



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



DISEÑO BASICO DEL PUERTO EXTERIOR DE SANTANDER

Trabajo realizado por:
Alberto Sánchez Bustamante

Dirigido:
Javier López Lara

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

Santander, octubre de 2016

TRABAJO FINAL DE MASTER

RESUMEN DEL TRABAJO DE FIN DE MASTER

Título: Diseño básico del puerto exterior de Santander.

Master: Ingeniería de Costas y Puertos.

Autor: Alberto Sánchez Bustamante.

Director: Javier López Lara.

Convocatoria: octubre de 2016.

Palabras clave: dique, dique en talud, muelle, puerto exterior, Santander.

El Proyecto “Diseño Básico del Puerto Exterior de Santander” ha sido el objeto del Trabajo de fin de Master correspondiente al Master de Ingeniería de Costas y Puertos, especialidad en el módulo de puertos, realizado por este mismo alumno.

El citado proyecto consiste en el diseño de un puerto exterior en la localización de Santander, con el fin de resolver la problemática que arrastra desde un tiempo atrás. Se quiere trasladar toda la actividad portuaria a un lugar en el que no existan restricciones tanto de espacio de almacenamiento, como de limitación del calado.

Se comenzará por el cálculo de los tráficos portuarios en el horizonte temporal de la obra, basándose en el plan de empresa propuesto por el Plan Director del Puerto de Santander. A partir de estos tráficos, se dimensionarán las distintas terminales portuarias, tanto en superficie de explanada, como en longitud de atraques.

Se diseñará una planta en donde encajar las distintas superficies y muelles, que cumpla con los requisitos de maniobrabilidad de los barcos, además de cumplir con los requisitos operativos de agitación recomendados por la ROM en las diferentes terminales, pudiendo realizar varias alternativas para la consecución de tal fin. La localización de esta planta se elegirá en función de criterios logísticos, morfológicos y medioambientales.

Se elegirá la tipología estructural conveniente para el diseño del dique principal exterior de protección de la zona abrigada. El diseño de ese dique se hará de manera que cumpla los requisitos funcionales y estructurales propuestos.

Se realizará una revisión estadística mediante metodología de Nivel III de los aspectos estructurales del dique, así como una revisión de los aspectos funcionales por

métodos de “pseudo-laboratorio” con modelos que no resuelven formulas empíricas, si no que resuelven las ecuaciones de Navier – Stokes.

Tras la finalización del proyecto, se pueden extraer algunas conclusiones. Los puertos forman un gran eslabón en la economía de hoy en día, pues son pieza fundamental para el comercio nacional e internacional. Existe mucho margen de mejora en la optimización de los puertos, muchos de los cuales tienen restringido su crecimiento por diversos motivos.

En lo referente a nuestro proyecto, puede considerarse viable la construcción de un puerto, pues las expectativas de crecimiento parecen optimistas. En cambio, cabe mencionar, que el puerto de Santander, goza de una situación actual privilegiada, pues es el único de la fachada norte (junto con el de Pasajes) que goza de un abrigo natural, lo que le da un nivel de operatividad con baja agitación superior al resto, algo que no nos ha sido posible obtener, para algunas terminales, en el diseño del puerto exterior.

MASTER'S FINAL PROJECT ABSTRACT

Title: Basic design of the exterior port of Santander.

Master: Coasts and ports engineering.

Author: Alberto Sánchez Bustamante.

Director: Javier López Lara.

Call: October 2016.

Key words: breakwater, sloping breakwater, dock, outer harbour, Santander.

The project "Design basics the port outside of Santander" has been the object of the work of Master thesis for Master of engineering of coasts and ports, expertise in the module ports, by this same student.

The project consists of the design of a outer port at the location of Santander, in order to solve the problem that goes back a long time ago. You need to move all port activity to a place where there are no restrictions both storage space and the draught limitation.

It began by the calculation of the port traffic in the time horizon of the work, based on the business plan proposed by the Director Plan of the port of Santander. From this traffic, it will size the different port terminals, concourse area, both in length of berths.

A plant where fit different surfaces and springs, which complies with the requirements of manoeuvrability of vessels as well as comply with the operating requirements of agitation recommended by the ROM in different terminals, making several alternatives for the achievement of that purpose will be designed. The location of this plant will be elected based on logistics, morphological and environmental criteria.

Choose the suitable structural typology for protection of the sheltered area outside main dam design. The design of the breakwater will do so meets the proposed functional and structural requirements.

I will do a statistical review by methodology of level III of the structural aspects of the breakwater, as well as a review of the functional aspects by means of "pseudo-laboratory" with models that do not resolve empirical functions, it solves the Navier - Stokes equations.

After the completion of the project, some conclusions can be got. Ports are a great link in the economy today, as they are cornerstone for national and international trade. There is much room for improvement in the optimization of the ports, many of which have restricted their growth for several reasons.

In relation to our project, it can be considered viable construction of a port, as the expectations of growth seem optimistic. On the other side, it is worth mentioning, that the port of Santander, enjoys a situation privileged, as it is the only one of the Northern facade (along with the passages) that enjoys a natural shelter, which gives it a level of operation with low agitation than the rest, something that we had not been possible to obtain for some terminals, in the design of the exterior port.

BIBLIOGRAFÍA

Puertos del Estado (1999). ROM 3.1-99. *Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación.*

Puertos del Estado (2001). ROM 0.0-01. *Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.*

Puertos del Estado (2005). ROM 0.5-05. *Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias.*

Puertos del Estado (2009). ROM 1.0-09. *Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo (Parte 1ª. Bases y Factores para el proyecto. Agentes climáticos).*

Eurotop. (2007). *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assesment Manual.*

López Lara, J. *Diques Verticales. Diseño estructural I . Fundamentos para el Diseño de Obras Marítimas.*

López Lara, J. *Diques Verticales. Diseño estructural II . Fundamentos para el Diseño de Obras Marítimas .*

López Lara, J., & Díaz Hernández, G. *Calculo Último de Diques En Talud de Materiales Suelos. Fundamentos para el diseño de Obras Marítimas.*

Marcano Ceballos, D. (2016). *DIMENSIONAMIENTO DE TERMINALES PORTUARIAS (LÍNEA DE ATRAQUE Y SUPERFICIE). Conocimiento general del sistema portuario. máster universitario en ingeniería costera y portuaria (especialidad ingeniería portuaria).*

Marcano Ceballos, D. *Atlas geotécnico. Bahía de Santander.*

Dirección general de puertos – CGP y MM – S. C. T. *Capítulo 5. Puertos generales.*

Contenido

1. Introducción.....	2
1.1. Motivación.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
2. Metodología.....	6
2.1. Usos y requerimientos funcionales y operativos.....	8
2.2. Descripción del emplazamiento.....	27
2.3. Estudio inicial de alternativas.....	31
2.4. Disposición en planta y alzado de la obra.....	32
2.5. Criterios generales de proyecto.....	35
2.6. Elección de la alternativa.....	36
2.7. Pre-dimensionamiento de la obra.....	36
2.8. Verificación de la obra.....	43
2.9. Optimización de la obra.....	46
2.10. Redacción del proyecto.....	46
3. Cálculos y resultados.....	47
3.1. Localización.....	47
3.2. Criterios generales del proyecto.....	50
3.3. Dimensionamiento de terminales.....	52
3.4. Caracterización del clima marítimo.....	58
3.5. Coronación de los muelles.....	65
3.6. Tipología estructural.....	66
3.7. Cota de coronación del dique.....	67
3.8. Diseño en planta y estudio de agitación.....	69
3.9. Diseño de Nivel I.....	79
3.10. Revisión de Nivel III.....	83
3.11. Revisión del rebase.....	86



1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Motivación.

Como proceso de finalización del Master en Ingeniería Costera y Portuaria de la Universidad de Cantabria, se requiere la realización de un trabajo de fin de master. Este trabajo de fin de master consistirá en la realización de un trabajo original, autónomo y personal, por parte del alumno.

Este trabajo ira enfocado a la resolución de uno o varios problemas actuales de la ingeniería de costas y puertos, como resumen de todos o algunos de los conocimientos adquiridos por el alumno a lo largo del desarrollo de la titulación.

En este caso, el alumno presentara el desarrollo de los estudios y cálculos realizados para la conclusión de dicho trabajo, denominado “Diseño básico del puerto exterior de Santander”.

El desarrollo de este tema, nace como la ‘necesidad’ existente en Santander de la creación de un puerto exterior que cumpla con los requisitos de crecimiento de la explotación del puerto actual. Estos requisitos de crecimiento serán estudiados en capítulos posteriores para una mejor justificación de la temática que nos compete.

Cabe mencionar la importancia que tienen hoy en día los puertos, dentro de las cadenas logísticas intermodales. La demanda de transporte marítimo anticipa la expectativa de negocio de las grandes empresas. La generación de riqueza se contabiliza a partir del momento en que se produce el ingreso de la venta del producto, pero con antelación se habrá realizado la compra de materias primas y los fletes de buques que las transportan a destino. El análisis de la evolución de los mercados de materias primas y de los fletes permite anticipar la tendencia del crecimiento económico. Cuando en el mercado internacional de fletes de buques graneleros se detecta una tendencia de incremento del precio, significa que hay una gran demanda de transporte marítimo de materias primas, que se convertirán a corto plazo en productos elaborados a disposición de los consumidores. Estaríamos en una fase expansiva de crecimiento económico, con gran demanda de recursos financieros, que provocara también el aumento del tipo de interés de crédito.

El puerto de Santander cuenta con más de 2000 años de historia. Aunque la propia ciudad de Santander le debe su origen y prosperidad, lo cierto es que la actividad del Puerto en estos momentos no es tan visible como antaño, y algunos sectores de población



no perciben ninguna relación de dependencia de su propia economía doméstica respecto de la actividad generada por el puerto. Por tanto, parece importante cuantificar el impacto socio-económico del puerto en su hinterland, y su aportación al valor añadido bruto y empleo de Cantabria y de la propia ciudad de Santander.

El puerto no es el motor de la actividad económica, pero si un engranaje crítico y necesario de la cadena logística. Se trata de medios de transporte seguros, rápidos, frecuentes y fiables. Para disponer de estos medios de transporte, es necesaria la existencia de unas infraestructuras portuarias (con terminales portuarias, accesibilidad marítima y accesibilidad terrestre) y de unos servicios portuarios.

El fin último de nuestro proyecto va a ser la necesidad de aumentar la competitividad frente a otros puertos del Hinterland como pueden ser Gijón o Bilbao, siendo necesario acometer las obras o crecimiento de infraestructuras que se presentaran en nuestro documento.

1.2. Antecedentes.

1.2.1. Historia.

La historia del puerto de Santander sigue un camino paralelo y ligado al de la ciudad con el mismo nombre, y viceversa; sin el crecimiento del uno, jamás podría haberse dado el crecimiento del otro. Hoy en día, el puerto de Santander es uno de los principales motores económicos de la economía de la ciudad.

La historia del puerto, y por tanto de la ciudad, comienza en la época de los romanos, en el año 19 a. C., donde se funda el *Portus Victoriae*, de localización geográfica óptima gracias al abrigo de la bahía. La principal actividad portuaria que se daba en esa época en dicha localización era la exportación de minerales hacia otros puntos del imperio.

Con el paso de los siglos, el puerto de Santander va creciendo de manera bastante importante, convirtiéndose en un importante puerto de la zona, gracias entre otros aspectos al comercio de lana, la creación del Real Astillero de Guarnizo, el comercio con las colonias españolas del Nuevo Mundo (con motivo de la posterior pérdida de este factor, la economía del puerto se vio gravemente afectada, disminuyendo el negocio en gran medida).



Ya en el s. XX, con la creación del Depósito Franco (uno de los principales que existían en el país), y con el fin de aumentar la capacidad y la competitividad del puerto, se hacía imprescindible el traslado de la actividad portuaria desde el centro de la ciudad hacia otros lugares de menos tránsito. El lugar al que debía desviarse todo el tráfico sería una zona de marismas en la que debería realizarse una serie de rellenos para condicionarla; esta zona escogida fue la ría de Raos. Es en esta ubicación, sito entre los municipios de Santander y Camargo, se realizan primero una serie de rellenos creando los primeros muelles de Raos y la terminal de Ferris, que seguiría localizada en el centro de la ciudad, en plena fachada marítima del centro de Santander. Años más tarde, ya en la década de los 90, se modernizan las instalaciones (iniciándose con ellas el tráfico de automóviles, uno de las principales actividades de la actualidad), se crea el espigón central de Raos y se elabora el plan del puerto, que define el uso de los espacios portuarios y la futura organización y funcionamiento del puerto.

En la primera década del s. XXI (en el año 2007, concretamente), ante las continuas quejas de los vecinos de los barrios más cercanos a la zona de Raos, y ante la continua contaminación en determinadas condiciones de viento, producidas por la manipulación de grandes cantidades de carbón y minerales que llegaban al puerto, se inaugura la terminal de graneles sólidos que sirve tanto para la manipulación como para el almacenaje del carbón y otras sustancias a granel.

1.2.2. Localización.

La bahía de Santander se encuentra en Cantabria, y se trata del mayor estuario de la costa norte de la península Ibérica, con algo más de 22 km² de superficie total (con una longitud máxima de 9 km y una anchura máxima de 5 km). A su alrededor, debido principalmente a la presencia de Santander, se encuentra casi la mitad de todos los habitantes de Cantabria, produciendo una elevada presión antrópica sobre la misma.

La entrada a la bahía se realiza a través de un paso situado entre la península de la Magdalena y el puntal de Somo (un arenal o larga barra longitudinal de playas y dunas que sirve como protección de las aguas internas de la bahía). Esta entrada a la bahía viene precedida por la ensenada del Sardinero, en donde se sitúa la isla de Mouro.



1.2.3. Problemática.

Uno de los problemas históricos que ha tenido el puerto de Santander ha sido siempre la falta de calado, pues debido a las condiciones de la bahía, y más después de los rellenos realizados, las dimensiones de la bocana de acceso a la misma se han visto disminuidas gradualmente (producido por la disminución del prisma de marea). Esto es producido principalmente por la colmatación de la misma por los sedimentos vertidos por los ríos que desembocan en la bahía, principalmente el río Miera (que lo hace a través de su desembocadura en la ría de Cubas). Por tratarse de un puerto de aguas abrigadas, es especialmente apto para operaciones de buques roro, pero siempre limitado por calado (el canal de navegación y los muelles de atraque están diseñados para buques panamax de 12 m de calado).

Otro problema que se plantea habitualmente en los puertos interiores, y que en el caso de Santander no parece ser diferente, es el espacio disponible para realizar rellenos, pues normalmente se encuentran en estos ecosistemas multitud de especies protegidas. Los rellenos no pueden realizarse en cualquier lugar, pues suelen ser obras que según en qué zonas se realizan, pueden producir un gran impacto, por no hablar de la continua disminución del prisma de marea, que hará llegar el momento en el que el crecimiento del puerto sea inasumible con la situación actual.

Inciendo en la problemática de terminales, cabe mencionar la congestión en dos de las mismas. Por una parte, la terminal siderúrgica (GSW), necesitaría un segundo atraque para reducir la espera en fondeo. Por otro lado, tenemos la terminal de automóviles, que necesita más superficie de almacenamiento, pues actualmente utiliza superficie del área logística, los arcenes y carriles de viales inferiores.

1.2.4. Justificación

La disminución natural del calado en la desembocadura, así como la existencia de barcos de cada vez mayores calados, unido al continuo crecimiento de la actividad portuaria y el escaso espacio disponible en el interior de la bahía, hace que se llegue al punto de tomar la decisión de trasladar toda la actividad portuaria a un puerto exterior, con los costes económicos y ambientales que eso supondría, y donde parece ser que con la situación económica actual parece inviable, pero que tarde o temprano parece que se llegara a esa solución; y es aquí donde comienza la justificación de nuestro proyecto.



1.2.5. Hipótesis de partida.

Anteriormente a la realización del proyecto, será necesario la definición de una o varias hipótesis de partida que condicionaran la ejecución del mismo en cierto modo. Estas hipótesis estarán relacionadas con aspectos metodológicos del proyecto y que justificarán algunas de las decisiones que serán tomadas posteriormente.

Principalmente, hay que mencionar que se trata de un ejercicio meramente ingenieril y académico, con las consecuencias que ello conlleva. Se tomará alguna decisión de tipo económico (sin entrar en demasiados detalles), mas no así de amortización, pues es difícil plantear un desembolso como el que presentamos en nuestro proyecto, en los días actuales. Es por eso que se desestima el análisis de los costes asociados al proyecto que acometemos.

2. METODOLOGÍA.

Toda obra marítima se construye para cumplir unas determinadas funciones, permitiendo o facilitando unas actividades económicas, repercutiendo socialmente e interfiriendo con el medio ambiente. Esta obra debe ser fiable, funcional y operativa durante el tiempo en que vaya a permanecer en servicio. A lo largo de su vida, la obra pasa por diferentes estados de proyecto, estructurales, formales y de uso y explotación dependiendo de la variabilidad temporal y espacial de los factores de proyecto.

Por diversas razones o causas, la obra puede perder, progresivamente o de manera súbita, de forma temporal o definitiva, parcial o totalmente sus propiedades resistentes o estructurales (seguridad), estructurales y formales (servicio) y de uso y explotación (explotación) por mecanismos descritos en modos de fallo y de parada operativa.

En el apartado actual, vamos a comentar y explicar, paso por paso, la metodología de trabajo que vamos a seguir a lo largo de nuestro proyecto.

Según la ROM 2.0-11 (Recomendaciones para el proyecto y ejecución en obras de atraque y amarre), el proyecto de una obra de atraque y amarre (extendiéndolo de igual manera a los diques de protección de la misma), su definición y verificación deberá ser el resultado de, al menos, la siguiente secuencia de actividades.

1. Definición de usos y requerimientos operativos y funcionales para la obra de atraque y amarre.



2. Descripción del emplazamiento, reuniendo la información local topográfica, geotécnica, morfológica, climática, medioambiental, de disponibilidad de los materiales, de los métodos constructivos, de uso o explotación y de las posibilidades de reparación y mantenimiento, que permita, a su vez, determinar los factores de proyecto que definen la geometría, caracterizan el medio físico, el terreno y los materiales, y valoran los agentes y sus acciones actuantes.
3. Estudio inicial de alternativas, con el objeto de poder definir a través de criterios de optimización económica, funcional y ambiental:
 - a. La configuración física (o configuraciones) del atraque más conveniente que satisfaga los usos y requerimientos funcionales y operativos exigidos.
 - b. La tipología estructural (o tipologías) más convenientes frente a los requerimientos de uso y explotación y a los condicionantes geotécnicos, morfológicos, climáticos, medioambientales, constructivos y de los materiales, de conservación y mantenimiento existentes en el emplazamiento.
4. Definición de las disposiciones en planta y alzado de la obra de atraque para que, una vez seleccionada la alternativa de proyecto, satisfagan los requerimientos funcionales, considerando las limitaciones existentes en el emplazamiento.
5. Establecimiento de los criterios generales de proyecto: los plazos temporales de la obra, la determinación de sus escalas espaciales (tramos), los caracteres general y operativo, la determinación de sus escalas temporales (fases de proyecto) y sus duraciones, los requisitos de fiabilidad, aptitud al servicio y operatividad en cada fase de proyecto y el plan de desmantelamiento, en su caso.
6. Elección de la alternativa de proyecto más conveniente.
7. Pre dimensionamiento de la obra, diferenciándose en caso necesario por tramos y secciones.
8. Verificación de que, en el conjunto de la obra, sus tramos y elementos se alcanzan los niveles de fiabilidad, aptitud al servicio y operatividad exigidos.



9. Optimización de la obra, de sus tramos y secciones.
10. Redacción del proyecto.

Estos serían los pasos necesarios para la realización de un proyecto real de ingeniería, en la ejecución de una obra marítima. En nuestro caso, al tratarse de un ejercicio académico, con limitaciones técnicas, temporales y de ejecución, solo tendremos en cuenta algunos de estos pasos, que iremos describiendo brevemente a continuación, sin entrar en aspectos técnicos o de cálculos, cosa que haremos en el apartado siguiente, pudiendo tomar la decisión de algún cambio en el orden descrito, para adaptarlo a las características de nuestro ejercicio.

2.1. Usos y requerimientos funcionales y operativos.

A partir del plan director del puerto, que será el que nos marcara los objetivos de nuestro proyecto a nivel funcional, y basándonos en la hipótesis de que toda la actividad portuaria existente en la actualidad será trasladada al puerto exterior (pudiendo exceptuarse alguna actividad, lo cual será comentado posteriormente), realizaremos la estimación de crecimiento de las diferentes actividades portuarias existentes, y alguna que se pueda introducir en un plazo de tiempo a corto plazo.

El plan director del puerto va a estar basado en un crecimiento de la actividad portuaria Santanderina, debido a un crecimiento de la demanda actual existente como consecuencia del aumento del comercio internacional. Entenderemos entonces al puerto como una empresa que intenta adquirir otra dimensión. Una empresa cambia la “escala” de su cuenta de resultados cuando decide romper fronteras para buscar nuevos clientes en el exterior y aprovechar las ventajas de la competitividad internacional de los suministros. A partir de este momento las empresas generan una demanda de transporte marítimo y de cadenas logísticas multimodales que utilizan servicios portuarios.

2.1.1. Plan director del puerto de Santander.

Las autoridades portuarias, de acuerdo con lo establecido en la Ley 33/2010, se califican como “facilitadores de la actividad económica, de la competitividad de nuestro tejido social y empresarial y de su sostenibilidad ambiental, así como coordinadores de los diferentes agentes y administradores que intervienen en el paso por puerto de buques y mercancías.



Estas competencias se inscriben dentro de un marco global de sostenibilidad en el que la Autoridad Portuaria asegura y facilita una gestión eficiente de las cadenas de suministro a través de las políticas portuarias. La finalidad última es la mejora de las infraestructuras portuarias y de sus conexiones con los sistemas de transporte existentes, teniendo en cuenta los criterios de sostenibilidad medioambiental, económica y social; permitiendo la libre competencia entre los operadores portuarios a través de concesiones de terminales y espacios portuarios para la oferta de servicios de valor añadido; fortaleciendo la colaboración y coordinación de actividades portuarias a través de los sistemas de información; y promoviendo el desarrollo de su propio hinterland por medio de conexiones económicas, relacionales y sociales entre el puerto y el lugar que este ocupa en el mercado.

