



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la
ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy,
Noruega).

Presentado por

Aparici Borrás, Javier

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2019/2020

Fecha: Septiembre 2020

Tutor: Medina Folgado, Josep Ramon

Cotutor: Molines Llodrá, Jorge



Agradecimientos

Cuando empecé a redactar este proyecto me encontraba en Noruega, en plena crisis mundial y con un futuro laboral completamente incierto. Hoy, escribo estas últimas líneas desde España y afortunadamente con una visión más esperanzadora de futuro.

Mi primer agradecimiento va para todas aquellas personas que hicieron de mi aventura noruega algo más especial. A todos aquellos noruegos que me ayudasteis a integrarme en el país; a todas aquellas personas que me trajisteis parte de vuestros países (México, China o Canadá) solo por nombrar algunos de ellos; y en especial a Sandra, Maika y Daniel por traerme un pedacito de Valencia y de Cuenca estando tan lejos de casa. A todos vosotros: *iTusen takk!*

Mi segundo agradecimiento es para mis tutores, Josep y Jorge. Gracias por vuestra calidad humana y por poner el máximo de vuestra parte pese a las dificultades y la distancia.

Por último, y como no podría ser de otra forma, el mayor agradecimiento lo reservo para mi familia. Gracias por estar siempre ahí, sin importar la distancia. Sé que a veces no os lo he demostrado como es debido, y lo lamento, pero habéis sido un apoyo fundamental durante todas las etapas de mi vida. Ahora termina una etapa y empieza otra aventura, pero sé que siempre podré contar con vosotros, esté donde esté.

Resumen

El presente trabajo desarrolla una propuesta para la ampliación de la obra de abrigo Este del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega) a nivel de estudio de soluciones. Esta propuesta se enmarca dentro del plan de ampliación general del puerto de Andenes que busca satisfacer las necesidades futuras del puerto con una ampliación de la oferta de amarres y mejora de la seguridad de la navegación en la zona.

Resum

Aquest treball desenvolupa una proposta per a l'ampliació de l'obra d'abric est del Port Pesquer de Andenes a nivell d'estudi de solucions. Aquesta proposta s'emmarca dins del pla d'ampliació general del port de Andenes que busca satisfer les necessitats futures del port amb una ampliació de l'oferta d'amarratges i millora de la seguretat de la navegació.

Abstract

This work develops a proposal for the extension of the East shelter work of the Fishing Port of Andenes at the level of study of solutions. This proposal is part of the general expansion plan for the Andenes harbour, which seeks to meet the future needs of the port with an expansion of the offer of moorings and improvement of navigation safety.

Relación de documentos

Documento N°1: Memoria y anejos

Anejo N°1: Documentación fotográfica

Anejo N°2: Estudio batimétrico

Anejo N°3: Estudio geológico

Anejo N°4: Clima marítimo

Anejo N°5: Procedencia de materiales

Anejo N°6: Bases de diseño

Anejo N°7: Estudio de soluciones

Anejo N°8: Cálculo de estructuras marítimas

Anejo N°9: Solución adoptada

Documento N°2: Planos

Plano N°1: Localización

Plano N°2: Batimetría regional

Plano N°3: Batimetría local

Plano N°4: Alineación de las obras

Plano N°5: Alternativa 1. Cubípodos

Plano N°6: Alternativa 2. Cubos

Plano N°7: Alternativa 3. Escollera

Plano N°8: Distribución en planta



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Documento N°1: Memoria



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	12
2. Antecedentes	12
2.1. Localización	12
2.2. Contexto	14
2.3. El puerto histórico	14
2.4. El puerto natural	14
2.5. La construcción de los diques	15
2.6. Accesos	15
2.7. Estado actual y servicios.....	17
3. Problemática actual.....	19
4. Objetivos del proyecto general	19
<i>Objetivo 1:</i>	19
<i>Medidas:</i>	19
<i>Objetivo 2:</i>	19
<i>Medidas:</i>	19
<i>Objetivo 3:</i>	19
5. Esquema futuro de ordenación.....	20
6. Trabajos previos	21
10.1 Batimetría.....	21
10.2. Estudio geológico	22
10.3. Clima marítimo	23
10.3.1. Régimen de vientos.....	23
10.3.2. Nivel del mar	24
10.3.3. Caracterización del oleaje	24
10.3.4. Propagación del oleaje	25
10.4. Procedencia y disponibilidad de materiales.....	26
10.5. Bases de diseño	26
10.6. Cálculo de Estructuras marítimas.....	27
7. Estudio de soluciones.....	27
8. Solución adoptada.....	28
9. Conclusiones.....	29
10. Referencias.....	30

Índice de imágenes

Imagen 1: Ubicación de Noruega	12
Imagen 2: Provincia de Nordland	13
Imagen 3: Archipiélago de Vesterålen	13
Imagen 4: Acceso por carretera al puerto de Andenes	15
Imagen 5: Ruta terrestre hasta Bodø	16
Imagen 6: Ruta terrestre hasta Tromsø	16
Imagen 7: Aeropuerto de Andenes	17
Imagen 8: Ordenación actual del puerto	17
Imagen 9: Empresas portuarias	18
Imagen 10: Futura ordenación del puerto, lado mar	20
Imagen 11: Futura ordenación del puerto, lado tierra	20
Imagen 12: Topografía regional	21
Imagen 13: Batimetría local	22
Imagen 14: Depósitos de material granular de Oksebasen	22
Imagen 15: Rosa de los vientos anual	23
Imagen 16: Ajuste del régimen extremal a la distribución Weibull	25
Imagen 17: Ejemplo de propagación de oleaje	26
Imagen 18: Sección de dique en talud	27
Imagen 19: Esquema en planta de la solución adoptada	28
Imagen 20: Sección del morro de la solución adoptada	29

Índice de tablas

Tabla 1: Coordenadas del puerto de Andenes	17
Tabla 2: Principales longitudes de atraque	18
Tabla 3: Características del manto principal	28

1. Objeto

El objeto del presente Trabajo de Fin de Máster es la redacción de un estudio de soluciones para la construcción del nuevo dique de la bocana este del puerto de Andenes, dentro del marco del proyecto global de ampliación de dicho puerto. No existe ningún condicionante impuesto más que aquellos que se desprenden de la propia naturaleza del emplazamiento. El objetivo final, por tanto, será el diseño de una solución a nivel de estudio de soluciones que satisfaga de la mejor manera posible los requisitos impuestos demostrando la viabilidad constructiva y estabilidad estructural de la propuesta.

2. Antecedentes

2.1. Localización

El puerto pesquero objeto de estudio se encuentra en el término municipal de Andenes en el norte de Noruega.



Imagen 1: Ubicación de Noruega (Wikipedia, 2020)

Dicho municipio se encuentra en la provincia de Nordland que cuenta con una población de 241.682 habitantes según el censo de 2015. La capital de provincia es Bodø, a una distancia de 240 km desde Andenes.



Imagen 2: Provincia de Nordland (Wikipedia, 2020)

En concreto, dicho municipio se ubica al norte de la isla de Andøya, una de las islas que forman el archipiélago y a su vez distrito de Vesterålen.

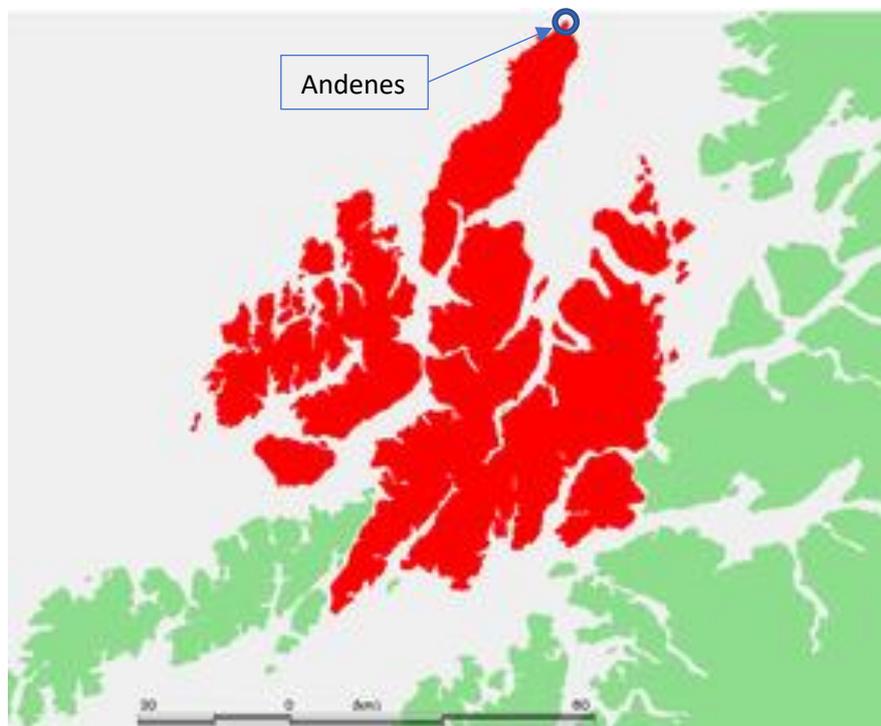


Imagen 3: Archipiélago de Vesterålen (Wikipedia, 2020)

Actualmente el municipio cuenta con 2.602 habitantes según el censo de 2009. En el año 1964 el municipio se anexó a los municipios de Dverberg y Bjørnskinn para formar el *kommune* actual de Andøy, de la actual Andenes es centro administrativo.

Del municipio se debe destacar que se encuentra a 300 km al norte del círculo polar ártico, lo que hace que el sol de medianoche sea visible desde mayo hasta julio. Asimismo, el sol no se alza sobre el horizonte desde noviembre hasta enero.

Al este de Andenes se encuentra la isla de Senja y al oeste del mismo se encuentra el océano Atlántico (concretamente el mar de Noruega).

2.2. Contexto

El municipio de Andenes es uno de los municipios pesqueros más grandes de Nordland, siendo su puerto el más importante de la zona. Su ubicación próxima a zonas importantes de pesca, junto a la buena comunicación de la localidad tanto por vía aérea, terrestre y marítima hacen del puerto de Andenes uno de los más atractivos para el sector.

Actualmente, las instalaciones portuarias existentes limitan en gran medida la capacidad de desembarque y recepción de mercancía, limitando las oportunidades de desarrollo comercial de la zona.

La Administración Costera y el Municipio iniciaron el trabajo de planificación para un desarrollo mayor, con el objetivo de mejorar la seguridad, la accesibilidad y las condiciones de todo el puerto tanto para la flota pesquera como la flota industrial y la flota turística, aumentando la actividad económica.

Dentro del Plan Nacional de Transporte 2014-2023 de Noruega, el desarrollo del puerto de Andenes es la iniciativa portuaria de mayor importancia.

2.3. El puerto histórico

Los primeros registros que se tienen de la actividad pesquera en Andenes se remontan a la Edad Media. La ubicación del asentamiento pesquero era privilegiada, ya que era posible pescar durante todo el año tanto al este del puerto como al oeste, encontrando aguas profundas a muy poca distancia. Esto lo convirtió en uno de los puntos de pesca más ricos de Europa.

2.4. El puerto natural

Las primeras embarcaciones que se abrigan en el puerto de Andenes lo hacían gracias a sus arrecifes naturales. La bahía estaba protegida por un arrecife de unos 2 km de largo que reducía en gran medida la acción del oleaje. Además, las islas existentes protegían del viento del oeste, no obstante, esta cobertura no era suficiente y en el año 1812 una gran tormenta destruyó gran parte de la flota pesquera.

2.5. La construcción de los diques

En 1895 comenzó la construcción de los diques del puerto de Andenes, prologándose esta durante 10 veranos, hasta 1904. La construcción del dique se realizó por medios terrestres empleando vías férreas para el transporte de escollera, se utilizó una grúa manual para la manipulación de los elementos.

Las escolleras empleadas pesaban hasta 10 toneladas y fueron extraídas de las canteras del propio municipio, no obstante, también se importaron piezas de otras canteras que fueron transportadas por medios marítimos.

Este dique, con sus 440 metros de largo fue el primer dique de esta tipología en el norte de Noruega. Cumplió con creces con su objetivo, que era la defensa del puerto frente al Mar del Norte. En los años posteriores, el crecimiento industrial de la zona y el propio puerto se incrementó exponencialmente.

2.6. Accesos

El puerto pesquero de Andenes tiene acceso directo tanto por tierra como por mar y aire.

Por vía terrestre se puede acceder a través de las calles de andenes que conectan con las carreteras principales E6 y E10. Hay que destacar que la isla de Andøya y el archipiélago de Vesterålen se encuentran perfectamente conectados al continente por medio de viaductos.

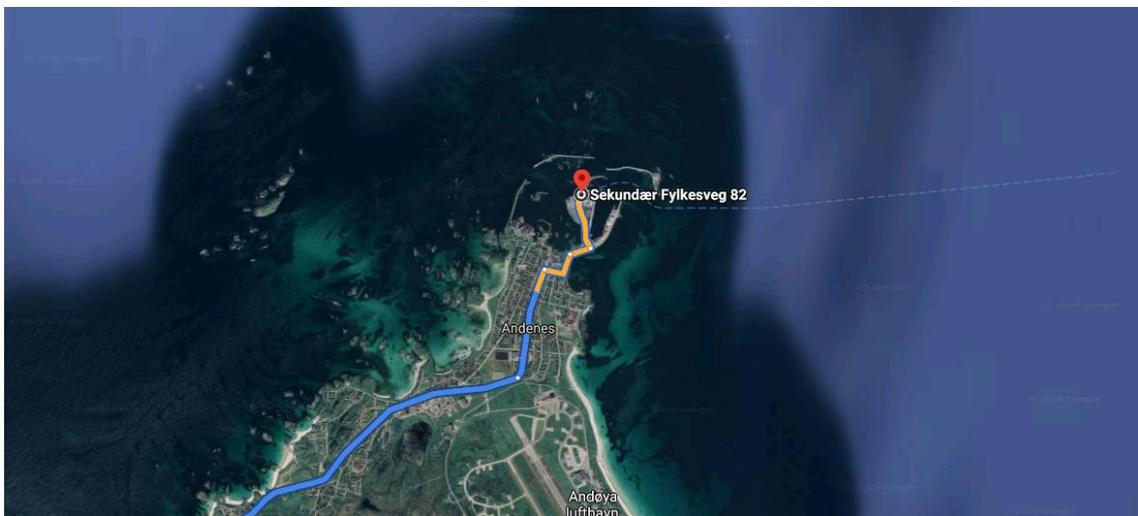


Imagen 4: Acceso por carretera al puerto de Andenes (Google Maps)

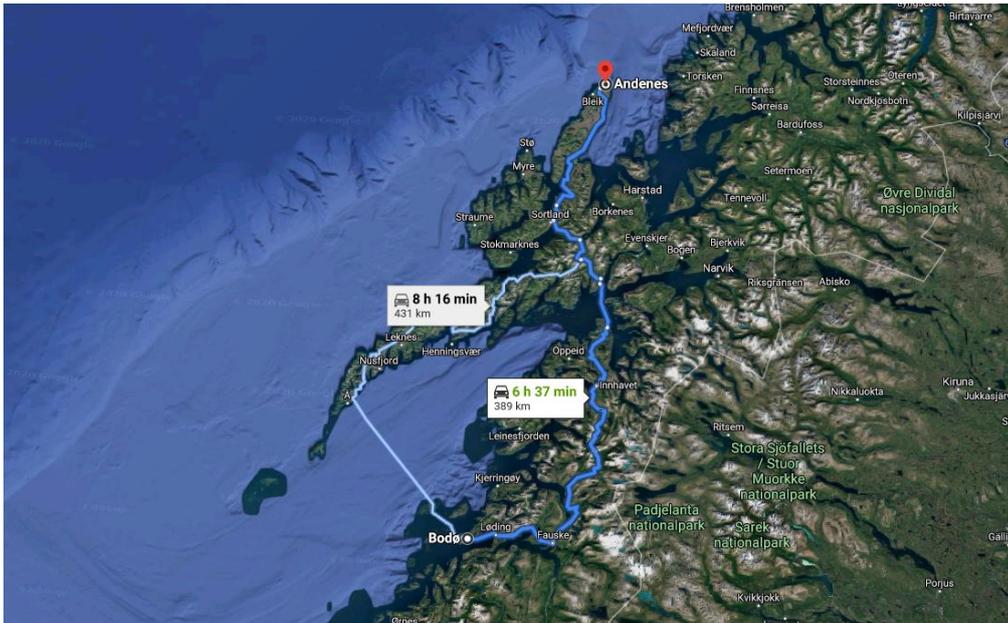


Imagen 5: Ruta terrestre hasta Bodø (Google Maps)

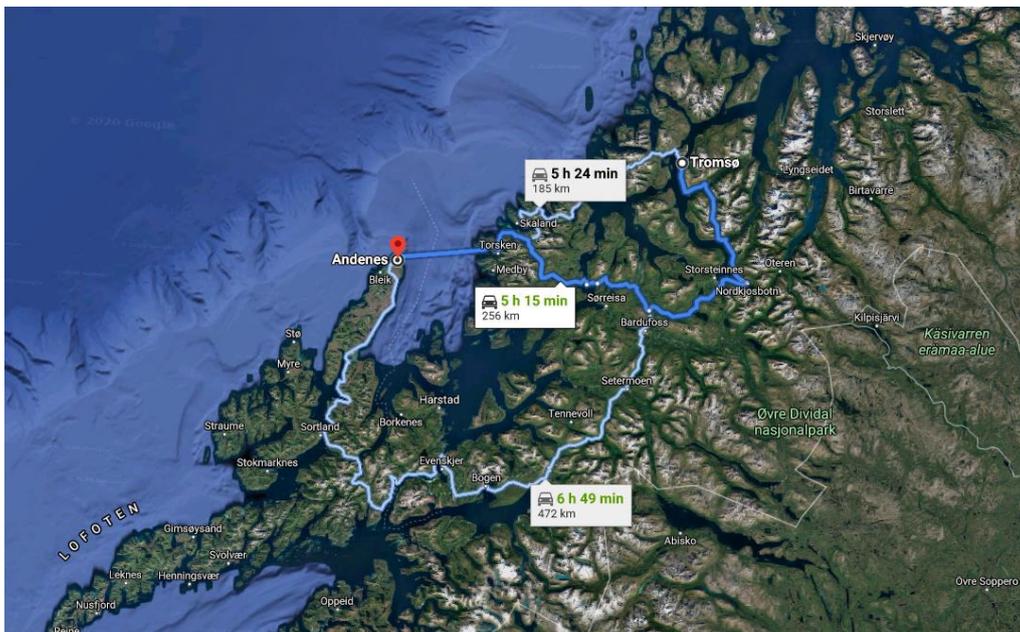


Imagen 6: Ruta terrestre hasta Tromsø (Google Maps)

Como se puede apreciar, pese a su proximidad a Tromsø (una de las principales ciudades noruegas) si se desea realizar todo el trayecto por carretera se deben recorrer 470 kilómetros debido a la compleja orografía del país.

En la actualidad el puerto no dispone de acceso por ferrocarril, puesto que el norte de noruega no dispone de este tipo de infraestructura. El punto más septentrional que alcanza el ferrocarril noruego es la población de Narvik a escasos 100 kilómetros al sur de Andenes.

Como se ha comentado el puerto está perfectamente conectado por vía aérea encontrándose a escasos 2 kilómetros del puerto el aeropuerto de Andenes con 2 pistas de aterrizaje.

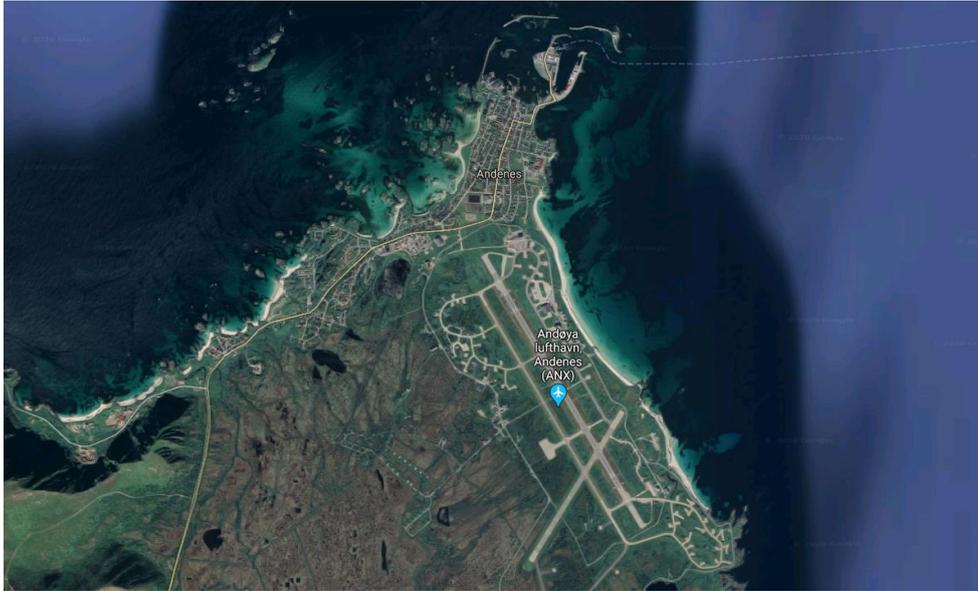


Imagen 7: Aeropuerto de Andenes (Google maps)

Por último, se puede acceder al puerto por mar siguiendo las siguientes coordenadas:

Latitud	Longitud
69.324º	16.128º

Tabla 1: Coordenadas del puerto de Andenes (Elaboración propia)

2.7. Estado actual y servicios

El puerto de Andenes se puede separar en 3 zonas claramente diferenciadas: El puerto este, el puerto medio y el puerto oeste. (O puerto oriental, medio y occidental)

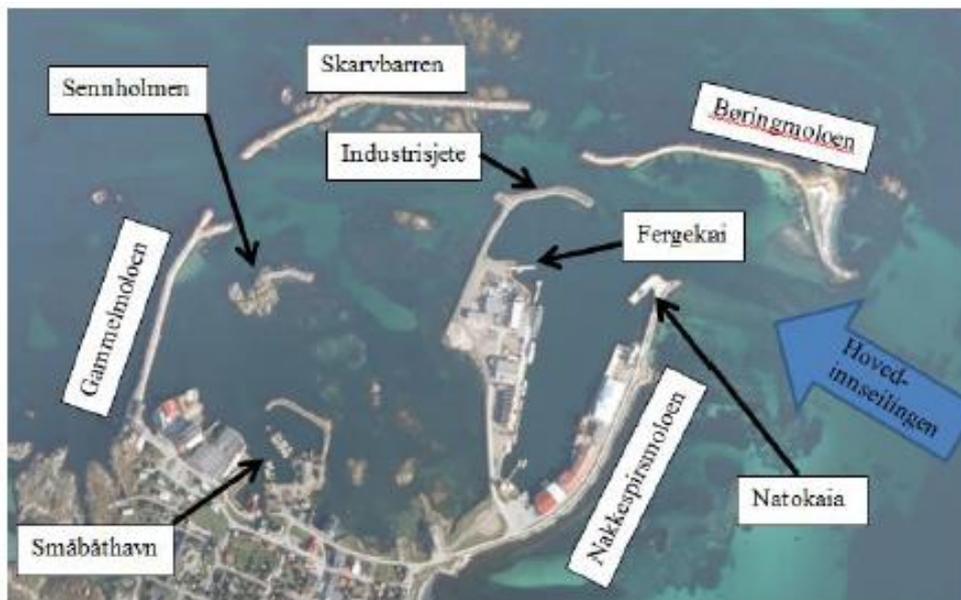


Imagen 8: Ordenación actual del puerto (Norconsult AS, 2018)

En el puerto este se encuentran los principales muelles industriales, el muelle militar (Natokaia) y el muelle de ferry (Fergekai). Este conjunto de infraestructuras es utilizado por la Asociación de Ferry de Andøy y Senja, por buques pesqueros locales y regionales, las Fuerzas Armadas e industria y turismo.

En la siguiente tabla se resumen las longitudes aproximadas de atraque:

Uso:	Longitud
Militar	100 m
Industrial y pesquero	550 m

Tabla 2: Principales longitudes de atraque (Elaboración propia)

Esta parte tiene suficiente profundidad para albergar buques de tamaño medio, no obstante, la entrada no cumple los requisitos mínimos para navegar con seguridad, siendo escasos tanto el ancho como la profundidad a la entrada.

En la actualidad, en la zona que se denomina puerto medio no existen servicios existentes.

En la zona occidental del puerto o puerto oeste se encuentran algunos pequeños negocios pesqueros y turísticos como pueden ser el de avistamiento de ballenas. El tamaño actual y el número de amarres de esta zona impide que los negocios se puedan ampliar en la actualidad.

En cuanto a la actividad empresarial de la zona, Andenes presenta un abanico variado, siendo la pesca y el procesado de esta la industria más importante. El puerto dispone de diversas instalaciones de recepción y producción de pescado (Andenes Fiskemottak, Framnes Fiskeindustri, Sjøanlegget, Andenes Havfiskeselskap, AndøyaFiske).

En 2014 se registraron un total de 78 buques pesqueros en el municipio, siendo éste el registro más alto desde 2007.

En la siguiente imagen se resumen las distintas empresas que pueden encontrarse en el área portuaria



Imagen 9: Empresas portuarias (Norconsult AS, 2018)

3. Problemática actual

Actualmente existe un gran problema de incursión de arena en la entrada principal oriental. La profundidad de la entrada es aproximadamente 6.5 metros, pero se está reduciendo. Es de vital importancia considerar medidas que limiten el depósito de arenas y garanticen niveles de seguridad adecuados durante el acercamiento.

Además, la ordenación actual del puerto impide que los buques de mayor tamaño puedan maniobrar dentro de él, por lo que en ocasiones deben circular en retaguardia, y virar en aguas abiertas.

La capacidad de los muelles en la zona oriental del puerto es demasiado pequeña para el número de buques que se estima que operarán en un futuro. Si las instalaciones de atraque son insuficientes, los buques deberán ser remitido a otros puertos, con la pérdida económica que ello supone para el municipio.

Se requiere ordenar el puerto para separar actividades a gran escala y actividades a pequeña escala, así como actividades para la flota local y actividades para la flota extranjera.

Otro problema actual es que el transporte entre las distintas partes del puerto solo se puede realizar a día de hoy con embarcaciones pequeñas, debido a la profundidad irregular de la zona. Con la nueva ordenación interior se desea que cualquier buque pueda moverse por dentro del puerto sin tener que salir a mar abierto para cambiar de zona, estableciendo una conexión entre las distintas partes del puerto.

4. Objetivos del proyecto general

Objetivo 1:

Se debe proyectar una entrada principal al puerto de Andenes que sea segura con una profundidad y ancho de navegación que permita la entrada segura de los buques. Además, se debe reducir la necesidad de dragado de mantenimiento futuro.

Medidas:

Extensión del muelle para proporcionar una mejor protección a la entrada el puerto y reducir la acumulación de arena.

Extensión y ensanche de la entrada.

Objetivo 2:

Conseguir un oleaje mucho menor en el interior de las dársenas en comparación con la situación actual.

Medidas:

Cierre de la apertura hacia al norte para reducir la marejada dentro del puerto. Al cerrar la entrada norte se crea un canal interno y seguro entre la parte oriental y occidental del puerto.

Objetivo 3:

Se debe aumentar la profundidad de todas las zonas del puerto, así como disponer zonas con mayor diámetro de giro para maniobrar y aumentar la capacidad de atraque.

5. Esquema futuro de ordenación

En la siguiente imagen se muestra la nueva propuesta de ordenación y ampliación del puerto.

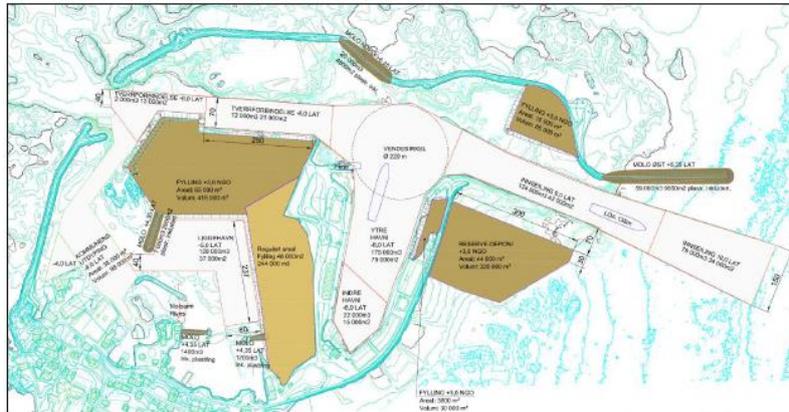


Imagen 10: Futura ordenación del puerto, lado mar (Norconsult AS, 2018)

La ordenación futura de las instalaciones portuarias va a multiplicar por cuatro la superficie actualmente disponible, incluyendo varios tipos de industria y comercios, un área de negocios y almacenes. La nueva ordenación tiene como objetivo adicional separar las actividades industriales y las actividades relacionadas con la pesca, la flota turística y la flota de ocio, consiguiendo una estructura de puerto más ordenada y eficiente.

Las áreas industriales se concentrarán en las partes exteriores del puerto y tendrán acceso a un muelle de aguas profundas. La flota pesquera se ubicará en el puerto occidental.

El calado para buques en el puerto este será de 7 metros, mientras que para el oeste será de 5 metros, siendo esto suficiente para buques de pesca.

Como se puede apreciar, la nueva ordenación dispone de amplias zonas de viraje y de una conexión directa y segura entre el puerto oriental y el puerto occidental.

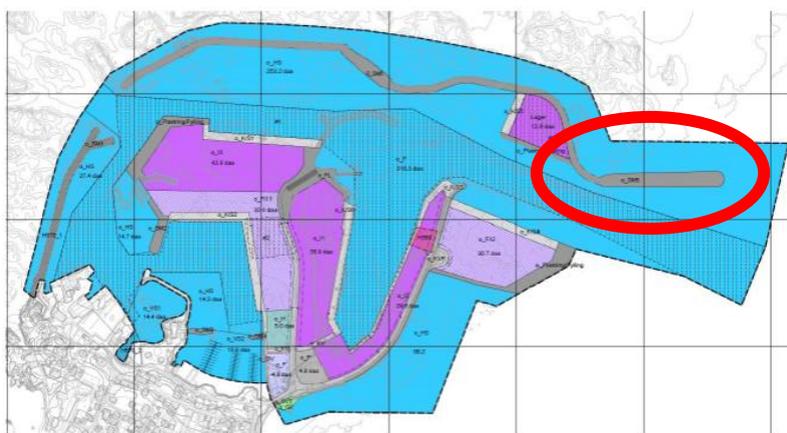


Imagen 11: Futura ordenación del puerto, lado tierra (Norconsult AS, 2018)

Este trabajo se centrará en el estudio de soluciones para la prolongación del dique de la bocana este, siendo ésta la obra más importante en términos de abrigo de la infraestructura portuaria.

6. Trabajos previos

Una parte importante de este trabajo se ha centrado en la recopilación de información del ámbito de actuación que permita proceder con el estudio de soluciones. Esto incluye recopilar principalmente información relativa a la batimetría, a la geología de la zona y el clima marítimo.

10.1 Batimetría

Toda la información relativa a la batimetría analizada puede encontrarse de forma detallada en el *Anejo N°2: Batimetría*.

El estudio batimétrico que se ha llevado a cabo se ha centrado en dos frentes claramente diferenciados: La batimetría regional y la batimetría local.

La batimetría regional se ha empleado para generar la transformación del oleaje desde el punto en el que se dispone de la serie histórica de datos hasta el emplazamiento del dique. En concreto se ha empleado un conjunto de datos con información en formato “*grid*” con resolución de 50x50 metros. Dichos datos han sido proporcionados por (Geonorge, 2020), siendo esta la base de datos nacional de mapas de Noruega.

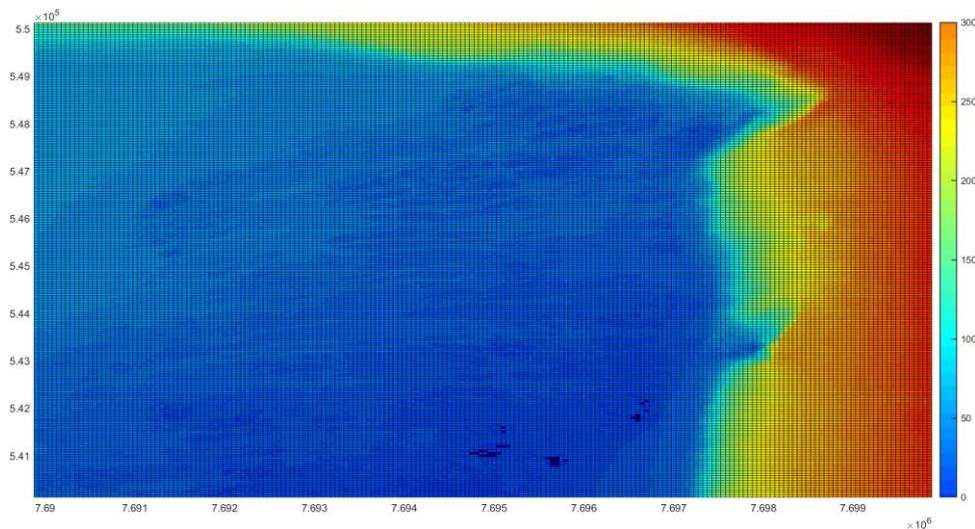


Imagen 12: Topografía regional (Elaboración propia)

A nivel local se ha analizado toda la batimetría del puerto y sus alrededores, prestando especial atención al futuro emplazamiento del dique. La principal fuente de datos para la batimetría local ha sido Navionics (Wikipedia, 2020).

A partir de la información gráfica de Navionics, se ha digitalizado la batimetría con un detalle suficiente para dar soporte al proceso de diseño de la obra de defensa. Dicha información puede consultarse en los siguientes planos:

- Plano N°1: Batimetría general
- Plano N°2: Batimetría de detalle

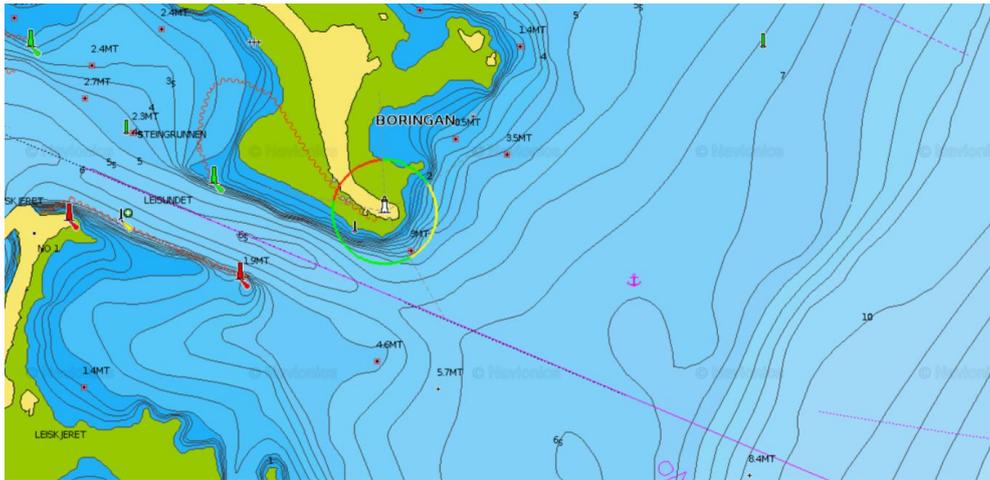


Imagen 13: Batimetría local (Navionics, 2020)

10.2. Estudio geológico

Un aspecto fundamental a la hora de llevar a cabo cualquier estudio de soluciones es el análisis geológico y geotécnico de la zona, tanto a escala local como a escala regional.

La geología local puede influir claramente en la morfología de una obra de abrigo, pudiendo por ejemplo condicionar su tipología o su geometría. Estudiar la geología a nivel regional es también fundamental, pues condicionará la viabilidad de la obra, por ejemplo, en términos de disponibilidad de materiales. En el anejo N°3: Estudio Geológico-Geotécnico se desarrollan todos los aspectos que a continuación se resumen.

Del análisis de la geología regional se concluye que la isla de Andøya está formada principalmente por un afloramiento rocoso donde predomina notablemente el Granito y el Gabro. No obstante, es importante destacar que los numerosos procesos eólicos y marinos de la zona han generado grandes depósitos superficiales de materiales granulares, como pueden ser los depósitos de arenas y gravas de *Oksebasen* y *Stranda*.



Imagen 14: Depósitos de material granular de Oksebasen (Geonorge, 2020)

A nivel local, se concluye que el dique estará cimentado sobre una fina capa de material granular formado por Arenas y gravas. No ha sido posible determinar el espesor de dicha capa, pero se estima que a unos pocos centímetros por debajo de ésta es posible encontrar la roca madre, formada principalmente por Anfibolita y Gneis.

Debido a la naturaleza de estas rocas, se concluye que no es necesario realizar ningún tipo de comprobación geotécnica. Se recomiendan estudios geotécnicos de detalle para futuros desarrollos del proyecto.

10.3. Clima marítimo

En el *Anejo N°4: Clima marítimo* se desarrollan los estudios llevados a cabo para caracterizar el viento, las mareas y el oleaje en los alrededores del puerto de Andenes.

Las principales fuentes de datos de las que se disponía eran series históricas, por lo que se ha tenido que llevar a cabo un análisis estadístico de las mismas para generar información de utilidad para el estudio de soluciones.

10.3.1. Régimen de vientos

En cuanto al régimen de vientos la principal fuente de datos ha sido ERA5 (ECMWF, 2020) del programa Copérnico (Copernicus, 2020). Esta base de datos proporciona información vectorial del viento a partir de sus componentes horizontales (u) y verticales (v) a 10 metros de altura. A partir de la serie histórica se han generado rosas de los vientos con información direccional, de intensidad y de frecuencia.

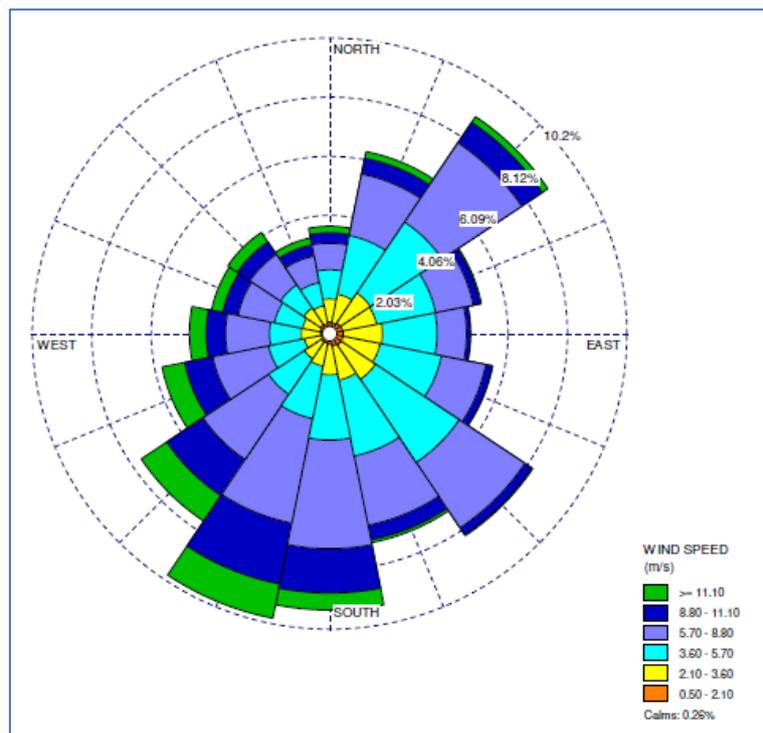


Imagen 15: Rosa de los vientos anual (Elaboración propia)

En la rosa de los vientos anual (incluyendo ésta toda la serie histórica) puede concluirse que los principales vientos soplan hacia los sectores sur, sursuroeste y sureste. Se debe destacar que estos vientos tienen una clara y marcada tendencia estacional.

10.3.2. Nivel del mar

Toda la información relativa al nivel del mar y sus registros históricos han sido proporcionada por la Autoridad Noruega de Mapeo (Norgeskart, 2020). En concreto la información procede del mareógrafo de Andenes, con una frecuencia de lectura diezminutal y un registro que abarca desde 1991 hasta la actualidad.

Se desea destacar que para el proceso de diseño se han empleado los niveles de seguridad requeridos por la Autoridad Noruega de Mapeo, que tienen en cuenta tanto el aumento del nivel del mar, como las marejadas ciclónicas y el ajuste isostático glacial.

Para un mayor desarrollo de estos fenómenos consúltese el *Anejo N°4: Clima marítimo*.

10.3.3. Caracterización del oleaje

Al igual que la información del régimen de vientos, el registro histórico de oleaje ha sido extraído de la base de datos ERA5 (ECMWF, 2020) del programa Copérnico (Copernicus, 2020). En concreto, se ha extraído la dirección media de oleaje, la altura de ola significativa y el periodo pico de oleaje para cada estado de mar.

A partir de esta información se ha generado la información estadística que caracteriza el régimen medio y el régimen extremal.

Para el análisis del régimen medio se han elaborado tablas de distribución conjunta de periodo pico y altura significativa e histogramas de frecuencia.

Por otro lado, para el régimen extremal se ha realizado un análisis estadístico de tipo POT y se ha elaborado un modelo estadístico mediante el ajuste de los datos a una distribución Weibull triparamétrica.

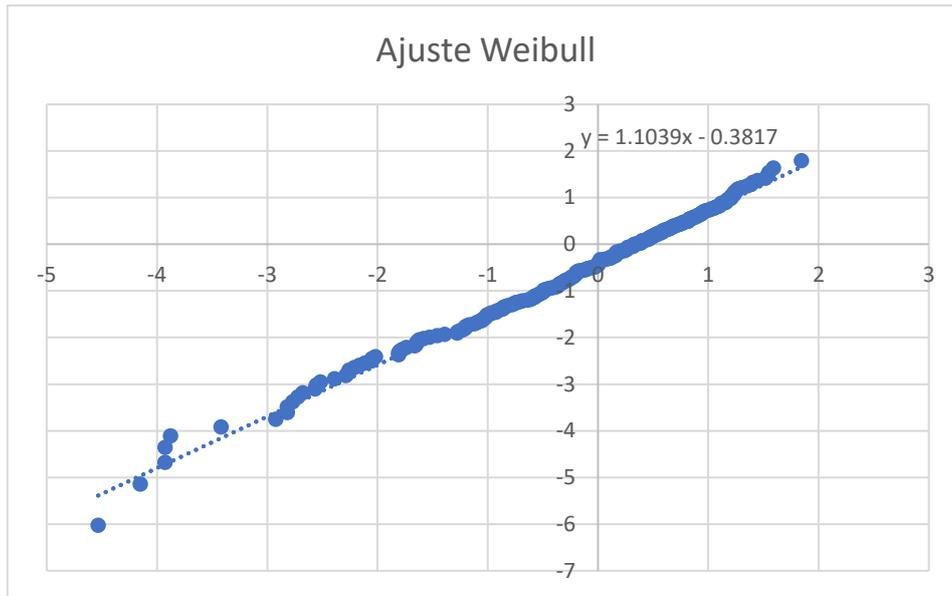


Imagen 16: Ajuste del régimen extremo a la distribución Weibull (Elaboración propia)

10.3.4. Propagación del oleaje

Para la propagación del oleaje, se ha definido una metodología propia que se ajusta al alcance del presente trabajo. Básicamente la metodología se ha centrado en el desarrollo de una función de distribución simplificada que permita obtener el oleaje en el punto deseado a partir de un oleaje de entrada, que en este caso es el proporcionado por el programa *Copérnico*.

Para desarrollar dicha función de transferencia se ha empleado el software libre SWAN (*Simulating waves nearshore*) (TuDelft, 2020).

Mediante este software, se ha propagado un conjunto de 30 estados de mar estratégicamente seleccionados para la naturaleza del emplazamiento. A partir de estos 30 casos, se ha inferido la propagación de todo el conjunto de oleaje histórico en 3 puntos distintos, uno en el arranque del dique, otro en un tramo intermedio y otro en el morro.

Se adjunta una imagen de los resultados obtenidos para un oleaje procedente del norte con un periodo de 16.6 y el nivel alto de las aguas:

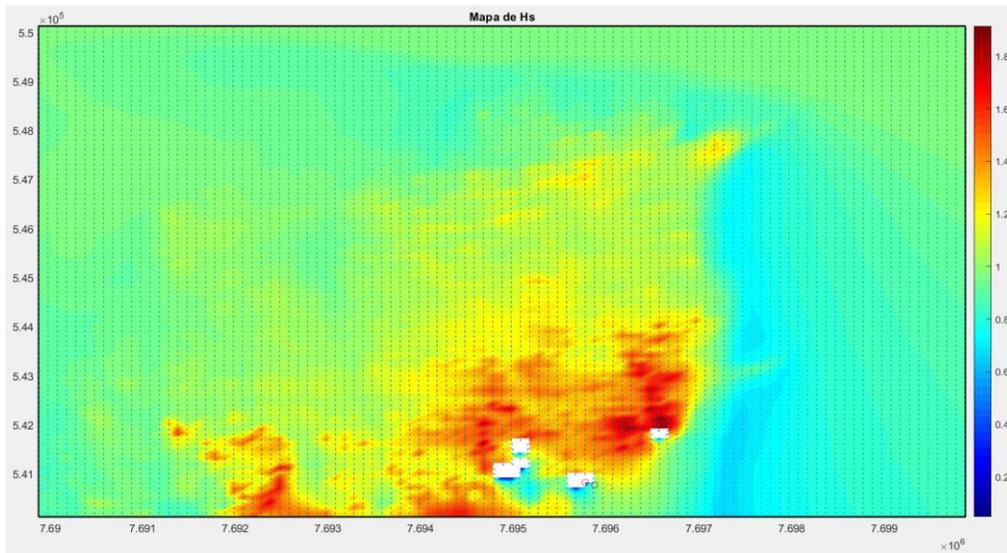


Imagen 17: Ejemplo de propagación de oleaje (Elaboración propia)

A partir de la información proporcionada por el modelo anterior se procede con el cálculo de estructuras marítimas y el estudio de soluciones.

10.4. Procedencia y disponibilidad de materiales

Para garantizar la viabilidad constructiva de la obra se ha analizado el entorno de esta para determinar la posible procedencia de los materiales necesarios. Se ha analizado asimismo la posibilidad de realizar el transporte de materiales por vía marítima desde la cantera.

La información detallada puede encontrarse en el *Anejo N°5: Procedencia y disponibilidad de materiales*.

10.5. Bases de diseño

Puesto que no ha sido posible encontrar ninguna normativa noruega que permita establecer unas bases de diseño, se ha optado por emplear las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM), ampliamente contrastadas por la práctica y reconocidas a nivel internacional. En concreto, para definir las bases de diseño se ha empleado la Parte I de la ROM 0.0-01: Procedimientos generales y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias (Gobierno de España. Ministerio de Fomento, 2001).

Se obtiene por tanto el periodo de vida útil de la obra, el periodo de retorno y las probabilidades de fallo asociadas a ELU y ELS, todo esto en función de los resultados obtenidos en el cálculo de los siguientes índices:

- IRE: índice de repercusión económica
- ISA: Índice de repercusión social y ambiental

Los aspectos relativos a las bases de diseño pueden consultarse de forma desarrollada en el *Anejo N°6: Bases de diseño*.

10.6. Cálculo de Estructuras marítimas

En el Anejo N°7: Cálculo de estructuras marítimas se definen las bases de cálculo y criterios empleados para el dimensionamiento del dique, principalmente a nivel seccional.

La formulación empleada para el dimensionamiento de los elementos del manto principal ha sido la formulación de Hudson (1959), aunque en aquellos casos en los que se ha considerado oportuno se ha contrastado con la formulación de Van Der Meer (Van der Meer, 1988a). Se ha considerado el empleo de 4 tipos de elementos distintos: escollera, escollera con colocación especial, cubos y Cubípodos, para 3 secciones distintas: arranque, tronco y morro.

Se ha dimensionado la capa de filtro y núcleo atendiendo a los criterios establecidos en el Coastal Engineering Manual (CEM, 2006) y se han determinado los francobordos necesarios atendiendo a lo establecido en el manual (EurOtop, 2007).

7. Estudio de soluciones

A partir de toda la información recopilada en los trabajos previos se ha llevado a cabo el estudio de soluciones.

En primer lugar, se ha escogido la tipología más adecuada para el emplazamiento atendiendo a los agentes del medio físico, el terreno, los procedimientos constructivos y el entorno ambiental. Se concluye que la tipología más adecuada es el dique en talud.

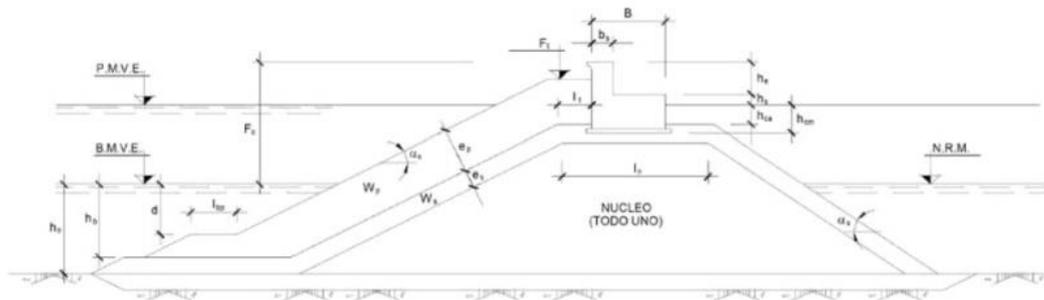


Imagen 18: Sección de dique en talud (Gobierno de España. Ministerio de Fomento, 2009)

Una vez definida la tipología a emplear, se procede con el planteamiento de alternativas, siendo los elementos que configuran el manto el principal aspecto a analizar. Se plantean cuatro alternativas:

- Manto de Cubípodos monocapa
- Manto de cubos bicapa
- Manto de escollera bicapa
- Manto de escollera con colocación especial bicapa

Cada una de estas alternativas presenta sus ventajas y sus inconvenientes, pero para el caso que nos ocupa quedan claramente diferenciadas las alternativas de escollera, siendo estas

alternativas las más favorables tanto por la disponibilidad de materiales como por el menor impacto ambiental que producen.

El análisis multicriterio realizado puede consultarse con más detalle en el *Anejo N°8: Estudio de soluciones*.

8. Solución adoptada

Del análisis multicriterio se concluye que la alternativa más favorable es la solución con escollera mediante colocación especial (2L).

Aunque el diseño en planta no forma parte de los objetivos de este trabajo, se ha optado por proponer una ordenación con el fin de realizar una valoración económica más ajustada a la realidad. Se muestra el diseño en planta elaborado.

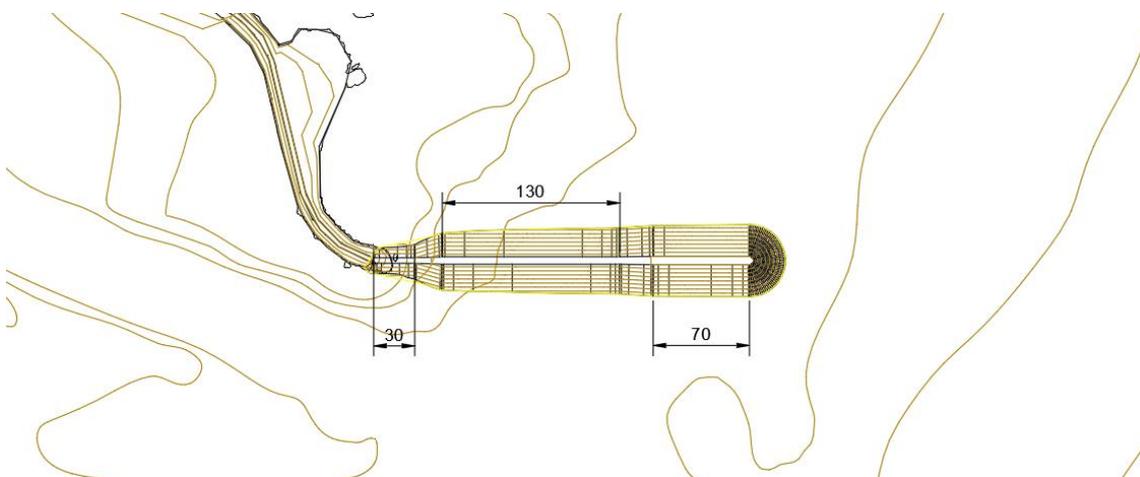


Imagen 19: Esquema en planta de la solución adoptada (Elaboración propia)

Como puede apreciarse la solución está formada por tres tramos claramente diferenciados con 2 tramos de transición entre ellos. El primer tramo, de 30 metros se denomina “tramo de arranque” y materializa la unión entre las obras existentes y la nueva infraestructura. El segundo tramo, de 130 metros es el tramo principal, y se ha denominado “tramo de tronco”. Por último se propone un último tramo que debe resistir las mayores acciones del oleaje. Se ha denominado “tramo de morro”.

Las principales características de el manto principal de los distintos tramos se resumen en la siguiente tabla:

Tramo	Hc (m)	Talud	Dn (m)	W (T)
Arranque	-	1.5H:1V (2L)	1.52	10
Tronco	7	1.5H:1V (2L)	1.85	17.7
Morro	7.5	1.5H:1V (2L)	2.05	23.8

Tabla 3: Características del manto principal (Elaboración propia)

Por último, se muestra la sección propuesta para el tramo de morro.

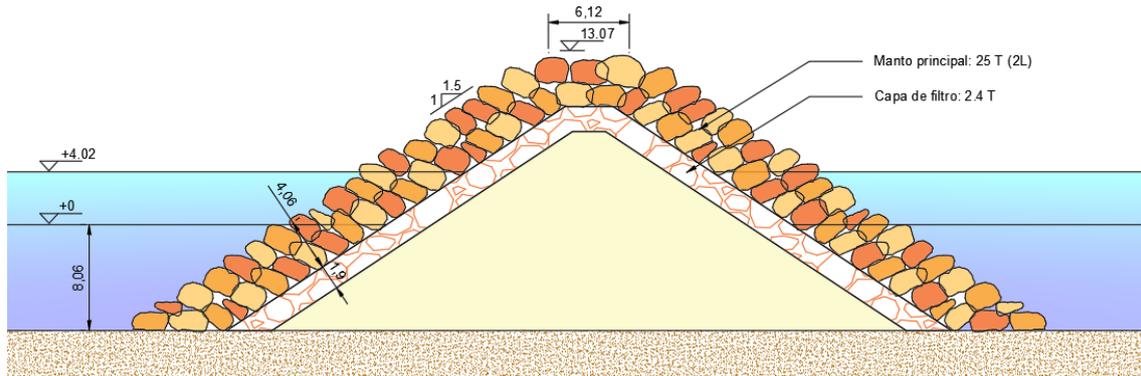


Imagen 20: Sección del morro de la solución adoptada (Elaboración propia)

Para más detalle puede consultarse el Anejo N°9: Solución adoptada.

