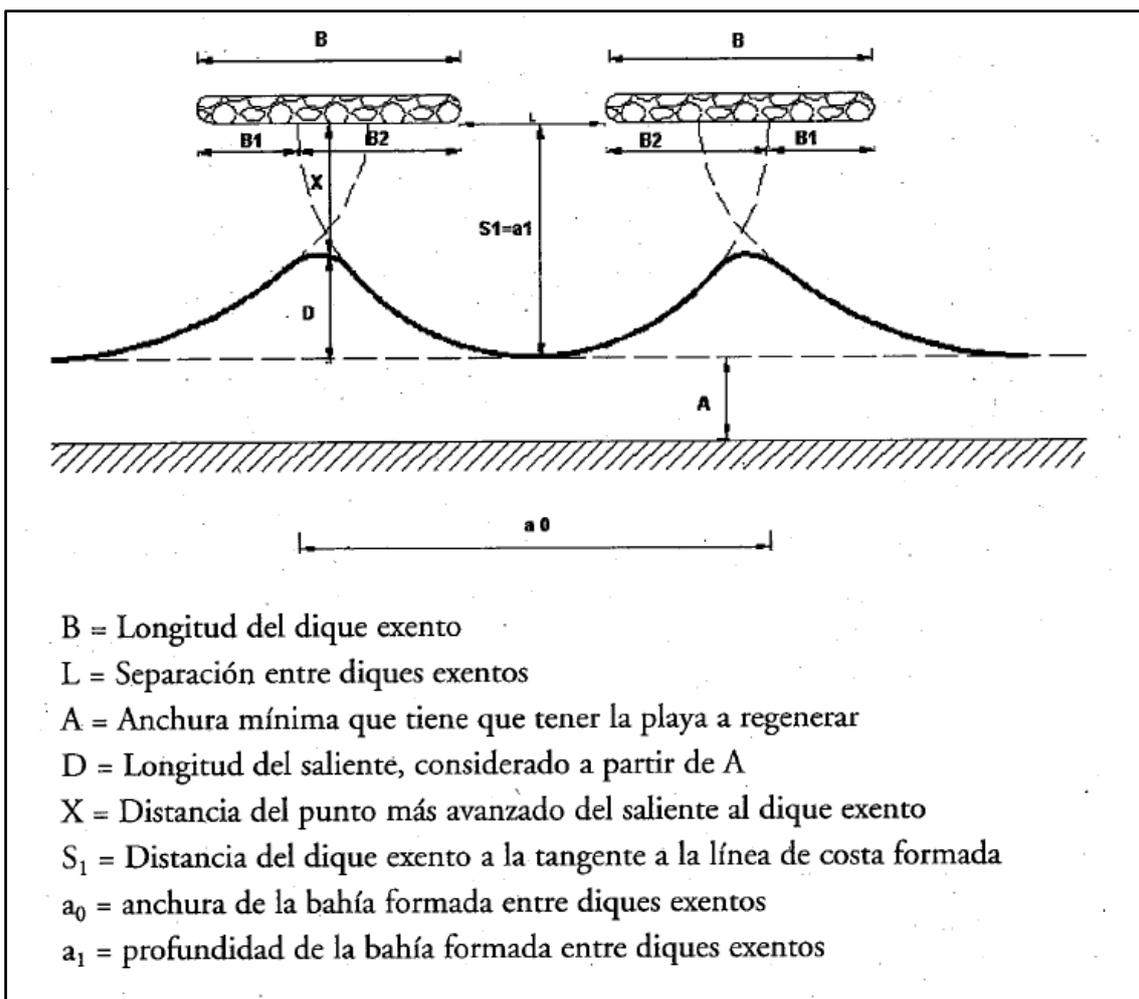


Figura 12. Parámetros utilizados en el diseño de un grupo de diques exentos.

A partir de esta imagen (**figura 12**), podemos deducir que $a_0 = B_2 + L$, que añadiendo la igualdad de $a_0 = 2a_1 = 2S_1$ establecida como criterio según Berenguer y Enriquez (1987) obtenemos $2S_1 = B_2 + L$, además utilizando la concepción de González y Medina y considerando según la **figura 12**, $B_2 = (2/3)B$, resulta finalmente $2S_1 = (4/3)B_2 + L$, que despejando concluimos con $L = 2S_1 - (4/3)B_2$ (**expresión 1**).

Por otro lado, y según la (**figura 13**), la zona de protección F, se puede establecer como, según las leyes trigonométricas, $F = B/2 + S_1/\text{tg}(40^\circ)$.

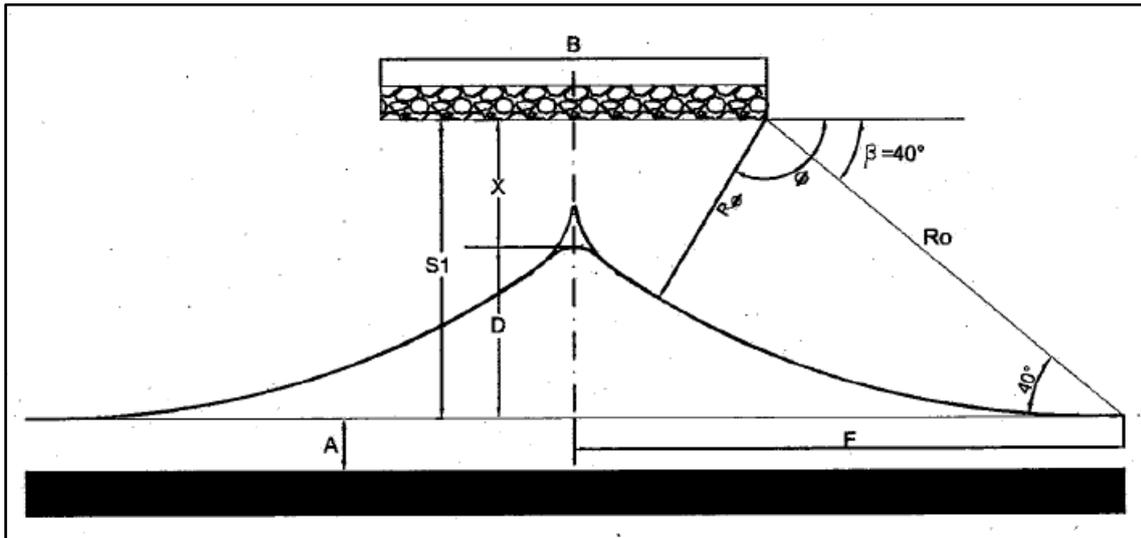


Figura 13. Parámetros utilizados en el diseño de un dique exento.

Además, es obvia la igualdad de $L = F - B$, por lo que, igualando estas dos últimas expresiones obtenemos que $L = B/2 + S_1/\text{tg}(40^\circ) - B$ (**expresión 2**). Decir que esta expresión separa los diques a una distancia tal que las distintas parábolas de la protección F se encuentran a la altura A, es decir, no se solapan, por lo que esta expresión a priori, reducirá menos la energía incidente.

Una vez obtenidas estas dos expresiones, procedemos a calcular las alternativas A, B y C.

Alternativa A:

Está compuesta por 5 diques exentos paralelos a la costa de dimensiones 170x8 m en planta y un espigón en la Punta del Santo de 180 metros de longitud por 8 metros de espesor, teniendo un total de 8240 m². Decir que los diques exentos distan 250 m de la costa y para calcular la separación óptima entre ellos, hemos recurrido a las dos expresiones antes deducidas, resultando $L = 273$ m para la (**expresión 1**) y $L = 596$ m (**expresión 2**), quedándonos con el primer resultado, es decir, $L = 273$ m. El último cálculo para fijar esta alternativa era considerar las

distancias desde la desembocadura del río Guadalfeo y desde la Punta del Santo a nuestro grupo de diques. Para ellos hemos restado la longitud de los 5 diques (5·170 m) y de sus distancias entre ellos (4·273 m) a la distancia total del tramo litoral en cuestión (2953 m), obteniendo así 1011 m repartiéndose 250 m desde la desembocadura y 761 m desde el cabo (indicar que alguna de estas medidas pueden estar algo modificadas en los planos debido a fallos de precisión, puesto que he tomado como sistema de referencia para estos cálculos la línea de costa de Playa Granada) (**figura 14**).

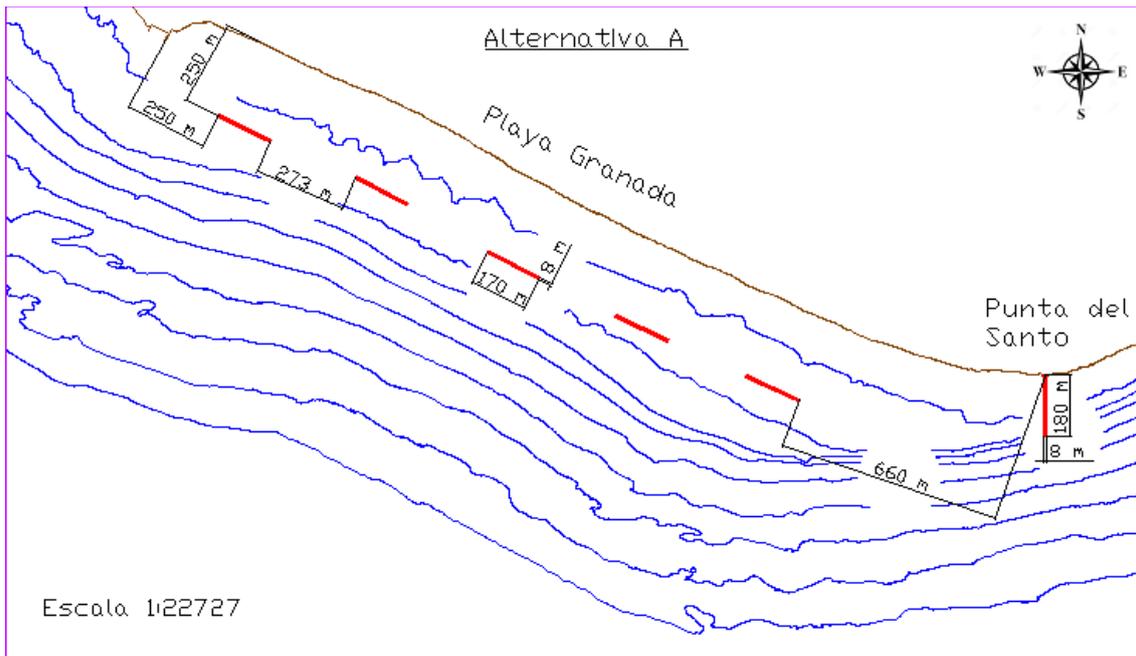


Figura 14. Planta de la alternativa A.

Alternativa B:

En la alternativa B, hemos querido probar una disposición diferente y por ello hemos colocado sólo 2 diques exentos a 400 m de la costa de dimensiones en planta 300x11,8 m y un espigón también en la Punta del Santo de 100x11,8 m, con un área total para esta alternativa de 8260 m². De la misma manera que en la alternativa A hemos calculado la longitud óptima entre estos dos diques exentos mediante las (**expresiones 1 y 2**), resultando unas longitudes $L = 400$ m para (**expresión 1**) y $L = 953$ m (**expresión 2**). Como se puede observar, la expresión 2 nos arroja un valor de L mucho más alto que la expresión 1 como ya hemos comentado, aun así, esta vez elegiremos este resultado para ver cómo se comporta el modelo una vez procesado por el programa Delft3D, por lo que para esta alternativa L valdrá 953 m. De igual forma a la alternativa A, hemos repartido las distancias sobrantes en 800 m desde la desembocadura y 600 m desde el cabo.

Decir que en esta alternativa, además de la nueva disposición expuesta, hemos querido comprobar el cambio que se producirá al aumentar el espesor de las estructuras (**figura 15**).

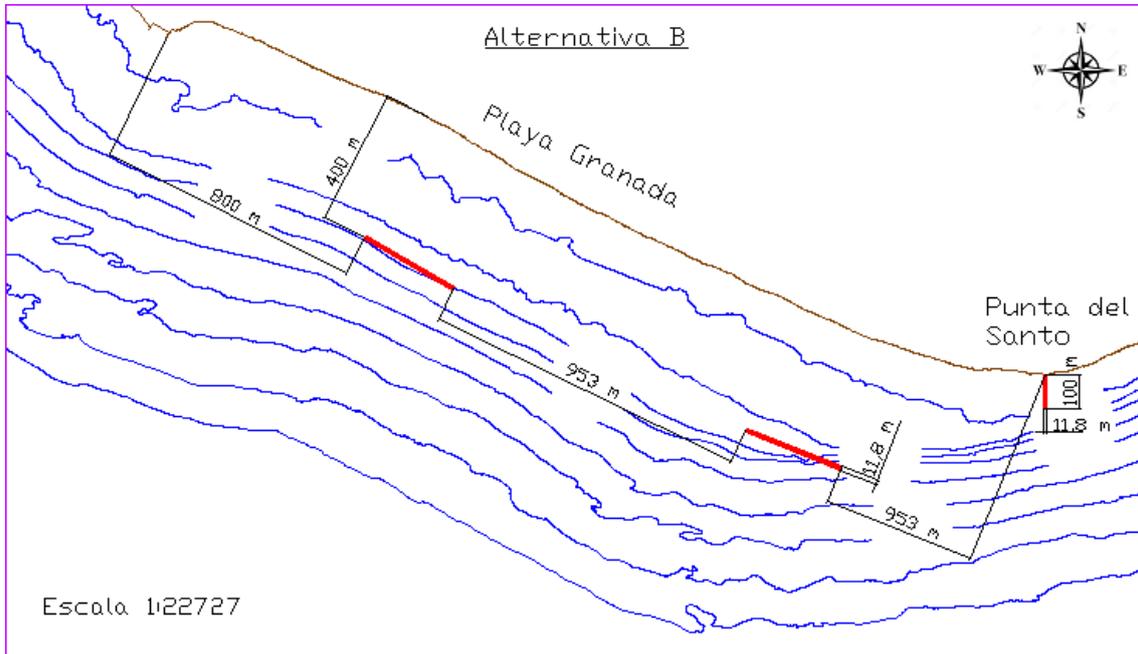


Figura 15. Planta de la alternativa B.

Alternativa C:

Muy parecida a la alternativa B, aquí hemos colocado también 2 diques exentos paralelos a la costa, pero en este caso están situados a 750 m de ella, de dimensiones 250x16 m y sin ningún espigón. Obtenemos por tanto una superficie total de 8000 m^2 y unas separaciones de $L = 1167 \text{ m}$ (**expresión 1**) y $L = 1788 \text{ m}$ (**expresión 2**). En este caso en vez de decidimos por alguno de estos dos valores, la longitud adoptada ha sido la media de ellos ($1477,5 \text{ m}$) que redondeando nos queda $L = 1500 \text{ m}$. De igual forma que antes, la distancia desde la desembocadura es de 453 m y desde la punta 500 m (**figura 16**).

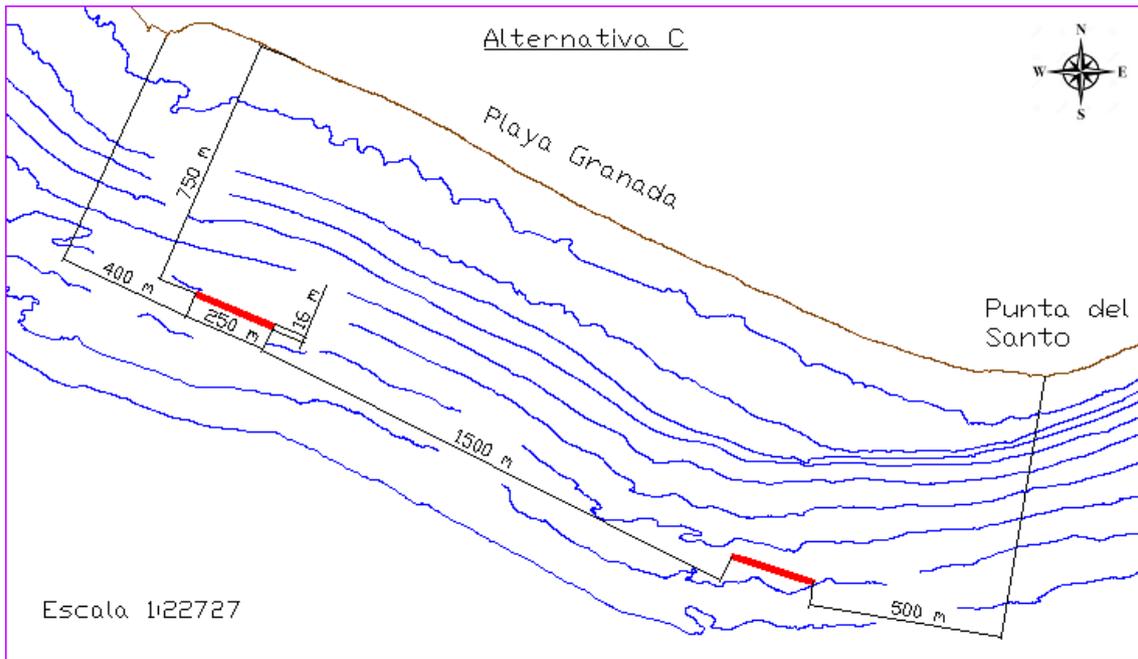


Figura 16. Planta de la alternativa C.

Alternativa D:

Elegida sin ningún criterio, está compuesta por un solo dique exento de 300x12,7 m alejado de la costa 300 m y un espigón en la punta de 350x12,7 m. Esto supone un total de 8255 m² y las separaciones en ambos extremos del dique son de 1500 m desde la desembocadura y 1153 desde el cabo (**figura 17**).

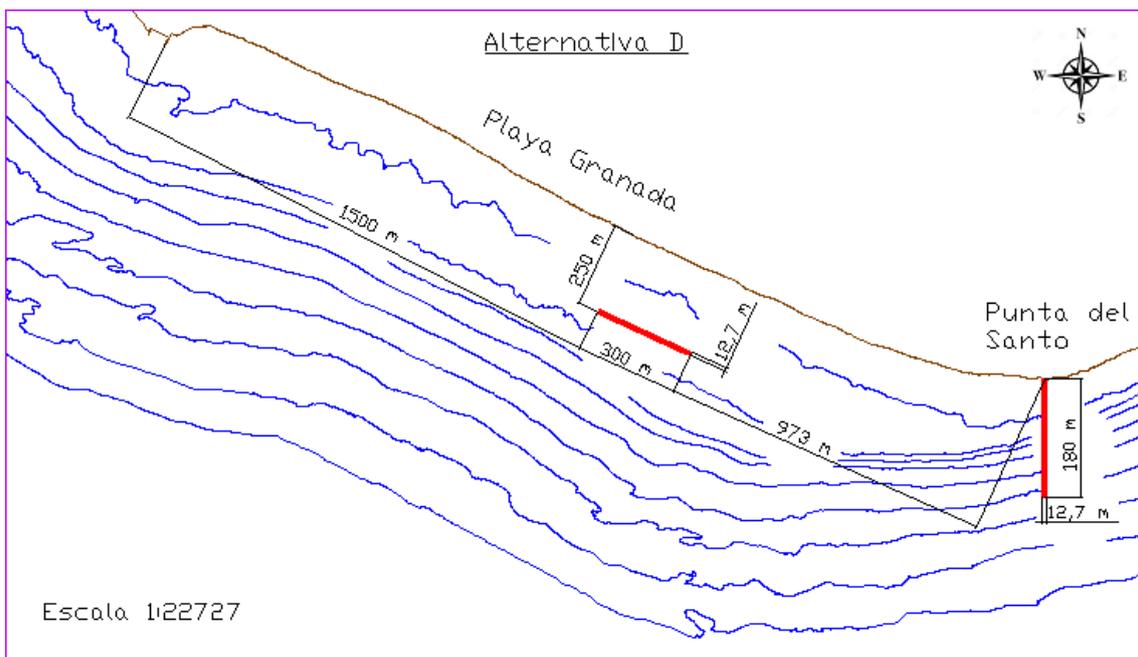


Figura 17. Planta de la alternativa D.

Alternativa E:

Igualmente sin ningún criterio, se ha reducido la superficie total a 4500 m² para ver si este aspecto le hacía decrecer en un ratio de la mitad, la reducción de la energía recibida por el oleaje respecto a las demás alternativas de aproximadamente el doble de superficie total en planta, además de comprobar la efectividad de reducir el ratio longitud del dique / distancia a la costa.

Está compuesto por 3 dique exentos de dimensiones 250x6 m que distan 602 m desde la desembocadura y 602 m desde la punta. Además, la longitud entre estos diques y la costa es 150 m, de esta forma comprobamos como responde el sistema ante esta distancia menor que las anteriores alternativas (**figura 18**).

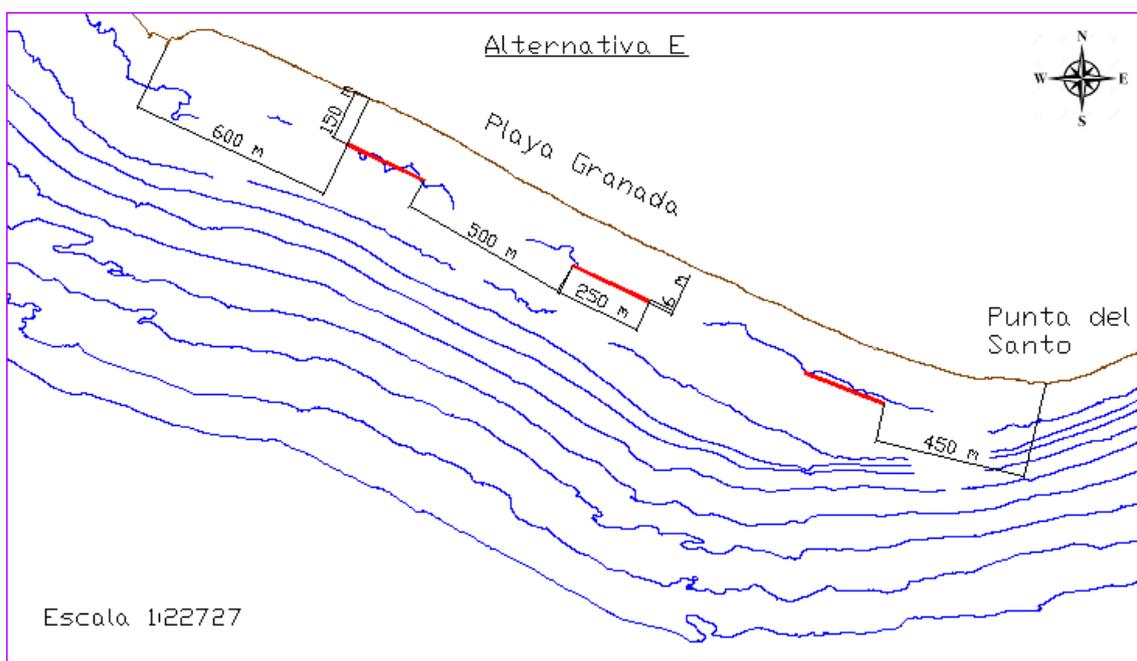


Figura 18. Planta de la alternativa E.

Alternativa F:

Esta alternativa ha sido diseñada de forma distinta a las anteriores, puesto que nos hemos basado en la fórmula indicada por Dally y Pope, 1986 y que expresa que $G/L = 2$, siendo G la distancia entre diques (antigua L) y L longitud de onda en el dique. Utilizando un $L = 77,19$ m según un caso similar, obtenemos que G debería valer 154,38 m, que redondearemos a 150 m.

Dado que esto supone una separación muy pequeña entre diques, deberemos de incluir en esta solución una gran cantidad de ellos, planteando 9 dique exentos de 180x5,1 m separados 260 m de la costa y distante el primero 33 m de la desembocadura del río Guadalfeo y 100 m de la

punta del Santo. Esto supondría un área total de 8262 m² y supondrá la solución con mayor número de estructuras (**figura 19**).

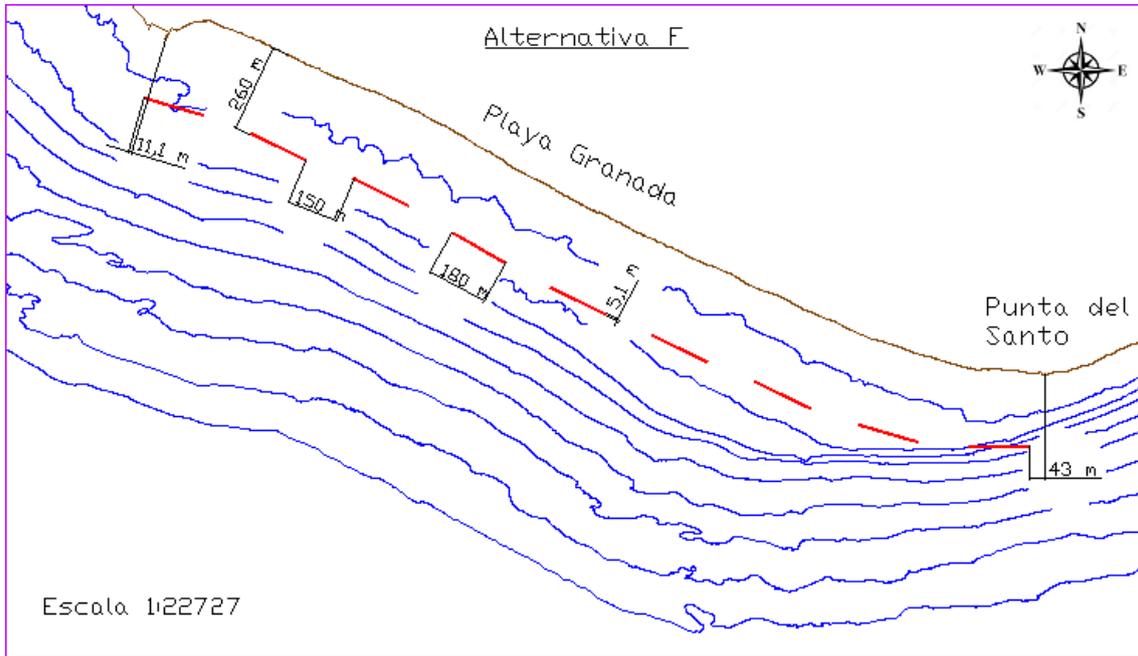


Figura 19. Planta de la alternativa F.

Alternativa G:

En esta alternativa se ha querido plantear una disposición totalmente diferente a las anteriores, por lo que se ha diseñado un campo de espigones, en concreto, 6 espigones de 150x9,2 m y separados entre ellos 450 m. Dicha separación se ha establecido según la pauta ideal de 2 a 3 veces la longitud de los espigones. Además está el primero de ellos separado 450 m de la desembocadura y el último 253 m de la Punta del Santo, constituyendo todos ellos una superficie total de 8280 m² (**figura 20**).

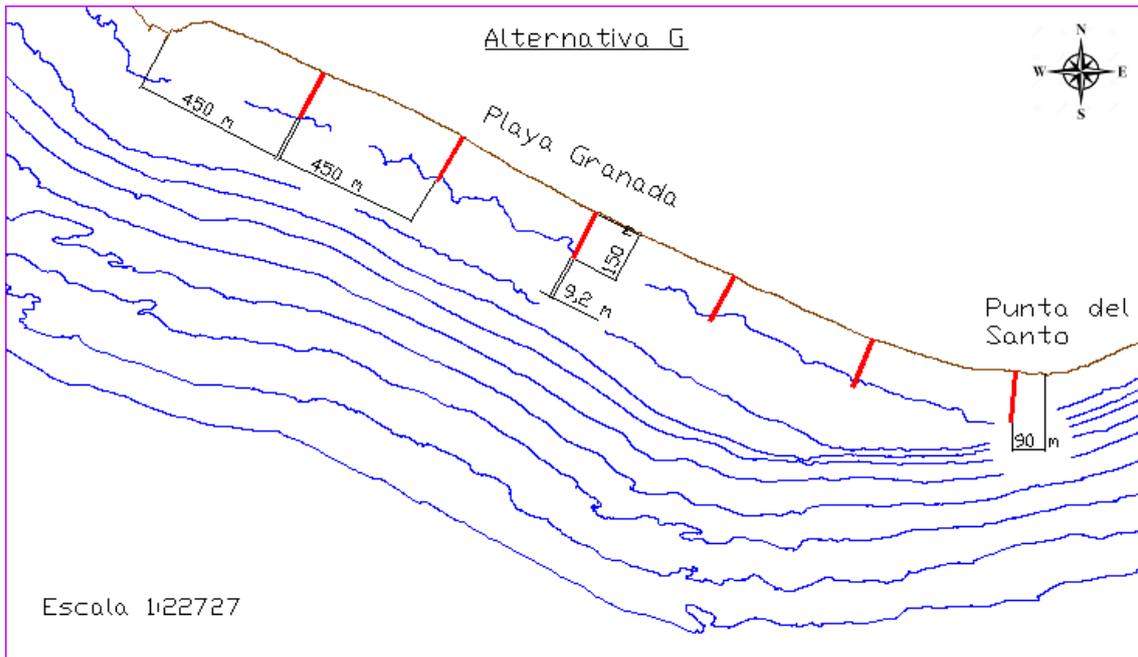


Figura 20. Planta de la alternativa G.

Alternativa G2:

Una segunda versión de la anterior alternativa, pero con un espigón menos, esto supone 5 espigones de mayor longitud y menor espesor, es decir, unas dimensiones de 300x5,5 m con un área en total de 8250 m². Separados 700 m entre ellos y a 153 m de la desembocadura del Guadalfeo, coincidiendo esta vez el último espigón con la Punta del Santo. No se ha querido colocar ningún espigón cerca de la propia desembocadura debido a que al ser una zona de descarga pluvial, impediría la renovación y circulación del agua en ese punto, además de evitar que los pocos sedimentos que trae este río, pudieran añadirse a la costa que pretendemos proteger (**figura 21**).

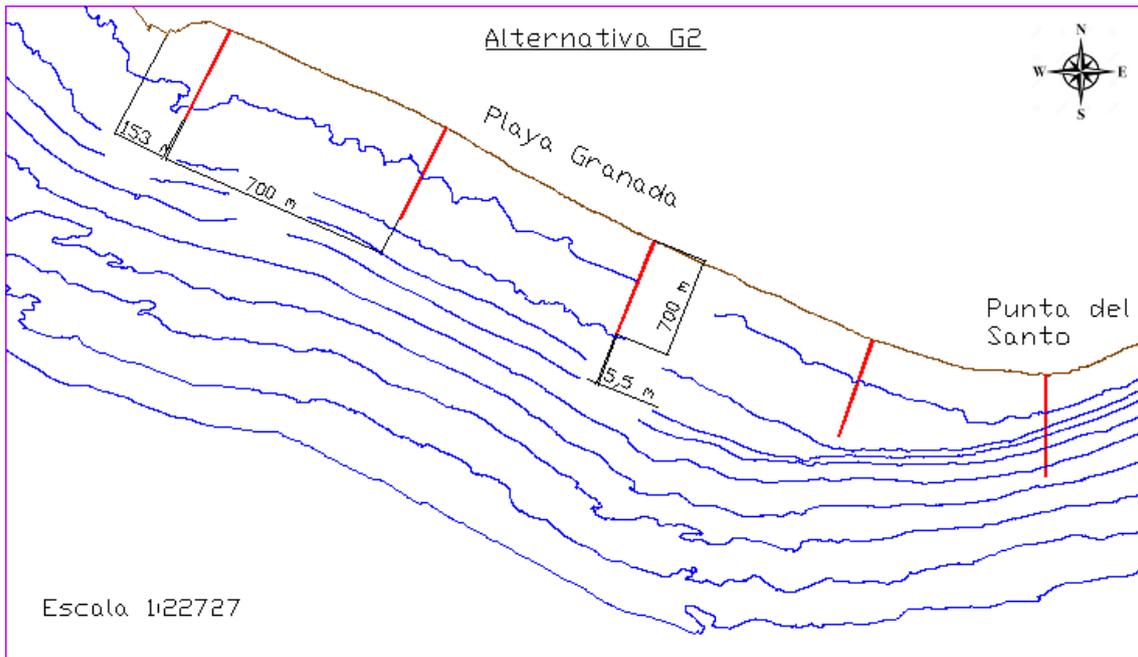


Figura 21. Planta de la alternativa G2.

Alternativa H:

Solución que se basa en la alternativa F y que consiste en 5 diques exentos de 250x6,6 m y separados entre ellos 500 m entre los 3 primeros (desde la desembocadura) y 400 m entre los 3 últimos. Además distan 730 m de la costa, empiezan a partir de la desembocadura del Guadalfeo y sobrepasan la punta del Santo 97 m. Decir que suponen un área en su conjunto de 8250 m² (figura 22).

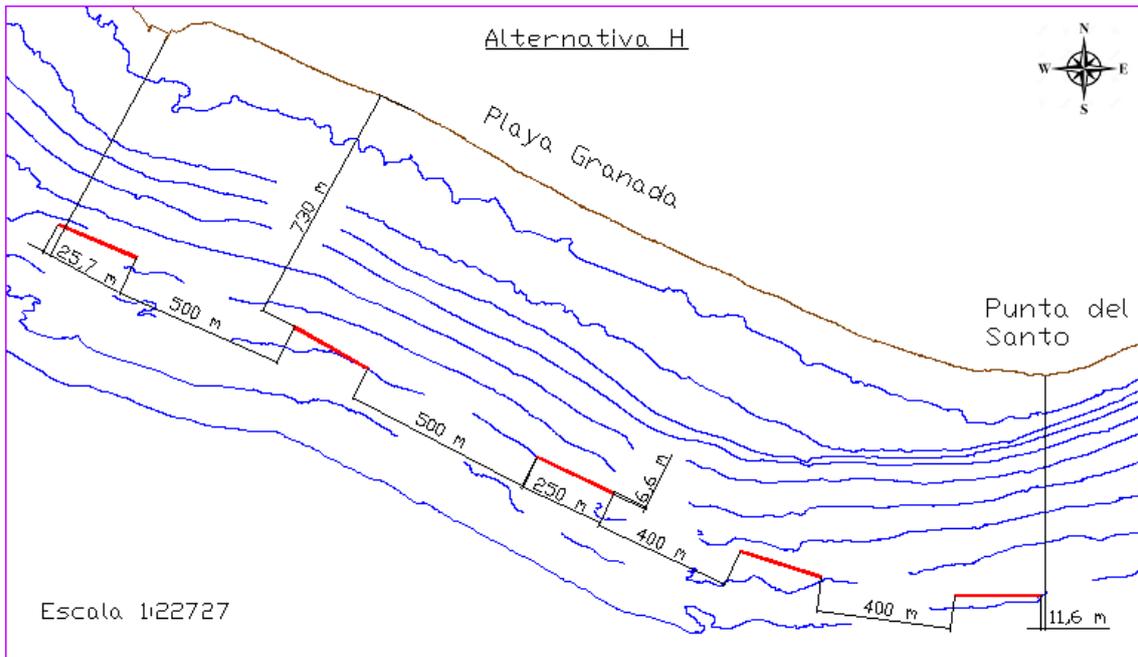


Figura 22. Planta de la alternativa H.

Alternativa H2:

Como última alternativa, se ha diseñado una variante de la alternativa H, dándole un mayor espesor (16 m), incrementando la superficie del sistema en un total de 20000 m². Aunque sobrepasa el doble del área de las demás alternativas, he dispuesto esta solución para ver como cambiarán los resultados que obtendremos más adelante alterando tanto este factor (**figura 23**).

