

Resumen

TÍTULO DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO:

Definición de la cota de coronación de los diques de abrigo del nuevo puerto de Puerto del Rosario (Fuerteventura).

AUTOR DEL TFG

Mario Castro Gómez

DIRECTOR DEL TFG:

César Vidal Pascual

CONVOCATORIA:

Septiembre 2016

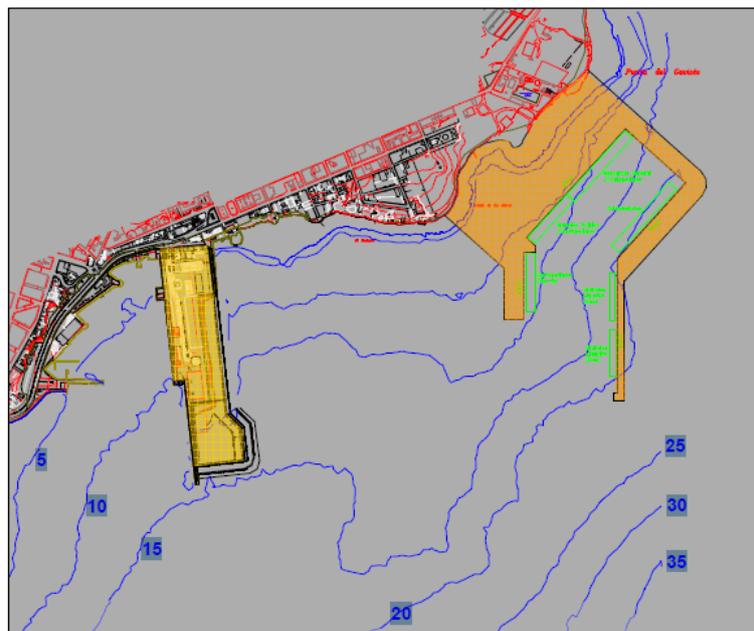
PALABRAS CLAVE:

Dique, Fuerteventura, Rosario, vertical, propagación, rebase

1. OBJETO DEL PROYECTO

El puerto de Puerto del Rosario es el más grande y con mayores expectativas de crecimiento de la isla de Fuerteventura. No obstante, su expansión viene limitada por dos factores, la no disponibilidad de terrenos contiguos, y el tráfico pesado que circula en dirección al puerto y atraviesa el casco urbano. Estos problemas hacen necesario el desarrollo de un nuevo puerto.

El objeto del presente estudio funcional es determinar la cota de coronación de los diques de abrigo del citado puerto nuevo. Con este fin, se ha seleccionado la alternativa 2 al considerar que es la mejor solución a los problemas descritos.



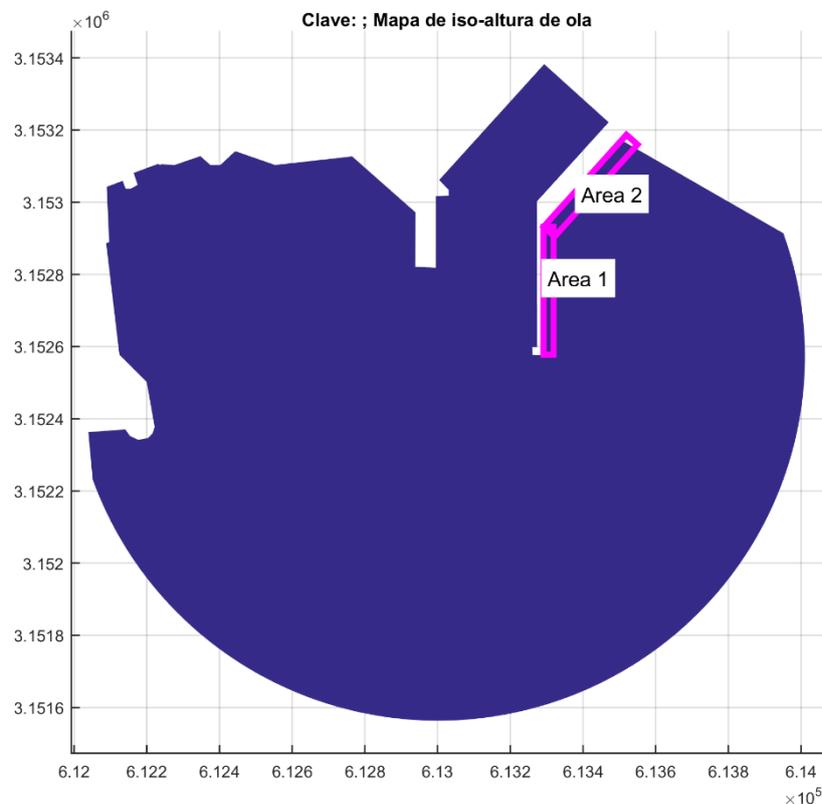
Solución adoptada en la Alternativa 2

2. DATOS DE PARTIDA

El diseño funcional se realiza a partir de los datos de batimetría de la ensenada de Puerto del Rosario, series de estados de mar desde 1948 a 2008 y series de nivel de marea, tanto astronómica como meteorológica, desde 1979 a 2014.

3. PROPAGACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DEL OLEAJE PARA LA OBTENCIÓN DE LOS REGÍMENES

Para realizar la propagación se han seleccionado 50 estados de mar representativos de la base de datos de partida. Esta selección se lleva a cabo mediante el algoritmo MDA (Maximum Dissimilarity Algorithm). Después, se realizó la propagación con el modelo MSP de un espectro monocromático de oleaje definido por la altura de ola significativa (H_s), el periodo de pico (T_p) y la dirección de oleaje ($^\circ$). Los resultados obtenidos se almacenan en gráficas de iso-altura de ola significativa y en mapas de superficie libre. A partir de las gráficas de iso-altura se obtienen los datos numéricos del oleaje propagado en las áreas situadas frente a los diques en los que se quiere conocer el rebase. Posteriormente se calculan los coeficientes de agitación en dichas áreas ($Ca = \frac{H_s}{H_0}$), los cuales, al ser áreas exteriores a los diques, serán iguales a los coeficientes totales al no existir oleaje transmitido. Con estos coeficientes se reconstruyen los restantes estados de mar y se determinan los regímenes medios, ajustando los datos reconstruidos a distintas funciones, seleccionando aquellas que más se ajusten a la distribución de alturas de ola significativa propagadas. Tanto la reconstrucción como la determinación de los regímenes medios se realiza utilizando MATLAB.



Localización de las áreas de estudio

4. ESTUDIO DE REBASE

Este estudio se basa en los límites operativos en función de la infraestructura adosada al dique y del caudal máximo admisible para garantizar la seguridad de las operaciones interiores al dique. El primero de estos límites viene reflejado en el apartado 1.0-09 de la ROM mientras que el segundo viene definido por el Eurotop, determinando una operatividad mínima de 0.99 para zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique y un caudal de rebase máximo de 0.1 l/s/ml en el caso de peatones no protegidos y de 10 l/s/ml en el caso de vehículos a baja velocidad, adoptando por tanto el límite de 0.1l/s/ml.

Comparando estos límites con los regímenes medios en cada una de las áreas de estudio, se concluye que para el área 1 un francobordo $F=3.7$ metros la zona es operativa y segura, mientras que para el área 2 el valor del mismo es $F=2.2$ metros.

5. COTA DE CORONACIÓN

La cota de coronación estará definida por el valor del francobordo calculado sumado al nivel del mar, definido por la marea astronómica más la meteorológica. Tomando los valores máximos de las mismas, 1.50412m en el caso de la astronómica y 0.06547m en el de la meteorológica se concluyen unos valores de cota de coronación iguales a 5.3 m y 3.8 m, para las áreas 1 y 2 respectivamente, ambos valores referidos al cero del puerto.

Santander, Junio 2016.

El autor del proyecto:



Mario Castro Gómez

ABSTRACT

TITLE OF THE FINAL PROJECT OF THE UNDERGRADUATE:

Definition of the crest elevation of the new breakwaters of protection of the Puerto del Rosario harbor (Fuerteventura).

AUTOR DEL TFG

Mario Castro Gómez

DIRECTOR OF THE PROJECT:

César Vidal Pascual

CALL:

SEPTEMBER 2016

KEY WORDS:

Breakwater, Fuerteventura, Rosario, vertical, propagation, overflow

1. AIM OF THE PROJECT

The harbor of Puerto del Rosario is the largest and with higher growth expectations of the island of Fuerteventura. Despite its expansion it is limited by two factors, the unavailability of contiguous land, and heavy traffic flowing towards the port and through the town. These problems make it necessary to develop a new port.

The aim of this functional study is to determine the crest elevation of the breakwaters of that new port. To this end, we selected alternative 2, considering that it is the best solution to the problems described.



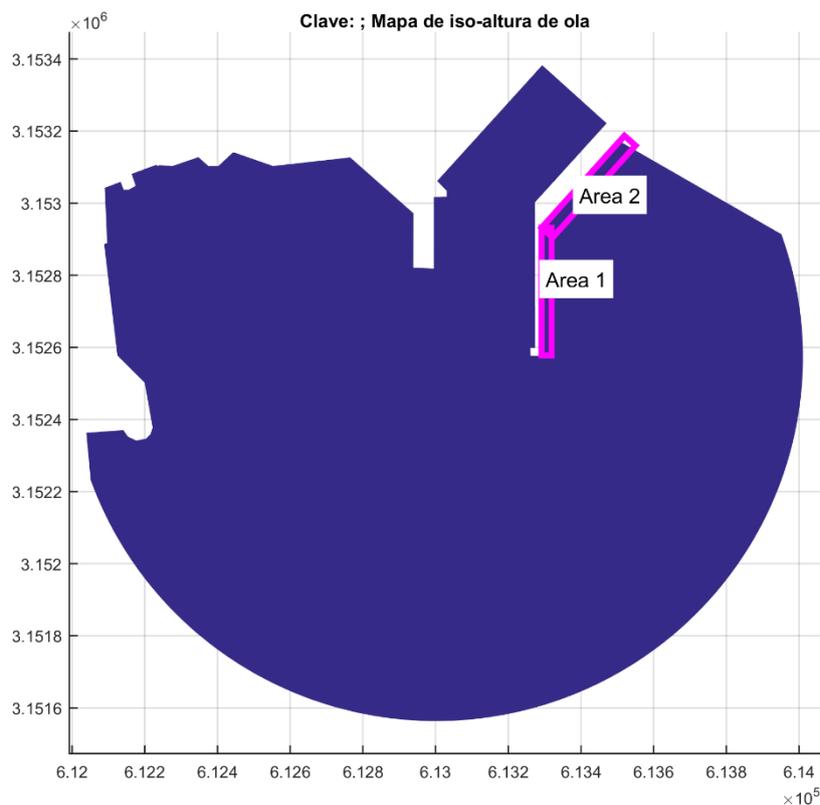
Solution adopted in Alternative 2

2. INPUT DATA

The functional design is made from bathymetry data from the cove of Puerto del Rosario, series of sea states from 1948 to 2008 and tide level series, both astronomical and weather, from 1979 to 2014.

3. SPREAD AND RECONSTRUCTION OF THE SEAS FOR OBTAINING SCHEMES.

For propagation, 50 representative sea states have been selected from the starting database. This selection is performed by the algorithm MDA (Maximum Dissimilarity Algorithm). Then, the spread is performed with the MSP model of a monochromatic wave spectrum defined by the significant wave height (H_s), the peak period (T_p) and wave direction ($^\circ$). The results are stored in graphs of iso-significant wave height and free surface maps. From the graphs of iso-spread wave height numerical data are obtained in areas located in front of the breakwaters in which you want to know the rebase. Subsequently the coefficients of agitation in those areas ($Ca = \frac{H_s}{H_0}$) are calculated, which, being outside the dikes areas, will be equal to the total coefficients in the absence of transmitted waves. With these coefficients remaining sea states are reconstructed and means regimes are determined by adjusting the reconstructed data to different functions, selecting those that best fit the distribution of propagated significant wave heights. Both rebuilding and determining mean regimes is performed using MATLAB.



Location of the study areas

4. STUDY OF OVERFLOW

This study is based on operating limits depending on the infrastructure attached to the dock and the maximum permissible flow to ensure the safety of the dam internal operations. The first of these limits is reflected in section 1.0-09 ROM while the second is defined by the Eurotop, determining a minimum operability of 0.99 to storage areas or operation of goods or passengers attached to the dock and overtopping flow up to 0.1 l/s/ml in the case of unprotected pedestrians and 10 l / s / ml in the case of vehicles at low speed, thereby adopting limit 0.1 l/s/ml.

Comparing these limits with the media regimes in each of the areas of study, it is concluded that for area 1 freeboard $F = 3.7$ meters the area is operational and safe, while for area 2 the value of it is $F = 2.2$ meters.

5. CREST ELEVATION

The crest elevation will be defined by the value of freeboard calculated added to the sea level, defined by the weather and astronomical tide. Taking the maximum values of them, 1.50412m in the case of astronomical and 0.06547m in meteorological values, is concluded that the crest elevation is 5.3 m and 3.8 m, for areas 1 and 2 respectively, both values referred to the zero of the port.

Santander, June 2016

The autor of the Project:



Mario Castro Gómez



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



Definición de la cota de coronación de los diques de abrigo del nuevo puerto de Puerto del Rosario (Fuerteventura).

Trabajo realizado por:
Mario Castro Gómez

Dirigido:
César Vidal Pascual

Titulación:
Grado en Ingeniería Civil

Santander, Septiembre de 2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

Contenido

1. Antecedentes administrativos	2
2. Localización geográfica.....	3
2.1. Marco autonómico y local: Puerto del Rosario	3
2.2. Ubicación del puerto de Puerto de Rosario	4
3. Historia	5
4. Descripción de las alternativas.....	7
4.1. Alternativa 1: Desarrollo del puerto actual.....	7
4.2. Alternativa 2: Puerto Actual y Punta del Gavioto	10
4.3. Alternativa 3: La Hondura	12
4.5. Alternativa 4: Otras Localizaciones	14
4.6. Alternativa seleccionada	15
5. Objetivos del proyecto	16
6. Datos de partida	17
6.1. Batimetría y topografía	17
6.2. Dinámica marina	20
7. Propagación del oleaje	25
7.1 Introducción	25
7.2. Resultados de la propagación	32
7.3. Coeficiente de agitación.....	34
8. Reconstrucción de los regímenes medios frente a los diques	36
9. Diseño del rebase de los diques.....	39
9.1. Cálculos	39
9.2. Cota de coronación	45
10. Conclusiones.....	46

1. Antecedentes administrativos

La ciudad de Puerto del Rosario se encuentra en la costa Noreste de la isla de Fuerteventura. Llamado inicialmente Puerto de Cabras, desde su fundación, ofrecía una buena ensenada natural desde donde exportar sus productos y, de hecho, ya en 1713, el puerto quedó reconocido como puerto natural.

La primera ensenada del puerto estaba situada entre la Punta del Viejo y la Punta del Viento y sus abrigadas condiciones naturales permitían que los barcos fondearan en sus aguas, realizándose la carga y descarga mediante lanchas que arribaban a la orilla de la playa.

A partir de 1889 comenzaron una serie de obras que consistieron en la construcción de un muelle de atraque situado en donde se realizaban las operaciones de carga y descarga. A partir de entonces, se sucedieron distintos proyectos y ampliaciones del mismo muelle hasta conformar lo que se observa hoy en día. Adicionalmente a dichas obras, en 1982 se redactó el proyecto de la dársena pesquera, que se terminó en 1985. Tanto la ubicación como la distribución del puerto se muestran más adelante en la Figura 2.1.

En la Figura 1.2 se presenta una fotografía aérea del puerto, donde se observa la distribución de los muelles y las instalaciones portuarias para la carga y descarga de mercancías. En la fotografía quedan señaladas las rampas para la descarga de vehículos (embarcaciones Ro-Ro), las instalaciones de descarga y almacenamiento de granel sólido (cemento), grúas para contenedores y tuberías de descarga de gas licuado, entre otros elementos. Asimismo, en la fotografía destacan las obras correspondientes al último proyecto de ampliación del puerto finalizado en la actualidad.



Figura 1.1. Situación del puerto antes de las obras de ampliación

2. Localización geográfica

2.1. Marco autonómico y local: Puerto del Rosario

Puerto del Rosario es la capital de la isla de Fuerteventura, situada en la provincia de Las Palmas, Islas Canarias. Cuenta con, con 36.790 habitantes censados en el año 2014, distribuidos en una superficie de 290 km² y 16 m de altitud media.

El municipio de Puerto del Rosario se extiende desde la costa este a la oeste de la isla de Fuerteventura, limita al norte con el municipio de la Oliva y al sur con los de Betancuria y Antigua, mientras que al naciente y el poniente sus costas son bañadas por el atlántico.

Capital administrativa de la isla, sede de gran número de servicios, referente cultural y de ocio, con una intensa programación anual, centro comercial por excelencia y enclave líder desde el punto de vista empresarial y de negocios, a lo que se añade ser centro de conectividad y la cercanía a los principales núcleos turísticos, son algunos de los muchos aspectos que definen a Puerto del Rosario como destino.



2.2. Ubicación del puerto de Puerto de Rosario

Debido a la gran importancia histórica del antiguo Puerto de Cabras, la ciudad ahora conocida como Puerto del Rosario ha focalizado su crecimiento a lo largo de la historia alrededor del puerto, por lo que actualmente, queda confinado en la cara sur de la ciudad, junto al centro urbano de la misma.

En la Figura 2.1 se puede observar la localización geográfica de Puerto del Rosario dentro de la isla de Fuerteventura y el plano de la línea de costa y el puerto actuales de Puerto del Rosario.

