



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



ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA REDUCIR EL
REBASE EN EL PASEO DE LA PISCINA DE LA
GRIETA MAYOR, EN EL ARRANQUE DEL DIQUE
DE CASTRO URDIALES, CANTABRIA

Trabajo realizado por:
Jacinto León Guzmán

Dirigido:
César Vidal Pascual

Titulación:
**Máster Universitario
en Ingeniería Costera
y Portuaria**

Santander, octubre de 2016

TRABAJO FINAL DE MASTER

Resumen

Título: “Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales”

Autor: Jacinto León Guzmán

Director: César Vidal Pascual

Convocatoria: octubre 2016

El arranque del dique de abrigo del Puerto de Castro Urdiales se realizó sobre un arco de roca, dejando hueco entre la cara inferior del arco y el fondo de unos 3.5 metros de altura. Al realizar la construcción del puerto se dejó un espacio de agua en el arranque del dique, de unos 20 metros de anchura y 30 metros de longitud desde el trasdós del dique hasta el muro de cierre, denominado La Piscina. En condiciones desfavorables, pleamar y temporal, el oleaje puede penetrar por debajo y/o rebasar el dique de abrigo. Esto lleva al rebase del muro de cierre de La Piscina, produciendo inundaciones y desperfectos en las infraestructuras aledañas, así como poniendo en riesgo a cualquier persona que se acerque a la zona.

Para el desarrollo de este proyecto, se contó con tres bases de datos de reanálisis próximas a la zona de estudio: Global Ocean Tide (GOT), Global Ocean Surge (GOS) y Downscaled Ocean Waves (DOW). La primera corresponde a marea astronómica, la segunda a marea meteorológica y la tercera a oleaje. La suma de las primeras dos proporcionará el nivel del mar en cada instante. La carrera de marea meteorológica en esta zona es aproximadamente de 4.5 metros y el rango de la marea meteorológica de 90 centímetros. Por su parte, el oleaje proviene de tres direcciones principalmente, NNW, N y NNE. Hay una influencia importante de oleajes de temporal, que al llegar a la zona de estudio provocan rebases. Estos temporales tienen alturas entre 2 y 7 metros y periodos entre 10 y 22 segundos. Existe una marcada estacionalidad, ya que en los meses de invierno es cuando suceden los grandes temporales. Mientras que, en verano, de manera general, el registro de alturas de ola y periodos es menor.

Con el objetivo de conocer las características del oleaje en una zona próxima a la zona de estudio, se propagó el oleaje desde la ubicación de la base de datos DOW. Para ello, se hizo una selección de 200 casos mediante la técnica de máxima disimilitud. Estos 200 casos se propagaron con el modelo OLUCA sobre dos niveles (bajamar y pleamar). Finalmente, se realizó una interpolación por medio de las funciones de base radial para reconstruir la serie completa en un punto control. El oleaje en este punto control tiene alturas de ola mayores, reflejo de los procesos de asomeramiento y refracción.

Una vez conocidas las características del oleaje en las proximidades de la zona de estudio, se construyó el gráfico de distribución de probabilidad conjunta de Hs y Tp. Éste se dividió en 27 estados de mar característicos, que fueron simulados mediante el modelo IH-2VOF hacia La Piscina, donde se registraron los caudales sucedidos. Previo a la propagación de todos los estados de mar, se determinó el número mínimo de olas necesarias para que el caudal medio de rebase tuviera poca variabilidad y se considere que éste es correcto. 135 olas es el número de olas que se estableció como mínimo necesario. No obstante, esta cantidad resulta muy elevada en tiempo de ejecución y capacidad computacional, por esto se determinó ejecutar únicamente 36 olas.

Con los caudales de rebase guardados, se calculó el caudal medio por cada estado de mar y con ayuda de la distribución conjunta fue posible obtener la probabilidad acumulada para cada caudal. A estos datos se ajustó una curva de la forma $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{a-bx}{c}\right)}$ que describe el régimen de caudales.

Se propuso, como alternativa para disminuir los rebases, la implementación de una pantalla transparente sobre el muro. Para analizar su comportamiento se simularon todos los estados de mar con 4 alturas distintas de pantalla (2, 3.5, 4 y 5 metros) y se obtuvieron sus regímenes de caudales de la misma forma que con la situación actual.

A partir de estos regímenes se obtuvo una tabla de operatividad para conocer de forma sencilla y directa el caudal de rebase para una altura de pantalla y probabilidad de ocurrencia dadas, o la probabilidad de ocurrencia con una altura de pantalla y un caudal de rebase conocidos.

Finalmente, se propone como complemento a este trabajo la medición de las fuerzas máximas ejercidas sobre las distintas alturas de la pantalla para la obtención de sus regímenes y la obtención de una tabla similar a la tabla de operatividad.

Abstract

Title: “Study of alternatives to decrease overtopping to La Piscina’s walkway in La Grieta Mayor, at Castro Urdiales’ breakwater beginning”

Author: Jacinto León Guzmán

Director: César Vidal Pascual

Announcement: October 2016

Castro Urdiales’ breakwater beginning was built on top of a rocky arch, which leaves a hole between the arch’s underside and the bottom (its width is 3.5 meter). When the port was built, a 20 meters wide and 30 meters long area full of water was left, which is called “La Piscina”. In adverse situations, that is to say high tide and big swell, waves can go into La Piscina underneath the arch or over the breakwater. This happen to provoke overtopping over La Piscina’s closing wall, producing flooding and damage to the surrounding buildings.

To develop this project, three reanalysis data-bases close to the study area were provided: Global Ocean Tide (GOT), Global Ocean Surge (GOS) y Downscaled Ocean Waves (DOW). As it can be intuited, first provides information about tides, second about surges and third about waves. The sum between the first and second determines sea level at every moment. The tide range is about 4.5 meters and surge range is about 90 centimeters. Regarding waves, there are three main directions, NNW, N and NNE. Ground swell is very important for this study, because is the one that will cause most of the overtopping. Its height is 2 to 7 meters and period 10 to 22 seconds, approximately. Stationality is well marked, during winter wave heights and periods are much longer than in summer.

To find waves’ characteristics closer to the study area, waves were propagated. 200 cases were selected by the maximal dissimilarity algorithm, these 200 cases were propagated with OLUCA model on two different sea levels (high tide and low tide). Finally, radial basis function interpolation was made to reconstruct the whole wave series in the control point. Waves in this location are higher due to shoaling and refraction.

Once the waves characteristics close to the study area were known, Hs-Tp joint probability distribution graphic was made. It was divided on 27 different sea states and simulated with IH-2VOF model towards La Piscina, where overtopping was registered. Before this propagation took place, 135 waves were established as the minimum number of waves to be simulated in order to have very short variation on mean overtopping discharge. However, 36 waves are the taken number to simulate in this project due to execution time and computational capability.

Mean overtopping discharge was calculated to every sea state and its regime was obtained with $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{a-bx}{c}\right)}$ shaped fitted curve.

To decrease overtopping, a see-through screen wall on top of the closing wall is proposed. To analyze its behavior 4 different screen wall heights (2, 3.5, 4 and 5 meters) were simulated with every sea state and its overtopping regimes were obtained.

Based on these regimes, operational tables were obtained to provide a direct and easy way to find overtopping discharges and probability according to a screen wall.

Finally, to complete this work a maximum force regime is proposed to be obtained, so another operational table can be provided. With both tables a proper structural design could be possible.

Índice

Contenido

Resumen.....	2
Abstract	4
CAPÍTULO 1	7
1. Introducción	8
1.1 Motivación.....	8
1.2 Alcance del documento.....	10
1.3 Objetivos	10
1.4 Datos de partida.....	10
1.5 Estructura del estudio	10
CAPÍTULO 2	12
2. Descripción de la zona de estudio.....	13
2.1 Ubicación y toponimia.....	13
2.2 Topografía de la Grieta.....	15
2.3 Batimetría.....	17
2.4 Naturaleza de los fondos en la zona	18
CAPÍTULO 3	20
3. Clima marítimo	21
3.1 Nivel del mar	21
3.2 Oleaje en aguas profundas.....	28
3.3 Conclusiones.....	40
CAPÍTULO 4	41
4. Oleaje frente a la Grieta Mayor.....	42
4.1 Propagación del oleaje	42
4.2 Oleaje frente a la grieta mayor (estadística).....	46
4.3 Conclusiones.....	53
CAPÍTULO 5	54
5. Situación Actual.....	55
5.1 Metodología	55
5.2 Modelo de interacción flujo-estructura IH-2VOF.....	56
5.3 Preparación de los casos a propagar.....	56
5.4 Análisis de los resultados	64

5.5 Conclusiones.....	70
CAPÍTULO 6	71
6. Alternativa	72
6.1 Fallo operativo y límites de operatividad.....	72
6.2 Regímenes medios con diferentes alturas de pantalla	72
6.3 Curvas de operatividad	74
6.4 Propuestas de mejora	76
6.4 Conclusiones.....	78
CAPÍTULO 7	79
7. Conclusiones.....	80
Bibliografía	82
Anejo 1	83
1. Casos seleccionados con MaxDiss para propagar en OLUCA.....	83
Anejo 2	89
1. Distribución de celdas en cada malla	89
2. Estados de mar generados	89
3. Estados de mar recortados (propagados con IH-2VOF).....	103
4. Resultados de los Caudales de Rebase.....	117
Anejo 3	126
1. Resultados de los Caudales de Rebase.....	126

CAPÍTULO 1

1. Introducción

1.1 Motivación

1.2 Alcance del documento

1.3 Objetivos

1.4 Datos de partida

1.5 Estructura del estudio

1. Introducción

En este capítulo se presenta la introducción al proyecto, donde se describe la motivación que lleva a la realización del presente trabajo, el alcance que tiene este documento, los objetivos que se buscan cubrir, la información con la que se cuenta, tales como bases de datos y batimetrías, la estructura del documento y su contenido por capítulos.

1.1 Motivación

El arranque del dique de abrigo del Puerto de Castro Urdiales se realizó sobre un arco de roca, esto deja un hueco entre la cara inferior del arco y el fondo de unos 3.5 metros de altura. Al realizar la construcción del puerto se dejó un espacio de agua en el arranque del dique, de unos 20 metros de anchura y 30 metros de longitud desde el trasdós del dique hasta el muro de cierre, denominado La Piscina. En condiciones desfavorables, pleamar y temporal, el oleaje puede penetrar por debajo y/o rebasar el dique de abrigo. Esto lleva al rebase del muro de cierre de La Piscina, produciendo inundaciones y desperfectos en las infraestructuras aledañas.



Figura 1.1. Rebase ocurrido en La Piscina



Figura 1.2. Rebase ocurrido en La Piscina



Figura 1.3. Rebase ocurrido en La Piscina

Se realizará el estudio de las causas, el análisis de la situación actual, propuesta y análisis de una solución para la reducción de los rebases en el muro Sur de La Piscina durante los temporales.

1.2 Alcance del documento

En el presente documento se describe la situación actual de La Piscina, se analiza la interacción entre ésta y el oleaje en temporales, se analiza una solución a la problemática, se encuentra el régimen de caudales medios de rebase para distintos diseños de la solución propuesta y, finalmente, se presenta una tabla de diseño que permitirá -a la persona encargada de decidir el diseño- encontrar la mejor alternativa de acuerdo a las restricciones que se tomen en consideración.

1.3 Objetivos

- Estudiar las causas de los rebases en el muro sur de La Piscina
- Analizar la situación actual
- Obtener el régimen de caudales de rebase para distintas configuraciones de la solución propuesta.
- Proporcionar una herramienta que permita conocer, a quien le corresponda decidir la configuración de la solución, las condiciones de rebases y probabilidad de ocurrencia de estos.

1.4 Datos de partida

Para la realización del presente documento se ha contado con la siguiente información:

- Batimetría general de la zona recogida en la carta náutica del Instituto Hidrográfico de la Marina (941)
- Batimetría de detalle de la Grieta Mayor
- Topografía de Castro Urdiales y el Puerto de Castro Urdiales
- Serie de oleaje DOW en profundidades indefinidas.
- Serie de Marea Astronómica GOT en las proximidades de la zona.
- Serie de Marea Meteorológica GOS en las proximidades de la zona.

1.5 Estructura del estudio

El presente documento se organiza de la siguiente forma:

Capítulo 2: Se describen las características principales de la zona de estudio, tales como la ubicación, toponimia, topografía y configuración La Piscina, batimetría general y de la Grieta Mayor y naturaleza del fondo.

Capítulo 3: Se presenta el clima marítimo incidente en la zona de estudio. Se describe la base de datos de oleaje, se analizan las características del oleaje mar en profundidades indefinidas y del Nivel del mar.

Capítulo 4: Se explica el proceso para propagar el oleaje desde su localización original hasta las cercanías del área de estudio y las características principales del oleaje en esa zona. Se detalla el método para seleccionar los casos a propagar, el modelo con el que se hace la propagación, las mallas utilizadas, el método de interpolación para reconstruir la serie de datos completa y, finalmente, la estadística de esta serie de datos reconstruida.

Capítulo 5: Se describe la propagación del oleaje hacia la Grieta Mayor hasta llegar a La Piscina y así poder calcular los rebases. Se presenta la metodología seguida para evaluar la situación actual, la forma en la que se seleccionan los estados de mar a propagar, el modelo con el que se hacen las propagaciones, la preparación de los casos a propagar y el análisis de los resultados obtenidos.

Capítulo 6: Se trabaja con el incremento del francobordo (altura del muro) por medio de una pantalla transparente, como solución a los problemas de rebase. Se presentan los criterios de operatividad, se simulan diferentes alturas de pantalla, se encuentra el régimen medio de caudal

medio de rebase perteneciente a cada altura de pantalla simulada. Posteriormente se obtienen las tablas de diseño con las cuales, sabida la altura de la pantalla se puede obtener, de dos formas distintas, el porcentaje de tiempo que ésta se verá rebasada por un determinado caudal. Finalmente, se plantean formas en que se podría mejorar el trabajo realizado.

Capítulo 7: Se recopilan las conclusiones finales del trabajo, que incluyen los apartados de la situación actual y la solución propuesta.

CAPÍTULO 2

2. Descripción de la zona de estudio

2.1 Ubicación y toponimia

2.2 Topografía de la Grieta Mayor

2.3 Batimetría

2.4 Naturaleza de los fondos en la zona

2. Descripción de la zona de estudio

En este apartado se describen las características principales de la zona de estudio, tales como la ubicación, toponimia, topografía y configuración La Piscina batimetría general y de la Grieta Mayor y naturaleza del fondo.

2.1 Ubicación y toponimia

Castro Urdiales es una ciudad y municipio ubicado en el Norte de la Península Ibérica, en la comunidad autónoma de Cantabria. Se sitúa a 75 kilómetros de Santander y a 35 kilómetros de Bilbao (figura 2.2) y su altitud media es de 19 metros sobre el nivel del mar. El río principal de este municipio es el Agüera, que desemboca en la ría de Oriñon y la longitud de su litoral es de casi 20 kilómetros. Es el tercer municipio más poblado de Cantabria.



Figura 2.1. Ubicación de Castro Urdiales en la Península Ibérica

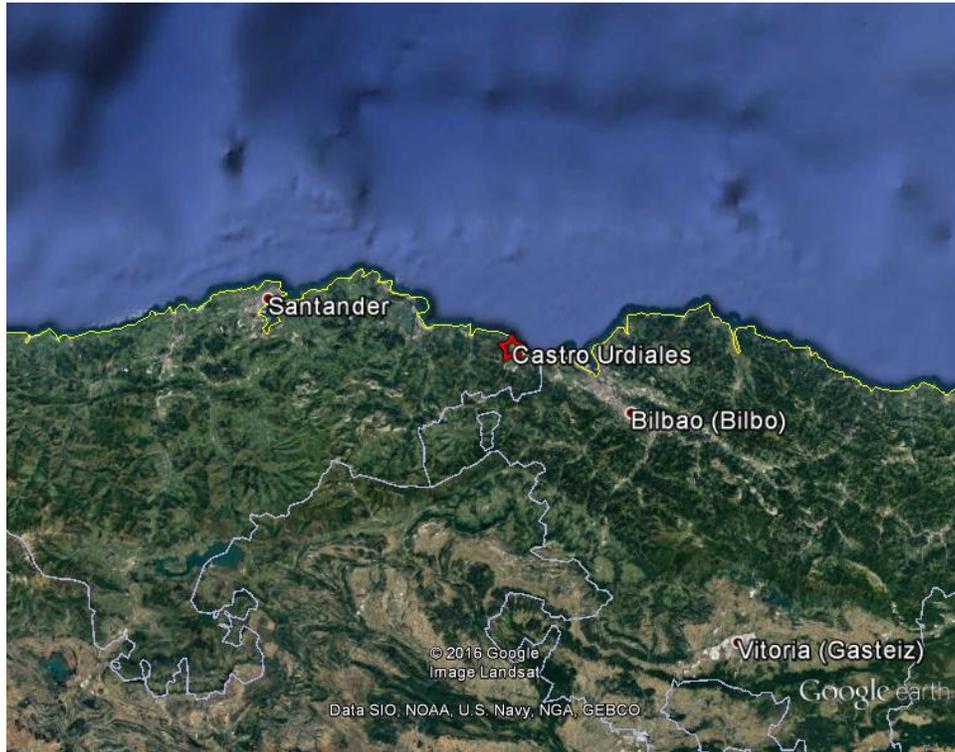


Figura 2.2. Ubicación de Castro Urdiales desde una perspectiva regional

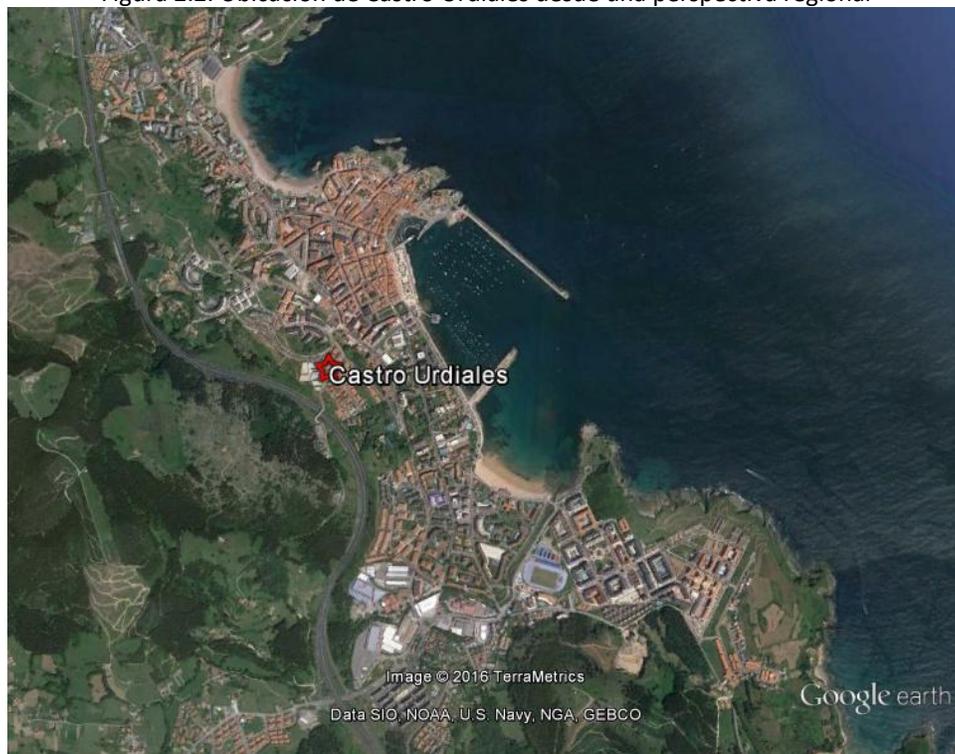


Figura 2.3. Vista aérea de la ciudad y Puerto de Castro Urdiales

Existen monumentos destacables como la Iglesia de Santa María de la Asunción, de origen medieval, con características del estilo gótico y situada a orillas del mar. También, se encuentra el

Castillo de Santa Ana construido durante los siglos XIII y XIV, junto a éste en tiempos modernos se construyó el Faro de Santa Ana. Existe un puente medieval que antiguamente comunicaba el cerro de Santa María (donde están la iglesia homónima, el Castillo y el faro) con la Ermita de Santa Ana, situada en el islote que ahora ha quedado englobado en el dique.

En el arranque del dique de abrigo del puerto, está la Grieta Mayor, que fue necesario cerrar de manera parcial para la construcción del Puerto de Castro Urdiales, sucedida a principios del siglo XX. Este cierre se realizó apoyando un parapeto vertical de hormigón en masa sobre un arco de roca. La construcción generó un espacio de agua semicerrado, denominado La Piscina.



Figura 2.4. Toponimia de Castro Urdiales

2.2 Topografía de la Grieta

En la figura 2.6 se muestra un croquis de la situación actual de la Grieta Mayor, donde se localiza La Piscina. Como ya se dijo, La Piscina es resultado del cierre parcial por medio de un espaldón vertical de hormigón en masa, su longitud es de 30 metros y anchura de 20 metros. Este parapeto está coronado a la cota 10.9 y su longitud es de 18 metros aproximadamente. La cara exterior es vertical y la interior es escalonada, teniendo una anchura en su parte inferior de 6 metros. Está apoyado sobre un arco o puente de roca, al que embebe, dejando un hueco en su cara inferior y el fondo de unos 3.5 metros de altura, por el que se transmite el oleaje.



Figura 2.5. Fotografía de la parte interior del parapeto.

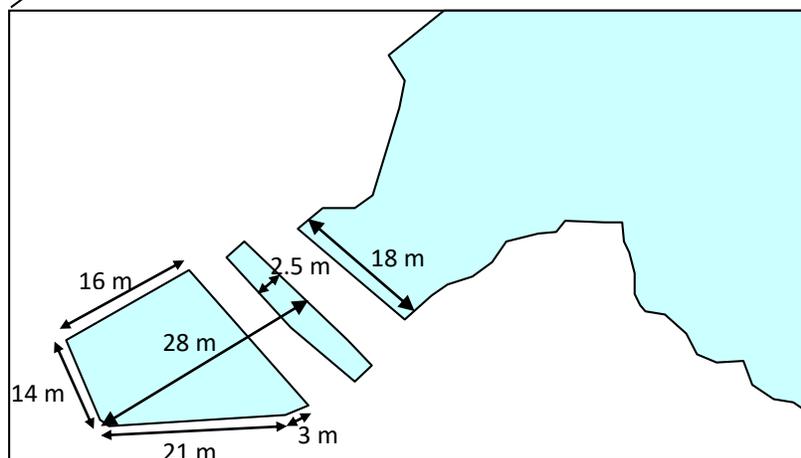


Figura 2.6. Croquis de la planta de la Grieta Mayor y La Piscina

Por el Sur del puente medieval y del arranque del dique de abrigo, el área situada entre la costa y la Peña de Santa Ana, se rellenó para permitir la construcción del camino de acceso al dique y la rampa-varadero. Esto dio forma a La Piscina. En la figura 2.7 se muestra una ampliación del plano de Castro Urdiales de 1861, donde se observa la ausencia del dique de abrigo y el relleno, y se señala donde se ubica actualmente La Piscina.

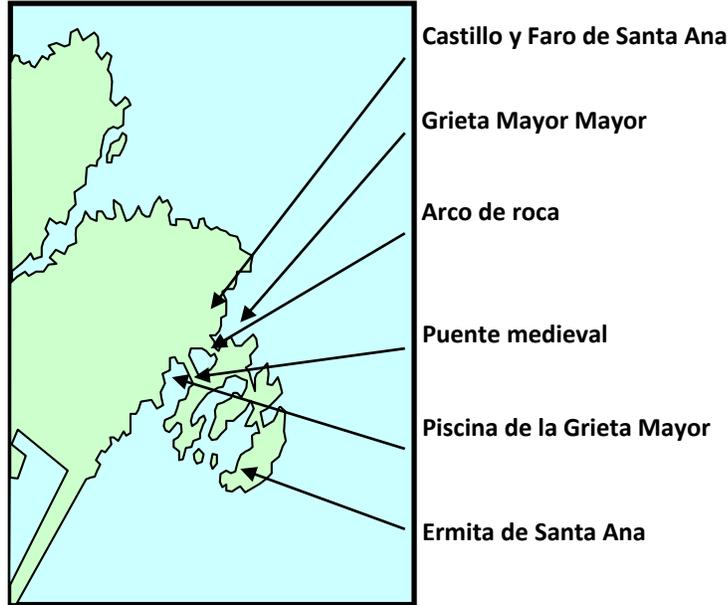


Figura 2.7. Ampliación del plano de Castro Urdiales de 1861

2.3 Batimetría

En la figura 2.8 se muestra la batimetría exterior de la zona de estudio donde se puede observar una batimetría relativamente paralela, cambiando su orientación a partir de la cota 30 hacia zonas más profundas. Cerca de la zona de estudio puede considerarse que la batimetría es recta y paralela. Sin embargo, el saliente que se encuentra al Norte de la zona de estudio genera cierto tipo de bajo en la batimetría, que es observable hasta profundidades de 40 metros. Esto afectará sobre todo a los oleajes que provengan del NW y N. Pero la capacidad de modificación del oleaje será mayor sobre todo en profundidades menores donde la batimetría ya se puede considerar recta y paralela. Así, el oleaje romperá de forma, aproximadamente, uniforme.

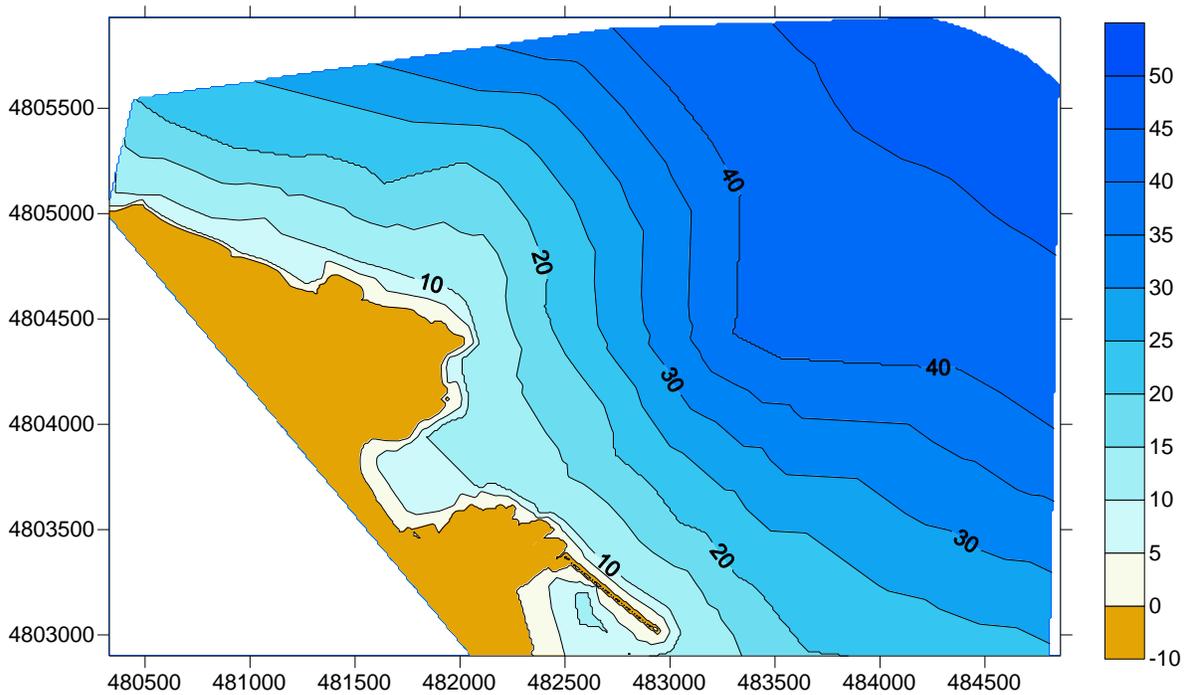


Figura 2.8. Batimetría de la zona de estudio.

En la zona de la Grieta Mayor, la intersección entre el muro y la batimetría se encuentra a la cota +4 con respecto al Cerro del Puerto. Se hace más profundo hacia el arranque del dique y continúa de esta manera con dirección mar adentro. El techo del arco se encuentra a la cota +1.2 y el fondo a la -2.2, lo que resulta en un hueco de 3.4 metros. A una distancia de 55 metros del muro, donde hay una profundidad de 5.5 metros bajo el cero del puerto, la pendiente disminuye sustancialmente. El perfil longitudinal de la figura 2.9 ha sido utilizado para realizar las simulaciones numéricas con las que se determinan los rebases en La Piscina, tanto en la situación actual como en la alternativa propuesta.

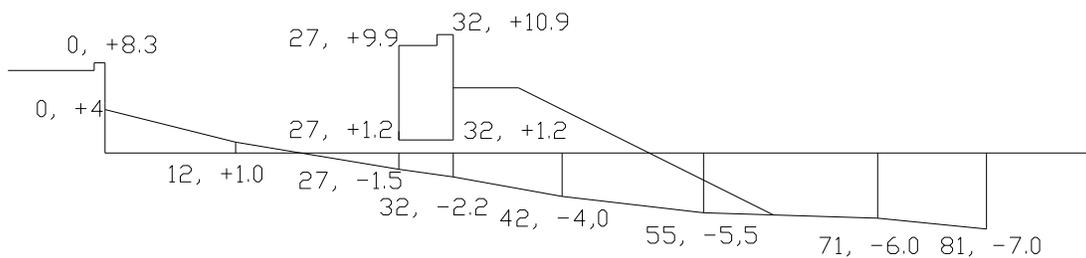


Figura 2.9. Sección longitudinal de la Grieta Mayor sin la presencia del Puente Medieval, debido a que no interfiere con la propagación del oleaje.

2.4 Naturaleza de los fondos en la zona

El tamaño de los bolos que recubren La Piscina y la Grieta Mayor se incrementan del interior de la primera hacia el exterior de la segunda. En La Piscina, predominan las piedras y bolos de tamaño pequeño. Cerca del puente y el arranque del dique hay piedras con peso entre 1 y 2 toneladas y bolos de aproximadamente 50 kilogramos. En la zona exterior hay bloques de roca más grandes y en la zona Sureste aparecen bloques de hormigón, colocados para proteger el arranque del dique. Ya en el exterior de la grieta el terreno es natural, compuesto de cascajo, arena y lastras

de roca. Esta distribución se presenta en la figura 2.10.

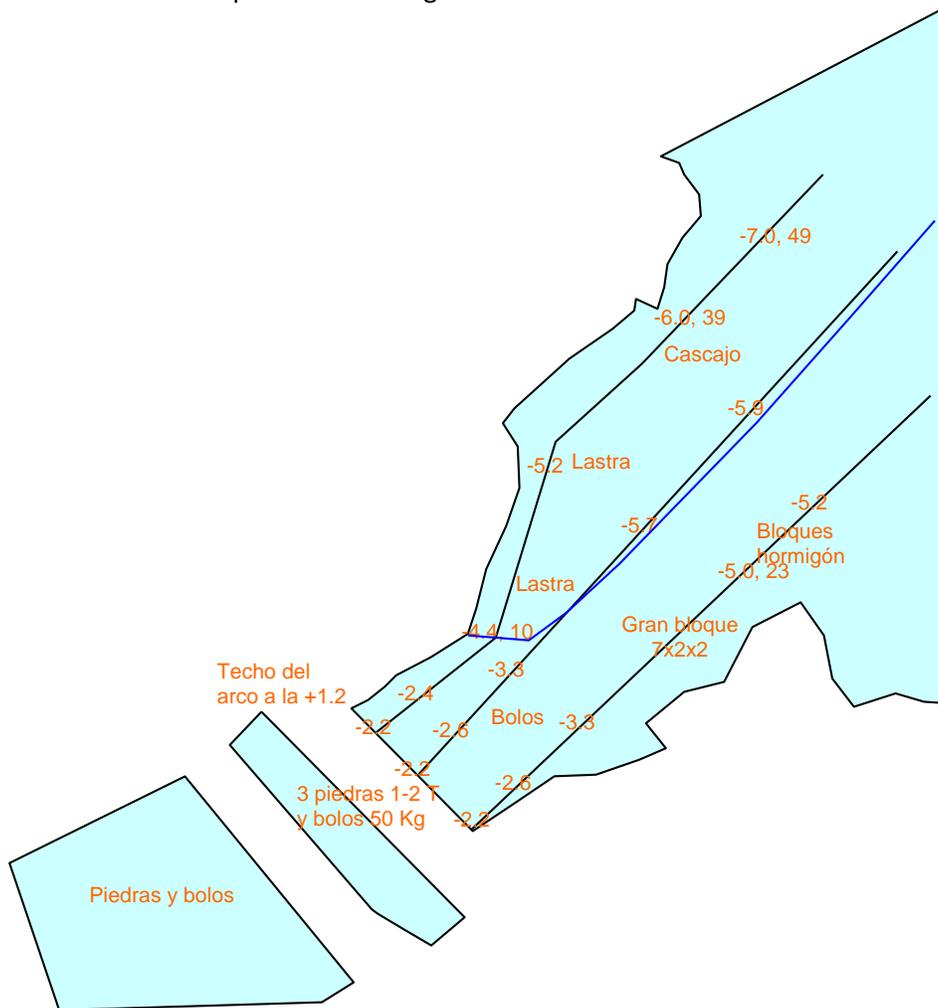


Figura 2.9. Características de los fondos en el área de estudio.

CAPÍTULO 3

3. Clima marítimo

3.1 Nivel del mar

3.1.1 Marea Astronómica

3.1.2 Marea Meteorológica

3.2 Oleaje en aguas profundas

3.2.1 Descripción de la base de datos

3.2.2 Estadística del oleaje

3.2.3 Régimen medio

3.2.4 Régimen Extremal

3.2.5 Estacionalidad

3.3 Conclusiones

3. Clima marítimo

En este capítulo se describe el clima marítimo en profundidades indefinidas que incide en la zona de estudio. Se describe la base de datos de oleaje, se analizan las características del oleaje en profundidades indefinidas y del Nivel del mar.

3.1 Nivel del mar

En este apartado se describen las características principales del nivel del mar en la zona de estudio. Tomando en cuenta esta información es posible realizar una propagación del oleaje correcta hacia y en la zona de estudio.

El nivel del mar es la posición media de la superficie libre del mar, asociada a la meteorología y a los movimientos astronómicos, que generan movimientos de periodo largo. La evolución de los sistemas meteorológicos tiene un carácter aleatorio y, por lo tanto, la oscilación del nivel medio del mar, asociada a estos sistemas, tiene el mismo carácter. A esta oscilación se le denomina Marea Meteorológica. Por el contrario, la oscilación asociada a movimientos astronómicos tiene un carácter determinista y se le llama Marea Astronómica. La suma de estas al nivel medio del mar es lo que determina el nivel del mar en cada instante.

Ya que no siempre es posible contar con series de datos medidos *in situ* suficientemente largas, se hace uso de bases de datos de reanálisis para la caracterización del nivel del mar. En este caso se utilizan GOS (Global Ocean Surge) y GOT (Global Ocean Tide). A continuación, se describen estas bases de datos y el régimen de nivel del mar frente a la costa de Castro Urdiales.

3.1.1 Marea Astronómica

La base de datos GOT es la que contiene la información correspondiente al nivel de la marea astronómica en la zona de estudio.

La base de datos GOT es calculada a partir de la base de datos generada con el modelo global de mareas TPXO, desarrollado por la Universidad de Oregón. Dicho modelo, es de los modelos globales de marea más precisos, que asimila la información de observaciones del nivel del mar hechas por el sensor TOPEX/Poseidón.

La base de datos TPXO proporciona cuatro componentes armónicas semidiurnas (M2, S2, N2 y K2), cuatro componentes diurnas (K1, O1, P1 y Q1) y dos de largo periodo (Mf y Mm). Los datos obtenidos son proporcionados en una malla global de 1440 x 721 puntos y con 0.25° de resolución espacial en longitud y latitud.

La figura 3.1 Muestra un mapa de la componente M2 calculada con el modelo TPXO.

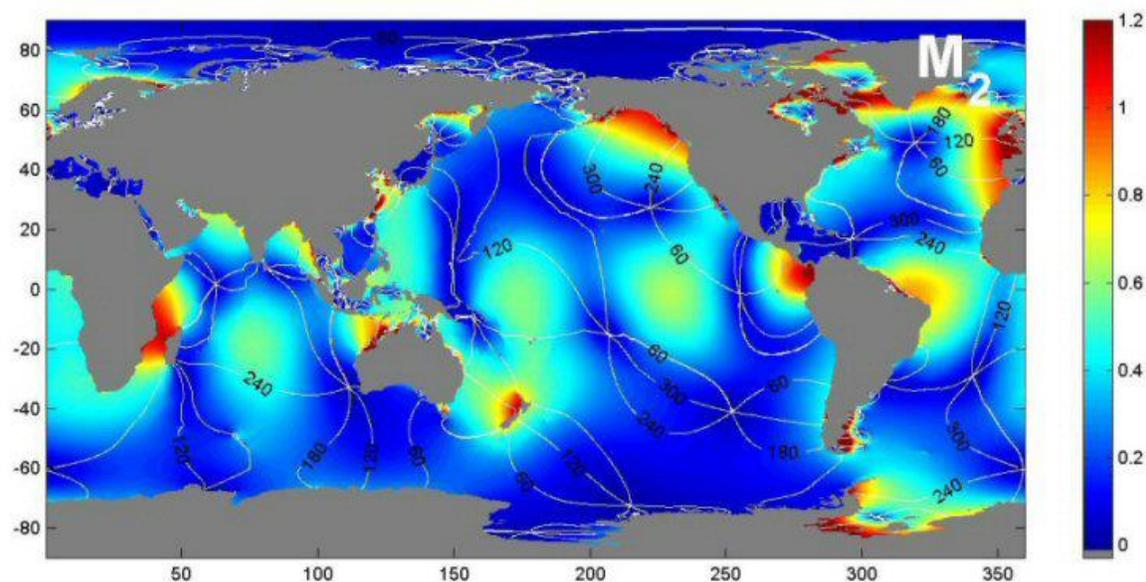


Figura 3.1. Mapa de la componente de marea M2 calculada con el modelo TPXO.

Para la realización de este estudio se dispone de una serie temporal de datos de marea astronómica en un punto frente a Castro Urdiales. Esta serie abarca 67 años de datos horarios entre 1948 y 2015, los cuales se muestran en la figura 3.2.

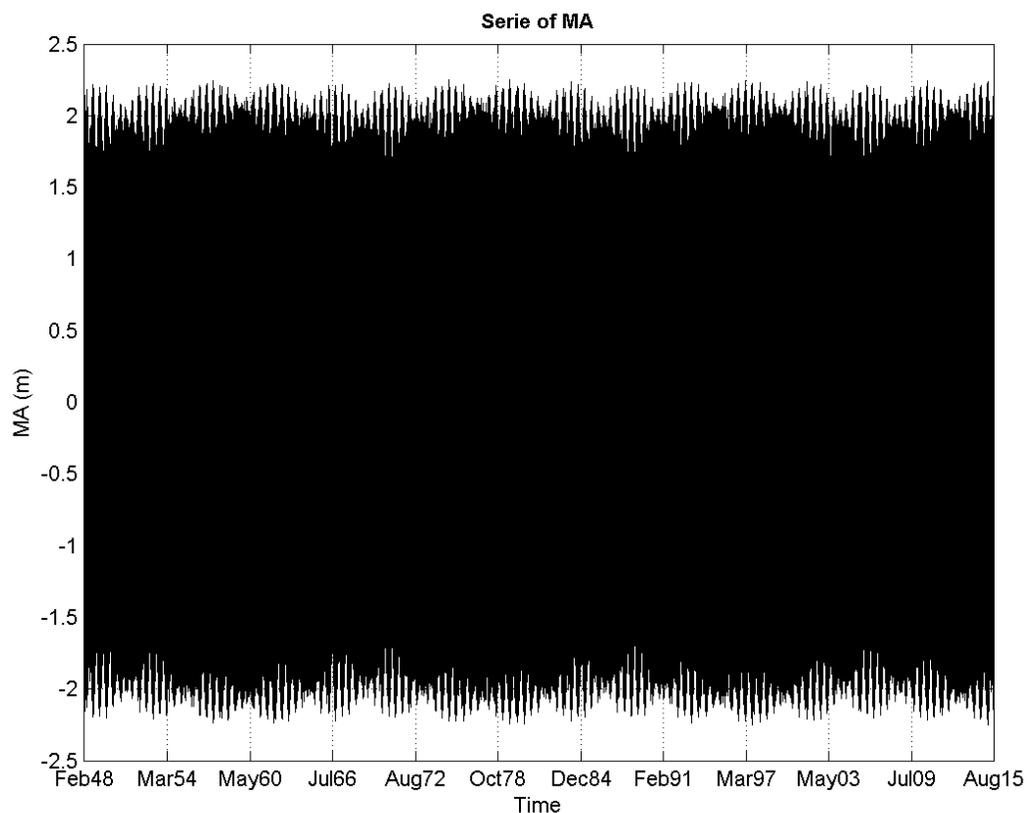


Figura 3.2. Serie horaria de datos de nivel de marea astronómica.

La carrera de marea máxima es del orden de 4.5 metros y esto se puede observar en la figura 3.2. La función de densidad de probabilidad se presenta en figura 3.3 y la función de distribución acumulada en la figura 3.4. La marea astronómica tiene una distribución bimodal ya que esta oscila entre pleamar y bajamar.

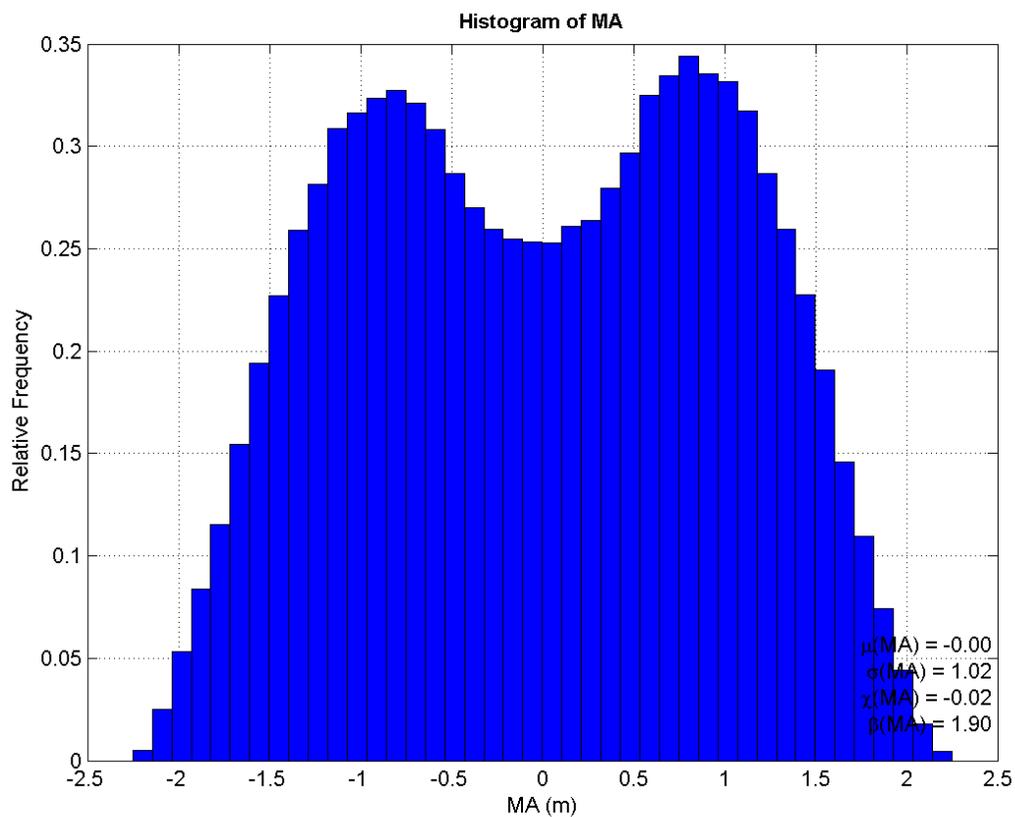


Figura 3.3. Función de densidad de probabilidad de la Marea Astronómica.

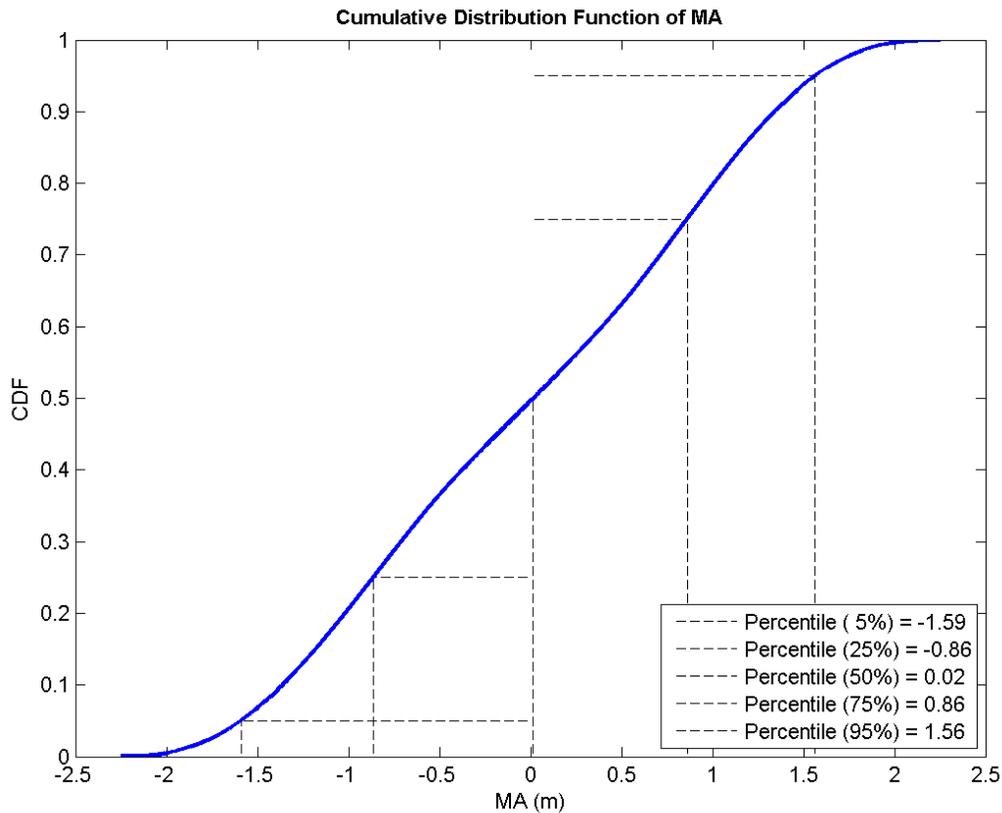


Figura 3.4. Función de distribución acumulada de la marea astronómica.

3.1.2 Marea Meteorológica

La tensión tangencial del viento sobre la superficie provoca una corriente superficial en la dirección del viento. Si el viento sopla hacia tierra, la corriente ve impedida su progresión y retorna por el fondo (en la hipótesis de uniformidad longitudinal). Si el fondo es muy somero, este retorno se ve impedido por la fricción, con la consecuencia de una acumulación de agua en las proximidades de la costa. Esta acumulación genera un gradiente de presiones que equilibra la tensión tangencial del viento y se le denomina marea meteorológica. Por esta razón, la marea meteorológica de viento es muy pequeña en plataformas como la Cantábrica que tienen pendientes elevadas, lo que facilita el retorno por el fondo. Ésta, como se mencionó anteriormente, sumada al nivel de la marea astronómica da como resultado el nivel del mar en cada instante.

Para este trabajo se utiliza la base de datos GOS 1.1, que consiste en un reanálisis de la marea meteorológica de 66 años (entre 1948 y 2014) de alta resolución realizado en el sur de Europa. El reanálisis proporciona datos de la marea meteorológica calculados de forma horaria con una resolución espacial de $1/8^\circ$. Los datos del GOS 1.1 han sido validados con datos instrumentales de mareógrafos localizados tanto en el Atlántico como en el Mediterráneo.

En la figura 3.5 se muestra el área que engloba el reanálisis GOS 1.1 y un ejemplo de la marea meteorológica en cierto momento.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

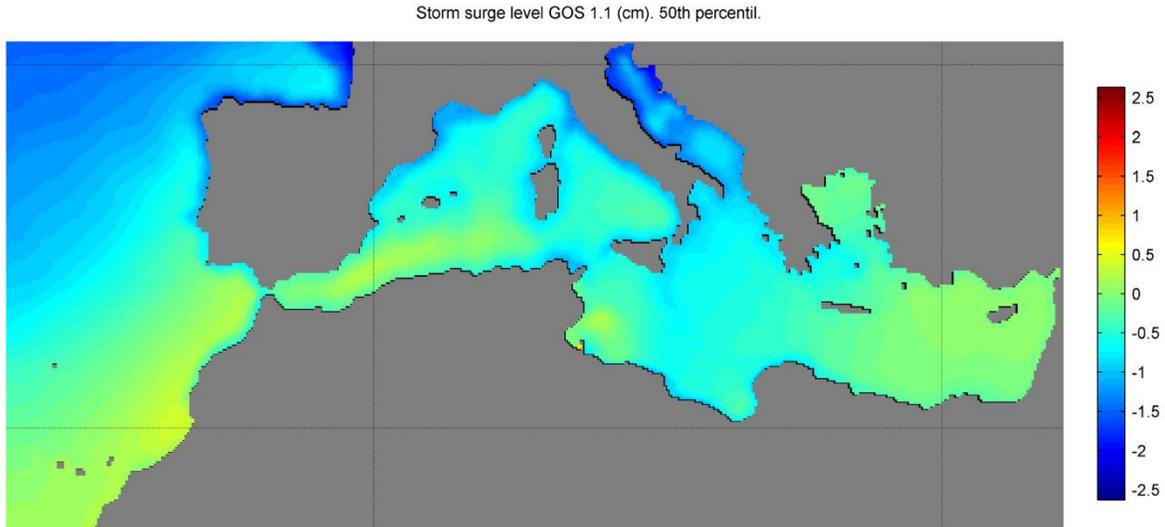


Figura 3.5. Dominio GOS 1.1.

En este estudio se emplea una serie temporal de datos de nivel de marea meteorológica en un punto frente a Castro Urdiales. Esta serie, como ya se dijo, abarca 66 años de datos horarios, empezando en 1948 y terminando en 2014, mostrados en la figura 3.6.

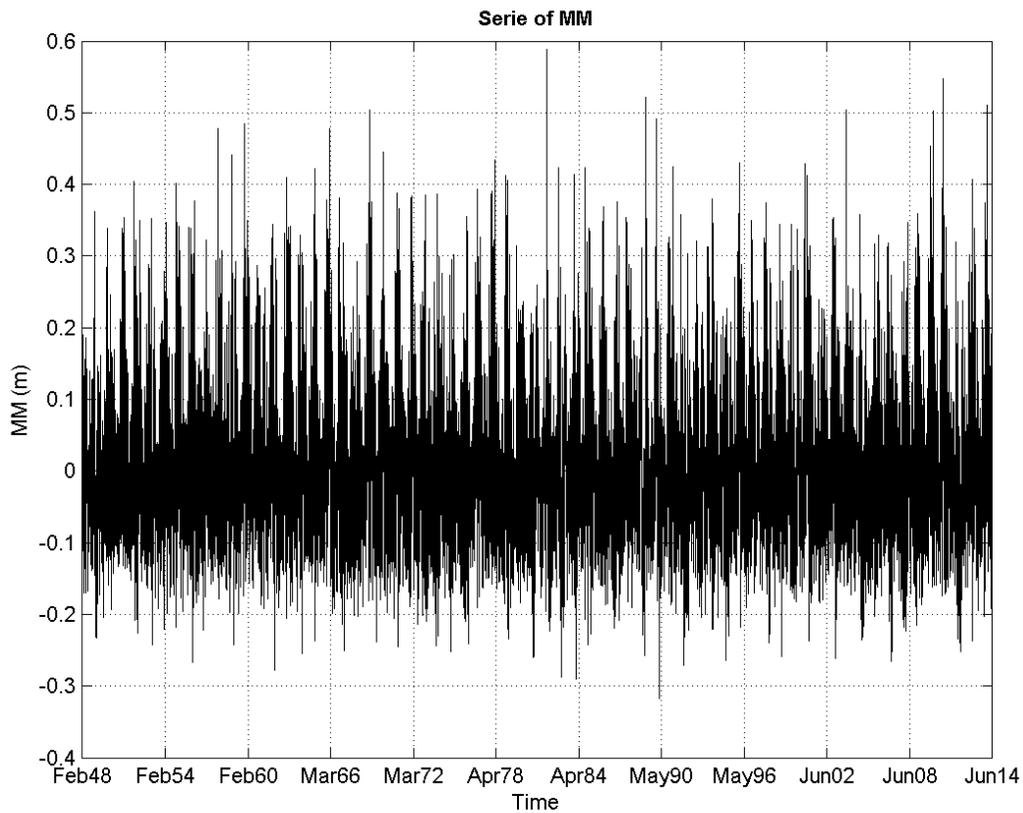


Figura 3.6. Serie horaria de datos de nivel de marea meteorológica.

El rango entre el nivel mínimo y máximo de marea meteorológica es de 90 centímetros,

llegando a ser hasta de 58 centímetros la sobreelevación del nivel del mar debido a este fenómeno y se puede observar fácilmente en la figura 3.6. Las figuras 3.7 y 3.8 muestran la distribución de densidad de probabilidad y la distribución acumulada de la marea meteorológica, respectivamente, donde también se puede observar gráficamente el rango y sobreelevación máxima antes mencionados.

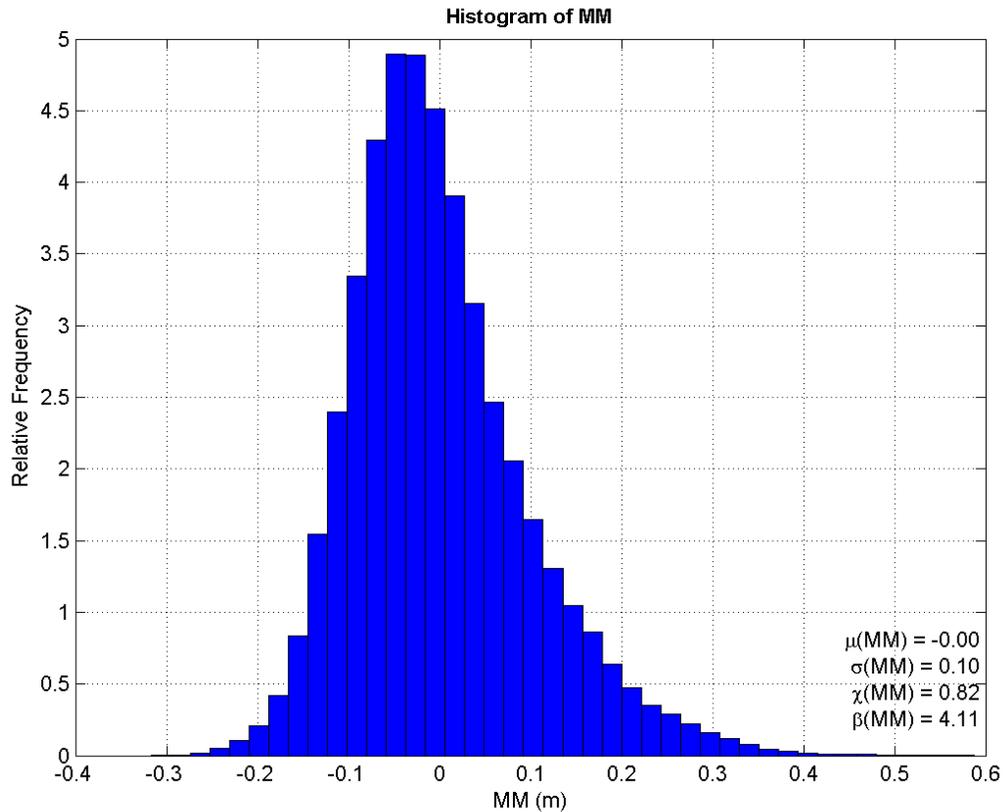


Figura 3.7. Función de densidad de probabilidad de la marea meteorológica.

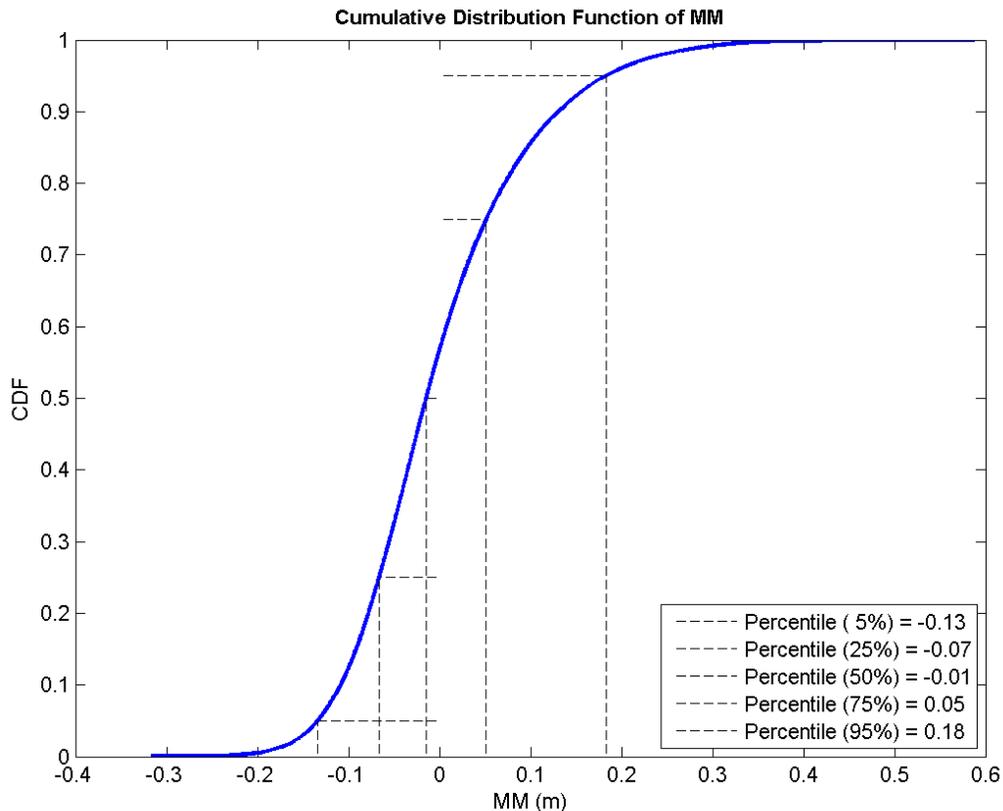


Figura 3.8. Función de distribución acumulada de la marea meteorológica.

3.2 Oleaje en aguas profundas

Para el correcto desarrollo de este trabajo, es necesario conocer el oleaje a una distancia relativamente cercana a la zona de estudio. Sin embargo, no se puede contar siempre con series suficientemente largas y medidas *in situ*. Una aproximación del oleaje de buena calidad es la base de datos de reanálisis DOW generada por el IH Cantabria. Ésta es un *downscaling* de la base de datos GOW (generado a partir del modelo WaveWatch3), la cual proporciona datos de oleaje a nivel global, pero con una resolución espacial inferior.