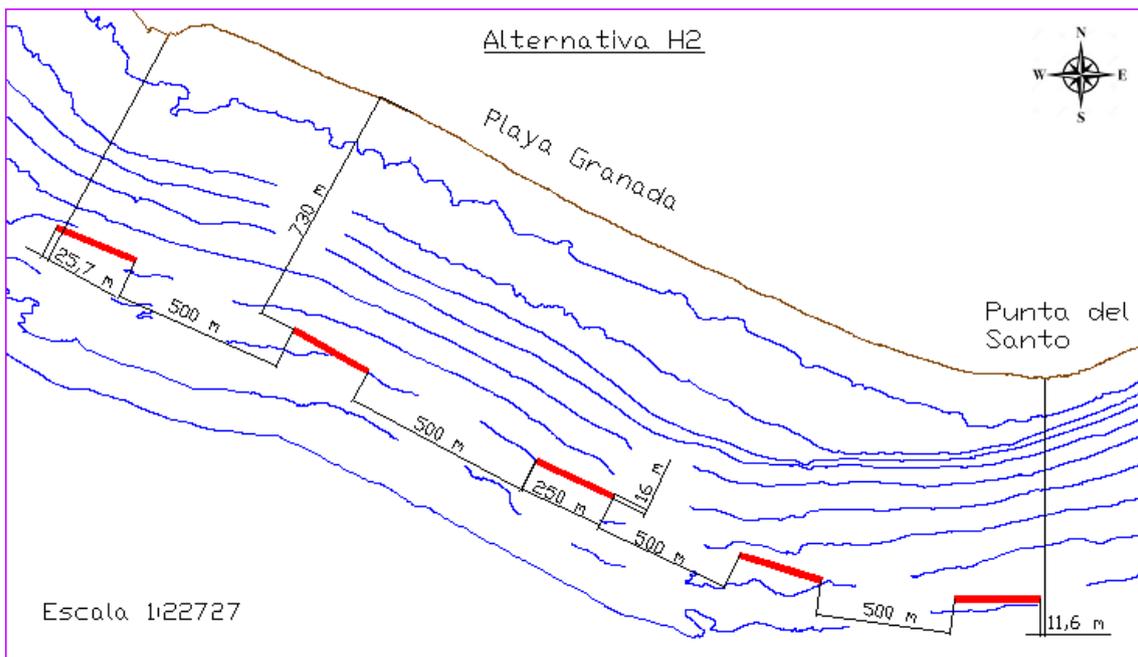


Figura 23. Planta de la alternativa H2.

Variantes de las alternativas F y H:

Dado que más adelante nos harán falta, pasamos a describir las variantes de las alternativas F y H que usaremos en nuestro trabajo: Alternativas F2 (150 m de distancia a la costa) (**figura 24**), F3 (200 m) (**figura 25**), F4 (300 m) (**figura 26**) y F5 (350 m) (**figura 27**) para la solución F y H3 (550 m) (**figura 28**), H4 (350 m) (**figura 29**), H5 (150 m) (**figura 30**), H6 (200 m) (**figura 31**), H7 (260 m) (**figura 32**) y H8 (300 m) (**figura 33**). En cuanto a espesores, número de elementos y separación entre diques, las alternativas de F se mantienen igual: 9 elementos de 5,1 m de espesor con 180 m de longitud separados entre sí 150 m. Sin embargo, las de H disminuyen el espesor a 5,5 m permitiendo introducir un elemento más a diferencia de H (en total 6) con unas longitudes de 250 m y una separación entre los mismos de 300 m.

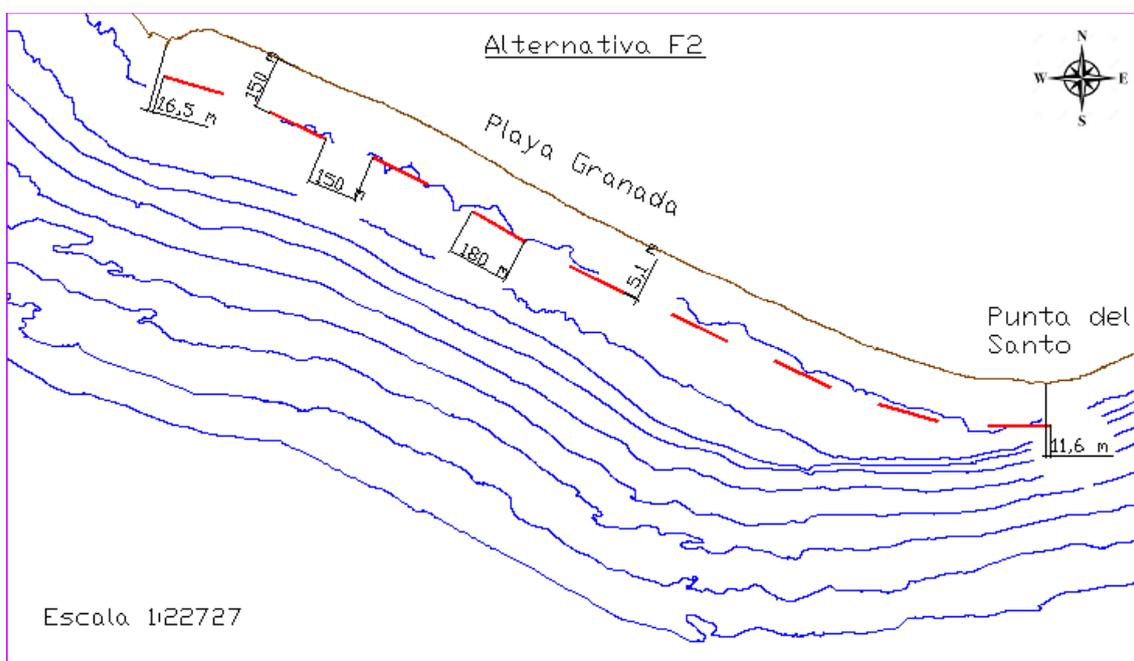


Figura 24. Planta de la alternativa F2.

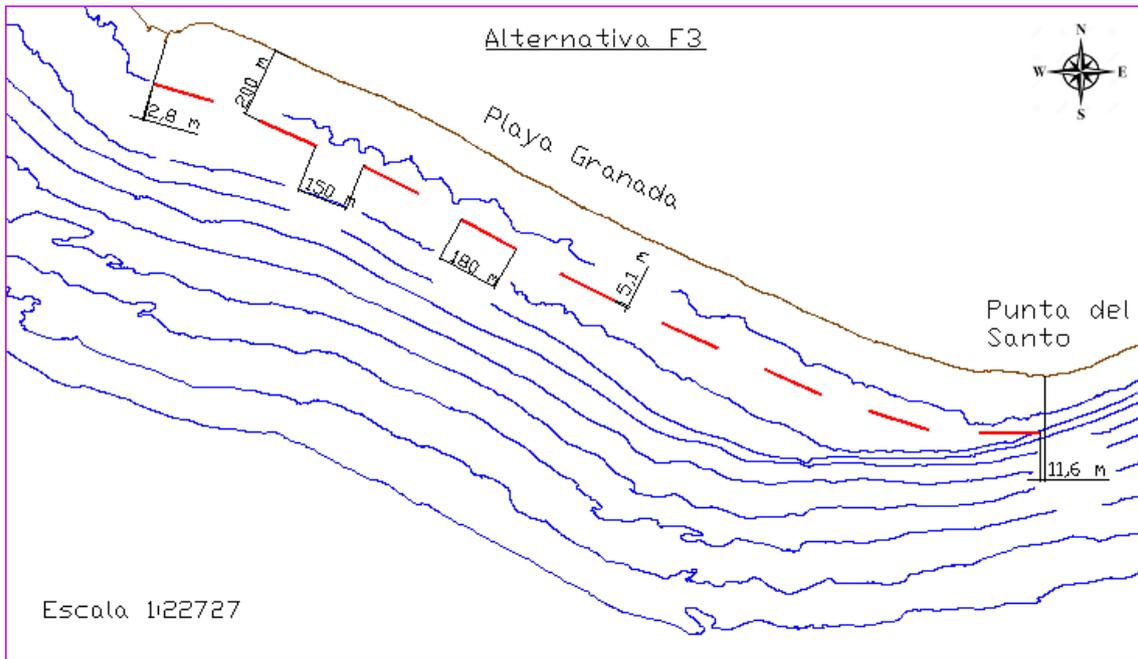


Figura 25. Planta de la alternativa F3.

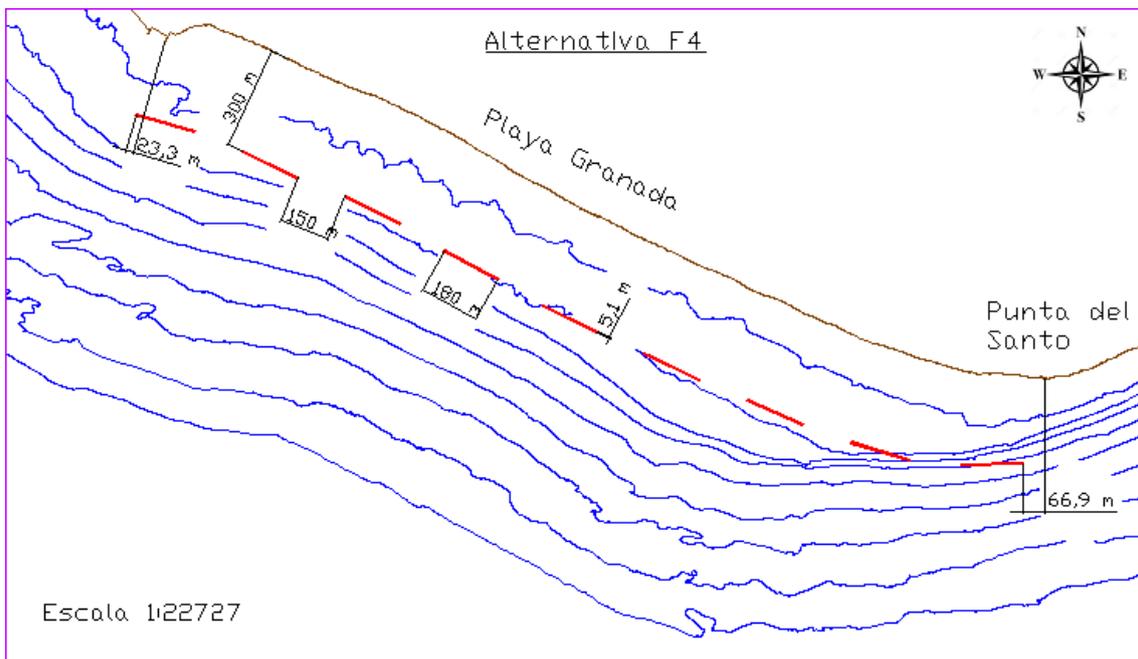


Figura 26. Planta de la alternativa F4.

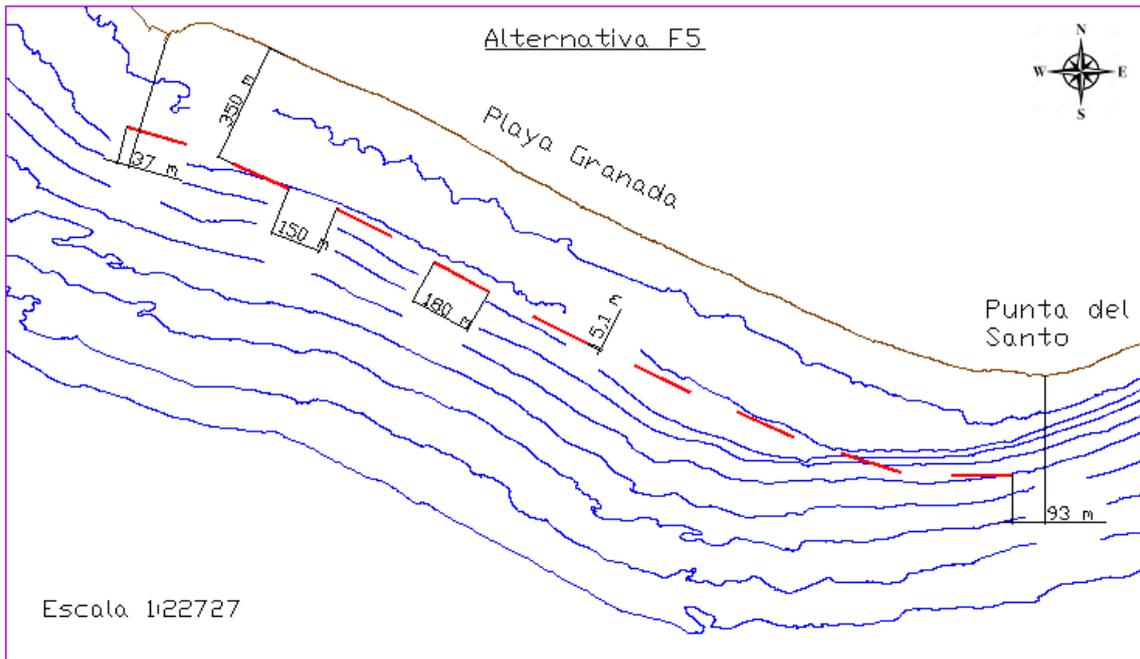


Figura 27. Planta de la alternativa F5.

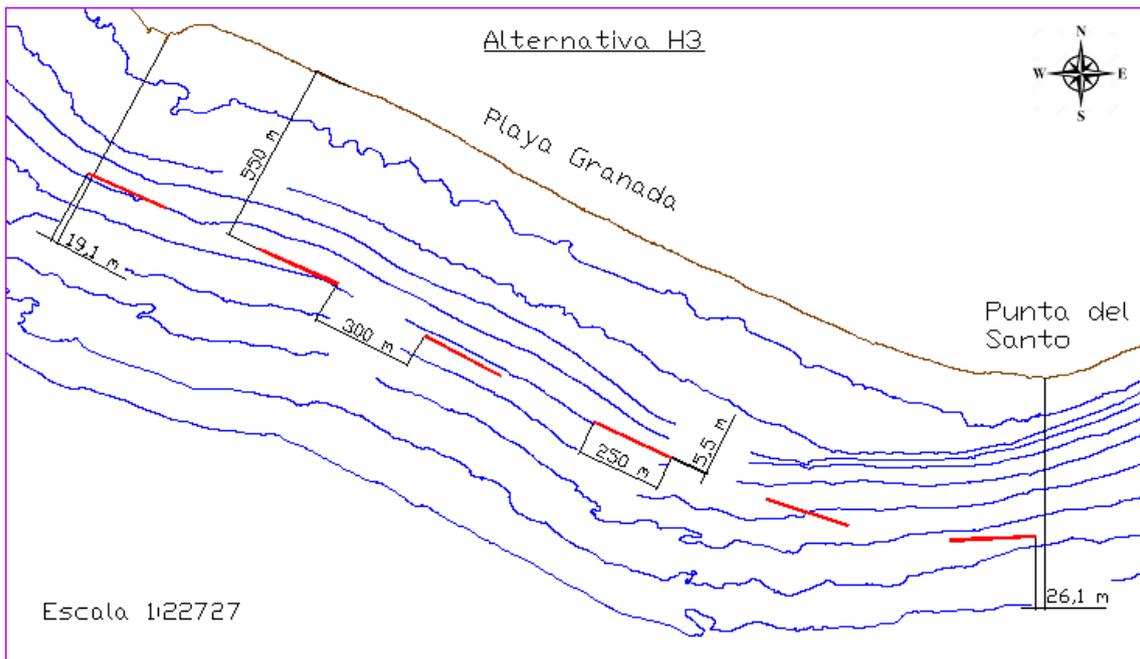


Figura 28. Planta de la alternativa H3.

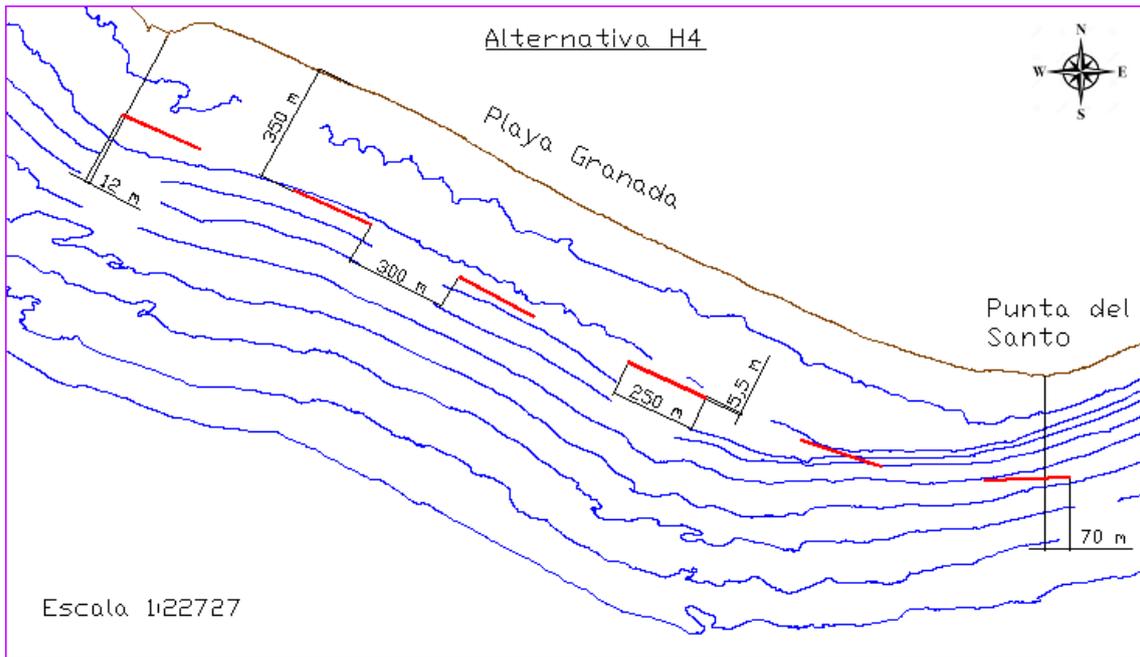


Figura 29. Planta de la alternativa H4.

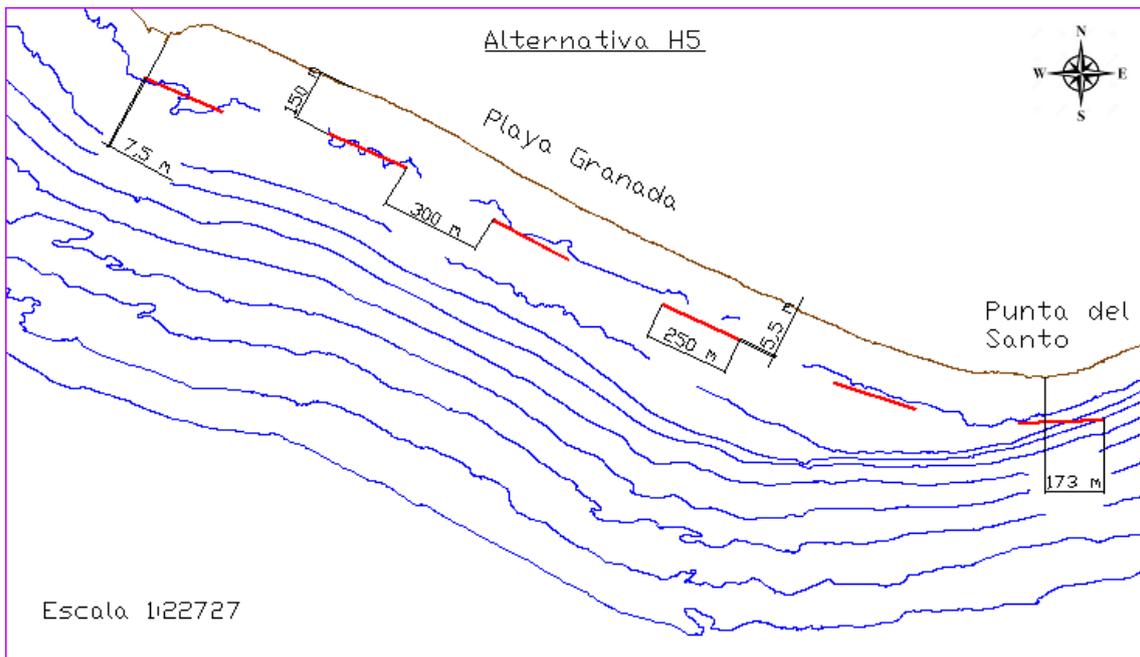


Figura 30. Planta de la alternativa H5.

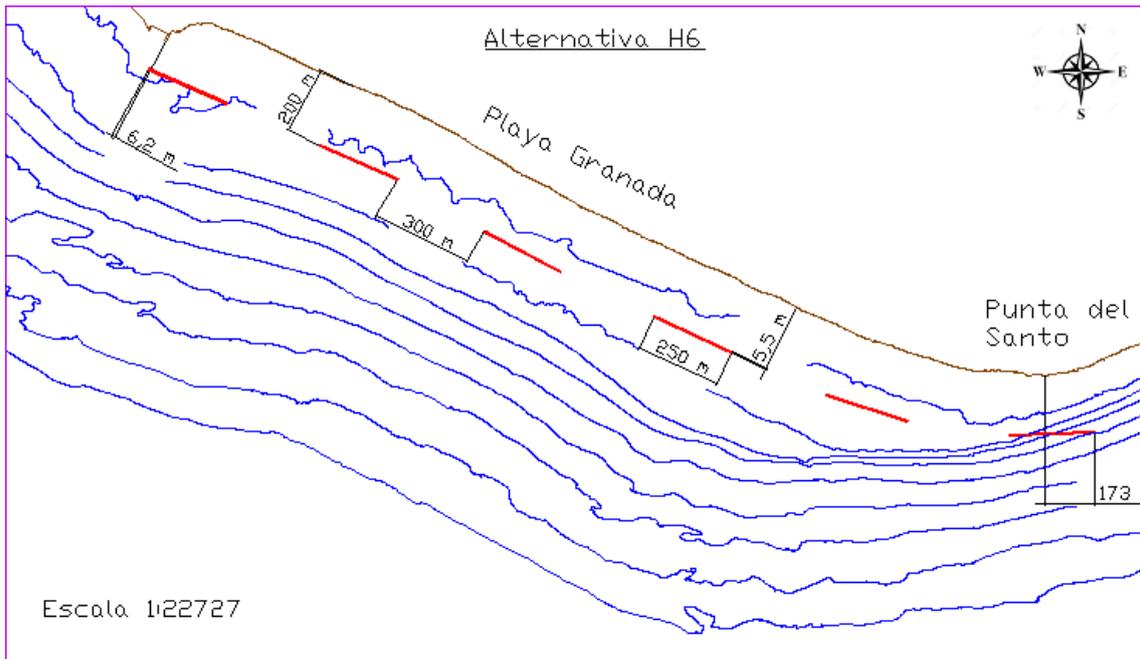


Figura 31. Planta de la alternativa H6.

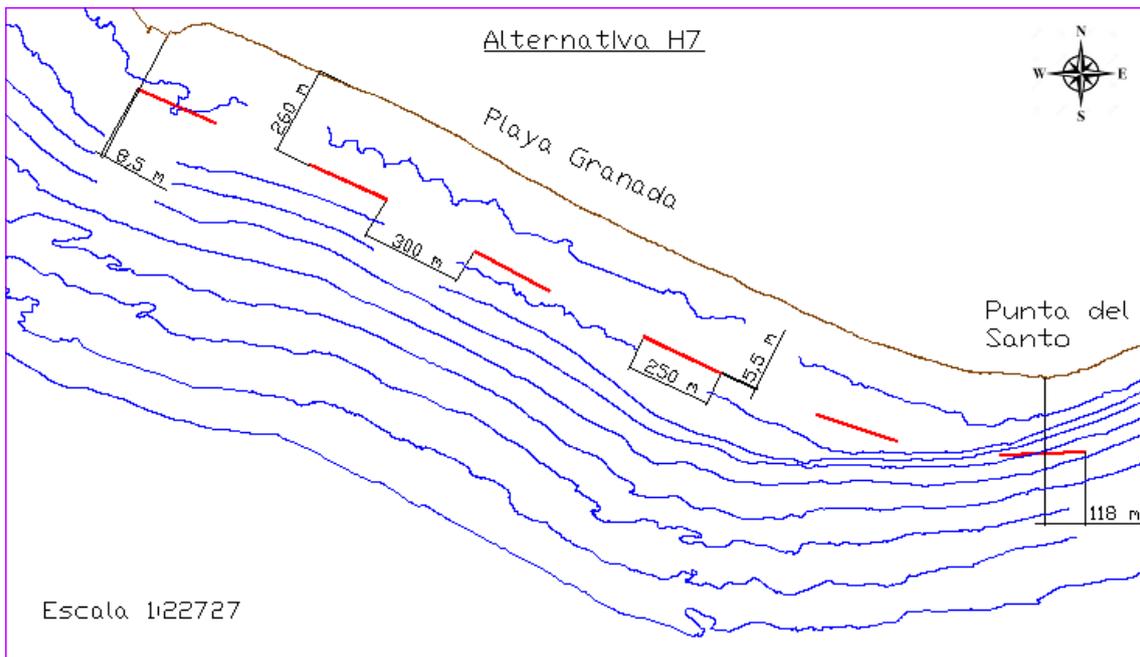


Figura 32. Planta de la alternativa H7.

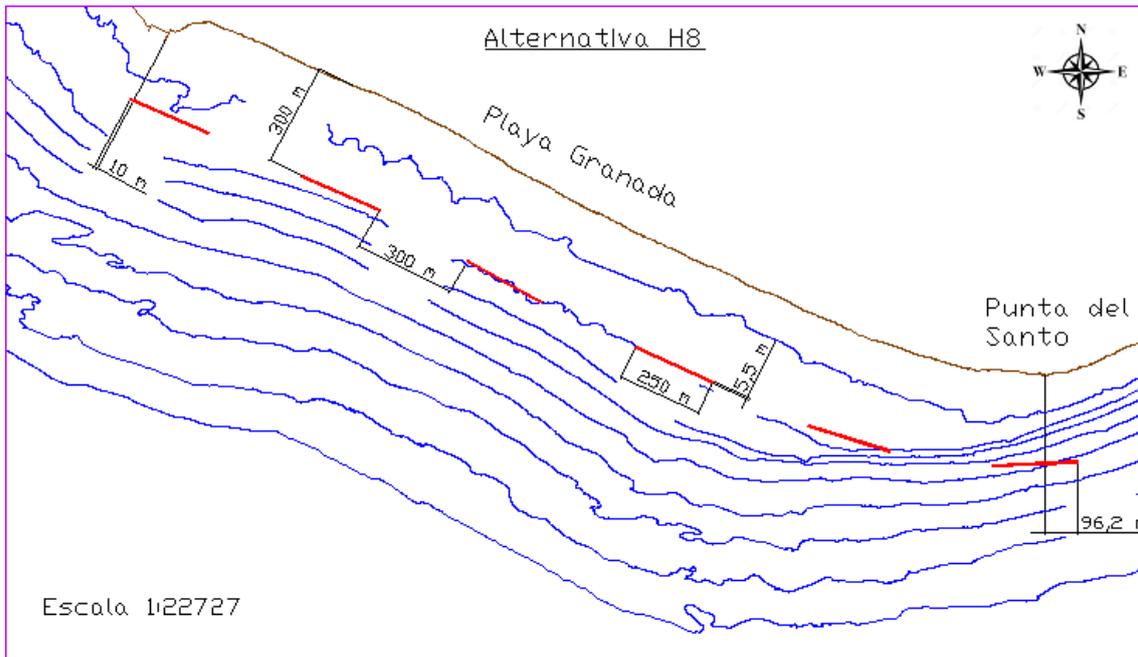


Figura 33. Planta de la alternativa H8.

3.3. MODELADO NUMÉRICO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Para poder comprobar que efecto tienen las diferentes alternativas antes expuestas en la reducción de la energía del oleaje, hemos recurrido a utilizar Delft3D, un software que simula la evolución de las ondas generadas por el viento en las aguas costeras. El módulo de onda de Delft3D calcula la programación de ondas, la generación de olas por el viento, las interacciones y disipaciones no lineales de ondas, campos de viento, niveles de agua y campos de corrientes en aguas profundas, intermedias y finitas.

El primer paso efectuado ha sido imponer las condiciones de contorno, así como los oleajes que llegarán a nuestra malla de estudio. En concreto, hemos supuesto 2 oleajes independientes, uno del Este y otro del Oeste (el más energético), cada uno con 3 fronteras de malla, E, SE y S para el oleaje del Este y O, SO y S para el oleaje del O, además cada frontera tiene 2 estados de mar separados entre sí 60 segundos. Estos oleajes pertenecen a tormentas tipo con alturas de olas que son sobrepasadas un 1% del tiempo, puesto que suponer una altura de ola de proyecto con un período de retorno mayor no nos permitiría elegir correctamente la mejor alternativa. Sin embargo utilizaremos dicha altura de ola de proyecto para diseñar el dique una vez elegida la mejor alternativa.

El último paso antes de correr las diferentes alternativas ha sido introducir los diques y espigones como obstáculos en el programa. Para ello, los hemos diseñado primero en AutoCad sobre una planta con las batimétricas de nuestra zona obtenidas gracias al grupo de dinámica de flujos ambientales de la Universidad de Granada. Después hemos pasado estos objetos a un mapa de puntos en un archivo .txt para por último introducir las coordenadas de estos puntos en nuestro caso del programa Delft3D.

Respecto a las condiciones de estos diques, los hemos introducido como tipo “dam”, es decir, el coeficiente de transmisión depende de las condiciones del oleaje incidente en el obstáculo y de la altura del obstáculo. Ha sido considerado como reflexivo, en concreto difusivo con coeficiente de reflexión 0,7. Y por último hemos supuesto una altura de 5 m inicial para todas las alternativas, aunque más adelante optimicemos la solución final reduciendo este parámetro.

A continuación describiremos las gráficas obtenidas para cada alternativa, no sin antes explicar el parámetro usado para analizar y comparar dichos resultados, la altura de ola significativa. Dado que nos interesa observar el cambio de energía tras la colocación de nuestros diques y espigones, hemos recurrido a la fórmula de la Energía Media, que es igual a $E = (1/16) \cdot \rho \cdot g \cdot H_s^2$, siendo “ ρ ” la densidad del agua, “ g ” la gravedad y “ H_s ” la altura de ola significativa, es decir, la media del 30% de las olas más grandes, medidas con un espacio de tiempo de 3h.

Como podemos observar, la altura de ola significativa está al cuadrado, por lo que representa una buena parte de la energía de la fórmula total, por lo tanto, este será el parámetro que nos permita comparar nuestras distintas opciones entre sí.

4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DEL MODELO DE PROPAGACIÓN.

Por lo tanto ahora si procedemos a describir los resultados obtenidos en el programa Delft3D. Esta información se puede dividir en dos, cualitativa del propio programa en base a los colores de la altura de ola significativa en nuestra zona de estudio y cuantitativa mediante el programa Matlab y a través de puntos de control colocados en la batimétrica 4 en los que hemos medido la altura de ola en dichos puntos, a partir de ellos hemos hecho la media exclusivamente para el tramo litoral de Playa Granda tanto para el oleaje del Este como del Oeste.

Alternativa 0 o de no actuación:

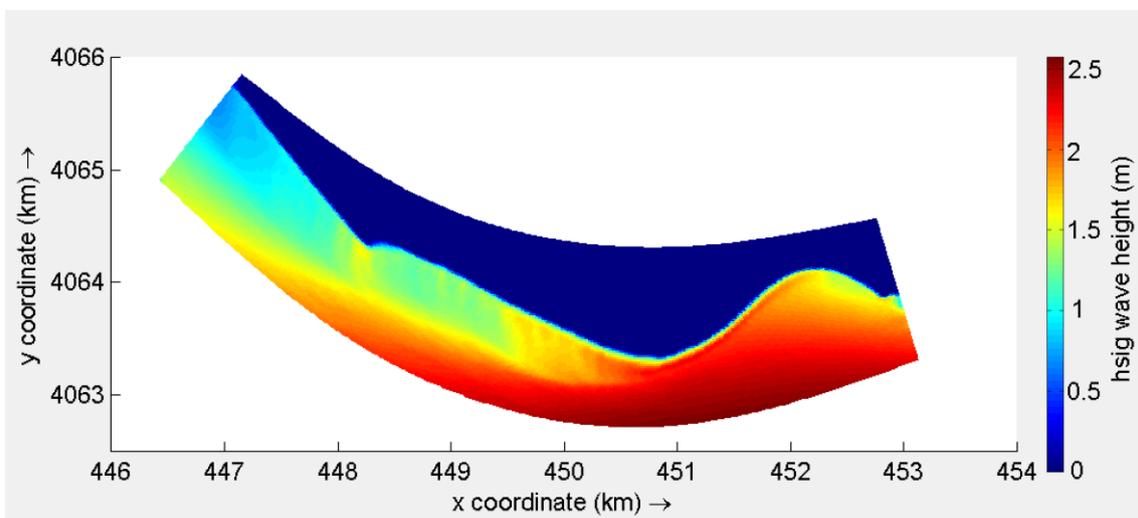


Figura 34. Planta de la alternativa 0 sometida al oleaje del Oeste.

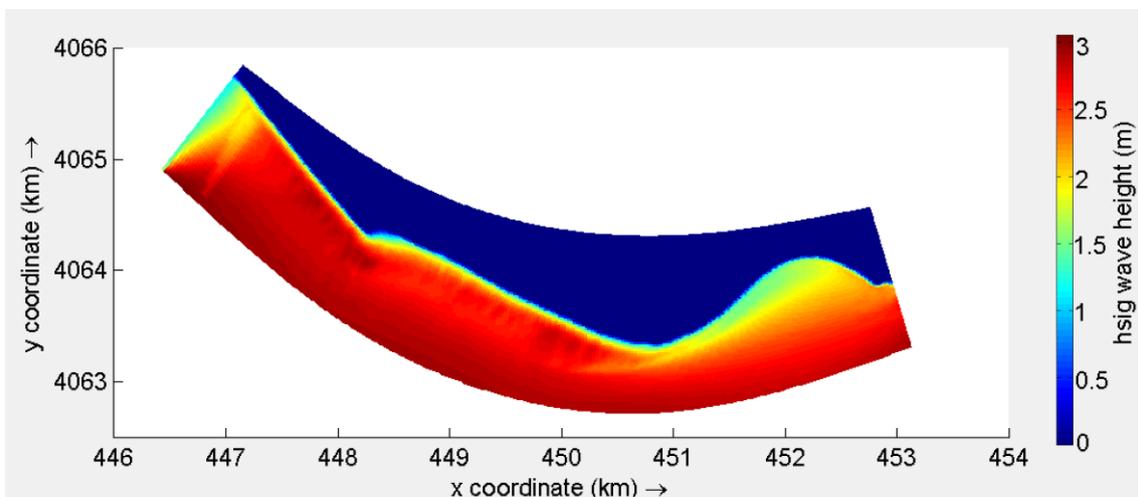


Figura 35. Planta de la alternativa 0 sometida al oleaje del Este.