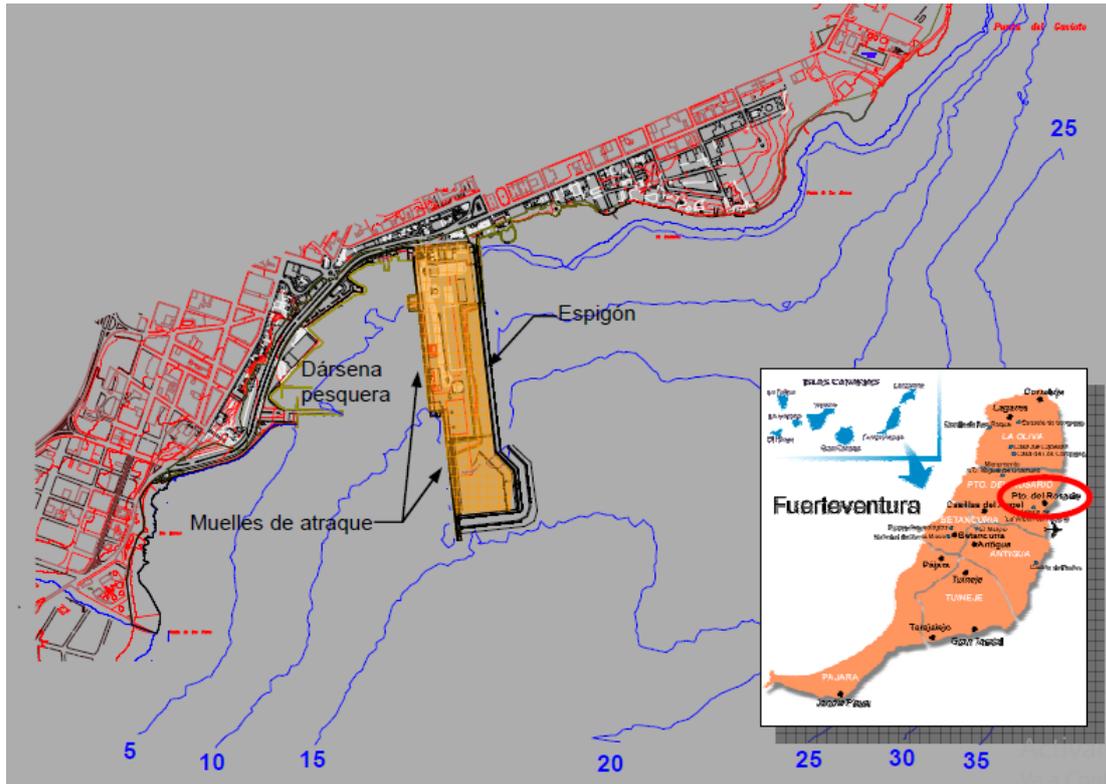


Figura 2.1. Ubicación y disposición del puerto de Puerto del Rosario

3. Historia

Puerto del Rosario es la actual capital de Isla de Fuerteventura y cuenta con alrededor de 40.000 habitantes. El municipio ocupa una franja desde la costa este a la oeste de la Isla y está formado por los pueblos de Tetir, Puerto del Rosario, Casillas del Angel, El Matorral, Tefía, Ampuyenta, La Matilla, Guisgüey y Los Llanos de la Concepción.

Hoy en día, es uno de los seis municipios en que se divide Fuerteventura a nivel de administración local. Pero la isla funcionó con ayuntamiento insular o cabildo único desde los primeros tiempos de ocupación europea hasta 1834 en que iniciaron su andadura los actuales municipios, culminando así el proceso de descentralización iniciado con la redistribución de jurisdicciones parroquiales en 1785.

Durante ese largo periodo la capitalidad administrativa de la isla estuvo consecutivamente en Betancuria, en Antigua durante unos meses y, finalmente, en Puerto de Cabras.

Pero Puerto del Rosario nace al conocimiento cartográfico occidental desde el siglo XV, en cuyos mapas aparece un embarcadero con el nombre de Puerto de Cabras. Las primeras casas que aquí se construyeron con vocación de perpetuidad se levantaron a finales del siglo XVIII para constituir la que durante algunos años fue aldea costera del municipio de Tetir.

En febrero de 1835 comenzaba a funcionar el Ayuntamiento de Puerto de Cabras con un papel preponderante en las relaciones administrativas entre el resto de municipios y la Provincia y el Estado. En 1894 ya tenían su propio muelle y, en 1899, la sociedad La Esperanza, para la explotación y aprovechamiento de las aguas del barranco de Río Cabras (Tesjuate).

En 1925, se fusionan los municipios de Tetir y Puerto de Cabras y, en 1926, éste último agregó al de Casillas del Ángel, ambos colindantes en la zona centro-norte de Fuerteventura. Se consolidó así el término o jurisdicción de la capital de la isla de Fuerteventura.

En la década de 1930 se amplía el muelle comercial y se construye el depósito de aguas La Charca, para abastecimiento de aquella instalación portuaria.

En febrero de 1954 el Consejo de Ministros aprueba la Carta Económica Municipal de los ayuntamientos de Fuerteventura, permitiendo el saneamiento de la economía municipal. En esta época, empieza a plantearse la necesidad de cambiar de nombre al municipio, cambio que se aprueba en el Consejo de Ministros el 16 de marzo de 1956, pasando a llamarse Puerto del Rosario, nombre que mantiene actualmente.

En 1976, tras la muerte de Franco y con la descolonización del Sahara, el Tercio Don Juan de Austria 3º de la Legión, al mando del Coronel Pallás, llega a Puerto del Rosario, permaneciendo en la isla hasta 1995. Siendo bien recibida al principio, aunque no por todos sus habitantes, la llegada de la Legión trajo, por una parte, la dinamización de la economía tanto de la capital como de la isla en su conjunto, y por otra, los problemas y conflictos propios de un repentino crecimiento de la población.



Figura 3.1. Vista aérea de Puerto del Rosario a principios de la década de 1960

Con la transición llega una pérdida de interés por la política municipal que se hace patente con la llegada a alcalde en 1979 de Fermín Vera Moséguez tras haber renunciado al puesto los alcaldes anteriores. A pesar de las dificultades de esta época, Puerto del Rosario inició la etapa democrática en la que se encuentra hoy en día.

4. Descripción de las alternativas

4.1. Alternativa 1: Desarrollo del puerto actual

Como primer alternativa, se plantea el desarrollo del actual puerto de Puerto del Rosario, aprovechando para ello la ampliación y mejora de las infraestructuras actuales y que han sido descritas en la sección 3.1 del presente documento. El desarrollo del puerto actual presenta, básicamente, una ventaja importante y es que aprovecha las infraestructuras actuales, con lo que la inversión requerida se reduce considerablemente. En contrapartida, el desarrollo del puerto actual presenta el inconveniente de: (1) encontrarse limitado por la propia zona urbana, y (2) el posible conflicto entre los vehículos que transportan la mercancía del puerto con el tráfico urbano.

Asimismo, desde el punto de vista estético, el frente marítimo de la ciudad se vería directamente afectado por la construcción de nuevas superficies de tierra, grúas, almacenamiento de graneles sólidos, apilado de contenedores, etc.

Evidentemente, la solución final será un compromiso entre la capacidad de inversión en el puerto y aquella alternativa que evite, y en la medida de lo posible, mejore la actual interacción con la ciudad. A lo largo del diseño de las alternativas propuestas y, en mayor medida, en la alternativa de desarrollo del actual puerto, se ha puesto énfasis en una solución que respete y mejore esta interacción.

En consecuencia, la alternativa 1 de desarrollo del actual puerto presenta dos variantes, en las que se proponen pequeñas modificaciones a una idea original.

4.1.1. Alternativa 1.A

En la primera variante (Alternativa 1A) se propone el desarrollo del puerto en la zona litoral abrigada, localizada al Oeste del espigón. La ampliación se consigue a través de rellenos y muelles, cuya dimensión corresponde con los requerimientos de los condicionantes operativos. Al Este del espigón, entre éste último y la Punta del Gavioto, se propone la construcción de un puerto deportivo y la generación de una playa de uso lúdico.

De esta forma se pretende potenciar el frente marítimo de la ciudad en esta zona, ya que en la actualidad se encuentra muy deteriorado.

La Alternativa 1A consiste en la construcción de un dique de abrigo, como continuación del actual espigón, siguiendo su misma alineación a lo largo de unos 500 m. El dique de abrigo tendría una sección tipo vertical y en el que se podrían colocar en el futuro instalaciones para el atraque y descarga de buques de gas licuado. Asimismo, se propone la posibilidad de continuar el pantalán de atraque actual para buques de granel líquido con la intención de formar dos posiciones de atraque a ambos lados.

La configuración de la Alternativa 1A se presenta en la Figura 3.1. Como se observa, la mayor parte de la superficie terrestre se obtiene de un relleno que sigue, aproximadamente, la configuración de la batimetría al Oeste del espigón actual. En esta Alternativa, la longitud total de muelles es de 2400 m, con una superficie terrestre total de 29,2 Ha y requiere un volumen de relleno de unos 2.220.000 m³. En los muelles del espigón actual se mantienen las embarcaciones Ro-Ro, de graneles sólidos, mercancía general y graneles líquidos. En los muelles

que sustituyen al pantalán de ferries se localizan dos nuevas posiciones de atraque para pasajeros y embarcaciones de carga general. Las tres siguientes posiciones de atraque corresponden a buques de carga general de mayor porte, cruceros y porta-contenedores. La superficie de relleno en esta zona permite el almacenamiento y acopio de los contenedores.

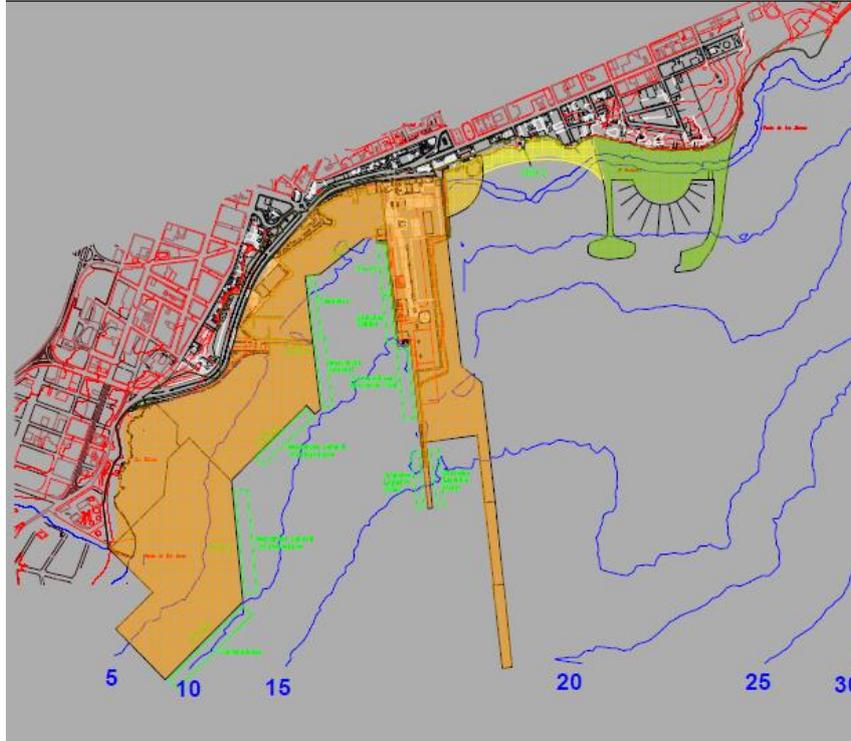


Figura 4.1. Configuración de la Alternativa 1A

Desde el punto de vista del tráfico de vehículos, se plantea un vial interior paralelo a la actual Avenida Ruperto González, en el que se independiza el tráfico portuario del tránsito urbano. De este modo, la salida de las mercancías se efectúa en un punto alejado del centro de la ciudad y con un enlace rápido a las vías de comunicación hacia el resto de la isla. Asimismo, a lo largo de ambas vías se propone la construcción de un paseo marítimo, cuyo fin es reducir el impacto visual del puerto y proporcionar un frente marítimo adecuado a la ciudad.

Al Este del espigón actual, en la Figura 3.1 se observa las instalaciones de un puerto deportivo con capacidad para unas 320 embarcaciones. El puerto deportivo queda protegido por dos diques perpendiculares a la línea de costa de unos 300 m de longitud. El dique de abrigo Este presenta una configuración tal, que permite el acceso al puerto siguiendo una derrota protegida del oleaje del Este y alineado con la dirección del viento dominante. El contradique muestra un morro peculiar cuyo objetivo es doble: primero, proporcionar abrigo a las embarcaciones que amarran en el puerto deportivo y, segundo, ofrecer un apoyo al perfil de la playa que se propone generar. Dicha playa, tendría unos 300 m de longitud, y quedaría flanqueada por el espigón actual y por el puerto deportivo.

El paseo marítimo remata en la playa en una zona semicircular, cuya función es la de apoyar el perfil de la playa estabilizándola, y para ofrecer una zona de esparcimiento o comercial para los habitantes y visitantes de la ciudad.

4.1.2. Alternativa 1.B

La segunda variante (Alternativa 1B) se basa en la alternativa anterior, aunque en este caso el diseño se ha centrado en un objetivo específico: mantener lo más alejado posible el patio de contenedores del frente marítimo de la ciudad. Al mismo tiempo, se ha limitado el desarrollo del puerto a la zona protegida por el espigón actual, quedando así el puerto deportivo dentro de esta zona.

La Alternativa 1B consiste en la construcción de un dique de abrigo a continuación del actual espigón, siguiendo la misma alineación a lo largo de unos 420 m. Detrás del dique de abrigo, se propone un relleno que sigue las dimensiones del espigón actual, con el fin de generar una superficie de tierra de 6 Ha para el almacenamiento y apilado de contenedores.

De esta forma, a lo largo del espigón, se tendrían los muelles de atraque de graneles líquidos (gas), contenedores, graneles sólidos (cemento) y Ro-Ro. La ventaja que ofrece esta configuración es aprovechar las instalaciones actuales de descarga, localizar los portacontenedores en las aguas más profundas que ofrece el puerto, alejar las embarcaciones de gas de la ciudad y disminuir el impacto visual que el apilado de los contenedores provoca en el frente marítimo. La configuración de la Alternativa 1B se presenta en la Figura 3.2.

Al igual que en la Alternativa 1A, el tráfico rodado y vehículos del puerto se mantiene dentro de los límites del mismo, a través de un vial paralelo a la Avenida Ruperto González. Entre ambas avenidas queda, de esta manera, un frente marítimo cedido por el puerto a la ciudad, con la posibilidad de construir áreas verdes, un paseo y aparcamientos, supliendo así una necesidad urbana.

Entre el espigón actual y el muelle de ferries, se propone un relleno con el fin de ganar una superficie al mar para la instalación de una estación marítima, concentrando así los cruceros y ferries que llegan a la isla, permitiendo aumentar el tráfico de pasajeros así como el porte de las embarcaciones turísticas. A continuación de los muelles para cruceros, se propone un relleno cuya configuración se observa en la Figura 3.2. El propósito de esta zona es el atraque de buques de mercancía general, así como el almacenamiento de las mismas.

Finalmente, siguiendo la línea de costa, se plantea un puerto deportivo con capacidad para 200 embarcaciones, protegido por un pequeño dique de unos 220 m de longitud, con su correspondiente contradique de unos 65 m. La entrada al puerto deportivo presenta una configuración tal que queda protegida del oleaje del Este, así como orientada en dirección del viento reinante. Presenta la ventaja adicional de encontrarse fuera del puerto comercial, reduciéndose de esta forma la interferencia con los buques mercantes. La localización del puerto deportivo permite que el tráfico de vehículos hacia él quede directamente vinculado con el vial del puerto, evitando así interferir con el tránsito urbano.

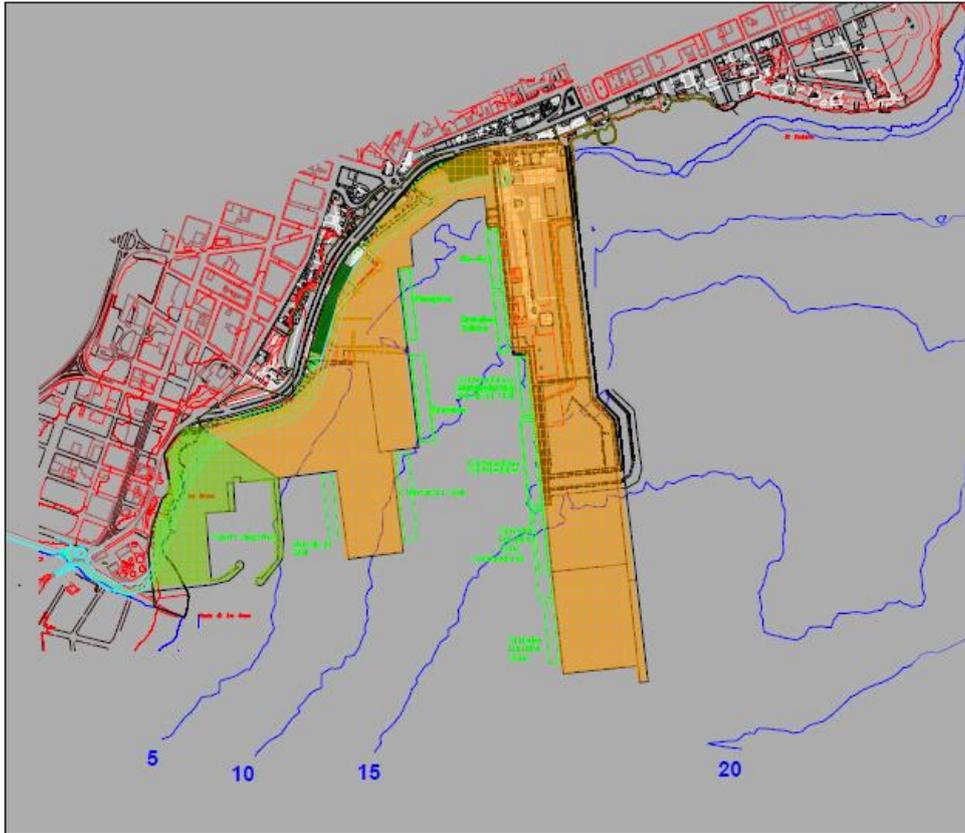


Figura 4.2. Configuración de la Alternativa 1B

La superficie total disponible del puerto que se obtiene es de 29 Ha, con una longitud de muelles de unos 1650 m. Un aspecto a considerar de esta alternativa es su relativa facilidad para crecer en caso necesario, pudiéndose simplemente aumentar en 200 m la longitud de muelles, alargando el dique de abrigo, donde pueden atracar buques de granel líquido (gas).

4.2. Alternativa 2: Puerto Actual y Punta del Gavioto

La Alternativa 2 se plantea como complemento del puerto actual, es decir, considera mantener en uso las instalaciones actuales. En la Alternativa 2 las obras se concentran en el extremo Este de la ensenada, entre Punta de los Hornos y Punta del Gavioto. El mantener ambos puertos en funcionamiento implica que deberán mantener comunicación a través de un vial y el tráfico de vehículos queda orientado hacia el Norte de la ciudad.

Esta alternativa tiene la ventaja de que, al mantener en funcionamiento el actual puerto, la inversión requerida para el nuevo es relativamente menor, comparada con la inversión de un puerto totalmente independiente. La ubicación del puerto en Punta del Gavioto responde precisamente al vínculo que queda entre el puerto actual y el nuevo, localizado en el límite urbano. Por otro lado, históricamente, se han propuesto distintas ideas de desarrollo del puerto en esta zona, por lo que resulta obligado analizar este emplazamiento.