3.2.1 Descripción de la base de datos

La base de datos DOW, al igual que la GOW, ha sido calibrada con datos de satélite y posteriormente validada mediante datos de boyas exteriores en profundidades indefinidas. El punto de la base de datos utilizado en este estudio está ubicado en un lugar relativamente cercano a la costa, con coordenadas 3.21° W y 43.392° N. La longitud temporal de la base de datos es de 65 años, comenzando en 1950 y finalizando en 2015, proporcionando así información horaria para 575.616 estados de mar. La información que esta base de datos proporciona es la fecha (año, mes, día y hora), altura de ola significativa (en metros), periodo medio (en segundos), periodo de pico (en segundos) y dirección media del oleaje (en grados sexagesimales, desde el Norte y en sentido horario).

En la figura 3.9 se puede observar la altura de ola significativa a lo largo de la totalidad de la serie temporal.

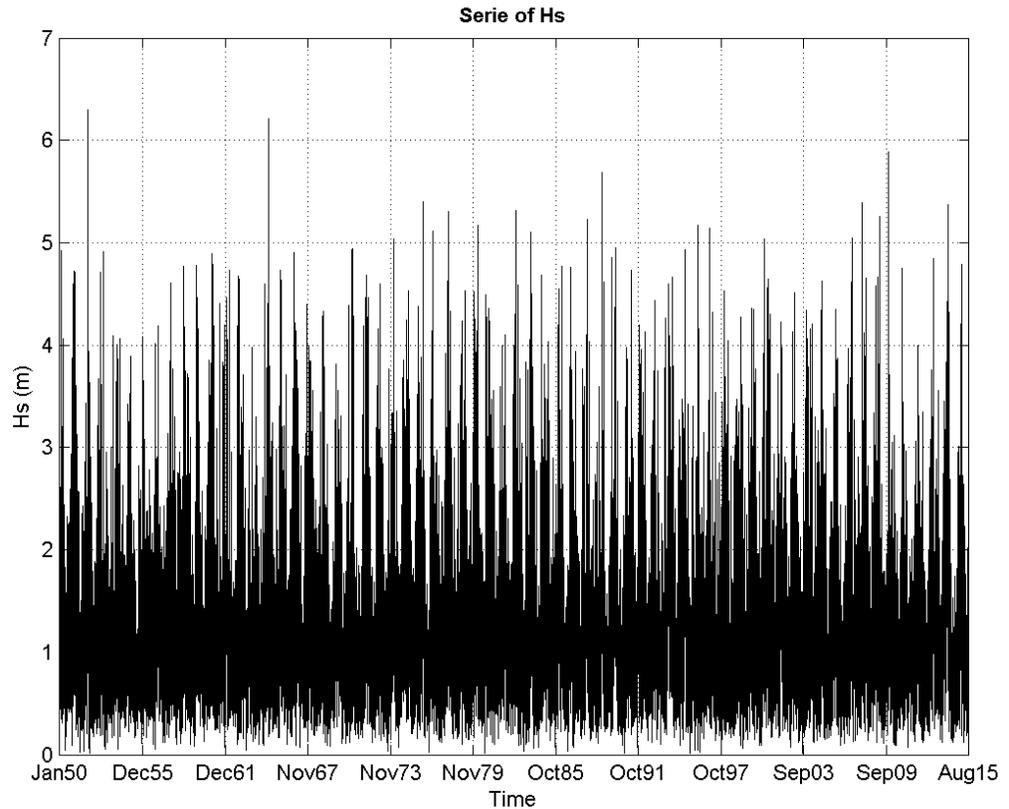


Figura 3.9. Serie temporal de altura de ola significativa (Hs)

3.2.2 Estadística del oleaje

En este apartado se procede a describir la caracterización del oleaje proporcionado por la base de datos DOW.

En la figura 3.10 se observa la rosa de oleaje obtenida con la base de datos previamente mencionada. Se aprecia que el oleaje reinante proviene del N y NNW con una probabilidad de ocurrencia cercana a 42% cada una. También la componente NNE es importante, aunque su probabilidad de ocurrencia (11%) es sustancialmente menor a las otras dos, los oleajes incidentes son considerablemente energéticos. En la tabla 3.1 se pueden ver las probabilidades por sector y valores estadísticos de altura de ola significativa en cada uno de ellos.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

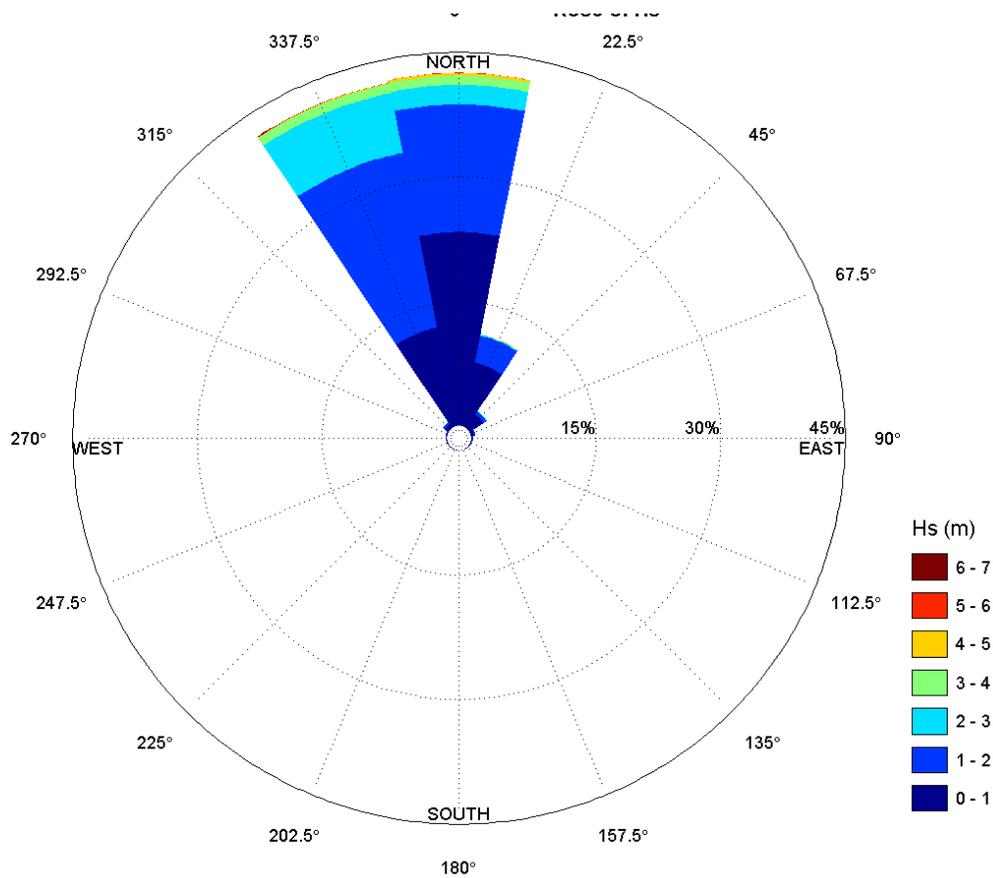


Figura 3.10. Rosa de oleaje en profundidades indefinidas

Direcciones (°)	Probabilidad	Hs50%	Hs90%	Hs99%	Hs12
N	0.4253	0.9419	1.9070	3.8989	4.6705
NNE	0.1125	0.8101	1.3536	2.0630	2.7596
NE	0.0242	0.7441	1.1010	1.6707	2.0748
ENE	0.0045	0.7582	1.0599	1.3890	1.5865
E	0.0012	0.6033	0.8207	1.0431	1.1673
ESE	0.0005	0.5224	0.7070	0.8888	0.9171
SE	0.0003	0.4261	0.5854	0.8193	0.8248
SSE	0.0001	0.3765	0.4917	0.7303	0.7694
S	0.0001	0.3087	0.4940	0.7945	0.8014
SSW	0.0001	0.2491	0.4488	0.7254	0.7254
SW	0.0001	0.2507	0.4302	0.5314	0.5314
WSW	0.0001	0.2761	0.3843	0.5925	0.5936
W	0.0002	0.3107	0.5045	0.6954	0.7480
WNW	0.0008	0.3985	0.6132	0.9450	1.6695
NW	0.0082	0.6840	1.4499	2.2301	3.1759
NNW	0.4219	1.3493	2.4195	3.4565	4.4037

Tabla 3.1 Análisis direccional del oleaje. Probabilidad de ocurrencia y valores de Hs 50%, Hs 90%, Hs 99% y

Hs 12 por sectores direccionales.

Para poder establecer una relación entre la altura de ola significativa y el periodo pico se ha representado la distribución conjunta Hs-Tp que se muestra en la figura 3.11. Los oleajes con mayor probabilidad de ocurrencia tienen altura de ola significativa menor a 1 metro y periodo pico entre 6 y 8 segundos. Los oleajes dominantes, de forma general, tienen altura significativa menor a 2 metros y periodo pico entre 4 y 10 segundos. El resto de los estados de mar que no pertenecen a los dominantes representan el 34% de probabilidad aproximadamente.

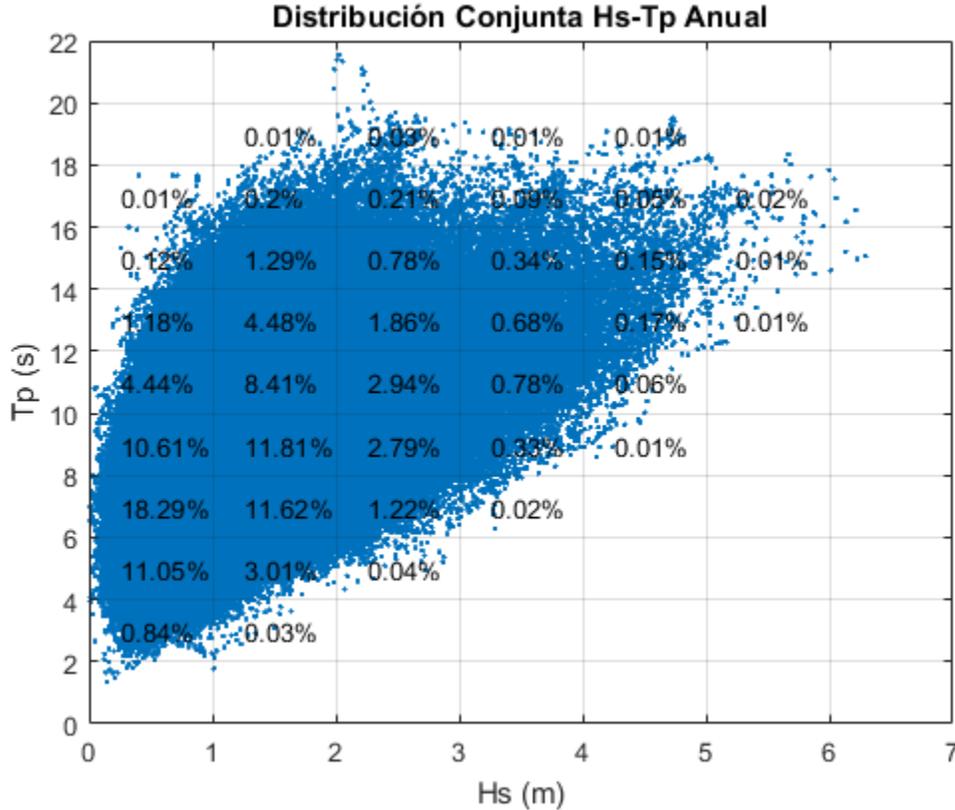


Figura 3.11. Distribución conjunta Hs-Tp con porcentajes de probabilidad.

3.2.3 Régimen medio

Se obtuvieron los regímenes medios anuales escalares de altura de ola con base en los datos de reanálisis DOW correspondientes al punto indicado previamente. Estos regímenes se han ajustado mediante una distribución logarítmica-normal.

Se ha representado este ajuste sobre la Función Probabilística de Densidad en la figura 3.12. Cabe destacar que la media de altura de ola significativa en la muestra es 1.22 metros.

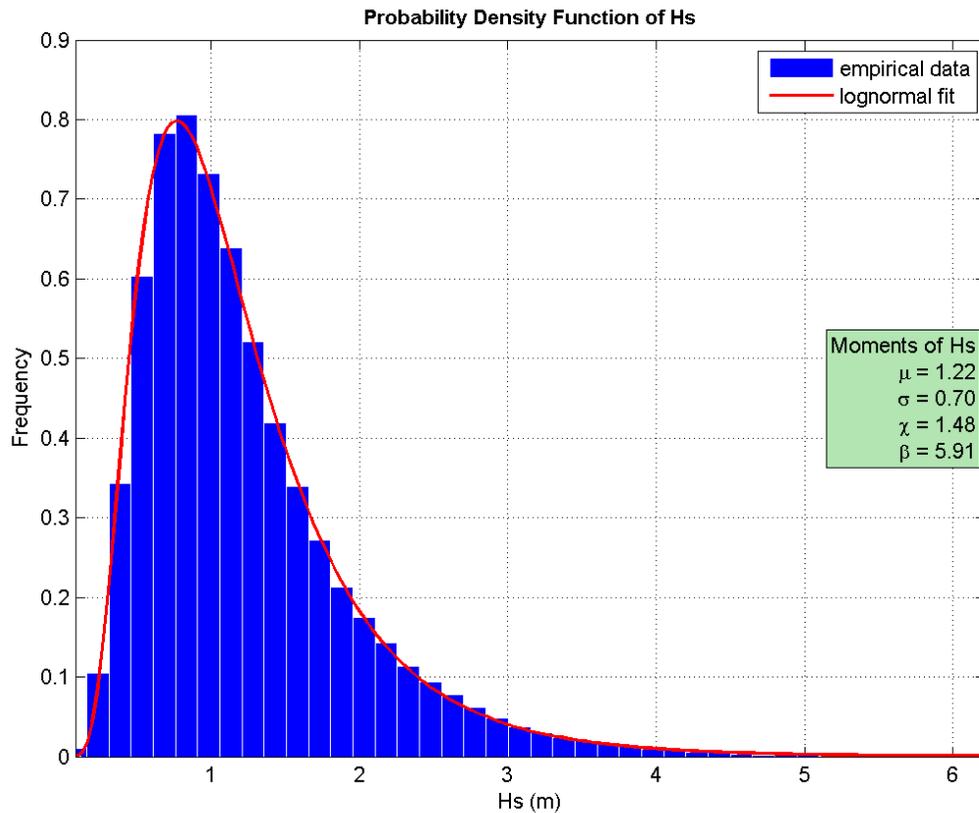


Figura 3.12. Ajuste del régimen medio anual escalar sobre la Función Probabilística de Densidad de altura de ola significativa (H_s).

En la figura 3.13 se representa el mismo ajuste, pero esta vez sobre papel logarítmico. En ella, se observa que el ajuste es muy preciso. En el extremo superior (mayor a 95% de probabilidad) este ajuste deja de ser tan útil, dado que entre la línea de ajuste y los datos empíricos deja de haber el solape que en valores de probabilidad menores se da. Sin embargo, esto no se considera un error, sino que no corresponde más a un régimen medio y, como se verá en el siguiente apartado, esta información debe procesarse con un análisis de régimen extremal.

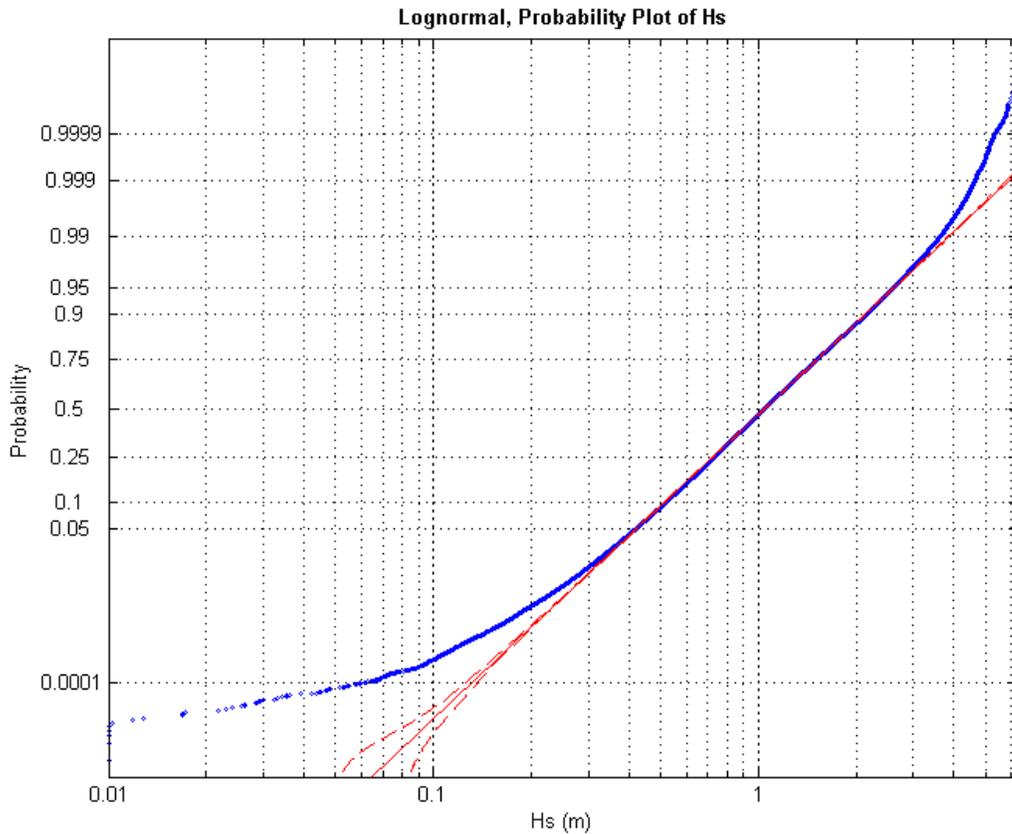


Figura 3.13. Ajuste del régimen medio anual escalar de altura de ola significativa (Hs) sobre papel logarítmico.

3.2.4 Régimen Extremal

Por medio de la distribución de valores extremos generalizados (GEV) se puede tomar en consideración las distribuciones de Gumbel, Fréchet y Weibull de valores extremos. La GEV toma en consideración estas distribuciones por medio del parámetro de forma ξ , de acuerdo al valor de este parámetro, se determina cuál es la adecuada. La expresión de la GEV es:

$$F(x) = \exp \left[- \left(1 - \frac{\xi(x - \mu)}{\Psi} \right)^{1/2} \right]$$

donde:

- μ : es el parámetro de localización
- Ψ : es el parámetro de escala
- ξ : es el parámetro de forma

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

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

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

En la figura 3.14 se puede ver la representación gráfica resultante al efectuar este ajuste de extremos por Máximos Anuales. Con este gráfico se puede determinar la altura de ola que puede

esperarse con un periodo de retorno determinado. Por ejemplo, para un periodo de retorno de 50 años se puede esperar una ola de altura de 6.2 metros teniendo un intervalo de confianza de ± 0.4 metros aproximadamente.

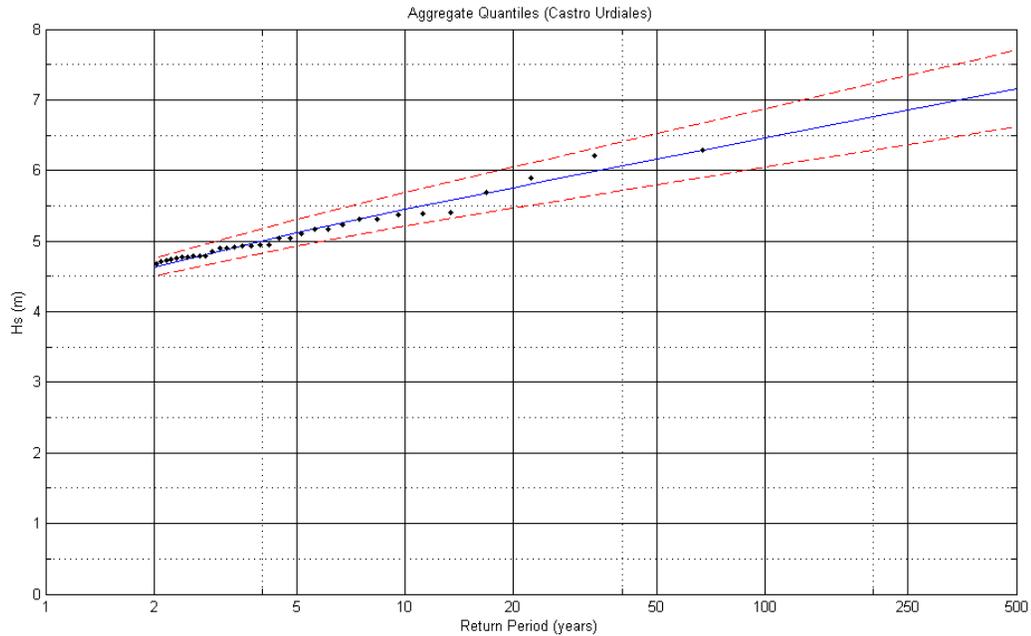


Figura 3.14. Régimen extremal escalar. Ajuste de extremos por Máximos Anuales a GEV.

3.2.5 Estacionalidad

En general, la ocurrencia y magnitud de temporales es mayor en el invierno que en verano. Este es el caso en la Costa Cantábrica y, como consecuencia de estos fenómenos, las características del oleaje, estadísticamente hablando, son distintas entre ambas estaciones. En esta costa, la situación del invierno está comprendida entre los meses de noviembre y marzo, y el verano entre mayo y septiembre. Los meses de abril y octubre se consideran que son meses de transición donde no es tan clara la pertenencia a una estación o la otra.

La figura 3.15 representa de forma anual la altura de ola significativa de la base de datos DOW en el punto conocido. En ella es claro que en los meses de invierno la tendencia de la altura de ola se incrementa y en verano disminuye. Aun así, hay situaciones anómalas, como se puede observar en el mes de julio existen algunos casos cuyas alturas de ola significantes llegan a alcanzar el valor de 4.5 metros.

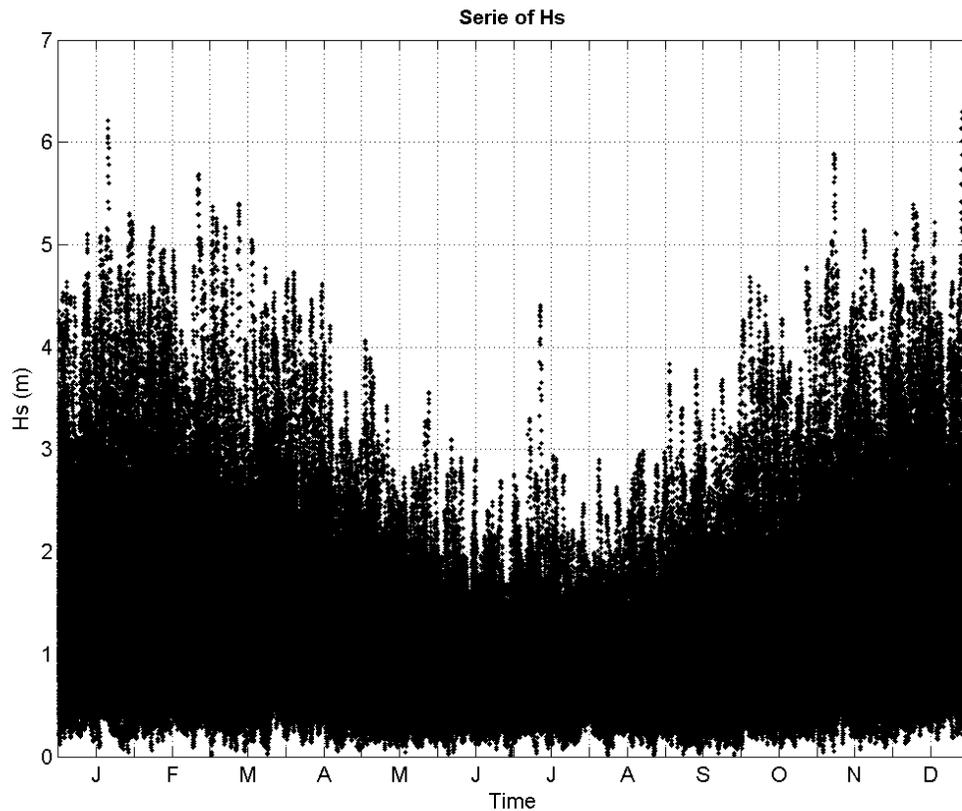


Figura 3.15. Serie anual de altura de ola significativa (Hs)

Invierno

Con la figura 3.16 es posible observar como la influencia de la componente NNW del oleaje se incrementa considerablemente, mientras que la N disminuye. De forma cuantitativa se pueden ver las probabilidades de ocurrencia de estas componentes en la tabla 3.2. La probabilidad de ocurrencia de la componente NNW llega a 49%, la N disminuye a 36% y la NNE 9% (7% más, 6% menos y 2% menos que la situación anual, respectivamente).

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

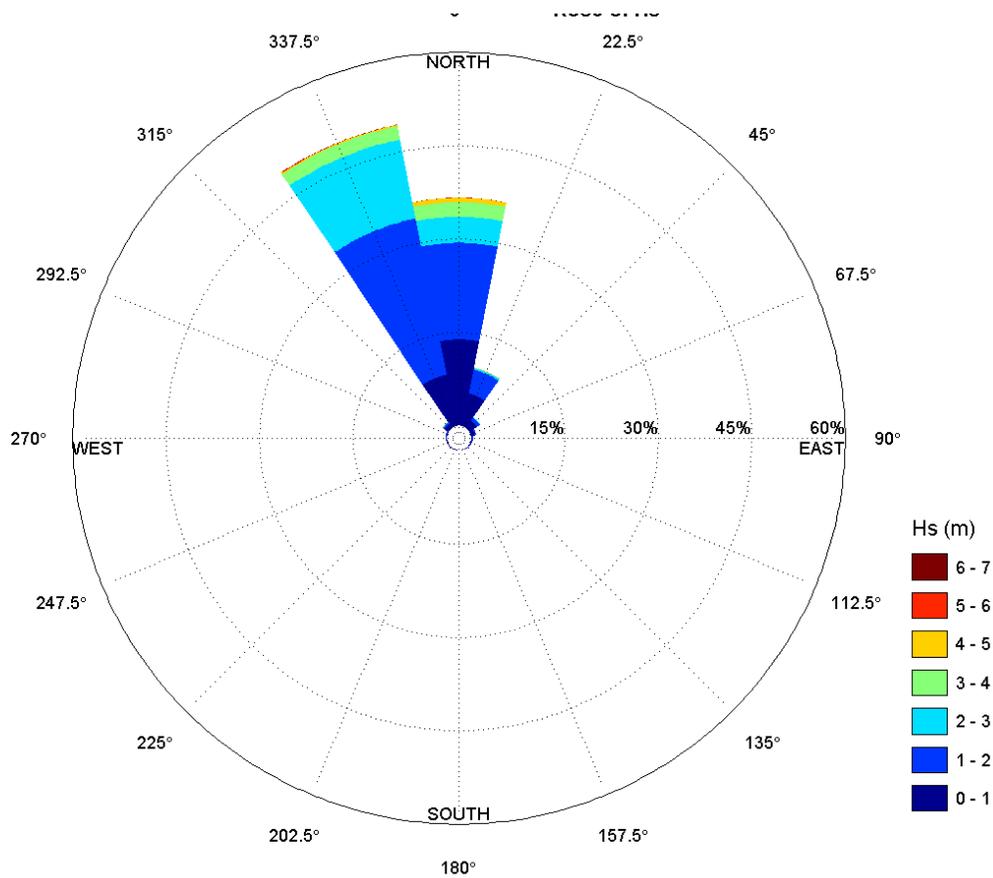


Figura 3.16. Rosa de oleaje en invierno en profundidades indefinidas.

Direcciones (°)	Probabilidad	Hs50%	Hs90%	Hs99%	Hs12
N	0.3666	1.1762	2.8268	4.3325	4.9850
NNE	0.0954	0.9284	1.5848	2.3845	3.3017
NE	0.0201	0.8007	1.2674	1.9454	2.1958
ENE	0.0073	0.7998	1.0802	1.4218	1.6164
E	0.0022	0.6444	0.8419	1.0471	1.1968
ESE	0.0009	0.5224	0.7057	0.8965	0.9171
SE	0.0004	0.4256	0.6020	0.6954	0.6969
SSE	0.0002	0.3678	0.4913	0.5833	0.5833
S	0.0002	0.3160	0.4984	0.8014	0.8014
SSW	0.0002	0.2585	0.4534	0.7254	0.7254
SW	0.0001	0.2524	0.4410	0.5314	0.5314
WSW	0.0002	0.2934	0.3678	0.5936	0.5936
W	0.0003	0.3172	0.4655	0.6370	0.6506
WNW	0.0012	0.4072	0.6192	1.1005	1.6870
NW	0.0109	0.7265	1.4867	2.3034	3.1603
NNW	0.4938	1.6123	2.6716	3.7014	4.7097

Tabla 3.2. Análisis direccional del oleaje en invierno. Probabilidad de ocurrencia y valores de Hs 50%, Hs

90%, Hs 99% y Hs 12 por sectores direccionales.

De igual forma, la magnitud de altura de ola significativa se ve incrementada, por ejemplo, el valor Hs90% (valor de altura de ola significativa que solo superan 10% de los datos) para la serie anual y en invierno se muestran en la tabla 3.3.

Componente	Hs90% Anual	Hs90% Invierno
NNW	2.41	2.67
N	1.90	2.82
NNE	1.35	1.58

Tabla 3.3. Hs90% correspondiente a los datos Anuales y en invierno para las componentes principales (NNW, N y NNE).

En la representación gráfica de la distribución conjunta de Hs y Tp en invierno las probabilidades de ocurrencia cambian y en este caso la dominancia se da con altura de ola significativa entre 1 y 2 metros con periodo entre 10 y 12 segundos. Durante este periodo es cuando suceden los grandes temporales, que generan los oleajes más grandes con periodos largos. Los periodos largos (superiores a 10 segundos) con alturas igualmente grandes (superiores a 2 metros) son los que pertenecen a temporales y que generarán rebases en la zona de estudio. Éstos abarcan aproximadamente el 15% de los estados de mar. La figura 3.17 representa la distribución conjunta de Hs y Tp en invierno.

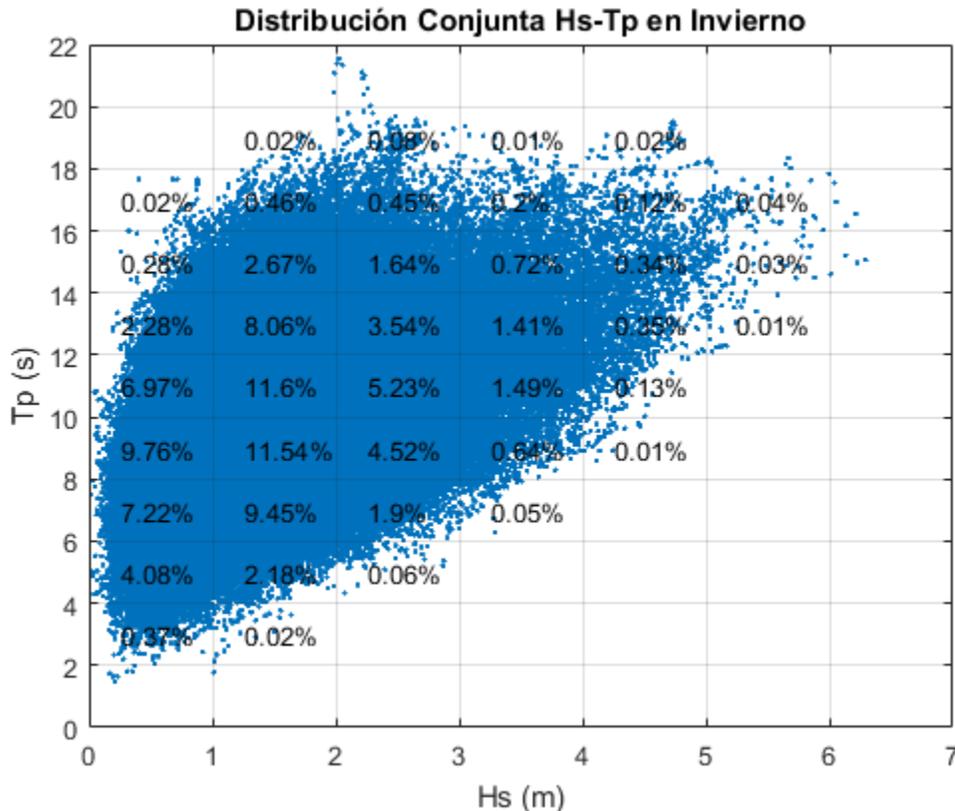


Figura 3.17. Distribución conjunta Hs-Tp con porcentajes de probabilidad en invierno.

Verano

Con respecto al verano, en la figura 3.18 se presenta la rosa de oleaje en verano. En ella es claro que la influencia de la componente N es la más importante, seguida de la NNW y finalmente NNE. Con ayuda de la tabla 3.4 se obtiene que el incremento de la componente con respecto a serie

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

anual es de 6% (de 42 a 48 por ciento), mientras que la NNE se incrementa en 2% (de 11 a 13 por ciento) y, finalmente, la componente NNW disminuye 7% (de 42 a 35 por ciento)

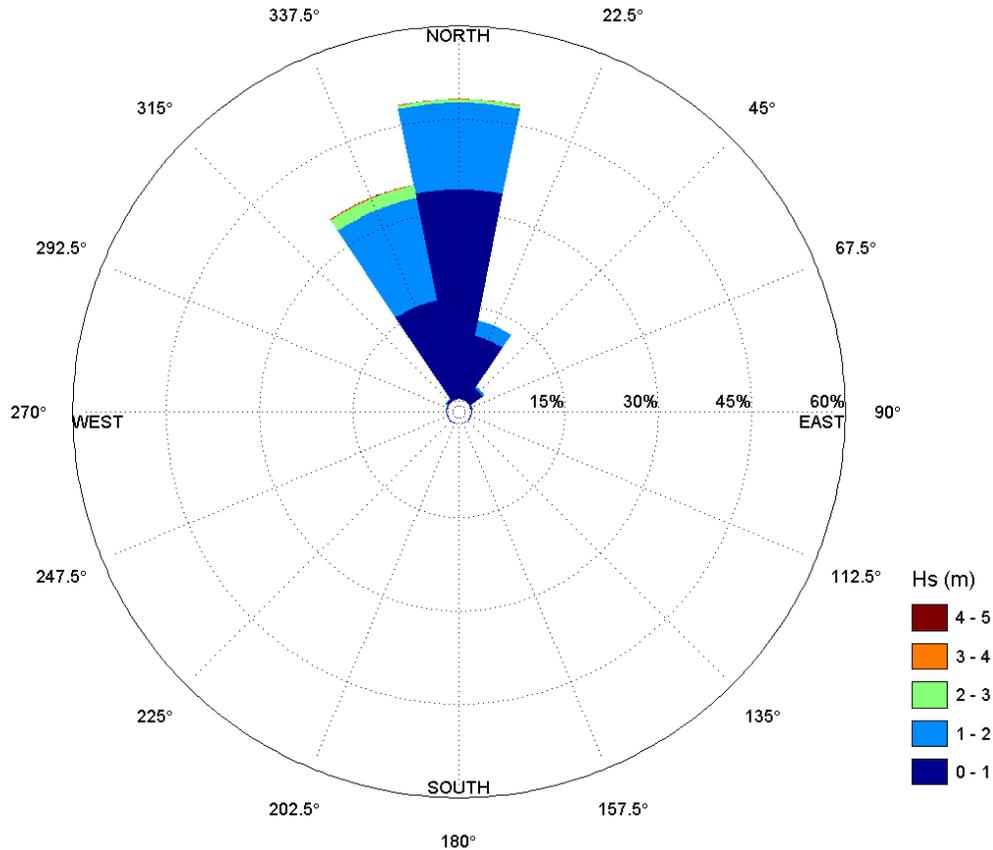


Figura 3.18. Rosa de oleaje en verano en profundidades indefinidas.

Direcciones (°)	Prob. Direcciones	Hs50%	Hs90%	Hs99%	Hs12
N	0.4824	0.8029	1.3257	2.0595	2.8706
NNE	0.1296	0.7371	1.1410	1.5368	1.8971
NE	0.0280	0.7037	1.0028	1.2246	1.4379
ENE	0.0017	0.6372	0.9183	1.0784	1.2422
E	0.0001	0.4210	0.5534	0.7756	0.7756
ESE	0.0001	0.3123	0.4916	0.5091	0.5091
SE	0.0001	0.2402	0.3938	0.4338	0.4338
SSE	0.0000	0.1740	0.3342	0.3472	0.3472
S	0.0000	0.2261	0.2261	0.2261	0.2261
SSW	0.0000	0.2605	0.3097	0.3097	0.3097
SW	0.0000	0.2464	0.4487	0.4679	0.4679
WSW	0.0000	0.2396	0.2881	0.2881	0.2881
W	0.0000	0.2724	0.3991	0.5092	0.5092
WNW	0.0004	0.3157	0.5637	0.7332	0.8049
NW	0.0054	0.6420	1.3890	1.9343	2.0937

NNW	0.3521	1.0483	1.8021	2.6622	3.2365
------------	--------	--------	--------	--------	--------

Tabla 3.4. Análisis direccional del oleaje en verano. Probabilidad de ocurrencia y valores de Hs 50%, Hs 90%, Hs 99% y Hs 12 por sectores direccionales.

Para comparar los cambios en la estadística de altura de ola significativa, se presenta en la tabla 3.5, mostrando el valor HS90% de las componentes principales en la serie anual y en verano. En general, la magnitud de altura de ola significativa disminuye.

Componente	Hs90% Anual	Hs90% Verano
NNW	2.41	1.80
N	1.90	1.32
NNE	1.35	1.14

Tabla 3.5. Hs90% correspondiente a los datos Anuales y en verano para las componentes principales (NNW, N y NNE).

En la representación gráfica de la distribución conjunta de Hs y Tp en verano, las probabilidades de ocurrencia cambian, así como el rango de dispersión. Sin embargo, la dominancia es similar, ya que la altura de ola más frecuente es menor a 1 metro y el periodo pico está en el rango de 6 a 8 segundos. La figura 3.19. representa la distribución conjunta de Hs y Tp en verano. El rango de dispersión en periodo pico y altura de ola significativa es menor que en la serie anual y en invierno, están más concentrados con periodo pico entre 1 y 17 segundos y altura de ola significativa hasta de 4.5 metros.

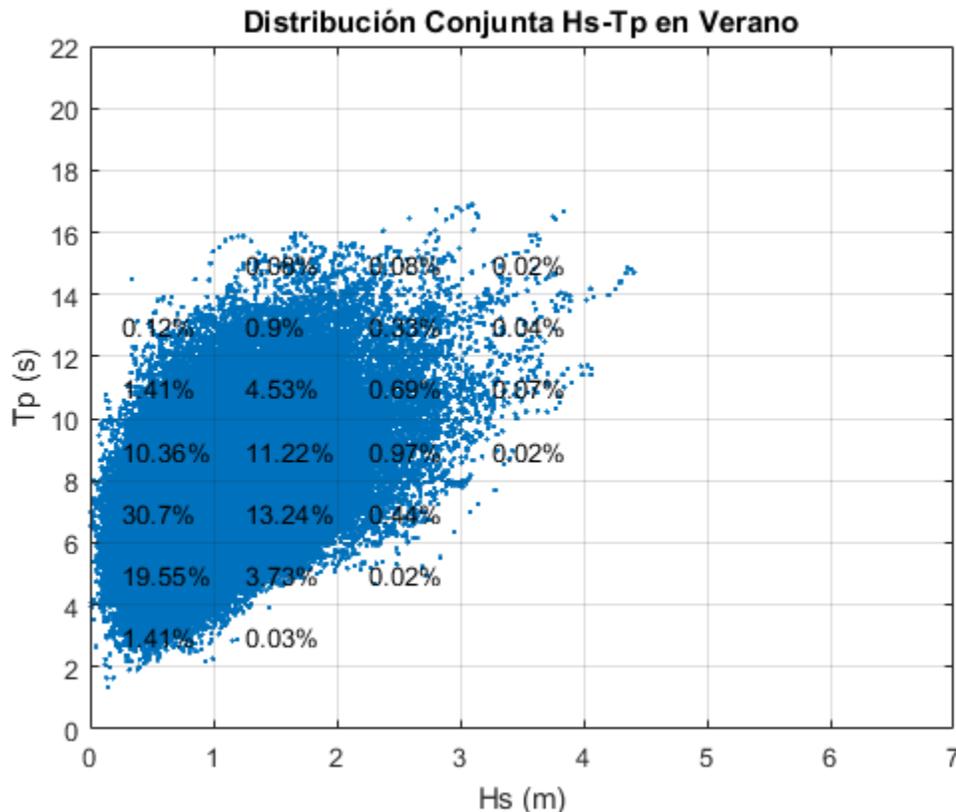


Figura 3.19. Distribución conjunta Hs-Tp con porcentajes de probabilidad en verano.

3.3 Conclusiones

Régimen Anual

- Para tener bases de datos suficientemente largas se utilizaron las bases de datos de reanálisis DOW, GOT y GOS.
- El rango de la marea astronómica es de 4.50 metros y de la marea meteorológica es de 90 centímetros, teniendo el máximo de sobreelevación de 58 centímetros, la máxima depresión de 31 centímetros y la media aproximadamente 0 centímetros.
- La componente direccional del oleaje predominante es N y NNW. También hay influencia, aunque menor, del NNE.
- La media de altura significativa de toda la serie es 1.22 metros.
- La función de distribución que mejor se ajusta a la serie de altura significativa es la logarítmica normal.
- El estado de mar con mayor probabilidad tiene alturas significantes menores a 1 metro y periodo entre 6 y 8 segundos.
- Los temporales conforman 15% de los estados de mar, entendiéndolos como oleajes con altura significativa mayor a 2 metros y periodo pico mayor a 10 segundos.
- Hay una marcada estacionalidad, se observan alturas de ola de mayor magnitud durante los meses de invierno que durante el verano.

Régimen Estacional

Invierno

- La influencia de la componente direccional NNW se incrementa, mientras que la N disminuye.
- La altura significativa, estadísticamente, es mayor durante el invierno que durante todo el año.
- Durante este periodo los estados de mar más probables se encuentran entre 1 y 2 metros de altura significativa y periodo pico entre 10 y 12 segundos.

Verano

- La influencia de la componente direccional NNW disminuye y la N disminuye.
- La altura significativa, estadísticamente, es menor durante el verano que durante todo el año y, por ende, que durante el invierno.
- Durante este periodo los estados de mar más probables son menores a 1 metro de altura significativa y periodo pico entre 6 y 8 segundos. Cabe destacar que la probabilidad de ocurrencia de los estados de mar entre estos dos intervalos es muy alta, llegando hasta 30%.

CAPÍTULO 4

4. Oleaje frente a la Grieta Mayor

4.1 Propagación del oleaje

4.1.1 Selección de casos mediante la técnica de máxima disimilitud

4.1.2 Propagación mediante OLUCA

4.1.3 Interpolación mediante la técnica RBF

4.2 Oleaje frente a la grieta mayor (estadística)

4.3 Conclusiones

4. Oleaje frente a la Grieta Mayor

En este capítulo se describe el proceso para propagar el oleaje desde su localización original hasta las cercanías del área de estudio y las características principales del oleaje en esa zona. Se describe el método para seleccionar los casos a propagar, el modelo con el que se hace la propagación, las mallas utilizadas, el método de interpolación para reconstruir la serie de datos completa y, finalmente, la estadística de esta serie de datos reconstruida.

4.1 Propagación del oleaje

Los frentes de onda y de distribución espacial de la energía del oleaje, cuando se propagan hacia la costa, son modificados debido a diversos fenómenos como la refracción, difracción, reflexión y asomeramiento. Por tanto, es necesario propagar los oleajes existentes en aguas profundas hacia una zona cercana a la zona de interés (o de ser posible hasta la zona de interés) y así poder tener una caracterización adecuada de estos.

El tiempo computacional necesario para propagar los 575616 oleajes que constituyen la base de datos sería excesivamente elevado e imposible de abordar. La clasificación de estos oleajes, selección de casos representativos y su propagación es necesaria, para posteriormente reconstruir la serie completa de oleaje, por medio de interpolación, en la zona de interés.

La metodología seguida para obtener el oleaje frente a la Grieta Mayor es la siguiente:

1. De acuerdo a las características del oleaje en el punto exterior, discutidas en el capítulo anterior, se seleccionan cierto número estados de mar representativos de la base de datos. Esta selección se lleva a cabo mediante la técnica de máxima disimilitud (MaxDiss) (Camus *et al*, 2011).
2. Los oleajes seleccionados son propagados hasta el punto objetivo (frente a la Grieta Mayor), mediante el modelo OLUCA.
3. Se realiza la interpolación por medio de las funciones de base radial (RBF, por sus siglas en inglés), con base en los resultados de las propagaciones hechas en el paso anterior. Esto proporciona una serie recompuesta del oleaje en el punto objetivo, a partir de la serie en profundidades indefinidas.

A continuación, se describen más detalladamente los procesos descritos previamente:

4.1.1 Selección de casos mediante la técnica de máxima disimilitud

Esta selección se realiza con base en la dirección, altura de ola y periodo de pico de los estados de mar en aguas profundas. Como se discutió en el capítulo 3 el rango de la marea en Castro Urdiales es de aproximadamente 4.5 metros, por lo que las propagaciones se realizaron para dos niveles de marea diferentes, bajamar (cota -0.30 con respecto al cero del puerto) y pleamar (cota +4.57 con respecto al cero del puerto). Se seleccionan 200 casos de oleaje, representativos de las direcciones, alturas de ola y periodos incidentes en la zona. Finalmente se obtendrán 400 casos a propagar, debido a la propagación de cada caso en dos niveles de marea distintos. La selección realizada con la técnica de máxima disimilitud se presenta en la figura 4.1 y las características de estos casos se pueden ver en el Anejo 1.

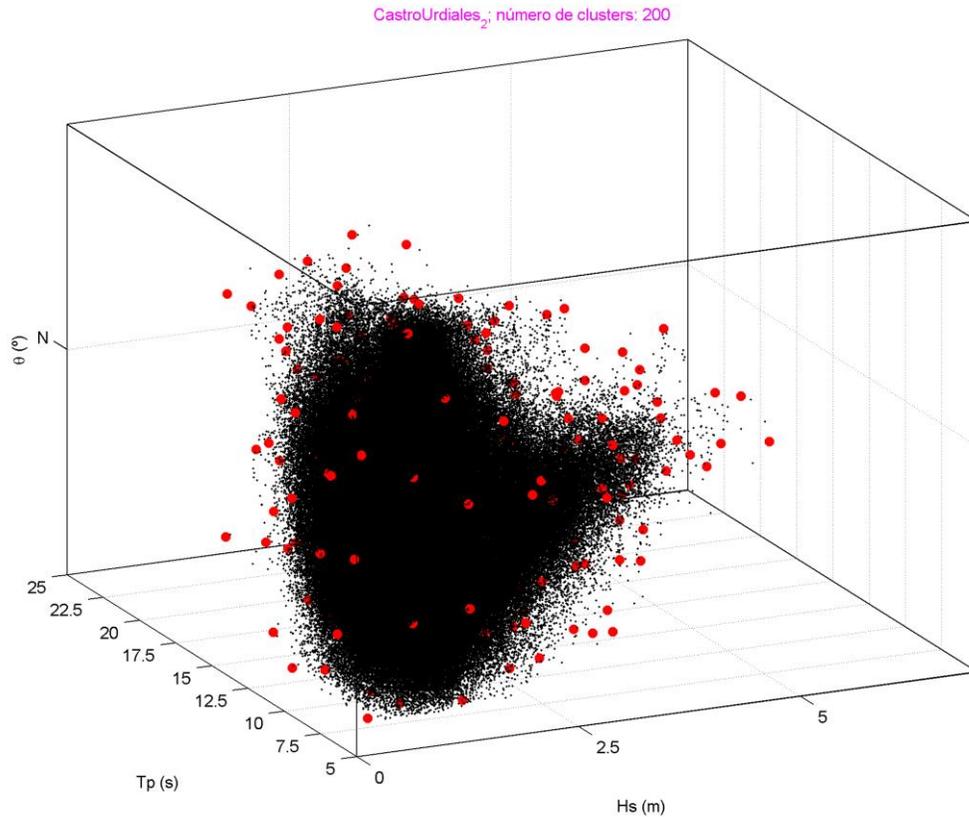


Figura 4.1. Distribución de los 200 casos seleccionados en los ejes Hs-Tp-Dir.

4.1.2 Propagación mediante OLUCA

El Modelo de Propagación de Oleaje y Corrientes (OLUCA), del Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria), fue inicialmente desarrollado en la Universidad de Delaware y mejorado por miembros de esta misma universidad y del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas de la Universidad de Cantabria. Este modelo simula la propagación del oleaje para oleajes monocromáticos y espectrales, por medio de la forma parabólica de la ecuación de pendiente suave o *mild slope* (Martin *et al*, 1997) e incorpora modelos de propagación no lineales, simulación de capa límite turbulenta o laminar, la rugosidad del fondo, entre otros factores.

La batimetría empleada para este estudio es la combinación de la información recopilada en las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina y campañas batimétricas realizadas en la Grieta Mayor, así como un levantamiento topográfico de la ciudad de Castro Urdiales.

Para comenzar, es necesario definir las mallas que se utilizarán en las propagaciones. Sabiendo que los oleajes a propagar proceden de direcciones comprendidas entre NNW y NNE, son necesarias dos mallas. Solamente es necesario utilizar una malla general, y no se requiere una de detalle anidada, dado que la propagación no necesita hacerse hasta la costa, sino hasta un punto frente a la Grieta Mayor. Estas mallas tienen una resolución de 10 metros, permitiendo que el grado de detalle sea grande. En las figuras 4.2 y 4.3 se muestran las mallas utilizadas.

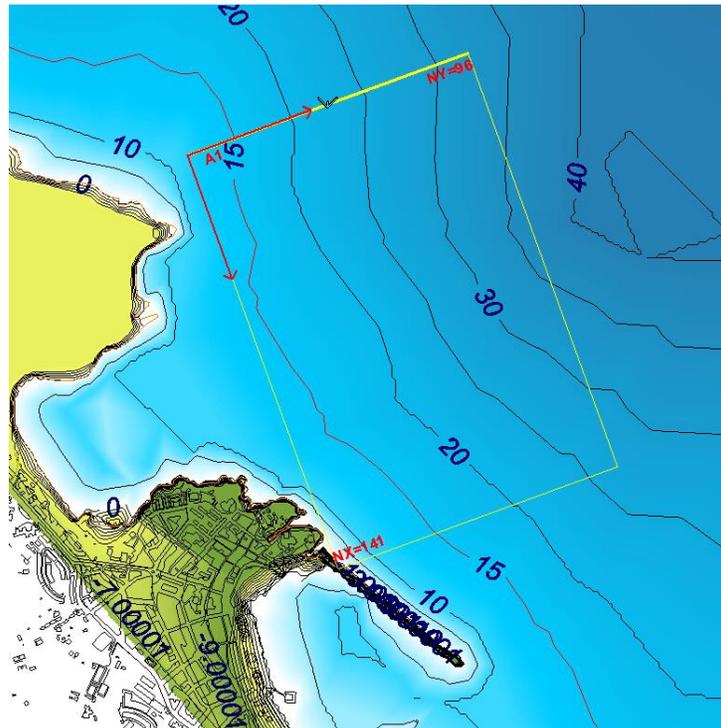


Figura 4.2. Malla para propagación de oleajes NNW y N.

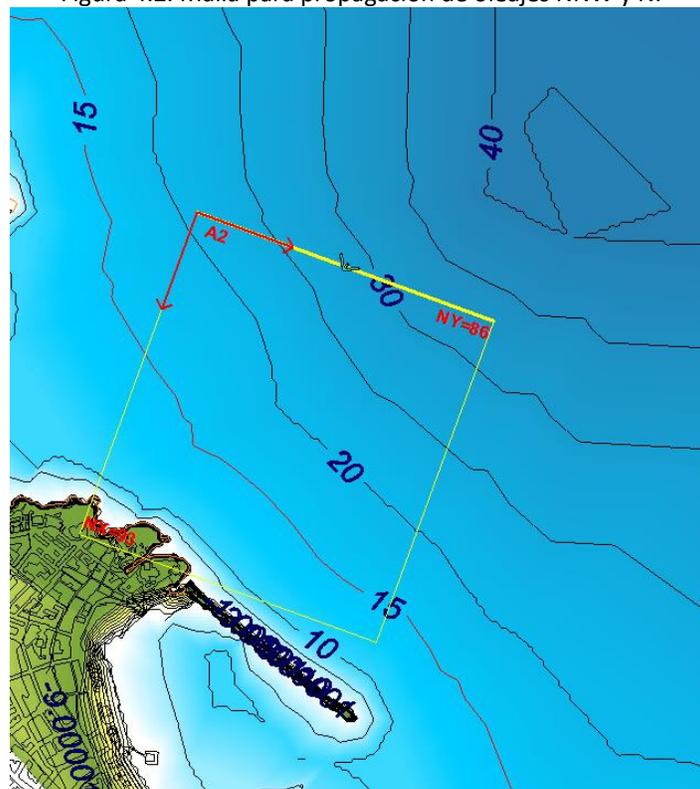


Figura 4.3. Malla para propagación de oleajes NNE y N.

Las figuras 4.4 y 4.5 se muestran, como ejemplo de dos propagaciones de oleaje sobre las dos mallas previamente descritas. En el primer caso, se trata de un oleaje con las siguientes

características: $H_s=6.05\text{m}$, $T_p=16.93\text{s}$ y $\text{Dir}=343.28^\circ$. Por su parte, en el segundo caso se trata de un oleaje con: $H_s=4.17\text{m}$, $T_p=9.36\text{s}$ y $\text{Dir}=19.97^\circ$. En la primera figura se observa como el oleaje se refracta, los rayos del oleaje tienden a colocarse perpendiculares a la batimetría. En otros términos, los frentes de ola tienden a ponerse paralelos a la batimetría, es así que deben girar hasta acercarse lo más posible a esa posición. Por el contrario, en la segunda propagación, la dirección de los rayos del oleaje es prácticamente perpendicular a la batimetría. Por esto, su propagación es prácticamente franca y no se observan giros importantes.

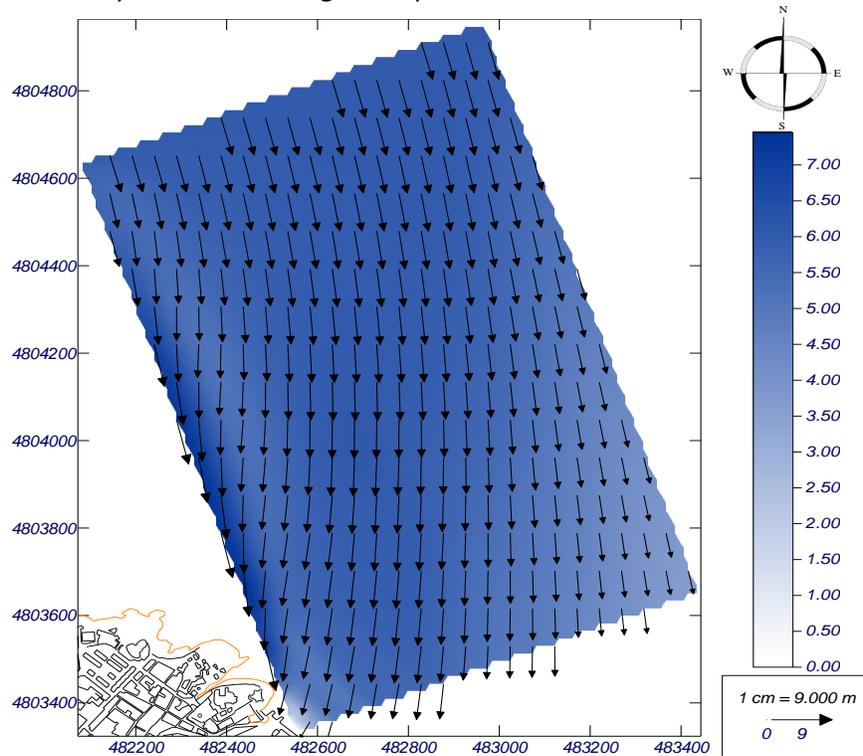


Figura 4.4 Propagación con la malla para propagación de oleajes del NNW y N. Oleaje con $H_s=6.05\text{m}$, $T_p=16.93\text{s}$ y $\text{Dir}=343.28^\circ$

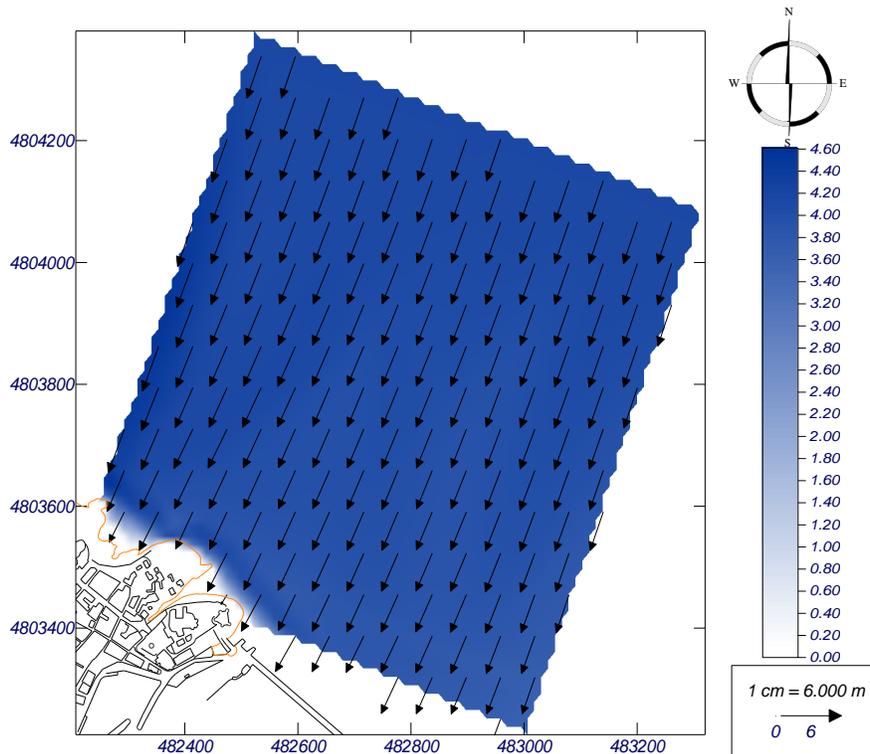


Figura 4.5. Propagación con la malla para propagación de oleajes del N y NNE. Hs=4.17m, Tp=9.36s y Dir=19.97°.

4.1.3 Interpolación mediante la técnica RBF

Una vez propagados los 400 casos seleccionados con MaxDiss, debe hacerse la reconstrucción de toda la serie de datos. Esta reconstrucción se hace mediante la técnica de interpolación de las funciones de base radial (RBF), que es de gran utilidad para datos con una alta dimensionalidad y distribuidos no uniformemente. Haciendo uso de los resultados obtenidos al propagar los casos seleccionados, se realiza la interpolación en el punto deseado. Finalmente, se obtiene una serie de datos de oleaje cuya extensión temporal es idéntica a la base de datos original.