Uno de los instrumentos previstos en la ley para la sostenibilidad económica de las Autoridades Portuarias es la autonomía de gestión y la autosuficiencia económico-financiera de los puertos de interés general.

Dentro del plan director del puerto de Santander se analiza la relación existente entre el PIB (Producto Interior Bruto) de España y del tráfico del sistema portuario español. Tras el análisis de esta relación se llega a la conclusión de que en periodos de crecimiento existe la misma tendencia de crecimiento; mientras que en periodos de crisis económica se rompe la correlación en las tendencias de tráfico y PIB. Para profundizar más en esta relación, realizando un análisis a largo plazo (10 – 20 años) se puede observar que la tasa de crecimiento del tráfico portuario es algo inferior a la tasa de crecimiento del PIB (aproximadamente se ajusta al 75% de la tasa del PIB, y que numéricamente seguiría la siguiente expresión):

$$\text{Trafico portuario} = 116 + 0.00032 * \text{PIB}$$

Es necesario mencionar que la tasa de crecimiento del PIB no se traslada por igual a todos los tráficos portuarios, siendo algunas mercancías más sensibles a las variaciones del mismo. Por ejemplo, la mercancía general es mucho más sensible al crecimiento del PIB que los gráneles sólidos y líquidos. Podrían destacarse las siguientes relaciones numéricas, siempre para el largo plazo, pues a corto plazo no existen correlaciones fiables entre la tasa de crecimiento del PIB y la tasa de crecimiento de los tráficos portuarios (serán necesarios otros indicadores):

$$\text{Graneles solidos} \rightarrow \text{Trafico portuario} = 0.5 * \text{PIB}$$



$$\text{Graneles liquidos} \rightarrow \text{Trafico portuario} = 0.5 * \text{PIB}$$

$$\text{Mercancia general} \rightarrow \text{Trafico portuario} = 1.3 * \text{PIB}$$

La estimación del trafico anual a largo plazo (10 – 20 años) suele apoyarse en las previsiones del crecimiento económico mundial y otros indicadores nacionales o locales (PIB del hinterland, tasa de consumo interno, previsiones de desarrollo del tejido industrial del hinterland del puerto, crecimiento de demográfico...). Estas previsiones deben corregirse también con las tendencias de cada sector de actividad, previsión de incentivos a determinados tipos de industria, etc.

La metodología utilizada en el puerto de Santander para estimar el trafico anual será la siguiente: la variable aleatoria “ p_i ” es el cociente entre el trafico acumulado al mes “ i ” en los últimos 12 meses y el trafico al final del año (trafico interanual mes “ i ”/trafico anual).

$$p_i = \frac{\sum_{i-11}^i T_i}{\sum_1^{12} T}$$

En vista de estos datos, se obtendrá el trafico anual de cada terminal portuaria, que a posteriori nos dará los valores requeridos de longitud de muelles y explanadas de almacenamiento.

La estimación del trafico anual a largo plazo (10 – 20 años) suele apoyarse en las previsiones de crecimiento económico mundial y otros indicadores nacionales o locales. Estas previsiones deben corregirse también con las tendencias de cada sector de actividad, previsión de incentivos a determinados tipos de industria, etc.

Demanda futura de capacidad.

Según el plan de empresa del Plan Director del puerto de Santander, la demanda futura de capacidades para cada terminal, vendrá del aumento anual del 2% (situación simplificada ante la incertidumbre futura) en la cantidad de materias movidas a partir de las cantidades del último año del que se tienen datos (2016). Se alcanzará el crecimiento máximo en el marco temporal de nuestra obra, es decir, en la vida útil; de tal manera que la capacidad de las terminales que deberemos diseñar son las que saldrán del cálculo de las ya comentadas capacidades.

Las toneladas movidas por cada terminal anualmente serán proporcionadas por el Plan Director del puerto, y a partir de ahí se conseguirá fácilmente la demanda futura.



Dimensionamiento de terminales.

El dimensionamiento de las terminales responderá a una serie de factores. Por un lado, la principal, será la cantidad de toneladas anuales para la que va a ser diseñada esa terminal.

Una vez diseñada la terminal portuaria, deberá dimensionarse la zona de servicio. Al menos debe duplicarse la superficie obtenida en el dimensionamiento de las terminales portuarias.

- Reserva para ampliación de terminales.
- Red interior viaria y ferroviaria.
- Zona logística portuaria.
 - Aparcamiento de camiones y maquinaria.
 - Almacenes portuarios.
 - Deposito franco.
 - Basculas.
 - Instalaciones de las Administraciones competentes en el puerto (Autoridad Portuaria, Capitanía Marítima, Aduana, Puesto de Inspección Fronteriza, Guardia Civil, Policía Nacional, Capitanía Marítima).
 - Instalaciones de servicios portuarios.
 - Instalaciones de servicios comerciales.
 - Talleres de maquinaria.
 - Oficinas y vestuarios.

Para el cálculo de las dimensiones de la terminal, es necesario conocer una serie de factores a tener en cuenta para el cálculo de lo mismo.

- *Tiempo de estancia del buque en el puerto* $\rightarrow T_p = T_e + T_s$ (tiempo de fondeo + tiempo de atraque)
- *Espera relativa del buque en fondeo* $\rightarrow \varepsilon = \frac{T_e}{T_s}$ (relacion entre tiempo de fondeo y tiempo de atraque).
 - 0.10 para líneas regulares.
 - 0.25 para buques tramp.



- *Ritmo de operacion de carga o descarga (productividad) $\rightarrow P = \frac{Q}{T_s}$ (cantidad de mercancia por unidad de tiempo de estancia)*

Los objetivos de explotación serán el máximo ritmo de operación y la mínima espera relativa.

El criterio de diseño de la terminal será el de máxima capacidad: ajustar todo lo posible la espera relativa del buque en fondeo al límite superior del nivel de servicio aceptable, y equilibrar las capacidades de atraque y de almacenamiento de la terminal.

La llegada de buques “tramp” (fletados) es un suceso aleatorio de Poisson. En consecuencia, el intervalo de llegada entre dos buques consecutivos se ajusta a una función Exponencial $E(\lambda)$, donde el parámetro λ representa el promedio de buques que llegan al muelle por unidad de tiempo.

La suma de “k” de intervalos consecutivos entre buques es una función Gamma $G(k, \lambda)$.

El tiempo de atraque del buque también se comporta como una función Gamma $G(k, z)$. Si no se dispone de una muestra de datos de tiempo de atraque, el parámetro “k” puede estimarse entre $k=1$ y $k=4$. Cuanto más bajo sea el parámetro “k” mayor es la dispersión estimada del tiempo de atraque (mayor variación de la carga por buque y del ritmo de operación). Si no se dispone de una muestra de datos de tiempo de atraque, el parámetro “z” puede ajustarse a partir de la estimación de un tiempo medio de atraque.

Para obtener una inferencia estadística sobre una muestra extensa de operaciones portuarias es necesario conocer los siguientes datos:

- A. Banco de datos de tráfico (mercancía, carga y tiempo de atraque en cada escala): permite conocer la carga total manipulada, el tiempo total de atraque y el promedio del ritmo de operación de la carga/descarga, según el tipo de mercancía.
- B. Análisis de las características de los buques que arriban a puerto y cálculo de los estadísticos de la muestra de tiempo de atraque.
 - (1) Promedio carga por escala (toneladas, teus, vehículos, camiones...)
 - (2) Eslora buque tipo (eslora solo superada por el 15% de los buques).
 - (3) Eslora máxima y calado máximo de buques (datos necesarios para definir la longitud y calado del muelle).



- (4) Promedio del tiempo de atraque y desviación típica para cada tipo de mercancía.
- (5) Inferencia estadística para ajustar el tiempo de atraque a una función Gamma.

C. Agrupación de los principales tráficos del puerto en terminales especializadas (requieren una masa crítica de viabilidad económica), repetición del cálculo de las características de los buques y ajuste estadística de los tiempos de atraque en cada terminal.

Las condiciones técnicas de partida para dimensionar las terminales portuarias serán las que siguen a continuación.

A. Datos para dimensionar la infraestructura portuaria.

- (1) Demanda estimada de tráfico (principales mercancías y tráfico anual previsto).
- (2) Estancia media de almacenamiento de cada tipo de producto en puerto (condiciona el número de rotaciones al año en la zona de depósito de la terminal).
- (3) Número de puestos de atraque (factor esencial de capacidad portuaria).
- (4) Longitud de atraque mínima (separación entre buques: $0.1 \cdot \text{eslora tipo}$).
- (5) Calado del puesto de atraque ($1.05 \cdot \text{calado del buque de mayor calado}$).
- (6) Superficie terrestre asignada a la terminal (suma de la zona de maniobra y zona de depósito de mercancía).
- (7) Sobrecarga máxima sobre la zona de almacenamiento (condiciona la capacidad de almacenamiento de la terminal).

B. Condiciones de operación de cada terminal.

- (1) Rendimiento nominal de medios mecánicos (ritmo horario de carga/descarga, sin coeficientes reductores por inactividad y descensos de ritmo en periodos de actividad, que en conjunto se estima del orden de 0.75).
- (2) Días hábiles de trabajo al año (entre 242 y 360). Inactividad mínima de 5 días al año por festivos impuestos legalmente, huelgas, viento, agitación de la dársena.
- (3) Horas diarias de prestación del servicio de estiba (múltiplo del turno de estiba, establecido en 6 horas).



Para el cálculo del nivel de servicio prestado a los clientes (compañías navieras y transitorios) tendremos en cuenta los siguientes factores.

A. Nivel de servicio al buque.

- (1) Espera relativa del buque: se considera “aceptable” una espera relativa del buque en fondeo entre 0.05 y 0.10 en terminales de líneas regulares y entre 0.1 y 0.25 en terminales de buques tramp.

B. Condiciones de explotación de la terminal.

- (1) Ritmo máximo diario de la operación de carga/descarga del buque, en la hipótesis de 24 horas operativas.
- (2) Ritmo diario necesario para la recepción de la mercancía en puerto (entrada terrestre) o expedición de la mercancía (salida terrestre).

C. Diseño óptimo de la terminal.

- (1) Capacidad del atraque: máximo tráfico portuario anual admisible, con la terminal operativa 24 horas/día, 360 días/año, manteniendo el mismo rendimiento de los equipos de carga/descarga y con una espera relativa máxima del buque en el límite del nivel aceptable para la naviera.
- (2) Superficie de la terminal: superficie mínima necesaria para prestar el servicio de almacenamiento al tráfico correspondiente a la capacidad del atraque, sin reducir la estancia media de la mercancía en puerto (sin modificar la rotación prevista).

Para obtener el resultado final esperado, es necesario que se realiza el ajuste del número de atraques, el número de equipos de carga/descarga y tiempo operativo de trabajo, condicionado a los siguientes aspectos.

A. Numero de atraques de la terminal → Comenzar el tanteo con 1 atraque.

B. Número de equipos de carga/descarga de la terminal → La eslora del buque tipo limita el número de equipos que pueden operar simultáneamente en la operación de carga/descarga.

- (1) Buques hasta 100 metros de eslora: no debe trabajar más de 1 grúa.
- (2) Buques hasta 170 metros de eslora: no debe trabajar más de 2 grúas.

C. Tiempo operativo de trabajo → Para reducir la espera relativa del buque en fondeo, se aumentará, por este orden.

- (1) Días operativos al año (comenzar por 242 días y aumentar a 360 días).
- (2) Turnos diarios de trabajo (comenzar por 2 turnos y aumentar a 3 o 4 turnos).



(3) Número de equipos de carga/descarga por atraque (comenzar por 1 e ir aumentado para reducir la espera relativa).

D. Si no se consigue reducir la espera relativa en fondeo por debajo del límite máximo, se aumentará en una unidad el número de atraques y se repite el proceso.

2.1.2. Criterios generales del proyecto (ROM).

Entre otros, los criterios generales que deben definirse en el proyecto de un dique de abrigo son: la organización espacial por tramos y la organización temporal por fases, el carácter general y operativo de cada tramo en cada fase, y los requisitos de proyecto frente a la seguridad, el servicio y el uso y la explotación.

Por tratarse de un ejercicio académico, denominado ‘Diseño básico’, desecharemos el apartado de la organización espacial del dique en tramos. Definiremos las características del dique principal de abrigo, que será el que nos preocupe principalmente para el diseño de nuestra obra.

Por el mismo motivo que en el párrafo anterior, no definiremos distintas fases de proyecto, sino que realizaremos nuestros cálculos en función de la fase de servicio o vida útil, que será la de realmente importancia, y, por lo tanto, no se definirá más que la duración de la fase de servicio (vida útil).

En cada una de las fases de proyecto el tramo tendrá un carácter general y otro operativo. Estos se determinarán por estudios externos y, en su ausencia, en función de los índices de repercusión económica, social y ambiental.

El carácter general es un indicador de la importancia de dicho tramo, medida a través de las repercusiones económicas, sociales y ambientales generadas en caso de su destrucción o pérdida irreversible de su funcionalidad. Es, por tanto, indicativo de la magnitud de las consecuencias derivadas del eventual fallo de la obra de abrigo una vez haya entrado en servicio.

El carácter operativo es un indicador de las repercusiones económicas, sociales, ambientales que se podrían producir cuando no se alcancen o se reduzcan las condiciones de operatividad en el área abrigada o protegida por el dique de abrigo o en sus accesos. Es, por tanto, indicativo de la magnitud de las consecuencias ocasionadas por las paradas operativas en la fase de servicio.



En cada una de las fases de proyecto, cada uno de los tramos del dique de abrigo deberá satisfacer unos requisitos mínimos de seguridad, servicio y uso y explotación, que se especifican acotando la probabilidad de excedencia frente a la seguridad y el servicio en la duración de la fase y la probabilidad de no excedencia de la operatividad en el año.

Vida útil mínima de los tramos definitivos.

Para el cálculo o estimación de la vida útil mínima de nuestra obra, será necesario conocer primeramente el índice del que depende, en este caso el IRE (Índice de repercusión económica), y a continuación el tipo de área abrigada por nuestro dique de protección, tal y como se presenta en la tabla siguiente obtenida de la ROM 1.0-99.

IRE	Vida útil en años
≤ 5	15
6 – 20	25
> 20	50

Figura 2-1. Vida útil mínima de los tramos definitivos.

Máxima probabilidad conjunta (ELU).

Se recomienda que la máxima probabilidad de fallo admisible para una obra de abrigo frente al conjunto de todos los posibles modos de fallo adscritos a estados límite últimos sea inferior a los valores máximos que dependen del índice de repercusión social y ambiental (ISA).

ISA	$P_{i,ELU}$	β_{ELU}
< 5	0,20	0,84
5 – 19	0,10	1,28
20 – 29	0,01	2,32
≥ 30	0,0001	3,71

Figura 2-2. Máxima probabilidad conjunta (ELU).

Máxima probabilidad conjunta (ELS)

La máxima probabilidad de fallo admisible de una obra de abrigo frente al conjunto de todos los modos de fallo adscritos a estados límite de servicio sea inferior a los valores máximos incluidos en la tabla siguiente en función del índice de repercusión social y ambiental (ISA) de la misma.

Tomaremos la hipótesis de que cuando se cumpla un modo de fallo independiente del resto, fallara toda la estructura.

ISA	$P_{i,ELS}$	β_{ELS}
< 5	0,20	0,84
5 – 19	0,10	1,28
20 – 29	0,07	1,50
≥ 30	0,07	1,50

Figura 2-3. Máxima probabilidad conjunta (ELS)

Operatividad mínima.

En el intervalo de tiempo que se especifique, que en general será un año medio de la vida útil, se recomienda que la operatividad mínima admisible para el área abrigada o protegida por una obra de abrigo y, en su caso, sus accesos, frente al conjunto de todos los posibles modos de parada operativa sea superior a los valores mínimos que dependen del índice de repercusión económica operativo (IREO).

IREO	Operatividad r_{EEO}	β_{EEO}
≤ 5	0,85	1,04
6 – 20	0,95	1,65
> 20	0,99	2,32

Figura 2-4. Operatividad mínima.

Número medio de paradas.

En el intervalo de tiempo que se especifique, que en general será un año medio de la vida útil, se recomienda que la suma del número medio de paradas operativas admisible para el área abrigada o protegida por una obra de abrigo y, en su caso, sus accesos, frente a todos los modos adscritos a los estados límite de parada operativa, sea inferior a los valores máximos que dependen del índice de repercusión social y ambiental operativo (ISAO).

ISAO	Número
< 5	10
5 – 19	5
20 – 29	2
≥ 20	0

Figura 2-5. Número medio de paradas.



Duración máxima de una parada.

En el intervalo de tiempo que se especifique, que en general será un año medio de la vida útil, la duración máxima más probable de una parada operativa no podrá exceder el valor en horas consignado en función del IREO e ISAO.

IREO \ ISAO	< 5	5 - 19	20 - 29	≥ 30
≤ 5	24	12	6	0
6 - 20	12	6	3	0
≥ 20	6	3	1	0

Figura 2-6. Duración máxima de una parada.

Procedimiento de verificación.

Se hace necesario verificar que la obra adimensionada satisface los requisitos de seguridad, servicio y uso y explotación en cada una de sus fases de proyecto. A tal efecto, es necesario formular y resolver la ecuación de verificación de cada modo y calcular la probabilidad de ocurrencia del fallo o la parada en la fase de proyecto.

Los métodos de Nivel I se pueden aplicar a ecuaciones formuladas con criterios determinista y determinista-probabilista. La fiabilidad, funcionalidad u operatividad se introduce en función del tipo de combinación, afectando a los valores nominales o representativos de los factores de proyecto que intervienen en la ecuación de verificación de coeficientes globales o parciales, de ponderación, simultaneidad, compatibilidad y reductores. La resolución de la ecuación, analítica o numérica, informa únicamente si con los valores adscritos se produce o no el modo de fallo o la parada operativa en el estado considerado.

Si la ecuación se ha formulado con criterios deterministas, no se puede calcular ni la probabilidad de fallo ni la operatividad y, por tanto, no se recomienda su aplicación a los modos de fallo en los que su agente predominante sea aleatoria. Salvo justificación expresa o prescripción en Normas de obligado cumplimiento, no se hará una formulación determinista de los modos de fallo con agente predominante del medio físico climático atmosférico, climático marino o sísmico.



Si la ecuación se ha formulado con criterio determinista-probabilista, la probabilidad de excedencia del valor del agente predominante que causa el fallo se podrá adoptar como la probabilidad de ocurrencia del modo de fallo.

Los métodos de Niveles II y III se pueden aplicar tanto a formulaciones determinista-probabilista como a formulaciones estrictamente probabilistas. En general la solución se obtiene mediante técnicas numéricas y el resultado es la probabilidad de ocurrencia del modo en el estado considerado.

Cualquiera de estos métodos se puede aplicar a cualquier ecuación de estado de un modo de fallo o parada. Las únicas diferencias estriban en la forma de establecer los factores de proyecto que intervienen en la ecuación de verificación y en el criterio de aceptación del resultado que se obtiene.

Dependiendo del carácter del tramo en la fase de proyecto analizada, la resolución de la ecuación de estado correspondiente a un modo de fallo o parada principal se deberá hacer por uno de los métodos indicados en la tabla que sigue a continuación, y que serán dependientes de nuevo de los índices IRE e ISA.

IRE	No significativo	Bajo	Alto	Muy Alto
Bajo	[1]	[2]	[2] y [3] ó [4]	[2] y [3] ó [4]
Medio	[2]	[2]	[2] y [3] ó [4]	[2] y [3] ó [4]
Alto	[2] y [3] ó [4]	[2] y [3] ó [4]	[2] y [3] ó [4]	[2] y [3] ó [4]

Figura 2-7. Procedimiento de verificación.

En los proyectos en los que debe realizarse una verificación múltiple de los modos de fallo principales, el cálculo se dará por satisfecho cuando los dos procedimientos de verificación utilizados indiquen que la fiabilidad, funcionalidad u operatividad exigida se cumple. Puesto que en estos casos su inclusión es obligada, y dada su mayor facilidad de aplicación, se recomienda inicial el predimensionamiento con un método de Nivel I, y utilizar su resultado como referencia en el resto del proceso.

IRE, ISA y vida útil mínima en función del tipo de área abrigada.

Podemos observar a continuación una manera sencilla y directa de obtener el índice IRE (y por consiguiente la vida útil mínima de la obra) en función de la tipología de la obra que abrigamos.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE IRE ⁷		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V _m) ⁷ (años)	
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráfico	r ₃	Alto	50
		Puertos para tráfico especializados	r ₂ (r ₃) ¹	Medio (alto) ¹	25 (50) ¹
	PUERTO PESQUERO		r ₂	Medio	25
	PUERTO NAÚTICO-DEPORTIVO		r ₂	Medio	25
	INDUSTRIAL		r ₂ (r ₃) ¹	Medio (alto) ¹	25 (50) ¹
	MILITAR		r ₂ (r ₃) ²	Medio (alto) ²	25 (50) ²
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r ₂ (r ₃) ³	Medio (alto) ³	25 (50) ³
	ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ⁴		r ₃	Alto
PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r ₂ (r ₃) ⁵	Medio (alto) ⁵	25 (50) ⁵	
PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		r ₁ (r ₃) ⁶	Bajo (alto) ⁵	15 (50) ⁷	
REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r ₁	Bajo	15	

¹ El índice IRE se elevará a r₃ cuando el tráfico esté asociado con el suministro energético o con materia primas minerales estratégicos y no se disponga de instalaciones alternativas adecuadas para su manipulación y/o almacenamiento.
² El índice IRE se elevará a r₃ cuando la instalación militar se considere esencial para la defensa nacional.
³ En obras de protección de rellenos o de defensa de márgenes se tomará un índice IRE igual al señalado para el área portuaria en que se localiza.
⁴ Se entienden como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquéllos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio.
⁵ El índice IRE se elevará a r₃ cuando la toma de agua o el punto de vertido esté asociado con el abastecimiento de agua para uso urbano o con la producción energética.
⁶ El índice IRE se elevará a r₂ cuando en su zona de afección se localicen edificaciones o instalaciones industriales.
⁷ Los índices inferiores a r₃ de la tabla se elevarán un grado por cada 30 ME de coste de inversión inicial de la obra de abrigo.

Figura 2-8. IRE y vida útil mínima.

ISAO y número máximo de paradas anuales.