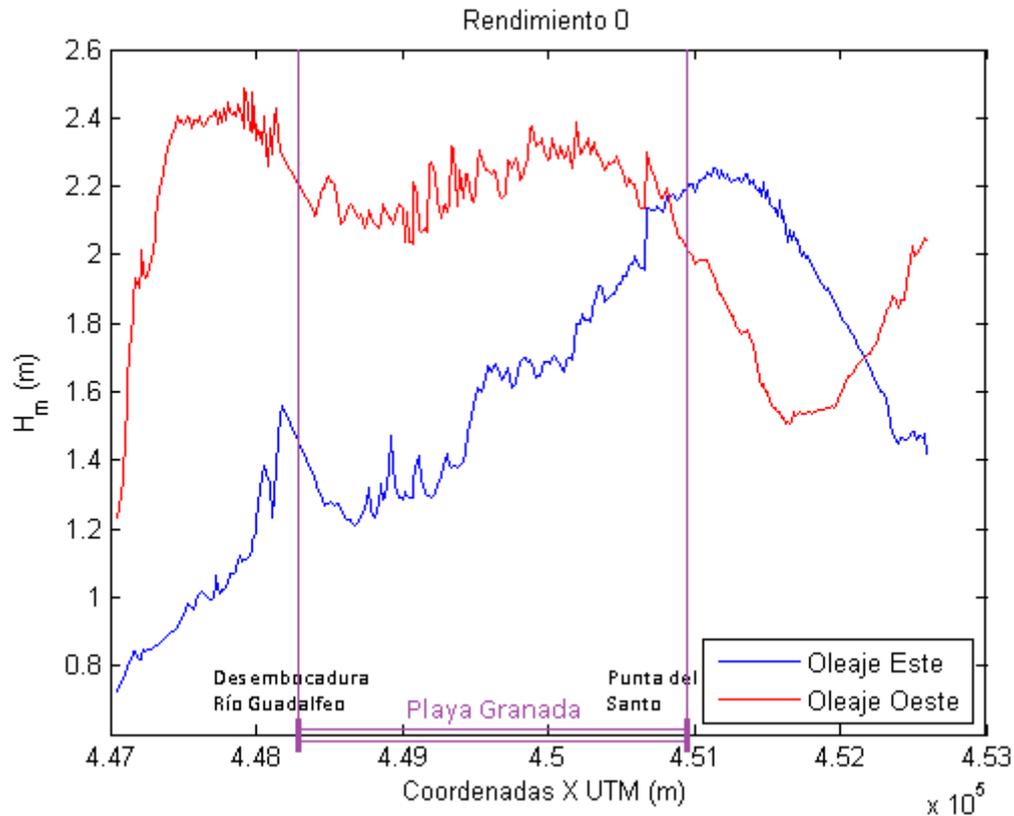


Figura 36. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa 0.

Esta alternativa representa la de no actuación, y en ella podemos observar cómo se comporta el oleaje y en concreto la altura de ola sin que haya ningún obstáculo en la zona de estudio. A través de estas imágenes (**figura Xs**), se comprueba como el oleaje del Oeste es más energético que el del Este, además de que el del Oeste es más constante, al contrario que el del Este, que decrece conforme nos acercamos a la desembocadura del Guadalfeo.

Como se ha comentado antes, se ha obtenido la media de los dos oleajes para los puntos situados en el tramo costero de Playa Granada, resultando una altura de ola significativa media para el oleaje del Este de 1,5722 m y de 2,2065 m para el del Oeste, obteniendo una media entre los dos de 1,8894 m.

Alternativa A:

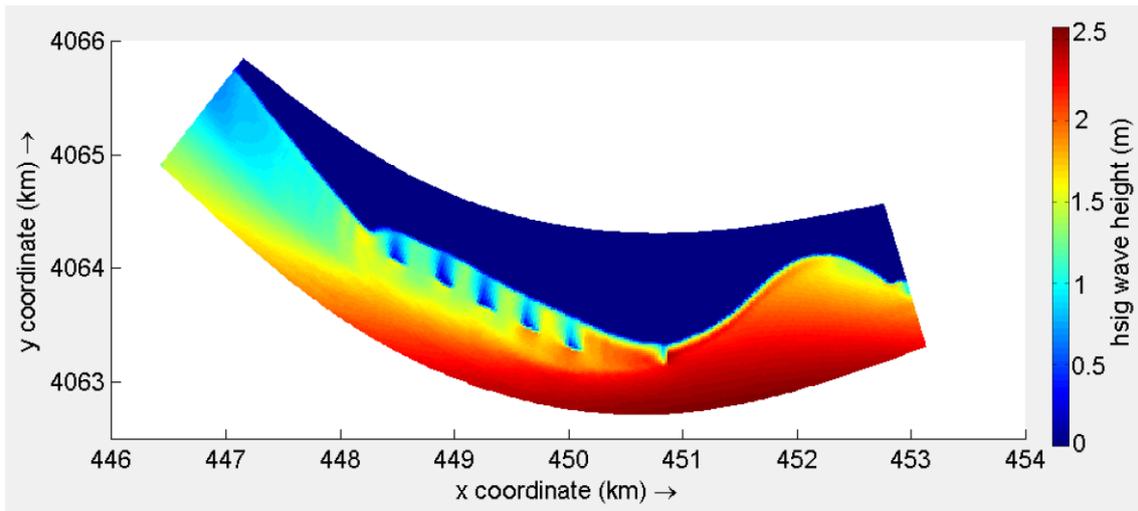


Figura 37. Planta de la alternativa A sometida a oleajes del Este.

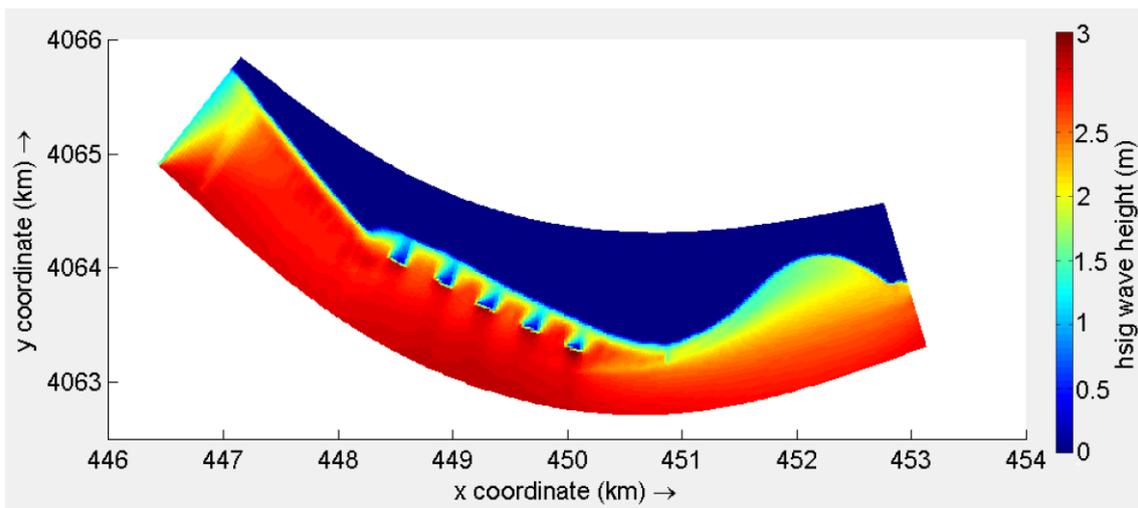


Figura 38. Planta de la alternativa A sometida a oleajes del Oeste.

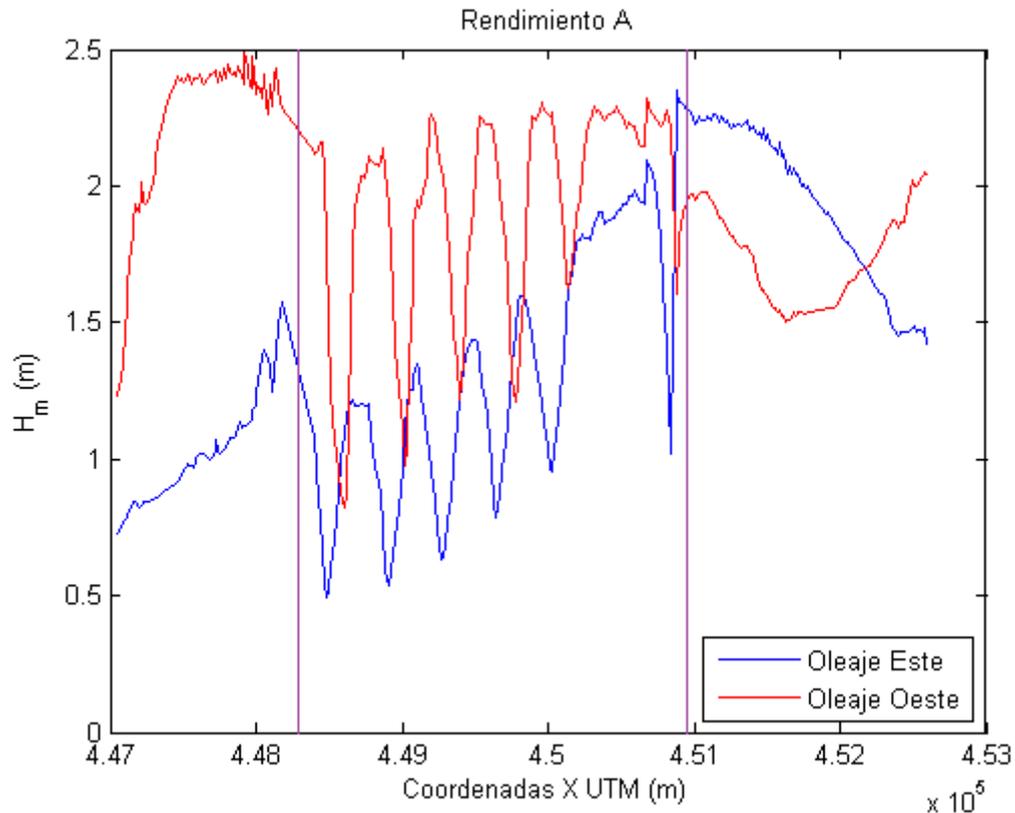


Figura 39. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa A.

En general vemos que los diques exentos funcionan bastante bien para el Este, aunque el principal inconveniente es que se deberían de prolongar hasta la Punta del Santo. Sin embargo para el oleaje del Oeste, una posible solución para que funcionen mejor dada esta configuración puede ser separarlos más de la costa. Respecto al espigón situado en el cabo, no parece tener demasiado efecto dada su escasa longitud.

Si calculamos la media de alturas de olas significativas mediante Matlab, obtenemos 1,2765 m para el oleaje del Este, y 1,9223 m para el del Oeste, la media sería 1,5994 m. Vemos como se reduce la altura de ola con esta disposición, sin embargo buscaremos reducir más aun este parámetro en las siguiente alternativas.

Alternativa B:

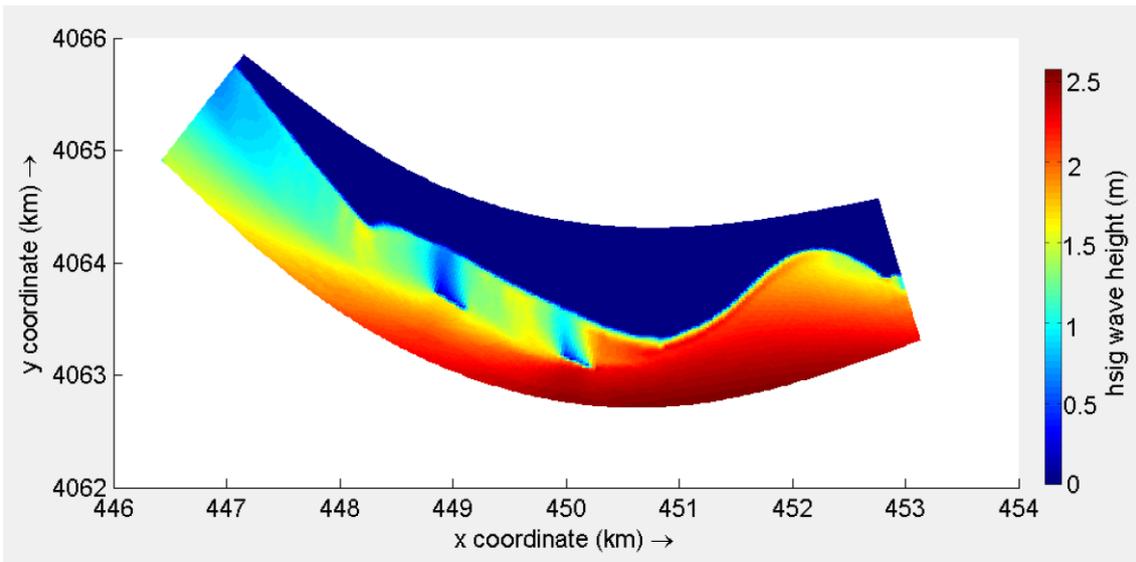


Figura 40. Planta de la alternativa B sometida a oleajes del Este.

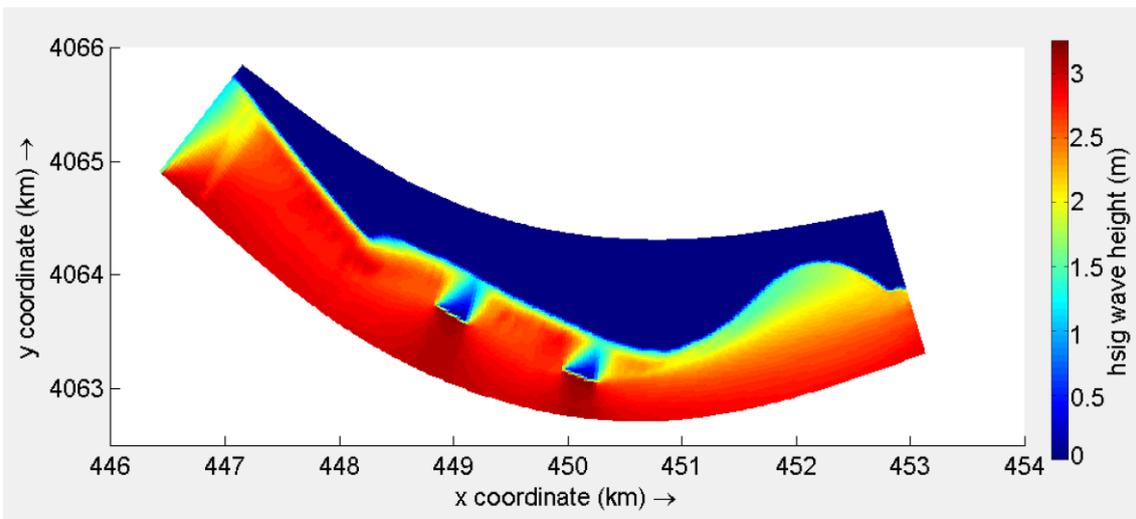


Figura 41. Planta de la alternativa B sometida a oleajes del Oeste.

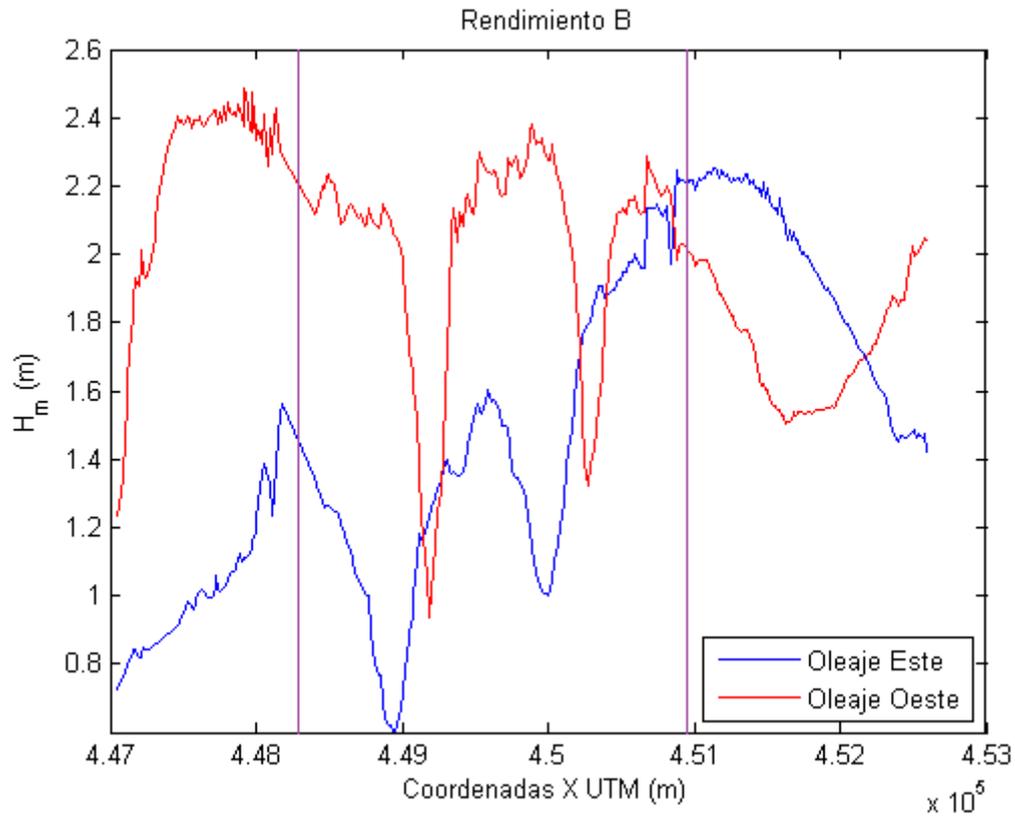


Figura 42. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa B.

Se comporta de forma correcta respecto al oleaje del Este, sin embargo cubre muy poco tramo de costa para el oleaje del Oeste. En los datos analíticos (**figura X**) se comprueba que reduce la altura de ola menos que la alternativa A: 1,3799 m para el oleaje del Este y 2,0146 m para el del Oeste, siendo la media 1,6973 m.

Alternativa C:

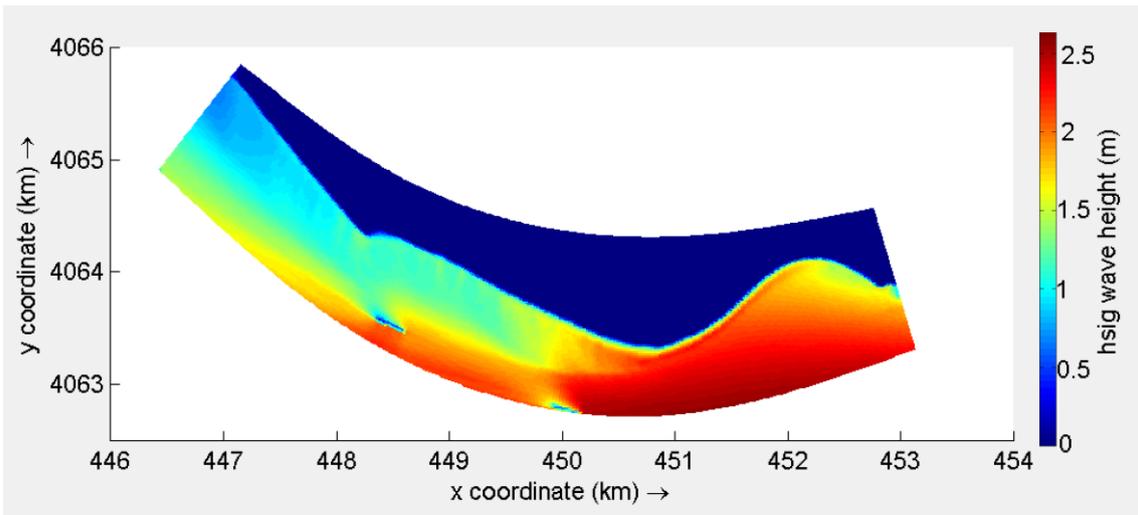


Figura 43. Planta de la alternativa C sometida a oleajes del Este.

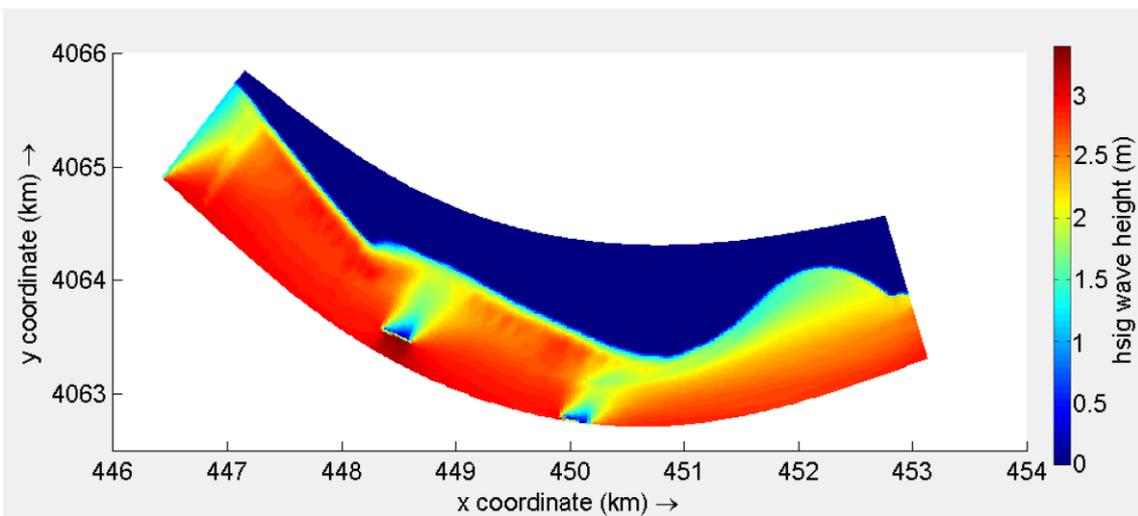


Figura 44. Planta de la alternativa C sometida a oleajes del Oeste.

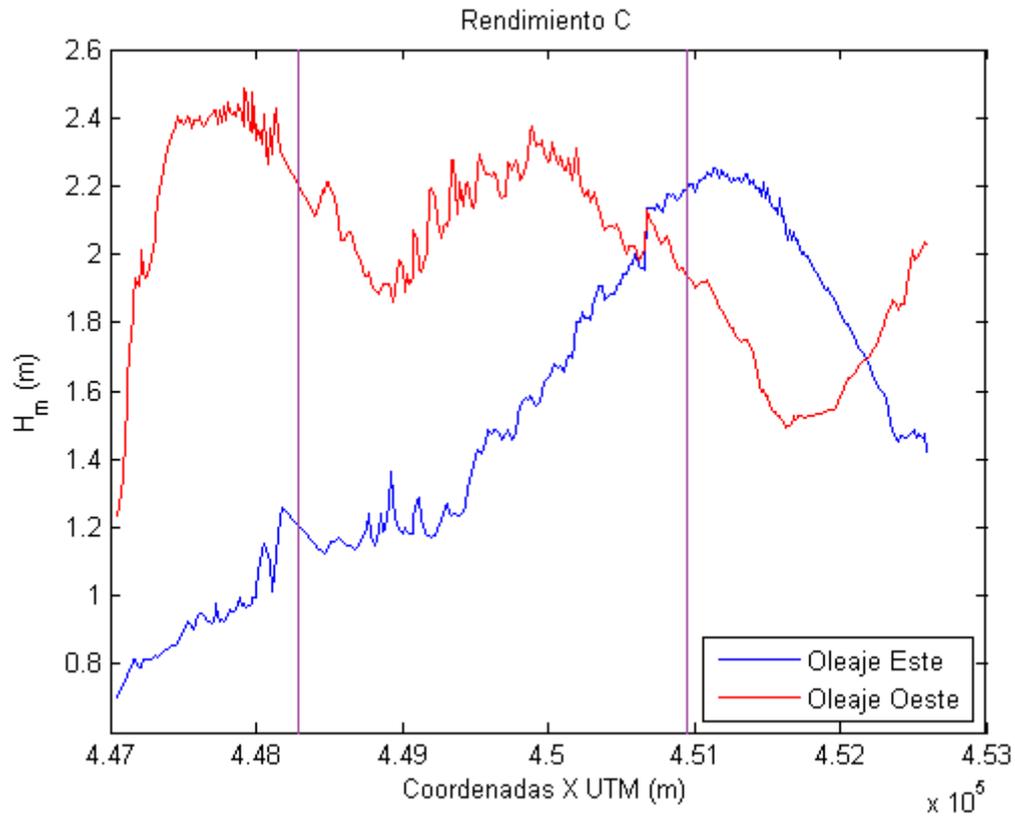


Figura 45. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa C.

Esta alternativa dispone de diques de gran anchura (16 m), sin embargo a simple vista se puede observar lo mal que funciona esta disposición. Frente al oleaje del Este no protege casi nada y para el oleaje del Oeste, se aprecia cómo cuanto más lejos situemos los diques exentos, más extensión de costa cubren, como si de un cono con vértice en dicho dique se tratase. A pesar de esto, igualmente protegen muy poco el litoral estudiado. Las medias son: 1,4830 m para el oleaje del Este y 2,1218 m para el oleaje del Oeste, la media total es 1,8024 m.

Alternativa D:

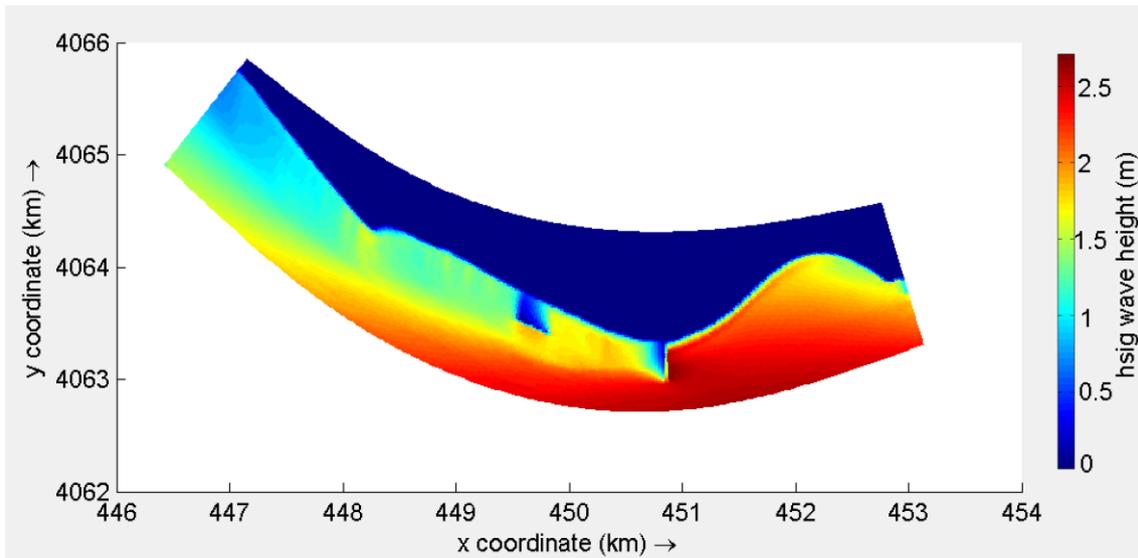


Figura 46. Planta de la alternativa D sometida a oleajes del Este.

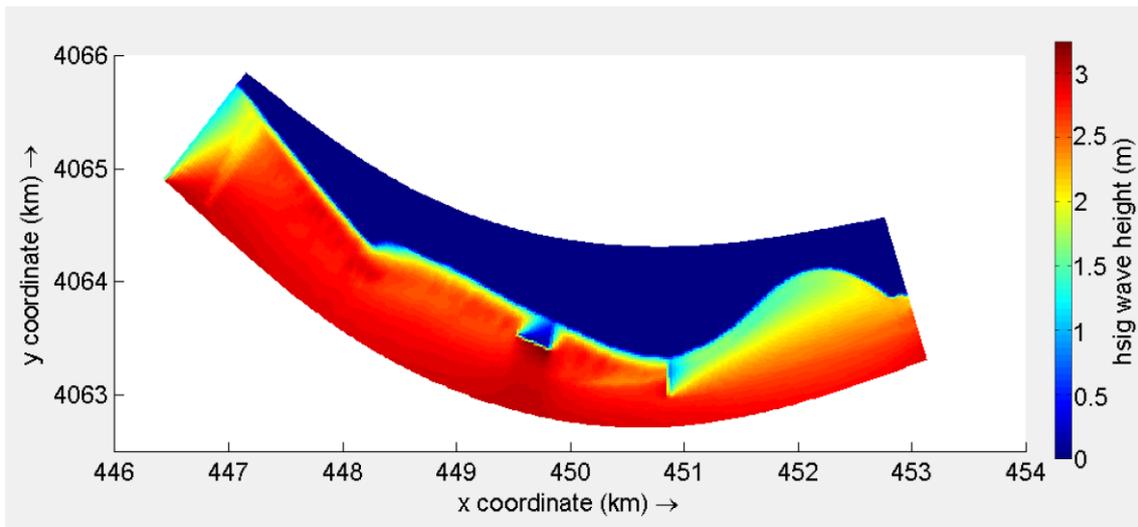


Figura 47. Planta de la alternativa D sometida a oleajes del Oeste.

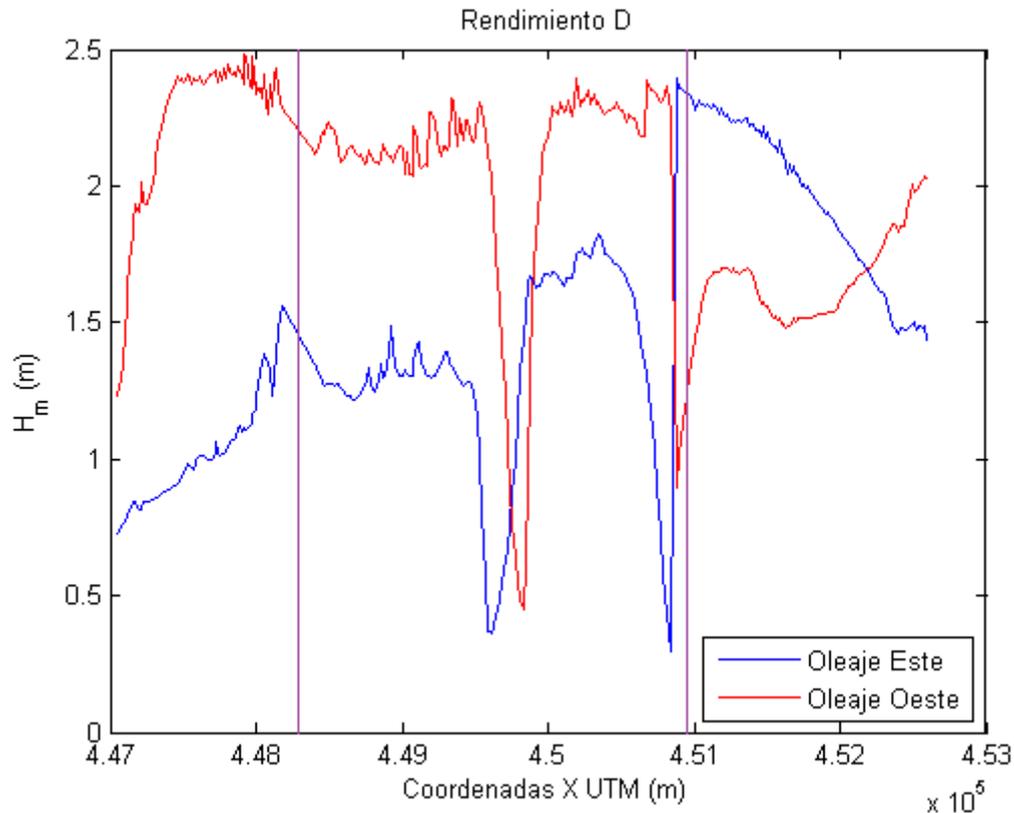


Figura 48. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa D.

Aquí podemos observar que efectivamente, y al contrario que la anterior alternativa, cuanto más nos acercamos a la costa, más se reduce la altura de ola en dicha zona que cubre el dique. Esto es además fácilmente apreciable en el pico producido en dicho lugar en la **(figura X del rendimiento)**. La desventaja que se presenta es indudablemente la poca longitud de protección por el dique en cuestión. Si nos fijamos en la disminución del oleaje por parte del espigón de la Punta del Santo, vemos que protege poco frente al oleaje del Este y frente al del Oeste sólo es útil para Playa Poniente. Por ello se ha decidido utilizar mejor esta área de espigón para situar más diques exentos en planta en la zona de estudio, de este modo protegen frente oleajes de Este y Oeste. Los resultados analíticos de esta alternativa han sido una altura de ola significativa de 1,3248 m para el Este y 2,0623 m para el Oeste, la media es 1,6936 m.

Alternativa E:

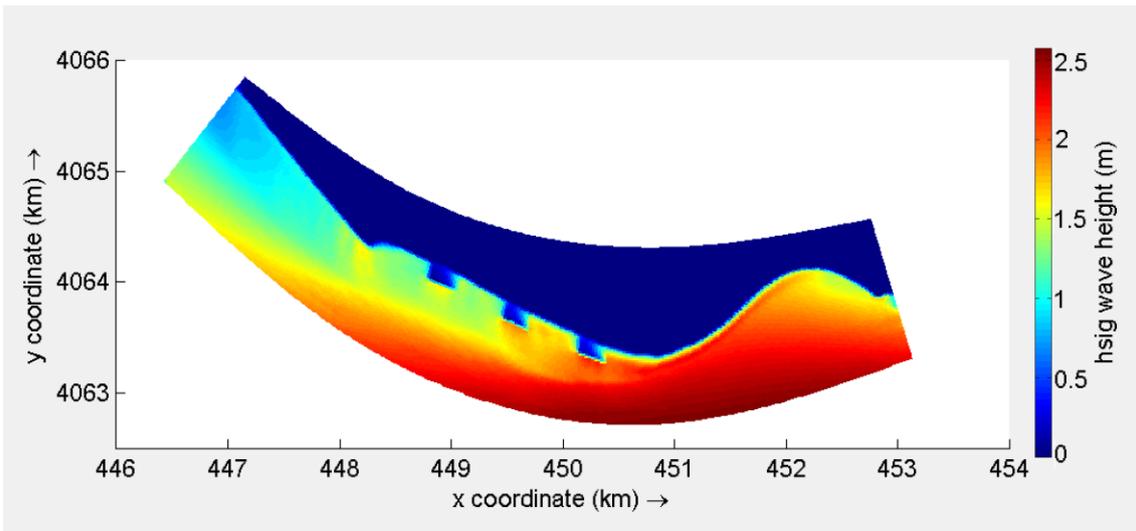


Figura 49. Planta de la alternativa E sometida a oleajes del Este.

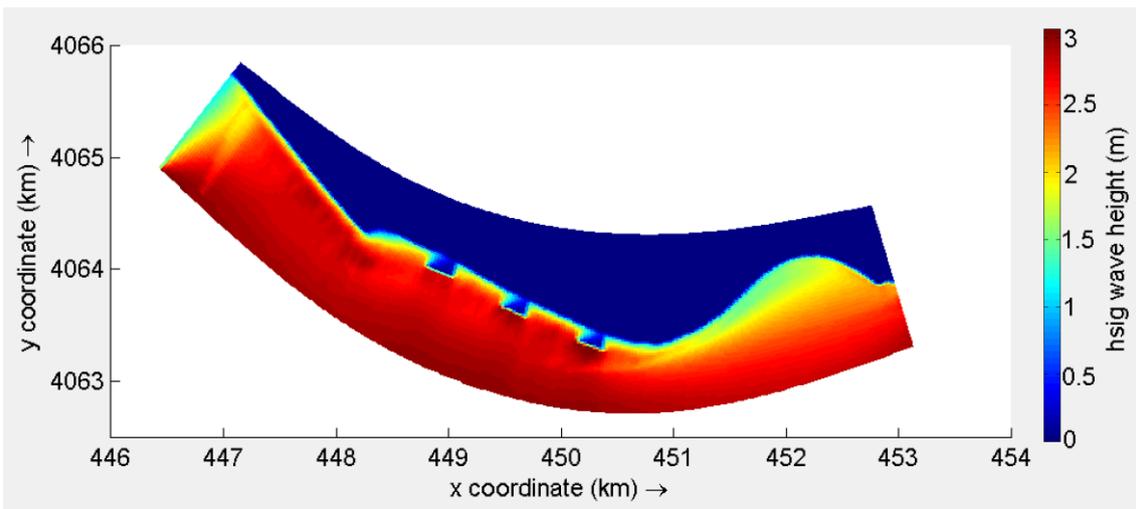


Figura 50. Planta de la alternativa E sometida a oleajes del Oeste.