4.2 Oleaje frente a la grieta mayor (estadística)

En este apartado se describen las características del oleaje frente a la Grieta Mayor, después de haber sido propagados los casos seleccionados y de realizar la reconstrucción de la serie de datos. Se analizan las principales características de la serie y se muestran las figuras correspondientes para poder describir el clima marítimo en el punto control.

El Punto Control se situó frente a la Grieta Mayor, donde la profundidad es de 10 metros, suficientemente profundo para que la gran parte del oleaje aún no rompa, pero para poder conocer las características del mismo en profundidades reducidas. En la figura 4.6 se muestra la localización del Punto DOW desde el cual se propagó el oleaje hasta el Punto Control, también mostrado en esta figura. En la siguiente figura (4.7) se muestra el Punto Control sobre la batimetría, donde se demuestra que está situado sobre la cota batimétrica -10.



Figura 4.6. Localización del Punto Control frente a la Grieta Mayor, donde se hizo la reconstrucción de la serie de datos y el Punto DOW.

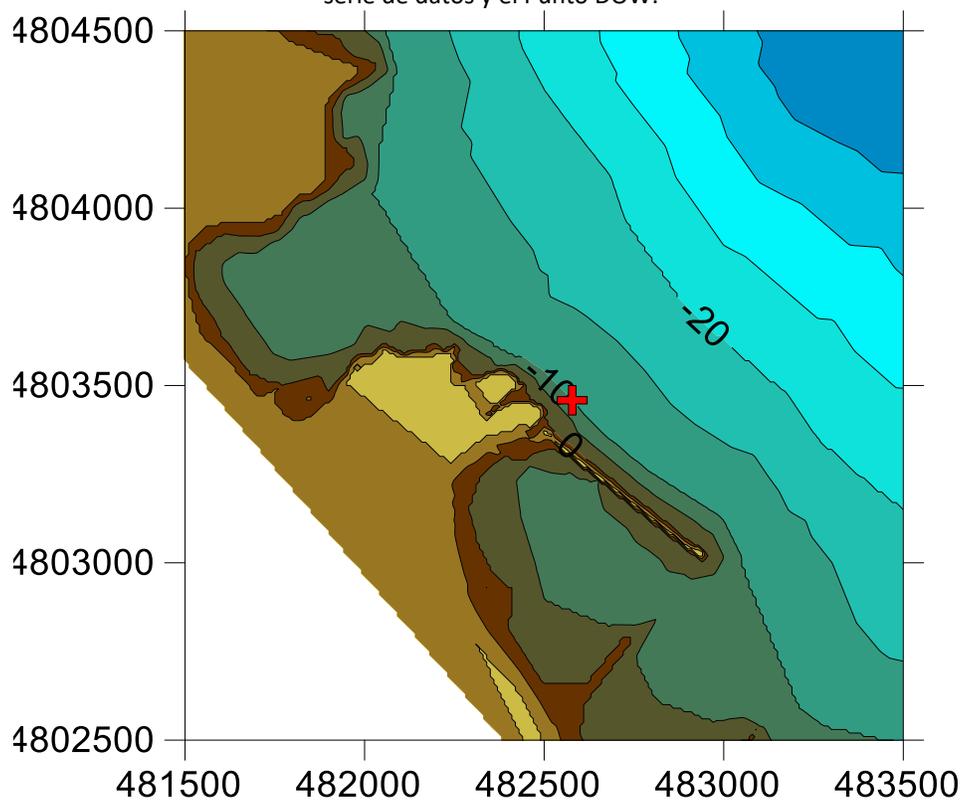


Figura 4.7. Localización del Punto de Control con respecto a la batimetría. La altura significativa (H_s) y el periodo de pico (T_p) de la serie reconstruida entre el año 1950

y 2015 están representadas en la figura 4.8. El rango de valores de la altura significativa es aproximadamente de 0.3 a 7 metros y del periodo pico de 5 a 22 segundos. Esta serie se analiza por medio de rosas de oleaje, representación conjunta de Hs-Tp, el régimen medio y el régimen extremal.

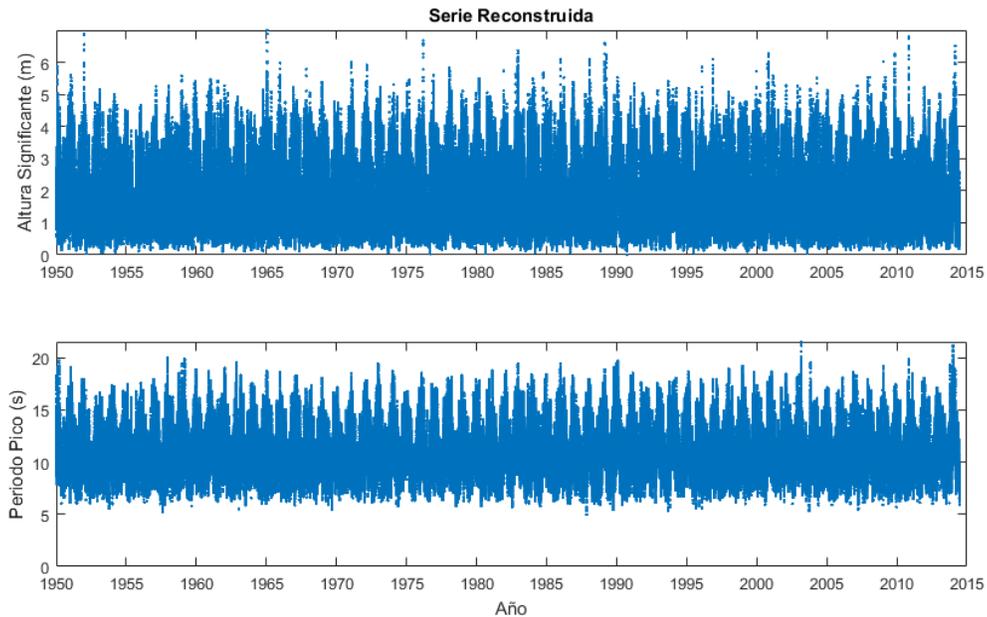


Figura 4.8. Altura significativa (Hs) y Periodo Pico (Tp) de la serie reconstruida en el Punto Control.

El oleaje se ha asomerado, esto quiere decir que el fondo ha cambiado las características del oleaje. La serie en el Punto Control refleja mayores alturas que en el Punto DOW, tomando mayor relevancia las alturas en los rangos 2-3 y 3-4 metros. También, los oleajes provenientes del NNW han disminuido y, en la misma proporción, los del N han incrementado. Estos oleajes del N son los predominantes con una probabilidad de ocurrencia de 45%, seguidos por los NNW con probabilidad de 40%. Esto representa un giro de los frentes de las olas para ponerse paralelos con la batimetría, dicho de otra forma, se han refractado. La figura 4.9 representa la rosa de oleajes, donde se puede observar lo previamente dicho.

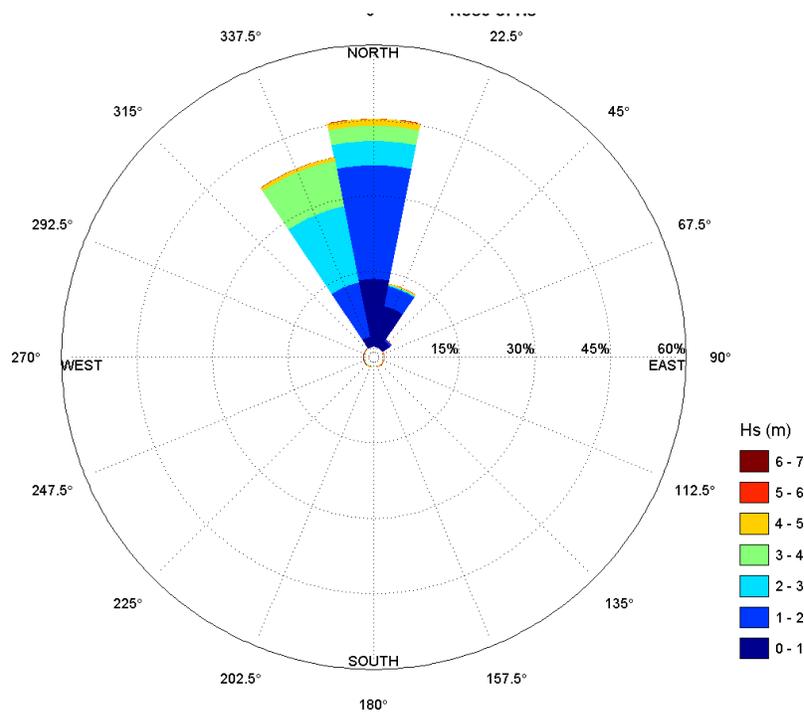


Figura 4.9. Rosa de oleaje en el Punto Control.

Por medio de la distribución de probabilidad conjunta de Hs y Tp es posible hallar los estados de mar más probables, teniendo altura significativa entre 1 y 2 metros y periodo pico entre 8 y 10 segundos. Los oleajes más probables se encuentran en cierto rango donde ambas variables (Hs y Tp) cambian de forma proporcional, si una incrementa la otra lo hace en una medida similar. Por el contrario, los oleajes de temporal no son tan frecuentes, no obstante, son los que generan rebases de mayor magnitud en la zona que se estudiará. Los oleajes por encima de 2 metros y 10 segundos deben estudiarse con detenimiento para estudios como el presente, ya que son los generarán situaciones de riesgo. Observando la figura 4.10 es posible distinguir una banda diagonal dentro de la cual se encuentran los oleajes más probables y que disminuye hacia los valores más grandes.

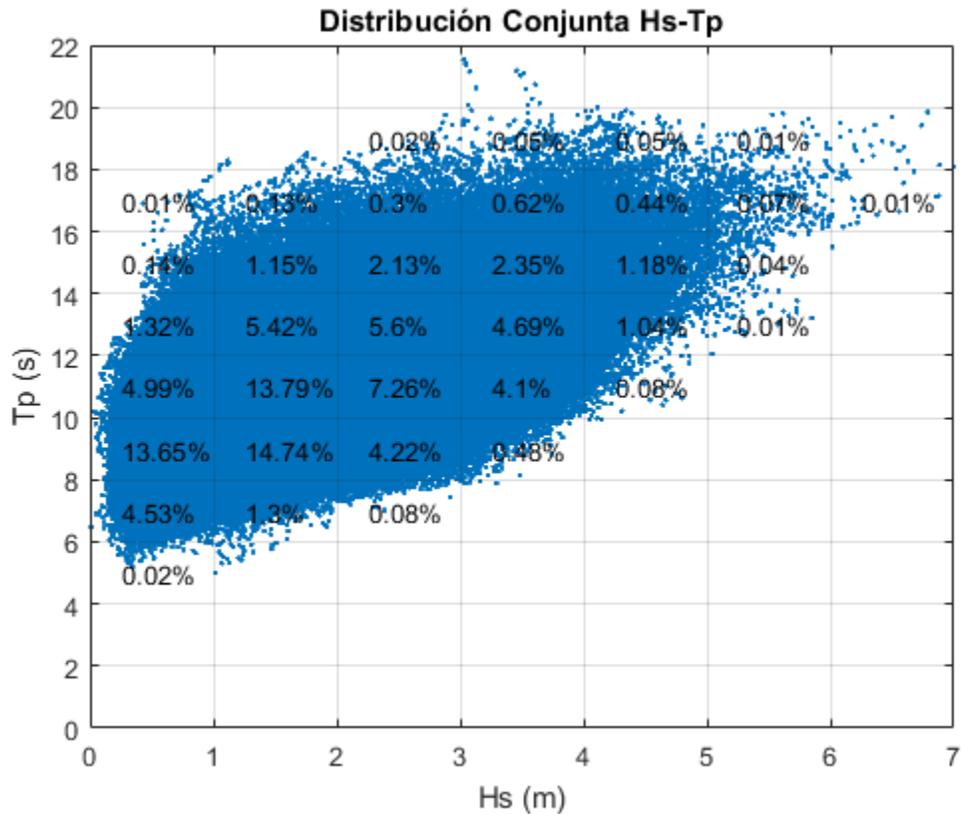


Figura 4.10. Representación conjunta de Hs-Tp en el Punto Control.

Al obtener el régimen medio anual escalar de altura de ola significativa en el Punto Control se realizó un ajuste a la serie de datos, donde se observó que la función de distribución que se ajusta mejor a los datos es la distribución Gamma. Al representar este ajuste y los datos de la serie, se obtiene la figura 4.11, donde el 95% de los datos se ajustan suficientemente bien. La cola superior se debe analizar de otra forma, ésta se determina por medio del régimen extremal.

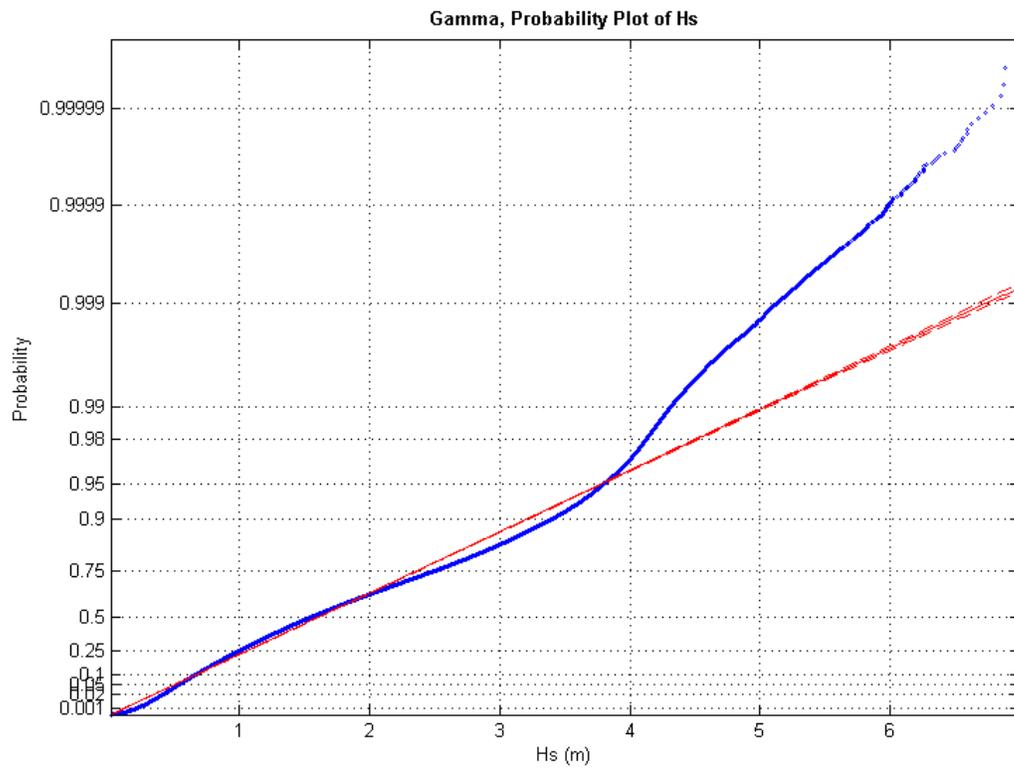


Figura 4.11. Régimen escalar medio de la altura de ola significativa en el Punto Control con el ajuste de la función Gamma.

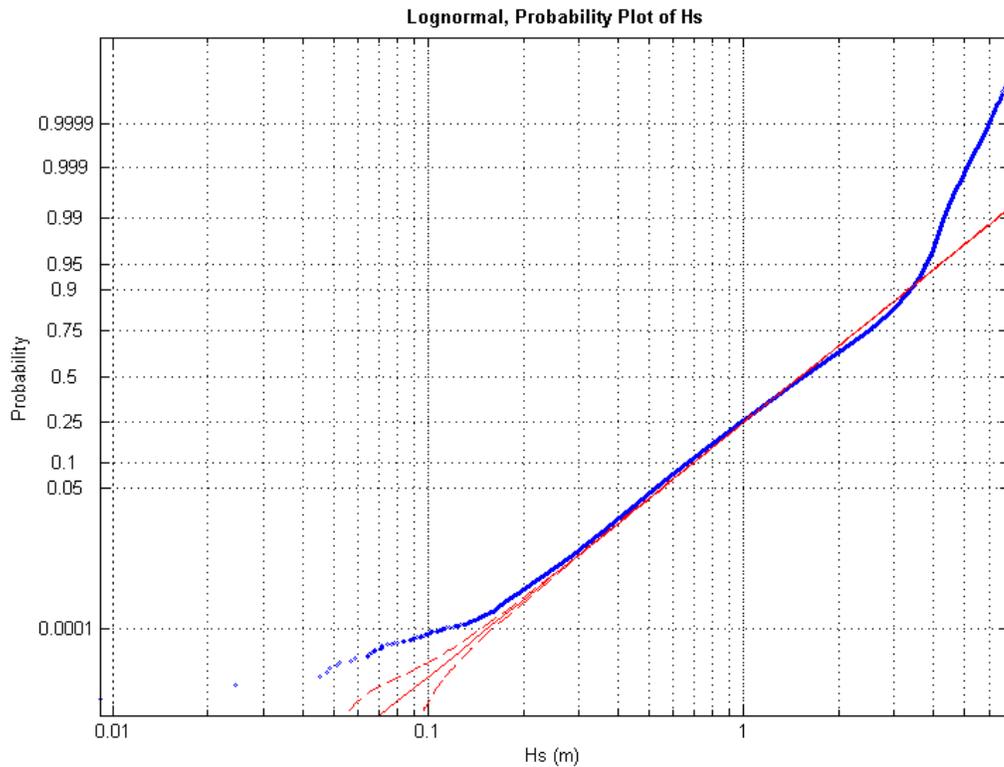


Figura 4.12. Régimen escalar medio de la altura de ola significativa en el Punto Control con el ajuste de la función Lognormal.

A comparación del ajuste con la distribución Gamma, en la distribución Lognormal (figura 4.12) la curva no se acerca a los datos en la cola superior e inferior. Por la parte superior, la función Gamma se aproxima bien hasta la probabilidad del 95%, mientras que en la Lognormal lo hace hasta el 90%. Por otra parte, la función Gamma parece aproximarse más a los datos que la Lognormal.

El método seguido para obtener los regímenes extremales de oleaje es el mismo descrito en el capítulo 3. Éste determina el tipo de distribución que corresponde de acuerdo con la expresión denominada distribución de valores extremos generalizados (GEV). Las tres distribuciones posibles son la de Gumbel, Fréchet y Weibull. En la figura 4.13 está representado el régimen extremal escalar de altura de ola significativa para el Punto Control.

Se puede observar que las mayores alturas de ola que se alcanzan en la zona de estudio son de 7 metros con un periodo de retorno de 60 años aproximadamente.

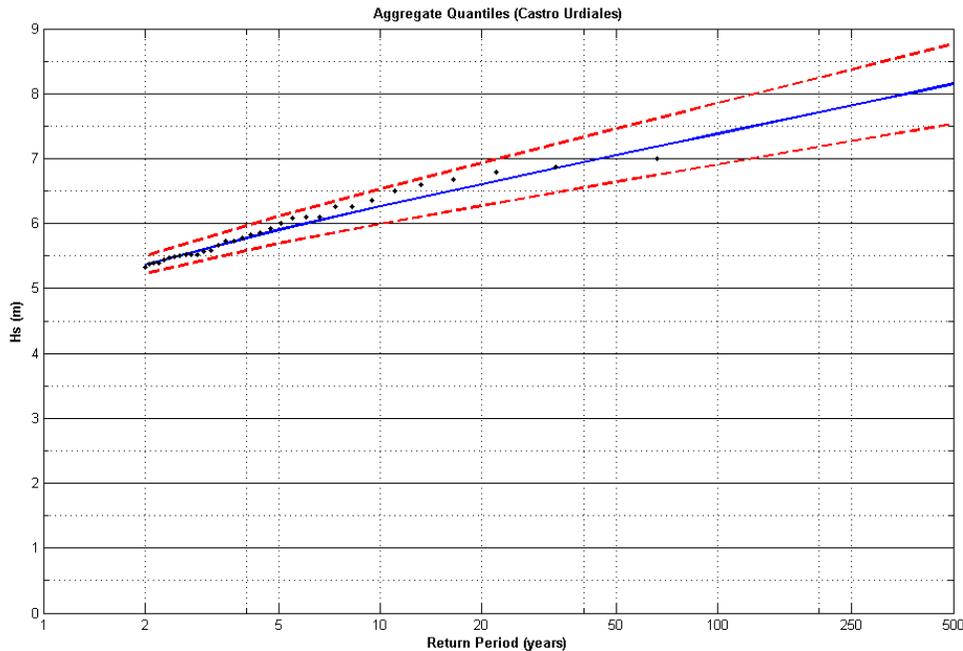


Figura 4.13. Régimen extremal escalar en el Punto Control.

4.3 Conclusiones

- Se utilizaron 2 mallas para cubrir todo el rango direccional de los oleajes.
- Se propagaron 400 casos, 200 en situación de pleamar y los mismos 200 en bajamar.
- Se seleccionó un punto control frente a la Grieta Mayor sobre la cota -10, donde se reconstruyó la serie de oleaje completa.
- El máximo valor de altura significativa de ola es 6.99 metros y de periodo pico es 21.5 segundos.
- Comparando el oleaje de la base de datos DOW (en aguas profundas) y el reconstruido en el punto control, se observa un incremento en la altura significativa, así como cambios en la dirección disminuyendo la componente NNW (llegando a 40%) e incrementándose la N (llegando a 45%). Esto se debe a que el oleaje se ha asomerado y refractado, pues los frentes de onda tienden a girar para colocarse paralelos a la batimetría.
- Los estados de mar más probables se encuentran entre 1 y 2 metros de altura significativa y entre 8 y 10 segundos de periodo pico.
- Los oleajes de temporal serán de especial importancia en este estudio y por ello debe ponerse especial atención a los periodos mayores a 10 segundos y alturas significativas mayores a 2 metros.
- La función de distribución que mejor se ajusta a la serie de datos es la función Gamma.
- Al comparar el régimen extremal de altura significativa, entre la serie de datos DOW y la serie reconstruida, existe un incremento de la primera hacia la segunda. Por ejemplo, para el periodo de retorno de 50 años con la serie DOW es 6.2 metros y con la serie reconstruida 7 metros.

CAPÍTULO 5

5. Situación Actual

5.1 Metodología

5.2 Modelo de interacción flujo-estructura IH-2VOF

5.3 Preparación de los casos a propagar

5.3.1 Geometría

5.3.2 Malla

5.3.3 Generación de la serie de oleaje y la pala

5.3.4 Generación del archivo “input”

5.3.5 Número mínimo de olas

5.3.6 Recorte de los casos

5.4 Análisis de los resultados

5.5 Conclusiones

5. Situación Actual

En este capítulo se describe la propagación del oleaje hacia la Grieta Mayor hasta llegar a La Piscina y así poder calcular los caudales de rebase. Se describe la metodología seguida para evaluar la situación actual, la forma en la que se seleccionan los estados de mar a propagar, el modelo con el que se hacen las propagaciones, la preparación de los casos a propagar y el análisis de los resultados obtenidos.

5.1 Metodología

En este apartado se describe la metodología seguida para obtener el régimen medio de caudales a partir del régimen medio de oleaje.

A partir de la representación conjunta de la altura significativa del oleaje y su periodo pico (Hs-Tp) se seleccionan los centroides de todas las combinaciones entre estas dos variables. Esto quiere decir que, una vez hecha la representación conjunta, se definen intervalos en ambas variables y el punto medio entre los límites superior e inferior de cada intervalo será tomado como el estado de mar a propagar. Por ejemplo, si se quiere obtener el estado de mar a propagar para el intervalo 1-2 metros de altura de ola significativa y 9-12 segundos de periodo pico, la altura de ola significativa seleccionada será 1.5 metros y el periodo pico 10.5 segundos.

Sabida la probabilidad de ocurrencia de cada intervalo, se consideraron únicamente los estados de mar que tengan una probabilidad igual o mayor a 0.01%.

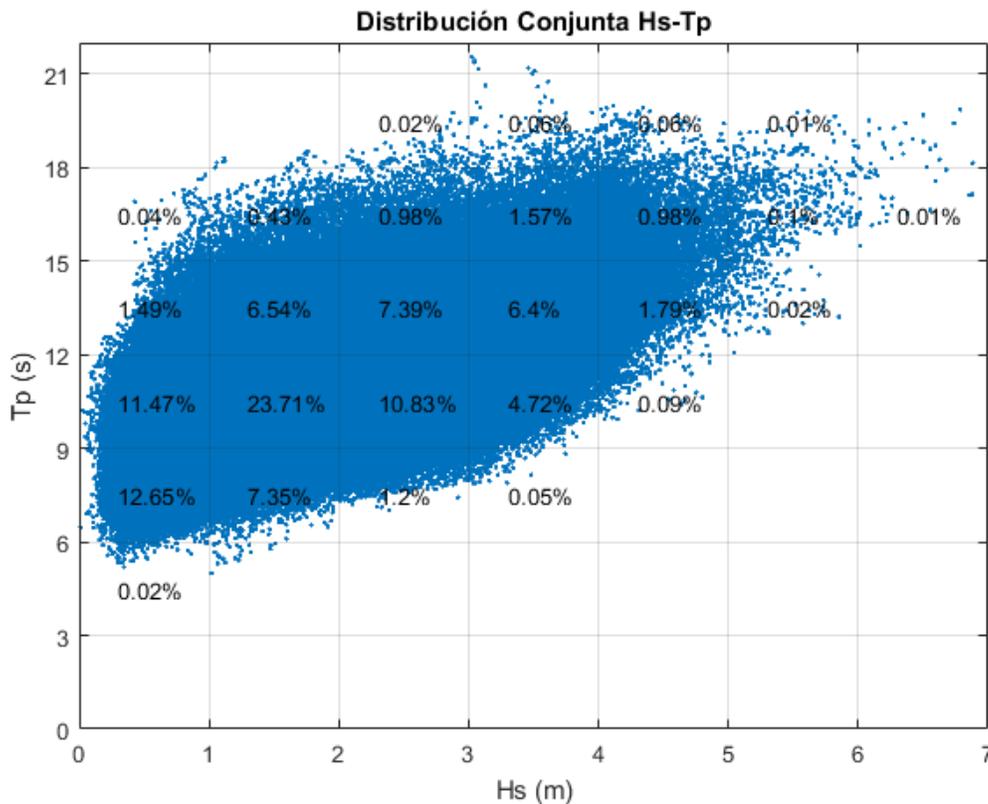


Figura 5.1. Distribución conjunta de Hs-Tp y probabilidad de ocurrencia.

Dada la capacidad computacional con la que se cuenta, es necesario reducir el tiempo de simulación, la estrategia para lograr esto y seguir teniendo resultados fiables es la siguiente:

Simulando un estado de mar completo (3600 segundos), en el que previamente se conozca

la presencia de rebases (en este caso 3.5 metros y 13.5 segundos de periodo pico), se representa la evolución del caudal medio de rebase conforme la simulación avanza, hasta que se observe que la variación de este no es significativa. Este punto de poca variabilidad, fijará el número mínimo de olas necesario para que el caudal medio de rebase se considere correcto.

Teniendo todos los estados de mar a propagar y el número mínimo de olas necesario, se procede a preparar cada caso y propagarlo en el modelo IH-2VOF. Para cada altura de ola es necesario diseñar una malla distinta.

Una vez propagados todos los casos, se obtiene el caudal medio de cada propagación y la función de distribución de caudal medio a partir de las probabilidades conocidas en la figura 5.1.

5.2 Modelo de interacción flujo-estructura IH-2VOF

IH-2VOF es un modelo para el estudio de la interacción onda-estructura. Entre sus principales características destacan su capacidad para simular todo tipo de estructuras marítimas a escala de prototipo o laboratorio. También, es capaz de simular todo tipo de oleaje: oleaje regular, irregular, onda solitaria, etc. Por ello, el modelo IH-2VOF es muy versátil, siendo capaz de simular dominios entre la escala de prototipo hasta de un kilómetro.

El modelo resuelve las ecuaciones bidimensionales en dos fases de Navier-Stokes, con la promediación de Reynolds, para tener en cuenta el papel de los procesos turbulentos del flujo. Por lo tanto, el modelo resuelve las llamadas ecuaciones VARANS (*Volume-Averaged/Reynolds-Averaged Navier-Stokes*). El seguimiento de la superficie libre se resuelve mediante la técnica VOF (*Volume Of Fluid*) y la turbulencia se modela mediante un modelo $\kappa-\epsilon$ (Ruju *et al*, 2012). A su vez, se ha incorporado un algoritmo matemático, basado en contornos móviles (*moving boundaries*) que permite simular el movimiento de la pala generadora del oleaje (pala dinámica) junto con un proceso de absorción del oleaje reflejado en las estructuras. El modelo es capaz de proporcionar el campo de velocidades, presiones y turbulencia en un dominio bidimensional.

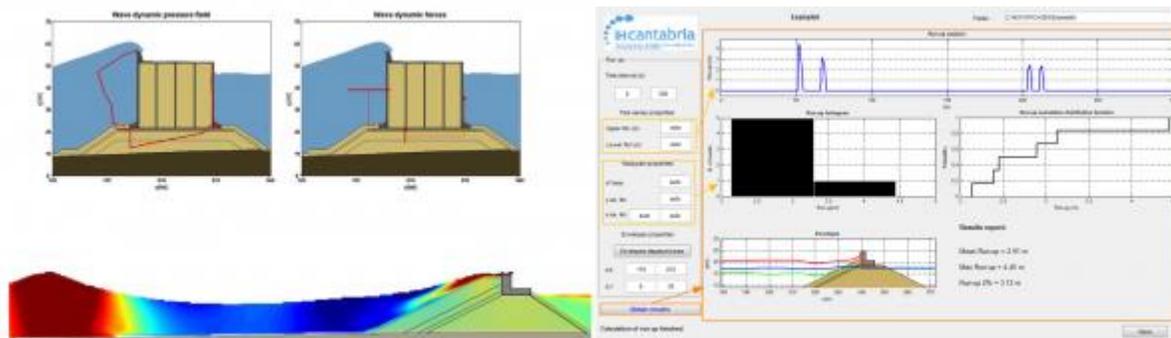


Figura 5.1. Ejemplo de los resultados que es posible obtener con el IH-2VOF. Presiones sobre la estructura (superior izquierda), velocidades horizontales o verticales (inferior izquierda) y run up (derecha).

5.3 Preparación de los casos a propagar

Al preparar los casos es necesario completar diversos apartados, algunos exclusivos de cada caso y otros generales para todos. A continuación, se describen estos apartados:

5.3.1 Geometría

Se debe determinar el dominio sobre el que se trabajará. En este trabajo la distancia entre el punto control donde se reconstruyó la serie de oleaje y el muro donde se estudian los rebases es de 185 metros. A esta distancia se le agregó 10 metros por detrás del muro y así se obtuvo una longitud del dominio de 195 metros. Para evitar interferencia de los límites del dominio con los procesos, sobre todo los rebases, la altura del dominio es de 35 metros.

La propagación se hace de izquierda a derecha, por lo que la zona más profunda se sitúa en

el extremo izquierdo y el muro en el costado derecho. Una vez definidas las dimensiones del dominio y la distribución general, es necesario establecer la geometría de todos los elementos. El origen de toda la geometría se sitúa en el extremo inferior izquierdo, por lo que tendrá coordenadas (0,0) y a partir de éste se determinarán las coordenadas de los vértices de cada elemento. En la situación de la Grieta Mayor y La Piscina se identifican 4 componentes principales: la batimetría, el arranque del dique de abrigo, el muro y el agua. En la tabla 5.1 se muestran las coordenadas de los vértices que forman cada uno de los elementos.

Elemento	Vértices	X	Y
Batimetría	1	-1	-1
	2	0	0
	3	104	3
	4	114	4
	5	130	4.5
	6	143	6
	7	153	7.8
	8	158	8.5
	9	173	11
	10	185	14
	11	185	-1
Dique	1	153	11.2
	2	158	11.2
	3	158	19.9
	4	154.5	19.9
	5	154.5	20.9
	6	153	20.9
Muro	1	185	18.3
	2	185	-6
	3	196	-6
	4	196	17.5
	5	186	17.5
	6	186	18.3
Agua	1	-1	-1
	2	-1	13.91
	3	196	13.91
	4	196	-1

Tabla 5.1 Coordenadas de los elementos

Cabe destacar que, solamente se utilizó un nivel de mar, esto se hizo para reducir el número de variables y así reducir la complejidad del trabajo. El valor utilizado es 3.91 metros sobre el Cero del Puerto, que corresponde a la pleamar viva media.

5.3.2 Malla

Cuando la geometría ha sido establecida, es necesario construir la malla con la cual se propagarán los casos y ésta depende de la altura de ola. Por lo tanto, habrá una malla distinta para

cada altura de ola. En la tabla 5.2 se muestran los estados de mar que se propagan, estos provienen de la figura 5.1.

Caso	Hs	Tp
A1	0.5	4.5
A2	0.5	7.5
A3	0.5	10.5
A4	0.5	13.5
A5	0.5	16.5
A6	1.5	7.5
A7	1.5	10.5
A8	1.5	13.5
A9	1.5	16.5
A10	2.5	7.5
A11	2.5	10.5
A12	2.5	13.5
A13	2.5	16.5
A14	2.5	19.5
A15	3.5	7.5
A16	3.5	10.5
A17	3.5	13.5
A18	3.5	16.5
A19	3.5	19.5
A20	4.5	10.5
A21	4.5	13.5
A22	4.5	16.5
A23	4.5	19.5
A24	5.5	13.5
A25	5.5	16.5
A26	5.5	19.5
A27	6.5	16.5

Tabla 5.2. Estados de mar propagados.

Como se puede ver en la tabla 5.2, los casos se pueden agrupar de acuerdo a su altura de ola significativa en 7 conjuntos. Cada uno de estos conjuntos tiene una malla común. Para cada malla hay que determinar el tamaño mínimo de celda, cuya sugerencia, en el manual del modelo es de 1/10 veces la altura de ola ($H_s/10$) para la dimensión vertical (ΔX) y menor a 2.5 veces esta distancia ($<2.5\Delta X$) para la dimensión horizontal (ΔY). Con la intención de tener mejor precisión en las simulaciones la longitud de ΔX y ΔY utilizadas son menores a las sugeridas. La tabla 5.3 se muestran las dimensiones de la malla para cada caso.

Caso	Delta Y	Delta X
A1 - A5	0.05	0.1
A6 - A9	0.1	0.2

A10 - A14	0.2	0.4
A15 - A19	0.3	0.6
A20 - A23	0.4	0.8
A24 - A26	0.4	0.8
A27	0.4	0.8

Tabla 5.3. Dimensiones de las celdas de cada malla.

Además, es posible construir mallas irregulares para tener mayor detalle en zonas de interés y menor detalle en zonas que sirven como transición. Para ello hay que indicar al modelo las posiciones donde se intersectan las diferentes secciones de malla, una posición central y el tamaño mínimo de cada celda. En este trabajo, la malla se dividió en 3 secciones verticalmente y dos horizontalmente. Esta información se presenta en el Anejo 2. En la figura 5.3 se presenta la configuración final de la geometría con una malla.

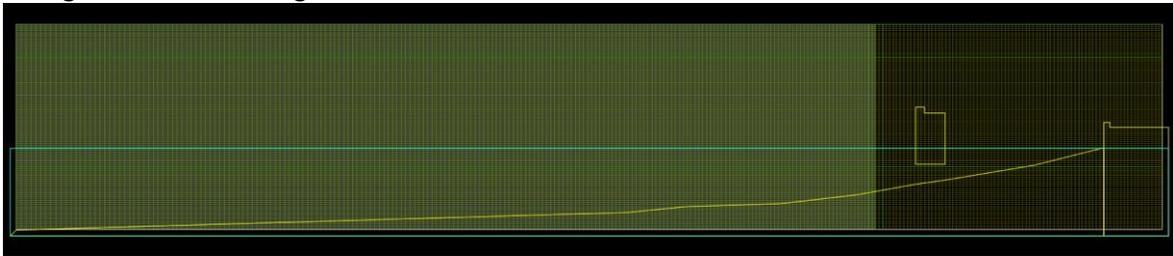


Figura 5.3. Configuración final de la geometría con una malla de ejemplo.

5.3.3 Generación de la serie de oleaje y la pala

El siguiente paso, consiste en generar la serie de oleaje, es decir, el comportamiento de la superficie libre en el extremo desde el cual se comienza a propagar el oleaje. Este oleaje puede ser regular, irregular o una onda solitaria. Para todos los casos de este trabajo se utilizó oleaje irregular. Para generar un estado de mar de oleaje irregular se le debe proporcionar al modelo la altura significativa, el periodo pico y la longitud temporal que tendrá esta serie. En la figura 5.4 se muestra un ejemplo de estado de mar generado a partir de una altura de ola significativa de 3.5 metros y periodo pico de 13.5 segundos, la longitud del estado de mar son 1800 segundos. En el Anejo 2 se presentan todos los estados de mar generados.

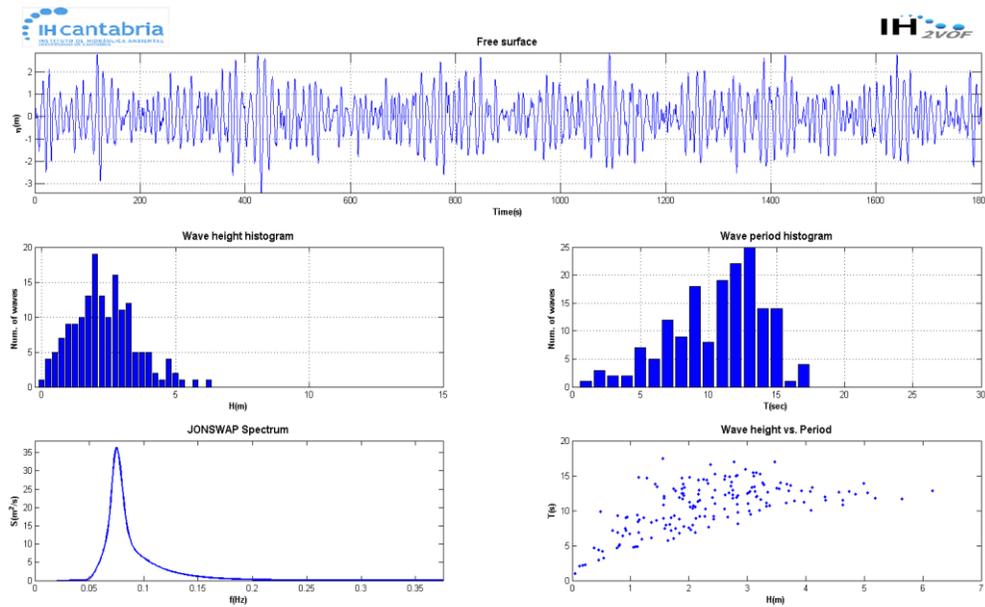


Figura 5.4. Serie de oleaje generado con el modelo IH-2VOF para una altura de ola significativa de 3.5 metros y periodo pico de 13.5 segundos.

Una vez generada la serie de oleaje, se debe generar la pala. En el modelo hay dos formas de generar el movimiento de la superficie libre, uno es denominado estático y el otro dinámico. El estático considera condiciones de contorno de Dirichlet, la velocidad y superficie libre deben ser especificadas en el contorno. Por su parte, el dinámico replica el movimiento de una pala generadora de oleaje, en este caso el rango de movimiento de la pala debe ser especificado. Para este proyecto se utilizó el modo estático y la información necesaria fue proporcionada directamente con los estados de mar generados en el paso anterior.

5.3.4 Generación del archivo “input”

Finalmente, es necesario definir qué variables guardará el modelo, posiciones y otras características. Durante este trabajo se almacenó únicamente la información de 4 sensores colocados frente al dique de abrigo, sobre el dique de abrigo, frente al muro y sobre el muro, respectivamente (figura 5.5). El último sensor es el de mayor interés, ya que en esa ubicación se dan los rebases que son el objeto de estudio. Se debe definir la longitud de la simulación (inicialmente 1800 segundos), el incremento temporal para la simulación (0.005 segundos), la densidad del fluido (1000 kg/m^3), el o los extremos donde se absorberá la energía del oleaje para que no afecte las simulaciones (en este caso se posicionó en el contorno izquierdo) y activar o no los procesos turbulentos (el cual se activó). Esta información se almacena en un archivo llamado “input”.

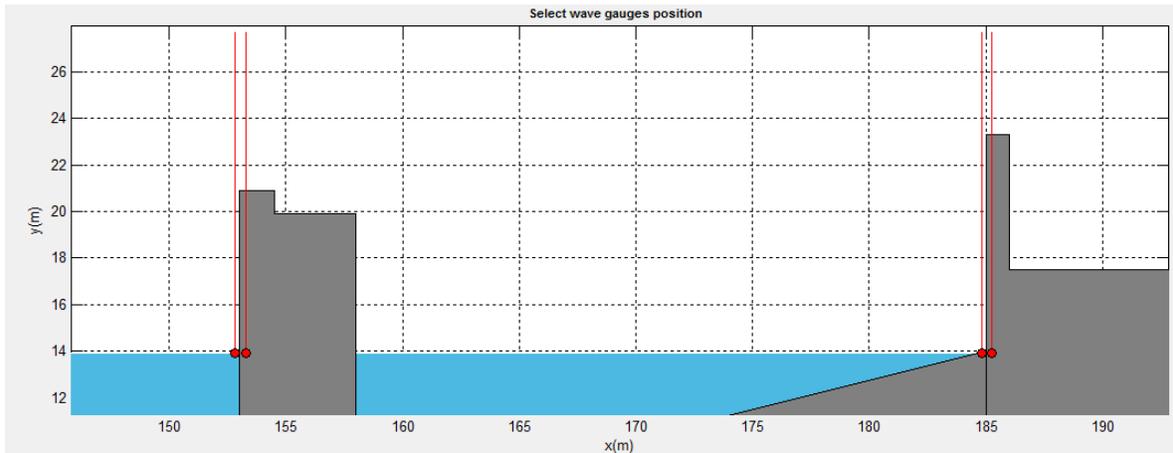


Figura 5.5. Localización de los sensores que almacenan la información posteriormente utilizada.

5.3.5 Número mínimo de olas

Como previamente se mencionó, con el objetivo de reducir el tiempo computacional que implica la ejecución de cada caso y, simultáneamente, tener resultados confiables de caudal medio, se busca encontrar el número mínimo de olas que son necesarias en una ejecución. Este número es el adecuado cuando el valor de caudal medio varía poco y tiende a converger a un valor. Para esto, se realizó una ejecución de un estado de mar completo (3600 segundos). El estado de mar que se utilizó se presenta en la figura 5.6 cuya altura significativa es 3.5 metros y periodo pico de 13.5 segundos. Los caudales instantáneos junto con el caudal medio de esta ejecución se muestran en la figura 5.7.

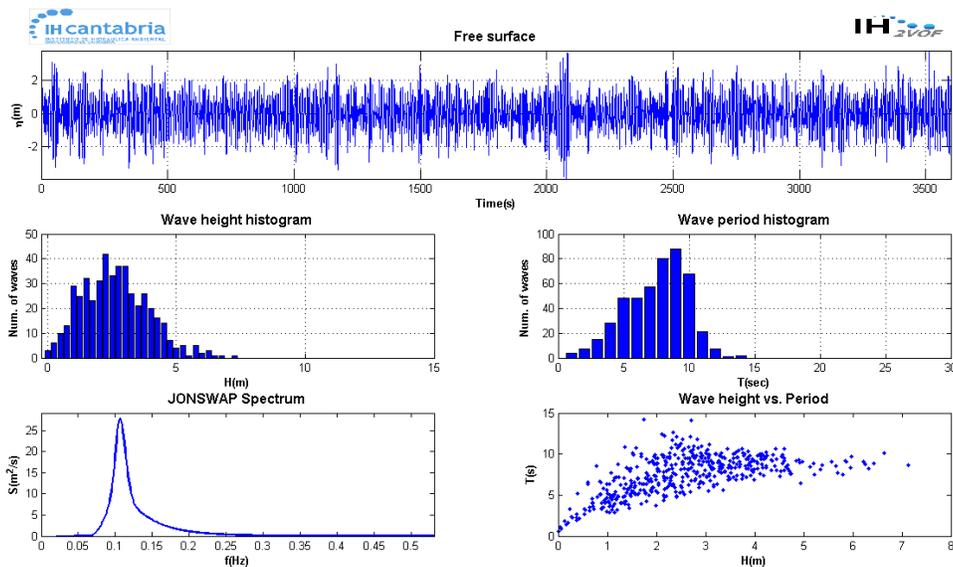


Figura 5.6. Estado de mar propagado para encontrar el número mínimo de olas a propagar.

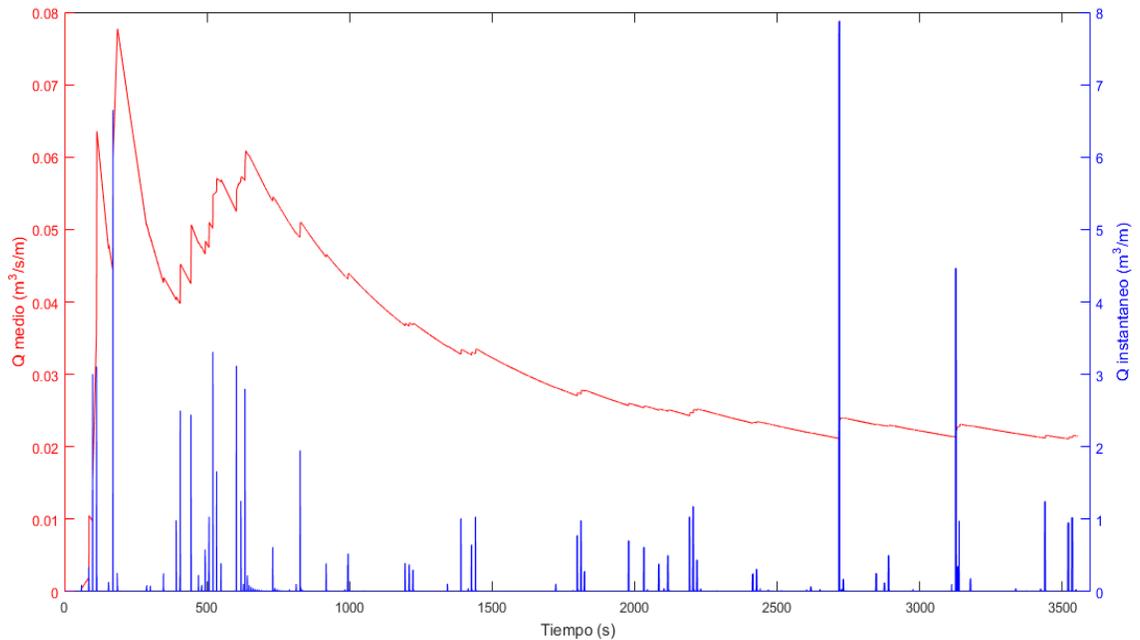


Figura 5.7. Caudal medio e instantáneo durante la ejecución.

Con ayuda de la figura 5.7 se puede advertir que el caudal medio comienza a variar poco a partir de 1500 segundos y a partir de 2000 segundos varía en un rango pequeño. Se considera que 1500 segundos sería el tiempo adecuado para que esta ejecución proporcione información confiable. Con este estado de mar, en 1500 segundos equivalen a 135 olas. Este número de olas aún requiere una capacidad computacional muy superior a la que se utilizó en este proyecto. Por esto, ha sido necesario tomar un número de olas menor. En la tabla 5.4 se provee el número de olas correspondiente al tiempo del estado de mar utilizado.

Tiempo (s)	No. Olas
400	36
500	44
1000	90
1500	135
2000	185

Tabla 5.4. Número de olas correspondientes al intervalo de tiempo evaluado.

Tomando en cuenta la tabla 5.4 se determinó utilizar 36 olas como el número de olas a propagar en todos los casos.

5.3.6 Recorte de los casos

Dado que previamente se generan las series de oleaje a propagar, el siguiente paso es recortarlas para que contengan solamente el número de olas previamente establecido (36). Para ello es necesario saber la longitud temporal en la que este número de olas es generado para cada caso. El proceso de contar las olas se hace a partir del cruce por cero de la superficie libre. La tabla 5.5 resume cada uno de estos intervalos de tiempo.

Caso	T
A1	126.67

A2	216.83
A3	303.90
A4	348.23
A5	437.20
A6	221.93
A7	284.50
A8	397.37
A9	455.67
A10	224.93
A11	292.63
A12	352.90
A13	429.93
A14	543.87
A15	231.93
A16	300.87
A17	359.80
A18	422.07
A19	568.23
A20	287.23
A21	398.63
A22	423.80
A23	566.47
A24	387.60
A25	442.87
A26	595.53
A27	426.73

Tabla 5.5. Intervalo de tiempo necesario para generar 36 olas en cada una de las series de olas.

Posteriormente es necesario recortar las series de oleaje a la longitud que le corresponde de acuerdo con la tabla 5.5 En la figura 5.8 se presenta un ejemplo de este recorte, en el anejo 2 se presentan los gráficos de cada recorte.

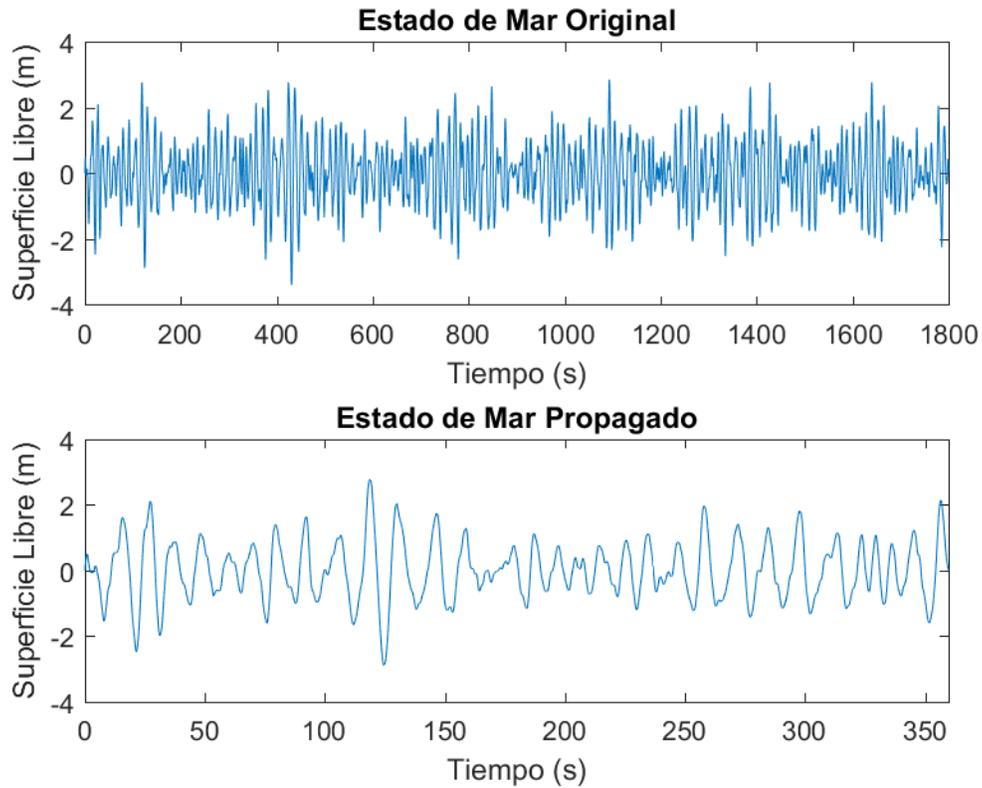


Figura 5.8. Serie de oleaje original y recortada. Altura de ola significativa de 3.5 metros y periodo pico de 13.5 segundos.

El último paso consiste en modificar el archivo "input" cambiando el tiempo de ejecución originalmente asignado por el respectivo a cada caso. Una vez hecho todo lo anterior, se ejecutan todos los casos.

5.4 Análisis de los resultados

Hechas las propagaciones preparadas de la forma en que se describe en la sección 5.3, es posible obtener los caudales de rebase sobre un punto especificado. Para este caso, se analizó sobre el muro de cierre en La Piscina, como se muestra en la figura 5.9.

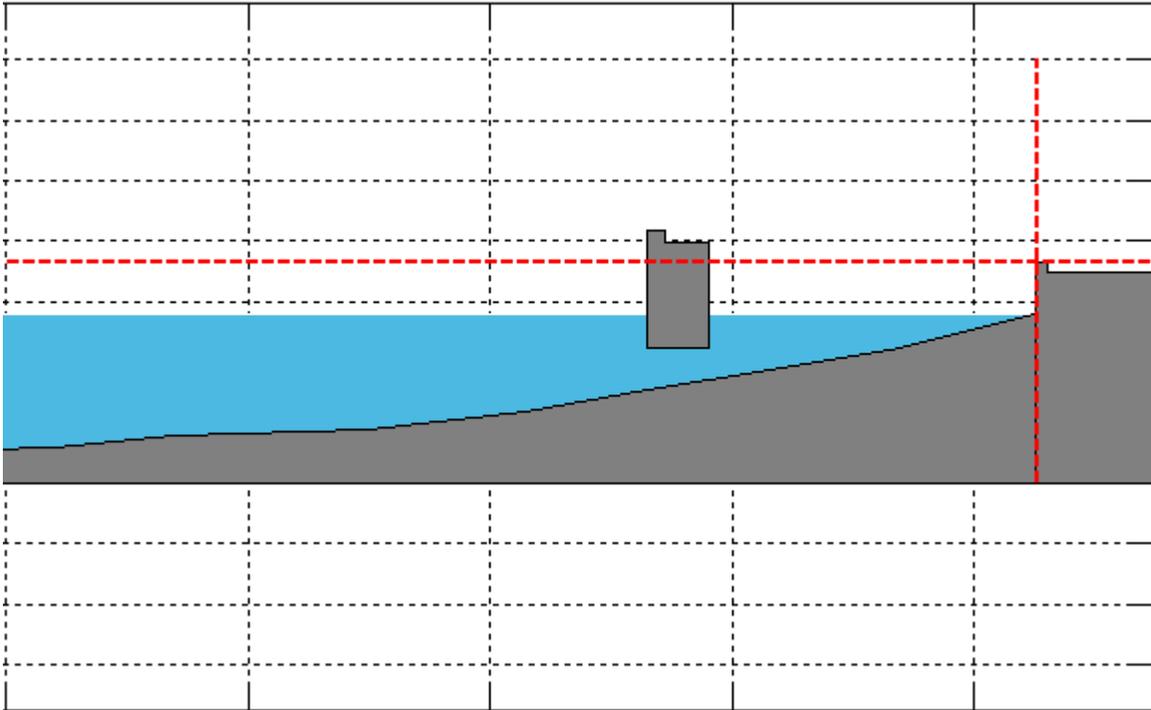


Figura 5.9. Localización del punto sobre el cual se analizaron los caudales de rebase.

La información proporcionada por el modelo, en cuanto a caudal de rebase, son: volumen de caudal acumulado (en metros cúbicos por metro a lo largo del tiempo de simulación), descarga instantánea de rebase (en metros cúbicos por metro), el grosor de la lámina de agua que rebase (en metros) y la velocidad media del rebase (en metros por segundo). Un ejemplo gráfico de esta información se presenta en la figura 5.10.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

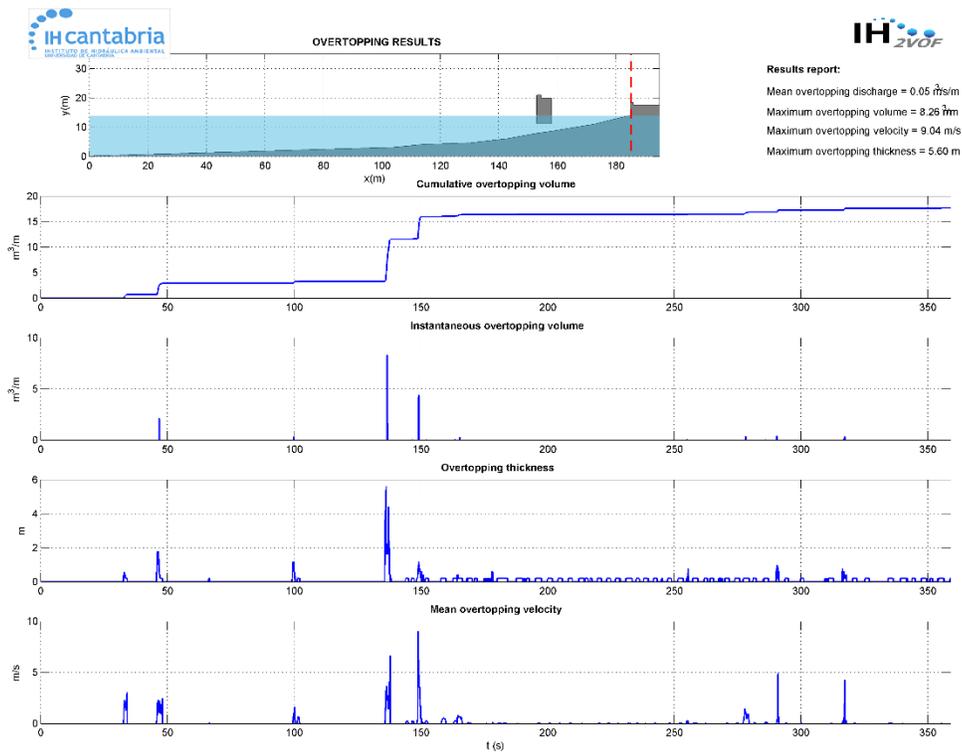


Figura 5.10. Gráfico de la información proporcionada por el modelo con el caso A17 ($H_s=3.5$ metros y $T_p=13.5$ segundos) para el análisis de caudales de rebase.

Una vez que se han obtenido los caudales de cada caso, se calculó el caudal medio de rebase de cada uno, tomando el volumen acumulado total y dividiendo este valor entre el intervalo temporal de cada propagación. El resultado de este cálculo se presenta en la tabla 5.6 y en la figura 5.11 donde se puede ver el caudal medio obtenido sobre la distribución conjunta de H_s y T_p . De manera general es posible observar que a mayor periodo pico y altura significativa, mayor será el caudal medio de rebase. Esto significa que el caudal medio de rebase es proporcional a estas dos variables del oleaje.

Caso	Caudal Medio ($m^3/s/m$)
A1	0.0000
A2	0.0000
A3	0.0000
A4	0.0000
A5	0.0000
A6	0.0000
A7	0.0000
A8	0.0000
A9	0.0000
A10	0.0000

A11	0.0279
A12	0.0091
A13	0.0156
A14	0.0517
A15	0.0049
A16	0.0638
A17	0.0526
A18	0.0893
A19	0.0790
A20	0.0755
A21	0.0865
A22	0.0949
A23	0.1031
A24	0.1183
A25	0.1930
A26	0.1660
A27	0.3041

Tabla 5.6. Caudales medios de rebase en la situación actual para cada caso propagado.