Al igual que se obtienen en el apartado anterior los índices ISA e IRE, se puede obtener ahora el índice ISAO, asociado al número máximo de paradas anuales.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISAO	N_{pa}			
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	Mercancías peligrosas ¹	s_{03}	Alto	2	
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas	s_{02}	Bajo	5	
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías adosadas al dique o sólo con las que no les afecte el rebase		s_{01}	No signif.	10	
	PUERTO PESQUERO			s_{02}	Bajo	5	
	PUERTO NAÚTICO-DEPORTIVO			s_{02}	Bajo	5	
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	Mercancías peligrosas ¹	s_{03}	Alto	2	
			Mercancías no peligrosas	s_{02}	Bajo	5	
			Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías adosadas al dique o adosadas a las que no les afecte el rebase		s_{01}	No signif.	10
		MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique a las que afecte el rebase		s_{03}	Alto	2
			Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_{01}	No signif.	10
PROTECCIÓN*	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique a las que afecte el rebase	Mercancías peligrosas ¹	r_{03}	Alto	2		
		Mercancías no peligrosas	s_{02}	Bajo	5		
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES			s_{04}	Muy alto	0	
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO			s_{02} (s_{01}) ²	Bajo (alto) ³	5 (2)	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES			s_{01} (s_{01}) ³	No signif. (alto) ³	10 (2) ³	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS			s_{01}	No signif.	10	
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O MÁRGENES.						

¹ Se considerarán mercancías peligrosas los grupos de sustancias prioritarias incluídas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2455/2001/CEE), en el inventario europeo de sustancias contaminantes (EPER: Decisión 2000/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías peligrosas (Real Decreto 145/1989). (Véase ROM 5.1)

² El índice ISAO se elevará a s_{02} cuando la parada operativa pueda tener importantes consecuencias medioambientales.

³ El índice IREO deberá aumentarse a s_{03} cuando su zona de afectación sea urbana o industrial.

Figura 2-9. ISAO y número de paradas.

ISA y probabilidad conjunta de fallo para ELU.

Podemos observar aquí la forma de obtener el índice ISA, y su relación existente con las probabilidades de fallo de los estados limites ultimo y de servicio.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA	PRELU	PELS		
ÁREAS PORTUARIAS	COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹	Mercancías peligrosas ²	s ₃	Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas ¹	s ₂	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s ₁	No significativo	0.20	0.20
	PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₂	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No signif.	0.20	0.20
	NÁUTICO-DEPORT.	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₂	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No signif.	0.20	0.20
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹	Mercancías peligrosas ²	s ₃	Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s ₁	No significativo	0.20	0.20
MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique ¹		s ₃	Alto	0.01	0.07	
	Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s ₁	No signif.	0.20	0.20	
PROTECCIÓN *	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique ¹	Mercancías peligrosas ²	s ₃	Alto	0.01	0.07	
		Mercancías no peligrosas	s ₂	Bajo	0.10	0.10	
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ³		s ₄	Muy alto	0.0001	0.07	
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		s ₂ (s ₃) ⁴	Bajo (alto) ⁴	0.10 0.0001	0.10 0.07	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		s ₂ (s ₄) ⁵	Bajo (muy alto) ⁵	0.10 0.0001	0.10 0.07	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		s ₁	No signif.	0.20	0.20	
	<p>* PROTECCIÓN DE RELLENOS O MÁRGENES.</p> <p>¹ En el caso de que en la superficie adosada al dique está previsto que se ubiquen edificaciones (p.e. estaciones marítimas, lonjas...), depósitos o silos que pudieran resultar afectados en el caso de fallo de la obra de abrigo, se considerará un índice ISA muy alto (s₄) (PRELU=0.0001; PEELS = 0,007).</p> <p>² Se consideran mercancías peligrosas los grupos de de sustancias prioritarias incluídas en el anexo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER: Decisión 2004/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas (Real Decreto 145/1989). (Ver ROM 5.1-05).</p> <p>³ Se entiende como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquéllos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio.</p> <p>⁴ El índice ISA se elevará a s₃ cuando la toma de agua o el punto de vertido estén asociados con el abastecimiento de agua para uso urbano o industrial o con la producción energética.</p> <p>⁵ El índice ISA se elevará a s₄ cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones u otras instalaciones industriales.</p>						

Figura 2-10. ISA y probabilidades de fallo.

IREO y operatividad mínima.

Se realiza aquí, de igual manera que anteriormente, la obtención del índice IREO, que asociaremos a la operatividad mínima de nuestra obra.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE IREO		r_{UELO}		
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	r_{ca}	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 grandes	r_{ca}^2	Medio	0.95 ¹
			Con tráfico de pasajeros y de mercancía general regular	r_{ca}^2	Alto	0.99 ¹
			Con tráfico de mercancía general tramp	r_{ca}^2	Medio	0.95 ¹
	PUERTO PESQUERO		r_{ca}	Alto	0.99 ¹	
	PUERTO NAÚTICO-DEPORTIVO		r_{ca}	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_{ca}	Alto	0.99	
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	r_{ca}	Medio	0.95 ¹	
		MILITAR		r_{ca}	Alto	0.99
		PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r_{ca}	Alto	0.99
DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES		r_{ca}	Alto	0.99		
ÁREAS LITORALES	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r_{ca} (r_{ca}) ²	Alto (medio) ²	0.99 (0.95) ²	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		r_{ca} (r_{ca}) ⁴	Bajo (alto) ⁴	0.85 (0.99) ⁴	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r_{ca}	Bajo	0.85	

¹ En el caso de que los tráficos sean estacionales, la operatividad mínima se referirá a dicho periodo.
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 en grado.
³ El índice IREO podrá reducirse a r_{ca} cuando pueda considerarse que la demanda puede adaptarse a la parada operativa.
⁴ El índice IREO deberá aumentarse a r_{ca} cuando su zona de afectación sea urbana o industrial.

Figura 2-11. IREO y operatividad mínima.

Duración máxima probable de una parada operativa.

Por último, y de manera idéntica a lo realizado anteriormente, obtendremos la duración máxima probable de una parada operativa, asociada al cálculo anterior de los índices IREO e ISAO.

ÍNDICE IREO	ÍNDICE ISAO			
	No significativo	Bajo	Alto	Muy alto
Bajo	24 horas	12 horas	6 horas	0
Medio	12 horas	6 horas	3 horas	0
Alto	6 horas	3 horas	1 horas	0

Figura 2-12. IREO e ISAO frente a duración máxima.



2.1.3. Criterios generales del proyecto (método ‘subjetivo’).

A continuación, presentamos un método diferente para la obtención de los índices anteriormente descritos: ISA, IRE, ISAO e IREO, que, a diferencia del caso anterior, no dependerán de unas tablas determinadas, sino que podrán ser calculados de manera sencilla mediante el conocimiento de algunos de los factores de funcionamiento de la futura obra.

Para su determinación se tendrá en cuenta la posibilidad, facilidad y factibilidad económica de modificar su dimensionamiento, la probabilidad y posibilidad de cambios en las circunstancias y condiciones de utilización previstas en el proyecto como consecuencia de variaciones en operaciones o tráfico portuario y la viabilidad de readaptaciones a nuevas necesidades de servicio.

La importancia de un tramo de obra marítima, así como la repercusión económica, social y ambiental generada en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad se valorará por medio del carácter general del tramo. Este carácter se evaluará seleccionando, de entre los principales adscritos a los estados límite últimos y servicio, el modo que proporcione los índices más altos.

Carácter general de la obra.

El carácter general se determina mediante la evaluación de dos índices.

- **Índice de repercusión económica (IRE)** → Valora cuantitativamente las repercusiones económicas por reconstrucción de la obra, C_{RD} , y por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con ella, C_{RI} , previsibles, en el caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la misma.

$$IRE = \frac{C_{RD} + C_{RI}}{C_0}$$

C_{RD} → *Repercusiones económicas por reconstrucción de la obra*

C_{RD} → *A falta de estudios de detalle, será igual a la inversión inicial.*

$$\frac{C_{RI}}{C_0} = C(A + B)$$

C_0 → *Parametro de adimensionalización.*



$A \rightarrow$ *Coficiente de ambito del sistema.*

$B \rightarrow$ *Coficiente de importancia estrategica.*

$C \rightarrow$ *Coficiente de importancia economica.*

- **Índice de repercusión social y ambiental** \rightarrow Estima de manera cualitativa el impacto social y ambiental esperable en el caso de producirse la destrucción o la perdida de operatividad total de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de pérdidas de vidas humanas, daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico y la alarma social generada, considerando que el fallo se produce una vez consolidadas las actividades económicas directamente relacionadas con la obra.

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

$ISA_1 \rightarrow$ *Subindice de posibilidad y alcance de perdida de vidas humanas.*

$ISA_2 \rightarrow$ *Subindice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio.*

$ISA_3 \rightarrow$ *Subindice de alarma social.*

Carácter operativo.

Las repercusiones económicas y los impactos social y ambiental que se producen cuando una obra marítima deja de operar o reduce su nivel de operatividad, se valoraran por medio de su carácter operativo. Este se evaluará seleccionando de entre los modos principales de parada operativa, aquel que proporcione el nivel mínimo de operatividad.

Corresponderá al promotor de la obra marítima, público o privado, especificar su carácter operativo.

A falta de una determinación específica, el carácter operativo de una obra marítima se establecerá en función de los siguientes índices.

- **Índice de repercusión económica operativo (IREO)** \rightarrow Valora cuantitativamente los costes ocasionados por la parada operativa del tramo de obra. En aquellos casos en los que no se determinen estos costes, el valor del IREO podrá estimarse de forma cualitativa.

$$IREO = F * (D + E)$$

Coficiente de simultaneidad $\rightarrow D$



Coefficiente de intensidad → E

Coefficiente de adaptabilidad → F

- **Índice de repercusión social y ambiental operativo (ISAO) →** Estima de manera cualitativa la repercusión social y ambiental esperable, en el caso de producirse un modo de parada operativa de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de pérdidas de vidas humanas, daños en el medio ambiente y el patrimonio histórico-artístico y la alarma social generada.

$$ISAO = \sum_{i=1}^3 ISAO_i$$

ISAO₁ → Subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas.

ISAO₂ → Subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio.

ISAO₃ → Subíndice de alarma social.

Cabe comentar, que este método, por no disponer de los datos necesarios proporcionados por el adjudicatario del proyecto (en este caso, la Autoridad Portuaria de Santander), si quisiéramos realizarlo, tendría que ser con datos subjetivos emitidos por nosotros, lo que hace que pierda fiabilidad el método. Es por eso, que utilizaremos el método comentado anteriormente, correspondiente a las diferentes tablas proporcionadas por la ROM.

2.1.4. Condiciones límites de operación de buques en muelles y pantalanes.

Según la ROM 3.1-99, las condiciones más restrictivas para la condición límite de operación de buques en muelles y pantalanes, serán aquellas en que las acciones se realicen en sentido transversal al muelle, en cuanto a la altura de ola significativa se refiere, por lo que será este el criterio que utilizaremos para el estudio de la operatividad de nuestros muelles.



• Acciones en sentido transversal al muelle			
— Petroleros			
< 30.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.0 m
30.000-200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.2 m
> 200.000 TPM	20 m/s	0.7 m/s	1.5 m
— Graneleros			
Cargando	22 m/s	0.7 m/s	1.0 m
Descargando	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
— Transportadores de Gases Licuados			
< 80.000 m ³	18 m/s	0.5 m/s	0.8 m
> 80.000 m ³	18 m/s	0.5 m/s	1.0 m
— Mercantes de carga general, Pesqueros de altura y congeladores			
	22 m/s	0.7 m/s	0.8 m
— Portacontenedores, Ro-Ros y Ferries			
	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
— Transatlánticos y Cruceros (1)			
	22 m/s	0.5 m/s	0.3 m
— Pesqueros de pesca fresca			
	22 m/s	0.7 m/s	0.4 m

Figura 2-13. Condiciones límites de operación en buques.

2.2. Descripción del emplazamiento.

Reunión de la información local topográfica, morfológica, climática, medioambiental, de disponibilidad de los materiales, de los métodos constructivos, de uso o explotación y de las posibilidades de reparación y mantenimiento, que permita, a su vez, determinar los factores de proyecto que definen la geometría, caracterizan el medio físico, el terreno y los materiales, y valoran los agentes y sus acciones actuantes.

Para nuestro proyecto, desecharemos alguno de los aspectos comentados anteriormente, y nos quedaremos con los que comentaremos a continuación, que son los que realmente presentan especial importancia para el posterior desarrollo y cálculos de la obra.

2.2.1. Información topográfica.

Sera necesaria la obtención, para su estudio, de las batimetrías y topografías más actualizadas y con el mayor detalle posible, con el fin de buscar zonas en las que la situación de nuestro proyecto sea lo más óptima posible, mediante un estudio de las mismas.

La topográfica será importante, pues una zona de acantilados y pequeñas elevaciones cercanas a la costa podrán servir de aprovisionamiento de materiales para la obtención de áridos con la finalidad de fabricar hormigones; también puede servir como forma directa de obtener escolleras.

También será necesario tener en cuenta la topografía para los accesos a la zona, pues se precisará un aprovisionamiento de materiales o inserción de maquinaria inicial para adecuar la zona a las condiciones óptimas.

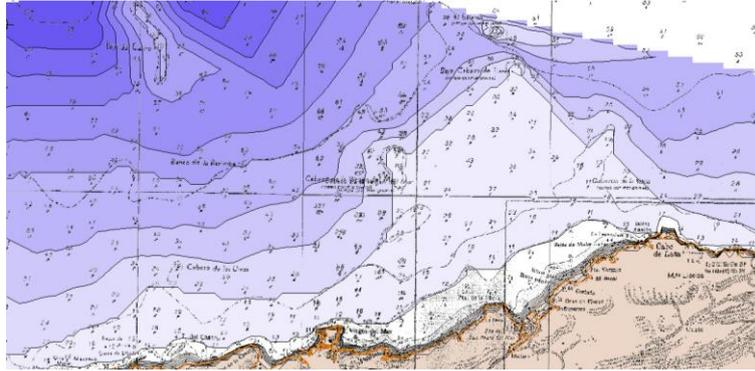


Figura 2-14. Topografía grosera de la zona de proyecto.

2.2.2. Información morfológica.

La combinación entre la disponibilidad de superficie en planta, las pendientes del terreno y los calados naturales existentes en la localización de la obra pueden condicionar su tipología estructural.

En general, las obras de gravedad construidas en calados importantes ocupan mucha superficie en planta debido a la necesidad de disponer de grandes banquetas de cimentación, por lo que no son adecuadas en zonas en las que no se disponga de suficiente espacio.

Sera importante conocer la composición del suelo, pues tendrá posterior importancia en la tipología (o incluso en la existencia o no) de la berma de pie.

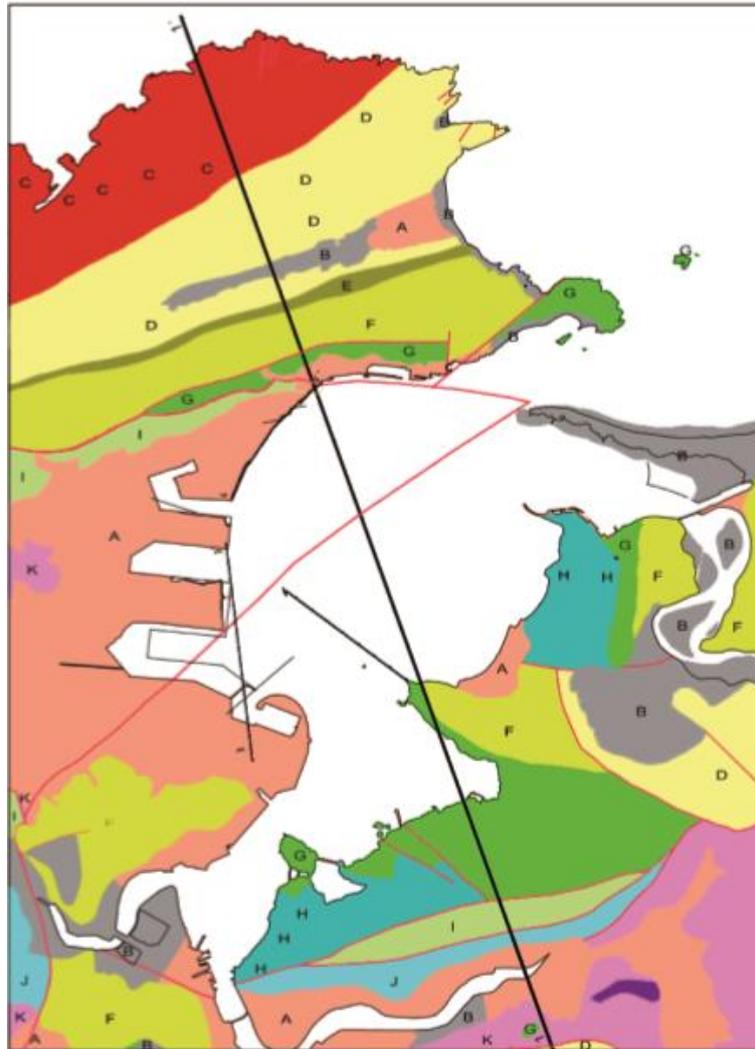


Figura 2-15. Capas y unidades geotécnicas de la bahía de Santander.

La unidad geotécnica correspondiente a la zona de proyecto será la siguiente.

C	C1 Calcarenita	CALCARENITAS TERCIARIAS Calcarenita de grano fino y caliza arenosa. Localmente con niveles arenosos y de glauconita
	C2 Dolomia blanca	Dolomia blanca microcristalina (banco potente en la transición al Terciario)

Figura 2-16. Calcarenitas terciarias.

Debido a la naturaleza rocosa del material no suelen realizarse reconocimientos geotécnicos para el cálculo de cimentaciones y por tanto no se dispone de ensayos que permitan su caracterización. Desde el punto de vista geotécnico, estas rocas pueden asimilarse a las calizas arrecifales del Complejo Urgoniano. Como diferencia



fundamental, sus arcillas de descalcificación son mucho más arenosas que las arcillas anaranjadas procedentes de las calizas urgonianas.

Los riesgos geotécnicos son los propios de las calizas carstificadas: colapso por fracturas de la roca, deslizamiento de bloques en los taludes de excavaciones, pérdida de finos en los suelos residuales por la acción de redes subterráneas de filtración y asientos diferenciales en cimentaciones no homogéneas debido a los apoyos desiguales sobre zonas de arcillas arenosas y sobre el techo de las calcarenitas.

2.2.3. Información climática.

El clima marítimo en el lugar de emplazamiento también puede condicionar la elección de la tipología estructural de la obra, aunque, cuando los requerimientos operativos lo permitan, puede ser más conveniente actuar sobre la configuración física de la obra.

El clima marítimo también puede condicionar la tipología, al tener una gran incidencia en el proceso constructivo, especialmente cuando se construye en aguas no abrigadas. Las estructuras de gravedad con cajones flotantes requieren, en el momento del fondeo, la existencia de pequeñas alturas de ola y periodo ($H_s < 0.80 m$ y $T < 9 s$), por lo que puede incidir en los plazos de construcción en función de las ventanas climáticas disponibles a lo largo del año. La construcción de recintos también es muy sensible al oleaje hasta que el recinto esté completamente relleno, aunque en este caso por razones de estabilidad.

2.2.4. Consideraciones medioambientales.

La existencia de dificultades ambientales relacionadas con la apertura y explotación de canteras, con el transporte de materiales de construcción o con la remoción y vertido de productos de dragado puede condicionar la utilización de tipologías de gravedad o de pilas en aquellos casos en que éstas llevan asociadas grandes banquetas de cimentación y/o grandes volúmenes de dragado hasta alcanzar el nivel de cimentación competente.

Si el emplazamiento de la obra de atraque y amarre no está abrigado, deberá tenerse en cuenta el efecto que la reflexión y/o radiación del oleaje sobre el entorno, especialmente cuando existan playas de arena fina en su área de influencia, más sensibles a los cambios en las características del oleaje incidente.



Por último, siempre que sea posible, se elegirán las tipologías que favorezcan la calidad del agua, la circulación y la no retención de elementos flotantes.

2.2.5. Consideraciones constructivas y de los materiales.

La disponibilidad local de los materiales: escolleras y áridos, hormigones o aceros, y su coste económico, es un aspecto importante a considerar en la elección de la tipología estructural. En la actual situación europea, el elemento más significativo en lo que respecta a los materiales que puede condicionar la selección entre las distintas tipologías estructurales es la disponibilidad y cercanía de yacimientos o canteras explotables capaces de suministrar escolleras, materiales de préstamo para banquetas y rellenos y áridos para hormigones.

La severidad del medio marino, las limitaciones existentes en la realización de trabajos sumergidos, así como las dificultades para el control submarino de las obras, recomiendan la consideración de métodos constructivos que permitan la realización de la mayor parte de los trabajos por encima del nivel de las aguas.

Con el objeto de evitar la reducción de la competencia entre empresas constructoras no es conveniente elegir soluciones que hagan imprescindible la utilización de equipos exclusivos o de muy reducida disponibilidad. Por el contrario, son recomendables soluciones simples que permitan un alto grado de flexibilidad de aplicación de diferentes procedimientos constructivos que puedan adaptarse a la experiencia y recursos disponibles por cada una de las empresas constructoras.

2.3. Estudio inicial de alternativas.

El emplazamiento final de la obra será obtenido mediante el análisis de diferentes alternativas de la costa de los alrededores de Santander. Serán tomados en cuenta una serie de factores que nos darán como resultado final la zona óptima, en función de la mejor combinación de estos distintos factores, y que serán recogidos del apartado anterior, donde describimos las características de los distintos posibles emplazamientos.

Por un lado, vamos a tener la configuración o configuraciones físicas de los atraques, de manera que se satisfagan los usos y requerimientos funcionales y operativos exigidos lo más convenientemente posible. Por otra parte, vamos a tener que obtener la tipología o tipologías estructurales que cumplan de la forma más conveniente los diferentes requerimientos de uso y explotación y a los condicionantes geotécnicos,



morfológicos, climáticos, medioambientales, constructivos y de los materiales, de conservación y mantenimiento existentes.