9. Conclusiones

Atendiendo a los diferentes apartados que se han expuesto anteriormente se puede concluir que se han tenido en cuenta todos los condicionantes planteados y se ha desarrollado una solución viable, que atiende a los requisitos de seguridad, funcionalidad y durabilidad, preocupándose por el impacto ambiental y la integración paisajística a los niveles y alcance planteados desde un inicio.

Castellón, agosto de 2020

Fdo: Javier Aparici Borrás

10. Referencias

- CEM. (2006). *Coastal Engineering Manual*. US Army Corps of Engineers.
- Copernicus. (29 de 05 de 2020). Obtenido de Datos atmosféricos:
<https://www.copernicus.eu/es/acceso-los-datos>
- ECMWF. (25 de 5 de 2020). Obtenido de ECMWF Forecasts:
<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>
- EurOtop. (2007). *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures-Assessment Manual*. UK.
- Geonorge. (13 de 5 de 2020). Obtenido de Geonorge: <https://www.geonorge.no/>
- Gobierno de España. Ministerio de Fomento. (2001). *ROM 0.0-01: Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias*. Madrid.
- Gobierno de España. Ministerio de Fomento. (2009). *ROM 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*.
- Norconsult AS. (2018). *Områderegulering for Andenes havn*. Trondheim.
- Norgeskart. (2 de 5 de 2020). Obtenido de Norgeskart:
<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=4&lat=7197864.00&lon=396722.00>
- TuDelft. (09 de 05 de 2020). Obtenido de SWAN: <https://www.tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/hydraulic-engineering/sections/environmental-fluid-mechanics/research/swan/>
- Van der Meer. (1988a). Rock slopes and gravel beaches under wave attack. *Doctoral thesis*.
- Wikipedia. (23 de 07 de 2020). Obtenido de Noruega: <https://es.wikipedia.org/wiki/Noruega>
- Wikipedia. (28 de 07 de 2020). Obtenido de Provincia de Nordland:
https://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Nordland
- Wikipedia. (28 de 07 de 2020). Obtenido de Vesterålen:
<https://es.wikipedia.org/wiki/Vester%C3%A5len>
- Wikipedia. (20 de 5 de 2020). Obtenido de Navionics: <https://en.wikipedia.org/wiki/Navionics>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N^o1: Documentación Fotográfica



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	4
2. Documentación fotográfica.....	4
3. Referencias.....	16

Índice de ilustraciones

Imagen 1: Vista general.....	4
Imagen 2: Paisaje típico de la zona	5
Imagen 3: Formaciones montañosas de Andenes	5
Imagen 4: Identidad de Andenes: Océano, montañas y actividad pesquera.....	6
Imagen 5: Dique de escollera de Andenes 1	6
Imagen 6: Dique de escollera de Andenes 2	7
Imagen 7: Dique de escollera de Andenes 3	8
Imagen 8: Dique este del Puerto de Andenes.....	9
Imagen 9: Faro de Andenes de 1856 con una altura de 40 metros	10
Imagen 10: Traviesas de ferrocarril que llevaban escollera al muelle a principios de siglo	11
Imagen 11: La población actual.....	12
Imagen 12: El asentamiento histórico en 1889.....	12
Imagen 13: Fotografía de Dron de la parte Este del puerto	13
Imagen 14: Zona Este del Puerto	13
Imagen 15: Muelles y zonas marítimas al norte del puerto oriental	14
Imagen 16: Fotografía de Dron de la zona central del puerto	14
Imagen 17: Fotografía de Dron de la zona Oeste del Puerto.....	15
Imagen 18: Puerto Deportivo de la zona Oeste del puerto	15

1. Objeto

En el presente anejo se muestran una serie de fotografías históricas y actuales del puerto pesquero de Andenes (Andøy, Noruega) y su entorno de forma que se consiga, a través de información gráfica, comprender el estado actual y la evolución del puerto a lo largo de los años.

2. Documentación fotográfica



Imagen 1: Vista general (Wikipedia, 2020)



Imagen 2: Paisaje típico de la zona (Norconsult, 2016)



Imagen 3: Formaciones montañosas de Andenes (Norconsult, 2016)



Imagen 4: Identidad de Andenes: Océano, montañas y actividad pesquera (Norconsult, 2016)



Imagen 5: Dique de escollera de Andenes 1 (Norconsult, 2016)



Imagen 6: Dique de escollera de Andenes 2 (Norconsult, 2016)



Imagen 7: Dique de escollera de Andenes 3 (Norconsult, 2016)



Imagen 8: Dique este del Puerto de Andenes (Norconsult, 2016)



Imagen 9: Faro de Andenes de 1856 con una altura de 40 metros (Norconsult, 2016)



Imagen 10: Travesas de ferrocarril que llevaban escollera al muelle a principios de siglo (Norconsult, 2016)



Imagen 11: La población actual (Norconsult, 2016)



Imagen 12: El asentamiento histórico en 1889

El asentamiento histórico en 1889 (Plan regulador actual)



Imagen 13: Fotografía de Dron de la parte Este del puerto (Norconsult, 2016)



Imagen 14: Zona Este del Puerto (Norconsult, 2016)



Imagen 15: Muelles y zonas marítimas al norte del puerto oriental (Norconsult, 2016)



Imagen 16: Fotografía de Dron de la zona central del puerto (Norconsult, 2016)



Imagen 17: Fotografía de Dron de la zona Oeste del Puerto (Norconsult, 2016)



Imagen 18: Puerto Deportivo de la zona Oeste del puerto (Norconsult, 2016)

3. Referencias

Norconsult. (22 de 01 de 2016). Områderegulering for Andenes havn. Trondheim, Noruega.

Wikipedia. (20 de 5 de 2020). *Andenes*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Andenes#/media/Archivo:Andenes,_Norway_2006.jpg



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N°2: Batimetría



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	5
2. Fuentes de datos.....	5
3. Batimetría local	5
3.1. Descripción de la zona Este	5
3.2. Descripción de la zona Norte y Oeste	6
3.3. Descripción del interior del puerto	7
4. Batimetría de detalle.....	8
5. Batimetría regional.....	8
6. Referencias.....	9

Índice de imágenes

Imagen 1: Batimetría de la zona este	6
Imagen 2: Batimetría de la zona norte.....	6
Imagen 3: Batimetría de la zona oeste	7
Imagen 4: Batimetría en el interior del puerto	7
Imagen 5: Batimetría de detalle	8
Imagen 6: Batimetría regional	9

1. Objeto

El presente anejo tiene por objeto la descripción de la batimetría del puerto pesquero de Andenes (Andøy, Noruega) y sus alrededores para el diseño del dique principal de la bocana este.

2. Fuentes de datos

La información detallada de la batimetría noruega es información confidencial y propiedad del ejército noruego, por lo que para construir el modelo digital se ha debido recurrir a información pública con un detalle menor, aunque suficiente para el objeto de este estudio de soluciones.

Las principales fuentes de información han sido:

- Navionics

“Navionics es una empresa italiana dedicada a la elaboración de cartas náuticas. La empresa opera a nivel global con sedes en Warehan, Massachusetts, Plymouth, Hyderabad y New South Wales.” (Wikipedia, 2020)

- Norgeskart

“Norgeskart es uno de los servicios de mapas más populares de la Autoridad de Cartografía de Noruega. Posee datos de propiedades, mapas de senderismo y gráficos entre otros.” (Norgeskart, 2020)

- Geonorge

“Geonorge es la base de datos nacional de mapas y otra información geográfica ubicada en Noruega. Se trata de una colaboración entre empresas públicas con la responsabilidad de gestionar datos.” (Geonorge, 2020)

3. Batimetría local

El puerto de Andenes encuentra mar a su Este, Oeste y Norte y solo está rodeado de tierra al Sur. Por su similitud, se ha optado por dividir la descripción de la batimetría en 3 zonas claramente diferenciadas:

- Zona Este
- Zona Norte y Oeste
- Interior del puerto

3.1. Descripción de la zona Este

La zona al este del puerto de Andenes y en general toda la costa al este de la isla de Andøy se caracteriza por tener una batimetría bastante uniforme con isobatas orientadas norte-sur y una

pendiente moderada hasta alcanzar el borde de la plataforma continental como se puede apreciar en la siguiente imagen extraída de Navionics.

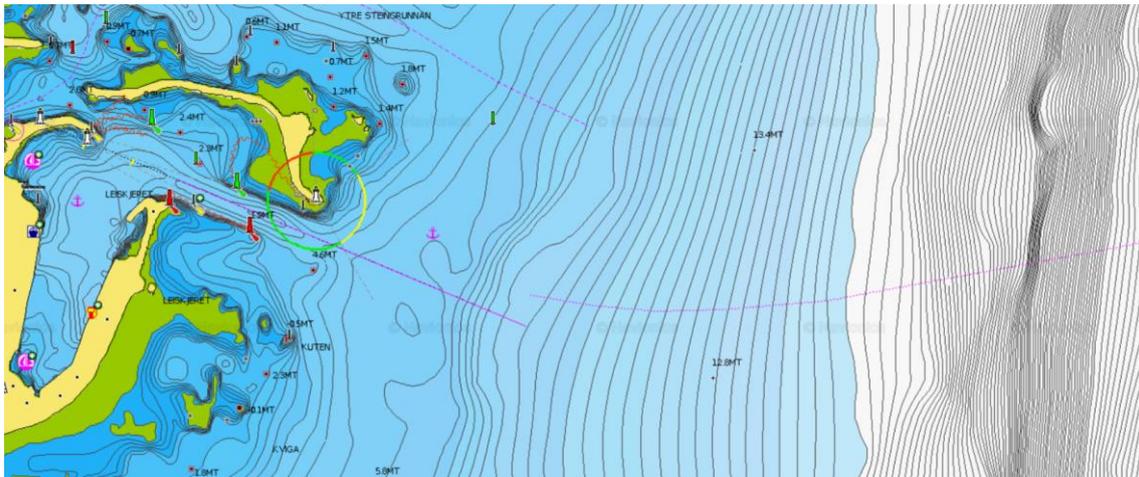


Imagen 1: Batimetría de la zona este (Elaboración propia)

El borde de la plataforma continental se encuentra aproximadamente a una distancia de kilómetro y medio (1.5 km) desde el puerto de Andenes. La morfología del lecho marino favorece la navegación al este del puerto al contrario de lo que ocurre al norte o al oeste del mismo como se expone a continuación.

Destacar además, que a escasos 300 metros de la bocana del puerto encontramos un cambio de pendiente bastante pronunciado. Será este condicionante el que limite la longitud del dique.

3.2. Descripción de la zona Norte y Oeste

Tanto en la zona norte como en la zona oeste del puerto encontramos aguas poco profundas y con una morfología del lecho marino muy irregular como se puede apreciar en las siguientes imágenes:

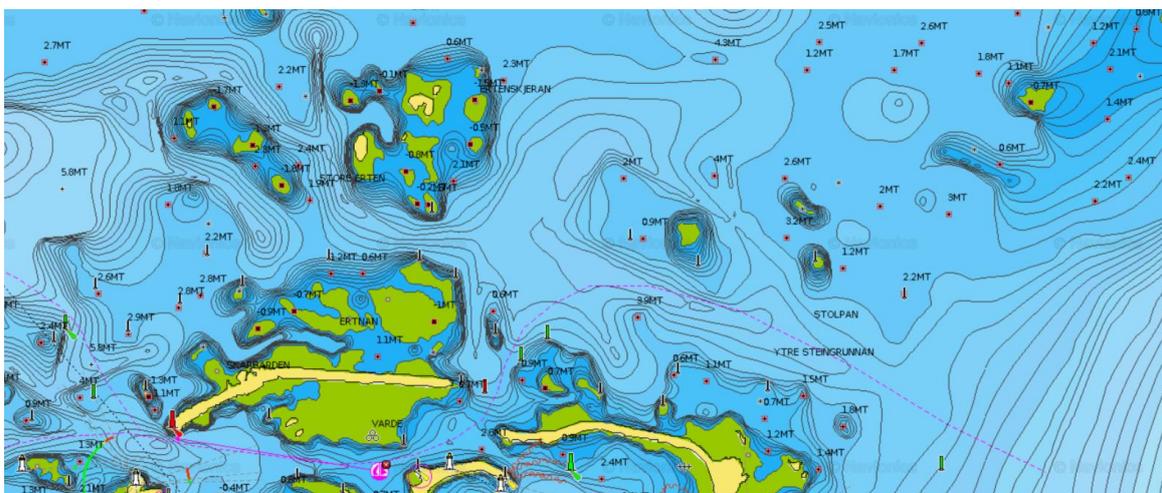


Imagen 2: Batimetría de la zona norte (Elaboración propia)

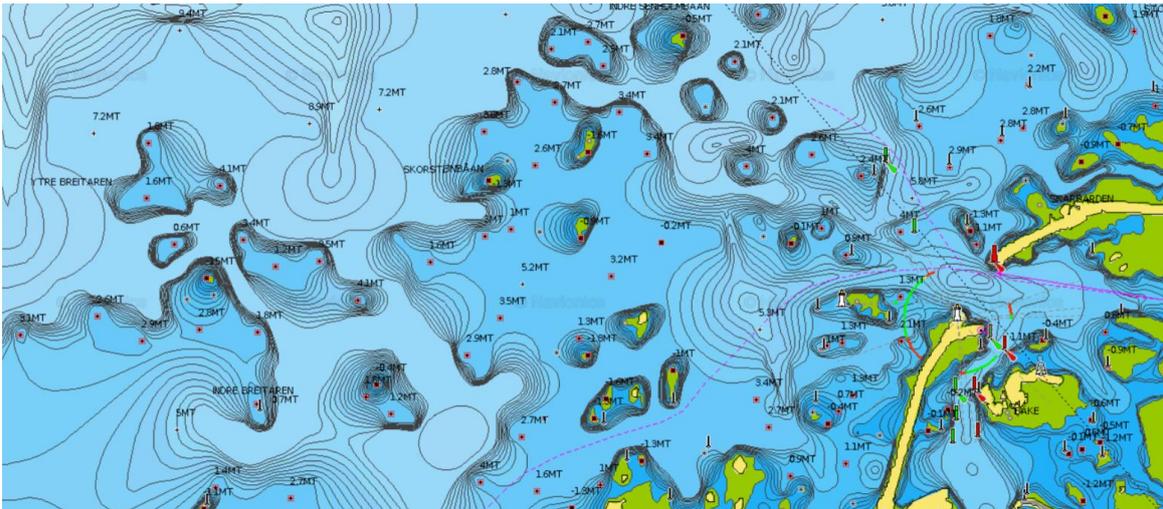


Imagen 3: Batimetría de la zona oeste (Elaboración propia)

Existen numerosos islotes y bancos de arena que hacen de la navegación en estas zonas una actividad peligrosa, por lo que el acceso al puerto por las bocanas oeste y norte se reserva para pequeñas embarcaciones, siendo el acceso este el que sirve a la dársena principal.

3.3. Descripción del interior del puerto

En la actualidad, la batimetría en el interior del puerto sigue siendo profundamente irregular.



Imagen 4: Batimetría en el interior del puerto (Elaboración propia)

Como se puede apreciar, en la zona este del puerto se garantiza la seguridad con canal de navegación de al menos 5 metros de profundidad que da acceso a la dársena principal. Ésta es la zona donde la navegación es más segura. Por otro lado, por el acceso oeste también se garantizan 5 metros de profundidad con un canal de navegación más estrecho rodeado de zonas poco profundas.

Destacar que ambas zonas del puerto no están interconectadas, ya que entre ellas existen zonas con profundidades de 3 metros. Esto es sumamente relevante, ya que solo las pequeñas embarcaciones pueden acceder de una zona del puerto a la otra por el interior de este. Las grandes embarcaciones deben salir al exterior del puerto si quieren acceder a la otra dársena.

4. Batimetría de detalle

En la zona en la que se va a encontrar el nuevo dique se ha realizado un estudio de la batimetría con un detalle superior, con isobatas cada medio metro (0.5m) de profundidad.

Se muestra a continuación una imagen con la batimetría del canal de navegación y la ubicación del dique:

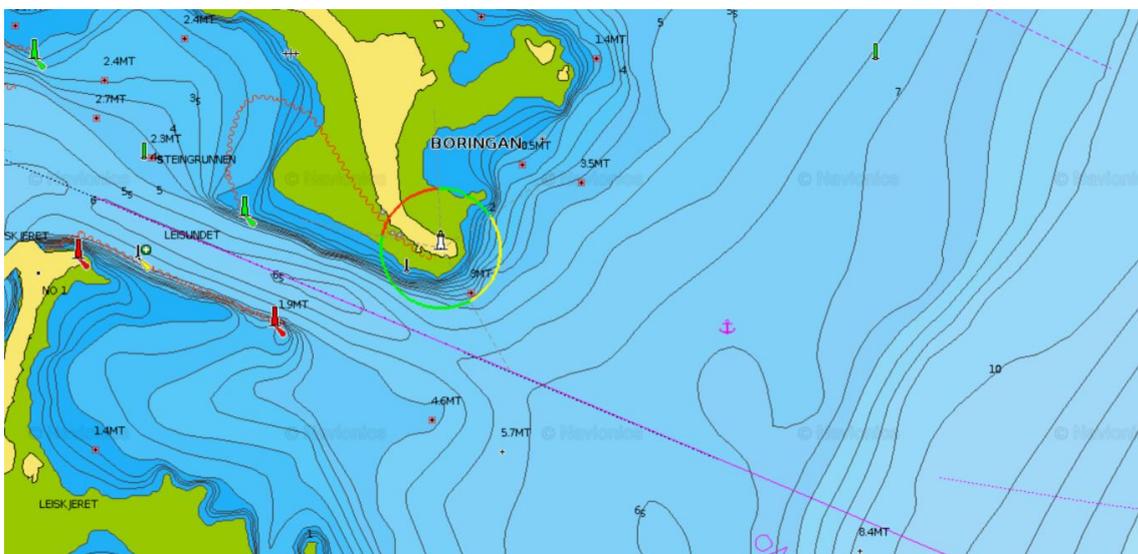


Imagen 5: Batimetría de detalle (Elaboración propia)

A partir de toda la información expuesta anteriormente se ha generado una batimetría digital lo suficientemente detallada para que sirva de soporte al proceso de diseño de la obra de defensa. Esta información puede consultarse en los planos:

- Plano N°1: Batimetría general
- Plano N°2: Batimetría de detalle

5. Batimetría regional

La información regional de batimetría que se empleará para la propagación del oleaje ha sido extraída de Geonorge. Geonorge es un catalogo de mapas noruegos con una amplia variedad temática. Estoy incluye mapas energéticos, geológicos, de agricultura o de costa y pesca entre otros.

En concreto el conjunto de datos empleado ha sido el denominado “Datos de profundidad: terreno modelado mediante *grid* de 50x50 en todo el país”. Este conjunto de datos modela el terreno irregular con una resolución de 50x50 metros. El modelo se ha generado mediante interpolación, por lo que la calidad en términos de fiabilidad y profundidad es variable.

Se recomienda solo su uso para planificación a nivel general y modelados aproximados. No se debe utilizar bajo ningún concepto para navegación.

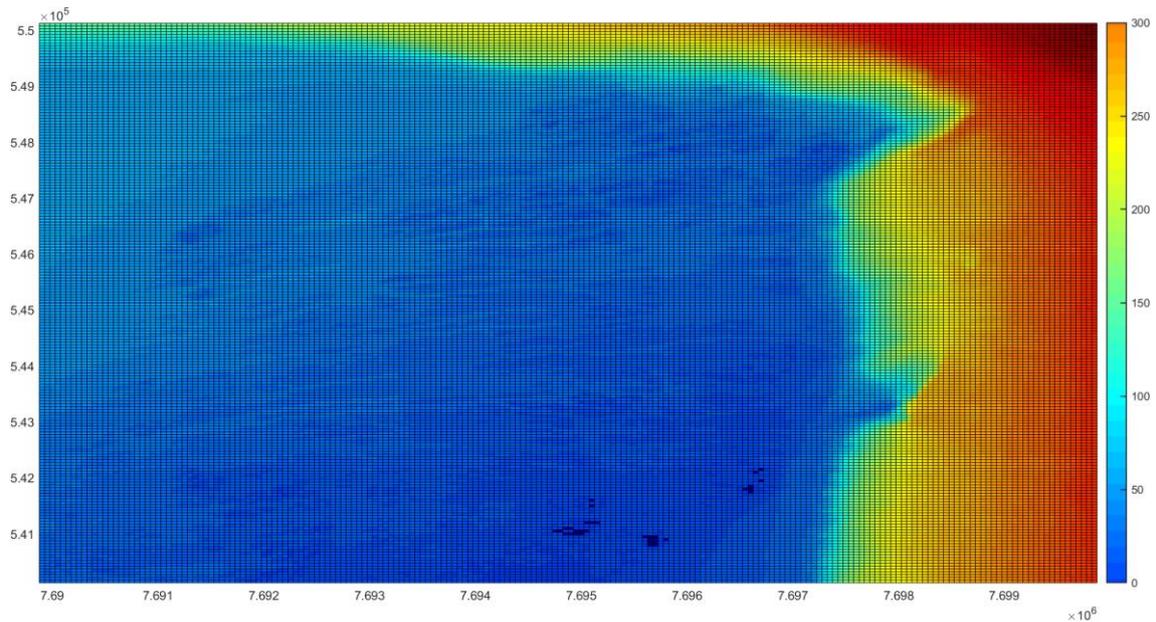


Imagen 6: Batimetría regional (Elaboración propia)

6. Referencias

Geonorge. (13 de 5 de 2020). Obtenido de Geonorge: <https://www.geonorge.no/>

Norgeskart. (2 de 5 de 2020). Obtenido de Norgeskart:

<https://www.norgeskart.no/#!?project=norgeskart&layers=1002&zoom=4&lat=7197864.00&lon=396722.00>

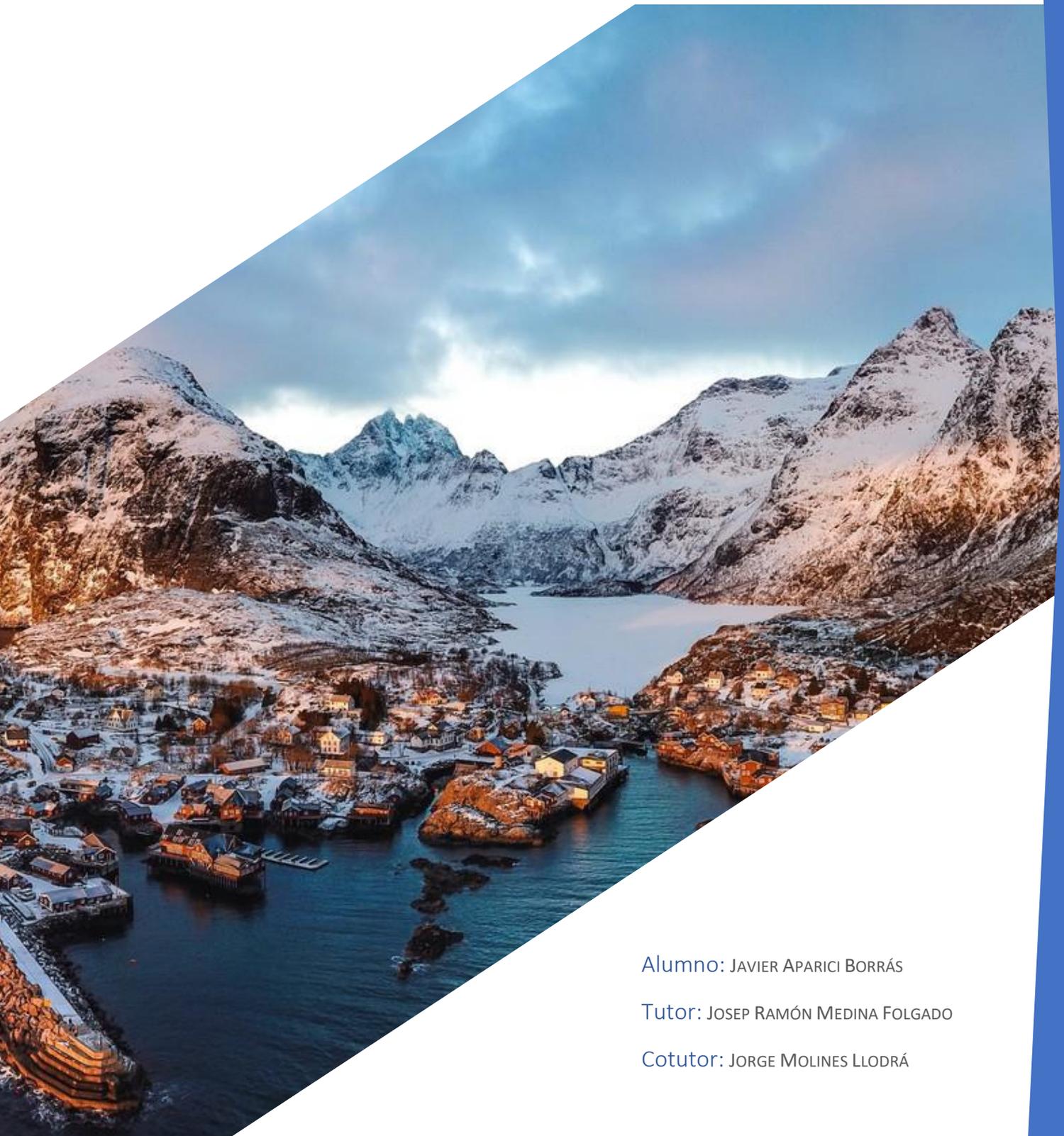
Wikipedia. (20 de 5 de 2020). Obtenido de Navionics: <https://en.wikipedia.org/wiki/Navionics>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo del Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N^o3: Estudio Geológico-Geotécnico



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMÓN MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	5
2. Condiciones geológicas e hidrológicas.....	5
2.1. Marco geológico general de Noruega.....	5
2.2. Geología regional	6
2.3. Geología local	7
2.4. Hidrología	8
2.5. Tectónica	8
2.5.1. La alineación Andoya-Voring.....	9
2.6. Sismicidad.....	10
2.7. Depósitos superficiales.....	11
2.8. Geodiversidad	12
2.8.1. Oksebasen	12
2.8.2. Stranda	13
3. Conclusiones.....	13
4. Referencias.....	14

Índice de imágenes

Imagen 1: Mapa de geología regional (NGU, 2020)	6
Imagen 2: Mapa de geología local (NGU, 2020).....	7
Imagen 3: Principales ríos de la zona (NGU, 2020)	8
Imagen 4: Mapa de los principales conjuntos de fallas (BREKKE, 1989).....	9
Imagen 5: Zonas de actividad en Noruega (NGU, 2020)	11
Imagen 6: Mapa de depósitos superficiales de material (NGU, 2020)	11
Imagen 7: Fotografía de Oksebasen (NGU, 2020).....	12
Imagen 8: Fotografía de Stranda (NGU, 2020).....	13

Índice de tablas

Tabla 1: Actividad sísmica de las regiones noruegas (NGU, 2020)	10
---	----

1. Objeto

El presente documento tiene por objeto recopilar, resumir y analizar las características geológicas y geotécnicas de la zona de estudio (puerto pesquero de Andenes, Andøy-Noruega) para posteriormente analizar el comportamiento geotécnico de la obra objeto de estudio. Se verificará que la obra a diseñar verifique el estado límite de hundimiento.

La principal fuente de información empleada serán los mapas geológico-geotécnicos proporcionados por 'The Geological Survey of Norway' (NGU, 2020). NGU es la agencia gubernamental noruega responsable del mapeo e investigación geológica a nivel nacional. La sede principal se encuentra en Trondheim y esta subordinada al ministerio de comercio, industria y pesca.

Puesto que tras la investigación realizada no se ha podido encontrar con ningún estudio específico de la zona que permita conocer de forma detallada la realidad geotécnica del emplazamiento, el alcance de este documento será tal que permita determinar si se requiere algún tipo de comprobación geotécnica. En tal caso, se deberá garantizar que los datos de entrada para los cálculos realizados son suficientemente precisos.

2. Condiciones geológicas e hidrológicas

2.1. Marco geológico general de Noruega

Noruega es considerado un país altamente montañoso, no obstante, las grandes cordilleras montañosas sobre la tierra están localizadas en zonas donde las placas tectónicas se encuentran y ejercen fuerza entre ellas como es el caso de los Alpes o los Andes. Éste no es el caso de Noruega.

En algunas situaciones, las cadenas montañosas se pueden formar a lo largo de grietas continentales y de sus márgenes. En estas zonas, la corteza terrestre se extiende y reduce su espesor. A través de esta reducción se pueden desprender grandes masas de roca debido a los pulsos térmicos por debajo de la corteza. Algunas formaciones rocosas de esta tipología las podemos encontrar en la Antártida, donde se han identificado montañas de más de 4000 metros de altura.

Por el contrario, cuando la formación montañosa se da por compresión de placas, la corteza se vuelve más gruesa de lo normal. En el caso de Noruega, las montañas no están soportadas por una corteza gruesa, sino más bien todo lo contrario lo que lleva a pensar que las formaciones geológicas noruegas se deben a márgenes divergentes. Se infiere que la edad geológica de esta región es de 65 millones de años, es decir, es una formación joven.

2.2. Geología regional

Como se puede apreciar en la siguiente imagen, se pueden identificar un total de 4 tipos de material distinto en la roca base de la isla de Andøy que se identificarán a continuación de norte a sur.

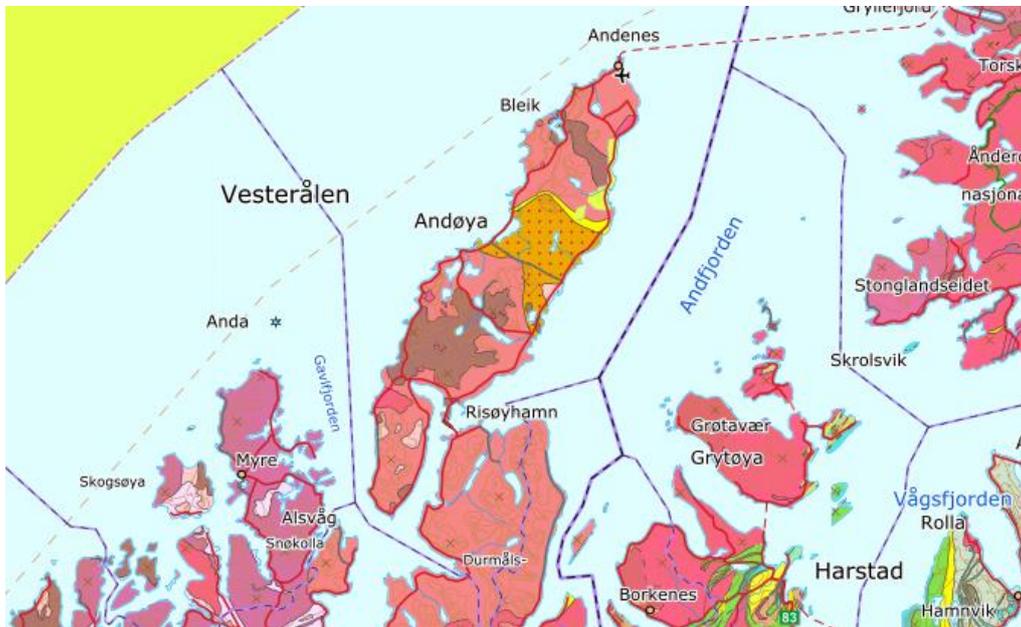


Imagen 1: Mapa de geología regional (NGU, 2020)

En primer lugar, en la zona más próxima al puerto de andenes encontramos Granodiorita de grano medio con biotita y granos de feldespato redondeados. La edad de formación se encuentra en el periodo Eón Arcaico- Era neoarcaica (2800-2500 Ma). Además, como roca adicional en esta zona se puede encontrar Granito.

Un poco más al sur, encontramos una franja compuesta por Gabro-Ferrogabbro. Dicha formación tiene una edad de formación de Paleoproterozoico - Orosir 7 (1820-1800 Ma).

Si continuamos hacia el sur y nos centramos en el litoral Este de la isla, podemos encontrar una franja de piedra de limo y acilla, con arenisca y algunas capas de piedra caliza, mármol y pizarra. Además, se pueden encontrar rocas adicionales de Arenisca y Caliza. La edad de formación se corresponde con el periodo cretácico (145.0-66.0 Ma)

En la zona central de la isla encontramos una gran superficie formada por anfibolita y gneis. Dicha formación data del periodo Paleoproterozoico - Orosir 7 (1820-1800 Ma).

Como se puede apreciar en la imagen anterior, el patrón geológico se repite de forma aproximadamente simétrica en la isla.

2.3. Geología local

La información geológica local es muy escasa, por lo que se ha tenido que inferir a partir de la información disponible más próxima. Se recomienda un estudio geotécnico de detalle para etapas futuras de diseño.



Imagen 2: Mapa de geología local (NGU, 2020)

Como podemos apreciar en la imagen, en las proximidades al puerto encontramos abundante lodo con arenas (amarillo). No obstante, a medida que nos acercamos a la costa empiezan a aparecer otras unidades de suelo:

- Arenas y gravas (En naranja)
- Arenas, gravas y rocas (En verde)
- Cubierta de sedimentos delgada sobre la roca madre (Rosa)

Es decir, todo parece apuntar a que el espesor de la capa de sedimentos se empieza a reducir, dejando florecer la roca madre que forma la isla y la plataforma continental. Esta hipótesis tiene cierto sentido, pues en la zona como se ha podido ver encontramos numerosos afloramientos rocosos, por ejemplo, en el interior del puerto.

Se concluye por tanto que la estabilidad geotécnica dependerá exclusivamente de las características del lecho rocoso.

A nivel local, la roca madre está formada principalmente por Anfibolita y Gneis. La dureza de estas rocas es por lo general muy alta, con un RCS de 50 a 100 Mpa.

Se concluye que, puesto que el emplazamiento del dique se encuentra sobre la roca madre y esta presenta una gran resistencia, no se requiere ningún tipo de comprobación geotécnica pero se recomienda un estudio más detallado de los espesores de las capas de sedimentos en la zona.

2.4. Hidrología

En la zona norte de la isla de Andøy se puede identificar una cadena montañosa que va a generar barrancos y cauces de muy distinta naturaleza y que desembocan en diversos puntos de la costa.

Entre los principales ríos de la zona encontramos el río “Tverrelva” que tiene su nacimiento junto al pico “Vardeggkvanthaugen” y que atraviesa los lagos Ovre, Nedre y Storvatnet antes de llegar a la costa.

Gracias a la elevada pendiente de estos ríos y de la abundante precipitación, el aporte de sedimentos está garantizado, pudiéndose identificar numerosas playas tanto de gravas como de arena fina como se expondrá más adelante.



Imagen 3: Principales ríos de la zona (NGU, 2020)

2.5. Tectónica

A escala regional, son diversos los elementos estructurales presentes en la zona. Entre ellos destacamos los siguientes conjuntos de fallas: The Magnus+-Fosen Fault Zone (MFFZ), the Jan Mayen Fracture Zone Trend (JMFZT) y the Senja Fracture Zone Trend (SFZT). Estas han sido las principales estructuras que han controlado el desarrollo tectónico y la sedimentación de la zona.

En concreto, es la SFZT la que discurre desde la parte norte de la isla de Andøya.

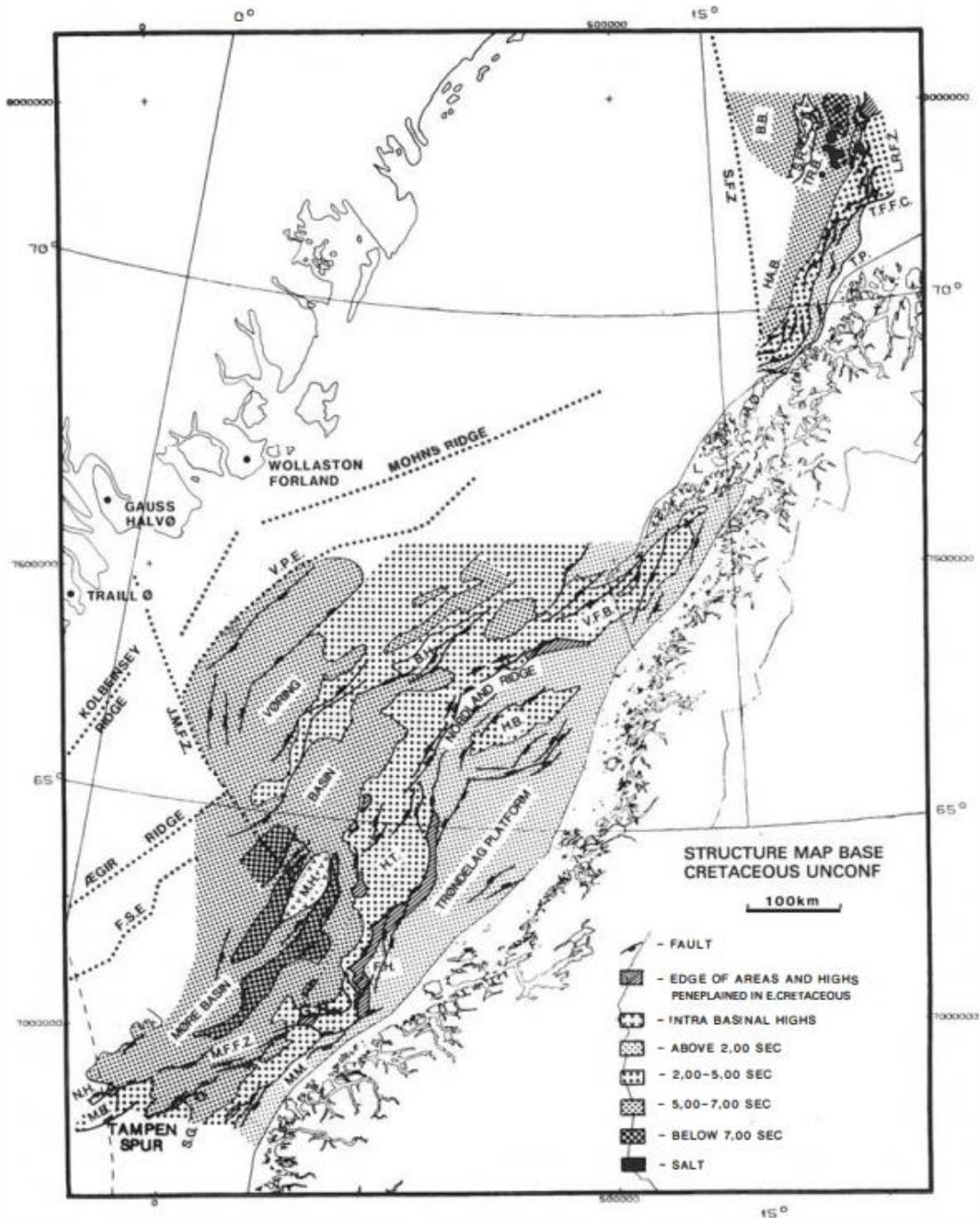


Imagen 4: Mapa de los principales conjuntos de fallas (BREKKE, 1989)

2.5.1. La alineación Andoya-Voring

El alineamiento Andoya-Voring (AVL) se define como una serie de fallas orientadas al NE que controlan las depresiones en la región de Voring, incluyendo las cuencas de Røst, Traen el alto de Bødo y las fallas de las islas Lofoten.

Este alineamiento se intersecta con el Jan Mayen Fracture Zone (JM.F.Z) al sur.

En cuanto a la edad de esta formación, hay evidencias de la zona de Troms que indican que la alineación existía en el Jurásico tardío. Las fallas de AVLA han tenido dos periodos principales de actividad, el primero en el Jurásico tardío y el segundo en el Cretácico tardío.

2.6. Sismicidad

Toda la información relativa a la sismicidad de la zona ha sido extraída partir del denominado “Neotectonic Map: Norway and adjacent areas” (NGU, 2020).

El mapa incluye regiones de Noruega, Dinamarca, Suecia, El norte de Finlandia, Svalbard y parte del mar del norte, el mar de noruega, el mar de Groenlandia y el mar de Barents.

En relación a la información sísmica del mapa, destacar que el catálogo de sismos fue elaborado por NORSAR y contiene eventos tanto contemporáneos como históricos, abarcando el periodo de 1750 a 1999. Para el periodo de 1750 a 1890 solo se representan sismos con magnitudes iguales o superiores a 4.5. Para el periodo de 1891 a 1965, solo se representan sismos con magnitudes iguales o superiores a 4. Para el periodo de 196 a 1985, solo se representan sismos con magnitudes iguales o superiores a 3, y para el periodo de 1986 a 1999, solo se representan sismos con magnitudes iguales o superiores a 2.5.

La siguiente tabla resume la actividad sísmica dividiendo el territorio noruego en 8 áreas.

Area	Tectonic regime	Seismic activity level	Focal depth	Mode of faulting	Hmax
Northern North Sea	Triassic-Cretaceous rifted margin	Very high	Deep	Reverse to oblique-reverse Normal to strike-slip	E-W
Offshore Mid Norway	Cretaceous-Paleocene volcanic rifted margin	High	Deep	Reverse to oblique-reverse Normal to strike-slip	NW-E
Onshore Mid Norway	Caledonian thrust belt	High in northern part. Earthquake swarm.	Shallow	Normal to strike-slip	NNE-W
Onshore West Norway	Precambrian shield, Thrust belt to the north	High	Shallow	Oblique at the normal to strike-slip side	EE-WNW
Oslo Rift Zone	Permian rift	Intermediate	All	Normal (shallow) Reverse to strike-slip (deeper)	E-W
Finnmark	Precambrian basement, Thrust belt near coast	Low	Shallow	Reverse	NW-E
Western Barents Sea	Jurassic-Tertiary rift with later uplift	Very low			N-
Southern North Sea	Triassic-Cretaceous rifted margin	Low	Deep	Unknown	EE-WNW

Tabla 1: Actividad sísmica de las regiones noruegas (NGU, 2020)

Como puede apreciarse, en el área de nominada “Onshore Mid Norway” encontramos una actividad alta en la zona norte con una profundidad focal reducida, no obstante, la principal zona sísmica se encuentra en los alrededores de Bødo, a una distancia considerable de Adenes, por lo que este dato es demasiado genérico y no representativo de la zona.

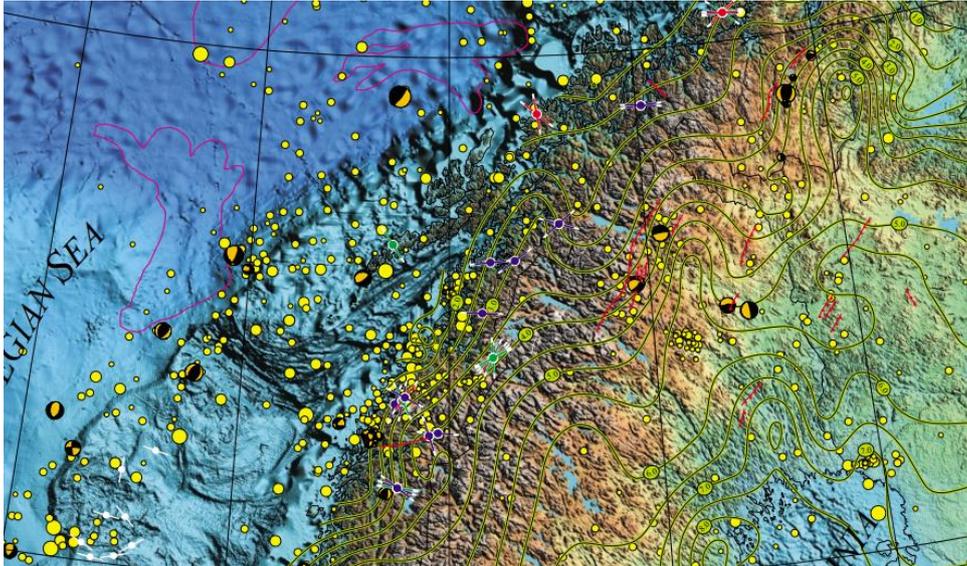


Imagen 5: Zonas de actividad en Noruega (NGU, 2020)

En realidad, la principal zona sísmica se encuentra en los alrededores de Bødo, a una distancia considerable de Adenes.

En función del registro de sismos en la región de Andøy, se considera que la actividad sísmica es reducida.

2.7. Depósitos superficiales

Los depósitos superficiales que descansan sobre la roca base son una de las principales fuentes de recursos naturales no renovables. En este punto se analizarán los depósitos superficiales de ésta zona.

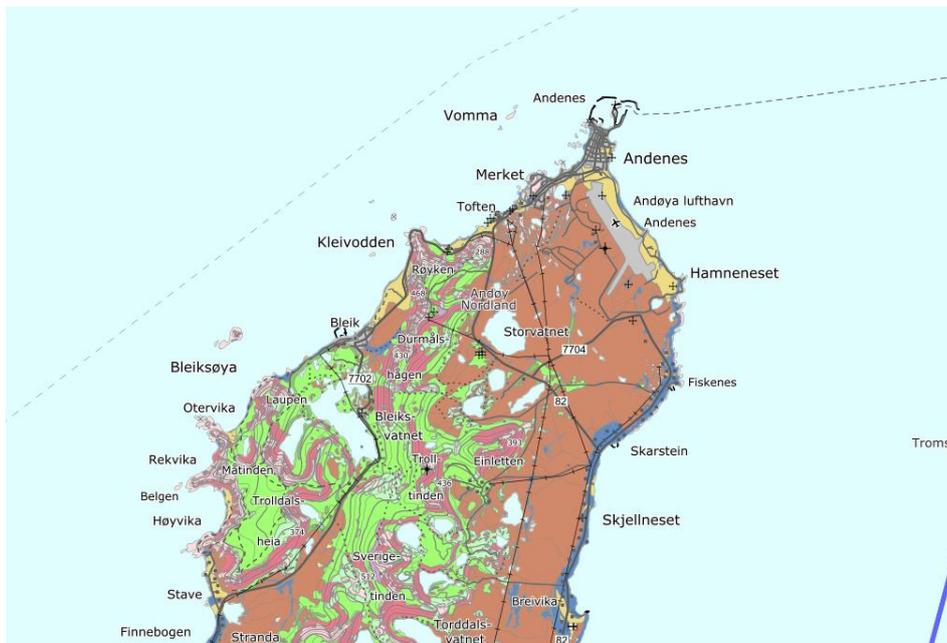


Imagen 6: Mapa de depósitos superficiales de material (NGU, 2020)

Como podemos apreciar, gran parte de la zona se encuentra cubierto por terreno pantanoso y turba (marrón). En la zona montañosa (verde) se puede apreciar que aflora la roca base. Por las zonas costeras (amarillo) se aprecian depósitos de gravas y arena fina de origen fluvial. Por último, en color rosado podemos identificar material característico de deslizamiento de tierras.

2.8. Geodiversidad

NGU dispone de una base de datos de geodiversidad que muestran las localidades geológicas que pueden ser de interés general. A continuación se resumen los elementos más destacables de la zona.

2.8.1. Oksebasen



Imagen 7: Fotografía de Oksebasen (NGU, 2020)

Oksebasen es una formación montañosa situada a unos 3 km al suroeste de Andenes. El frente montañoso está a una distancia de la costa de entre 2 y 300 metros con una cubierta de material granular suelto y desigual. Asimismo, la pared rocosa es muy irregular y se caracteriza por el gran nivel de desgaste que presenta.

Existen diversas interpretaciones de Oksebasen en la literatura. La mayoría de las hipótesis apuntan a que la formación tiene esta morfología resultado de los glaciares locales.

Hay que destacar que recientemente se han llevado a cabo grandes extracciones masivas de material en la zona, lo que ha llevado a la desaparición de gran parte de los depósitos de grava. Esta extracción ha generado que la localidad pierda un gran valor que tenía originalmente.

2.8.2. Stranda

Stranda es una zona plana situada a 1 km al norte de Bleik y al oeste de la carretera a Andenes, Justo al este de la carretera la montaña se eleva abruptamente hacia Røyken con aproximadamente 468 metros sobre el nivel del mar. El ancho de la playa es de aproximadamente 1 km.

La playa esta compuesta principalmente por arena clara y fina fuertemente influenciada por procesos eólicos. En la zona próxima al mar hay escasez de vegetación, no obstante, las zonas altas tienen una importante cubierta vegetal. Existe un paisaje característico de dunas de 2 a 3 metros de altura y crestas de arena producidas por el viento.

Se pueden encontrar arenas de origen eólico incluso en la cima de Røyken, estando los procesos eólicos activos a día de hoy.

Muchas zonas de dunas de la isla de Andøya se han visto afectadas por extracciones masivas, no obstante el area de Stranda está prácticamente intacta y proporciona un buen ejemplo de dunas fósiles y activas en la zona.



Imagen 8: Fotografía de Stranda (NGU, 2020)

3. Conclusiones

Las principales conclusiones que se extraen de este estudio son las siguientes:

- El dique estará cimentado en una región donde aflora la roca madre. Ésta esta formada principalmente por Gneis, por lo que se considera que no es necesario realizar ninguna comprobación geotécnica, no obstante se recomiendan estudios más detallados de la zona.
- La actividad sísmica en toda la región de las islas Lofoten, Senja y Andenes es baja.

4. Referencias

BREKKE, H. (1989). *Tectonics and basin evolution of the Norwegian shelf between 62°N and 72°N*. Oslo: Norsk Geologisk Tidsskrift.

NGU. (25 de 06 de 2020). Obtenido de Norges Geologiske Undersokelse: <https://www.ngu.no/>

NGU. (28 de 05 de 2020). *Neotectonic map: Norway and adjacent areas*. Obtenido de https://www.ngu.no/sokkelkart/Neotectonic_map.pdf



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N^o4: Clima marítimo



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1.	Objeto.....	6
2.	Alance.....	6
3.	Fuentes de datos.....	7
4.	Régimen de vientos.....	7
5.	Nivel del mar	13
5.1.	Nivel de referencia	13
5.2.	Niveles históricos	15
5.3.	Ajuste isostático glacial	16
5.4.	Aumento del nivel del mar.....	17
6.	Caracterización del oleaje	19
6.1.	Regimen medio	20
6.2.	Regimen extremal	31
6.2.1.	Definición de temporal (POT).....	31
6.2.2.	Modelo estadístico.....	31
6.2.3.	Periodo de Pico en situación de temporal	33
7.	Propagación del oleaje.....	34
7.1.	Metodología	34
7.2.	Función de transferencia.....	35
7.3.	Definición del modelo	35
7.3.1.	Batimetría.....	36
7.3.2.	Oleaje de entrada.....	36
7.3.3.	Puntos de cálculo	37
7.3.4.	Resultados	37
8.	Régimen extremal a pie de dique	38
9.	Hielo marino.....	42
10.	Referencias.....	43
11.	Apéndice: Scripts.....	44
11.1.	Ajuste Weibull	44
11.2.	Script SWAN	45

Índice de imágenes

Imagen 1: Rosa de los vientos anual	8
Imagen 2: Rosa de los vientos estacional: JUN-AGO.....	9
Imagen 3: Rosa de los vientos estacional: SEP-NOV	10
Imagen 4: Rosa de los vientos estacional: DIC-FEB.....	11
Imagen 5: Rosa de los vientos estacional: MAR-MAY	12
Imagen 6: Ubicación del mareógrafo de Andenes.....	13
Imagen 7: Esquema DATUM del puerto de Andenes.....	14
Imagen 8: Niveles históricos del nivel del mar.....	15
Imagen 9: Intensidad del ajuste isostático glacial en Escandinavia	16
Imagen 10: Previsión de aumento del nivel del mar con emisiones bajas (RCP2.6).....	17
Imagen 11: Previsión de aumento del nivel del mar con emisiones medias (RCP4.5)	18
Imagen 12: Previsión de aumento del nivel del mar con emisiones altas (RCP8.5)	18
Imagen 13: Histograma Tp anual	20
Imagen 14: Histograma Hs anual	20
Imagen 15: Histograma Tp DIC-FEB	21
Imagen 16: Histograma Hs DIC-FEB	21
Imagen 17: Histograma Tp MAR-MAY	22
Imagen 18: Histograma Hs MAR-MAY	22
Imagen 19: Histograma Tp JUN-AGO	23
Imagen 20: Histograma Tp JUN-AGO	23
Imagen 21: Histograma Tp SEP-NOV.....	24
Imagen 22: Histograma Hs SEP-NOV.....	24
Imagen 23: Rosa de oleaje anual	26
Imagen 24: Rosa de oleaje estacional DIC-FEB	27
Imagen 25: Rosa de oleaje estacional MAR-MAY	28
Imagen 26: Rosa de oleaje estacional JUN-AGO.....	29
Imagen 27: Rosa de oleaje estacional SEP-NOV.....	30
Imagen 28: Ajuste weibull del oleaje extremal.....	32
Imagen 29: Función de distribución acumulativa	32
Imagen 30: Función de distribución con Easyfit	33
Imagen 31: Gráfico Hs-Tp.....	33
Imagen 32: Esquema de la metodología propuesta	35
Imagen 33: Esquema del funcionamiento de la función de transferencia	35
Imagen 34: Batimetría de la zona de estudio generada con resolución de 50x50 metros.....	36
Imagen 35: Mapa de Hs del oleaje Norte con Tp 16.6 s	38
Imagen 36: Función de distribución en el arranque con nivel bajo.....	39
Imagen 37: Función de distribución en el arranque con nivel alto.....	39
Imagen 38: Función de distribución en el tronco con nivel bajo	40
Imagen 39: Función de distribución en el tronco con nivel alto	40
Imagen 40: Función de distribución en el morro con nivel bajo.....	41
Imagen 41: Función de distribución en el morro con nivel alto	41
Imagen 42: Carta de hielo del 28 de febrero de 2020	42

índice de tablas

Tabla 1: Aumento del terreno anual por ajuste isostático glacial	16
Tabla 2: Niveles de seguridad para distintos periodos de retorno considerando marejadas ciclónicas	17
Tabla 3: Hs-Tp anual	21
Tabla 4: Hs-Tp estacional DIC-FEB.....	22
Tabla 5: Hs-Tp estacional MAR-MAY.....	23
Tabla 6: Hs-Tp estacional JUN-AGO	24
Tabla 7: Hs-Tp estacional SEP-NOV	25
Tabla 8: Casos de oleaje propagados.....	37
Tabla 9: Puntos de cálculo del oleaje propagado	37
Tabla 10: Resultados de la propagación del oleaje Norte con Tp 16.6 s.....	37
Tabla 11: Oleaje de diseño a pie de dique	42

1. Objeto

El presente anejo tiene por objeto caracterizar el clima marítimo en los alrededores del puerto de Andenes (Andøy, Noruega). Esto incluye la información del viento, las mareas, el oleaje y en su caso la posible presencia de hielo en la zona.