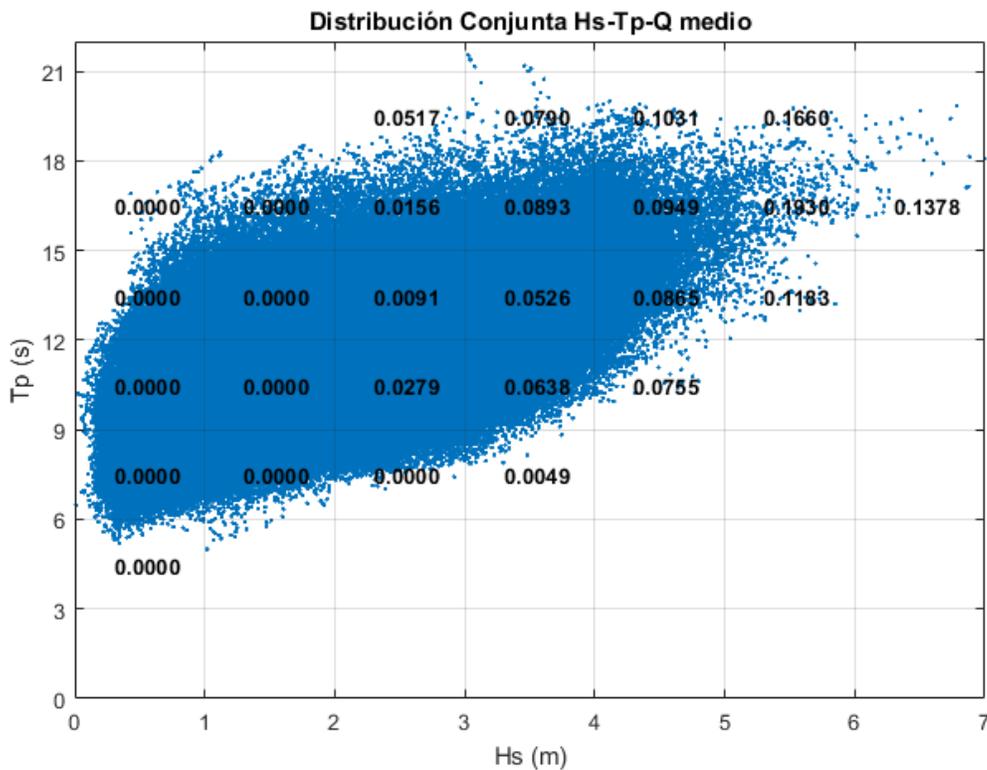


Figura 5.11. Distribución conjunta de altura de ola significativa y periodo pico con el caudal medio de rebase correspondiente.

Como las probabilidades de ocurrencia son conocidas, es posible afirmar que cada

probabilidad tiene asociado el caudal medio de rebase correspondiente a su caso. Así, ordenando los caudales de acuerdo a su volumen y haciendo una suma acumulativa, se puede construir un gráfico en el que se represente la probabilidad de no superación de acuerdo al caudal medio de rebase.

Para una correcta implementación del método, sería necesaria la realización de propagaciones al menos con dos niveles del mar, pleamar y bajamar y posiblemente con media marea, ya que en bajamar los rebases son prácticamente inexistentes. De esta manera, a cada estado de mar que define el recinto Hs-Tp habría que asignarle un nivel del mar obtenido aleatoriamente a partir de la función de distribución del nivel del mar, y determinar el rebase mediante la interpolación no lineal de los caudales de rebase para ese estado de mar entre los niveles calculados. Dicha simulación se realizaría tantas veces como determina la función de probabilidad del recinto Hs-Tp. Este procedimiento se llevaría a cabo con todos los recintos, generándose de esta manera la serie de datos de caudales de un año medio que nos serviría para determinar el régimen medio de caudales. Para realizar esta simulación se requeriría al menos triplicar los casos simulados con el IH2VOF, lo que no ha sido posible por motivos de tiempo de ejecución y capacidad computacional.

Una segunda aproximación consistiría en asumir sólo dos niveles, pleamar y bajamar y que todos los rebases en bajamar son nulos. En este caso la interpolación del caudal para un nivel cualquiera sería entre el caudal nulo y el caudal con marea viva. Esta aproximación puede no estar del lado de la seguridad, ya que el crecimiento del caudal de rebase con el nivel no es lineal. Por esta razón, se ha optado por una aproximación del lado de la seguridad, consistente en la realización de las propagaciones IH2VOF con el nivel del mar de pleamar viva, asumiendo que sólo el 50% de los estados de mar corresponden a situaciones de pleamar viva, mientras que el otro 50% se puede atribuir a condiciones de bajamar, donde los rebases son prácticamente nulos con cualquier condición de oleaje. Con esta hipótesis, las probabilidades de la figura 5.12 quedan divididas por dos y se suma un 50% a la probabilidad del caudal de rebase nulo ($Q = 0 \text{ m}^3/\text{s/m}$).

En la figura 5.13 se presenta la probabilidad de no superación para los caudales medios de rebase obtenidos. Sobre esta figura se presenta la curva de la forma $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{a-bx}{c}\right)}$ que mejor se ajusta a los datos y se toma como la función de distribución de los mismos. El valor de los parámetros a, b y c es -0.8804, 15.07 y 0.531, respectivamente.

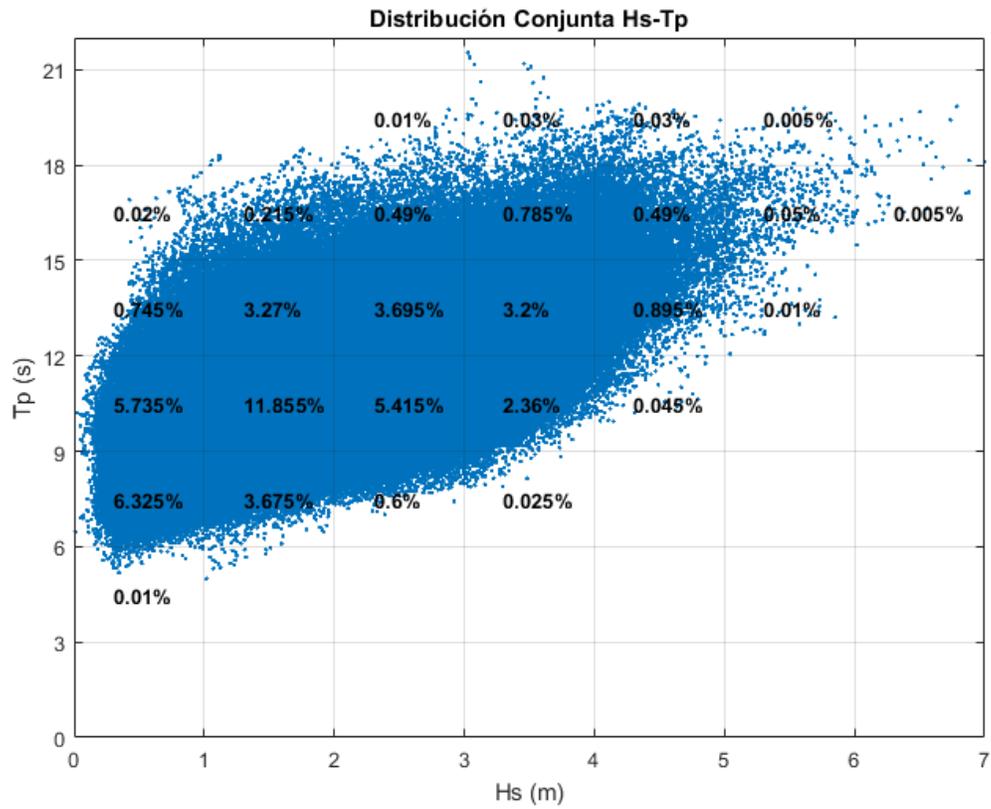


Figura 5.12. Distribución conjunta Hs-Tp para situación de pleamar.

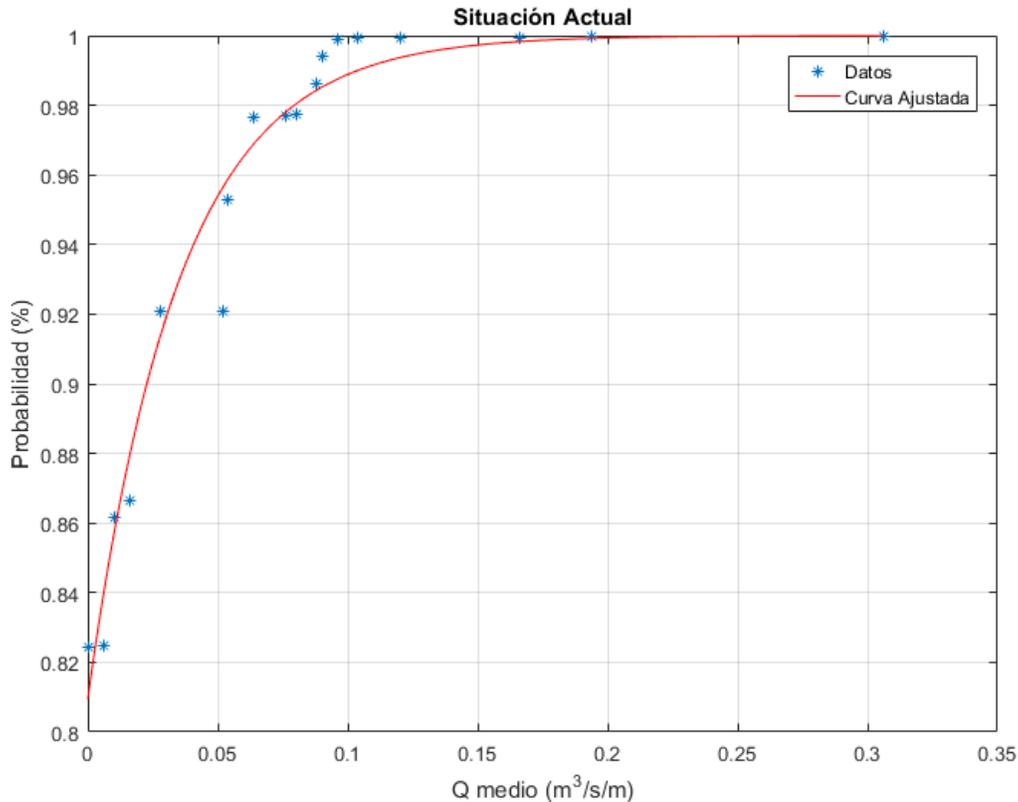


Figura 5.13. Curva ajustada a los datos de caudal medio de rebase.

5.5 Conclusiones

- De acuerdo con la distribución conjunta de Hs-Tp se definieron 27 estados de mar, que caracterizan el régimen medio de oleaje, para propagar con el modelo IH-2VOF.
- Se preparó la geometría sobre la cual se colocaron todas las mallas (dependiendo del caso a propagar).
- Se generaron los estados de mar, se “generó la pala” utilizando la forma estática.
- Se almacena la información en cuatro sensores colocados frente al dique de abrigo, sobre el dique de abrigo, frente al muro y sobre el muro.
- Se encontró que el número de olas mínimo necesario para que el caudal medio de rebase tenga poca variabilidad es 135 olas, pero por cuestiones de capacidad computacional se trabajó con 36.
- Se realizaron las propagaciones, obteniendo los caudales medios de rebase sobre el muro en cada caso simulado.
- A mayor periodo pico se obtendrán caudales medios de rebase mayores.
- Se obtuvo la curva que mejor se ajusta a los datos, ésta es $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{-0.8804 - 15.07x}{0.531}\right)}$

CAPÍTULO 6

6. Alternativa

6.1 Fallo operativo y límites de operatividad

6.2 Regímenes medios con diferentes alturas de pantalla

6.3 Curvas de operatividad

6.4 Propuestas de mejora

6.5 Conclusiones

6. Alternativa

En este capítulo se trabaja con el incremento del francobordo (altura del muro) por medio de una pantalla transparente, como solución a los problemas de rebase. Se presentan los criterios de operatividad, se simulan diferentes alturas de pantalla, se encuentra el régimen medio de caudal medio de rebase perteneciente a cada altura de pantalla simulada. Posteriormente se obtienen las tablas de diseño con las cuales, sabida la altura de la pantalla se puede obtener, de dos formas distintas, el porcentaje de tiempo que ésta se verá rebasada por un determinado caudal. Finalmente, se plantean formas en que se podría mejorar el trabajo realizado.

6.1 Fallo operativo y límites de operatividad

Existen criterios de operatividad que han sido determinados mediante experimentos en laboratorio. Franco *et al* en 1994 presentan una tabla donde establecen rangos de seguridad funcional y estructural, de acuerdo a las descargas medias de los rebases. La seguridad funcional es la que corresponde estudiar con este trabajo. Dichos autores establecen 0.004 l/s/m como el límite superior de caudal medio donde el peatón se mojará, pero no estará incómodo. Posteriormente, 0.03 l/s/m es el límite para que el peatón se encuentre incómodo, pero no involucre ningún riesgo. Finalmente, 0.3 l/s/m es el límite para que un muro vertical pase de ser peligroso a muy peligroso.

Las Recomendaciones para Obra Marítimas 1.0-09 (ROM 1.0-09) provee el Índice de Repercusión Económica Operativo (IREO), que valora cuantitativamente los costes ocasionados por la parada operativa que se relaciona directamente con el porcentaje de tiempo que una obra debe ser operativa de acuerdo a la función que cumple. Una obra debe mantener su operatividad entre 85% del tiempo (IREO bajo) y 99% del tiempo (IREO alto).

Estos criterios tienen que tomarse en cuenta para el diseño funcional de las obras marítimas, dependiendo del uso que se le quiera dar. En La Piscina de Castro Urdiales, el fallo operativo sucede cuando los peatones se ven en situación de riesgo por los rebases. En el caso de la solución que se plantea, las autoridades deberían determinar los criterios para la operatividad en las zonas aledañas a La Piscina. Éstos consistirán en cuántas horas están dispuestos a cerrar el paso a peatones y la descarga que permitirán que rebase. Con éstos y la tabla de operatividad, que se proporciona posteriormente, se establecería la altura necesaria de la pantalla.

6.2 Regímenes medios con diferentes alturas de pantalla

Se ha determinado trabajar con el incremento del francobordo, por medio de una pantalla, como alternativa para disminuir los rebases en La Piscina del Puerto de Castro Urdiales. Para ello, se determinaron 4 alturas de pantalla con las que se simularon todos los estados de mar generados y se obtuvo el régimen de caudal medio de rebase, para cada una de ellas. El procedimiento es el mismo seguido en el capítulo 5 para la preparación y ejecución de los casos, cálculo de los caudales medios de rebase y ajuste de los datos para obtener el régimen de caudales. La diferencia consiste en que la geometría del muro cambiará para cada caso, teniendo los siguientes 4 incrementos de altura: 2, 3.5, 4 y 5 metros. Los gráficos de caudales obtenidos en estas simulaciones se presentan en el Anejo 3.

A continuación, se presenta la tabla 6.1 donde se muestra el caudal medio de rebase para cada caso simulado con las 4 diferentes alturas de la pantalla. Es claro que los caudales medios disminuyen en cada caso conforme la pantalla es más alta, la probabilidad de que no haya rebases se incrementa, disminuyendo a su vez las probabilidades de caudales grandes.

Caso	2 m	3.5 m	4 m	5 m
A1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
A11	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
A12	0.0006	0.0000	0.0000	0.0000
A13	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000
A14	0.0120	0.0023	0.0005	0.0001
A15	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
A16	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
A17	0.0229	0.0191	0.0090	0.0008
A18	0.0371	0.0254	0.0062	0.0035
A19	0.0204	0.0010	0.0006	0.0001
A20	0.0272	0.0068	0.0096	0.0023
A21	0.0165	0.0106	0.0076	0.0256
A22	0.0692	0.0174	0.0443	0.0136
A23	0.0955	0.0502	0.0482	0.0189
A24	0.0697	0.0203	0.0204	0.0161
A25	0.1054	0.0631	0.0834	0.0464
A26	0.1034	0.0753	0.0401	0.0376
A27	0.1626	0.1459	0.1032	0.0980

Tabla 6.1. Caudales medios de rebase para cada caso sobre las 4 diferentes alturas de la pantalla.

Estos caudales medios se han graficado junto con la probabilidad acumulada.

Posteriormente se ha obtenido la curva de la forma $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{a-bx}{c}\right)}$ que mejor se ajusta a cada conjunto de datos, y ésta se ha dibujado junto con los datos en la figura 6.1. De esta forma, se pueden analizar los regímenes de rebases con y sin pantalla de forma simultánea. En la tabla 6.2 se presentan los valores de los parámetros a, b y c, que aparecen en la ecuación previamente señalada, para el régimen de cada altura de la pantalla.

Altura de Pantalla (m)	a	b	c
0	-0.8804	15.07	0.531
2	-0.2439	8.425	0.1157
3.5	-0.5368	18.83	0.2267
4	-0.6174	17.22	0.2192

5	-0.1062	13.22	0.03654
---	---------	-------	---------

Tabla 6.2. valores de los parámetros utilizados para obtener el régimen de caudal medio para cada altura de la pantalla

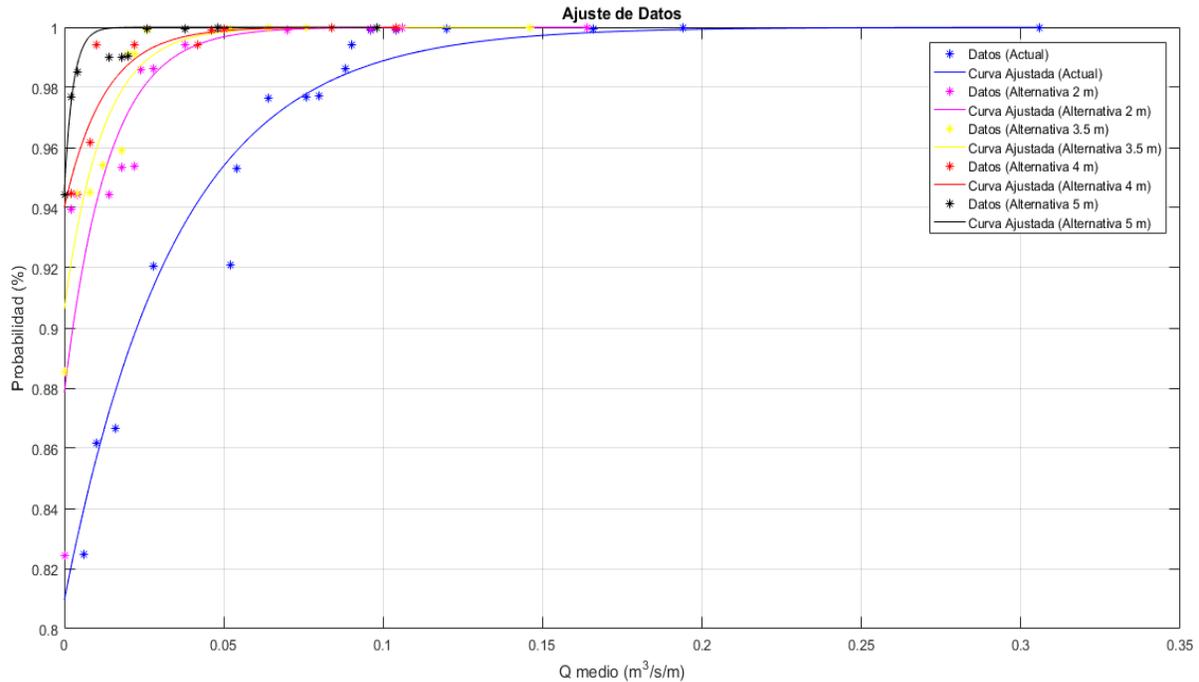


Figura 6.1. Regímenes de caudal medio de rebase en la situación actual y con las 4 pantallas simuladas.

6.3 Curvas de operatividad

Obtenidos los regímenes de caudal de rebase, se extrajo la información pertinente para poder construir las tablas de operatividad. La forma de extraer la información es, haciendo cortes verticales de los regímenes se obtiene, para un caudal dado, qué probabilidad de no ocurrencia corresponde a cada altura de la pantalla. A su vez, haciendo un corte horizontal, con una probabilidad previamente establecida, se obtienen los caudales que corresponden en cada altura de la pantalla. Estas tablas permiten conocer de forma más sencilla y directa los caudales medios de rebase que como mínimo se tendrán con determinada altura de la pantalla y probabilidad de ocurrencia, o la probabilidad de ocurrencia que se tendrá a partir de un caudal medio de rebase aceptado y altura de pantalla (figura 6.2). Así, la persona que debe decidir la altura de la pantalla podrá tomar en consideración las tres variables y tomar la decisión que considere más viable. Para hacer más sencilla la comprensión se presenta la figura 6.3, donde en lugar de probabilidad de superación se pone en términos de número de horas que la estructura se verá superada anualmente y por lo tanto no será funcional.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

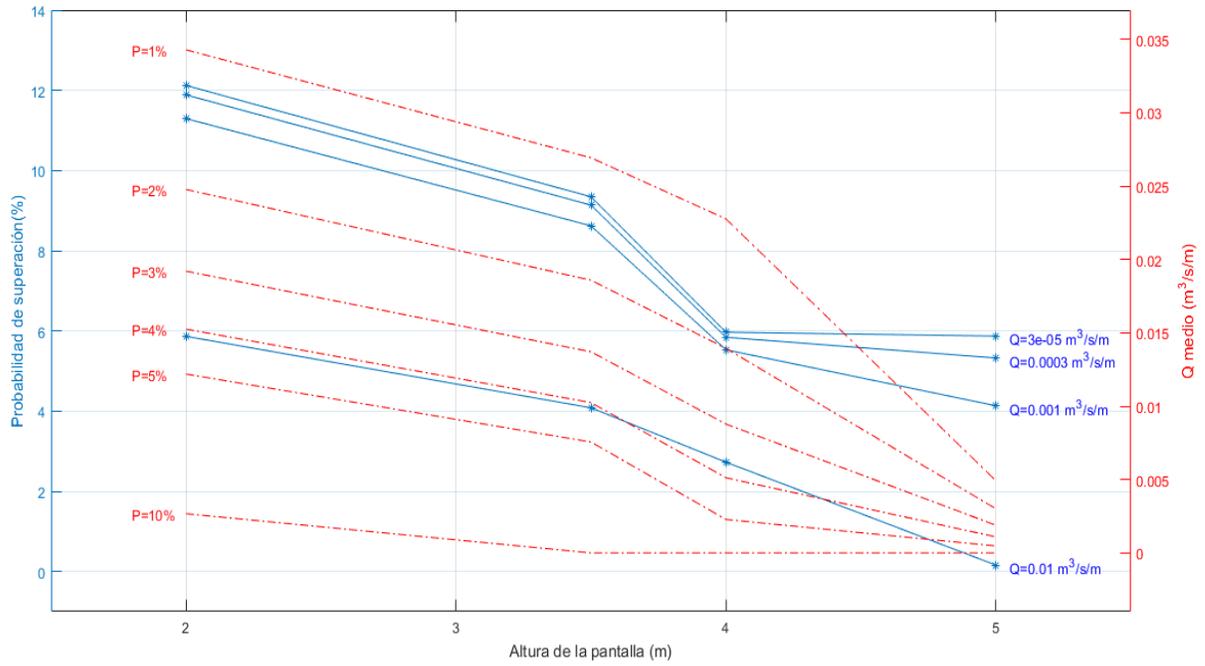


Figura 6.2 Tabla de diseño Altura de la pantalla, Probabilidad de superación y Caudal medio de rebase.

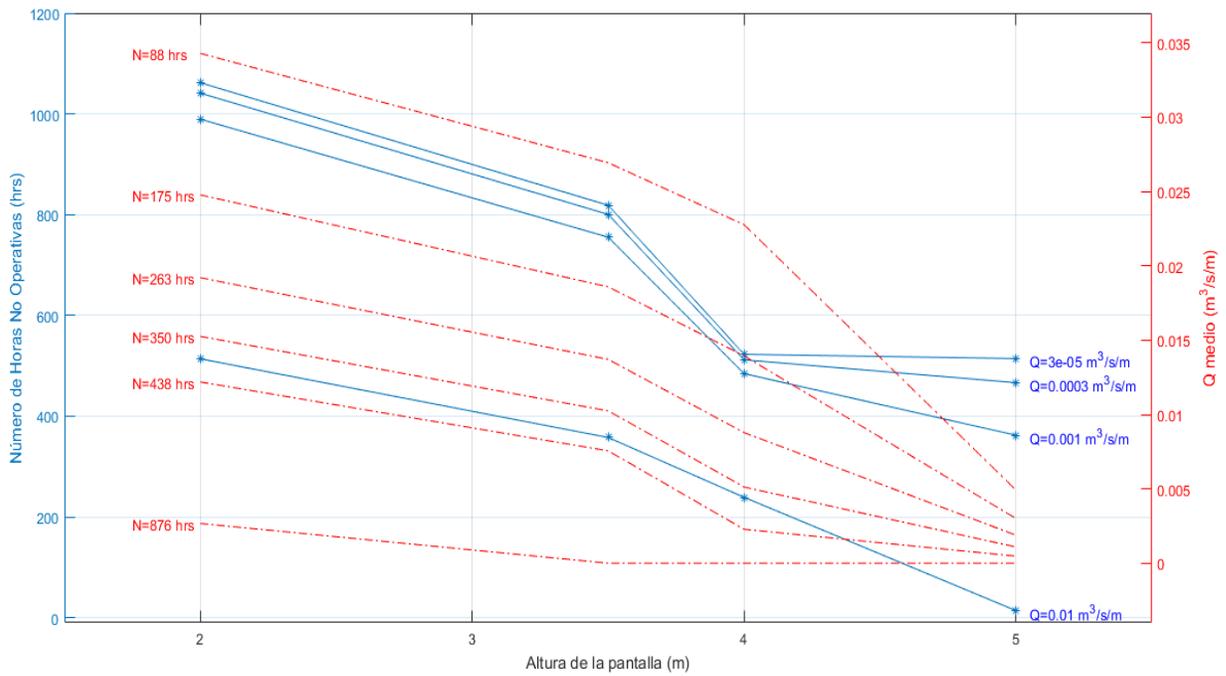


Figura 6.3 Tabla de diseño Altura de la pantalla, Numero de horas no operativas al año y Caudal medio de rebase.

Si, por ejemplo, una persona quiere saber la probabilidad de un caudal medio de rebase de $0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ sobre una pantalla de 4 metros, utilizando la figura 6.2 podrá encontrar que corresponde a 3 % del tiempo. Si, por el contrario, desea saber el caudal que al menos tendrá con una pantalla de 4 metros y durante 88 horas, el usuario deberá utilizar la figura 6.3 y hallar que éste es $0.023 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$. De esta forma, se podrá saber el número de horas que deberá cerrar el paso hacia la zona de La Piscina con los criterios que se determinen.

6.4 Propuestas de mejora

Ya se ha mencionado que la metodología solo contempla las simulaciones en un nivel (pleamar media viva) y se considera que los rebases ocurridos durante la bajamar son nulos. Esta hipótesis genera que la alternativa a la que se pueda llegar esté del lado de la seguridad. A continuación, se proponen formas en que este trabajo se podría mejorar y complementar.

Para una mejora del método seguido, sería adecuado realizar las simulaciones con el modelo IH-2VOF sobre diferentes niveles de mar (bajamar, media marea y pleamar o cuando menos bajamar y pleamar) y haciendo una selección de casos a propagar, utilizando la técnica de máxima disimilitud, para después poder hacer una reconstrucción de todos los estados de mar existentes por medio de la técnica RBF. Por el momento, esta alternativa se presenta como inaccesible a las capacidades computacionales y los tiempos de ejecución. También, sería adecuada la ejecución de los estados de mar completos, o al menos de las 136 olas que se determinaron en el capítulo 5 como número mínimo de olas para que el caudal medio varíe poco.

Otra forma de mejorar el método seguido, es realizar las simulaciones para pleamar y bajamar, así tener caudales de rebase para cada estado de mar en ambos niveles y siguiendo el método de Monte Carlo obtener el caudal correspondiente en diferentes niveles de mar. Esto quiere decir que, se generarían números aleatorios entre 0 y 1 para N casos (N sería proporcional a la probabilidad de ocurrencia de cada estado de mar), que corresponderían a la probabilidad de ocurrencia. Estas probabilidades se utilizarían para entrar en la función de distribución de marea astronómica, para encontrar el nivel de marea astronómica que le corresponde. Con este el nivel, se haría una interpolación para obtener el caudal en ese nivel a partir de los caudales obtenidos entre pleamar y bajamar. Así sería posible tener un régimen de caudales que se aproxima más a la realidad. Por cuestiones de tiempo no ha sido posible hacerlo para este proyecto. Sin embargo, durante la defensa del mismo se presentarán los resultados de este método haciendo la interpolación del caudal entre el obtenido en la simulación y 0, considerando que en bajamar los rebases son nulos.

Finalmente, para un diseño integral de la pantalla, sería necesario calcular la fuerza máxima de cada simulación para encontrar los regímenes de fuerza máxima. Un ejemplo cualitativo de estos se presenta en la figura 6.4. Como se hizo con los regímenes de caudales, se obtendría una tabla de diseño de fuerzas (figura 6.5). Con ayuda de ésta y la tabla de operatividad por caudales sería posible hacer el diseño estructural de la pantalla.

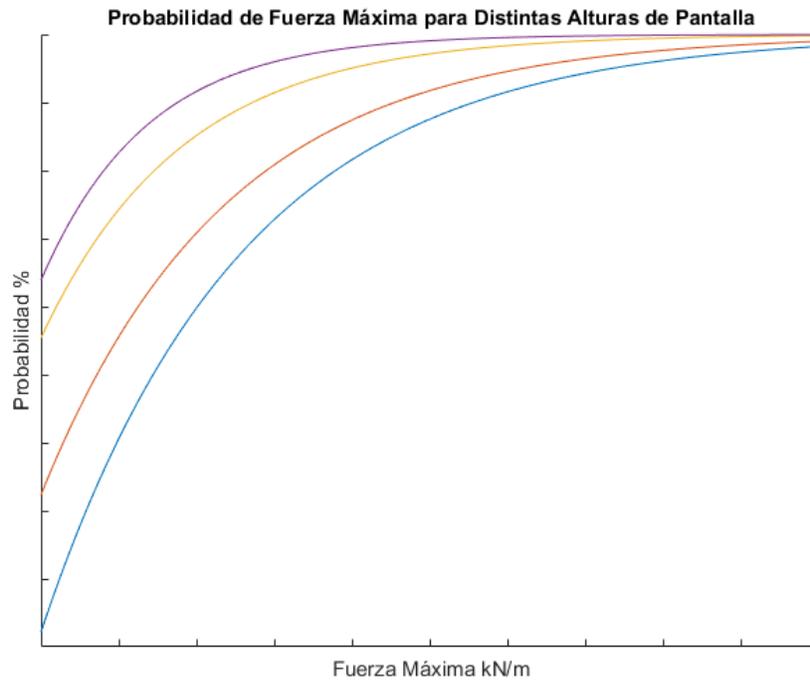


Figura 6.4. Régimen cualitativo de fuerza máxima para distintas alturas de pantalla.

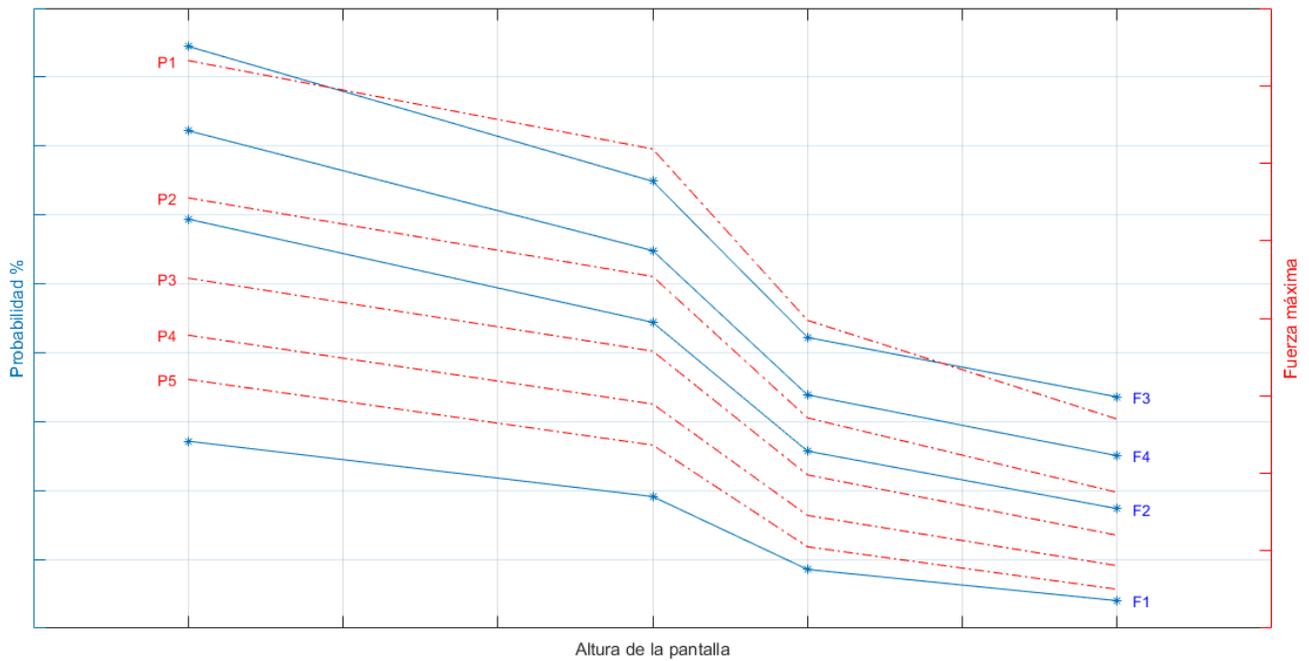


Figura 6.5. Tabla de diseño para fuerza máxima.

6.4 Conclusiones

- Se propone como solución para reducir los rebases, la instalación de una pantalla sobre el muro de La Piscina.
- Se analizaron 4 alturas de pantalla: 2, 3.5, 4 y 5 metros.
- Se obtuvieron los regímenes de caudal medio de rebase para cada altura de pantalla ajustados a la forma $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{a-bx}{c}\right)}$.
- Conforme se incrementa la altura de la pantalla, los rebases son más escasos y su magnitud más pequeña.
- Se construyó una tabla de operatividad de caudales medios, donde se puede obtener el caudal medio de rebase a partir de un porcentaje de ocurrencia y la altura de la pantalla, o el porcentaje de ocurrencia sabidos la altura de la pantalla y el caudal medio de rebase.
- Esta tabla serviría para determinar la altura adecuada de la pantalla de acuerdo a los criterios que tome en consideración la entidad encargada de tomar la decisión.
- Se propone como alternativa para complementar este trabajo, la elaboración de tablas de diseño de fuerza máxima a partir del régimen de fuerza máxima.
- Con ayuda de ambas tablas de diseño sería posible hacer el diseño estructural de la solución.

CAPÍTULO 7

7. Conclusiones

7. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones finales del trabajo, que incluyen los apartados de la situación actual y la solución propuesta.

Situación actual

- De acuerdo con la distribución conjunta de Hs-Tp se definieron 27 estados de mar, que caracterizan el régimen medio de oleaje, y que fueron propagados con el modelo IH-2VOF.
- Se preparó la geometría sobre la cual se colocaron todas las mallas (dependiendo del caso a propagar). Se generaron los estados de mar, se “generó la pala” utilizando la forma estática y prepararon todas las simulaciones adecuadamente.
- Se almacenó la información en cuatro sensores colocados frente al dique de abrigo, sobre el dique de abrigo, frente al muro y sobre el muro. El sensor más importante para este estudio es el que se encuentra sobre el muro, con él se obtuvieron los caudales de rebase que son el principal tema de estudio.
- Se encontró que el número de olas mínimo necesario para que el caudal medio de rebase tenga poca variabilidad es 135 olas, pero por cuestiones de capacidad computacional se trabajó con 36.
- Se realizaron las propagaciones, obteniendo los caudales medios de rebase sobre el muro en cada caso simulado.
- A mayor periodo pico se obtendrán caudales medios de rebase mayores.
- Se obtuvo la curva que mejor se ajusta a los datos, ésta es $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{-0.8804 - 15.07x}{0.531}\right)}$ y caracteriza el régimen de caudal medio de rebase en el muro de La Piscina en la situación actual.

Solución Propuesta

- Se propone como solución para reducir los rebases, la instalación de una pantalla sobre el muro de La Piscina.
- Se analizaron 4 alturas de pantalla: 2, 3.5, 4 y 5 metros.
- Se prepararon las simulaciones de la misma forma que para la situación actual con la única diferencia de que al muro de La Piscina se le incrementó el francobordo en las cuatro dimensiones antes mencionadas.
- Se obtuvieron los regímenes de caudal medio de rebase para cada altura de pantalla ajustados a la forma $F(x) = 1 - e^{\left(\frac{a-bx}{c}\right)}$, con ello también se obtuvieron los valores de los parámetros a, b y c.
- Conforme se incrementa la altura de la pantalla, los rebases son más escasos y su magnitud más pequeña.
- Se construyó una tabla de diseño de caudales medios, donde se puede obtener el caudal medio de rebase a partir de un porcentaje de ocurrencia y la altura de la pantalla, o el porcentaje de ocurrencia sabidos la altura de la pantalla y el caudal medio de rebase.
- Esta tabla serviría para determinar la altura adecuada de la pantalla de acuerdo a las restricciones que se tomen en consideración.

- Se propone como alternativa para complementar este trabajo, la elaboración de tablas de diseño de fuerza máxima a partir del régimen de fuerza máxima.
- Con ayuda de ambas tablas de diseño sería posible hacer el diseño estructural de la solución.
- Como una alternativa distinta al método seguido y más robusta, se menciona que, sería adecuado realizar una selección con la técnica de máxima disimilitud, esta selección simularla con el modelo IH-2VOF sobre 3 niveles distintos del mar (pleamar, bajamar y media marea) y finalmente, hacer una reconstrucción de la serie completa del oleaje por medio de la técnica RBF. Así, se tendría el régimen de caudal completo y más preciso.

Bibliografía

- Camus, P., Mendez, F. J., & Medina, R. (2011). A hybrid efficient method to downscale wave climate to coastal areas. *Coastal Engineering*, 58(9), 851-862.
- Camus, P., Mendez, F. J., Medina, R., Tomas, A., & Izaguirre, C. (2013). High resolution downscaled ocean waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72, 56-68.
- Camus, P., Tomas, A., Vidal, C., Mendez, F. J., Medina, R., & Losada, I. J. (2011, June). Downscaling wave energy resources to coastal areas. In *OCEANS 2011 IEEE-Spain* (pp. 1-8). IEEE.
- Franco, L., De Gerloni, M., & Van der Meer, J. W. (1994). Wave overtopping on vertical and composite breakwaters. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(24).
- Gyssels, P., Ragessi, M., Rodriguez, A., Cardini, J., & Campos, M. (2007). Aplicaciones de modelos numéricos a un estudio de prediseño de un sistema de diques exentos en el litoral Argentino. *Mecánica computacional*, 26, 1252-1271.
- Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of computational physics*, 39(1), 201-225.
- Lara, J. L. (2005). *A numerical wave flume to study the functionality and stability of coastal structures*. PIANC.
- Losada, I. J., Lara, J. L., Guanche, R., & Gonzalez-Ondina, J. M. (2008). Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters. *Coastal engineering*, 55(1), 47-62.
- Martin, F. L., Medina, R., & Gonzalez, E. M. (1997). An integrated computer assisted beach design system (CABD). *WIT Transactions on The Built Environment*, 30.
- Ruju, A., Lara, J. L., & Losada, I. J. (2012). Radiation stress and low-frequency energy balance within the surf zone: A numerical approach. *Coastal engineering*, 68, 44-55.
- <http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>

Anejo 1

1. Casos seleccionados con MaxDiss para propagar en OLUCA

En la siguiente tabla se presentan los casos seleccionados con la técnica de máxima disimilitud (MaxDiss) para ser propagados con el modelo OLUCA.

Caso	H	T	Dir
1	0.464	13.918	0.278
2	1.948	8.670	0.536
3	4.248	8.929	0.719
4	1.134	14.005	0.836
5	2.331	6.534	1.470
6	0.698	9.594	1.743
7	4.404	13.483	1.827
8	1.257	5.000	2.104
9	1.979	5.000	2.227
10	3.439	15.232	2.436
11	2.154	19.117	2.681
12	2.419	10.135	2.929
13	3.646	10.405	3.520
14	3.615	19.000	3.606
15	1.314	11.551	3.738
16	0.285	8.692	3.773
17	3.295	7.488	4.216
18	1.487	16.845	5.159
19	0.093	7.356	5.899
20	3.327	11.652	6.628
21	1.374	10.031	6.766
22	2.991	8.722	7.572
23	0.634	5.000	8.277
24	2.084	17.516	10.159
25	4.137	10.818	10.398
26	0.314	12.157	11.312
27	2.673	12.342	11.401
28	1.926	9.825	11.578
29	1.895	11.657	12.092
30	0.971	15.855	12.433
31	0.070	9.693	13.339
32	1.832	13.598	13.380
33	0.050	5.000	13.426

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

34	1.388	8.418	14.764
35	2.685	7.533	14.922
36	0.895	11.144	15.004
37	1.076	13.023	15.391
38	1.581	6.735	15.529
39	2.160	15.914	15.669
40	1.658	5.000	16.024
41	0.759	6.403	16.234
42	2.137	7.096	16.400
43	0.876	17.667	17.673
44	2.369	5.734	17.737
45	3.319	9.597	18.003
46	0.175	6.359	18.249
47	1.581	15.261	18.341
48	0.574	13.904	18.528
49	0.431	7.654	18.668
50	0.775	8.894	19.284
51	4.173	9.361	19.975
52	0.996	5.000	21.549
53	2.054	8.563	21.992
54	3.280	6.728	22.030
55	2.419	10.319	23.604
56	0.330	16.001	23.728
57	2.625	17.655	24.824
58	2.758	8.789	26.501
59	0.161	10.801	26.502
60	1.562	11.324	27.977
61	1.880	16.868	29.427
62	0.993	14.493	30.544
63	0.225	8.966	30.787
64	1.488	6.473	31.000
65	2.632	6.795	31.006
66	1.370	9.438	31.093
67	0.427	12.998	31.789
68	1.457	5.000	32.052
69	0.131	7.185	32.434
70	0.660	6.560	32.743
71	2.011	6.824	32.847
72	1.640	8.012	33.000
73	0.672	10.478	33.343

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

74	1.006	11.900	33.455
75	0.573	5.000	33.879
76	1.116	7.535	33.887
77	1.312	5.741	326.023
78	2.041	10.343	326.200
79	0.571	7.486	326.322
80	0.661	6.053	326.358
81	0.120	5.000	326.546
82	0.154	10.420	326.692
83	1.803	9.021	326.778
84	2.132	7.520	327.008
85	1.259	14.689	327.026
86	1.224	7.204	327.091
87	3.091	12.379	327.187
88	0.964	8.496	327.196
89	1.145	11.753	327.455
90	1.394	10.072	327.988
91	0.383	13.126	328.174
92	2.676	10.579	328.313
93	3.459	8.506	329.065
94	0.221	8.569	329.149
95	0.779	10.164	329.447
96	1.443	13.127	329.674
97	3.662	10.131	329.837
98	1.910	16.225	329.989
99	4.090	14.319	330.417
100	2.211	5.952	331.238
101	2.865	7.566	332.341
102	2.545	18.737	333.048
103	2.010	11.997	333.508
104	2.565	12.089	334.381
105	4.278	11.589	334.919
106	3.563	17.371	335.170
107	4.621	15.142	335.629
108	2.695	5.226	335.741
109	2.456	15.437	335.776
110	1.693	6.514	336.012
111	0.523	11.564	336.120
112	4.949	16.990	336.576
113	2.449	17.112	336.826

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

114	1.172	16.411	337.008
115	5.667	18.340	337.022
116	1.551	8.027	337.249
117	3.044	16.251	337.643
118	3.717	12.773	337.686
119	4.734	19.521	338.035
120	2.466	8.946	338.059
121	0.107	7.009	338.274
122	1.836	13.966	339.029
123	0.845	14.946	339.093
124	2.594	13.612	339.117
125	1.902	5.000	339.628
126	0.665	8.578	340.443
127	0.315	16.001	340.585
128	3.361	14.110	340.678
129	3.010	17.724	340.980
130	0.940	6.849	341.094
131	3.071	8.683	341.271
132	4.361	16.947	341.584
133	1.946	17.917	342.260
134	0.629	5.000	342.320
135	2.316	10.419	342.504
136	3.182	12.667	342.628
137	0.434	13.943	342.659
138	1.776	9.732	342.813
139	0.975	13.446	343.007
140	2.378	6.758	343.166
141	6.055	16.930	343.288
142	4.042	9.995	343.536
143	1.276	5.000	343.543
144	3.554	15.506	344.678
145	5.487	15.607	344.722
146	3.273	6.895	344.868
147	1.018	9.624	344.870
148	2.055	8.091	344.945
149	3.407	19.142	345.122
150	3.466	11.424	345.822
151	3.900	18.082	346.039
152	6.295	15.068	346.179
153	1.328	11.281	346.265

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

154	4.334	12.728	346.534
155	2.907	10.032	347.327
156	4.609	13.996	348.348
157	5.135	12.286	348.710
158	4.095	15.719	348.713
159	1.635	16.754	348.841
160	0.256	9.106	348.877
161	1.245	17.959	349.001
162	2.684	11.723	349.296
163	2.281	20.033	349.587
164	2.506	18.363	350.134
165	1.774	15.291	350.328
166	0.459	7.620	350.742
167	2.210	12.769	351.070
168	0.255	12.312	351.194
169	5.409	17.392	351.311
170	2.813	15.030	351.755
171	1.791	6.917	351.980
172	2.783	16.561	352.070
173	1.439	8.653	352.346
174	3.407	16.876	352.867
175	1.143	15.515	352.958
176	1.969	11.232	353.543
177	3.430	9.062	353.684
178	0.795	16.827	353.796
179	0.077	5.634	353.802
180	2.240	16.493	353.904
181	4.019	11.398	353.985
182	0.699	11.188	354.512
183	3.863	13.311	354.592
184	2.690	7.957	354.948
185	1.578	12.758	355.330
186	4.679	17.905	355.932
187	5.880	14.493	356.026
188	3.044	13.315	356.609
189	0.153	10.451	356.788
190	0.685	6.265	357.427
191	3.028	18.378	357.587
192	2.025	21.536	357.789
193	4.909	15.690	358.246

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

194	2.194	14.290	358.728
195	4.586	12.107	358.747
196	0.817	12.672	358.973
197	2.879	5.365	359.181
198	5.409	13.399	359.399
199	0.966	8.033	359.495
200	1.268	6.667	359.920

Tabla 1. Casos seleccionados con la técnica de máxima disimilitud para su propagación con el modelo OLUCA

Anejo 2

1. Distribución de celdas en cada malla

Se presentan las tablas donde se establecen las características de las mallas utilizadas en el modelo IH-2VOF. La tabla 1 establece la distribución horizontal y las tablas 2 y 3 la distribución vertical.

X	Malla 1		Malla 2		Malla 3		Malla 4		Malla 5		Malla 6		Malla 7	
Subzona	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Centro	145	147	145	147	145	147	145	147.4	145	146.6	145	146.6	145	146.6
División	0	146	0	146	0	146.2	0	146.2	0	145.8	0	145.8	0	145.8
# celdas izq	600	10	300	5	200	2	200	2	170	1	170	1	170	1
# celdas der	10	490	5	245	3	120	2	80	1	60	1	60	1	60
Max sep center	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Tabla 1. Distribución horizontal de las mallas utilizadas para las simulaciones en IH-2VOF.

Y	Malla 1			Malla 2			Malla 3			Malla 4		
Subzona	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Centro	5	6	24.5	5	6	24.5	5	6	24.4	5	6.2	24.8
División	0	5.5	24	0	5.5	24	0	5.4	24	0	5.6	24.2
# celdas izq.	90	10	10	45	5	5	20	3	2	15	2	2
# celdas der.	10	360	100	5	180	50	2	90	40	2	60	30
Max sep center	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3

Tabla 2. Distribución horizontal de las mallas 1, 2, 3 y 4 utilizadas para las simulaciones en IH-2VOF.

Y	Malla 5			Malla 6			Malla 7		
Subzona	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Centro	5	5.8	24.6	5	5.8	24.6	5	5.8	24.6
División	0	5.4	24.2	0	5.4	24.2	0	5.4	24.2
# celdas izq.	11	1	1	11	1	1	11	1	1
# celdas der.	1	46	20	1	46	20	1	46	20
Max sep center	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

Tabla 3. Distribución horizontal de las mallas 5, 6 y 7 utilizadas para las simulaciones en IH-2VOF.

2. Estados de mar generados

Se presentan los estados de mar generados para cada caso del régimen medio. Cada figura contiene la representación de la superficie libre, los histogramas de altura de ola significativa y periodo, el espectro JONSWAP correspondiente y el gráfico de dispersión entre Hs y Tp.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

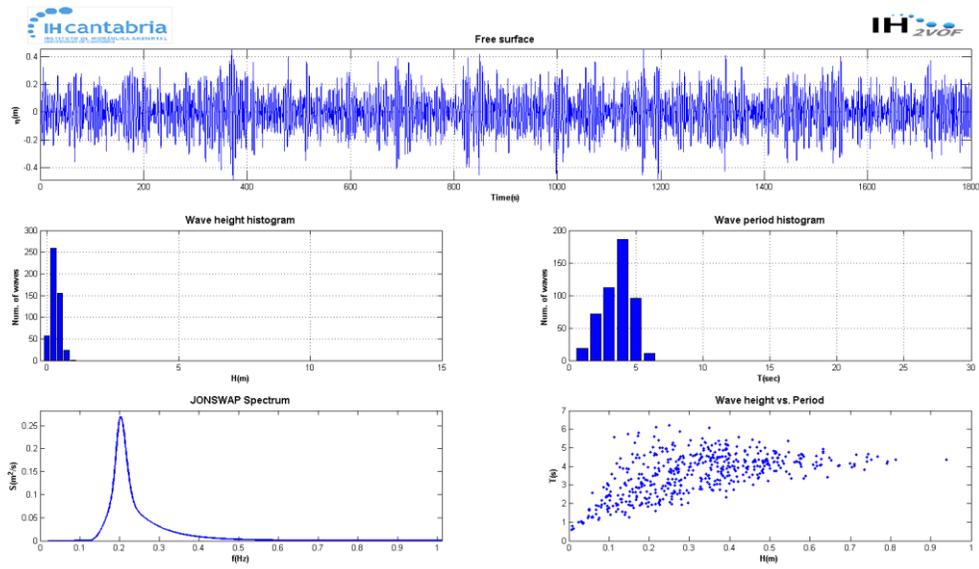


Figura 1. Serie de oleaje generada para el caso A1.

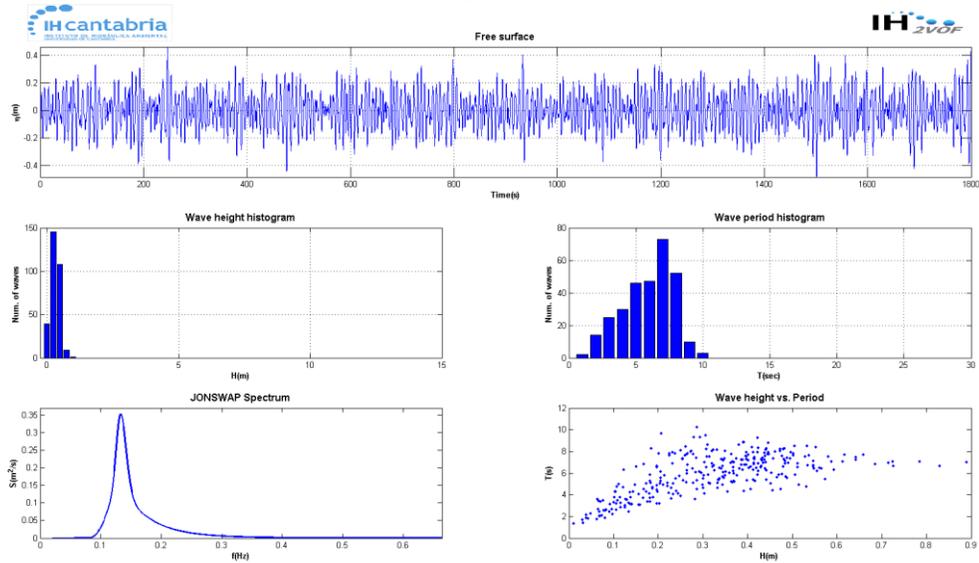


Figura 2. Serie de oleaje generada para el caso A2.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

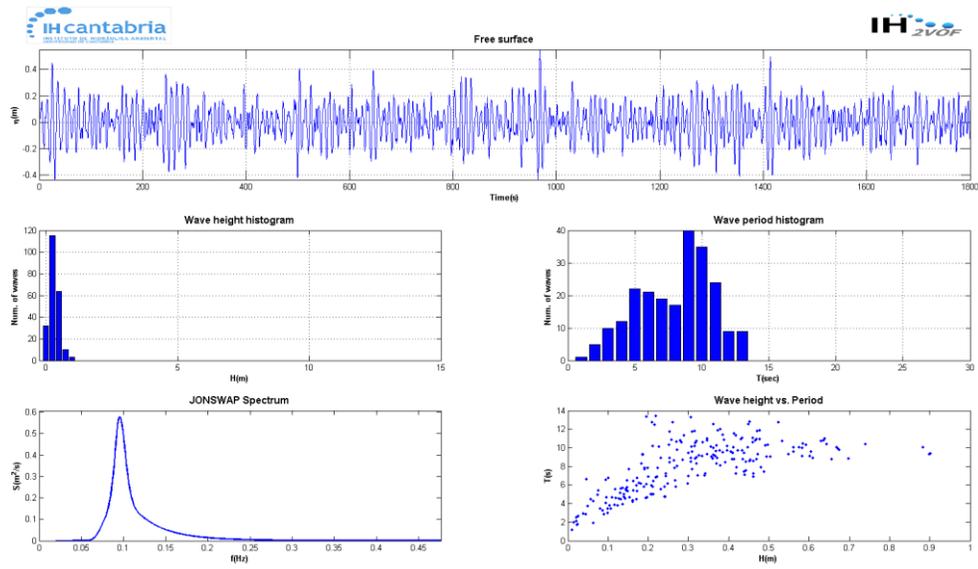


Figura 3. Serie de oleaje generada para el caso A3.

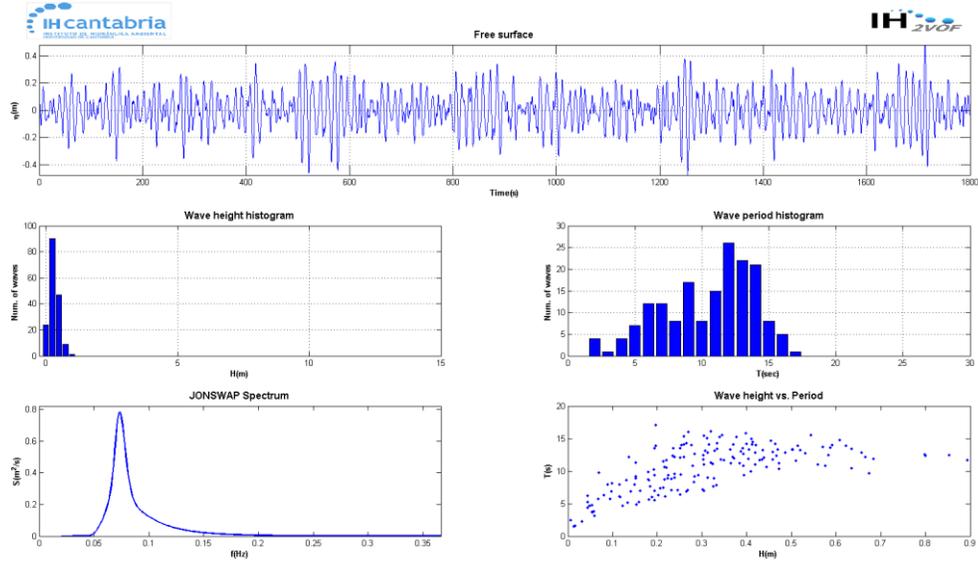


Figura 4. Serie de oleaje generada para el caso A4.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

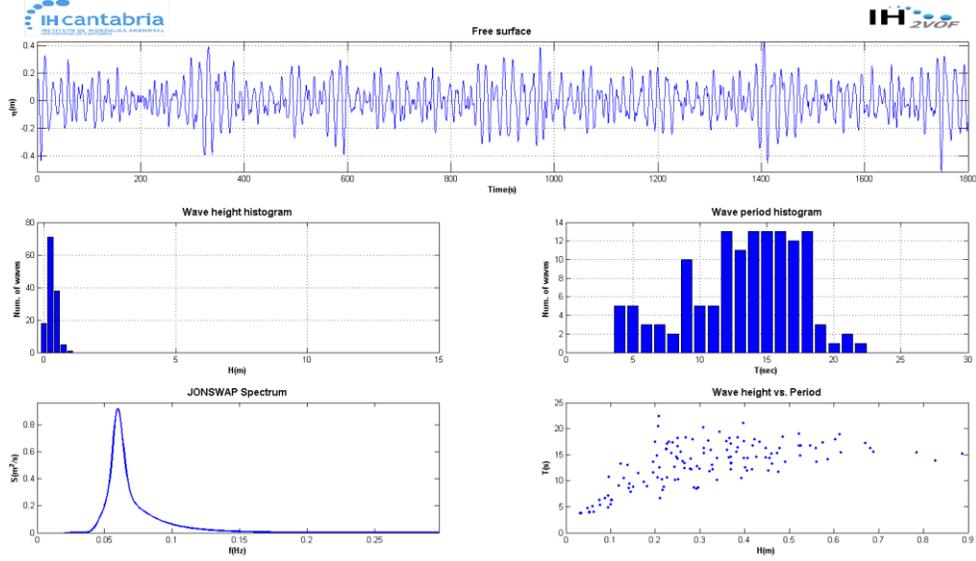


Figura 5. Serie de oleaje generada para el caso A5.