2.4. Disposición en planta y alzado de la obra.

2.4.1. Disposición en planta.

Una vez seleccionada la alternativa de proyecto tanto desde el punto de vista de su configuración física como de la tipología estructural, los aspectos operativos que fundamentalmente condicionan las dimensiones principales de la obra en planta son:

- Las previsiones de volúmenes y tipos de mercancías o pasajeros a manipular anualmente en los atraques.
- El tamaño, composición y características de la flota previsible de buques en el atraque.
- La distribución estadística de escalas o de intervalos de tiempo entre llegadas de buques consecutivas.
- La distribución del volumen de mercancías cargadas/descargadas por escala (trafico unitario).
- Distribución de los tiempos de servicio o tiempos de utilización de un atraque por dos buques consecutivos.
- Las características y los niveles de productividad de las operaciones de carga y descarga, incluyendo el número y los rendimientos de los equipos de manipulación en el emplazamiento, así como los utilizados para la interconexión interna del área de operación con el área de almacenamiento.
- El nivel de calidad del servicio considerado como admisible. Se define como nivel de calidad del servicio a la espera relativa o tiempo medio de espera de los buques en puerto antes de que se le asigne un atraque por encontrarse ocupados todos los atraques (tiempo de congestión dividido por el tiempo medio total de los buques en el atraque o tiempo de servicio).
- Las características de los accesos marítimos.
- La configuración y el tamaño de las dársenas y la disponibilidad de espacios para la realización de las maniobras de acceso, permanencia y



salida de los buques, así como la tipología estructural de las obras portuarias que se forman.

- Las condiciones climáticas locales.
- Los medios y dotaciones para la maniobrabilidad de los buques previstos.
- La distribución de los tiempos de estancia de las mercancías en las áreas de almacenamiento.
- Las necesidades de superficie de almacenamiento de mercancías hasta su evacuación/recepción por los medios de transporte terrestre o trasbordo a otro tipo de buques, en función del tipo de mercancía y de los sistemas de manipulación en el área de almacenamiento utilizados.
- La capacidad de evacuación/recepción de los medios de transporte terrestre en función de los equipos y estaciones específicas de transferencia.

Las dimensiones mínimas de la obra deberán ser aquellas que permitan manipular los tráficos previsibles, en condiciones de seguridad, con los niveles de servicio y operatividad considerados.

Las características a definir en una obra de atraque y amarre referentes al dimensionamiento en planta, una vez decidido su emplazamiento, son:

- Orientación.
- Alineaciones.
- Numero de atraques.
- Longitud total de la línea de atraque.

2.4.2. Disposición en planta de la lámina de agua.

Las dimensiones de todas las áreas de flotación están determinadas con independencia de cuál sea el uso que se da a las márgenes o áreas contiguas a las que se analiza. Es decir, se trata de dimensiones netas para la función en que cada caso se considera.

En el supuesto de que estas zonas contiguas tengan otros usos será necesario considerar las dimensiones requeridas por ellos; así, en el supuesto de que se dispongan muelles a lo largo de una vía de navegación o en el contorno de un área de reviro, deberá considerarse la anchura requerida por los mayores buques que operen en dichos muelles,



El acceso a las dársenas parece asegurado con la disposición que se propone.

2.4.3. Disposición en alzado.

Las características a definir en nuestra obra de atraque y amarre referentes a su dimensionamiento en alzado son las siguientes.

Nivel de coronación del atraque.

El nivel de coronación de la obra de atraque y amarre, medido en la línea de atraque, será como mínimo el que permita su explotación eficiente y en condiciones seguras para la flota de buques y las operaciones portuarias previstas, con un determinado nivel de operatividad. Dichos niveles de coronación del atraque pueden tener incidencia en el modo de parada operativa.

Con el fin de homogeneizar el nivel de coronación de los muelles de nuestro puerto, lo dimensionaremos para el máximo nivel de los buques tipo correspondiente.

El nivel de los muelles se establece en función del Nivel Medio de Operación (NMO) de las aguas, incrementando en las cantidades que se sugieren en la ROM 3.1-99.

$$\text{Buques de gran desplazamiento } (\Delta > 10000 \text{ t}) = \text{NMO} + 2.50 \text{ m}$$

$$\text{NMO} = \text{NM} + 0.10 \text{ m.}$$

Este nivel medio será calculado para zonas sin corrientes fluviales, donde hay influencia de marea astronómica y marea meteorológica.

2.5. Criterios generales de proyecto.

Los criterios generales de proyecto que debemos describir en un proyecto normal serían los siguientes: los plazos temporales de la obra, la determinación de sus escalas espaciales, la determinación de sus escalas temporales y sus duraciones, los requisitos de fiabilidad, aptitud del servicio y operatividad en cada fase de proyecto y plan de desmantelamiento en cada caso.

Estos aspectos que describimos en este apartado, carecerán de importancia en nuestro proyecto, pues no tendremos muy en cuenta el proceso constructivo, sino que intentaremos optimizar la fase de vida útil.



2.6. Elección de la alternativa.

En este momento del proyecto será cuando de todas las alternativas disponibles y ya analizadas en profundidad, deberemos escoger la óptima que satisfaga todos nuestros requerimientos y condiciones ya definidas anteriormente.

2.7. Pre-dimensionamiento de la obra.

Serán realizados aquí los cálculos necesarios para el pre-dimensionamiento de la obra. En nuestro caso, se tendrán en cuenta sobre todo los cálculos correspondientes al dique exterior de defensa de nuestro puerto, en lo que conoceremos como Nivel I de diseño, que será comprobado posteriormente en posteriores apartados. Es en este apartado donde prácticamente deberá quedar concluido nuestro proyecto, a falta de las últimas revisiones.

El pre-dimensionamiento de nuestra obra irá enfocado principalmente a la ejecución del dique principal de protección de la zona abrigada. Dentro del mismo, los campos que deberán ser estudiados o pre-diseñados serán:

- Cota de coronación.
- Pendiente del talud.
- Longitud de la berma superior.
- Tamaño de las piezas del manto principal (y como consecuencia, de los mantos secundarios y núcleos).
- Forma y tamaño del espaldón.
- Berma de pie.

Cota de coronación.

Antes de llegar al cálculo de la cota de coronación, hay que presuponer la tipología estructural que será utilizada para la construcción de nuestra obra, por lo que damos por hecho que, a estas alturas, como veremos en la sección de cálculos, ya habremos tomado la decisión sobre la tipología estructural utilizada.

La cota de coronación será calculada utilizando como datos la serie temporal completa del clima marítimo, así como los requisitos de operatividad obtenidos anteriormente. A partir de estos datos, y mediante un caudal medio limite que se proporcionara, obtendremos la cota de coronación mínima para la que se cumplen todos los requisitos planteados.



Para realizar el cálculo de rebase medio deberá ser utilizada la fórmula del EUROTOP para diques en talud (1:1.5) donde el espaldón corona a la misma cota que la berma superior (para así intentar evitar presiones dinámicas), y donde la berma superior estará compuesta por 3 piezas del manto principal, y en donde en su versión probabilista, adquirirá la siguiente forma:

$$\frac{q}{\sqrt{g * H_{m0}^2}} = 0.2 \exp\left(-2.6 * \frac{R_c}{H_{m0} * \gamma_\beta * \gamma_f}\right)$$

No se realizarán correcciones por efecto de la berma superior, pues nuestro diseño tendrá las características del diseño original utilizado para la realización de la formulación.

Si será necesaria la realización de una corrección por efecto de la oblicuidad del oleaje incidente.

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0063 * |\beta| \rightarrow 0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ$$

$$\text{Para valores de } \beta \text{ fuera del rango } \rightarrow \beta = 80^\circ$$

A la hora de realizar la actual formulación, se encontraron diferencias en los valores medidos de rebase entre ensayos de prototipo y a escala reducida, debido principalmente al factor de rugosidad. Esto se hace relevante para descargas menores de 1 l/s/m. El factor de escala se dimensionará como sigue:

$$f_q = 1.0 \rightarrow q_{ss} \geq \frac{10^{-3} \frac{m^3}{s}}{m}$$

$$f_q = \min \left\{ (-\log|q_{ss}| - 2)^3; f_{q_{max}} \right\} \rightarrow q_{ss} \leq \frac{10^{-3} \frac{m^3}{s}}{m}$$

Donde $f_{q_{max}}$ se calculara de la siguiente manera

$$f_{q_{max}} = f_{q_s} \rightarrow \gamma_f \leq 0.7$$

$$f_{q_{max}} = 5 \cdot \gamma_f \cdot (1 - f_{q_s}) + 4.5 \cdot (f_{q_s} - 1) + 1 \rightarrow 0.7 < \gamma_f \leq 0.9$$

$$f_{q_{max}} = 1 \rightarrow \gamma_f \geq 0.9$$

Donde f_{q_s} lo calcularemos de la siguiente manera

$$f_{q_s} = 1.0 \rightarrow \text{cota} \leq 0.6$$

$$f_{q_s} = f_w \cdot (8.5 \cdot \text{cota} - 4.0) \rightarrow 0.6 < \text{cota} \leq 0.4$$



$$f_{q_s} = f_w \cdot 30 \rightarrow \cot\alpha > 4.0$$

Donde $f_w = 1.0$ si hay viento y $f_w = 0.67$ si no lo hay.

El caudal medio máximo permitido vendrá definido también por la formulación del EUROTOP, y será el siguiente

$$q < \frac{0.1 \frac{l}{s}}{m}$$

→ Caudal insignificante (dique no rebasable) que no producira daños.

Pendiente del talud.

La pendiente del talud vendrá definida por un lado por las condiciones iniciales de las formulaciones que se utilizaron, y por otro por factores como la pendiente del fondo marino o la cantidad de materiales disponibles.

Longitud de la berma superior.

Vendrá definido también en gran medida por las condiciones iniciales de la formulación utilizada para la obtención de otros elementos del talud, y también por varias recomendaciones conocidas.

Tamaño de las piezas del manto principal.

Para la obtención de las piezas del manto principal, y, por consiguiente, las del resto de mantos y núcleos, habrá que tomar una formulación adecuada a la de las características del entorno de nuestra obra.

Las obtenciones de estas formulaciones están basadas en un número limitado (a veces escaso) de ensayos de laboratorio. Se basan casi en exclusiva en ensayos a escala reducida, la literatura no cuenta con comparaciones entre efectos de escala del laboratorio al prototipo.

Los efectos de escala hacen que el diseño del dique sea conservador (del lado de la seguridad), por lo que es recomendable realizar una revisión probabilista del diseño final y/o ensayos de laboratorio y/o ensayos numéricos. Muchos ensayos se basan únicamente en oleaje monocromático (resultados muy conservadores). La construcción del manto principal en laboratorio tiende a crear una capa más densa que en la realidad, con mejor



trabazón. Las formulaciones debes estar acompañadas (cuando se pueda) de ensayos de laboratorio, especialmente para aquellas obras singulares o relevantes.

Los factores que influyen en el diseño se pueden clasificar como:

- A. Influencia de los efectos de rotura por fondo.
- B. Tipo de pieza del manto principal.
- C. Efectos inducidos por el Run-Up y el Overtopping.
- D. Presencia de súper-estructura (espaldón).

Llegados a este punto, habiendo hecho algunos cálculos y conclusiones, partiremos de la base de que ya sabemos que nuestro dique va a ser un dique en talud de materiales sueltos, con una pendiente determinada, con berma de pie, y donde la cota de coronación del espaldón y la berma superior, será la misma.

Nuestra formula a utilizar en el diseño del tamaño de las piezas será la de Van der Meer (1988), pues consideramos que es la más apropiada, por adaptarse las condiciones iniciales en las que se obtuvo a las condiciones que va a presentar nuestra obra, también porque es aquella de todas las disponibles que, para obtenerse, fue acompañada de un mayor número de ensayos de laboratorio (a priori puede considerarse la más fiable).

Esta formulación será válida para alturas de ola de diseño no limitadas por fondo, oleaje irregular, manto de dos capas de cubos con pendiente 1:1.5 y un numero de Iribarren entre 3 y 6 (surf similarity parameter range).

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta * D_n} = \left(6.7 * \frac{N_{od}^{0.4}}{N_z^{0.1}} + 1 \right) * s_m^{-0.1}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$$

$$N_{od} = \frac{S - 0.4}{1.8}$$

$$T_m = \frac{T_p}{1.1}$$

$$N_z = \frac{duracion}{T_m}$$

$$s_m = \frac{H_s}{L_{m0}}$$

El nivel de daño de diseño lo marcará Van der Meer y va a depender del parámetro de daño. En nuestro caso vamos a diseñar nuestro dique para el fallo de inicio de avería, que nos dará un parámetro de fallo determinado.



Los demás parámetros los obtendremos de las características del agua, del hormigón y de la caracterización del clima marítimo.

Tamaño de las piezas del morro.

El morro en nuestro caso, como observaremos más tarde, no va a ser un morro al uso, pues simplemente se trata un cambio en la dirección principal del dique de protección.

En los manuales se indica que el tamaño de las piezas del morro será el de las piezas del dique principal multiplicadas por un factor, que, en el caso de inicio de avería, sería igual a 1.5.

Profundidad de las piezas de la berma de pie.

Para la berma de pie, antes de obtener su profundidad, vamos a tener que suponer un tamaño de piezas inicial, que en este caso consideraremos de la mitad del peso de las del manto principal, pues las consideramos un buen tamaño para cumplir la función de servir de soporte de todas las piezas del manto principal. Debido a las profundidades en las que trabajaremos (37 m. la de mayor entidad), no se generaran esfuerzos excesivos sobre la misma, y no necesitaría proteger esa zona.

La formulación que vamos a utilizar para nuestro caso será la de Gerding (1993), cuyas condiciones iniciales de obtención coinciden en gran parte con las que tenemos en nuestra obra: oleaje irregular, pendiente del fondo 1:20, relación adecuada entre altura de ola significativa y profundidad, entre profundidad del fondo y de la cota superior de la berma, entre profundidad de la berma y tamaño de las piezas, entre altura de ola significativa y tamaño de las piezas, y por último, cumple la condición de daño.

Gerding (1993) fue el primer autor que incluyó en su fórmula el parámetro Nod para definir el daño de la berma, que representa el número de piedras desplazadas de la estructura del pie en una franja de ancho de un diámetro nominal y tiene la ventaja de que el nivel de daño es igual independientemente de la forma de la estructura del pie.

Gerding (1993) realizó ensayos de dique en talud situado sobre una pendiente de fondo de 1:20. Estos ensayos fueron realizados con alturas de ola (H_s) de 15, 20 y 25 cm, siendo constante el peralte de las olas. En cada uno de los test se midió el nivel de daño Nod asociado a cada altura de ola y cada periodo, es decir, no se acumula el daño. La fórmula propuesta por Gerding (1993) en su investigación es la siguiente:

$$N_{od} = \frac{\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}}}{0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}}\right) + 1.6} \frac{1}{0.15}$$

La existencia o no de berma de pie en diques en talud, dependerá en gran medida de la forma y tipología del fondo, tal como observamos en la figura siguiente.

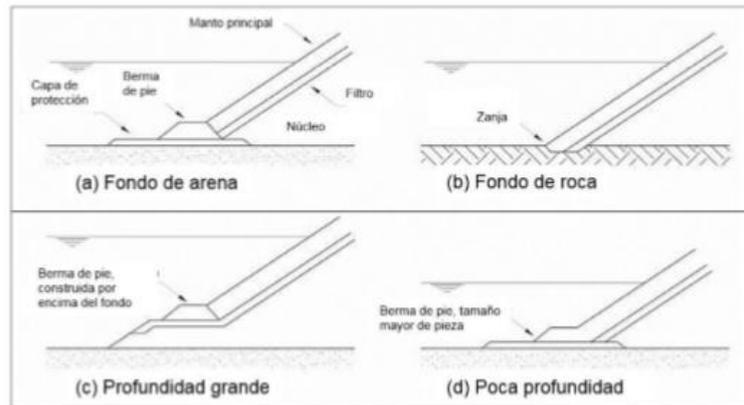


Figura 2-18. Alternativas del diseño de la berma de pie.

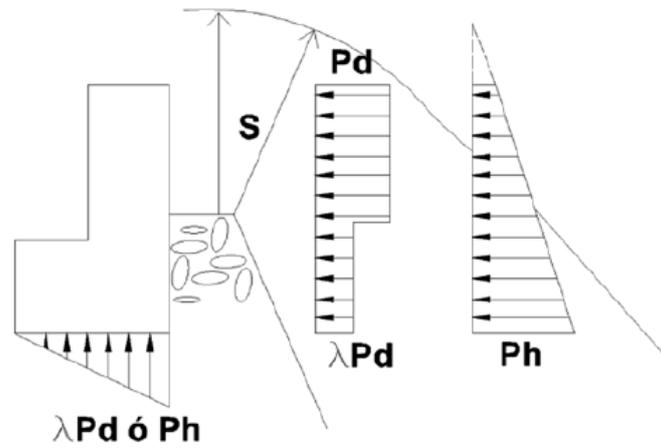
Forma y tamaño del espaldón.

Para el diseño del espaldón, vamos a utilizar la formulación de Martin et. Al (1999), en la que vamos a contar con dos hipótesis de carga diferentes, la presión dinámica y la presión pseudohidrostática.

El método que vamos a utilizar será solamente aplicable cuando el oleaje no rompe directamente sobre el espaldón, es decir:

- Cuando el número de Iribarren asociado al talud es superior a 3.
- Cuando el número de Iribarren asociado al talud es inferior a 3 y el oleaje romper sobre el talud.

La distribución de las cargas dinámicas (estas cargas solo actuarán en aquellas situaciones en las que la cota superior del espaldón quede por encima de la cota de coronación de la berma) y pseudohidrostáticas será tal como se observa en la figura siguiente.



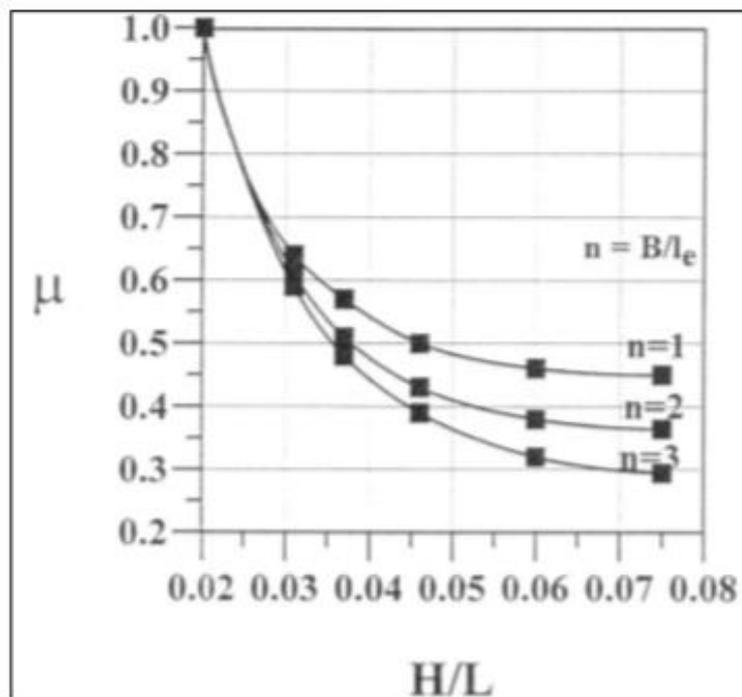
$$P_d = \alpha \cdot \rho \cdot g \cdot s \rightarrow A_c < z < A_c + s$$

$$s = H_{max} \cdot \left(1 - \frac{A_c}{R_u}\right)$$

$$\alpha = 2.9 \cdot \left(\frac{R_u}{H_{max}} \cdot \cos\beta\right)^2$$

$$\lambda = 0.8 \cdot e^{-10.9 \frac{B}{L}}$$

$$P_h(z) = \mu \cdot \rho \cdot g \cdot (s + A_c - z) \rightarrow \text{cota de cimentacion} < z < A_c + s$$





Las subpresiones debidas a las presiones dinámicas tendrán forma triangular. La presión en la zona delantera de la base del espaldón será igual a $\lambda \cdot P_d$. La presión en la zona posterior de la base es despreciable.

Las subpresiones debidas a las presiones pseudo-hidrostáticas tendrán forma trapezoidal. La presión actuando en la base del espaldón es igual a la que actúa sobre el frente de este a la misma cota. La presión en la parte posterior del espaldón solamente será relevante si la cota de cimentación está en contacto con el agua. Si no está en contacto, como es en nuestro caso, es nula.

Para ver si el espaldón es fiable, habrá que analizar su modo de fallo: deslizamiento y vuelco. Deben analizarse independientemente las dos hipótesis de carga.

$$\text{Coeficiente de seguridad al deslizamiento} \rightarrow CSD = \frac{\mu \cdot (W - F_S)}{F_H} \geq 1.4$$

$$\text{Coeficiente de seguridad al vuelco} \rightarrow CSV = \frac{M_w}{M_H + M_S} \geq 1.4$$

2.8. Verificación de la obra.

Realizaremos aquí una revisión o verificación del conjunto de la obra, de manera que se comprobara que se alcanzan todos los niveles de fiabilidad, aptitud al servicio y operatividad exigidos. Nos centraremos principalmente, como en el apartado anterior, en el dique exterior de protección del puerto, realizando una revisión a nivel funcional y otra a nivel estructural, que será conocida como Nivel II o Nivel III, dependerá de distintos factores de repercusión social y económica de la obra en la zona, y que ya deberían haber sido calculados anteriormente.

Revisión del RunUp y Overtopping.

Vamos a realizar una revisión del caudal de rebase de nuestro dique, para ver si es cierto que cumple los requisitos de funcionalidad con los que ha sido modelado en el pre-diseño, y para ello utilizaremos la herramienta disponible para el autor del trabajo; IH2VOF.

El modelo IH2VOF es un modelo numérico desarrollado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, y que es una representación de un canal de oleaje bidimensional que nos servirá para realizar ensayos de laboratorio como si estuviésemos en la realidad, pues el sistema ha sido anteriormente debidamente calibrado.



Este modelo no resuelve formulaciones empíricas, si no que se basa en la resolución de las ecuaciones bidimensionales promediadas de Navier-Stokes (RANS), por lo que tiene en cuenta procesos no lineales, y hace que se ajuste con gran precisión a la realidad.

Hay que tener en cuenta una serie de hipótesis para la correcta elaboración de la malla de cálculo, aunque la principal será que el comienzo del canal estará a una distancia mínima de 1.2 veces la longitud de onda de la ola de diseño. Para elaborar el cálculo del caudal de rebase, ejecutaremos una hora de estado de mar, irregular, con las características de oleaje con las que fue diseñado el dique originalmente.