2. Alcance

Puesto que la información de la que se dispone está formada principalmente por series temporales, se deberá realizar un análisis estadístico de las mismas para extraer información que sea útil para el estudio. A continuación se define el alcance de este análisis:

Régimen de vientos

Para analizar el régimen de vientos con suficiente detalle se deberán elaborar rosas de los vientos que contengan información tanto de frecuencia como de intensidad.

Nivel del mar

Puesto que la información proporcionada es un análisis estadístico y no una serie histórica, se considerará esta información como válida y directamente utilizable sin requerir ningún tratamiento previo.

Oleaje en régimen medio

Para el análisis estadístico del oleaje en régimen medio se elaborarán los siguientes elementos:

- Tablas Hs-Tp anuales
- Histogramas Hs-Tp anuales
- Tablas Hs-Tp estacionales
- Histogramas Hs-Tp estacionales
- Rosas de oleaje anual
- Rosas de oleaje estacional

Oleaje en régimen extremal

El oleaje en régimen extremal, debido a su importancia, será el que se analice con más detalle.

Se establecerá una metodología para definir un temporal, se extraerán de la serie histórica todos los temporales que se adapten a la definición anterior y se elaborará un modelo estadístico que proporcione información suficientemente fiable para el diseño de la obra, elaborando un gráfico que permita calcular la altura significativa de un estado de mar en función del periodo de retorno.

3. Fuentes de datos

La principal fuente de datos para el estudio del clima marítimo ha sido ERA5 (ECMWF, 2020). La base de datos ERA5 proporciona estimaciones de una gran cantidad de variables climáticas, atmosféricas, terrestres y oceánicas. A nivel terrestre, el nivel de detalle es de 30x30 km y a nivel atmosférico se emplean 137 niveles desde la superficie hasta una altura de 80 km. Además, esta base de datos incluye información sobre incertidumbre para todas las variables disponibles.

En relación al nivel del mar, como se comentará de forma detallada posteriormente, la principal fuente de datos ha sido la Autoridad Noruega de Mapeo (Kartverket, 2020). Para el análisis del hielo marino se emplearán las cartas de hielo históricas proporcionadas por la entidad Norwegian Ice Service (Cryo, 2020).

4. Régimen de vientos

A continuación se va a analizar el régimen de vientos en el puerto de Andenes. Para tal fin se empleará la serie temporal de la que se dispone con información tanto de intensidad como de dirección. Para una mejor interpretación de la serie temporal se generarán rosas de los vientos, conteniendo éstas información tanto direccional como de intensidad y frecuencia.

Por la propia naturaleza estacional de los vientos, se considera conveniente separar éstos en 4 periodos estacionales:

- Diciembre-Febrero
- Marzo-Mayo
- Junio-Agosto
- Septiembre-Noviembre

Las principales variables empleadas para el análisis se muestran y se describen a continuación:

- Componente u del viento a 10 metros de altura (m/s)
- Componente v del viento a 10 metros de altura (m/s)

10m u-component of wind (m/s): Este parámetro es la componente en dirección este del viento a 10 metros de altura. Es la velocidad horizontal del aire desplazándose hacia el este, a una altura de 10 metros sobre la superficie de la tierra. Si este parámetro se combina con la componente V del viento a 10 metros se obtiene el campo de velocidades completo.

10 m v-component of wind (m/s): Este parámetro es la componente en dirección norte del viento a 10 metros de altura. Es la vertical horizontal del aire desplazándose hacia el norte, a una altura de 10 metros sobre la superficie de la tierra. Si este parámetro se combina con la componente H del viento a 10 metros se obtiene el campo de velocidades completo.

Las rosas de los vientos mostrada muestran “hacia donde sopla el viento”.

Rosa de los vientos anual

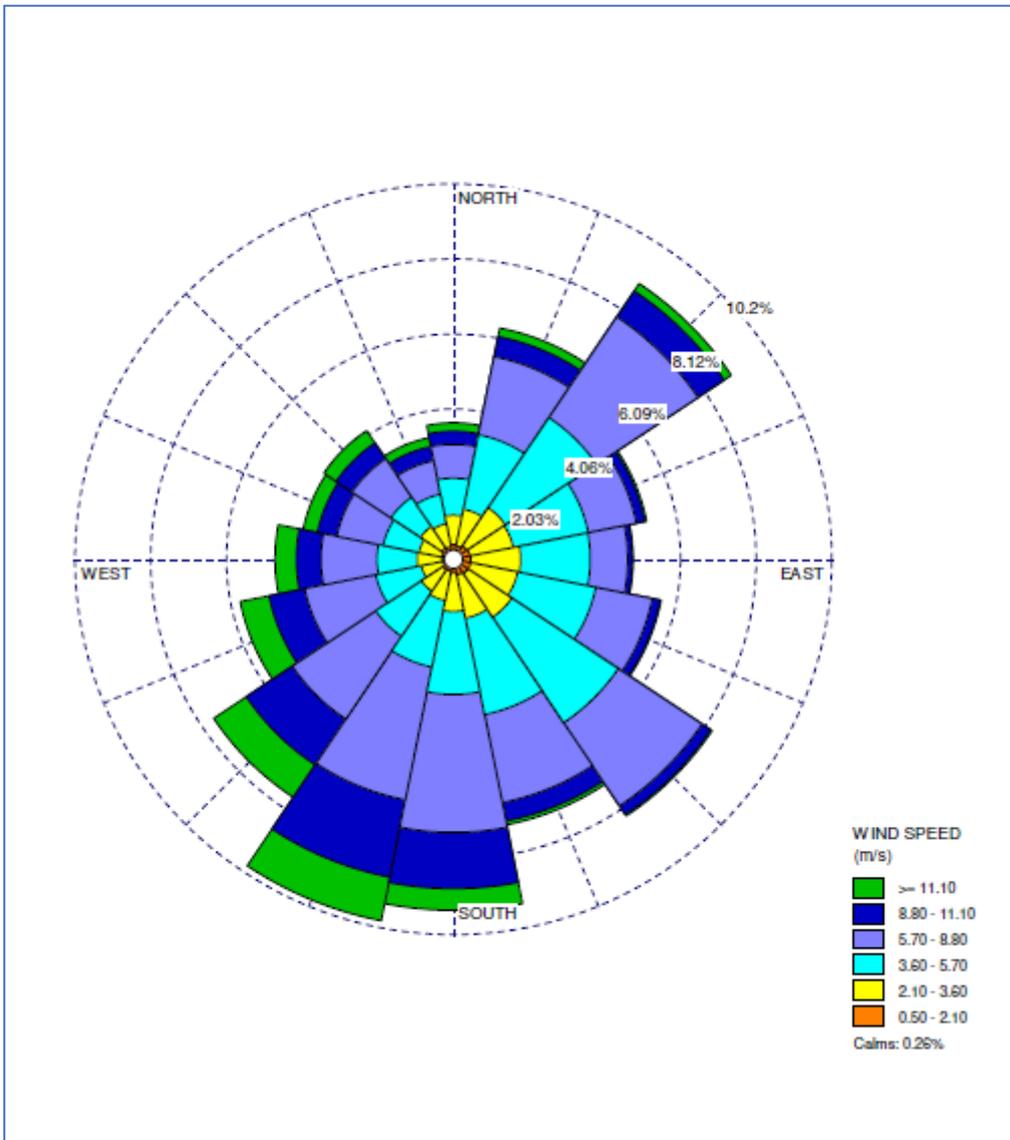


Imagen 1: Rosa de los vientos anual (Elaboración propia)

Rosa de los vientos estacional: JUN-AGO

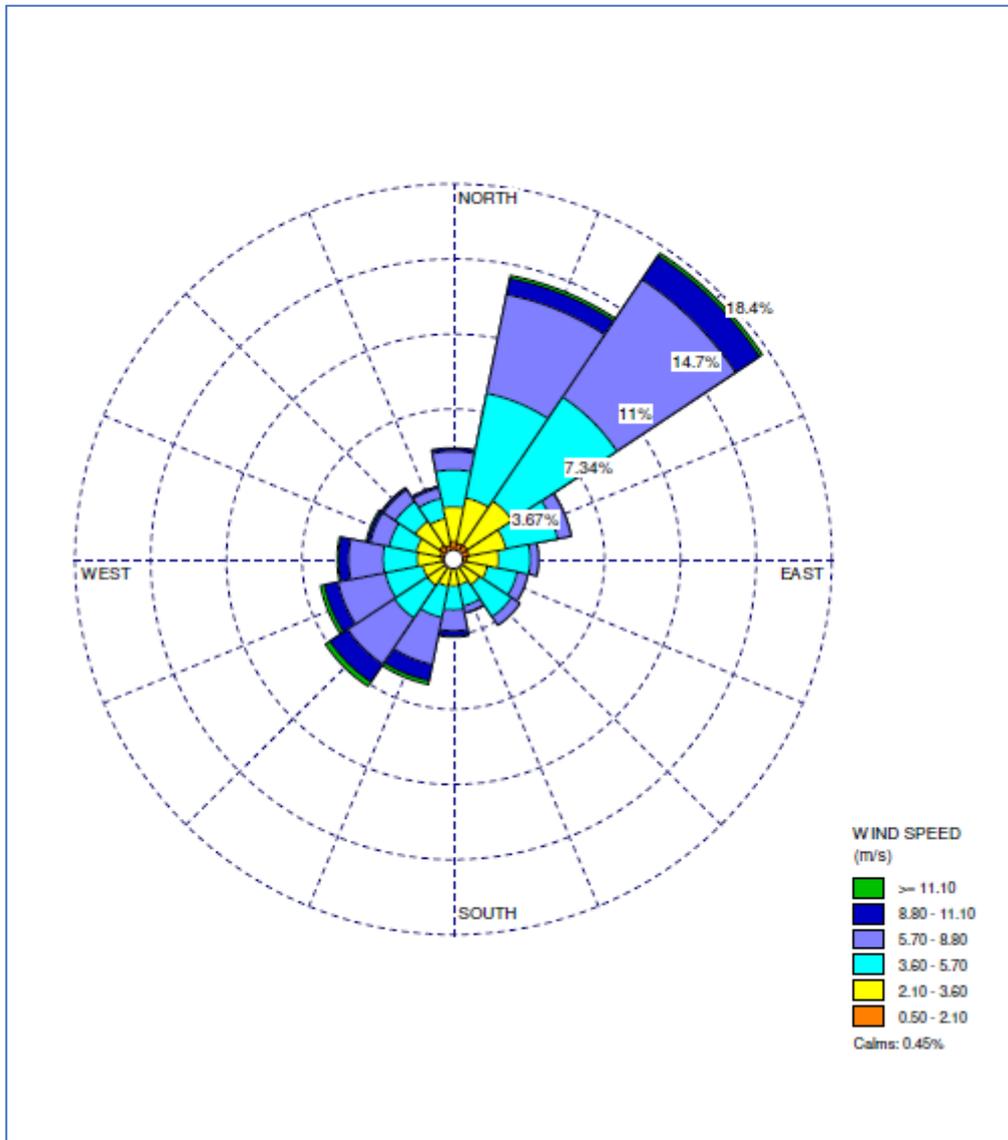


Imagen 2: Rosa de los vientos estacional: JUN-AGO (Elaboración propia)

Rosa de los vientos estacional: SEP-NOV

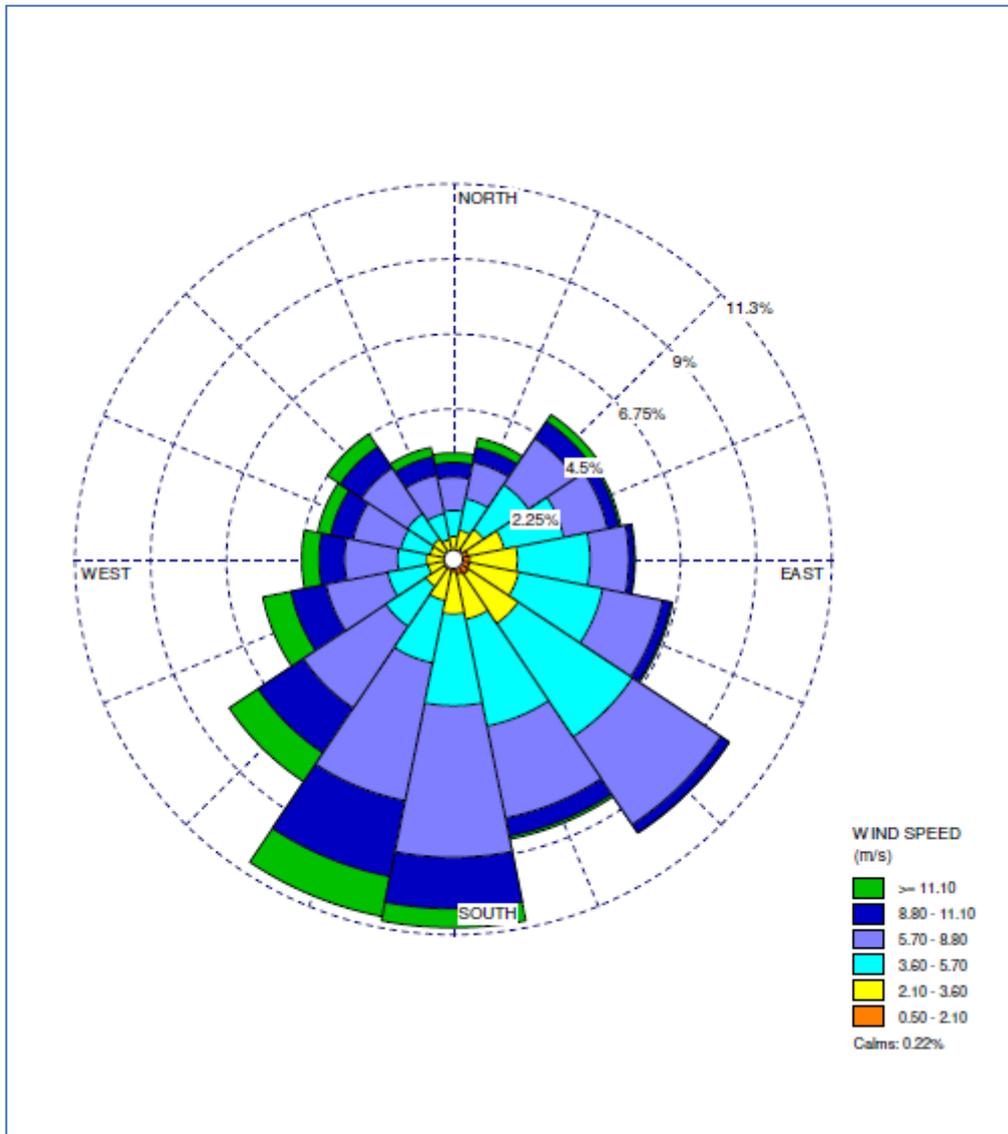


Imagen 3: Rosa de los vientos estacional: SEP-NOV (Elaboración propia)

Rosa de los vientos estacional: DIC-FEB

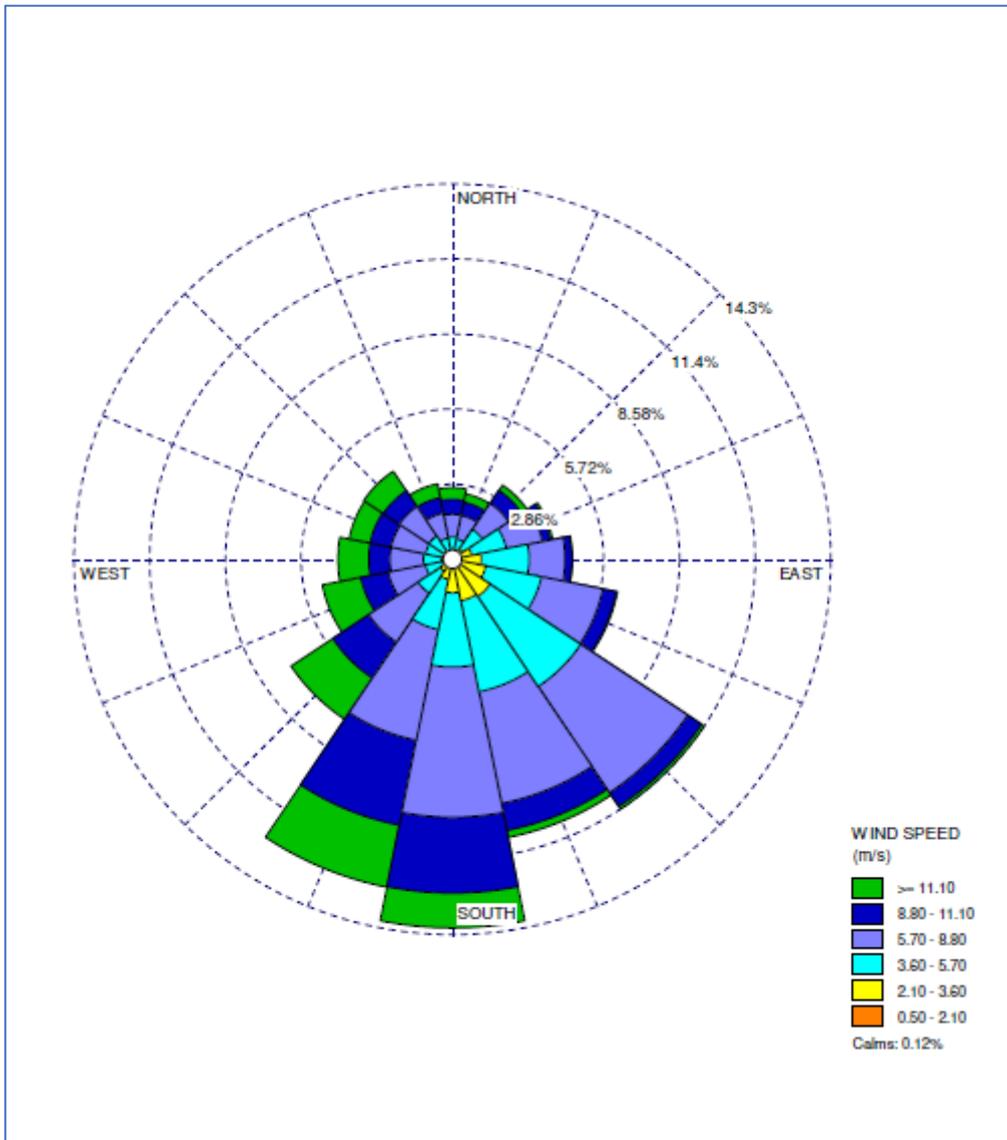


Imagen 4: Rosa de los vientos estacional: DIC-FEB (Elaboración propia)

Rosa de los vientos estacional: MAR-MAY

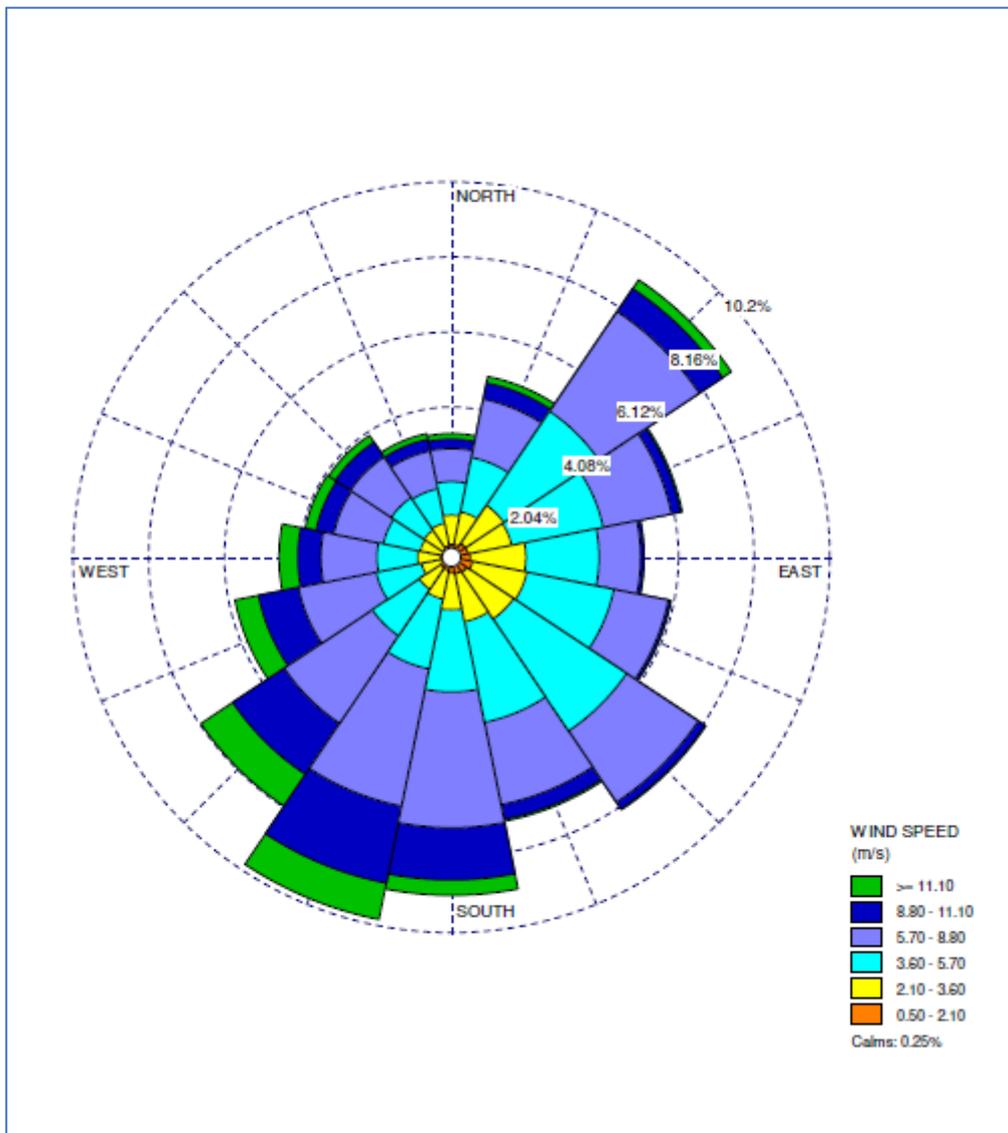


Imagen 5: Rosa de los vientos estacional: MAR-MAY (Elaboración propia)

Como puede apreciarse, durante gran parte del año los vientos soplan principalmente hacia el sur y suroeste, no obstante, durante los periodos estivales la dirección principal es noreste.

En cuanto a la intensidad, puede apreciarse claramente que los vientos son mucho más intensos cuando soplan hacia el sur, dándose estos de forma más frecuente durante los periodos invernales.

5. Nivel del mar

El presente punto tiene por objeto caracterizar las mareas alrededor del puerto de Andenes. Toda la información ha sido proporcionada por la Autoridad Noruega de Mapeo (Kartverket, 2020).

En concreto, la fuente de datos empleada es el mareógrafo de Andenes, situado en (69° 19' N, 16° 09' E) y con una frecuencia de lectura de 10 minutos. La información histórica de este mareógrafo abarca desde el año 1991 hasta el año 2020, estando en funcionamiento en la actualidad.



Imagen 6: Ubicación del mareógrafo de Andenes (Kartverket, 2020)

5.1. Nivel de referencia

Recientemente Noruega ha implementado un nuevo sistema de altura denominado (NN2000) que reemplaza el antiguo sistema de altura denominado (NN1954). El nuevo sistema comenzó a implementarse en el año 2011 y se completó en el 2018, siendo ahora el sistema de referencia para todo el país.

La altura inicial de este sistema se toma desde el punto fundamental Normaal Amsterdam's Peil, adoptando así el marco de referencia europeo. Este nivel de referencia se corresponde a la medida del nivel del mar en marea alta entre los años 1683 y 1684 medido en Ámsterdam.

Por otro lado es importante destacar que las cartas náuticas noruegas siguen situando el nivel 0 al nivel de la BMVE.

En este proyecto, con relación a las mareas se va a trabajar adoptando como nivel de referencia el nuevo sistema NN2000.

A continuación, se incluye el diagrama vertical de Datum:

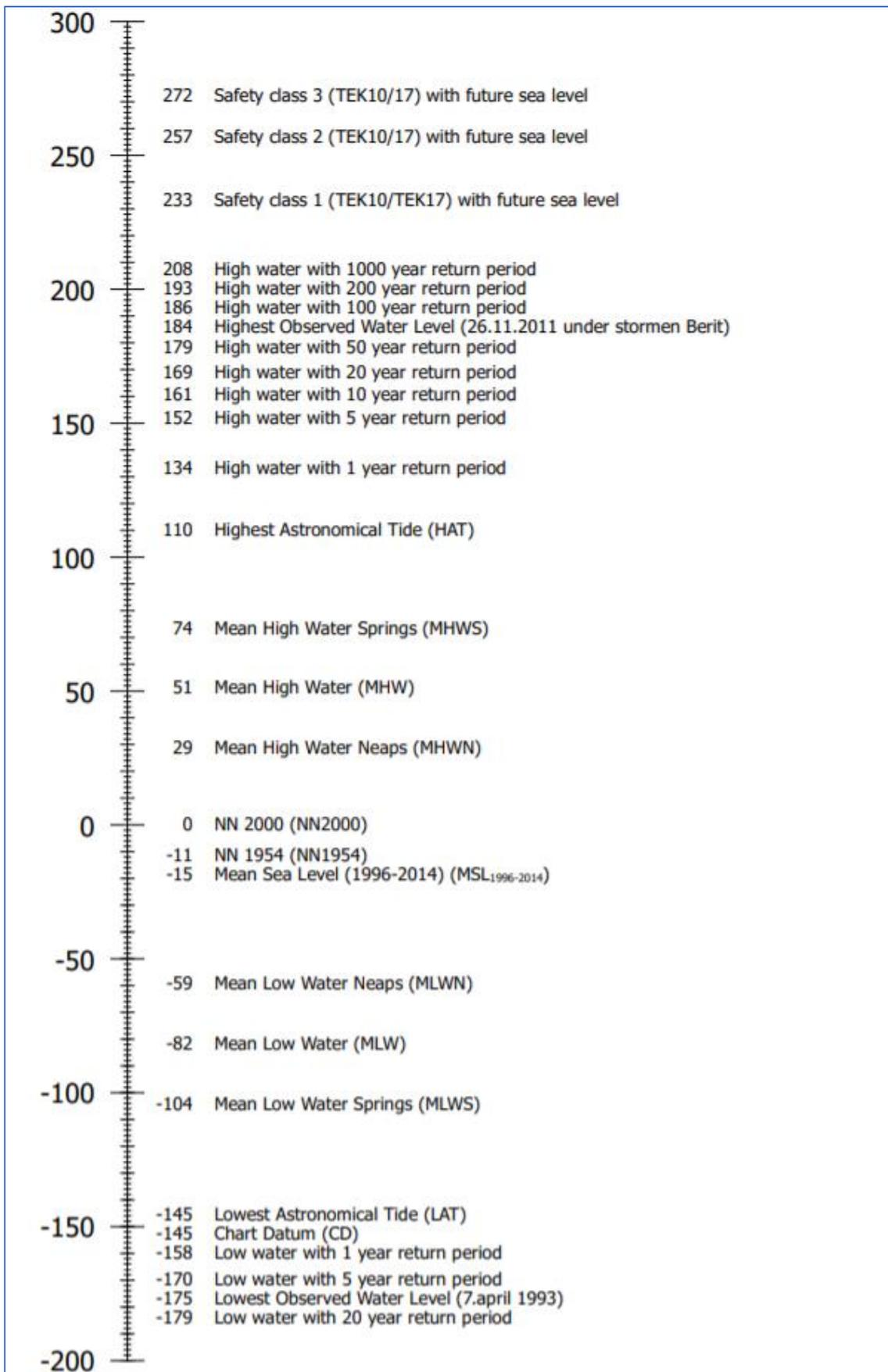


Imagen 7: Esquema DATUM del puerto de Andenes (Kartverket, 2020)

Como se puede apreciar, la referencia 0 se encuentra en NN2000, y la referencia de las cartas náuticas se encuentra 145 cm por debajo (CD), en el nivel de la menor marea astronómica (LAT).

En el esquema además se muestran:

- Menor nivel observado (LOWL)
- Nivel medio de la bajamar viva (MLWS)
- Nivel medio de la bajamar (MLW)
- Nivel medio de la bajamar muerta (MLWN)
- Nivel medio del mar (1196-2014) (MSL)
- Nivel medio de la pleamar muerta (MHWN)
- Nivel medio de la pleamar (MHW)
- Nivel medio de la pleamar viva (MHWS)
- Mayor nivel observado (HOWL)

5.2. Niveles históricos

A continuación, se muestra un gráfico que resume los niveles históricos observados en el mareógrafo de Andenes.

El gráfico muestra el nivel medio del mar observado, así como como el mayor y el menor nivel observado para cada año. El nivel 0 se corresponde con (NN2000).

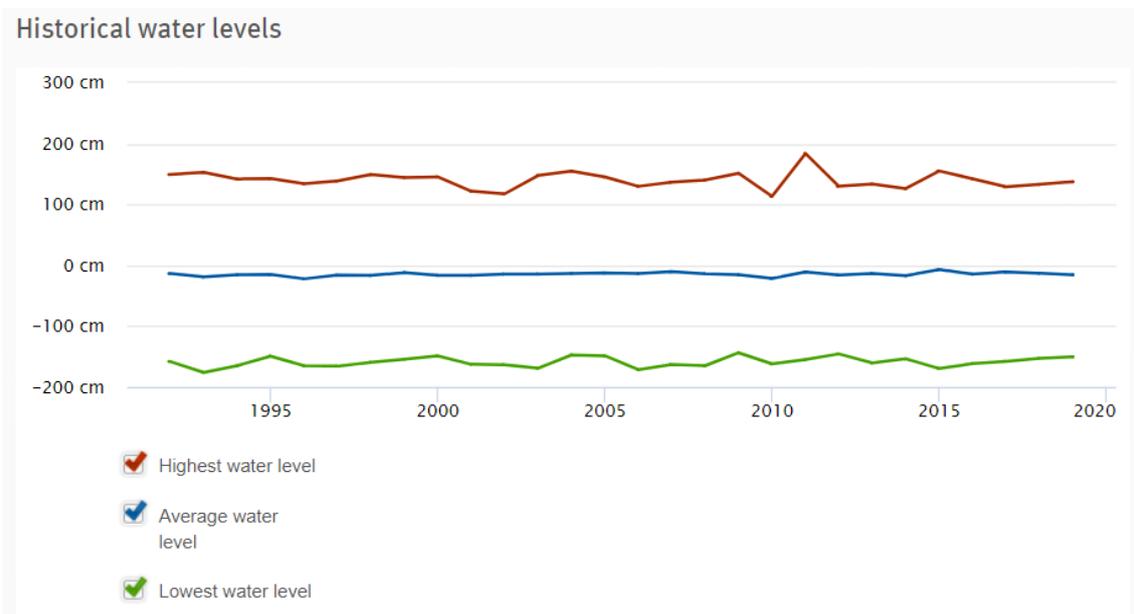


Imagen 8: Niveles históricos del nivel del mar (Kartverket, 2020)

Como se puede apreciar en el gráfico, el mayor nivel jamás registrado se dio en el año 2011 con una altura de 184 cm sobre la referencia NN2000.

Por su parte, el menor nivel jamás registrado se dio en el año 1193 con una altura de -176 cm por debajo de la referencia NN2000.

5.3. Ajuste isostático glacial

A continuación, se muestra una tabla que resume el efecto del levantamiento del suelo (también conocido como ajuste isostático glacial). El ajuste postglacial es la elevación de masas terrestres que habían sido presionadas por el enorme peso de los casquetes glaciares durante la última glaciación mediante un proceso conocido como depresión isostática (Wikipedia, 2020). Se estima que el glaciar existente sobre Escandinavia tenía un espesor de 3 kilómetros, generando que la corteza terrestre se hundiera en el manto. Tras la desaparición del glaciar y por tanto la desaparición de la carga, la corteza terrestre empezó a elevarse, y la recuperación todavía continúa a día de hoy.

Year	Land uplift
Yearly	1.6 mm
2030	5 cm
2100	16 cm

Tabla 1: Aumento del terreno anual por ajuste isostático glacial (Kartverket, 2020)

Como se puede apreciar, anualmente el ascenso es de 1.6 mm, por lo que el fenómeno es considerable. Los aumentos totales para los años 2030 y 2100 están referenciados al año 2000.

Aún así, este efecto es mucho mayor en otras regiones de los países escandinavos como se puede apreciar en esta imagen que muestra el ascenso anual en milímetros:

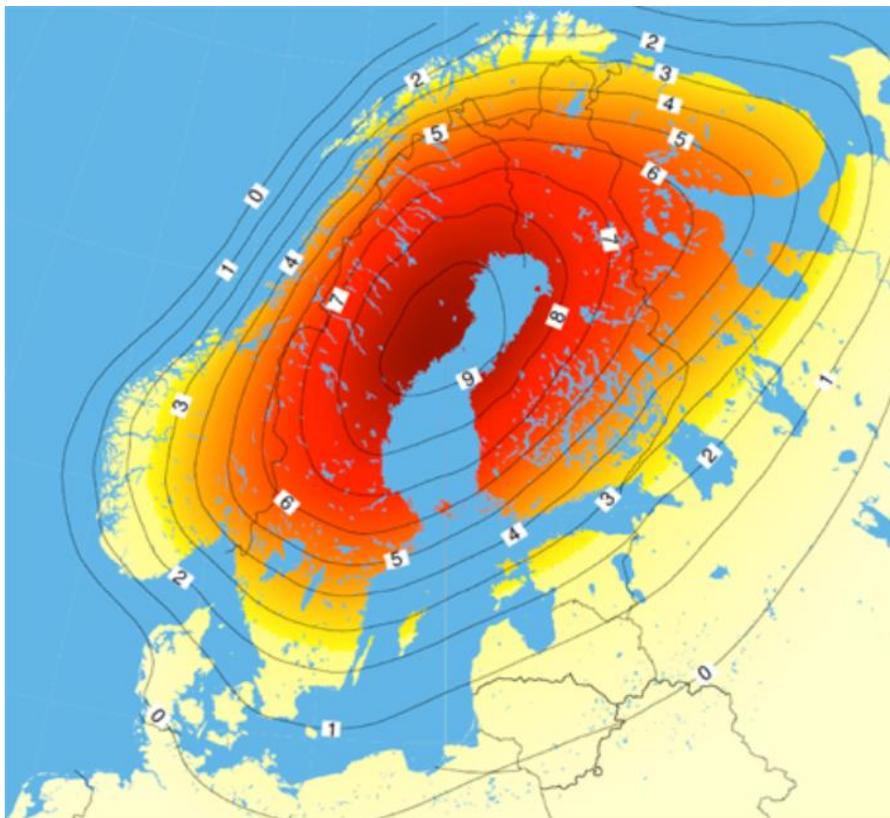


Imagen 9: Intensidad del ajuste isostático glacial en Escandinavia (NLS, 2020)

5.4. Aumento del nivel del mar

La Agencia Medioambiental Noruega realizó un estudio sobre las predicciones del aumento del nivel del mar: “Sea Level Change for Norway- Past and Present Observations and Projections to 2100” (Kartverket, 2020)

El informe proporciona una presentación completa y actualizada de los cambios del nivel del mar en Noruega en base a los datos disponibles. Esto incluye proyecciones y valores extremos para cada municipio costero de Noruega. El informe está actualizado a fecha 30 de mayo de 2016).

El informe especifica recomendaciones para la planificación de futuras obras considerando marejadas ciclónicas con periodo de retorno de 1000, 200 y 20 años:

Guidelines from DSB	Heights over NN2000
1000-year storm-surge return height (safety class 3 in TEK10/17) with future sea level (ref. DSB)	272 cm
200-year storm-surge return height (safety class 2 in TEK10/17) with future sea level (ref. DSB)	257 cm
20-year storm-surge return height (safety class 1 in TEK10/17) with future sea level (ref. DSB)	233 cm

Tabla 2: Niveles de seguridad para distintos periodos de retorno considerando marejadas ciclónicas (Kartverket, 2020)

Además, se proporciona la previsión del aumento del nivel del mar para distintos escenarios en función de la posible emisión de gases de efecto invernadero.

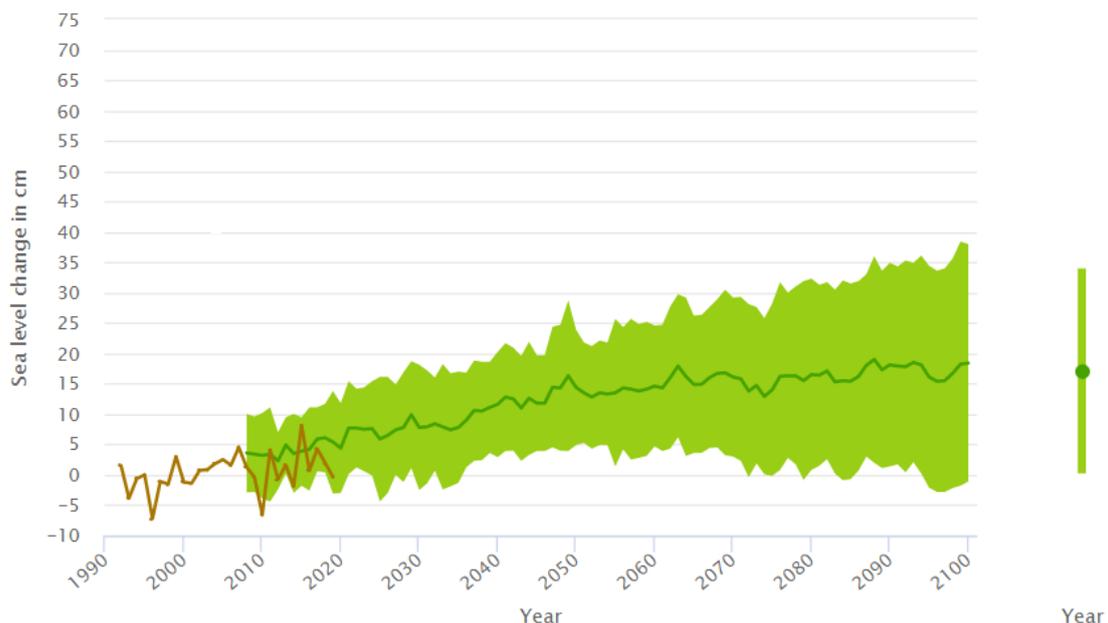


Imagen 10: Previsión de aumento del nivel del mar con emisiones bajas (RCP2.6) (Kartverket, 2020)

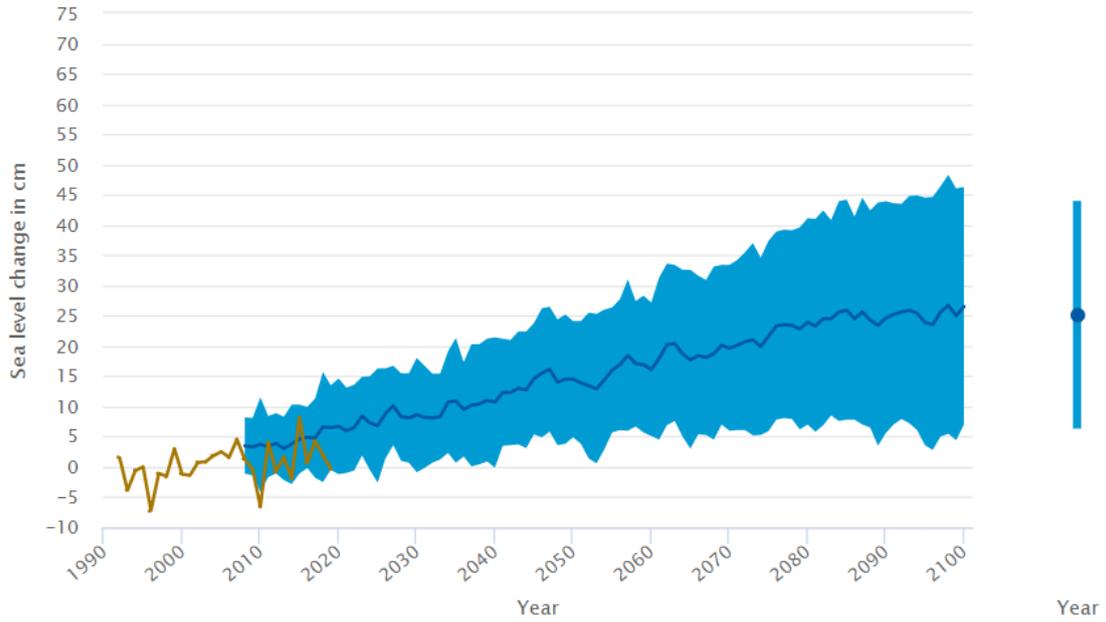


Imagen 11: Previsión de aumento del nivel del mar con emisiones medias (RCP4.5) (Kartverket, 2020)

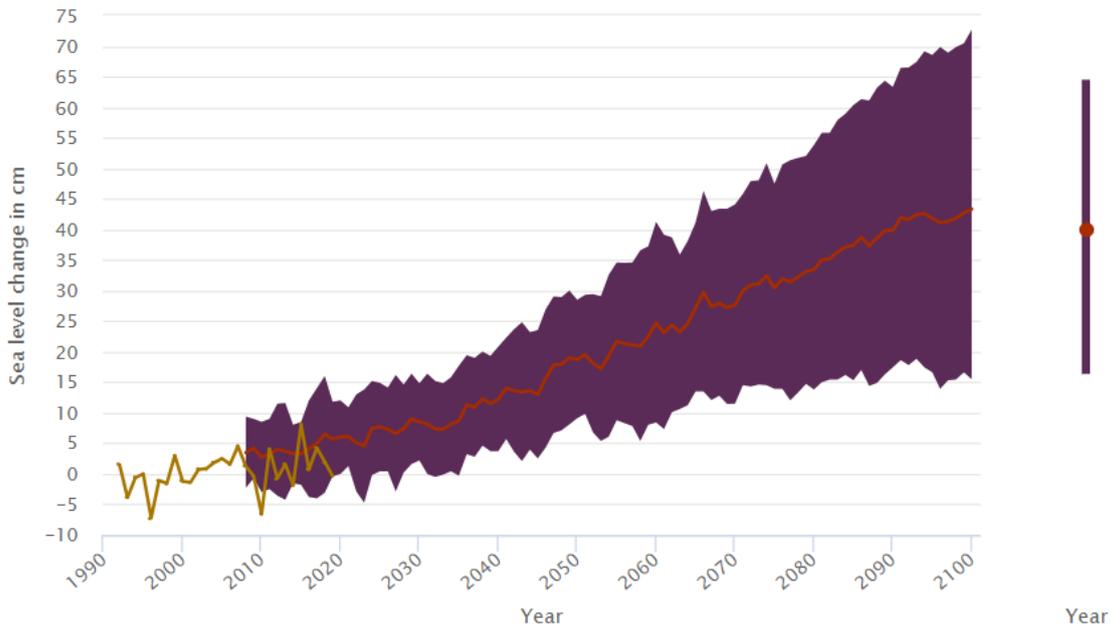


Imagen 12: Previsión de aumento del nivel del mar con emisiones altas (RCP8.5) (Kartverket, 2020)

6. Caracterización del oleaje

Para la caracterización del oleaje, puesto que la información de los registros históricos de Noruega es generalmente de carácter privado, se ha optado por emplear la base de datos global del programa Copérnico, que tiene por objeto proveer información exacta, fiable y continua para mejorar la gestión y conservación del medio ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio climático y asegurar la seguridad civil. El programa agrupa diferentes fuentes de información de satélites medioambientales y bases terrestres (Wikipedia, 2020).

Como se ha comentado anteriormente, se ha empleado el registro denominado “ERA5”, que contiene información de distintos parámetros desde 1979 hasta el presente.

La resolución horizontal de los datos empleados es de 0.5°x0.5° para datos de oleaje y de 0.25°x0.25° para datos atmosféricos (Copernicus, 2020).

Las variables empleadas se resumen a continuación:

- Dirección media del oleaje (°)
- Altura de ola significativa combinando mar de fondo y mar de viento (m)
- Periodo pico de oleaje (s)

Y a continuación se adjunta la descripción detallada de cada parámetro:

Dirección media del oleaje (°): Este parámetro es la dirección media de las olas del mar. El campo de olas consiste en una combinación de olas con diferentes alturas, longitudes de onda y direcciones. Este parámetro es la media sobre todas las frecuencias y direcciones del espectro de oleaje bidimensional. El espectro de oleaje se puede descomponer en oleaje de mar de viento, que es afectado directamente por el viento local, y el oleaje swell, donde el oleaje fue generado por el viento en otra ubicación. En este parámetro se consideran ambos. Las unidades son grados, siendo 0 oleaje “viviendo del norte” y 90° oleaje “viniendo del este”.

Altura de ola significativa combinando mar de viento y mar de fondo (swell) (m). Este parámetro representa la media del tercio de olas más altas generadas por viento. Representa la distancia vertical entre el seno y la cresta de la ola. Una definición más detallada sería cuatro veces la raíz de la integral sobre todas las direcciones y frecuencias del espectro de oleaje bidimensional.

Periodo pico de oleaje (s): Este parámetro representa el periodo de las olas más energéticas generadas por vientos. El periodo es el tiempo medio que tardan dos crestas consecutivas en cruzar un mismo punto de la superficie del mar.

6.1. Régimen medio

El presente apartado tiene por objeto caracterizar el régimen medio de oleaje. Puesto que la información que se dispone del oleaje de la zona tiene carácter de serie temporal, se han tenido que elaborar todos los cálculos estadísticos pertinentes para resumir dicha información y disponer de información útil. A continuación se resumen los procedimientos empleados y los resultados obtenidos.

6.1.1. Tabla Hs-TP anual

En primer lugar se elaboran las tablas e histogramas de distribución conjunta de periodo de pico y altura significativa anuales.