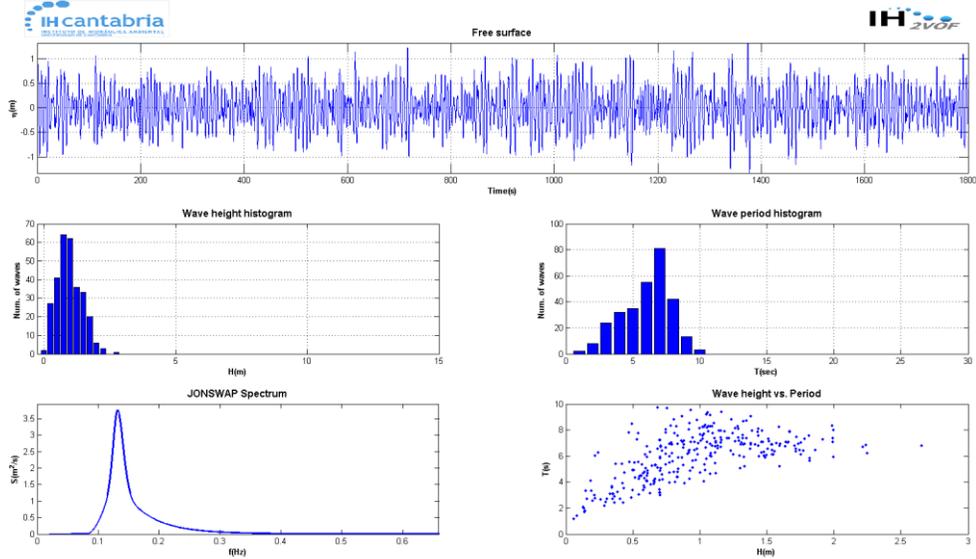


Figura 6. Serie de oleaje generada para el caso A6.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

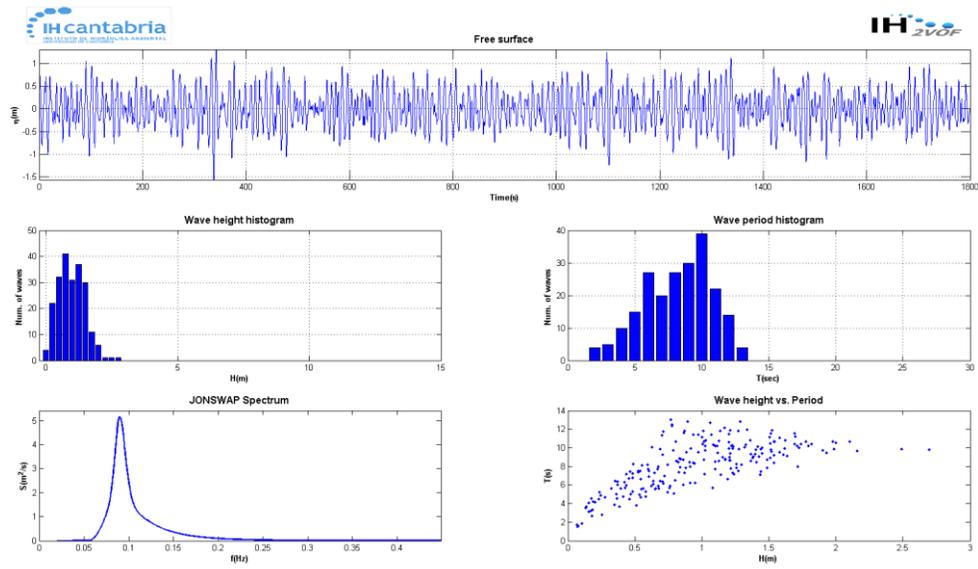


Figura 7. Serie de oleaje generada para el caso A7.

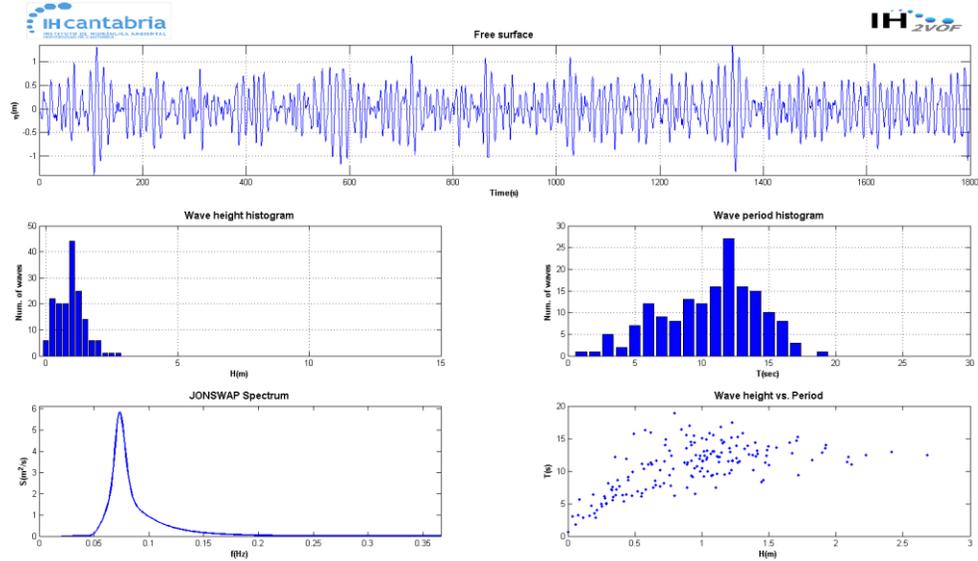


Figura 8. Serie de oleaje generada para el caso A8.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

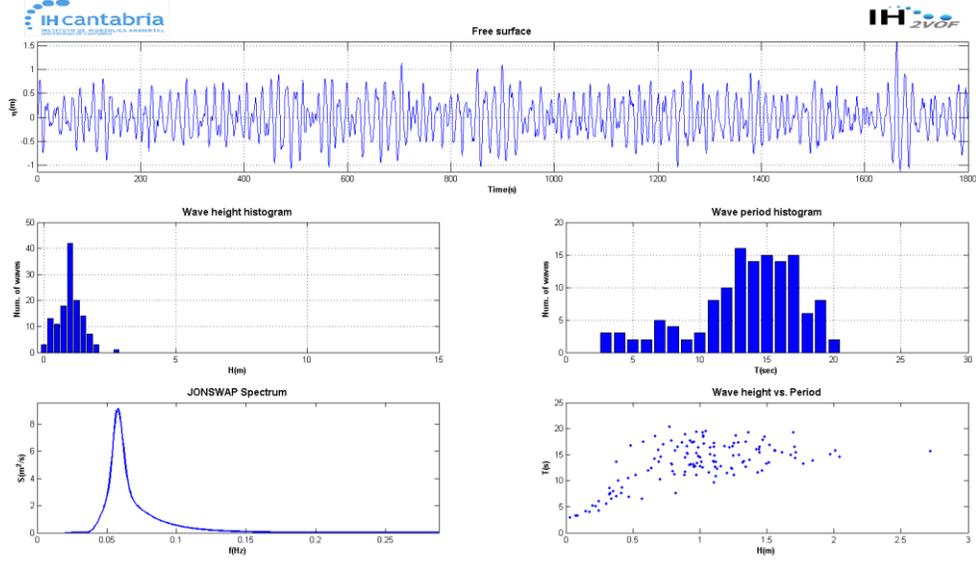


Figura 9. Serie de oleaje generada para el caso A9.

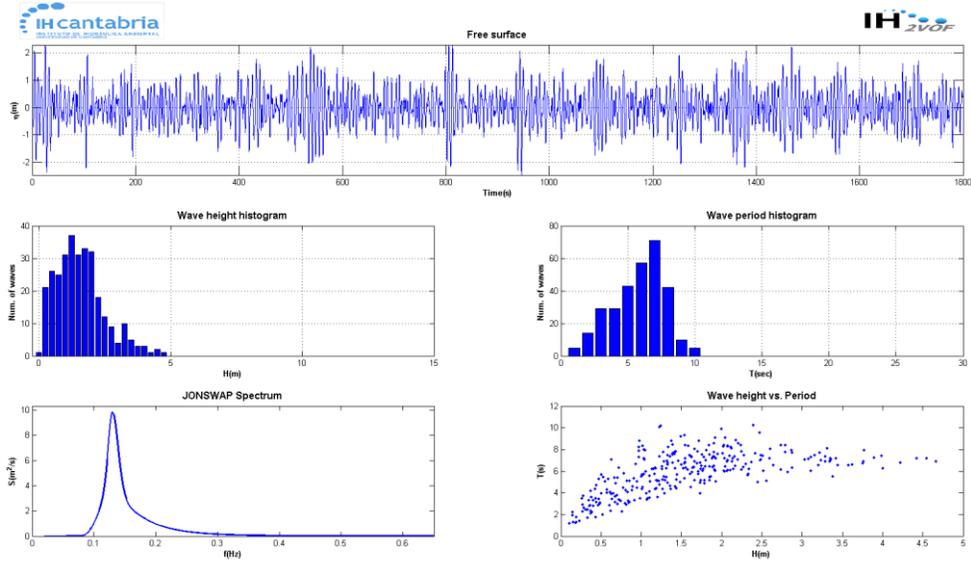


Figura 10. Serie de oleaje generada para el caso A10.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

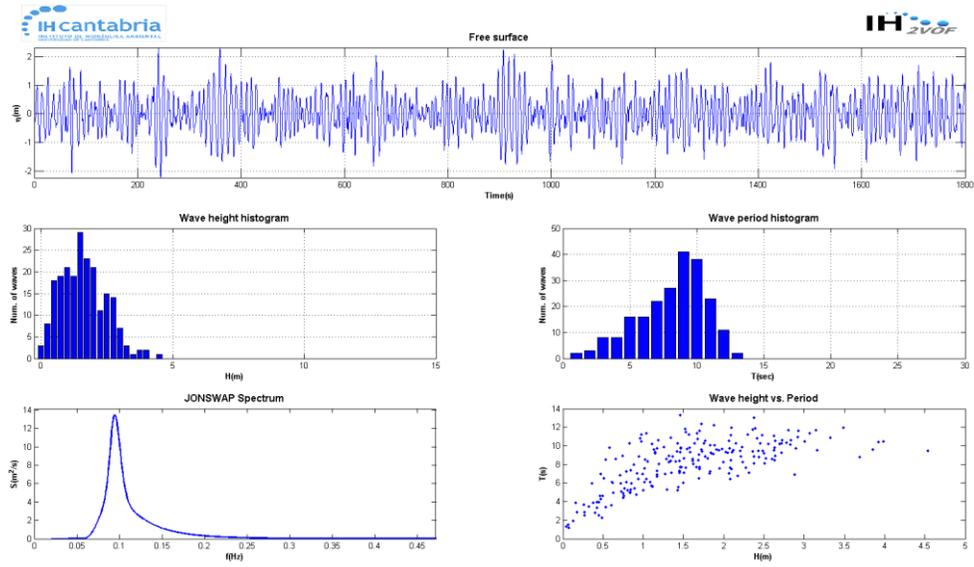


Figura 11. Serie de oleaje generada para el caso A11.

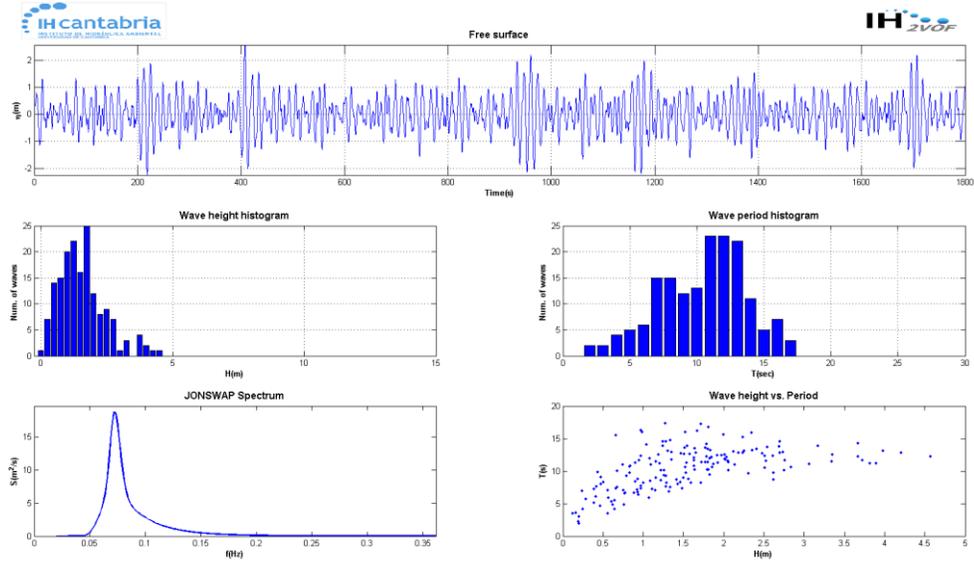


Figura 12. Serie de oleaje generada para el caso A12.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

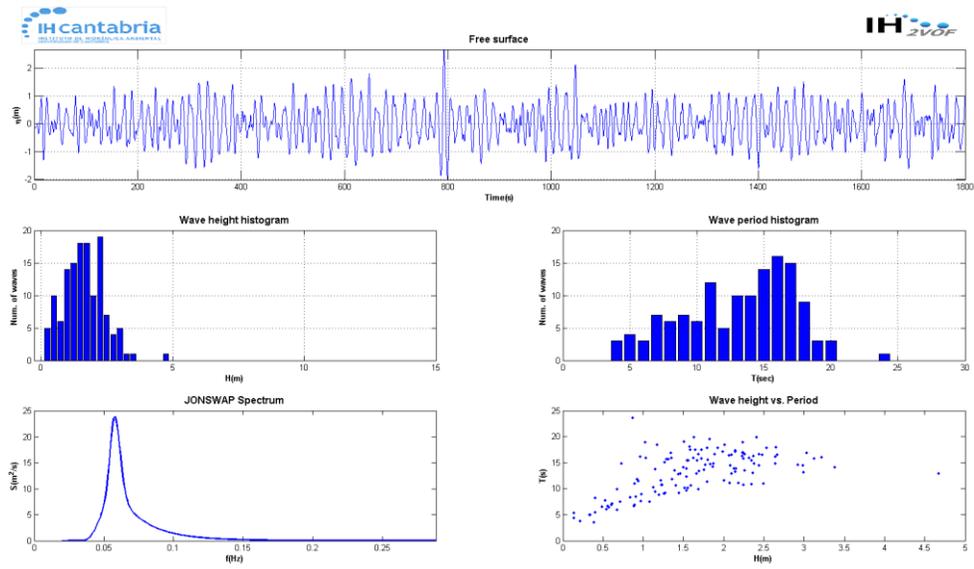


Figura 13. Serie de oleaje generada para el caso A13.

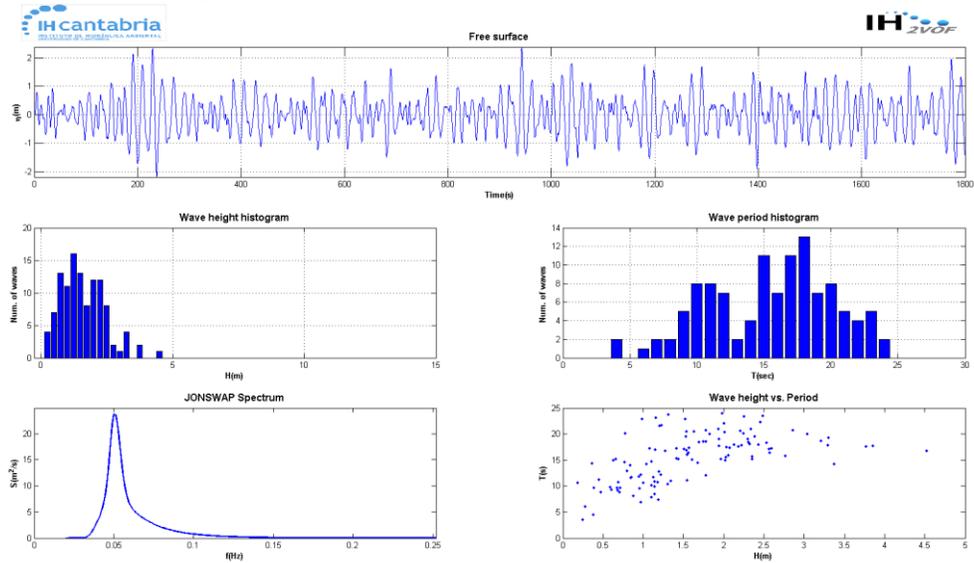


Figura 14. Serie de oleaje generada para el caso A14.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

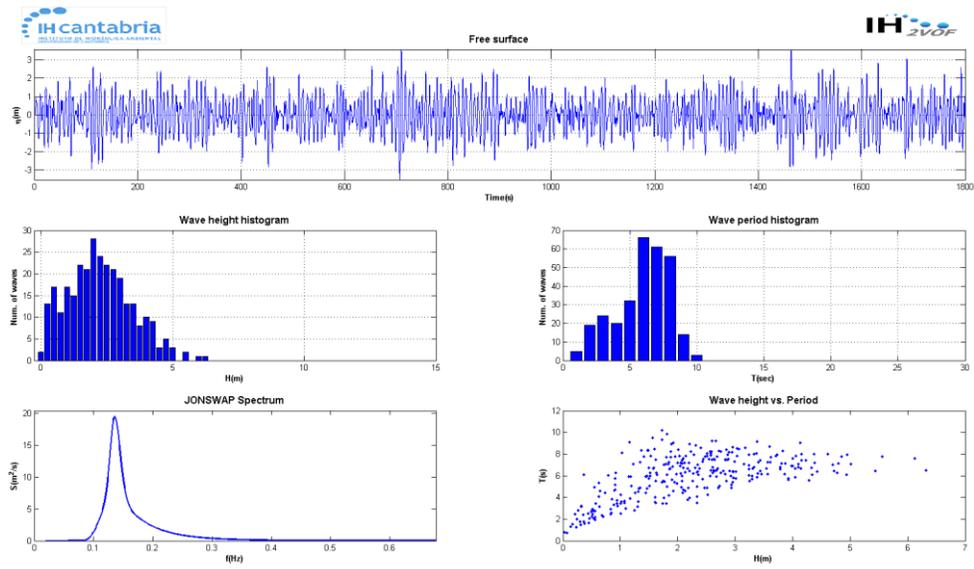


Figura 15. Serie de oleaje generada para el caso A15.

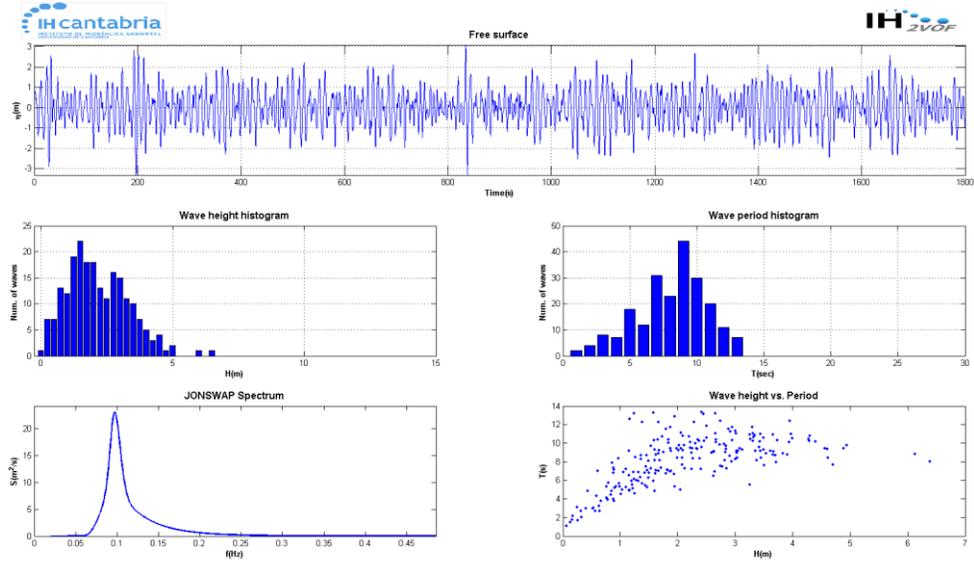


Figura 16. Serie de oleaje generada para el caso A16.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

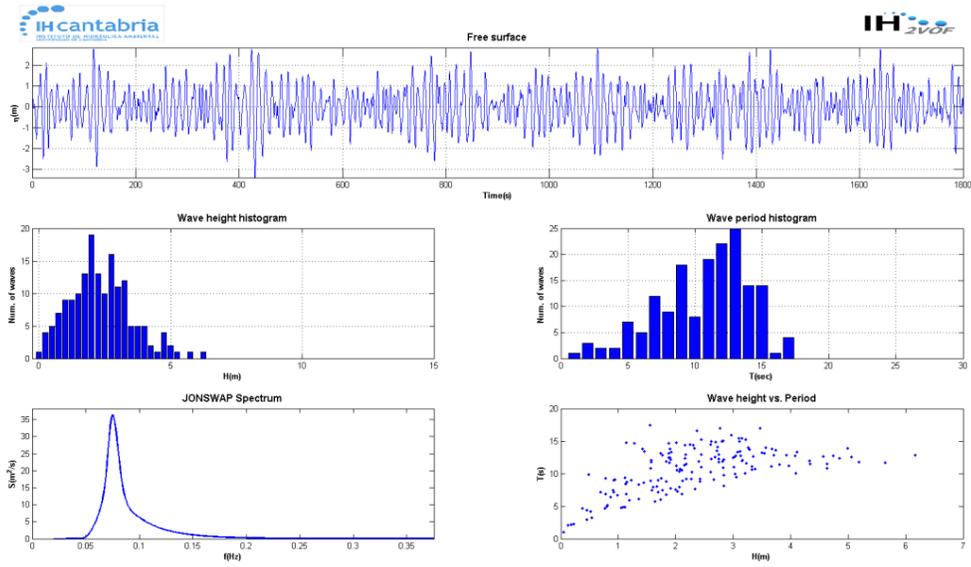


Figura 17. Serie de oleaje generada para el caso A17.

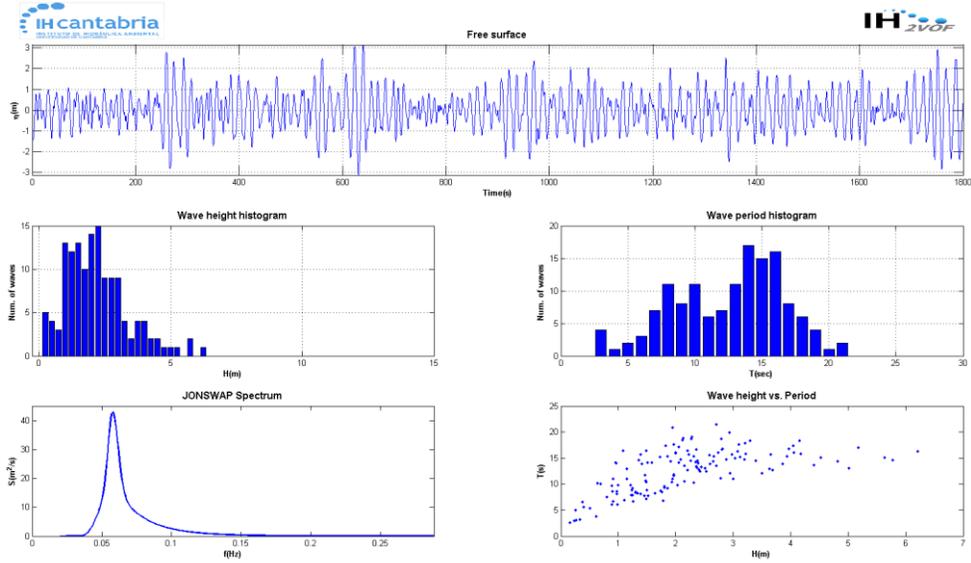


Figura 18. Serie de oleaje generada para el caso A18.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

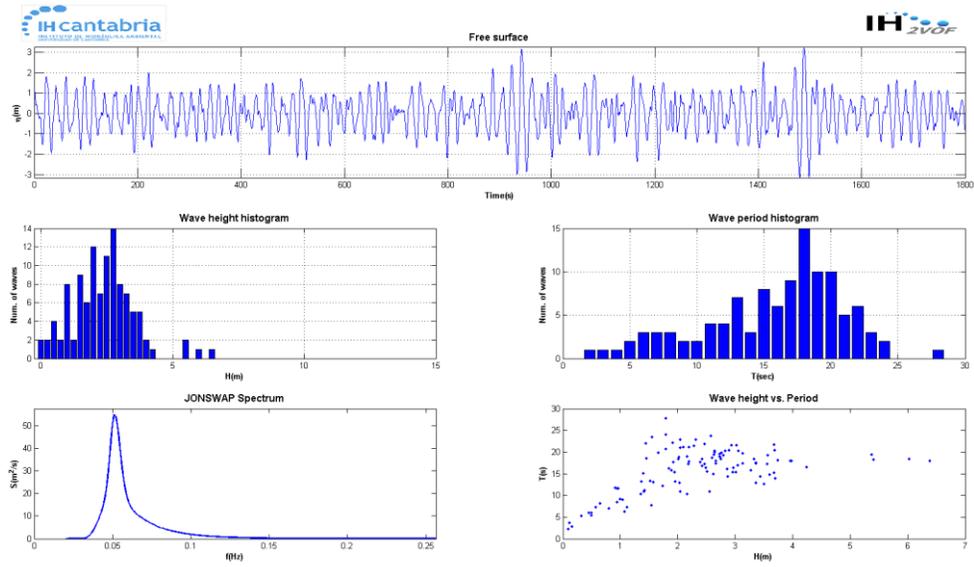


Figura 19. Serie de oleaje generada para el caso A19.

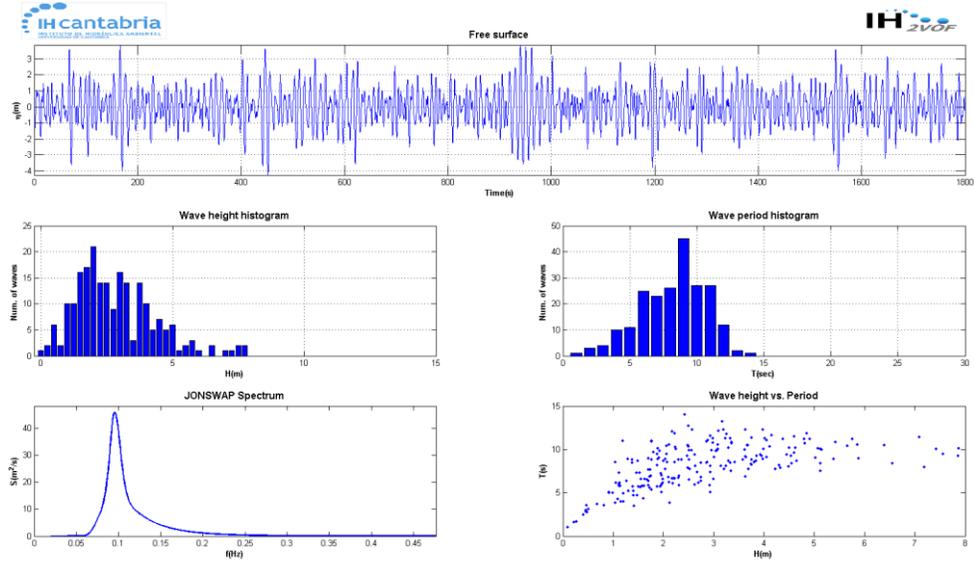


Figura 20. Serie de oleaje generada para el caso A20.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

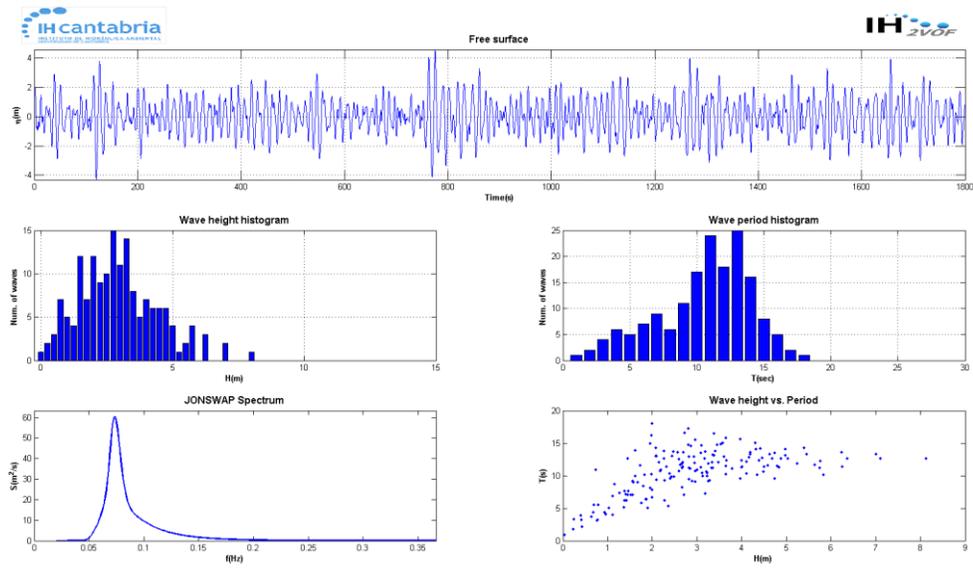


Figura 21. Serie de oleaje generada para el caso A21.

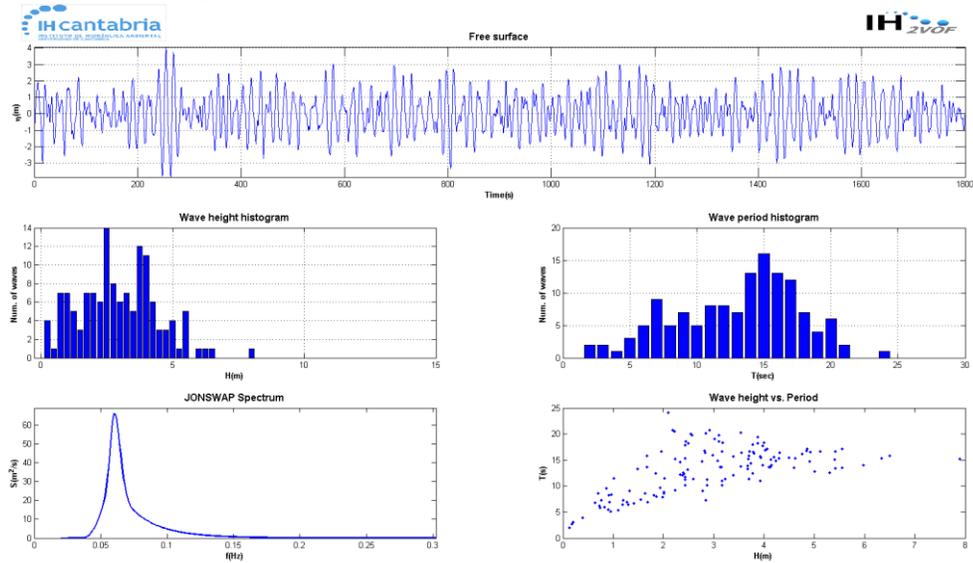


Figura 22. Serie de oleaje generada para el caso A22.

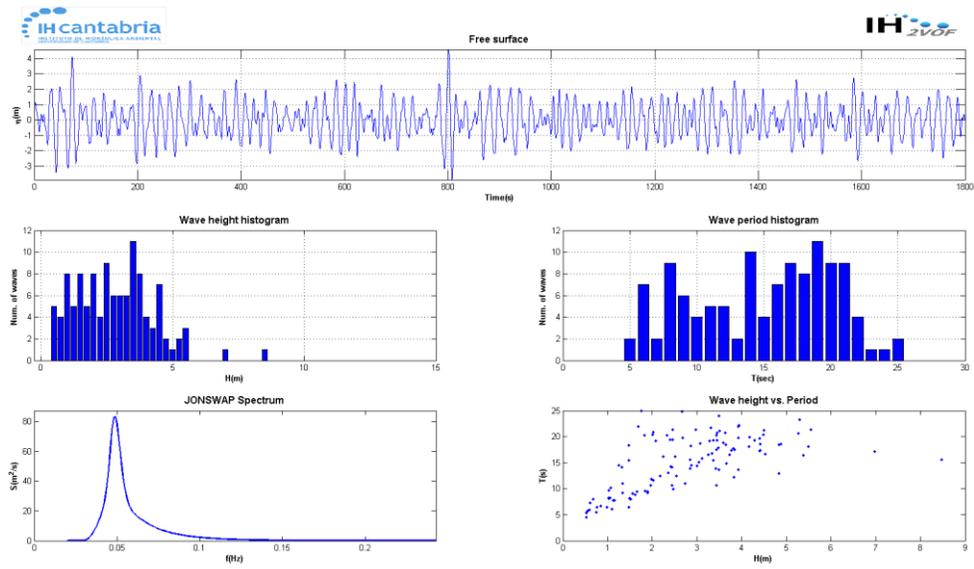


Figura 23. Serie de oleaje generada para el caso A23.

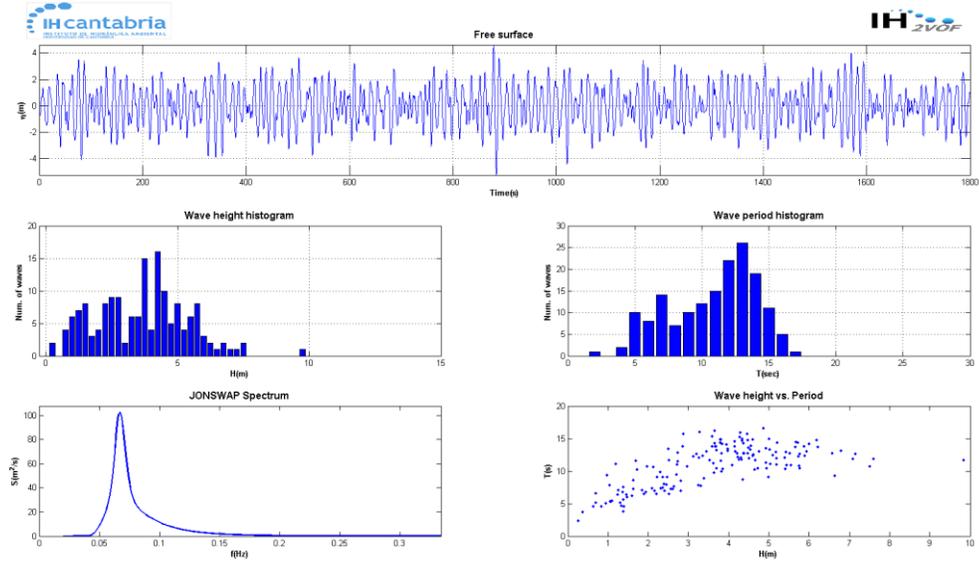


Figura 24. Serie de oleaje generada para el caso A24.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

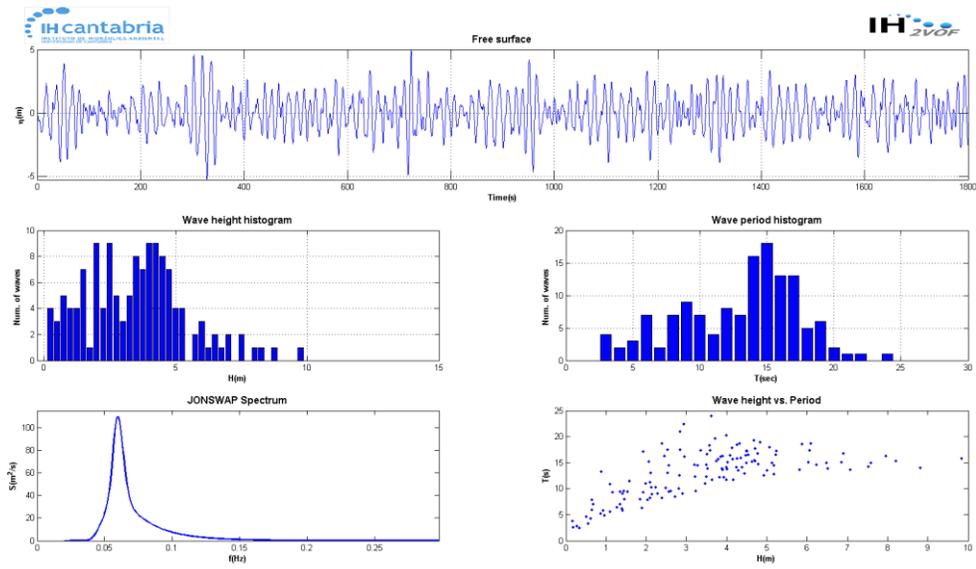


Figura 25. Serie de oleaje generada para el caso A25.

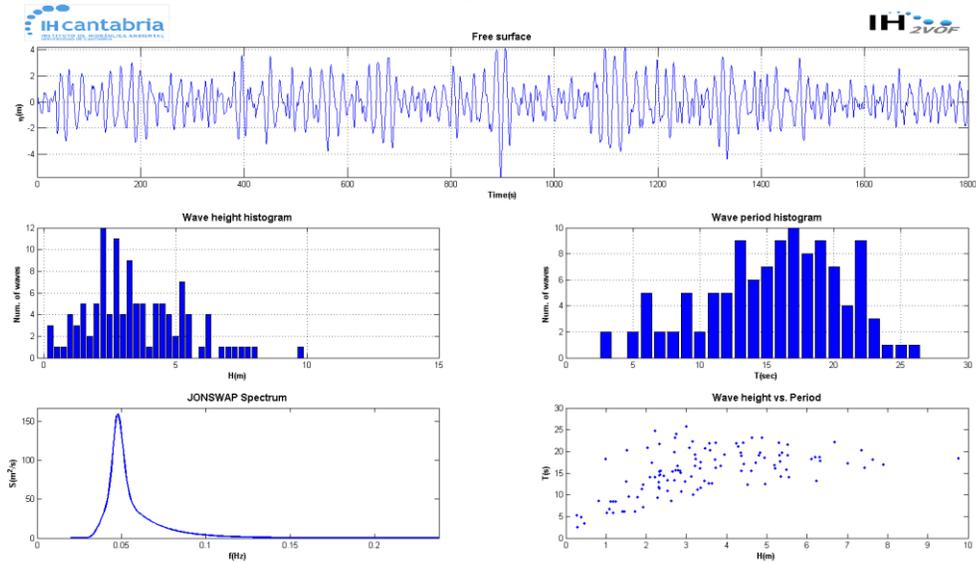


Figura 26. Serie de oleaje generada para el caso A26.

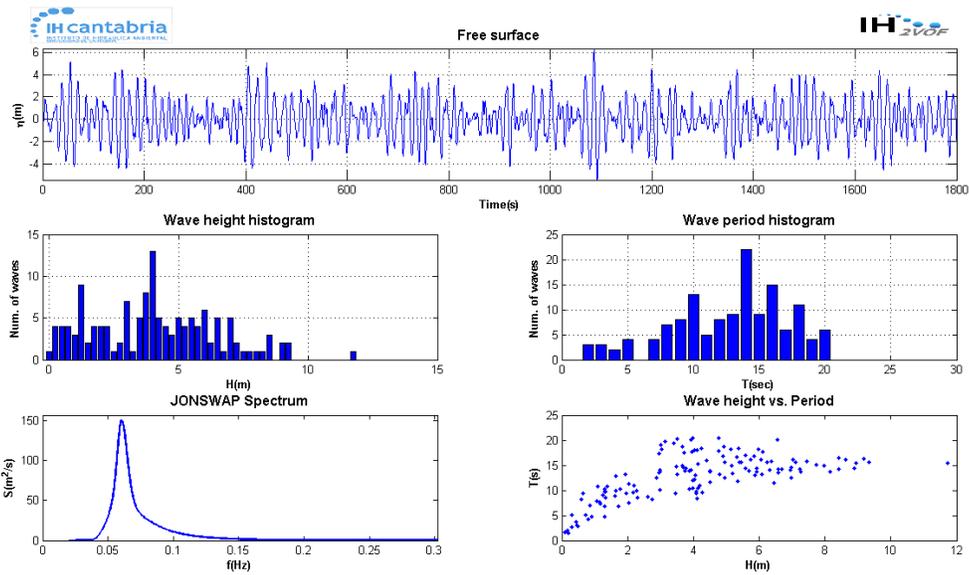


Figura 27. Serie de oleaje generada para el caso A27.

3. Estados de mar recortados (propagados con IH-2VOF)

Se presentan los gráficos de la serie generada originalmente y la serie recortada para contener solamente 36 olas.

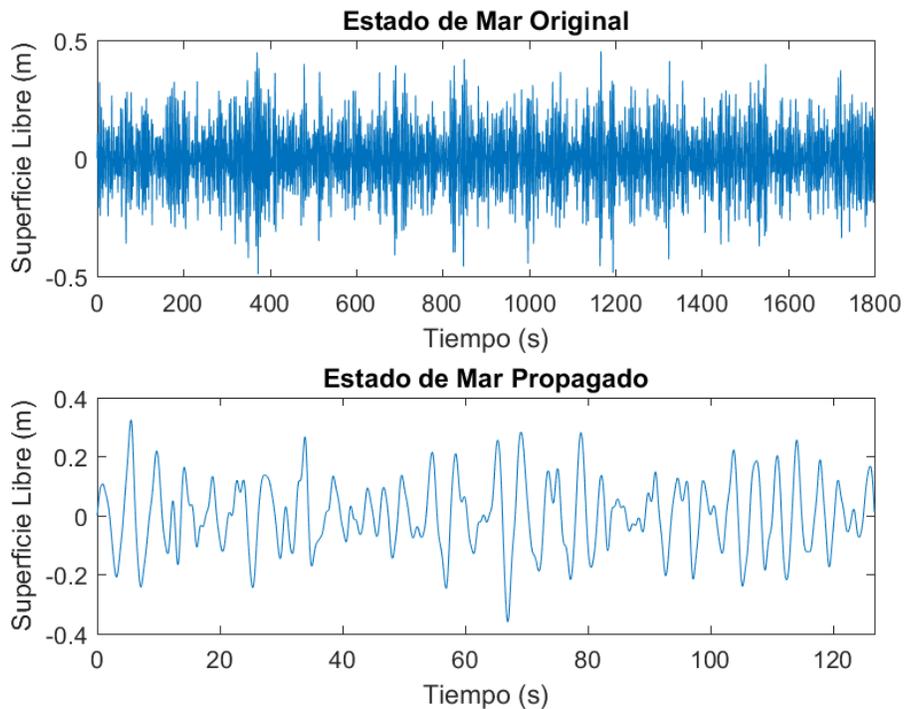


Figura 28. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A1.

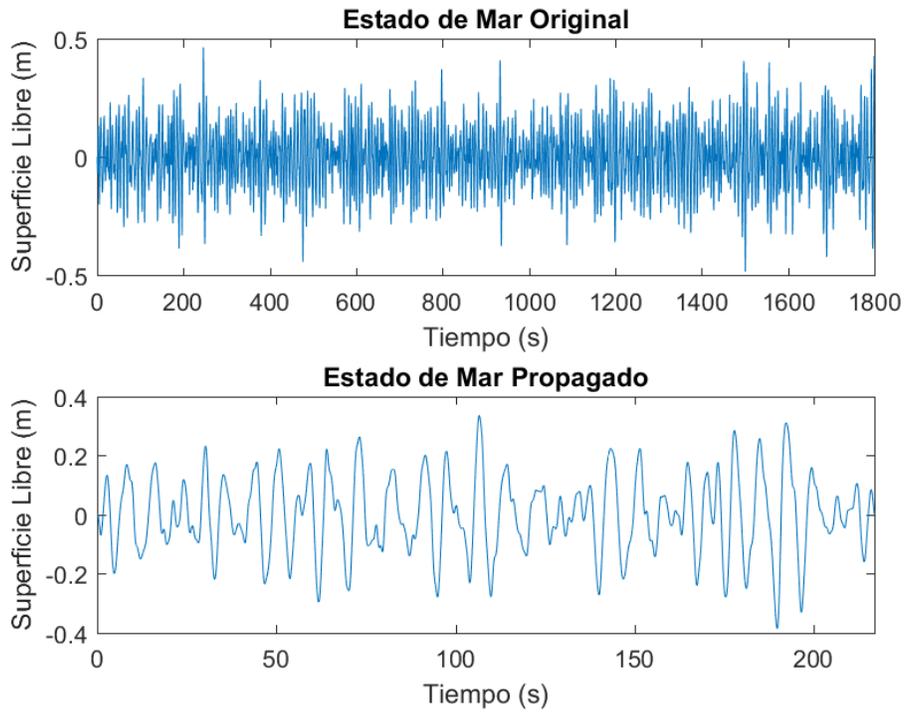


Figura 29. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A2.

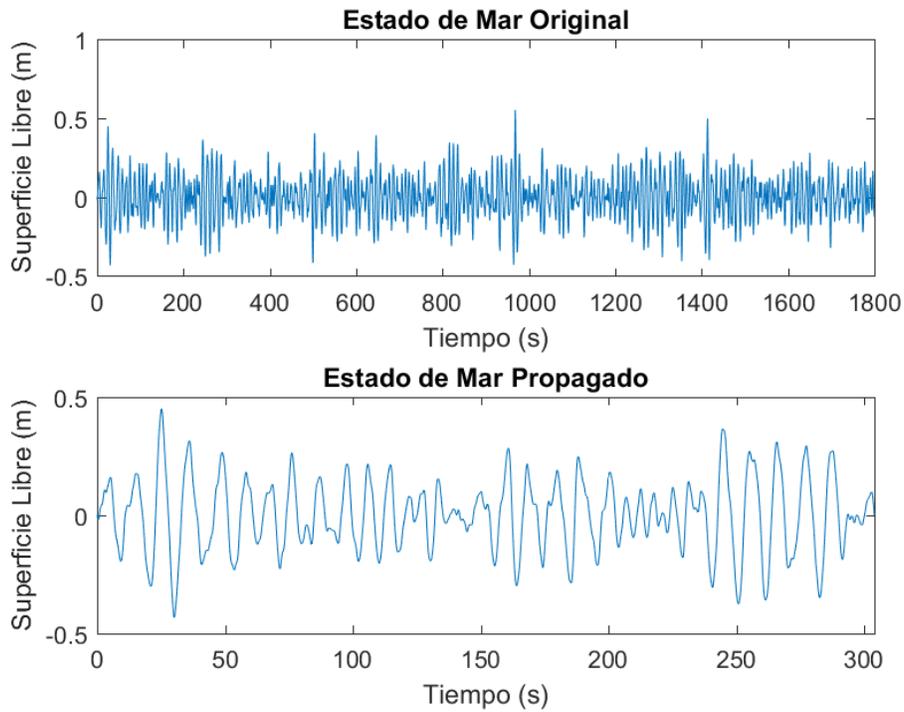


Figura 30. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A3.

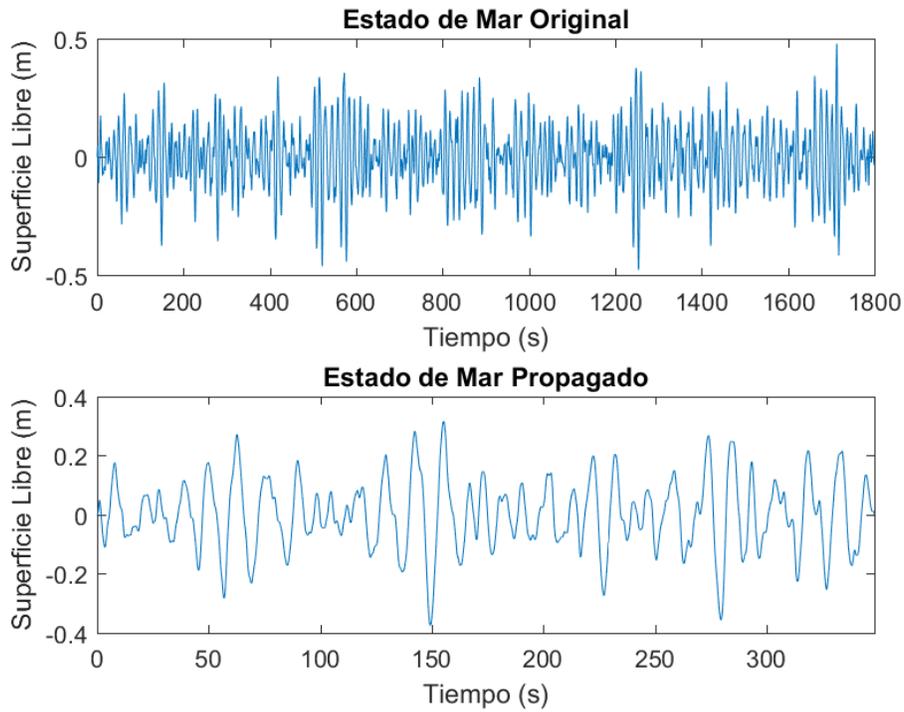


Figura 31. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A4.

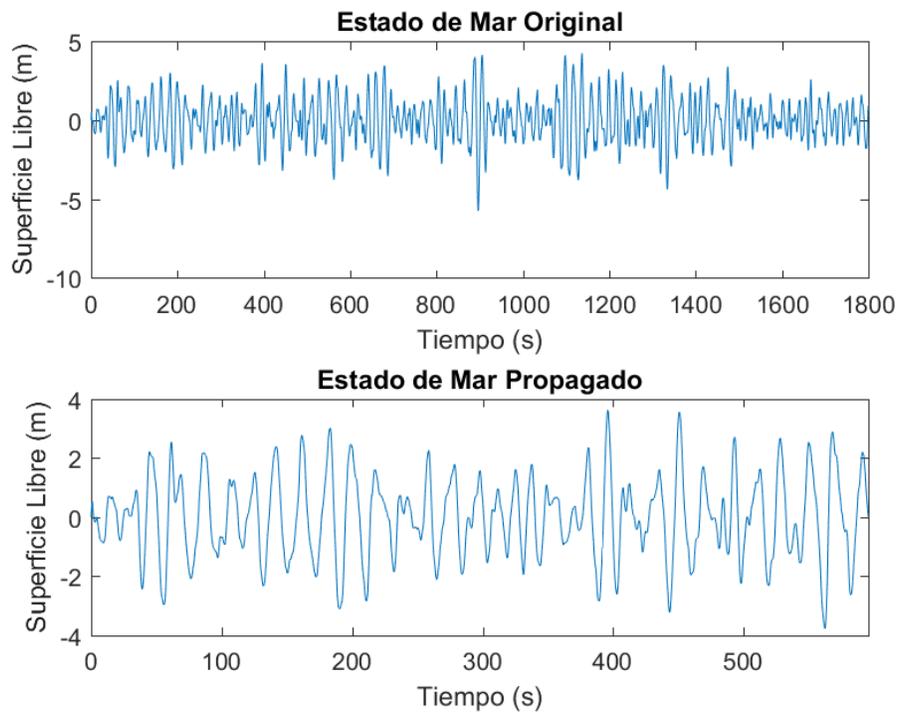


Figura 32. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A5.

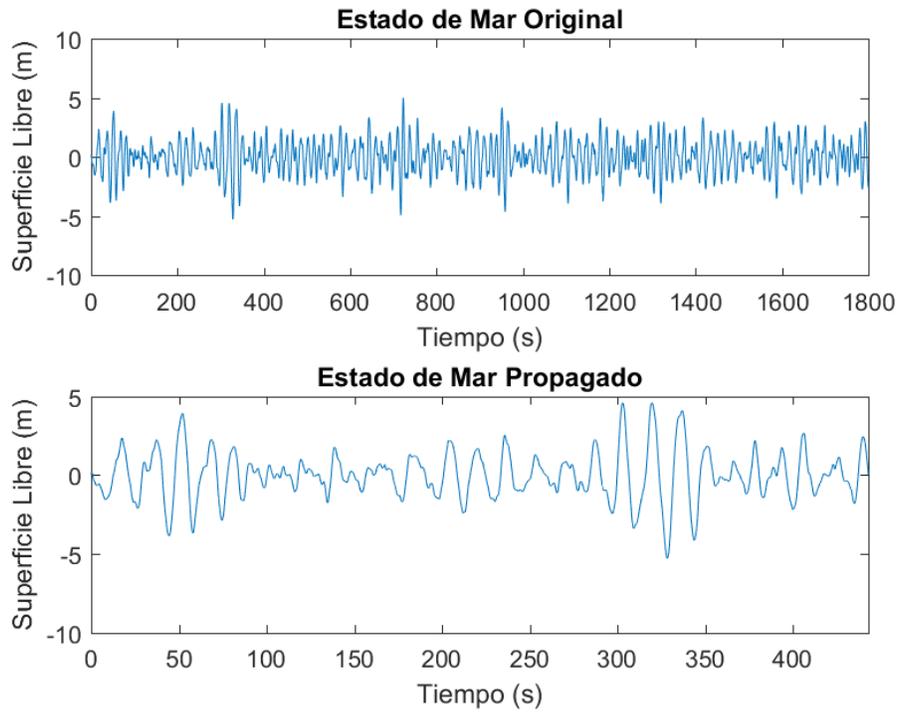


Figura 33. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A6.

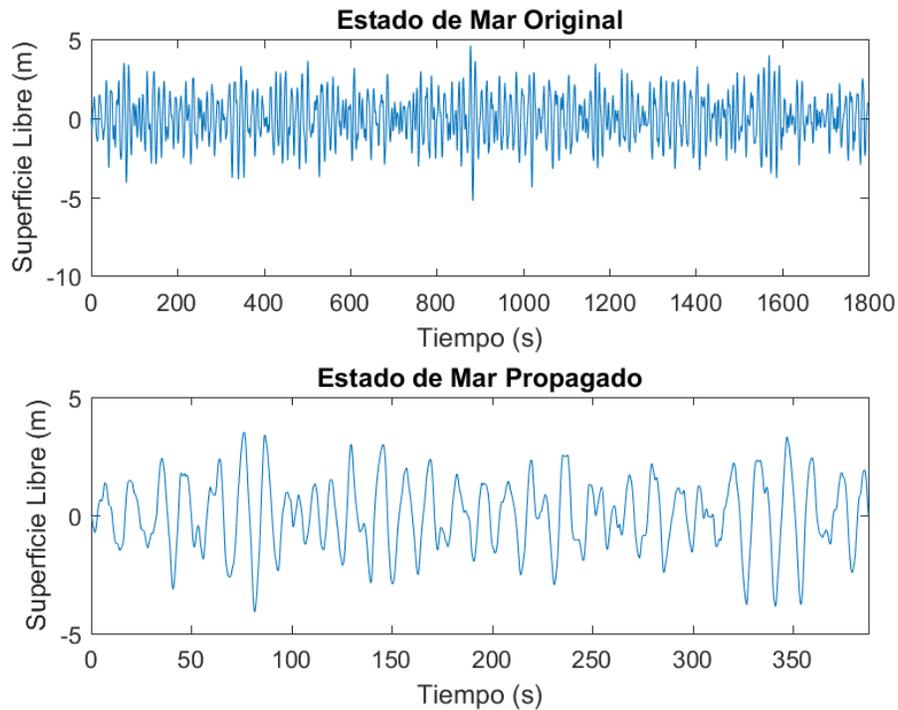


Figura 34. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A7.

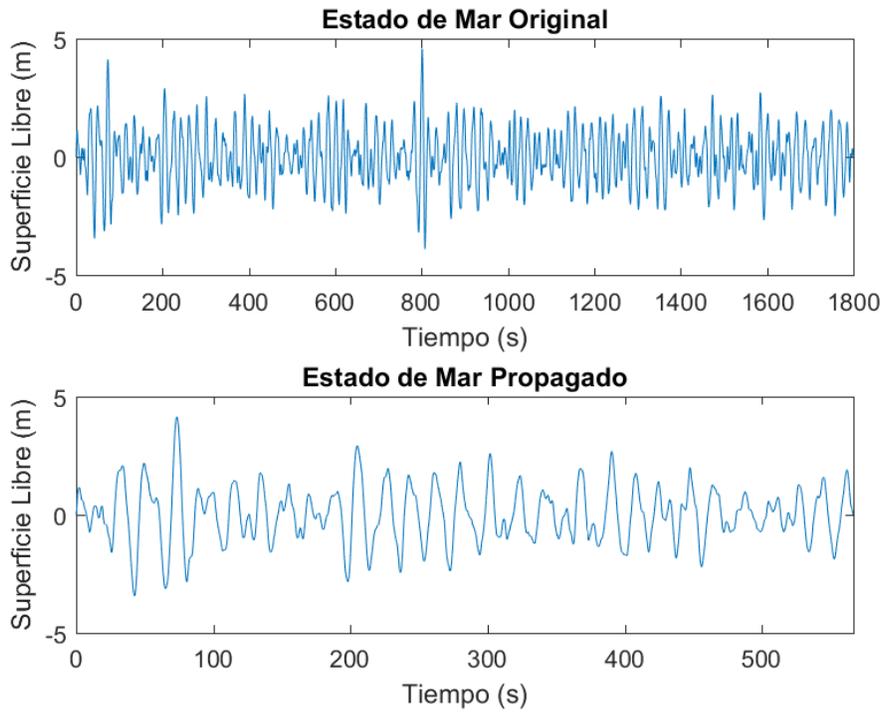


Figura 35. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A8.

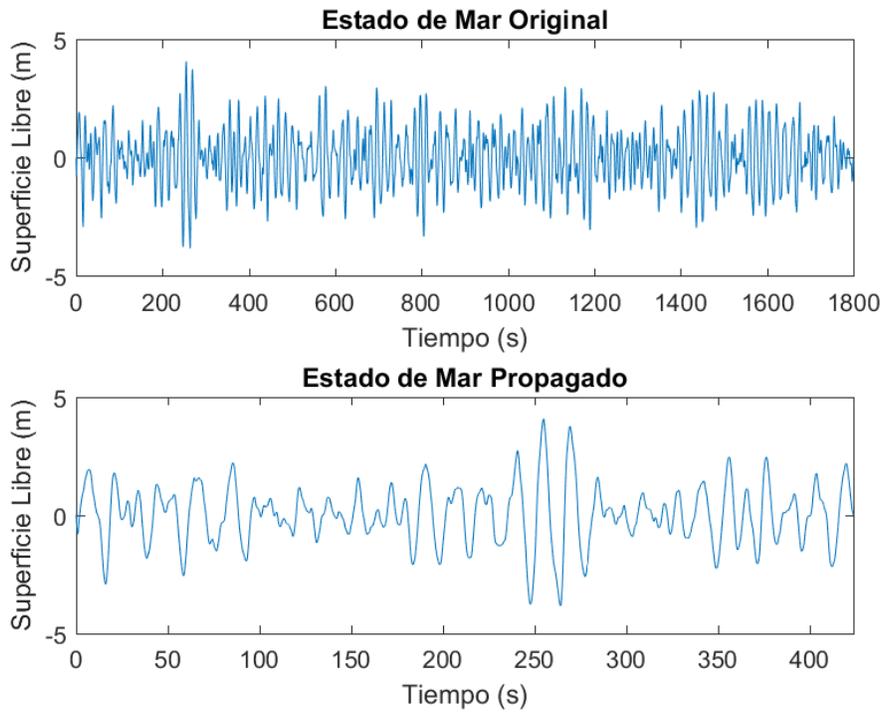


Figura 36. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A9.

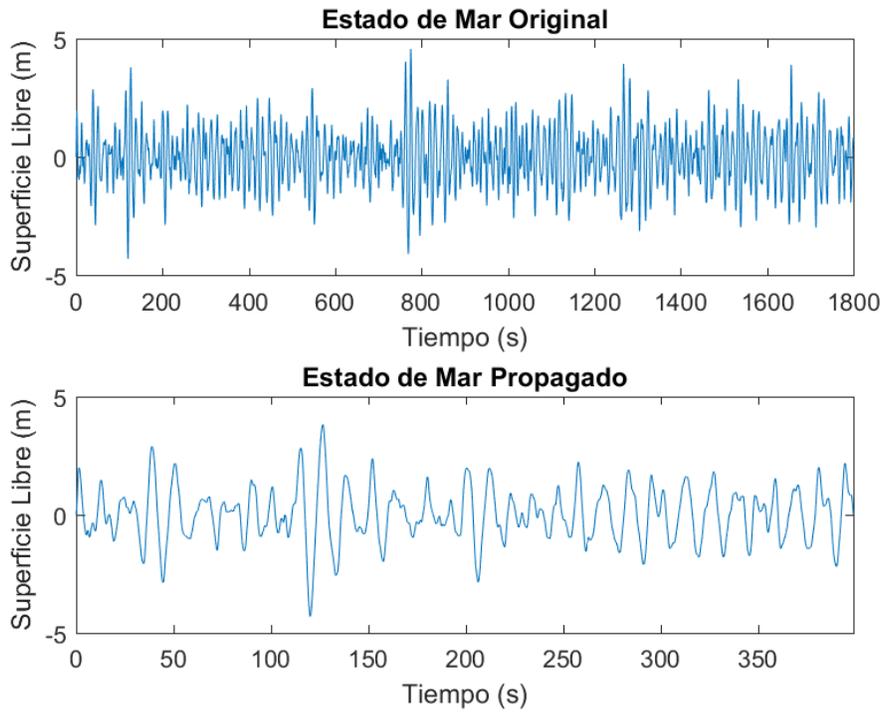


Figura 37. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A10.