El oleaje irregular será generado por el propio sistema en función de las características que le demos, debiendo cumplir una serie de factores, como será que la ola máxima generada sea una ola de cresta, que tenga un tamaño mínimo de 1.8 veces la altura de ola significativa y que se produzca a un tiempo mínimo de 100-120 segundos.

Una vez ejecutado el modelo, obtendremos los caudales de rebase y podremos obtener el caudal medio, y compararlo con el obtenido inicialmente por formulaciones empíricas.

Revisión mediante Nivel III.

La revisión de Nivel III es una metodología implantada en los últimos años, de carácter probabilístico y que tiene en cuenta las incertidumbres (o las propiedades aleatorias) de las variables de carga y resistencia involucradas en los modos de fallo. Son denominados de Nivel III aquellos métodos en los cuales se tiene en cuenta las funciones de distribución estadística de las variables.

La evaluación de la seguridad estructural esta siempre relacionada con la respuesta estructural a través de los modos de fallo. El olvido de un modo importante de fallo tendrá como consecuencia un importante de error en la estimación de la seguridad de una estructura. Para poder determinar la fiabilidad de una estructura, la interacción entre los modos de fallo y cada modo de fallo debe estar escrito mediante una formulación que permita su ocurrencia. Generalizando, la ecuación función de fiabilidad se formula como:

$$Z = R - S \rightarrow \text{Resistencia} - \text{Carga}$$

Estas funciones R y S pueden depender a su vez de varias variables aleatorias. Y el estado limite viene dado por $Z=0$.



Un método sencillo (a priori) de estimación de probabilidades de ocurrencia es el método de Monte Carlo, donde se simula un gran número de realizaciones x de las variables X . P_f es entonces aproximada por la proporción de simulaciones donde $Z \leq 0$. La fiabilidad del método depende por supuesto de una descripción adecuada de las funciones de distribución estadísticas de X y sus correlaciones.

Las hipótesis que tendremos en cuenta para la realización de nuestro Nivel III deberán ser tomadas en cuenta, pues pueden explicar algunos de los procesos que ocurren en el mismo.

- En primer lugar, cabe decir que las formulaciones que se utilizan en el Nivel III para definir las funciones de fiabilidad, deben ser totalmente las mismas que se utilizaron para el diseño de Nivel I.
- También a la hora de definir las funciones de fiabilidad, se comparará el valor obtenido con el Nivel III con el valor de diseño de Nivel I.
- En principio, se intenta realizar el régimen extremal para cada dirección con una media de 7 eventos por año, cosa que no fue posible en aquellas direcciones con poca posibilidad de ocurrencia.
- Para aquellas direcciones en las que se detectó una probabilidad de ocurrencia menor al 1% se desechan y se igualan a 0, pues no tendrían en ningún caso influencia en el resultado final.

Presentamos a continuación la metodología que hemos seguido para el diseño de nuestro Nivel III.

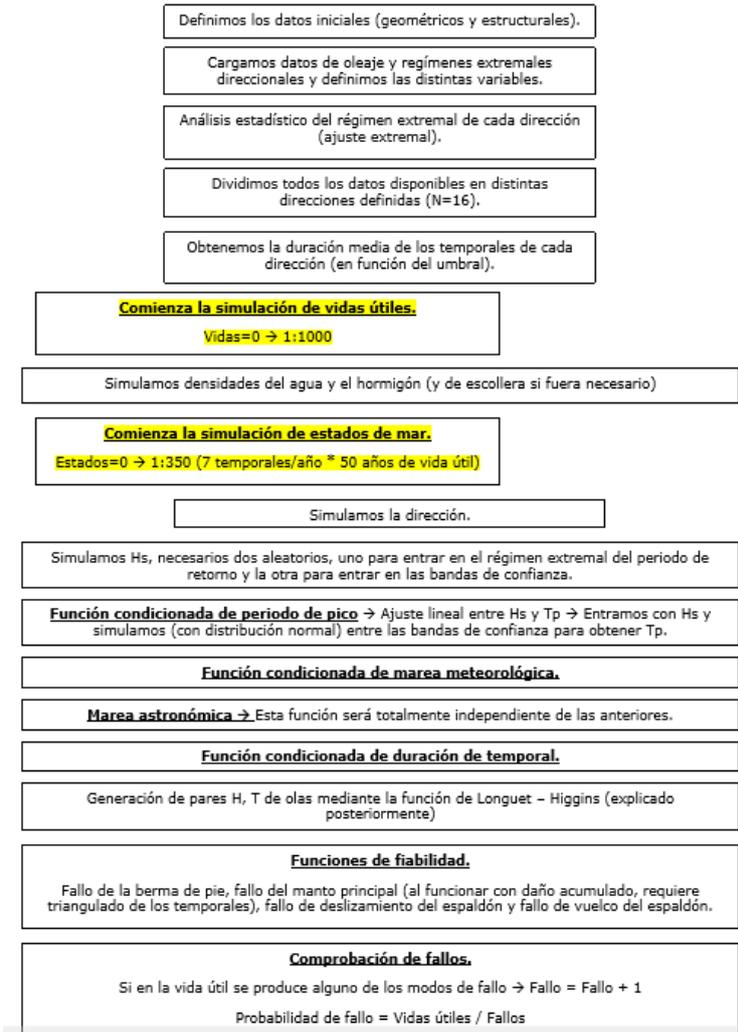


Figura 2-19. Metodología de cálculo del nivel III.

2.9. Optimización de la obra.

Últimos ajustes para terminar de cumplir con exactitud todos los requisitos o requerimientos planteados anteriormente, sobre todo en aquellos aspectos que hubieran sido detectados mediante las revisiones anteriormente comentadas.

2.10. Redacción del proyecto.

Este apartado será plasmar en un documento, todos y cada uno de los pasos, cálculos, procedimientos, estudios, análisis y cualquier tipo de factor relacionado con nuestra obra, tal como se hace en el documento actual.



3. CÁLCULOS Y RESULTADOS.

Presentaremos a continuación, en este apartado, todos los procesos y los resultados de los mismos para alcanzar el objetivo final, intentando seguir la metodología explicada en el apartado anterior, en donde también fueron explicados muchos o todos los aspectos a tener en cuenta en los diferentes cálculos. Es por eso que se intentara ser lo más breve y conciso posible con el fin de mantener la atención del lector y conseguir el entendimiento de todo el proceso.

3.1. Localización.

Se presenta a continuación, en función de los criterios presentados en el apartado de metodología, las posibles distintas localizaciones, y el porqué de la elección de la que, a opinión del autor, se considerara como óptima.

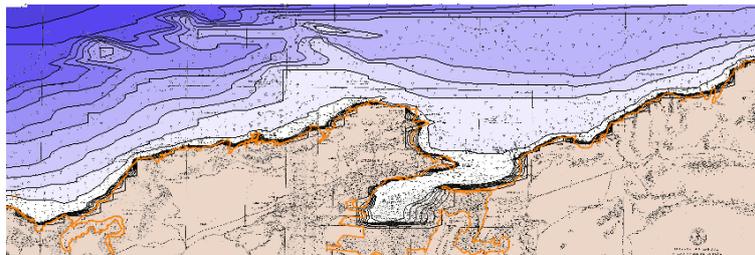


Figura 3-1. Batimetría del frente marítimo de la costa cercana a Santander.

Es importante pensar, que nuestra obra se debe enmarcar en las proximidades de Santander; en primer lugar, por tratarse del puerto exterior del mismo nombre, y que pueda seguir beneficiándose del desarrollo económico que eso supone para la ciudad, y, por otro lado, porque en cierto modo, pueden seguir aprovechándose gran parte de las vías de acceso al antiguo puerto (contando con una profunda remodelación de adaptación a la nueva situación).

Una vez encuadrado en el marco de la bahía de Santander, es necesario tener en cuenta otros factores, entre los que destacaremos los de disponibilidad de materiales y los aún más importantes, de aspecto ambiental; por no olvidarnos de los topo-batimétricos.

Existen actualmente 3 canteras activas en el entorno de la bahía de Santander que, en un momento dado, podrían servir de apoyo proporcionando materiales a la obra, en un margen no mayor a 15 kilómetros: Canteras de Santander S.A. (Barrio La Verde), Manuel Gómez Lloreda S.A. (Av. de Santander) y Canteras Camargo (B° el Collado).

A pesar de la existencia de estas canteras, sería óptimo pensar en la recolección de materiales en zonas próximas a la situación misma de la obra, pues ahorraría en gastos y tiempo. La costa Cántabra de la zona, en su gran mayoría, es propicia para esto, pues dispone de grandes costas cortadas y acantilados que podrían suponer una cantera improvisada. Por lo que, una vez elegida la localización final del proyecto, la adquisición del material va a quedar prácticamente asegurada.

El aspecto a tener más en cuenta, por ser el más restrictivo, será el aspecto ambiental. A expensas de un análisis ambiental, que no va a ser objeto de este documento, pues no nos atañe, intentaremos buscar una localización tal, que supongamos (por encontrarse suficientemente separada) no va a afectar a ningún LIC de la zona (Lugar de Importancia Comunitaria).

En Cantabria existen los LICs que relatamos a continuación: Liebana, Montaña oriental, rías occidentales y duna de Oyambre, dunas de Liencres y estuario del Pas, dunas del Puntal y Estuario del Miera, costa central y ría de Ajo, marismas de Santoña, Victoria y Joyel, río Deva, río Nansa, Río Pas, río Ason, río Agüera, río y embalse del Ebro, río Camesa, río Miera, sierra del Escudo, cueva la Rogeria, cueva del Rejo, río Saja, valles altos del Nansa y Saja y Alto Campoo y sierra del Escudo de Cabuerniga. De todos los nombrados anteriormente, solo podrían ser mencionados por afección (dada su situación en la zona), las dunas del Puntal y estuario del río Miera y las dunas de Liencres y el estuario del Pas; por lo que la situación final de nuestra obra, no podría estar sensiblemente cercana o con relación directa a ninguna de estas dos zonas, o intuir que no va a presentar afección alguna.

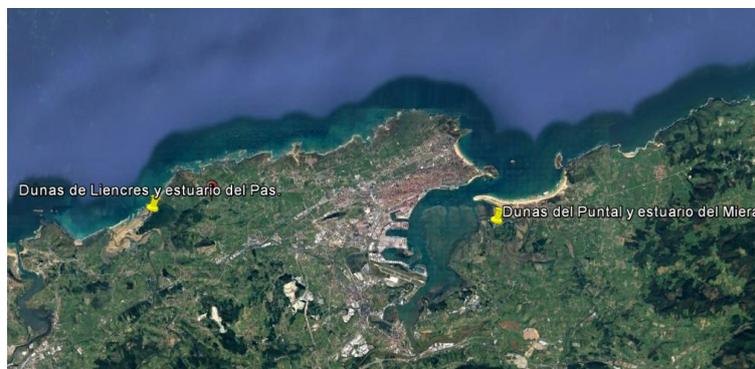


Figura 3-2. Lugares de interés comunitario.

En la figura anterior, podemos observar la localización de los dos LICs mencionados anteriormente, por lo que podríamos considerar la localización de nuestro proyecto en un lugar intermedio de los dos, que presumiblemente no causara afección alguna.



Figura 3-3. Localización exacta de nuestra obra.

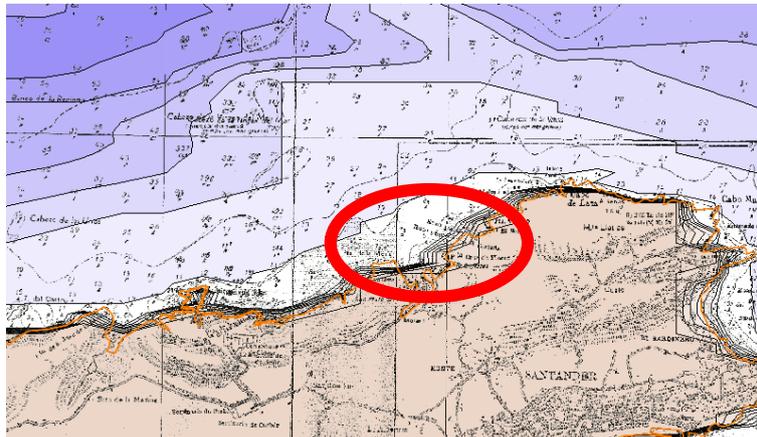


Figura 3-4. Localización sobre batimetría de nuestro proyecto.

Observando las dos figuras anteriores, y analizando la batimetría, podemos observar que la zona del bocal de San Juan de la Canal, que presentamos en la figura, parece el idóneo para la ubicación de nuestro proyecto. Presenta una batimetría en la que



la pendiente no es muy elevada, y lo que parece una “explanada” donde podría situarse nuestra obra.

No se aprecia la existencia de bajos o cañones submarinos que pudieran comprometer el diseño por concentración de oleaje en determinadas zonas.

3.2. Criterios generales del proyecto.

3.2.1. IRE, ISA, IREO e ISAO.

Utilizaremos el método de las tablas para la obtención de estos índices, necesarios para la obtención de posteriores parámetros.

- IRE → Puerto comercial abierto a todo tipo de tráfico → Alto (r_3)
- ISA → Área portuaria comercial con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique (Pasajeros y mercancías no peligrosas) → Bajo (s_2)
- IREO → Puerto comercial con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase → Alto (r_{03}).
- ISAO → Puerto comercial con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase (Pasajeros y mercancías no peligrosas) → Bajo (s_{02})

3.2.2. Vida útil mínima de los tramos definitivos.

Para el cálculo o estimación de la vida útil mínima de nuestra obra, será necesario conocer primeramente el índice del que depende, en este caso el IRE (Índice de repercusión económica), y a continuación el tipo de área abrigada por nuestro dique de protección.

- Vida útil mínima de los tramos definitivos → IRE alto → 50 años.

3.2.3. Máxima probabilidad conjunta (ELU)

Se recomienda que la máxima probabilidad de fallo admisible para una obra de abrigo frente al conjunto de todos los posibles modos de fallo adscritos a estados límites últimos sea inferior a los valores máximos que dependen del índice de repercusión social y ambiental.



- Máxima probabilidad conjunta en la vida útil (ELU) → ISA bajo → 0.10

3.2.4. Máxima probabilidad conjunta (ELS)

La máxima probabilidad de fallo admisible de una obra de abrigo frente al conjunto de todos los modos de fallo adscritos a estados límite de servicio sea inferior a los valores máximos en función del índice de repercusión social y ambiental (ISA).

- Máxima probabilidad conjunta en la vida útil (ELS) → ISA bajo → 0.10

3.2.5. Operatividad mínima.

En el intervalo de tiempo que se especifique, que en general será un año medio de la vida útil, se recomienda que la operatividad mínima admisible para el área abrigada o protegida por una obra de abrigo y, en su caso, sus accesos, frente al conjunto de todos los posibles modos de parada operativa sea superior a los valores mínimos que dependen del índice de repercusión económica operativo (IREO).

- Operatividad mínima → IREO alto → 0.99

3.2.6. Número medio de paradas.

En el intervalo de tiempo que se especifique, que en general será un año medio de la vida útil, se recomienda que la suma del número medio de paradas operativas admisible para el área abrigada o protegida por una obra de abrigo y, en su caso, sus accesos, frente a todos los modos adscritos a los estados límite de parada operativa, sea inferior a los valores máximos que dependen del índice de repercusión social y ambiental operativo (ISAO).

- Número medio de paradas → ISAO bajo → 5 paradas.

3.2.7. Duración máxima de una parada.

En el intervalo de tiempo que se especifique, que en general será un año medio de la vida útil, la duración máxima más probable de una parada operativa no podrá exceder el valor en horas consignado en función del IREO e ISAO.

- Duración máxima de una parada → ISAO bajo e IREO alto → 3 horas.

3.3. Dimensionamiento de terminales.

3.3.1. Análisis real de crecimiento.

Los criterios de dimensionamiento de las terminales, son los recogidos en el apartado de metodología. En primer lugar, deberemos conocer el estado actual de la demanda de tráficos por terminal, el cual es aportado por la Autoridad Portuaria, y se recoge a continuación.

TERMINALES PORTUARIAS	CIERRE 2015
PRODUCTOS QUÍMICOS, COMBUSTIBLES, ACEITES	266 426
CARBÓN Y CLINKER	603 124
CHATARRA, OTROS MINERALES, ALAMBRÓN	689 967
CEREALES, PIENSOS, HARINAS	554 342
MANGANESO, PRERREDUCIDO, FERTILIZANTE, AZUCAR, OTROS	948 464
CARBONATO SÓDICO (GRANEL Y BIG-BAG)	418 414
SULFATO SÓDICO, SEPIOLITA	266 988
CEMENTO	346 126
PAPEL, MADERA (BOBINAS, PALÉS, MAFIS)	190 922
AUTOMÓVILES (1,34 t/vehículo)	654 457
CARGA RORO (TRAILERS 25 t/ud, MAFIS, MAQUINARIA)	620 590
CONTENEDORES (12 t/teu)	6 500
TOTAL TRÁFICO DE MERCANCIAS (toneladas)	5 566 320

Tabla 3-1. Demanda actual de tráficos portuarios por terminales.

Después de conocer la demanda estimada de tráfico de las principales mercancías, hay que calcular la demanda que tendremos en el final del horizonte temporal de nuestra obra, que en este caso será la vida útil de la misma, 50 años. Esta demanda de tráfico vendrá calculada, como ya se comentó anteriormente, como el crecimiento año a año del 2% de la demanda actual, tal y como se recoge en el Plan Director del Puerto de Santander.

TERMINALES PORTUARIAS	DEMANDA 2066
PRODUCTOS QUÍMICOS, COMBUSTIBLES, ACEITES	717109
CARBÓN Y CLINKER	1623361
CHATARRA, OTROS MINERALES, ALAMBRÓN	1857106
CEREALES, PIENSOS, HARINAS	1492060
MANGANESO, PRERREDUCIDO, FERTILIZANTE, AZUCAR, OTROS	2552874
CARBONATO SÓDICO (GRANEL Y BIG-BAG)	1126198
SULFATO SÓDICO, SEPIOLITA	718621
CEMENTO	931628
PAPEL, MADERA (BOBINAS, PALÉS, MAFIS)	513883
AUTOMÓVILES (1,34 t/vehículo)	1761529
CARGA RORO (TRAILERS 25 t/ud, MAFIS, MAQUINARIA)	1670373
CONTENEDORES (12 t/teu)	17495
TOTAL TRÁFICO DE MERCANCIAS (toneladas)	14982240

Tabla 3-2. Demanda de tráfico portuarios para el horizonte de proyecto.

3.3.2. Superficies de explanada y longitudes de atraque.

Tras el cálculo de la demanda futura de mercancías de las distintas terminales, y una vez que ya fueron explicados los distintos criterios y factores a tener en cuenta para la obtención de las superficies de explanada y longitudes de atraque, se hace necesario conocer el buque tipo que utilizara cada terminar, que viene recogido de nuevo en el Plan Director del Puerto de Santander.

CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE				
Mercancía	Carga (t)	L _k	L máx	D máx
Líquidos	3 473	122	158	10.0
Cemento	3 303	88	90	5.5
Carbonato sódico	5 527	199	200	12.8
Automóviles	826	190	228	11.7
Sulfato sódico	11 033	200	208	12.8
Sepiolita	1 985	89	104	5.4
Manganeso	11 666	188	190	11.4
Mineral de hierro	10 088	172	197	11.5
Otros graneles	3 729	96	150	9.0
Carbón	58 417	233	244	14.5
Otros (clinker, ...)	20 401	225	228	13.8
Cereales	5 595	133	224	12.9
Piensos	3 359	153	198	11.0
Harina de soja	9 550	225	225	14.1
Chatarra	3 030	100	140	7.0
Otros minerales	3 066	100	118	7.4
Alambrón	1 637	90	155	10.1
Papel	4 216	153	153	7.0
Madera	639	153	184	9.1

Tabla 3-3. Características de los distintos buques tipo por materiales.

Agrupándolo por terminales con mercancías similares.

MERCANCÍA	CARACTERÍSTICAS DEL BUQUE			
	tráfico / escala	L _k	L _{máx}	D _{máx}
Líquidos	3 473 t	122	158	10.0
Cemento	3 303 t	88	90	5.5
Carbonato sódico	5 527 t	199	200	12.8
Automóviles	688 veh	190	228	11.7
Sulfato sódico	6 320 t	200	208	12.8
Sepiolita				
Manganeso	5 735 t	123	197	11.5
Mineral de hierro				
Otros graneles				
Carbón	37 508 t	225	244	14.5
Otros (clinker, ...)				
Cereales	6 044 t	190	225	14.1
Piensos				
Harina de soja				
Chatarra	2 707 t	100	155	10.1
Otros minerales				
Alambrón				
Papel	2 121 t	153	184	9.1
Madera				

Tabla 3-4. Características de los distintos buques tipos por terminales.

Tras realizar los cálculos de dimensionamiento de los atraques, se obtienen los siguientes resultados.

NIVEL DE SERVICIO	Nº de puestos atraque	Longitud línea de atraque (m)
Líquidos	1	190
Cemento	2	205
Carbonato sódico	1	240
Automóviles	3	692
Sulfato sódico	1	250
Sepiolita		
Manganeso	2	372
Mineral de hierro		
Otros graneles		
Carbón	1	293
Otros (clinker, ...)		
Cereales	2	479
Piensos		
Harina de soja		
Chatarra	2	296
Otros minerales		
Alambrón		
Papel	2	390
Madera		

Tabla 3-5. Dimensionamiento de longitudes de atraque.

Y, por último, la superficie total de cada terminal, donde se incluirá la superficie dedicada a los diferentes servicios portuarios.

DEMANDA ESTIMADA DE TRÁFICO	Superficie asignada a la terminal (m ²)
Principales mercancías	
Líquidos	40 049
Cemento	7 102
Carbonato sódico	16 868
Automóviles	2 342 242
Sulfato sódico Sepiolita	24 097
Manganeso	62 742
Mineral de hierro	
Otros graneles	
Carbón Otros (clinker, ...)	52 076
Cereales Piensos Harina de soja	49 749
Chatarra Otros minerales Alambrón	9 792
Papel Madera	47 242

Tabla 3-6. Superficie de la terminal en el horizonte de proyecto.



3.4. Caracterización del clima marítimo.

Presentamos a continuación, un análisis detallado del clima en la zona de estudio, a partir de una serie de datos temporal de registro homogéneo y continuo durante 65 años, con datos de altura de ola significativa, periodo de pico, marea astronómica, marea meteorológica y dirección del oleaje.