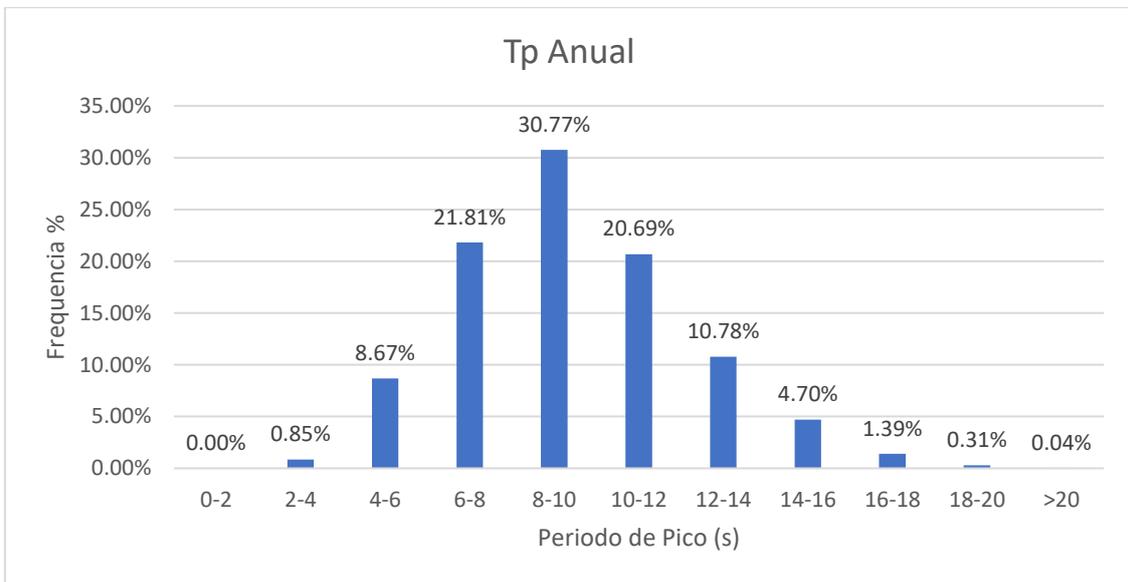


Imagen 13: Histograma Tp anual (Elaboración propia)

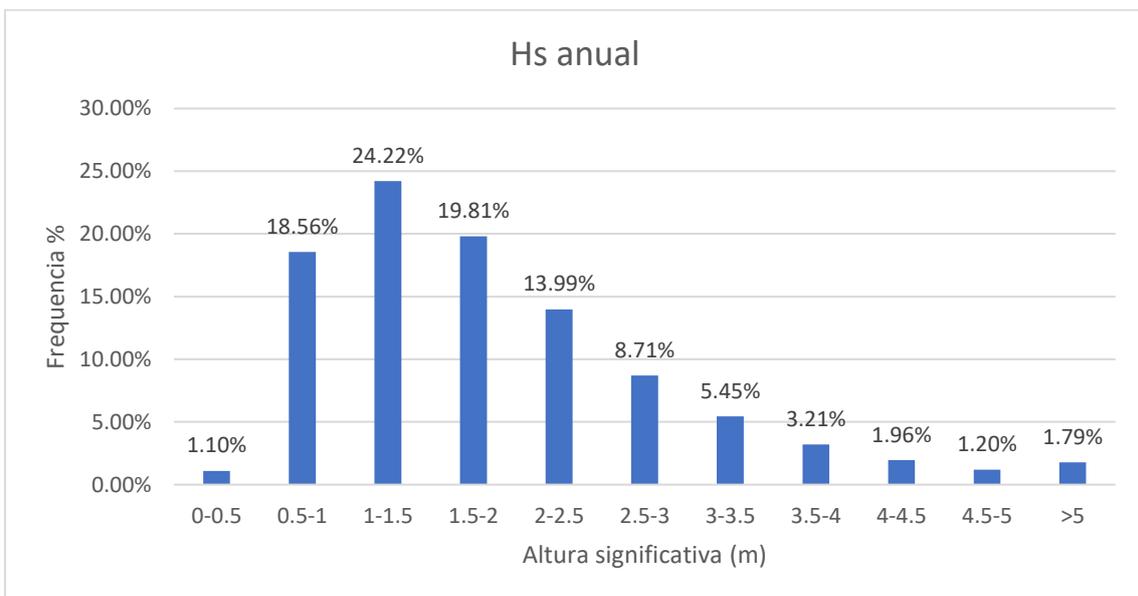


Imagen 14: Histograma Altura de ola significativa anual (Elaboración propia)

Hs (m)		TP (s)										Total	
		0 <=2	>2 <=4	>4 <=6	>6 <=8	>8 <=10	>10 <=12	>12 <=14	>14 <=16	>16 <=18	>18 <=20		>20
0	<=0.5	0.000%	0.053%	0.266%	0.275%	0.323%	0.134%	0.030%	0.008%	0.008%	0.003%	0.000%	1.100%
>0.5	<=1	0.000%	0.641%	2.995%	7.213%	4.027%	2.346%	0.929%	0.290%	0.094%	0.024%	0.007%	18.565%
>1	<=1.5	0.000%	0.151%	3.151%	7.590%	7.124%	3.046%	2.008%	0.843%	0.231%	0.070%	0.011%	24.225%
>1.5	<=2	0.000%	0.001%	1.644%	3.819%	8.010%	2.939%	1.914%	1.072%	0.313%	0.086%	0.011%	19.808%
>2	<=2.5	0.000%	0.000%	0.506%	1.777%	5.661%	3.271%	1.538%	0.882%	0.282%	0.061%	0.009%	13.987%
>2.5	<=3	0.000%	0.000%	0.098%	0.785%	3.055%	2.938%	1.035%	0.600%	0.176%	0.025%	0.001%	8.714%
>3	<=3.5	0.000%	0.000%	0.007%	0.279%	1.525%	2.335%	0.819%	0.322%	0.144%	0.019%	0.001%	5.451%
>3.5	<=4	0.000%	0.000%	0.000%	0.058%	0.683%	1.587%	0.611%	0.183%	0.075%	0.009%	0.001%	3.207%
>4	<=4.5	0.000%	0.000%	0.000%	0.010%	0.268%	0.980%	0.536%	0.128%	0.032%	0.008%	0.000%	1.962%
>4.5	<=5	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%	0.073%	0.579%	0.422%	0.102%	0.016%	0.002%	0.000%	1.196%
5	>5	0.000%	0.000%	0.000%	0.001%	0.021%	0.532%	0.937%	0.272%	0.024%	0.000%	0.000%	1.785%
Total		0.000%	0.846%	8.667%	21.808%	30.770%	20.687%	10.779%	4.702%	1.395%	0.306%	0.041%	100.000%

Tabla 3: Hs-Tp anual (Elaboración propia)

6.1.2. Tabla Hs-TP estacional DIC-FEB

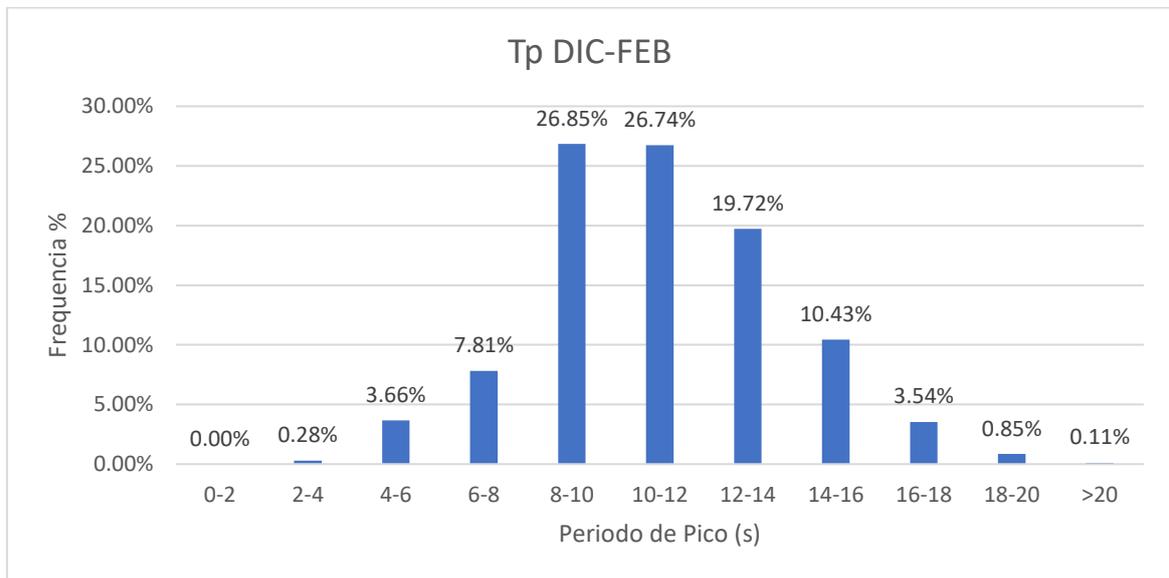


Imagen 15: Histograma Tp DIC-FEB (Elaboración propia)

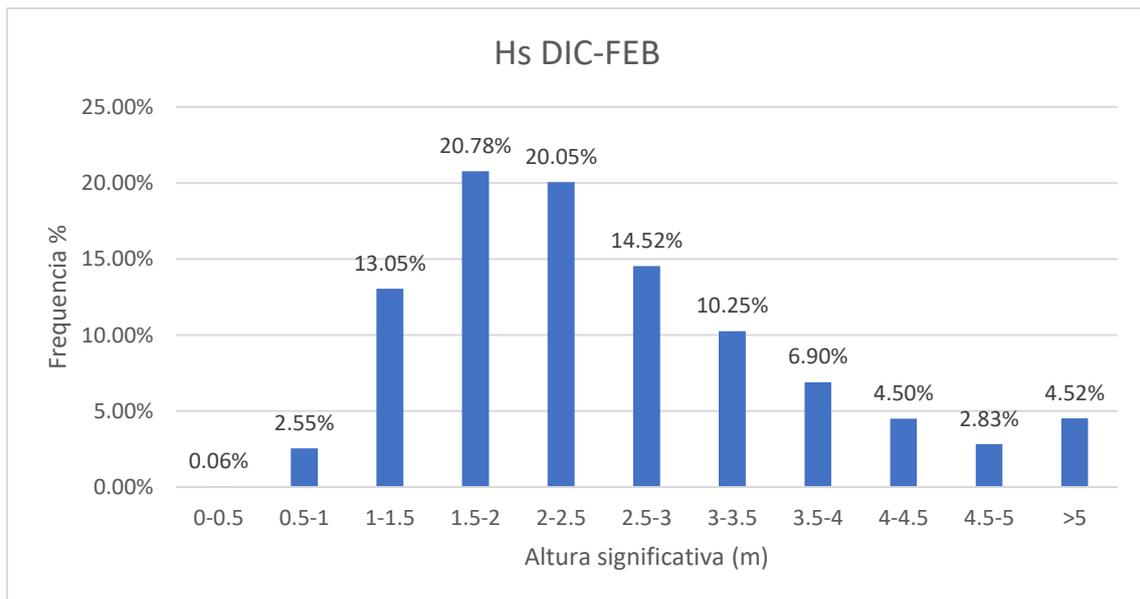


Imagen 16: Histograma Altura de ola significativa DIC-FEB (Elaboración propia)

Hs		TP										Total	
		0 <=2	>2 <=4	>4 <=6	>6 <=8	>8 <=10	>10 <=12	>12 <=14	>14 <=16	>16 <=18	>18 <=20		>20
0	<=0.5	0.000%	0.014%	0.000%	0.015%	0.012%	0.007%	0.000%	0.000%	0.008%	0.003%	0.000%	0.059%
>0.5	<=1	0.000%	0.189%	0.053%	0.628%	0.347%	0.444%	0.553%	0.203%	0.092%	0.033%	0.008%	2.550%
>1	<=1.5	0.000%	0.079%	0.983%	2.336%	3.426%	1.753%	2.497%	1.393%	0.414%	0.145%	0.026%	13.052%
>1.5	<=2	0.000%	0.001%	1.437%	1.962%	7.568%	3.154%	3.269%	2.297%	0.780%	0.267%	0.041%	20.776%
>2	<=2.5	0.000%	0.000%	0.944%	1.287%	6.972%	4.404%	3.206%	2.241%	0.785%	0.185%	0.029%	20.053%
>2.5	<=3	0.000%	0.000%	0.226%	0.966%	4.238%	4.824%	2.150%	1.468%	0.562%	0.084%	0.006%	14.525%
>3	<=3.5	0.000%	0.000%	0.016%	0.458%	2.234%	4.332%	1.840%	0.831%	0.466%	0.065%	0.003%	10.247%
>3.5	<=4	0.000%	0.000%	0.001%	0.118%	1.266%	3.179%	1.557%	0.517%	0.225%	0.032%	0.002%	6.898%
>4	<=4.5	0.000%	0.000%	0.000%	0.030%	0.570%	2.143%	1.286%	0.350%	0.086%	0.030%	0.000%	4.495%
>4.5	<=5	0.000%	0.000%	0.000%	0.006%	0.167%	1.267%	1.054%	0.288%	0.039%	0.009%	0.000%	2.830%
5	>5	0.000%	0.000%	0.000%	0.002%	0.056%	1.230%	2.305%	0.843%	0.080%	0.000%	0.000%	4.517%
Total		0.000%	0.283%	3.660%	7.809%	26.855%	26.738%	19.717%	10.432%	3.538%	0.854%	0.115%	100.000%

Tabla 4: Hs-Tp estacional DIC-FEB (Elaboración propia)

6.1.3. Tabla Hs-TP estacional MAR-MAY

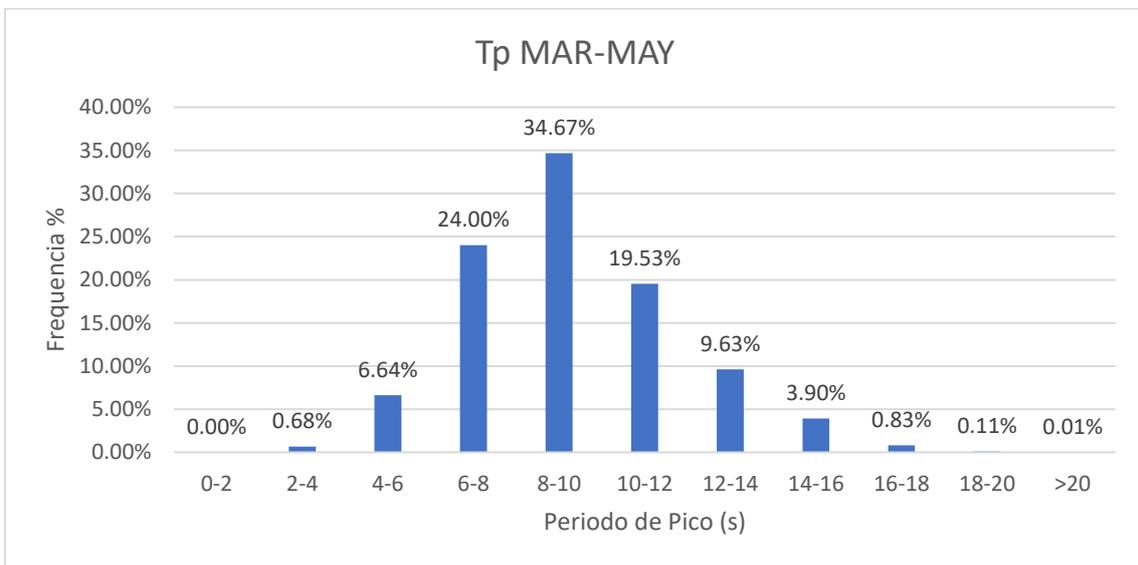


Imagen 17: Histograma Tp MAR-MAY (Elaboración propia)

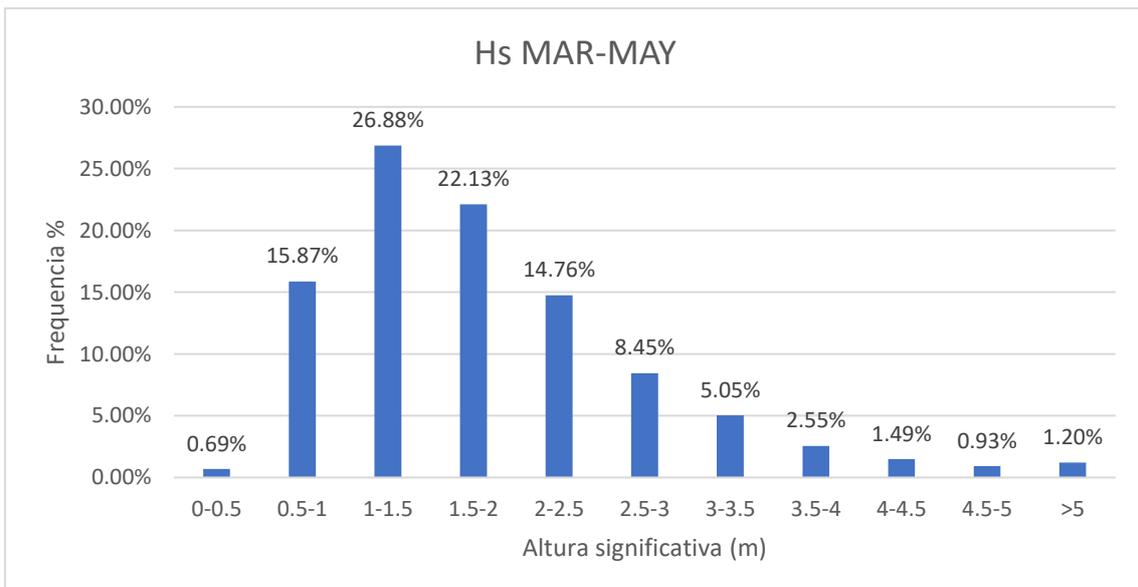


Imagen 18: Histograma Altura de ola significativa MAR-MAY (Elaboración propia)

	0	TP										Total	
		<=2	<=4	<=6	<=8	<=10	<=12	<=14	<=16	<=18	<=20		>20
Hs	<=0.5	0.000%	0.042%	0.234%	0.151%	0.113%	0.110%	0.004%	0.008%	0.022%	0.009%	0.000%	0.694%
	>0.5 <=1	0.000%	0.482%	1.964%	6.839%	2.878%	2.209%	1.068%	0.348%	0.073%	0.008%	0.002%	15.870%
	>1 <=1.5	0.000%	0.156%	2.616%	9.266%	8.290%	3.116%	2.325%	0.889%	0.168%	0.047%	0.006%	26.879%
	>1.5 <=2	0.000%	0.000%	1.377%	4.515%	10.263%	2.983%	1.774%	0.981%	0.222%	0.011%	0.000%	22.126%
	>2 <=2.5	0.000%	0.000%	0.378%	2.056%	7.081%	3.169%	1.232%	0.677%	0.138%	0.027%	0.006%	14.762%
	>2.5 <=3	0.000%	0.000%	0.066%	0.857%	3.583%	2.731%	0.731%	0.405%	0.075%	0.002%	0.000%	8.452%
	>3 <=3.5	0.000%	0.000%	0.006%	0.283%	1.598%	2.227%	0.655%	0.204%	0.070%	0.003%	0.000%	5.046%
	>3.5 <=4	0.000%	0.000%	0.000%	0.031%	0.614%	1.329%	0.448%	0.104%	0.028%	0.000%	0.000%	2.554%
	>4 <=4.5	0.000%	0.000%	0.000%	0.003%	0.194%	0.770%	0.421%	0.076%	0.021%	0.000%	0.000%	1.486%
	>4.5 <=5	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.047%	0.495%	0.315%	0.070%	0.001%	0.000%	0.000%	0.928%
	5 >5	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.008%	0.389%	0.654%	0.142%	0.011%	0.000%	0.000%	1.204%
	Total	0.000%	0.679%	6.641%	24.000%	34.670%	19.528%	9.628%	3.905%	0.828%	0.107%	0.013%	100.000%

Tabla 5: Hs-Tp estacional MAR-MAY (Elaboración propia)

6.1.4. Tabla Hs-TP estacional JUN-AGO

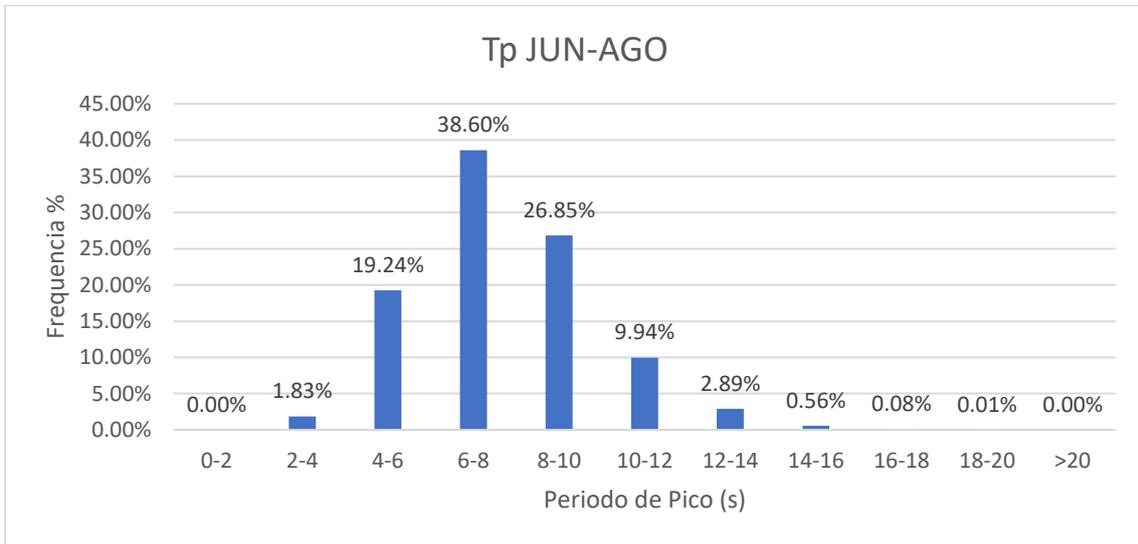


Imagen 19: Histograma Tp JUN-AGO (Elaboración propia)

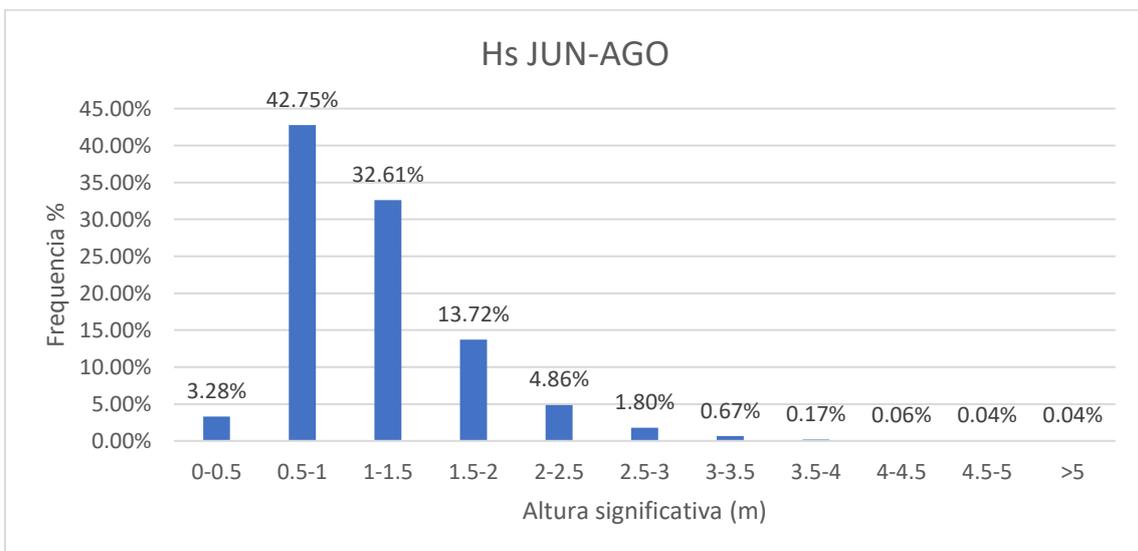


Imagen 20: Histograma Altura de ola significativa JUN-AGO (Elaboración propia)

Hs		TP										Total	
		0 <=2	>2 <=4	>4 <=6	>6 <=8	>8 <=10	>10 <=12	>12 <=14	>14 <=16	>16 <=18	>18 <=20		>20
0	<=0.5	0.000%	0.137%	0.793%	0.826%	1.074%	0.358%	0.089%	0.001%	0.000%	0.000%	0.000%	3.279%
>0.5	<=1	0.000%	1.486%	9.044%	16.866%	9.547%	4.460%	1.070%	0.254%	0.020%	0.007%	0.000%	42.754%
>1	<=1.5	0.000%	0.207%	7.070%	12.629%	8.395%	3.027%	1.038%	0.187%	0.052%	0.003%	0.000%	32.608%
>1.5	<=2	0.000%	0.000%	2.188%	5.509%	4.481%	1.000%	0.452%	0.082%	0.006%	0.000%	0.000%	13.717%
>2	<=2.5	0.000%	0.000%	0.146%	2.135%	1.956%	0.515%	0.094%	0.019%	0.000%	0.000%	0.000%	4.865%
>2.5	<=3	0.000%	0.000%	0.003%	0.553%	0.925%	0.276%	0.025%	0.014%	0.000%	0.000%	0.000%	1.797%
>3	<=3.5	0.000%	0.000%	0.000%	0.084%	0.384%	0.151%	0.049%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.668%
>3.5	<=4	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.073%	0.075%	0.023%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.171%
>4	<=4.5	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.013%	0.030%	0.015%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.059%
>4.5	<=5	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.034%	0.008%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.042%
5	>5	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.015%	0.025%	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.041%
Total		0.000%	1.829%	19.244%	38.602%	26.849%	9.942%	2.890%	0.557%	0.077%	0.010%	0.000%	100.000%

Tabla 6: Hs-Tp estacional JUN-AGO (Elaboración propia)

6.1.5. Tabla Hs-TP estacional SEP-NOV

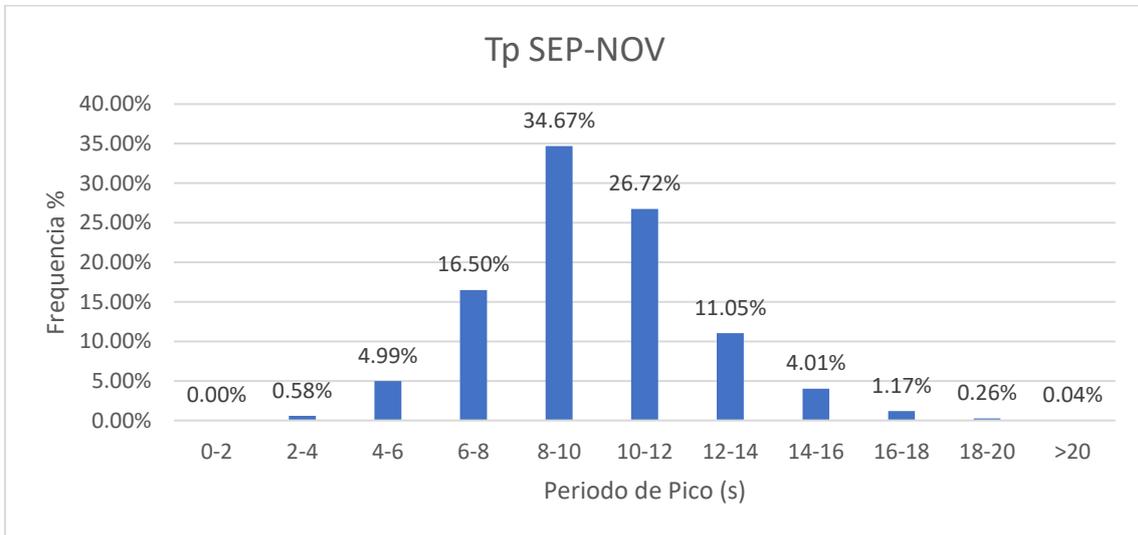


Imagen 21: Histograma Tp SEP-NOV (Elaboración propia)

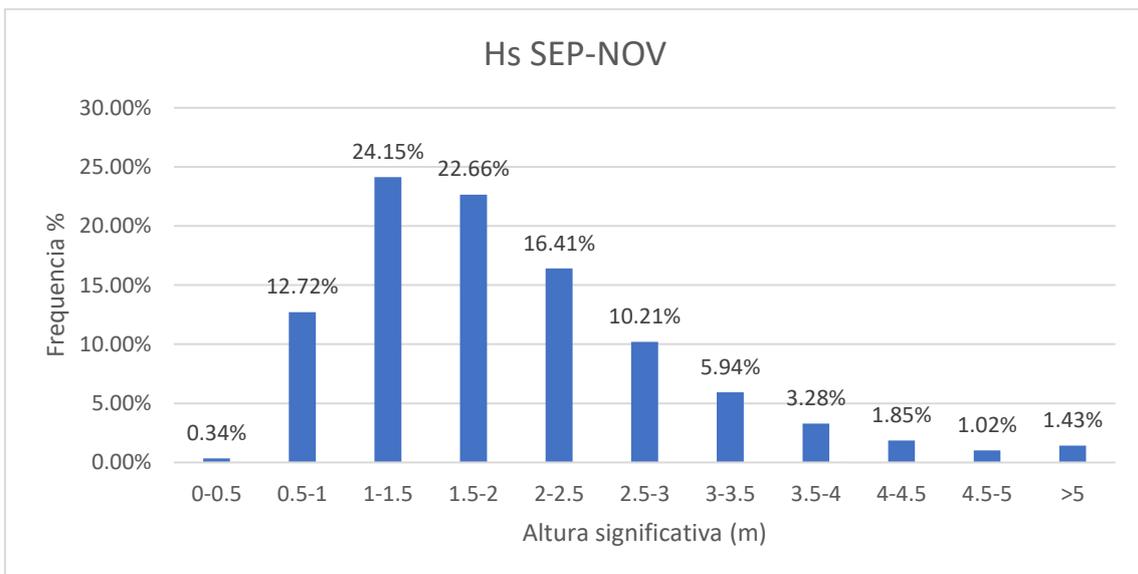


Imagen 22: Histograma Altura de ola significativa SEP-NOV (Elaboración propia)

Anejo N°4: Clima marítimo

		TP										Total	
		0 <=2	>2 <=4	>4 <=6	>6 <=8	>8 <=10	>10 <=12	>12 <=14	>14 <=16	>16 <=18	>18 <=20		>20
Hs (m)	0 <=0.5	0.000%	0.020%	0.029%	0.101%	0.085%	0.056%	0.027%	0.022%	0.002%	0.000%	0.000%	0.342%
	>0.5 <=1	0.000%	0.396%	0.839%	4.361%	3.256%	2.231%	1.020%	0.354%	0.191%	0.048%	0.019%	12.716%
	>1 <=1.5	0.000%	0.163%	1.881%	6.012%	8.327%	4.277%	2.182%	0.912%	0.294%	0.085%	0.013%	24.146%
	>1.5 <=2	0.000%	0.001%	1.567%	3.249%	9.738%	4.641%	2.191%	0.951%	0.251%	0.069%	0.003%	22.663%
	>2 <=2.5	0.000%	0.000%	0.565%	1.618%	6.670%	5.036%	1.654%	0.615%	0.213%	0.036%	0.003%	16.411%
	>2.5 <=3	0.000%	0.000%	0.099%	0.766%	3.502%	3.969%	1.257%	0.528%	0.074%	0.013%	0.000%	10.210%
	>3 <=3.5	0.000%	0.000%	0.008%	0.295%	1.901%	2.672%	0.750%	0.261%	0.045%	0.009%	0.000%	5.941%
	>3.5 <=4	0.000%	0.000%	0.000%	0.085%	0.792%	1.798%	0.431%	0.117%	0.050%	0.003%	0.000%	3.277%
	>4 <=4.5	0.000%	0.000%	0.000%	0.007%	0.299%	1.001%	0.433%	0.090%	0.023%	0.000%	0.000%	1.854%
	>4.5 <=5	0.000%	0.000%	0.000%	0.003%	0.082%	0.533%	0.321%	0.052%	0.025%	0.000%	0.000%	1.015%
	5 >5	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%	0.020%	0.507%	0.786%	0.109%	0.004%	0.000%	0.000%	1.427%
Total		0.000%	0.581%	4.987%	16.496%	34.672%	26.721%	11.053%	4.015%	1.173%	0.264%	0.039%	100.000%

Tabla 7: Hs-Tp estacional SEP-NOV (Elaboración propia)

6.1.6. Rosa de Oleaje Anual

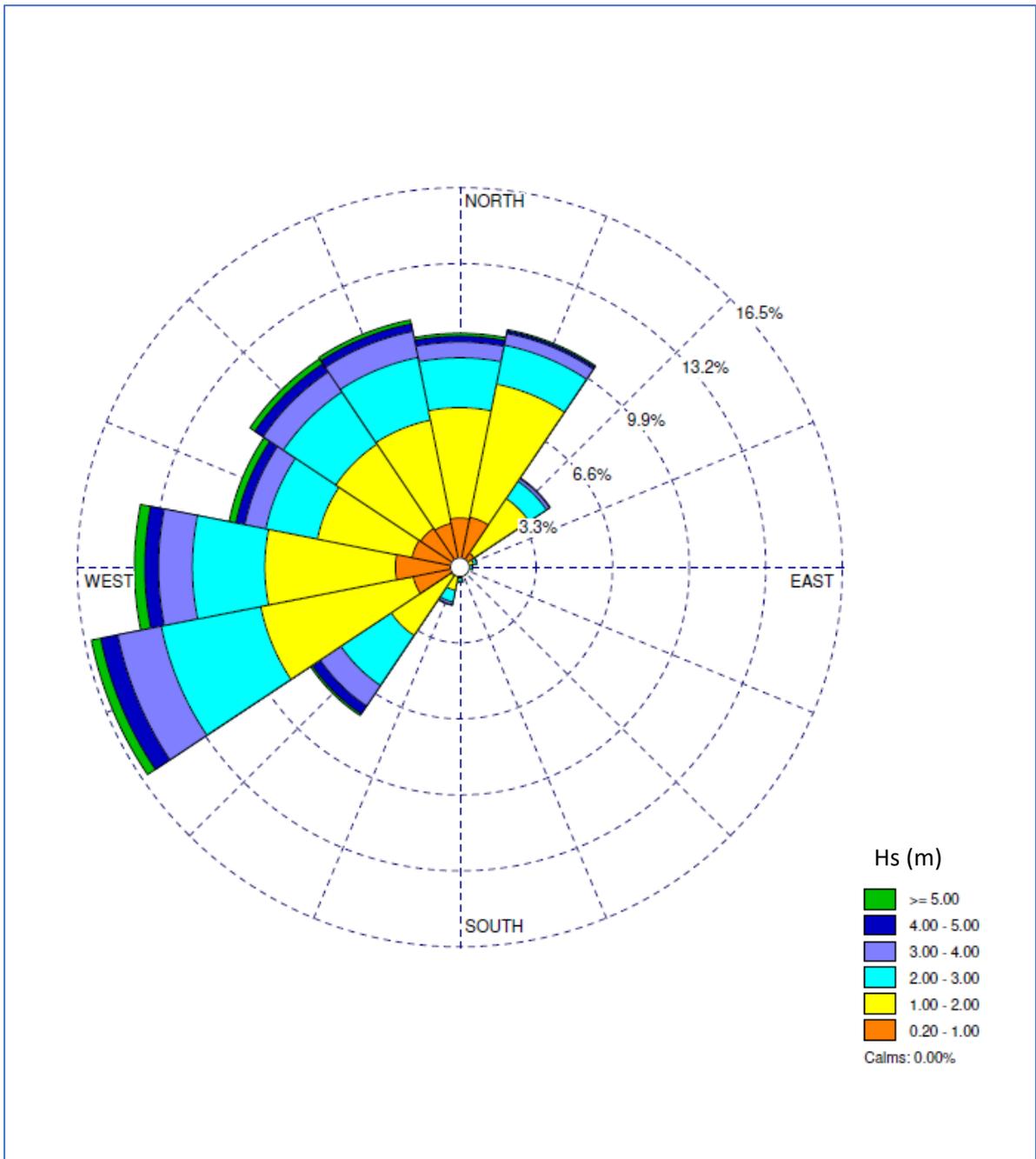


Imagen 23: Rosa de oleaje anual (Elaboración propia)

6.1.7. Rosa de Oleaje Estacional Dic-Feb

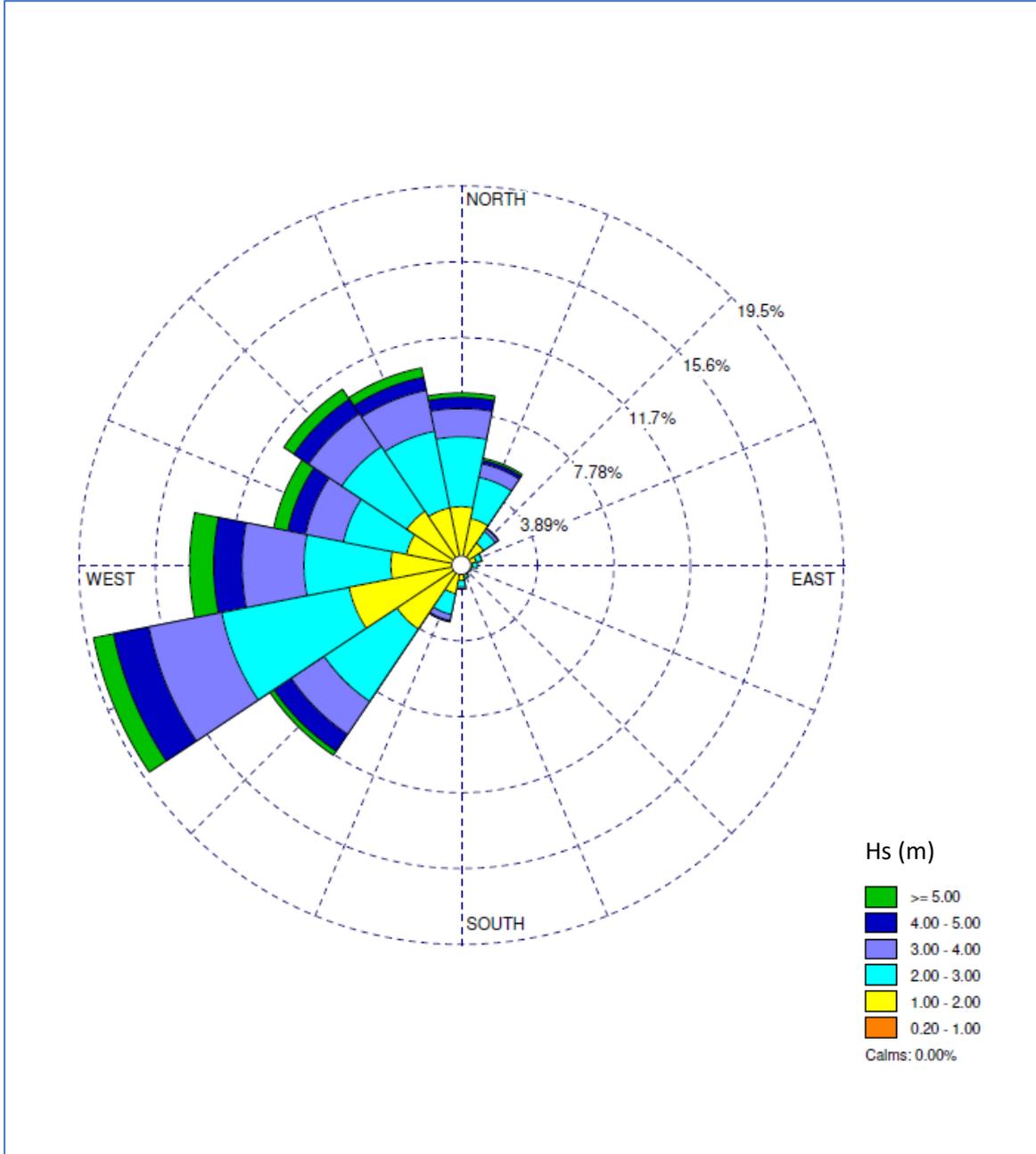


Imagen 24: Rosa de oleaje estacional DIC-FEB (Elaboración propia)

6.1.8. Rosa de Oleaje Estacional Mar-May

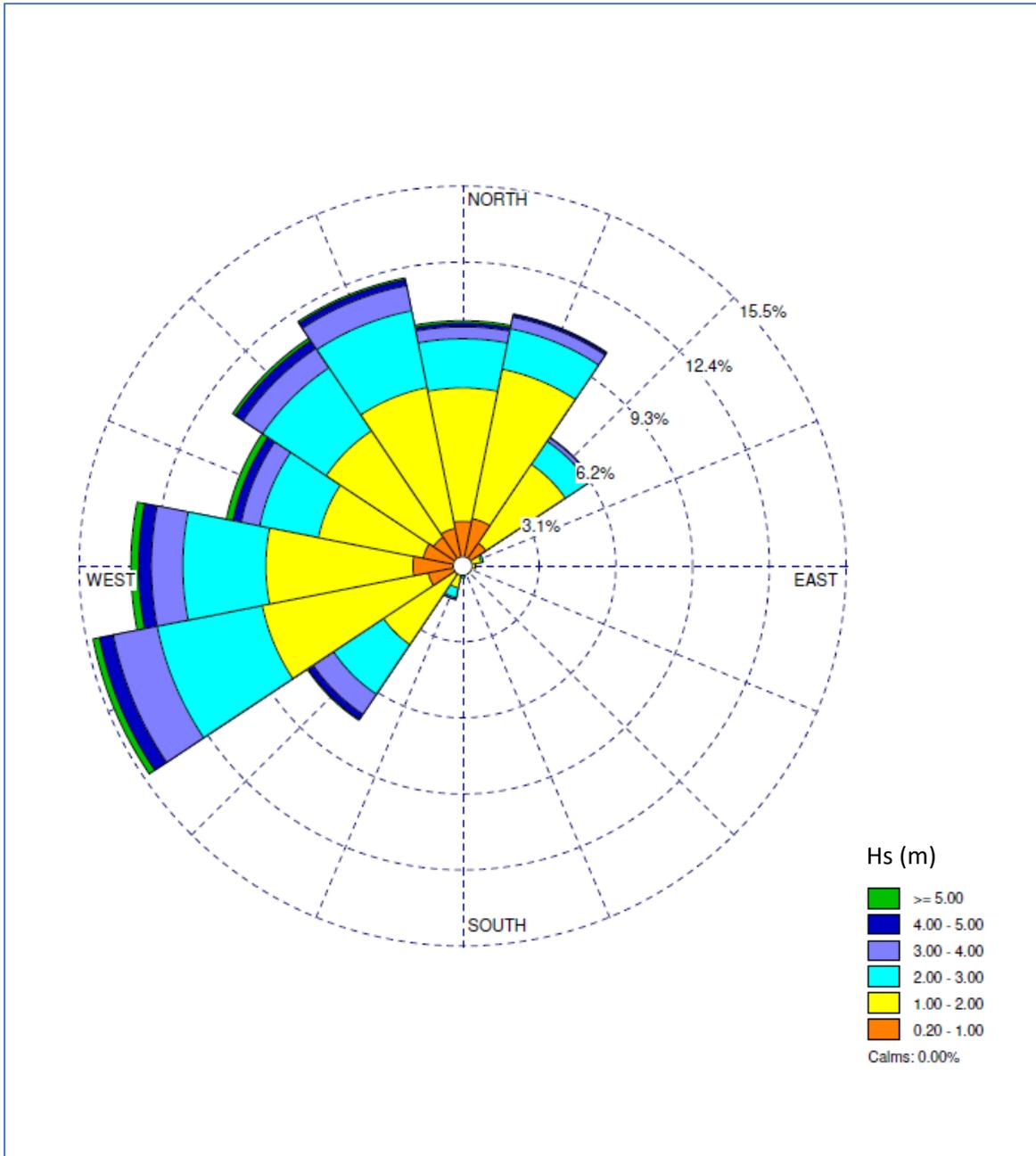


Imagen 25: Rosa de oleaje estacional MAR-MAY (Elaboración propia)

6.1.9. Rosa de Oleaje Estacional Jun-Ago

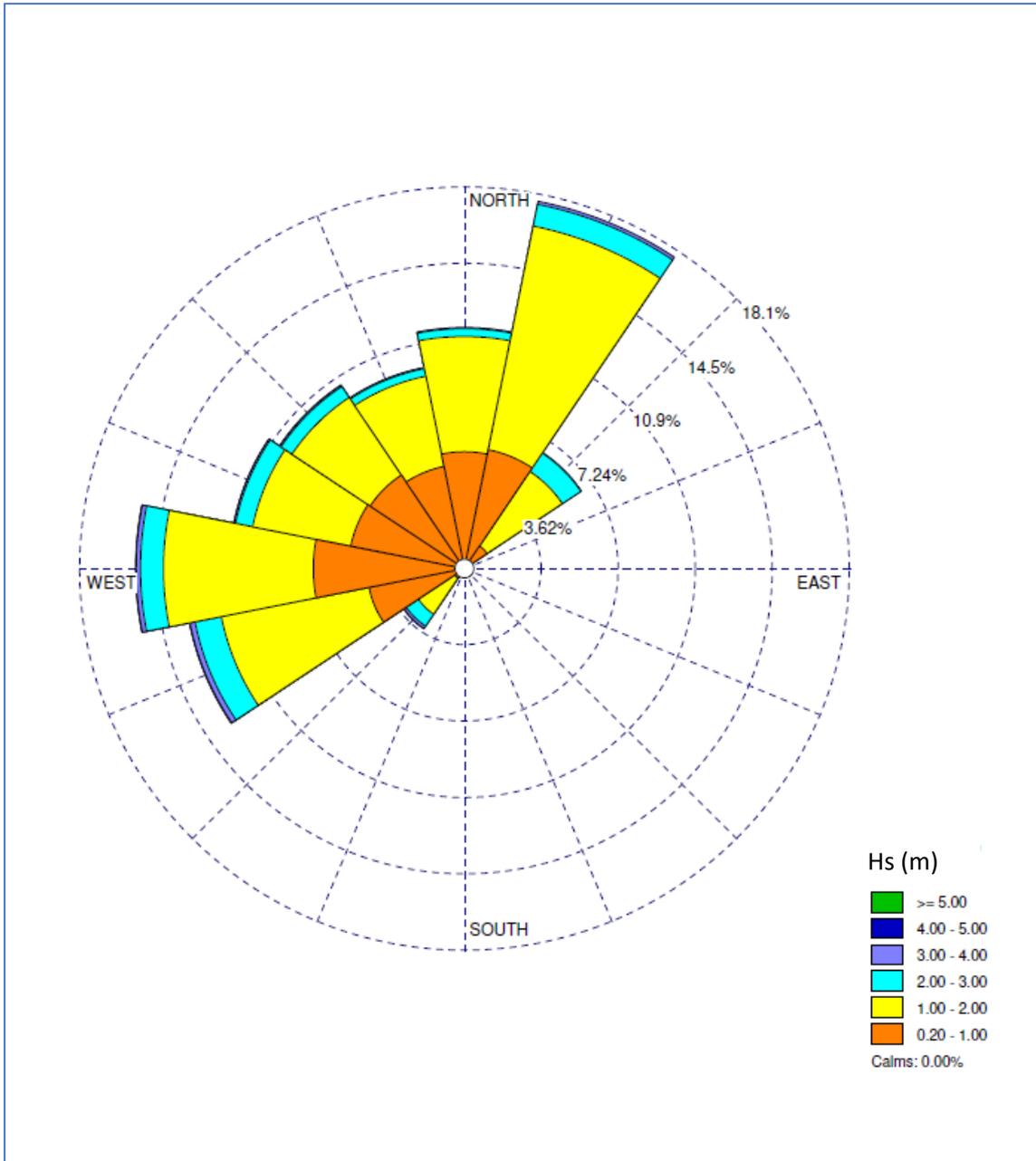


Imagen 26: Rosa de oleaje estacional JUN-AGO (Elaboración propia)

6.1.10. Rosa de Oleaje Estacional Sep-Nov

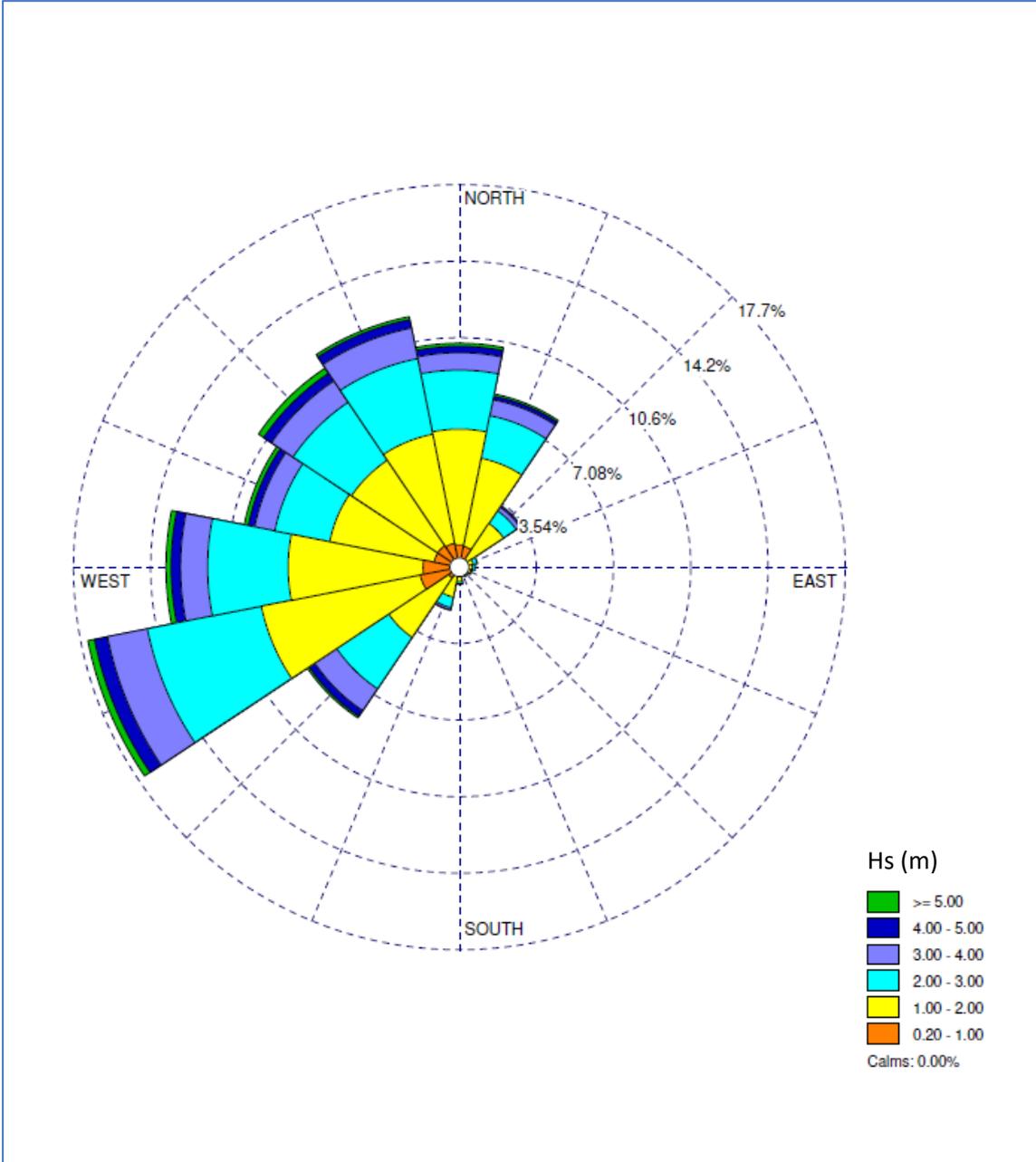


Imagen 27: Rosa de oleaje estacional SEP-NOV (Elaboración propia)

6.2. Régimen extremal

El presente punto tiene por objeto caracterizar el régimen extremal de oleaje, puesto que la seguridad y la operatividad de las instalaciones costeras están condicionadas con el mismo, donde la altura de oleaje alcanza una intensidad poco frecuente.

Se define a continuación el modelo estadístico empleado que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal con un cierto riesgo.

6.2.1. Definición de temporal (POT)

Para definir una situación de temporal se ha empleado el método de picos sobre el límite. Es decir, se define como temporal aquella situación en la que la altura de oleaje supera un cierto umbral. Se considerará además que el tiempo mínimo que transcurre entre temporales independientes es de 5 días.

6.2.2. Modelo estadístico

La probabilidad de que el mayor temporal ocurrido en un año tenga una Altura Significante superior a un cierto valor H_a preestablecido está dado por la expresión:

$$P_a(x) = 1 - e^{-\lambda(1-F_w(H_a))}$$

Siento λ el número medio de temporales ocurridos en un año y F_w la distribución Weibull de excedencias cuya expresión es:

$$F_w(H_a) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{H_a - \alpha}{\beta}\right)^\gamma\right)$$

α : *Parámetro de localización*

β : *Parámetro de escala*

γ : *Parámetro de forma*

El método empleado para ajustar los parámetros de la distribución ha sido el método de los mínimos cuadrados.

Se han identificado un total de 286 temporales en el periodo 1979-2019 con una altura de ola significativa superior a 5 m.

En la siguiente gráfica se muestra el ajuste de la distribución Weibull y a continuación los parámetros obtenidos:

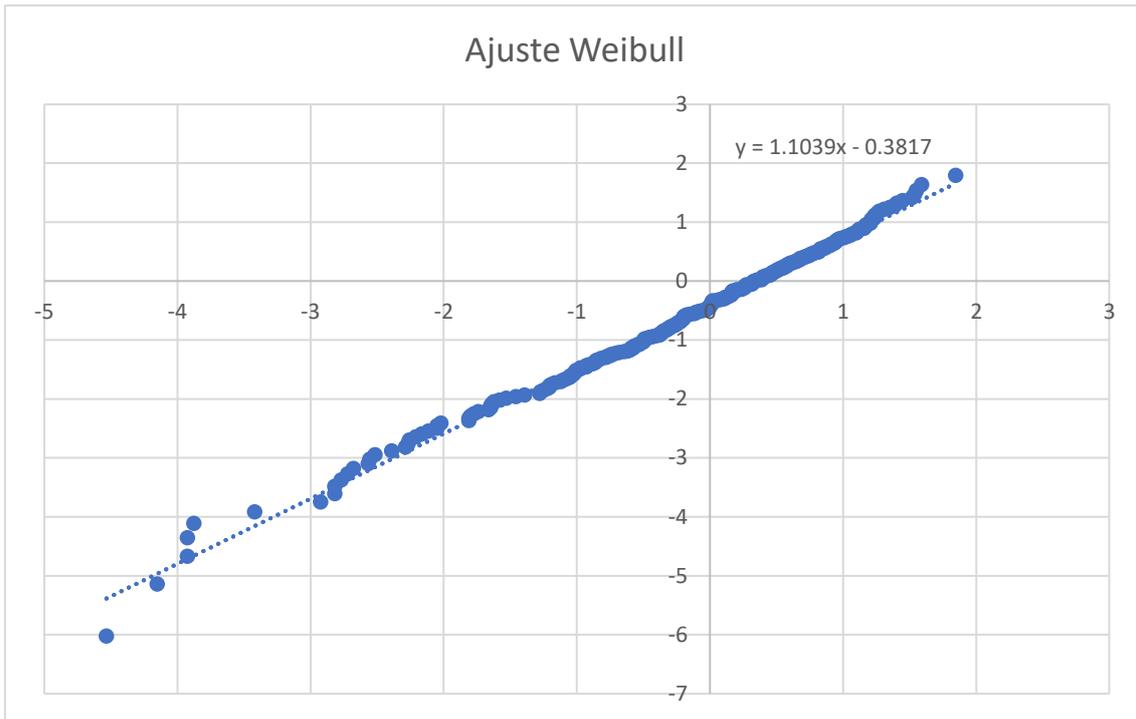


Imagen 28: Ajuste weibull del oleaje extremo (Elaboración propia)

$$\alpha: 4.9982$$

$$\beta: 1.41304$$

$$\gamma: 1.1039$$

Y la correspondiente función de distribución acumulativa:

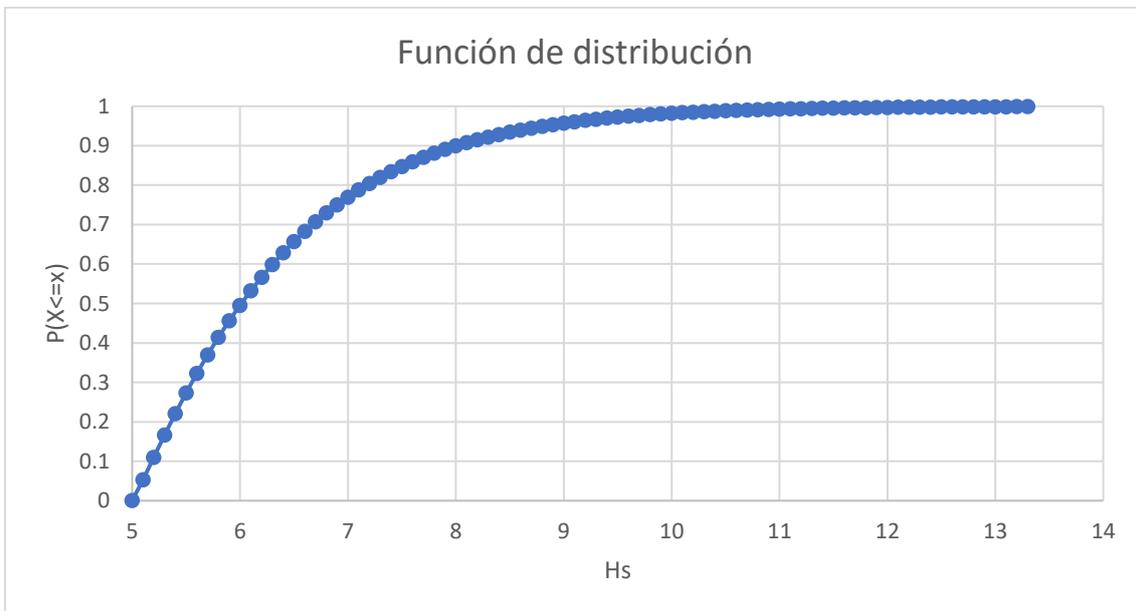


Imagen 29: Función de distribución (Elaboración propia)

Es necesario destacar que el modelo se ha validado empleando el software EASYFIT, que permite ajustar conjuntos de datos a distintas distribuciones de probabilidad por el método de los mínimos cuadrados. El resultado obtenido de dicho ajuste se muestra a continuación:

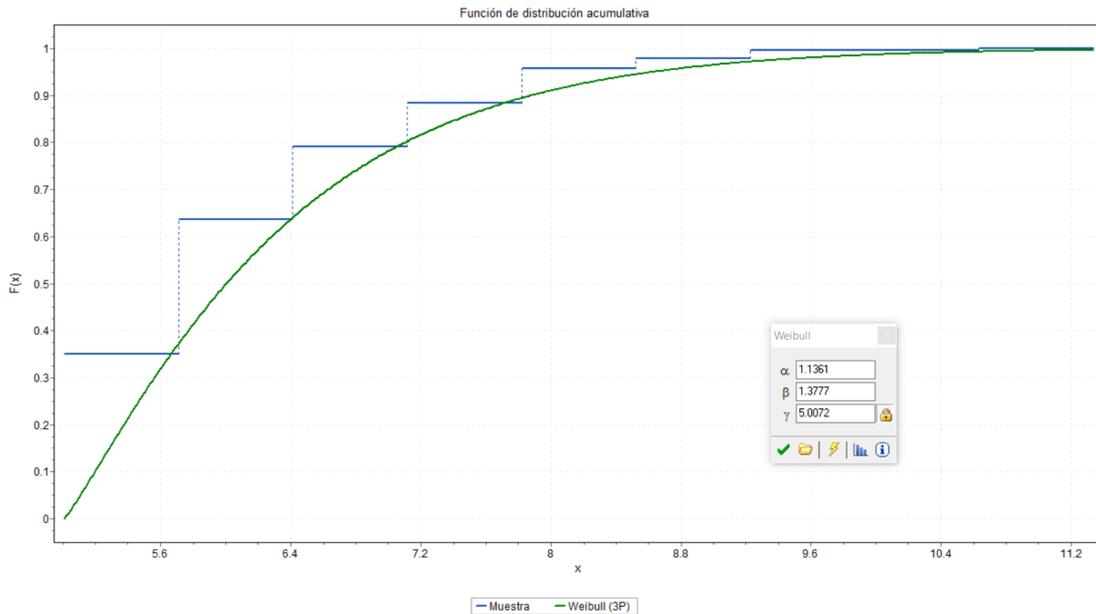


Imagen 30: Función de distribución con Easyfit (Elaboración propia)

Como se puede apreciar, los parámetros obtenidos son prácticamente idénticos (nótese que no se emplea la misma notación para los parámetros)

6.2.3. Período de Pico en situación de temporal

La acción de un temporal sobre una estructura depende en gran medida del Período del Oleaje.