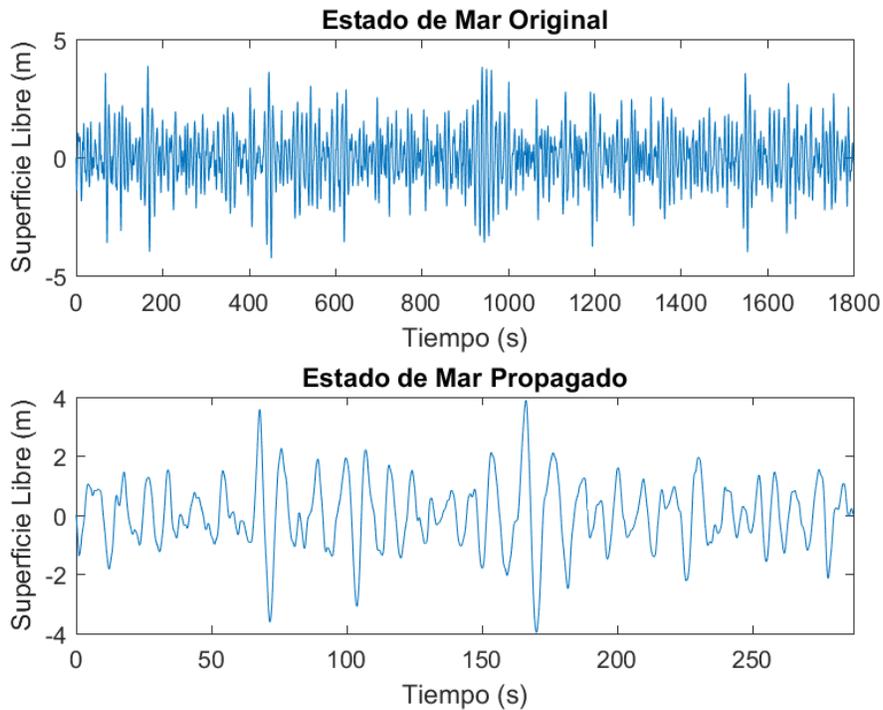


Figura 38. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A11.

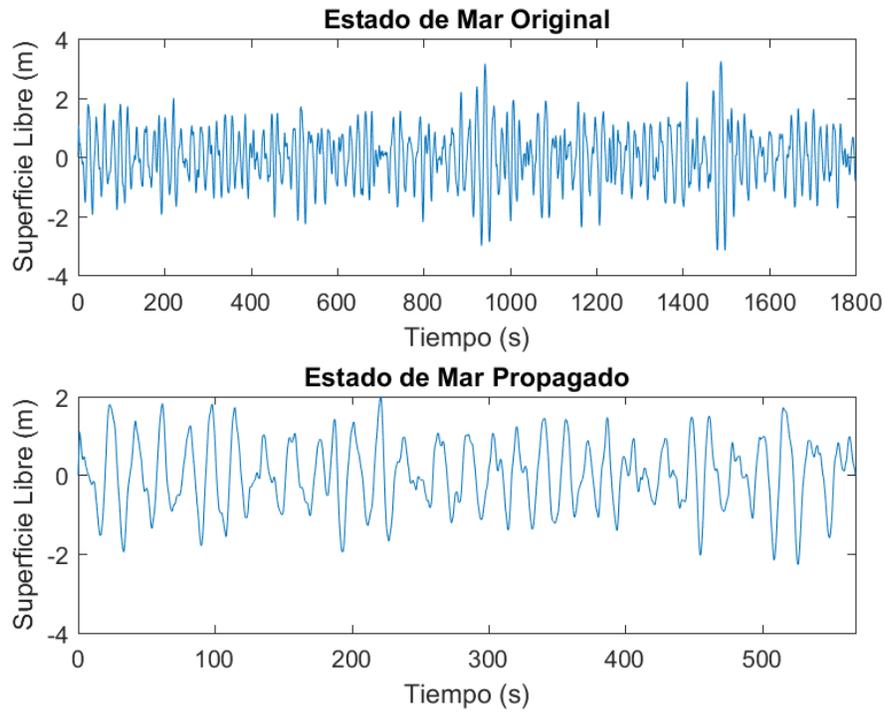


Figura 39. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A12.

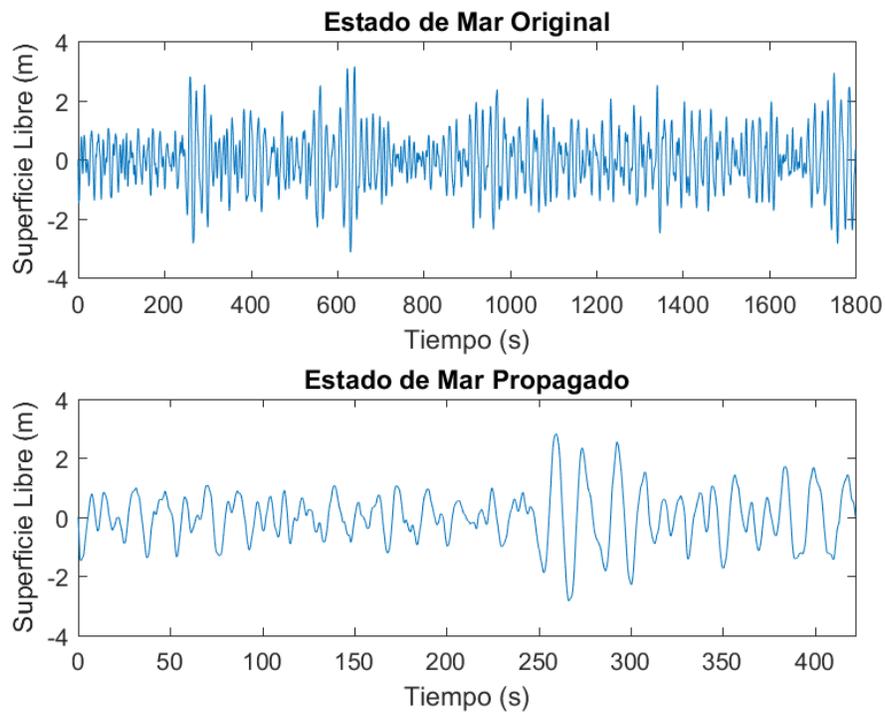


Figura 40. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A13.

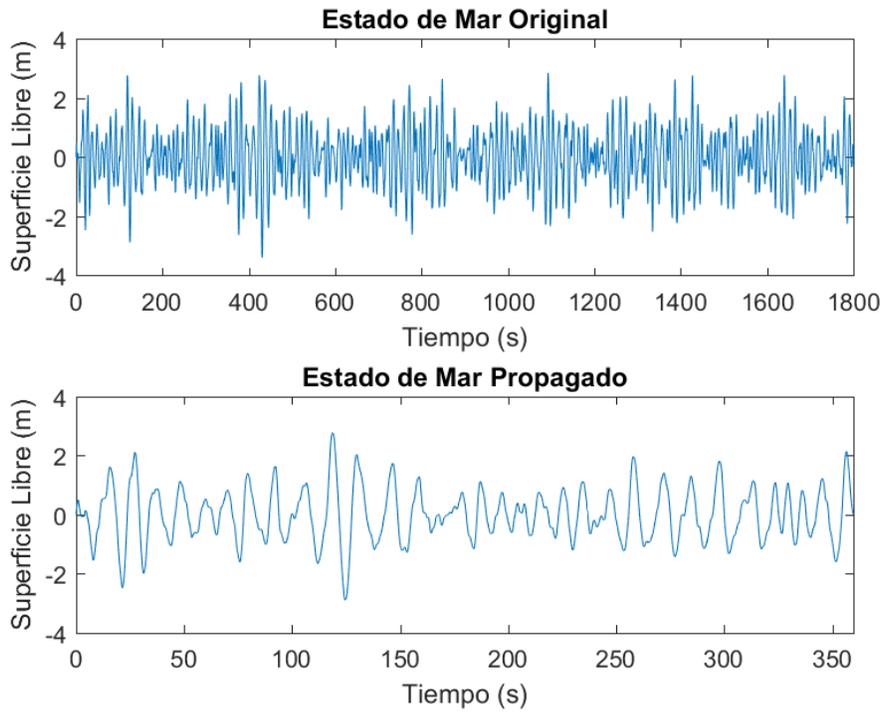


Figura 41. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A14.

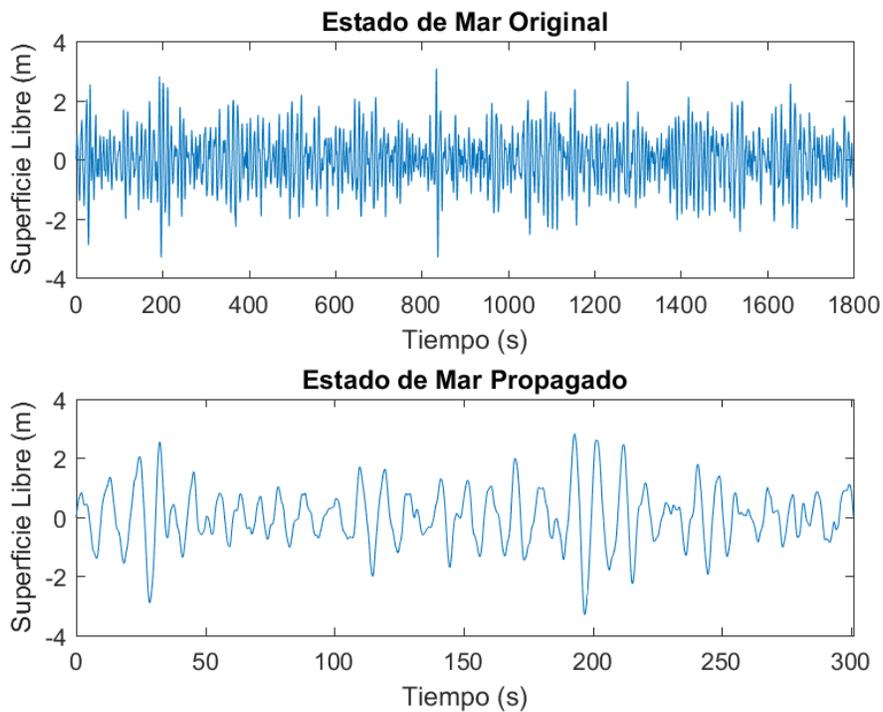


Figura 42. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A15.

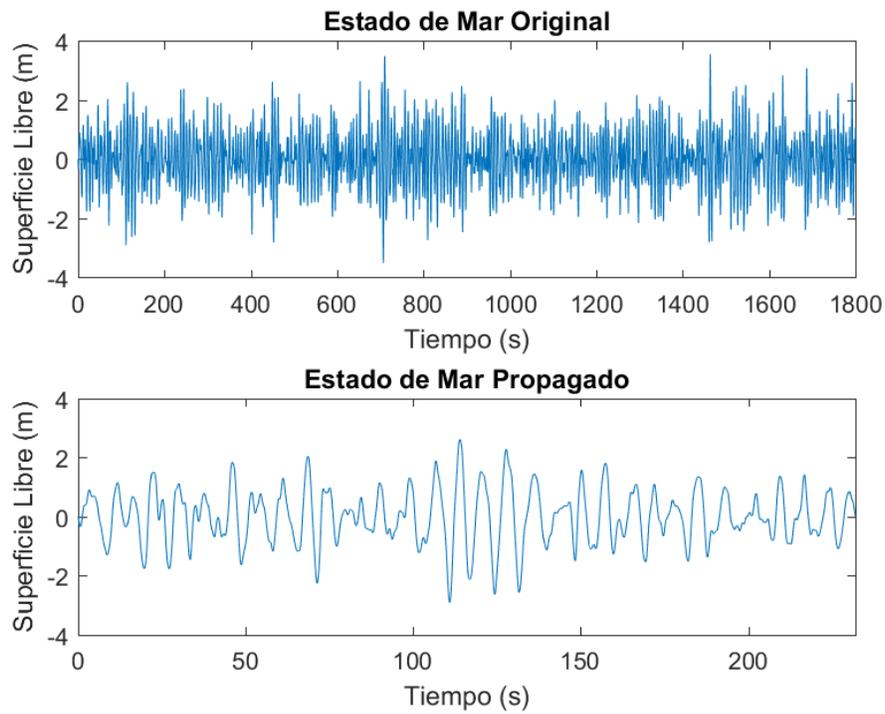


Figura 43. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A16.

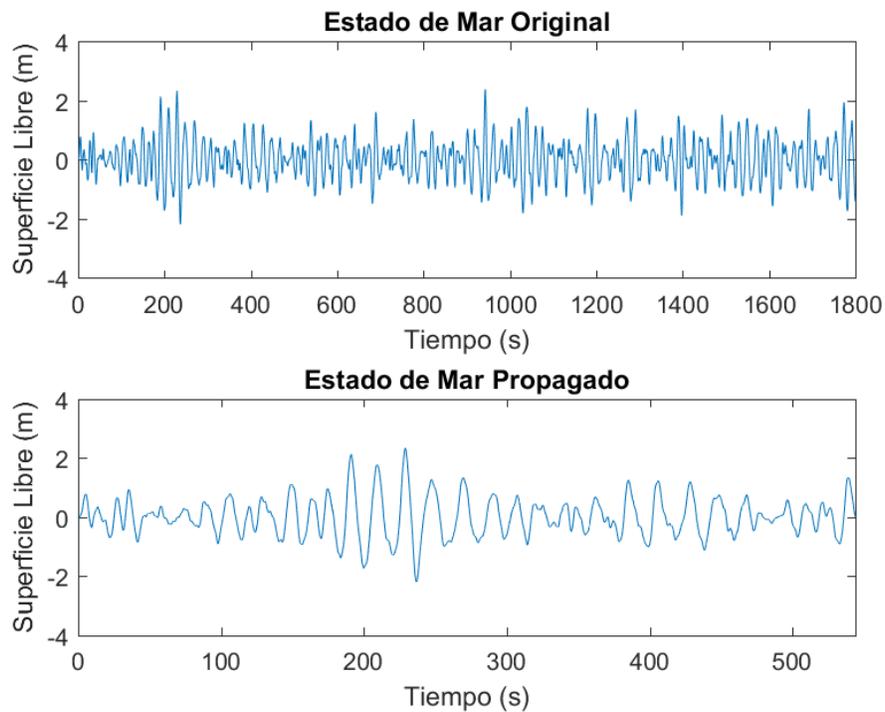


Figura 44. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A17.

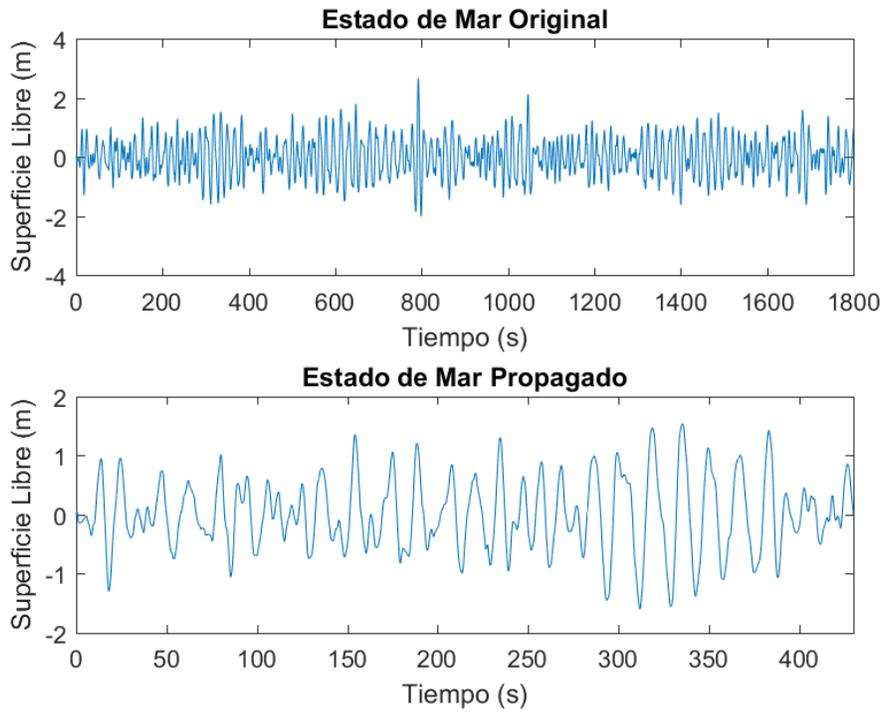


Figura 45. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A18.

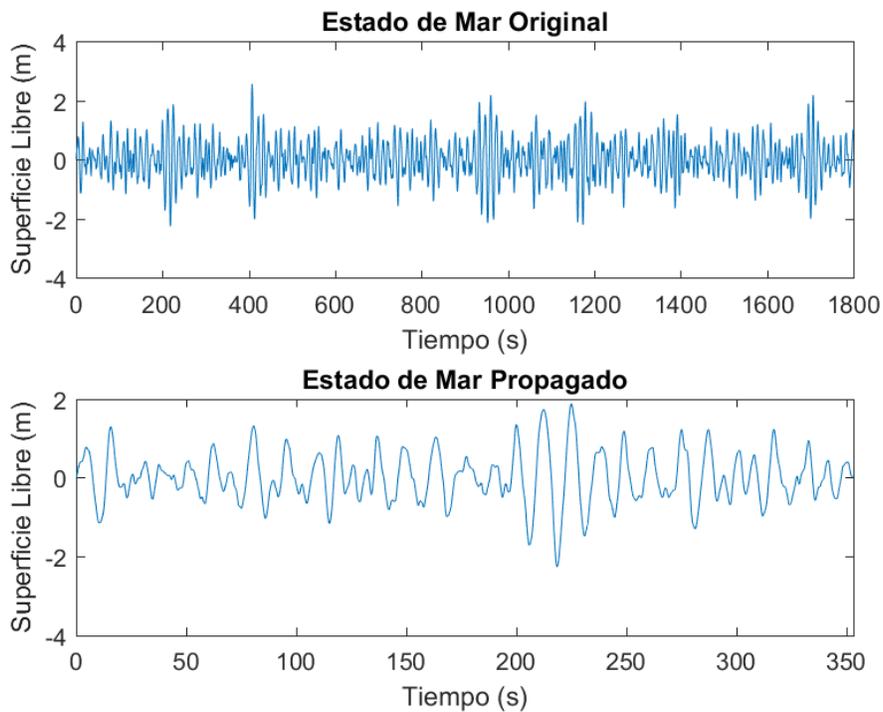


Figura 46. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A19.

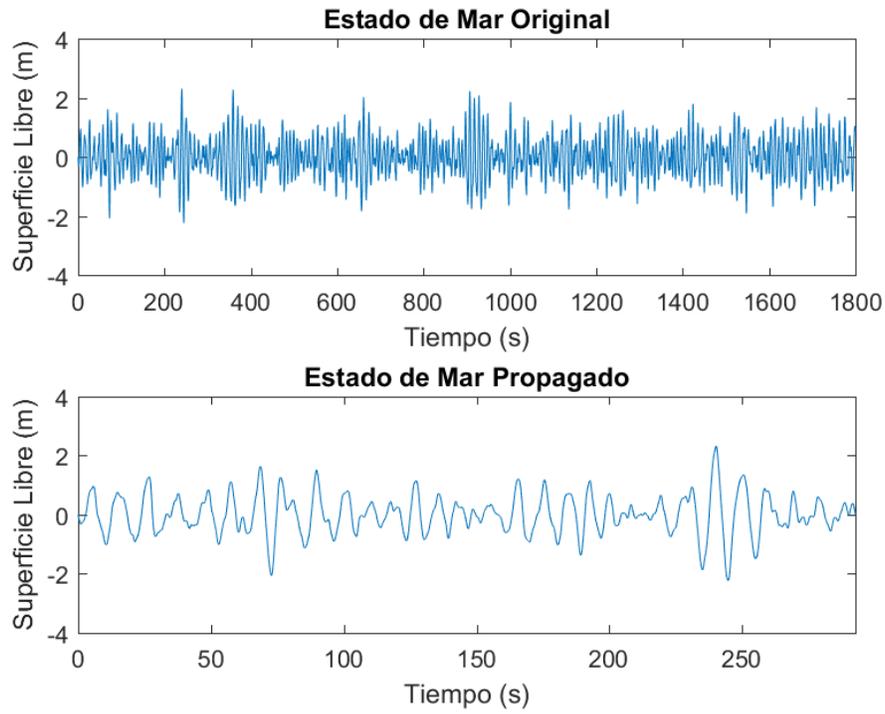


Figura 47. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A20.

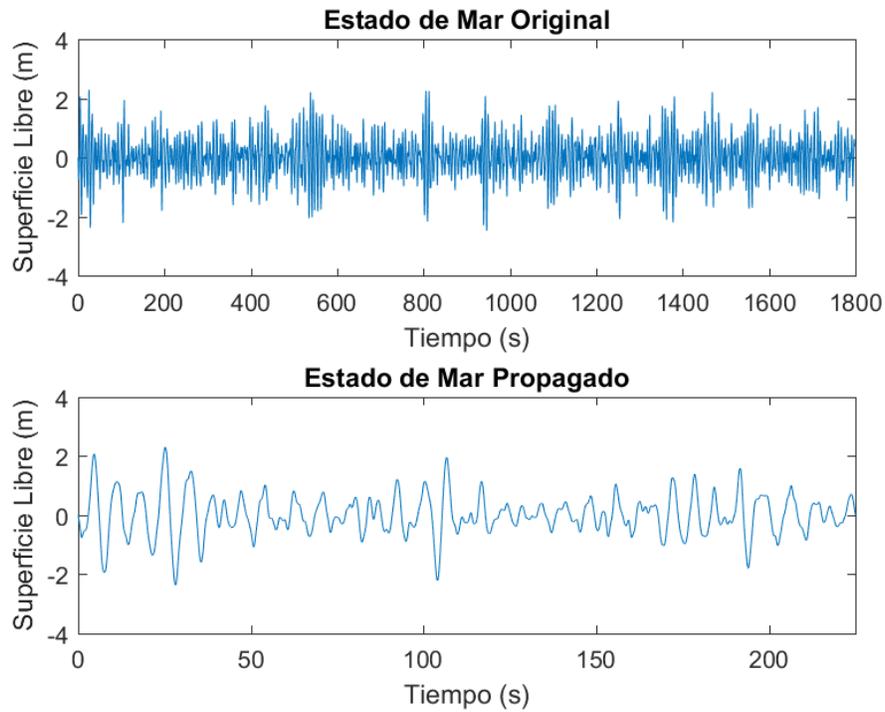


Figura 48. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A21.

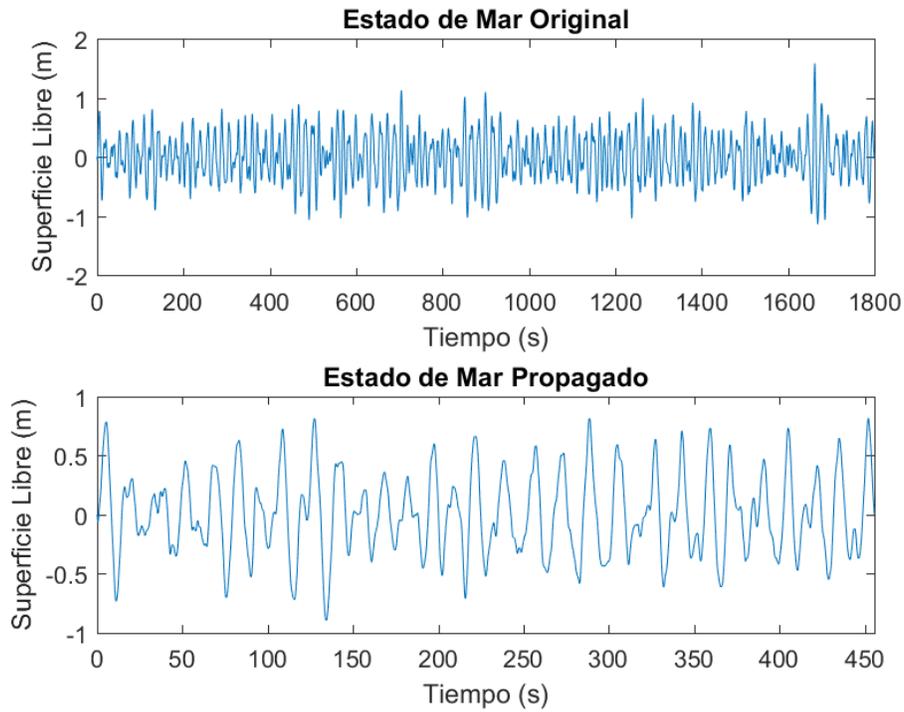


Figura 49. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A22.

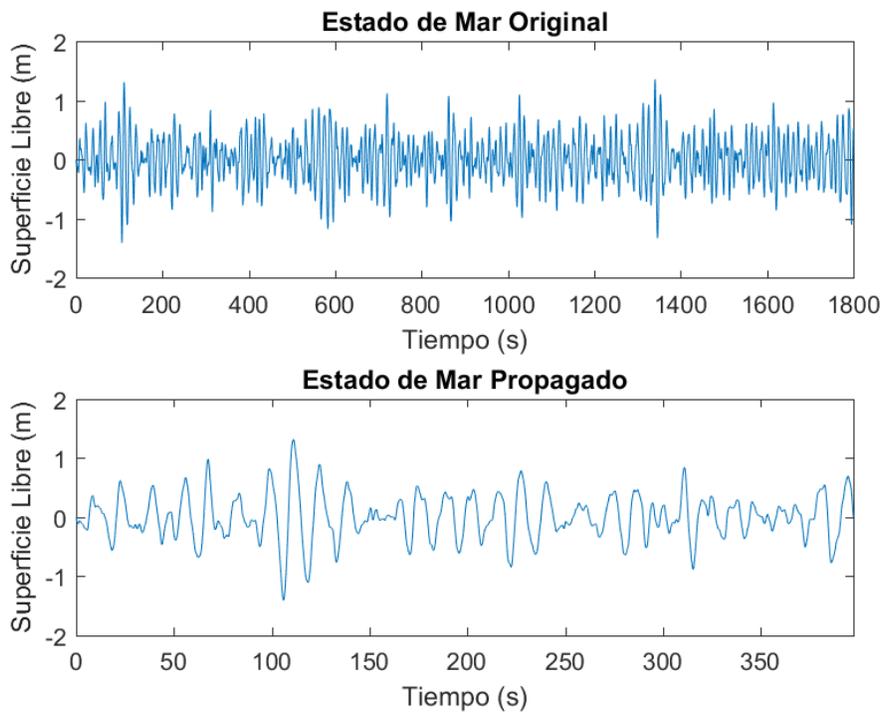


Figura 50. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A23.

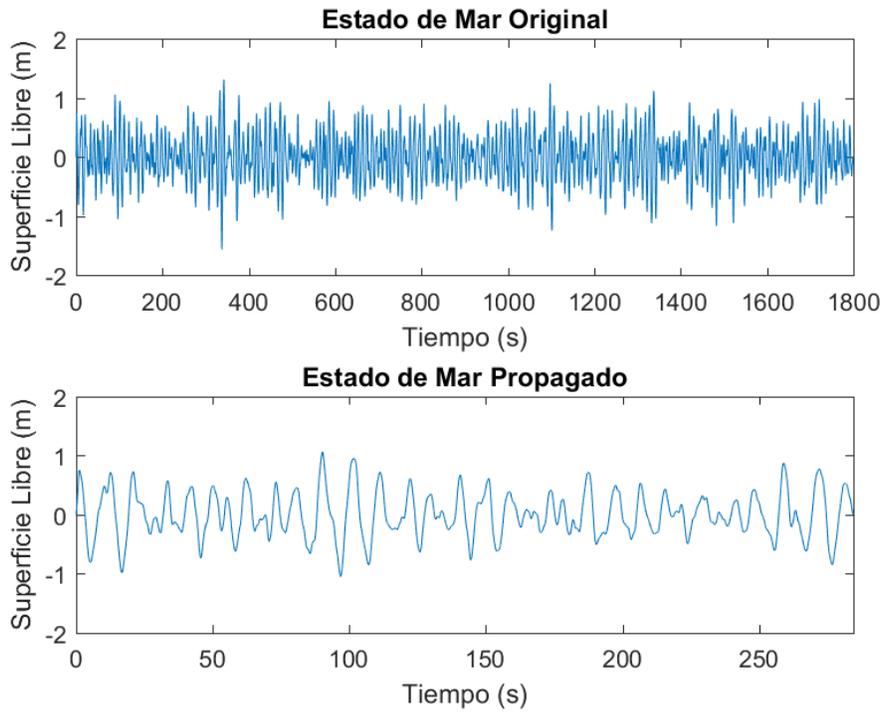


Figura 51. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A24.

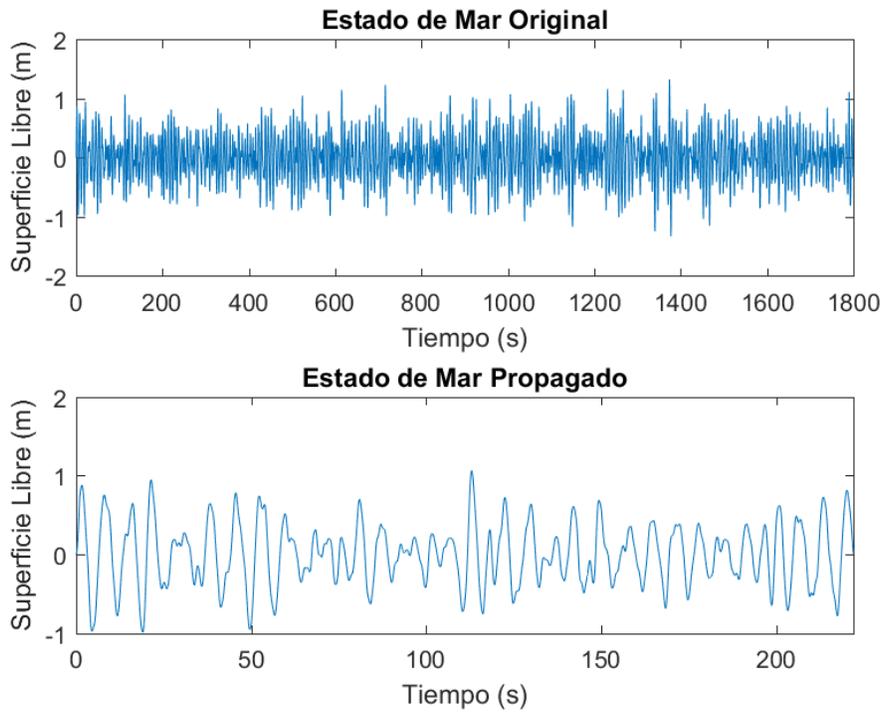


Figura 52. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A25.

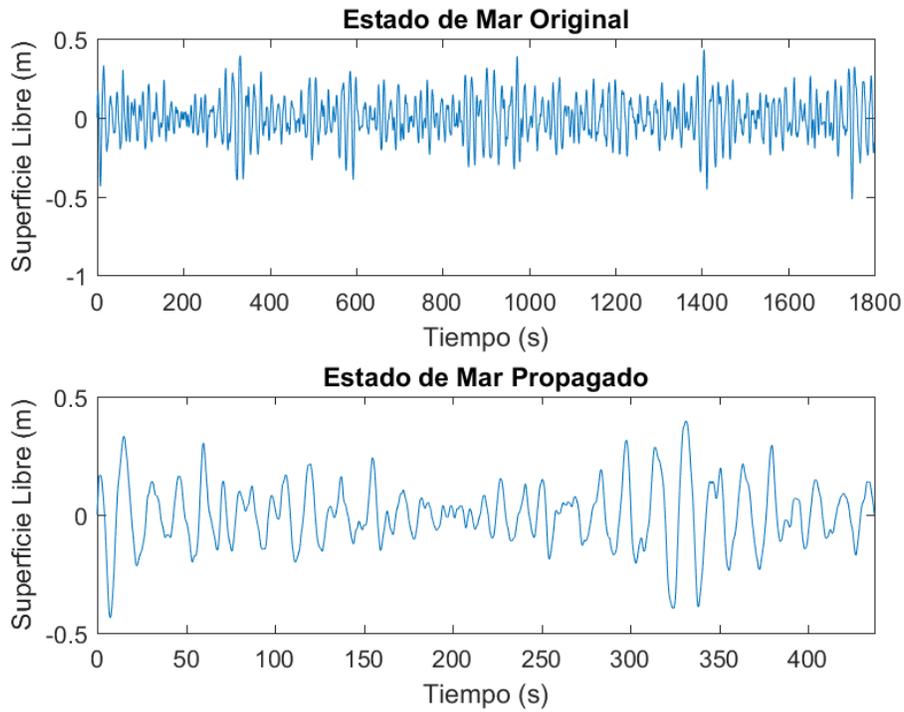


Figura 53. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A26.

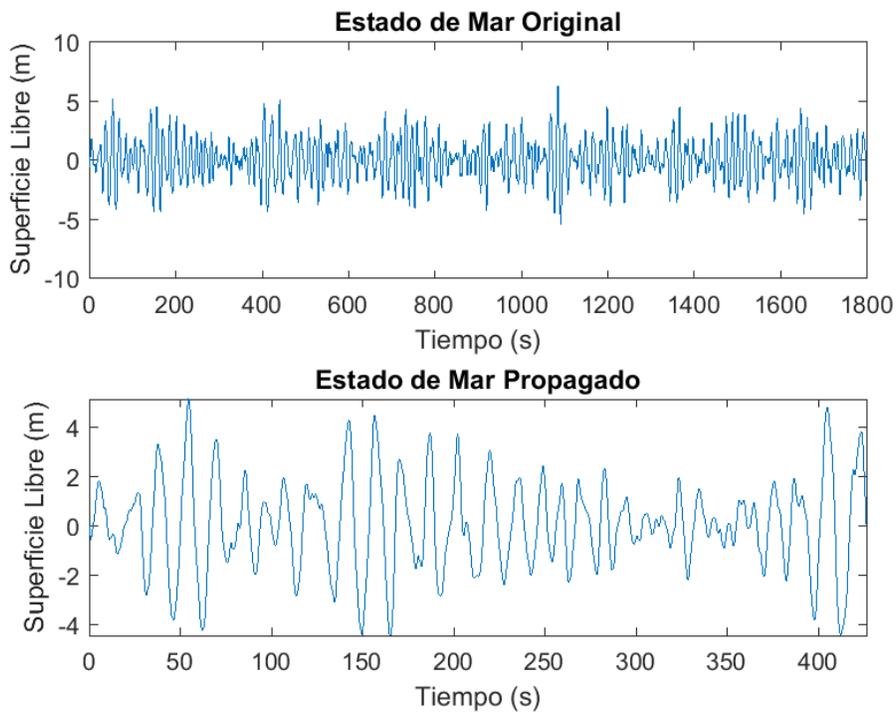


Figura 54. Serie de oleaje generada originalmente y recortada para contener 36 olas del caso A27.

4. Resultados de los Caudales de Rebase

Una vez simulados los casos, se obtienen los caudales de rebase. El modelo IH-2VOF devuelve 4 variables: volumen de caudal acumulado (en metros cúbicos por metro a lo largo del tiempo de simulación), descarga instantánea de rebase (en metros cúbicos por metro), el grosor de la lámina de agua que rebase (en metros) y la velocidad media del rebase (en metros por segundo). Estas variables están representadas en las figuras siguientes.