3.4.1. Serie histórica de datos.

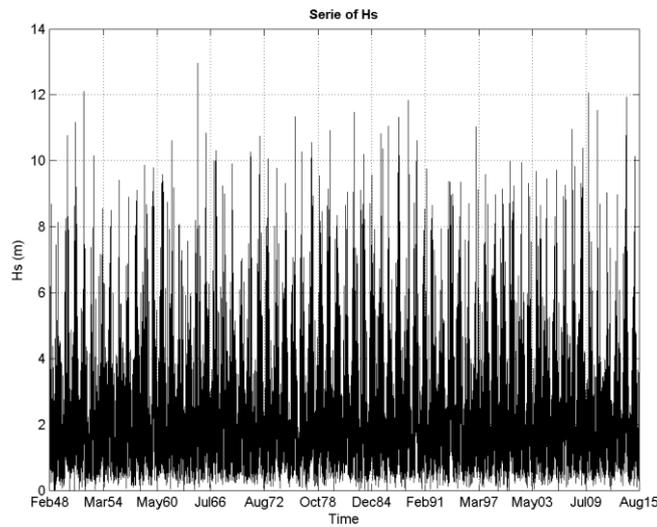


Tabla 3-8. Serie histórica de datos de Hs.

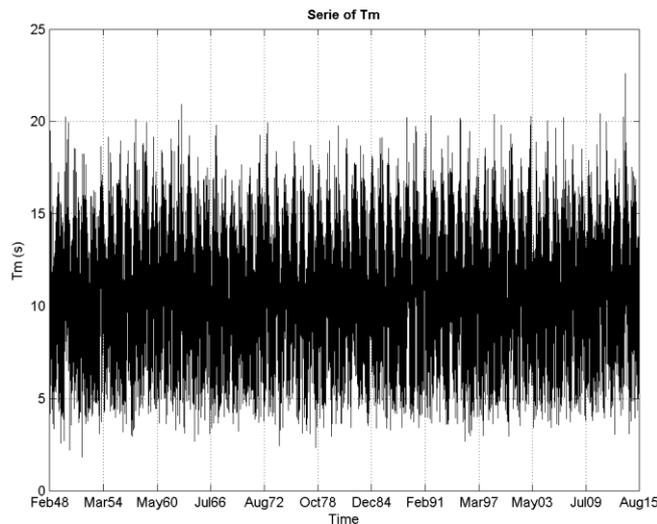


Tabla 3-7. Serie histórica de Tp.

La altura de ola significativa máxima de la serie de datos será 12.95 m, mientras que el periodo de pico máximo de la serie de datos será 22.6 segundos.

3.4.2. Serie anual de datos.

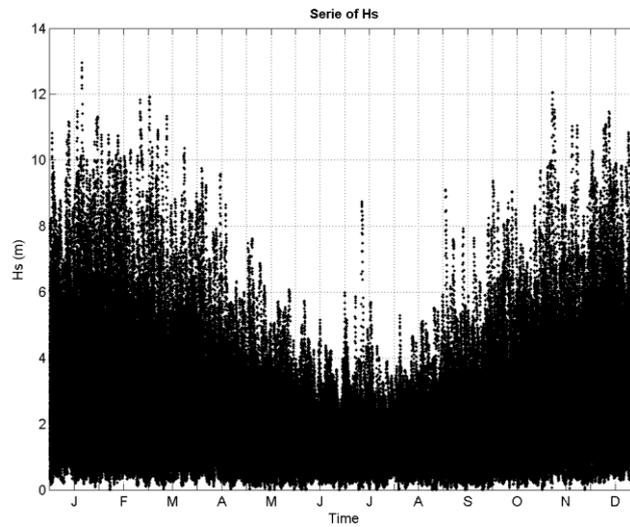


Tabla 3-9. Serie anual de Hs.

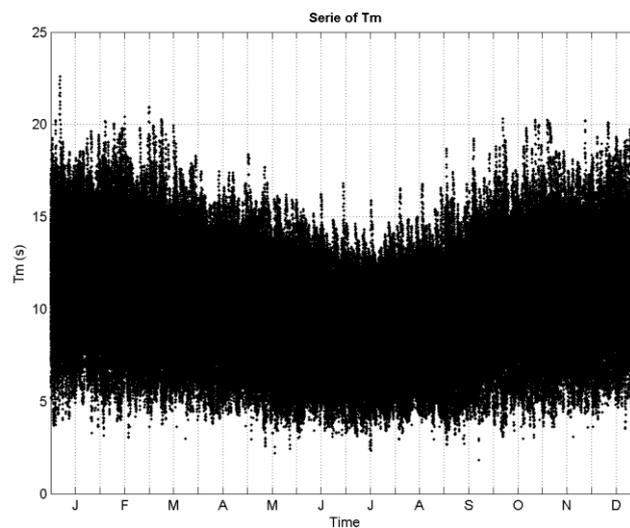


Tabla 3-10. Serie anual de Tp.

Se aprecia una marcada estacionalidad a lo largo del año, con valores mayores en los meses de invierno y menores en los de verano.

3.4.3. Análisis direccional.

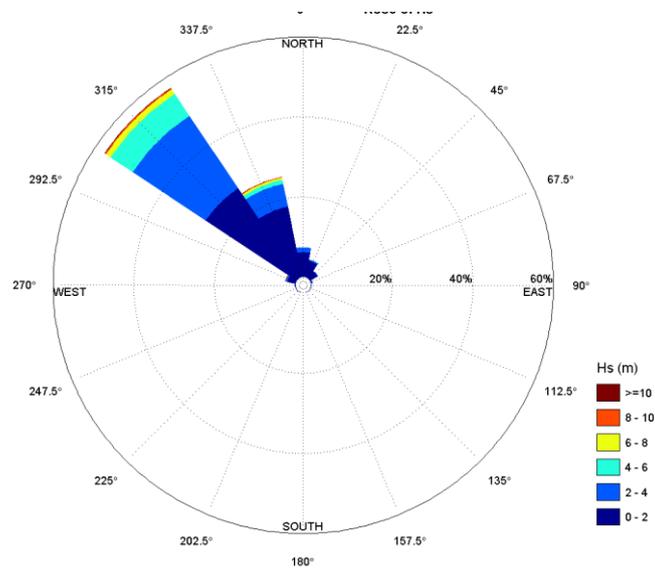


Tabla 3-11. Rosa de oleaje Hs.

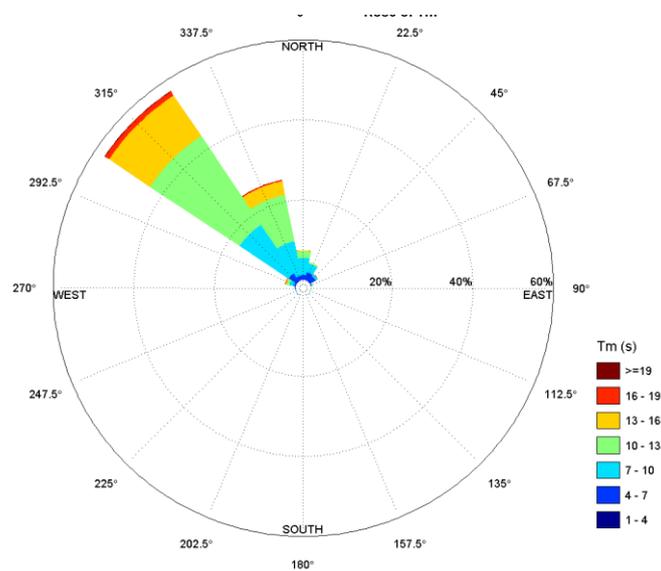


Tabla 3-12. Rosa de oleaje Tp.

Se aprecia una gran predominancia de los oleajes del sector de 315° (NW), con los oleajes del sector en torno a 337.5° (NNW), y el resto de oleajes del sector Norte de menor

o nula importancia. Esto cobrara vital importancia en el desarrollo del método de Nivel III.

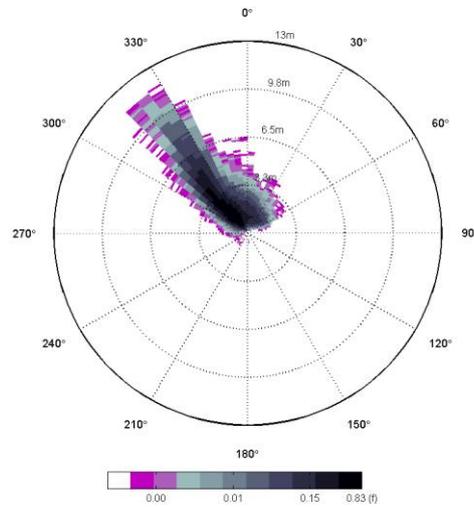


Tabla 3-13. Rosa de probabilidad de Hs.

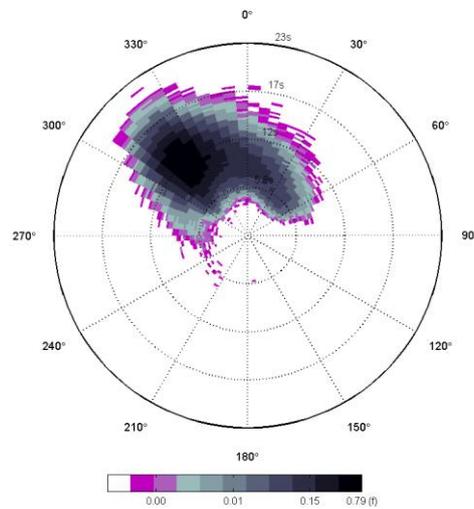


Tabla 3-14. Rosa de probabilidad de Tp.

Mientras que, para la altura de ola significativa, solo existe una gran variabilidad en los valores para una determinada dirección, en el caso de los periodos de pico, se puede apreciar una gran dispersión en cuanto a los valores se refiere.

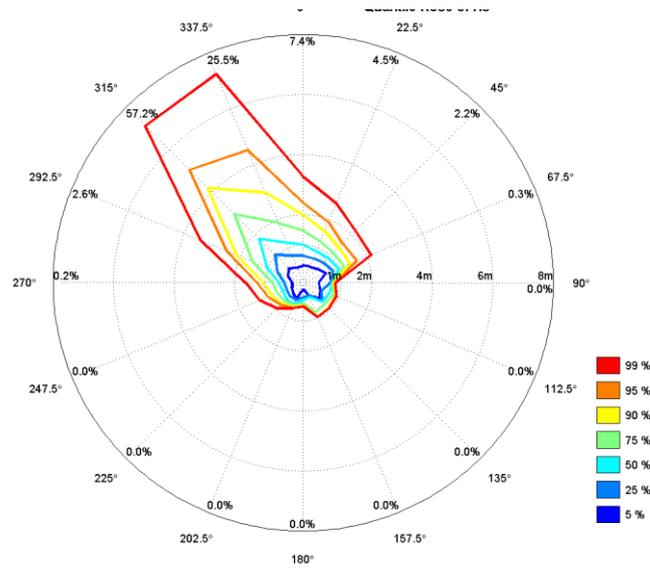


Tabla 3-15. Rosa de distribución de Hs.

Aunque observamos anteriormente que la dirección más probable del oleaje era la NW, vemos como la dirección NNW comparte tamaños máximos de olas, al menos en los tamaños más grandes. El resto de direcciones se comportan según lo esperado, menores tamaños a medida que se separan de los sectores que hemos comentado.

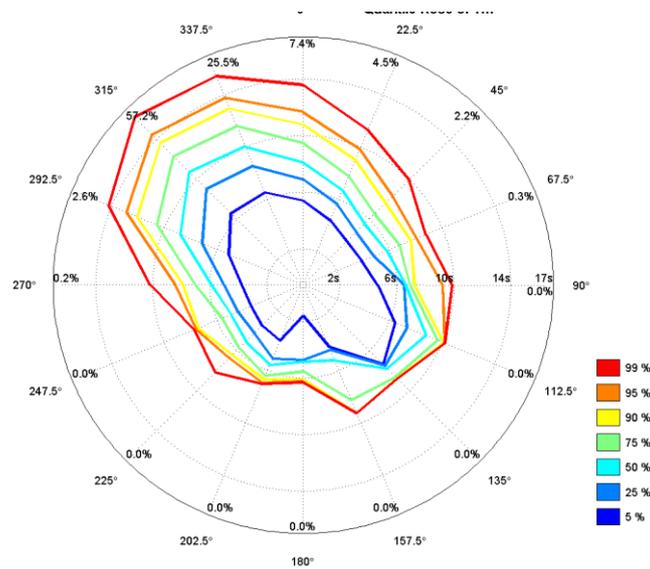


Tabla 3-16. Rosa de distribución de Tp.



Similarmente a lo ocurrido en el estudio de la altura de ola significativa, vemos como la dirección NNW y la WNW, a pesar de tener una menor probabilidad de ocurrencia, comparten máximas duraciones con el sector de mayor ocurrencia. El resto de direcciones se comportan según lo esperado, sorprendiendo la presencia de direcciones provenientes de tierra, probablemente debido a oleaje provocado por viento.

3.4.4. Régimen medio.

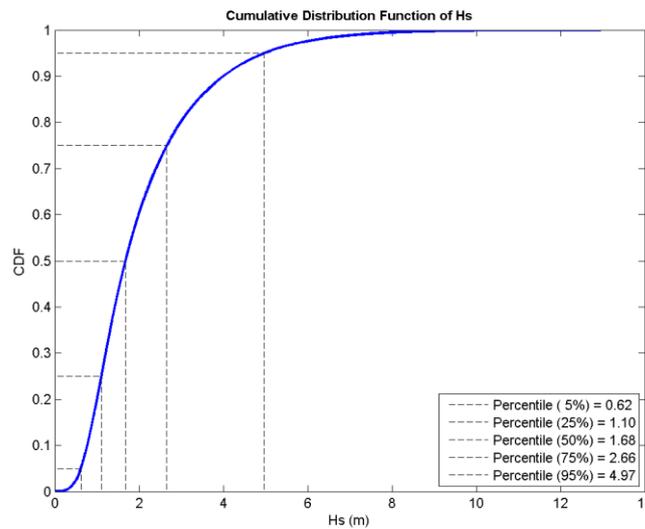


Tabla 3-17. Régimen medio de Hs.

El 95% de los datos de la serie histórica se encuentran por debajo de los 4.97 metros, mientras que el valor medio es de 1.68 metros.

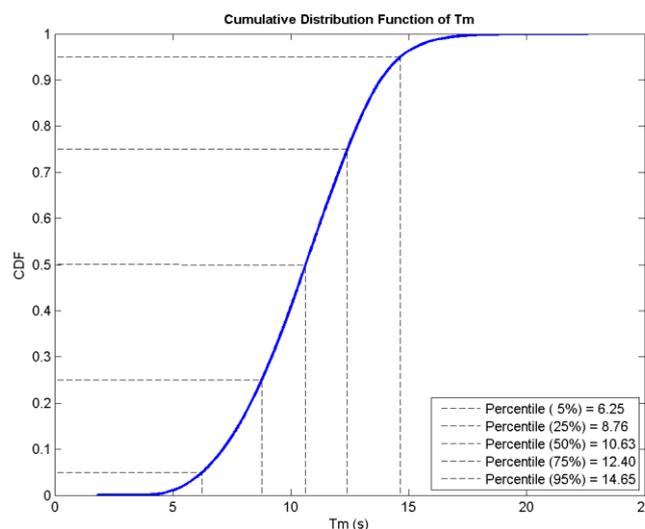


Tabla 3-18. Régimen medio de Tp.



El 95% de los valores se encuentra por debajo de los 14.65 segundos, mientras que el valor medio será 10.63 segundos.

3.4.5. Relación $H_s - T_p$.

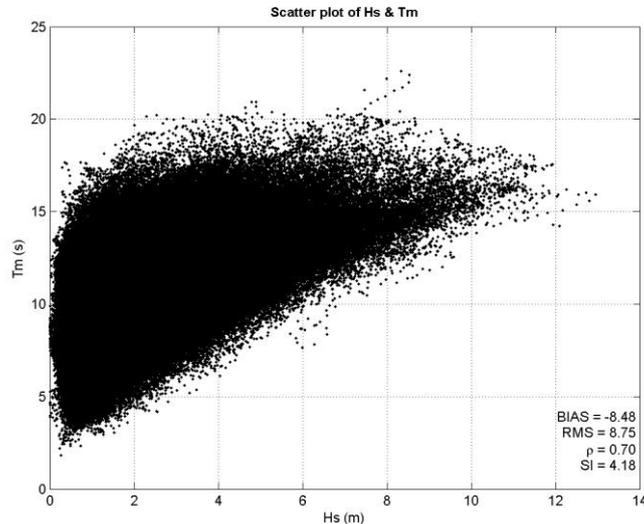


Tabla 3-19. Scatter - Plot $H_s - T_p$.

Puede apreciarse una tendencia creciente que relaciona los valores de H_s frente a los de T_p , por lo que puede aceptarse, posteriormente, como válido, un ajuste lineal entre ambas variables.

3.4.6. Régimen extremal.

El régimen extremal no es más que la representación en papel probabilístico de la cola superior del régimen medio, que no puede ser estudiada con precisión mediante el régimen medio. Para realizar este régimen extremal, pueden utilizarse diferentes métodos; en nuestro caso, escogeremos el método POT, que marcará un número de temporales medios anual (para nuestro caso en Santander se decide tomar 7 temporales, pues es con este número que se ajusta de mejor manera y pierde incertidumbre, además de considerarse un número aconsejable para el número de temporales anuales en la localización de Santander). Una vez realizado la selección de temporales, realizaremos un ajuste de máximos de Pareto – Poisson.

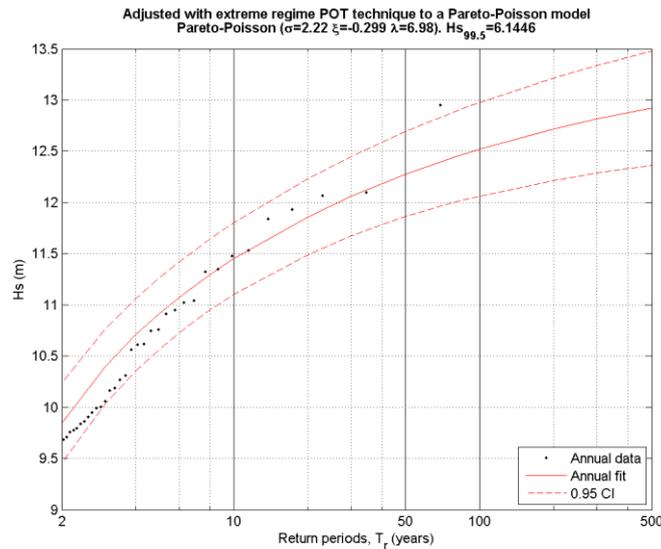


Tabla 3-20. Ajuste del POT a una distribución de máximos de Pareto - Poisson.

A pesar de la existencia de un “outlier”, se puede considerar como bueno el ajuste del régimen extremal mediante el método de POT, pues el ajuste parece que sigue la tendencia de los datos, y no se produce mucha incertidumbre.

Posteriormente, usaremos este régimen extremal para determinar nuestra altura de ola de diseño.

3.5. Coronación de los muelles.

$$\text{Buques de gran desplazamiento } (\Delta > 10000 \text{ t}) = NMO + 2.50 \text{ m}$$

$$NMO = NM + 0.10 \text{ m.}$$

El Nivel del Mar de referencia será el que sigue.

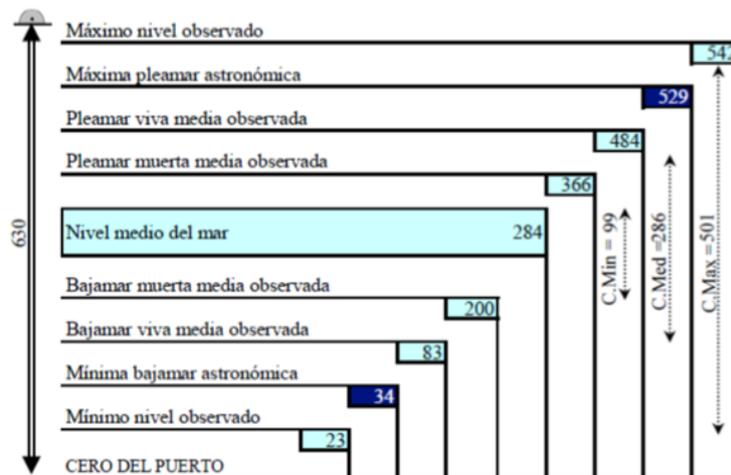


Tabla 3-21. Niveles de referencia del nivel del mar.

Cota de coronacion de muelles = $2.84 + 0.1 + 2.50 = 5.44 \cong 5.5$ metros

3.6. Tipología estructural.

Dique en talud de materiales sueltos.

- Construido de materiales sueltos, materiales heterogéneos naturales o artificiales.
- No recomendado para grandes profundidades debido al gran volumen requerido (>50 metros).
- No se recomienda cuando el espacio de uso es reducido, zonas de atraque o entradas a puertos muy constreñidas.
- Son recomendados para disipar el oleaje incidente debido a que el talud fuerza la rotura del oleaje.
- Distribuye las cargas muertas en una zona extensa.

Ventaja de uso de material natural, costo reducido, equipo de construcción pequeño, bajo impacto ambiental, fácil de construir, fallo dúctil generalmente debido a la mala “trabazón” entre piezas, posibilidad de usar piezas artificiales debido a la falta de cantera natural.

Dique vertical

- Un rompeolas construido de forma regular y sistemática con base en bloques de hormigón, paralelepípedos y verticales.
- Son altamente reflejantes ante la acción del oleaje (100% a 90%)
- Recomendados para zonas más profundas en donde la profundidad de diseño es del doble que la ola de diseño (evitar efectos de rotura del oleaje).
- Se ahorra material debido a la esbeltez del elemento.
- Se construye de forma ordenada y rápida.
- Ocupa menos espacio en planta.

Presenta las siguientes desventajas.

- El fondo marino debe ser nivelado y preparado para la disposición de los grandes bloques.



- Si el fondo marino es de materiales muy finos, se puede esperar desplazamientos o asentamientos diferenciales.
- Las reparaciones son costosas y poco efectivas.
- La construcción de los cajones requiere grandes áreas en agua y tierra (cajoneros).
- La disposición de los cajones requiere una alta destreza por parte de los operarios desde tierra y agua.