Una vez seleccionados los picos de temporal se establece una relación empírica entre el Período de Pico y la Altura Significante del oleaje ajustando por mínimos cuadrados una relación del tipo:

$$E(T_p) = aH_s^c$$

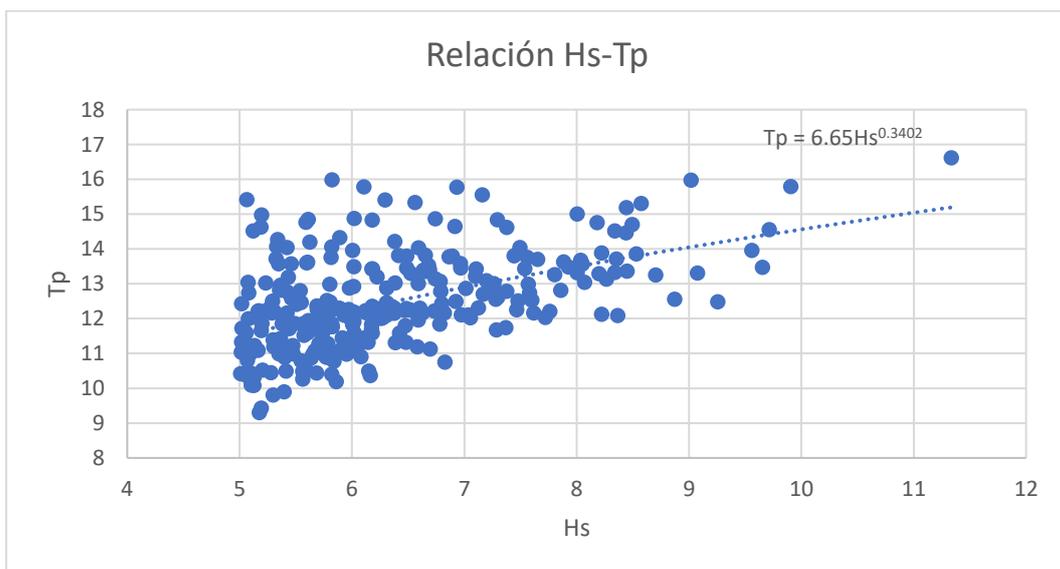


Imagen 31: Gráfico Hs-Tp (Elaboración propia)

La expresión obtenida es:

$$T_p = 6.65 \cdot H_s^{0.34}$$

7. Propagación del oleaje

El presente punto tiene por objeto determinar la función de transferencia para transformar la información de oleaje de la que se dispone. Se trata por tanto de determinar de forma detallada el oleaje a pie de dique para posteriormente determinar el temporal de cálculo.

7.1. Metodología

Debido a la complejidad del emplazamiento (principalmente en cuanto a batimetría) se opta por emplear un modelo numérico para transformar el oleaje. En este caso se opta por emplear el software libre SWANone, desarrollado por TU DELFT (TuDelft, 2020).

SWAN (Simulating waves nearshore) es un modelo espectral que simula la energía contenida en las ondas en su propagación desde superficies oceánicas hasta las zonas costeras, teniendo en cuenta cambios de altura, forma y dirección de la ola como resultado de la acción del viento, rotura de ola, transferencia de energía entre componentes y variaciones de la profundidad del fondo, así como la aparición de corrientes. Está basado en los llamados *third generation models* para la propagación de oleaje en aguas profundas y a su vez, dichos modelos, están basados en las ecuaciones de Balance de Energía.

Se dispone de una serie temporal de oleaje histórico con información horaria en un punto alejado del dique y el objetivo es obtener dicha serie temporal transformada a pie de dique. Puesto que el dique tendrá una longitud considerable, se considera conveniente realizar la transformación del oleaje en 3 puntos distintos, próximo al arranque, en la futura ubicación del morro y en un punto intermedio.

Como se ha comentado anteriormente, se elaborará una función de transferencia que proporcionará el oleaje transformado en estos 3 puntos y además, se considerarán 2 posibles niveles de mar, un nivel alto y un nivel bajo. El primero será determinante para los elementos que conformen las piezas del cuerpo dique y el rebase. Por otro lado, el segundo será empleado para el cálculo de los elementos de la berma de pie.

En resumen, la serie histórica en aguas profundas se transformará en 6 nuevas series históricas:

- Arranque con nivel alto
- Arranque con nivel bajo
- Tronco con nivel alto
- Tronco con nivel bajo
- Morro con nivel alto
- Morro con nivel bajo



Imagen 32: Esquema de la metodología propuesta (Elaboración propia)

7.2. Función de transferencia

En este punto se describe como se ha diseñado la función de transferencia empleada para la transformación del oleaje.

Para construir una función de transferencia perfecta, se deberían propagar un número infinito de estados de mar caracterizados por H_s , T_p y dirección. No obstante, puesto que esto a efectos prácticos y para el alcance de estudio de soluciones es innecesario, se opta por discretizar y simplificar el proceso.

Se propagarán un total de 30 estados de mar caracterizados por 5 direcciones y 3 periodos con los dos niveles de marea mencionados anteriormente a los 3 puntos también mencionados anteriormente. Los periodos y direcciones empleados son los que se muestran a continuación:

- Direcciones: N; NNE; NE; ENE; E
- Periodos: 16.6; 13.0; 9.3

En todos los casos, la altura de ola significativa propagada en SWAN será de 1 metro.

Con los 30 estados de mar de los que se dispone, se analizará para cada dato de la serie temporal a qué situación en término de dirección y T_p éste se asemeja más, y se escalará la altura de ola significativa en la misma proporción. El oleaje que provenga de cualquier dirección que no sean las 5 mencionadas anteriormente se considerará inexistente a pie de dique, ya que significa que el propio puerto esta haciendo sombra a dicho oleaje.



Imagen 33: Esquema del funcionamiento de la función de transferencia (Elaboración propia)

7.3. Definición del modelo

A continuación, se definirán los datos de entrada necesarios para el modelo numérico de propagación de oleaje.

SWAN requiere básicamente 3 datos de entrada para el cálculo de la propagación de oleaje: Información batimétrica, información del oleaje en los contornos del modelo y puntos de cálculo.

7.3.1. Batimetría

Para la batimetría de entrada se ha empleado una nube de puntos de 200x200 con un espaciamiento entre ellos de 50 metros en ambas direcciones. El punto situado más al sur oeste tiene por coordenadas:

- X:7689875
- Y: 540125

Y el punto situado más al noreste tiene por coordenadas:

- X: 7699875
- Y:550125

A continuación se muestra la batimetría generada en función de la información anterior:

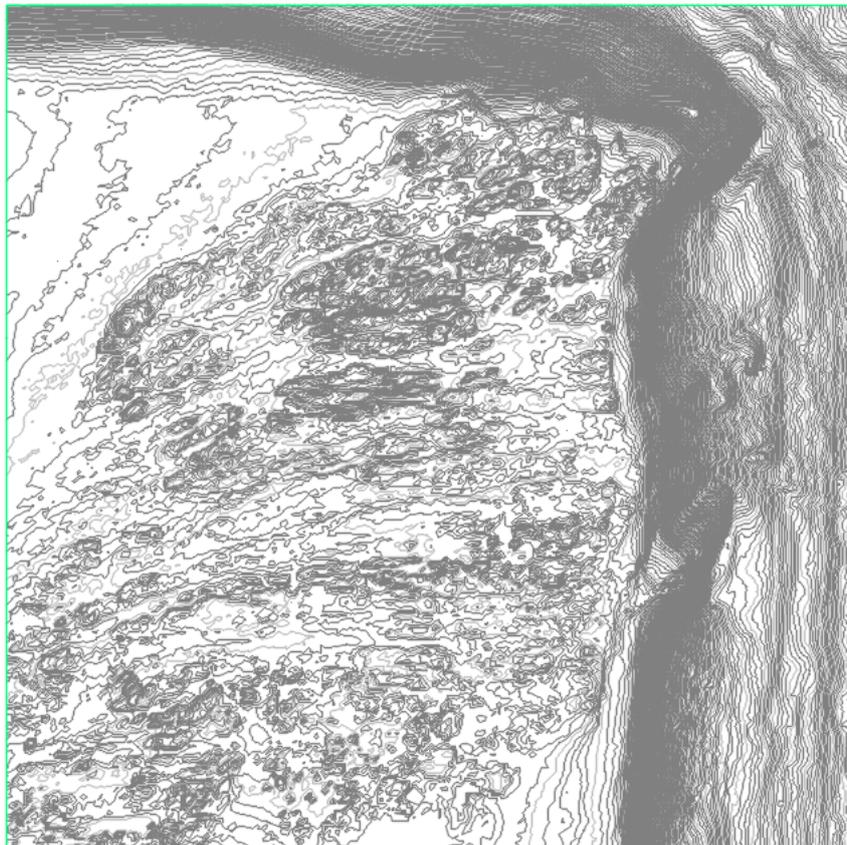


Imagen 34: Batimetría de la zona de estudio generada con resolución de 50x50 metros (Elaboración propia)

7.3.2. Oleaje de entrada

Como se ha comentado anteriormente, el oleaje de entrada estará definido por un total de 5 combinaciones de dirección y 3 periodos para dos niveles de marea. En la siguiente tabla se resume el oleaje propagado:

Dir	Tp (s)	Prof	Dir	Tp (s)	Prof
N	16.6	LL	NE	16.6	HL
N	13	LL	NE	13	HL
N	9.3	LL	NE	9.3	HL
N	16.6	HL	ENE	16.6	LL
N	13	HL	ENE	13	LL
N	9.3	HL	ENE	9.3	LL
NNE	16.6	LL	ENE	16.6	HL
NNE	13	LL	ENE	13	HL
NNE	9.3	LL	ENE	9.3	HL
NNE	16.6	HL	E	16.6	LL
NNE	13	HL	E	13	LL
NNE	9.3	HL	E	9.3	LL
NE	16.6	LL	E	16.6	HL
NE	13	LL	E	13	HL
NE	9.3	LL	E	9.3	HL

Tabla 8: Casos de oleaje propagados (Elaboración propia)

En todo caso la altura de ola significativa propagada es de 1 metro.

7.3.3. Puntos de cálculo

Las características de los puntos de cálculo se resumen en la siguiente tabla:

Punto	Coordenada X	Cordenada Y	Profundidad nivel alto (m)	Profundidad nivel bajo (m)
Arranque	7695775	540825	8.32	4.03
Tronco	7695875	540775	10.43	6.41
Morro	7696025	540725	12.07	8.05

Tabla 9: Puntos de cálculo del oleaje propagado (Elaboración propia)

7.3.4. Resultados

Una vez se ha ejecutado el modelo se obtienen dos fuentes de resultados. Por un lado se obtiene un archivo que muestra para cada punto:

- La nueva altura significativa
- El periodo medio
- El periodo pico
- La nueva dirección de oleaje
- La profundidad en el punto de cálculo
- El nivel del mar

A modo de ejemplo, se adjuntan los resultados del caso Norte con periodo 16.6 y nivel alto.

```
Run:01 Table:loc SWAN version:41.31A
```

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Tm01 [sec]	TPsmoo [sec]	Dir [degr]	Depth [m]	Watlev [m]
7695775.	540825.	0.23521	16.1310	16.6313	174.485	8.3200	4.0200
7695875.	540775.	0.97012	14.6892	16.4847	222.653	10.4300	4.0200
7696025.	540725.	1.10641	14.6164	16.4843	244.255	12.0750	4.0200

Tabla 10: Resultados de la propagación del oleaje Norte con Tp 16.6 s (Elaboración propia)

Por otro lado, para cada uno de los casos propagados se obtiene un mapa de distribución de altura significativa como se muestra en la siguiente imagen.

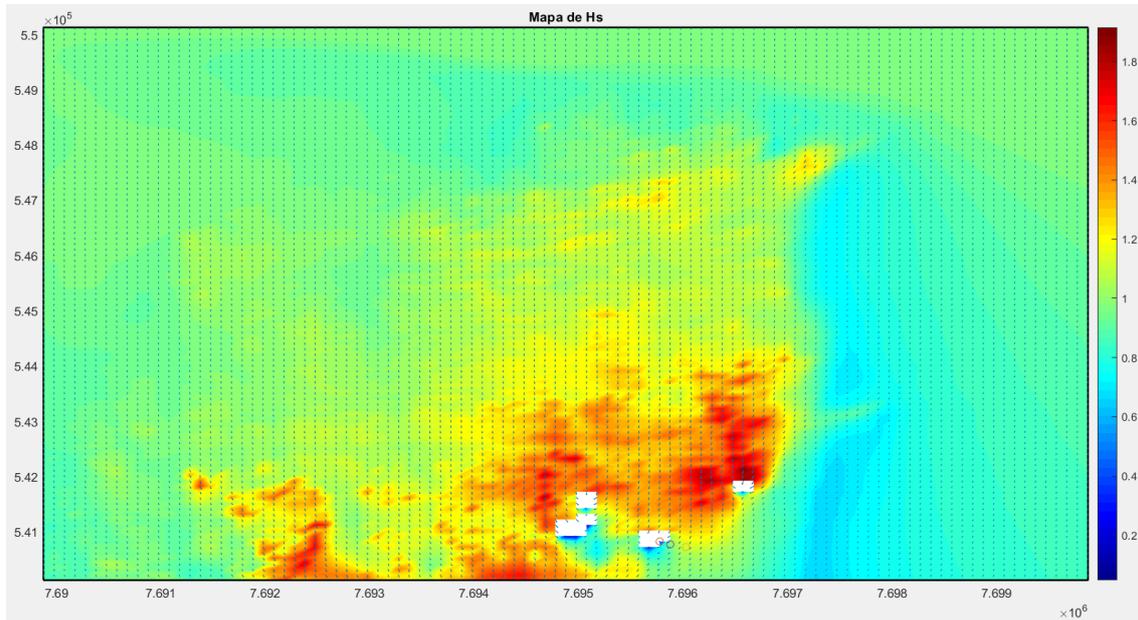


Imagen 35: Mapa de Hs del oleaje Norte con T_p 16.6 s (Elaboración propia)

8. Régimen extremal a pie de dique

Para cada uno de los 3 puntos citados anteriormente (arranque, tronco y morro) se ha determinado la función de distribución acumulativa de oleaje extremal a partir del oleaje transformado a pie de dique. La metodología empleada ha sido análoga a la descrita anteriormente. A continuación se incluyen los resultados obtenidos:

Arranque nivel bajo

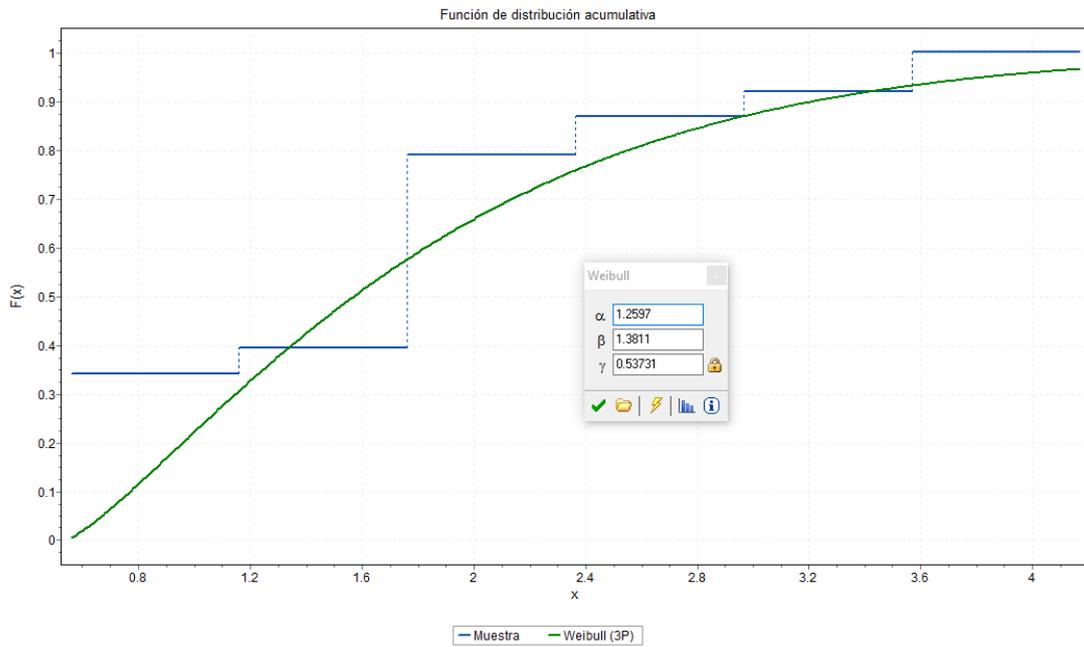


Imagen 36: Función de distribución en el arranque con nivel bajo (Elaboración propia)

Arranque nivel alto

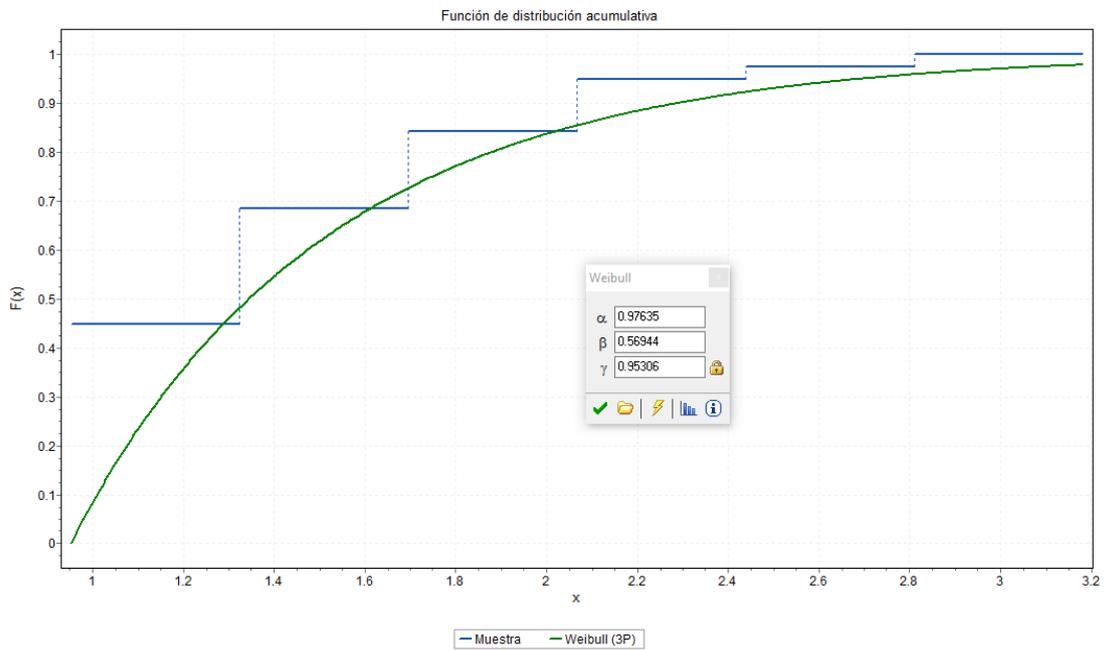


Imagen 37: Función de distribución en el arranque con nivel alto (Elaboración propia)

Tronco nivel bajo

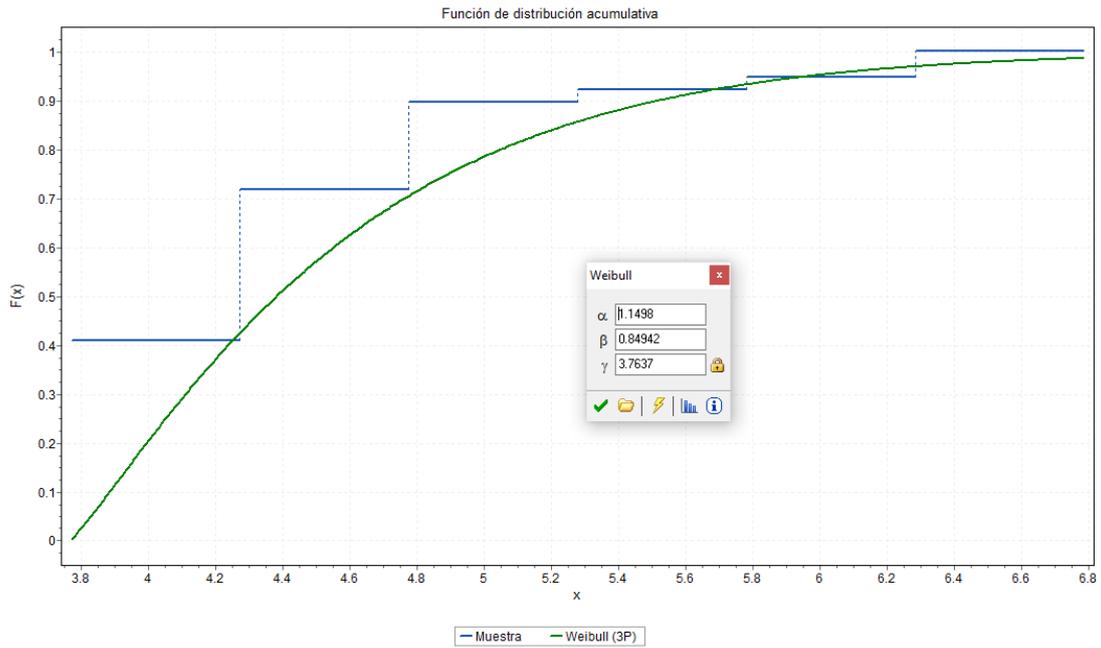


Imagen 38: Función de distribución en el tronco con nivel bajo (Elaboración propia)

Tronco nivel alto

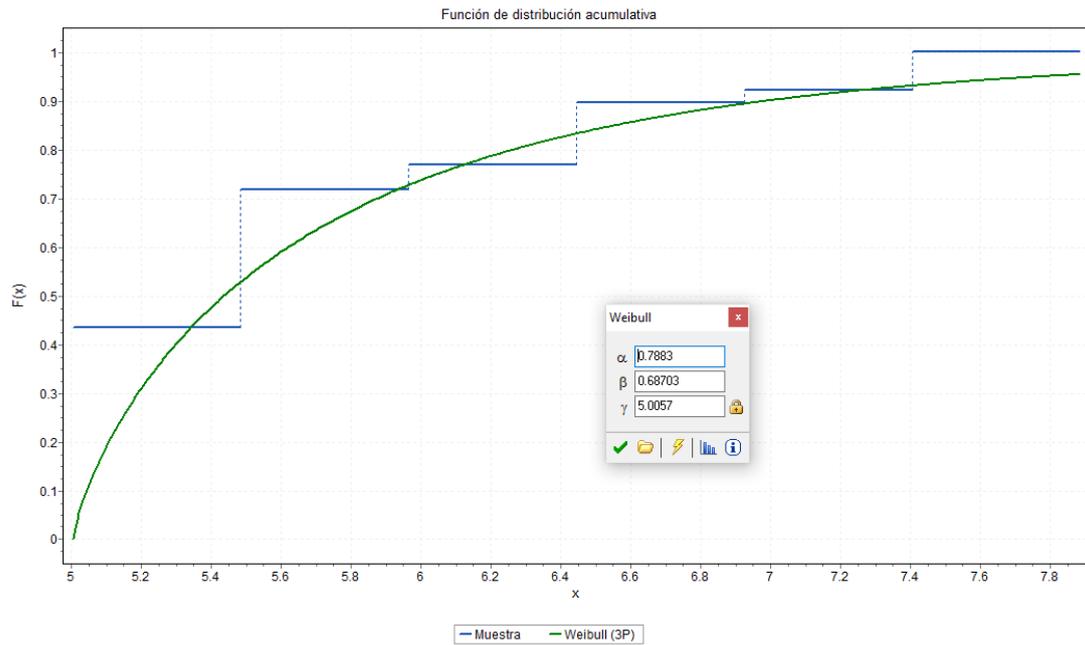


Imagen 39: Función de distribución en el tronco con nivel alto (Elaboración propia)

Morro nivel bajo

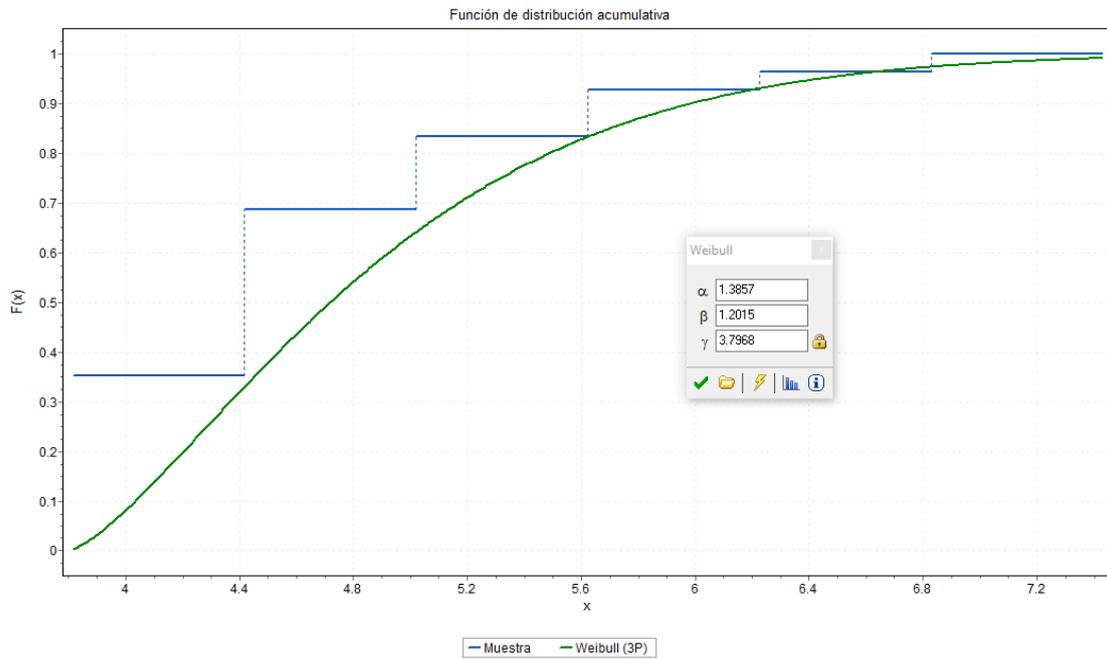


Imagen 40: Función de distribución en el morro con nivel bajo (Elaboración propia)

Morro nivel alto

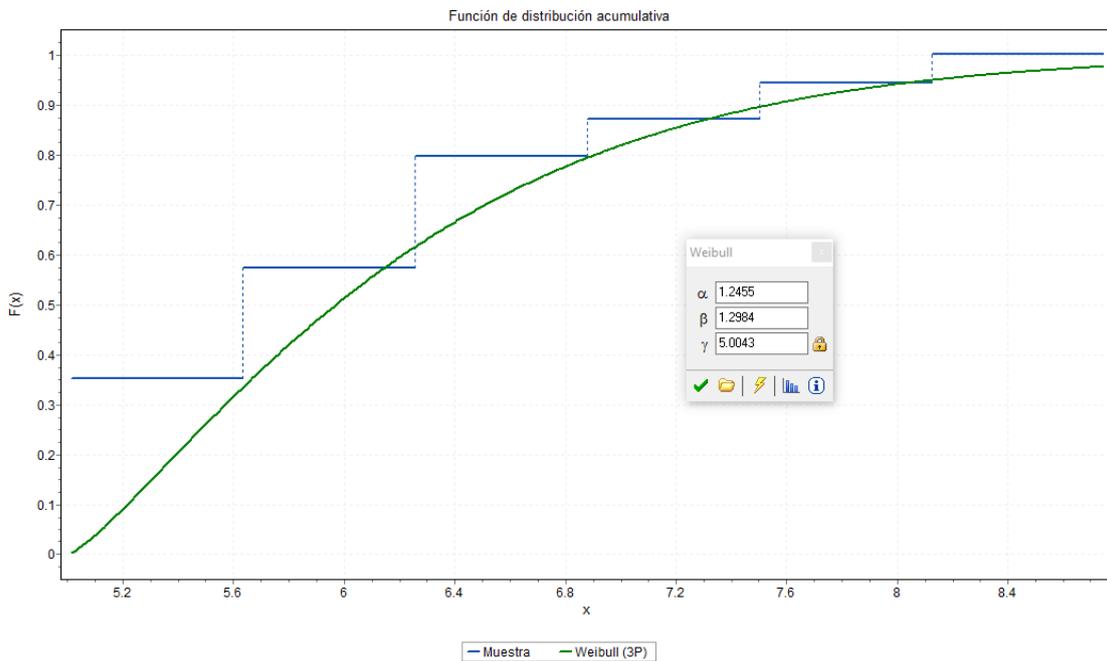


Imagen 41: Función de distribución en el morro con nivel alto (Elaboración propia)

Y por tanto, las alturas de ola significantes y periodos de pico para un periodo de retorno de 250 años son las que se resumen en la siguiente tabla.

	Arranque		Tronco		Morro	
	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Bajo	Nivel Alto
Hs (m)	3.2	2.3	5.5	7	6	7.5
Tp (s)	10.63	9.81	11.88	12.89	12.23	13.2

Tabla 11: Oleaje de diseño a pie de dique (Elaboración propia)

9. Hielo marino

Puesto que el puerto objeto de estudio se encuentra en latitudes superiores a las del círculo polar ártico, se considera oportuno estudiar la presencia de posible hielo marino que afecte al proyecto.

Se han analizado cartas de hielo marino en el periodo 1997-2000 y se concluye que a escala global no se observa presencia de hielo en los alrededores del puerto de Andenes y en general, no se observa hielo en toda la costa noruega aparte del archipiélago de Svalbard. Esto se debe a las corrientes cálidas que ascienden desde el océano Atlántico.

No obstante, debe considerarse que a nivel local puede encontrarse presencia de hielo en aguas someras y abrigadas como puede ser el interior del puerto. Esto afecta principalmente a pequeñas embarcaciones y no supone ninguna acción adicional sobre el dique objeto de diseño.

Se incluye a continuación la última carta de hielo analizada a modo de ejemplo, con fecha 28 de febrero de 2020.

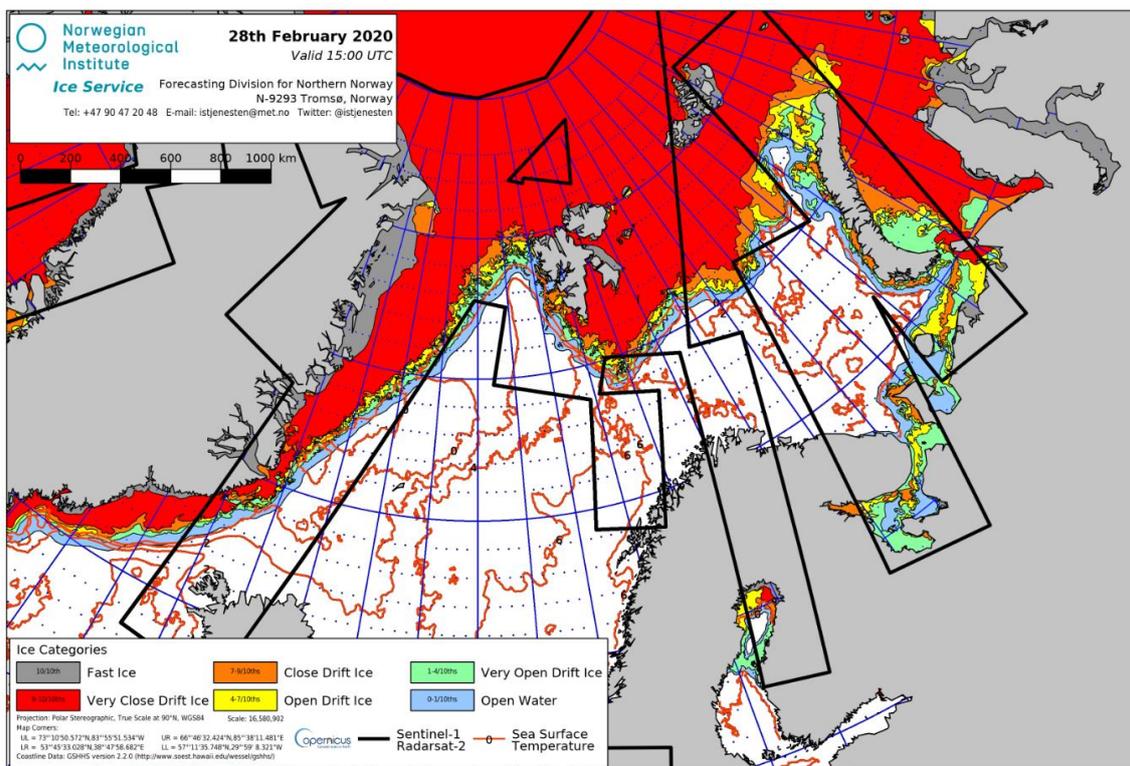


Imagen 42: Carta de hielo del 28 de febrero de 2020 (Cryo, 2020)

10. Referencias

Copernicus. (29 de 05 de 2020). Obtenido de Datos atmosféricos:

<https://www.copernicus.eu/es/acceso-los-datos>

Cryo. (25 de 05 de 2020). Obtenido de Ice Service Charts: <https://cryo.met.no/en/latest-ice-charts>

ECMWF. (25 de 5 de 2020). Obtenido de ECMWF Forecasts:

<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>

Kartverket. (25 de 5 de 2020). Obtenido de Sea level rise:

<https://www.kartverket.no/en/sehavniva/visualize-sea-level/>

NLS. (25 de 05 de 2020). Obtenido de Land uplift:

<https://www.maanmittauslaitos.fi/en/research/interesting-topics/land-uplift>

TuDelft. (09 de 05 de 2020). Obtenido de SWAN: <https://www.tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/hydraulic-engineering/sections/environmental-fluid-mechanics/research/swan/>

Wikipedia. (25 de 05 de 2020). Obtenido de Ajuste isostático glacial:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Ajuste_postglacial#:~:text=El%20ajuste%20postglacial%20\(%20ajuste,proceso%20conocido%20como%20depresi%C3%B3n%20isost%C3%A1tica.](https://es.wikipedia.org/wiki/Ajuste_postglacial#:~:text=El%20ajuste%20postglacial%20(%20ajuste,proceso%20conocido%20como%20depresi%C3%B3n%20isost%C3%A1tica.)

Wikipedia. (28 de 05 de 2020). Obtenido de Programa Copérnico:

https://es.wikipedia.org/wiki/Programa_Cop%C3%A9rnico

11. Apéndice: Scripts

11.1. Ajuste Weibull

```
Public Function RangoMediana(alfa As Single, n As Long, i As Long) As Double
'*****
'*****
'*Esta función calcula el rango de mediana en función de la
distribución F. *
'*alfa representa el nivel de significancia con el que se calcula la
dist. F.*
'*n es el número de puntos de la muestra. *
'*i es el orden de falla. *
'*****
'*****
    Dim a As Double, f As Double
    On Error GoTo ManejarError
    a = i / (n - i + 1)
    f = Application.WorksheetFunction.FInv(alfa, 2 * (n - i + 1), 2 *
i)
    RangoMediana = a / (f + a)
Salir:
    Exit Function
ManejarError:
    Select Case Err.Number
        Case 1004
            MsgBox "Los argumentos (n) o (i) no pueden ser cero.",
vbCritical + vbOKOnly
        Case Else
            MsgBox "Se ha generado el error " & Err.Number & _
Err.Description, vbCritical + vbOKOnly
    End Select
    Resume Salir
End Function
```

11.2. Script SWAN

```
PROJECT 'ANDENES' '01'  
SET LEVEL 4.02  
MODE STAT  
COORD CART  
CGRID REG 7689875 540125 0 10000 10000 100 100 CIRCLE 360 0.05 0.5  
INPGRID BOT REG 7689875 540125 0 200 200 50 50 EXC -99  
READINP BOT 1 'zbat200x200.bot' 1 0 FREE  
BOUN SHAP JONSWAP 3.3  
BOUND SIDE N CCW CON PAR 1 9.3 180 2  
BOUND SIDE E CCW CON PAR 1 9.3 180 2  
BOUND SIDE W CCW CON PAR 1 9.3 180 2  
OFF QUAD  
WCAP  
BREA  
DIFFR  
NUM ACCUR STAT MXITST=50  
POINTS 'loc' FILE 'punto.loc'  
TABLE 'loc' HEAD 'table1' XP YP HS TM01 TPS DIR DEP WATLEV  
BLOCK 'COMPGRID' NOHEADER 'salidal.mat' LAY 3 XP YP DEP HSIGN TM02 TPS  
DIR  
COMPUTE  
STOP
```



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N°5: Procedencia y Disponibilidad de Materiales



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMÓN MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	5
2. Requerimiento de materiales.....	5
3. Disponibilidad de materiales.....	5
3.1. Canteras y graveras	5
3.2. Plantas de hormigón	7
4. Bibliografía	8

Índice de imágenes

Imagen 1: Depósitos de material granular.....	6
---	---

Índice de tablas

Tabla 1: Requerimiento de materiales.....	5
Tabla 2: Fracciones del material.....	6
Tabla 3: Canteras de escollera disponibles	6
Tabla 4: Plantas de hormigón disponibles	7

1. Objeto

El presente anejo tiene por objeto analizar el entorno de la obra (puerto pesquero de Andenes, Andøy-Noruega) para determinar la posible procedencia de los materiales necesarios. En primer lugar se definirán los tipos de materiales que son necesarios para la obra y posteriormente las compañías que por su proximidad podrían suministrar dichos materiales.

Determinar el origen de los materiales es necesario, pues va a influir en el coste de la obra y las emisiones de carbono. Además, analizando la disponibilidad de materiales se justifica la viabilidad constructiva de la obra.

2. Requerimiento de materiales

En función de la tipología elegida, se van a requerir de los siguientes materiales:

Material:	Tipología o sección
Hormigón en masa	Cubo o Cubípodo
Todo uno	Núcleo del dique
Escollera	Manto principal, capa de filtro o berma de pie

Tabla 1: Requerimiento de materiales (Elaboración propia)

3. Disponibilidad de materiales

3.1. Canteras y graveras

El instituto geológico de Noruega dispone de una aplicación que registra las principales fuentes de materiales naturales para la industria de la construcción. La aplicación proporciona información sobre depósitos, volúmenes y calidades.

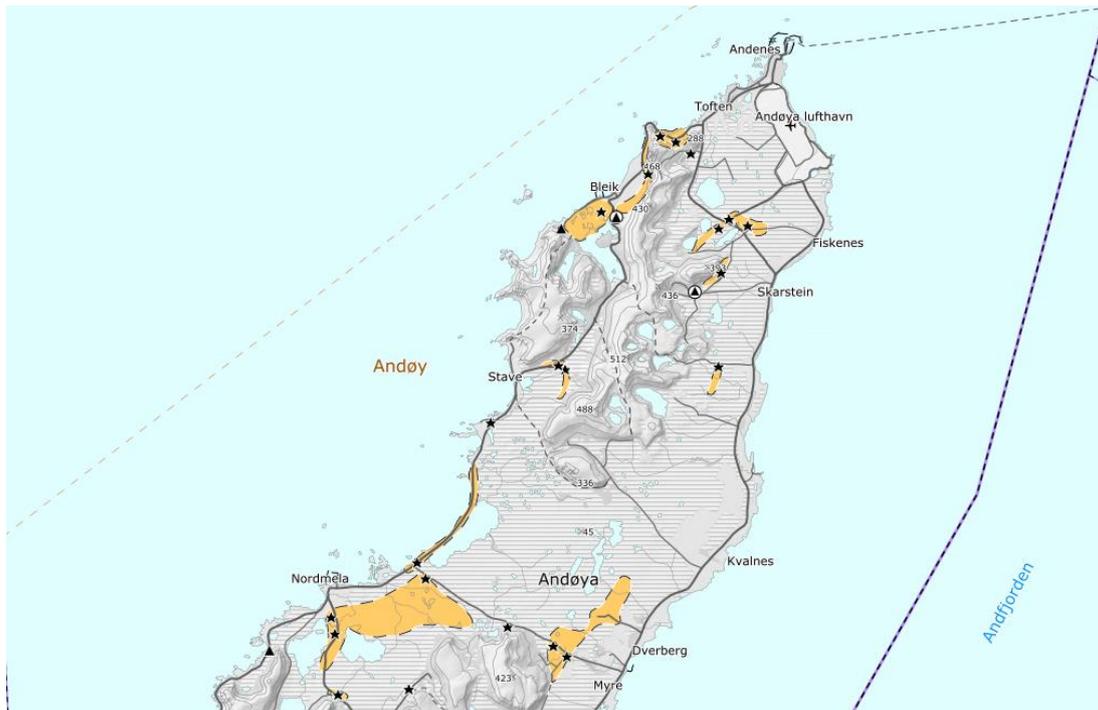


Imagen 1: Depósitos de material granular (Geological Survey of Norway, 2020)

Como se puede apreciar en la imagen, en la propia isla encontramos gran cantidad de material granular (resaltado en amarillo). No obstante, si se analiza la granulometría de estos materiales podemos apreciar que solo el 1% esta constituido por bloques de escollera de gran tamaño y el 14 % por todo uno.

<u>Fracción</u>	<u>Cantidad</u>
Bloques	1%
Todo uno	14%
Grava	30%
Arena	55%

Tabla 2: Fracciones del material (Elaboración propia)

Por lo que la disponibilidad de material para el núcleo está garantizada.

En cuanto al material de escollera (piedra natural de gran tamaño), se han identificado las siguientes canteras próximas a la ubicación de la obra. Se resalta además si disponen de instalaciones de transporte marítimo directas.

<u>Empresa</u>	<u>Transporte terrestre</u>	<u>Transporte marítimo</u>	<u>Transporte marítimo directo</u>
Gunnar Holth Grusforretning AS	131 km	90 km	Si
Miljøkalk AS	324 km	159 km	Si
Bergneset Pukk & Grus AS	177 km	168 km	Si

Tabla 3: Canteras de escollera disponibles (Elaboración propia)

3.2. Plantas de hormigón

A continuación, se enumeran las plantas de hormigón más próximas a la ubicación de la obra. En este caso también se analiza si el transporte marítimo de materiales es posible.

<u>Empresa</u>	<u>Tranposte terrestre</u>	<u>Transporte marítimo</u>
Vesterålsbetong AS	113 km	-
Hålogaland Grus & Betong AS	174 km	67 km
Harstadbygg Entreprenør AS	174 km	67 km

Tabla 4: Plantas de hormigón disponibles (Elaboración propia)

Como se puede apreciar, debido a la compleja orografía noruega, el transporte marítimo presenta grandes ventajas frente al terrestre, por lo que el empleo de éste deberá ser analizado en más detalle en etapas de proyecto más avanzadas.

4. Características de los materiales de la zona

Un aspecto fundamental a tener en cuenta antes de proceder con el diseño del dique es analizar y estudiar la naturaleza de los materiales de la zona, principalmente la densidad del mismo y el tamaño máximo de escollera que se puede conseguir.

Analizando el estado del arte de la construcción de diques en los países nórdicos, podemos observar que las rocas tienen densidades superiores a lo habitual:

Harbour/ location	Country	Construct finished	H _s (m)	T _p (s)	Angle (°)	Total depth on design WL (m)	Stone class at the edge of the berm on trunk section					Experienced storm (m or % of DW)	Reshaping	
							Rock property			W _{min} -W _{max} (t)	W ₅₀ (t)		(% of length of trunk)	(% of width of trunk)
							Type	Quality	(t/m ³)					
Akranes	Iceland	1991	3,8	19		11,7	Basalt	Good	2,8	4,0 - 8,0	6,0	80%	0%	0%
Olafsvik	Iceland	1995	4,4	10		10,7	Basalt	Good	2,8	4,0 - 8,0	5,3	70%	0%	0%
Bolungarvik	Iceland	1993	6,3	17		11,5	Basalt	Good	2,8	4,0 - 10,0	6,0	100%	5%	10%
Blönduos	Iceland	1994	4,8	12		9,5	Basalt	Good	2,8	1,0 - 6,0	2,7	90%	5%	10%
Skagstrond	Iceland	1992	3,5	15		8,0	Basalt	Good	2,8	5,0 - 8,0	6,0	80%	0%	0%
Dalvik	Iceland	1995	2,5	8		10,3	Basalt	Excellent	2,8	1,5 - 4,0	2,3	70%	0%	0%
Husavik	Iceland	1989	4,0	16	45	9,7	Basalt	Good	2,9	1,0 - 5,0	2,3	90%	0%	0%
Bakkafjordur	Iceland	1983	4,8	12		10,5	Basalt	Poor	2,85	2,0 - 6,0	3,0	100%	100%	100%
Helgavik	Iceland	1986	5,9	10	45	28,0	Basalt	Good	2,85	1,7 - 7,0	3,2	80%	0%	0%
Keflavik	Iceland	1996	3,7	10		19,5	Basalt	Good	2,85	5,0 - 8,0	6,0	70%	0%	0%
Árvíksand	Norway	1991	6,4 ¹	15 ¹	~ 0	12	Granoblastic gneiss	Poor, fissures	2,8	2,5 - 10 ²	4,4 ²	Unknown ³	0	0
Mortavika	Norway	1992	6,5 ⁴	15,6 ⁶	0 - 45	22	Tonalitic gneiss	Good	2,8	W _{min} = 5,5 ⁵ W _{max} = 3,3	8,0 ⁵ 5,5	4,6 - 5,8 ⁶	0%	0%
Sirevåg	Norway	8	7,0	14,0	0	17		Excellent	2,7	20 - 30			~100 m ~ 30%	~13 m ~ 85% ⁷
St.Georg	USA	1987	6,0-6,4	16,9	0	8,5	Basalt	Good	2,7	1,7 - 10,0	4,0	100%	100%	100%
Sergripe	Brazil	1994	4,0	10		12,7	Gneiss/granit	Good	2,8	1,0-4,0	2,5	~70%		

Tabla 5: Características de las escolleras empleadas en diversos diques (Maritime Navigation Commission, 2003)

Como se puede apreciar en la tabla anterior, las densidades habituales se sitúan en el entorno de 2.8 t/m³. Será esta la densidad que se emplee para el diseño de las alternativas de escollera.

El segundo factor a tener en cuenta es cual es el máximo peso de escollera que se puede obtener.

Se han encontrado registros en los que se especifica que se puede encontrar con facilidad escolleras de 10 t. En los últimos años, se han empezado a emplear escolleras de gran peso (10-20 t) y escollera de gran tamaño (20-30 t).

Por lo que para este estudio se considerará que el tamaño máximo de escollera que se puede emplear para las partes de la estructura más expuestas es de 30 a 35 t.

4. Bibliografía

Geological Survey of Norway. (01 de 06 de 2020). Obtenido de The geology of norway:
<https://www.ngu.no/en/topic/geology-norway>

Maritime Navigation Commission. (2003). *STATE-OF-THE-ART OF DESIGNING AND CONSTRUCTING BERM BREAKWATERS*. Bruselas.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N°6: Bases de diseño



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1.	Introducción	5
2.	Índice de repercusión económica	5
3.	Índice de repercusión social y ambiental	7
4.	Vida útil de la obra	8
5.	Probabilidad de fallo durante el período de servicio	9
6.	Periodo de retorno.....	9
7.	Índice de repercusión económica operativo (IREO).....	10
8.	Índice de repercusión social y ambiental operativo (ISAO)	11
9.	Número medio de paradas	11
10.	Duración máxima de una parada	12
11.	Valores recomendados.....	12
12.	Referencias.....	17

Índice de tablas

Tabla 1: Vida útil en función del IRE.....	9
Tabla 2: Probabilidades de fallo en función del ISA.....	9
Tabla 3: Probabilidad de fallo operativo en función del IREO	11
Tabla 4: Número máximo de fallos en función del ISAO.....	12
Tabla 5: Duración máxima de una parada en función de IREO e ISAO	12
Tabla 6: IRE en función del tipo de área abrigada.....	13
Tabla 7: ISA en función del tipo de área abrigada	14
Tabla 8: IREO y operatividad mínima en función del tipo de área abrigada.....	15
Tabla 9: ISAO y número máximo de paradas anuales en función del tipo de área abrigada	16

1. Introducción

El objeto del presente documento es determinar el carácter general y operativo de la obra de defensa de la bocana este del puerto de Andenes (Andøy, Noruega).

Cualquier infraestructura civil repercute en la sociedad en términos económicos, sociales y ambientales, por lo que es importante cuantificar, antes de materializar dicha infraestructura, en qué medida lo hace.

En este documento para lograr tal fin se seguirán los procedimientos establecidos en la “ROM 0.0-01 Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias”.

En primer lugar, se determinará el carácter general de la obra, cuantificando las repercusiones económicas, sociales y ambientales en caso de fallo de la infraestructura. Para ello se determinaron los índices:

- Índice de Repercusión Económica (IRE)
- Índice de Repercusión Social y Ambiental (ISA)

Dichos índices servirán para fijar, posteriormente, la vida útil de la obra y los periodos de retorno de los principales agentes climáticos.

Por otro lado, se valorará el carácter operativo de la obra a través de los siguientes índices:

- Índice de Repercusión Económica Operativo (IREO)
- Índice de Repercusión Social y Ambiental Operativo (ISAO)

Por último, y como medida de verificación, se compararán los resultados obtenidos con los que proporciona dicha normativa para puertos pesquero.

2. Índice de repercusión económica

De acuerdo con la ROM 0.0-01, este índice 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.

El IRE se define por la siguiente expresión:

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

Según el artículo 2.7.1.4.1 de la ROM 0.0-01, en el caso de que no se realice una determinación detallada del C_{RI} , el valor del IRE puede estimarse cualitativamente por el método que a continuación se describe.

El cociente $\frac{C_{RI}}{C_O}$, puede estimarse cualitativamente mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{C_{RI}}{C_O} = C * [A + B]$$

Siendo, (A) el parámetro que valora el ámbito del sistema económico y productivo, (B) la importancia estratégica del sistema económico y productivo y (C) la importancia de la obra para el sistema económico y productivo al que sirve.

Coeficiente A:

En función del ámbito:

- Local (1)
- Regional (2)
- Nacional/Internacional (5)

Coeficiente B:

En función de la importancia estratégica del sistema económico y productivo:

- Irrelevante (0)
- Relevante (2)
- Esencial (5)

Coeficiente C:

En función de la importancia de la obra para el sistema económico y productivo:

- Irrelevante (0)
- Relevante (1)
- Esencial (2)

Además, la ROM 0.0-01 define los costes C_{RD} y C_O como:

C_{RD} : "Coste de inversión de las obras de reconstrucción de la obra marítima a su estado previo, en el año en que se valoren los costes por cese o afección de las actividades económicas directamente relacionadas con la obra. A falta de estudios de detalle, simplificada, podrá considerarse que este coste es igual a la inversión inicial debidamente actualizada al año citado."

C_O : "Parámetro económico de adimensionalización. Su valor depende de la estructura económica y del nivel de desarrollo económico del país donde se vaya a construir la obra, variando, en consecuencia, con el transcurso del tiempo, tomándose, en España, para el año horizonte en los que se valoran los costes C_{RD} y C_{RI} , $C_O = 3$ Meuros."

En función de lo expresando anteriormente, podemos estimar el valor del IRE en:

$$\frac{C_{RI}}{C_O} = 1 * [2 + 2] = 4M€$$

$$IRE = 4 + \frac{5}{3} = 5.6$$

En función del valor del índice de Repercusión Económica IRE, las obras marítimas se clasifican en tres tipos correspondientes a tres subintervalos $R_i, i = 1, 2, 3$

- R_1 , Obras con repercusión económica baja: $IRE \leq 5$
- R_2 , Obras con repercusión económica media: $5 < IRE \leq 20$
- R_3 , Obras con repercusión económica alta: $IRE > 20$

Por lo que en este caso la obra tiene una repercusión económica media.

3. Índice de repercusión social y ambiental

El índice de repercusión social y ambiental estima de manera cualitativa el impacto social y ambiental esperable en el caso de producirse la destrucción o la pérdida de operatividad total de la obra marítima, valorando la posibilidad y alcance de, (1) pérdidas de vidas humanas, (2) daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico y (3) de la alarma social generada, considerando que el fallo se produce una vez consolidadas las actividades económicas directamente relacionadas con la obra.

Este índice se define de la siguiente forma:

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

Siendo ISA_1 el subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas; ISA_2 el subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico e ISA_3 el subíndice de alarma social.

Al igual que con el IRE, la ROM 0.01-01 proporciona una metodología aproximada cualitativa para la estimación del ISA.

Cálculo del subíndice ISA_1

Subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas. Se asignarán los siguientes valores en función de dicha posibilidad y alcance.

- Remoto (0): Es improbable que se produzcan daños a personas
- Bajo (3): La pérdida de vidas humanas es posible pero poco probable (accidental), afectando a pocas personas
- Alto (10): La pérdida de vidas humanas es muy probable, pero afectando a un número no elevado de personas
- Catastrófico (20): La pérdida de vidas humanas y daños a las personas es tan grave que afecta a la capacidad de respuesta regional.

Cálculo del subíndice ISA_2

Subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico-artístico. Se asignarán los siguientes valores en función de la posibilidad, persistencia e irreversibilidad de daños en el medio ambiente o en el patrimonio histórico-artístico,

- Remoto (0): es improbable que se produzcan daños ambientales o al patrimonio.
- Bajo (2): Daños leves reversibles (en menos de un año) o pérdidas de elementos de escaso valor.
- Medio (4): Daños importantes pero reversibles (en menos de cinco años) o pérdidas de elementos significativos del patrimonio.
- Alto (8): Daños irreversibles al ecosistema o pérdidas de unos pocos elementos muy importantes del patrimonio.

- Muy Alto (15): daños irreversibles al ecosistema, implicando la extinción de especies protegidas o la destrucción de espacios naturales protegidos o un número elevado de elementos importantes del patrimonio.

Cálculo del subíndice ISA_3

Subíndice de alarma social. Se asignarán los siguientes valores en función de la intensidad de la alarma social generada,

- Bajo (0): No hay indicios de que pueda existir una alarma social significativa asociada al fallo de la estructura
- Medio (5): Alarma social mínima asociada a valores de los subíndices ISA_1 e ISA_2 altos.
- Alto (10): Alarma social mínima debida a valores de los subíndices ISA_1 , catastrófico e ISA_2 , muy alto.
- Máxima (15): Alarma social máxima

En función de lo expresando anteriormente, podemos estimar el valor del ISA en:

- $ISA_1 = 3$
- $ISA_2 = 2$
- $ISA_3 = 0$

$$ISA = 3 + 2 = 5$$

En función del valor del índice de Repercusión social y ambiental ISA , las obras marítimas se clasifican en cuatro tipos correspondientes a cuatro subintervalos $S_i, i = 1, 2, 3, 4$

- S_1 , Obras sin repercusión social y ambiental significativa: $ISA \leq 5$
- S_2 , Obras con repercusión social y ambiental baja: $5 < ISA \leq 20$
- S_3 , Obras con repercusión social y ambiental alta: $20 < ISA \leq 30$
- S_4 , Obras con repercusión social y ambiental muy alta: $ISA > 30$

Como se puede apreciar, en este caso se obtiene que la obra no tiene una repercusión social y ambiental significativa, no obstante, este valor va a condicionar el periodo de retorno del oleaje sobre la infraestructura, y hay que tener en cuenta que la norma se está aplicando para otro país.