Cabe destacar que, la ventaja de tener la ciudad y, en consecuencia, los servicios urbanos a la mano, puede resultar una desventaja desde el punto de vista de desarrollo del

puerto, ya que los problemas actuales que limitan su crecimiento y los conflictos debidos al tráfico de vehículos que genera el puerto, no quedan resueltos con esta alternativa.

4.2.1. Descripción del emplazamiento

Frente a Punta del Gavioto, la batimetría cae rápidamente, llegando a alcanzar profundidades de más de 20 m a menos de 200 m de la costa. Esta característica es, al mismo tiempo, un arma de doble filo, ya que permite definir los muelles de atraque a corta distancia de la costa, limitando el volumen de relleno necesario, mientras que la construcción de muelles y diques a tanta profundidad es más costosa.

Entre la Punta de Los Hornos y la Punta del Gavioto, la batimetría discurre sensiblemente de NNE a SSW, aunque al Sur de Los Hornos se observa una reducción de la pendiente del fondo. En la Figura 3.3 se presenta la configuración de la Alternativa 2, específicamente la disposición del nuevo puerto en Punta del Gavioto.

4.2.2. Descripción del nuevo puerto

El nuevo puerto queda configurado con un dique de abrigo que parte de Punta del Gavioto en dirección SE. Aproximadamente cuando éste alcanza una profundidad de 22 m, a unos 500 m de la costa, sufre un giro de 90º, orientándose ahora hacia el SW, sensiblemente paralelo a la batimetría a lo largo de unos 350 m. Finalmente, continúa otros 350 m hacia el S, manteniendo también la profundidad.

El contradique parte de tierra hacia el SE desde la Punta de Los Hornos. A 250 m de la costa gira presentando una alineación hacia el S hasta alcanzar una profundidad de 14 m.

La dársena queda conformada con un relleno que remata en los muelles de atraque, cuya orientación es principalmente NE-SW. También se han configurado posiciones de atraque a lo largo de los tramos finales del dique y contradique, orientados de N a S. La orientación de los muelles se rige de acuerdo a la dirección de los vientos dominantes y reinantes en la zona.

El nuevo puerto en Punta del Gavioto ofrece 1300 m de muelles, dispuestos de tal forma que cumplen con los condicionantes operativos del diseño. A lo largo del dique de abrigo se observan puestos de atraque para graneles líquidos (gas) y para buques portacontenedores o de graneles sólidos (cemento). La profundidad mínima en estos muelles ronda los 20 m, por lo que permiten atracar embarcaciones de mayor porte al considerado en los criterios de diseño. A lo largo del contradique se plantean los muelles de atraque para Ro-Ro, contenedores y mercancía general. La superficie de tierra que se obtiene con el puerto de Punta del Gavioto es de 15 Ha y el área de dársenas (superficie de aguas abrigadas) asciende a 22 Ha, aproximadamente.

El puerto actual en Puerto del Rosario queda dedicado para la llegada de cruceros y ferries, aunque según la demanda y a lo largo del proceso constructivo del nuevo puerto, podrían mantenerse las instalaciones de carga y descarga actuales. A largo plazo, en el espigón actual se plantea la instalación de una terminal marítima de pasajeros, con posibilidad de atraque de buques Ro-Ro. En la zona abrigada actual, entre el espigón y el pantalán de ferries, quedaría el puerto deportivo, cuya configuración estaría condicionada por la demanda del mercado, ya que esta área presenta calados suficientes y un nivel de resguardo adecuado del oleaje. La superficie de abrigo permitiría la configuración de un puerto deportivo para hasta 500 embarcaciones.



Figura 4.3. Configuración de la Alternativa 2

De este modo, con la construcción del puerto en Punta del Gavioto, la superficie total de tierra asciende a más de 22 Ha y 1800 m de muelles.

4.3. Alternativa 3: La Hondura

Siguiendo la pauta de alejar el nuevo puerto de la ciudad de Puerto del Rosario, se plantea, como Alternativa 3, el desarrollo del puerto en la ensenada conformada entre la Punta de las Arenas y La Hondura, al N de Punta del Gavioto. Aunque este emplazamiento queda fuera de los límites urbanos actuales de Puerto del Rosario, se mantiene dentro de los límites del término municipal. Esta característica permite eliminar el conflicto entre el puerto y la ciudad, ya que el tráfico de vehículos se conduce directamente por las vías de comunicación que discurren hacia todos los puntos de la isla, librando por completo la ciudad. Como se ha mencionado con anterioridad, el mayor inconveniente de un puerto totalmente independiente es el encarecimiento de la inversión inicial, ya que deberá sustituir al puerto actual.

4.3.1. Descripción del emplazamiento

La batimetría entre La Hondura y Punta de Las Arenas presenta una configuración cóncava, con una pendiente relativamente suave. Particularmente frente a La Hondura, se observa un promontorio con menor profundidad que sigue, aproximadamente, la orografía que se observa en tierra. Frente a Punta de Las Arenas, la batimetría es más abrupta, y alcanza pendientes muy fuertes conforme se aproxima a la Punta del Gavioto.

Siguiendo estas características del fondo, se diseña la configuración del puerto, buscando la mayor profundidad en la entrada del puerto, y tratando de aprovechar los bajos y promontorios para reducir el volumen de relleno.

Entre La Hondura y Punta de Las Arenas no existe ningún núcleo urbano de entidad, por lo que el terreno puede aprovecharse para el desarrollo del puerto, instalación de polígonos industriales o como zona de suministro del material necesario para la construcción del nuevo puerto. En la Figura 3.4 se presenta la configuración de la Alternativa 3, específicamente la disposición del nuevo puerto en La Hondura.

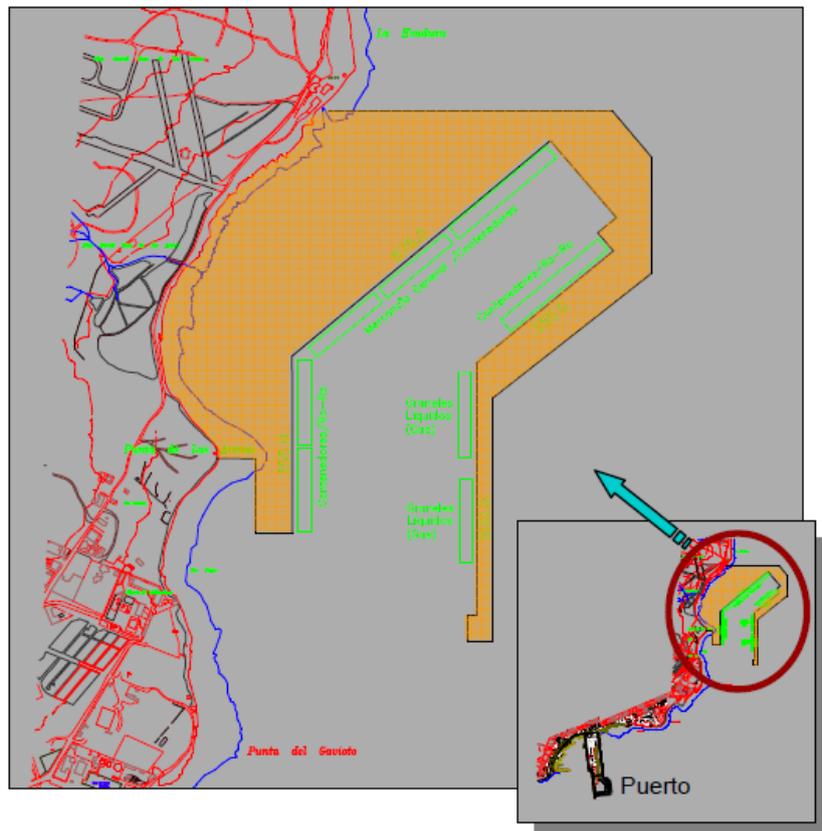


Figura 4.4. Configuración de la Alternativa 3

4.3.2. Descripción del nuevo puerto

En términos generales, la Alternativa 3 se ha diseñado siguiendo los mismos criterios que la Alternativa 2, aunque en este caso las dimensiones del nuevo puerto son mucho mayores. Inicialmente, presenta un dique de abrigo que parte perpendicularmente a la línea de costa en La Hondura hasta alcanzar una profundidad de 20 m. A partir de este punto modifica su orientación, conformando la dársena del puerto. Finalmente, termina con un tramo de 500 m de longitud orientado N-S, que sigue aproximadamente la cota batimétrica -22m. De esta forma, la longitud total del dique de abrigo es de 1750 m.

El contradique parte de la Punta de las Arenas y se dirige también hacia el sur, rematando a 10 m de profundidad. Los muelles de atraque en la entrada del puerto se orientan

N-S, quedando las posiciones de atraque para graneles líquidos a mayor profundidad y los portacontenedores y Ro-Ro más próximos a tierra. La dársena, orientada de NE a SW, permite el atraque de porta-contenedores de mayor porte en los muelles del Este, mientras que en los muelles del Oeste quedan las embarcaciones de mercancía general y graneles sólidos.

De este modo, se alcanzan 1890 m de muelles, con una superficie de tierra útil de más de 29 Ha y una superficie de aguas abrigadas de 34 Ha. El volumen de relleno necesario para conformar el nuevo puerto asciende a más de 4 millones de metros cúbicos.

Esta alternativa también considera aprovechar el espigón actual de Puerto del Rosario para el atraque de cruceros, buques de pasajeros y ferries aunque, en este caso, en exclusiva, a diferencia de la Alternativa 2, donde el uso del puerto actual quedaría compartido con la descarga de mercancía general. Asimismo, en la zona protegida del puerto actual se propone la instalación del puerto deportivo, con una capacidad aproximada de 500 embarcaciones.

4.5. Alternativa 4: Otras Localizaciones

Cabe mencionar, por último, que se ha realizado un análisis preliminar sobre la idoneidad de otras ubicaciones del litoral de Fuerteventura para acoger un puerto comercial que pueda satisfacer la demanda de crecimiento previsto para Puerto del Rosario. El análisis de las condiciones naturales de la costa, dinámica marina, instalaciones actuales y posibilidad de crecimiento señalan como ubicación más adecuada al Puerto de Gran Tarajal.

El puerto de Gran Tarajal se ubica en la costa Sur de la Isla de Fuerteventura, a unos 10 km al Oeste de la Punta Entallada. La orientación de la costa es sensiblemente E-W, lo cual contrasta con la orientación general de la isla SW-NE y confiere a la zona un abrigo natural frente a los oleajes dominantes y reinantes. La costa de la zona adyacente a Gran Tarajal es abrupta y recortada con importantes acantilados. Las únicas formaciones arenosas de entidad se producen en las desembocaduras de los barrancos locales.



4.6. Alternativa seleccionada

De todas las alternativas previamente expuestas, se ha seleccionado la alternativa 2, correspondiente al nuevo puerto situado en la Punta del Gavioto. al ser la que mejor soluciona los problemas actuales del puerto, como se explicará en el apartado 5 y sucesivos de este estudio.

5. Objetivos del proyecto

Actualmente, Puerto del Rosario es el principal puerto de la Isla de Fuerteventura. Su actividad principal es el tráfico de mercancías, destacando la exportación de productos hortofrutícolas, pero también permite el atraque de grandes cruceros turísticos, lo cual ha propiciado un gran crecimiento del tráfico del puerto, con más de un millón de toneladas anuales y 35.000 TEUs.

Este crecimiento en el tráfico del puerto, exige a su vez un crecimiento en las infraestructuras tanto de atraque como de almacén del mismo. El principal problema al que se enfrenta el desarrollo del puerto es la limitación que le supone el núcleo urbano, al estar incrustado en el mismo. Otro de los grandes inconvenientes es el tráfico de vehículos que genera el puerto y que inevitablemente se ve obligado a circular a través del municipio.

Así, el plan de crecimiento del puerto alberga cuatro objetivos fundamentales:

- Incrementar las superficies disponibles, ya que su crecimiento queda cortado por el municipio.
- Dar respuesta al creciente tráfico de mercancías
- Alejar el tráfico rodado de las calles del municipio
- Mejorar las condiciones ambientales y la relación puerto-ciudad, alejando acopios y la manipulación de graneles del mismo.

Específico a este estudio, el objetivo será calcular la cota de coronación de los diques de abrigo pertenecientes a la alternativa elegida en el apartado 4.6.

En este caso, el caudal de rebase que afecta a las áreas de carga y descarga adosadas a los diques de abrigo será el factor limitante que se utilizará en los próximos apartados como criterio para el cálculo de la cota de coronación.

6. Datos de partida

Para poder llevar a cabo el estudio funcional que se plantea, es necesario conocer las condiciones meteoceánicas presentes a pie de los diversos diques de los cuales queremos conocer su funcionalidad.

Dado que es un estudio de funcionalidad, se va a trabajar con regímenes medios de oleaje. El régimen medio representa la distribución estadística de un parámetro de estado de mar en un tiempo determinado y se ajusta a modelos del tipo Gumbel, Exponencial, LogNormal, etc.

Así pues, los datos de partida necesarios serán:

- Batimetría
- Serie de estados de mar desde 1948 hasta 2008
- Nivel de marea astronómica y meteorológica

6.1. Batimetría y topografía

6.1.1 Introducción

A medida que el oleaje se acerca a la costa y se va reduciendo la profundidad, éste sufre una transformación energética debida a su interacción con la superficie batimétrica. Esta transformación energética se ve reflejada en los fenómenos de la refracción, asomeramiento, difracción y disipación de energía debido a la fricción con el fondo.

Si además de la batimetría, incluimos estructuras de protección costera y/o instalaciones portuarias, se producen fenómenos de reflexión, interacción oleaje-estructura e incluso disipación por rotura.

Por lo tanto, previo al estudio y evaluación de la agitación del oleaje en el entorno de las instalaciones portuarias, es necesario tener en cuenta los procesos arriba citados.

6.1.2. Información proporcionada

- Batimetría de detalle de la zona del antiguo puerto proporcionada por el Instituto de Hidráulica Ambiental, Figura 4.1.
- Batimetría de detalle de la zona de estudio (incluyendo el puerto antiguo y Punta del Gavioto), proporcionado por el Instituto Español de Oceanografía y el Sistema de Información Territorial de Canarias, Figura 4.2
- Batimetría general de la zona recogida en las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina.