Toma de decisión.

La variación de la profundidad a lo largo del dique principal es difícil de saber con certeza, pues la batimetría de la que se dispone no tiene demasiado detalle, pero sí que se observa en la carta náutica que el dique principal va a tener profundidad que varíaran desde los 25 hasta los 37 metros. Parece razonable pensar en una única tipología estructural para el dique completo.

El clima marítimo de la zona parece ser de una entidad importante, por lo que habiendo disponibilidad de materiales como ya se ha comentado, es preferible trabajar del lado de la seguridad, y dado que los diques verticales no son recomendados para profundidades menores al doble de la altura de ola ($H_s=13.47$ m, frente a 25 m de profundidad), se tomara la decisión de realizar una tipología de dique en talud, donde la gran parte de la energía del oleaje sea disipada.

3.7. Cota de coronación del dique.

Con el fin de cumplir los requisitos de paradas, duración y probabilidad de no ocurrencia, así como el caudal de rebase medio, se propone la siguiente cota de coronación → Método iterativo.

Cota límite ROM para la Probabilidad de NO ocurrencia del 99% = 21.5068 m
 Cota límite ROM para el número de eventos de 5 = 30.3457 m
 Cota límite ROM para la duración de eventos de 3 horas = 29.5833 m

Cota de coronacion = 30.34 m ≈ 31 metros

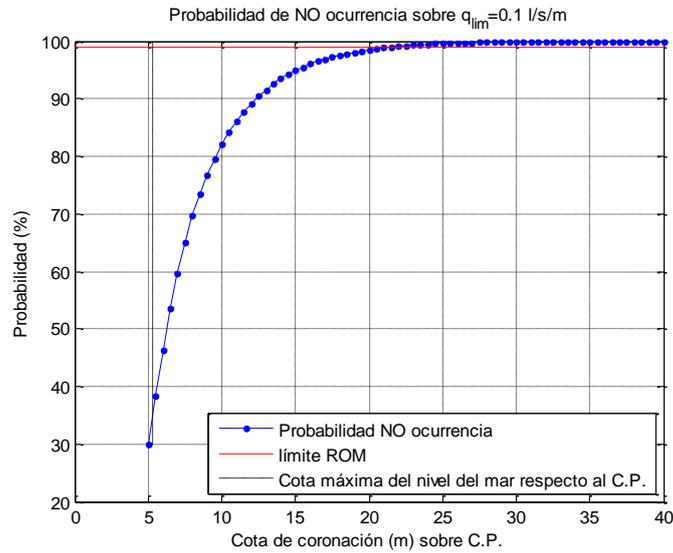


Tabla 3-22. Probabilidad de no ocurrencia sobre el caudal.

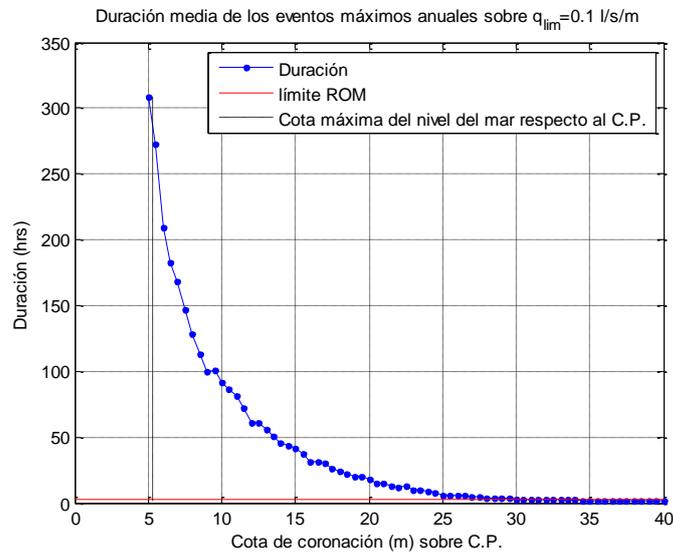


Tabla 3-23. Duración media de los eventos sobre el caudal.

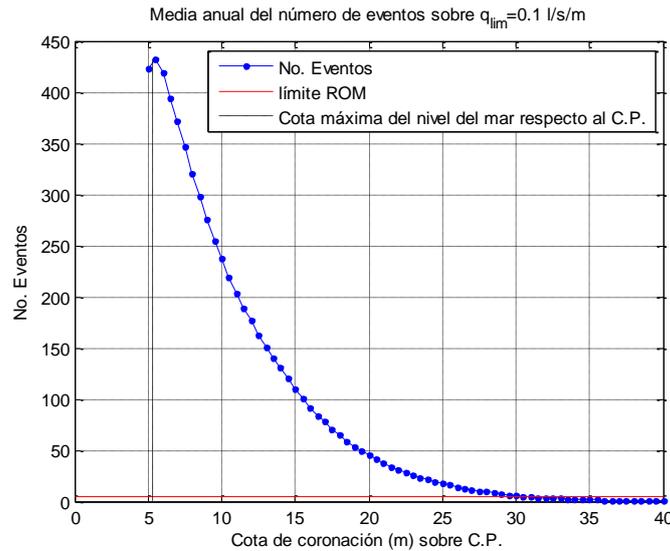


Tabla 3-24. Numero de eventos anual sobre el caudal.

3.8. Diseño en planta y estudio de agitación.

Estudio de agitación.

El estudio de agitación será realizado mediante el modelo MANOLO o MSP de agitación portuaria.

Lo primero que deberemos hacer será generar una o varias mallas para la propagación de los diferentes casos. En nuestro caso, serán dos las mallas que generaremos, para intentar abarcar de la mejor manera posible, todos los oleajes seleccionados.



Tabla 3-25. Malla orientada a los oleajes del Norte.

En primer lugar, una malla que recoja de manera correcta los oleajes del N y el NW.



Tabla 3-26. Malla orientada a los oleajes del primer cuadrante.

Con esta malla vamos a intentar recoger con la máxima precisión posible, los oleajes provenientes de los dos primeros cuadrantes.

- El periodo mínimo ejecutado será de 9 segundos, pues podremos desechar el 30% de los periodos más pequeños, por no ser de vital importancia en el estudio de la agitación, siendo los de mayor tamaño los que a priori van a producir mayor agitación.
- El número de nodos por longitud de onda va a ser de 5, que es lo recomendable.



- A partir de la ecuación de dispersión, con la altura de ola significativa y periodo de pico de diseño, se obtiene una longitud de onda de 478.84 metros, que será la distancia que habrá que separar nuestra corona del obstáculo más cercano.

El porcentaje de reflexión en los contornos de la malla que se escogerán seguirán un patrón que estará predeterminado en estos casos.

- 90% para diques verticales → Contorno interior del puerto.
- 60% para acantilados → Contorno sur de las mallas.
- 30% en los diques en talud → Contorno exterior del puerto.
- 10% en playas.
- 0% contorno de agua.

Estudiaremos la agitación para dos situaciones de marea, pleamar y bajamar.

La zonificación que se propone estará realizada en función de áreas con muelles donde tendremos buques de similares características (marcada en azul en la figura siguiente), y en donde se estudiará la altura de ola significativa media de cada zona.



Tabla 3-27. Zonificación para los resultados de la agitación.

Para la propagación de los casos, realizaremos una selección respecto de la serie histórica total, con ayuda de la herramienta MAXDISS. Haremos una selección de 15 casos (con 2 niveles de marea), con direcciones (respecto al Norte) menores de 112° y mayores de 290°.

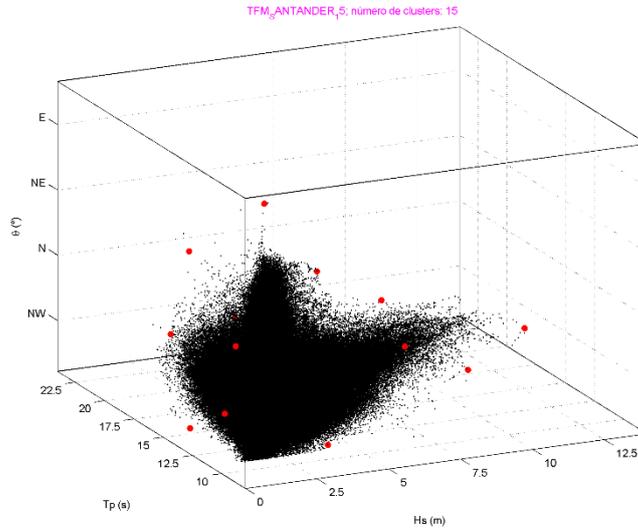


Tabla 3-28. Representación espacial del número de casos escogido para la propagación.

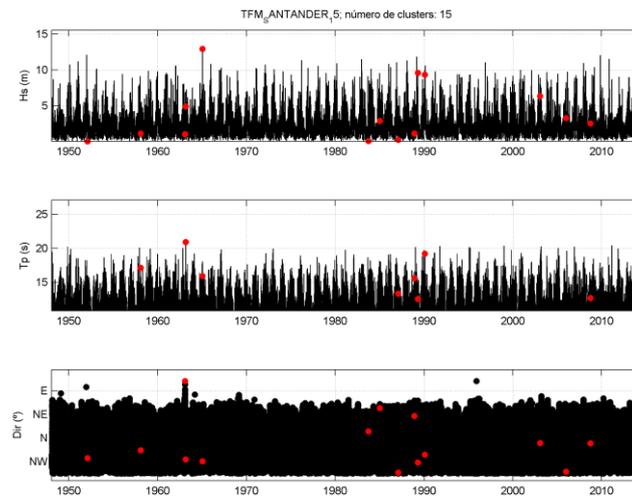


Tabla 3-29. Representación en tres series de los casos escogidos de propagación.

Casos seleccionados.

CASO	MAREA	AÑO	MES	DIA	HORA	HS	TP	DIR
1	0.0	1983	9	26	16	0.07	9.00	12.89
2	0.0	1988	11	25	19	1.14	15.60	42.10
3	0.0	1985	1	6	1	2.89	9.00	56.93
4	0.0	1963	1	25	1	1.07	9.00	108.46
5	0.0	1987	1	27	3	0.24	13.31	294.19
6	0.0	2005	12	29	15	3.28	9.00	296.23
7	0.0	2013	12	24	10	5.77	14.79	301.60
8	0.0	1989	4	16	13	9.59	12.53	313.23
9	0.0	1965	1	20	21	12.95	15.92	315.66
10	0.0	1963	3	2	20	4.90	20.93	319.27
11	0.0	1952	2	7	13	0.05	9.89	321.76
12	0.0	1990	1	30	14	9.31	19.22	328.24
13	0.0	1958	2	1	18	1.14	17.15	337.03
14	0.0	2008	9	23	5	2.56	12.67	349.62
15	0.0	2003	1	30	20	6.37	10.03	350.57

Tabla 3-30. Tabla de casos propagados.

Niveles máximos de agitación y operatividad mínima por terminales (ROM 2.0-11).

Terminal	Mercancía	Nivel máximo de agitación (Hs)	Operatividad mínima.
LBC TANK	Líquidos	0.8 m	0.85
CEMENTOS ALFA	Cemento	0.8 m	0.85
SOLVAY	Carbonato sódico	0.8 m	0.85
PÚBLICA	Automóviles	0.3 m	0.99
PÚBLICA	Sulfato sódico	0.8 m	0.85
CANTABRIASIL	Sepiolita	0.8 m	0.85
PÚBLICA	Manganeso	0.8 m	0.85
	Mineral de hierro		
	Otros graneles		
NOATUM	Carbón	0.8 m	0.85
	Otros (clinker, ...)		
TASA	Cereales	0.8 m	0.85
	Piensos		
	Harina de soja		
GSW	Chatarra	0.8 m	0.99
	Otros minerales		
	Alambrón		
CANTABRIASIL	Papel	0.8 m	0.99
	Madera		
PUBLICA	Contenedores	0.3 m	0.99

Tabla 3-31. Niveles máximos de agitación y operatividad mínima por terminales.

3.8.1. Alternativa 1.



Tabla 3-32. Planta de la alternativa 1.

La primera alternativa presentada es la de la ubicación del proyecto en plante, sin a priori ningún elemento de protección contra los oleajes, que servirá como base para la determinación posterior de elementos de protección, en función de los resultados obtenidos con este contorno básico.

Terminal	Mercancía	Operatividad
LBC TANK	Líquidos	0.84
CEMENTOS ALFA	Cemento	0.84
SOLVAY	Carbonato sódico	0.88
PÚBLICA	Automóviles	0.74
PÚBLICA	Sulfato sódico	0.88
CANTABRIASIL	Sepiolita	0.88
PÚBLICA	Manganeso	0.89
	Mineral de hierro	
	Otros graneles	
NOATUM	Carbón	0.70
	Otros (clinker, ...)	
TASA	Cereales	0.86
	Piensos	
	Harina de soja	
GSW	Chatarra	0.84
	Otros minerales	
	Alambrón	
CANTABRIASIL	Papel	0.84
	Madera	
PUBLICA	Contenedores	0.54

Tabla 3-33. Operatividad por terminales de la alternativa 1.

3.8.2. Alternativa 2.



Tabla 3-34. Diseño en planta de la alternativa 2.

Se modifica el contorno anterior, añadiendo un contradique en el contorno S, así como un dique de protección en el contorno Norte, con el fin de proteger el interior de la dársena de los oleajes de los dos primeros cuadrantes, y ver si así se consigue mejorar la operatividad.

Terminal	Mercancía	Operatividad
LBC TANK	Líquidos	0.99
CEMENTOS ALFA	Cemento	0.99
SOLVAY	Carbonato sódico	0.99
PÚBLICA	Automóviles	0.87
PÚBLICA	Sulfato sódico	0.99
CANTABRIASIL	Sepiolita	0.99
PÚBLICA	Manganeso	0.99
	Mineral de hierro	
	Otros graneles	
NOATUM	Carbón	0.99
	Otros (clinker, ...)	
TASA	Cereales	0.99
	Piensos	
	Harina de soja	
GSW	Chatarra	0.99
	Otros minerales	
	Alambrón	
CANTABRIASIL	Papel	0.99
	Madera	
PUBLICA	Contenedores	0.82

Tabla 3-35. Operatividad por terminales de la alternativa 2.

3.8.3. Alternativa 3.



Tabla 3-36. Diseño en planta de la alternativa 3.

Modificación del contorno anterior, con el fin de proteger el interior de la dársena de los oleajes reflejados en los acantilados de la parte Sur del puerto, intentando mejorar de esta manera la operatividad en aquellas terminales en las que aún no se consiguió la optimización.

Terminal	Mercancía	Operatividad
LBC TANK	Líquidos	0.99
CEMENTOS ALFA	Cemento	0.99
SOLVAY	Carbonato sódico	0.99
PÚBLICA	Automóviles	0.88
PÚBLICA	Sulfato sódico	0.99
CANTABRIASIL	Sepiolita	0.99
PÚBLICA	Manganeso	0.99
	Mineral de hierro	
	Otros graneles	
NOATUM	Carbón	0.99
	Otros (clinker, ...)	
TASA	Cereales	0.99
	Piensos	
	Harina de soja	
GSW	Chatarra	0.99
	Otros minerales	
	Alambrón	
CANTABRIASIL	Papel	0.99
	Madera	
PUBLICA	Contenedores	0.86

Tabla 3-37. Operatividad por terminales de la alternativa 3.



3.9. Diseño de Nivel I.

Se presenta a continuación, un diseño determinista del dique de protección principal de Santander, a partir de la formulación que ya fue presentada anteriormente, y con los datos iniciales que se presentan a continuación.

- Profundidad a pie de dique → 37 metros (dimensionado con la mayor profundidad de las disponibles).
- Pendiente del talud → 1:1.5
- Orientación del dique → 52° (respecto al N)

3.9.1. Altura de ola de diseño.

Periodo de retorno.

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - P_{F,ELU})^{1/V}} \rightarrow T_r = 475 \text{ años.}$$

Régimen extremal.

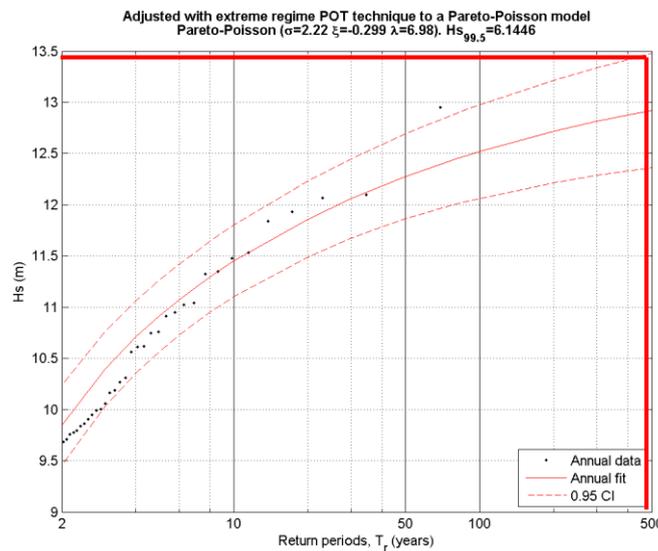


Tabla 3-38. Régimen extremal escalar.

Se obtiene una altura de ola de diseño de 13.47 metros.



3.9.2. Periodo de pico de diseño.

Mediante un ajuste lineal de la serie histórica de H_s y T_p , obtendremos un periodo de pico de diseño, referente a la altura de ola de diseño.

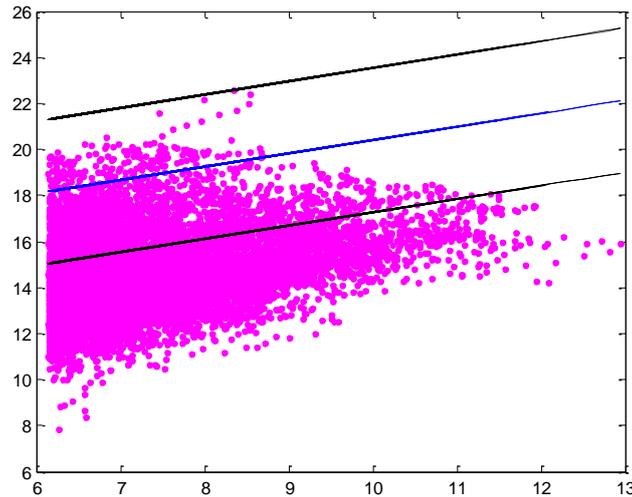


Tabla 3-39. Ajuste lineal $H_s - T_p$.

3.9.3. Nivel del mar de referencia.

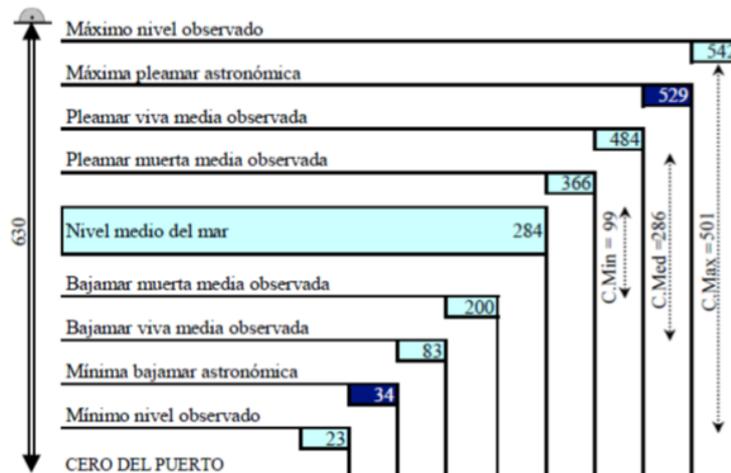


Tabla 3-40. Niveles de referencia del nivel del mar en Santander.

Es necesario referenciar nuestra base de datos, al cero del puerto, mediante la suma del nivel medio del mar en Santander.



3.9.4. Diseño de las piezas del espaldón.

Van der Meer (1988b).

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(6.7 N_{od}^{0.4} / N_z^{0.3} + 1.0 \right) s_m^{-0.1}$$

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$$

$$N_{od} = \frac{S - 0.4}{1.8}$$

$$T_m = \frac{T_p}{1.1}$$

$$N_z = \frac{\text{duracion}}{T_m}$$

→ Proponemos una duracion de 4 horas, para tener un temporal de 7500 olas.

Esto es debido a que, para temporales mayores de 7500 olas, el daño acumulado no se verá muy incrementado.

$$s_m = \frac{H_s}{L_{m0}}$$

- Criterio de rotura de goda → $H_s \leq 0.6 \cdot h \rightarrow h = 37 \text{ metros}$. → No rompe por fondo.
- Manto de dos capas de cubos con pendiente 1:1.5.

Con los criterios que marcamos en el apartado de metodología, obtenemos bloques del siguiente tamaño:

$$D_{n50} = 3.8 \text{ metros.}$$

$$W_{50} = 126.21 \text{ toneladas}$$

Tamaño de las piezas del morro.

$$W_{50\text{morro}} = 189.32 \text{ toneladas.}$$

3.9.5. Diseño de la berma de pie.

Gerding (1993).

$$N_{od} = \frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n50}} \cdot \frac{1}{0.15} \\ 0.24 \cdot \left(\frac{h_t}{D_{n50}} \right) + 1.6$$

Utilizaremos piezas de 63.4 toneladas (la mitad del tamaño del manto principal).