En países con un desarrollo económico alto es más conveniente diseñar infraestructuras más duraderas a largo plazo, por lo que se considerará que la obra se encuentra dentro del grupo de obras con repercusión social y ambiental baja.

4. Vida útil de la obra

La ROM 0.0-01 en el artículo 2.10.1.1 establece la vida útil mínima de la obra. Se especifica que la duración de la fase de proyecto servicio, V_m , o vida útil será, como mínimo, el valor consignado en la siguiente tabla, en función del IRE, índice de repercusión económica de la obra marítima.

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

Tabla 1: Vida útil en función del IRE (Gobierno de España. Ministerio de Fomento, 2001)

Por lo que para la obra objeto de estudio la vida útil será de 25 años.

5. Probabilidad de fallo durante el período de servicio

De acuerdo con el artículo 2.10.2.1. de la ROM 0.0-01, la probabilidad conjunta de fallo del tramo de obra frente a los modos de fallo principales adscritos a los estados límite último y de servicio no podrán exceder los valores consignados en las siguientes tables en su vida útil:

ISA	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
P_{fEU}	0.20	0.10	0.01	0.0001
β_{EU}	0.84	1.28	2.32	3.71

ISA	< 5	5 -19	20 -29	≥ 30
P_{fES}	0.20	0.10	0.07	0.07
β_{ES}	0.84	1.28	1.50	1.50

Tabla 2: Probabilidades de fallo en función del ISA (Gobierno de España. Ministerio de Fomento, 2001)

Por lo que, para este caso, la probabilidad conjunta de fallo será de 0.1.

6. Periodo de retorno

Puesto que nos encontramos en un método de verificación de Nivel 1 con un tramo de obra cuyo carácter general es $IRE \leq 20$ e $ISA < 20$, es suficiente evaluar su seguridad frente a los modos de fallo principales, y el cálculo de la probabilidad de fallo se realizará conforme a lo siguiente:

$$P_{n,V} = 1 - [F_x(x)]^V = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^V$$

Siendo:

$P_{n,V}$: Probabilidad de fallo (%)

T_r : Periodo de retorno (años)

V : Vida útil (años)

Siendo por tanto el periodo de retorno: 237.78 años. (Se considerarán 250 años)

7. Índice de repercusión económica operativo (IREO)

El índice de repercusión económica operativo (IREO) valora cuantitativamente los costes ocasionados por la parada operativa del tramo de obra. En función de este índice, las obras marítimas se pueden clasificar en tres tipos correspondientes a tres subintervalos $R_{,i} i = 1, 2, 3$

- $RO_{,1} = \text{Obras con repercusión económica operativa baja: } IREO \leq 5$
- $RO_{,2} = \text{Obras con repercusión económica operativa media: } 5 < IREO \leq 20$
- $RO_{,3} = \text{Obras con repercusión económica operativa alta: } IREO > 20$

De forma simplificada, el Índice de Repercusión Económica Operativo, IREO se puede evaluar mediante la siguiente expresión:

$$IREO = (F) \cdot [(D) + (E)]$$

Donde D, E y F evalúan la simultaneidad, intensidad y adaptabilidad de la demanda a la situación de parada. Estos coeficientes se determinarán de la siguiente forma:

Coficiente de simultaneidad (D)

Caracteriza la simultaneidad del periodo de la demanda afectado por la obra y con el periodo de intensidad del agente que define el nivel de servicio. Se valorará por:

- Periodos no simultáneos (0)
- Periodos simultáneos (5)

Coficiente de intensidad (E)

Caracteriza la intensidad de uso de la demanda en el periodo de tiempo considerado, de acuerdo con el siguiente esquema:

- Poco intensivo (0)
- Intensivo (3)
- Muy intensivo (5)

Coficiente de adaptabilidad (F)

Caracteriza la adaptabilidad de la demanda y del entorno económico al modo de parada operativa, según los siguientes valores:

- Adaptabilidad alta (0)
- Adaptabilidad media (1)
- Adaptabilidad baja (3)

El base a lo anterior, el IREO se puede estimar en:

$$IREO = 3 \cdot [0 + 3] = 9$$

Por lo que se obtiene una obra con una repercusión operativa media.

Tal y como se especifica en el artículo 2.10.3.1 de la ROM 0.0-01 en la fase de proyecto, la operatividad del tramo frente a los modos principales adscritos a los estados límite de parada en condiciones de trabajo operativas normales será, como mínimo, el valor consignado en la siguiente tabla en función del IREO.

IREO	≤ 5	6 - 20	> 20
Operatividad, $r_{f,ELO}$	0.85	0.95	0.99
β_{ELO}	1.04	1.65	2.32

Tabla 3: Probabilidad de fallo operativo en función del IREO (ROM 0.0-01)

8. Índice de repercusión social y ambiental operativo (ISAO)

El índice de repercusión social y ambiental operativo 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:

- Pérdida de vidas humanas
- Daños en el medio ambiente y el patrimonio histórico-artístico
- Alarma social generada

El cálculo exacto se obtiene a partir de la siguiente expresión:

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

Donde:

- $ISAO_1$: Subíndice de posibilidad y alcance de pérdida de vidas humanas
- $ISAO_2$: Subíndice de daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico – artístico

$ISAO_3$: Subíndice de alarma social

En función del valor del índice de repercusión social y ambiental ISAO, los tramos de la obra marítima se clasificarán en cuatro tipos correspondientes a cuatro subintervalos:

- SO_1 : Obras si repercusión social y ambiental significativa, $ISAO < 5$
- SO_2 : Obras con repercusión social y ambiental baja, $5 \leq ISAO < 20$
- SO_3 : Obras con repercusión social y ambiental alta, $20 \leq ISAO < 30$
- SO_4 : Obras con repercusión social y ambiental muy alta, $ISAO \geq 30$

En aquellos casos en los que no sea posible calcular de forma exacta el ISAO, es posible calcularlo aplicando los mismos procedimientos descritos anteriormente para el cálculo aproximado del ISA, en este caso, 5.

9. Número medio de paradas

En el intervalo de tiempo que se especifique, siendo este generalmente un año y para aquellos casos en los cuales no haya sido especificado a priori el número medio de ocurrencias de todos los modos adscritos a los estados límite de parada, será, como máximo el valor consignado en la siguiente tabla.

ISAO	< 5	5 - 19	20 - 29	≥ 30
Número	10	5	2	0

Tabla 4: Número máximo de fallos en función del ISAO (ROM 0.0-01)

10. Duración máxima de una parada

En la fase de servicio y para aquellos casos en los que no haya sido especificado a priori, la duración máxima probable expresada en horas, una vez producida la parada, no podrá exceder el valor de la siguiente tabla en función del IREO e ISAO.

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

Tabla 5: Duración máxima de una parada en función de IREO e ISAO (ROM 0.0-01)

11. Valores recomendados

La ROM 1.0-09 en el artículo 2.8 presenta valores recomendados de IRE e ISA para obras de abrigo y defensa. A continuación se presentan dichos valores y se comparan con los contenidos anteriormente en función del tipo de área abrigada.

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 tráficos	r ₃	Alto	50	
		Puertos para tráficos especializados	r ₂ (r ₃) ¹	Medio (alto) ¹	25 (50) ¹	
	PUERTO PESQUERO		r ₂	Medio	25	
	PUERTO NÁUTICO-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	50
		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 M€ de coste de inversión inicial de la obra de abrigo.

Tabla 6: IRE en función del tipo de área abrigada (ROM 0.0-01)

El puerto objeto de estudio es principalmente pesquero, aunque alberga también áreas industriales y militares, así como pequeñas zonas náutico-deportivas. Como se puede apreciar, en todos estos casos el IRE es medio, y la vida útil mínima de 25 años. La infraestructura militar del puerto no se considera esencial para la defensa nacional y el tráfico industrial no está asociado al suministro energético ni a el suministro de materia prima estratégica.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA		P _{IELU}	P _{EELS}	
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

* PROTECCIÓN DE RELLENOS O MÁRGENES.

¹ En el caso de que en la superficie adosada al dique esté 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) (P_{IELU}=0.0001; P_{EELS} = 0,007).

² Se consideran mercancías peligrosas los grupos de de sustancias prioritarias incluidas en el anejo 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).

³ Se entiende como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquéllos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio.

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.

⁵ El índice ISA se elevará a s₄ cuando en caso de fallo pudieran resultar afectadas edificaciones u otras instalaciones industriales.

Tabla 7: ISA en función del tipo de área abrigada (ROM 0.0-01)

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

Tabla 8: IREO y operatividad mínima en función del tipo de área abrigada (ROM 0.0-01)

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA				ÍNDICE ISAO		N _{max}	
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 NÁUTICO-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 ₀₃) ²	Bajo (alto) ³	5 (2)	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES			s ₀₁ (s ₀₃) 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 incluidas en el anejo X de la Directiva Marco del Agua (Decisión 2455/2001/CEE), en el inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER: Decisión 2000/479/CE), y en el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías peligrosas (Real Decreto 145/1989). (Vre ROM 5.1).

² El índice ISAO se elevará a s₀₂ cuando la parada operativa pueda tener importantes consecuencias medioambientales.

³ El índice IREO deberá aumentarse a s₀₃ cuando su zona de afección sea urbana o industrial.

Tabla 9: ISAO y número máximo de paradas anuales en función del tipo de área abrigada (ROM 0.0-01)

Como se puede apreciar, en todos los casos se obtiene el valor recomendado por la ROM, por lo que los cálculos realizados se consideran válidos.

12. Referencias

ROM 0.0-01 (2001). Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias. Gobierno de España, Ministerio de Fomento. Madrid.

ROM 1.0-09 (2009). Rom 1.0-09 Bases y Factores para el proyecto, Agentes climáticos. Gobierno de España, Ministerio de Fomento. Madrid.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N^o7: Estudio de soluciones



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	6
2. Tipologías generales de las obras de abrigo	6
2.1. Diques verticales:	6
2.2. Diques en talud	7
2.3. Otras tipologías	7
3. Criterios para la selección de la tipología	10
3.1. Criterios de selección en función de los agentes climáticos	10
3.2. Criterios de selección en función del comportamiento del terreno	11
3.3. Idoneidad frente a los condicionantes morfológicos.....	11
3.4. Idoneidad frente a los condicionantes de los materiales y procesos constructivos...	11
3.5. Idoneidad frente a los requerimientos climáticos durante el uso y explotación	12
3.6. Idoneidad frente a los requisitos de conservación, reparación y desmantelamiento	13
3.7. Idoneidad frente a los requerimientos ambientales.....	13
4. Alternativas planteadas.....	14
4.1. Resultados de las alternativas.....	15
5. Metodología del análisis multicriterio	16
5.1. Criterio económico:.....	16
5.2. Criterio ambiental	18
5.3. Criterio funcional.....	21
5.4. Criterio estético.....	21
5.5. Coeficientes de ponderación.....	22
5.6. Resultados	22
6. Referencias.....	23

Índice de imágenes

Imagen 1: Sección tipo de dique vertical	6
Imagen 2: Sección tipo de dique en talud	7
Imagen 3: Dique vertical con paramento especial	8
Imagen 4: Dique vertical con manto de protección	8
Imagen 5: Dique mixto	9
Imagen 6: Dique berma	9
Imagen 7: Dique flotante	10
Imagen 8: Coste de construcción de las distintas alternativas	18
Imagen 9: Emisiones de CO2 de las distintas alternativas	21

Índice de tablas

Tabla 1: Criterios de selección en función de los agentes climáticos	11
Tabla 2: Criterios de selección en función del comportamiento del terreno	11
Tabla 3: Idoneidad frente a los condicionantes de materiales y procesos constructivos	12
Tabla 4: Idoneidad frente a los requerimientos climáticos	12
Tabla 5: Idoneidad frente a los requisitos de conservación, reparación y desmantelamiento ..	13
Tabla 6: Tipología más adecuada en función de los requerimientos ambientales	14
Tabla 7: Piezas de hormigón en masa para construir diques monocapa	14
Tabla 8: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de arranque	15
Tabla 9: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de tronco	15
Tabla 10: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de morro	16
Tabla 11: Peso de los elementos (t) del manto principal con escollera en colocación especial.	16
Tabla 12: Porosidades empleadas para las distintas alternativas	17
Tabla 13: Número de elementos, colúmenes y pesos para las distintas alternativas	17
Tabla 14: Coste del hormigón para la alternativa con cubípodos	17
Tabla 15: Coste del hormigón para la alternativa con cubos	18
Tabla 16: Coste de construcción de las distintas alternativas	18
Tabla 17: Factores de emisión de los materiales y maquinaria empleados	19
Tabla 18: Distancias de transporte consideradas	20
Tabla 19: Emisiones de CO2 de las distintas alternativas	21
Tabla 20: Coeficientes de ponderación del análisis multicriterio	22
Tabla 21: Tabla de puntuaciones del análisis multicriterio	22
Tabla 22: Asignación de puntuación a las distintas alternativas	22
Tabla 23: Matriz multicriterio	22

1. Objeto

En este anejo se propondrán, analizarán y compararán las distintas alternativas para la construcción del dique este del puerto de Andenes (Andøy, Noruega). Para tal fin, en primer lugar, se analizarán las distintas tipologías generales de obras de abrigo, eligiendo entre ellas la más favorable para el emplazamiento a estudiar. Posteriormente, dentro de esta tipología general escogida se propondrán diversas alternativas y se valorarán atendiendo a criterios estructurales, funcionales, estéticos, económicos y ambientales. Para tal fin se empleará un análisis multicriterio.

2. Tipologías generales de las obras de abrigo

La principal función de un dique de abrigo es la protección de las dársenas portuarias frente a la acción del oleaje. Existe una gran variedad de tipologías de diques, pero por criterios prácticos, una primera clasificación suele ser entre dique vertical y dique en talud.

2.1. Diques verticales:

Esta tipología de diques se caracteriza por ser la reflexión el proceso predominante sobre el oleaje. Su geometría se caracteriza por tener un paramento vertical en barlomar, y en la actualidad se suele materializar a partir de cajones de hormigón prefabricado que se emplazan aprovechando la propia flotabilidad del cajón.

Generalmente, esta tipología suele emplearse en zonas donde la rotura del oleaje es poco probable, siendo éste un factor determinante.

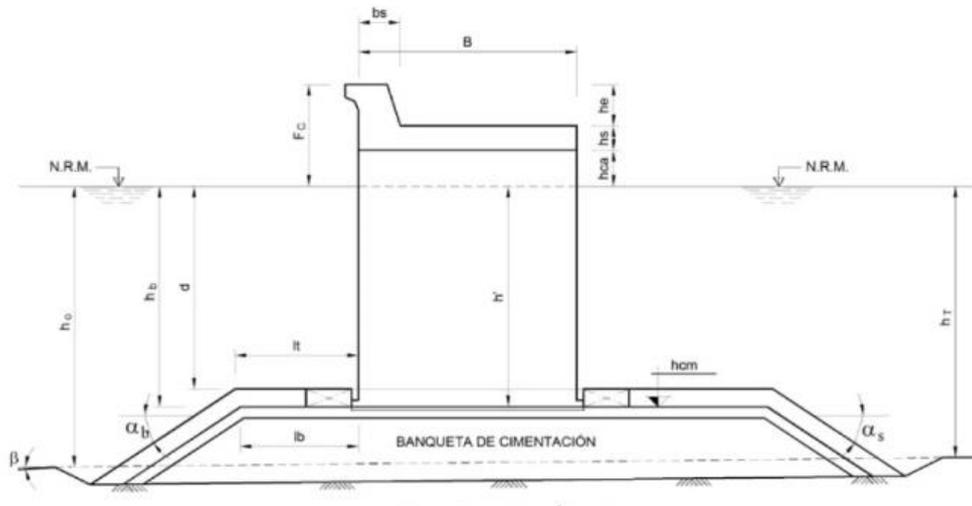


Imagen 1: Sección tipo de dique vertical (ROM 1.0-09, 2009)

2.2. Diques en talud

Los diques en talud se caracterizan, como su propio nombre indica, por materializar un talud a partir de material granular. El propio talud está formado a partir de una secuencia de capas diseñadas para minimizar la pérdida de material y absorber energía del oleaje.

El manto principal (aquel que recibe el impacto directo del oleaje) puede estar formado por piezas naturales (escollera) o piezas artificiales (hormigón) existiendo una gran variedad de éstas últimas que dan lugar a distintas alternativas posibles.

La capa de filtro, inmediatamente debajo del manto principal se encarga de proporcionar una buena base al manto principal y evita que los materiales del núcleo se escapen.

Por último, el núcleo constituye la parte más voluminosa de la infraestructura y se encarga de dotarla de robustez y evita la propagación de ondas a través del propio dique.

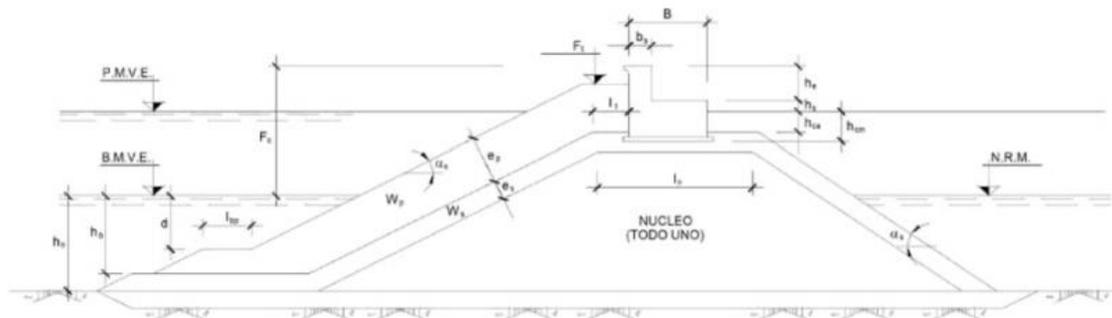


Imagen 2: Sección tipo de dique en talud (ROM 1.0-09, 2009)

En función de las características del oleaje, y principalmente el peralte de la ola y el talud del manto, el dique puede actuar como parcialmente reflejante o disipativo, y por tanto funciona razonablemente bien tanto para oleaje rompiente como no rompiente.

2.3. Otras tipologías

Pese a que el dique vertical y el dique en talud son los más extendidos y empleados, existen una gran cantidad de tipologías que surgen de la combinación de ambos o particularidades de diseño. A continuación se resumen algunos de ellos.

2.3.1. Dique vertical con paramento especial

Esta tipología de dique es idéntica a un dique vertical pero en la que se inclina, perfora o ranura la pared de barlomar para reducir la reflexión del oleaje.

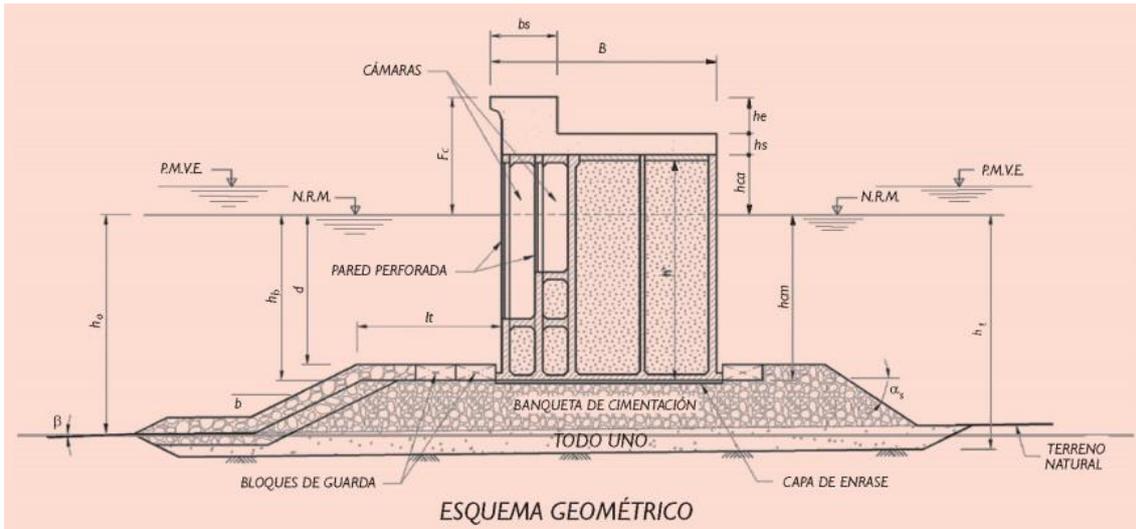


Imagen 3: Dique vertical con paramento especial (ROM 1.0-09, 2009)

2.3.2. Dique vertical con manto de protección

En esta tipología se construye un talud en la parte frontal de un dique vertical. Por tanto, podemos distinguir dos elementos estructurales, el talud de piezas y el paramento vertical. El propio talud actúa sobre el oleaje, transformando el funcionamiento del dique vertical de reflejante a parcialmente reflejante y disipativo.

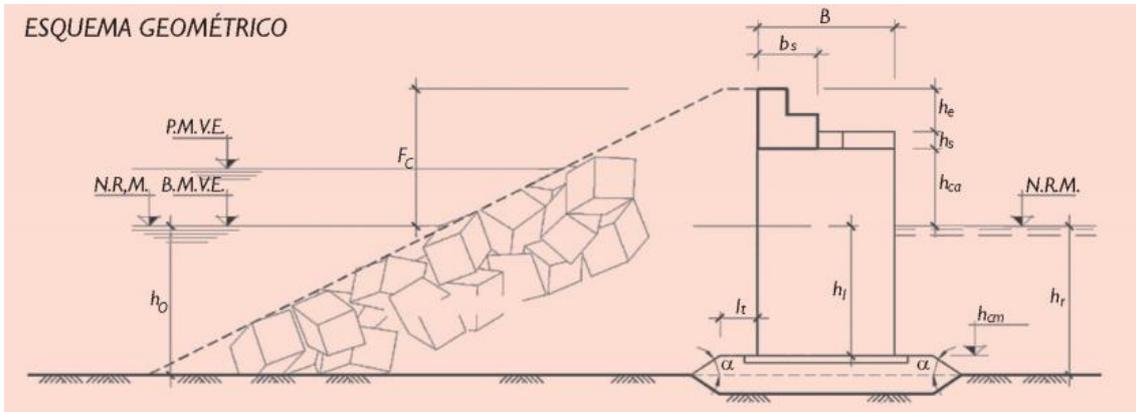


Imagen 4: Dique vertical con manto de protección (ROM 1.0-09, 2009)

2.3.3. Dique mixto

Esta tipología consiste en construir un dique vertical sobre un dique en talud. Se da cuando la cimentación del dique vertical ocupa una proporción notable de la profundidad tal que su presencia modifica significativamente la cinemática y dinámica de las oscilaciones del mar.

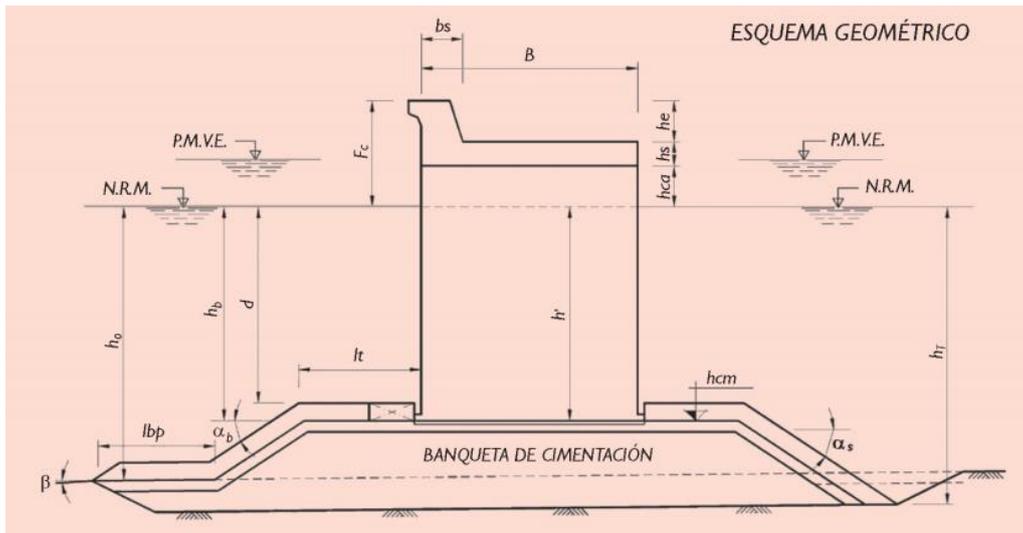


Imagen 5: Dique mixto (ROM 1.0-09, 2009)

2.3.4. Dique berma

Esta tipología se caracteriza porque la parte central es una continuación de la cimentación y está formado por materiales granulares con una granulometría no uniforme que se conoce como rip-rap. Su geometría se aproxima a una S tumbada. Dentro de esta tipología se encuentran otras tipologías como el dique berma con núcleo y mantos o el dique armado.

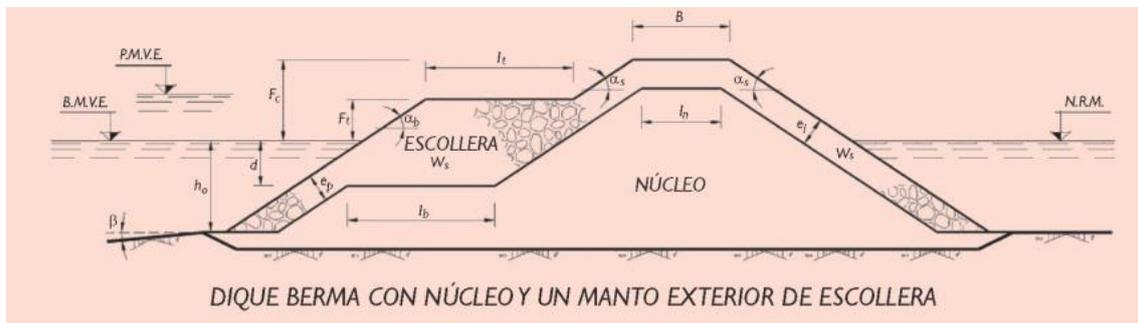


Imagen 6: Dique berma (ROM 1.0-09, 2009)

2.3.5. Dique flotante

El dique flotante se caracteriza por tener un cuerpo central que flota y se fija mediante cadenas ancladas al fondo y a muertos de hormigón. La geometría es prácticamente idéntica a la estructura principal de un dique vertical pero que flota. La principal aplicación de estos diques es en el control de olas de pequeña altura y periodo corto que no rompan.

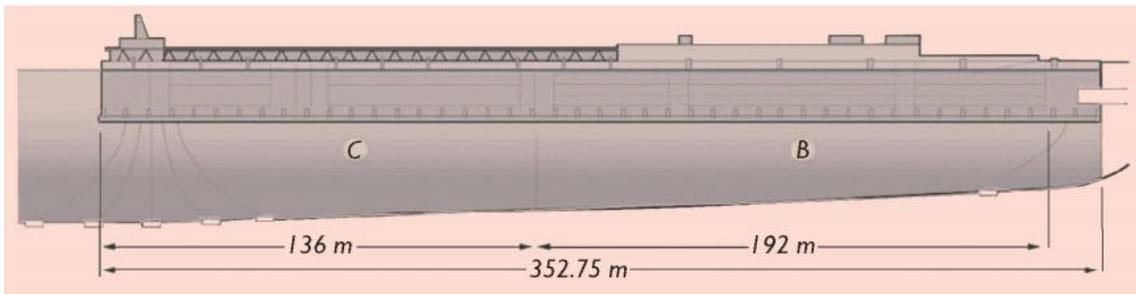


Imagen 7: Dique flotante (ROM 1.0-09, 2009)

2.3.6. Otras tipologías:

Se enumeran a continuación el resto de las tipologías no desarrolladas por ser empleadas con oleaje menor.

- Dique sumergido en talud
- Dique arrecife de escollera
- Diques de sección delgada
- Sistemas de pantallas múltiples
- Pantallas de pilotes
- Diques verticales porosos

3. Criterios para la selección de la tipología

La ROM 1.0-09 recomienda tener en cuenta los siguientes factores para la selección de la tipología:

- Los agentes del medio físico, del terreno, de uso y explotación y de los métodos y procedimientos constructivos.
- Los requerimientos de uso y explotación y a los condicionantes morfológicos, medioambientales, constructivos y de los materiales de mantenimiento, reparación y desmantelamiento existentes localmente.
- La morfodinámica litoral, la calidad de las aguas y el entorno ambiental.

Deberá optarse por la tipología más económica de entre las que satisfagan los dos primeros criterios, siempre que se cumplan las exigencias del tercer criterio.

3.1. Criterios de selección en función de los agentes climáticos

En función del oleaje y la profundidad del agua, las tipologías más convenientes son las que se resumen en la siguiente tabla:

Tipología dique	Oleaje en presencia del dique	Profundidad (m)
En talud	Todos	$0 \leq h_w < 35 - 45$
Vertical	No rotura	$15 \leq h_w < 40 - 50$
Mixto	No rotura	$20 \leq h_w < 60 - 80$
Berma	Todos	$0 \leq h_w < 35 - 40$
Sumergido	Todos	Todas
Flotante y pantallas	Pequeño, periodo corto, no rotura	Todas

Tabla 1: Criterios de selección en función de los agentes climáticos (ROM 1.0-09, 2009)

Como puede apreciarse, para el caso que nos ocupa con oleaje principalmente rompiente y profundidades menores a 15 metros se considerarán las tipologías de dique en talud y berma.

3.2. Criterios de selección en función del comportamiento del terreno

Otro factor fundamental a la hora de escoger una tipología es la adecuación del suelo marino para soportar los esfuerzos transmitidos por la estructura.

En este caso, encontramos un fondo formado por roca y/o suelos granulares. Generalmente los fondos rocosos son aptos para soportar cualquier tipo de tipología con independencia del grado de deterioro. Lo mismo ocurre con los suelos granulares debido a que poseen una alta permeabilidad que les permite drenar el fluido intersticial con relativa facilidad.

Tipo de suelo	Tipología
Roca	Todas
Granulares flojos	Algunas
Granulares duros	Todas
Cohesivos blandos o rellenos de baja calidad	Evitar diques verticales
rellenos homogéneos y permeables	Todas

Tabla 2: Criterios de selección en función del comportamiento del terreno (ROM 1.0-09, 2009)

3.3. Idoneidad frente a los condicionantes morfológicos

Se debe estudiar si se dispone de suficientemente espacio en planta para ubicar la tipología seleccionada. Así mismo, se deberá analizar si las tipologías son compatibles con las pendientes del terreno natural. La única tipología que permite evitar esta tipología es el dique flotante, pues no queda vinculado directamente al terreno.

3.4. Idoneidad frente a los condicionantes de los materiales y procesos constructivos

Se debe tener en cuenta la disponibilidad de materiales, tanto en cantidad como en calidad, así como los medios constructivos, marítimos y terrestres, ya que estos condicionan de forma importante la decisión sobre la tipología de dique de abrigo.

Todos estos aspectos se valoran y analizan en el Anejo N°5: Procedencia y disponibilidad de materiales.

Tipología	Vol. Préstamo	Medios constructivos	Adaptabilidad
En talud	Muy grande	Carga, vertido; grúa importante	Posible
Vertical	Pequeño	Fondeo cajón y vertido	Difícil
Mixto	Grande	Carga, vertido; grúa y fondeo	Muy difícil
Berma	Muy grande	Vertido y grúa	Posible
Sumergido	Según objetivo	Vertido	Posible
Flotante	Nulo	Flotantes e hinca	Posible
Pantallas	Nulo	Flotantes e hinca	Posible

Tabla 3: Idoneidad frente a los condicionantes de materiales y procesos constructivos (ROM 1.0-09, 2009)

3.5. Idoneidad frente a los requerimientos climáticos durante el uso y explotación

Cuando se elige una tipología, se debe tener en cuenta la influencia que esta tendrá en su entorno inmediato. El reparto de la energía incidente del oleaje en flujos reflejados puede ser determinante para la navegabilidad de una embarcación fuera del puerto. La situación ideal se conseguiría absorbiendo la totalidad de la energía del oleaje, no obstante, a efectos prácticos esto actualmente es imposible.

El dique vertical es el que menos energía absorbe. Por su parte los diques en talud y berma son los que menos energía reflejan y los que más disipan.

Tipología	Partición de la energía
En talud	Disipación y reflexión
Vertical	Reflexión
Mixto	Disipación y reflexión
Berma	Disipación
Sumergido	Disipación, reflexión y transmisión
Flotante	Reflexión y transmisión
Pantallas	Reflexión y transmisión

Tabla 4: Idoneidad frente a los requerimientos climáticos (ROM 1.0-09, 2009)

En el caso que aplica a este proyecto, puesto que la navegabilidad al norte del dique es esperable y probable, se concluye que de nuevo las tipologías más adecuadas son el dique en talud y berma.

3.6. Idoneidad frente a los requisitos de conservación, reparación y desmantelamiento

Durante la selección de la tipología es importante analizar los costes de conservación, reparación y desmantelamiento necesarios para asegurar su funcionamiento a lo largo de su vida útil.

Los costes de conservación están asociados al número de elementos que forma cada una de las partes del dique, ya que el número de posibles modos de fallo depende del número de elementos

La reparación del dique depende de la importancia del modo de fallo en la estabilidad global de la obra y de la posible correlación entre modos de fallo.

El desmantelamiento de obras de abrigo no es habitual y por tanto la experiencia es escasa, no obstante, el desmantelamiento de los diques granulares es complicado por la gran cantidad de material que poseen.

Tipología	Conservación	Reparación	Interacción	Desmantelamiento
En talud	Factible	Lenta, cara	Alta	Complicado, difícil
Vertical	Compleja	Rápida, cara	Baja	Sencillo
Mixto	Compleja	Lenta, cara	Baja/Media	Complicado, difícil
Berma	Sencilla	Lenta	Alta	Complicado
Sumergido	Sencilla	Rápida	Baja	Sencillo
Flotante	Sencilla	Rápida	Alta	Muy sencillo
Pantallas	Sencilla	Rápida	Alta	Sencillo

Tabla 5: Idoneidad frente a los requisitos de conservación, reparación y desmantelamiento (ROM 1.0-09, 2009)

3.7. Idoneidad frente a los requerimientos ambientales

La construcción de un dique de abrigo puede provocar alternaciones significativas del entorno terrestre y marítimo relacionadas con la apertura y explotación de canteras, el transporte y vertido de materiales de construcción, o con la remoción y vertido de productos de dragado pudiendo, en su caso, condicionar la selección de tipologías que necesiten grandes volúmenes de materiales de préstamo o realizar grandes volúmenes de dragado hasta alcanzar niveles de cimentación competentes.

Por otra parte, la construcción de un área portuaria o litoral interacciona con el litoral modificando los procesos morfodinámicos y la calidad de las aguas litorales. La magnitud de la modificación depende principalmente de la forma en planta del área y del grado de abrigo frente al oleaje.

La idoneidad de las tipologías frente a los requerimientos ambientales se puede ordenar de acuerdo con la siguiente tabla:

Tipología	Volumen de materiales	Interacción con el entorno	Oxigenación agua nichos ecológicos
En talud	Grande	Significativa	Alta-muchos, diversos
Vertical	Pequeño	Significativa	Baja-pocos
Mixto	Intermedio	Significativa	Media-algunos
Berma	Máximo	Significativa	Alta-muchos
Sumergido	Según objetivo	Significativa	Alta
Flotante	Mínimo	Poco significativa	Baja-algunos
Pantallas	Mínimo	Significativa	Baja

Tabla 6: Tipología más adecuada en función de los requerimientos ambientales (ROM 1.0-09, 2009)

4. Alternativas planteadas

Puesto que la tipología más favorable para el emplazamiento en función de todos los aspectos descritos anteriormente es el dique en talud, se procede a proponer diversas alternativas para analizarlas y seleccionar la más adecuada.

Cuando se diseña un dique en talud la decisión principal es que elemento disponer en el manto principal. A continuación se describen los elementos más habituales y sancionados por la práctica y su disposición.

Como se ha comentado anteriormente, el manto principal puede estar formado por elementos naturales (escollera) o artificiales (elementos de hormigón). Dentro de estos últimos encontramos una gran variedad con distintas ventajas e inconvenientes.



Tabla 7: Piezas de hormigón en masa para construir diques monocapa (Medina, 2014)

Las distintas tipologías de piezas pueden imponer restricciones de tipo logístico y de uso. Por ejemplo, las piezas esbeltas resisten fundamentalmente por trabazón, y por tanto se debe tener en cuenta la resistencia del hormigón en su uso. Por otra parte, las piezas masivas como el cubipodo y los cubos resisten por su propio peso, no siendo relevante la resistencia a tracción del hormigón.

Otra de las decisiones fundamentales a tomar es si disponer de una capa o dos capas en el manto principal. Esta decisión generalmente viene ligada a la tipología de pieza empleada y a el nivel de trabazón que se consigue entre sus elementos. Generalmente con escollera o cubos se disponen dos capas mientras que los cubípodos pueden funcionar bien con una capa, con el respectivo ahorro económico.

La inclinación del talud influye directamente sobre la estabilidad de la pieza y por tanto sobre el peso de las mismas, siendo recomendable que los taludes en piezas horizontales se encuentren entre 1V:2H y 1V:1.5H.

Teniendo los anteriores aspectos en cuenta, se proponen las siguientes alternativas:

- Manto de escollera en dos capas
- Manto de cubos en dos capas
- Manto de cubípodos en una capa

Además, se considerará una alternativa adicional de escollera con colocación especial. En Noruega existe una larga tradición construyendo diques de escollera, existe una tipología muy particular que consiste en colocar la pieza con el diámetro mayor perpendicular al dique, consiguiendo una resistencia mucho mayor sacrificando tiempo de construcción.

Todas estas alternativas se calcularán para dos taludes distintos: 1V:2H y 1V:1.5H.

Además, la obra se dividirá en 3 subtramos, denominados arranque, tronco y morro. Cada una de estas partes se dimensionará empleando los elementos y taludes citados anteriormente.

Finalmente, se concluirá cual es la mejor solución o combinación de soluciones atendiendo a los diferentes tramos y la compatibilidad de los elementos.

Como posteriormente se comentará, las piezas obtenidos para el tramo de arranque son muy inferiores a las piezas existentes en el dique actualmente. Para no generar una zona de debilidad, se concluye que la mejor alternativa sea prolongar la sección existente hasta el tramo de tronco.

4.1. Resultados de las alternativas

El cálculo del tamaño de pieza y el resto de los elementos del dique en talud para las distintas alternativas puede consultarse en el Anejo N°7: Cálculo estructural.

A continuación se resumen los resultados obtenidos para poder proseguir con el estudio de soluciones y el análisis multicriterio.

Arranque (Hudson)			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	2.2	2.9	1.4
Talud 1.5H:2V	2.9	3.9	1.9

Tabla 8: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de arranque (Elaboración propia)

Tronco (Hudson)			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	23.2	31.2	15.6
Talud 1.5H:2V	30.9	41.6	20.8

Tabla 9: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de tronco (Elaboración propia)

Morro (Hudson)			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L

Talud 2H:1V	40.8	46.1	46.1
Talud 1.5H:2V	54.4	61.5	61.5

Tabla 10: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de morro (Elaboración propia)

	Arranque	Tronco	Morro
2H:1V	1.26	13.1	17.8
1.5H:1V	1.7	17	23.8

Tabla 11: Peso de los elementos (t) del manto principal con escollera en colocación especial (Elaboración propia)

5. Metodología del análisis multicriterio

Para llevar a cabo el análisis multicriterio se emplearán un total de 4 criterios:

- Económico
- Funcional
- Ambiental
- Estético

En el criterio económico se valorarán los costes de construcción y de mantenimiento de cada una de las alternativas.

En el criterio funcional se valorarán aspectos como la fiabilidad a largo plazo o el rebase de oleaje.

En el criterio ambiental se valorará la afección al medio durante la construcción y uso de la infraestructura.

Y por último con el criterio estético se valorará el impacto visual que genera la obra en su entorno.

Todos estos aspectos se valorarán para las distintas alternativas planteadas y los distintos tramos. Como se comentará en el Anejo N°9: Descripción de la solución adoptada, no se analizará el tramo de arranque, ya que se considera conveniente prolongar la sección existente y no emplear la sección calculada.

5.1. Criterio económico:

Con el fin de valorar el criterio económico, se van a analizar los costes principales de cada una de las soluciones.

En primer lugar, se han estimado el número de unidades requeridas, el peso total y los volúmenes para las distintas alternativas. Se han empleado las siguientes porosidades:

Material	Porosidad
Escollera (2L)	0.38
Cubos (2L)	0.45
Cubípodos (1L)	0.42
Escollera Esp (2L)	0.35

Tabla 12: Porosidades empleadas para las distintas alternativas (Elaboración propia)

Obteniendo los siguientes resultados:

	Nº elementos	Vol Total (m3)	Peso total (t)
Morro Cubípodos (1L)	402	10415.4	24731.5
Morro Cubos (2L)	787	20374.6	48379.8
Morro Escollera Esp (2L)	1799	15257.1	42820.6
Tronco Cubípodos (1L)	1563	13662.1	32514.0
Tronco Cubos (2L)	1858	32700.1	77476.9
Tronco Escollera (2L)	2851	31195.3	88396.1
Tronco Escollera Esp (2L)	4409	26544.2	74958.8

Tabla 13: Número de elementos, volúmenes y pesos para las distintas alternativas (Elaboración propia)

Para el cálculo del coste de construcción de los mantos con cubípodos se empleará la fórmula que puede encontrarse en el manual del Cubípedo (Medina Folgado & Gómez-Martín, 2005)

$$C_C \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (265 + HOR) + 1 * \left[10^5 * \left(\frac{1}{\ln(V_C * W_C)} \right)^2 - 10^4 * \left(\frac{1}{\ln(V_C * W_C)} \right) \right]$$

Donde:

$HOR \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$ Es el coste en euros del m³ de hormigón suministrado.

$V_C \text{ m}^3$ Son los volúmenes totales de hormigón empleados.

$W_C \text{ t}$ Es el peso de los cubípodos en toneladas.

Para los distintos tramos considerados, se han obtenido los siguientes resultados:

Alternativa	Coste
Morro cubípodos	295.47 €/m3
Tronco cubípodos	321.8 €/m3

Tabla 14: Coste del hormigón para la alternativa con cubípodos (Elaboración propia)

Para la alternativa mediante cubos, se empleará la siguiente formulación:

$$C_B \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right] = (205 + HOR) + 0.75 * \left[10^5 * \left(\frac{1}{\ln(V_B * W_B)} \right)^2 - 10^4 * \left(\frac{1}{\ln(V_B * W_B)} \right) \right]$$

Donde:

$HOR \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^3} \right]$ Es el coste en euros del m³ de hormigón suministrado.

$V_B \text{ m}^3$ Son los volúmenes totales de hormigón empleados.

$W_B \text{ t}$ Es el peso de los cubos en toneladas.

Se obtienen los siguientes resultados:

Alternativa	Coste
Morro cubos	270.27 €/m3
Tronco cubos	268.92 €/m3

Tabla 15: Coste del hormigón para la alternativa con cubos (Elaboración propia)

Para los elementos de escollera, se han analizado las canteras próximas al emplazamiento de la obra. El precio estimado para estos elementos es de 17€/T, incluyendo este el material, la manipulación, la carga, el transporte y la colocación.

A partir de todo lo establecido anteriormente, se estima el coste de construcción del manto principal de las distintas alternativas. Los resultados se resumen en la siguiente tabla.

	Precio unitario	Cantidad	Total (€)
Morro cubípodos	295.47 €/m3	10415.4	3,077,438.24
Morro cubos	270.27 €/m3	20374.6	5,506,643.14
Morro escollera esp	17 €/t	42820.6	727,950.2
Tronco cubípodos	321.8 €/m3	13662.1	4,396,463.78
Tronco cubos	268.92 €/m3	32700.1	8,793,710.89
Tronco escollera	17 €/t	88396.1	1,502,733.7
Tronco escollera esp	17 €/t	74958.8	1,274,299.6

Tabla 16: Coste de construcción de las distintas alternativas (Elaboración propia)

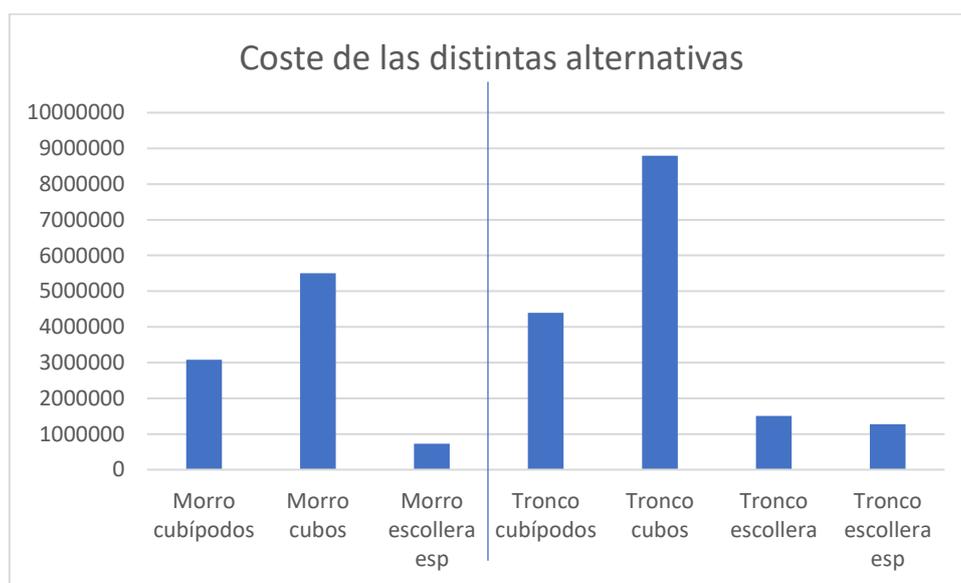


Imagen 8: Coste de construcción de las distintas alternativas (Elaboración propia)

5.2. Criterio ambiental

Para analizar el criterio ambiental y cuantificarlo se empleará la huella de carbono de las distintas alternativas.

Dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en el objetivo 13 se especifica que se deben adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, por tanto, el cálculo y reducción de la huella de carbono de la infraestructura se puede relacionar con este

ODS y constituye un criterio válido de comparación (Ministerio de asuntos exteriores, unión europea y cooperación, 2020).

La metodología empleada será la denominada GHG Protocol, que permite preparar inventarios de las emisiones de gases de efecto invernadero tanto directas como indirectas (GHG Protocol, 2020).

El GHG Protocol define 3 alcances para las diferentes fuentes de emisiones de GEI:

- Emisiones de Alcance 1: Comprende todas las emisiones generadas en el lugar de actividad de manera directa.
- Emisiones de Alcance 2: Comprende las emisiones de GEI generadas por la producción de energía procedente del exterior, desde el lugar de producción.
- Emisiones de Alcance 3: Comprende las emisiones generadas por bienes y servicios consumidos.

Como aproximación a un nivel de estudio de soluciones, el cálculo de la huella de carbono puede calcularse como el producto de la actividad por su factor de emisión:

$$HC = \text{Dato actividad} * \text{Factor de emisión}$$

Donde el factor de emisión contiene la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro de dato de actividad.

Puesto que se supone que la principal diferencia entre las alternativas reside en el manto principal, solo se analizará este componente.

El proceso a seguir para cuantificar la Huella de Carbono será el siguiente:

- División de unidades de ejecución
- Inventario de maquinaria y materiales empleados
- Consulta de factores de emisión en bases de datos
- Cálculo de emisiones
- Resultados

En este caso, la base de datos que se empleará será HueCO2, que es una aplicación informática que facilita el cálculo de la huella de carbono en la construcción de obra pública (hueCO2, 2020).

Se considerará la fabricación de las piezas, el transporte y los equipos de manipulación. En la siguiente tabla se resumen los Factores de Emisión (FE) empleados.

Materiales				
		Alance	FE	Ud
Piezas de hormigón	Fabricación	3	282	kg CO2 eq/m3
	Transporte	3	0.122	kg CO2 eq/t·km
Piezas de escollera	Fabricación	3	10.8	kg CO2 eq/m3
	Transporte	3	0.122	kg CO2 eq/t·km
Maquinaria de construcción				
Piezas de 40-60 t	Elementos de manipulación	1	66.75	kg CO2 eq / h
Piezas de 25-40 t	Elementos de manipulación	1	53	kg CO2 eq / h

Tabla 17: Factores de emisión de los materiales y maquinaria empleados (Elaboración propia)

Del análisis de las plantas de hormigón y canteras de la zona se concluye que unas distancias de transporte esperables son las siguientes:

Distancia Planta de Hormigón	120 km
Distancia Cantera	150 km

Tabla 18: Distancias de transporte consideradas (Elaboración propia)

Con todo esto, y los volúmenes de material calculados anteriormente se procede al cálculo de las emisiones de CO2 equivalentes, obteniendo los siguientes resultados:

Morro (1L)	Cubípodos	Alcance	FE	Ud	Total (t CO ₂ eq)
	Fabricación	3	282	kg CO ₂ eq/m ³	2937 t CO ₂ eq
	Transporte	3	0.122	Kg CO ₂ eq/t·km	362 t CO ₂ eq
	Elementos de manipulación	1	66.75	kg CO ₂ eq / h	2 t CO ₂ eq
TOTAL					3302 t CO ₂ eq
Morro Cubos (2L)					
	Fabricación	3	282	kg CO ₂ eq/m ³	5745 t CO ₂ eq
	Transporte	3	0.122	kg CO ₂ eq/t·km	708 t CO ₂ eq
	Elementos de manipulación	1	66.75	kg CO ₂ eq / h	7 t CO ₂ eq
TOTAL					6461 t CO ₂ eq
Morro Escollera Esp (2L)					
	Fabricación	3	10.8	kg CO ₂ eq/m ³	164 t CO ₂ eq
	Transporte	3	0.122	kg CO ₂ eq/t·km	783 t CO ₂ eq
	Elementos de manipulación	1	53	kg CO ₂ eq / h	16 t CO ₂ eq
TOTAL					964 t CO ₂ eq
Tronco (1L)					
	Fabricación	3	282	kg CO ₂ eq/m ³	3852 t CO ₂ eq
	Transporte	3	0.122	kg CO ₂ eq/t·km	476 t CO ₂ eq
	Elementos de manipulación	1	53	kg CO ₂ eq / h	9 t CO ₂ eq
TOTAL					4337 t CO ₂ eq
Tronco Cubos (2L)					
	Fabricación	3	282	kg CO ₂ eq/m ³	9221 t CO ₂ eq
	Transporte	3	0.122	kg CO ₂ eq/t·km	1134 t CO ₂ eq
	Elementos de manipulación	1	66.75	kg CO ₂ eq / h	17 t CO ₂ eq
TOTAL					10373 t CO ₂ eq
Tronco Escollera (2L)					
	Fabricación	3	10.8	kg CO ₂ eq/m ³	336 t CO ₂ eq
	Transporte	3	0.122	kg CO ₂ eq/t·km	1617 t CO ₂ eq
	Elementos de manipulación	1	53	kg CO ₂ eq / h	16 t CO ₂ eq

				TOTAL	1971	t CO2 eq
Tronco Escollera Esp (2L)						
	Fabricación	3	10.8	kg CO2 eq/m3	286	t CO2 eq
	Transporte	3	0.122	kg CO2 eq/t·km	1371	t CO2 eq
	Elementos de manipulación	1	53	kg CO2 eq / h	39	t CO2 eq
				TOTAL	1697	t CO2 eq

Tabla 19: Emisiones de CO2 de las distintas alternativas (Elaboración propia)

Si se comparan los resultados obtenidos mediante un gráfico de barras, se llega a la conclusión de que la mejor alternativa atendiendo al criterio ambiental es el uso de escollera, en concreto con colocación especial. Los resultados obtenidos son lógicos, ya que la escollera necesita un menor procesado de materiales, y por tanto se reduce la emisión de CO2. En cualquier caso, es destacable la ventaja que presentan los cubípodos frente a los cubos.

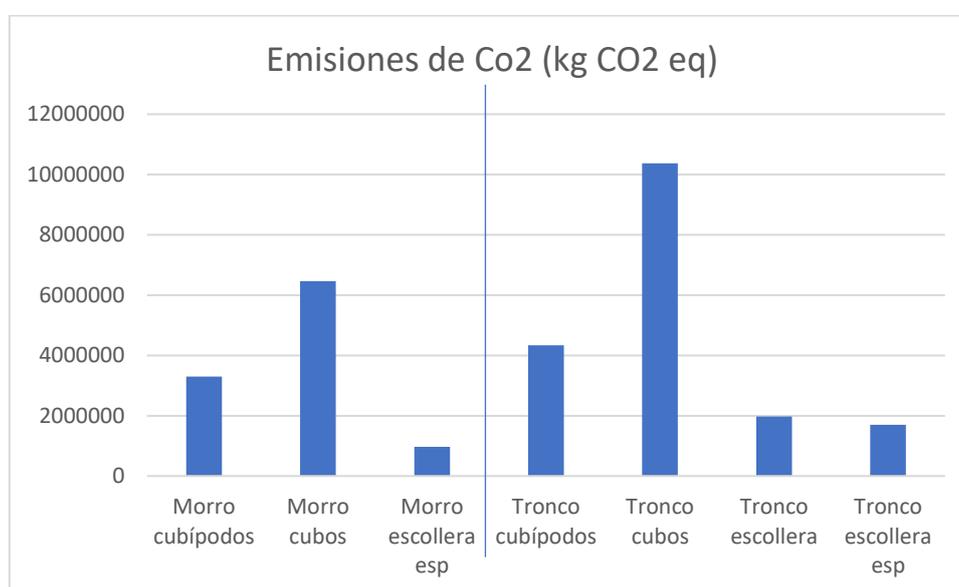


Imagen 9: Emisiones de CO2 de las distintas alternativas (Elaboración propia)

5.3. Criterio funcional

Como se ha comentado anteriormente, en este punto se valorará la fiabilidad a largo plazo, la resistencia estructural y el remonte y el rebase de oleaje. Se considerarán aspectos logísticos adicionales, por ejemplo, se deben tener consideraciones especiales a la hora de hormigonar en clima frío, lo que penaliza las alternativas de hormigón.

5.4. Criterio estético

El criterio estético valorará por un lado la integración de los materiales y las formas con el entorno y por otro lado la configuración del dique con su entorno. Se penalizarán las alternativas que requieran más cota de coronación.