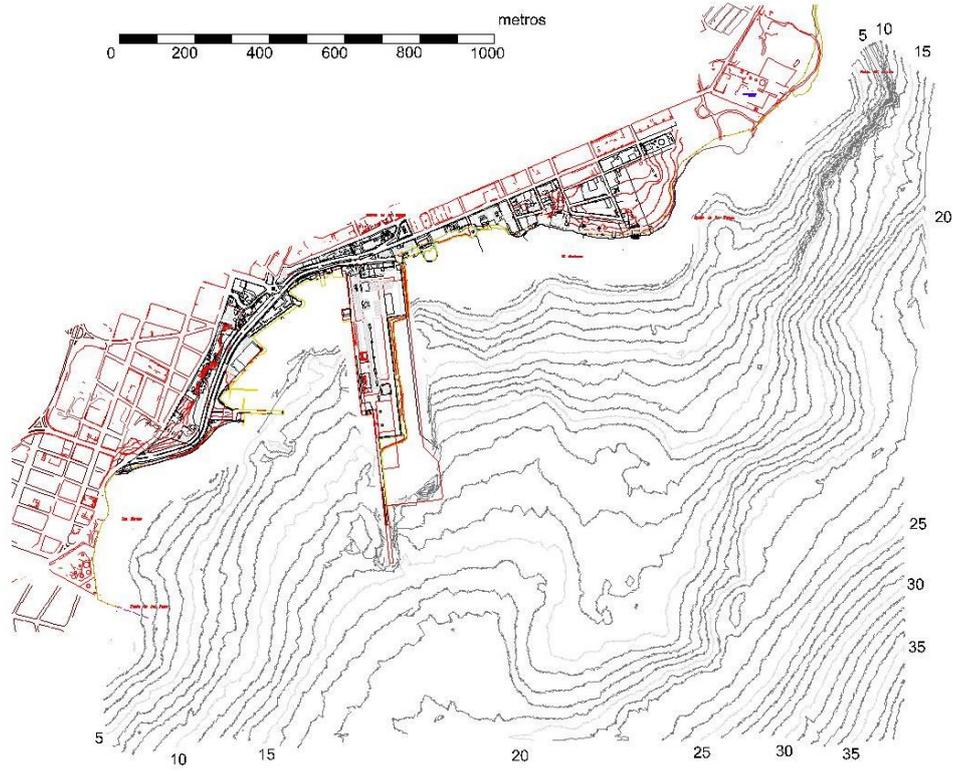


Figura 6.1. Batimetría de detalle de la zona del antiguo puerto

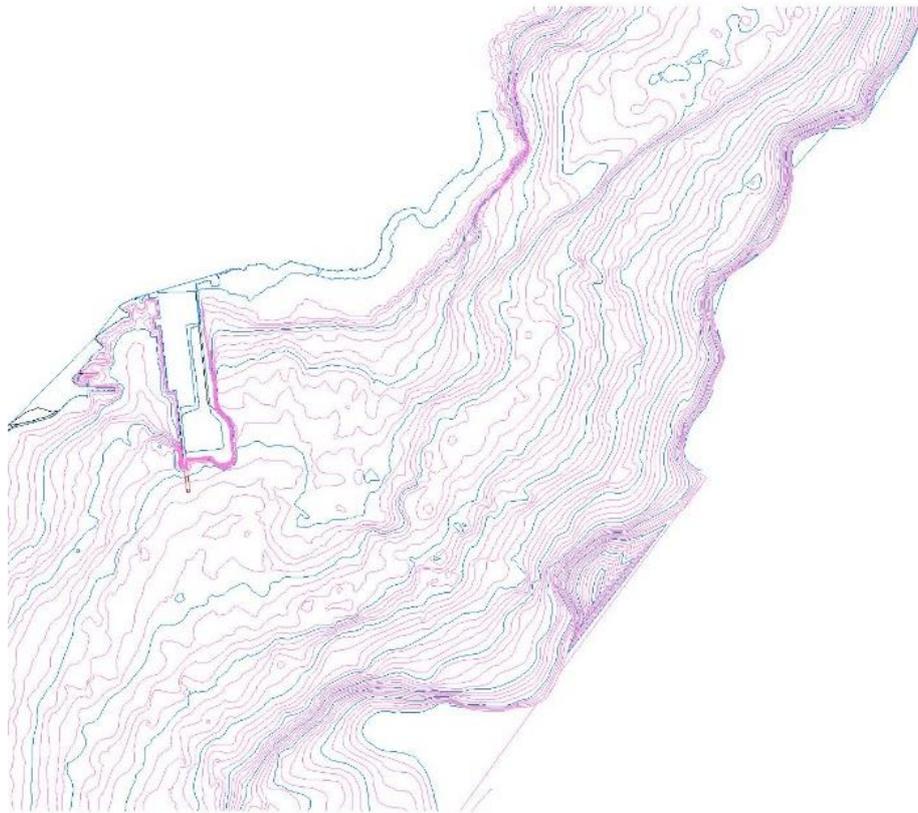
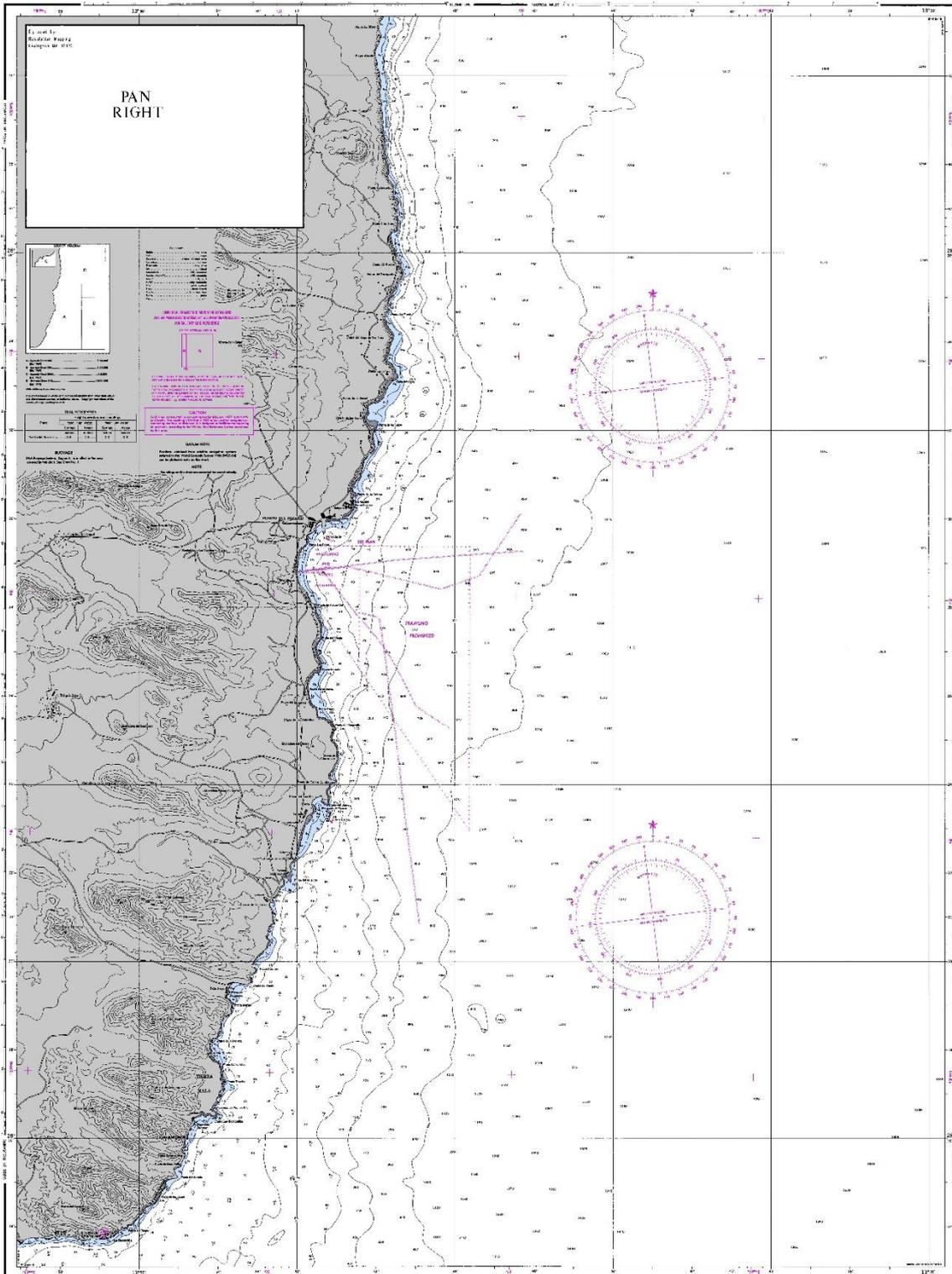


Figura 6.2. Batimetría de detalle de la zona de estudio



6.2. Dinámica marina

En el presente apartado se van a describir los procesos y dinámicas que tienen lugar en la zona de estudio y se han tenido en cuenta durante el estudio.

Se analizarán, por tanto, las variaciones del nivel del mar y la acción del oleaje

6.2.1. Nivel del mar

El análisis del nivel del mar es determinante a la hora del diseño de obras marítimas. El nivel del mar es la resultante de la suma de la marea astronómica (variable determinista predecible en cualquier momento) y la marea meteorológica (variable aleatoria), datos proporcionados por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, en una serie de 35 años (1979-2014).

La marea astronómica se ha obtenido de la base de datos GOT (Global Ocean Tides), mientras que el nivel del mar y la marea meteorológica se ha obtenido de la base de datos GOS (Global Ocean Surge), por lo que el nivel total no coincide exactamente con el nivel de mar facilitado. Por tanto, para estar del lado de la seguridad, se ha utilizado el nivel de marea obtenido de la base de datos GOS, ya que su valor es mayor al de la suma. Además, se ha desechado el primer mes ya que hay inestabilidades en la marea meteorológica por estabilización del modelo.

Por tanto se concluye que, tras analizar todos los datos, el máximo valor de nivel de marea es 1.56959 m y el mínimo -1.55546 m; valores utilizados en la propagación del oleaje desde la boya localizada en aguas someras hasta el punto objetivo, es decir, delante de los diques de estudio.

Los datos de marea astronómica se ajustan a una distribución Extreme Value con unos valores de sus parámetros de: $\xi = -0.34777$; $\sigma = 0.65967$; $\mu = -0.21003$.

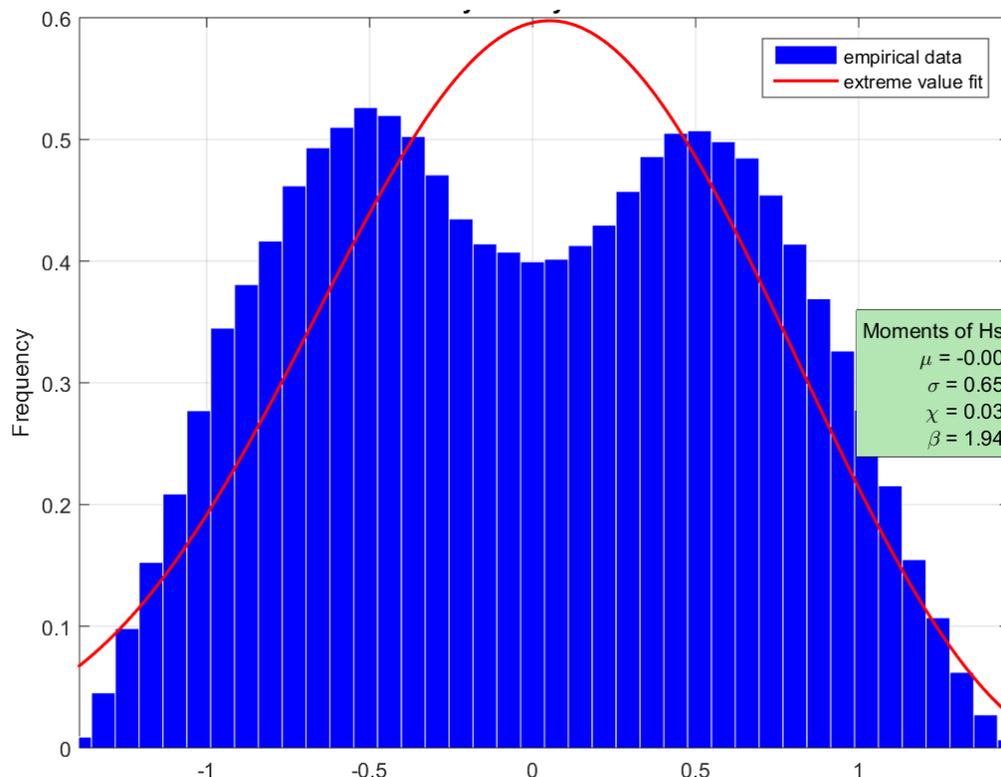


Figura 6.4. Ajuste marea astronómica

Por otro lado, los datos de marea meteorológica lo hacen a una distribución T-Student con unos valores de sus parámetros de: $\mu=0.00091606$; $\lambda=0.036733$; $\eta=16.3344$.

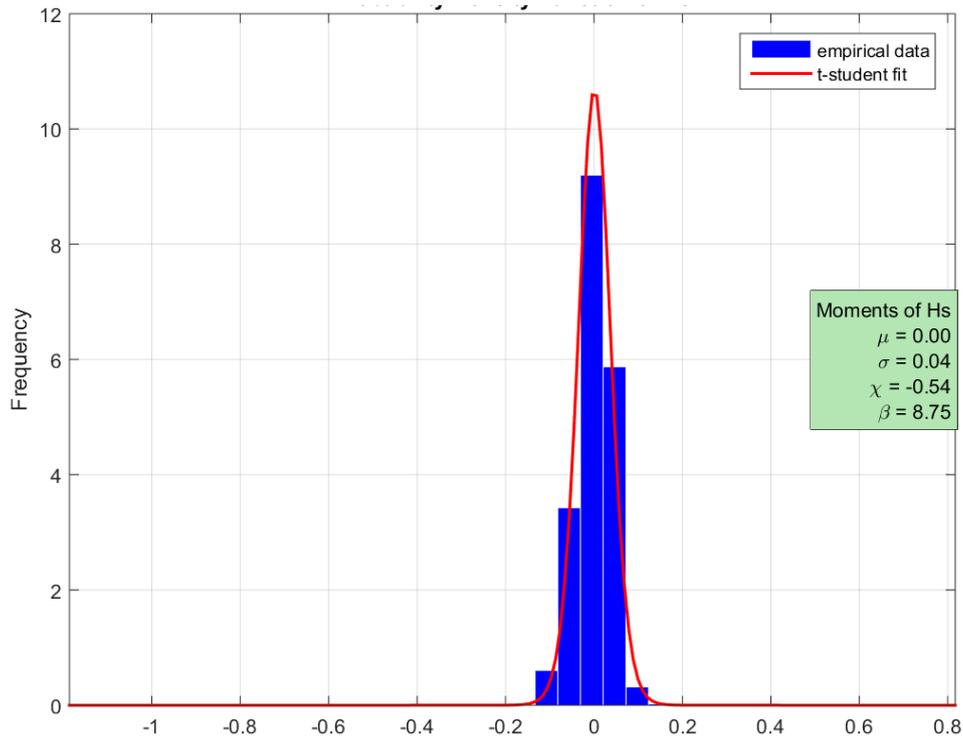


Figura 6.5. Ajuste marea meteorológica

6.2.2. Oleaje

El presente apartado tiene como objetivo describir los datos de oleaje recibidos. Se analizarán las distintas funciones de distribución del oleaje medio anual, en aguas someras y, finalmente, el que alcanza los diques que constituyen el nuevo puerto considerado en la Alternativa 2. Asimismo, se incluirá una descripción del procedimiento seguido para la construcción de los regímenes, así como de los modelos numéricos empleados en la propagación del oleaje.

6.2.2.1. Fuentes de datos

Para el análisis del régimen medio se debe tomar la población total teniendo especial cuidado con la presencia de huecos, calmas y datos anómalos. El punto de la base de datos utilizada tiene coordenadas 13.8535 W y 28.488 N y profundidad 18.8757 m. La base de datos DOW y GOT procede del Instituto de Hidraulica Ambienta, IH-Cantabria. GOW (Global Ocean Waves) y DOW (Downscaling Ocean Waves) constituyen dos bases de datos que proporcionan una reconstrucción de diversos parámetros del oleaje durante las últimas décadas. GOW cubre todo los océanos del mundo e informa sobre el oleaje hasta aguas costeras. DOW proporciona información exclusivamente en el litoral, donde el oleaje se ve afectado por la batimetría de fondo y procesos locales.

El punto de estudio se encuentra en el archipiélago canario el cual está bañado por el Océano Atlántico, donde, como se ha visto, el oleaje presenta una familia principal ENE. Con el objetivo de hacer un análisis riguroso del clima marítimo se estudiaran el conjunto de todos los

datos. De este punto, se proporcionan los estados de mar formados por: la altura de ola significativa (H_s), el periodo medio (T_m), el periodo pico (T_p), la dirección del oleaje (Dir) y la marea, desde el año 1948 al 2008.

Sin embargo, de esta población total de 540.000 estados de mar, se toma el rango de direcciones de 25 a 210° y se descartan los estados de mar que tengan direcciones fuera de ese rango debido a las condicionantes físicas del puerto. Además, cambiamos el período de los estados de mar cuyo período es inferior a 6s y se iguala a 6s, porque periodos menores no se pueden propagar con la versión de estudiante de MANOLO. Después de esta preselección de datos, se cuentan con 528,384.

6.2.2.2. Regímenes de oleaje en el punto de la base de datos

Mediante el programa de Matlab, Ameva, se estudia la estadística descriptiva del oleaje, obteniendo las rosetas de H_s y T_p que se muestran en la Figura 4.4 y Figura 4.5, respectivamente.

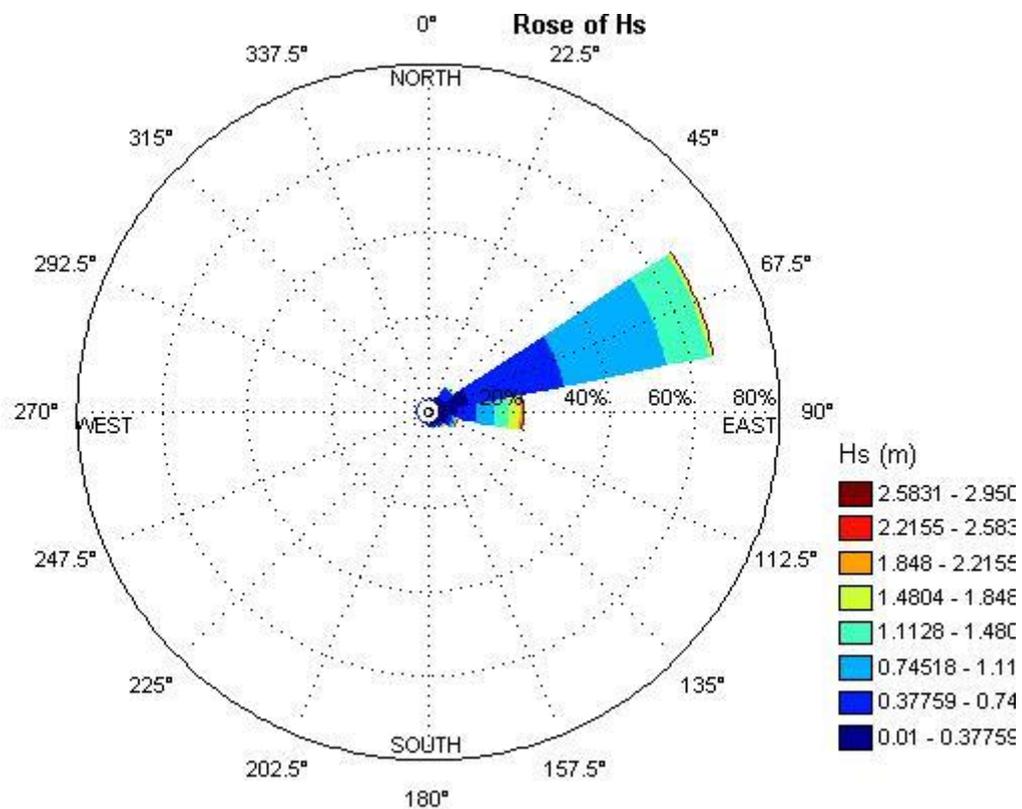


Figura 4.4. Roseta de H_s

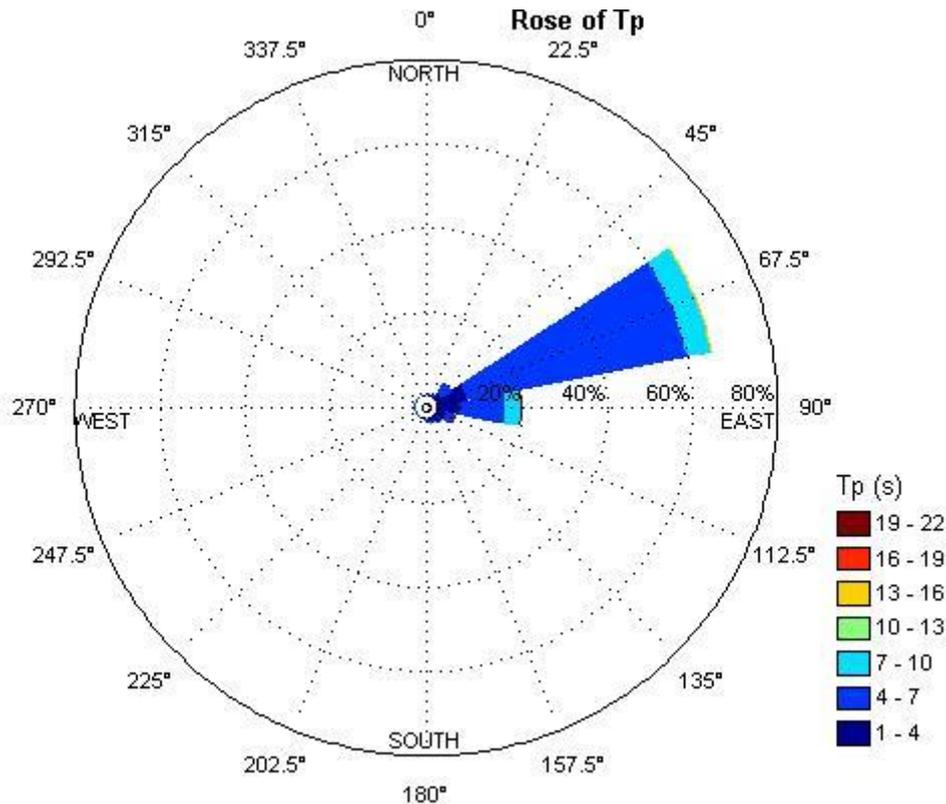


Figura 4.5. Roseta de Tp

Observando la roseta de oleaje, se puede ver que el oleaje presenta una familia principal ENE. Esta dirección representa los mayores porcentajes de oleaje y el origen de las mayores olas.