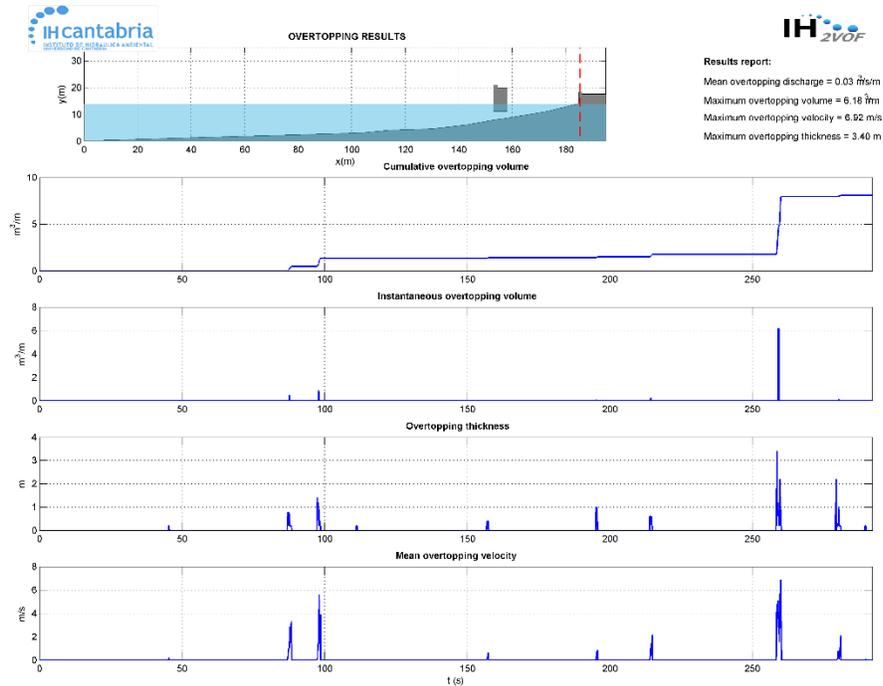


Figura 55. Caudales de rebase en el caso A11

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

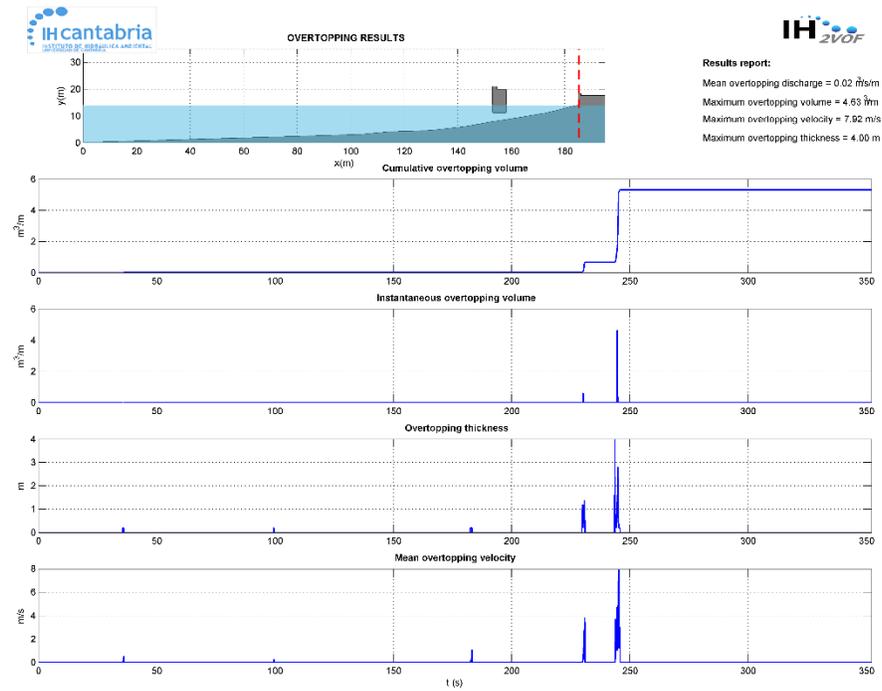


Figura 56. Caudales de rebase en el caso A12

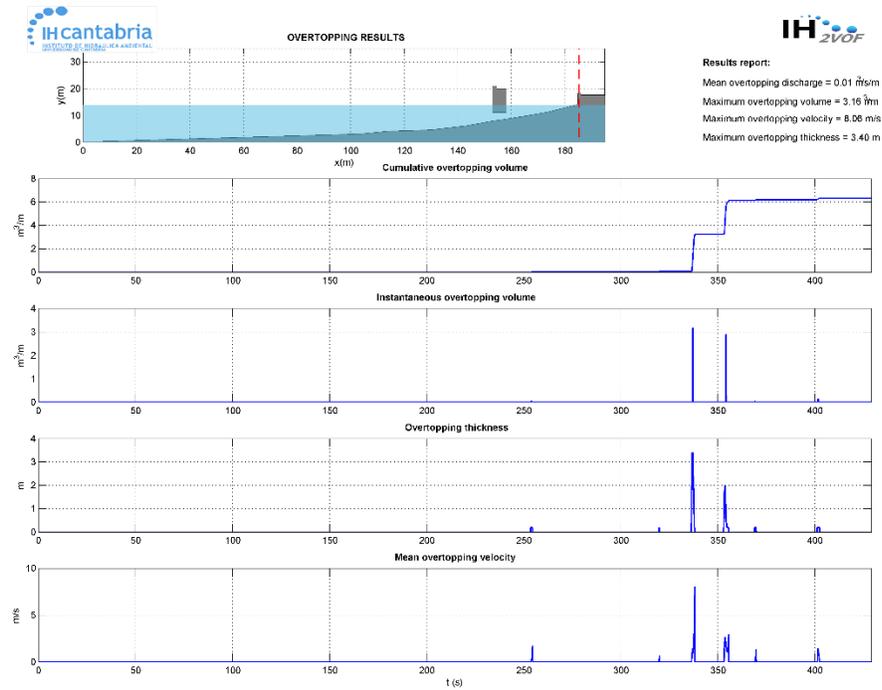


Figura 57. Caudales de rebase en el caso A13

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

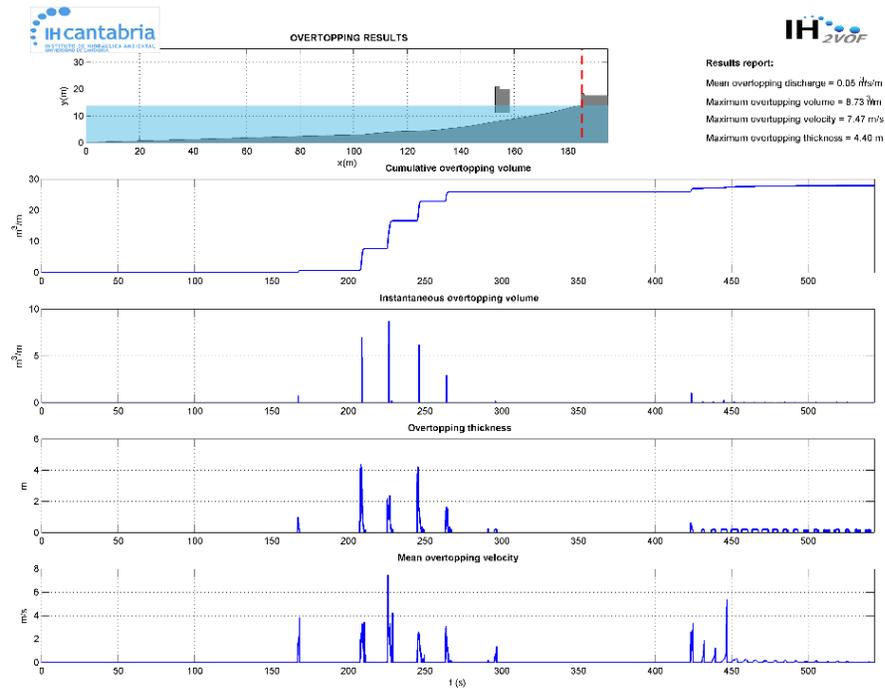


Figura 58. Caudales de rebase en el caso A14

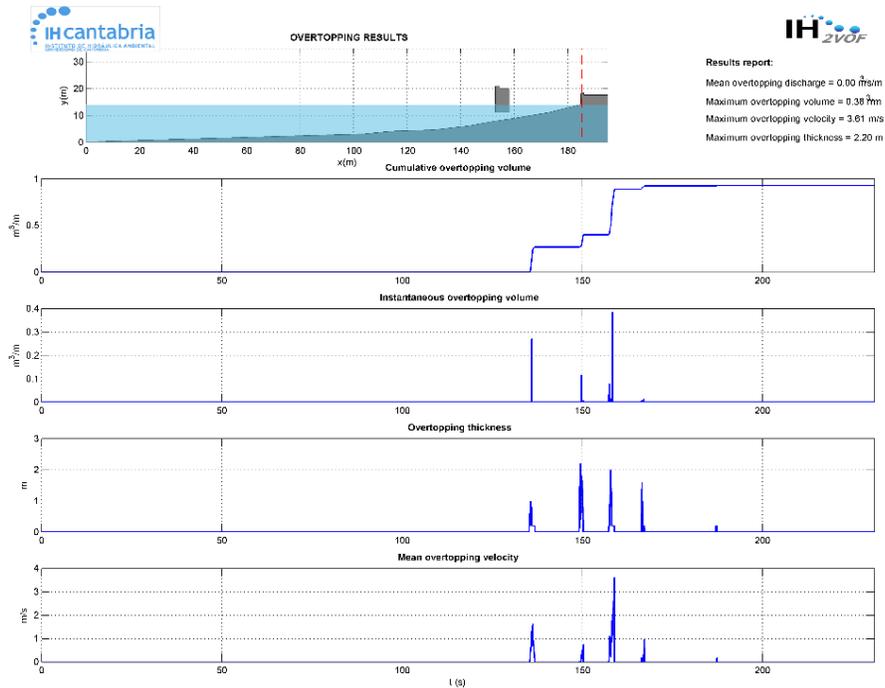


Figura 59. Caudales de rebase en el caso A15

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

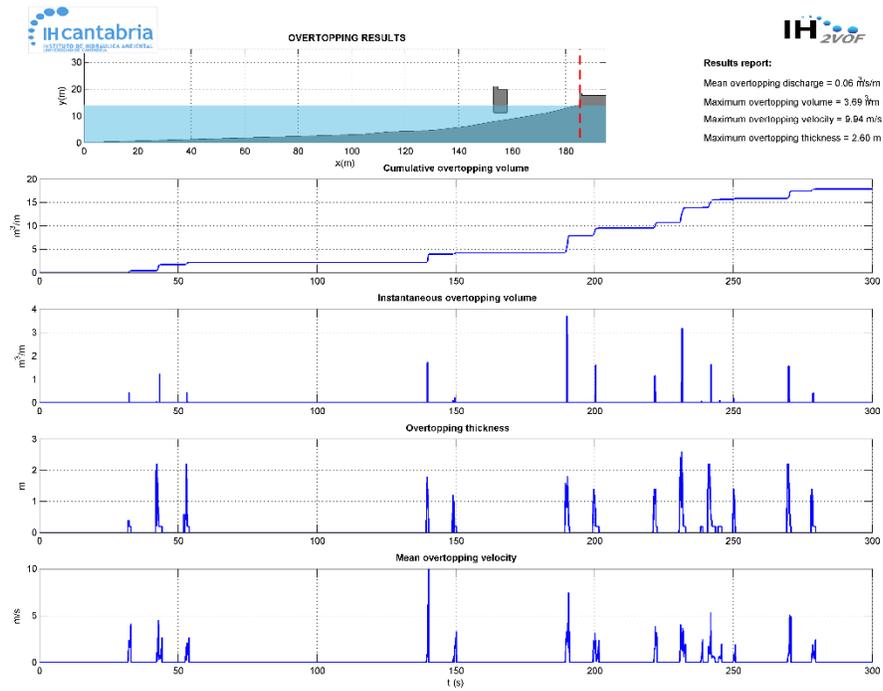


Figura 60. Caudales de rebase en el caso A16

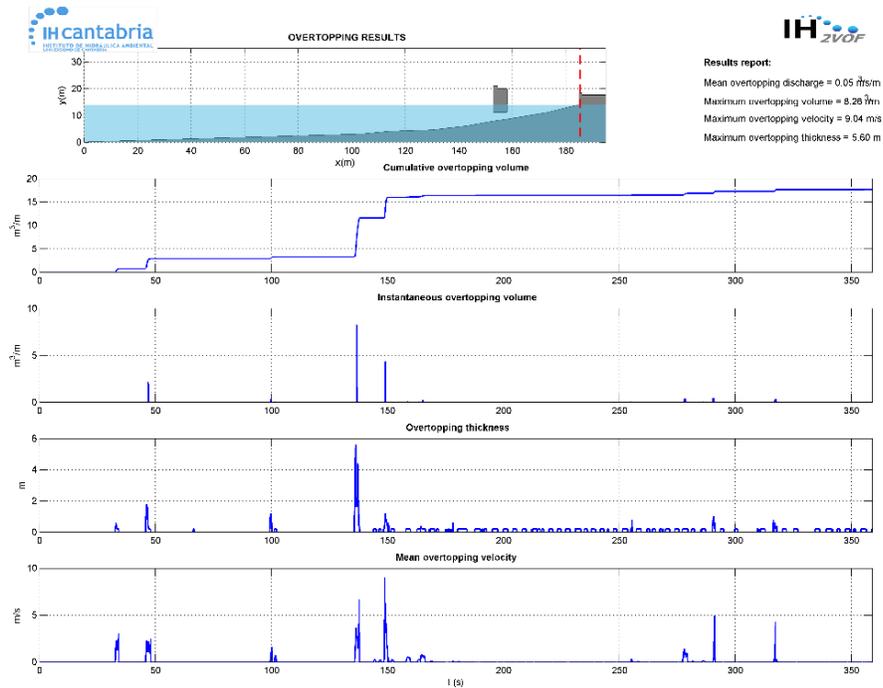


Figura 61. Caudales de rebase en el caso A17

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

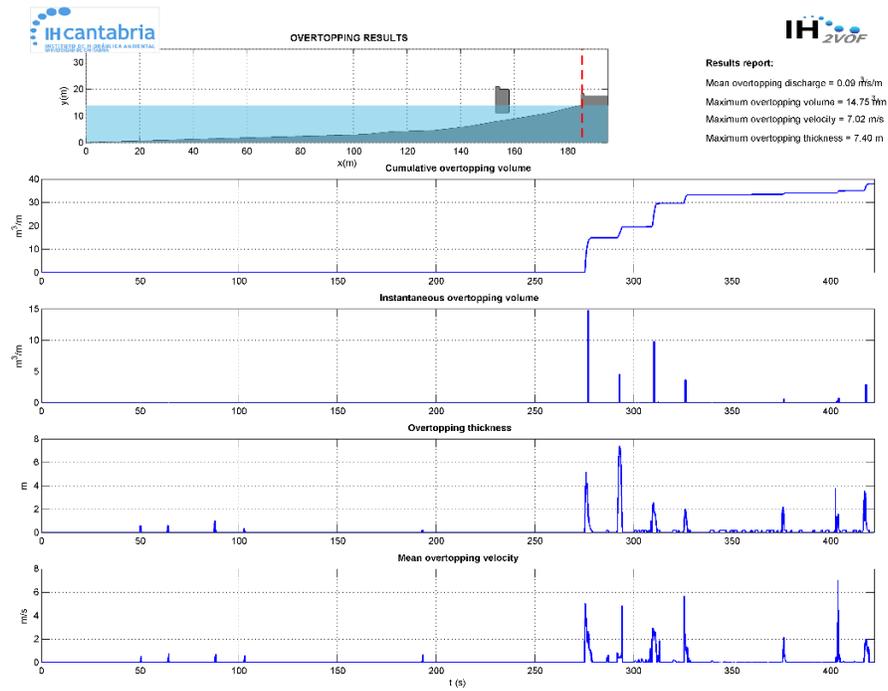


Figura 62. Caudales de rebase en el caso A18

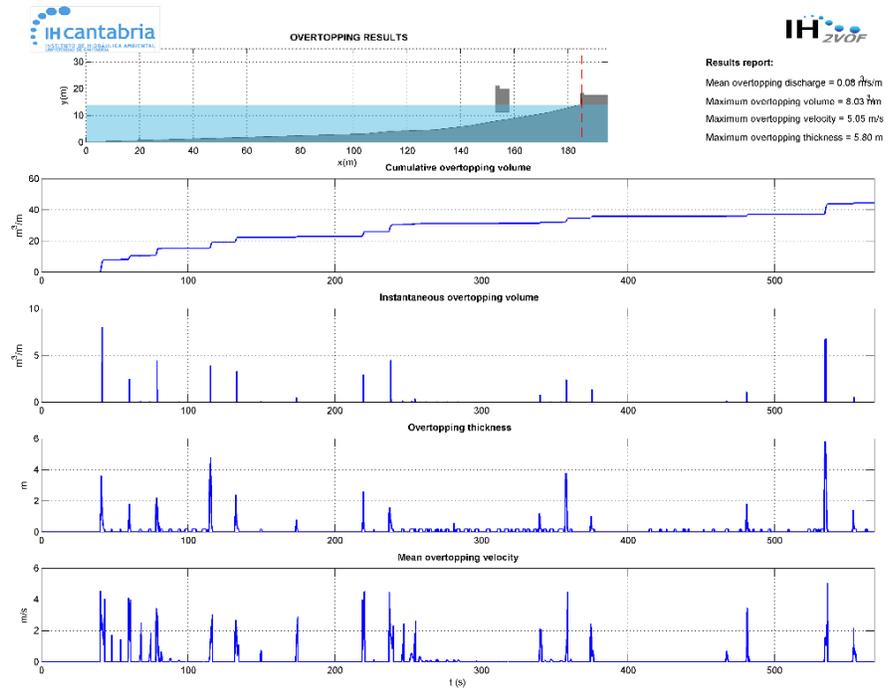


Figura 63. Caudales de rebase en el caso A19

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

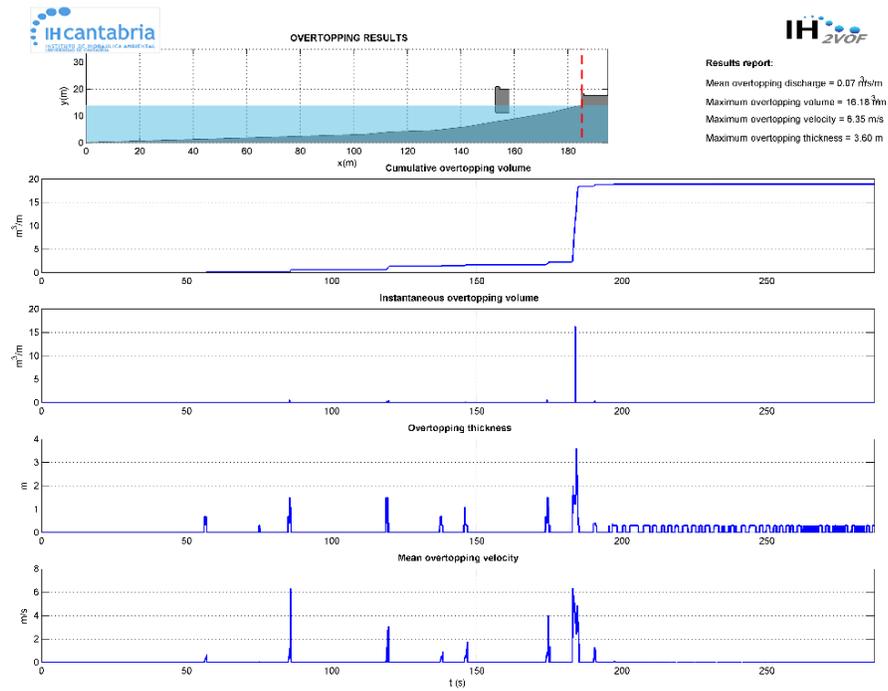


Figura 64. Caudales de rebase en el caso A20

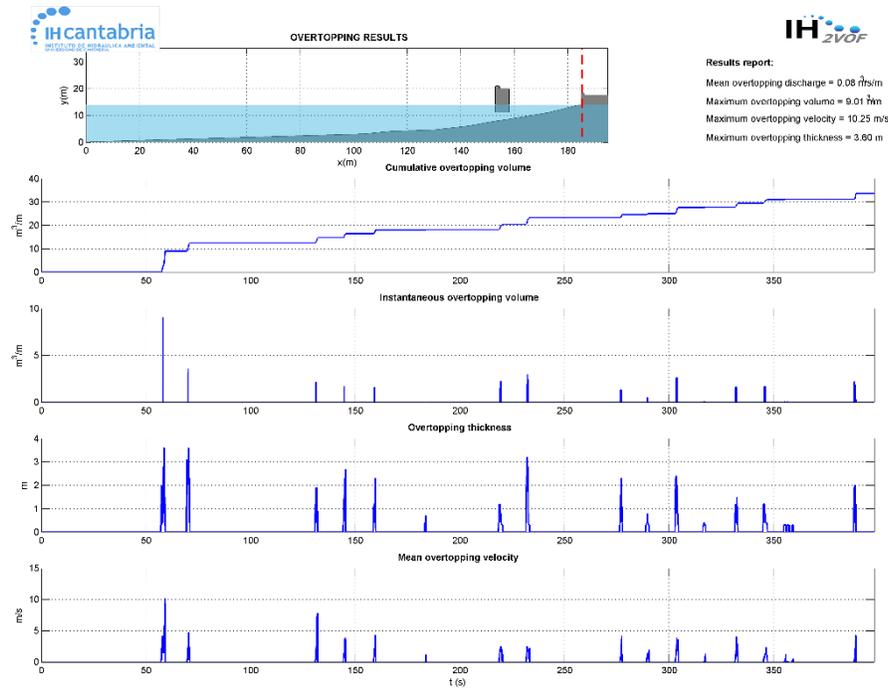


Figura 65. Caudales de rebase en el caso A21

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

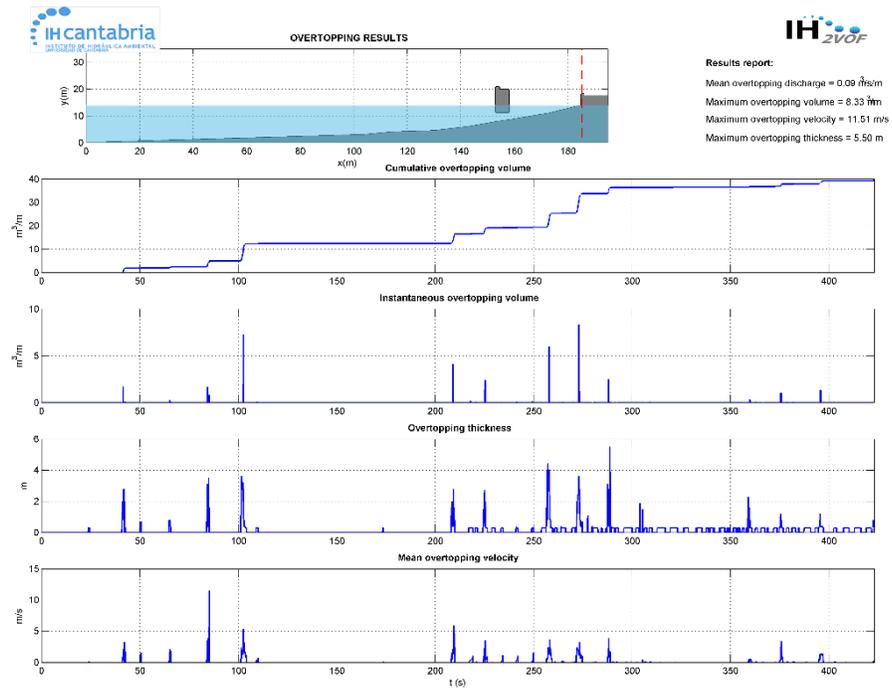


Figura 66. Caudales de rebase en el caso A22

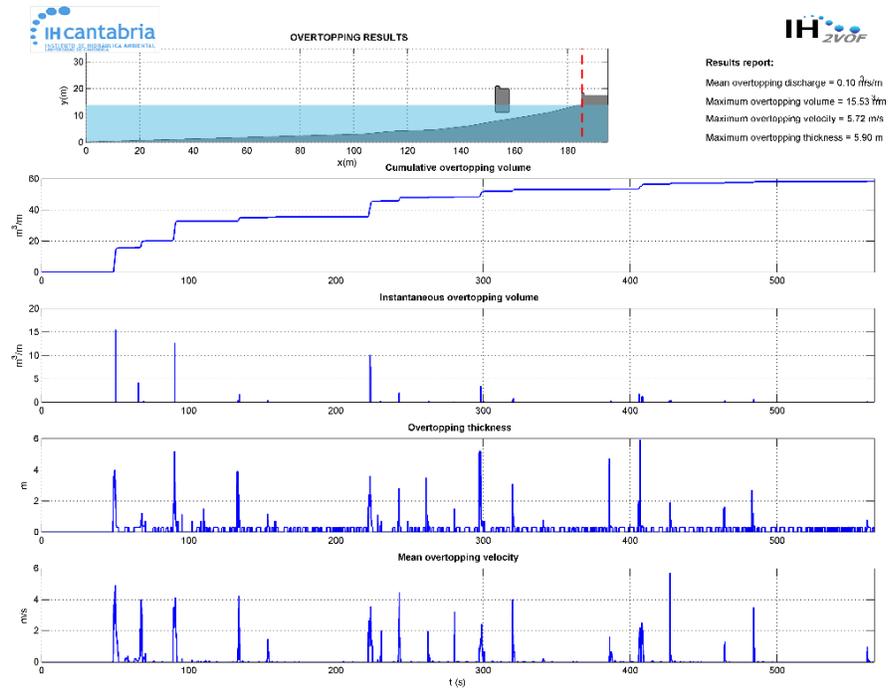


Figura 67. Caudales de rebase en el caso A23

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

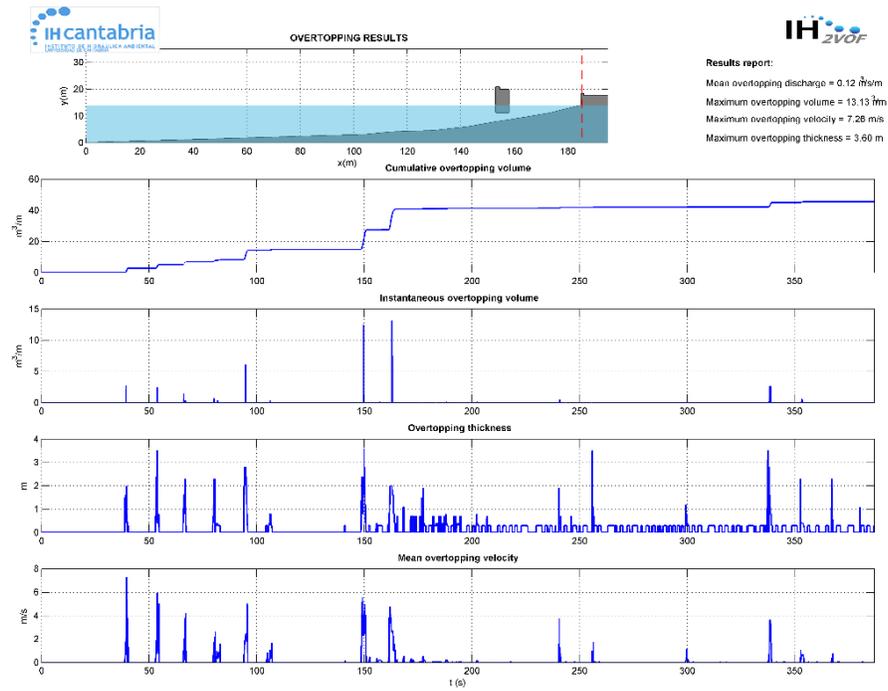


Figura 68. Caudales de rebase en el caso A24

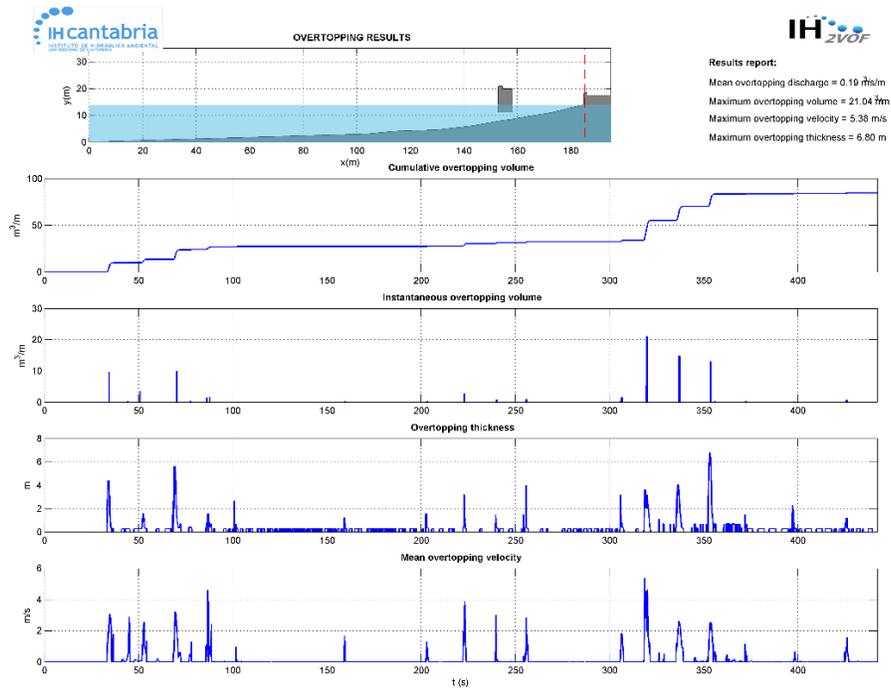


Figura 69. Caudales de rebase en el caso A25

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

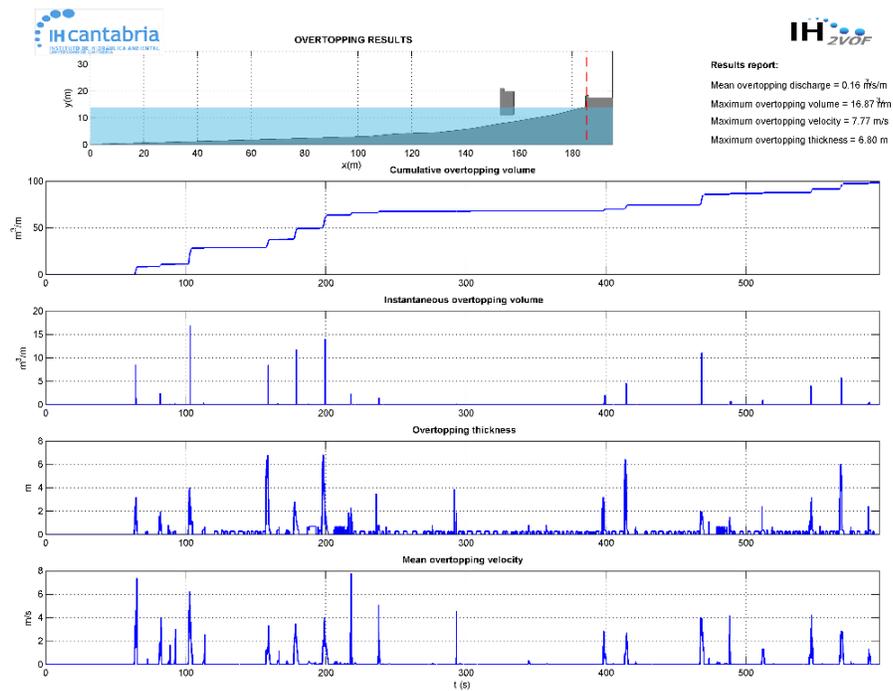


Figura 70. Caudales de rebase en el caso A26

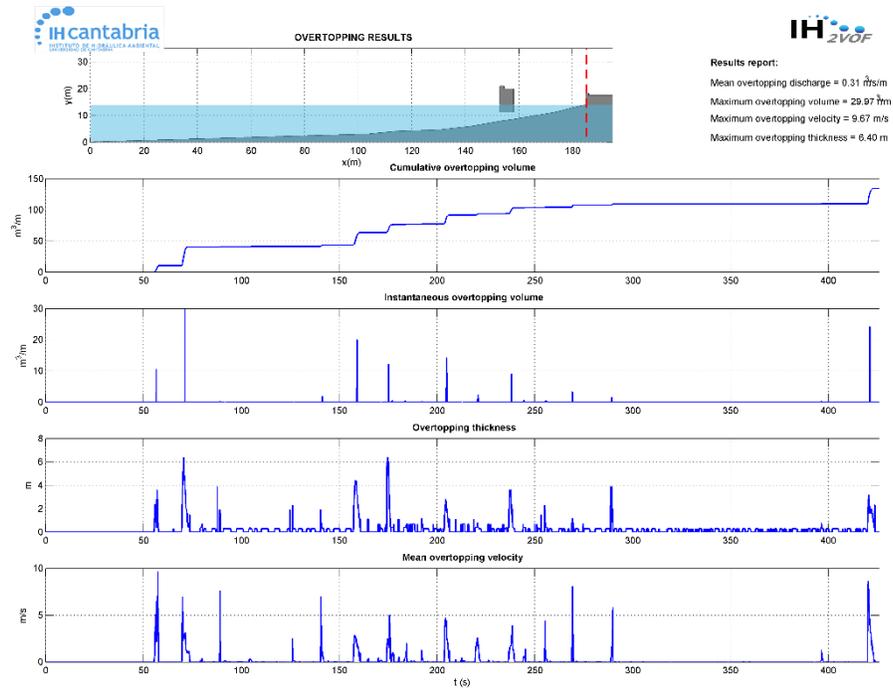


Figura 71. Caudales de rebase en el caso A27

Anejo 3

1. Resultados de los Caudales de Rebase

Una vez simulados los casos, se obtienen los caudales de rebase. El modelo IH-2VOF devuelve 4 variables: volumen de caudal acumulado (en metros cúbicos por metro a lo largo del tiempo de simulación), descarga instantánea de rebase (en metros cúbicos por metro), el grosor de la lámina de agua que rebase (en metros) y la velocidad media del rebase (en metros por segundo). Estas variables están representadas en las figuras siguientes para las diferentes alturas de pantalla analizadas.

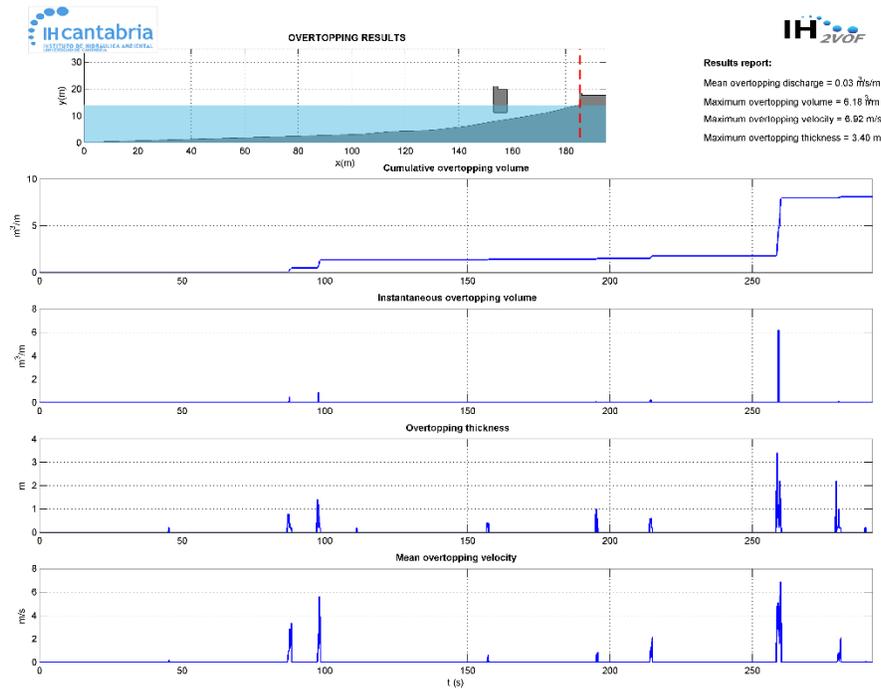


Figura 1. Caudales de rebase en el caso A11 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

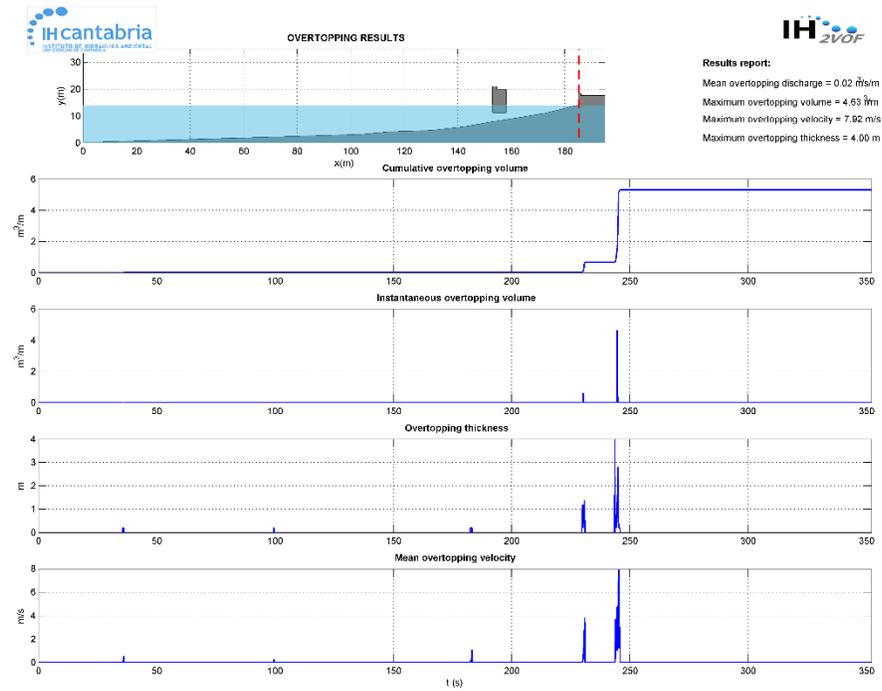


Figura 2. Caudales de rebase en el caso A12 con una pantalla de 2 metros.

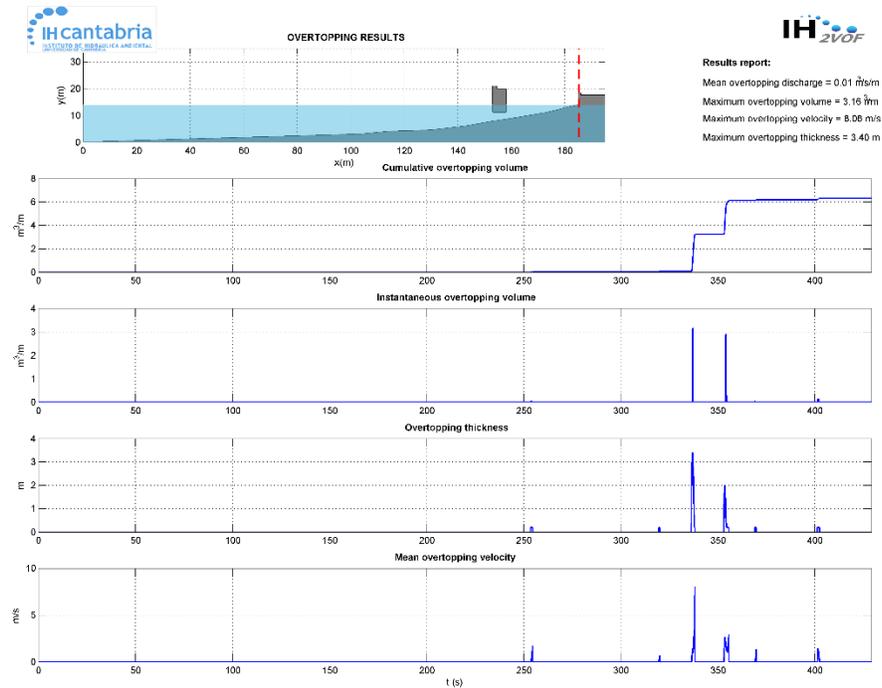


Figura 3. Caudales de rebase en el caso A13 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

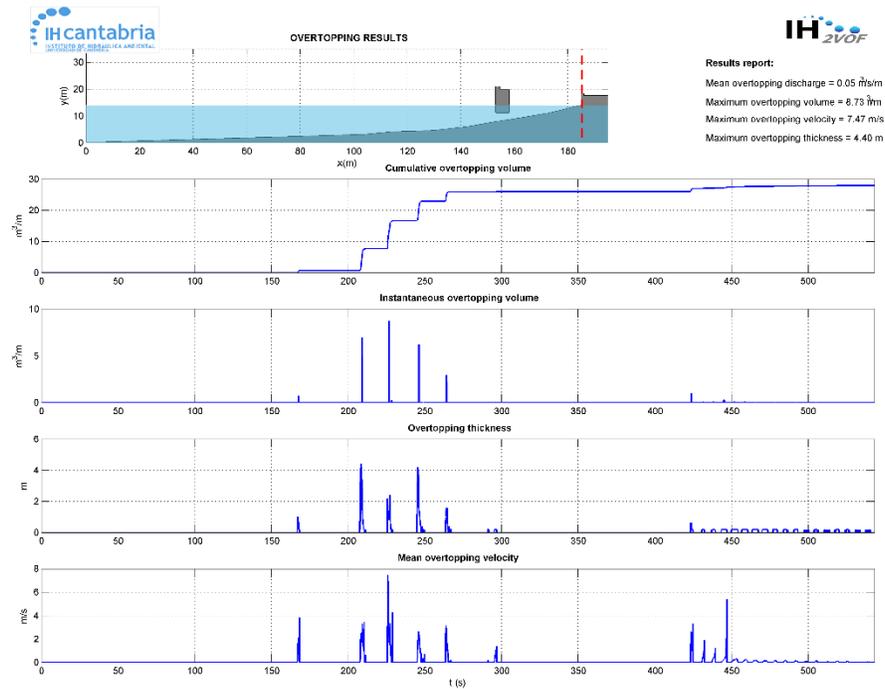


Figura 4. Caudales de rebase en el caso A14 con una pantalla de 2 metros.

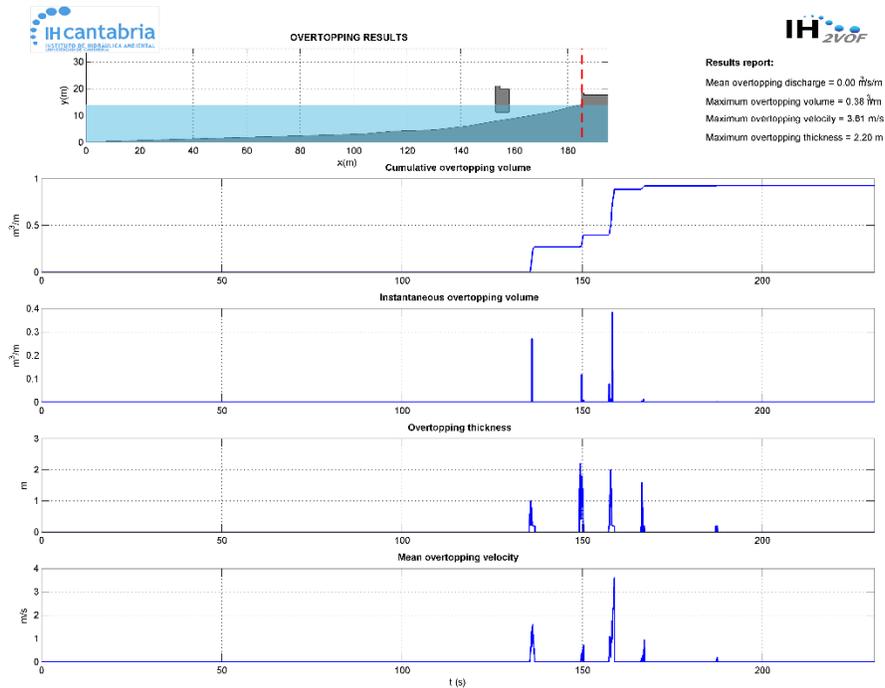


Figura 5. Caudales de rebase en el caso A15 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

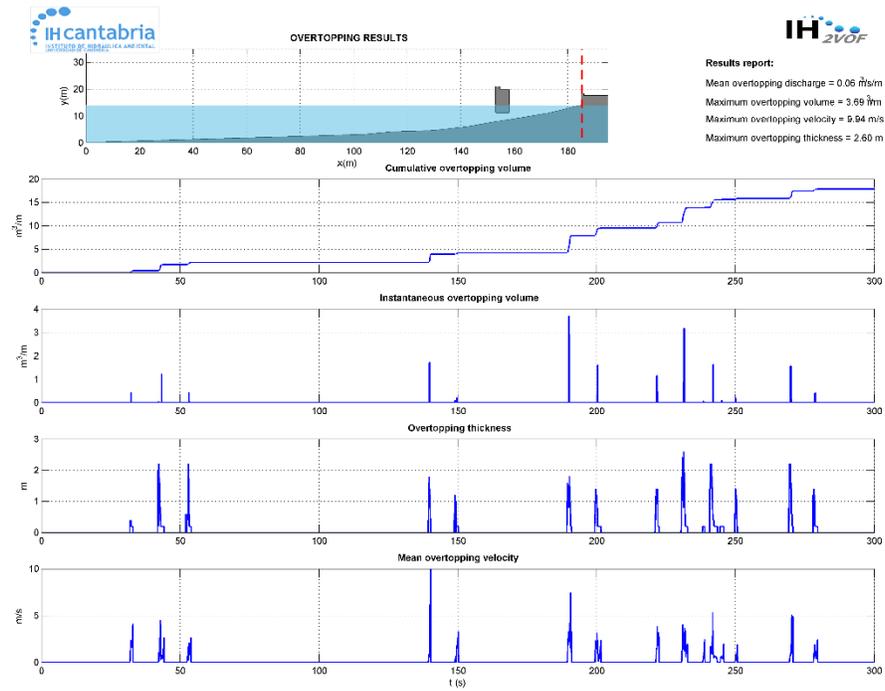


Figura 6. Caudales de rebase en el caso A16 con una pantalla de 2 metros.

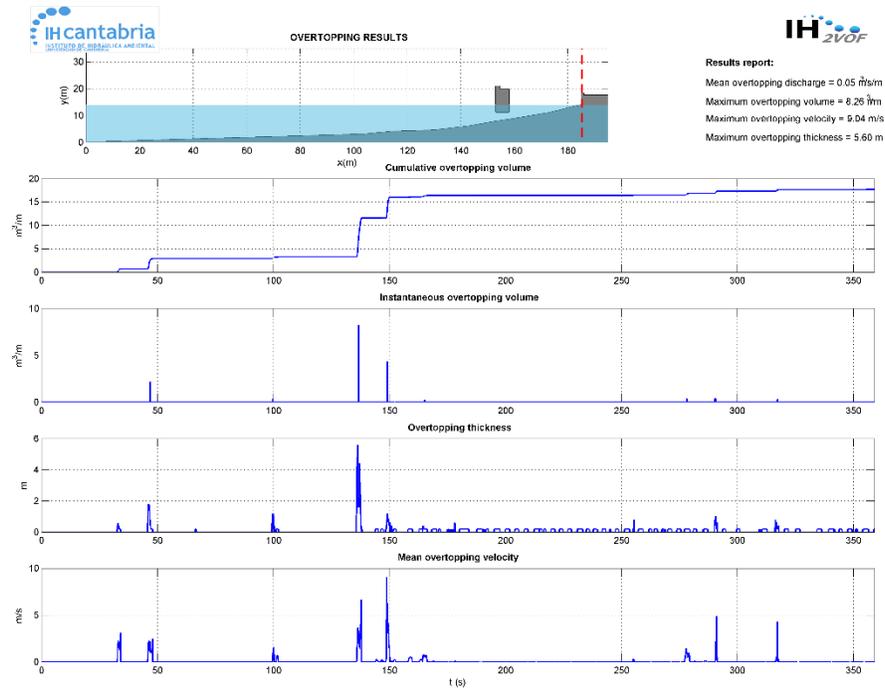


Figura 7. Caudales de rebase en el caso A17 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

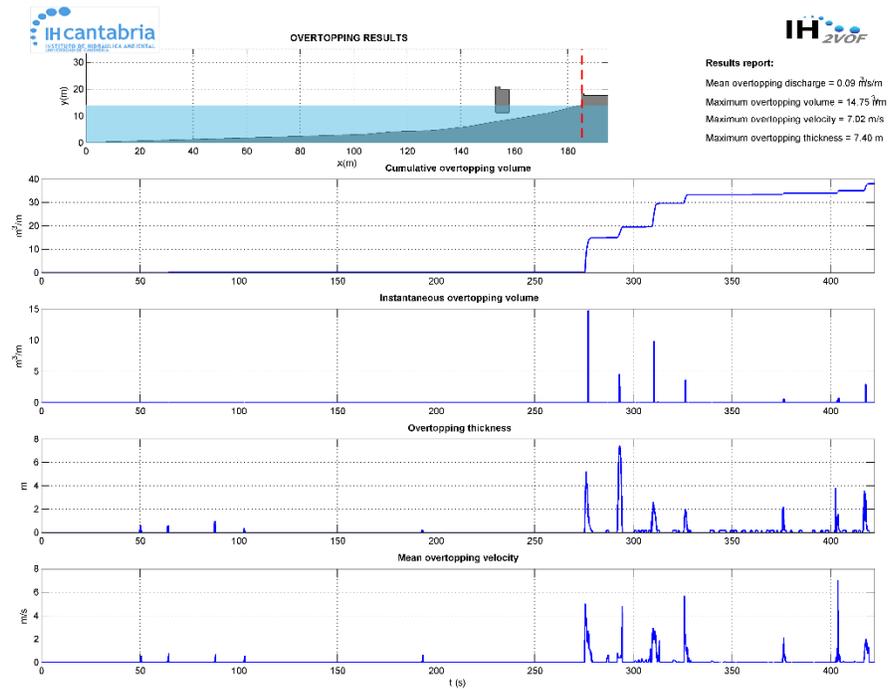


Figura 8. Caudales de rebase en el caso A18 con una pantalla de 2 metros.

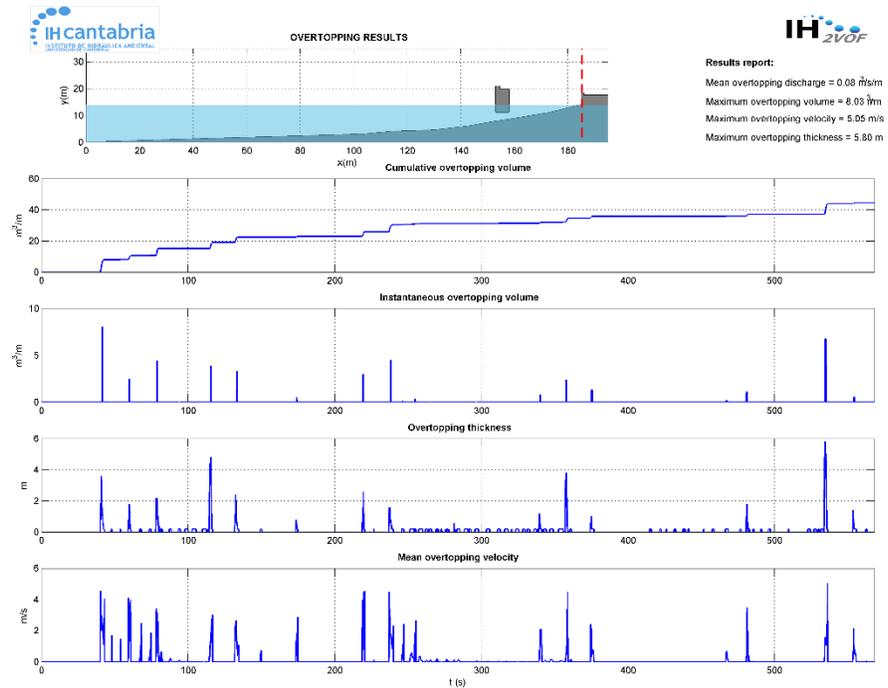


Figura 9. Caudales de rebase en el caso A19 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

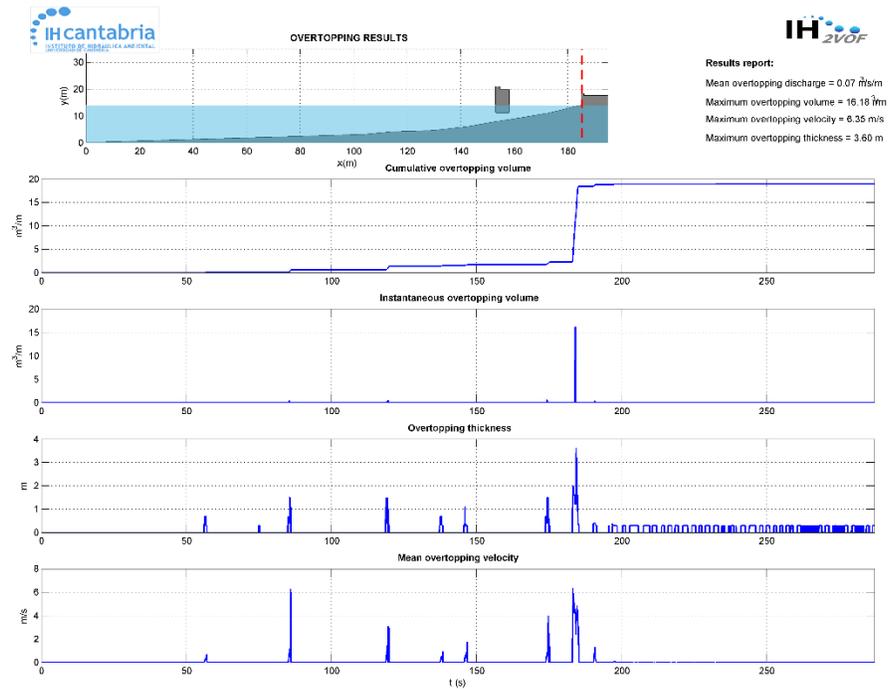


Figura 10. Caudales de rebase en el caso A20 con una pantalla de 2 metros.

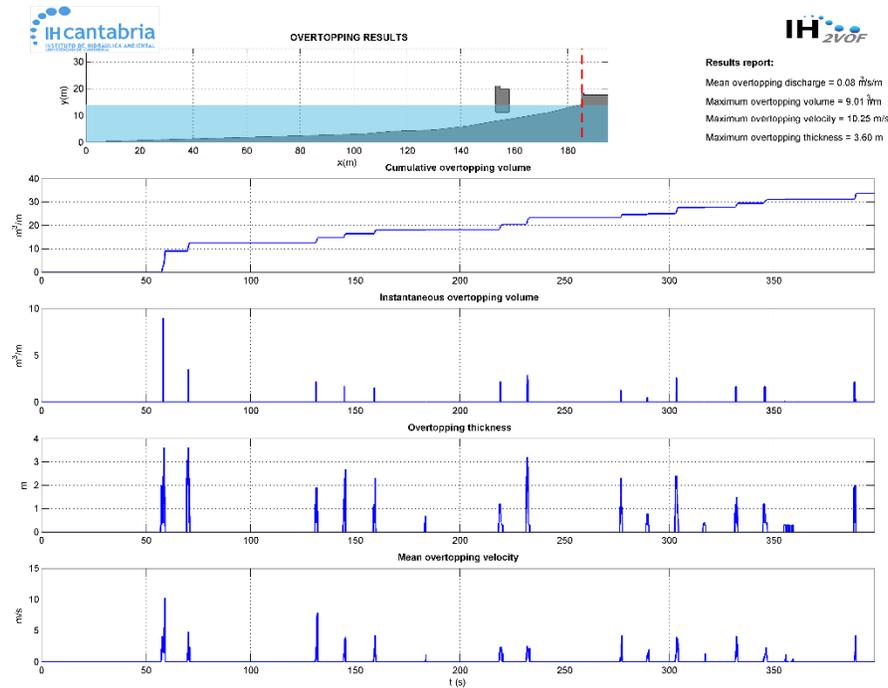


Figura 11. Caudales de rebase en el caso A21 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

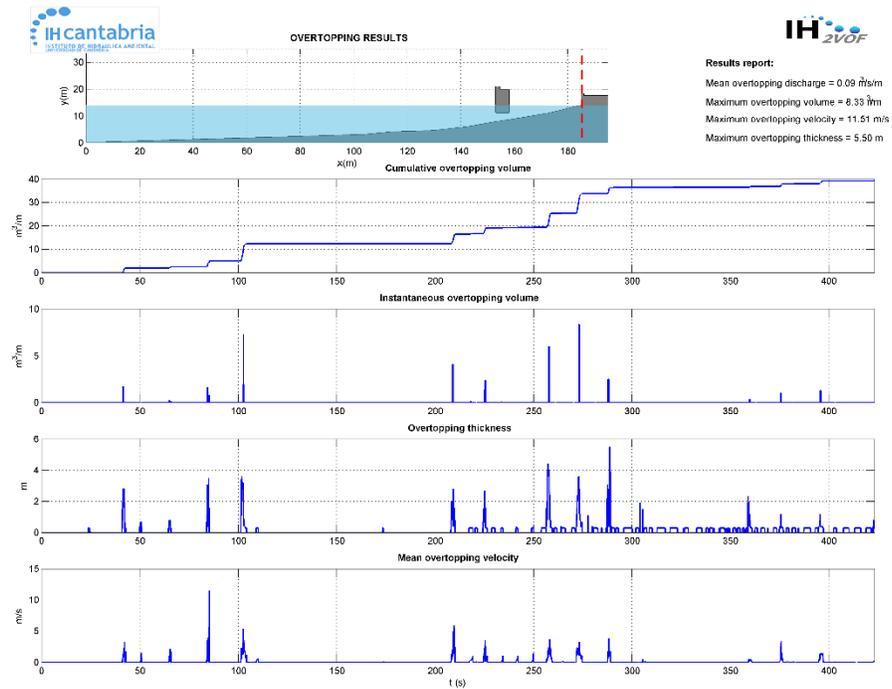


Figura 12. Caudales de rebase en el caso A22 con una pantalla de 2 metros.

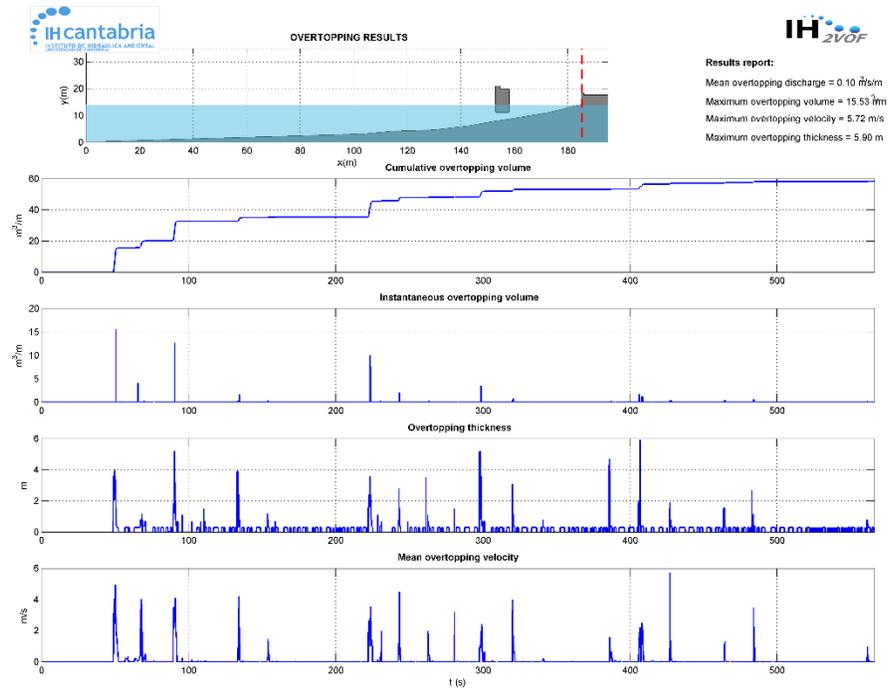


Figura 13. Caudales de rebase en el caso A23 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

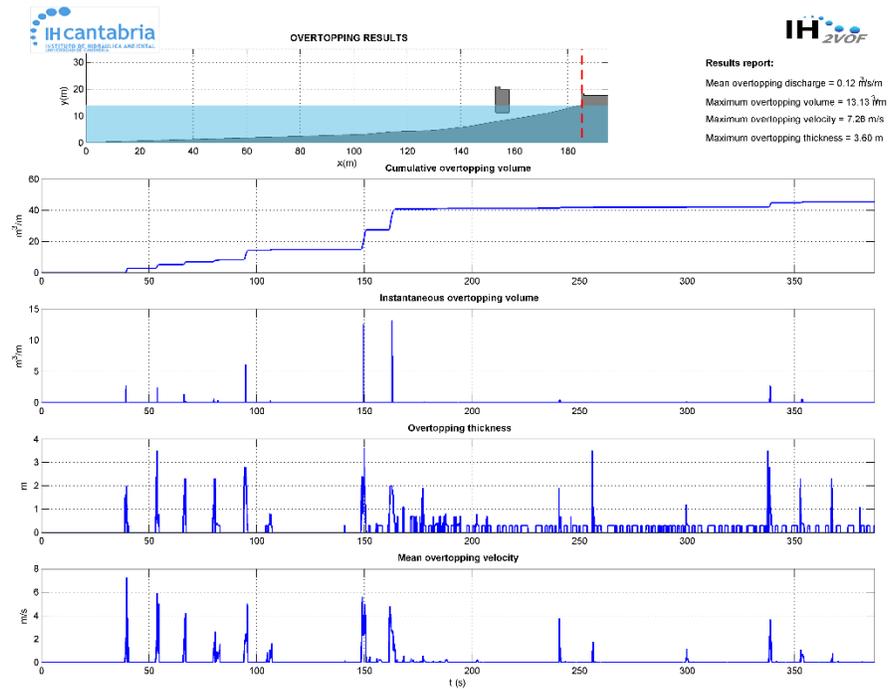


Figura 14. Caudales de rebase en el caso A24 con una pantalla de 2 metros.

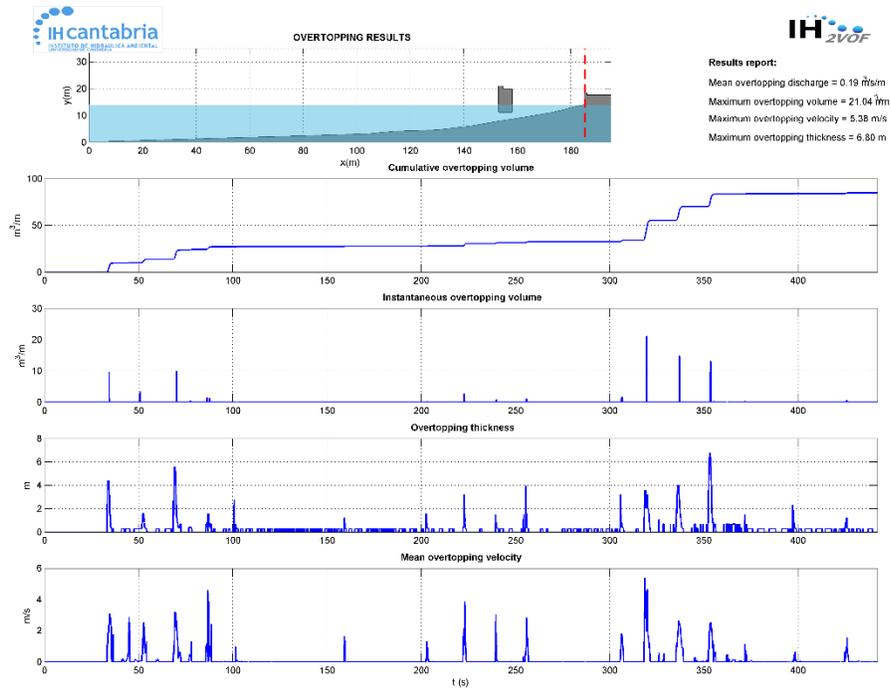


Figura 15. Caudales de rebase en el caso A25 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

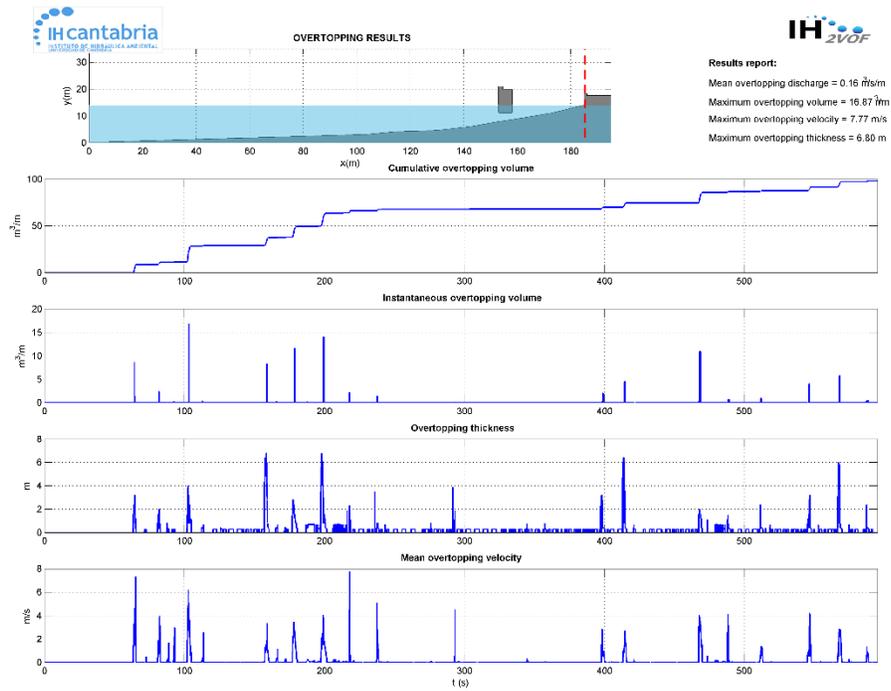


Figura 16. Caudales de rebase en el caso A26 con una pantalla de 2 metros.

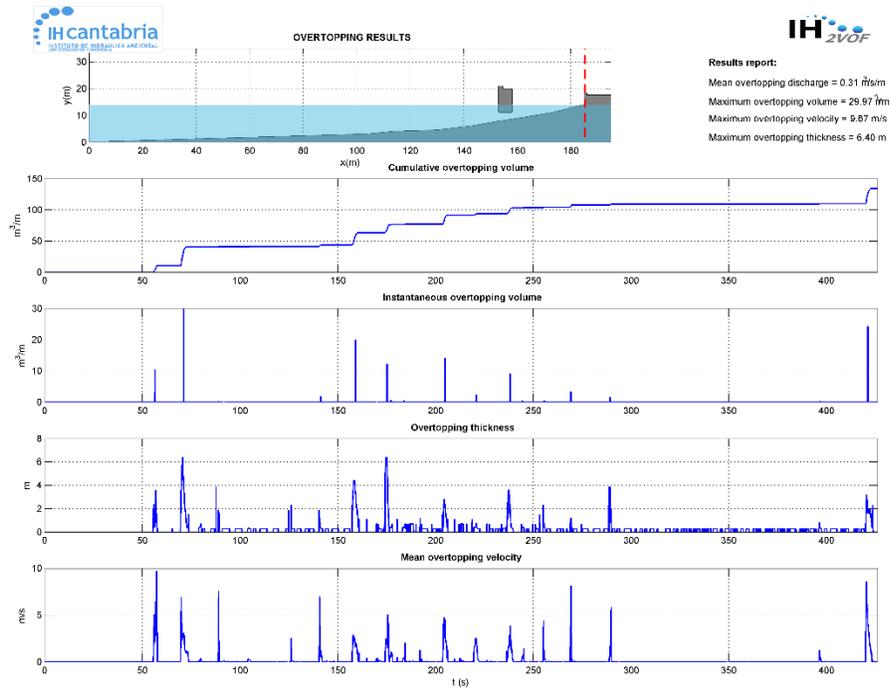


Figura 17. Caudales de rebase en el caso A27 con una pantalla de 2 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

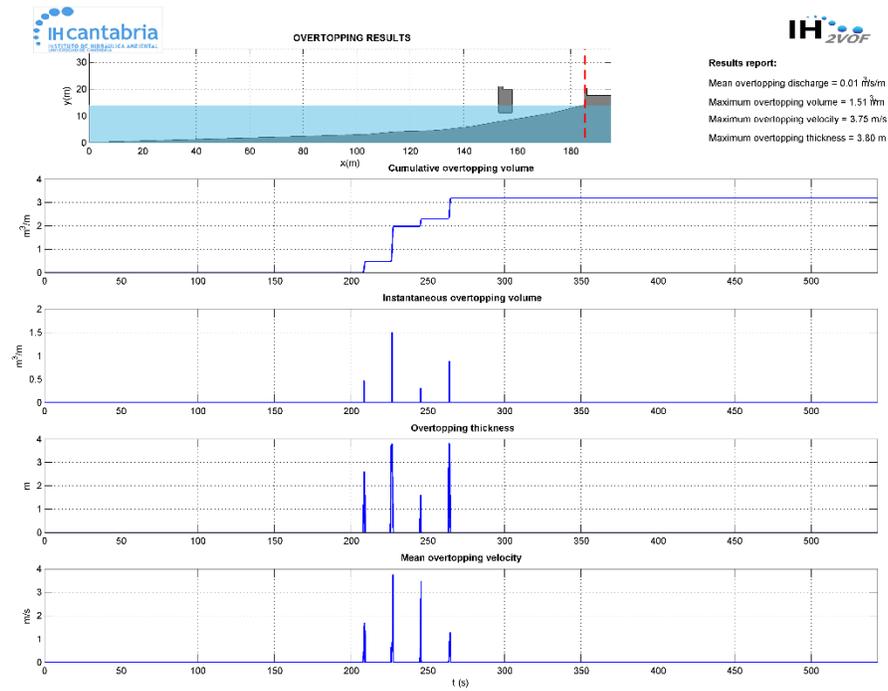


Figura 18. Caudales de rebase en el caso A14 con una pantalla de 3.5 metros.

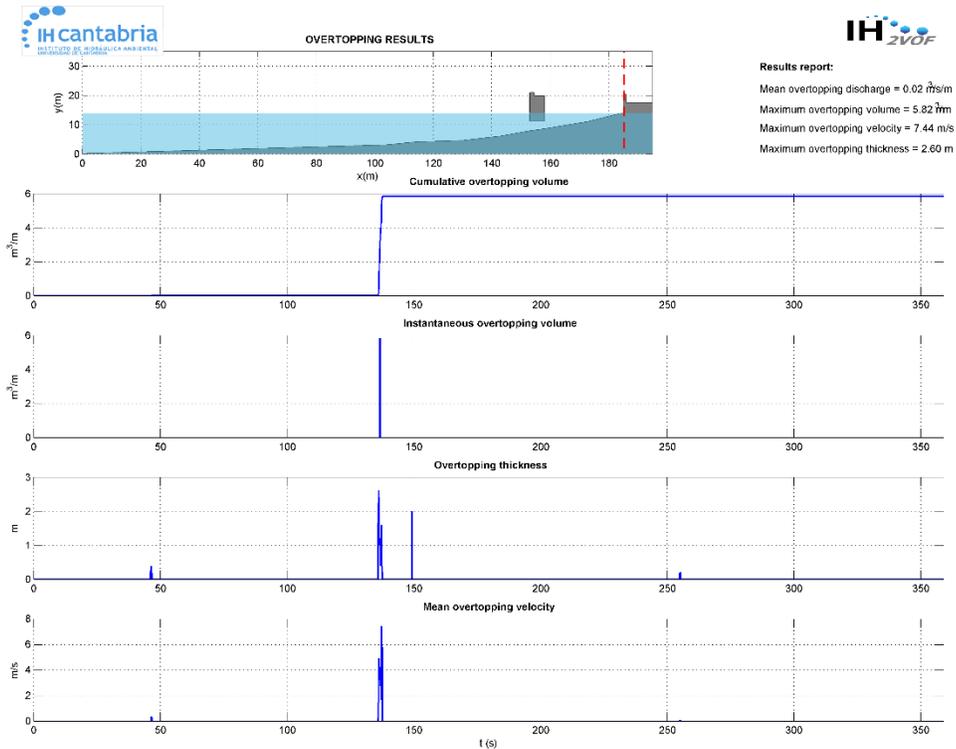


Figura 19. Caudales de rebase en el caso A17 con una pantalla de 3.5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

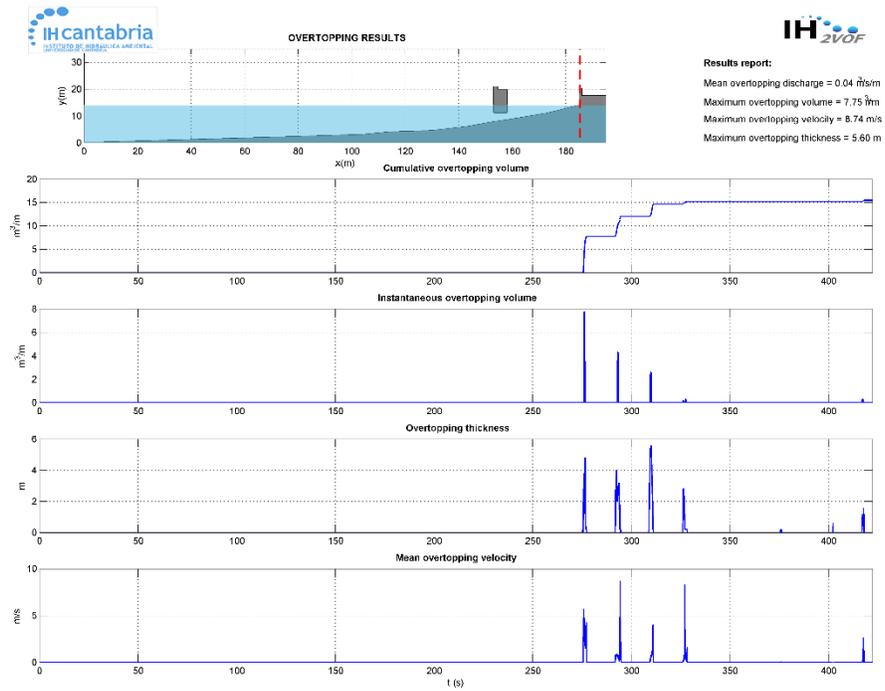


Figura 20. Caudales de rebase en el caso A18 con una pantalla de 3.5 metros.

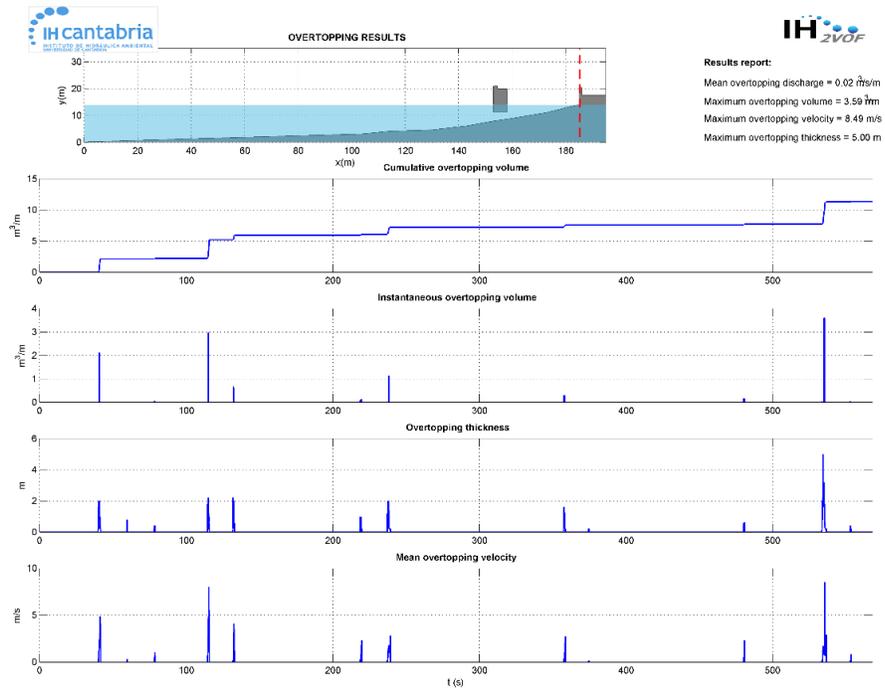


Figura 21. Caudales de rebase en el caso A19 con una pantalla de 3.5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

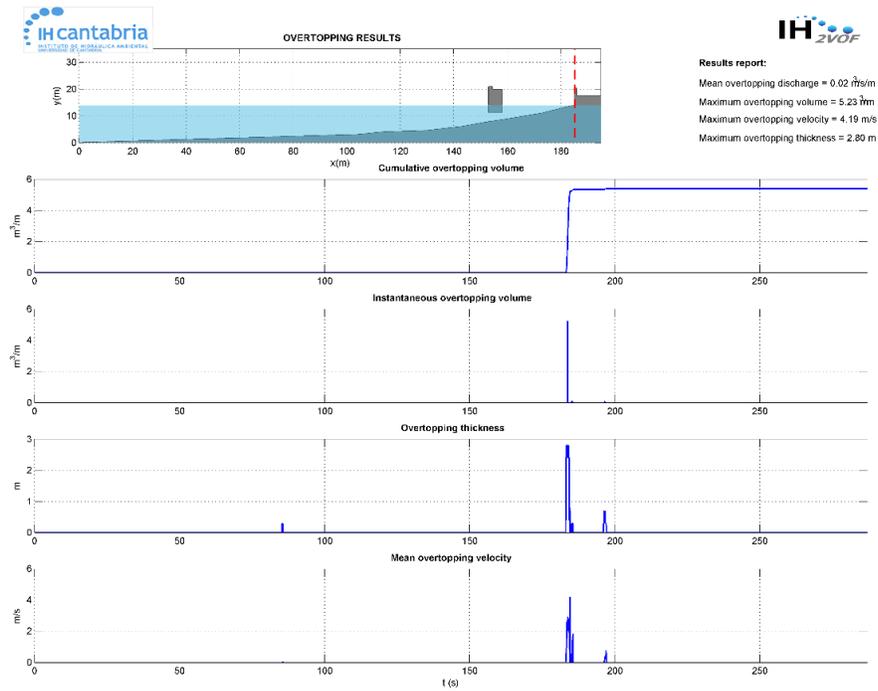


Figura 22. Caudales de rebase en el caso A20 con una pantalla de 3.5 metros.

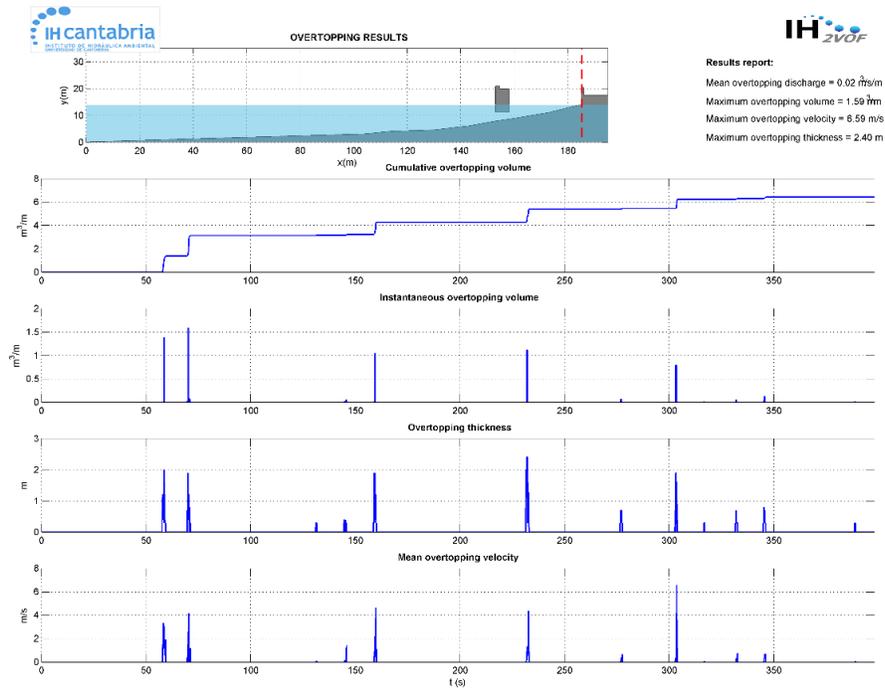


Figura 23. Caudales de rebase en el caso A21 con una pantalla de 3.5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

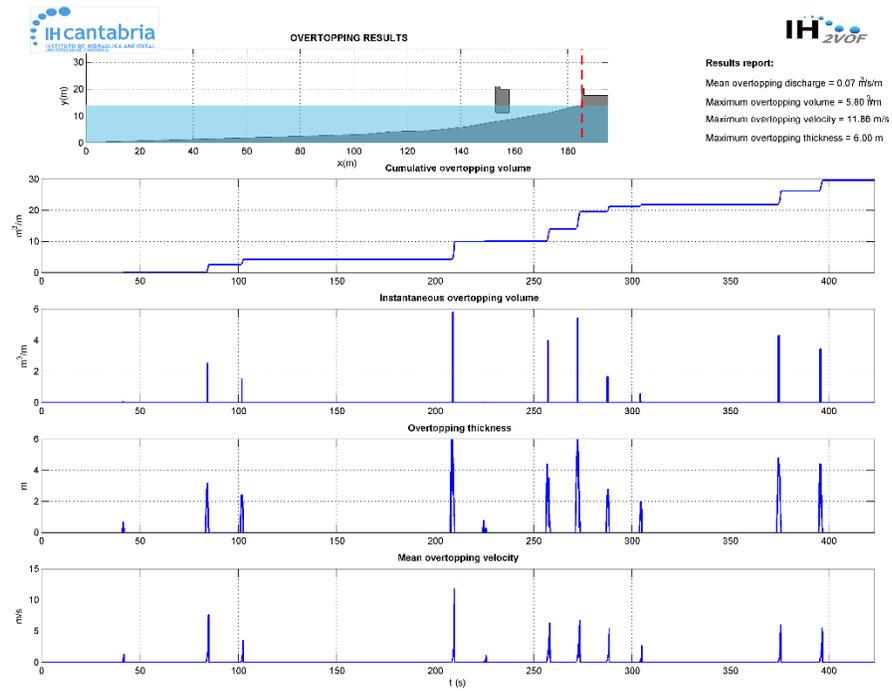


Figura 24. Caudales de rebase en el caso A22 con una pantalla de 3.5 metros.