5.5. Coeficientes de ponderación

Se consideran los siguientes coeficientes de ponderación en función de la importancia de todos los criterios anteriormente descritos:

Condicionante	Coeficiente
Económico	5
Ambiental	5
Funcional	4
Estético	2

Tabla 20: Coeficientes de ponderación del análisis multicriterio (Elaboración propia)

A cada uno de los criterios mencionados anteriormente se le asignará una valoración para cada alternativa. Dicha valoración se refleja en la siguiente tabla:

Valoración	Puntuación
Muy bueno	5
Bueno	4
Regular	3
Malo	2
Muy malo	1
No afecta	0

Tabla 21: Tabla de puntuaciones del análisis multicriterio (Elaboración propia)

Y a continuación, se asigna para cada alternativa y condicionante la puntuación en función de los resultados mostrados anteriormente.

	Cubípodos	Cubos	Escollera	Escollera esp
C. Económicos	4	2	5	5
C. Ambientales	4	2	5	5
C. Funcionales	2	2	4	4
C. Estéticos	5	3	4	4

Tabla 22: Asignación de puntuación a las distintas alternativas (Elaboración propia)

5.6. Resultados

Se elabora la matriz multicriterio en función de los coeficientes expuestos anteriormente.

	Cubípodos	Cubos	Escollera	Escollera esp
C. Económicos	20	10	25	25
C. Ambientales	20	10	25	25
C. Funcionales	8	8	16	16
C. Estéticos	10	6	8	8
Total:	58	34	74	74

Tabla 23: Matriz multicriterio (Elaboración propia)

Como se puede apreciar, las alternativas mediante escollera poseen grandes ventajas frente de las alternativas de hormigón. Esto es un caso excepcional, ya que en Noruega se dispone de escolleras de gran tamaño y con un material más denso de lo habitual.

Entre la alternativa de escollera y escollera mediante colocación especial, de los resultados económicos y ambientales vemos que la escollera con colocación especial posee ligeras ventajas, por lo que se adoptará esta alternativa como solución.

6. Referencias

- GHG Protocol. (23 de 06 de 2020). Obtenido de Greenhouse Gas Protocol:
<https://ghgprotocol.org/>
- hueCO2. (23 de 06 de 2020). Obtenido de Huella de carbono de la construcción de obras públicas: <http://hueco2.tecniberia.es/>
- Medina Folgado, J. R., & Gómez-Martín, M. E. (2015). *Manual del Cubípodo*. Valencia: Universidad politécnica de Valencia.
- Medina, J. (2014). Diseño y construcción de diques rompeolas. *Ingeniería del Agua*.
- Ministerio de asuntos exteriores, unión europea y cooperación. (23 de 06 de 2020). Obtenido de Objetivos de Desarrollo Sostenible:
<http://www.exteriores.gob.es/Portal/es/PoliticaExteriorCooperacion/NacionesUnidas/Paginas/ObjetivosDeDesarrolloDelMilenio.aspx#:~:text=Los%20Objetivos%20de%20De sarrollo%20Sostenible,todas%20en%20todas%20las%20edades.>
- ROM 1.0-09. (2009). *ROM 1.0-09 Bases y Factores para el proyecto, Agentes climáticos*. Madrid. Ministerio de Fomento.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N°8: Cálculo de Estructuras Marítimas



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	5
2. Bases de diseño.....	5
3. Oleaje de cálculo.....	5
4. Formulación empleada.....	6
4.1. Estabilidad hidráulica del manto principal.....	6
Formulación de Van der Meer (1988).....	6
Formulación de Van der Meer particularizada a escollera.....	7
Formulación de Van Der Meer particularizada a cubos.....	9
Formulación de Hudson.....	10
4.2. Diseño de la capa de filtro y el núcleo.....	12
4.3. Cálculo de rebase.....	15
4.4. Estabilidad hidráulica de la berma de pie.....	18
4.5. Diseño del morro.....	19
5. Resultados obtenidos.....	20
5.1. Estabilidad hidráulica del manto principal.....	20
5.2. Capa de filtro y núcleo.....	21
5.3. Cota de coronación.....	22
5.4. Berma de pie.....	22
6. Referencias.....	23

Índice de imágenes

Imagen 1: Perfil erosionado por acción del oleaje	8
Imagen 2: Valores del factor de permeabilidad P	9
Imagen 3: Esquema de pesos para las distintas capas del dique con oleaje rompiente	14
Imagen 4: Esquema de pesos para las distintas capas del dique con oleaje no rompiente	15
Imagen 5: Esquema del factor de oblicuidad	17
Imagen 6: Valores críticos de la descarga media de rebase	17
Imagen 7: Geometría de la berma de pie	19
Imagen 8: Esquema del sector crítico del morro para inicio de daños	19

Índice de tablas

Tabla 1: Oleaje de cálculo	5
Tabla 2: Condiciones de rotura	6
Tabla 3: Límites del nivel de daños	8
Tabla 4: Valores recomendados de Kd para inicio de averías	11
Tabla 5: Coeficientes de estabilidad del cubo, Cubípodo, Accropode y Xbloc	11
Tabla 6: Coeficientes de estabilidad empleados	12
Tabla 7: Densidades de material empleadas	12
Tabla 8: Factor de rugosidad en función del tipo de pieza	16
Tabla 9: Niveles de daño de la berma en función de la profundidad	18
Tabla 10: Coeficiente multiplicador del peso de pieza para el morro en función del tipo de elemento	20
Tabla 11: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de arranque	20
Tabla 12: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de tronco	21
Tabla 13: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de morro	21
Tabla 14: Peso de los elementos (t) del manto principal con escollera en colocación especial	21
Tabla 15: Resultados Van der Meer para escollera (2L)	21
Tabla 16: Peso de los elementos (t) de la capa de filtro	21
Tabla 17: Peso de los elementos (t) de la capa de filtro para escollera con colocación especial	22
Tabla 18: Peso de los elementos (kg) del núcleo	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 19: Peso de los elementos (kg) del núcleo para escollera con colocación especial.....	22
Tabla 20: Cota de coronación de las distintas alternativas	22
Tabla 21: Peso de los elementos de la berma de pie	23

1. Objeto

El presente anejo tiene por objeto definir las bases de cálculo y los criterios empleados para el dimensionamiento del nuevo dique en el puerto pesquero de Andenes (Andøy, Noruega), principalmente a nivel seccional. Se abarcarán por tanto los siguientes aspectos de diseño:

- Estabilidad hidráulica del manto principal.
- Capa de filtro y núcleo.
- Rebase y altura de coronación.
- Estabilidad hidráulica de la berma de pie.
- Diseño del morro.

2. Bases de diseño

Los aspectos de diseños definidos en el apartado anterior dependen fundamentalmente del oleaje de cálculo -incluyendo en este tanto la altura de ola, como el periodo y la dirección- y la profundidad a pie de dique. Estos a su vez dependen de criterios económicos y de durabilidad de la obra tal y como se define en la ROM 0.0: Procedimiento General y Bases de Cálculo para Proyectos en Obras Marítimas, y en el Anejo N°6 de este trabajo.

3. Oleaje de cálculo

Para determinar el oleaje de cálculo se han seguido todos los criterios expuestos en el Anejo N°4: Clima marítimo. Los datos de altura de ola significativa (H_s) y periodo de pico (T_p) están asociados a periodos de retorno de $T_r=250$ años. Por su parte, los niveles del mar están asociados a los niveles de seguridad definidos por la autoridad marítima noruega para el diseño de infraestructuras portuarias teniendo en cuenta el aumento del nivel del mar y del terreno.

Se resumen a continuación los resultados escalares obtenidos.

	Arranque		Tronco		Morro	
	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Bajo	Nivel Alto
H_s	3.2	2.3	5.5	7	6	7.5
T_p	10.63	9.81	11.88	12.89	12.23	13.2
Prof.	4.3	8.3	6.4	10.4	8.05	12.07

Tabla 1: Oleaje de cálculo (Elaboración propia)

Un factor de importancia a la hora de realizar el diseño estructural es analizar si el oleaje se encuentra en situación de rotura o no. En este caso se emplea un criterio simplificado, tal que si:

$$H_s > 0.78 \cdot d$$

La ola se encuentra en situación de rotura.

Para cada uno de los estados de mar de cálculo, se ha calculado H_{max} , que estadísticamente se define como:

$$H_{Max} = 1.8 * Hs$$

Obteniéndose los siguientes resultados:

	Arranque		Tronco		Morro	
	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Bajo	Nivel Alto	Nivel Bajo	Nivel Alto
Hs	3.2*	2.3*	5.5	7	6	7.5
H Rotura	3.35	6.47	5	8.11	6.2	9.4
Hmax	5.76*	4.14*	9.9	12.6	10.8	13.5

* Datos sujetos a revisión (Baja fiabilidad)

Tabla 2: Condiciones de rotura (Elaboración propia)

Como puede apreciarse, en la mayor parte de los casos Hmax rompe, por lo que no es capaz de llegar al dique con su máxima energía.

4. Formulación empleada

4.1. Estabilidad hidráulica del manto principal

La rotura del manto principal es el principal fallo hidráulico que se debe considerar en el proyecto de un dique en talud. En este caso se ha optado por emplearse dos formulaciones distintas, la formulación de Van Der Meer (1988) y la formulación de Hudson (1959), ambas ampliamente sancionadas por la práctica.

La principal formulación empleada para el diseño será la de Hudson, pero de forma adicional se empleará en aquellos casos en los que sea oportuno la formulación de Van der Meer.

Formulación de Van der Meer (1988)

Esta formulación tiene la ventaja de que tiene un gran rango de expresiones que se particularizan para distintos tipos de elementos como escolleras o cubos. La formulación se fundamenta en una serie de parámetros adimensionales considerando las diferentes condiciones de clima marítimo, las formas de rotura y los taludes de obra entre otros.

La expresión general se muestra a continuación:

$$W = \frac{\rho_s \cdot H^3}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3 \cdot K_D \cdot \cot(\alpha)}$$

Donde:

- W : Peso de los bloques de protección
- ρ_s : Densidad del material de construcción
- ρ_w : Densidad del agua del mar
- H : Altura de ola de cálculo a pie de talud
- K_D : Coeficiente de estabilidad
- α : Ángulo del talud del dique con la horizontal

Formulación de Van der Meer particularizada a escollera

Basándose en los trabajos de Thompson y Shuttler (1975) Van Der Meer desarrolla dos formulas para oleajes con rotura en plunging y rotura en surfing. Estos estudios incluyeron estructuras con un amplio rango de permeabilidades tanto para la capa principal como para la capa de filtro y diversas condiciones de oleaje.

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2 \cdot P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \cdot \xi_m^{-0.5}$$

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0 \cdot P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \cdot \sqrt{\cot \alpha} \cdot \xi_m^P$$

Donde:

- *P*: Factor de permeabilidad
- *S*: Nivel de daños
- *N*: Numero de olas

La transición de rotura en plunging a rotura en surfing se puede calcular empleando el valor critico de ξ_{mc} :

$$\xi_{mc} = [6.2 \cdot P^{0.31} \cdot \sqrt{\tan \alpha}]^{\frac{1}{P+0.5}}$$

La primera de las ecuaciones (para rotura plunging) se aplica para $\xi_m < \xi_{mc}$, y para valores superiores se emplea la segunda.

Se debe tener en cuenta que el número máximo de olas N que puede emplearse en estas ecuaciones es 7500. Después de este valor la estructura ha alcanzado aproximadamente el equilibrio. Esto significa que para daños producidos por oleaje durante más de 7500 olas se encuentran introduciendo N=7500 en la fórmula. Para valores pequeños de número de olas (menos de 1000) la fórmula proporciona un daño sobredimensionado.

Hay que destacar que para el desarrollo de esta formulación se emplearon peraltes de ola entre 0.005 y 0.06 y densidades de escollera entre 2000 kg/m³ y 3100 kg/m³.

El nivel de daños S se caracteriza a partir de la erosión producida en el dique en la zona del nivel del agua. Si esta erosión se relaciona con el tamaño de las rocas se obtiene un nivel de daño adimensional:

$$S = \frac{A_e}{D_{n50}^2}$$

Donde:

- *A_e*: Erosión del dique al nivel de las aguas

Conceptualmente, S es el número de cuadrados de lado D_{n50} que cabrían en el área erosionada tal y como se muestra en la siguiente imagen.

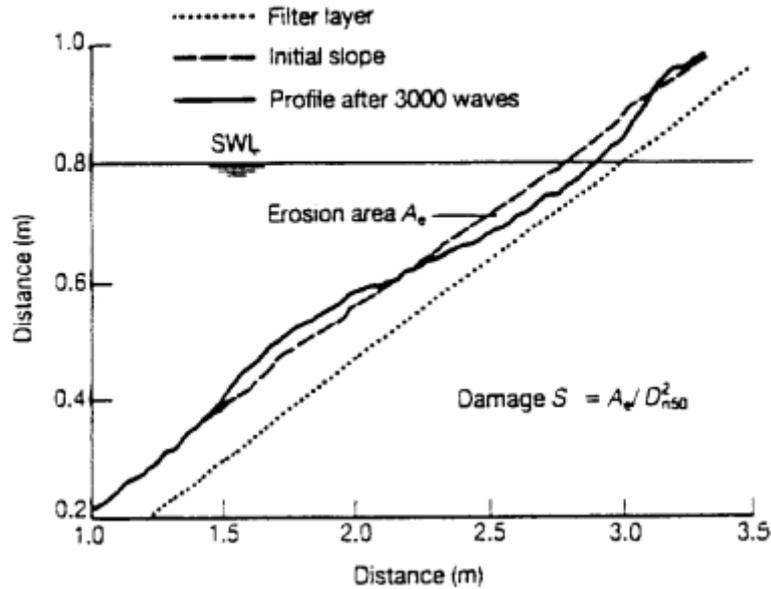


Imagen 1: Perfil erosionado por acción del oleaje (Van der Meer, 1988a)

Principalmente los límites de S dependen del talud de la estructura. En la siguiente tabla se recogen valores recomendados para el diseño de mantos bicapa:

slope	initial damage	intermediate damage	failure (under layer visible)
1:1.5	2	3-5	8
1:2	2	4-6	8
1:3	2	6-9	12
1:4	3	8-12	17
1:6	3	8-12	17

Tabla 3: Límites del nivel de daños (Van der Meer, 1988a)

Por otro lado, la permeabilidad de la estructura P tiene influencia en la estabilidad de el manto principal, dependiendo ésta en el tamaño de las capas de filtro y núcleo. Cuanto mayor sea la permeabilidad, mayor será la estabilidad del manto. A continuación, se muestran algunos valores de P basados en los trabajos de Van der Meer (1988a).

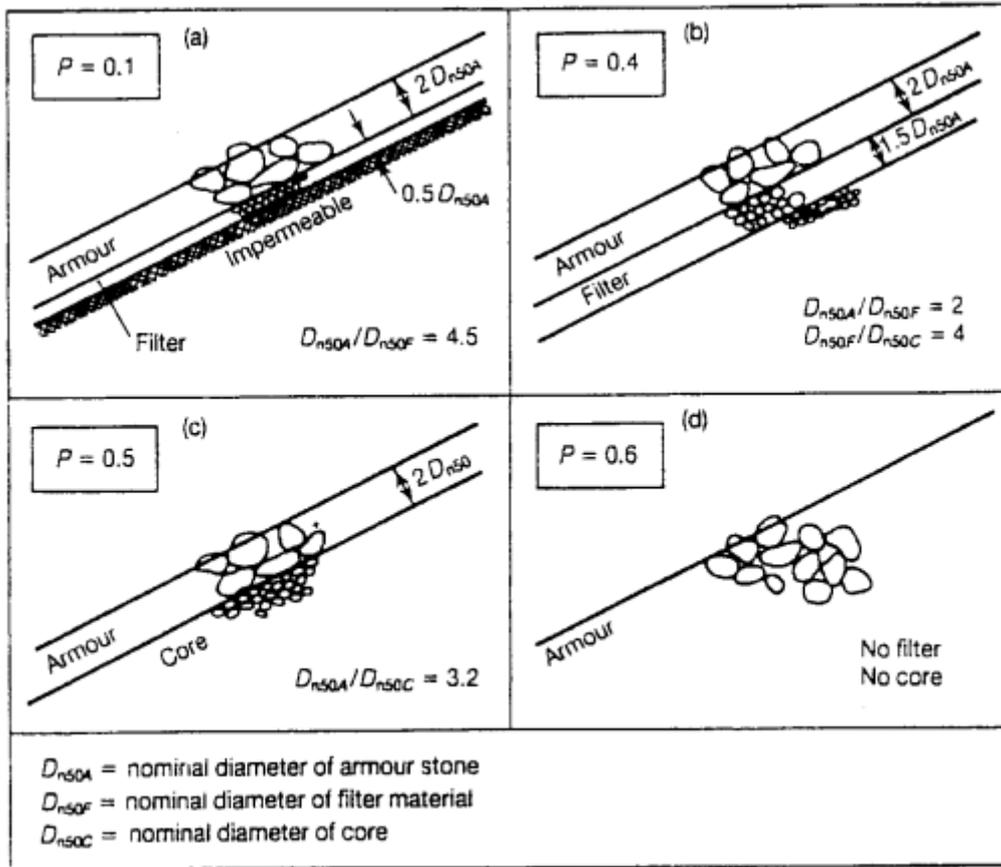


Imagen 2: Valores del factor de permeabilidad P (Van der Meer, 1988a)

Formulación de Van Der Meer particularizada a cubos

Basándose en las variables que gobernaban el problema de la estabilidad hidráulica de los mantos de escollera, Van der Meer (1988c) desarrolla una formulación para diques en talud con manto principal de bloques de hormigón. Este análisis se limitó a el estudio de secciones transversales.

La fórmula de estabilidad para elementos de hormigón incluye el nivel de daño relativo N_{od} , el número de olas N y el peralte de la ola S_{om} .

Para cubos, la formula se expresa como:

$$\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left(3.75 \cdot \frac{N_{od}^{0.5}}{N^{0.25}} + 0.85 \right) \cdot S_{om}^{-0.2}$$

Como puede apreciarse la fórmula no considera el talud de la estructura, ya que en diques con piezas de hormigón suelen construirse aproximadamente con taludes de 1:1.5.

En la formulación para escollera se veía que el daño del manto principal se cuantificaba a partir del area erosionada al nivel de las aguas, esto no suele hacerse asi en perfiles de hormigón, ya que éste no queda tan bien definido. Generalmente el daño se basa en el número de unidades desplazadas.

En esta fórmula se propone definir el daño como un daño relativo N_0 , siendo éste el número real de piezas desplazadas relacionados con un ancho de un diámetro nominal D_n .

Formulación de Hudson

Tradicionalmente, la fórmula más empleada para el diseño del manto principal en diques en talud ha sido la fórmula de Hudson debido a que la popularizó el Shore Protection Manual (SPM, 1984) en la década de los 70. Esta fórmula se caracteriza por incluir un coeficiente de estabilidad que depende del tipo de pieza.

$$W = \frac{1}{K_D} \frac{H^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} \cot \alpha$$

Donde:

- W : *Peso del elemento*
- K_D : *Coficiente de estabilidad*
- H : *Altura de ola de cálculo*
- γ_r : *Peso específico del hormigón*
- γ_w : *Peso específico del agua*
- α : *Ángulo del talud con la horizontal*

Esta fórmula puede reescribirse empleando el número de estabilidad, el peso específico relativo sumergido y el lado del cubo equivalente de la pieza:

$$N_S = \frac{H_S}{\Delta D_n} = \sqrt[3]{K_D \cdot \cot \alpha}$$

Siendo:

$$\Delta = \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)$$

$$D_n = \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

Destacar además que la fórmula de Hudson funciona bien con cubos y bloques, recomendándose emplear H_s en aguas profundas, no obstante, para escollera existe una gran dispersión en la fórmula, por lo que se recomienda emplear $H_{1/10}$ en lugar de H_s .

En la siguiente tabla se incluyen valores recomendados del coeficiente de estabilidad para determinar el peso de las piezas del manto principal distinguiendo tanto su posición en el dique (tronco/morro) como el método de colocación y las condiciones de rotura del oleaje.

Table 10-8. Suggested K_D values for use in determining armor unit weight

Armor Units	n^a	Placement	No-Damage Criteria and Minor Overtopping				Slope cot θ
			Structure Trunk		Structure Head		
			K_D^b		K_D		
Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave				
Quarystone							
Smooth rounded	2	Random	<i>1.2^c</i>	2.4	<i>1.1</i>	1.9	1.5-3.0
Smooth rounded	> 3	Random	<i>1.6</i>	3.2	<i>1.4</i>	2.3	d
Rough angular	1	Random ^b	b	2.9	b	2.3	d
					<i>1.9</i>	<i>3.2</i>	1.5
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	<i>1.6</i>	2.8	2.0
					<i>1.3</i>	<i>2.3</i>	3.0
Rough angular	> 3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	d
Rough angular	2	Special ^e	5.8	7.0	5.3	6.4	d
Parallelepiped ^f	2	Special ^c	7.0-20.0	8.5-24.0	—	—	
Tetrapod and quadripod							
	2	Random	7.0	8.0	<i>5.0</i>	6.0	1.5
					<i>4.5</i>	5.5	2.0
					<i>3.5</i>	4.0	3.0
					<i>8.3</i>	9.0	1.5
Tribar	2	Random	9.0	10.0	<i>7.8</i>	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos							
	2	Random	15.8 ^g	31.8 ^g	<i>8.0</i>	16.0	2.0 ^h
					<i>7.0</i>	14.0	3.0
Modified cube	2	Random	6.5	7.5	—	5.0	d
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	d
Toskane	2	Random	11.0	22.0	—	—	d
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	d
Quarystone (K_{RR})							
Graded angular	—	Random	2.2	2.5	—	—	

^a n is the number of units comprising the thickness of the armor layer.

^b The use of single layer of quarystone armor units is not recommended for structures subject to breaking waves, and only under special conditions for structures subject to nonbreaking waves. When it is used, the stone should be carefully placed.

^c *Caution:* Those K_D values shown in *italics* are unsupported by test results and are only provided for preliminary design purposes.

^d Until more information is available on the variation of K_D values with slope, the use of K_D should be limited to slopes ranging from 1:1.5 to 1:3. Some armor units tested on a structure head indicate a K_D -slope dependence.

^e Special placement with long axis of stone placed perpendicular to structure face.

^f Parallelepiped-shaped stone: long slab-like stone with the long dimension about three times the shortest dimension (Markle and Davidson, 1979).

^g Refers to no-damage criteria (< 5% displacement, rocking, etc.); if no rocking (< 2%) is desired, reduce K_D by 50% (Zwamborn and Van Niekerk, 1982).

^h Stability of dolosse on slopes steeper than 1:2 should be substantiated by site-specific model tests.

ⁱ Applicable to slopes ranging from 1:1.5 to 1:5.

Source: From U.S. Army Corps of Engineers (1984).

Tabla 4: Valores recomendados de K_d para inicio de averías (SPM, 1984)

Tabla 1. K_D y coeficientes de seguridad implícitos del cubo, Cubípodó, Accropode y Xbloc								
					Inicio de Destrucción (IDe)		Inicio de Averías (IDa)	
Tramo	Pieza	KD	n° capas	talud	SF(IDe5%)	SF(IDe50%)	SF(IDa5%)	SF(IDa50%)
	cubo	6,0	2	3/2	1,05	1,35	0,67	0,86
	Cubípodó 2	28,0	2	3/2	1,09	1,40	0,82	0,99
	Cubípodó 1	12,0	1	3/2	1,31	1,64	1,06	1,27
	Accropode	15,0	1	4/3	1,05 a 1,40	1,26 a 1,51	0,93 a 1,24	1,15 a 1,38
tronco	Xbloc	16,0	1	4/3	1,17	1,68	1,17	1,32
	cubo	5,0	2	3/2	1,17	1,40	0,88	1,13
morro	Cubípodó 2	7,0	2	3/2	1,19	1,36	0,99	1,18

Tabla 5: Coeficientes de estabilidad del cubo, Cubípodó, Accropode y Xbloc (Diseño de diques en talud con, 2010)

Los coeficientes de estabilidad y variables empleadas se resumen en la siguiente tabla:

Sección	Coficiente de estabilidad (Kd)
Arranque escollera (2L)	4
Arranque cubos (2L)	6
Arranque cubípodos (1L)	12
Tronco escollera (2L)	4
Tronco cubos (2L)	6
Tronco cubípodos (1L)	12
Morro escollera (2L)	2.8
Morro cubos (2L)	5
Morro cubípodos (1L)	5
Arranque escollera especial (1L)	7
Tronco escollera especial (1L)	7
Morro escollera especial (1L)	6.4

Tabla 6: Coficientes de estabilidad empleados (Elaboración propia)

Material	Densidad (t/m3)
Hormigón	2.35
Escollera	2.8

Tabla 7: Densidades de material empleadas (Elaboración propia)

4.2. Diseño de la capa de filtro y el núcleo

Para el diseño de la capa de filtro y el núcleo se ha empleado el criterio establecido en el Coastal Engineering Manual (CEM, 2006).

Entre las principales funciones de la capa de filtro hay que destacar evitar la salida de los materiales de núcleo a través del manto principal. Además, esta capa puede colaborar en la distribución del peso de la estructura sobre el núcleo y por tanto, sobre el terreno base consiguiendo así unos asientos más uniformes. La capa de filtro también puede reducir las fuerzas hidrodinámicas sobre el manto principal.

Sustituir esta capa de filtro granular por una capa de material geotextil siempre es una alternativa, no obstante, el material granular presenta algunas ventajas (PIANC, 1992):

- El material granular tiene una gran durabilidad
- Se produce una buena interfaz de contacto entre el filtro y el material de núcleo
- La porosidad del material granular facilita la disipación de energía del oleaje
- Durante la construcción el peso propio del material de filtro lo defiende del oleaje, mientras que el geotextil debe ser lastrado
- Los filtros de material granular son más fáciles de reparar
- Existe gran disponibilidad de material granular.

El criterio de diseño original para capas de filtro se basaba en la geometría de los huecos generados entre esferas uniformes, no obstante, estudios posteriores llevaron a formular un criterio más elaborado que tenía en cuenta la distribución de tamaños del material.

Los principales criterios de diseño se enumeran a continuación:

- Criterio de retención: Para evitar la pérdida de material de núcleo a través de material de filtro, el tamaño de grano excedido por el 85% de la capa de filtro tiene que ser inferior que aproximadamente cuatro o cinco veces del tamaño de grano excedido por el 15% del material de núcleo.

$$\frac{d_{15}(\text{Filtro})}{d_{85}(\text{Núcleo})} < 4 \text{ a } 5$$

Además, se deberá satisfacer:

$$\frac{W_{50}(\text{Filtro})}{W_{50}(\text{Núcleo})} < 15 \text{ a } 20$$

- Criterio de permeabilidad: Una adecuada permeabilidad de la capa de filtro es necesaria para reducir el gradiente hidráulico a través de la capa. Para conseguirlo:

$$\frac{d_{15}(\text{Filtro})}{d_{15}(\text{Núcleo})} > 4 \text{ a } 5$$

- Criterio interno de estabilidad: Si la capa de filtro tiene una graduación muy variable, puede existir pérdida de las partículas más finas causando una pérdida de estabilidad interna, para evitarlo:

$$\frac{d_{60}(\text{Filtro})}{d_{10}(\text{Filtro})} < 10$$

- Espesor de la capa: Las capas de filtro construidas a partir de materiales de tamaño considerable deben tener un espesor mínimo de al menos 2 a 3 veces el diámetro de la mayor roca en el filtro. El espesor mínimo recomendable es de 20 cm.

Sección de dique rebasable con oleaje rompiente:

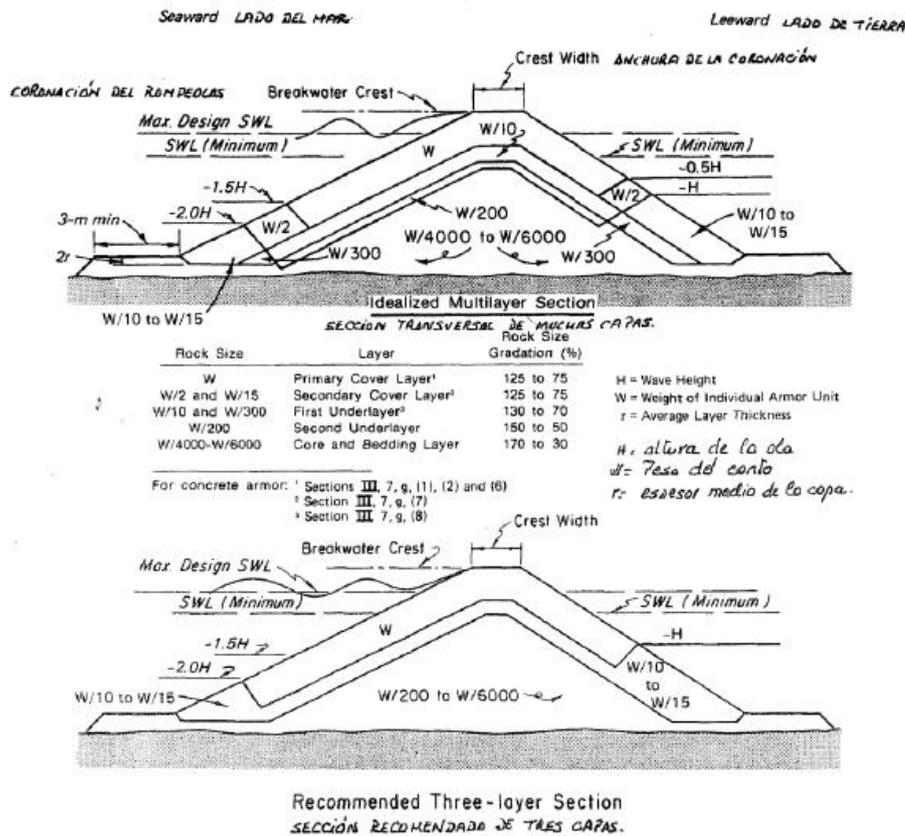


Imagen 4: Esquema de pesos para las distintas capas del dique con oleaje no rompiente (CEM, 2006)

En este caso, para el diseño de la capa de filtro se empleará un peso de W/10 y para el núcleo W/2000, siendo W el peso de los elementos del manto principal como puede apreciarse en las imágenes anteriores.

En cuanto al espesor de la capa de filtro, se dispondrán al menos dos diámetros nominales, con un espesor mínimo de 1 metro.

4.3. Cálculo de rebase

Para el cálculo de rebase se empleará la formulación del EurOtop (2007). Hay que destacar que esta formulación se ha modificado recientemente para incluir casos con un francobordo muy reducido o incluso 0. Esta modificación no aplica al caso objeto de estudio.

La principal fórmula utilizada para el cálculo de rebase es la siguiente:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = a \cdot \exp \left[- \left(b \cdot \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^c \right]$$

Donde $\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}}$ es la descarga adimensional y $\frac{R_c}{H_{m0}}$ el francobordo relativo.

Hay que destacar que para estructuras en talud la ecuación presenta un máximo de:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.2 \cdot \exp \left[- \left(2.6 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_v} \right)^{1.7} \right]$$

Donde:

- γ_f : Factor de influencia de la rugosidad de los elementos
- γ_β : Factor de influencia del ángulo de ataque
- γ_v : Factor de influencia si existe un muro sobre el dique
- q : Descarga media por rebase por unidad de ancho de coronación y unidad de tiempo
- g : Aceleración de la gravedad
- H_{m0} : Altura de ola significativa a pie de dique
- R_c : Francobordo del dique

El EurOtop (2007) incluye algunos valores recomendados para el factor de influencia de la rugosidad de los elementos:

Armor type	γ_f
Smooth	1.00
Rock (2L)	0.50
Cube (2L, random)	0.50
Antifer (2L)	0.50
Haro ^R (2L)	0.47
Tetrapod (2L)	0.40
Accropode TM (1L)	0.44
Core-Loc TM (1L)	0.47
Xbloc ^R (1L)	0.49
Dolos (2L)	0.43
Cubipod ^R (2L)	0.44
Cubipod ^R (1L)	0.46

Tabla 8: Factor de rugosidad en función del tipo de pieza (EurOtop, 2007)

Como se ha comentado anteriormente, la influencia de la dirección de la ola sobre el run-up o sobre el rebase se define con un factor de influencia γ_β .

Se recomienda usar las siguientes expresiones para calcular el factor de influencia del ángulo de ataque para rebase:

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0033|\beta| \quad \text{for: } 0^\circ \leq \beta \leq 80^\circ$$

$$\gamma_\beta = 0.736 \quad \text{for: } |\beta| > 80^\circ$$

Donde el ángulo β se mide tal y como se muestra en la siguiente figura:

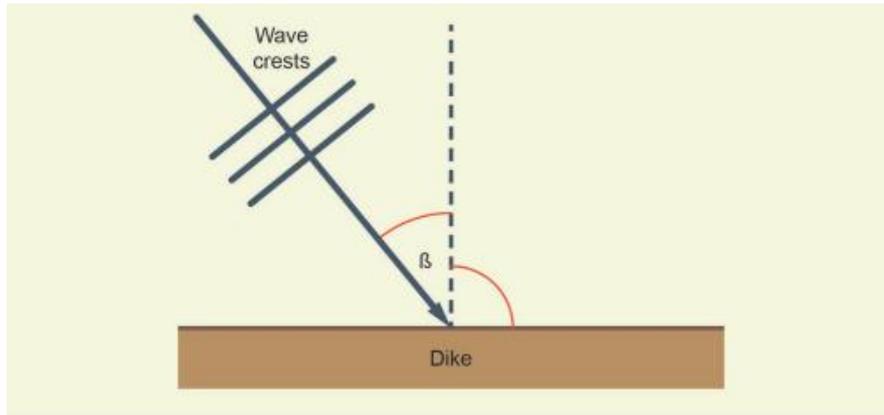


Imagen 5: Esquema del factor de oblicuidad (EurOtop, 2007)

Burcharth (1998) propone una serie de rebases críticos en función de la seguridad estructural de vehículos, peatones, edificios, diques, diques de hierba y revestimientos. En la siguiente imagen se recogen estos valores:

q m ³ /s por m		q litros/s por m			
SEGURIDAD DE TRÁFICO		SEGURIDAD ESTRUCTURAL			
VEHÍCULOS	PEATONES	EDIFICIOS	DIQUES	DIQUES DE HIERBA	REVESTI-MIENTOS
10^0			Daño incluso con protección completa	Daño	Daño incluso con pavimento
			Daño si trasdós no protegido		Daño si no está pavimentado
10^{-1}	Muy peligroso	Daño estructural	Daño si la coronación no está protegida	Comienzo de daño	200
					100
10^{-2}					50
10^{-3}					10
10^{-4}					1
10^{-5}					0.03
10^{-6}					0.01
10^{-7}					0.001

Imagen 6: Valores críticos de la descarga media de rebase (Burcharth, 1998)

4.4. Estabilidad hidráulica de la berma de pie

En la mayoría de los casos, el manto principal de la cara frontal de los diques en talud se apoya y se protege mediante una berma de pie. Si esta berma de pie se diseña con el mismo tamaño que el manto principal generalmente ésta es estable, sin embargo, es preferible reducir el tamaño de los elementos en el pie.

Generalmente el criterio de diseño se basa en una relación entre el ratio h_t/h y el número de estabilidad N_s , siendo h_t la profundidad de la coronación de la berma de pie y h la profundidad a pie de dique. Un ratio pequeño supone que el pie se encuentra considerablemente separado del lecho y en estos casos la estructura se comporta más bien como una berma. Para valores de $h_t/h = 0.8$ el pie se encuentra próximo al lecho, y en dichos casos puede emplearse la formulación que a continuación se describe.

La profundidad del pie por debajo del nivel del agua es el principal parámetro de diseño. Si el pie está próximo al lecho el diámetro de los elementos puede ser menos que la mitad requerida cuando el pie se encuentra a una altura igual a la mitad entre la distancia del lecho y el nivel de las aguas.

A continuación, se incluyen unos valores de diseño para un valor bajo de daños (0-10%) y diferentes situaciones de profundidad:

h_t/h	$H_g/\Delta D_{n50}$
0.5	3.3
0.6	4.5
0.7	5.4
0.8	6.5

Tabla 9: Niveles de daño de la berma en función de la profundidad

Van der Meer et al (1995) desarrolló un método más genérico. En primera instancia, se define el número de daños N_{od} , siendo este el número real de piezas desplazadas en una banda de ancho D_{n50} .

- $N_{od} = 0$ supone daño cero
- $N_{od} = 0.5$ supone inicio de daños
- $N_{od} = 2$ supone que existe cierto allanamiento
- $N_{od} = 4$ supone un completo allanamiento de la berma

Estos valores anteriores son aplicables a bermas estándar de 3-5 piezas de ancho y 2-3 piezas de espesor.

El número de estabilidad, en función de lo descrito anteriormente se define como:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(2 + 6.2 \cdot \left(\frac{h_t}{h} \right)^{2.7} \right) N_{od}^{0.15}$$

Donde:

- H_s : Altura de ola significativa
- Δ : Densidad relativa de los elementos
- D_{n50} : Diámetro nominal
- h_t : Calado sobre la coronación de la berma
- h : Profundidad a pie de dique

Hay que destacar que la formulación anterior se debe aplicar para $0.4 < \frac{h_t}{h} < 0.9$

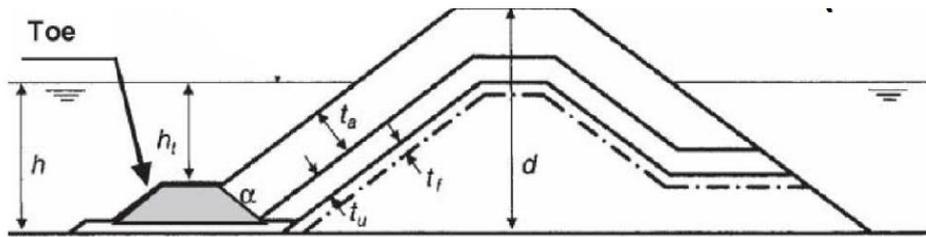


Imagen 7: Geometría de la berma de pie (CEM, 2006)

4.5. Diseño del morro

En el morro del dique se producen simultáneamente los fenómenos de refracción, difracción y shoaling, esto sumado a la reducción del soporte de las unidades por la desaparición de piezas en el mismo plano del dique hacen de esta zona un punto crítico de la estructura.

Jensen (1984) estudia los sectores más dañados del morro de los diques en talud, y llega a la conclusión de que el sector crítico se encuentra en un área alrededor del nivel del mar en un sector que va desde que la ortogonal de las olas es tangente al cono y se extiende un poco más hacia delante de este punto, entre 90° y 135° respecto a la normal del oleaje.

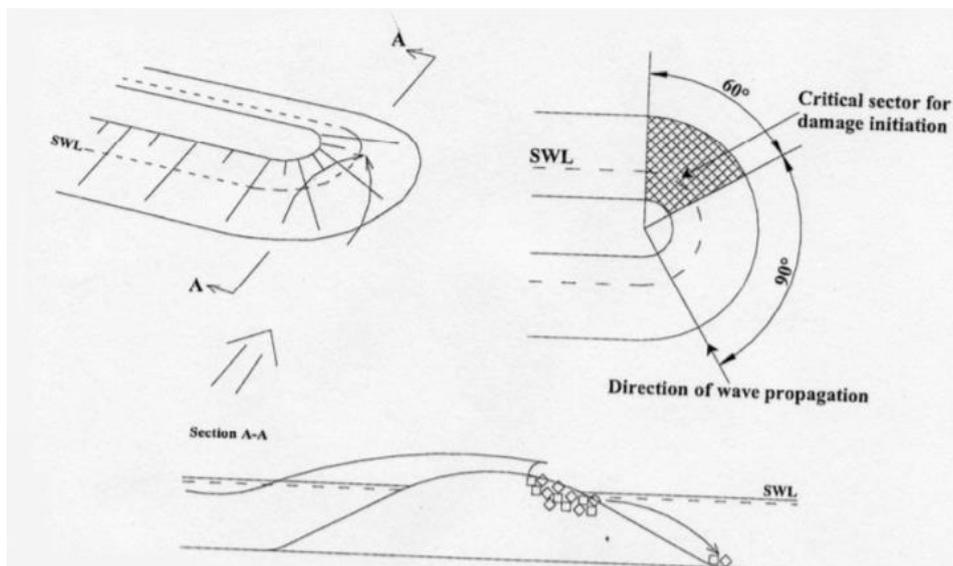


Imagen 8: Esquema del sector crítico del morro para inicio de daños (Jensen, 1984)

Como se ha comentado anteriormente, en la fórmula de Hudson se pueden emplear valores de coeficientes de estabilidad específicamente diseñados para piezas que se encuentran en el morro del dique, no obstante, existen metodologías específicas para los casos en los que no se disponga de este coeficiente que tenga en cuenta la posición de la pieza como es el caso de la fórmula de Hudson modificada.

$$W_{morro} = K \cdot W_{tronco}$$

Entre las prácticas habituales destacan incrementar el valor del peso de 1 a 4 veces el del tronco y reducir el talud del morro.

La siguiente tabla resume coeficientes multiplicadores en función del tipo de elemento del manto y el estado de rotura del oleaje.

TIPO DE ELEMENTO DEL MANTO	COEFICIENTE MULTIPLICADOR OLA ROTA	COEFICIENTE MULTIPLICADOR OLA NO ROTA
Escollera redondeada lisa	1,25 a 1,35	1,25 a 1,40
Escollera rugosa angulosa	1,20 a 1,50	1,25 a 1,70
Cubo	1,50	1,50
Bloque	1,50	1,50
Tetrápodo	1,20 a 1,30	1,25 a 1,35
Tribar	1,20 a 1,30	1,15 a 1,20
Dolo	1,50	1,50
Cubo modificado	1,55	1,55
Hexápodo	1,65	1,35
Antifer perforado	1,30 a 2,60	1,30 a 2,60
Cubo perforado	1,30 a 2,60	1,30 a 2,60
Acrópodo	1,30	1,30
Ecópodo	1,30	1,30
Core-loc	1,30 a 1,50	1,30 a 1,50
Beta	1,40 a 1,50	1,40 a 1,50

Tabla 10: Coeficiente multiplicador del peso de pieza para el morro en función del tipo de elemento (Maciñeira, 2004)

5. Resultados obtenidos

5.1. Estabilidad hidráulica del manto principal

Se resumen a continuación los resultados obtenidos mediante la formulación de Hudson para los distintos tramos y taludes considerados.

	Arranque (Hudson)		
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	2.2	2.9	1.4
Talud 1.5H:2V	2.9	3.9	1.9

Tabla 11: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de arranque (Elaboración propia)

Tronco (Hudson)			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	23.2	31.2	15.6
Talud 1.5H:2V	30.9	41.6	20.8

Tabla 12: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de tronco (Elaboración propia)

Morro (Hudson)			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	40.8	46.1	46.1
Talud 1.5H:2V	54.4	61.5	61.5

Tabla 13: Peso de los elementos (t) del manto principal para el tramo de morro (Elaboración propia)

Con colocación especial con escollera (2L), se obtienen los siguientes resultados:

	Arranque	Tronco	Morro
2H:1V	1.26	13.1	17.8
1.5H:1V	1.7	17.7	23.8

Tabla 14: Peso de los elementos (t) del manto principal con escollera en colocación especial (Elaboración propia)

	Arranque	Tronco	Morro
2H:1V	2.1	24.2	39.5
1.5H:1V	3.2	37.2	60.8

Tabla 15: Resultados Van der Meer para escollera (2L) (Elaboración propia)

5.2. Capa de filtro y núcleo

A continuación, se resumen todos los pesos obtenidos para las capas de filtro y núcleo en función de los resultados obtenidos para el manto principal.

Filtro Arranque			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	0.2	0.3	0.15
Talud 1.5H:2V	0.3	0.4	0.2

Filtro Tronco			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	2.3	3.1	1.6
Talud 1.5H:2V	3.1	4.2	2.1

Filtro Morro			
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	4.1	4.6	46.13492
Talud 1.5H:2V	5.4	6.1	6.1

Tabla 16: Peso de los elementos (t) de la capa de filtro (Elaboración propia)

Con la escollera en colocación especial, se obtienen los siguientes resultados:

	Arranque	Tronco	Morro
2H:1V	0.12	1.3	1.8
1.5H:1V	0.17	1.7	2.4

Tabla 17: Peso de los elementos (t) de la capa de filtro para escollera con colocación especial (Elaboración propia)

En cuanto al material de núcleo, se obtienen los siguientes resultados para todas las alternativas:

	Núcleo Arranque		
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	2-20	2-20	2-20
Talud 1.5H:2V	2-20	2-20	2-20

	Núcleo Tronco		
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	5-50	5-50	5-50
Talud 1.5H:2V	5-50	5-50	5-50

	Núcleo Morro		
	Escollera 2L	Cubos 2L	Cubípodos 1L
Talud 2H:1V	5-50	5-50	5-50
Talud 1.5H:2V	5-50	5-50	5-50

Y en cuanto a la solución con colocación especial, se obtienen los siguientes resultados:

	Arranque	Tronco	Morro
2H:1V	2-20	2-20	2-20
1.5H:1V	2-20	2-20	2-20

Tabla 18: Peso de los elementos (kg) del núcleo para escollera con colocación especial (Elaboración propia)

5.3. Cota de coronación

Se resumen en la siguiente tabla los resultados obtenidos para la cota de coronación sobre el nivel alto en función de las limitaciones de rebase para seguridad estructural de diques.

	Escollera	Cubos	Cubípodos
Arranque	3	3	2.7
Tronco	8.3	8.3	7.62
Morro	9.05	9.05	8.32

Tabla 19: Cota de coronación de las distintas alternativas (Elaboración propia)

5.4. Berma de pie

Para la berma de pie se obtienen los siguientes pesos necesarios en los distintos tramos:

Tramo	Escollera (t)
Arranque	0.35
Tronco	0.67
Morro	0.67

Tabla 20: Peso de los elementos de la berma de pie (Elaboración propia)

6. Referencias

- Burcharth. (1998). Hydraulic responses-wave run-up, rundown and overtopping. *OPTICREST*.
- CEM. (2006). *Coastal Engineering Manual*. US Army Corps of Engineers.
- EurOtop. (2007). *Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures-Assessment Manual*. UK.
- Jensen. (1984). *A Monograph on Rubble Mound Breakwaters*. Denmark: Danish Hydraulic Institute.
- Maciñeira. (2004). *Determinación de una fórmula para el cálculo de la estabilidad del morro de un dique en talud*. La Coruña.
- Medina Folgado, J. R., Gómez Martín, M. E., Corredor Molguero, A., & Santos Huertes, M. (2010). Diseño de diques en talud con. *Revista de Obras Públicas*.
- PIANC. (1992). *Guidelines for the Design and Construction of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles in Marine Environment*.
- SPM. (1984). *Shore Protection Manual*. Coastal Engineering Research Center. U.S. Army Corps of Engineers.
- Van der Meer. (1988a). Rock slopes and gravel beaches under wave attack. *Doctoral thesis*.
- Van der Meer. (1988c). Stability of Cubes, Tetrapods and Accropode. *Proc. Breakwaters*.
- Van der Meer. (1995). Wave run-up and wave overtopping at dikes. *ResearchGate*.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

Anejo N°9: Solución Adoptada



Alumno: JAVIER APARICI BORRÁS

Tutor: JOSEP RAMON MEDINA FOLGADO

Cotutor: JORGE MOLINES LLODRÁ

Contenido

1. Objeto.....	5
2. Solución adoptada.....	5
2.1. Descripción en planta.....	5
2.2. Manto principal, filtro y núcleo.....	6
2.2.1. Manto principal	6
2.2.2. Capa de filtro	6
2.2.3. Núcleo	6
2.3. Cota de coronación	7
3. Valoración económica.....	8

Índice de imágenes

Imagen 1: Esquema en planta de la solución adoptada	6
Imagen 2: Sección de morro	7
Imagen 3: Sección de tronco	7
Imagen 4: Sección de arranque	8

Índice de tablas

Tabla 1: Longitud de los tramos de la solución adoptada.....	5
Tabla 2: Elementos del manto principal.....	6
Tabla 3: Elementos de la capa de filtro	6
Tabla 4: Elementos del núcleo	6
Tabla 5: Cotas de coronación	7

1. Objeto

El presente anejo tiene por objeto describir la solución adoptada para la construcción del nuevo dique este del puerto de Andenes (Andøy, Noruega). Esta alternativa ha sido la mejor valorada entre todas aquellas estudiadas en el *Anejo N°8: Estudio de soluciones* atendiendo a criterios económicos, funcionales, ambientales y estéticos. Se describe a continuación la alternativa con un detalle adecuado al nivel de estudio de soluciones.

2. Solución adoptada

De entre todas las alternativas estudiadas, la solución de escollera bicapa con colocación especial ha sido la que ha presentado las mayores ventajas tanto a nivel económico como a nivel medioambiental.

El hecho de que se disponga de escollera con una densidad mayor de lo habitual hace que el tamaño de pieza se reduzca considerablemente. Además, la colocación especial (es decir, con el diámetro mayor perpendicular al dique) le otorga una gran robustez y resistencia al manto principal. Se ha considerado además que en los países nórdicos se tiene una larga experiencia aplicando estas metodologías.

Por último, destacar que las alternativas de hormigón presentan ciertas desventajas al tratarse de un clima frío. El hormigonado presenta dificultades técnicas requiriéndose controles especiales o por ejemplo el empleo de mantas térmicas.

2.1. Descripción en planta

Aunque el desarrollo de la solución en planta no es el principal objetivo de este trabajo, se ha realizado una propuesta de distribución con la finalidad de describir con un detalle mayor la solución y poder estimar la valoración económica de una forma más precisa. No obstante, debe destacarse que esta descripción en planta no es óptima, y debe tomarse exclusivamente como orientación para el nivel de estudio en el que nos encontramos.

La obra se ha dividido en 3 tramos: Arranque, tronco y morro. Cada uno de estos tramos presenta las mismas características a nivel de sección. Además, la obra presenta dos tramos de conexión para materializar adecuadamente la transición entre secciones.

La longitud de los distintos tramos se resume en la siguiente tabla:

Tramo	PKi	PKf	Longitud (m)
Arranque	0+0	0+30	30
Transición	0+30	0+50	20
Tronco	0+50	0+180	130
Transición	0+180	0+200	20
Morro	0+200	0+270	70

Tabla 1: Longitud de los tramos de la solución adoptada (Elaboración propia)

El tramo de arranque se diseñará con una sección similar a la obra de defensa existente para materializar la unión entre las estructuras existentes y el nuevo dique.

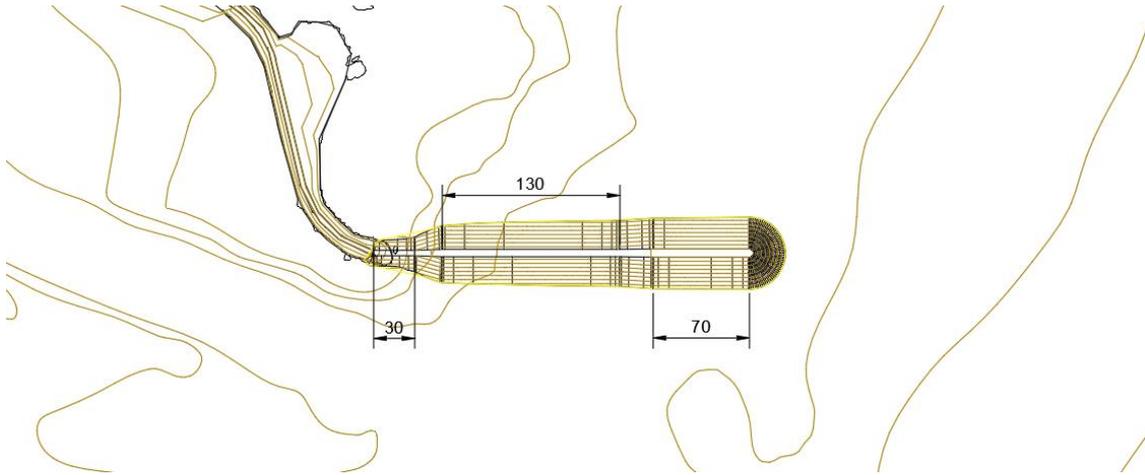


Imagen 1: Esquema en planta de la solución adoptada (Elaboración propia)

2.2. Manto principal, filtro y núcleo

En el Anejo N°7: *Cálculo de estructuras*, se realizaron todos los cálculos necesarios para estimar el peso de los elementos del manto principal de las distintas alternativas y las características de la capa de filtro y el núcleo. A continuación se resumen los resultados obtenidos para la solución adoptada:

2.2.1. Manto principal

Tramo	Hc (m)	Talud	Dn (m)	W (T)
Arranque	-	1.5H:1V (2L)	1.52	10
Tronco	7	1.5H:1V (2L)	1.85	17.7
Morro	7.5	1.5H:1V (2L)	2.05	23.8

Tabla 2: Elementos del manto principal (Elaboración propia)

2.2.2. Capa de filtro

En cuanto a la capa de filtro, el material empleado tendrá las siguientes características:

Tramo	Dn (m)	W (T)	Espesor capa (m)
Arranque	0.7	1	1.4
Tronco	0.86	1.8	1.7
Morro	0.95	2.4	1.9

Tabla 3: Elementos de la capa de filtro (Elaboración propia)

2.2.3. Núcleo

Por último, el material de núcleo presentará las siguientes características

Tramo	Rango de pesos: (kg)
Arranque	1.6-50
Tronco	2.95-88.5
Morro	3.97-119

Tabla 4: Elementos del núcleo (Elaboración propia)

2.3. Cota de coronación

De la misma forma, en el *Anejo N°7: Cálculo de estructuras marítimas* pueden encontrarse todos los cálculos relativos a la determinación de la cota de coronación del dique. Se recuerda que los criterios de diseño empleados han sido aquellos definidos en el SPM.