Para la serie completa de alturas de ola significativa se utiliza Ameva, un programa realizado con Matlab, que compara los datos con las funciones: Normal, Uniform, Lognormal, Weibull, Weibull min, Weibull max, Gumbel, Extreme Value, Pareto, Exponential, Rayleigh, Gamma, Logistic y T-student. El mejor ajuste es para la distribución Weibull min.

En la Figura 4.6 se representa la función de densidad de probabilidad. Los valores empíricos de altura de ola (barras azules) y el ajuste a la distribución (línea roja). También aparecen representados los valores de los parámetros obtenidos: $\lambda = -0.0056095$, $K = 2.0699$ y $S = 0.86522$.

$$f(x) = \frac{s}{k} \left(\frac{x - \gamma}{k} \right)^{s-1} e^{-\left(\frac{x - \gamma}{k} \right)^s}$$

Fórmula 4.1 Función de densidad de probabilidad de Weibull Min

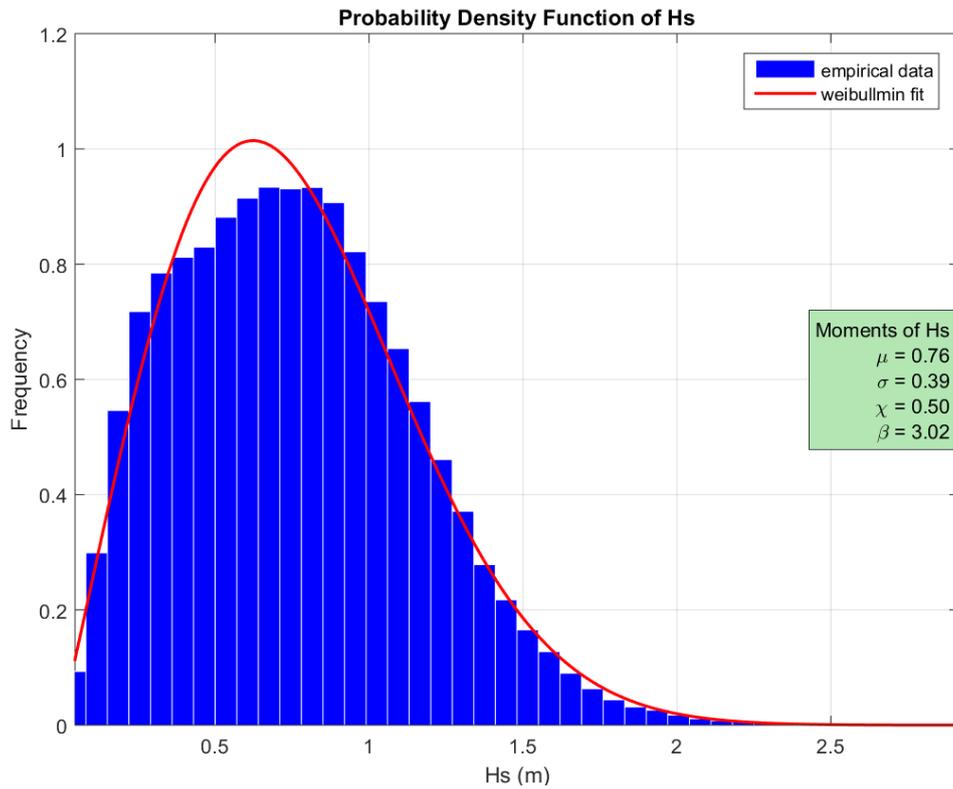


Figura 4.6. Ajuste de la distribución

A partir de los datos proporcionados, y seleccionando un umbral del 99%, se seleccionan los datos extremales, con lo que después se reconstruye el régimen extremal correspondiente al punto de origen de los datos, Figura 4.7.

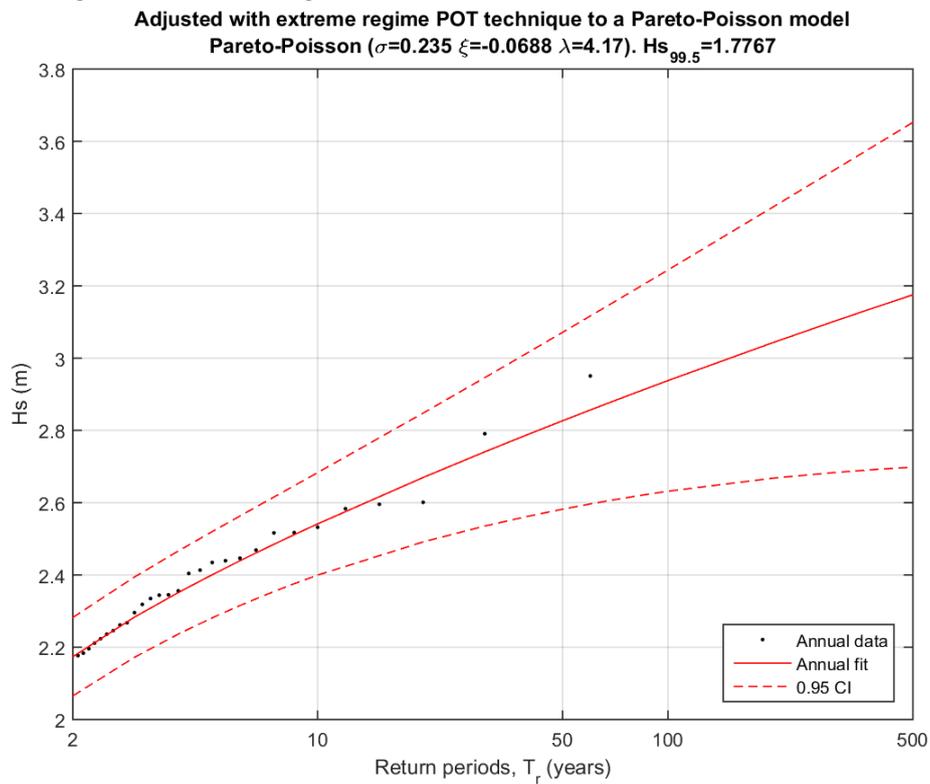


Figura 4.7 Régimen extremal. Gráfica Periodo de retorno-Hs

7. Propagación del oleaje

7.1 Introducción

La propagación del oleaje cumple dos objetivos en este trabajo. En primer lugar, las figuras de propagación permiten obtener una imagen cualitativa y cuantitativa del proceso de propagación desde profundidades someras hasta la zona de entrada del nuevo puerto, permitiendo detectar zonas de concentración o expansión del oleaje. En segundo lugar, los resultados de las propagaciones permiten crear ficheros de propagación en unas áreas seleccionadas, de manera que sea posible propagar posteriormente los regímenes desde profundidades someras hasta dichas áreas.

Al propagarse el oleaje hacia la costa, se producen fenómenos de modificación de los frentes de onda que afectan a la distribución espacial de la energía, ya pueda ser por refracción, difracción, asomeramiento, rotura, disipación de energía por fricción con el fondo, etc.

El modelo numérico MANOLO empleado para la propagación desde profundidades indefinidas, permite la propagación con el modelo MSP de un espectro monocromático de oleaje definido por la altura de ola significativa, el periodo de pico y la dirección del oleaje. La malla realizada, se representa en la figura 5.1.

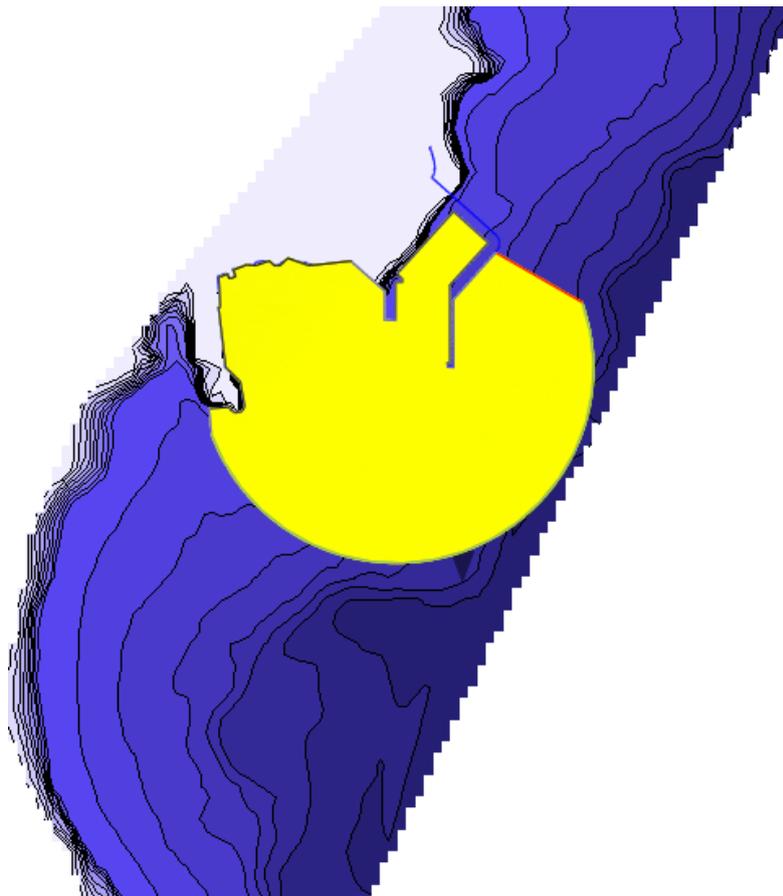


Figura 7.1 Malla MANOLO

Las hipótesis realizadas son:

1. Una única malla con una corona que abarque todas las direcciones del oleaje.
2. La malla dibujada no considera el puerto pesquero, se considera que el oleaje que alcanza esta zona se disipa.
3. Oleajes con periodo pico menor a 6s, se consideran igual a 6s porque de otra forma MANOLO no es capaz de ejecutarlo.
4. Tamaño de malla ajustado a periodo mínimo igual a 6s para que tenga el mayor detalle posible.
5. Menor número posible de nodos que definen la malla para que se pueda ejecutar la misma.

La propagación de la base de datos desde el punto exterior a los puntos de estudio se realiza seleccionando una serie de casos, realizando la propagación y después interpolando todos los datos sobre los datos propagados. De esta manera, se obtiene la base completa de datos en los puntos propagados.

Así, en primer lugar, se seleccionan 50 casos para analizar primero con nivel de marea igual a 1.56959m. Para realizar esta selección, se utiliza el algoritmo MDA (Maximum Dissimilarity Algorithm), este algoritmo realiza una selección de datos con valores extremos y opuestos entre sí dentro de la nube de datos. Por tanto, es adecuada para este tipo de análisis, ya que considera los valores extremos que podrían ser peligrosos en una obra costera con una vida útil de al menos 100 años. Además son representativos ya que no es un análisis aleatorio, sino que de cada dato se coge aquel que está más separado del anterior. Se muestran los resultados utilizando el algoritmo MDA, en 2D, figura 5.1 y en 3D, figura 5.2. Los puntos negros representan la base de datos inicial y los puntos rojos, los datos seleccionados.

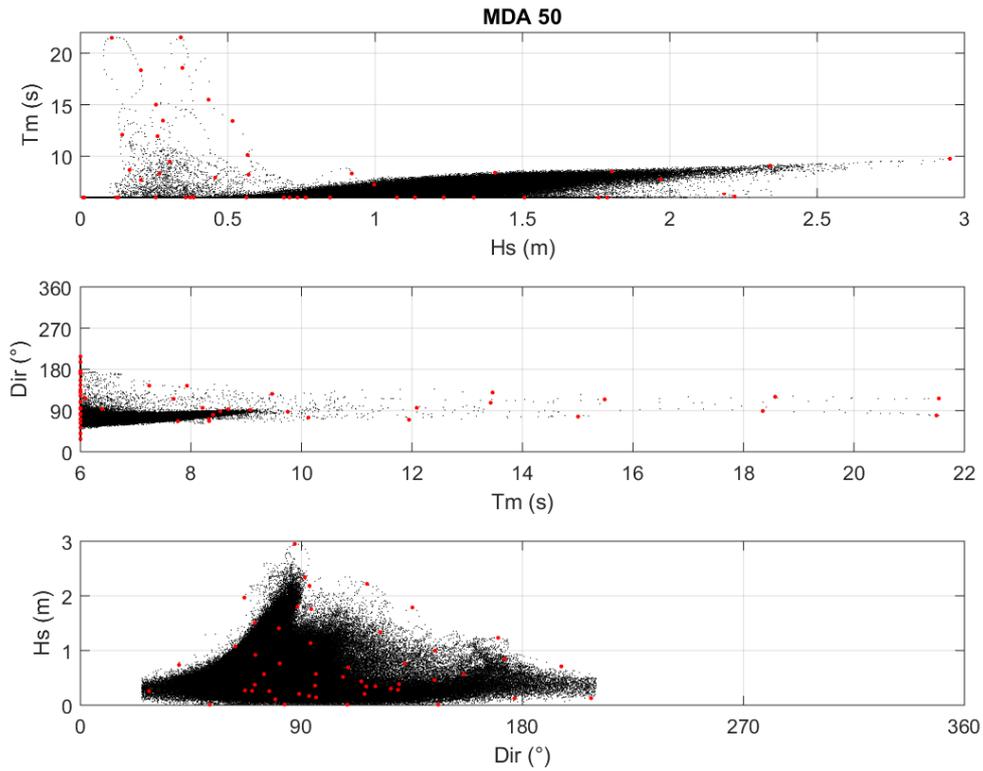


Figura 7.2 Selección de datos MDA en 2D

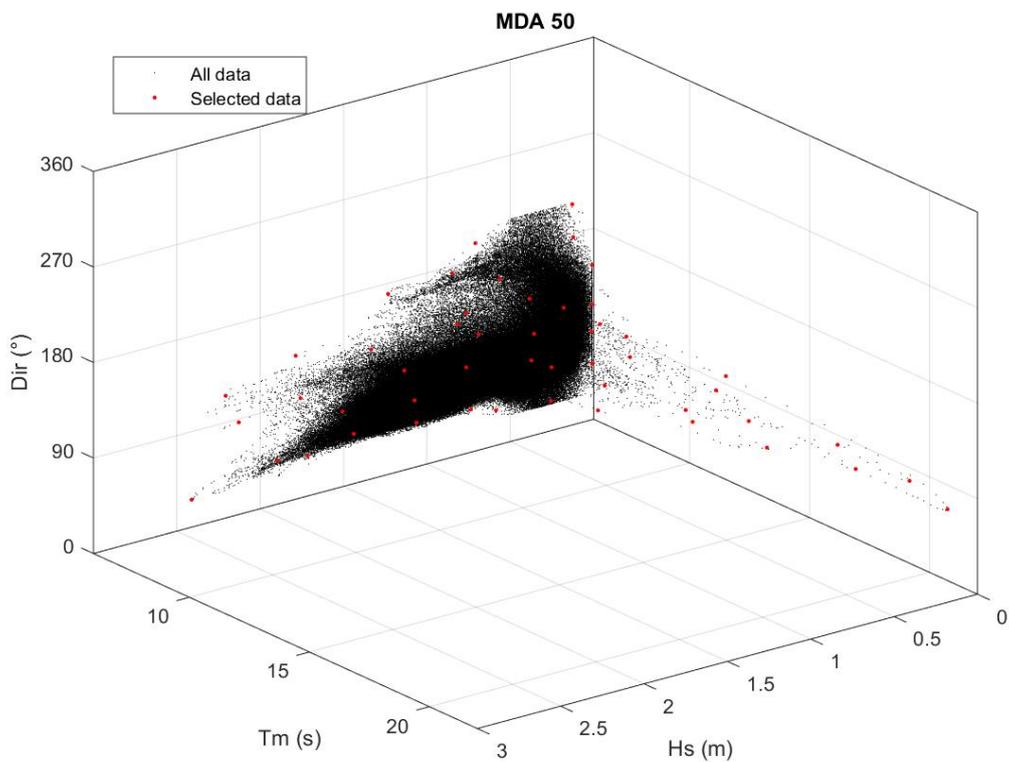


Figura 7.3 Selección de datos MDA en 3D

Además, se realiza la misma selección con SOM (Self-Organizing Map), otro algoritmo que presenta, de manera automática, un mapa en el cual se puede observar una descripción intuitiva de la similitud entre los datos. Por tanto, SOM incluiría datos próximos entre sí, menos adecuados para este tipo de análisis. La figura 5.4, muestra esta selección en 2D, y la figura 5.5, la misma selección pero en 3D.