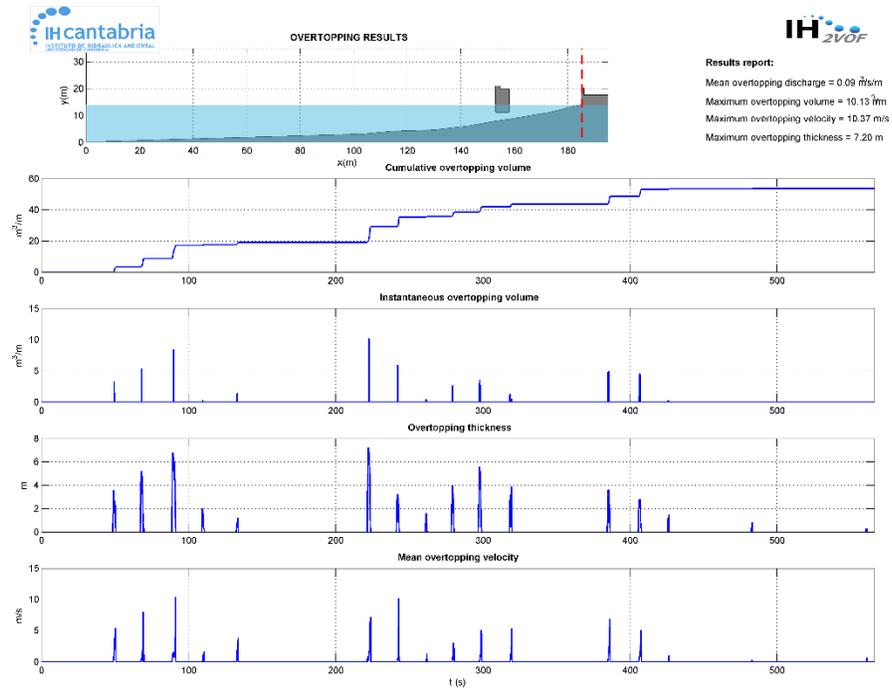


Figura 25. Caudales de rebase en el caso A23 con una pantalla de 3.5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

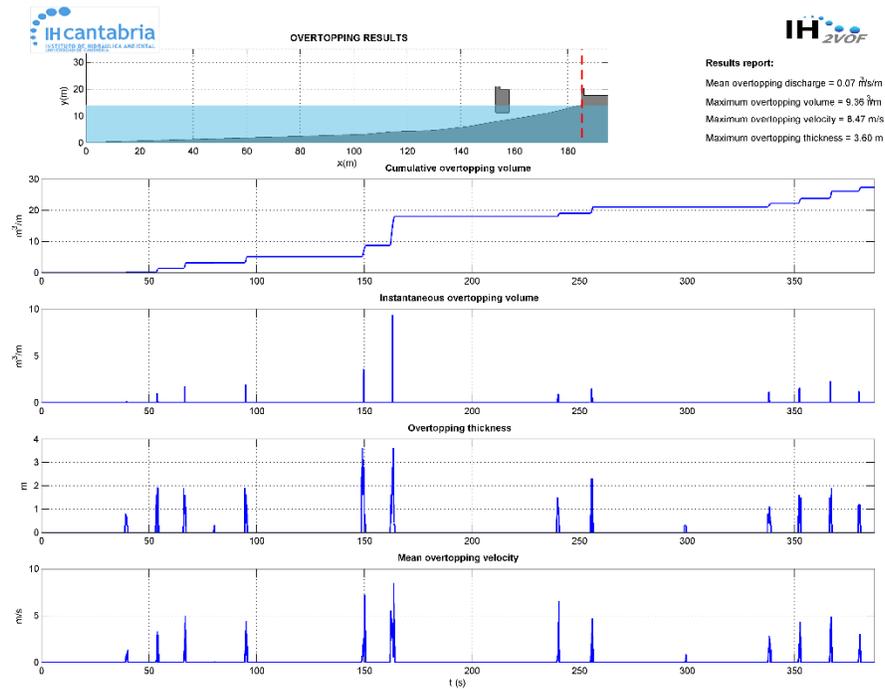


Figura 26. Caudales de rebase en el caso A24 con una pantalla de 3.5 metros.

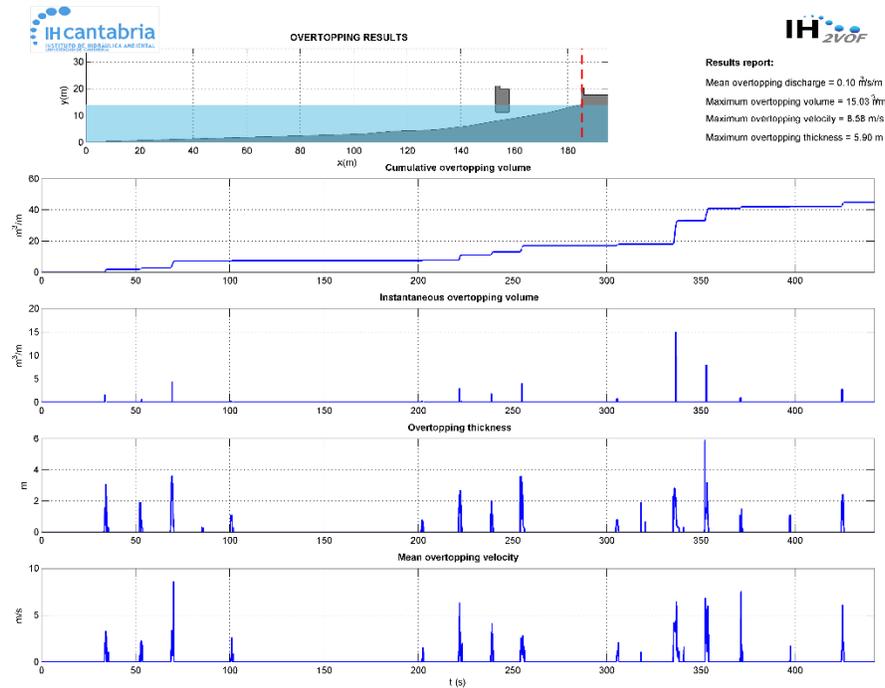


Figura 27. Caudales de rebase en el caso A25 con una pantalla de 3.5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

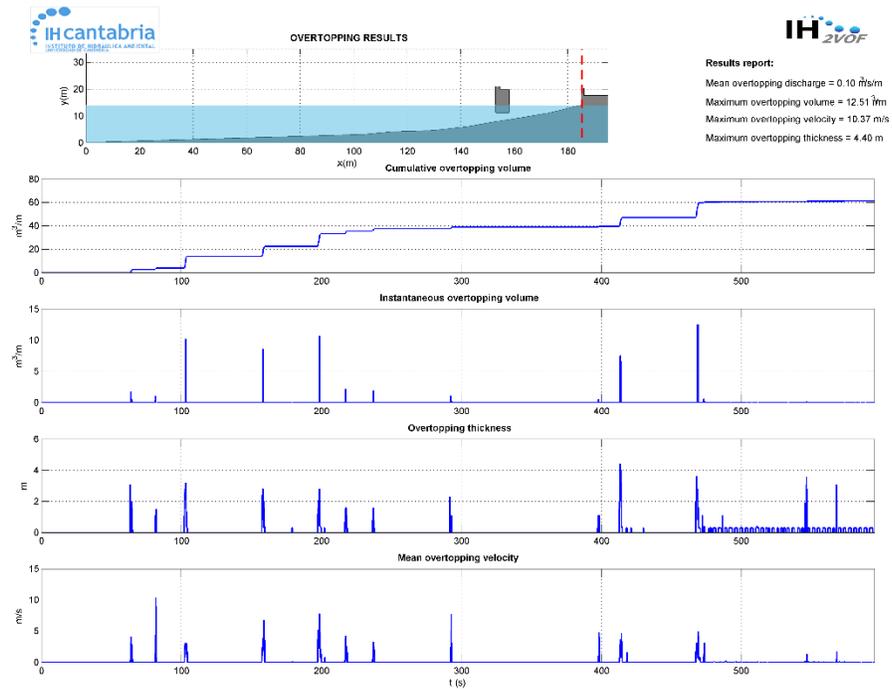


Figura 28. Caudales de rebase en el caso A26 con una pantalla de 3.5 metros.

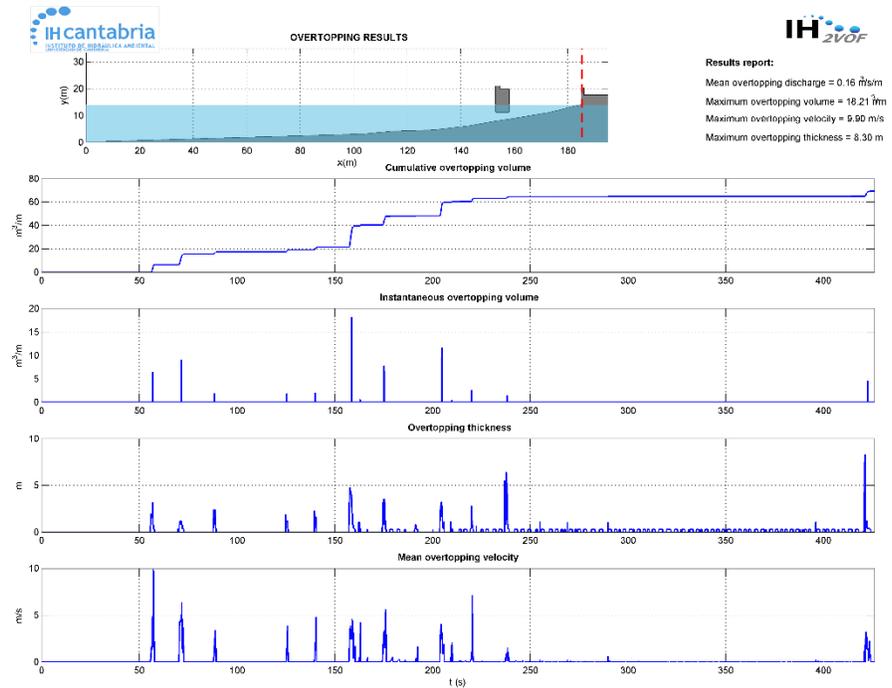


Figura 29. Caudales de rebase en el caso A27 con una pantalla de 3.5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

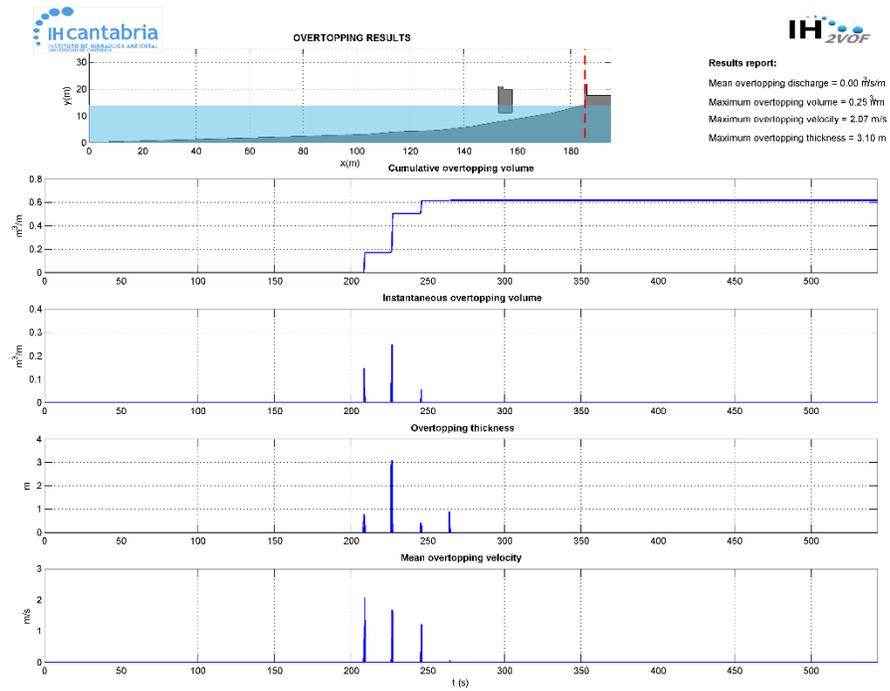


Figura 30. Caudales de rebase en el caso A14 con una pantalla de 4 metros.

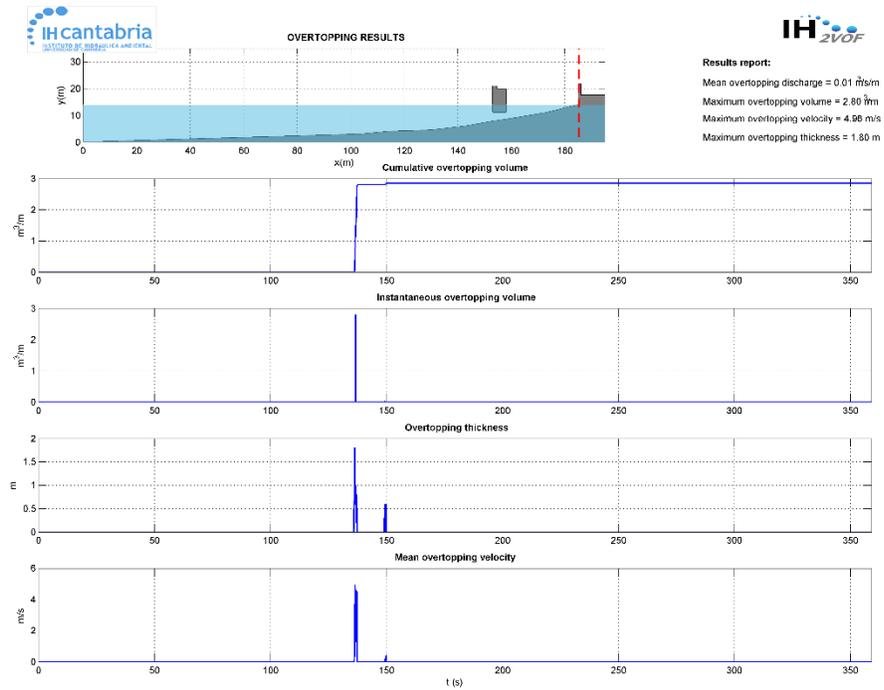


Figura 31. Caudales de rebase en el caso A17 con una pantalla de 4 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

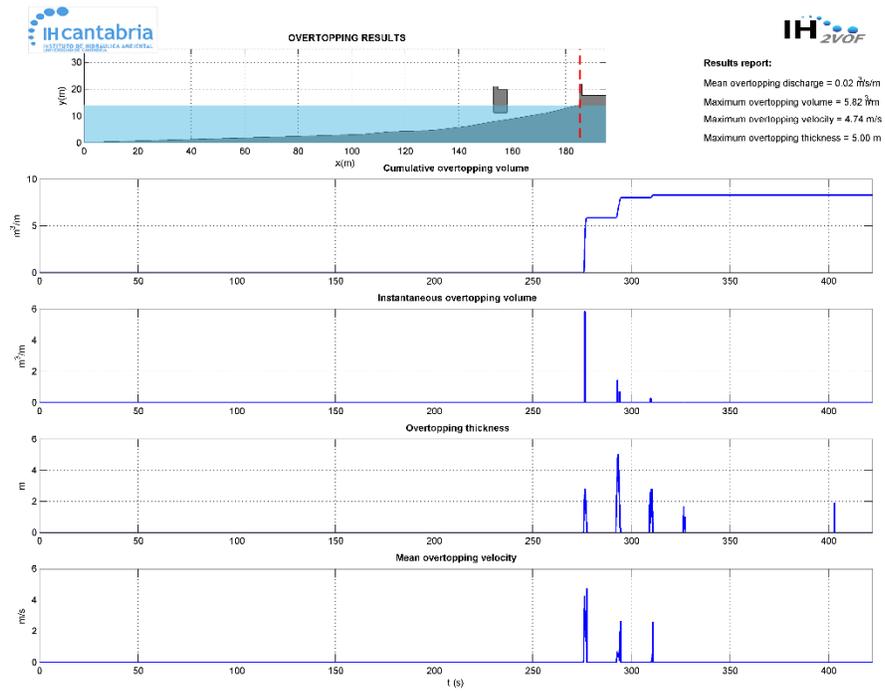


Figura 32. Caudales de rebase en el caso A18 con una pantalla de 4 metros.

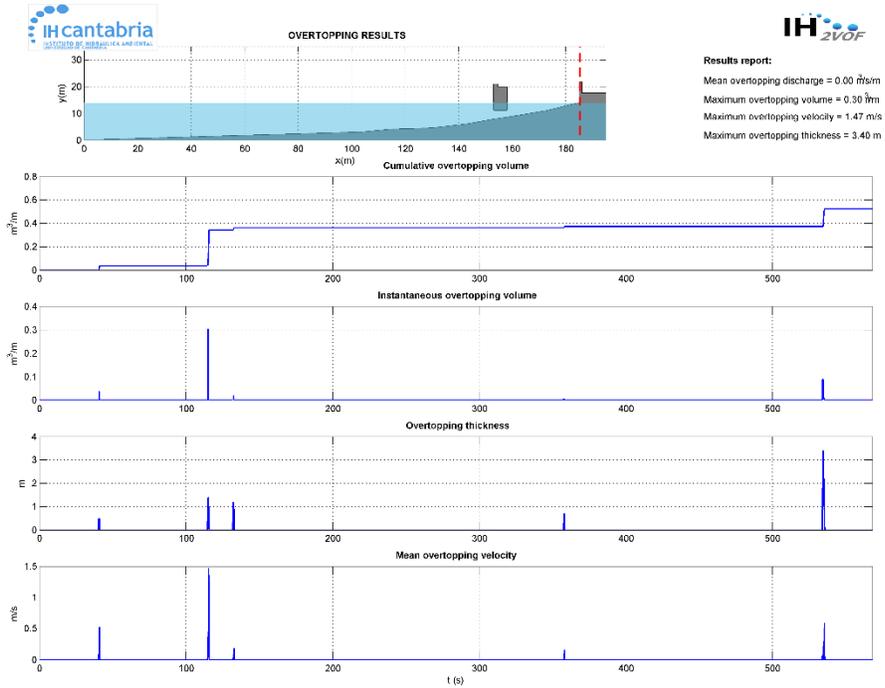


Figura 33. Caudales de rebase en el caso A19 con una pantalla de 4 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

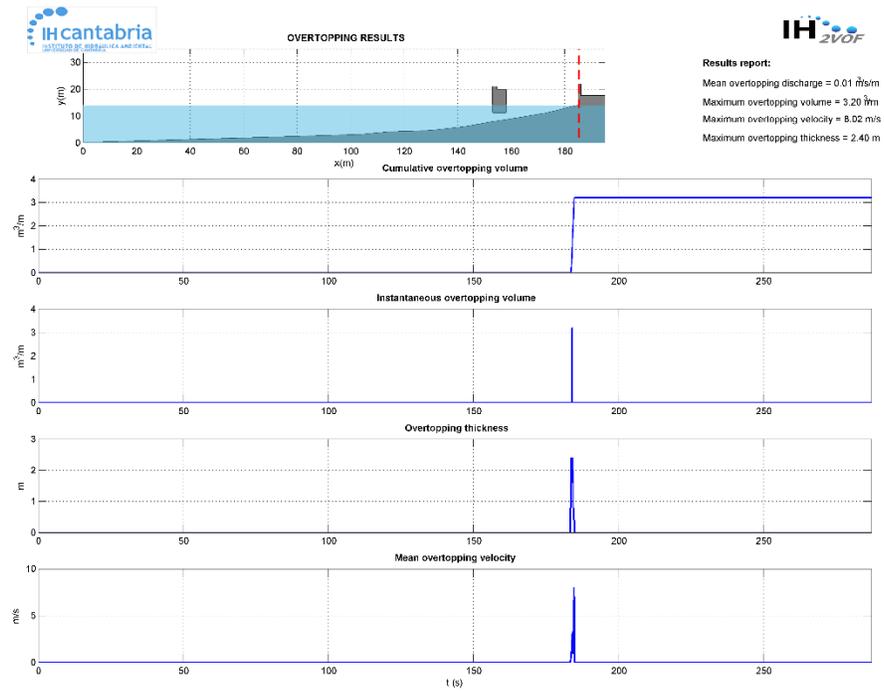


Figura 34. Caudales de rebase en el caso A20 con una pantalla de 4 metros.

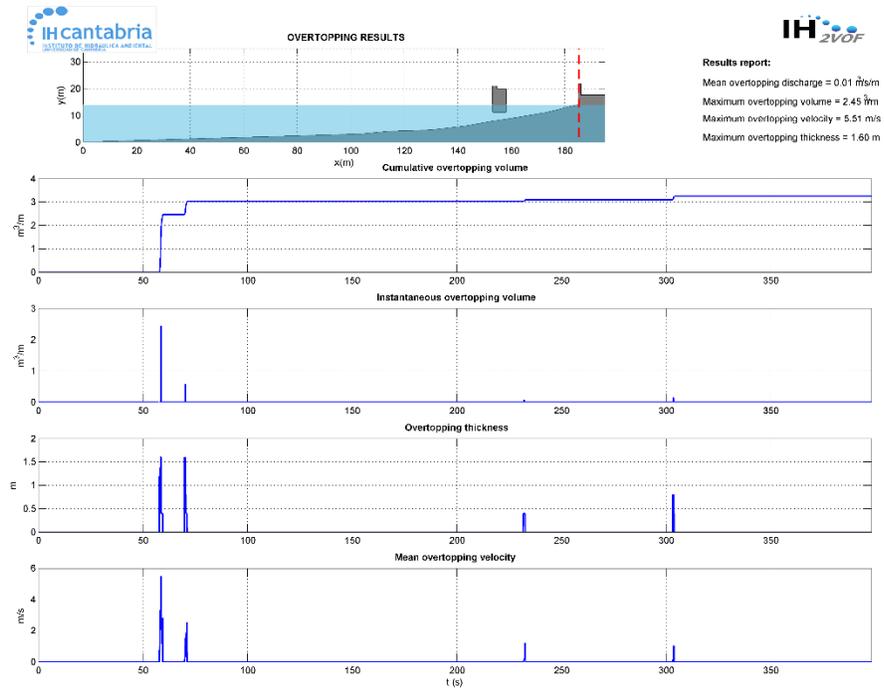


Figura 35. Caudales de rebase en el caso A21 con una pantalla de 4 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

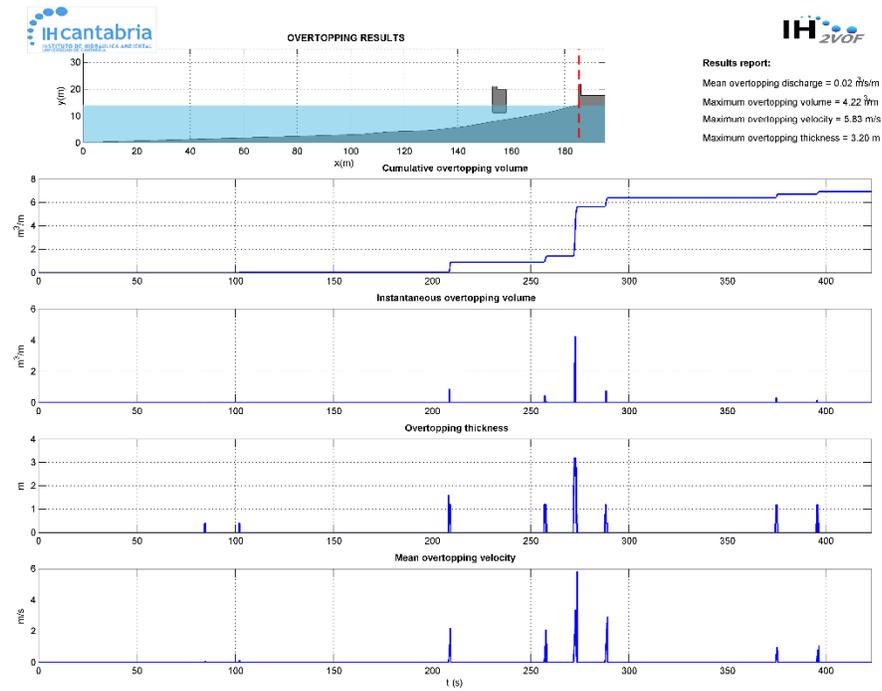


Figura 36. Caudales de rebase en el caso A22 con una pantalla de 4 metros.

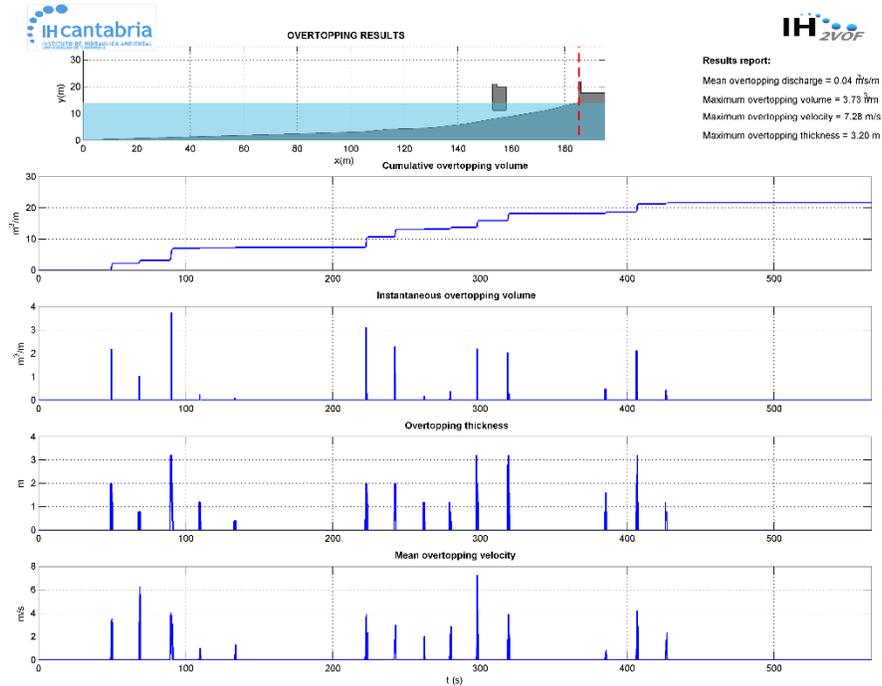


Figura 37. Caudales de rebase en el caso A23 con una pantalla de 4 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

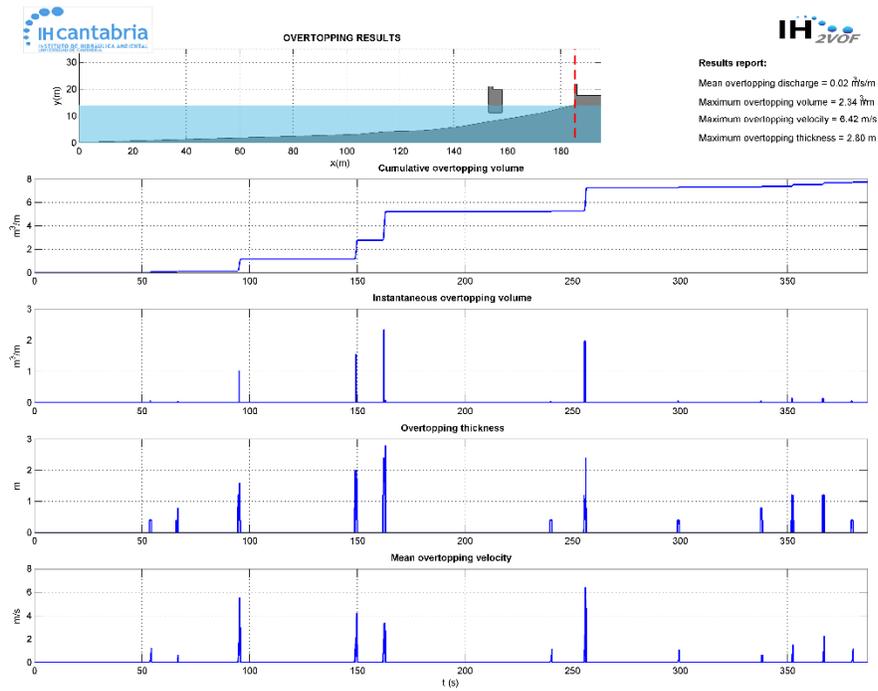


Figura 38. Caudales de rebase en el caso A24 con una pantalla de 4 metros.

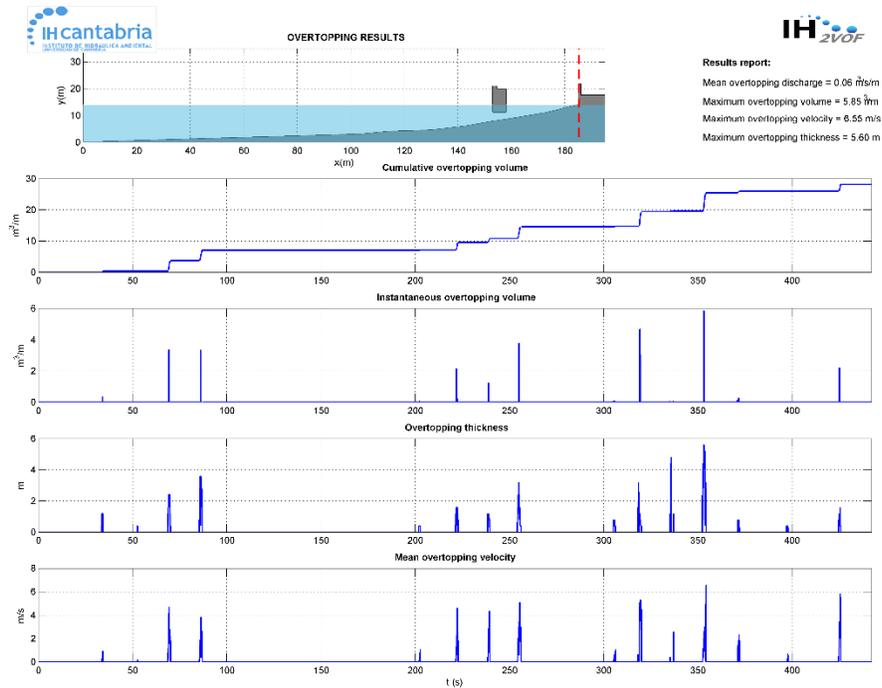


Figura 39. Caudales de rebase en el caso A25 con una pantalla de 4 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

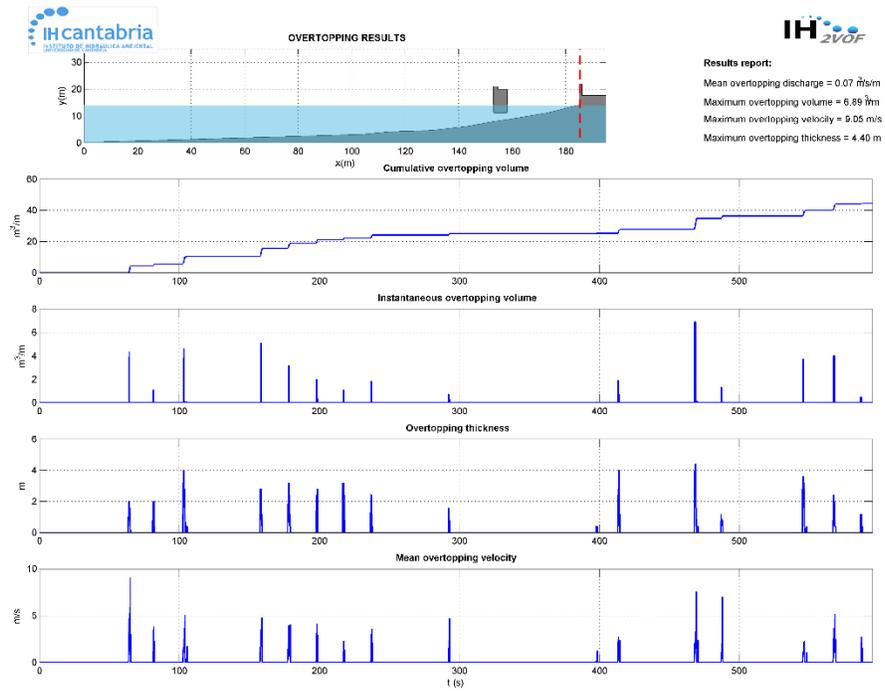


Figura 40. Caudales de rebase en el caso A26 con una pantalla de 4 metros.

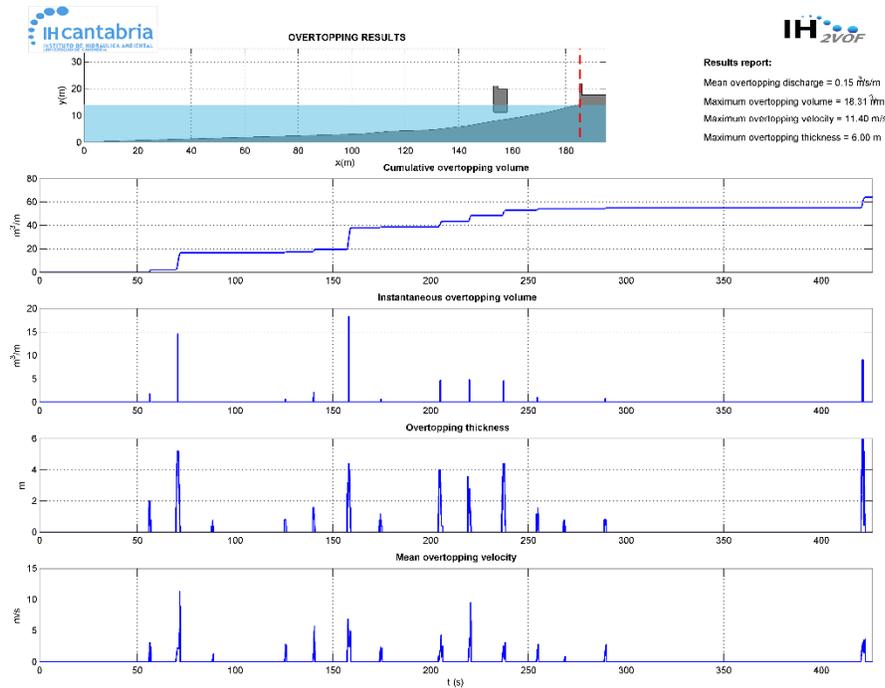


Figura 41. Caudales de rebase en el caso A27 con una pantalla de 4 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

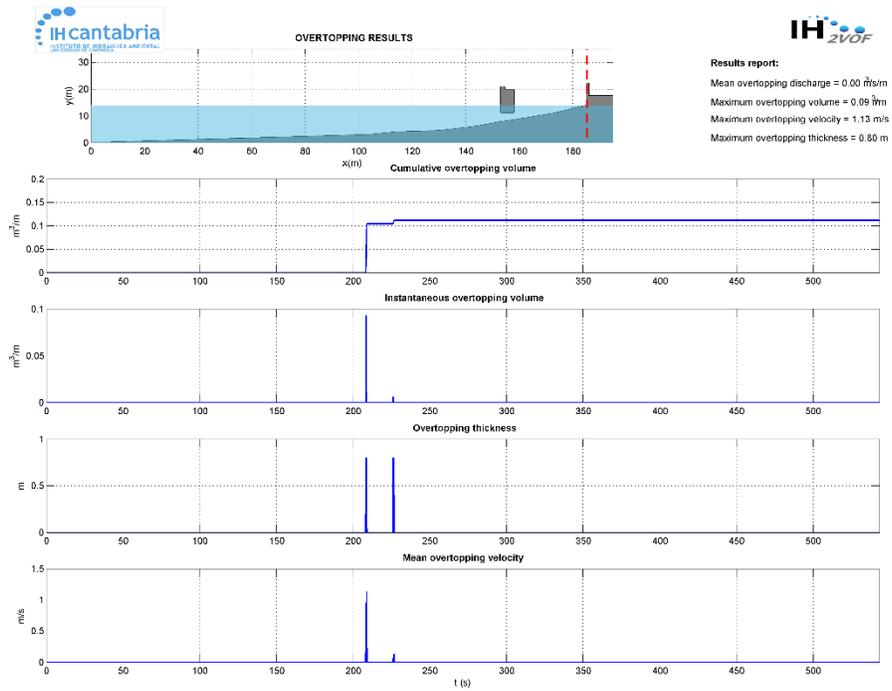


Figura 42. Caudales de rebase en el caso A14 con una pantalla de 5 metros.

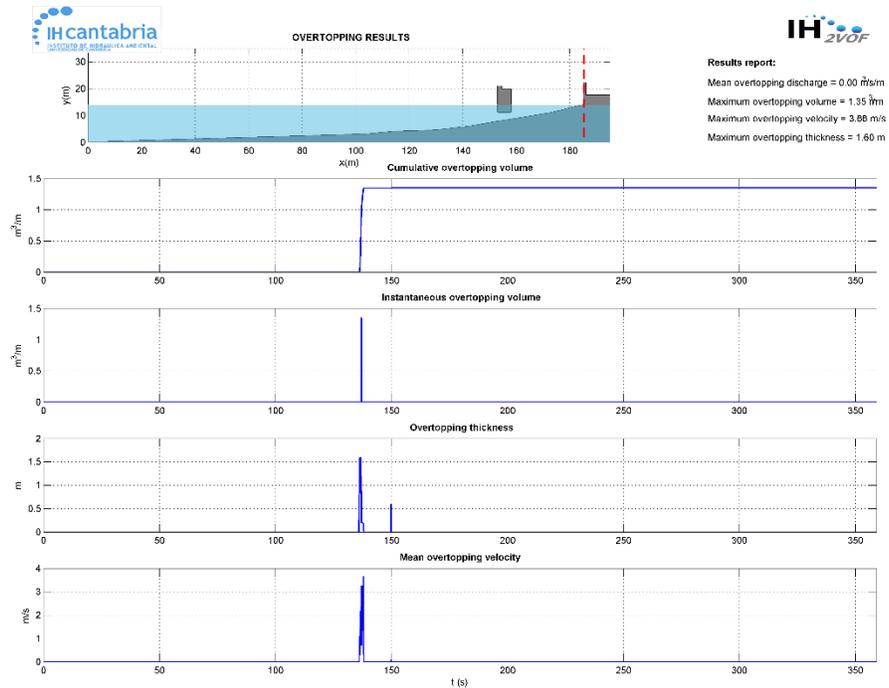


Figura 43. Caudales de rebase en el caso A17 con una pantalla de 5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

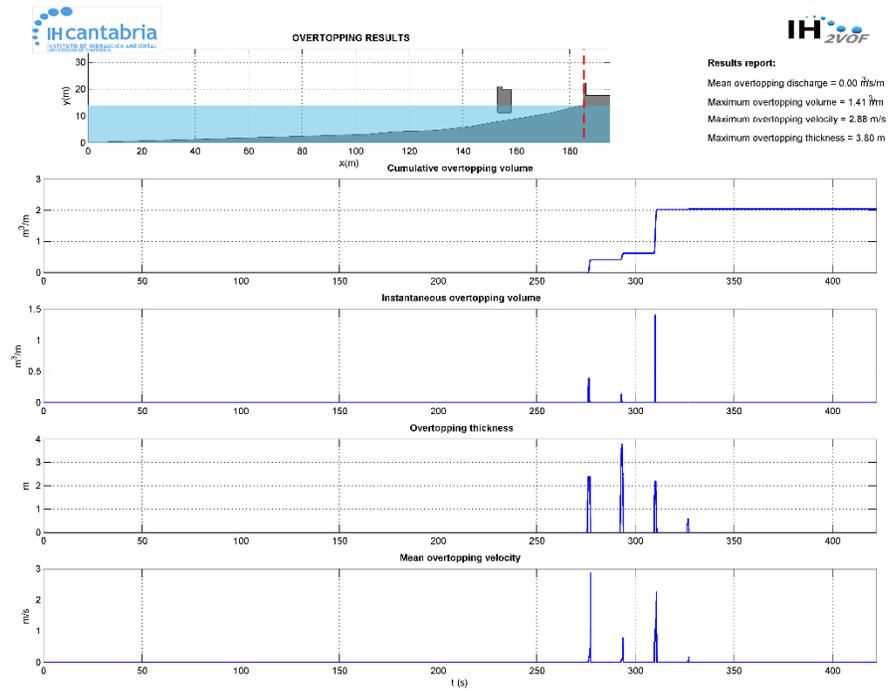


Figura 44. Caudales de rebase en el caso A18 con una pantalla de 5 metros.

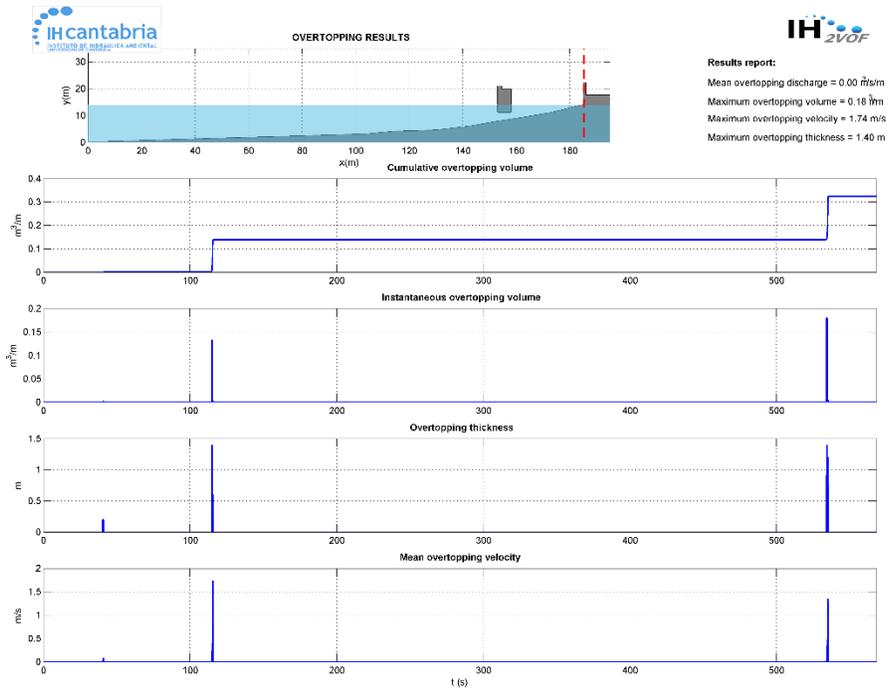


Figura 45. Caudales de rebase en el caso A19 con una pantalla de 5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

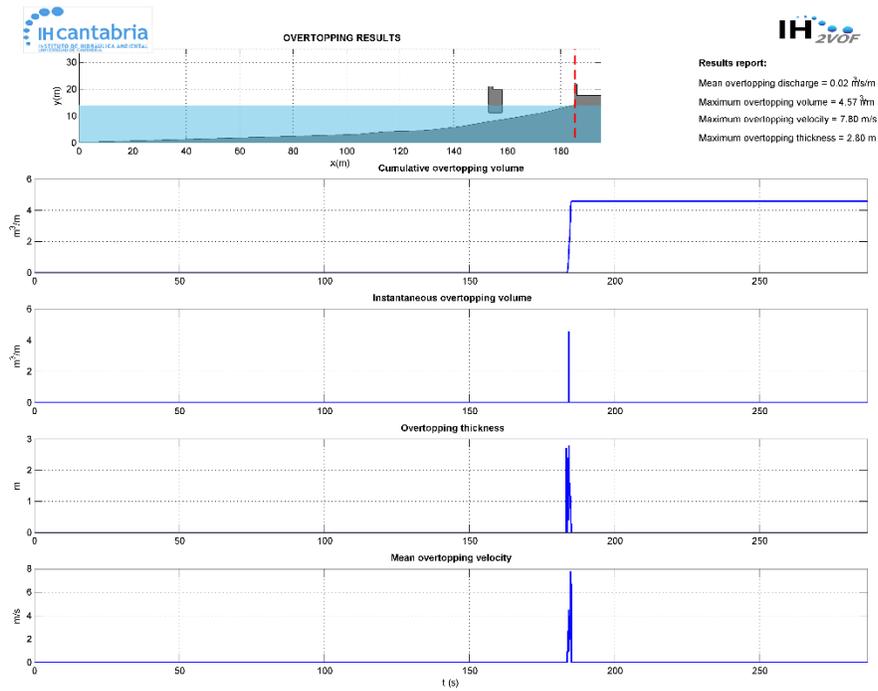


Figura 46. Caudales de rebase en el caso A20 con una pantalla de 5 metros.

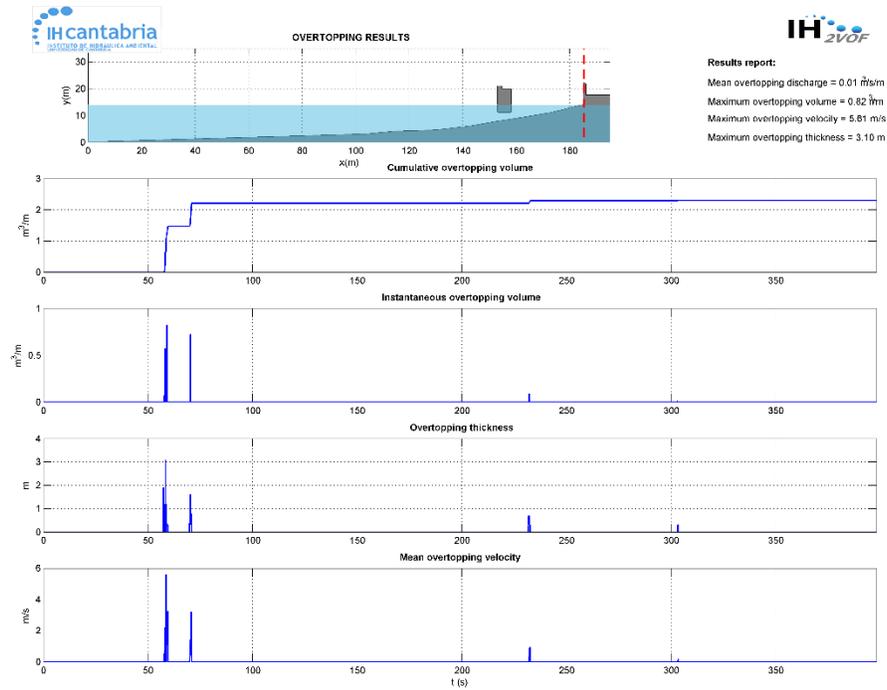


Figura 47. Caudales de rebase en el caso A21 con una pantalla de 5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

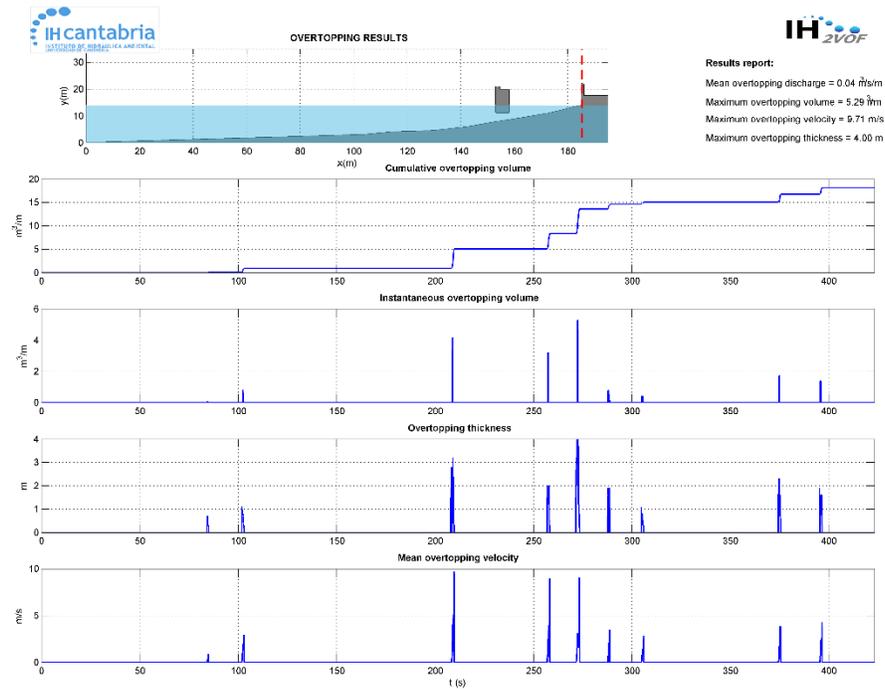


Figura 48. Caudales de rebase en el caso A22 con una pantalla de 5 metros.

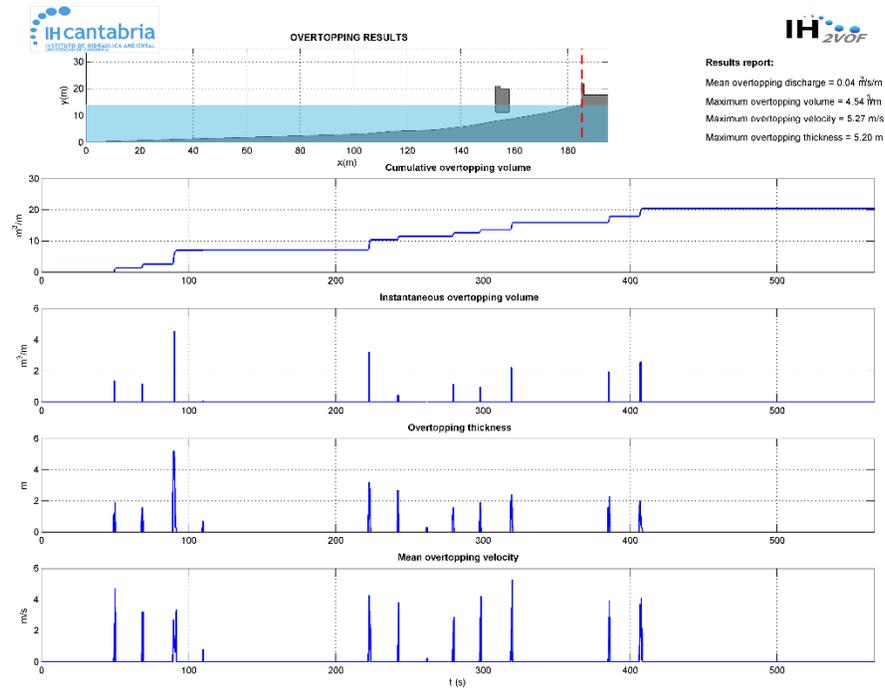


Figura 49. Caudales de rebase en el caso A23 con una pantalla de 5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

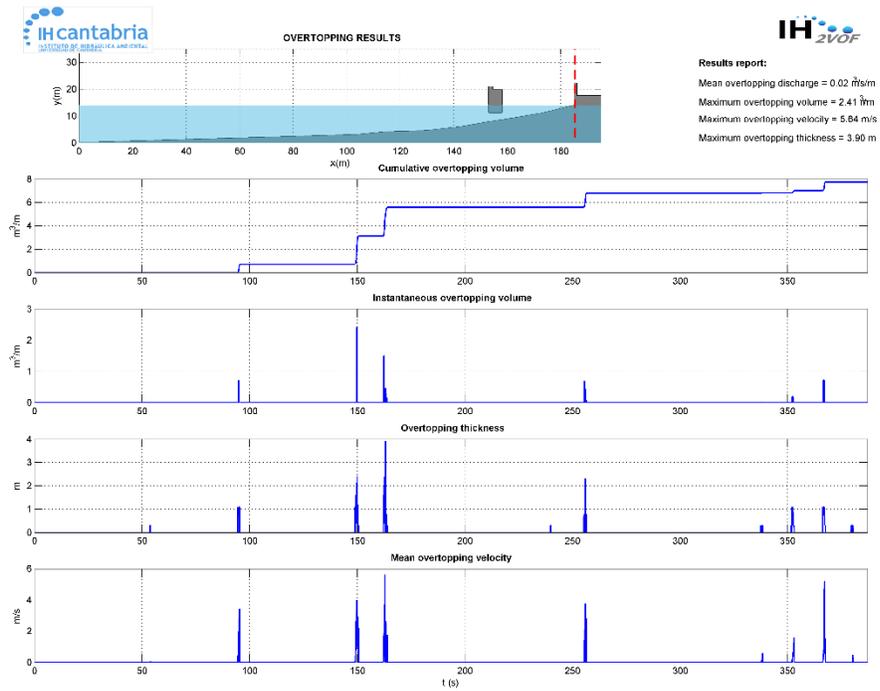


Figura 50. Caudales de rebase en el caso A24 con una pantalla de 5 metros.

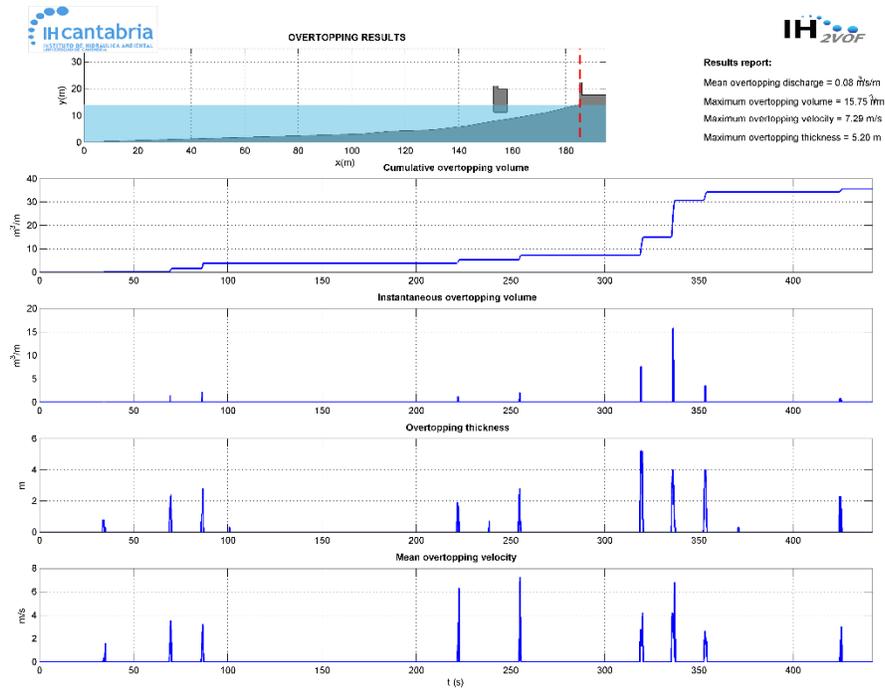


Figura 51. Caudales de rebase en el caso A25 con una pantalla de 5 metros.

Estudio de alternativas para reducir el rebase en el paseo de La Piscina de La Grieta Mayor, en el arranque del dique de Castro Urdiales

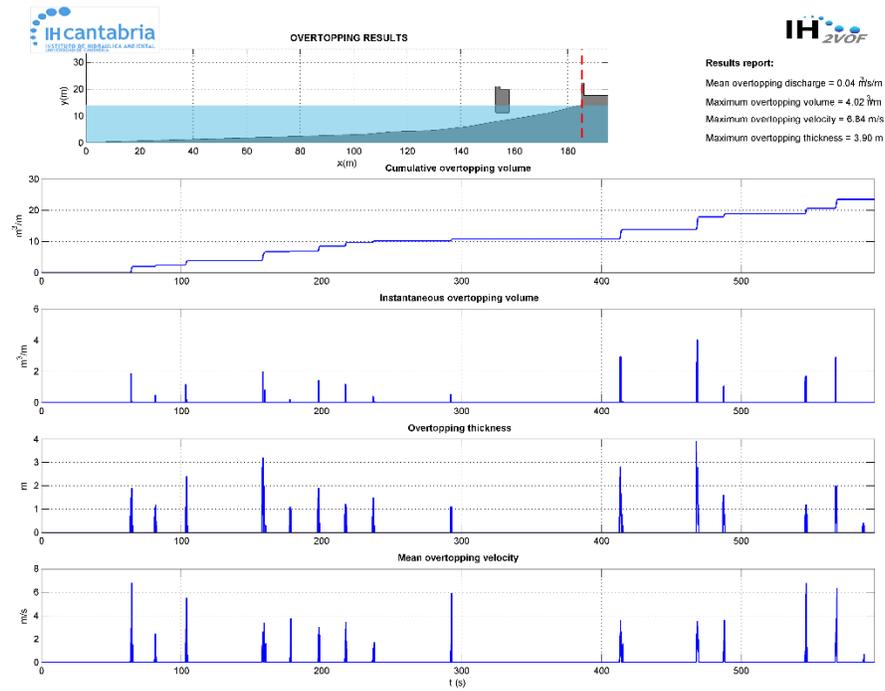


Figura 52. Caudales de rebase en el caso A26 con una pantalla de 5 metros.

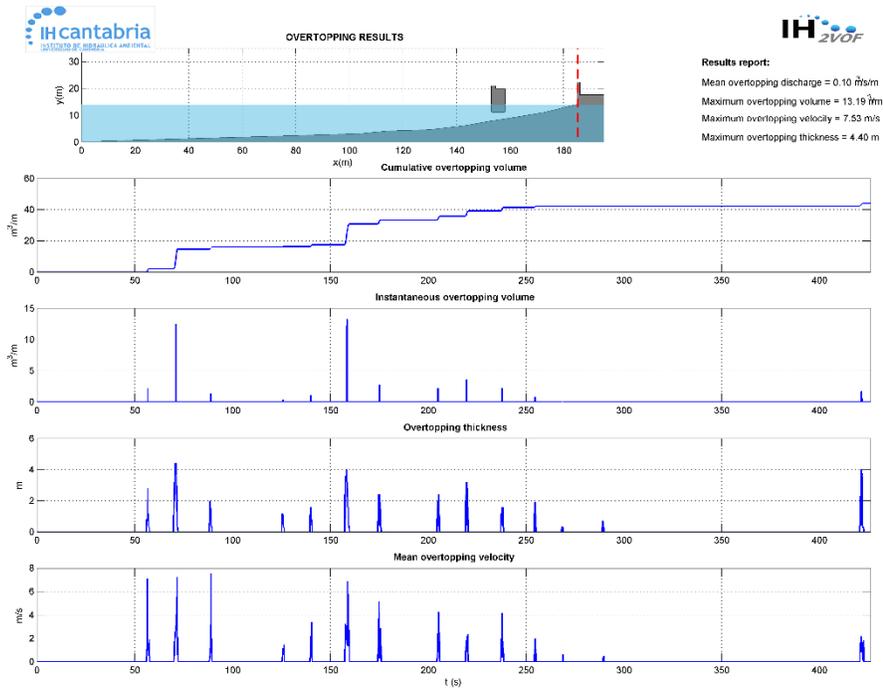


Figura 53. Caudales de rebase en el caso A27 con una pantalla de 5 metros.