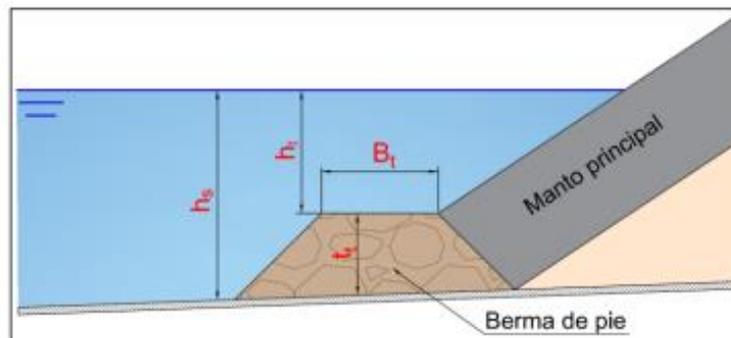


Tabla 3-41. Elementos defnitorios de la berma de pie.

$$h_t = 34.44 \text{ metros.}$$

3.9.6. Diseño del espaldón.

Por motivos de diferencia de cotas entre bermas y muelles, se propondrá un espaldón de tamaño considerable, que posteriormente podrá ser aligerado mediante la

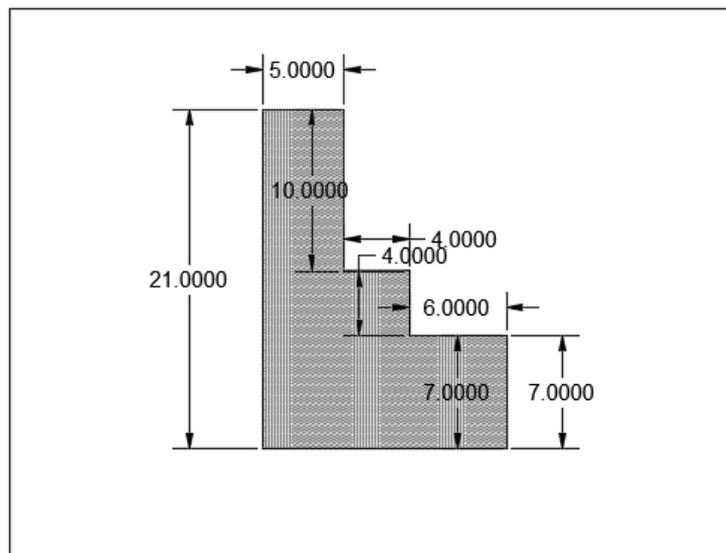


Tabla 3-42. Diseño del espaldón.



inclusión de una galería interior, pero que deberá ser debidamente calculado su seguridad tanto a vuelco como a deslizamiento.

$$CSD = 7.54 \rightarrow \text{Sobredimensionado}$$

$$CSV = 9.24 \rightarrow \text{Sobredimensionado}$$

3.10. Revisión de Nivel III.

Se ejecutarán un total de 250 vidas del dique.

3.10.1. Manto principal.

Representamos para cada vida el valor mas desfavorable.

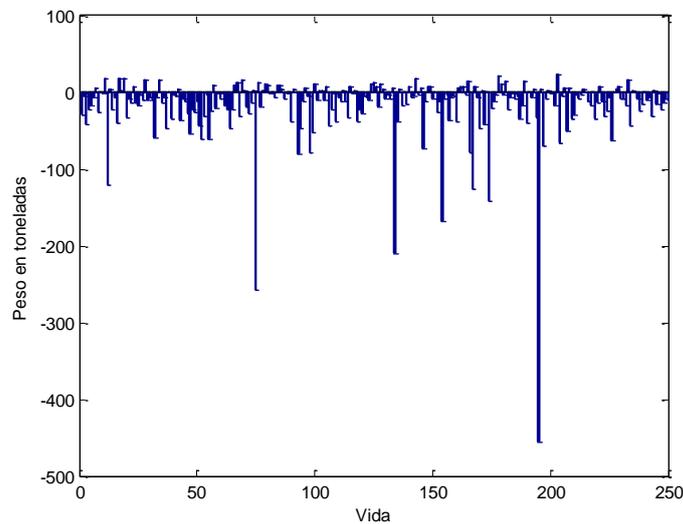


Tabla 3-43. Diagrama de barras del fallo del Manto por nivel III.

Se observan multitud de valores por debajo del cero, lo cual indica que el tamaño de las piezas del manto ha de ser modificado.

Con el diseño de Nivel I obtenemos una probabilidad de fallo del 67.6%. Para obtener la probabilidad de fallo sugerida por la ROM (10%), el tamaño de las piezas del manto principal, deberá ser de 167.71 toneladas.

El tamaño de las piezas del morro será por tanto de 251.57 toneladas, pero por tratarse de un morro de 90°, mantendremos el peso que teníamos anteriormente.



3.10.2. Berma de pie.

Representamos para cada vida el valor más desfavorable.

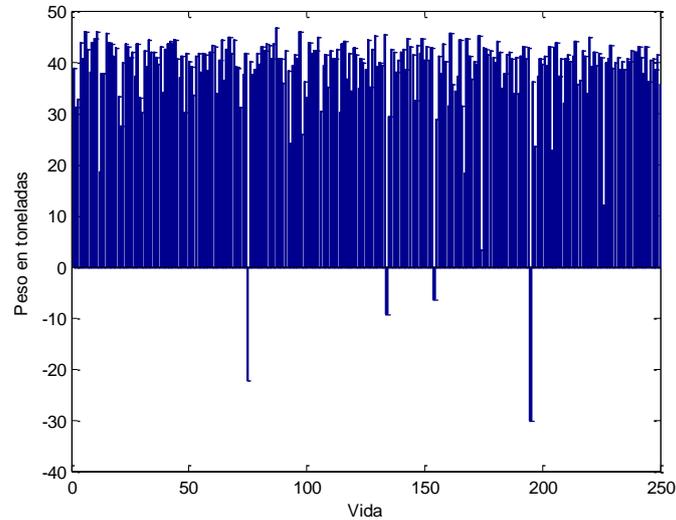


Tabla 3-44. Diagrama de barras del fallo de la Berma de pie por nivel III.

No son muchos los valores observados por debajo del cero (fallo de la berma de pie), por lo que quiere decir que el diseño fue correcto.

Con el diseño de Nivel I se un tamaño de las piezas de 63.37 toneladas, obteniéndose una probabilidad de fallo de 1.6%, para que la berma falle el 10% debería tener un tamaño de 9.371 toneladas, cosa que no cambiaremos, debido a que un tamaño tan pequeño por debajo de las grandes piezas del manto principal, pueden llevar a colapso del mismo.

3.10.3. Vuelco del espaldón.

Representamos para cada vida el valor más desfavorable.

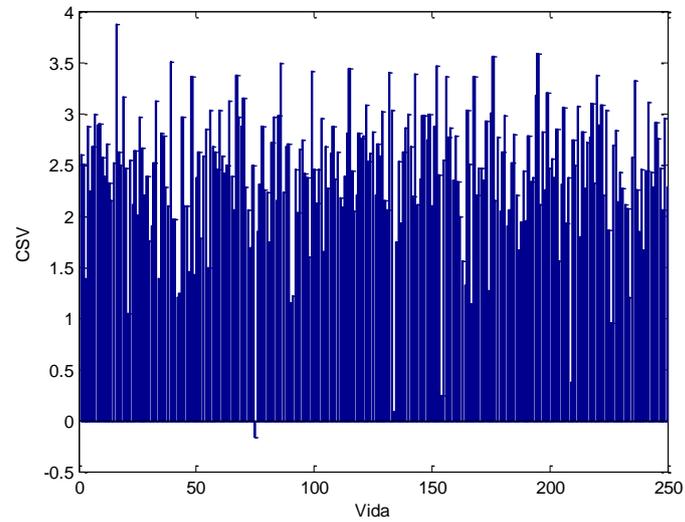


Tabla 3-45. Diagrama de barras por fallo del espaldón por vuelco con nivel III.

Puede observarse claramente, como apenas falla el espaldón ante el vuelco, por lo que estará claramente sobredimensionado, como ya habíamos adelantado.

3.10.4. Deslizamiento del espaldón.

Representamos para cada vida el valor más desfavorable.

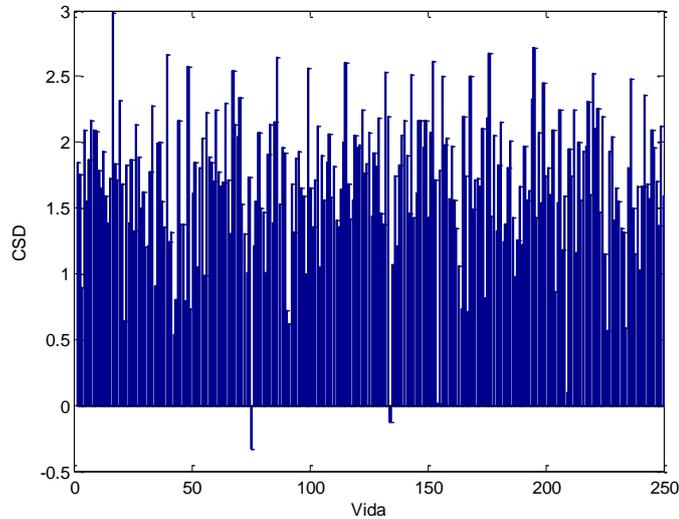


Tabla 3-46. Diagrama de barras por fallo del espaldón por deslizamiento con nivel III.

Ocurre exactamente lo mismo que con el caso del vuelco, el espaldón está claramente sobredimensionado.

3.11. Revisión del rebase.

Con las condiciones que se propusieron en el apartado de metodología, se realiza el estudio del rebase, para el estado de pleamar (condición más desfavorable).

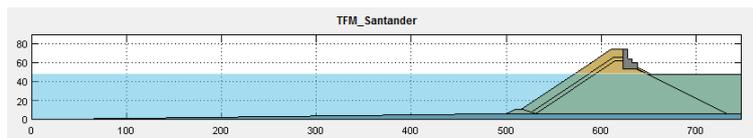


Tabla 3-47. Proposición del canal para el estudio de rebase.

Se diseña el canal para una longitud de onda de 478.74 metros, una pendiente del fondo similar a la que tenemos en nuestra localización.

Se situarán unos sensores de media como se presentan a continuación.

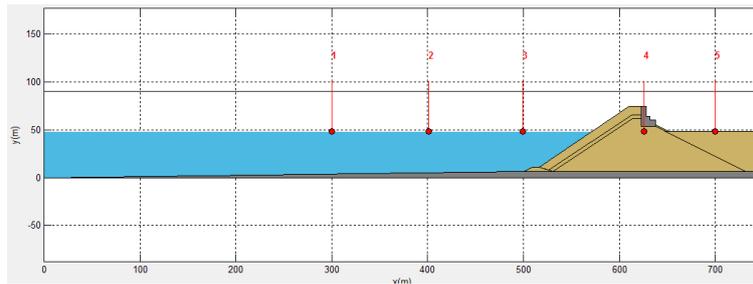


Tabla 3-48. Sensores de monitoramiento de la superficie libre.

De los muchos resultados que nos devolverá el modelo, nos importará simplemente el de caudal de rebase.

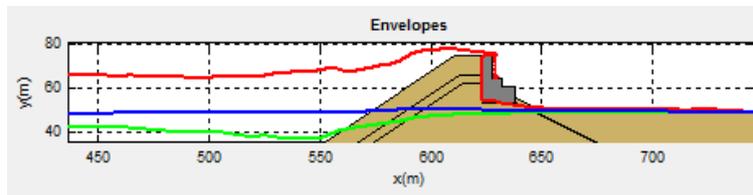


Figura 3-5. Estudio del Run-Up.

Vemos, en la figura anterior, como apenas se produce rebase sobre la estructura, lo que indicaremos a continuación con números.

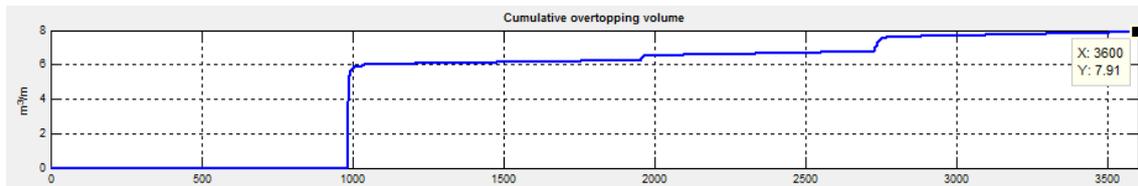


Figura 3-6. Caudal de rebase acumulado en el modelado.

Un caudal acumulado durante una hora de 7.91 metros cúbicos por segundo, nos dará un caudal medio de $0.002 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$, inferior al caudal que teníamos de diseño, por lo que consideramos que el dique ha sido bien diseñado frente al rebase.

4. CONCLUSIONES.

Tras la finalización del proyecto, se pueden extraer algunas conclusiones. Los puertos forman un gran eslabón en la economía de hoy en día, pues son pieza fundamental para el comercio nacional e internacional. Existe mucho margen de mejora en la



optimización de los puertos, muchos de los cuales tienen restringido su crecimiento por diversos motivos.

En lo referente a nuestro proyecto, puede considerarse viable la construcción de un puerto, pues las expectativas de crecimiento parecen optimistas. En cambio, cabe mencionar, que el puerto de Santander, goza de una situación actual privilegiada, pues es el único de la fachada norte (junto con el de Pasajes) que goza de un abrigo natural, lo que le da un nivel de operatividad con baja agitación superior al resto, algo que no nos ha sido posible obtener, para algunas terminales, en el diseño del puerto exterior.

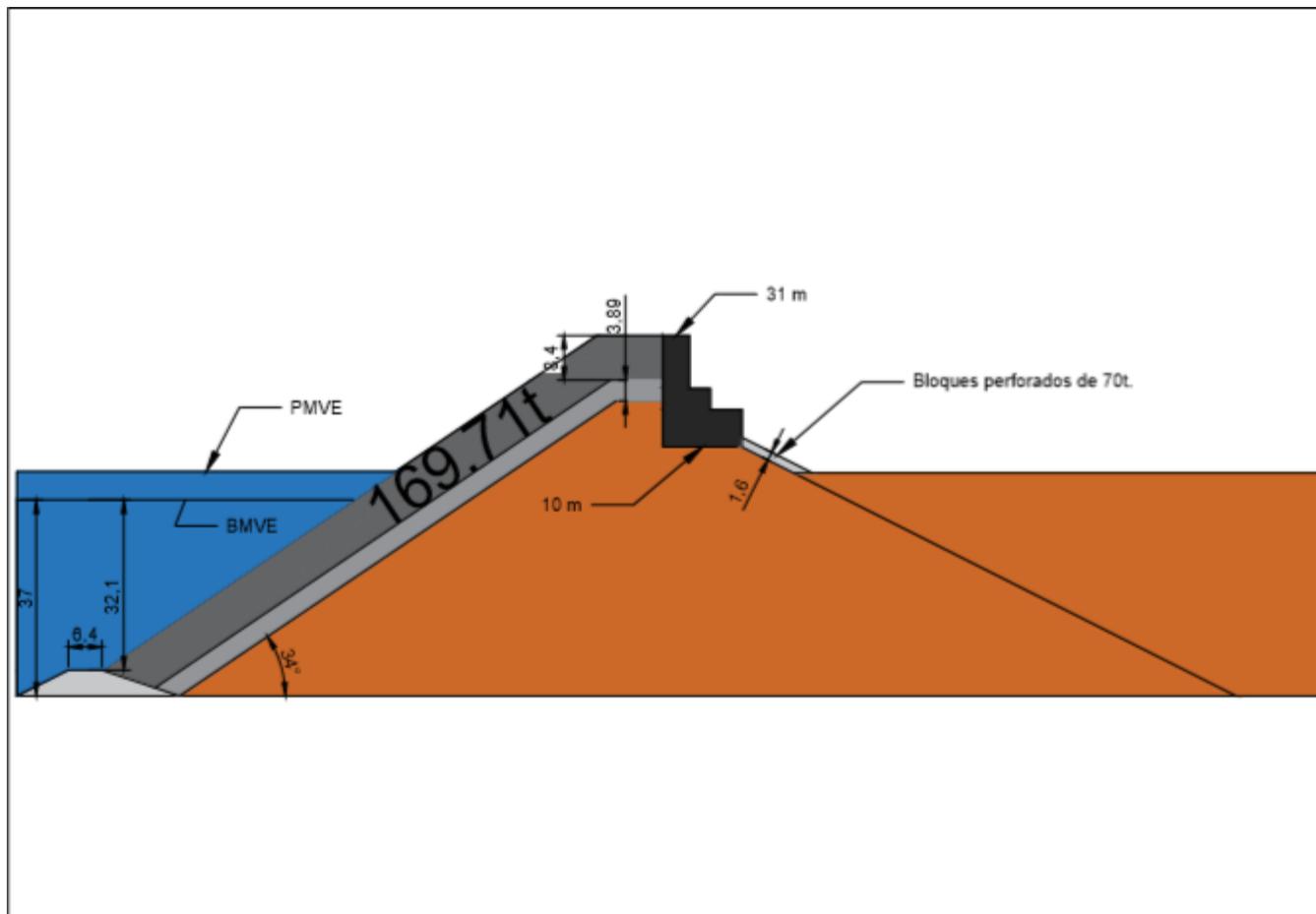
Se realiza un pre-diseño determinista de Nivel I donde se adquieren unos tamaños de piezas del manto principal y de la berma de pie que serán revisados posteriormente mediante un método probabilista, nivel III. El tamaño de las piezas del manto deberá ser modificado con el fin de cumplir las recomendaciones de la ROM, los de la Berma de Pie no serán modificados por motivos estructurales de mantenimiento de las piezas del manto principal. El espaldón, a pesar de haber sido sobredimensionado en nivel I, y comprobado con nivel III, no será aparentemente modificado.

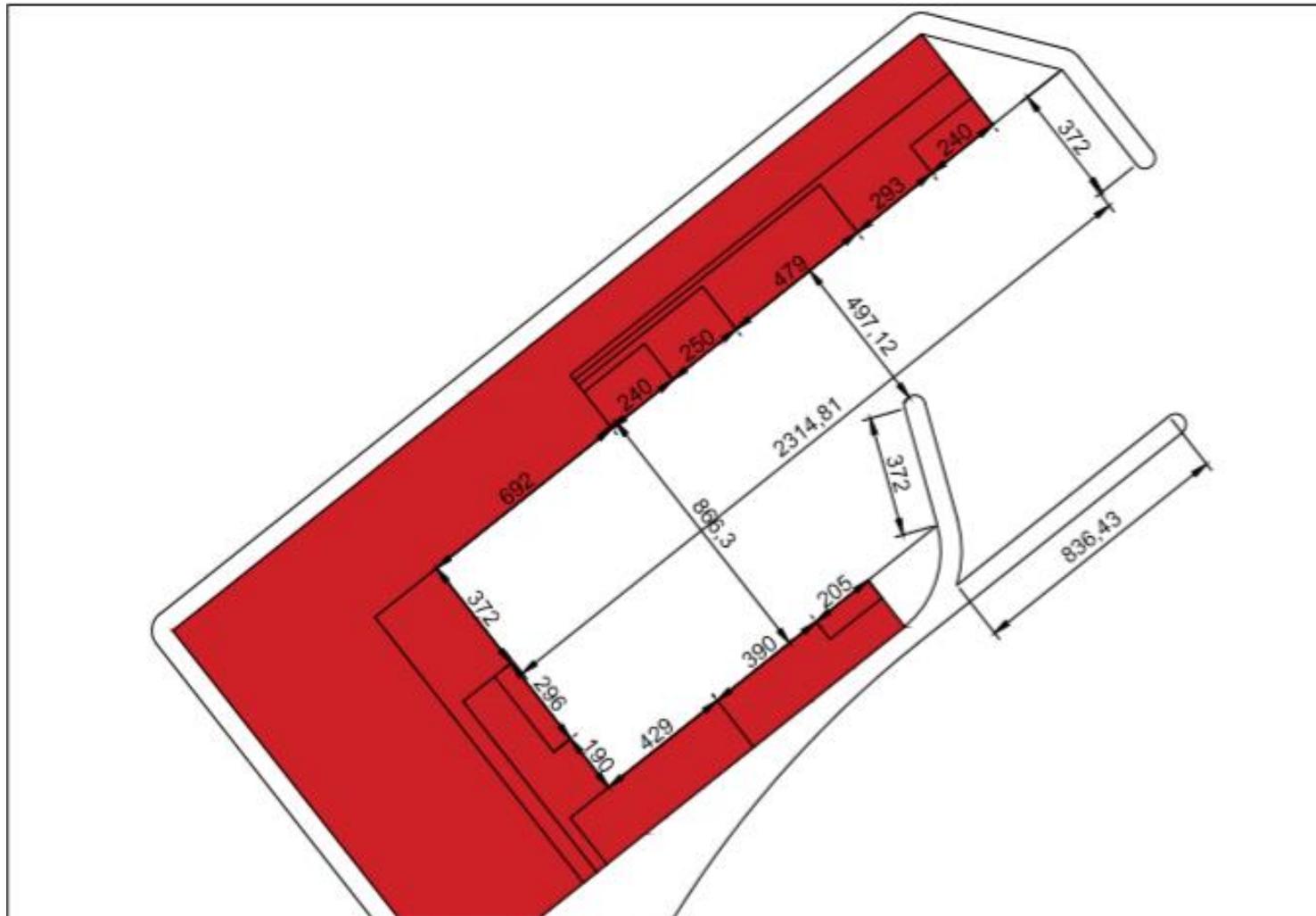
Es probable que la modificación del tamaño de las piezas del manto pueda ser debido a alguna incertidumbre en la formulación determinista, como por ejemplo la duración del temporal. Es difícil saber la duración de un temporal tipo en un determinado lugar, es la propia base de datos la que te va a determinar la misma.

Visto lo visto, si algún día se requiere hacer el desembolso para llevar a cabo una obra de semejantes características, habrá que ver la posibilidad de intentar dejar en el interior de la bahía, aquellas terminales cuyos requisitos operativos sean más dificultosos de conseguir.



FIGURAS





BIBLIOGRAFÍA

Puertos del Estado (1999). ROM 3.1-99. *Proyecto de la configuración marítima de los puertos; canales de acceso y áreas de flotación.*

Puertos del Estado (2001). ROM 0.0-01. *Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias.*

Puertos del Estado (2005). ROM 0.5-05. *Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias.*

Puertos del Estado (2009). ROM 1.0-09. *Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo (Parte 1ª. Bases y Factores para el proyecto. Agentes climáticos).*

Eurotop. (2007). *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assesment Manual.*

López Lara, J. *Diques Verticales. Diseño estructural I . Fundamentos para el Diseño de Obras Marítimas.*

López Lara, J. *Diques Verticales. Diseño estructural II . Fundamentos para el Diseño de Obras Marítimas .*

López Lara, J., & Díaz Hernández, G. *Calculo Último de Diques En Talud de Materiales Suelos. Fundamentos para el diseño de Obras Marítimas.*

Marcano Ceballos, D. (2016). *DIMENSIONAMIENTO DE TERMINALES PORTUARIAS (LÍNEA DE ATRAQUE Y SUPERFICIE). Conocimiento general del sistema portuario. máster universitario en ingeniería costera y portuaria (especialidad ingeniería portuaria).*

Marcano Ceballos, D. *Atlas geotécnico. Bahía de Santander.*

Dirección general de puertos – CGP y MM – S. C. T. *Capítulo 5. Puertos generales.*