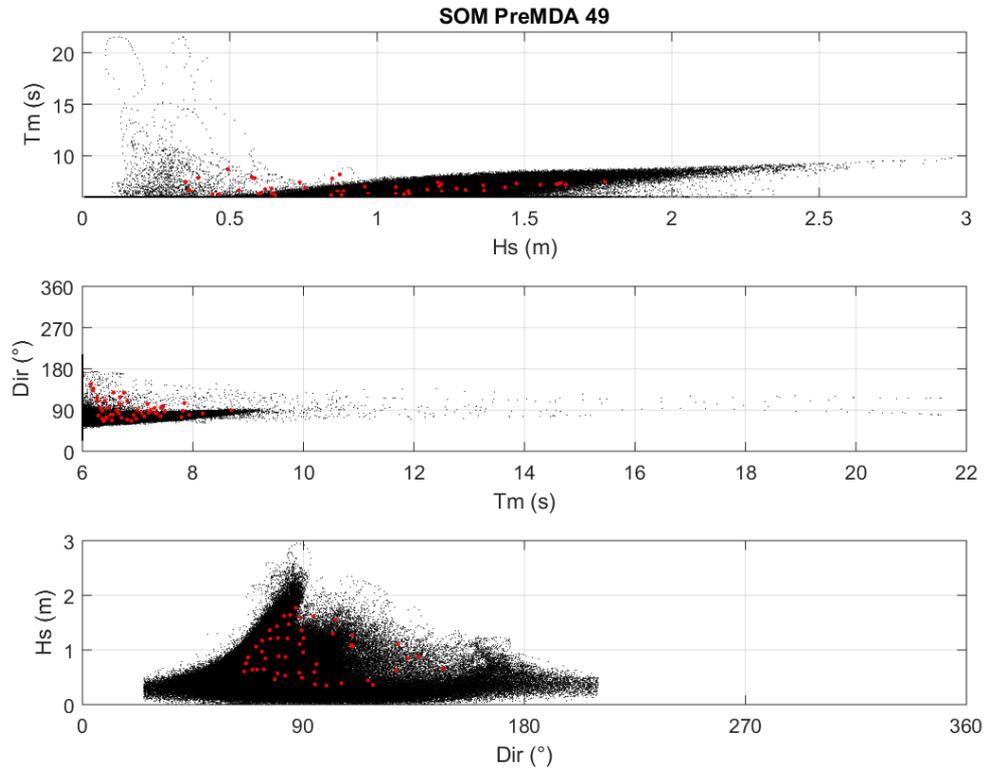


Figura 7.4 Selección de datos SOM en 2D

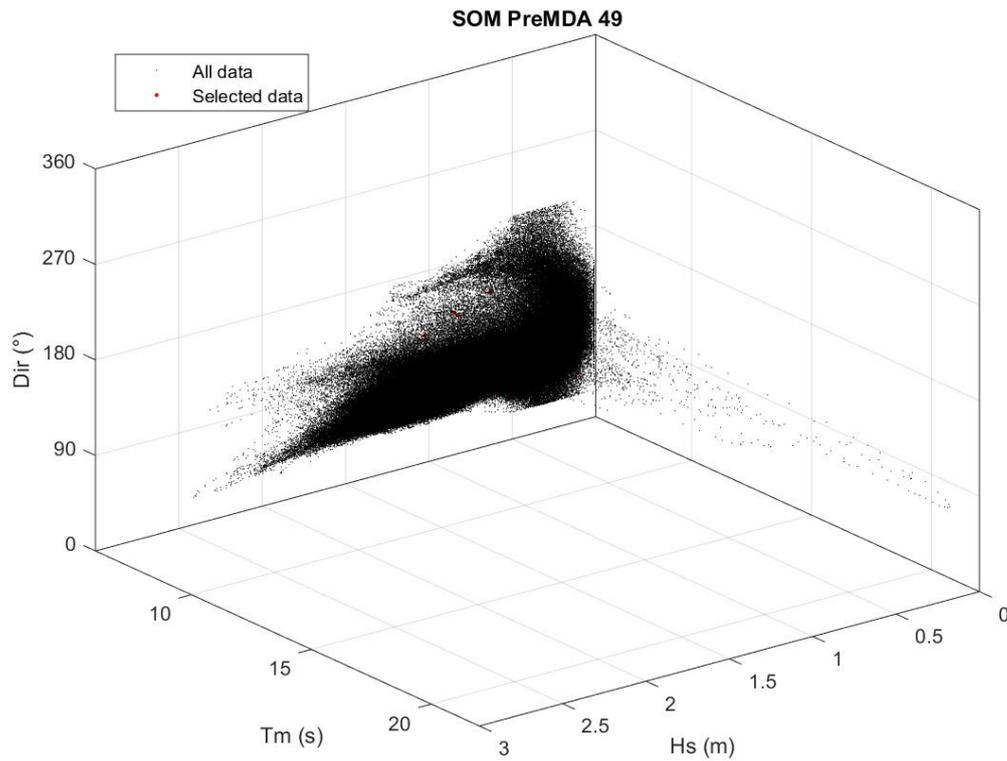


Figura 7.4 Selección de datos SOM en 3D

Por tanto, se concluye que los datos seleccionados con MDA son los que se utilizarán para este estudio. Se adjunta la tabla 5.1 con los datos seleccionados a partir de MDA y utilizados para propagar.

Tabla 7.1
 50 casos seleccionados con MDA

Caso	HS	TP	DIRº
1	2.95072	9.75265	87.2747
2	0.10645	21.49320	79.3248
3	0.12812	6.00000	207.9730
4	0.25587	6.00000	27.9482
5	1.33453	6.00000	122.0640
6	0.27995	13.45940	129.3240
7	0.01000	6.00000	108.6950
8	0.56713	10.12500	74.7604
9	1.96869	7.76516	66.7564
10	0.56364	6.00000	156.1120
11	1.07424	6.00000	63.0420
12	0.25645	15.00670	76.8827
13	0.34603	18.57330	120.1140
14	2.22002	6.09045	116.6960
15	0.30297	9.46793	126.4320
16	0.37274	6.00000	71.0287
17	1.23283	6.00000	170.1150
18	0.69050	6.00000	109.0730
19	0.14179	12.08640	95.9569
20	1.40727	8.40052	80.8122
21	0.70954	6.00000	195.8420
22	2.34093	9.07611	91.3994
23	1.75829	6.00000	93.9644
24	0.01000	6.00000	145.6780
25	0.16685	8.67701	93.1158
26	0.34068	21.53600	116.4150
27	0.99682	7.24614	144.4540
28	0.20523	18.34940	89.0482
29	0.12279	6.00000	176.7380
30	0.73653	6.00000	40.1429
31	1.13533	6.00000	93.7346
32	1.78737	6.00000	135.1830
33	0.92074	8.32584	71.2307
34	0.43468	15.48840	114.3760
35	0.01000	6.00000	52.6685
36	0.38428	6.00000	129.7700
37	1.50687	6.00000	70.9044
38	0.26872	8.33048	67.0112
39	0.26175	11.94680	69.8909
40	0.45716	7.92888	144.1970
41	0.76405	6.00000	81.1374
42	0.51613	13.42460	106.9490

43	1.80329	8.53272	88.4137
44	0.57061	8.21032	95.8807
45	0.01267	6.00000	83.1250
46	0.35688	6.00000	95.5629
47	0.20517	7.68814	115.7070
48	2.18446	6.39163	93.2556
49	0.84717	6.00000	172.8150
50	0.76529	6.00000	132.1280

En segundo lugar, se dibuja la malla en MANOLO teniendo en cuenta las consideraciones previamente descritas y los diferentes coeficientes de reflexión que se presentan en los distintos tramos de costa. Así, el contorno costero de la malla resultará como en la figura 7.5

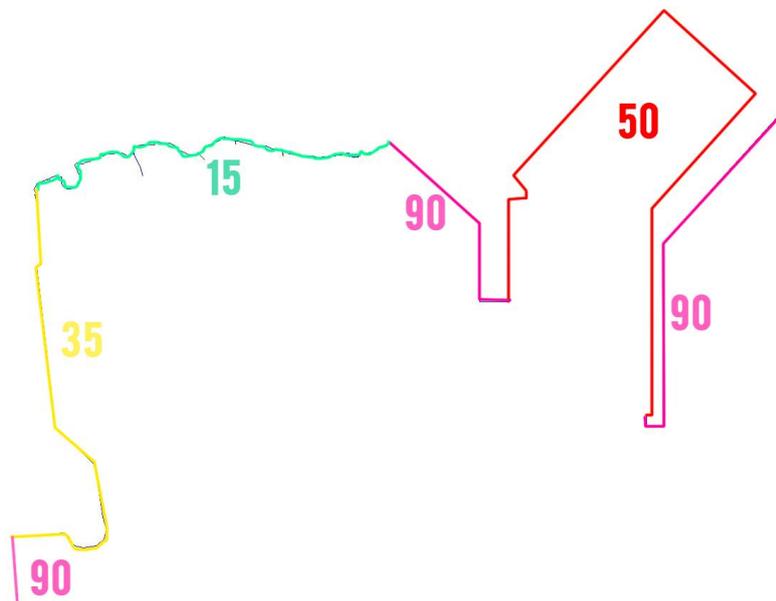


Figura 7.5. Coeficientes de reflexión (%)

Finalmente, se ejecuta cada estado de mar seleccionado.

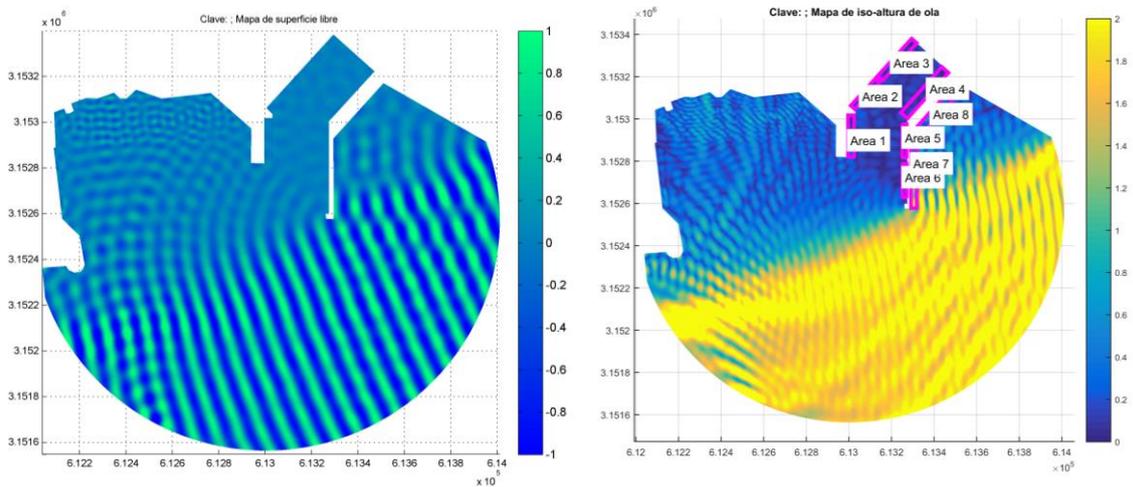
Como se va a ver en el apartado 7, en el presente estudio se utilizan las fórmulas del Eurotop para el cálculo del rebase. Esta formulación tiene en cuenta el oleaje propagado sin la existencia del dique. Es decir, la malla debería definirse únicamente con los contornos costeros, sin incluir los propios del puerto nuevo.

Como no ha sido posible realizar dos veces las propagaciones debido a falta de capacidad numérica, se han realizado las propagaciones incluyendo el puerto. Esto hace que a los fenómenos de intercambio energético con el fondo marino, deba incluirse la reflexión frente al dique, provocando así que las olas frente a los diques sean mayores que las originales en el punto de partida, obteniendo un valor de francobordo mayor que el estrictamente necesario. Por ello, al estar del lado de la seguridad, se darán los resultados obtenidos en el apartado 7 como buenos.

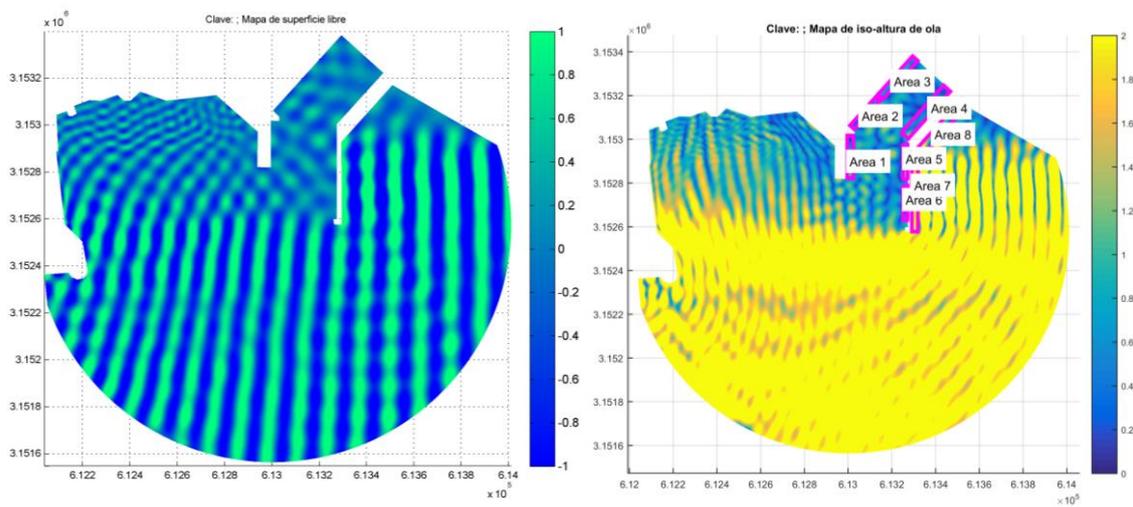
7.2. Resultados de la propagación

Los resultados obtenidos en cada propagación se almacenan en gráficas de iso-alturas de ola significativa y en mapas de superficie libre. Para ejemplificar los mismos, se han seleccionado dos casos representativos, el caso 9 y el caso 22, ya que la dirección del oleaje proviene de las principales direcciones: Este-Noreste (caso 9) y Este (caso 22).

En las siguientes figuras aparecen los mapas de superficie libre e iso-altura de ola para los dos casos mencionados, respectivamente.



Figuras 7.6 y 7.7, caso 9, mapa de superficie libre e iso-altura de ola respectivamente.



Figuras 7.8 y 7.9, caso 22, mapa de superficie libre e iso-altura de ola respectivamente.

De estas gráficas se puede interpretar como la disposición de los diques en esta alternativa disipa el oleaje casi en su totalidad, protegiendo las dársenas de atraque interiores.

A partir de las gráficas de iso-alturas de H_s , se obtienen los datos numéricos de las H_s propagadas frente a los dos diques de abrigo principales, áreas 1 y 2, con el fin de determinar sus cotas de coronación respectivas a partir del rebase permitido en ambos.

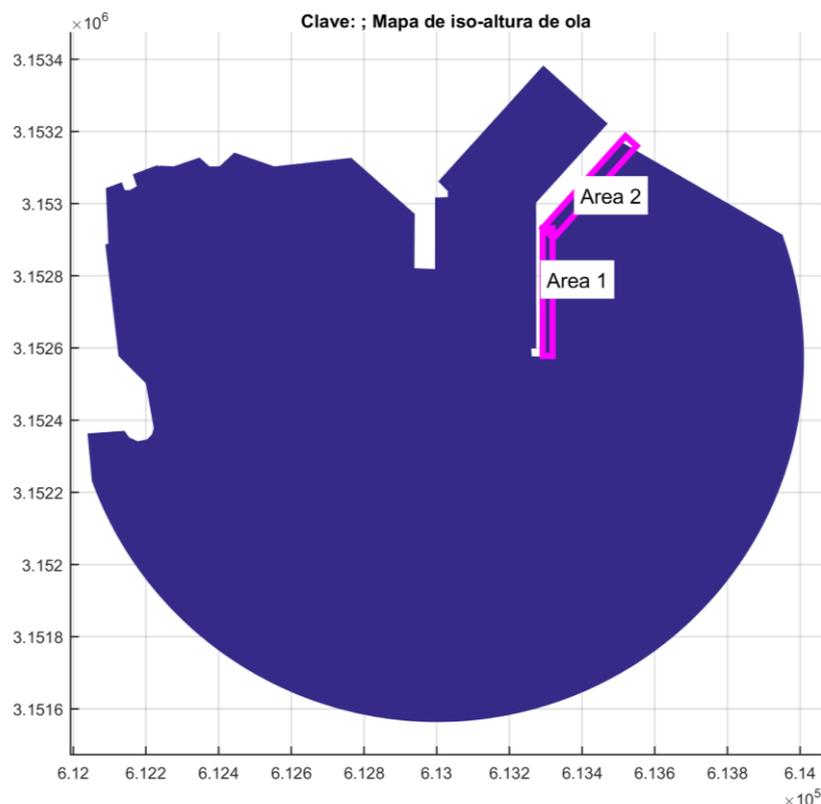


Figura 7.10. Disposición de las áreas de estudio

A continuación se muestra la tabla 7.2 con las coordenadas que definen las dos áreas rectangulares.

Tabla 7.2

Áreas de estudio frente a los diques de protección.

Área	Coordenadas UTM	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
1	X	613291.622	613291.622	613319.017	613319.017
	Y	3152931.724	3152577.678	3152577.678	3152931.724
2	X	613291.622	613519.726	613549.97	613321.866
	Y	3152931.724	3153186.94	3153159.908	3152904.692

Una vez definidas, mediante Matlab, se leen las gráficas iso-altura y se determinan las Hs mínima, promedio y máxima para cada área. Poniendo como ejemplo el caso 1, se obtienen los siguientes valores.

Tabla 7.3

Caso 1. Estado de mar

HS	TP	DIRº
2.95072	9.75265	87.2747

Tabla 7.4

Caso 1. Valores de Hs frente al dique

	Area_7	Area_8
Hs_minimo (m)	0.28613	0.04735
Hs_promedio (m)	3.32352541	1.06605143
Hs_maximo (m)	5.97783	3.26087

Como se puede observar, en función de la dirección del oleaje, se pueden registrar oleajes mayores a los iniciales debido a procesos principalmente de reflexión.

7.3. Coeficiente de agitación

Para este estudio, se considera el resultado de la Hs promedio, ya que se trata de un análisis de operatividad y por tanto se trabaja con regímenes medios, no extremos. Para cada uno de los 50 casos se calcula el coeficiente de agitación.

El coeficiente de agitación es el cociente entre la altura de ola propagada y la altura de ola en profundidades someras en este caso.

$$Ca = \frac{Hs}{Ho}$$

Ca = coeficiente de agitación

Hs = altura de ola significativa propagada

Ho = altura de ola significativa en profundidades someras.

Las siguientes tablas muestran los coeficientes de agitación obtenidos para los 50 casos de alternativa inicial para cada una de las áreas.

Tabla 7.5
Coefficientes de agitación

Caso	Área 1	Área 2			
1	1.126344	0.361285	26	3.230377	1.077352
2	1.138878	0.813552	27	1.552144	1.684515
3	0.453693	0.36874	28	1.449821	1.048567
4	0.059831	0.044619	29	1.090899	1.269534
5	1.100298	1.280276	30	0.093522	0.06758
6	2.467418	1.562856	31	1.171412	0.372689
7	1.194632	1.05643	32	1.104854	1.262503
8	0.879116	0.243436	33	0.621853	0.199493
9	0.394668	0.136733	34	2.348301	0.704402
10	1.627168	1.906699	35	0.150225	0.083608
11	0.273959	0.111059	36	0.003927	0.002178
12	1.061871	0.279605	37	0.493165	0.149459
13	2.803612	1.090694	38	0.516546	0.171442
14	0.923392	0.934532	39	0.909821	0.336652
15	1.566562	1.033908	40	1.635504	1.607809
16	0.492532	0.149	41	0.847721	0.192817
17	1.376602	1.46211	42	2.021656	0.762686
18	1.182768	1.066676	43	1.057918	0.287683
19	1.53443	0.537555	44	1.162694	0.33551
20	0.919021	0.27678	45	0.722326	0.166889
21	0.585601	0.667867	46	1.218626	0.443417
22	1.195446	0.373667	47	1.2903	0.961045
23	1.052154	0.37696	48	0.931569	0.365814
24	1.357464	1.831783	49	1.2828	1.414407
25	1.184917	0.306905	50	1.129956	1.519884

El coeficiente total es igual al coeficiente de agitación debido a que no existe otro tipo de acción que afecte a la propagación del oleaje en las áreas de estudio.