Tramo	Cota de coronación (sobre el nivel alto)
Arranque	5
Tronco	8.3
Morro	9.05

Tabla 5: Cotas de coronación (Elaboración propia)

En función de todo lo descrito anteriormente, se desarrollan las siguientes secciones transversales:

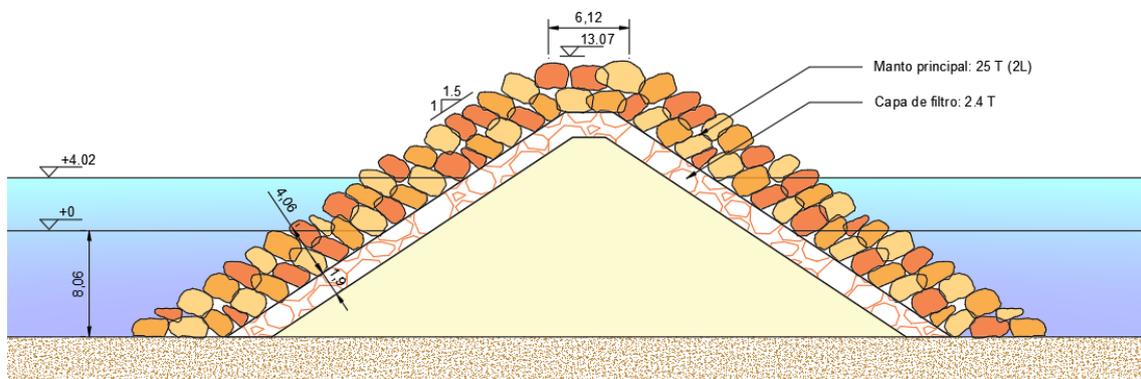


Imagen 2: Sección de morro (Elaboración propia)

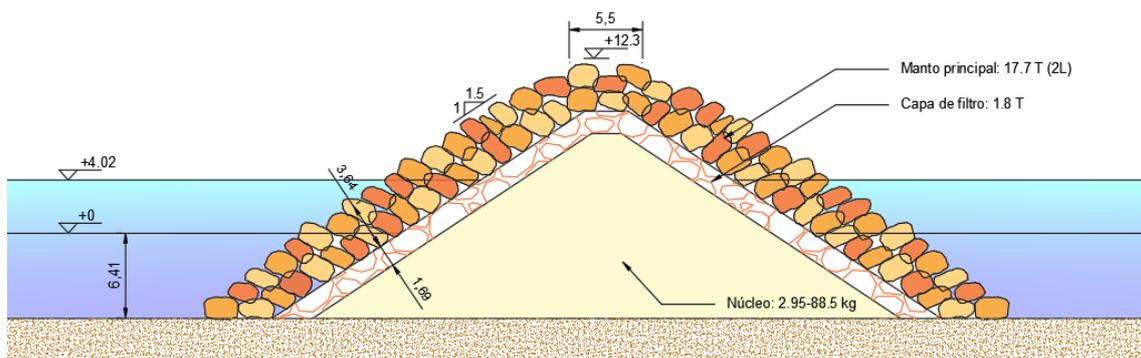


Imagen 3: Sección de tronco (Elaboración propia)

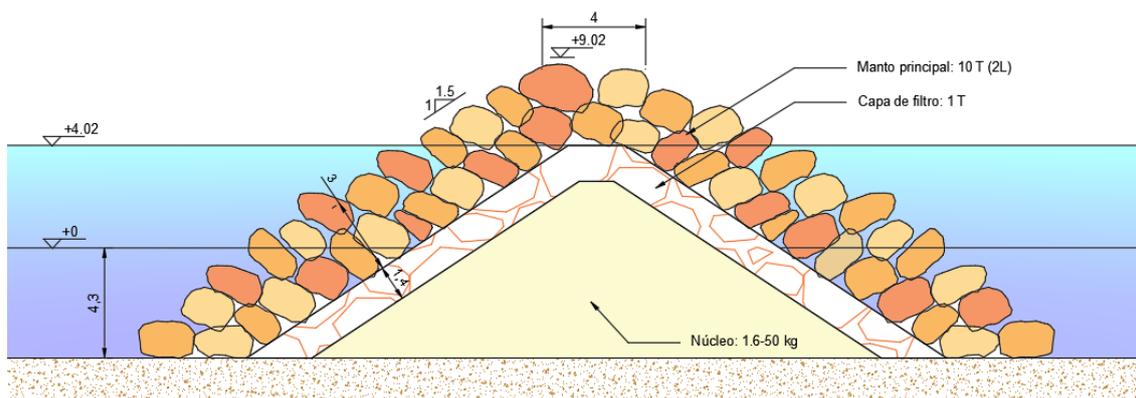


Imagen 4: Sección de arranque (Elaboración propia)

3. Valoración económica

3.1. Mediciones

CÓDIGO	UNIDAD	RESUMEN	CANTIDAD
CAPÍTULO U01 ACTUACIONES PREVIAS			
U01.01	PA	REPLANTEO INICIAL	
		Partida alzada de replanteo inicial de las obras, incluso toma de datos y procesado de estos	1
U01.02	PA	PREPARACIÓN DE INSTALACIONES AUXILIARES	
		Partida alzada de puesta en obra de las instalaciones auxiliares necesarias	1
CAPÍTULO U02 OBRA DE ABRIGO			
U02.01	m3	TODOS UNO EN DIQUE	
		Suministro y colocación de material granular "todo-uno" entre 5-50 kg de peso colocado en núcleo de dique de escollera mediante medios mecánicos. Incluido adquisición, carga, transporte, vertido, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos.	79,028.3
U02.02	t	ESCOLLERA 2.4 t	
		Escollera de 2.4 t en capa de filtro para el morro del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	22,755.6
U02.03	t	ESCOLLERA 1.8 t	
		Escollera de 1.8 t en capa de filtro para el tronco del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	39,761.4
U02.04	t	ESCOLLERA 1t	
		Escollera de 1 t en capa de filtro para el arranque del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	5,716.2
U02.05	t	ESCOLLERA 25 t	
		Escollera de 25 t en manto principal para el morro del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	42,820.6

Anejo N°9: Solución adoptada

U02.06	t	ESCOLLERA 17.7 t Escollera de 17.7 t en manto principal para el tronco del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	74,958.8
U02.07	t	ESCOLLERA 10 t Escollera de 10 t en manto principal para el arranque del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	8,666.6
CAPÍTULO U03 OPERACIONES COMPLEMENTARIAS			
U03.01	PA	SEGUIMIENTO Y CONTROL Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control	1
U03.02	PA	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS Partida alzada de las operaciones de remate	1

3.2. Precios unitarios

	UNIDAD	RESUMEN	Precio
CAPÍTULO U01 ACTUACIONES PREVIAS			
U01.01	PA	REPLANTEO INICIAL Partida alzada de replanteo inicial de las obras, incluso toma de datos y procesado de estos	13,268.00€
U01.02	PA	TRECE MIL DOSCIENTOS SESENTA Y OCHO EUROS PREPARACIÓN DE INSTALACIONES AUXILIARES Partida alzada de puesta en obra de las instalaciones auxiliares necesarias	14,840.00€
CAPÍTULO U02 OBRA DE ABRIGO			
U02.01	m3	TODO UNO EN DIQUE Suministro y colocación de material granular "todo-uno" entre 5-50 kg de peso colocado en núcleo de dique de escollera mediante medios mecánicos. Incluido adquisición, carga, transporte, vertido, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos.	26.72€
U02.02	t	ESCOLLERA 2.4 t Escollera de 2.4 t en capa de filtro para el morro del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	40.80€
U02.03	t	ESCOLLERA 1.8 t Escollera de 1.8 t en capa de filtro para el tronco del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	30.60€

		TREINTA EUROS CON SESENTA CÉNTIMOS	
U02.04	t	ESCOLLERA 1t Escollera de 1 t en capa de filtro para el arranque del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3 DIECISIETE EUROS	17.00€
U02.05	t	ESCOLLERA 25 t Escollera de 25 t en manto principal para el morro del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3 SEISCIENTOS SETENTA Y CINCO EUROS	675.00€
U02.06	t	ESCOLLERA 17.7 t Escollera de 17.7 t en manto principal para el tronco del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3 TRESCIENTOS EUROS CON NOVENTA CÉNTIMOS	300.90€
U02.07	t	ESCOLLERA 10 t Escollera de 10 t en manto principal para el arranque del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3 CIENTO SETENTA EUROS	170.00€
		CAPÍTULO U03 OPERACIONES COMPLEMENTARIAS	
U03.01	PA	SEGUIMIENTO Y CONTROL Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control DOSCIENTOS VEINTIDOS MIL CIENTO SETENTA Y SEIS EUROS CON VEINTE CÉNTIMOS	222,176.20€
U03.02	PA	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS Partida alzada de las operaciones de remate DOSCIENTOS MIL EUROS	200,000.00€

3.3. Presupuesto

CÓDIGO	UNIDAD	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
		CAPÍTULO U01 ACTUACIONES PREVIAS			
U01.01	PA	REPLANTEO INICIAL Partida alzada de replanteo inicial de las obras, incluso toma de datos y procesado de estos	1	13,268.00€	
U01.02	PA	PREPARACIÓN DE INSTALACIONES AUXILIARES			13,268.00€

		Partida alzada de puesta en obra de las instalaciones auxiliares necesarias	1	14,840.00€	
					14,840.00€
		Total capítulo actuaciones previas:			28,108.00€
		CAPÍTULO U02 OBRA DE ABRIGO			
U02.01	m3	TODO UNO EN DIQUE			
		Suministro y colocación de material granular "todo-uno" entre 5-50 kg de peso colocado en núcleo de dique de escollera mediante medios mecánicos. Incluido adquisición, carga, transporte, vertido, extensión, nivelación, perfilado y compactación según planos.	79,028.3	26.72€	
U02.02	t	ESCOLLERA 2.4 t			2,111,636.18€
		Escollera de 2.4 t en capa de filtro para el morro del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	22,755.6	40.80€	
U02.03	t	ESCOLLERA 1.8 t			928,428.48€
		Escollera de 1.8 t en capa de filtro para el tronco del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	39,761.4	30.60€	
U02.04	t	ESCOLLERA 1t			1,216,698.84€
		Escollera de 1 t en capa de filtro para el arranque del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	5,716.2	17.00€	
U02.05	t	ESCOLLERA 25 t			97,175.40€
		Escollera de 25 t en manto principal para el morro del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	42,820.6	675.00€	
U02.06	t	ESCOLLERA 17.7 t			28,903,905.00€
		Escollera de 17.7 t en manto principal para el tronco del dique. Incluso suministro, colocación mediante	74,958.8	300.90€	

medios mecánicos y perfilado.
Densidad =2.8 t/m3

U02.07	t	ESCOLLERA 10 t			22,555,102.90€
		Escollera de 10 t en manto principal para el arranque del dique. Incluso suministro, colocación mediante medios mecánicos y perfilado. Densidad =2.8 t/m3	8,666.6	170.00€	
					1,473,322.00€
		Total capítulo obra de abrigo			57,286,268.80€
CAPÍTULO U03 OPERACIONES COMPLEMENTARIAS					
U03.01	PA	SEGUIMIENTO Y CONTROL			
		Partida alzada de las operaciones de seguimiento y control	1	222,176.20€	
U03.02	PA	REMATES Y OBRAS COMPLEMENTARIAS			222,176.20€
		Partida alzada de las operaciones de remate	1	200,000.00€	
					200,000.00€
		Total capítulo operaciones complementarias			422,176.20€
		Importe total de la obra			57,736,553.00€

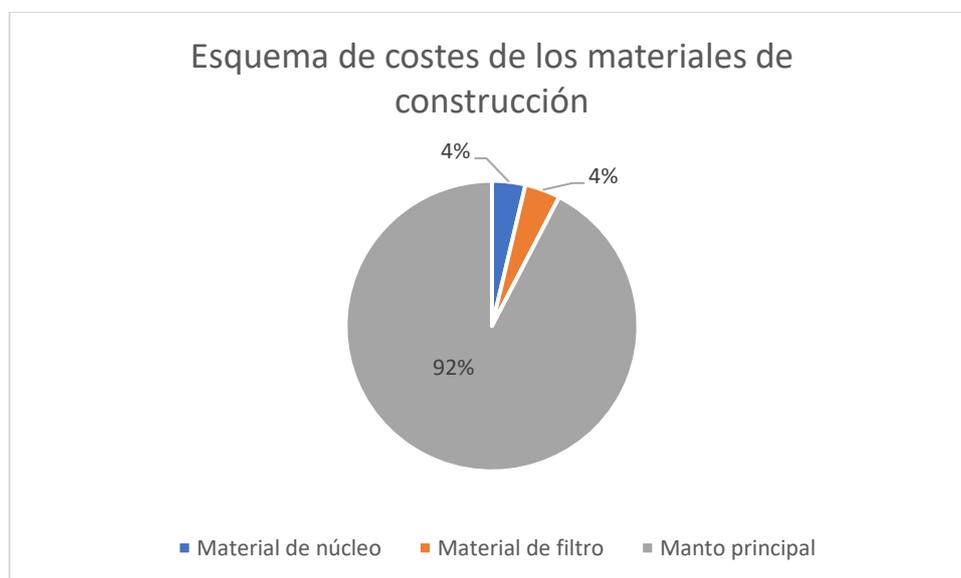


Imagen 5 Esquema de costes de los materiales de construcción (Elaboración propia)

Documento N°2: Planos

- Plano N°1: Localización
- Plano N°2: Batimetría general
- Plano N°3: Batimetría local
- Plano N°4: Alineación de las obras
- Plano N°5: Alternativa 1. Cubípodos
- Plano N°6: Alternativa 2. Cubos
- Plano N°7: Alternativa 3. Escollera especial
- Plano N°8: Distribución en planta



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

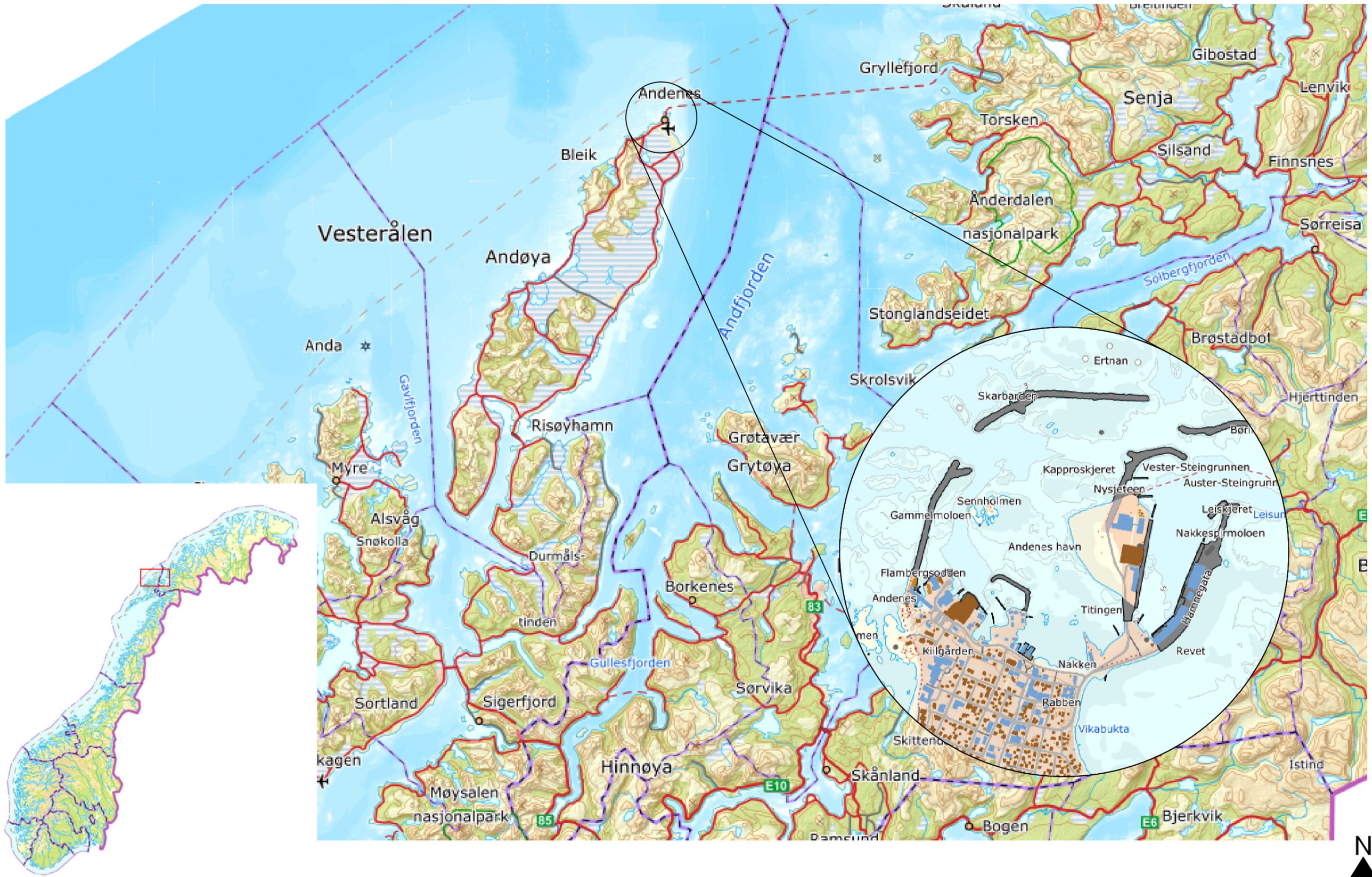
TITULO DEL PLANO índice

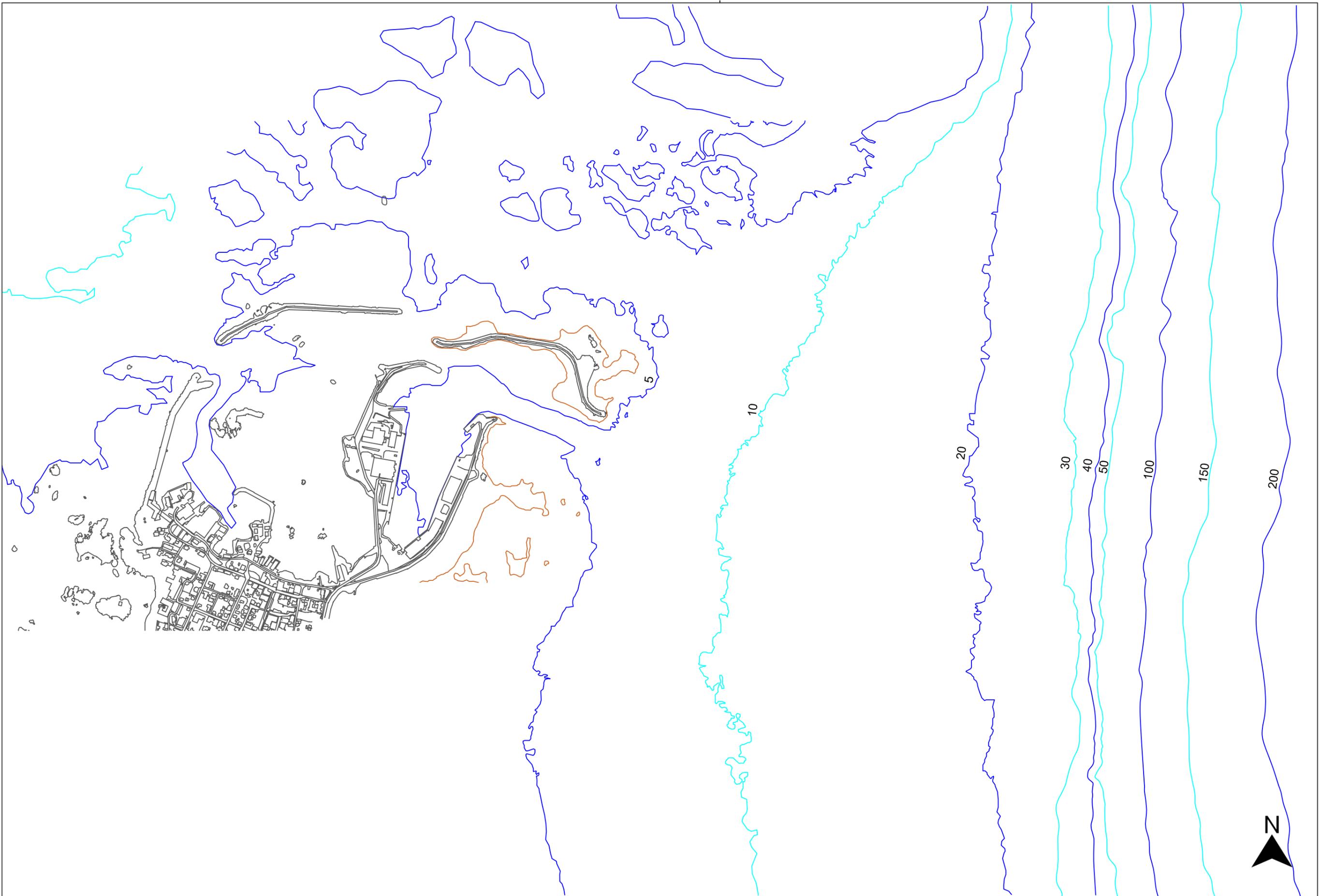
AUTOR 
APARICI BORRÁS, JAVIER

ESCALA S/E

FECHA Agosto 2020

Nº DE PLANO 0/8





UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO
Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la
ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy,
Noruega).

TITULO DEL PLANO
Batimetría regional

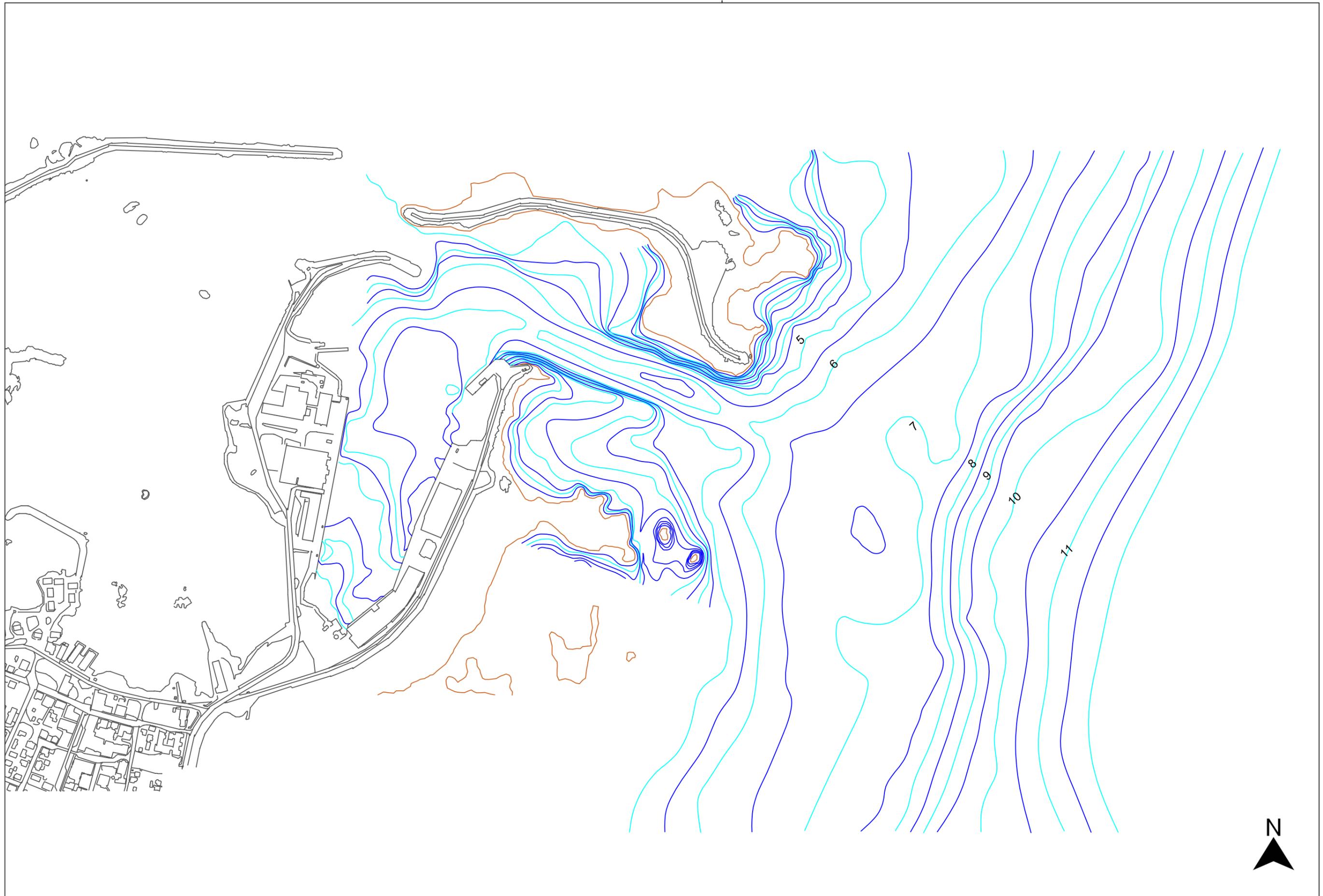
AUTOR

APÁRCI BORRÁS, JAVIER

ESCALA
1:10000

FECHA
Febrero 2020

Nº DE PLANO
2/8



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TÍTULO Estudio de soluciones para el Nuevo Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

TITULO DEL PLANO
Batimetría local

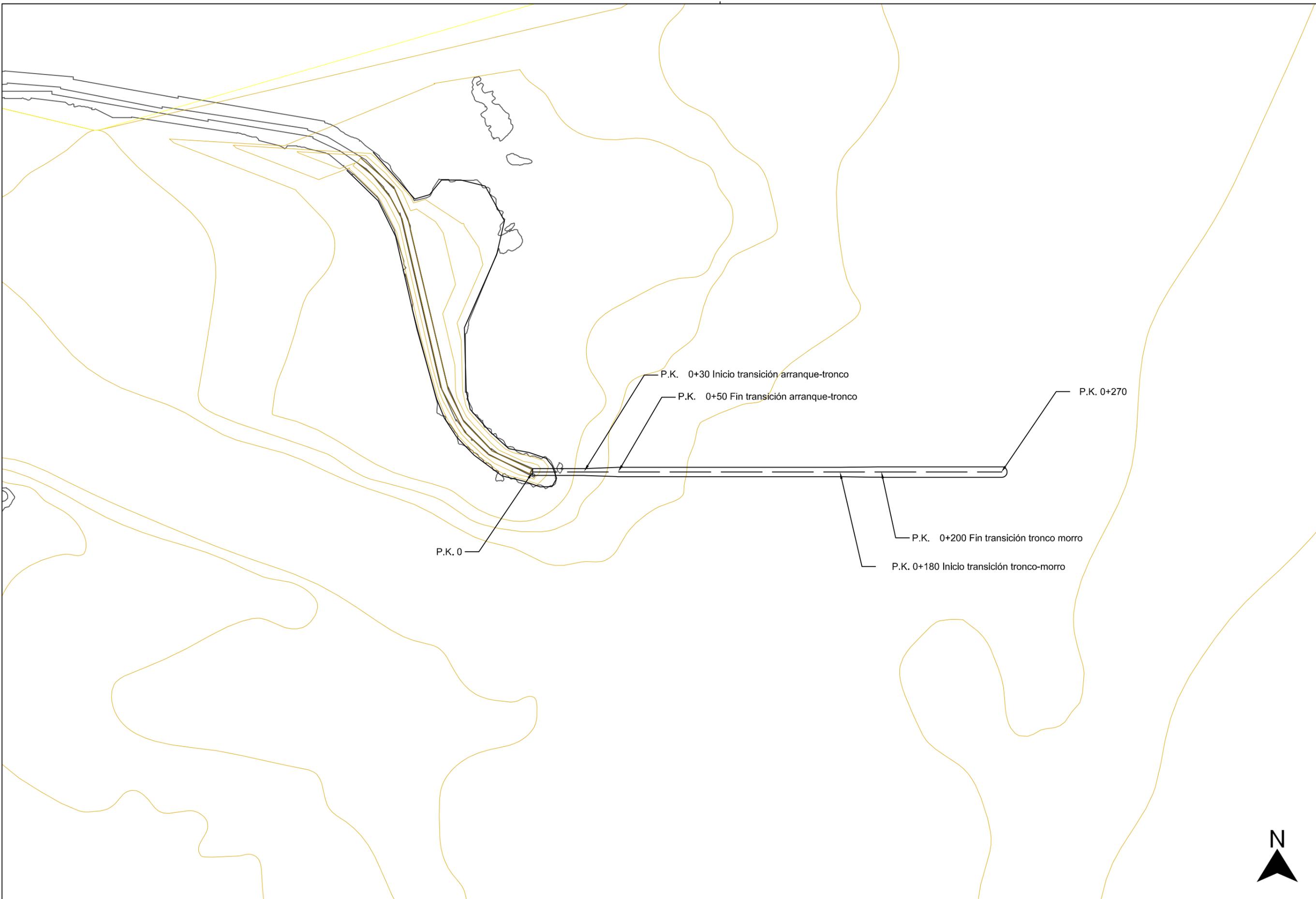
AUTOR

APARICI BORRÁS, JAVIER

ESCALA
1:5000

FECHA
Febrero 2020

Nº DE PLANO
3/8



TÍTULO Estudio de soluciones para el Nuevo del Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

TITULO DEL PLANO Alineación de las obras

AUTOR *Javier*
APARICI BORRÁS, JAVIER

ESCALA 1:2000

FECHA AGOSTO 2020

Nº DE PLANO 4/8

Alternativa con Cubipodos: Sección de morro
E 1:500

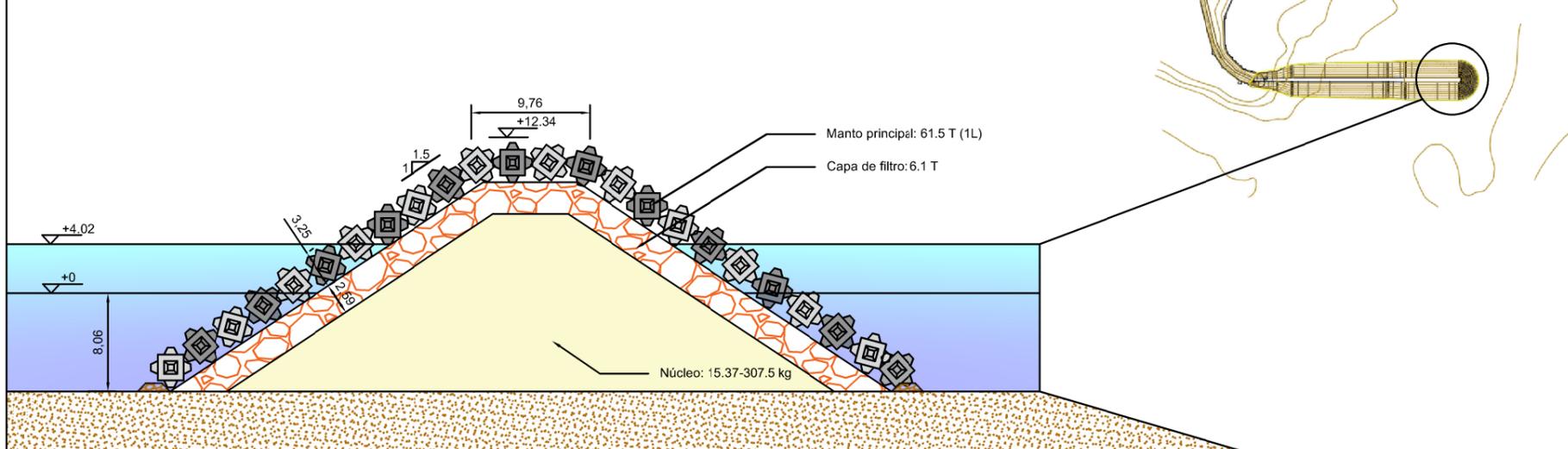


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	70
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	7.5
Periodo de pico (Tp)	13.2
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Alternativa con Cubipodos: Sección de tronco
E 1:500

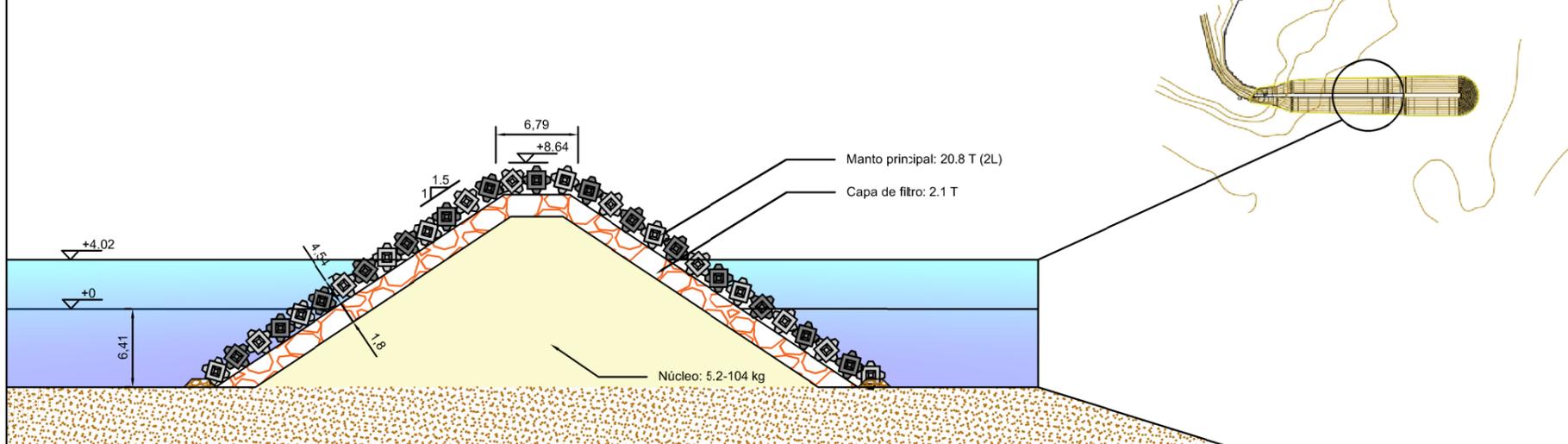


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	150
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	7
Periodo de pico (Tp)	12.9
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Alternativa con Cubipodos: Sección de arranque
E 1:250

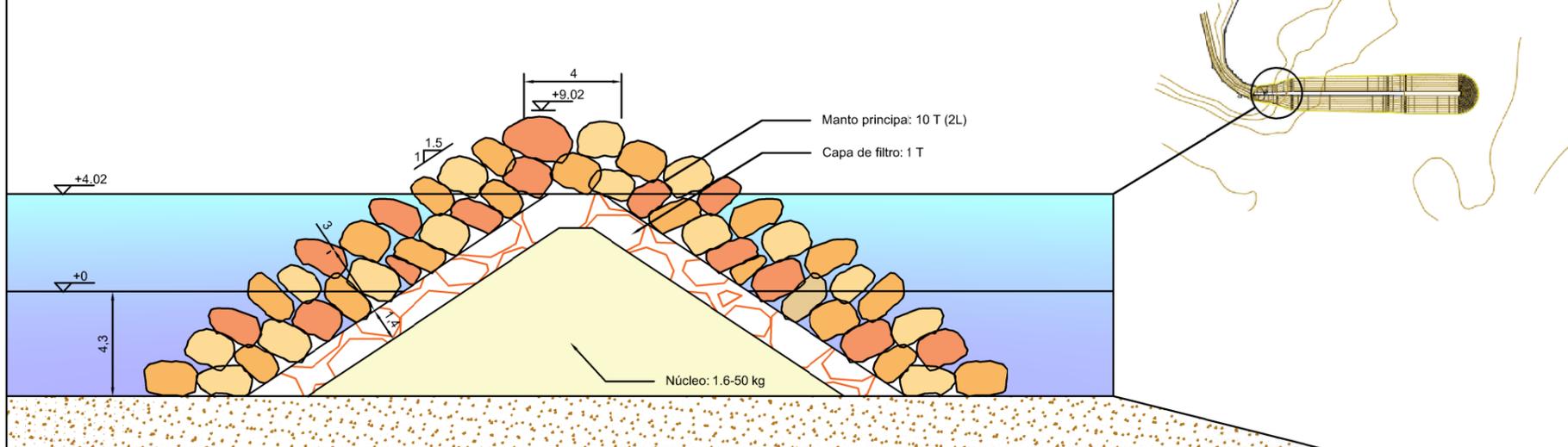


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	50
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	3.2
Periodo de pico (Tp)	10.63
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Alternativa con Cubos: Sección de morro
E 1:500

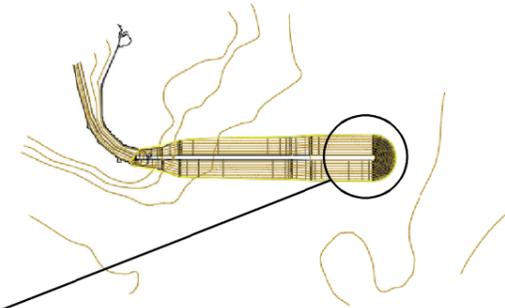
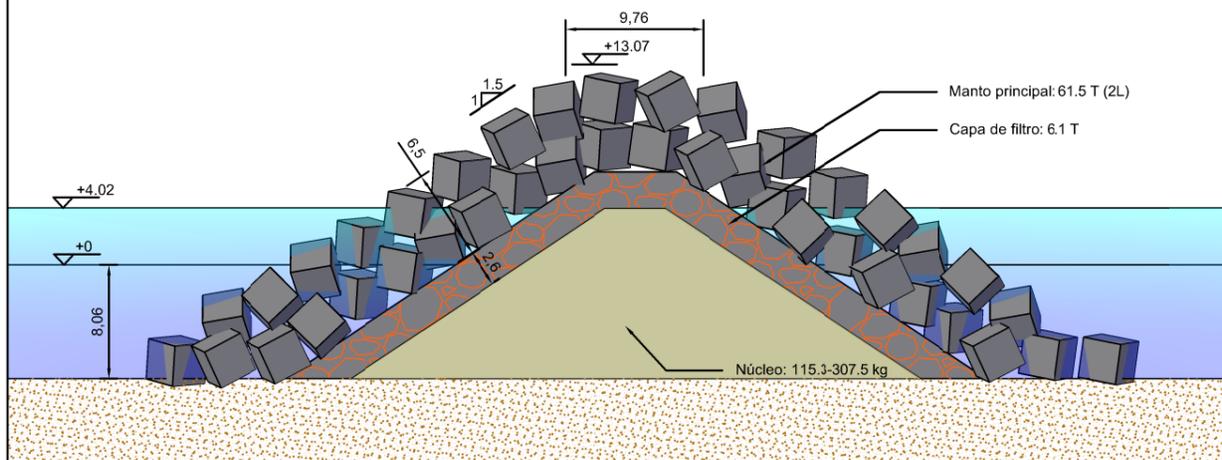


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	70
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	7.5
Periodo de pico (Tp)	13.2
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Alternativa con Cubos: Sección de tronco
E 1:500

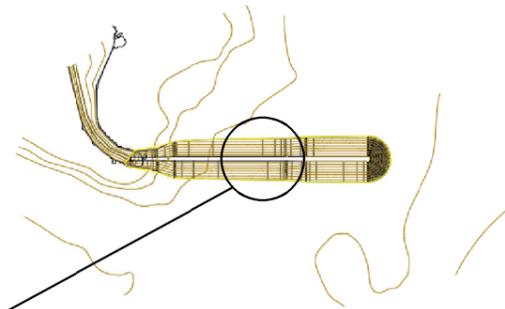
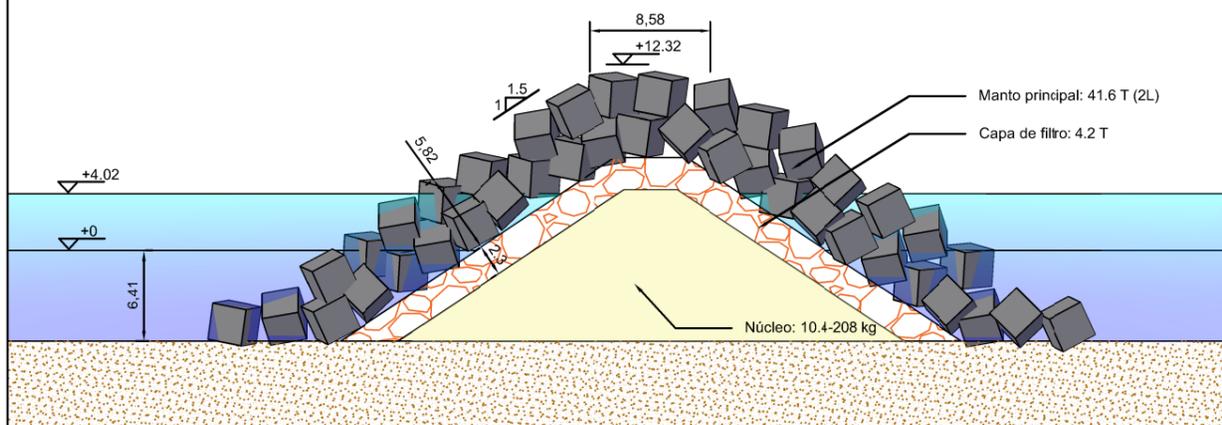


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	150
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	7
Periodo de pico (Tp)	12.9
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Alternativa con Cubos: Sección de arranque
E 1:250

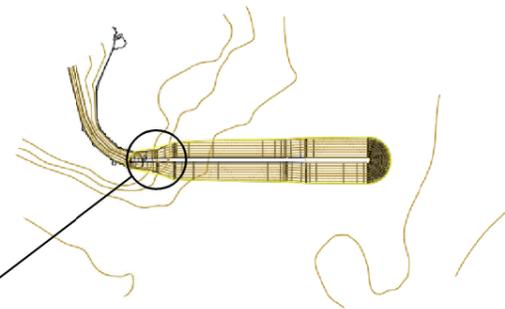
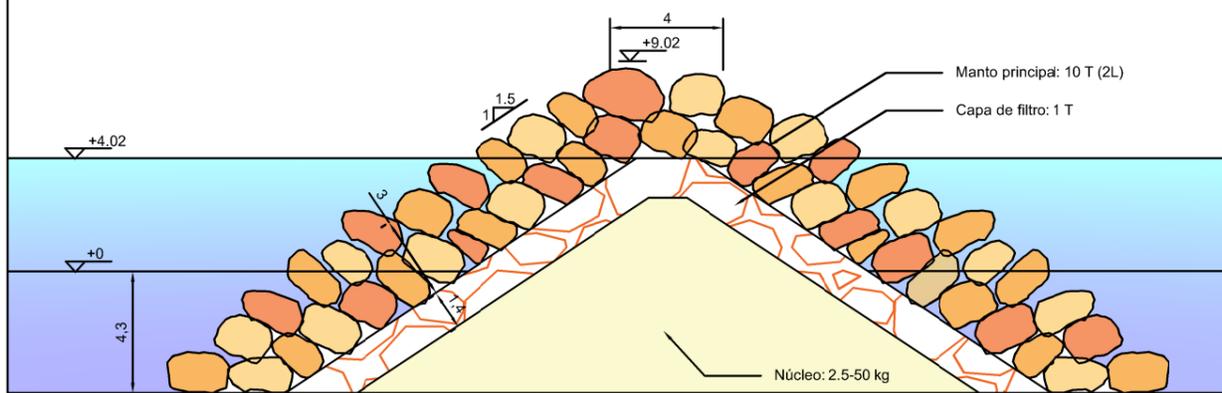


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	50
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	3.2
Periodo de pico (Tp)	10.63
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Solución adoptada: Sección de morro
E 1:500

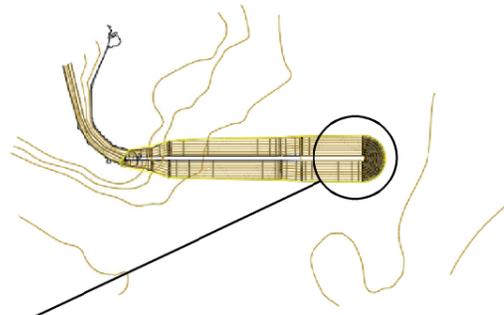
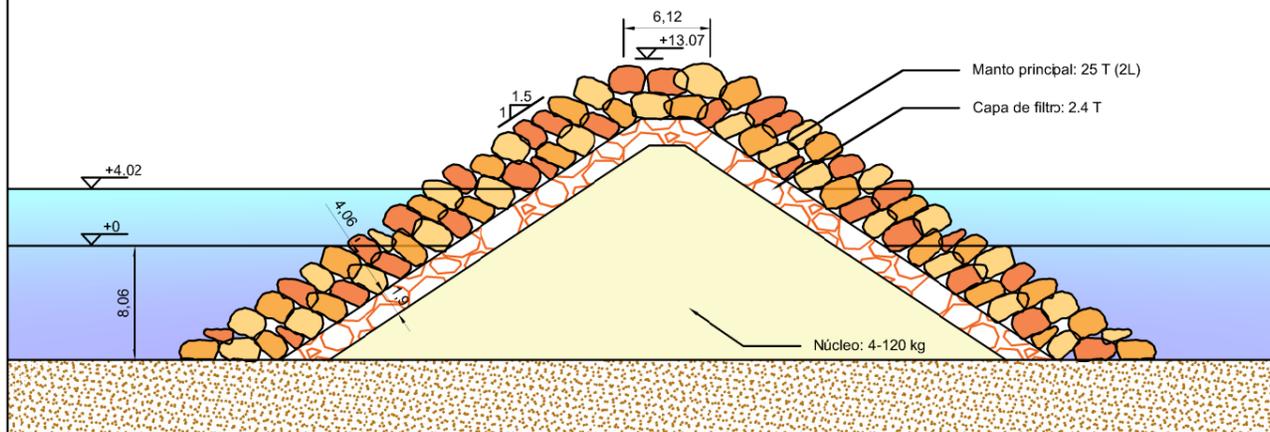


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	70
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	7.5
Periodo de pico (Tp)	13.2
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Solución adoptada: Sección de tronco
E 1:500

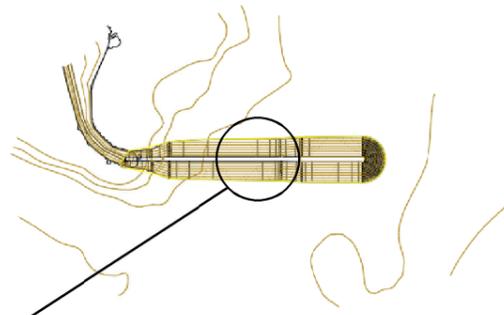
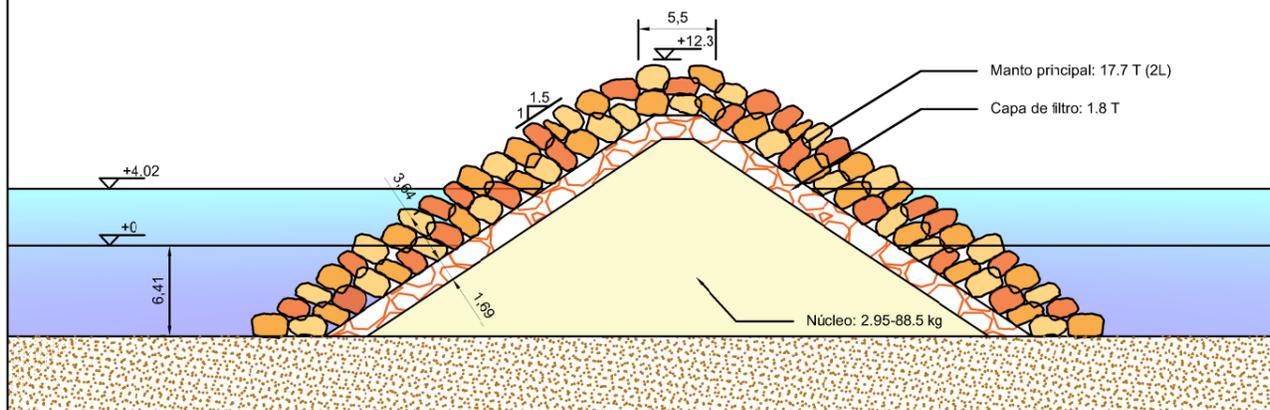


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	150
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	7
Periodo de pico (Tp)	12.9
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson

Solución adoptada: Sección de arranque
E 1:250

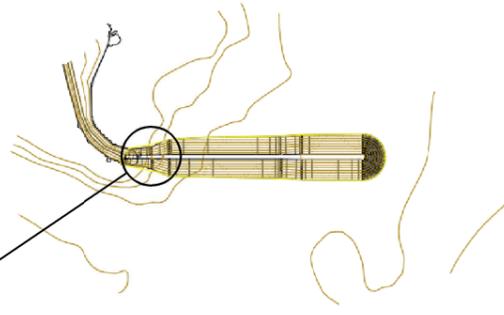
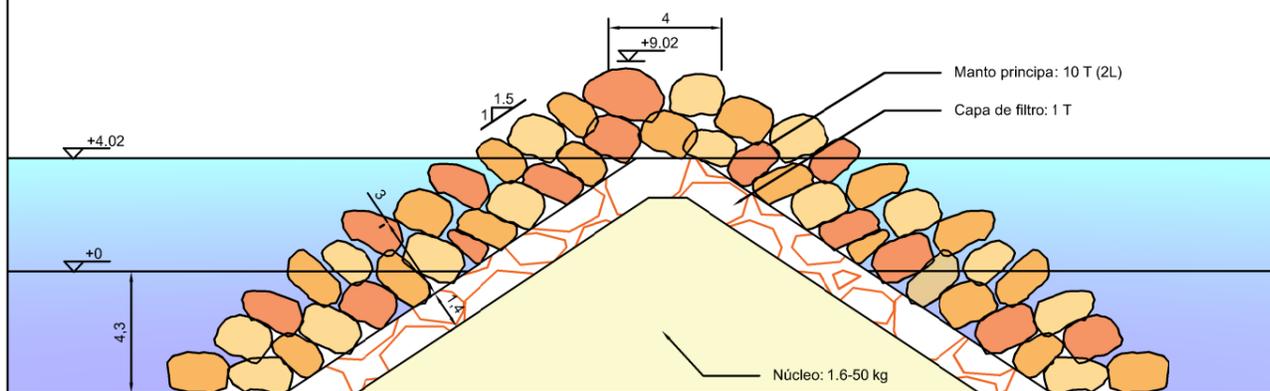
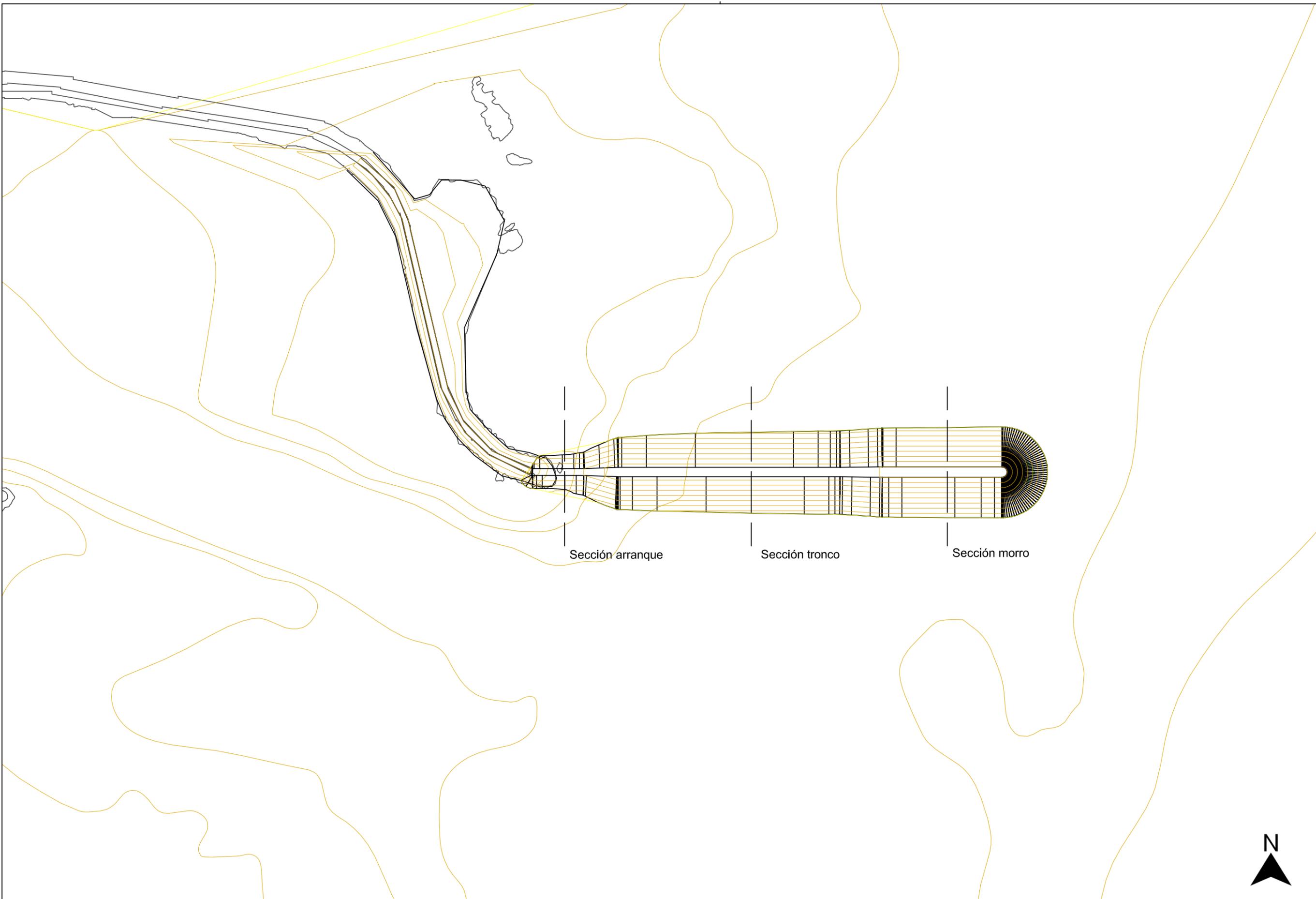


Tabla de características:

Datos geométricos	
Longitud del tramo (m)	50
Datos geotécnicos	
Naturaleza del fondo marino	Lecho rocoso
Criterios de diseño	
Periodo de retorno (años)	250
Altura de ola significativa (m)	3.2
Periodo de pico (Tp)	10.63
Método de verificación de la sección	
Formulación	Hudson



Sección arranque

Sección tronco

Sección morro



TÍTULO Estudio de soluciones para el Nuevo del Dique del Este en la ampliación del Puerto Pesquero de Andenes (Andøy, Noruega).

TITULO DEL PLANO Distribución en planta

AUTOR *Javier*
APARICI BORRÁS, JAVIER

ESCALA 1:2000

FECHA AGOSTO 2020

Nº DE PLANO 8/8