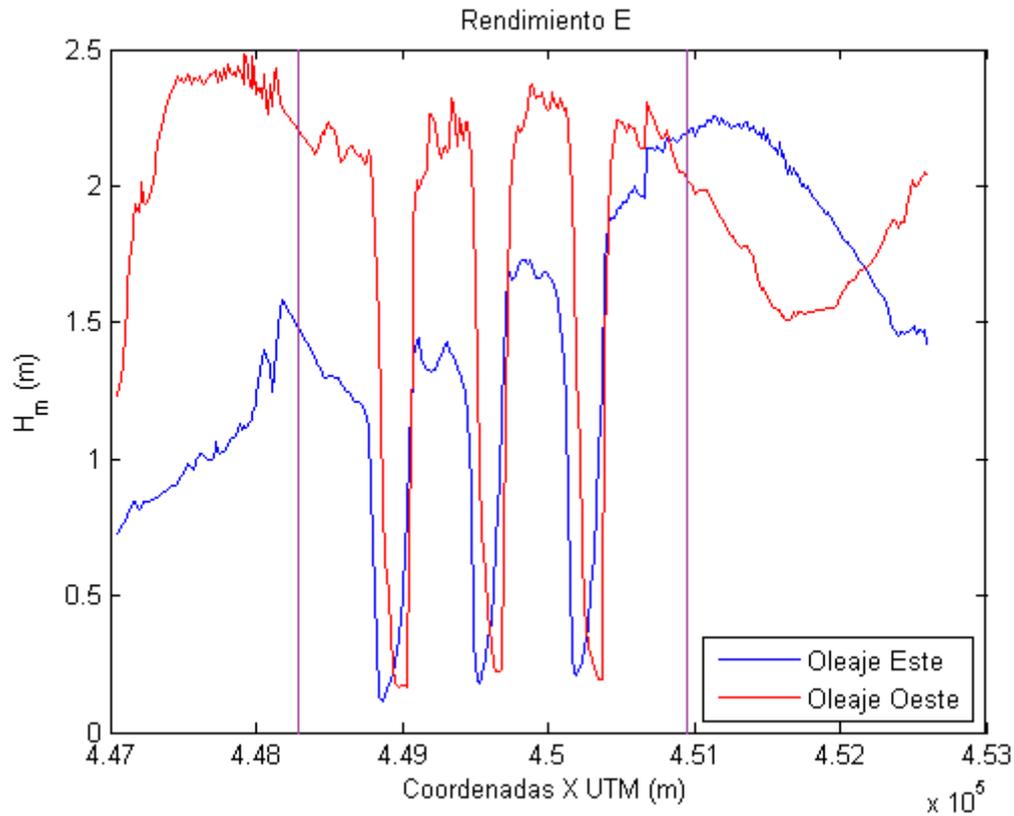


Figura 51. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa E.

Aunque esta alternativa posee algo más de la mitad de superficie en planta que el resto de alternativas, obtiene un rendimiento bastante efectivo, puesto que la altura de ola media para el oleaje del Oeste es de 1,2269 m y para el Este de 1,7347 m, siendo la media 1,4808 m. Observamos sin embargo, gracias a la **gráfica o figura del rendimiento** que presenta unos picos muy bajos situados en las localizaciones de los diques, esto nos muestra que en las zonas no cubiertas por lo diques, la altura de ola no desciende casi nada. Es por ello que se pretenderá buscar en las siguientes alternativas que decrezca la altura de ola en las zonas situadas frente a los diques sin descuidar en exceso los otros tramos de litoral. Sin embargo disminuir el ratio longitud del dique / distancia a la costa resulta muy efectivo para reducir la altura de ola en los puntos (picos) antes mencionados.

Alternativa F:

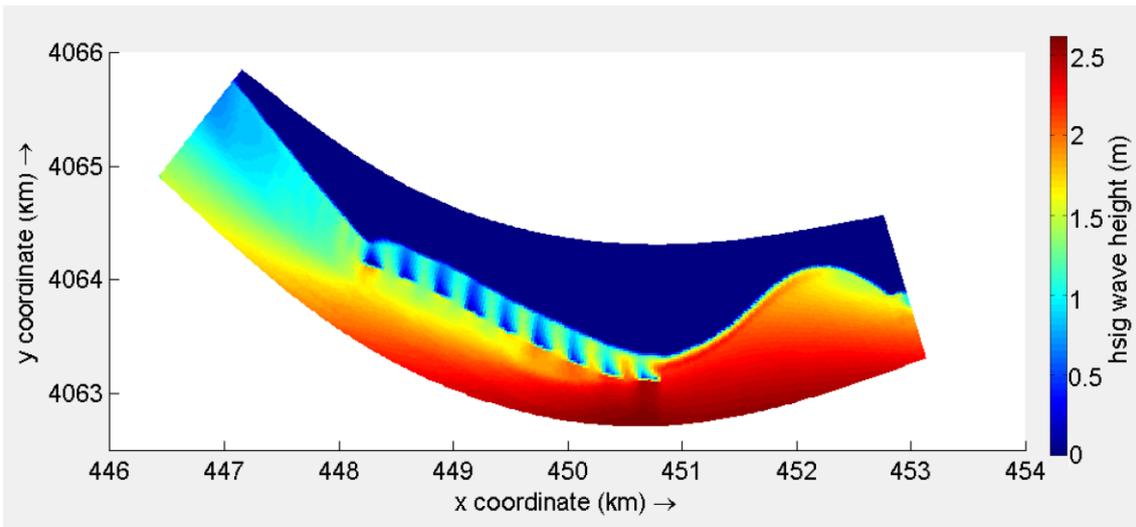


Figura 52. Planta de la alternativa F sometida a oleajes del Este.

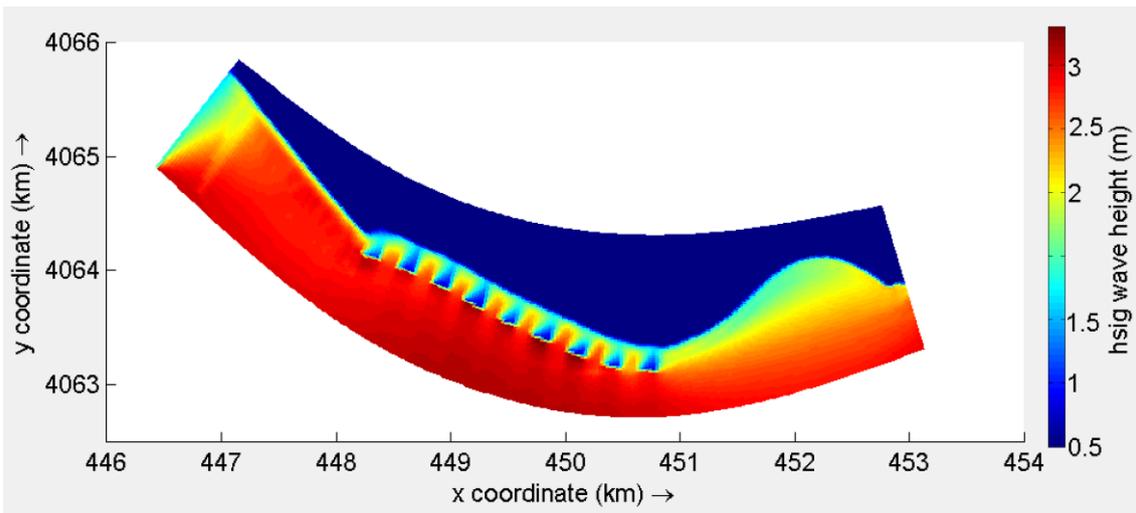


Figura 53. Planta de la alternativa F sometida a oleajes del Oeste.

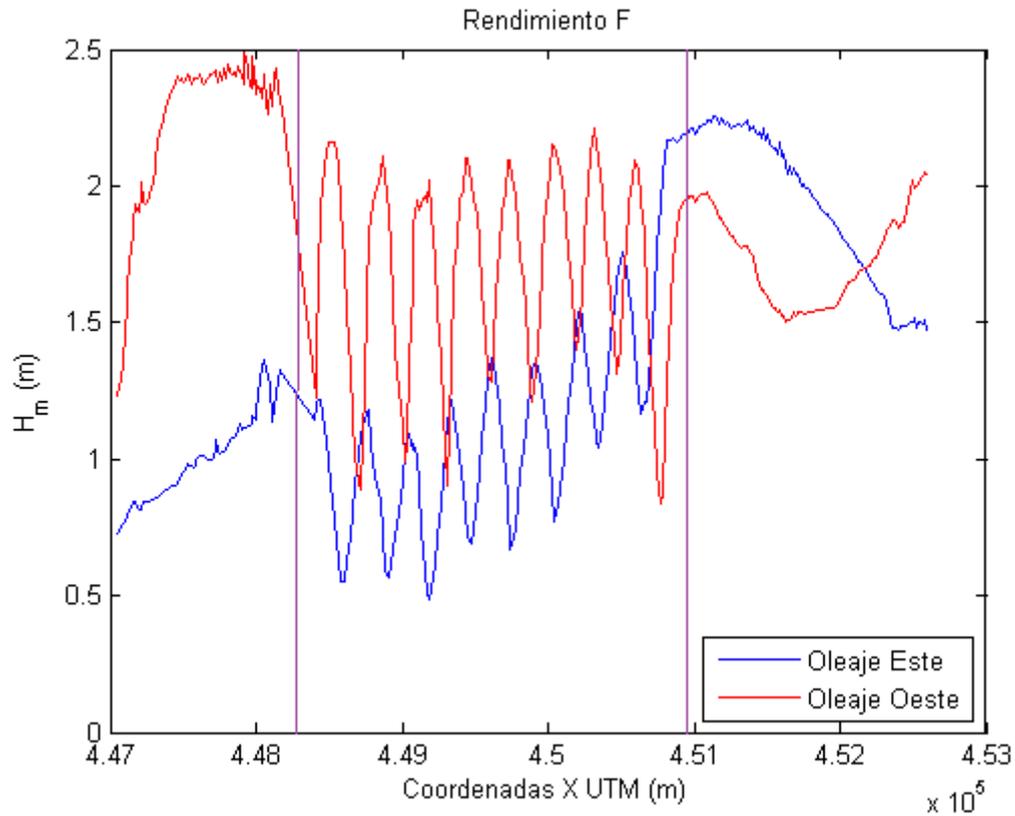


Figura 54. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa F.

Esta solución es la de mayor número de elementos y frente al oleaje del Este se comporta bastante bien, aunque quizás su rendimiento para este oleaje podría mejorar si se separase más de la costa y/o se juntaran más entre ellos. Para el oleaje del Oeste también protege bastante bien, pero al igual que en el oleaje del Este, aquí también podría ser una buena opción separarlos más de la costa para aumentar su rendimiento. Las medias para estos oleajes son 1,0919 m para el del Este y 1,6828 m para el del Oeste, con una media de los dos de 1,3874 m. Se puede apreciar fácilmente con estos datos que hasta ahora es la mejor alternativa en cuanto a rendimiento técnico.

Alternativa G:

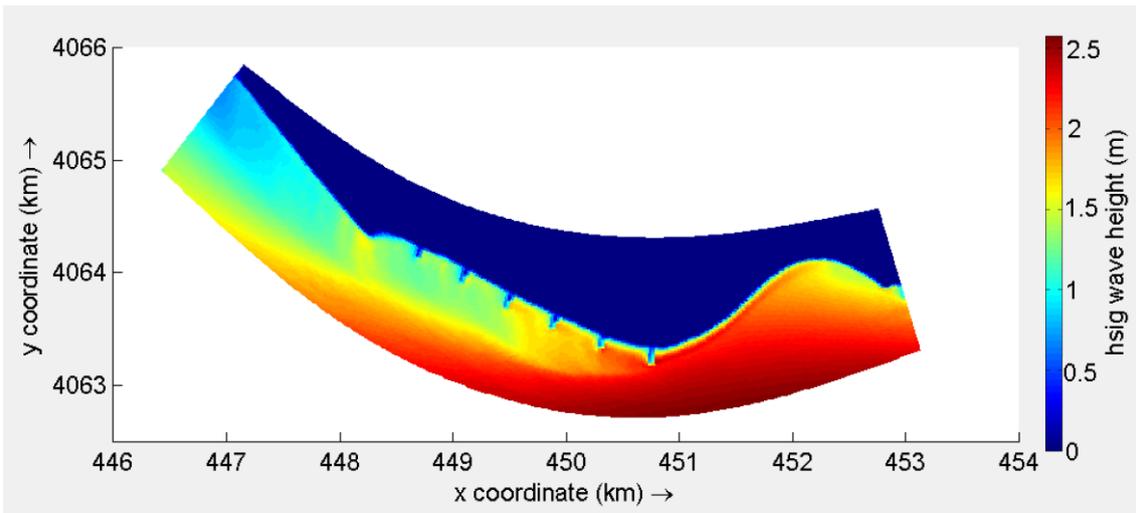


Figura 55. Planta de la alternativa G sometida a oleajes del Este.

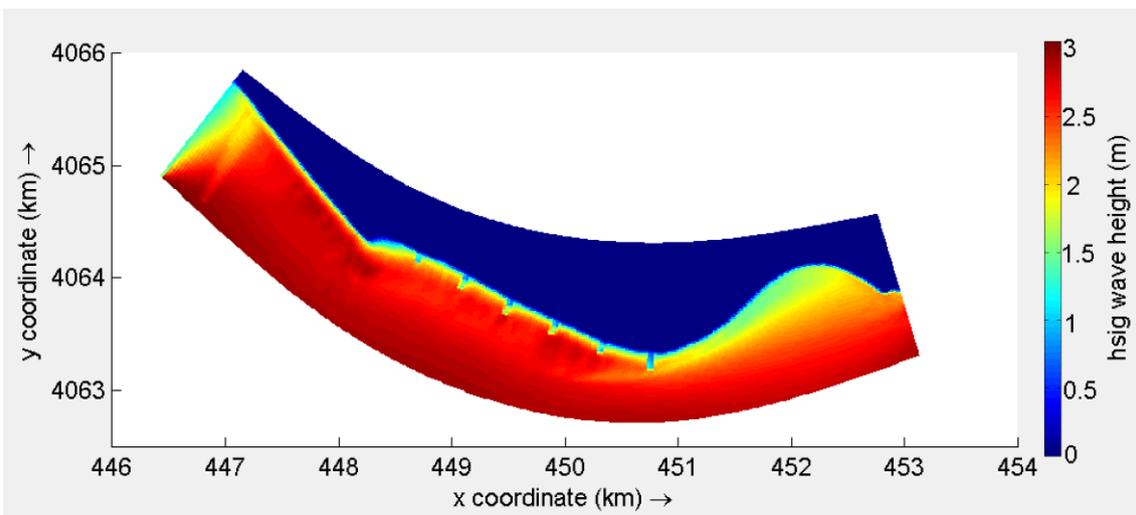


Figura 56. Planta de la alternativa G sometida a oleajes del Oeste.

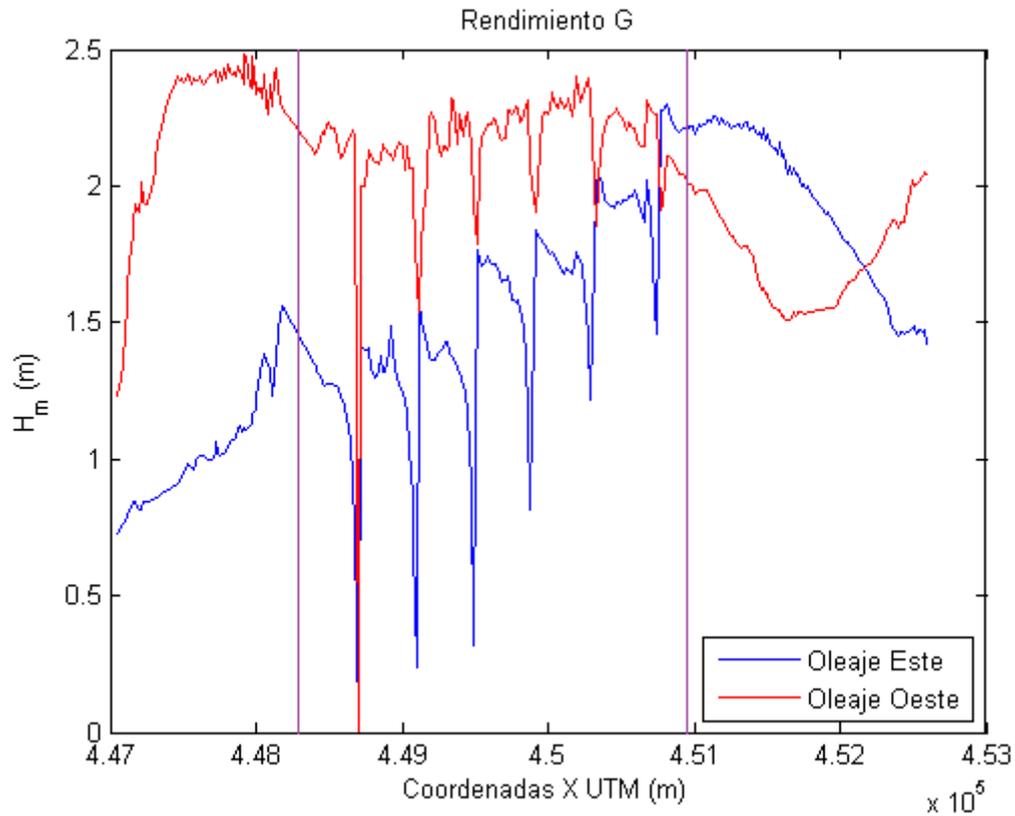


Figura 57. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa G.

Esta alternativa corresponde con el campo de espigones y observando los resultados obtenidos se decide descartar el uso de espigones. Funcionan bastante mal para los dos oleajes, puede ser debido al ángulo de incidencia en la costa, pero en este tramo de litoral de casi 3 km de longitud no terminan de rendir bien. Las medias para los dos oleajes son de 1,5200 m para el del Este y 2,1515 m para el del Oeste, con una media de 1,8358 m, muy próxima a 1,8894 m que teníamos para la alternativa 0, indicándonos el poco rendimiento que posee este campo de espigones. No obstante se realizará una segunda versión de esta alternativa incrementando la longitud de estos diques frente a la disminución de su espesor.

Alternativa G2:

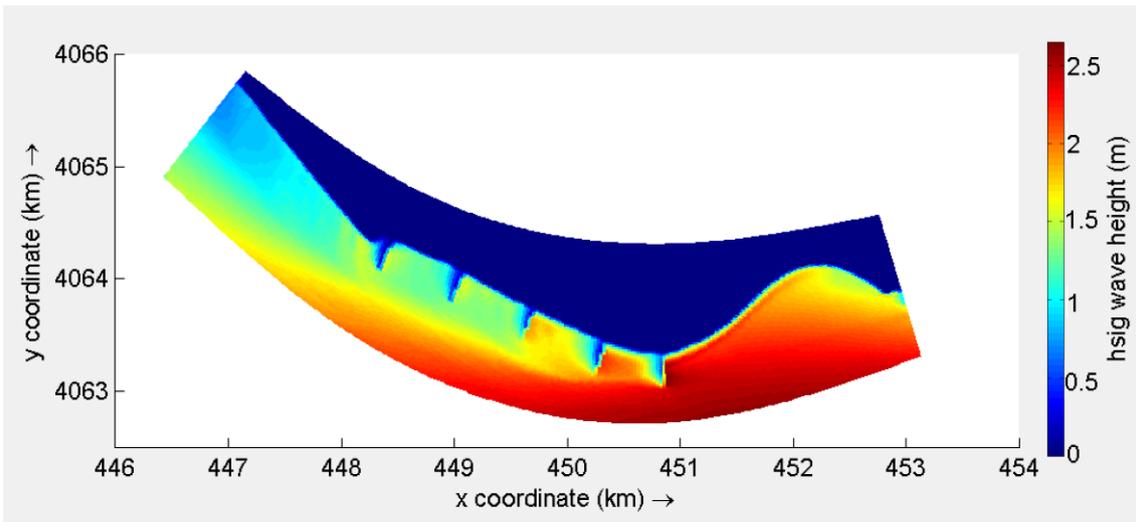


Figura 58. Planta de la alternativa G2 sometida a oleajes del Este.

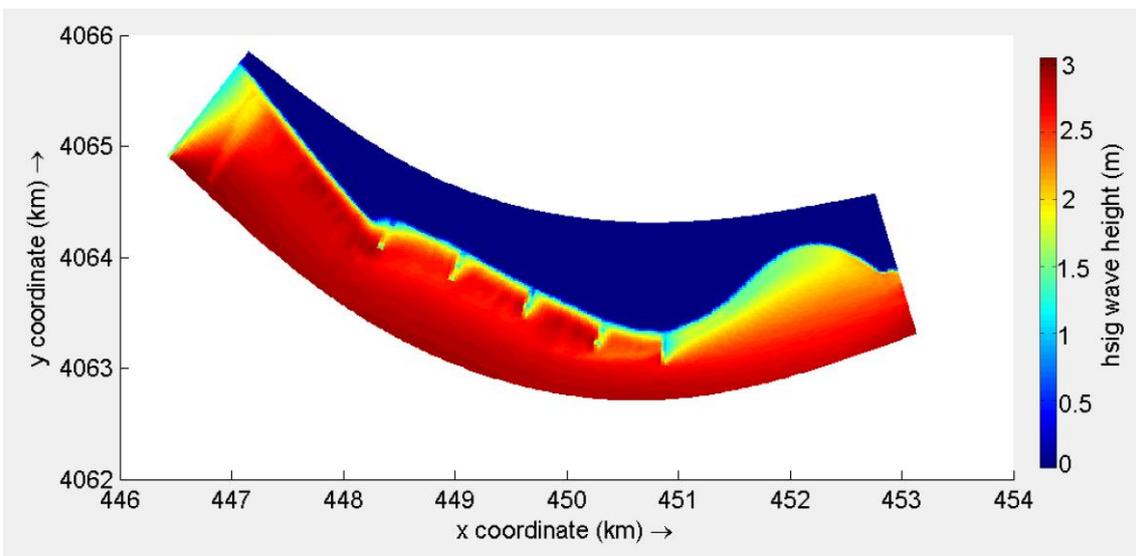


Figura 59. Planta de la alternativa G2 sometida a oleajes del Oeste.

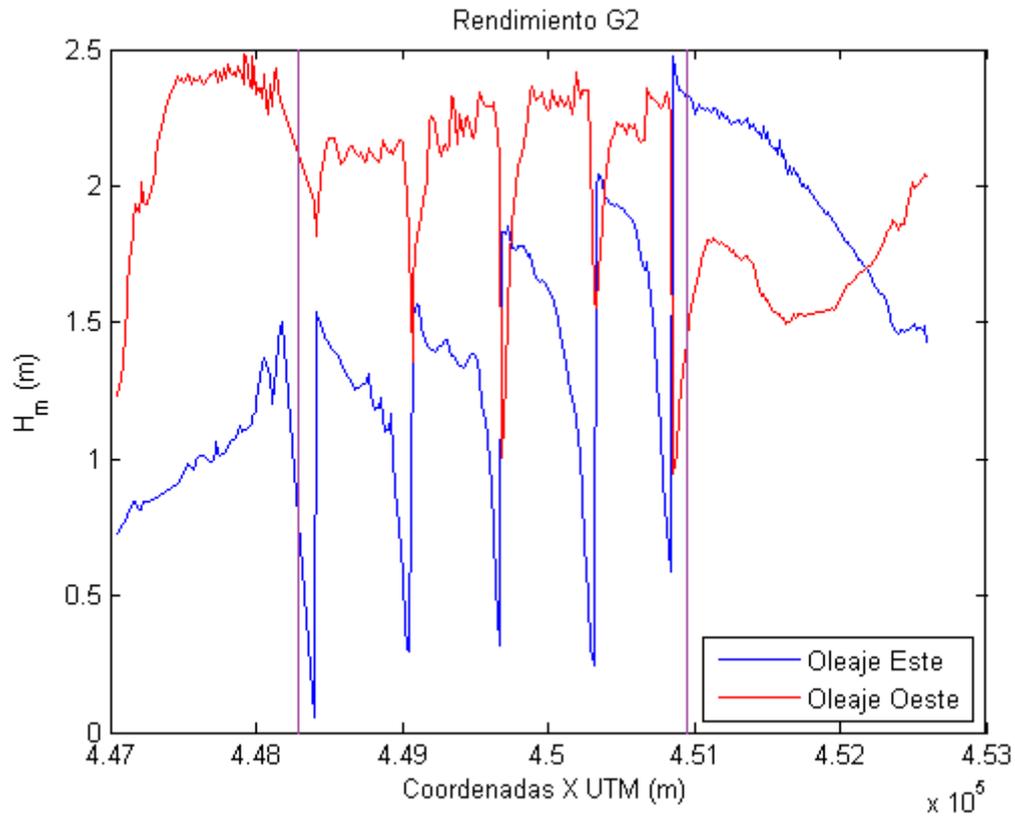


Figura 60. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa G2.

Con esta mejor versión del campo de espigones se mejora el rendimiento sensiblemente, no obstante queda muy lejos de los resultados de las anteriores alternativas. Los datos analíticos de las medias de estos oleajes son 1,3728 m para el oleaje del Este, 2,1215 m para el del Oeste y 1,7472 como media de los dos.

Alternativa H:

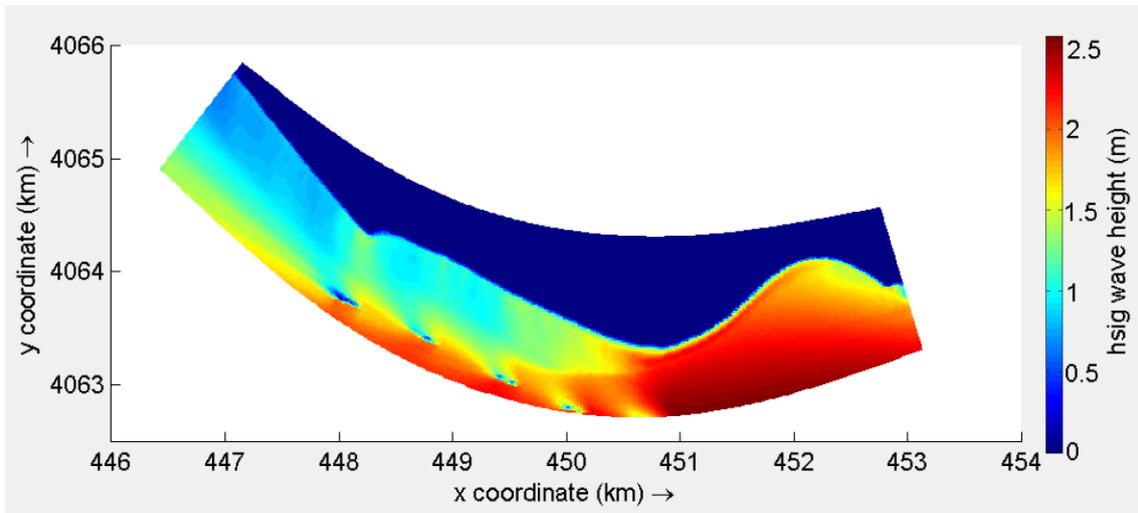


Figura 61. Planta de la alternativa H sometida a oleajes del Este.

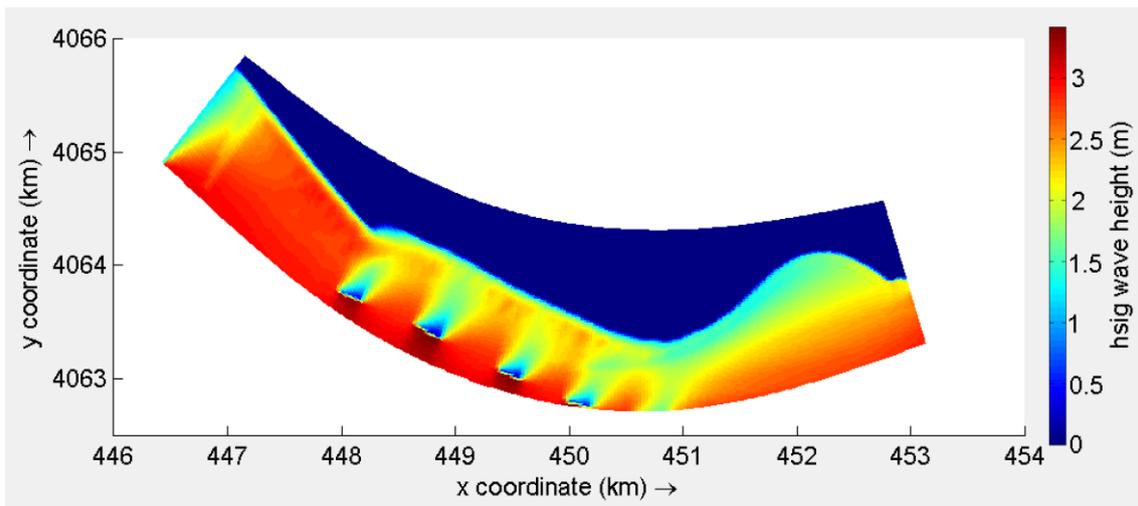


Figura 62. Planta de la alternativa H sometida a oleajes del Oeste.

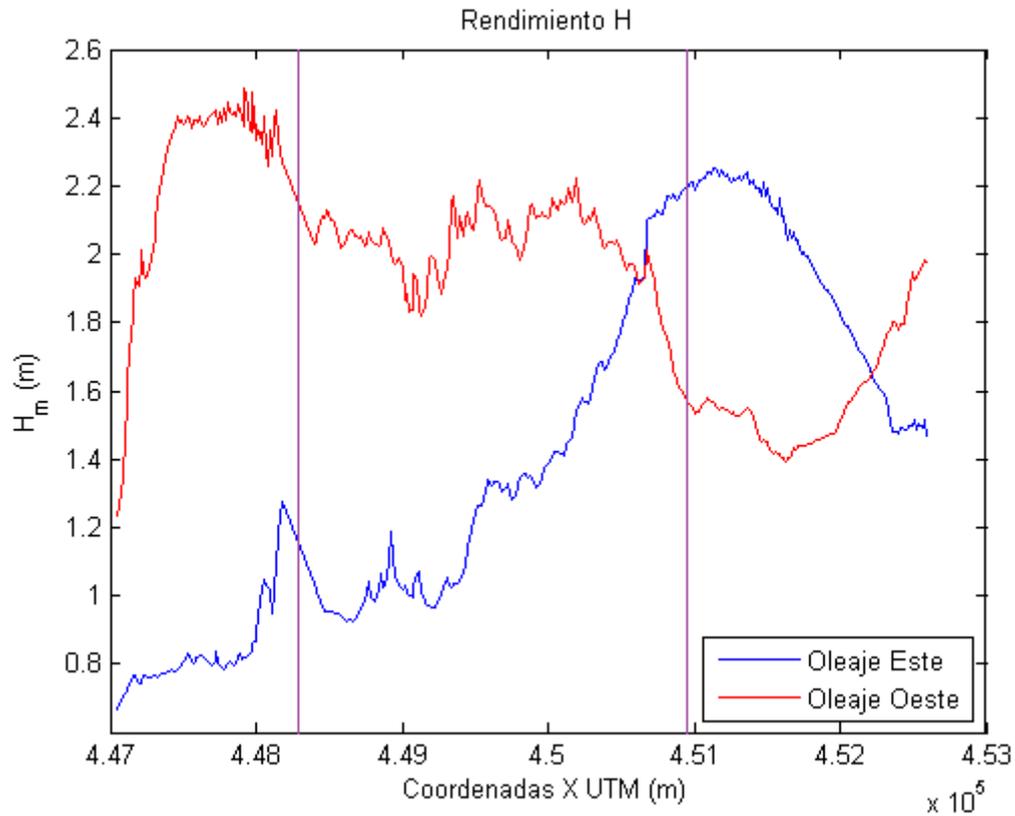


Figura 63. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H.

Vemos que funciona bastante bien en base a los datos aportados por el programa Delft3D, tanto para el oleaje del Este como el del Oeste. Sin embargo, para el oleaje del Este los diques próximos a la Punta del Santo parecen no rendir tanto debido a su gran distancia a la costa y en el oleaje del Oeste, aunque abarcan gran cantidad de costa debido a su distancia a ella, no consiguen reducir la altura de ola tanto como si se acercaran más. Los valores obtenidos son 1,3046 m para el oleaje del Este, 2,0373 m para el del Oeste y 1,6710 m para la media de los dos oleajes.

Alternativa H2:

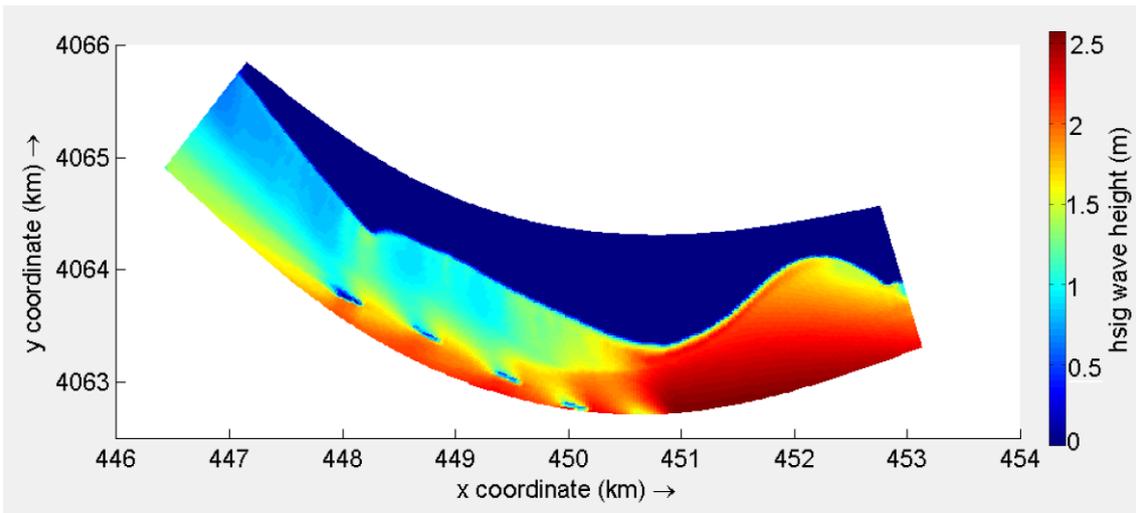


Figura 64. Planta de la alternativa H2 sometida a oleajes del Este.