8. Reconstrucción de los regímenes medios frente a los diques

Una vez efectuadas las propagaciones del oleaje, es posible realizar la propagación de toda la base de datos a las 2 áreas objetivo. Dicha propagación se realiza asignando a cada dato de profundidades someras, un dato en el punto objetivo e interpolando el resto de la base de datos sobre el oleaje propagado. Los datos necesarios para realizar la reconstrucción de los estados de mar en el nuevo puerto de Puerto del Rosario son:

- Datos iniciales
- Datos modificados (tras la pre-selección)
- Datos seleccionados (50 estados de mar con MDA)
- Coeficientes totales

Tras la reconstrucción, aparecen "Nans", o valores no definidos, que se generan porque algunos oleajes quedan fuera de la triangulación para la interpolación. Las hipótesis consideradas son:

- El T_p en las áreas objetivo no varía.
- Los estados de mar con T_p menor a 6s utilizan el coeficiente total para dicho periodo límite.
- Los Nans son muy pocos (7609) con respecto a los datos reconstruidos (526391), por tanto, es aceptable.

Los datos se obtienen tanto numérica, como gráficamente (Figura 8.1) en series que representan la Hs tanto fuera como en las 2 áreas.

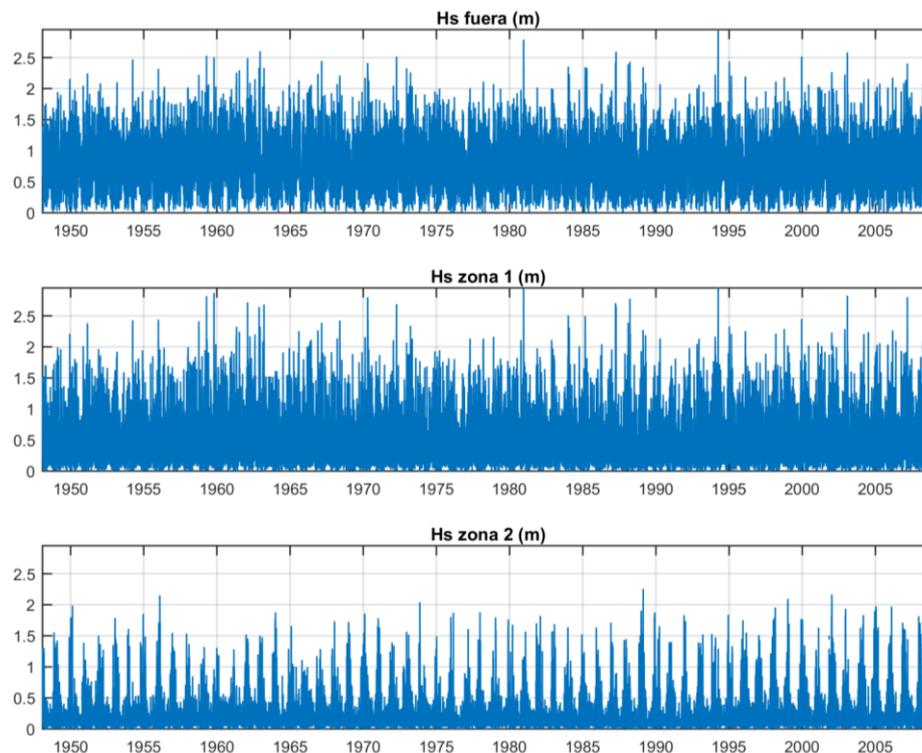


Figura 8.1. Hs reconstruidas en las distintas áreas objetivo

Después de propagar la base de datos hasta el punto objetivo, la determinación de los regímenes medios, se realiza siguiendo la misma metodología empleada en profundidades someras.

Para el área 1 se obtiene que el mejor ajuste se realiza con la función Gamma, Figura 8.2. Los parámetros para esta distribución son los siguientes: k : 1.6525 y θ : 0.28465.

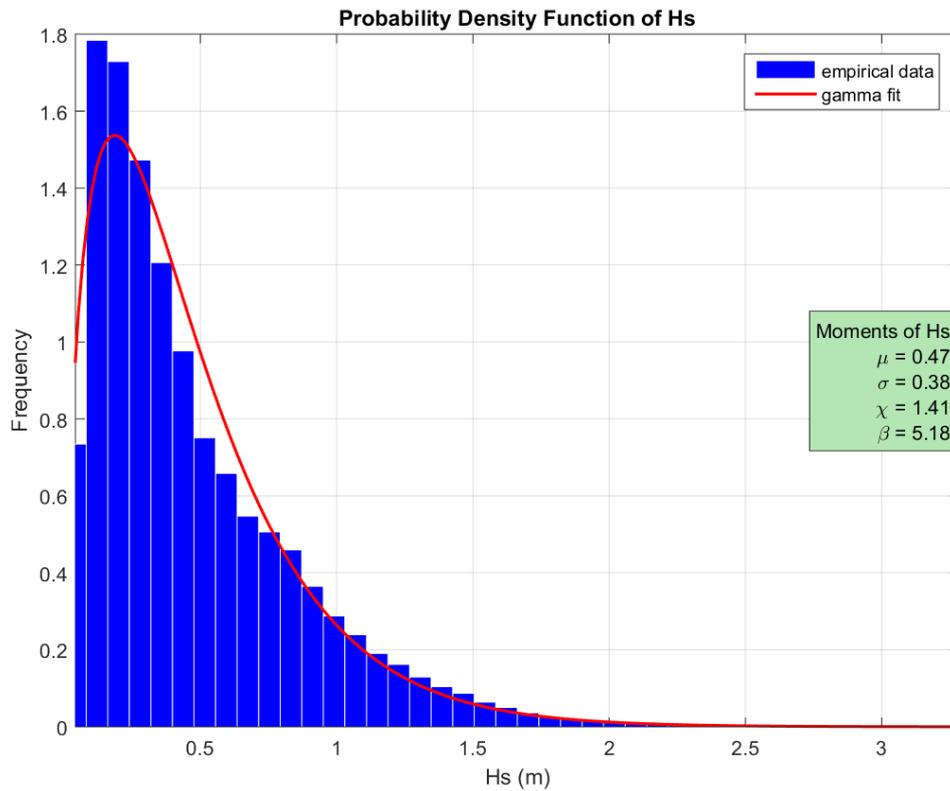


Figura 8.2. Función de distribución de probabilidad, área 1

Para el área 2 se obtiene que el mejor ajuste se realiza con la función Extreme Value, Figura 8.3. Los parámetros para esta distribución son los siguientes: σ : 0.067928, μ : 0.091163 y ξ : 0.44379.

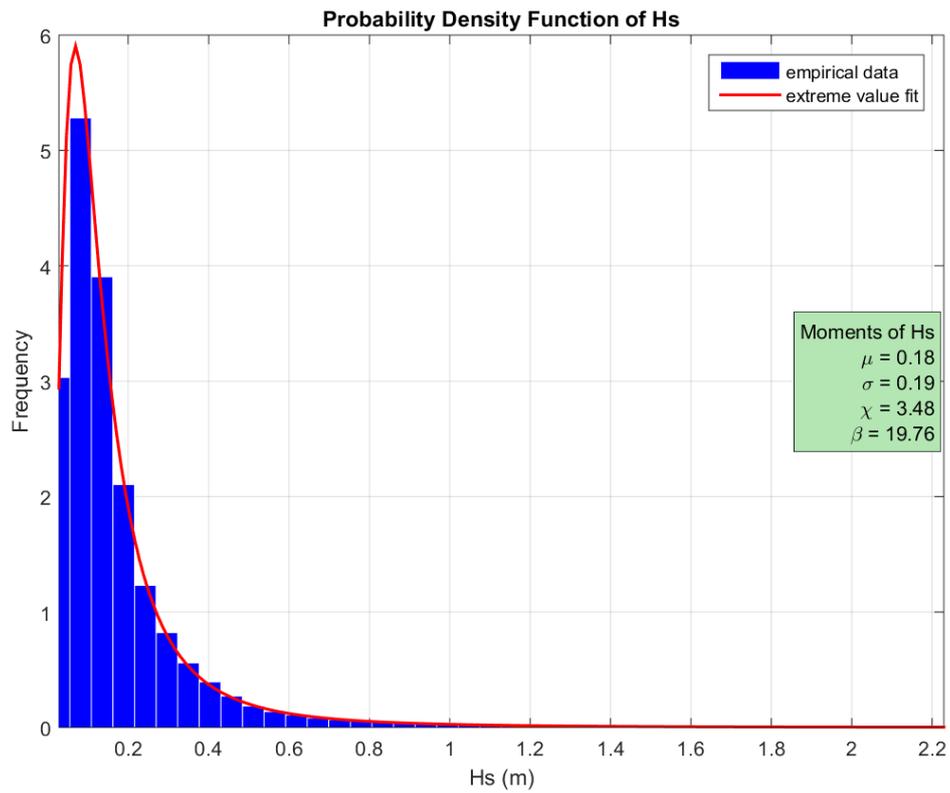


Figura 8.3. Función de distribución de probabilidad, área 2

9. Diseño del rebase de los diques

9.1. Cálculos

Con el fin de calcular la cota de coronación de los diques, se utiliza como criterio el caudal de rebase. Al estar los muelles y zonas de carga adosados a los diques de estudio, el caudal que rebase estos diques limitará, en función del volumen que los sobrepase, las operaciones de carga y descarga y sus actividades paralelas.

El diseño de los diques frente a rebase se realiza mediante las simulaciones de Monte Carlo. Referido al cálculo de estructuras marinas, estas simulaciones se engloban dentro del nivel de diseño probabilístico III.

Los métodos de Nivel III calculan el valor “exacto” de la probabilidad de fallo de la estructura utilizando una descripción completamente probabilística de las variables y la descripción exacta del dominio de fallo.

La simulación de Monte Carlo es una técnica cuantitativa que hace uso de la estadística y los ordenadores para imitar, mediante modelos matemáticos, el comportamiento aleatorio de diferentes sistemas. Es una técnica que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen los ordenadores para generar números pseudo-aleatorios y automatizar cálculos. La simulación de Monte Carlo se ha venido aplicando a una infinidad de ámbitos como alternativa a los modelos matemáticos exactos o incluso como único medio de estimar soluciones para problemas complejos. Primero de todo se generan olas correspondientes a los regímenes medios en los diques de estudio a partir de sus respectivos ajustes. La altura de ola es, sin duda, el factor más importante que incide en las obras marítimas, ya que es el responsable de los peores daños ocasionados en ellas. Por este motivo la altura de ola significativa (variable aleatoria) debe ser el parámetro más decisivo en el diseño y el cálculo de las obras marítimas.

Los valores de altura de ola son generados de forma aleatoria a partir de las distribuciones correspondientes a cada dique provenientes de una distribución uniforme entre el 0 y el 1, para las funciones de distribución $F(H)$. El número de simulaciones escogido deberá ser igual al número de horas de vida de la estructura.

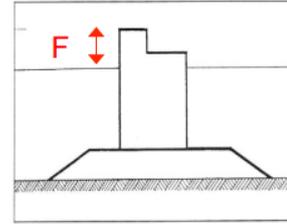
No obstante, para estar del lado de la seguridad, en este estudio se ha tomado como nivel de mar el máximo histórico registrado entre 1979 y 2014, correspondiente a una pleamar de 1.56959 m.

De este modo, aplicando la formulación de Franco et al. (1984) para diques verticales sin botaolas, Figura 7.1, se simplifica el método de Montecarlo, pasando a depender únicamente de la altura de ola espectral y el francobordo del dique.

Franco et al. (1984) Formulation

Botaolas=Parapet

$$Q = \frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0.2 \exp\left(-b \frac{F}{H_s}\right)$$



	Typology	b
→	No parapet	4.3
→	Parapet	6.04

Figura 9.1. Formula de Franco et al. (1984)

De esta forma se obtienen los valores de Q (caudal de rebase m3/s/ml) en función de Hs y los distintos francobordos. Los francobordos utilizados han sido: 0.1, 0.3, 0.5, 1, 1.75, 2, 2.5, 3, 3.5, 3.65, 3.7, 3.75 y 4 m.

El siguiente paso, será calcular la probabilidad de ocurrencia asociada a los distintos estados de mar. Para ello, se dividen tanto las alturas de ola como los periodos de pico en intervalos de 0.5m y 2 s, respectivamente. De este modo, la tabla 9.1 de probabilidad resultante correspondiente al será:

Tabla 9.1

Tabla de probabilidades

Area1	TABLA DE PROBABILIDADES											
Hs(m)	7.5989E-06	3.00266E-09	1.4611E-06	4.1211E-06	1.8839E-06	1.2663E-07	1.7612E-09	5.7743E-10	3.7533E-10	1.7323E-10	1.8767E-10	1.4436E-10
3 - 3.5	7.5989E-06	3.00266E-09	1.4611E-06	4.1211E-06	1.8839E-06	1.2663E-07	1.7612E-09	5.7743E-10	3.7533E-10	1.7323E-10	1.8767E-10	1.4436E-10
2.5 - 3	0.00029636	1.17104E-07	5.6982E-05	0.00016072	7.347E-05	4.9386E-06	6.8686E-08	2.252E-08	1.4638E-08	6.756E-09	7.319E-09	5.63E-09
2 - 2.5	0.00250764	9.90878E-07	0.00048216	0.00135997	0.00062167	4.1788E-05	5.8119E-07	1.9055E-07	1.2386E-07	5.7166E-08	6.193E-08	4.7638E-08
1.5 - 2	0.01724574	6.81454E-06	0.00331593	0.00935289	0.0042754	0.00028739	3.997E-06	1.3105E-06	8.5182E-07	3.9315E-07	4.2591E-07	3.2762E-07
1 - 1.5	0.08004126	3.16278E-05	0.01538996	0.04340883	0.01984309	0.00133384	1.8551E-05	6.0823E-06	3.9535E-06	1.8247E-06	1.9767E-06	1.5206E-06
0.5 - 1	0.25561987	0.000101007	0.04914939	0.1386305	0.06337092	0.00425976	5.9244E-05	1.9424E-05	1.2626E-05	5.8273E-06	6.3129E-06	4.8561E-06
0 - 0.5	0.64428153	0.000254584	0.12387944	0.34941365	0.15972433	0.01073658	0.00014932	4.8958E-05	3.1823E-05	1.4688E-05	1.5911E-05	1.224E-05
Σ(prob)	0.000395144	0.19227532	0.5423307	0.24791077	0.01666442	0.00023177	7.5989E-05	4.9393E-05	2.2797E-05	2.4696E-05	1.8997E-05	
Tp(s)		0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-8.0	8.0-10.0	10.0-12.0	12.0-14.0	14.0-16.0	16.0-18.0	18.0-20.0	20.0-22.0

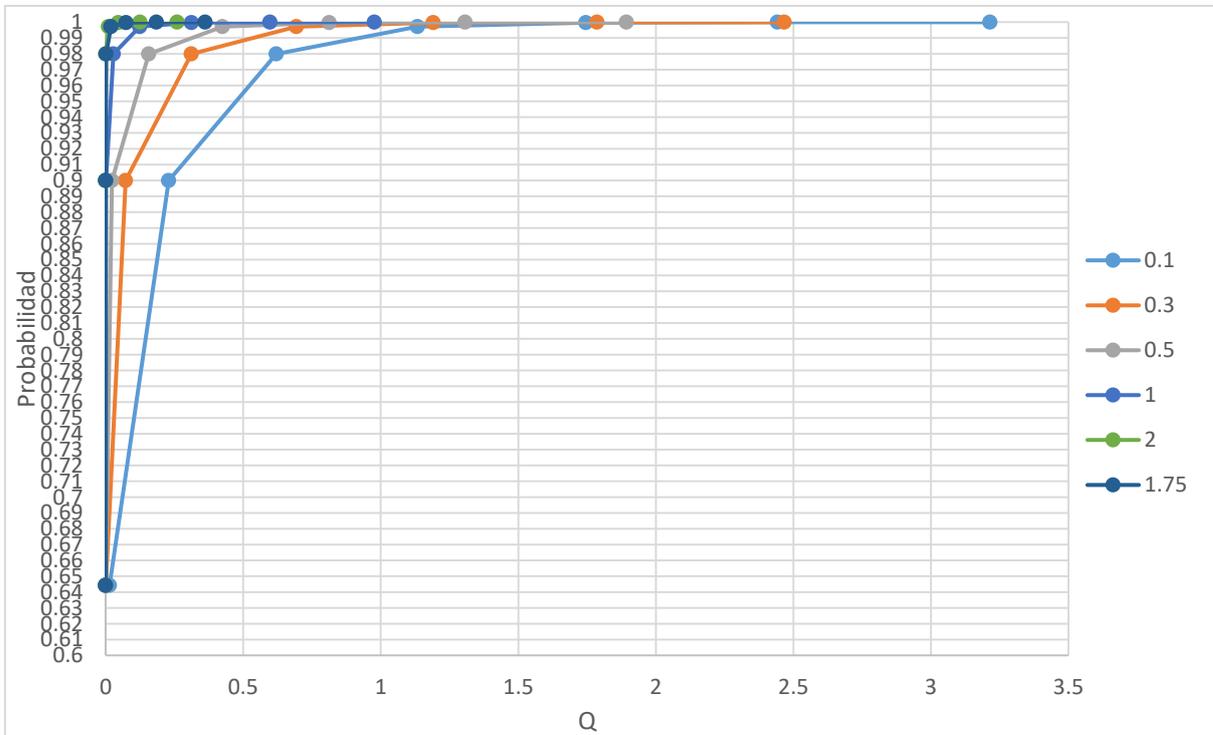
Teniendo en cuenta la tabla de probabilidades y los valores de Q en función de Hs y F (en el ejemplo igual a 3.7 m, el resto de casos, ver Anexo I), se obtiene la siguiente tabla 9.2:

Tabla 9.2

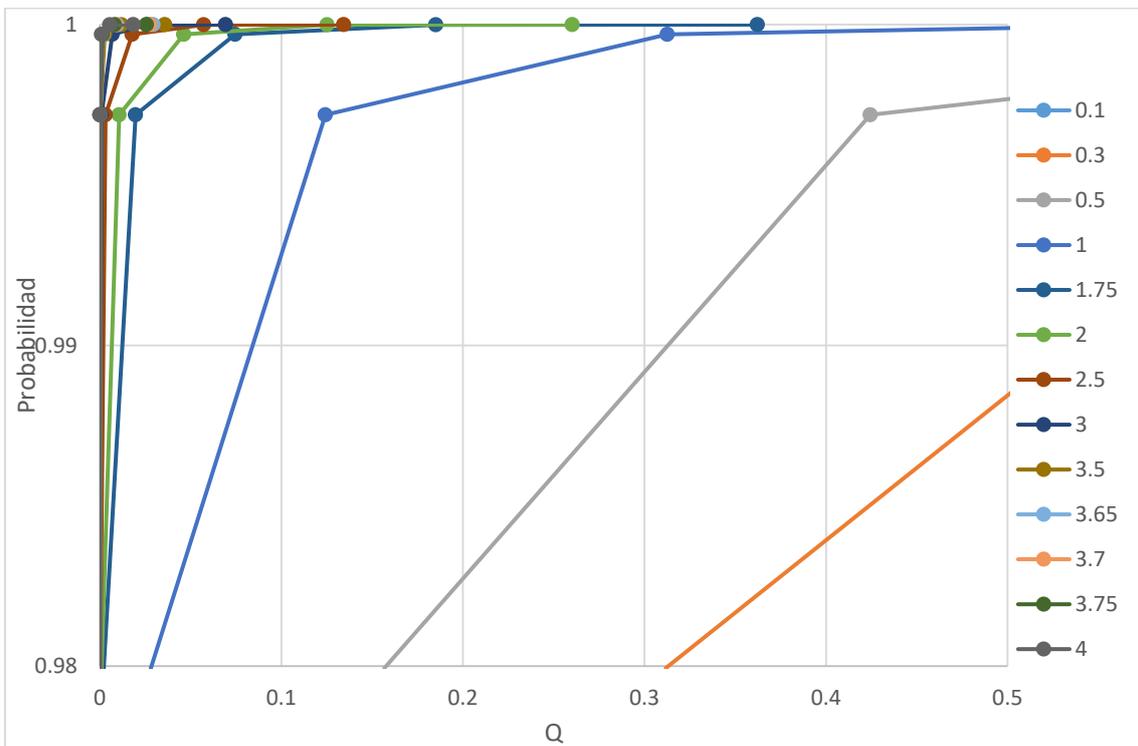
Valores de Q y probabilidad en función de Hs para F=3.7 m

Hs(m)	log Q	P(acum)	(1-P)	log(1-P)	Q
3.25	-1.56142315	1	0		0.02745218
2.75	-2.05680161	0.9999924	7.5989E-06	-5.1192485	0.00877402
2.25	-2.74588043	0.99969604	0.00030396	-3.5171885	0.00179523
1.75	-3.78700985	0.9971884	0.0028116	-2.5510467	0.0001633
1.25	-5.58554481	0.97994267	0.02005733	-1.6977268	2.5969E-06
0.75	-9.60345138	0.8999014	0.1000986	-0.999572	2.492E-10
0.25	-28.7448005	0.64428153	0.35571847	-0.4488936	1.7997E-29

En la gráfica 9.1 se representa la curva Q-Probabilidad según la tabla 9.2 para distintos valores de francobordo. Como se puede observar, a medida que aumenta el valor del francobordo, se concentran las curvas en la esquina superior izquierda del gráfico, por lo que en la gráfica 9.2 se amplía esta zona y se incluyen el resto de francobordos de mayor detalle.



Gráfica 9.1. Curvas Q-Probabilidad



Gráfica 9.2. Detalle de las curvas Q-Probabilidad

Una vez calculadas las curvas de probabilidad de rebase para cada francobordo, se deberá definir los límites permisibles.

En primer lugar, se determinan las condiciones mínimas de operatividad de los diques, definidas en la ROM 1.0-09, tabla 7.3. IREO y operatividad mínima del carácter de algunas obras marítimas y portuarias que se proyectan y construyen habitualmente en España.

Tabla 9.3

Condiciones mínimas de operatividad de las áreas abrigadas

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE IREO		$r_{I,ELO}$		
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	r_{o3}	Alto	0.99	
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías adosadas al dique con adosadas a las que no les afecte el rebase	Con tráfico de graneles	r_{o2}^2	Medio	0.95 ¹
			Con tráfico de pasajeros y de mercancía general regulares	r_{o3}^2	Alto	0.99 ¹
			Con tráfico de mercancía general tramp	r_{o2}^2	Medio	0.95 ¹
	PUERTO PESQUERO		r_{o3}	Alto	0.99 ¹	
	PUERTO NÁUTICO-DEPORTIVO		r_{o3}	Alto	0.99 ¹	
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	r_{o3}	Alto	0.99	
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	r_{o2}	Medio	0.95 ¹	
	MILITAR		r_{o3}	Alto	0.99	
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r_{o3}	Alto	0.99	
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES		r_{o3}	Alto	0.99	
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r_{o3} (r_{o2}) ³	Alto (medio) ³	0.99 (0.95) ³	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		r_{o1} (r_{o3}) ⁴	Bajo (alto) ⁴	0.85 (0.99) ⁴	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r_{o1}	Bajo	0.85	
	¹ En el caso de que los tráficos sean estacionales, la operatividad mínima se referirá a dicho período. ² En el caso de que la intensidad de la demanda sea pequeña (grado de utilización del área abrigada < 40%) los índices obtenidos podrán reducirse un grado. ³ El índice IREO podrá reducirse a r_{o2} cuando pueda considerarse que la demanda puede adaptarse a la parada operativa. ⁴ El índice IREO deberá aumentarse a r_{o3} cuando su zona de afección sea urbana o industrial.					

De la tabla anterior se extrae que la operatividad necesaria tiene que ser igual o mayor que 0.99.

En segundo lugar, se define el caudal de rebase máximo permisible, según el Eurotop (Tablas 9.4 y 9.5).

Tabla 9.4
Caudales de diseño. Límites de rebase para peatones

Hazard type and reason	Mean discharge	Max volume ⁽¹⁾
	q (l/s/m)	V _{max} (l/m)
Trained staff, well shod and protected, expecting to get wet, overtopping flows at lower levels only, no falling jet, low danger of fall from walkway	1–10	500 at low level
Aware pedestrian, clear view of the sea, not easily upset or frightened, able to tolerate getting wet, wider walkway ⁽²⁾ .	0.1	20–50 at high level or velocity

⁽¹⁾ Note: These limits relate to overtopping velocities well below $v_c \approx 10$ m/s. Lower volumes may be required if the overtopping process is violent and/or overtopping velocities are higher.

⁽²⁾ Note: Not all of these conditions are required, nor should failure of one condition on its own require the use of a more severe limit.

Tabla 9.5
Caudales de diseño. Límites de rebase para vehículos

Hazard type and reason	Mean discharge	Max volume
	q (l/s/m)	V _{max} (l/m)
Driving at low speed, overtopping by pulsating flows at low flow depths, no falling jets, vehicle not immersed	10–50 ⁽¹⁾	100–1,000
Driving at moderate or high speed, impulsive overtopping giving falling or high velocity jets	0.01–0.05 ⁽²⁾	5–50 ⁽²⁾ at high level or velocity

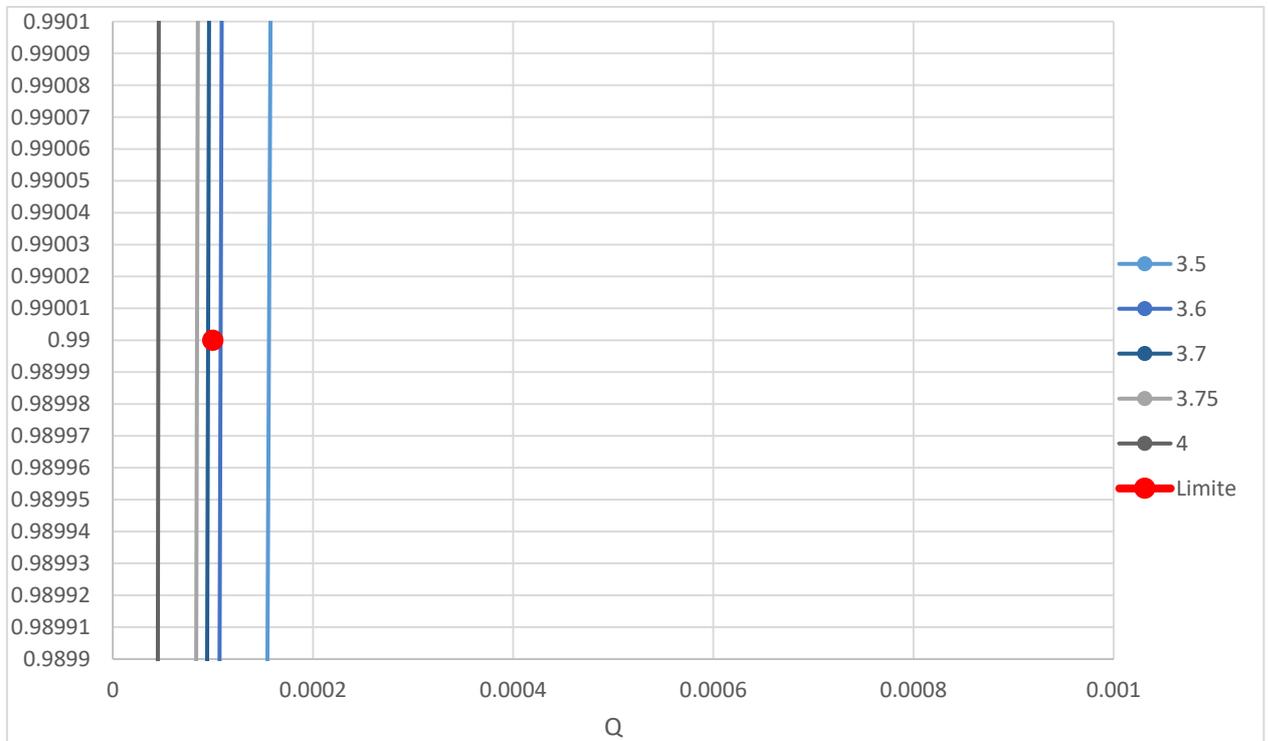
⁽¹⁾ Note: These limits probably relate to overtopping defined at highway.

⁽²⁾ Note: These limits relate to overtopping defined at the defence, but assumes the highway to be immediately behind the defence.

Por lo tanto, según el Eurotop se adopta un caudal máximo de rebase de 0.1 l/s/ml = 0.0001 m³/s/ml.

Con estos dos valores límite, se determina el valor del francobordo igual a **3.7 m** para el diseño del dique correspondiente al área 1, como se muestra en la gráfica 7.3.

F ≥ 3.7 m



Gráfica 9.3. Q-Probabilidad. Definición del valor de francobordo para $Q=0.0001\text{m}^3/\text{s/ml}$

Análogamente, para el área 2, con un francobordo para el ejemplo de 2.2 m:

Tabla 9.6

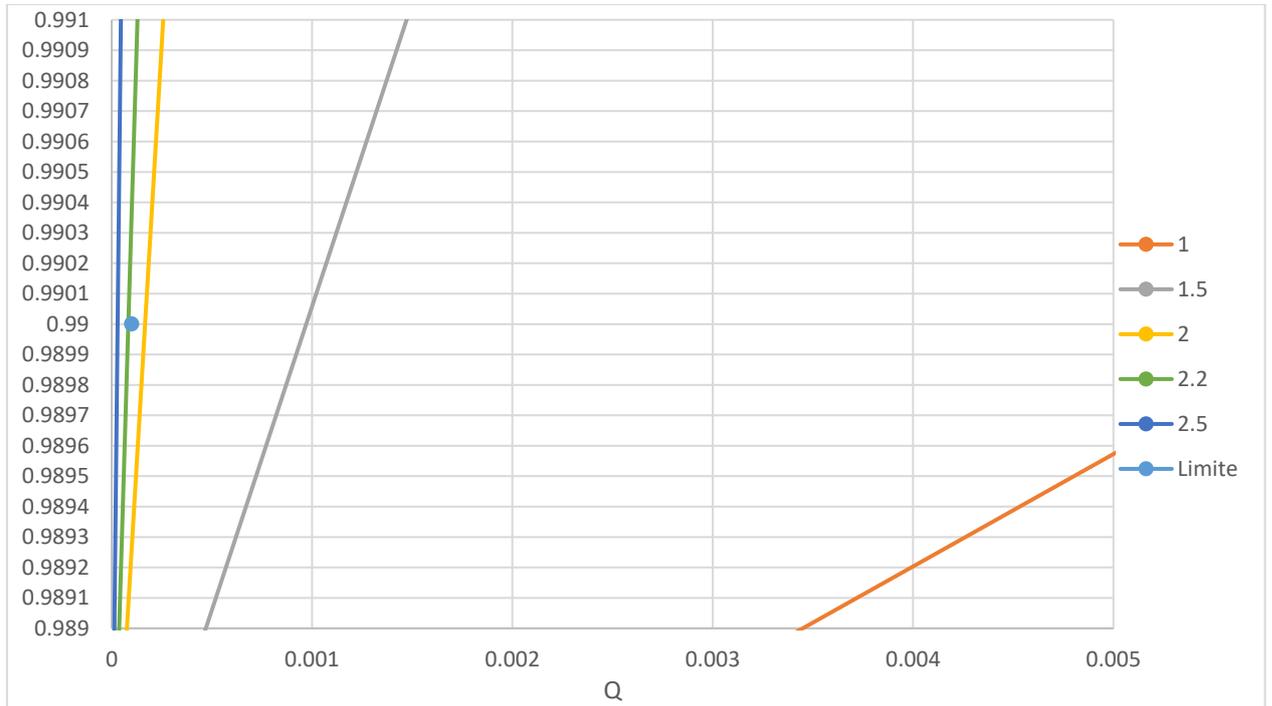
Tabla de probabilidades

Hs(m)	TABLA DE PROBABILIDADES											
2 - 2.5	4.1794E-05	1.65146E-08	8.03596E-06	2.26662E-05	1.03612E-05	6.96473E-07	9.68647E-09	3.17589E-09	2.06433E-09	9.52768E-10	1.03216E-09	7.93973E-10
1.5 - 2	0.00186553	7.37153E-07	0.000358696	0.001011736	0.000462486	3.1088E-05	4.32369E-07	1.4176E-07	9.21442E-08	4.25281E-08	4.60721E-08	3.54401E-08
1 - 1.5	0.00988049	3.90421E-06	0.001899774	0.005358492	0.002449479	0.000164653	2.28997E-06	7.5081E-07	4.88026E-07	2.25243E-07	2.44013E-07	1.87702E-07
0.5 - 1	0.03967393	1.56769E-05	0.007628318	0.021516391	0.009835595	0.000661143	9.1951E-06	3.01479E-06	1.95961E-06	9.04436E-07	9.79806E-07	7.53697E-07
0 - 0.5	0.94853825	0.000374809	0.1823805	0.514421416	0.235152852	0.015806839	0.00021984	7.20786E-05	4.68511E-05	2.16236E-05	2.34255E-05	1.80197E-05
$\Sigma(\text{prob})$	0.000395144	0.192275324	0.542330701	0.247910774	0.016664419	0.000231767	7.59891E-05	4.93929E-05	2.27967E-05	2.46965E-05	1.89973E-05	
$Tp(\text{s})$	0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-8.0	8.0-10.0	10.0-12.0	12.0-14.0	14.0-16.0	16.0-18.0	18.0-20.0	20.0-22.0	

Tabla 9.7

Valores de Q y probabilidad en función de Hs para $F=2.2\text{ m}$

Hs	log Q	P(acum)	(1-P)	log(1-P)	Q
2.25	-1.50090291	1	0		0.0315571
1.75	-2.18632448	0.999958206	4.1794E-05	-4.37888577	0.006511417
1.25	-3.34458529	0.998092673	0.001907327	-2.71957474	0.000452288
0.75	-5.86851884	0.988212184	0.011787816	-1.92856667	1.35357E-06
0.25	-17.5400028	0.948538254	0.051461746	-1.28851548	2.88401E-18



Gráfica 9.4. Q-Probabilidad. Definición del valor de francobordo para $Q=0.0001\text{m}^3/\text{s}/\text{ml}$

Con estos dos valores límite, se determina el valor del francobordo igual a **2.2 m** para el diseño del dique correspondiente al área 2, como se muestra en la gráfica 7.4.

$$F \geq 2.2 \text{ m}$$

9.2. Cota de coronación

A partir de los valores de francobordo obtenidos en el apartado anterior, se define la cota de coronación como la suma del francobordo más el nivel de marea.

Como el nivel de marea es igual a la suma de la astronómica y la meteorológica, a los valores de francobordo obtenidos deberemos sumarle 1.56959 metros, resultando unos valores de cota de coronación iguales a 5.26959 metros y 3.76959 metros para las áreas 1 y 2 respectivamente, por lo que se adoptarán **5.3 metros** y **3.8 metros** para cada uno de los diques.

10. Conclusiones

En el presente estudio funcional del nuevo puerto de Puerto del Rosario, se barajan diferentes alternativas de cara a solucionar los dos grandes problemas que presenta el puerto actual.

El primero de estos problemas es la imposibilidad de expansión del puerto hacia tierra. Esto es debido a que el núcleo urbano es colindante a la zona portuaria, por lo que su crecimiento se limita únicamente hacia aguas adentro.

El otro gran problema que se plantea, es el tráfico pesado que circula a través de la vía urbana en dirección al puerto. Este tráfico casi constante genera molestias en los vecinos de la localidad, del mismo modo que al hacer circular grandes camiones por el núcleo urbano se ven perjudicados por la estrechez de sus vías.

Ambos problemas son solventados con la alternativa 2, ya que, en primer lugar, está situada en las afueras del núcleo urbano, teniendo a su disposición una mayor superficie de terreno baldío. En segundo lugar, el tráfico pesado no necesitaría atravesar el núcleo urbano, facilitando su acceso al puerto.

El diseño funcional del nuevo puerto de Puerto del Rosario se lleva a cabo partiendo de datos batimétricos, series de estados de mar en profundidades someras definidos entre 1948 y 2008 y la serie de nivel de mar registrada entre 1979 y 2014. Con estos datos, se realiza una propagación de oleaje en pleamar viva mediante el modelo MSP de profundidades someras a las caras exteriores de los diques con mayor afección por oleaje, donde se reconstruyen los regímenes medios.

Estos cálculos permiten obtener el estudio de rebase de los diques. Este rebase vendrá limitado por una probabilidad de fallo de 0.01 según la ROM 1.0-09, junto con un límite de caudal establecido por el Eurotop de 0.1 l/s/ml. Partiendo de la probabilidad de ocurrencia de los distintos estados de mar, se calculan las gráficas caudal de rebase – probabilidad para distintos valores de francobordo, las cuales se contrastan con los límites anteriormente mencionados para obtener el francobordo final. Este valor, ha resultado de 3.7 metros para el área 1 y de 2.2 metros para el área 2.

Teniendo en cuenta que la alternativa 2 soluciona los problemas del puerto actual y cumple las condiciones de rebase, se concluye que es una propuesta viable.