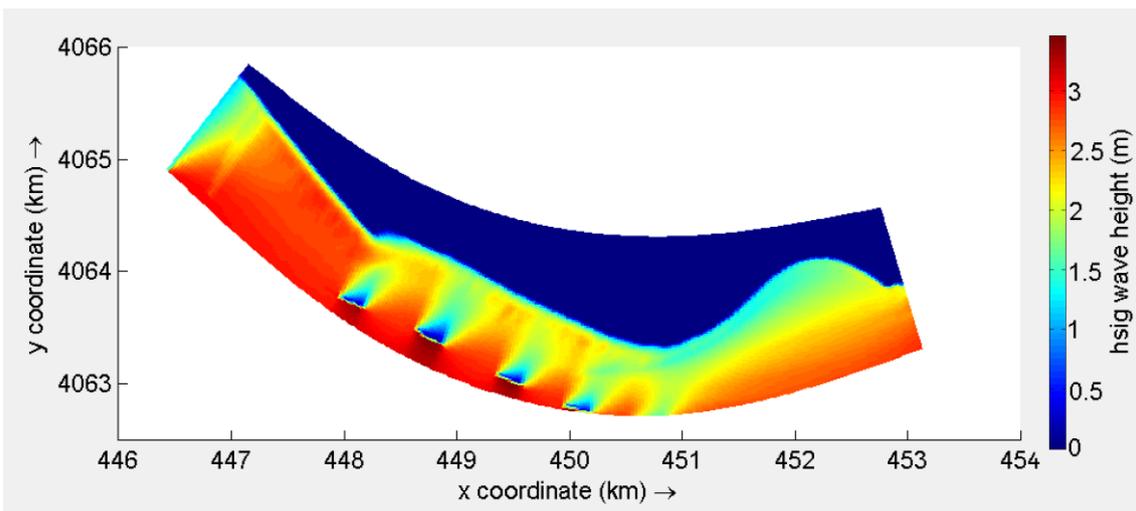


Figura 65. Planta de la alternativa H2 sometida a oleajes del Oeste.

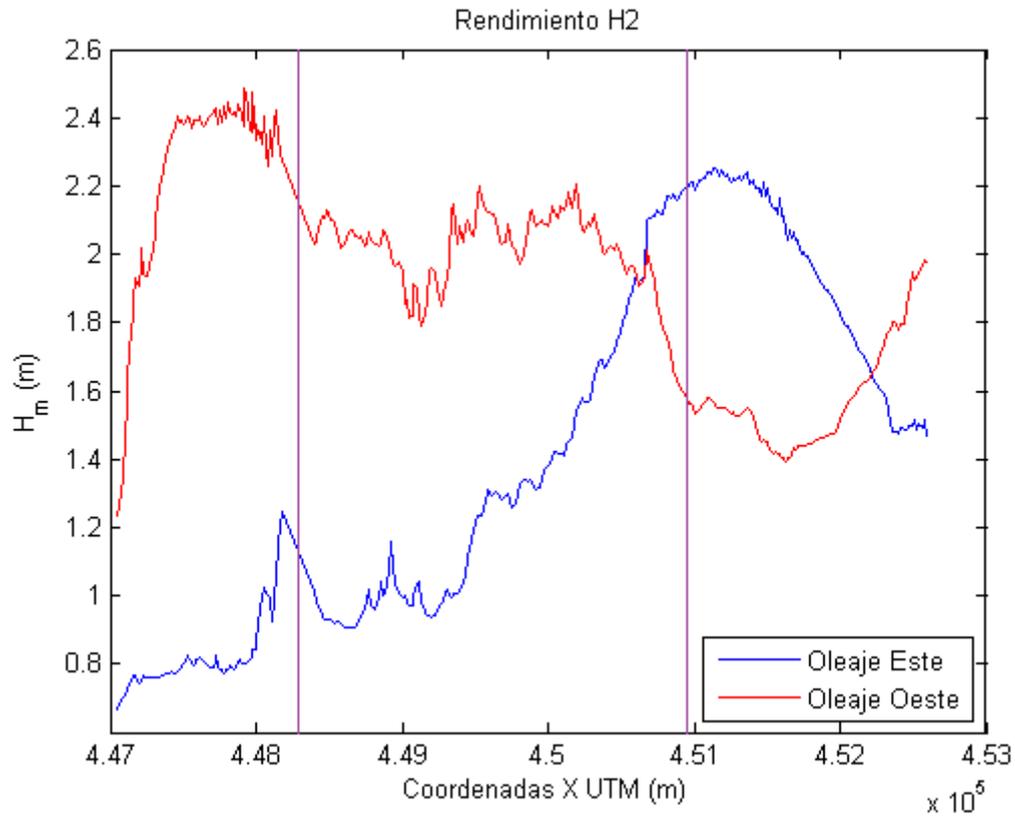


Figura 66. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H2.

Consiste en darle más espesor (16 m) a la alternativa H, para ver qué resultados obtenemos en base a dicho cambio a pesar de que se aumente en más del doble el valor de superficie en planta para la definición de las alternativas. Calculando los valores medios de oleajes de nuevo para esta alternativa obtenemos 1,2876 m del oleaje del Este, 2,0242 m del oleaje del Oeste y 1,6559 m de la media de los dos. Se observa fácilmente que tiene un mayor rendimiento, pero para nada comparable con el aumento de área en planta. Es por ello que en base a las siguientes alternativas se procurará buscar la longitud de los diques frente al espesor de los mismos.

Medias de alturas de olas significativas en Playa Granada (m)			
Alternativa	Oleaje Este	Oleaje Oeste	Oleaje medio
0	1,5722	2,2065	1,8894
A	1,2765	1,9223	1,5994
B	1,3799	2,0146	1,6973
C	1,483	2,1218	1,8024
D	1,3248	2,0623	1,6936
E	1,2269	1,7347	1,4808
F	1,0919	1,6828	1,3874
G	1,52	2,1515	1,8358
G2	1,3728	2,1215	1,7472
G	1,3046	2,0373	1,671
H2	1,2876	2,0242	1,6559

Figura 67. Medias de alturas de olas significativas en el tramo costero de Playa Granada para las distintas alternativas planteadas.

Dados los resultados de las anteriores alternativas, es fácil identificar que las alternativas que menos altura de ola media presentan en los puntos de control tomados son la alternativa F (1,3874 m), la alternativa E (1,4808 m), la alternativa A (1,5994 m), la alternativa H2 (1,6559 m) y por último la alternativa H (1,6710 m) (**figura 67**). De aquí podemos observar que el patrón que mejor resultado proporciona es debido principalmente a un gran número de diques exentos paralelos a la costa, sin ningún espigón, y a un ratio longitud del dique / distancia a la costa pequeño.

Es por ello que decidimos quedarnos con las alternativas F y H para analizarlas más profundamente en pro de quedarnos con una de ellas como solución final, descartando las alternativas E (alternativa de prueba de reducida superficie), alternativa H2 (por superar en el doble la superficie de comparación) y alternativa A (a diferencia de la F y H presenta un espigón en la Punta del Santo).

Por tanto volveremos a usar el software Delft3D para analizar las variantes de las alternativas F y H. Introduciendo estos obstáculos en el programa y bajo las mismas condiciones y parámetros que en las alternativas anteriores obtenemos:

Alternativa F2:

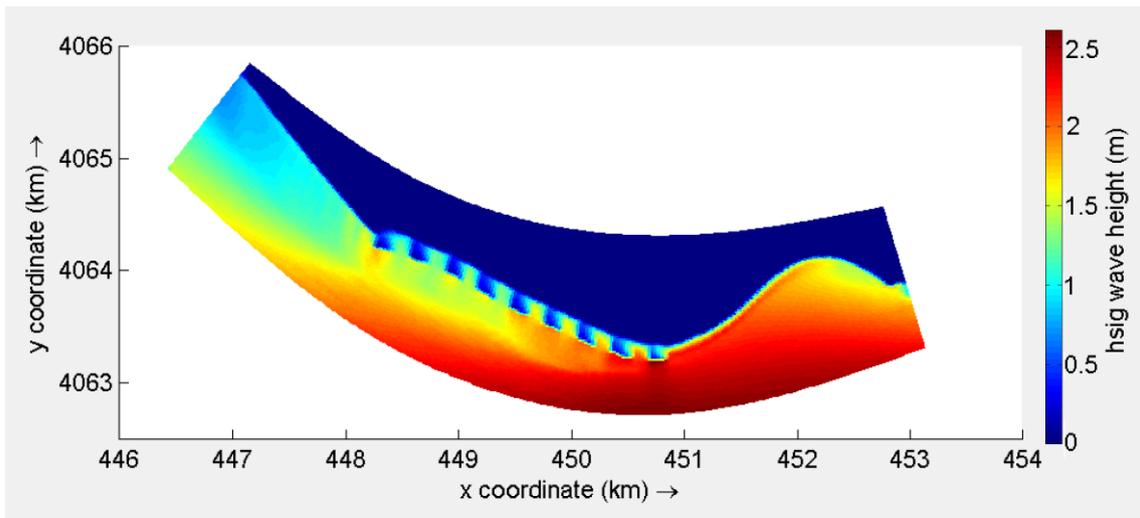


Figura 68. Planta de la alternativa F2 sometida a oleajes del Este.

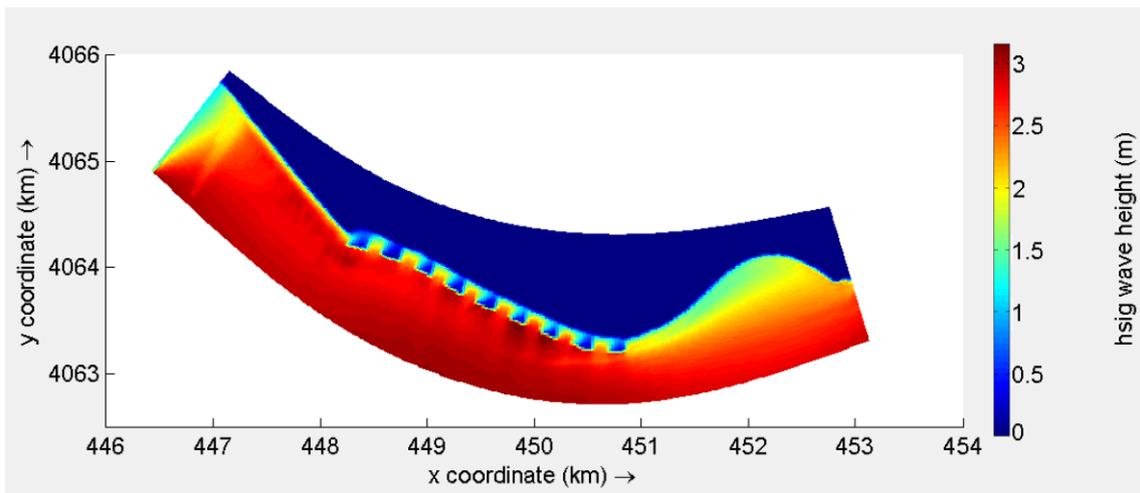


Figura 69. Planta de la alternativa F2 sometida a oleajes del Oeste.

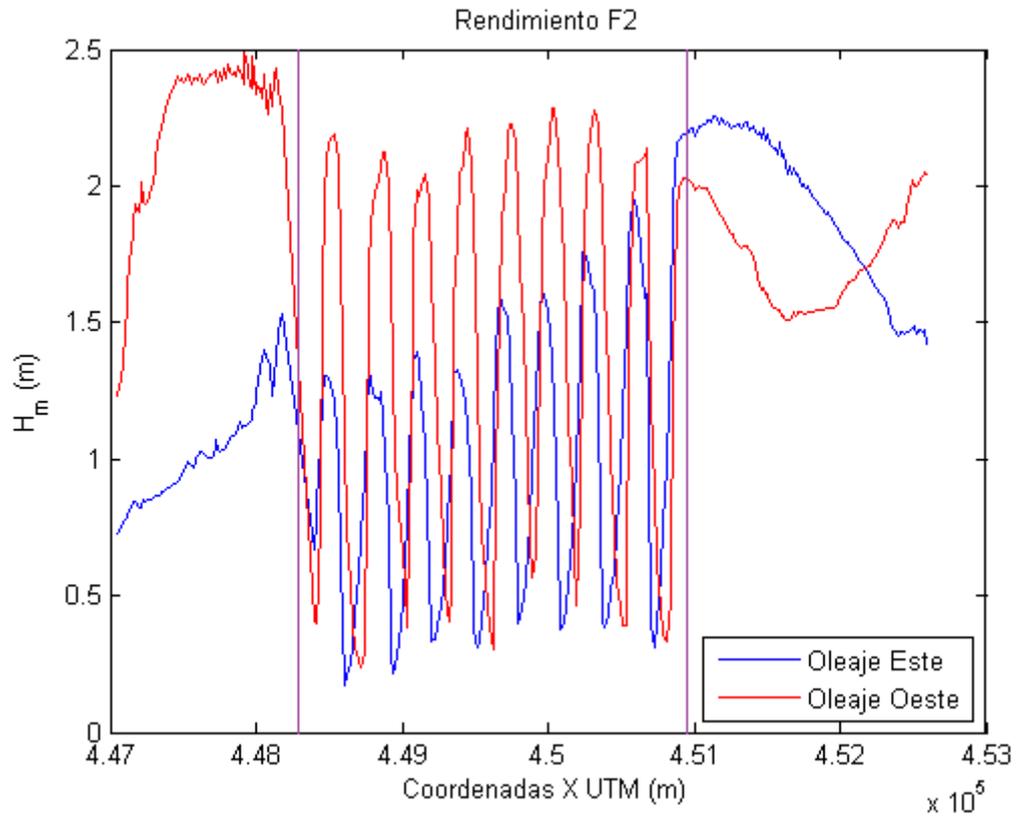


Figura 70. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa F2.

Alternativa F3:

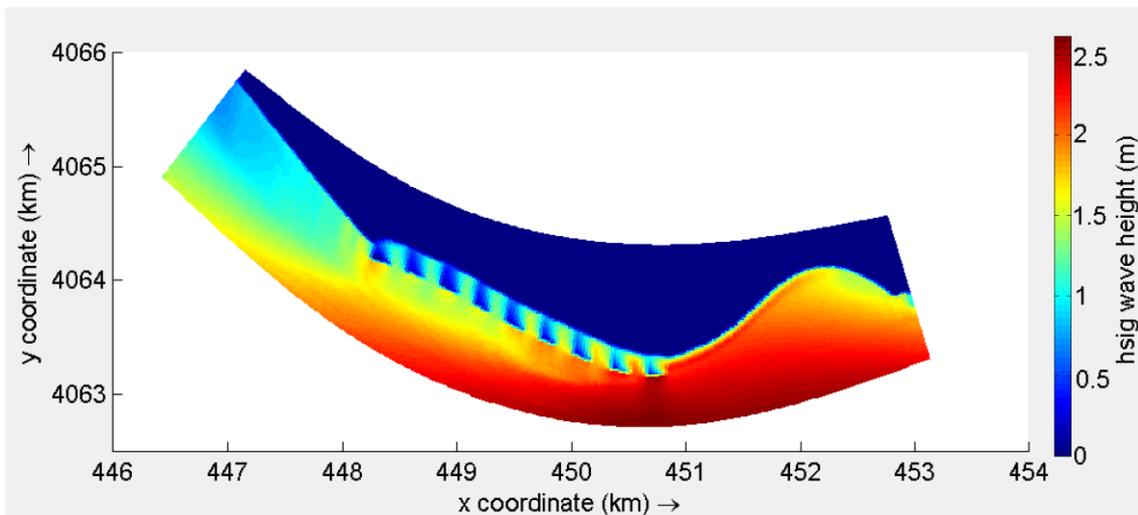


Figura 71. Planta de la alternativa F3 sometida a oleajes del Este.

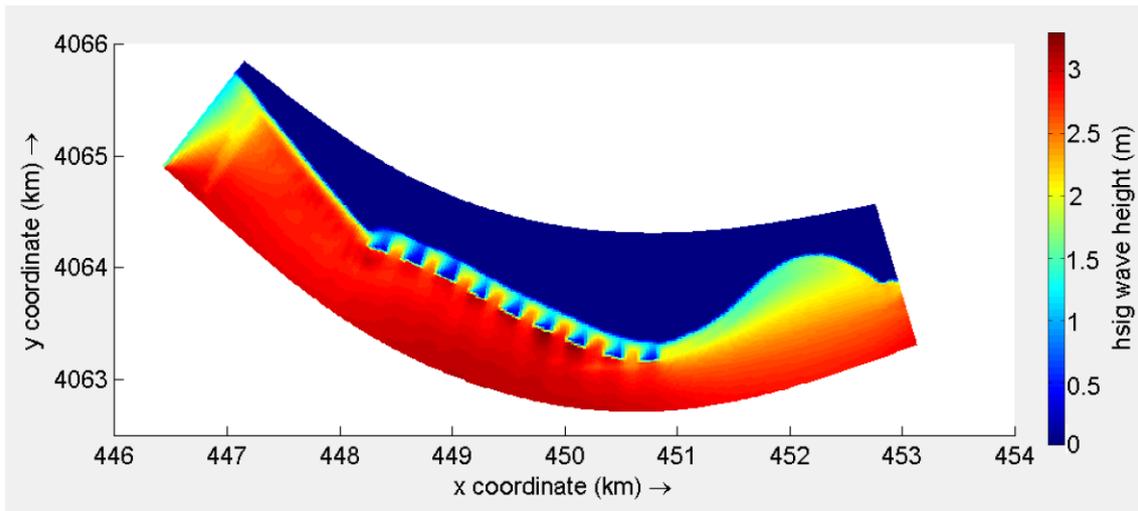


Figura 72. Planta de la alternativa F3 sometida a oleajes del Oeste.

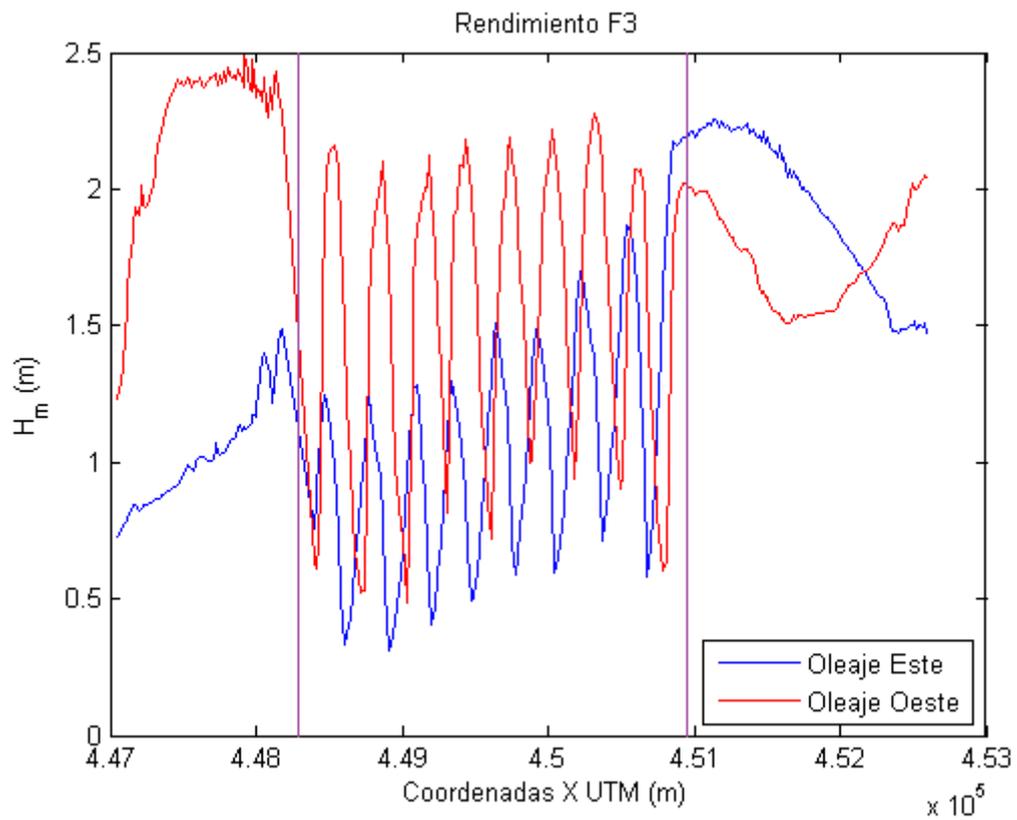


Figura 73. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa F3.

Alternativa F4:

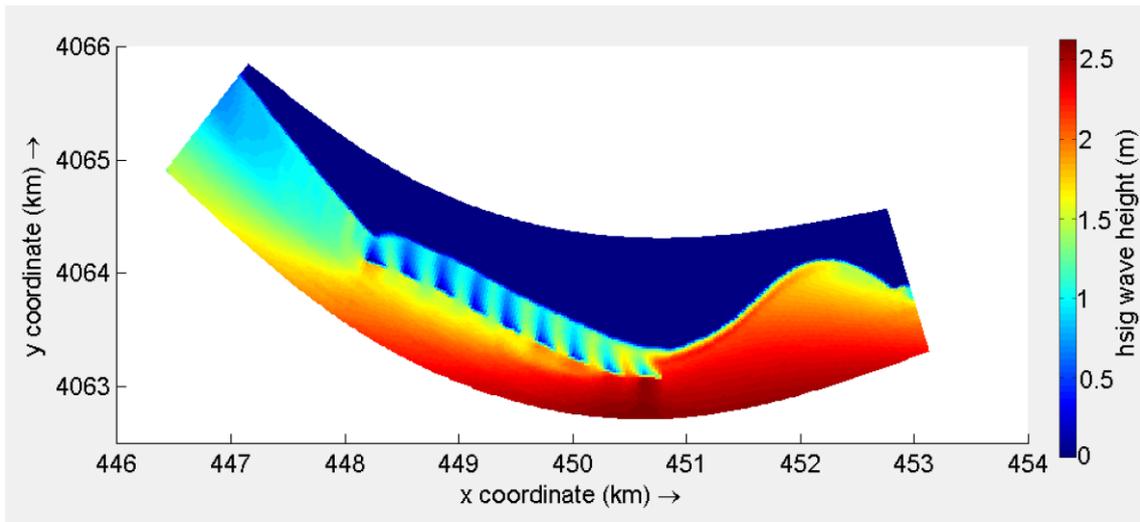


Figura 74. Planta de la alternativa F4 sometida a oleajes del Este.

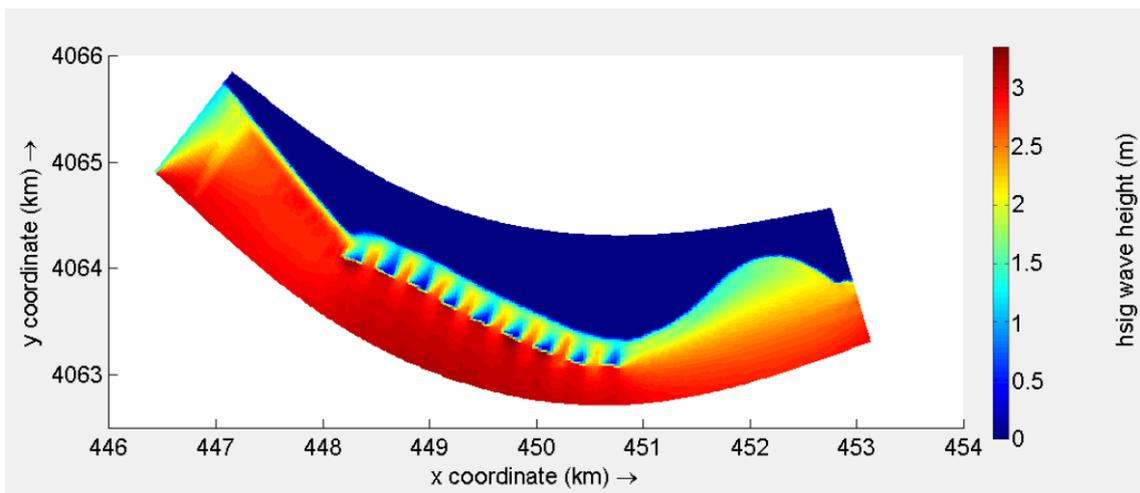


Figura 75. Planta de la alternativa F4 sometida a oleajes del Oeste.

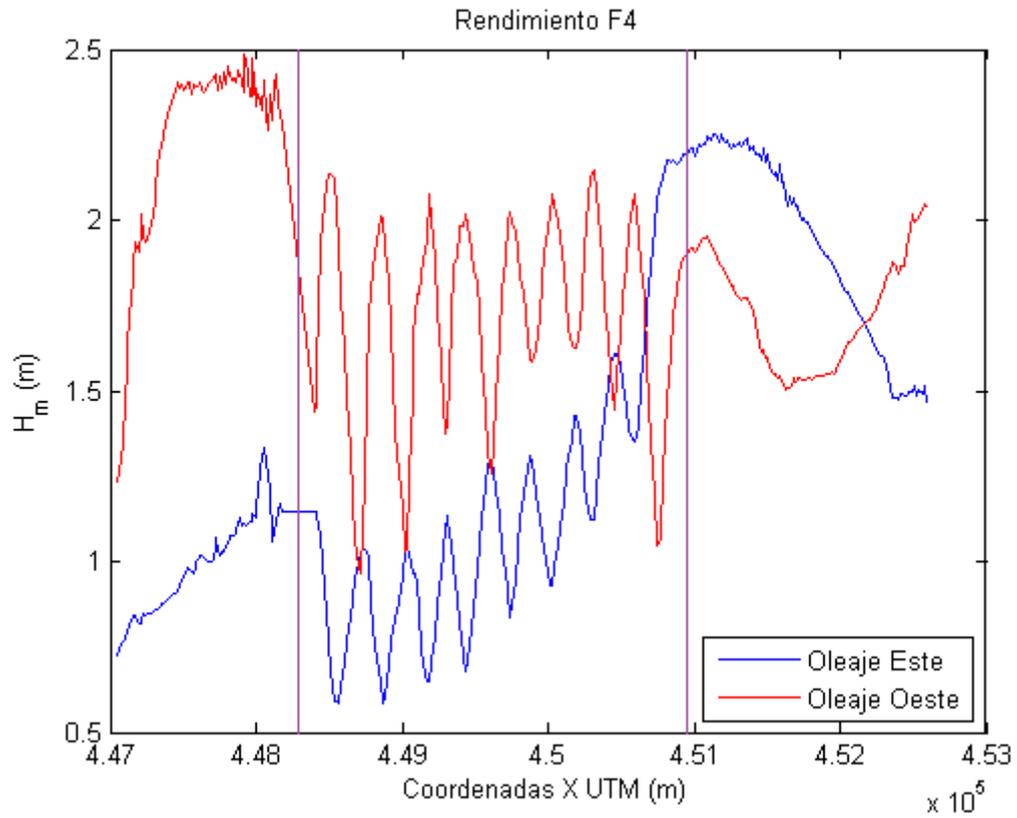


Figura 76. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa F4.

Alternativa F5:

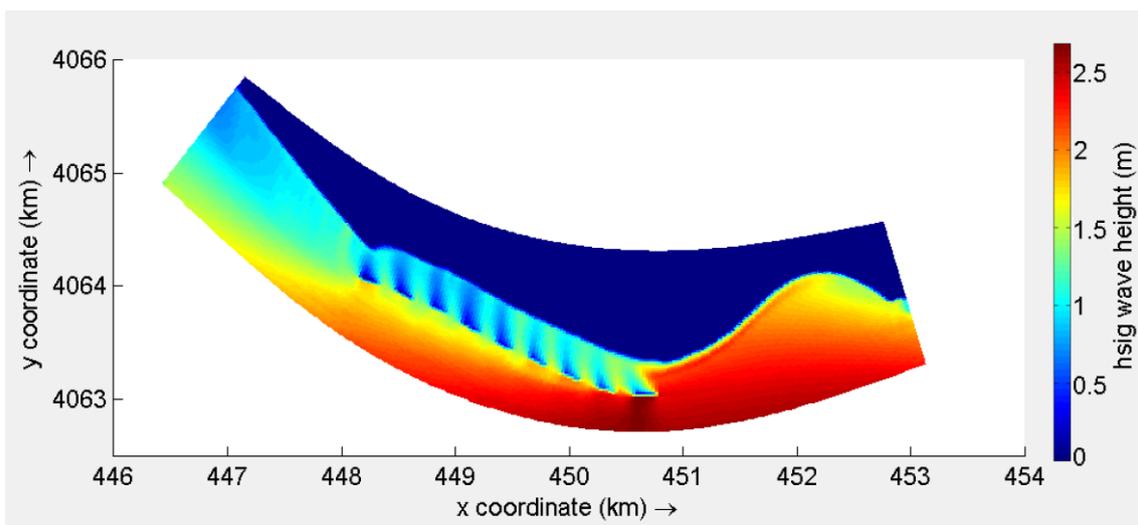


Figura 77. Planta de la alternativa F5 sometida a oleajes del Este.

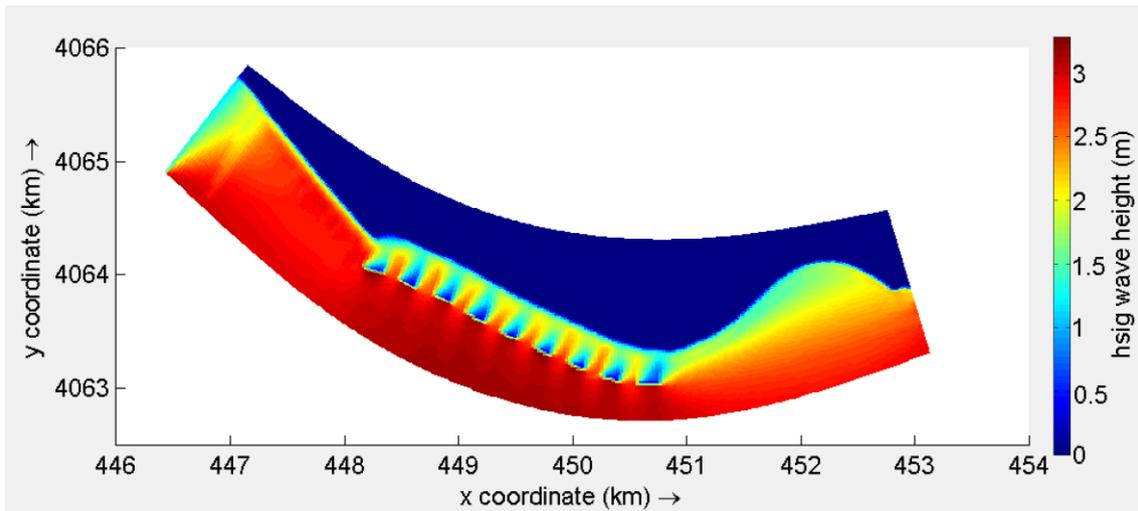


Figura 78. Planta de la alternativa F5 sometida a oleajes del Oeste.

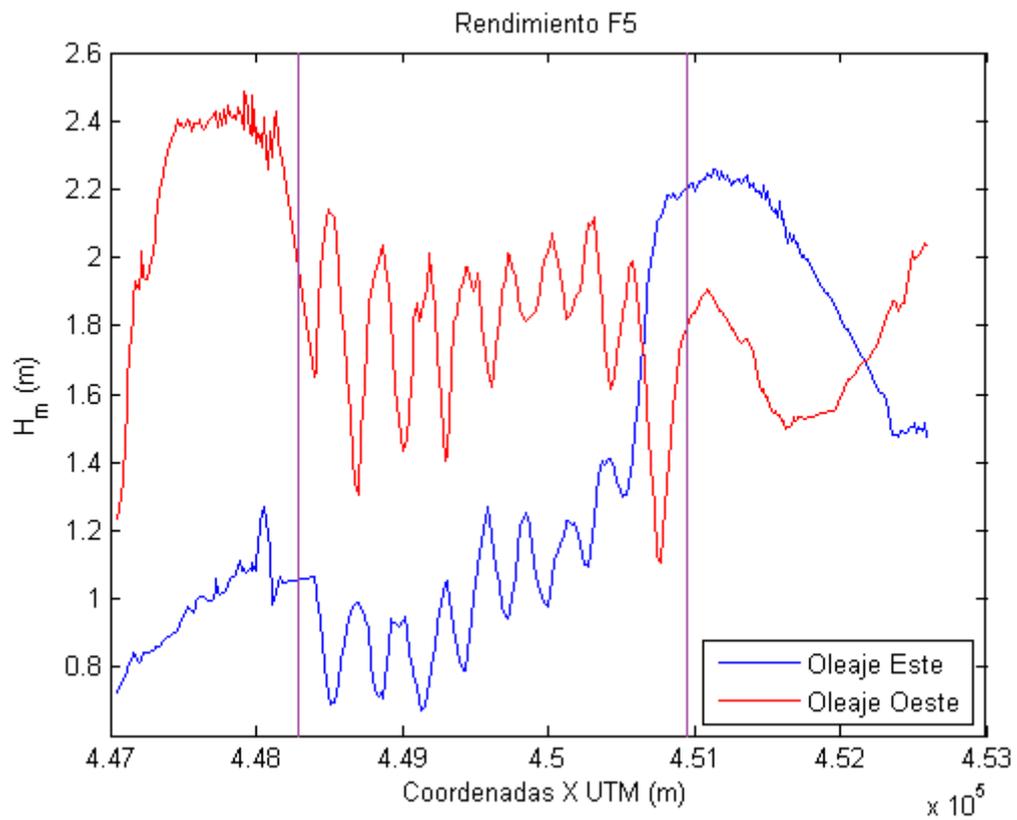


Figura 79. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa F5.

Alternativa H3:

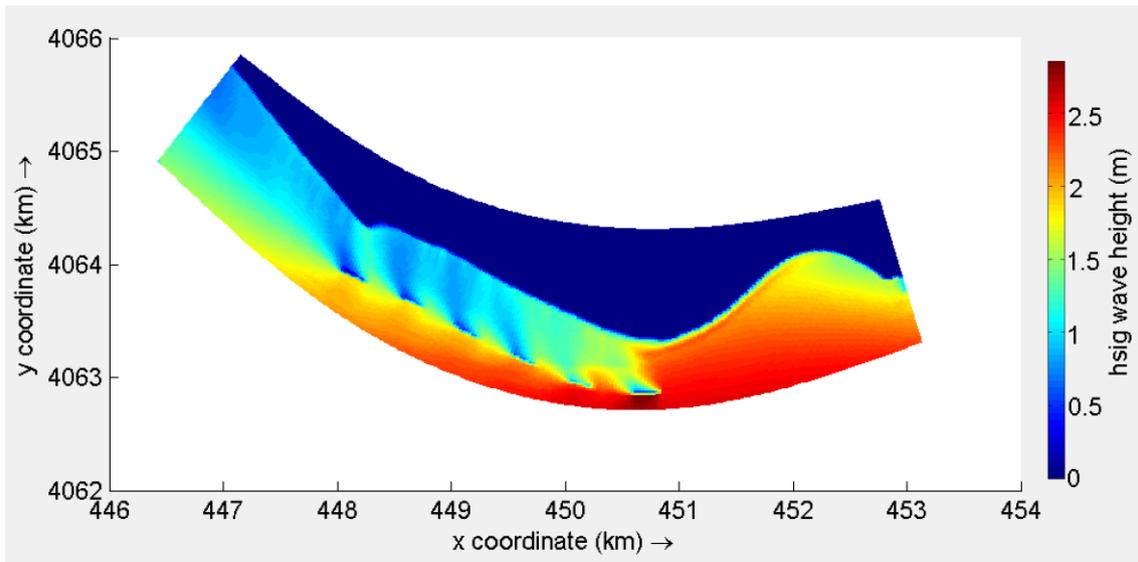


Figura 80. Planta de la alternativa H3 sometida a oleajes del Este.

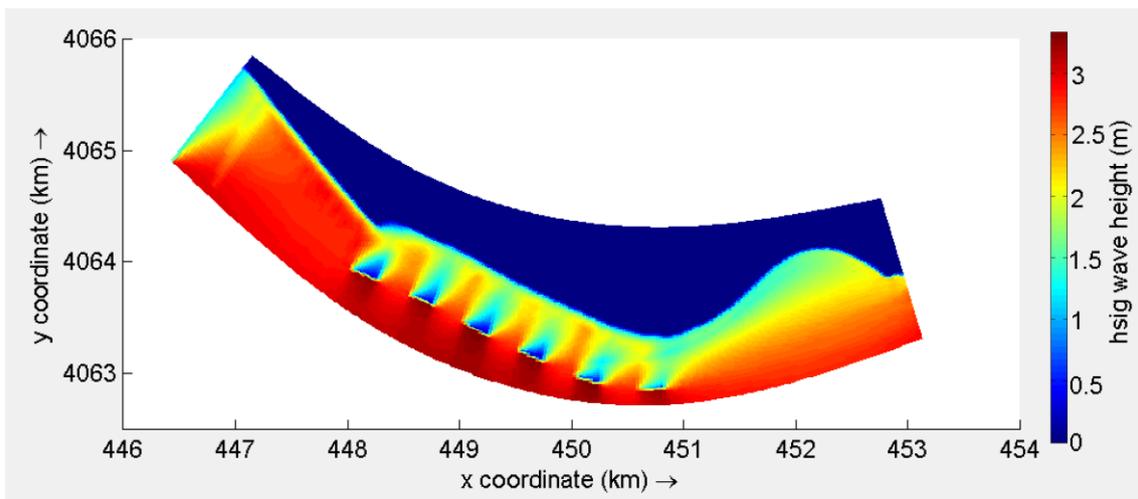


Figura 81. Planta de la alternativa H3 sometida a oleajes del Oeste.

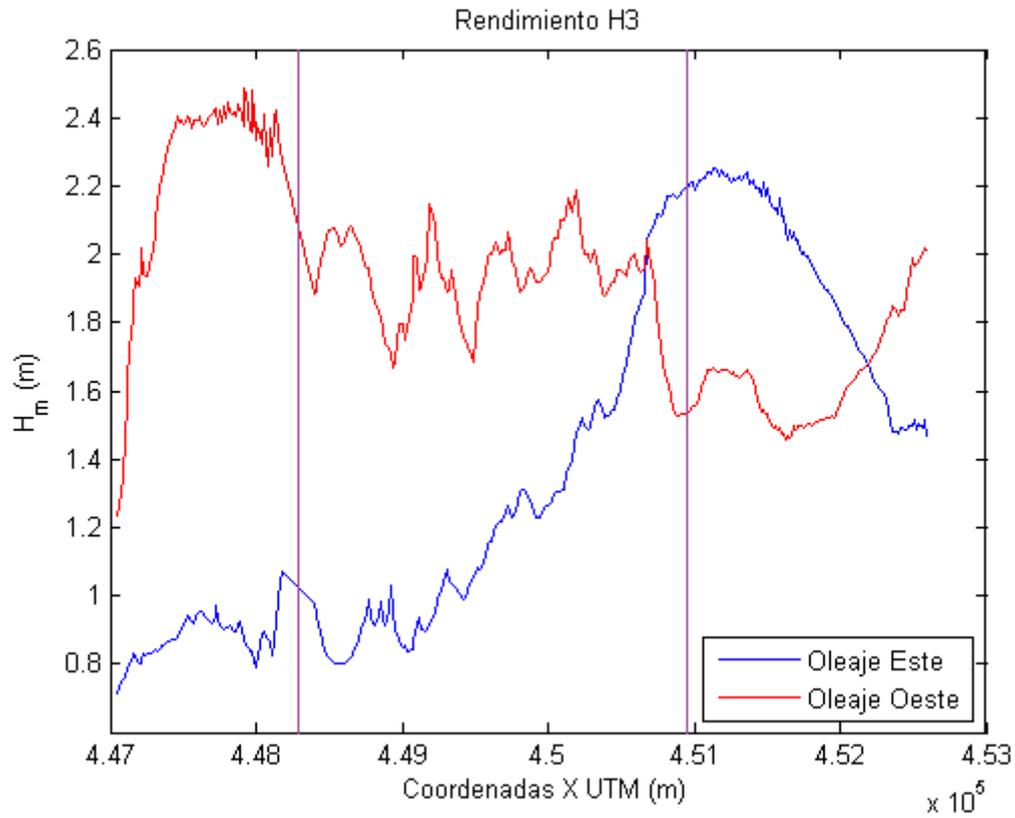


Figura 82. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H3.

Alternativa H4:

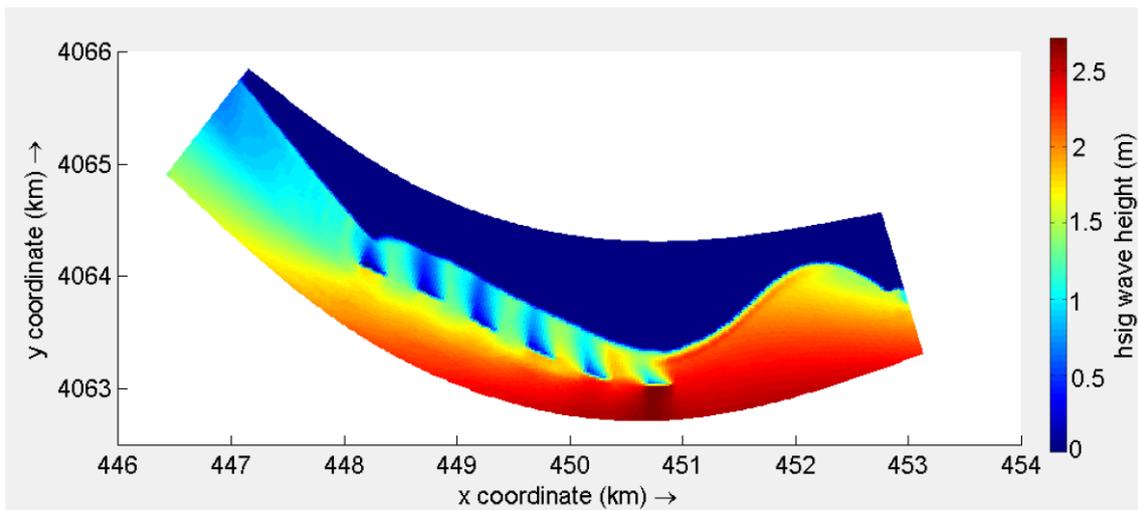


Figura 83. Planta de la alternativa H4 sometida a oleajes del Este.

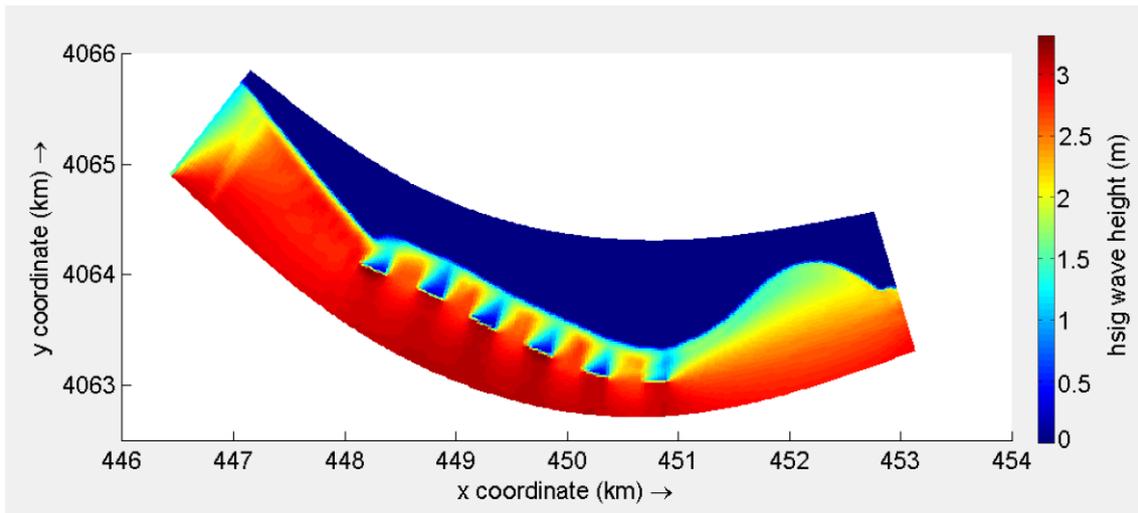


Figura 84. Planta de la alternativa H4 sometida a oleajes del Oeste.

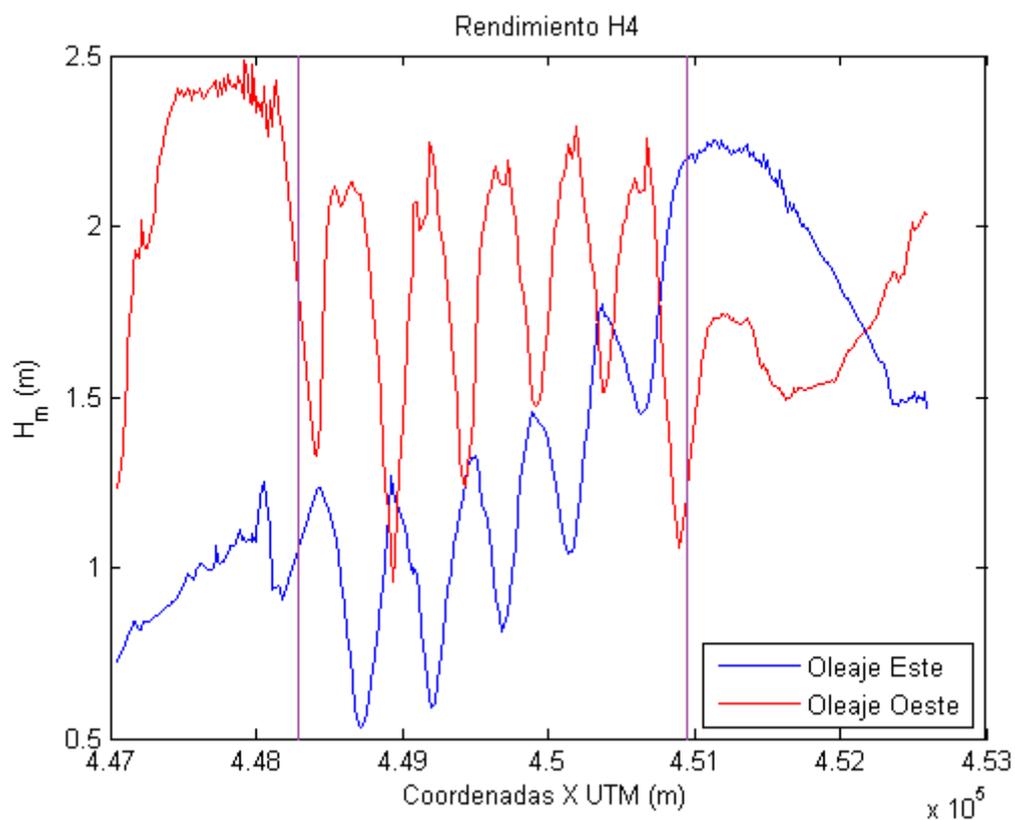


Figura 85. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H4.

Alternativa H5:

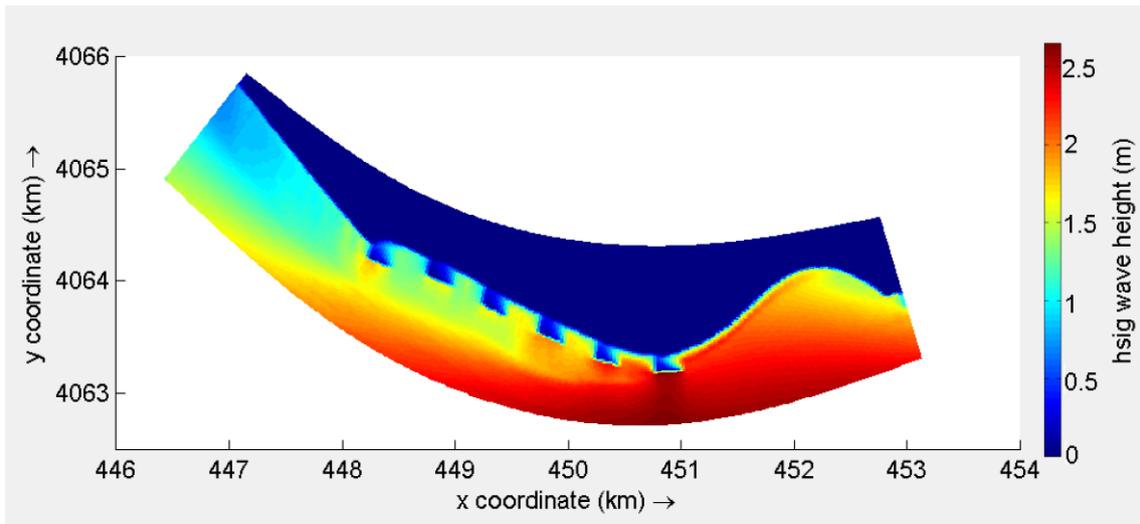


Figura 86. Planta de la alternativa H5 sometida a oleajes del Este.

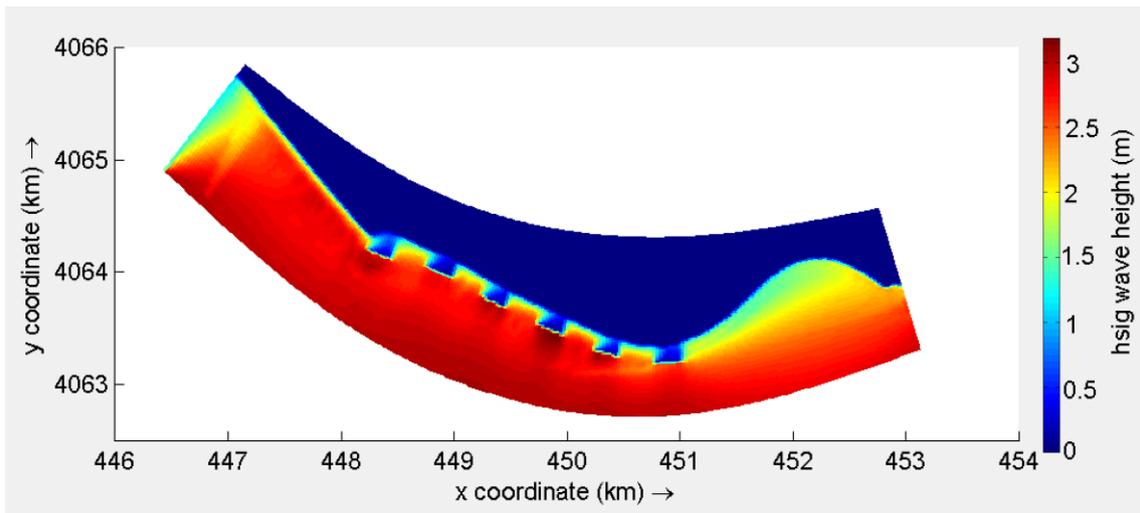


Figura 87. Planta de la alternativa H5 sometida a oleajes del Oeste.

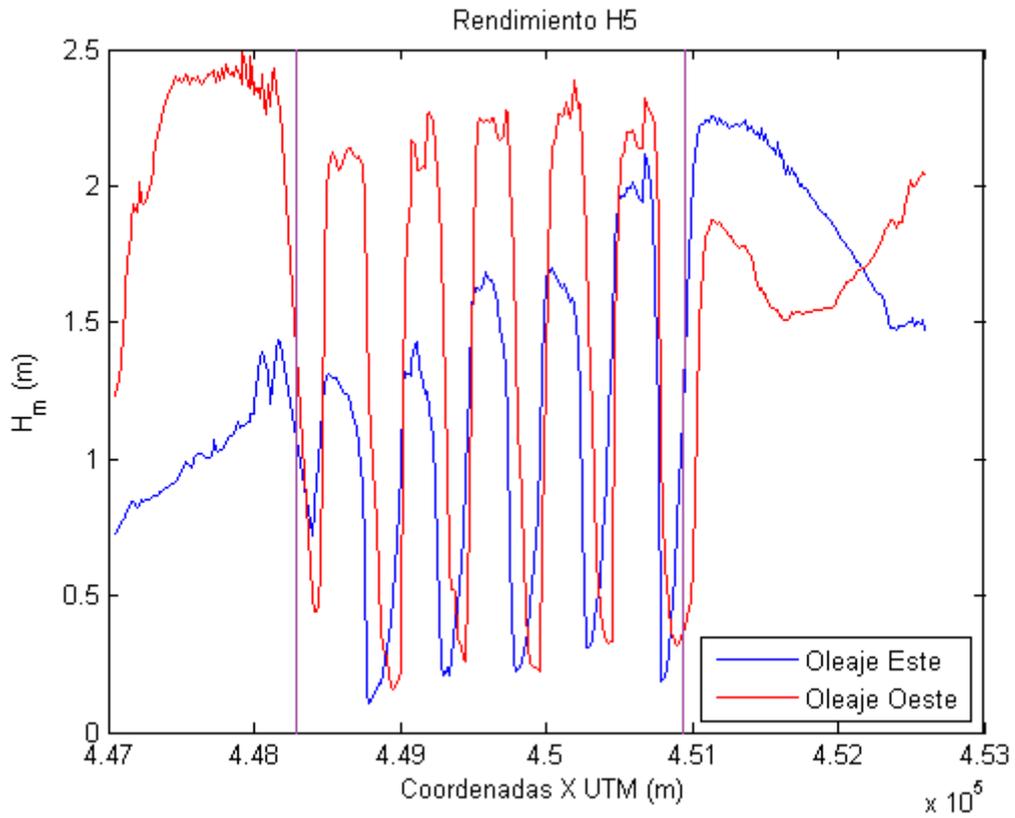


Figura 88. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H5.

Alternativa H6:

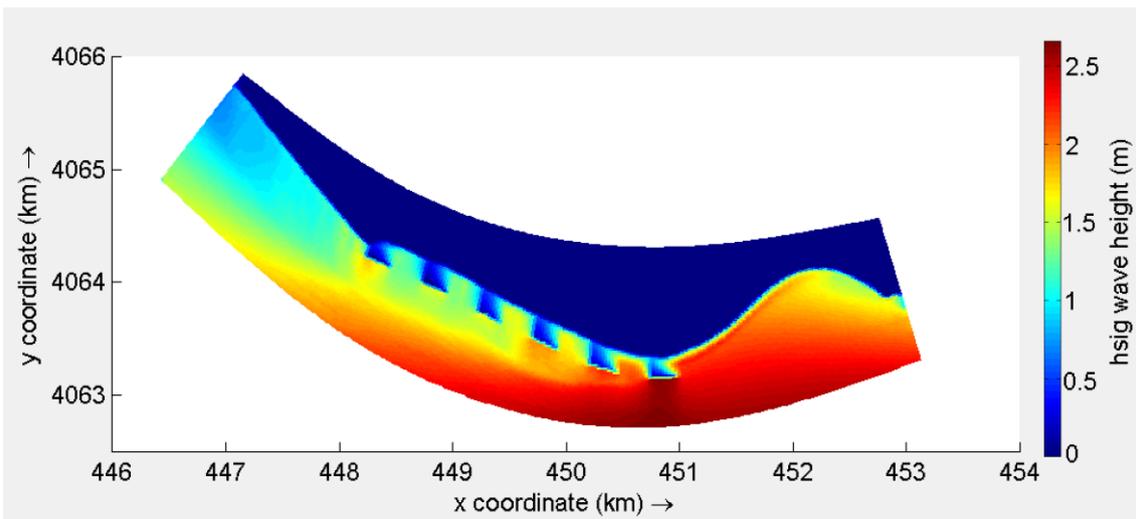


Figura 89. Planta de la alternativa H6 sometida a oleajes del Este.

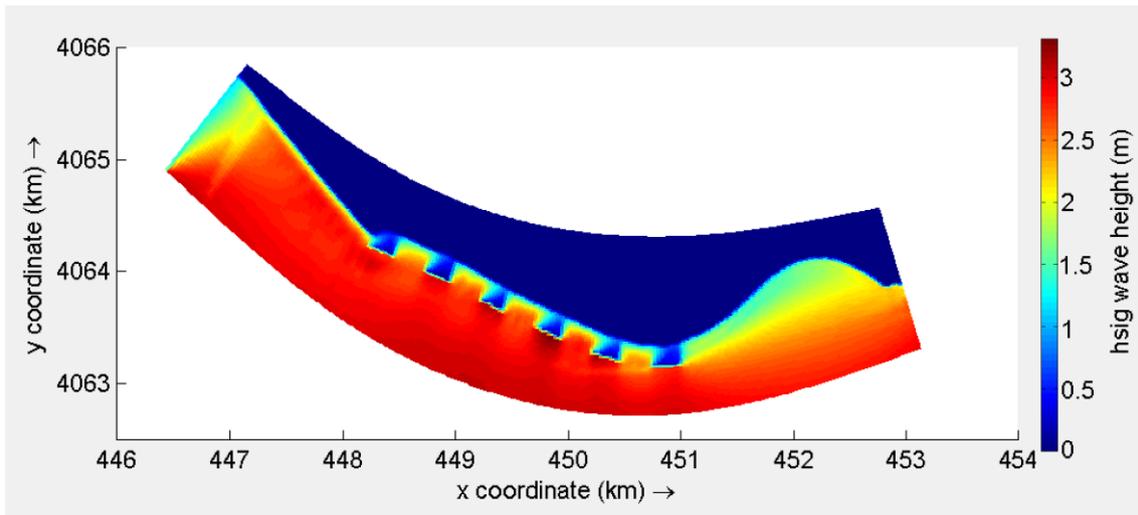


Figura 90. Planta de la alternativa H6 sometida a oleajes del Oeste.

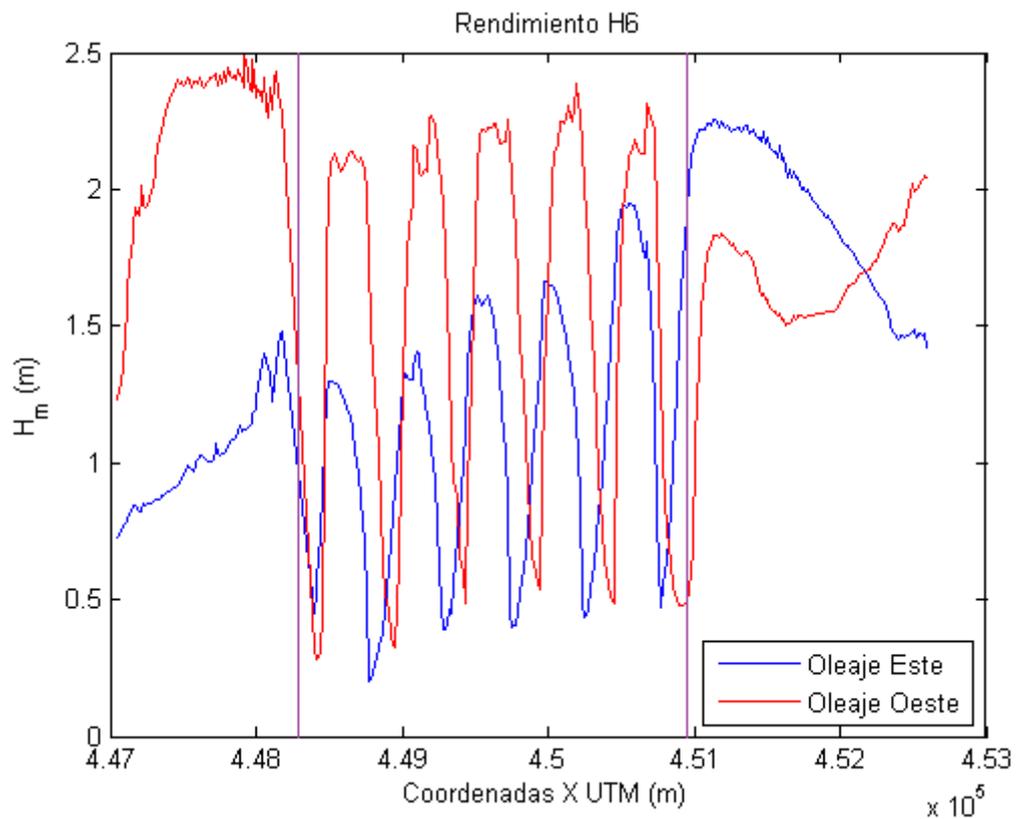


Figura 91. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H6.

Alternativa H7:

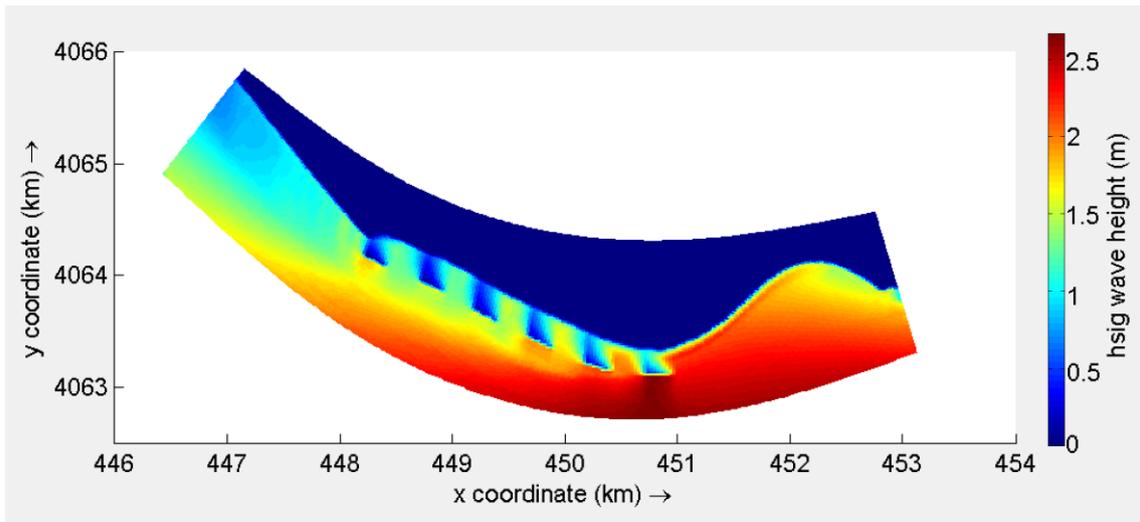


Figura 92. Planta de la alternativa H7 sometida a oleajes del Este.

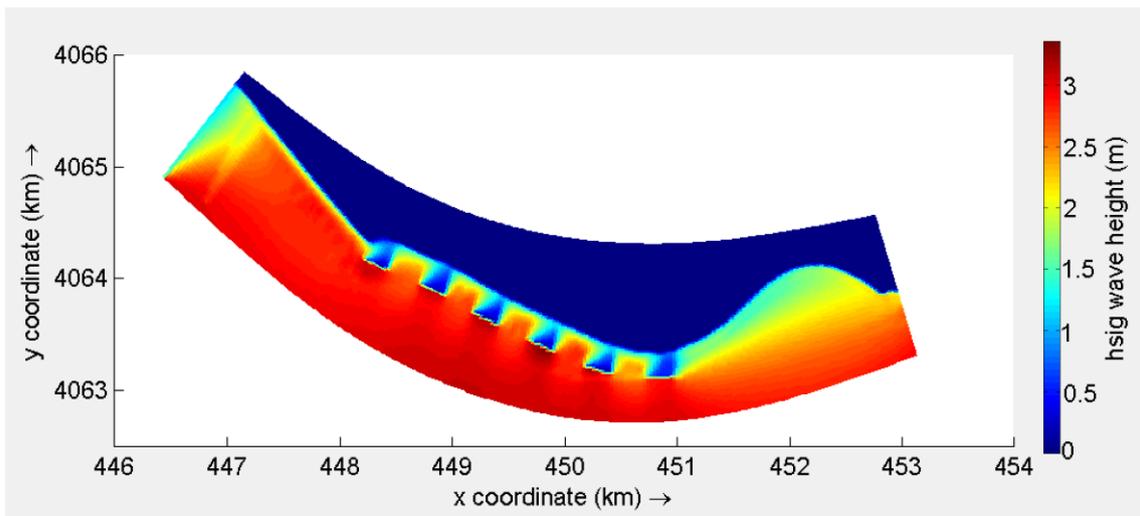


Figura 93. Planta de la alternativa H7 sometida a oleajes del Oeste.

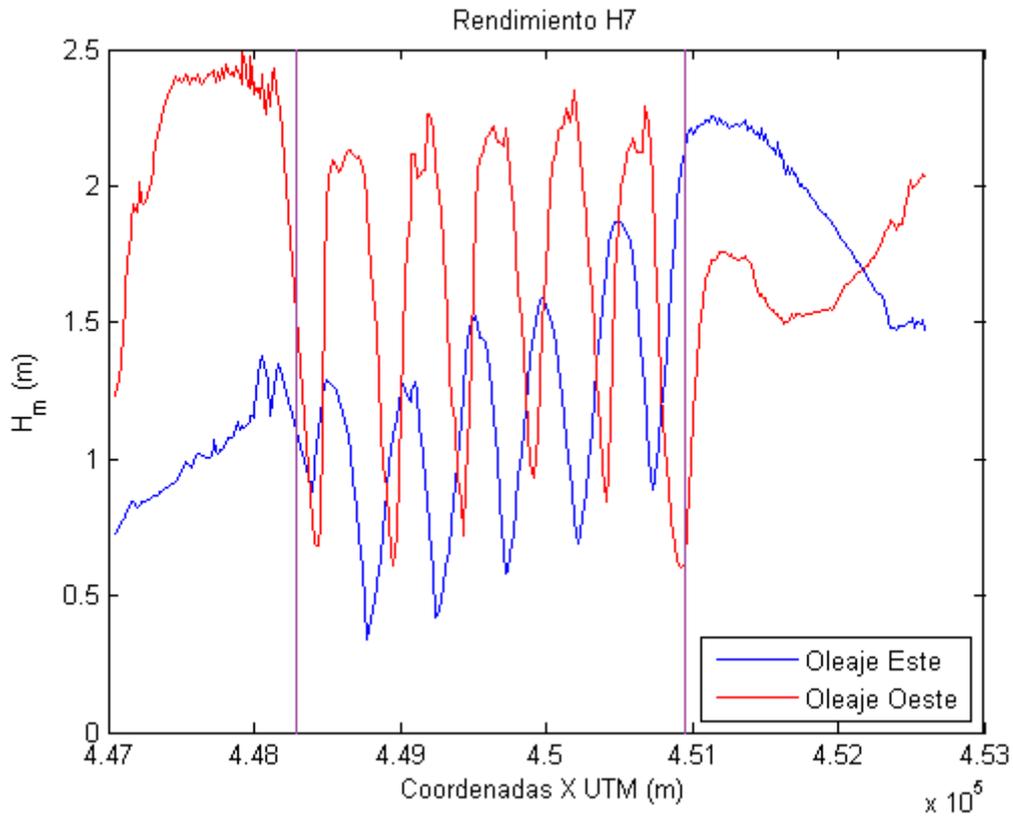


Figura 94. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H7.

Alternativa H8:

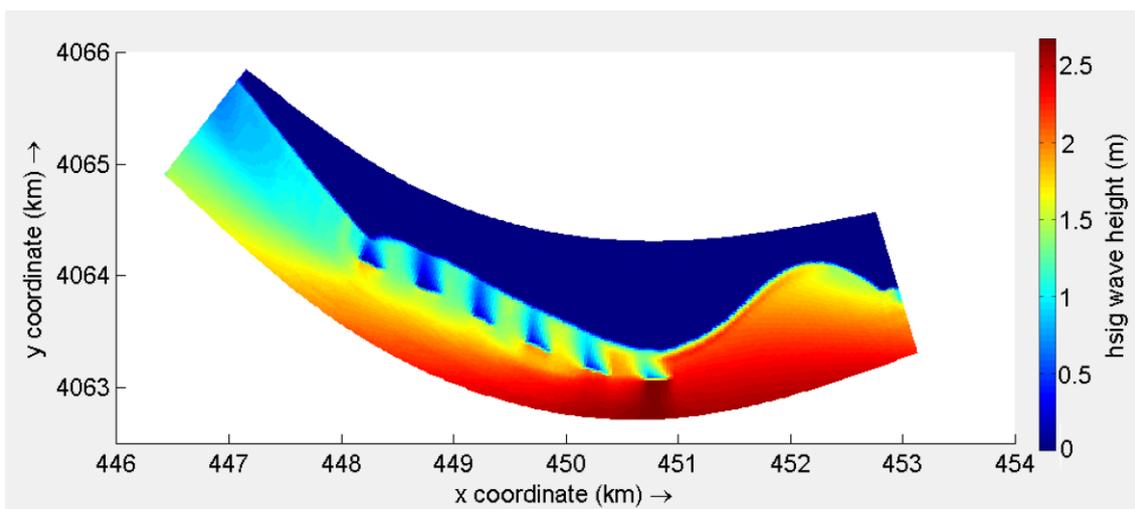


Figura 95. Planta de la alternativa H8 sometida a oleajes del Este.

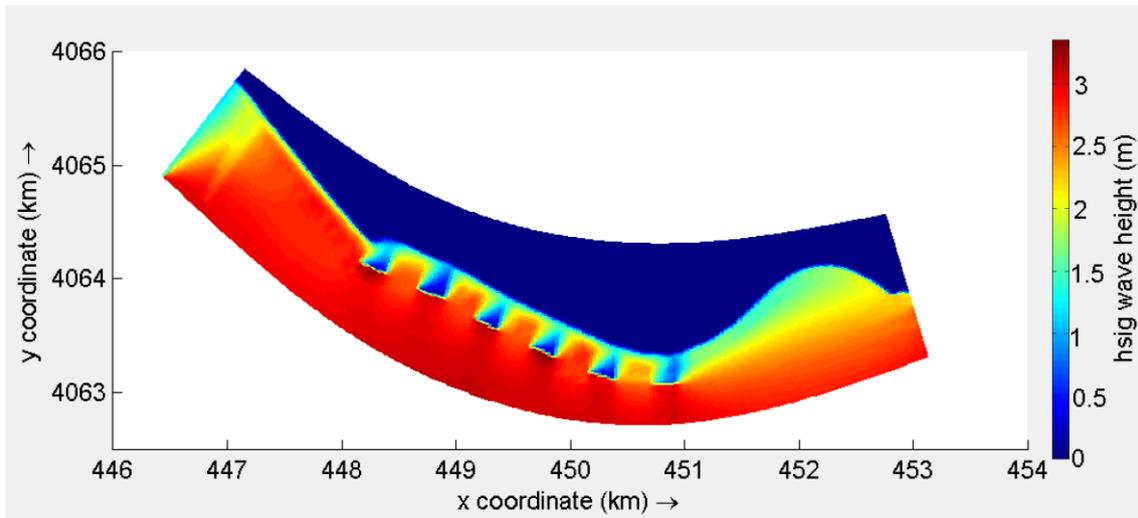


Figura 96. Planta de la alternativa H8 sometida a oleajes del Oeste.

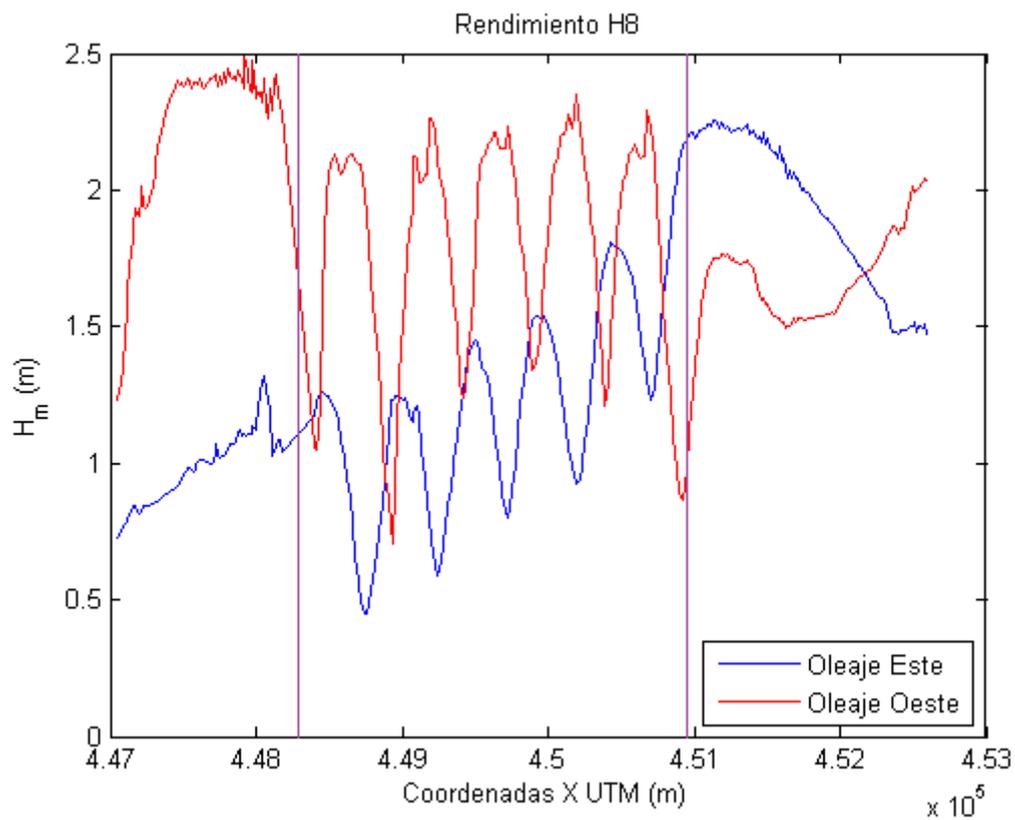


Figura 97. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H8.

Los valores medios para dichas alternativas incluidas las originales F y H se puede apreciar en la **figura 98**.

Medias de alturas de olas significativas en Playa Granada (m)				
Alternativa	Distancia a la costa	Oleaje Este	Oleaje Oeste	Oleaje medio
F2	150	0,96	1,3612	1,1606
F3	200	1,0329	1,5211	1,277
F	260	1,0919	1,6828	1,3874
F4	300	1,1061	1,7105	1,4083
F5	350	1,0984	1,7975	1,448
H5	150	1,0609	1,4724	1,2667
H6	200	1,0769	1,5718	1,3244
H7	260	1,1207	1,6784	1,3996
H8	300	1,1921	1,8134	1,5028
H4	350	1,1781	1,8268	1,5025
H3	550	1,2112	1,9382	1,5747
H	750	1,3046	2,0373	1,671

Figura 98. Medias de alturas de olas significativas en el tramo costero de Playa Granada para las familias de alternativas F y H.

4.2. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA ÓPTIMA

En resumidas palabras podemos ver cómo cuanto más nos acercamos a la costa en cualquiera de las 2 familias de alternativas, más se reducen la altura de ola significativa, produciendo además mayores caídas o picos en los puntos de la costa en los que están situados los diques exentos y disminuyendo la protección de la costa en aquellas zonas que no están situadas justo enfrente de los obstáculos. Extrapolando los datos de altura de ola y distancia de la costa a una imagen que nos muestre gráficamente esta información (**figura 99**) observamos que para una distancia de 260 m las dos familias de alternativas (F y H) están muy próximas en cuanto a altura media de ola significativa, tanto para los oleajes del Este, Oeste y la media de ellos.

Se localiza también un mínimo relativo en dicho punto, 260 m, para la familia de alternativas H por lo que de momento sería una buena elección si nos decantamos por esta familia. Sin embargo en F el cambio de pendiente se presenta a través de un máximo relativo en la misma distancia, 260 m, indicándonos que acercando más los diques se reduce muy rápido la altura de ola, más que con la familia H.

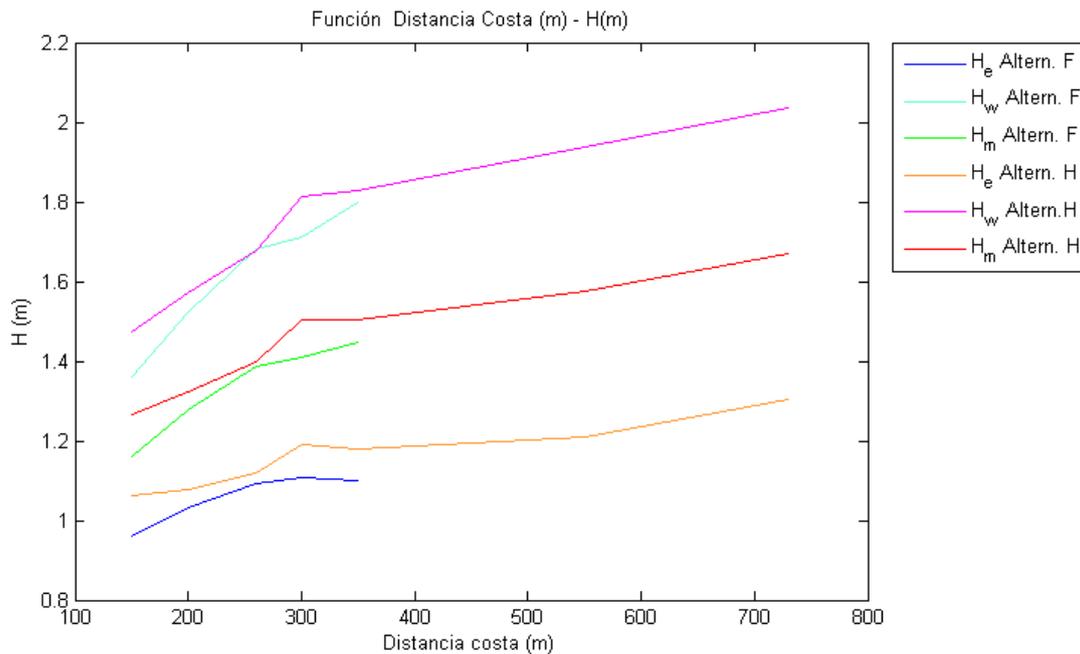


Figura 99. Gráfica Distancia de la costa (m) – Altura media de ola significativa (m)

Sin embargo, como ya se ha comentado antes, cuanto más nos acercamos a la costa, menos protegerán nuestros diques en aquellos lugares que no queden justamente enfrente de ellos, y viceversa, cuanto más lejos se encuentren de nuestra costa, mayor será el área que protejan del oleaje incidente, por lo que se ha decidido realizar la media para estas mismas alternativas eliminando las alturas de olas menores de 0,5 m. De esta forma eliminamos los picos que se forman enfrente de nuestros obstáculos y que distorsionan en parte la media de valores (puesto que no es rentable que estos picos de las gráficas lleguen a unos valores tan bajos). Estos valores se han reflejado en la **figura 100** y la **gráfica 101**.

Medias de alturas de olas significativas en Playa Granada (m) (Sin Picos)				
Alternativa	Distancia a la costa	Oleaje Este	Oleaje Oeste	Oleaje medio
F2	150	1,3872	1,6228	1,505
F3	200	1,1671	1,531	1,3491
F	260	1,1045	1,6828	1,3937
F4	300	1,1061	1,7105	1,4083
F5	350	1,0984	1,7975	1,448
H5	150	1,5188	1,7743	1,6466
H6	200	1,36	1,6636	1,5118
H7	260	1,2029	1,6784	1,4407
H8	300	1,2398	1,8134	1,5266
H4	350	1,1781	1,8268	1,5025
H3	550	1,2112	1,9382	1,5747
H	750	1,3046	2,0373	1,671

Figura 100. Medias de alturas de olas significativas a partir de H=0,5 m en el tramo costero de Playa Granada para las familias de alternativas F y H.

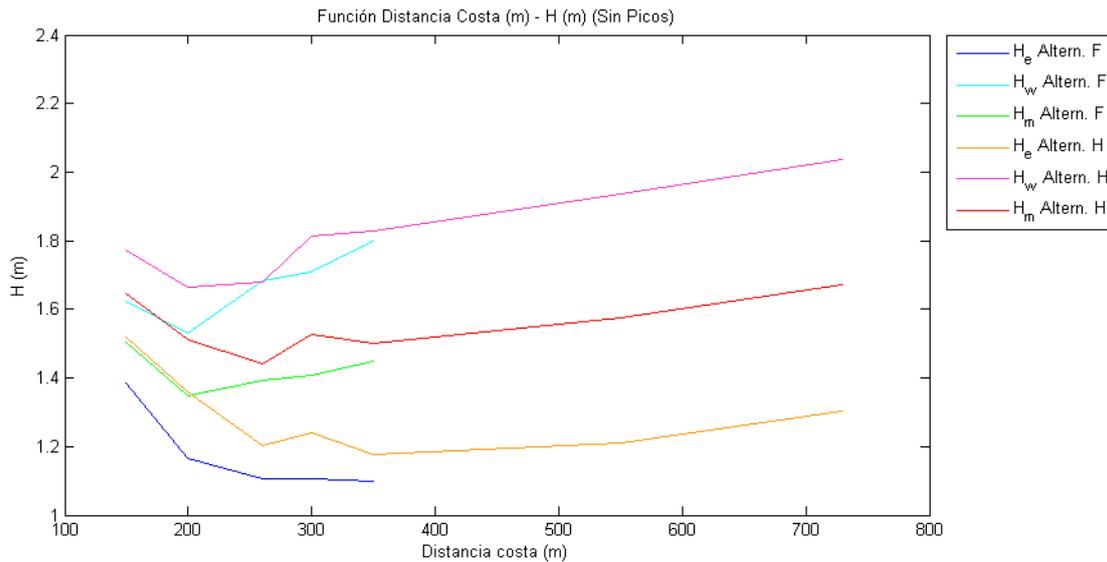


Figura 101. Gráfica Distancia de la costa (m) – Altura media de ola significativa (m) utilizando alturas de olas mayores de 0,5 m.

Mediante la tabla de valores y sobre todo la gráfica, se observan los diferentes valores que toma la media de altura de ola en las diferentes alternativas y nos damos cuenta de que no sigue la misma trayectoria que la misma gráfica observada antes con todos los valores. Al eliminar de esta media los valores menores de 0,5 m, estamos centrándonos en las zonas no cubiertas directamente por los diques y evitando así cierto “error” en su cálculo, puesto que para nuestro caso, no necesitamos que la altura de ola en los puntos enfrentados a nuestros obstáculos alcance valores demasiado bajos.

Nos damos cuenta de que la altura de ola varía de distinta forma para las distancias alternativas dadas según el oleaje del que proceda, pero en definitiva vemos cómo acercándonos a la costa la altura de ola se reduce, hasta que alcanza un mínimo absoluto en el que a partir de el mismo se sacrifica la protección de todo el tramo costero por parte de nuestros obstáculos en pro de disminuir drásticamente la altura de ola en los puntos de nuestro litoral enfrentado a los diques. Fijándonos en la media de los dos oleajes, la familia de alternativas H alcanzará este mínimo a una distancia de 260 m de la costa, mientras que la familia F a 200 m. En nuestro estudio comparativo de las alternativas escogidas tendremos en cuenta este detalle.

En este punto, conocemos cuál sería la distancia óptima a colocar los diques para conseguir un buen rendimiento de los mismos, sin embargo se ha querido introducir otra concepción más de esta distancia en base a obtener un resultado más completo y fiable, por lo que hemos recurrido una vez más al libro “Directrices para el diseño de diques exentos en las costas españolas” que

nos explica la longitud óptima a la que situar los diques exentos en base a su efecto en el litoral y la creación de tómbolos y hemitómbolos o salientes.

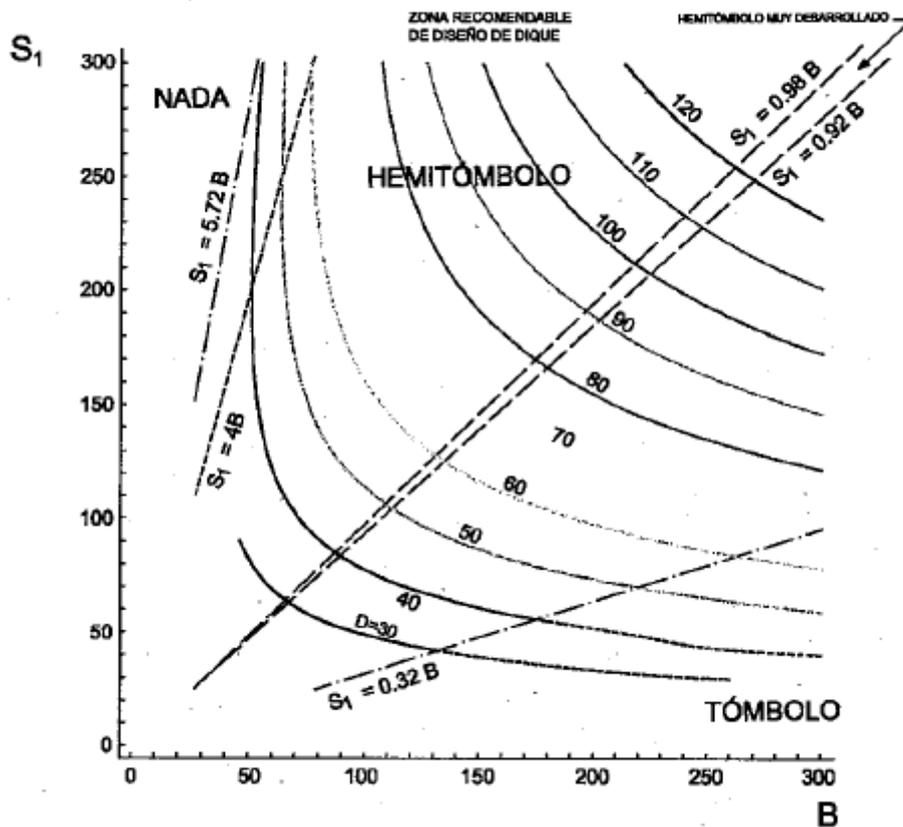


Figura 102. Relación entre B y S1 para un hemitómbolo de longitud D.

Dada la **figura 102**, hemos procedido a calcular las longitudes D de los hemitómbolos que se formarían en base a la longitud B de los diques (H=250 m y F=180 m) y su separación de la costa S1, para después calcular los parámetros S1/B y D/B (**figura 103**) que corresponden con las coordenadas y ordenadas respectivamente de la gráfica de la **figura 104**.

Tabla de hemitómbolos				
Familia de alternativas	Distancia de la costa, S1 (m)	Longitud hemitómbolo, D (m)	Parámetro S1/B	Parámetro D/B
F	150	75	0,83	0,416
	200	90	1,11	0,5
	260	100	1,38	0,55
H	150	88	0,6	0,352
	200	101	0,8	0,404
	260	120	1,04	0,48
	300	130	1,2	0,52

Figura 103. Parámetros a calcular en un hemitómbolo.

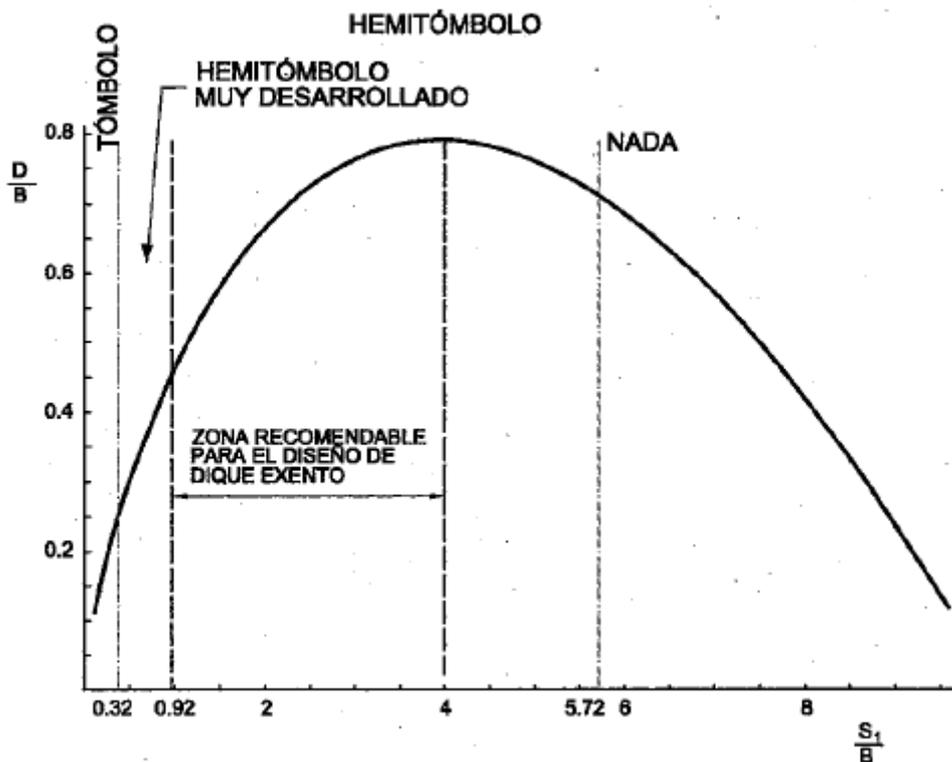


Figura 104. Relación entre S_1/B y D/B .

A partir de esta gráfica y con los datos anteriormente calculados observamos que las alternativas que caen dentro de la “zona recomendable para el diseño de dique exentos” es para la familia de alternativas F a partir de $S_1=200$ m ($S_1/B = 1,11 > 0,92$) y para la familia H a partir de $S_1=260$ m ($S_1/B = 1,04 > 0,92$). Esta zona corresponde a la creación de un hemitómbolo de manera que no quede ni muy cerca del tómbolo (hemitómbolo muy desarrollado) ni con poca respuesta por parte de la costa litoral.

Ahora que tenemos un mínimo de distancia a la costa, podemos realizar el estudio comparativo en el que incluiremos las alternativas H7 (260 m), F3 (200 m), H6 (200 m) y F2 (150 m). Decir que las dos últimas alternativas han sido incluidas por estar muy cerca del límite de 0,92 para el parámetro S_1/B en el cual entran en la zona recomendable para su diseño.

Este estudio comparativo elegirá la mejor alternativa en base a los siguientes criterios: funcionalidad, económico e impacto ambiental. En cuanto a funcionalidad tendremos en cuenta su rendimiento, es decir, cuanto mejora el sistema comparado con la alternativa 0, para ello dividiremos la altura de ola media de los dos oleajes incidentes de cada alternativa entre dicha altura de ola de la alternativa 0 (rendimiento 1), además del rendimiento eliminando las alturas de olas menores de 0,5 m (rendimiento 2).

En el aspecto económico tendremos en cuenta el volumen de escollera total como resultado de la multiplicación del área en planta por su altura, compuesta por la profundidad del fondo marino y la altura (5 m) (*figura 105*). También se considerará la proximidad a la costa (a mayor longitud mayores serán los costes económicos para su construcción) y el número de obstáculos (aunque todas las alternativas poseen igual superficie en planta, resultará más rentable construir menos obstáculos). Decir que las cifras para cada parámetro están dispuestas de tal forma que a mayor valor, mayor puntuación tendrá y por tanto más ventajosa será dicha alternativa.

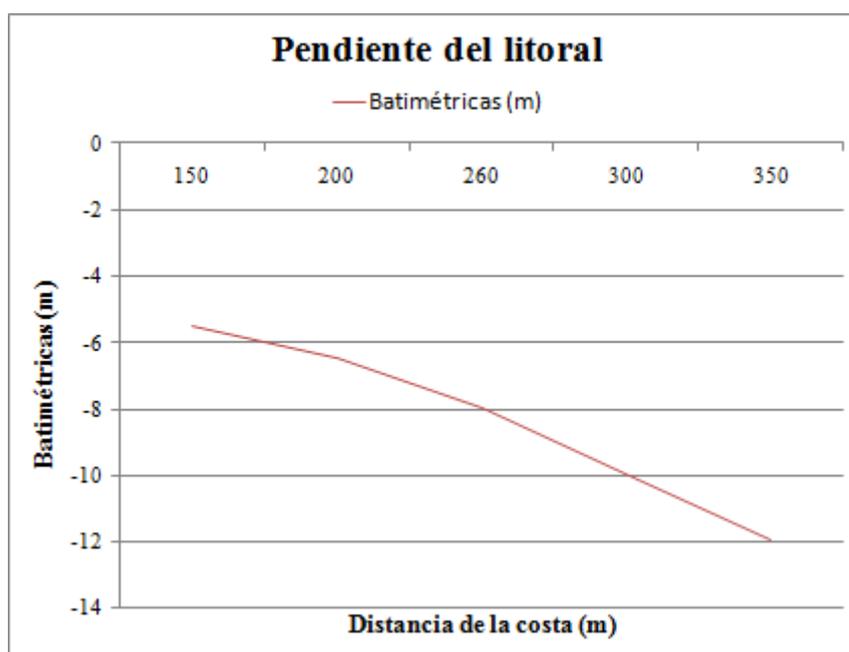


Figura 105. Pendiente del litoral de nuestra zona de estudio.

Por último se ponderará el impacto ambiental de cada alternativa según el número de diques (a mayor número mayor impacto) y la distancia a la costa (reduciéndose dicho impacto al alejarnos de la orilla). De igual forma que los dos anteriores criterios (funcional y económico), a mayor valor de los parámetros en el estudio comparativo, mejor será la alternativa.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la **figura 106**, y vemos como están muy próximos entre ellos, sin embargo la mejor solución a adoptar según esta comparativa sería H6 (0,431), seguida de H7 (0,427), F3 (0,426) y F2 (0,425). Por lo tanto nuestra solución final será la alternativa H6.

Comparativa de alternativas							
Criterios Primarios	Criterios Secundarios	F2	F3	H6	H7	Pond. Secund.	Pond. Prim.
Descripción de la alternativa	Distancia de la costa (m)	150	200	200	260		
	Número de elementos	9	9	6	6		
	Dimensiones (m ²)	180 x 5,1	180 x 5,1	250 x 5,5	250 x 5,5		
Funcionalidad	Rendimiento 1	38,57%	32,41%	29,90%	25,92%	0,6	0,6
	Rendimiento 2	20,35%	28,60%	19,99%	23,75%	0,4	
Económico	Volumen de material	0,774	0,752	0,753	0,721	0,7	0,3
	Distancia	0,815	0,753	0,753	0,679	0,2	
	Nº de diques	0,5	0,5	0,75	0,75	0,2	
Impacto ambiental		0,2	0,3	0,5	0,6		0,1
Resultados		0,425	0,426	0,431	0,427		

Figura 106. Criterios seguidos y resultados obtenidos en el estudio comparativo.

4.3. OPTIMIZACIÓN DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA MEDIANTE LA REDUCCIÓN DE SU COTA DE CORONACIÓN

El último paso para definir completamente nuestra alternativa final consistirá en elegir su altura de coronación o francobordo. Para ello simplemente hemos calculado mediante el programa Delft3D distintas alturas (de 0 a 5 m sobre el nivel del mar) para posteriormente pasar los resultados obtenidos a una gráfica. Al igual que anteriormente, hemos considerado las medias para todos los datos obtenidos (figura 107) y para sólo los mayores de 0,5 m (figura 108).

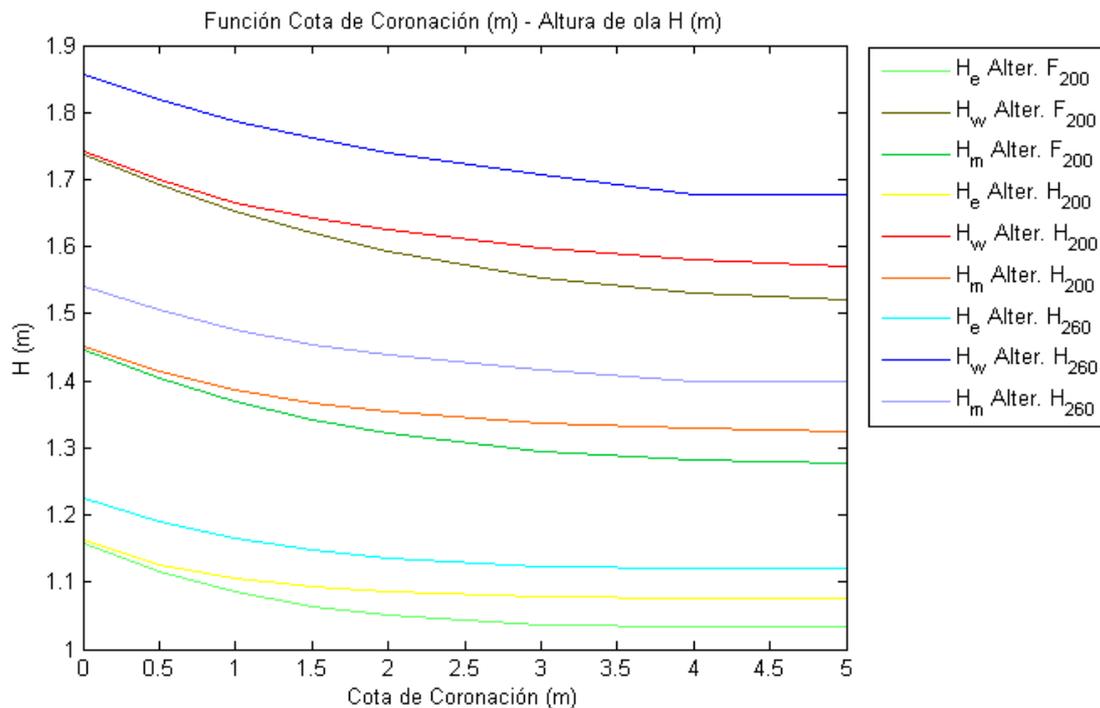


Figura 107. Gráfica de cota de coronación frente a altura de ola.

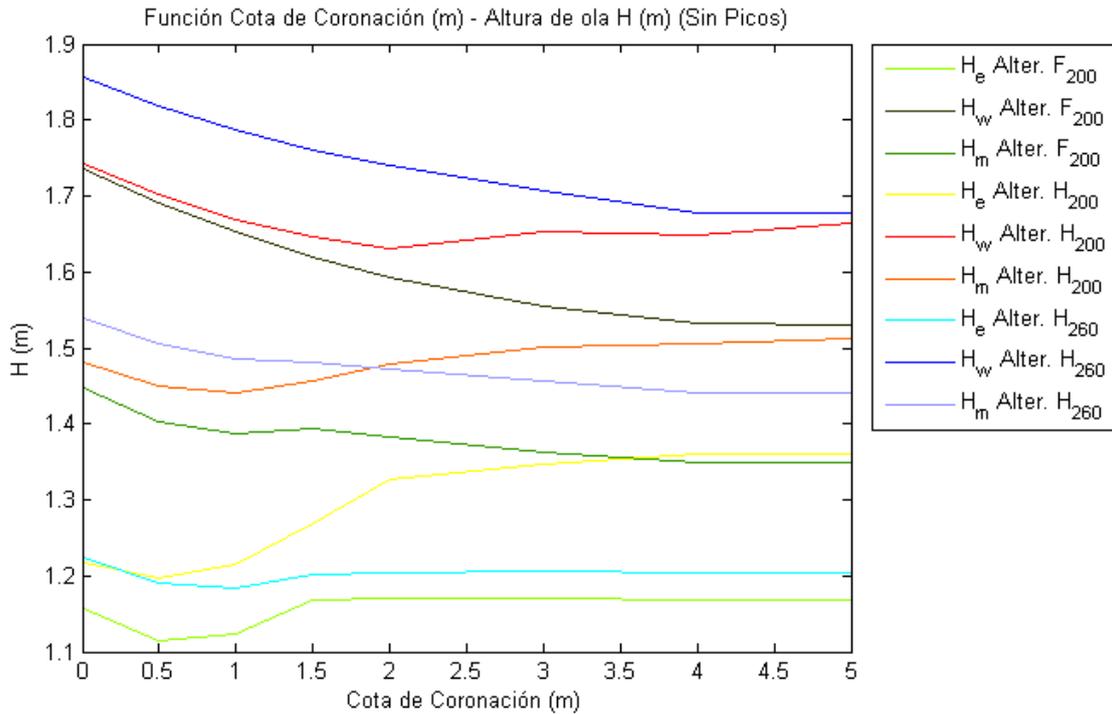


Figura 108. Gráfica de cota de coronación frente a altura de ola utilizando alturas de olas mayores de 0,5 m.

Aunque la alternativa escogida como solución final es H6, hemos querido dibujar las gráficas para las siguientes 2 mejores alternativas (H7 y F3). Vemos que ambas figuras presentan un patrón parecido de sus trayectorias, pareciéndose más las de la alternativa H7, puesto que al estar más lejos coinciden más y no se ve tan afectada por la eliminación de los valores de altura de ola menores de 0,5 m. También se observa como la distinta altura del francobordo en la segunda gráfica varía entre los oleajes del Oeste (se aproxima a la forma de la primera gráfica menos en el caso de la alternativa H6 que experimenta un mínimo en 2 m) y del Este (las alternativas H6 y F3 tienen un mínimo en 0,5 m y H7 en 1 m, a diferencia de la primera gráfica). Además, como dato interesante vemos que para valores bajos de la altura del francobordo, los oleajes del oeste de las alternativas F3 y H6 tienden a aproximarse, ocurriendo esto también para los oleajes del Este de las alternativas H6 y H7.

A la hora de escoger el valor de cota de coronación para nuestra solución final H6, vemos que la línea para la media de oleajes de la primera figura experimenta un cambio de pendiente entre los valores de 0,5 m y 2 m de forma muy suave, sin embargo, en la figura sin los valores pico, si existe un mínimo en el valor de 1 m. Es por ello que elegiremos 1 m de valor para nuestro francobordo, puesto que a menores cotas sólo maximizaremos los valores punta en las zonas enfrentadas a los diques (**figuras 109, 110 y 111**). El rendimiento final o porcentaje de altura de

ola reducida respecto a la alternativa 0 o de no actuación por tanto sería de 29,7% para el oleaje del Este, 24,5% para el oleaje del Oeste y 26,7% para la media de los dos.

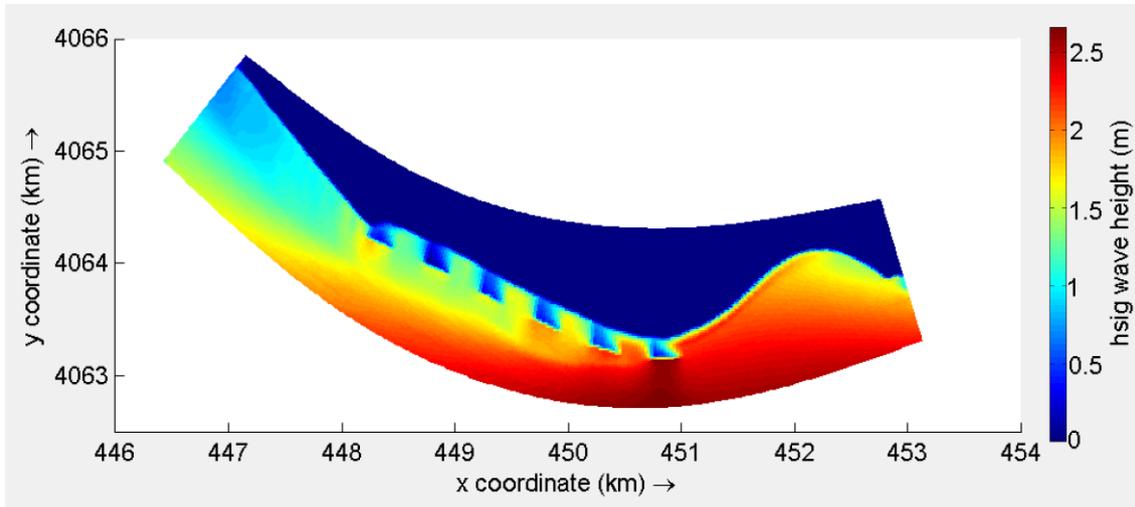


Figura 109. Planta de la alternativa H6 con cota de coronación 1 m sometida a oleajes del Este.

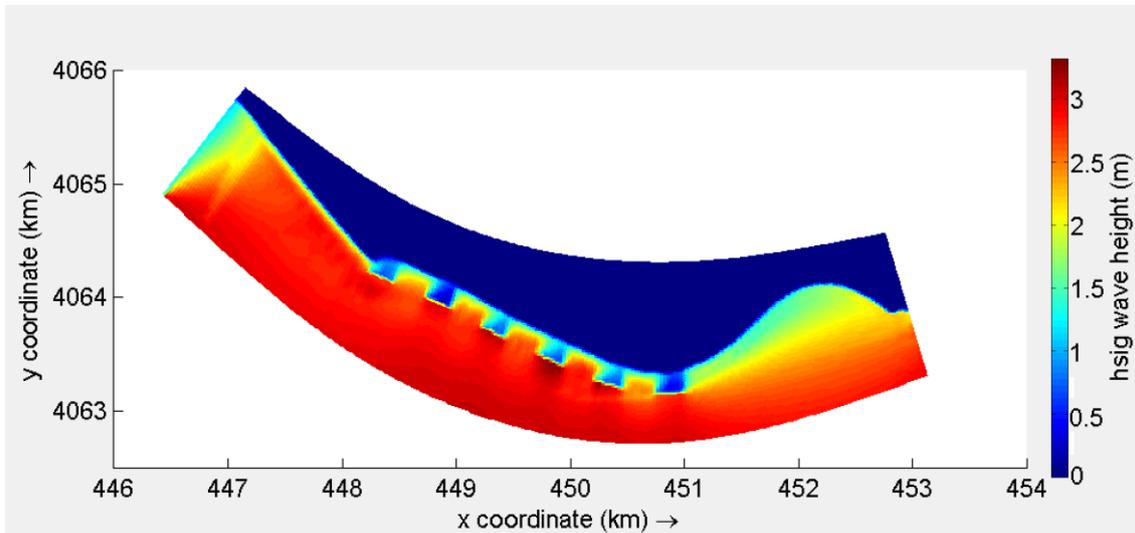


Figura 110. Planta de la alternativa H6 con cota de coronación 1 m sometida a oleajes del Oeste.

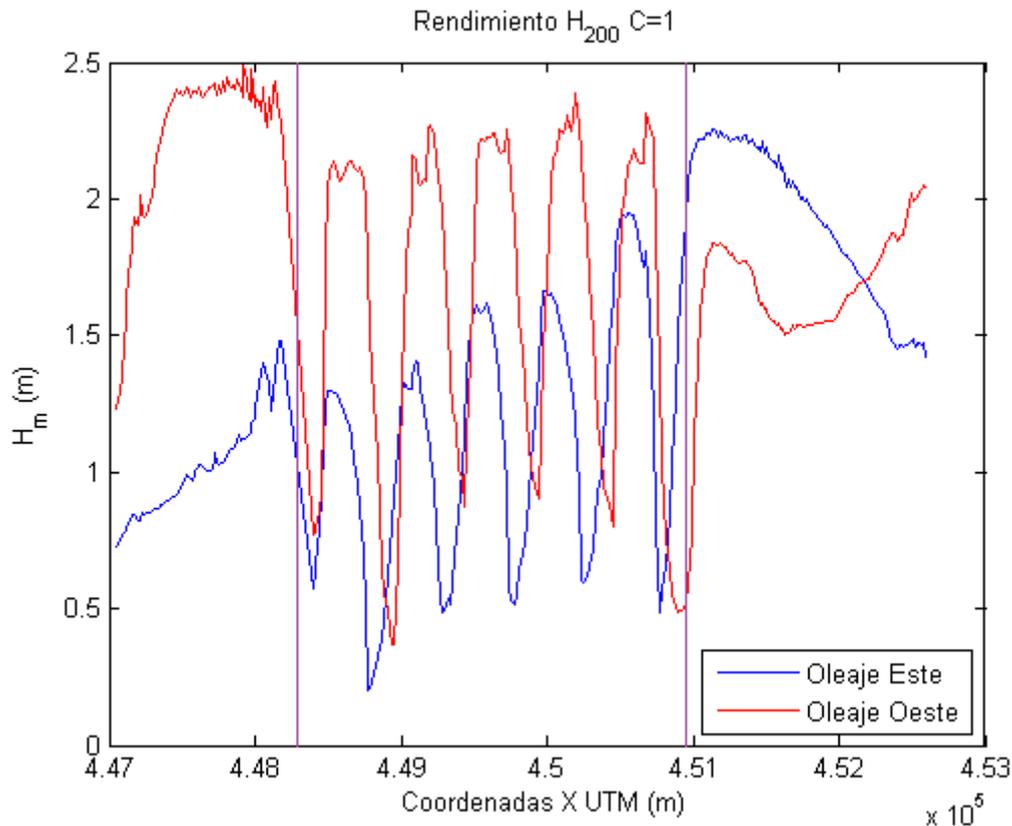


Figura 111. Alturas de ola de los dos oleajes en los puntos de la batimétrica 4 para la alternativa H8.

4.4. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SELECCIONADA

La última fase para definir completamente nuestra solución, una vez elegida la mejor alternativa y optimizado su cota de coronación, es diseñar un dique exento, puesto que los demás son iguales entre sí. Para ello se diseñará mediante los modos de fallo de extracción de piezas del manto principal y deslizamiento entre mantos.

El primer paso consiste en calcular el peso de los bloques que conformarán el manto principal. Usaremos una fórmula obtenida mediante la simplificaciones e hipótesis de varios monomios: $w = \varphi \cdot H^3 \cdot \gamma_w \cdot S_r / (S_r - 1)^3$, donde “ φ ” es una función de estabilidad que depende del tipo de pieza, el criterio de avería y el número de Iribarren, “H” es la altura de ola máxima que se calculará como $H = 1,6 \cdot H_s$ siendo “ H_s ” la altura de ola significativa dado un determinado tiempo de retorno, “ γ_w ” es la densidad del agua (tomaremos $\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$) y por último “ S_r ” es la densidad relativa entre la densidad del material a emplear en la construcción del dique (en nuestro caso utilizaremos escollera, siendo su densidad $\gamma_e = 2,6 \text{ t/m}^3$) y la densidad del agua.

Antes que nada proceremos a calcular un dato importante que nos parmitirá aplicar la fórmula antes expuesta: el período de retorno.

Cálculo del período de retorno:

Con frecuencia el proyecto de una obra marítima se decide a partir de estudios externos previos, en los que se analizan las repercusiones económicas, sociales y ambientales. En función de dichas repercusiones es posible definir los caracteres general y operativo de la obra marítima.

El carácter general de la obra sirve para caracterizar la importancia de un tramo de obra marítima, así como la repercusión económica, social y ambiental en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad.

El carácter general se determina considerando un modo principal de fallo adscrito a un estado límite último que proporcione el índice más alto, encontrándose asociado a la seguridad. No obstante, hay casos en los que el carácter se establece en base a un modo principal de fallo adscrito a un estado límite de servicio, y por tanto se encontraría asociado a la funcionalidad.

El carácter general de la obra se determina a través del índice de repercusión económica IRE, y del índice de repercusión social y ambiental ISA:

- El IRE valora cuantitativamente las repercusiones económicas CRD por reconstrucción de la obra, y por cese o afección de las actividades económicas CRI directamente relacionadas con ellas y previsibles en caso de producirse la destrucción o pérdida de la operatividad total de la misma. El IRE se calcula como:

$$\text{IRE} = (\text{CRD} + \text{CRI})/\text{C0}$$

Siendo C0 un parámetro económico de adimensionalización. En función del valor del IRE las obras marítimas se clasifican conforme a los subintervalos R indicados en la **figura 112**.

SUBINTERVALO	REPERCUSIÓN ECONÓMICA	IRE
R_1	baja	$IRE \leq 5$
R_2	media	$5 < IRE \leq 20$
R_3	alta	$IRE > 20$

Figura 112. Clasificación de obras marítimas en función del IRE.

- El ISA estima cualitativamente el impacto social y ambiental esperable en caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de la pérdida de vidas humanas, daños al medio ambiente y al patrimonio histórico, y alarma social generada, toda vez que el fallo ocurre una vez que las actividades económicas directamente vinculadas a la obra se hallen consolidadas. El ISA se calcula como:

$$ISA = \sum_{i=1}^3 ISA_i$$

en la cual ISA1 valora la posibilidad y alcance de vidas humanas, ISA2 valora los daños al medio ambiente y al patrimonio histórico, e ISA3 valora la alarma social. En función del ISA las obras marítimas se clasifican conforme a los subintervalos S indicados en la **figura 113**.

SUBINTERVALO	REPERCUSIÓN SOCIAL	ISA
S_1	sin repercusión	$ISA < 5$
S_2	baja	$5 \leq ISA < 20$
S_3	media	$20 \leq ISA < 30$
S_4	alta	$ISA \geq 20$

Figura 113. Clasificación de obras marítimas en función del ISA.

Una vez explicados estos conceptos, procedemos a calcular dichos parámetros:

- Cálculo aproximado del IRE

$$\text{IRE} = (\text{CRD} + \text{CRI})/\text{C0}$$

CRD: Valora las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra. Coste de las obras de reconstrucción a su estado previo. A falta de otros datos se considerarían los costes de construcción inicial, debidamente actualizados.

CRI: Valora las repercusiones económicas por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con la obra. Se estima en términos de la pérdida de Valor Añadido Bruto (VAB), el cual representa el balance entre entradas y salidas del proceso productivo asociado al conjunto de actividades de la obra, es decir, la diferencia entre la fuerza laboral empleada y los excedentes empresariales generados.

C0: Parámetro de adimensionalización. Su valor depende de la estructura económica y nivel de desarrollo económico del país. En España puede considerarse $C0 = 3 \cdot 10^6 \text{ €}$.

A efectos prácticos:

$$\text{CRI}/\text{C0} = C \cdot (A + B)$$

A: Cuantifica el ámbito del sistema productivo al cual sirve la obra. Valores: A = 1 para ámbito local; A = 2 para ámbito regional; A = 5 para ámbito nacional/internacional.

B: Cuantifica la importancia estratégica del sistema económico y productivo al que sirve la obra. Valores: B = 0 para irrelevante; B = 2 para relevante; B = 5 para esencial.

C: Cuantifica la importancia de la obra para el sistema económico y productivo. Valores: C = 1 para irrelevante; C = 2 para relevante; A = 5 para esencial.

Dado que no conocemos el coste de reconstrucción CRD, supondremos un IRE de repercusión económica media (6 – 20). Una vez diseñada la estructura y calculado su presupuesto, volveremos a calcularlo en el apartado 4.6 “Presupuesto de la estructura seleccionada y de la estabilización de la playa” para comprobar si la suposición era cierta.

- Cálculo aproximado del ISA

$$ISA = \sum_{i=1}^3 ISA_i$$

ISA1: Posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas. Valores: ISA1 = 0 para remota; ISA1 = 3 para baja; ISA1 = 10 para alta; ISA1 = 20 para catastrófica.

ISA2: Daños en el medio ambiente y en el patrimonio. Valores: ISA2 = 0 para remoto; ISA2 = 2 para bajo 3; ISA2 = 4 para medio; ISA2 = 8 para alto; ISA2 = 15 para muy alto.

ISA3: Alarma social. Valores: ISA3 = 0 para baja; ISA3 = 5 para media; ISA3 = 10 para alta; ISA3 = 15 para máxima.

En nuestro caso: ISA1 = 0, ISA2 = 0, ISA3 = 0, resultando ISA = 0, por lo que la destrucción o pérdida de operatividad total de la obra marítima no tendrá repercusión social ni medioambiental.

- Valores recomendados

A continuación se proporcionan los valores recomendados para la vida útil (**figura 114**) y la probabilidad conjunta de fallo p_f (**figura 115**) frente a modos principales de fallo adscritos a ELU y ELS a partir de los caracteres generales de la obra.

IRE	≤ 5	6 ~ 20	> 20
Vida útil	15	25	50

Figura 114. Vida útil en años.

ISA	< 5	5 ~ 19	20 ~ 29	≥ 30
$p_{f\ ELU}$	0,20	0,10	0,01	0,0001

Figura 115. Probabilidad conjunta de fallo frente a ELU.

Los resultados finales serían de una vida útil de 25 años (IRE pertenece al intervalo 6 – 20) y de una probabilidad conjunta de fallo a ELU de 0,2 (ISA = 0 < 5).

Mediante la expresión que relaciona la vida útil N , la probabilidad de fallo p y el período de retorno T : $P(x < x_T) = p = (1-1/T)^N$ obtenemos el período de retorno. Sustituyendo, $0,2 = (1-1/T)^{25}$, que despejando $T=16,04$ años de período de retorno.

Ahora que tenemos el período de retorno ya podemos saber cuál será nuestra altura de ola significativa a través de los datos proporcionados por el punto SIMAR 2041080 perteneciente a Puertos del Estado y situado en las coordenadas UTM (448.171, 4.058.422). Para ello se ha creado una gráfica que nos relacione las diferentes alturas de ola significantes con sus respectivos períodos de retorno (**figura 116**):

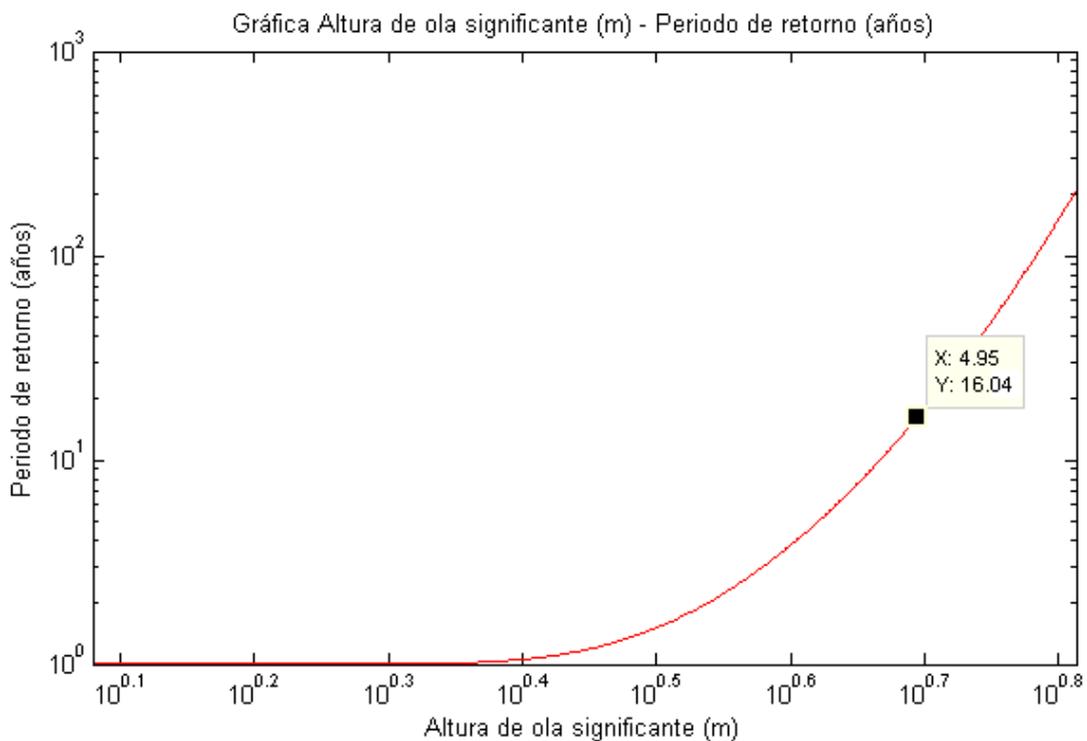


Figura 116. Gráfica que relaciona la altura de ola significativa con el periodo de retorno.

Como podemos ver, para nuestro período de retorno de 16,04 años tenemos una altura de ola significativa de 4,95 m. Esta será la altura de ola a introducir en las fórmulas para el dimensionamiento de nuestra estructura.

Conocida pues nuestra altura de ola de diseño, lo primero será calcular el número de Iribarren, que viene dado por la expresión: $Ir = tg\alpha / (H/L_0)^{0,5}$. La $tg\alpha$ representa la pendiente de nuestro talud y según el peso de las piezas conviene que este α sea pequeño (componente vertical

del peso mayor), sin embargo para conseguir mayor trabazón interesa un α grande (a más pendiente las piezas de engarzan mejor). En definitiva, elegimos una pendiente de talud 2H:1V, puesto que es el valor que más se repite en las tablas de información recopilada en este trabajo. Esto representa un $\alpha = 26,57^\circ$.

El parámetro H, como ya se ha comentado antes, se define como $H = 1,6 \cdot H_s$, que en nuestro caso valdrá $H = 1,6 \cdot 4,95 = 7,92$ m. Por último L_0 es la longitud de onda del oleaje en aguas profundas calculada con el periodo significativo, resultando una $L_0 = 105,65$ m.

Dados estos valores, el número de Iribarren, $Ir = 1,83$ y por tanto ya podemos calcular el parámetro de la función de estabilidad " φ " que viene representado en la **figura 117**. Esta gráfica nos da este valor para el tipo de pieza, que en nuestro caso es escollera, el número de Iribarren (1,83), el valor de la pendiente del talud expresado en su cotg, siendo para nuestro caso $\cotg\alpha = 2$ y el criterio de avería considerado, que para nosotros será inicio de avería (cuando se mueven 3 piezas del manto principal, teniendo que desplazarse al menos un diámetro equivalente).

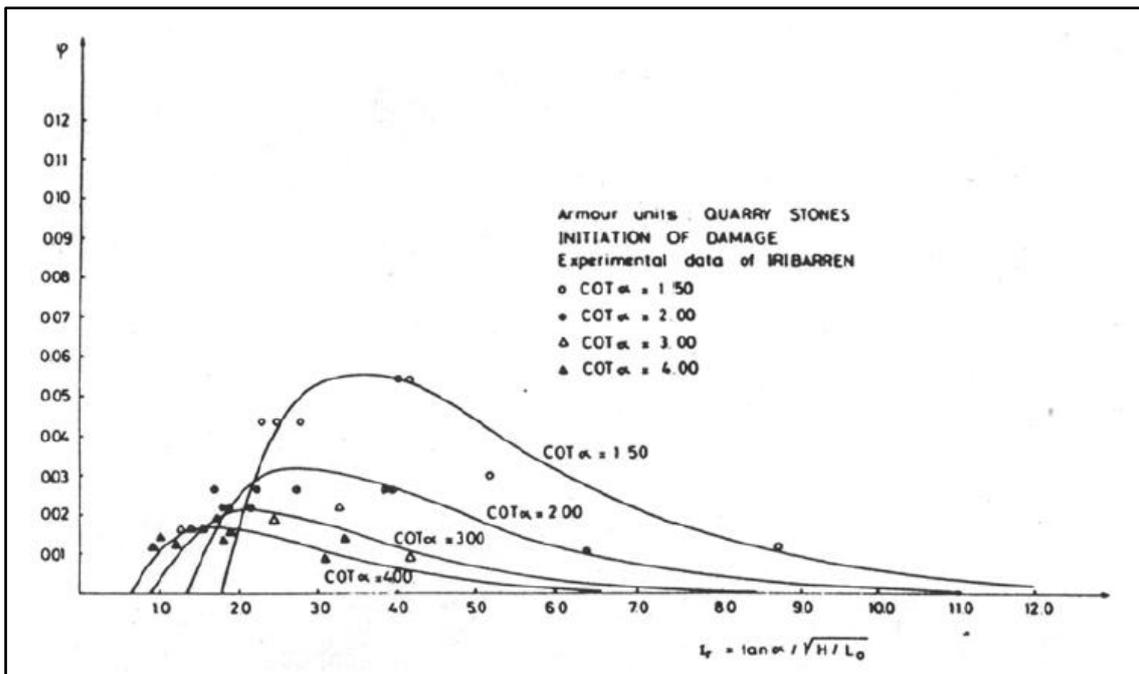


Figura 117. Valor de la función de estabilidad para distintos valores de la pendiente del talud (piezas de escollera) [tomada de Losada (1990)].

Siguiendo la gráfica, obtenemos el valor de $\varphi = 0,02$ para la función de estabilidad.

El último parámetro a calcular es la densidad relativa entre la escollera ($2,6 \text{ t/m}^3$) y el agua

“ S_r ” es la densidad relativa entre la densidad del material a emplear en la construcción del dique (en nuestro caso utilizaremos escollera, siendo su densidad $\gamma_e = 2,6 \text{ t/m}^3$) y la densidad del agua ($\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$). Realizando la división $\gamma_e / \gamma_w = S_r = 2,54$.

Ahora si tenemos todos los datos para calcular el peso de los bloques que conformarán el manto principal: $w = \varphi * H^3 * \gamma_w * S_r / (S_r - 1)^3 = 0,02 * (7,92)^3 * 1,025 * 2,54 / (2,54 - 1)^3 = 7,08 \text{ tn}$, que redondeando resulta 7 tn.

El siguiente paso es calcular su espesor según la expresión: $e = 2 * l$, siendo $l = (w / \gamma_e)^{1/3}$, sustituyendo resulta $e = 2,8 \text{ m}$.

A continuación calculamos el peso de las piezas del manto secundario. En este cálculo hay que tener en cuenta las condiciones de deslizamiento y de filtro, por lo que $w_s = w / 15$, que en nuestro caso $w_s = 7 / 15 = 0,5 \text{ tn}$. Dado que es un valor bajo de peso de escollera, no habrá más mantos secundarios, pasando seguidamente al núcleo, con valores de 25 a 150 kg de peso.

El espesor del manto secundario se calcula como el principal: $e_s = 2 * l_s = 2 * (w_s / \gamma_e)^{1/3} = 1,2 \text{ m}$.

Estos resultados se pueden observar gráficamente en el Anexo 1: Planos.

4.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Una vez que contamos con nuestra alternativa totalmente diseñada, se hará una breve reseña acerca de la correcta construcción de la misma, y es que, basándonos en el libro “Directrices para el diseño de diques exentos en las costas españolas” un dique exento tiene dos formas básicas de construirse: mediante pontonas desde el mar (será nuestra elección para este trabajo), o construyendo un espigón que vaya desde la costa hasta el centro de la futura obra, usándose este espigón como camino de rodadura para camiones y excavadoras.

Sin embargo cuando se trata de un de diques exentos las precauciones que hay que tomar son las mismas que cuando se construye un solo dique exento; pero en este caso hay que añadir la sincronía en la construcción de las diferentes estructuras (**figura 118**).

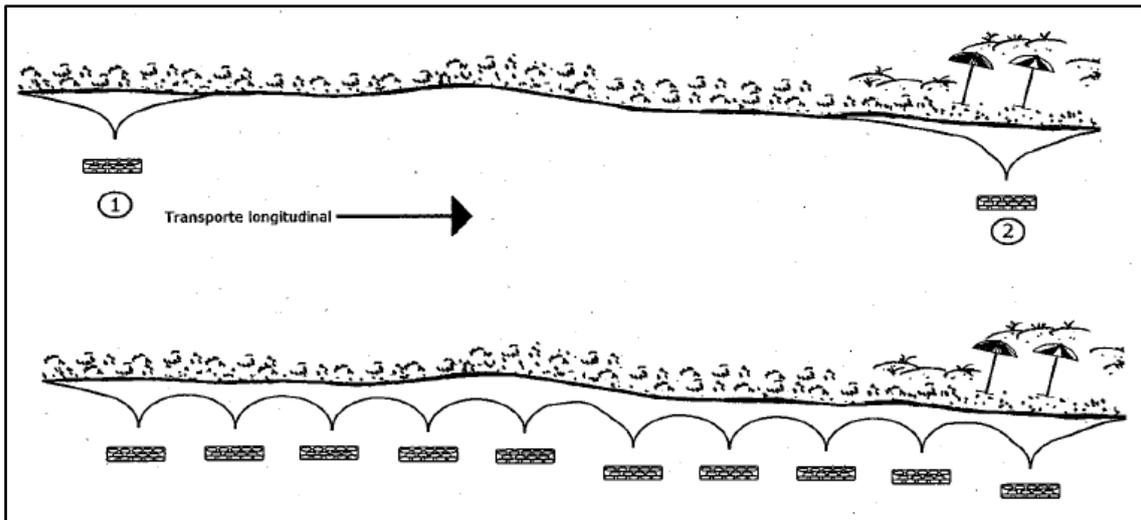


Figura 118. Secuencia de construcción de un grupo de diques exentos, para minimizar los efectos que pueden producir los estados intermedios de construcción.

Desde este punto de vista, es recomendable realizar como primera obra el dique exento más a barlomar (Oeste en nuestro caso), vertiendo el sedimento necesario para formar un el hemitómbolo o tómbolo; posteriormente, o a la vez, debe realizarse el dique exento más a sotamar (Este), incluido el aporte de sedimento necesario, y una vez ejecutadas las obras se procederá a construir el resto del campo de diques exentos, siguiendo la secuencia que marcan los dos primeros hasta encontrarse.

4.6. PRESUPUESTO DE LA ESTRUCTURA SELECCIONADA Y DE LA ESTABILIZACIÓN DE LA PLAYA

A la hora de calcular el presupuesto, lo primero que se ha realizado ha sido la medición de los diferentes apartados. Así, se ha calculado la superficie de cada tipo de escollera en la sección para después multiplicarla por la longitud de un dique (250 m) y por el número de diques (6). Después estos valores se han multiplicado por su densidad ($2,6 \text{ t/m}^3$) para obtener el peso total.

En cuanto a la regeneración y estabilización de Playa Granada tras la construcción del sistema de diques, se ha estipulado una cantidad total de 106.676 m^3 de material granular a colocar sobre un área de 40.000 m^2 .

El último apartado del presupuesto ha sido destinado al capítulo de Varios, en el que se valora económicamente una inspección submarina para comprobar el estudio de las estructuras construidas y la realización de campañas topográficas y batimétricas.

Estas mediciones y precios se pueden ver en la tabla de la **figura 120**.

Por último, una vez obtenido el presupuesto, pasamos a comprobar que la estimación de nuestro IRE es correcta. Para ello calculamos el valor económico de la construcción de un solo dique, para ello sumamos los capítulos 1 y 3 y los dividimos entre los 6 diques que tenemos, dándonos un valor de $28,86 \cdot 10^6 \text{€}$.

Siendo la fórmula del IRE = $(\text{CRD} + \text{CRI})/\text{C0} = \text{CRD}/\text{C0} + \text{CRI}/\text{C0}$

$$\text{CRD} = 28,86$$

$$\text{C0} = 3$$

$$\text{CRI}/\text{C0} = \text{C} \cdot (\text{A} + \text{B}); \text{ siendo } \text{A} = 1 \text{ (local), } \text{B} = 0 \text{ (irrelevante) y } \text{C} = 1 \text{ (irrelevante).}$$

Obtenemos para estos coeficientes un IRE = $28,86/3 + 1 = 10,62$, entrando en la clasificación como repercusión económica media (comprendido entre 6 y 20) y por lo tanto verificando la suposición seguida al calcular nuestro período de retorno.

Presupuesto						
Número	Código	UM	Descripción	Precio	Medición	Importe
Capítulo 1: Diques exentos						
1	G3J4P076	t	Toneladas de escollera marítima, con bloques de piedra calcárea de 7 a 7,5 t de peso nominal y 2,6 t/m3, incluida la extracción en cantera, clasificación, carga, transporte y colocación hasta la explanación dispuesta en el puerto más cercano, el de Motril, para el acopio de las escolleras.	41,42	344.136,00	14.254.113,12
2	G3J4P073	t	Toneladas de escollera marítima, con bloques de piedra calcárea de 0,1a 0,5 t de peso nominal y 2,6 t/m3, incluida la extracción en cantera, clasificación, carga, transporte y colocación hasta la explanación dispuesta en el puerto más cercano, el de Motril, para el acopio de las escolleras.	30,19	104.793,00	3.163.700,67
3	G3J4P071	t	Toneladas de escollera marítima, con bloques de piedra calcárea de 25 a 150 kg de peso nominal y 2,6 t/m3, incluida la extracción en cantera, clasificación, carga, transporte y colocación hasta la explanación dispuesta en el puerto más cercano, el de Motril, para el acopio de las escolleras.	24,42	150.696,00	3.679.996,32
4	G4J4P440	t	Toneladas de escollera marítima, con bloques de piedra calcárea, incluida la carga a pontona desde el puerto de Motril, el transporte por mar hasta el emplazamiento de las obras y el vertido de las escolleras mediante grúa (medios marítimos) y perfilado de taludes según planos.	253,55	599.625,00	152.034.918,75
					Total:	173.132.728,86
Capítulo 2:Regeneración de playa						
1	G22D1011	m2	Limpieza de la superficie de la playa para la retirada de materiales indeseables y arena contaminada; con medios mecánicos y manuales, preparación de la superficie para la recepción de la arena de aportación, incluida la retirada, si fuera necesario, de una capa superficial de 30 cm, explanación, operaciones de carga, descarga y transporte a una instalación autorizada o lugar de acopio del material retirado, incluyendo retirada mecánica; y los medios y operaciones necesarias para su correcta y completa ejecución.	0,60	40.000,00	24.000,00
2	G2211101	m3	Extracción de arena procedente de la misma playa seca, con granulometría de la zona y adecuada según el tamaño especificado en el proyecto.	1,27	106.676,00	135.478,52
3	G242P007	m3	Carga de las arenas extraídas de la playa seca; su transporte interior hasta las ubicaciones de la regeneración de la playa definidas en el proyecto; extendido y nivelación de las arenas con medios mecánicos o manuales en rasante del perfil del proyecto, y utilización de todos los medios y operaciones que sean necesarios para su correcta colocación y completa ejecución según las indicaciones de la Dirección de Obra.	3,61	106.676,00	385.100,36
					Total:	544.578,88
Capítulo 3: Varios						
1	ZVARIOS002	u	Inspección submarina para comprobar el estudio de las estructuras construidas y la elaboración de la documentación pertinente.	6.000,00	1,00	6.000,00
2	ZVARIOS003	u	Realización de campañas topográficas y batimétricas: previa y posterior a la obra, atendiendo los criterios descritos en el proyecto. Se utilizará tecnología sónar. La batimetría posterior se vará a cabo en embarcación apropiada para la obtención de información en zonas de poco calado sobre los diques construidos, zodiac o similar. Incluye la documentación y elaboración de materiales gráficos correspondientes.	10.000,00	1,00	10.000,00
					Total:	16.000,00
					Total Presupuesto:	173.693.307,74

Figura 120. Presupuesto.

5. CONCLUSIONES

Tras haber realizado este Trabajo Fin de Grado, y obtenido los resultados expuestos en el mismo, se han extraído las siguientes conclusiones:

- Las direcciones predominantes de procedencia del oleaje en la zona de Playa Granada son E-SE y O-SO, siendo esta última la que presenta generalmente las olas de mayor altura.
- El gran contenido energético del oleaje del Oeste es mayormente debido a su incidencia en la costa, siendo menor en el caso del oleaje del Este.
- La Punta del Santo representa una gran protección a modo de obstáculo natural para el tramo litoral estudiado, tanto para el oleaje del Oeste, cubriendo una pequeña parte a la izquierda del cabo, como para el oleaje del Este, en cuyo caso abriga casi la totalidad de Playa Poniente.
- Funcionalmente, la alternativa que mejor rendimiento presenta es aquella con un gran número de diques (de 6 a 9) con pequeña separación entre ellos (150 a 300 m), una distancia próxima a la costa (150 m a 250 m) y que priorice la longitud de los mismos frente a su anchura.
- Tras haber probado diferentes opciones de espigón en la Punta del Santo, se ha llegado a la conclusión de su escasa eficacia, así como su mejor inversión en un dique exento a la altura de la punta.
- Cuanto más cercanos estén los diques exentos de la costa, menor será la altura de ola para esta zona, no obstante, a partir de cierta distancia este decrecimiento sólo ocurre para las zonas cubiertas directamente por los diques, produciendo picos de muy bajo valor.
- Cuanto más alejados estén nuestros obstáculos de la costa, mayor protección dará a todo el tramo litoral de forma indirecta, y menor será el impacto medioambiental.
- Dadas las dos anteriores premisas, el objetivo fue encontrar aquella distancia a la costa que presente una altura de ola significativa pequeña sin favorecer la aparición de valores demasiado bajos tras los diques para poder proteger a la vez las zonas cubiertas indirectamente.
- La solución final, con 8250 m² en planta y 1 m de altura sobre el nivel del mar, reduce en un 26,7% la altura de ola respecto a la situación inicial, siendo un buen resultado funcional.

- El período de retorno asociado a esta estructura marítima (16,04 años), repercute en una altura de ola significativa de cálculo de 4,95 m y por tanto en un peso de 7 toneladas para los bloques del manto principal y 0,5 toneladas para los del manto secundario.
- Es muy importante seguir un correcto orden a la hora de construir el conjunto de diques exentos para no distorsionar en exceso la forma de la costa, así como elegir adecuadamente su construcción individual mediante medios terrestres o marítimos.
- La regeneración de la playa se hará gradualmente conforme avance la construcción de las estructuras rígidas y se aproximará mucho a las realizadas con anterioridad en la zona.
- El presupuesto total es de 173.693.307,74 €, siendo lógicamente el capítulo más caro la construcción de los diques (173.132.728,86 €).

LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

Como líneas de trabajo futuro se proponen la incorporación del cálculo del transporte de sedimentos y la evolución de la línea de costa al análisis de alternativas. Como se ha visto en este trabajo, el oleaje procedente del oeste es el de mayor contenido energético, por lo que una solución óptima en términos del transporte podría ser la construcción de un espigón en la Punta del Santo, que actúe como obstáculo a la deriva litoral. Estas y otras cuestiones podrán ser abordadas en mi futuro Trabajo Fin de Máster.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Antonio Moñino Ferrando por ayudarme con una herramienta de AutoCad creada por él mismo, a Miguel Ortega Sánchez por brindarme la oportunidad de hacer el TFG a la vez de hacer las prácticas externas en el CEAMA, un lugar al que espero volver en el Máster, y sobre todo a Rafael Jesús Bergillos Meca por su inestimable paciencia y comprensión a la hora de guiarme en la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bergillos Meca, Rafael Jesús (2012-2013). Caracterización de procesos hidrodinámicos y morfológicos en playas heterogéneas. Tutor: Dr. Miguel Ortega Sánchez.
- Bergillos RJ, López-Ruiz A, Ortega-Sánchez M, Masselink G & Losada MA (2016). Implications of delta retreat on wave propagation and longshore sediment transport - Guadalfeo case study (southern Spain). *Marine Geology* 382, 1-16.
- Bergillos RJ, Rodríguez C, Millares A, Ortega-Sánchez M & Losada MA (2016). Impact of river regulation on a Mediterranean delta: Assessment of managed versus unmanaged scenarios. *Water Resources Research* 52, 5132-5148.
- Bergillos RJ, Rodríguez-Delgado C & Ortega-Sánchez M (2017). Advances in management tools for modeling artificial nourishments in mixed beaches. *Journal of Marine Systems* 172, 1-13.

- Bergillos RJ & Ortega-Sánchez M (2017). Assessing and mitigating the landscape effects of river damming on the Guadalfeo River delta, southern Spain. *Landscape & Urban Planning* 165, 117-129.
- Bergillos RJ, Ortega-Sánchez M, Masselink G & Losada MA (2016). Morpho-sedimentary dynamics of a micro-tidal mixed sand and gravel beach, Playa Granada, southern Spain. *Marine Geology* 379, 28-38.
- Bricio Garberi L., Díez González J. J., López Gutiérrez J. S., Negro Valdecantos V.. Diseño funcional y ambiental de diques exentos de baja cota de coronación. Universidad Politécnica de Madrid.
- BOE N° 40 de martes 16 febrero 1999, Ministerio de Medio Ambiente 3971, Resolución de 21 de diciembre de 1998, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, sobre la evaluación de impacto ambiental del proyecto “recuperación del entorno natural de las playas de la Almadraba y Les Deveses de Denia (Alicante)”, de la Dirección General de Costas.
- BOE N° 46 de martes 23 febrero 2016, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 1870, Resolución de 10 de febrero de 2016, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto Estabilización del sistema de playas Magdalena-Peligros, término municipal de Santander (Cantabria).
- BOE N° 275 de jueves 13 noviembre 2014, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 11746, Resolución de 31 de octubre de 2014, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, sobre la evaluación de impacto ambiental del proyecto Estabilización de la playa de Ferrara, término municipal de Torrox (Málaga).
- Dr. Copeiro, Enrique (1980). Sobre la progresiva ruina de nuestras costas arenosas. *Revista de obras públicas*, abril, pags. 307 a 319.
- García Cuadros, Rubén (2015). Proyecto de Adecuación de la Playa de Serragrossa (Alicante). Tutor: José Cristóbal Serra Peris. Universidad Politécnica de Valencia.
- Hernández Valdés Kenia, Pérez Villavicienzo Orestes, Nadal Llosa Mario, Rondón Yero Héctor y González Nancy. Diseño de un espigón de fin de playa en cayo Libertad, Punta Hicacos (Varadero) como parte del manejo de zonas costeras. Instituto de Oceanología, Ciudad de La Habana.

- López del Blanco, Ignacio (2012). Defensa y regeneración de la playa de El Prat de Llobregat. Tutor: Emilio Cereijo Thomas. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- López-Ruiz A, Bergillos RJ & Ortega-Sánchez M (2016). The importance of wave climate forecasting on the decision-making process for nearshore wave energy exploitation. *Applied Energy* 182, 191-203.
- Moya Ortiz, Adrian (2015). Proyecto de estabilización de la Playa de la Pineda (Tarragona). Tutor: Francesc Xavier Gironella i Cobos. Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Muñoz Pérez J.J., Gutiérrez Más J.M. (1999). Tipología y eficiencia de los espigones de escollera construidos para la mejora de la estabilidad de las playas del litoral atlántico de la provincia de Cádiz. *Boletín Geológico y Minero*, Vol 110-1 (54-66).
- Ortega-Sánchez M, Bergillos RJ, López-Ruiz A & Losada MA (2017). *Morphodynamics of Mediterranean mixed sand and gravel coasts*. SpringerBriefs in Earth Sciences, Springer, ISBN: 978-3-319-52439-9.
- Ortega van Vloten (2014). Proyecto de estabilización de la Playa de Lloret de Mar. Tutor: Vicente García García. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.
- Peña, J.M. de la y Sánchez, F.J. 2008. Directrices para el diseño de diques exentos en las costas españolas. Monografía, octubre 2008, ISBN: 978-84-7790-474-8, 153 p. Madrid (España): Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- Principal Gómez, Daniel (2014/2015). Estudio de la evolución de una regeneración costera en una playa heterogénea. Tutores: Dr. Miguel Ortega Sánchez y Rafael Jesús Bergillos Meca.
- Rodríguez Delgado, Cristóbal. Estudio de la evolución del delta del Guadalfeo. Tutores: Dr. Miguel Ortega Sánchez y Rafael Jesús Bergillos Meca.

- Rodríguez Delgado, Cristóbal (2015-2016). Regeneraciones artificiales en playas heterogéneas: análisis de datos y modelado numérico. Tutor: Dr. Miguel Ortega Sánchez y Rafael Jesús Bergillos Meca.

- Yago Milán, Nuria (2015). Proyecto de protección del frente litoral norte de Saplaya. Tutor: José Serra Peris. Universidad Politécnica de Valencia

- Zapata Onofre, Martha Alba (2014). Proyecto de las obras de estabilización de la boca de Cerro Hermoso, Laguna de Pastoría, Municipio de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, Oaxaca. Tutor: Francisco Javier Escalante González. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco.