

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PROYECTO DE AMPLIACIÓN DEL DIQUE DE ABRIGO EN EL PUERTO DE
SANTA CRUZ DE LA PALMA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Victor Fernando Espinoza Vilcatoma

ASESOR

Luis Humberto Bravo Salomón

Lima, abril 2022

Resumen

El presente documento de tesis tiene como objetivo principal desarrollar integralmente el proyecto constructivo para la ampliación del dique de abrigo en el Puerto de Santa Cruz de La Palma, debido al incremento de demanda actual y futura de cruceros de gran eslora que atracan en dicha infraestructura. Para conseguir lo mencionado anteriormente, se elaboran los estudios previos del proyecto como base de partida para el diseño del dique. Entre estos estudios, se detallan el estudio de topografía y batimetría de la zona, para conocer la profundidad al interior del puerto, los estudios de geología y geotecnia, que determinan características iniciales recomendadas por la ROM 0.5-95, estudio clima marítimo en profundidades indefinidas, que identifica las alturas de ola más críticas para fuentes de datos en la red costera, exterior y conjunto de datos SIMAR, estudio del clima marítimo en punto objetivo, calcula la altura de ola a pie de dique para un periodo de retorno de 475 años resultando una altura de 7.32 metros, estudio de dinámica litoral y climatología de la zona.

Posteriormente, se realiza el diseño en sección del dique vertical sobre la teoría de reconocidos autores en ingeniería marítima y se presentan tres alternativas en planta, con características distintas de orientación y longitud. A continuación, se establecen los criterios de selección, entre los que se identifica valoración económica, funcionalidad, aspectos constructivos, aspectos ambientales, entre otros, y se realiza la evaluación. El método de selección Pattern determina que la alternativa 2 es la más adecuada para el proyecto, prolongación de 150 metros del dique siguiendo la orientación actual. Finalmente, se complementa la información del proyecto constructivo con los apartados sobre procesos constructivos, presupuesto de ejecución y características del contratista, y se concluye que cumple con el objetivo principal de la tesis, enmarcado en la normativa española vigente.

Agradecimientos

Dedico esta tesis a mis padres, Victor Cruz Espinoza Fernández y Norma Nancy Vilcatoma Macavilca, quienes siempre me brindaron su apoyo incondicional, confianza y amor durante mis años de estudiante, y forjaron en mí los valores de la persona y profesional que alcanzaré a ser. Ustedes son el símbolo más grande de esfuerzo que voy a recordar y valorar siempre.

A mis hermanos Joel y Marcia, quienes son mi mayor motivación de crecimiento y esfuerzo. Ustedes siempre serán mi mano derecha, mis compañeros y amigos. Son las personas en las que creeré siempre.

A mis abuelos, Victor, Ángela y Julita, quienes compartieron conmigo muchos años de sacrificio y, ofrecieron siempre consejo, compañía y cariño.

A mis amigos y personas importantes en mi vida, que me han acompañado y han contribuido con su apoyo y sus palabras a la elaboración de este documento.

Finalizo esta etapa con la alegría de haber compartido el camino con cada uno de ustedes y siendo testigo de que su compañía ha sido lo más importante durante estos años. Quiero agradecerles y dedicarles cada una de las líneas que hoy presento.

Tabla De Contenidos

Resumen.....	i
Agradecimientos	ii
Tabla De Contenidos.....	iii
Índice de figuras.....	vii
Índice de tablas	ix
Índice de fórmulas.....	x
Capítulo 1 Introducción, Razón de Ser y Objetivos	1
1.1. Introducción	1
1.2. Razón de ser del proyecto.....	3
1.3. Sobre diques verticales	4
1.4. Objetivos.....	6
Capítulo 2 Estudios Previos Realizados.....	8
2.1. Topografía y batimetría.....	8
2.2. Carácter de la obra	9
2.3. Geología y geotecnia.....	11
2.4. Clima marítimo en profundidades indefinidas.....	13
2.4.1. Conjunto de datos de la Red Costera	13
2.4.2. Conjunto de datos de la Red Exterior.....	15
2.4.3. Conjunto de datos SIMAR.....	15
2.5. Buque tipo.....	18

2.6.	Clima marítimo en los puntos objetivo	20
2.6.1.	Profundidad de la bocana según ROM 3.1-99	20
2.6.2.	Fase de construcción (periodo de retorno de 20 años).....	23
2.6.3.	Estado límite último (periodo de retorno de 475 años).....	24
2.7.	Marea	24
2.8.	Sismicidad.....	25
2.9.	Estudio básico de dinámica litoral	26
2.10.	Climatología.....	36
2.10.1.	Datos climáticos medios.....	36
Capítulo 3 Soluciones Propuestas y Alternativa Seleccionada		38
3.1.	Alternativas en sección	38
3.1.1.	Cálculo de la altura de ola de diseño	38
3.1.2.	Iribarren.....	39
3.1.3.	McConnell.....	39
3.1.4.	Cota del cajón.....	40
3.1.5.	Superestructura.....	40
3.1.6.	Ancho del cajón.....	40
3.1.7.	Cota de coronación.....	40
3.1.8.	Cálculo de la banqueta de cimentación	41
3.1.9.	Bloque de guarda.....	42
3.2.	Alternativas en planta	42
3.2.1.	Alternativa en planta 1.	43

3.2.2.	Alternativa en planta 2.	44
3.2.3.	Alternativa en planta 3.	44
3.3.	Criterios de selección.	45
3.3.1.	Canteras.	46
3.3.2.	Accesos e instalaciones.	46
3.3.3.	Valoración económica.	47
3.3.4.	Aspectos estructurales.	47
3.3.5.	Funcionalidad.	48
3.3.6.	Aspectos constructivos.	48
3.3.7.	Aspectos ambientales.	48
3.3.8.	Impacto social.	49
3.3.9.	Elasticidad de la solución.	50
3.4.	Evaluación de alternativas.	50
Capítulo 4 Desarrollo de la Alternativa Seleccionada		60
4.1.	Descripción de la solución adoptada.	60
4.2.	Marco legal.	64
4.3.	Proceso constructivo.	64
4.3.1.	Dragado del terreno natural.	65
4.3.2.	Mejora del terreno de cimentación.	67
4.3.3.	Colocación de la banqueta de cimentación.	67
4.3.4.	Enrase de la banqueta de cimentación.	68

4.3.5.	Transporte de cajones.....	70
4.3.6.	Fondeo de cajones	71
4.3.7.	Relleno de celdas y juntas	73
4.3.8.	Manto de protección de la banqueta y bloque de guarda	74
4.3.9.	Espaldón y superestructura.....	74
4.3.10.	Bolardos	78
4.3.11.	Defensas	78
4.4.	Plan de Obra.....	80
4.5.	Plazo de ejecución.....	81
4.6.	Presupuesto	82
4.6.1.	Presupuesto de ejecución material	82
4.6.2.	Presupuesto de ejecución por contrata	83
4.6.3.	Presupuesto para conocimiento de la administración	84
4.7.	Fórmula de revisión de precios	85
4.8.	Clasificación del contratista.....	86
4.8.1.	Procedimiento de adjudicación.	88
4.9.	Plazo de garantía.	89
4.10.	Documentos que componen el proyecto constructivo	89
	Conclusiones	91
	Recomendaciones	93
	Referencias.....	94

Índice de figuras

Figura 1 Prognosis de tráfico de cruceros (IC 90%)	3
Figura 2 Sección de dique vertical.	5
Figura 3 Detalle de la batimetría de la zona de estudio.	9
Figura 4 Ubicación de la Boya de Las Palmas Este.	14
Figura 5 Ubicación de la Boya de Santa Cruz de Tenerife.	14
Figura 6 Ubicación de la Boya de Gran Canaria.	15
Figura 7 Ubicación de NODO SIMAR 4009017.	16
Figura 8 Buque Queen Mary 2.	19
Figura 9 Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación.	21
Figura 10 Coeficientes de asomeramiento y refracción.	23
Figura 11 Ubicación del punto SIMAR 4009017.	27
Figura 12 Rosa de altura significativa en NODO SIMAR 4009017.	28
Figura 13 Leyenda de Rosa de altura significativa en NODO SIMAR 4009017.	28
Figura 14 Dirección de línea de costa y ortogonal a línea de costa.	29
Figura 15 Ángulo α asociado a dirección significativa.	29
Figura 16 Metro cúbicos transportados por año por dirección significativa.	31
Figura 17 Criterio de signos con respecto a dirección ortogonal.	31
Figura 18 Áreas marinas protegidas (MAPAMA).	32
Figura 19 Zonas calificadas como pertenecientes a la red Natura 2000.	33
Figura 20 Zonificación general de la isla.	34
Figura 21 Zonas aptas para actuaciones de interés general, en azul y rojo.	36
Figura 22 Gráfico de Ushijima.	42

Figura 23 Ampliación del dique de abrigo con la búsqueda de mayor calado.	43
Figura 24 Prolongación del dique de abrigo en 150 metros para alternativa 2.	44
Figura 25 Ampliación del dique de abrigo en 450 metros para alternativa 3.	45
Figura 26 Alternativa seleccionada. Prolongación de 150 metros del dique.	60
Figura 27 Alternativa seleccionada.	60
Figura 28 Sección tipo seleccionada de ampliación del dique.	61
Figura 29 Sección en transición seleccionada desde la tercera alineación	61
Figura 30 Tipo de draga según naturaleza del terreno.	66
Figura 31 Enrase de la banquetta de cimentación.	68
Figura 32 Enrasador de banquetta de cimentación.	69
Figura 33 Fondeo de cajones con mar en calma.	71
Figura 34 Relleno procedente de dragado.	74
Figura 35 Espaldón Fase 2.	75
Figura 36 Espaldón Fase 1.	75
Figura 37 Encofrado de espaldón de hormigón armado.	76
Figura 38 Encofrado viga cantil.	77
Figura 39 Encofrado viga cantil.	77
Figura 40 Bolardos.	78
Figura 41 Defensas.	79
Figura 42 Ensayo de carga.	79
Figura 43 Plan de Obra Ampliación del dique del Este.	81

Índice de tablas

Tabla 1 Tráfico de cruceros. N° Escalas / N° Cruceristas / año [1997 – 2017].	2
Tabla 2 Resumen de datos de oleaje.	17
Tabla 3 Buques de crucero servidos en el Puerto de Santa Cruz de La Palma.	18
Tabla 4 Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 20 años.	23
Tabla 5 Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 475 años.	24
Tabla 6 Altura Significativa (Hs) vs Dirección de Procedencia en %.	30
Tabla 7 Especies marinas en peligro de extinción.	35
Tabla 8 Especies marinas vulnerables.	35
Tabla 9 Datos climáticos medios en la estación La Palma Aeropuerto.	37
Tabla 10 Criterios por analizar por el método Pattern.	50
Tabla 11 Puntuación de cada alternativa según los criterios establecidos.	51
Tabla 12 Pesos asignados a cada uno de los criterios del 1 al 10.	56
Tabla 13 Índice de Pertenencia para cada alternativa.	59
Tabla 14 Preferencia de alternativas presentadas.	59
Tabla 15 Grupo, subgrupo y categoría de contratista.	88
Tabla 16 Clasificación del contratista.	88

Índice de fórmulas

Fórmula 1 Factores que dependen del buque	21
Fórmula 2 Factores que dependen del fondo marino	22
Fórmula 3 Cálculo de la profundidad de la bocana.....	22
Fórmula 4 Cálculo de la carrera de marea.	25
Fórmula 5 Cálculo de transporte longitudinal de áridos de variada naturaleza.	26
Fórmula 6 Cálculo de transporte longitudinal de áridos de variada naturaleza.	30
Fórmula 7 Cálculo de transporte longitudinal de áridos en el entorno del proyecto.	31
Fórmula 8 Cálculo de la altura de ola de diseño.	39
Fórmula 9 Promedio de altura de 1/250 de las alturas más elevadas.....	39
Fórmula 10 Altura de ola en rotura según criterio de McCowan (1891).....	39
Fórmula 11 Verificación de la profundidad de banquetta según Iribarren.	39
Fórmula 12 Cálculo de profundidad de fondeo del cajón según Iribarren.....	39
Fórmula 13 Cálculo de altura de berma relativa según McConell.....	39
Fórmula 14 Cálculo de altura de ola significativa relativa según McConell.	39
Fórmula 15 Cálculo del ancho resistente del cajón para dique vertical.	40
Fórmula 16 Cálculo de la cota de coronación del monolito usando la fórmula de Franco.	40
Fórmula 17 Cálculo de la banquetta de cimentación mediante la fórmula de Madrigal.....	41
Fórmula 18 Fórmulas de comprobación de dimensionamiento de dique vertical.....	41
Fórmula 19 Coeficiente d/h para cálculo de bloque de guarda.	42
Fórmula 20 Fórmula polinómica de revisión de precios en proyectos de diques vertical. .	85
Fórmula 21 Fórmula de revisión de precios en proyectos que incluyen dragados	85

Capítulo 1 Introducción, Razón de Ser y Objetivos

1.1. Introducción

La Palma es una isla de 708.32 km² y 83 458 habitantes perteneciente a la Comunidad Autónoma de Canarias en España y se encuentra ubicada en el Océano Atlántico. Es una isla caracterizada por la variedad de paisajes que alberga en su territorio, pues cuenta con ecosistemas áridos costeros, muy húmedos, bosques de pinares y alta montaña, y clima constante a lo largo del año. Debido a esto, la isla es comúnmente conocida como La isla bonita o, llamada localmente, La isla verde. Asimismo, este importante territorio natural se encuentra compuesto y representado por cuatro colores fundamentales en su superficie: el negro del basalto y lava solidificada, el rojo asociado a la presencia de toba volcánica en la zona, el verde que muestra la riqueza natural y vegetación de la isla y el azul correspondiente al Océano Atlántico y el cielo despejado durante todo el año. Además, cuenta con atractivos turísticos muy importantes como el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, situado en la zona central de la isla.

La presencia de un volcán submarino originó la formación de la isla, que con el pasar de cientos de años formó coladas sucesivas que aumentaron su superficie. Posteriormente, el cráter del volcán ha continuado generando erupciones calmadas, que finalmente fueron cubiertas por vegetación. Esto ha permitido que la isla albergue a turistas interesados en recorrer este maravilloso paisaje natural que alberga a un volcán y es una importante Reserva de la Biósfera, que a su vez alberga a una de las Reservas Marinas de las Islas Canarias.

La economía de la isla se encuentra caracterizada por el cultivo de unas 3 000 hectáreas de plátanos, lo que la convierte en la segunda isla en Canarias con mayor producción por detrás de Tenerife. Asimismo, se cultivan otras plantaciones como cítricos, aguacates, verduras, papas o

uvas. Por otro lado, la ganadería en la zona se encuentra enfocada en la crianza de caprinos, para la obtención de leche y quesos. Finalmente, el sector turismo ha experimentado un crecimiento exponencial y se ha posicionado como una creciente fuente de ingresos para la zona. Sin embargo, los expertos coinciden en que, en la actualidad, La Palma no muestra características de contar con un turismo de masas, como es sabido que existe en Tenerife, isla contigua a la mencionada anteriormente. A pesar de esto, la demanda de cruceros de pasajeros ha aumentado considerablemente, lo que repercute en las operaciones llevadas a cabo en las infraestructuras clave para su desarrollo, los puertos.

Es necesario resaltar que el Puerto de Santa Cruz de La Palma constituye la única salida de la isla al mar, no solo en cuanto a mercancías, tanto de avituallamiento, consumo interno, exportación a la Península Ibérica y terceros países, sino también de entrada y salida de pasajeros, tanto relacionados con el turismo, como con el tráfico cotidiano interno en el archipiélago.

La siguiente tabla muestra la evolución y crecimiento del tráfico de cruceros durante los últimos 20 años para el Puerto de Santa Cruz de La Palma.

Tabla 1

Tráfico de cruceros. N° Escalas / N° Cruceristas / año [1997 – 2017].

Año	Nº Escalas	Nº Cruceristas	Año	Nº Escalas	Nº Cruceristas
1997	22	13.684	2008	90	143.764
1998	25	12.425	2009	97	140.175
1999	69	31.119	2010	115	186.558
2000	47	34.122	2011	122	182.872
2001	66	50.16	2012	138	183.316
2002	102	81.887	2013	144	206.877
2003	111	98.583	2014	148	229.94
2004	104	111.434	2015	146	227.879
2005	113	123.334	2016	143	224.448
2006	97	112.475	2017	160	246.478
2007	123	148.71			

Nota. Tomado de “Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma”, por BTP Infraestructuras (España), 2019.

1.2. Razón de ser del proyecto.

El proyecto de ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma surge como una de las piezas clave del Plan Director de Infraestructuras del Puerto. En la actualidad, el Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma tiene como objetivo satisfacer todas las necesidades a futuro de dicha obra. Por ello, una de las necesidades principales se ve reflejada en el constante aumento de la demanda anual de cruceros de pasajeros.

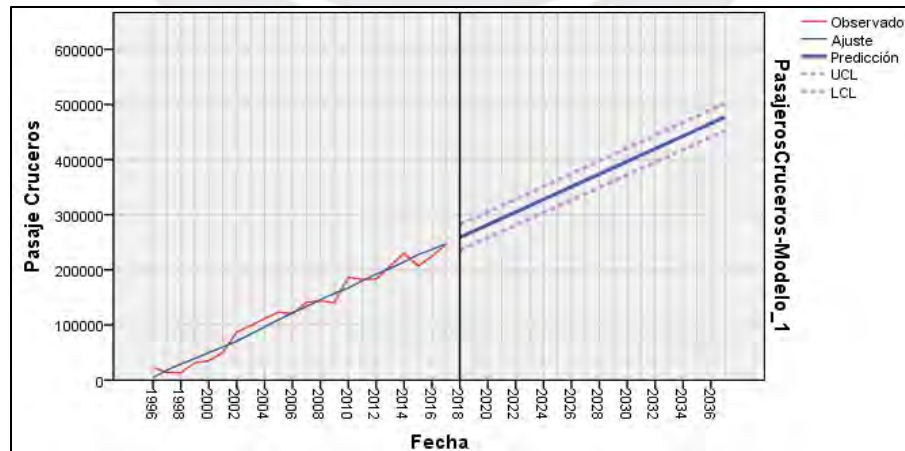


Figura 1 Prognosis de tráfico de cruceros (IC 90%)

Tomado de “Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma”, por BTP Infraestructuras (España), 2019.

A la fecha de realización del estudio, el tráfico de cruceros había alcanzado los 250 000 pasajeros por año. Asimismo, de este gráfico se puede notar que en un horizonte de 15 años se deben haber alcanzado los 500 000 pasajeros por año, lo cual es equivalente al doble de la demanda actual, para la que ya existen incompatibilidades de uso.

Según la información proporcionada, el aumento de tráfico de cruceros ha obligado a emplear atraques no previstos para cruceros, como el muelle polivalente o la primera alineación del dique de abrigo, lo que redundará en un descenso del nivel de servicio y su calidad en un tráfico que resulta estratégico para la isla. Por lo tanto, será conveniente implementar una ampliación del dique de abrigo que permita atender a la demanda actual y futura de cruceros de pasajeros, otorgándole al dique un atraque más, que se encuentre en la capacidad de atender a buques de gran eslora en su tercera alineación, que son los que se tiene previstos para los próximos años. Asimismo, es necesario resaltar que se busca desarrollar el proyecto de acuerdo con los objetivos planteados para el desarrollo de la infraestructura y la isla de La Palma, como generar un adecuado desarrollo económico y social de la zona, mantener la esencia cultural de la isla y sus tradicionales ecosistemas naturales, y generar el menor impacto ambiental sobre la flora y fauna local.

1.3. Sobre diques verticales

El dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma es un dique vertical de 744,5 metros de longitud, calado al interior entre 8 y 14 metros y, calado al exterior entre 10 y 40 metros, que cumple la función de abrigo para la zona interior de dicha infraestructura. Debido a esto, se puede definir a un dique vertical como “una obra de paramento vertical destinada a proteger una actividad

portuaria asegurando un máximo de agitación es su trasdós” (Aragónés, et al, 2017, p.128). Asimismo, es sabido que los diques verticales surgen con la aparición y uso masificado del concreto, pues, en la actualidad, se encuentran compuestos por cajones de concreto armado, con alturas entre 15 y 30 metros.

El funcionamiento de un dique vertical consiste en su forma de defensa particular, que lo diferencia de los diques en talud fabricados con escollera. Tiene como objetivo la reflexión de la ola incidente; por el contrario, los diques rompeolas en talud tiene como propósito anular la energía de la ola en lugar de reflejarla. En consecuencia, será necesario que la implementación de los diques verticales se realice a profundidades considerables, en las que la ola de impacto sea la ola incidente y no la ola rota, ya que la energía que impacta en el segundo caso es mucho mayor.

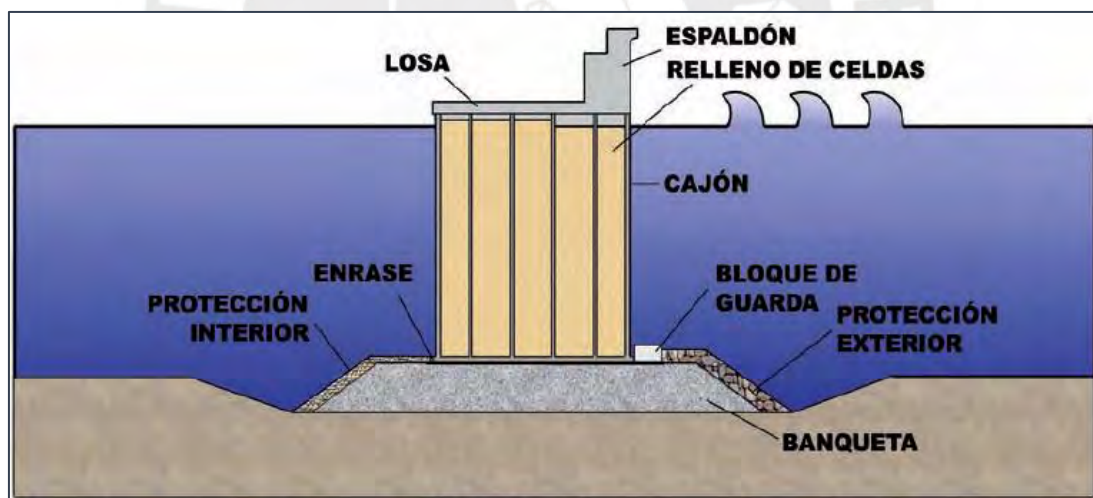


Figura 2 Sección de dique vertical.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

Un dique vertical se encuentra compuesto principalmente por los siguientes elementos:

- Banqueta de cimentación: regular el terreno sobre el que se apoyarán los cajones.

- Protección exterior e interior de talud de la banquetta
- Enrase sobre el que se apoyan los cajones
- Bloque de guarda: protege el pie del cuerpo del dique de la socavación.
- Cajón o cajones de concreto armado
- Relleno de celdas de cajón de concreto armado
- Losa o superestructura
- Espaldón del dique vertical

Asimismo, es importante resaltar que el uso de los diques verticales conlleva importantes ventajas, las cuales son presentadas por Puertos del Estado y se detallan a continuación:

- Menor necesidad de material natural con procedencia de canteras locales.
- Conlleva una mayor rapidez en el proceso de construcción o ampliación del dique.
- Presenta un buen comportamiento ante el oleaje durante la etapa de construcción.
- Permite el atraque en el lado interior del dique.
- Pueden ser desmantelado con mayor facilidad que los diques en talud compuestos por escollera.
- Reducción del impacto ambiental durante la etapa de ejecución.

1.4. Objetivos

Los recintos portuarios constituyen un pilar fundamental para el desarrollo social y económico del archipiélago, en particular el Puerto de Santa Cruz de La Palma por la naturaleza insular, alejada y fragmentada de Canarias. En consecuencia, el desarrollo de infraestructuras portuarias

debe partir de un adecuado proceso de planificación sobre la base de las necesidades particulares del entorno. Posteriormente, se podrán diseñar, construir, gestionar y mantener adecuadamente, generando un impacto positivo en la sociedad, la población y el desarrollo local.

1.4.1. Objetivo general

- Desarrollar integralmente el proyecto constructivo para la alternativa seleccionada, que involucre la presentación del diseño final, procesos constructivos, planos, prescripciones técnicas particulares, presupuesto del proyecto y estudio de seguridad y salud, cumpliendo con la normativa vigente y las recomendaciones para obras marítimas elaboradas por Puerto del Estado para el Gobierno de España.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información sobre el entorno de Santa Cruz de La Palma y las condiciones marítimas a profundidades someras e indefinidas, para que la infraestructura propuesta brinde un adecuado funcionamiento y alcance adecuados porcentajes de operatividad.
- Identificar alternativas que permiten realizar la ampliación y desarrollo del Puerto de Santa Cruz de La Palma para atender a las demandas futuras previstas para los próximos años, a mediano y largo plazo, en función de los estudios previos realizados.
- Valorar objetivamente cada una de las características de las alternativas propuestas para seleccionar la opción que se adecúe mejor a las necesidades del entorno.

Capítulo 2 Estudios Previos Realizados

El presente capítulo tiene como objetivo presentar la información recopilada sobre las diversas características del entorno del proyecto. Se han realizado una serie de estudios previos de la zona de ubicación de la obra con el fin de acotar las posibles soluciones a las actuaciones a realizar, conocer las características de la zona de proyecto y escoger la propuesta más idónea de ellas. Es necesario mencionar que la recopilación de información previa al desarrollo de las alternativas es un proceso fundamental para la planificación, diseño y construcción de infraestructuras, por lo que es importante alcanzar un nivel de detalle óptimo de cara a establecer soluciones funcionales, duraderas y seguras.

2.1. Topografía y batimetría

El Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de Replanteo desarrolla a profundidad las características principales del entorno del proyecto en relación con sus características físicas, información topográfica, ubicación de vértices geodésicos, entre otros. Con el mapa MTN 25 hoja N° 1085-II, obtenido del centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica, podemos observar tanto la topografía con líneas de nivel cada 5 metros de la zona adyacente a la localización de la obra, como la batimetría en las proximidades del puerto. De los análisis cabe destacar una orografía bastante abrupta en la zona seca, principalmente en la zona del Risco de La Concepción, pero más llana en las inmediaciones del puerto y Santa Cruz de La Palma. Por otro lado, la batimetría está formada por una batimetría suave dentro del Puerto de Santa Cruz de La Palma, con cotas de entre -5 y -25 metros, y una batimetría más abrupta en la zona exterior del puerto, que va desde -25 a -60 metros, lo cual nos permite entender la aplicación de un dique vertical como dique de abrigo a estas instalaciones portuarias. A continuación, se presenta una

imagen en la que se aprecia la batimetría del entorno del puerto, así como las dimensiones principales del dique del Este en cada una de sus alineaciones.

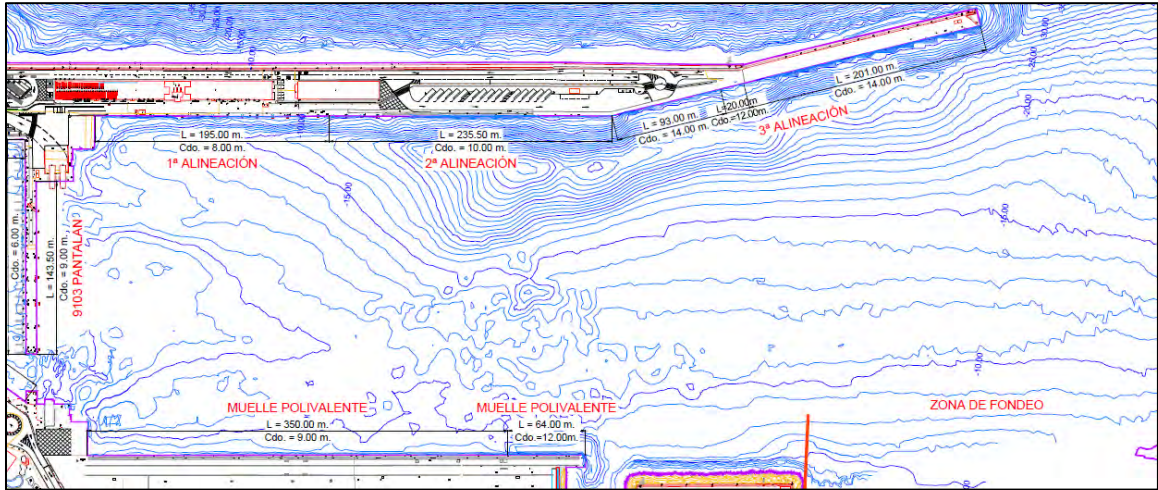


Figura 3 Detalle de la batimetría de la zona de estudio.

Tomado de “Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma”, por BTP Infraestructuras (España), 2019.

El plano de topografía y batimetría se localiza en el Anexo A: “Topografía, Batimetría y Bases de Replanteo” y en Anexo E: “Planos”- siendo el plano N°2 del proyecto.

2.2. Carácter de la obra

La ROM 0.0-01, Recomendación para Obras Marítimas – Procedimiento general y bases de cálculo, define, en función de las repercusiones económicas, sociales y ambientales, el carácter general y carácter operativo de un tramo de obra marítima. Para esto, se analizarán los índices correspondientes a la evaluación que se desee realizar: Índice de Repercusión Económica (IRE) e Índice de Repercusión Social y Ambiental (ISA) para el Carácter General de la obra o Índice de

Repercusión Económica Operativo (IREO) e Índice de Repercusión Social y Ambiental Operativo (ISAO) para el Carácter Operativo de la Obra.

En primer lugar, el carácter general de un tramo de obra toma en consideración la relevancia de una obra marítima, su importancia en la economía local, el efecto social que genera y el impacto ambiental asociado en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad. La elección de cada uno de los índices mencionados a continuación se profundiza a mayor detalle en el Anexo B: “Clima Marítimo en profundidades indefinidas”.

- Para este proyecto a desarrollar, ampliación del dique del Este del Puerto de Santa Cruz de La Palma, el valor del **IRE** adoptado será del tipo R_3 , pues pertenece a un Puerto de Interés General del Estado, y se adoptará un valor de 50 años como vida útil mínima de la infraestructura.
- Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del **ISA** adoptado será del tipo S_2 , y se utilizará un valor de 0,10 como probabilidad de fallo máxima.
- Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del **IREO** adoptado será del tipo $R_{0,3}$, y se tendrá que alcanzar una operatividad base de 99%.
- Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del **ISAO** adoptado será del tipo $S_{0,2}$, y se tendrá un número medio de 5 paradas operativas.
- Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del **ISAO** adoptado será del tipo $S_{0,2}$, y el valor del **IREO** será del tipo $R_{0,3}$, y se tendrá un tiempo máximo de 3 horas por parada.

2.3. Geología y geotecnia

En función de lo obtenido en la ROM 0.5-05, estudiadas las características relativas a geología, geotecnia y yacimientos, se llegó a las siguientes conclusiones:

- La zona de estudio se encuentra ubicada sobre formaciones pertenecientes al cuaternario, en el periodo del pleistoceno y holoceno. Estas formaciones volcánicas consisten en conos y depósitos de piroclásticos basálticos, centros de emisión y depósitos hidromagmático, coladas de lavas basálticas, formaciones sedimentarias de aluvial y, playas de arenas y cantos.
- Se puede concluir también que el relieve del entorno es bastante accidentado, pues se identifica la presencia de barrancos con pendientes más considerables en el encuentro entre la isla y el Océano Atlántico.
- Se identificó la presencia de basalto, el cual se caracteriza por su alta capacidad de carga y fortaleza ante la erosión.
- Para nuestro caso de análisis, la zona I3, zona de proyecto, se encuentra caracterizada como un terreno con condiciones constructivas aceptables.
- Las principales explotaciones existentes en el área que nos ocupa son de basaltos y productos piroclásticos. Los basaltos se emplean como áridos de trituración en obras públicas.
- Los productos piroclásticos abarcan principalmente los piroclastos y el lapilli (picón). Los primeros se emplean como árido natural y material de relleno, mientras que los segundos se utilizan como árido ligero (obras de construcción y prefabricados), y en agricultura.

- Debido al IRE e ISA del proyecto, siguiendo las recomendaciones de la ROM 0.5-05, el tipo de reconocimiento a realizar en la zona de proyecto, con una categoría de obra A, será detallado.
- Para el número de puntos de investigación del presente proyecto, se realizarán 3 alineaciones paralelas a la línea de costa, siguiendo las recomendaciones de la ROM 0.5-05. Asimismo, la separación entre dichas alineaciones será de aproximadamente 20 metros, con 40 metros de separación entre puntos.
- Con la información brindada, se tomará los valores destinados a rocas ígneas, propuesto como recomendación en la ROM 0.5-95.

Peso específico: 26 kN/m³

Resistencia a compresión simple: 100 MPa

Módulo de deformación: 20 000 MPa

- Con la información brindada, se tomarán los valores destinados a sedimentos no consolidados finos-medio en las zonas aledañas, propuesto como recomendación en la ROM 0.5-95.

e : 0.45

c : 0 KPa

Ángulo de rozamiento: 35 °

Eu: 20 MPa

K: 10-2 cm/s

2.4. Clima marítimo en profundidades indefinidas

La recopilación de datos sobre el clima marítimo en profundidades indefinidas en el entorno del proyecto es el objetivo principal del Anexo B: “Clima marítimo en profundidades indefinidas”. Para llevar a cabo este proceso, existe una base de datos confiable creada y actualizada continuamente por Puertos del Estado, pues se encuentra a cargo de la gestión de distintas fuentes de información marítima. En primer lugar, se tomará información sobre el régimen medio de oleaje, el cual hace referencia al estado de mar más recurrente que puede ser avistado. En segundo lugar, será necesario recopilar y tratar los datos del régimen extremal de oleaje, puesto que, para un determinado periodo de retorno y probabilidad, se determinará una altura de ola. Posteriormente, los coeficientes de direccionalidad y refracción serán incluidos para el cálculo de la ola más desfavorable, la cual será utilizada para el diseño del proyecto.

2.4.1. Conjunto de datos de la Red Costera

El conjunto de datos de la red costera está conformado por la Red de Boyas Costeras de Puertos del Estado, ubicadas en profundidades de transición y fondeadas, en general, a menos de 100 m de profundidad.

2.4.1.1. *Boya de las Palmas Este*

La Boya de las Palmas Este pertenece al conjunto de datos de la red costera. Su ubicación estará determinada por las siguientes características: Longitud -15.390 E; Latitud 28.050 N y profundidad de 30 m.

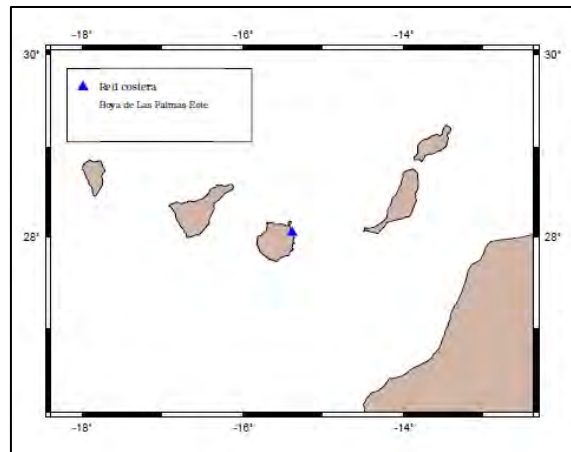


Figura 4 Ubicación de la Boya de Las Palmas Este.

Tomado de “Clima Medio de Oleaje – Boya de Las Palmas Este”, por Puertos del Estado (España), 2019.

2.4.1.2. Boya de Santa Cruz de Tenerife

La Boya de Santa Cruz de Tenerife pertenece al conjunto de datos de la red costera. Su ubicación estará determinada por las siguientes características: Longitud -16.230 E; Latitud 28.460 N y profundidad de 56 m.

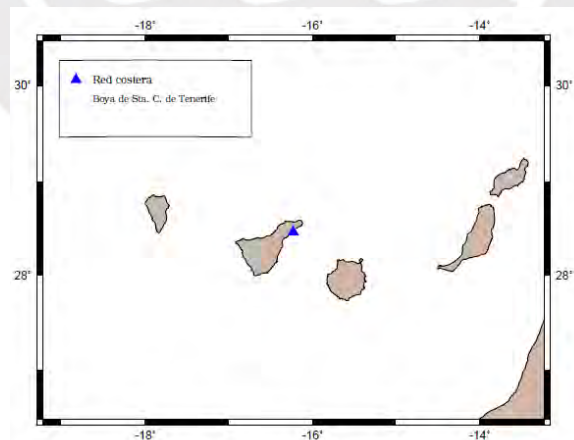


Figura 5 Ubicación de la Boya de Santa Cruz de Tenerife.

Tomado de “Clima Medio de Oleaje – Boya de Santa Cruz de Tenerife”, por Puertos del Estado (España), 2018.

2.4.2. Conjunto de datos de la Red Exterior

El conjunto de datos de la Red Exterior se encuentra compuesto por las mediciones obtenidas a través de las Red de Boyas de Aguas Profundas, en titularidad de Puertos del Estado. Además, la profundidad a la que se encuentran fondeadas las boyas en mención es mayor a 200 metros.

2.4.2.1. *Boya de Gran Canaria*

La Boya de Gran Canaria pertenece al conjunto de datos de la red exterior. Su ubicación estará determinada por las siguientes características: Longitud -15.800 E; Latitud 28.200 N y profundidad de 780 m.

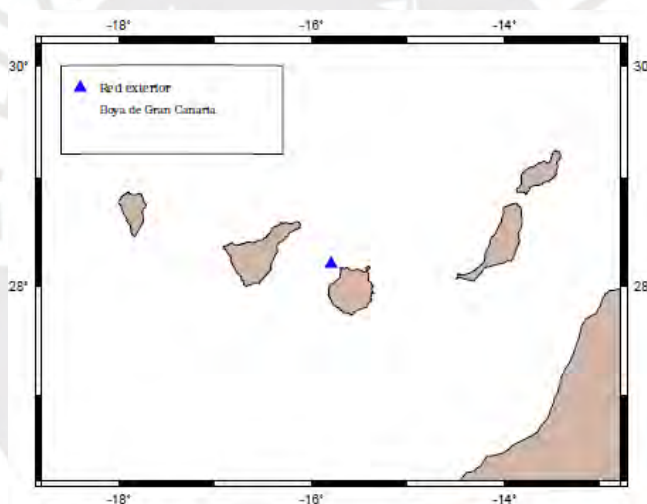


Figura 6 Ubicación de la Boya de Gran Canaria.

Tomado de “Clima Medio de Oleaje – Boya de Gran Canaria”, por Puertos del Estado (España), 2018.

2.4.3. Conjunto de datos SIMAR

Puerto del Estado (2017) menciona que “el conjunto de datos SIMAR está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. Son por tanto datos sintéticos y no proceden de medidas directas de la naturaleza” (p. 9).

2.4.3.1. *Nodo SIMAR 4009017*

El nodo SIMAR 4009017 pertenece al conjunto de datos SIMAR, ubicándose en Longitud - 17.750 E y Latitud 28.667 N.

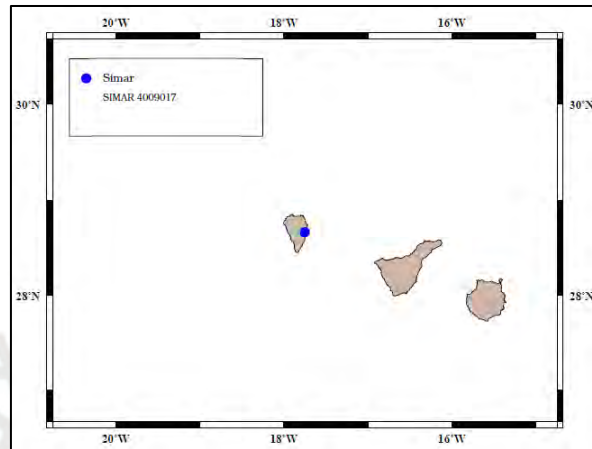


Figura 7 Ubicación de NODO SIMAR 4009017.

Tomado de “Clima Medio de Oleaje – Nodo SIMAR 4009017”, por Puertos del Estado (España), 2017.

Luego, será necesario identificar los coeficientes de direccionalidad y refracción. En primer lugar, Puertos del Estado (1992) menciona que el coeficiente de direccionalidad “permite la obtención de regímenes extremales direccionales de altura de ola significativa en aguas profundas a partir del régimen extremal escalar correspondiente a la zona analizada” (p. 14). En segundo lugar, Puertos del Estado (1992) menciona que el coeficiente de refracción “permite cuantificar la variación de la altura de la ola por la influencia del fondo marino a partir de la altura de ola en aguas profundas” (p. 14).

Posteriormente, tras un análisis detallado del régimen medio y extremal, se obtuvo que la mayor altura de ola resultó la calculada al realizar la propagación inversa, en dirección ENE, de la ola

resultante en la boya de Las Palmas Este, tratada estadísticamente por Puertos del Estado considerando un periodo de retorno de 475 años. Asimismo, al realizar el cálculo directo de la ola resultante en la boya de la red exterior de Gran Canaria, se obtuvo el valor máximo para un periodo de retorno (T_r) de 20 años.

Tabla 2

Resumen de datos de oleaje.

BOYA	RED	T_r (años)	Hsb (m)	K_α	K_r	Hso (m)	T_p (s)	T_s (s)
Las Palmas Este	Costera	475	6.14	1	0.77	7.97	12.95	12.30
Gran Canaria	Exterior	20	5.91	1	1	5.91	10.70	10.17

Nota. Elaboración propia.



2.5. Buque tipo

El buque tipo es aquel que cuenta con dimensiones críticas que atracará en la estructura de análisis, el dique del Este del Puerto de Santa Cruz de La Palma. Asimismo, según el Plan Director, la longitud de muelle actual en la tercera alineación del dique del Este no es suficiente para atender buques (cruceiros) con esloras totales entorno a los 340 m, como se tiene previsto operar a corto plazo. Con esto, se tiene que los buques de cruceiro servidos en el puerto son:

Tabla 3

Buques de cruceiro servidos en el Puerto de Santa Cruz de La Palma.

Buque	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Bandera
Aidablu	253,33	37,6	7.3	Italia
Mein Schiff 1	315,7	42,3	8.2	Malta
Mein Schiff 4	293,2	42,3	8.2	Malta
Rhapsody of the Seas	279	32	7	Bahamas
Queen Elizabeth	294	36	8	Bermudas
Sea Cloud II	105,9	16,15	6	Malta
MS Riviera	239,27	32,31	7.32	Islas Marshall
Independence of the Seas	338,72	39,03	9	Bahamas
Queen Mary 2	345	48,7	10.3	Bermudas
Freedom of the Seas	338,77	39,03	9	Bahamas

Nota. Tomado de “Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma”, por BTP Infraestructuras (España), 2019.

De dicha información, se tomará el buque cruceiro Queen Mary 2 como buque tipo, para el cual se presenta la siguiente información:

- Buque: Queen Mary 2
- Máxima eslora: 345.00 m

- Manga: 48.70 m
- Calado: 10.30 m
- Ángulo de amarre de largos: 45°
- Longitud de atraque: 431.35 m
- Longitud actual: 313.00 m
- Desplazamiento: 149 215 t
- Bandera: Bermudas



Figura 8 Buque Queen Mary 2.

Tomado de Cruceros NET, 2021.

<https://n9.cl/ag9hq>

2.6. Clima marítimo en los puntos objetivo

Siguiendo el Anexo C: “Clima marítimo en los puntos objetivo”, la altura de ola en el punto objetivo, el morro del dique, resultó la calculada a partir del ábaco de *Shore Protection Manuel (SPM)*, el cual proporcionaba mayores coeficientes de propagación y, por lo tanto, mayores alturas de ola para distintos periodos de retorno.

Para esto, fue necesario partir de la información del clima marítimo en profundidades indefinidas, identificar las dimensiones del buque tipo y definir la profundidad de la bocana según las recomendaciones de la ROM 3.1-99 Configuración Marítima: Canales del Acceso y Áreas de Flotación.

2.6.1. Profundidad de la bocana según ROM 3.1-99

Para el cálculo de la profundidad de la bocana, se seguirán las recomendaciones descritas por la ROM 3.1-99: “Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación”

Puertos del Estado (2000) afirma que la determinación de la profundidad necesaria en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación se realizará en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- El calado de los buques y los factores relacionados con los barcos que puedan ocasionar que algún punto de su casco alcance una cota más baja que la correspondiente a quilla plana en condiciones estáticas en agua de mar (H1).
- El nivel del Agua que se considere y los factores que afectan a su variabilidad (H2), que determinarán el plano de referencia para emplazar el buque.

- o Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con el fondo. La valoración de estos márgenes de seguridad se incluye dentro del bloque de Factores H1. (p.199-200)

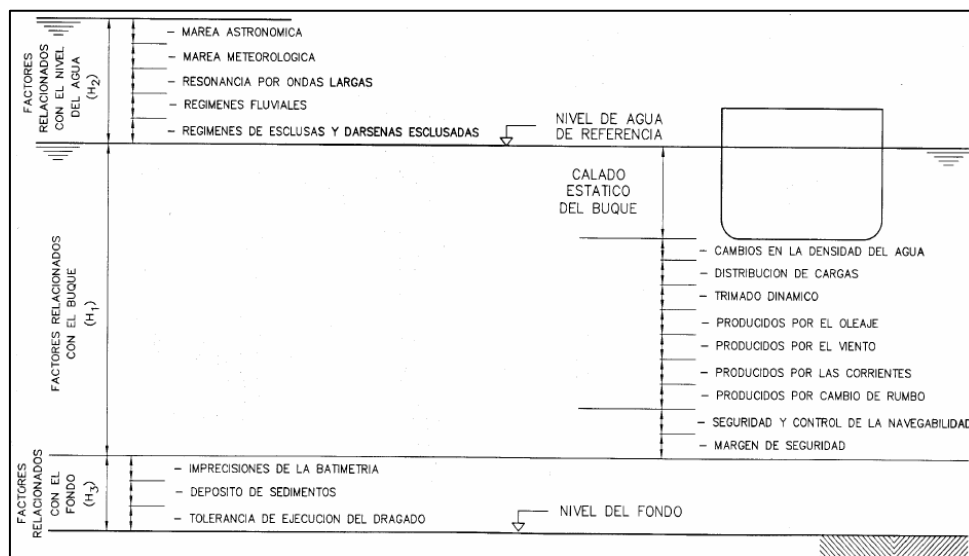


Figura 9 Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación.

Tomado de “ROM 3.1-99 Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación”, por Puertos del Estado (España), 2000.

En el Anexo C se detalla la información de los cálculos realizados y los valores tomados a partir de las recomendaciones establecidas por Puertos del Estado. Por consiguiente, se presenta:

2.6.1.1. Factores que dependen del buque

Fórmula 1 Factores que dependen del buque para el cálculo de profundidad de la bocana.

$$H1 = 1.5 * Calado = 1.5 * 10.30 m = 15.45 m$$

2.6.1.2. Factores relacionados con el fondo

Fórmula 2 Factores que dependen del fondo marino para el cálculo de profundidad de la bocana.

$$H3a = 1\% * \frac{200}{100} * Calado = 1\% * \frac{200}{100} * 10.30 m = \mathbf{0.21m}$$

2.6.1.3. Tolerancia de ejecución del dragado

$$H3b = \mathbf{0.50 m}$$

Por consiguiente, la profundidad de la bocana se calcula como:

Fórmula 3 Cálculo de la profundidad de la bocana.

$$h = 15.45 m + 0.21 m + 0.50 m = \mathbf{16.16 m} \approx \mathbf{30 m}$$

La información conseguida sobre el valor de la profundidad de la bocana será útil para evaluar y calcular la altura de ola que llega al morro del dique mediante distintos métodos, los cuales se presentan en el Anexo C. Finalmente, el método propuesto por el Shore Protection Manual (SPM) fue el que proporcionó los valores más críticos.

El Shore Protection Manual propone una serie de gráficos para el cálculo del coeficiente de refracción o el valor conjunto del coeficiente de refracción y asomeramiento, válido para el caso de batimetría recta y paralela. Para el caso de análisis, se utilizará el ábaco que proporciona el valor conjunto del coeficiente de refracción y asomeramiento.

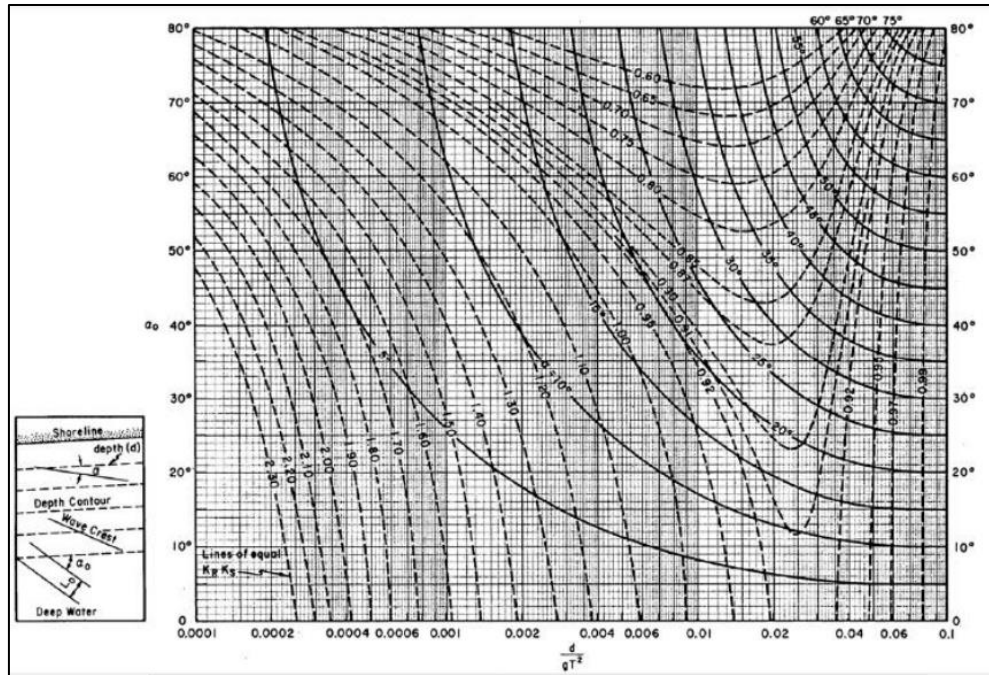


Figura 10 Coeficientes de asomeramiento y refracción.

Tomado de “Shore Protection Manual”, por US Army Corps of Engineers (Estados Unidos), 1984.

Los resultados finales del análisis del clima marítimo en el punto objetivo se presentan en las siguientes tablas para cada periodo de retorno analizado, 20 y 475 años.

2.6.2. Fase de construcción (periodo de retorno de 20 años).

Tabla 4

Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 20 años.

DIRECCIÓN	α_0 (°)	α_1 (°)	K_R	H_{so} (m)	H_{pd} (m)
NE	22.5	19	0.91	5.91	5.38
ENE	0	0	0.918	5.91	5.43
E	22.5	19	0.91	5.91	5.38
ESE	45	37	0.88	5.91	5.20

Nota. Elaboración propia.

2.6.3. Estado límite último (periodo de retorno de 475 años).

Tabla 5

Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 475 años.

DIRECCIÓN	α_0 (°)	α_1 (°)	K _R	H _{so} (m)	H _{pd} (m)
NE	22.5	15	0.907	7.97	7.23
ENE	0	0	0.919	7.97	7.32
E	22.5	15	0.907	7.97	7.23
ESE	45	29	0.84	7.97	6.69

Nota. Elaboración propia.

Con esto, se determina como altura de ola a pie de dique la procedente de la dirección ENE con 7.32 metros para un periodo de retorno de 475 años.

2.7. Marea

El nivel del mar identificado en la zona de proyecto es un condicionante importante para al cálculo de la acción del oleaje, por lo que resulta importante contar con información actualizada sobre su estado. Debido a esto, Puertos del Estado cuenta con la Red de Mareógrafos de Puertos del Estado (REDMAR), la cual “surgió como respuesta a la necesidad de disponer de una red de medida de nivel del mar que permitiera la consulta de datos en tiempo real [...] y la generación de series largas de nivel del mar” (Puertos del Estado, 2017, p. 6)

Tal y como se define en el Anexo B, la marea astronómica y la marea meteorológica son los dos elementos principales para la determinación de la carrea de marea en el entorno del proyecto. En primer lugar, las mareas astronómicas “son causadas por la fuerza de atracción de la Luna y del Sol en menor medida [...] en combinación con el movimiento de la rotación de la Tierra” (Aragónés, et al, 2017, p.16). Además, es necesario resaltar que estas representan una variable

periódica en el comportamiento del nivel del mar. En segundo lugar, las mareas meteorológicas se pueden definir como “las sobreelevaciones del nivel del mar causadas por cambios bruscos de la presión atmosférica o vientos de temporal” (Aragonés, et al, 2017, p.17). Asimismo, es importante resaltar que estas últimas generan variaciones irregulares en el nivel del mar.

A través de la identificación de ambas componentes mediante la REDMAR, en particular el mareógrafo ubicado en Santa Cruz de la Palma, se obtiene:

$$\text{Pleamar Máxima Viva Equinoccial (PMVE)} = 2.77 \text{ m} + 0.20 \text{ m} = 2.97 \text{ m}$$

$$\text{Bajamar Mínima Viva Equinoccial (BMVE)} = 0.15 \text{ m} - (-0.17 \text{ m}) = 0.32 \text{ m}$$

Fórmula 4 Cálculo de la carrera de marea.

$$\text{Carrera de marea} = \text{PMVE} - \text{BMVE} = 2.97 \text{ m} - 0.32 \text{ m} = 2.65 \text{ m}$$

Finalmente, para mantener el análisis del lado de la seguridad, se considerará una carrera de marea de **3 metros**.

2.8. Sismicidad

En el presente apartado, se analizará la utilización de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) en la ampliación del dique de abrigo en Santa Cruz de La Palma.

En primer lugar, el proyecto de ampliación en el dique del Este del Puerto de Santa Cruz de La Palma se define como de importancia especial, puesto que el Artículo 1.2.2 clasifica a las obras de este tipo como “Edificios e instalaciones vitales de los medios de transporte en las estaciones de ferrocarril, aeropuertos y puertos” (Ministerio de Fomento, 2009, p. 8).

La aplicación de esta Norma es obligatoria en las construcciones recogidas en el artículo 1.2.1, excepto:

- En las construcciones de importancia moderada
- En las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a $0.04g$, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica a_b (art. 2.1) sea inferior a $0.08g$. No obstante, la Norma se aplicará en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo, a_c (art. 2.2) es igual o mayor a $0.08g$.

Según la información brindada en la NCSE-20, la *Aceleración Sísmica Básica* en Santa Cruz de La Palma es de $0.04g$, por lo que examinar el efecto sísmico y aplicación de la Norma no es obligatorio.

2.9. Estudio básico de dinámica litoral

En el presente apartado, para la cuantificación y cálculo del transporte litoral longitudinal potencial, se hará uso de la formulación matemática del CERC (Coastal Engineering Research Center). Esta servirá para contar con información acerca del transporte de áridos de variada naturaleza, entre la naturaleza geomorfológica, biológica y química, así como el de incidencia de oleaje y gradiente de sobreelevación.

Fórmula 5 Cálculo de transporte longitudinal de áridos de variada naturaleza.

$$Q \left[\frac{m^3}{año} \right] = 16.34 \times 10^5 \times H o^{\frac{5}{2}} \times \cos(\alpha_o)^{\frac{1}{4}} \times \sin(2\alpha_o) \times f$$

Siendo:

- H_0 : Altura de ola en profundidades indefinidas.
- α_0 : Ángulo formado entre la dirección de avance de oleaje con la ortogonal a la línea de playa.
- f : Frecuencia de presentación, que se obtiene a partir de rosa de oleaje.

Para el presente análisis, se tomará información del PUNTO SIMAR 4009017, ubicado frente al Puerto de Santa Cruz de La Palma, puesto que será necesario considerar las direcciones predominantes de oleaje en la zona.

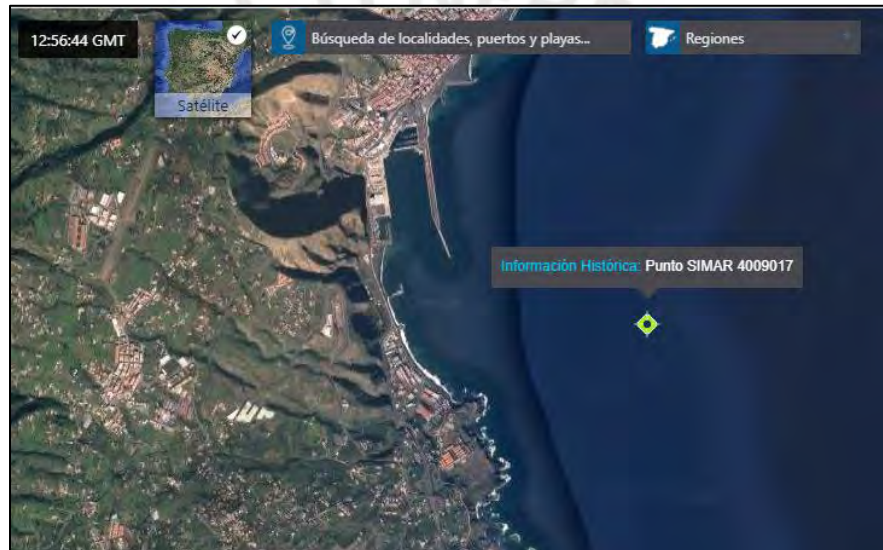


Figura 11 Ubicación del punto SIMAR 4009017.

Tomado de Puertos del Estado (España), 2021. Recuperado: <https://n9.cl/aqg97>

De lo mostrado anteriormente, se puede notar que la dirección de la línea de costa tiene una orientación de SSE a NNW. Asimismo, de este punto SIMAR, se obtendrá la información sobre la rosa de oleaje presentada a continuación para la obtención de las direcciones predominantes de oleaje.

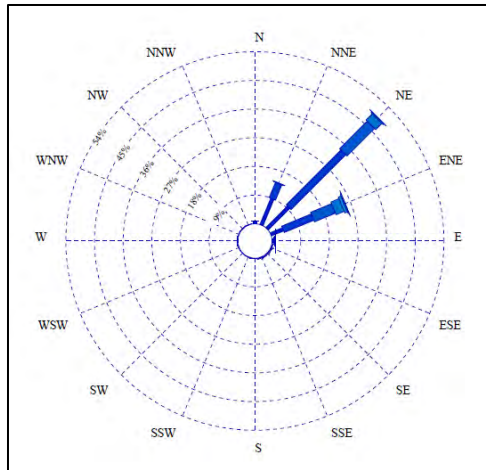


Figura 12 Rosa de altura significativa en NODO SIMAR 4009017.

Tomado de “Clima Medio de Oleaje – Nodo SIMAR 4009017”, por Puertos del Estado (España), 2017.

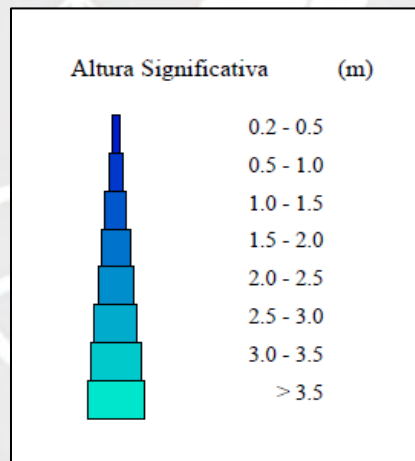


Figura 13 Leyenda de Rosa de altura significativa en NODO SIMAR 4009017.

Tomado de “Clima Medio de Oleaje – Nodo SIMAR 4009017”, por Puertos del Estado (España), 2017.

Por lo tanto, se puede notar que las direcciones predominantes o significativas de oleaje son:

- Dirección NNE
- Dirección NE
- Dirección ENE

Asimismo, será necesario determinar el ángulo α_0 , el cual se calcula mediante la diferencia entre la dirección de avance de oleaje con la ortogonal a la línea de playa.

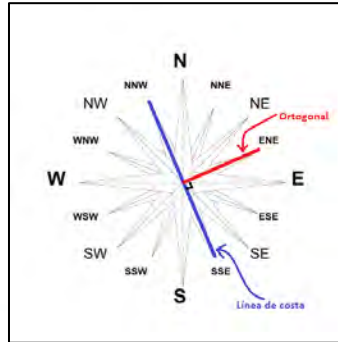


Figura 14 Dirección de línea de costa y ortogonal a línea de costa.

Fuente: Elaboración propia.

De esto, se presenta en siguiente cuadro con el valor del ángulo α_0 asociado a cada dirección significativa.

Dirección Significativa	α_0 (°)
NNE	45
NE	22.5
ENE	0

Figura 15 Ángulo α_0 asociado a dirección significativa.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinadas las direcciones predominantes, será necesario calcular la frecuencia con la que se generan olas de altura 1 m, 1.5 m, 2 m para cada una de las direcciones halladas anteriormente. Dicha información se obtendrá de la siguiente tabla brindada por Puertos del Estado como información del NODO SIMAR 4009017.

Tabla 6

Altura Significativa (Hs) vs Dirección de Procedencia en %.

Dirección	Hs (m)												Total	
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0		
CALMAS	8.356													8.356
N 0.0	.837	.027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.864
NNE 22.5	8.936	5.141	.175	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.255
NE 45.0	9.624	24.241	12.280	2.767	.354	.021	.004	-	-	-	-	-	-	49.292
ENE 67.5	4.157	10.048	7.151	2.716	.883	.260	.063	.017	-	-	-	-	-	25.296
E 90.0	.458	.385	.111	.020	.003	-	-	-	-	-	-	-	-	.978
ESE 112.5	.166	.093	.026	.002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.286
SE 135.0	.131	.068	.008	.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.211
SSE 157.5	.197	.062	.003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.263
S 180.0	.040	.010	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.051
SSW 202.5	.006	.025	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.031
SW 225.0	.004	.017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.021
WSW 247.5	.009	.014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.023
W 270.0	.008	.013	.001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.022
WNW 292.5	-	.013	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.013
NW 315.0	.002	.014	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.017
NNW 337.5	.002	.019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.021
Total	8.356	24.578	40.192	19.757	5.510	1.241	.282	.068	.017	-	-	-	-	100%

Nota. Tomado de “Clima Medio de Oleaje – Nodo 4009017”, por Puertos del Estado (España), 2017.

Con esta información, se podrá obtener información acerca del transporte de sólidos longitudinal, para lo que será necesario aplicar la fórmula presentada anteriormente.

Fórmula 6 Cálculo de transporte longitudinal de áridos de variada naturaleza.

$$Q \left[\frac{m^3}{año} \right] = 16.34 \times 10^5 \times H_o^{\frac{5}{2}} \times \cos(\alpha_o)^{\frac{1}{4}} \times \sin(2\alpha_o) \times f$$

De esto, se obtienen los siguientes resultados para cada dirección significativa y altura de ola.

Dirección Significativa	α_o (°)	Ho (m)	f	Q (m ³ /año)
NNE	45	1	0.05141	77032.0
		1.5	0.00175	7225.9
		2	0.00002	169.5
NE	22.5	1	0.24241	274594.2
		1.5	0.1228	383325.2
		2	0.02767	177306.7
ENE	0	1	0.10048	0.0
		1.5	0.07151	0.0
		2	0.02716	0.0

Figura 16 Metro cúbicos transportados por año por dirección significativa.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para realizar el balance total, será necesario establecer el criterio de signos tomando como referencia la dirección ortogonal a la línea de costa.

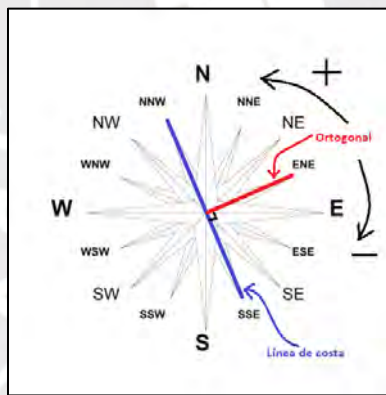


Figura 17 Criterio de signos con respecto a dirección ortogonal. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, todas las direcciones presentan signo positivo con respecto a la dirección ortogonal a la línea de costa.

Fórmula 7 Cálculo de transporte longitudinal de áridos de variada naturaleza en el entorno del proyecto.

$$Q_{total} = \sum_{1}^{9} Q_i$$

$$Q_{total} = 919\,653.5 \text{ m}^3/\text{año}$$

A lo largo del litoral de la isla de La Palma únicamente se encuentra libre de figuras de protección medioambiental la mayor parte de la costa este-sur y un tramo de la costa oeste en torno a Tazacorte.

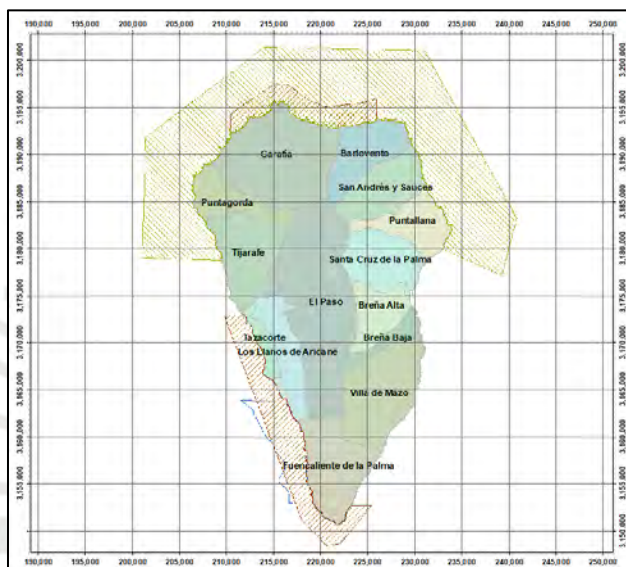


Figura 18 Áreas marinas protegidas (MAPAMA).

Tomado de Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (España), 2015.

En la costa este, al sur de Puntallana, únicamente la zona de la Montaña de Azufre (alrededor de 1 500 m de costa) y un tramo costero de la zona de la Cumbre Vieja (unos 2 400 m de costa) figuran como zonas incluidas en la Red Natura 2000, hasta encontrar el límite NE de la franja costera de Fuencaliente, a unos 2.600 m de la punta del mismo nombre, hacia el N.



Figura 19 Zonas calificadas como pertenecientes a la red Natura 2000.

Tomado de Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico (España), 2020. Recuperado de:
<https://n9.cl/gmg0r>

En la figura 20, se muestra la zonificación de la isla. Esto fue aprobado de acuerdo con lo dispuesto en el Boletín Oficial de Canarias número 67.

Artículo primero.- Aprobar definitivamente el Plan Insular de Ordenación de la isla de La Palma, en los términos establecidos en el Acuerdo de aprobación provisional adoptado por el Pleno del Cabildo Insular de La Palma el 23 de abril de 2010, con las modificaciones introducidas por Acuerdos del Pleno del Cabildo Insular de La Palma de 12 de noviembre de 2010, 14 de enero de

2011 y 11 de febrero de 2011, así como con la modificación de la Disposición Transitoria Única introducida en la aprobación definitiva.

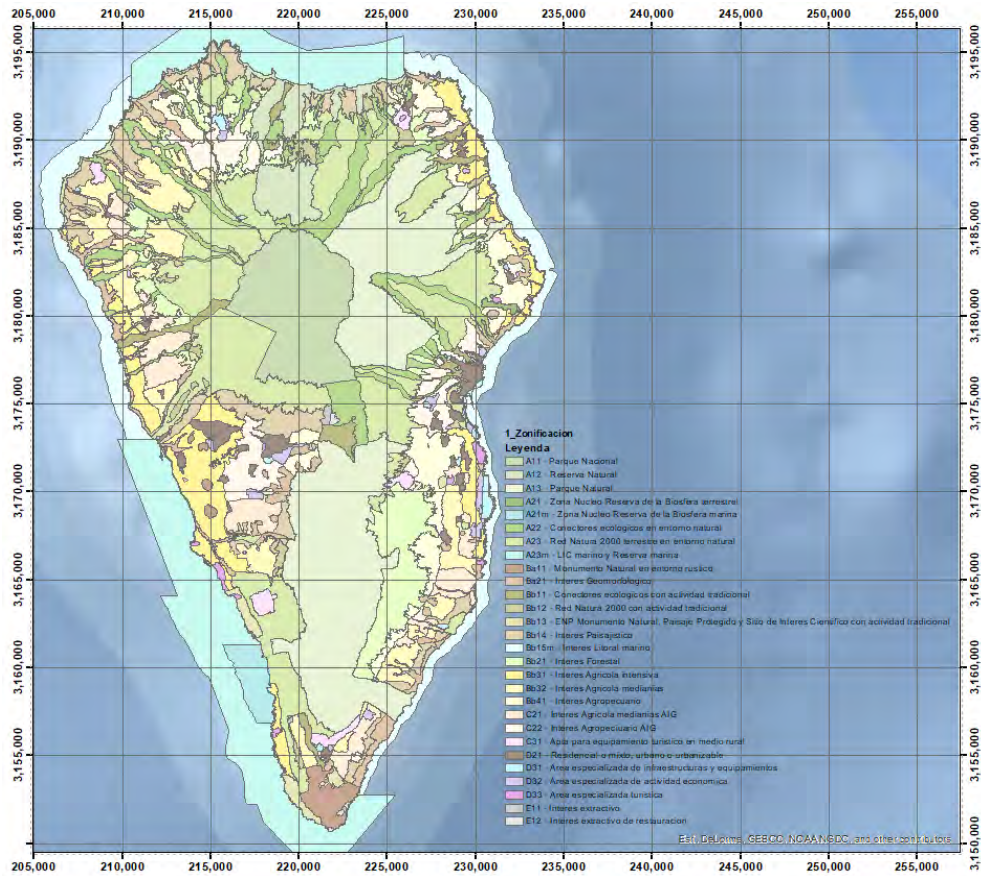


Figura 20 Zonificación general de la isla.

Tomado de Planeamiento Insular Cabildo de La Palma (España), 2020. Recuperado de: <http://www.piolp.es/>

En el medio marino, las especies en peligro de extinción son las siguientes (Gobierno de Canarias, 2010):

Tabla 7

Especies marinas en peligro de extinción.

GRUPO	SUBGRUPO	MEDIO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Flora	Alga	Marino	Gracillaria cervicornis	Glaciliaria cornuda
Fauna	Mamífero	Marino	Monachus monachus	Foca monje
Fauna	Artrópodos	Marino	Panulirus echinatus	Langosta pintada
Flora	Espermatófitos	Marino	Zostera noltii	Seba fina

Nota. Tomado de “Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma”, por BTP Infraestructuras (España), 2019.

Tabla 8

Especies marinas vulnerables.

GRUPO	SUBGRUPO	MEDIO	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
Flora	Algas	Marino	Alsidium corallinum	Alsidio
Fauna	Peces	Marino	Anguilla anguilla	Anguila
Fauna	Poríferos	Marino	Corallistes nollitangere	Esponja cerebro
Flora	Algas	Marino	Cystoseira mauritanica	Mujo mauritano
Flora	Algas	Marino	Cystoseira tamaricifolia	Mujo ramudo
Flora	Algas	Marino	Gelidium canariense	Gelidio negro
Fauna	Mamíferos	Marino	Physeter macrocephalus	Cachalote

Nota. Tomado de “Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma”, por BTP Infraestructuras (España), 2019.

Finalmente, se presentan, como información adicional, los mapas que muestran las zonas aptas para el desarrollo de actuaciones de interés general y las zonas libres de figuras de protección, con lo que la zona del Puerto de Santa Cruz de La Palma se encuentra apta para el planteamiento e implementación de la ampliación del dique de abrigo.



Figura 21 Zonas aptas para actuaciones de interés general, en azul y rojo.

Tomado de Planeamiento Insular Cabildo de La Palma (España), 2020. Recuperado de: <http://www.piolp.es/>

2.10. Climatología

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) proporciona datos y estadísticas preservados de manera estructurada y ordenada que facilita su acceso. Entre esos datos, se proporciona información sobre valores normales en un conjunto de observatorios. Para el caso de análisis, se toma información de la estación La Palma Aeropuerto, la cual ha recopilado datos desde el periodo de 1981 hasta el 2010.

2.10.1. Datos climáticos medios

En el presente apartado, se presenta información sobre los datos climáticos medios en la zona de proyecto, con detalle mensual para cada uno de los valores. Esto será de utilidad en un análisis posterior para analizar el entorno climatológico en el que se ejecutará de la obra y prever posibles inconvenientes en el calendario de construcción.

Tabla 9

Datos climáticos medios en la estación La Palma Aeropuerto.

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	18.1	20.6	15.5	49	70	5.3	0.0	0.2	0.0	0.0	4.6	141
Febrero	18.0	20.7	15.3	57	71	4.3	0.0	0.3	0.0	0.0	4.8	146
Marzo	18.5	21.2	15.7	33	71	3.9	0.0	0.1	0.1	0.0	5.0	177
Abril	18.9	21.6	16.2	18	70	2.7	0.0	0.1	0.1	0.0	3.4	174
Mayo	20.0	22.6	17.4	7	70	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	192
Junio	21.7	24.1	19.2	2	72	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	188
Julio	23.1	25.5	20.7	1	73	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	222
Agosto	23.9	26.3	21.4	1	73	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0	7.1	209
Septiembre	24.0	26.6	21.3	12	73	1.8	0.0	0.1	0.1	0.0	6.5	187
Octubre	22.8	25.5	20.2	41	73	5.2	0.0	0.2	0.0	0.0	5.1	175
Noviembre	20.9	23.5	18.3	70	71	6.8	0.0	0.4	0.1	0.0	4.2	140
Diciembre	19.3	21.8	16.7	80	70	7.9	0.0	0.3	0.0	0.0	4.7	138
Año	20.7	23.3	18.1	369	72	40.3	0.0	1.9	0.6	0.0	62.6	2106

Nota. Tomado de “Valores climatológicos normales. La Palma Aeropuerto”, por Agencia Estatal de Meteorología (España), 2010. Recuperado de: <https://n9.cl/43gdy>

LEYENDA

- T : Temperatura media mensual/anual (° C)
- TM: Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (° C)
- Tm: Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (° C)
- R : Precipitaciones mensuales/anual media (mm)
- H : Humedad relativa media (%)
- DR: Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN: Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT: Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF: Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH: Número medio mensual/anual de días de helada
- DD: Número medio mensual/anual de días despejados
- I : Número medio mensual/anual de horas de sol

Capítulo 3 Soluciones Propuestas y Alternativa Seleccionada

En la actualidad, el Puerto de Santa Cruz de La Palma cuenta con un dique vertical de abrigo cuyo funcionamiento brinda protección frente al oleaje y mantiene la altura de olas al interior del puerto en adecuadas condiciones. Asimismo, cuenta con tres atraques para cruceros de turistas que visitan la isla de La Palma anualmente. Dicho dique tiene como objetivo atender a las necesidades mencionadas anteriormente, con respecto a la demanda y eslora del buque tipo. Por ello, será fundamental que, para las alternativas planteadas, se tome como característica principal la longitud de la ampliación y la dirección de esta. Ante esto, se plantearán alternativas que cumplan con los objetivos trazados por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife y el Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma.

3.1. Alternativas en sección

Para la evaluación de las alternativas en sección del nuevo tramo del dique, se ha considerado como única alternativa el análisis del dique vertical. Esto debido a la necesidad de atraque de cruceros, pues un dique en talud compuesto por escollera dificultaría el adecuado funcionamiento y desarrollo de estas operaciones en el puerto. Por ello, en el siguiente apartado, se desarrolla el cálculos y diseño para cada una de las componentes del dique vertical, según la información recopilada en los apartados anteriores y que componen los estudios previos realizados en el entorno de la infraestructura.

En este apartado, se presentarán los cálculos realizados sobre el razonamiento teórico.

3.1.1. Cálculo de la altura de ola de diseño

El cálculo de la altura de ola de diseño viene determinado por:

Fórmula 8 Cálculo de la altura de ola de diseño.

$$H_D = \min[H_{1/n}; H_b] = \min[13.25; 25.74] = \mathbf{13.25\ m\ (Ola\ no\ rota)}$$

Para esto, las variables mostradas se determinan mediante:

Fórmula 9 Promedio de altura de 1/250 de las alturas más elevadas de un registro de olas.

$$H_{1/n} = H_{1/250} = 1.80 * H_s = 1.80 * 7.350 = 13.25\ m$$

Fórmula 10 Altura de ola en rotura según criterio de McCowan (1891)

$$H_b = 0.78 * h = 0.78 * 33 = 25.74\ m$$

3.1.2. Iribarren

Según lo planteado por Iribarren, se deben cumplir las siguientes restricciones:

Fórmula 11 Verificación de la profundidad de banquetta según Iribarren.

$$h = h_s \geq 2 * H_{m\acute{a}x} \rightarrow 30 \geq 2 * 13.25 = 26.5$$

Fórmula 12 Cálculo de profundidad de fondeo del cajón según Iribarren.

$$h' \approx 1.5 * H_{m\acute{a}x} \rightarrow 1.5 * 13.25 \approx 19.88 \approx 20\ m$$

$$\text{Profundidad de la banquetta} \rightarrow \mathbf{h_s = 30\ m}$$

$$\text{Profundidad de fondeo del cajón} \rightarrow \mathbf{h' = 22.5\ m}$$

3.1.3. McConnell

Fórmula 13 Cálculo de altura de berma relativa según McConell.

$$\text{Altura de berma relativa: } h_b^* = \frac{h_b}{h_s} < 0.3 \rightarrow h_b < 0.3 * 30 = 9\ m$$

Fórmula 14 Cálculo de altura de ola significativa relativa según McConell.

$$\text{Altura de ola significativa relativa: } H_s^* = \frac{H_s}{h_s} < 0.35 \rightarrow H_s < 0.35 * 30 = 10.5\ m$$

$$\text{Altura de la berma} \rightarrow \mathbf{h_b = 7.5\ m < 9\ m\ cumple\ para\ dique\ vertical}$$

Altura de la ola significativa $\rightarrow H_s = 7.35 \text{ m} < 10.5 \text{ m}$ cumple para olas pequeñas

3.1.4. Cota del cajón

La cota del cajón se ubicará en la medida +1, tomando como referencia la PMVE.

$$\text{Cota del cajón (BMVE)} = +3.82 \text{ m.}$$

En este caso, se considerará + 3m

3.1.5. Superestructura

El espesor de la superestructura estará entre 1.20 m y 1.50 m.

$$\text{Cota de la superestructura (BMVE)} = +5.5 \text{ m}$$

3.1.6. Ancho del cajón

El ancho del cajón se calculará mediante la siguiente ecuación:

Fórmula 15 Cálculo del ancho resistente del cajón para dique vertical.

$$\text{Ancho de cajón} \approx (3.15 \text{ a } 3.28)H_s \approx 3.2 * 7.35 = 23.52 \text{ m}$$

En este caso, se considerarán 25 metros.

3.1.7. Cota de coronación

Para el diseño de la cota de coronación del monolito, se utilizará la fórmula de Franco, permitiendo un caudal máximo de rebase de $10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$.

Fórmula 16 Cálculo de la cota de coronación del monolito usando la fórmula de Franco.

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_s^3}} = 0.082 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_c}{H_s}} = \frac{10^{-2}}{\sqrt{9.81 \cdot 7.35^3}} = 0.082 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_c}{7.35}} \rightarrow R_c \geq 9.64 \text{ m}$$

En este caso, se considerarán 12 metros.

3.1.8. Cálculo de la banqueta de cimentación

Para la determinación del peso de la banqueta de cimentación, se utilizará la formulación desarrollada por Madrigal, la cual se presenta a continuación:

Fórmula 17 Cálculo de la banqueta de cimentación mediante la fórmula de Madrigal.

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot D_{n,50}} = (5.58 \cdot \frac{h'}{h_s} - 0.60) N_0^{0.19}$$

$$\Delta = \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1 \right) = \left(\frac{2.7}{1.025} - 1 \right) = 1.63$$

$$\frac{7.35}{1.63 \cdot D_{n,50}} = \left(5.58 \cdot \frac{22.5}{30} - 0.60 \right) 0.5^{0.19} \rightarrow D_{n,50} = 1.44 \text{ m}$$

$$D_{n,50} = 1.44 \text{ m} = \sqrt[3]{\frac{W_{50}}{2.7}} \rightarrow W_{50} = 8 \text{ t}$$

Fórmula 18 Fórmulas de comprobación de dimensionamiento de dique vertical.

$$\frac{h'}{h_s} = \frac{22.5}{30} = 0.75 \rightarrow 0.5 < \frac{h'}{h_s} < 0.8 \rightarrow OK$$

$$\frac{B}{h_s} = \frac{10}{30} = 0.33 \rightarrow 0.3 < \frac{B}{h_s} < 0.55 \rightarrow OK$$

$$\frac{h'}{D_{n,50}} = \frac{22.5}{1.44} = 15.625 \rightarrow 7.5 < \frac{h'}{D_{n,50}} < 17.5 \rightarrow OK$$

3.1.9. Bloque de guarda

Fórmula 19 Coeficiente d/h para cálculo de bloque de guarda.

$$\frac{d}{h} = \frac{h'}{h_s} = \frac{22.5}{30} = 0.75$$

Con esta información, se identifica que en el gráfico se tiene:

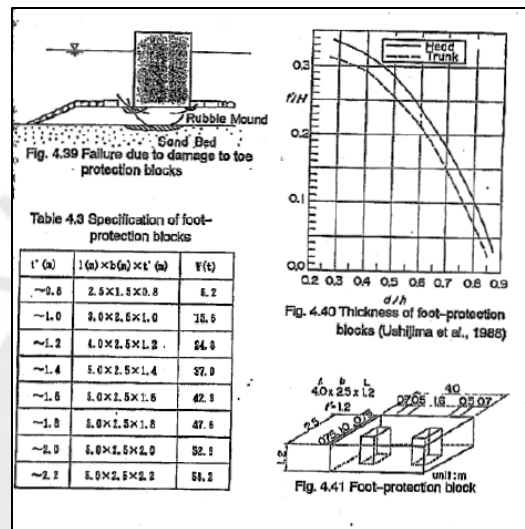


Figura 22 Gráfico de Ushijima.

Tomado de “Design of Vertical Breakwaters”, por Shigeo Takahashi, 1996.

$$\frac{t}{H} = 0.15 \rightarrow t = 0.15 * 13.25 = 1.99 \text{ m}$$

Finalmente, se obtienen las dimensiones del bloque de guarda del cuadro anexo.

Dimensiones del bloque de hormigón = 5.0 x 2.5 x 2.0

Peso del bloque de hormigón: $W(t) = 52.9 \text{ t}$

3.2. Alternativas en planta

Las alternativas en planta contarán con la configuración necesaria para albergar el aumento en las dimensiones de cruceros que atracan en el puerto, el aumento en la demanda prevista para los próximos años y las condiciones de operatividad adecuadas. Asimismo, el atraque de cruceros no

previstos en zonas como el muelle polivalente o la primera alineación del dique de abrigo ha generado un descenso en el nivel de servicio y calidad.

Por lo tanto, es conveniente ampliar la tercera alineación del dique de abrigo, con objeto de atender a cruceros de grandes esloras (hasta 345 m), como se mencionó en los anejos anteriores al determinar el buque tipo.

Por ello, se plantean las siguientes alternativas:

3.2.1. Alternativa en planta 1.

Consiste en la ampliación del dique de abrigo en 450 metros, siguiendo la orientación, pero paralela a la tercera alineación. Esta alternativa presenta la ventaja de que se puede obtener mayor calado, lo que permite atender a embarcaciones de mayores dimensiones y carga.



Figura 23 Ampliación del dique de abrigo con la búsqueda de mayor calado.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Alternativa en planta 2.

Consiste en la prolongación del dique del Este en 150 metros, siguiendo la orientación y el trazado de la tercera alineación del dique actual. Esta prolongación presenta la ventaja de que se obtiene mayor calado y permite atender a embarcaciones de mayor eslora, con una menor prolongación y necesidad de recursos.



Figura 24 Prolongación del dique de abrigo en 150 metros para alternativa 2.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Alternativa en planta 3.

Consiste en la ampliación del dique en una longitud total de 450 metros cambiando la orientación unos 30° , con lo que se obtiene un ancho de bocana de 370 metros. El objetivo de esta orientación es el cierre de la ensenada.



Figura 25 Ampliación del dique de abrigo en 450 metros para alternativa 3.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Criterios de selección.

El presente apartado tiene como objetivo determinar los principales criterios de interés para realizar la comparación objetiva de las alternativas presentadas anteriormente y determinar la más apropiada para el proyecto.

Será necesario caracterizar adecuadamente las alternativas para obtener una evaluación objetiva. Asimismo, en este apartado será fundamental determinar los criterios más relevantes alineados con los objetivos a alcanzar. Los puntos que se han considerado claves para plantear una alternativa son:

- Grandes calados, que implican la necesidad de grandes volúmenes de material para la construcción de la banquetta, que se incluye en la evaluación económica.
- Condiciones de maniobrabilidad, que se reducen especialmente en presencia de fenómenos meteorológicos adversos.
- Necesidad de longitud para un correcto servicio a cruceros con esloras máximas en torno a las 340 m que atienda a la demanda prevista durante los próximos años.

3.3.1. Canteras

Dentro de los criterios a evaluar, será necesario determinar la importancia del transporte de materiales de construcción, puesto que es un factor importante por analizar. Por ello, es fundamental contar con disponibilidad de materiales en las canteras aledañas.

Al utilizar cajones prefabricados en el proyecto, el transporte de materiales desde las canteras estará enfocado en los necesarios para la construcción de la banquetta. Asimismo, debido a que se ha considerado que la sección transversal del dique sea vertical, los materiales a emplear desde la cantera serán los mismo para las tres alternativas. Sin embargo, existirá una diferencia en la cantidad de viajes necesarios desde la cantera para cada alternativa, puesto que la longitud de estas es diferente e involucra mayor cantidad según cada caso. Por ello, el uso de las canteras será valorado dentro de los criterios económicos y ambientales, pues para cada alternativa cuenta con disponibilidad de canteras.

3.3.2. Accesos e instalaciones.

Para la realización del proyecto, será necesario determinar el área necesaria para la ubicación de instalaciones de distinto tipo durante la construcción, tales como central de hormigonado, cajoneros, puntos de acopio, zonas de gestión de residuos, instalaciones de higiene, entre otras.

Según las alternativas planteadas, las instalaciones necesarias serán similares, pues tomarán espacios similares para la ubicación de casetas de obra, puntos de acopio y espacios de bienestar para los trabajadores. Por lo tanto, la valoración de este criterio será similar en cada una de las tres alternativas, por lo que no será incluido en el análisis de Pattern.

3.3.3. Valoración económica.

El presente criterio pretende tomar en consideración los costes asociados al desarrollo de cada alternativa planteada. Para esto, se ha realizado una valoración económica de cada caso, tomando en consideración el presupuesto de ejecución material.

Por otro lado, será necesario resaltar que el presupuesto de ejecución material es directamente proporcional al tamaño de la ampliación a desarrollar. Asimismo, al tratarse de una obra pública, obtendrá una mayor valoración aquella alternativa que involucre un menor impacto sobre el presupuesto público, ya que esto permitiría desarrollar otras infraestructuras y obtener mayor beneficio económico y social.

3.3.4. Aspectos estructurales.

Los aspectos más importantes por analizar con respecto a criterios estructurales serán la estabilidad frente a sollicitaciones y durabilidad de la estructura en el largo plazo. Asimismo, será necesario determinar su impacto social en caso de fallo.

Para el presente análisis, se tiene solo una alternativa de sección, con lo que este criterio se valorará de la misma manera en cada caso y no será incluido en el análisis de Pattern.

3.3.5. Funcionalidad.

La ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma tiene como objetivo atender a cruceros de mayor eslora en su tercera alineación, con el fin de mejorar la operatividad del puerto y atender al crecimiento de la demanda proyectado para los siguientes años, por lo que este será un factor importante por analizar en este criterio. Asimismo, será necesario comparar factores como accesibilidad desde el exterior hacia el puerto, maniobrabilidad al interior y disposición de espacios suficiente para maniobras. Estos últimos se relacionan con la agitación interior y ancho de canales de navegación.

3.3.6. Aspectos constructivos

En la valoración de este criterio será importante tener en cuenta la dificultad de los procesos constructivos involucrados, la maquinaria necesaria para el desarrollo, y los plazos de ejecución de la obra en cada una de las alternativas. Estos podrán variar según la longitud de la ampliación a desarrollar y el diseño en planta.

3.3.7. Aspectos ambientales

El aspecto ambiental y la adecuada preservación de los espacios naturales cumplen una función importante en el desarrollo de la vida. Por ello, será importante analizar el impacto generado por cada una de las alternativas sobre los ecosistemas marinos. Para esto, se hará énfasis en aspectos fundamentales como el impacto en la flora y fauna, el volumen de material de extracción y la modificación e impacto paisajista.

Cada alternativa se desarrollará sobre zonas similares, debido a la alineación que siguen en la ampliación del dique. Sin embargo, aquellos que involucren una mayor profundidad en su

actuación generará mayor impacto sobre la fauna piscícola y eliminación de mayor plataforma costera, que es un espacio importante para la alimentación y reproducción de las especies marinas.

Para valoración de este criterio, será importante que el desarrollo del proyecto se encuentre de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el Objetivo 14: Vida Submarina y el Objetivo 15: Vida de Ecosistemas Terrestres.

3.3.8. Impacto social

El impacto social de la obra se encuentra relacionado con la percepción por parte de la población sobre el desarrollo del proyecto, su nivel de participación y colaboración desde procesos iniciales de planificación, la participación de mano de obra local en la construcción de la infraestructura y,afección por ruido o desvíos durante la etapa de construcción, los mayores beneficios y oportunidades generadas como consecuencia de la ampliación del dique del Este.

Será importante notar que cada nivel de ampliación del dique de abrigo generará una determinada necesidad de mano de obra, que beneficiará a la población local. Asimismo, la idoneidad del proyecto y su adecuada operatividad brindará mayor crecimiento turístico, factor económico con mayor crecimiento durante los últimos años, en la zona de Santa Cruz de La Palma, localidad de ingreso hacia la isla de La Palma.

Para valoración de este criterio, será importante que el desarrollo del proyecto se encuentre de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el Objetivo 8: Trabajo decente y Crecimiento económico y el Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura.

3.3.9. Elasticidad de la solución

Para este criterio, se evaluará la adecuación de las alternativas con el desarrollo de la ampliación del Puerto de Santa Cruz de La Palma, mediante el Plan Director de Infraestructura del puerto en mención.

Se valorará cada una de las alternativas presentadas anteriormente siguiendo los criterios detallados y de importancia para el desarrollo de la infraestructura. A continuación, se presentarán y aplicará el método Pattern, que será el desarrollado en el presente análisis para identificar la alternativa óptima.

Tabla 10

Criterios por analizar por el método Pattern.

Criterio	Descripción
A. Valoración económica	Presupuesto asociado a cada alternativa
B. Funcionalidad	Adecuada atención a demanda futura y agitación interior
C. Aspectos constructivos	Dificultad en etapa de construcción y plazo asociado
D. Aspectos ambientales	Impacto sobre flora y fauna, material extraído e impacto en paisaje
E. Impacto social	Beneficio social, generación de empleo y participación ciudadana
F. Elasticidad de la solución	Adecuación a Plan Director de Infraestructura del Puerto

Nota. Elaboración propia.

3.4. Evaluación de alternativas.

El método Pattern es el método de evaluación multicriterio más frecuente dentro de esta familia debido a su fiabilidad y claridad de uso. Este método pertenece al grupo de métodos de agregación total. Un método de agregación total se caracteriza por tener en cuenta el peso que le atribuye el decisor o decisores a los criterios de evaluación y las distintas valoraciones dadas por las partes.

Para la puntuación de cada alternativa, el decisor asigna mayor puntaje según la característica que se evalúe. Por ejemplo, en el caso del criterio A: valoración económica, si la alternativa involucra un mayor coste de ejecución material, se le da mayor puntaje. Posteriormente, dicha valoración será invertida según lo indicado por el método Pattern, pues es una característica que valora negativamente a la alternativa, lo que permitirá valorar adecuadamente dicha característica. Cabe resaltar que si el criterio valorara positivamente a cada alternativa, no sería necesario invertirlo.

Se puntuará la influencia de cada una de las alternativas en función de los criterios señalados:

Tabla 11

Puntuación de cada alternativa según los criterios establecidos.

Alternativas/Criterios	A	B	C	D	E	F
Alternativa 1	10	10	10	8	9	7
Alternativa 2	6	9	7	7	7	8
Alternativa 3	9	5	9	8	8	7

Nota. Elaboración propia.

A) Valoración Económica: Debido a las dimensiones propuestas para la ampliación del dique, la valoración económica será condicionada por el coste de ejecución material, el cual es directamente proporcional a la longitud y volumen de cada alternativa en planta.

- Alternativa 1: Propone la mayor ampliación (450 metros) y la necesidad de trabajar a mayor profundidad (mayor calado), por lo que el coste será mucho mayor en comparación a las otras dos alternativas. Debido a esto, se le asigna el mayor puntaje.

- Alternativa 2: Propone la menor ampliación (150 metros), debido a que busca prolongar la alineación existente y complementar la longitud previa para atender a cruceros de gran eslora adecuadamente. Debido a que involucra menores dimensiones, se traducirá en un presupuesto de proyecto menor en comparación a las otras dos alternativas. Se le asigna una puntuación de 6.
- Alternativa 3: Propone una ampliación similar a la alternativa 1 (450 metros). Sin embargo, no se propone para buscar mayor calado, sino para trabajar en el cierre de la ensenada y gestionar adecuadamente el oleaje al interior del puerto. Sin embargo, al tener una alineación diferente a la existente, será necesario que la alineación final pueda atender a los cruceros de gran eslora, lo que repercute en mayor longitud y mayor presupuesto. Se le asigna una puntuación de 9.

B) Funcionalidad: Para el criterio de funcionalidad, será necesario que cada alternativa satisfaga las necesidades de demanda actual y futura del puerto. Asimismo, será necesario que garantice una adecuada operatividad de cruceros al interior del puerto. Finalmente, cualquier otra característica que mejore la funcionalidad del puerto, será valorada en este criterio.

- Alternativa 1: Propone una ampliación suficiente para la atención de cruceros de gran eslora, por lo que satisface la necesidad principal. Asimismo, al ser una alternativa que trabaja a mayor profundidad, permite obtener mayor calado al interior del puerto, lo que garantizará la atención a cruceros de mayores

dimensiones en el futuro. Por lo tanto, se valorará esta alternativa con el mayor puntaje.

- Alternativa 2: Se propone una ampliación en prolongación para atender a cruceros de gran eslora, por lo que satisface la necesidad principal. Asimismo, se garantiza en todo momento que se cuenta con el calado necesario para el atraque, sin exceder esta dimensión más allá de lo previsto. Además, permite una adecuada operatividad y maniobrabilidad al interior del puerto, pues se mantiene el ancho de bocana existente. Se valora con un puntaje de 9.
- Alternativa 3: Se propone una ampliación en una alineación distinta, pero garantiza la atención a cruceros de gran eslora. Sin embargo, dicha orientación perjudica a la operatividad y maniobrabilidad al interior del puerto, pues el ancho de la bocana es menor. Se valora con un puntaje de 5.

C) Aspectos constructivos: En este criterio se evaluará la dificultad que involucra cada alternativa durante la etapa de construcción, así como el plazo asociado, que son los criterios diferenciadores para evaluar este aspecto, pues las maquinarias, cajoneros y área de cerramiento necesario serán similares.

- Alternativa 1: Será la alternativa que involucre una mayor dificultad durante el proceso constructivo, pues será necesario alcanzar mayor profundidad en el mar. Asimismo, debido a sus 450 metros de ampliación, involucrará un plazo de ejecución mucho mayor en comparación a la alternativa 2. Por lo tanto, se valora con el mayor puntaje.

- Alternativa 2: Se encuentra asociado a un menor plazo de ejecución y una mayor facilidad en su construcción, debido a que se encuentra asociado a una prolongación de solo 150 metros. Por lo tanto, se le asigna un puntaje de 7.
- Alternativa 3: Al contar con características similares en longitud a la alternativa 1, el plazo de ejecución se encontrará en un entorno muy cercano. Sin embargo, involucra una menor dificultad, pues se desarrolla a una menor profundidad en el mar. Se le asigna una valoración de 9.

D) Aspectos ambientales: En la evaluación de este criterio, se toma en consideración los recursos necesarios para la construcción de cada alternativa (canteras), el espacio que ha cambiado de uso debido a desarrollo de la infraestructura, los residuos de construcción asociados y el impacto durante la etapa de explotación de la infraestructura.

- Alternativa 1: Debido a la necesidad de mayor cantidad de recursos naturales para la construcción de la alternativa 1, se considerará que genera un mayor impacto sobre el medio ambiente. Además, el asociarse a un mayor calado, será necesario el dragado de una mayor extensión de fangos en el fondo marino, lo que podría perjudicar a la fauna existente. Finalmente, los residuos generados por el desarrollo de la obra serán mayores en comparación a las otras alternativas, debido al mayor volumen de la obra.

- Alternativa 2: Debido a la menor prolongación del dique, será necesaria una menor cantidad de recursos y material extraído de las canteras y fondo marino, que sirve de hábitat para especies marinas.
- Alternativa 3: Al tener una ampliación similar a la alternativa 1, generará un impacto sobre el medio ambiente bastante similar, en cuestión de materiales naturales requeridos para la construcción de la banqueta de cimentación, relleno de celdas de los cajones y preparación de concreto.

E) Impacto social: El impacto social de las alternativas será un factor importante por tomar en cuenta, puesto que se traduce como la repercusión que tendrá la ampliación del puerto sobre los negocios locales y el desarrollo de La Palma.

- Alternativa 1: Esta propuesta cuenta con una mejor valoración con respecto al impacto social que genera, pues brinda mejores condiciones para la atención de cruceros de gran eslora y de gran calado, lo que en el largo plazo significarán mayores beneficios sociales para la isla de La Palma. Además, debido al mayor volumen de construcción, se generará mayor empleo en la zona y mayor participación ciudadana.
- Alternativa 2: Esta propuesta se encuentra diseñada para atender la demanda en el mediano plazo, por lo que el impacto social es bastante positivo. Sin embargo, será necesario complementar esta actuación con otras en el futuro.

- Alternativa 3: Esta propuesta brinda al puerto una nueva zona de atraque, que en el largo plazo puede ser utilizado para atender al gran crecimiento de la demanda. Sin embargo, al no contar con mayor calado, los beneficios serán menores en comparación a la alternativa 1.

F) Elasticidad de la solución: En líneas generales, las tres alternativas se adecúan correctamente al Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma. Sin embargo, se la alternativa 2 obtendrá una ventaja con respecto a las otras alternativas, pues necesita una menor cantidad de terreno para su desarrollo, con lo que se pueden desarrollar otras actuaciones con mayor facilidad.

Los pesos para cada uno de los criterios se asignarán en función de la importancia que el decisor o los decisores observen en cada uno de estos. Para este caso, se ha planteado lo siguiente:

Tabla 12

Pesos asignados a cada uno de los criterios del 1 al 10.

Pesos					
A	B	C	D	E	F
10	9	5	8	7	5

Nota. Elaboración propia.

Para la asignación de pesos a cada uno de los criterios, se ha analizado e identificado la trascendencia e importancia de esta obra sobre la isla de La Palma. Por ello, se presenta el detalle de la decisión de priorizar determinados criterios de evaluación sobre otros:

- A) Valoración Económica (10): Se les ha asignado la mayor valoración a las características económicas de cada alternativa, pues como se mencionó anteriormente, se tiene como objetivo gestionar adecuadamente el gasto público para generar el mayor beneficio social y atender a las necesidades del puerto, sin comprometer la inversión destinada a otros proyectos, pues los recursos son limitados. Por lo tanto, la alternativa con el menor presupuesto de ejecución material, condicionado por la longitud y volumen de cada alternativa, será la que obtenga una mayor puntuación en este criterio.
- B) Funcionalidad (9): Se le ha asignado el segundo mayor peso al criterio de funcionalidad, pues la razón de ser del proyecto es atender adecuadamente a la demanda actual y futura de cruceros de pasajeros. Por lo tanto, se considera importante que las alternativas planteadas satisfagan dicha necesidad.
- C) Aspectos constructivos (5): Se le asigna una importancia media, puesto que los recursos con los que se dispone en el territorio español es posible implementar diversos sistemas o alternativas de diques verticales. Sin embargo, es necesario considerar dicho criterio, pues será necesario considerar qué alternativa demanda mayor esfuerzo en planificación, plazo, maquinaria, espacios para el desarrollo de la obra, entre otros, lo que es directamente proporcional a la longitud y volumen de la ampliación del dique.
- D) Aspectos ambientales (8): Se considera que la repercusión de cada alternativa sobre el entorno es un criterio importante por analizar, debido a que La Palma es considerada un espacio natural protegido y visitado por su diversidad en flora y fauna. Esto puede

ser valorado mediante la necesidad de recursos naturales requeridos de cada alternativa, el área marina utilizada para la ampliación, la alteración en el transporte de sedimentos, la gestión de residuos, entre otros.

- E) Impacto social (7): Es un criterio importante por tomar en cuenta, puesto que cada alternativa puede impactar de distinta manera sobre el entorno social, mediante la generación de empleo en el desarrollo de la obra, generación de empleo para el mantenimiento y gestión de la infraestructura. Sin embargo, el desarrollo de la obra en un plazo muy extenso también puede generar un efecto negativo sobre la población, pues reduce la operatividad del puerto y genera malestar, considerando que el Puerto de Santa Cruz de La Palma es la única salida de la isla para mantener comunicación vía marítima con otras islas.
- F) Elasticidad de la solución (5): Es un criterio de importancia media, pues toma en consideración que la alternativa se adecúe el Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma, pues en este se detalla información sobre futuras actuaciones complementarias y se valorará de mejor manera que el desarrollo de la ampliación se adecúe y complemente otras actuaciones planificadas.

Finalmente, con los pesos de los criterios establecidos y la valoración brindada en asesoría de especialista en ingeniería marítima, se aplican los pasos para la evaluación mediante el método Pattern, explicado a mayor detalle en el Anexo D: “Estudio de alternativas”. Como resultado, se obtiene los siguientes índices de pertinencia, que brindan información sobre la alternativa con mayor valoración.

Tabla 13

Índice de Pertenencia para cada alternativa.

	IP
Alternativa 1	0.3312
Alternativa 2	0.3767
Alternativa 3	0.2922

Nota. Elaboración propia.

Según esta valoración, se puede concluir que la Alternativa 2 es la óptima para el proyecto según la valoración brindada y los criterios priorizados por los decisores.

Tabla 14

Preferencia de alternativas presentadas.

1	Alternativa 2
2	Alternativa 1
3	Alternativa 3

Nota. Elaboración propia.

Capítulo 4 Desarrollo de la Alternativa Seleccionada

4.1. Descripción de la solución adoptada

Tras el detallado análisis realizado, se ha seleccionado a la Alternativa 2 como la que se desarrollará en el proyecto de ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma. Esta alternativa se caracteriza por la prolongación, siguiendo el trazado de la tercera alineación actual, de 160 metros aproximadamente por dimensiones de los cajones.

La alternativa en mención cumple con los objetivos de brindar un correcto servicio a cruceros con esloras máximas en torno a los 340 metros, condiciones de maniobrabilidad adecuadas y un presupuesto inicial adecuado promedio entre las alternativas.

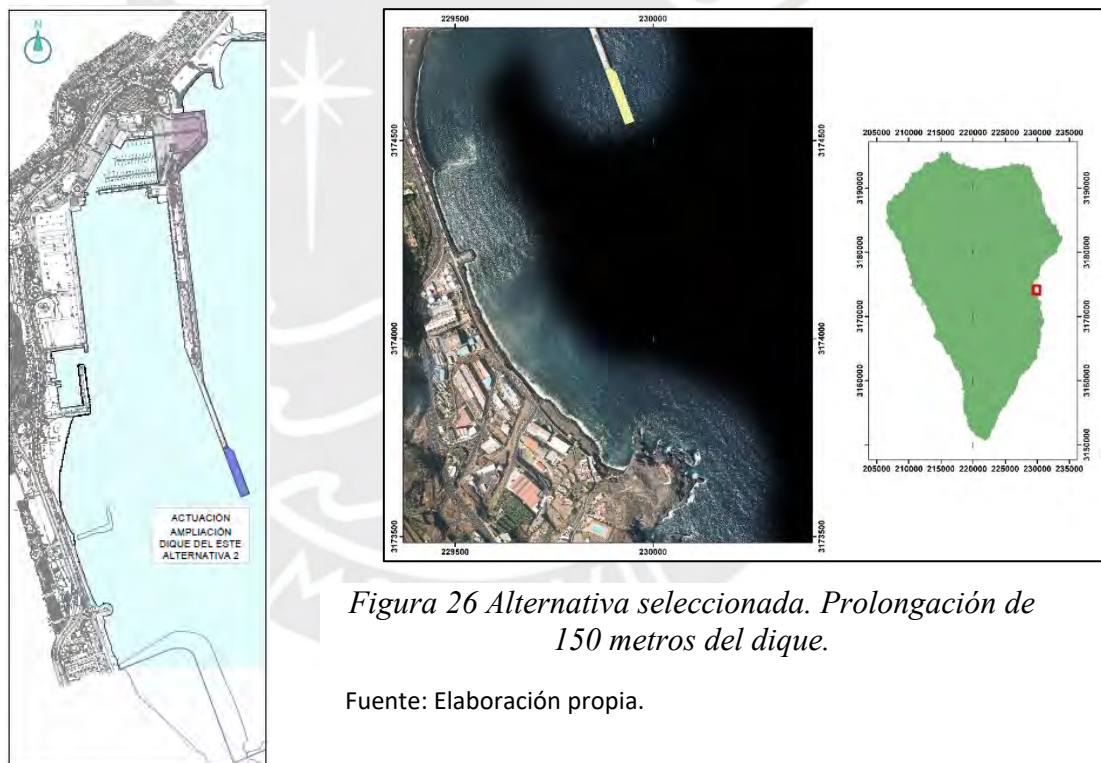


Figura 26 Alternativa seleccionada. Prolongación de 150 metros del dique.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27 Alternativa seleccionada.

Fuente: Elaboración propia.

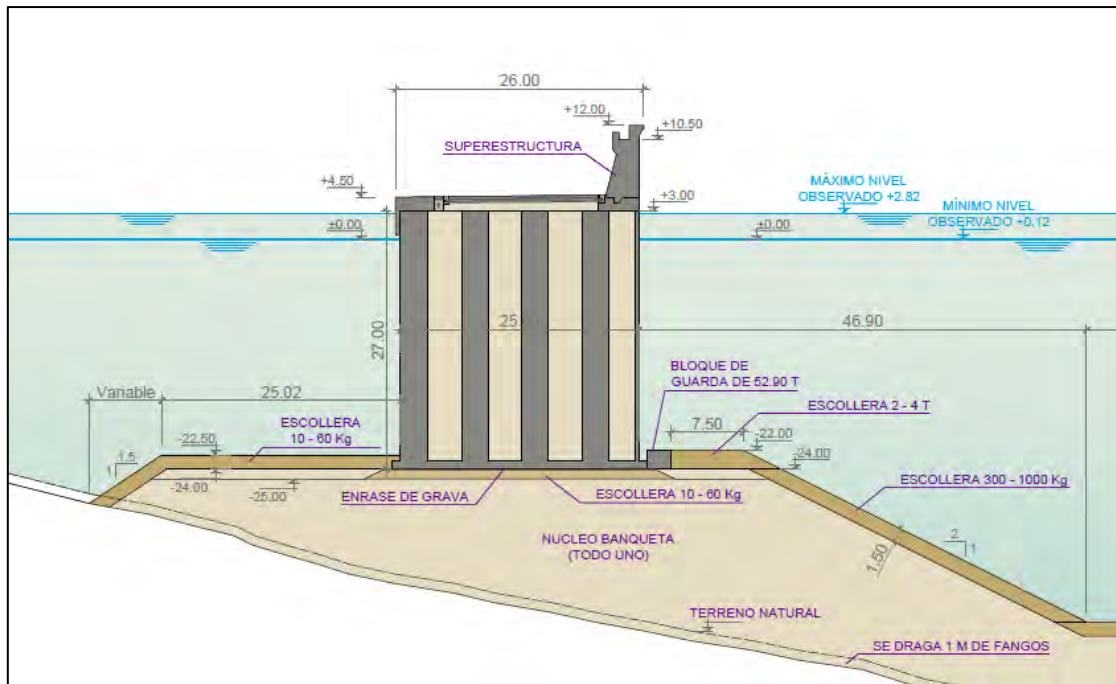


Figura 28 Sección tipo seleccionada de ampliación del dique.

Fuente: Elaboración propia.

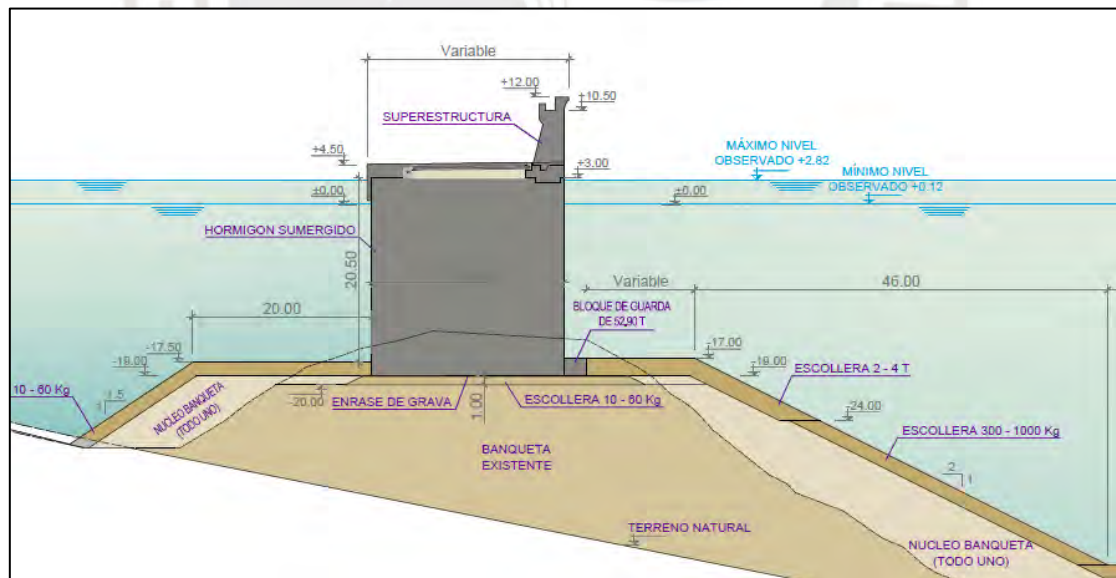


Figura 29 Sección en transición seleccionada desde la tercera alineación hacia ampliación del dique.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, a continuación, se detallarán las características de las actividades a ejecutar en la ampliación del dique del Este, siguiendo la tercera alineación existente. El primer lugar, se define que la alternativa seleccionada considera una prolongación de 160 metros y la búsqueda de profundidad con un calado que alcance la cota -22.50 m. En segundo lugar, tras analizar las características del fondo marino en el entorno del proyecto, se define que será necesario el dragado de 1 metro de fangos, los cuales componen en la actualidad la capa externa del terreno natural. Con esto, tras la mejora del terreno, se podrá ejecutar la banqueta de cimentación, comprendida por el núcleo, los mantos de protección y el posterior enrase hasta la cota -24 metros. Dicho enrase se realizará con grava 40/70 en toda la superficie que se encontrará en contacto con los cajones, con un espesor de 0,25 metros.

Con respecto a las dimensiones de la berma, esta contará con una longitud de 25 metros hacia el intradós y 10 metros hacia el trasdós con una pendiente de 2:1 en el talud. Asimismo, el manto de protección estará compuesto por una capa de 2 metros de escollera de 2 a 4 toneladas por elemento. Además, los bloques de guarda serán de 52.9 toneladas de 5m x 2.5x x 2m. Finalmente, será necesario proteger la berma hacia su intradós con una capa de concreto de 300 kg/m² de resistencia, debido a la interacción con los cruceros.

Por otro lado, con la implementación de 4 cajones de concreto armado de 39,95 metros de eslora y celdas, que se rellenarán con material granular siguiendo el procedimiento constructivo, se alcanzarán los 160 metros necesario de prolongación. Además, la manga correspondiente para los cajones de la nueva zona de atraque será de 25 metros y contará con un puntal de 27 metros. Finalmente, estos cajones contarán con zapatas especialmente diseñadas para las solicitaciones identificadas, las cuales contarán con las siguientes dimensiones: 25,05 metros de ancho, 38.95 metros de largo y un canto de 80 centímetros.

Para las celdas que componen la estructura de los cajones, se ha determinado que contarán con las siguientes dimensiones, con el objetivo de aligerar la estructura: 4,40 metros de longitud, 0,25 metros de espesor de paredes interiores y 0,50 metros de espesor de paredes exteriores. Es necesario resaltar que las celdas serán rellenas una vez que los cajones sean fondeados.

Una vez fondeados los cajones y rellenas las celdas, se continuará con la realización de las juntas entre cajones de concreto. Para esto, se hará uso de tubos de PVC o encofrado Tubotec de 0,40 metros de diámetro, los cuales se rellenarán de hormigón no estructural, los cuales se ubicarán en las salientes. Asimismo, el espacio existente en la junta será ocupado por material granular. El detalle de ubicación de las juntas se detalla en el Anexo E: "Planos".

La construcción del espaldón se realizará en distintas fases. En primer lugar, la cimentación se encontrará ubicada a la cota +3,00 metros y alcanzará la cota +4,50, con un ancho de 5,15 metros. En segundo lugar, se realizará el vaciado desde la cota +4,50 hasta la cota +10,50 con un ancho de 3,50 metros. Finalmente, se alcanzará la cota final a +12,00 con un ancho de 2,50 metros. Asimismo, se incluirán las tuberías y arquetas necesarias para la implementación de las instalaciones de alumbrado y telefonía.

La superestructura estará compuesta por la viga cantil en voladizo unos 0,50 metros con respecto al intradós del dique. Asimismo, la cota de coronación de la superestructura será la +4,50. Finalmente, se debe tener en cuenta la ubicación de las distintas conducciones y arquetas.

Por último, se realizará el replanteo de los bolardos y las defensas de la estructura. En primer lugar, los bolardos estarán diseñados para resistir 150 toneladas de tiro y se ubicarán 2 por cada cajón. Con respecto a las defensas, estarán con forma cilíndrica, serán elaboradas de

caucho y se ubicará cada 5 metros. Para concluir, se instalarán los sistemas de alumnados sobre el espaldón y se trasladará el correntómetro existente hasta el extremo del dique prolongado.

Como información complementaria, se ha diseñado la transición existente entre la infraestructura actual y su prolongación, pues la manga de la ampliación es mayor. Por lo tanto, el cajón de conexión tendrá forma trapezoidal en planta, con cimentación en la cota -17.50.

4.2. Marco legal.

El marco legal queda completamente definido en el artículo 1.2 del Prescripciones Técnicas Particulares; del presente proyecto.

Asimismo, el proyecto cumple con las normativas locales, regionales y estatales, por lo que se encuentra regulado por las distintas normativas y recomendaciones establecidas por las instituciones gubernamentales de España.

4.3. Proceso constructivo

Este es un apartado muy relevante en el desarrollo de un proyecto constructivo, puesto que establece las bases para la ejecución y desarrollo de la infraestructura. Debido a la naturaleza del proyecto y su relación con la ingeniería marítima, Puertos del Estado ha desarrollado una guía de orientación pues “consideró de interés sintetizar y recoger en un documento los distintos aspectos que suponen *buenas prácticas* en la ejecución de obras, conforme a la experiencia adquirida a lo largo de los años en la construcción de obras marítimas en España” (Puertos del Estado, 2008, p. 2).

En particular, Puertos del Estado (2008, p.172) detalla información sobre el proceso constructivo a seguir en la construcción de un dique vertical o la ampliación de este.

Para construir un dique vertical con cajones de hormigón armado se realizan todas o algunas de las siguientes actividades [...]

- Dragado del terreno natural con objeto de eliminar suelos que no tengan la suficiente capacidad portante y/o mejora del terreno de cimentación.
- Colocación de la banqueta de cimentación, que permite:
 - Transmitir las cargas de los cajones al terreno.
 - Proporcionar una superficie regular para el apoyo de los cajones.
 - Limitar el puntal de los cajones en zonas de gran calado.
 - Evitar la socavación del terreno natural.
- Enrase de la superficie de la banqueta de cimentación.
- Fabricación y transporte de los cajones.
- Fondeo de los cajones.
- Relleno de las celdas y de las juntas.
- Manto de protección de la banqueta de cimentación y colocación de los bloques de guarda.
- Espaldón y superestructura.

4.3.1. Dragado del terreno natural

Aquellos suelos que no cuenten con capacidad portante necesaria para la implementación de la banqueta de cimentación deben ser retirados, por lo que será necesario dragar esa superficie. Para alcanzar este objetivo, se realiza lo siguiente:

- Será necesario realizar el dragado hasta comprobar que la superficie cuenta con la capacidad portante mínima necesaria.
- Posteriormente, se debe verificar que no se han acumulado limos en la zona tratado, previo al vertido de la banqueta.

Por otro lado, para realizar los procesos descritos anteriormente, existen una variedad de equipos y actuaciones condicionadas por:

- Zona y entorno de proyecto.
- Volumen de material a dragar.
- Características del terreno.
- Homogeneidad del terreno.
- Calados.
- Dimensiones de la zona a tratar.
- Plazo disponible para la ejecución.
- Separación a la que se debe verter.
- Procedimiento.
- Clima marítimo.
- Tráfico marino.
- Factores ambientales.
- Factores arqueológicos.
- Disponibilidad de equipos

Asimismo, la guía ha elaborado el siguiente cuadro, que determina el tipo de draga óptimo para cada terreno.

NATURALEZA DEL TERRENO	TIPO DE DRAGA					
	CUCHARA	PALA	ROSARIO	SUCCIÓN ESTACIONARIA	SUCCIÓN ESTACIONARIA CUTTER	SUCCIÓN EN MARCHA
Arena compacta		X	X		X	X
Arena suelta			X	X	X	X
Arena fangosa	X		X	X		X
Fangos	X		X	X		X
Arcilla suelta	X		X		X	
Arcilla plástica	X	X	X		X	
Arcilla compacta		X	X		X	
Arena con grava	X	X	X		X	X
Rocas sin voladura		X	X		X	
Rocas (previa voladura)	X	X	X			

Figura 30 Tipo de draga según naturaleza del terreno.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

Para el caso de análisis, se encuentra material no consolidado fino-medio y fangos, y se planifica la necesidad de dragar 1 metro de espesor, por lo que sería conveniente utilizar una Draga de Rosario o cuchara.

4.3.2. Mejora del terreno de cimentación

Previo a la ejecución de la banqueta de cimentación, según lo definitivo y establecido en el pliego de prescripciones del proyecto, se deberá implementar una mejora del terreno. Para esto, será necesario determinar que no se han producido acumulaciones de material limoso que pueden afectar la capacidad portante de la superficie.

Con el objetivo de garantizar lo anterior, se realizan rellenos en zonas de posibles inundaciones, sobre la superficie de terreno natural con recursos locales. Para ello, Puertos del Estado (2008, p.58) señala lo siguiente:

Es frecuente que los fondos marinos donde se depositan los rellenos generales estén formados, en su parte superior, por materiales de muy poca consistencia, lodos, fangos, limos, etc., que no se extraen por razones económicas y/o ambientales. Por su procedencia y/o características los rellenos generales se clasifican en:

- Rellenos de procedencia terrestre.
- Rellenos procedentes de dragado.
- Rellenos especiales.

4.3.3. Colocación de la banqueta de cimentación

Para la ejecución de la banqueta de cimentación, se debe definir específicamente las características granulométricas y dimensionamiento del material a utilizar en el núcleo, todo uno de cantera, y los mantos de protección. Por ello, dichos requerimientos deben encontrarse

indicados en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto, así como el procedimiento constructivo y maquinaria a emplear, en este caso gánguiles.

Con la asesoría de especialistas en ingeniería marítima, se definió que el procedimiento a seguir para la colocación de la banqueta es el siguiente:

1. Definición de las características de los materiales.
2. Vertido del núcleo de la banqueta con gánguiles.
3. Preparación y vertido de los mantos de protección.

Es necesario resaltar que este procedimiento no debe interferir con el enrase de banqueta a realizar posteriormente, por lo que se realizarán los vertidos en los taludes.

4.3.4. Enrase de la banqueta de cimentación

El enrase de la banqueta de cimentación para el apoyo del dique de abrigo es un procedimiento importante para la adecuada transmisión de cargas al terreno, así como el correcto replanteo de la infraestructura.

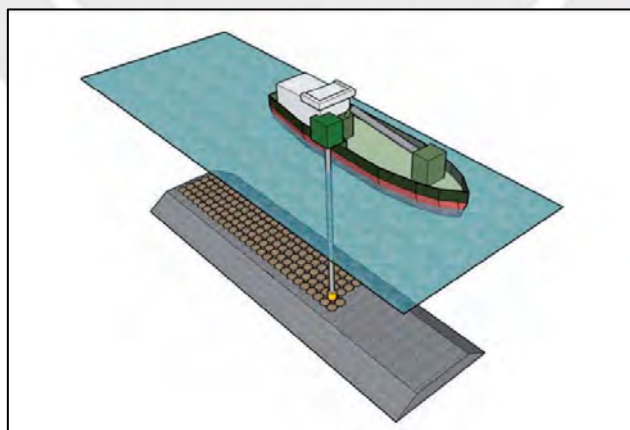


Figura 31 Enrase de la banqueta de cimentación.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

Asimismo, este procedimiento puede realizarse de varias maneras:

- Manualmente: esta forma de enrasar la banqueta se consigue mediante el uso de buzos especializados, que consiguen una productividad de 100 m² por jornada diaria.
- Mecánicamente: mediante el empleo de maquinaria especializada descrita a continuación:
 - Vigas metálicas de enrase arrastradas por embarcaciones.
 - Draga de rosario que retira el material excesivo de la superficie hasta alcanzar la cota especificada.
 - Draga de cortador que necesita complementarse con un enrasador en el final de la máquina.
 - Maquinaria específica para el enrase de banqueta a gran profundidad.



Figura 32 Enrasador de banqueta de cimentación.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

Es necesario tener en consideración que este procedimiento no debe estar expuesto continuamente a la acción de temporales, puesto que generará variaciones en los trabajos realizados y problemas durante procedimientos futuros.

Asimismo, será necesario verificar que la superficie de la banqueta mantiene el enrase en condiciones adecuadas previo al fondeo de cajones, pues es bastante común que los oleajes generen irregularidades en su entorno. Esto podría derivar en consecuencias graves en la infraestructura, tales como la rotura de los cajones por inadecuada transmisión de cargas al terreno.

4.3.5. Transporte de cajones

Los cajones de concreto armado son fabricados en puntos específicos mediante diques cajoneros, tal como el Kugira en posesión de la empresa Acciona. Este proceso se realiza en un puerto cercano al del proyecto o, si se cuenta con extensión disponible, en el mismo puerto sobre el que se trabajará. Para el caso de la ampliación en el dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma, el dique cajonero estará ubicado en el Puerto de San Sebastián de la Gomera.

Una vez fabricados los cajones, estos deberán ser transportados hacia el punto de fondeo. Para este proceso, se deberá mantener atención a diversos puntos:

- Se requiere la preparación de estudios que garanticen un adecuado remolque de los cajones.
- Solicitud de permisos para el transporte de los cajones.
- Identificación y previsión de temporales que puedan modificar la planificación en el transporte.

4.3.6. Fondeo de cajones

Una vez transportado un cajón hacia la zona de proyecto, se procederá al fondeo de este hasta su ubicación en posición definitiva sobre la banqueta de cimentación enrasada. Dicho procedimiento se realiza mediante la inundación de las celdas interiores del cajón. Asimismo, debido a las dimensiones del cajón, se deberá prever los efectos del viento, las corrientes marinas y el oleaje, pues se requiere alta precisión.

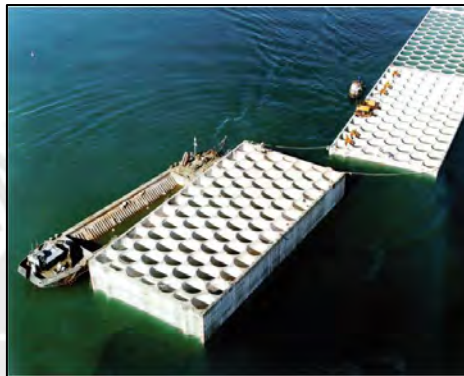


Figura 33 Fondeo de cajones con mar en calma.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

Por lo explicado anteriormente, será necesario identificar las acciones más relevantes durante el proceso de fondeo de cajones.

- **Comprobaciones previas:**

En la etapa previa, se deben comprobar los siguientes puntos:

- El procedimiento de enrase de banqueta de cimentación ha sido realizado adecuadamente y no se han generado irregularidades debido al oleaje.

- No se identifica la presencia de elementos anómalos en la superficie de contacto entre la banqueta y el cajón que perjudiquen el funcionamiento estructural del dique.
- Adecuada orientación del cajón previo al fondeo.

- **Previsiones climatológicas:**

El proyecto de ampliación del dique de abrigo en el Puerto de Santa Cruz de La Palma estará compuesto por cuatro cajones de 38.95 metros de eslora. Por lo tanto, previo al fondeo de cada uno de los cuatro elementos, se asegurarán las adecuadas condiciones climáticas, tales como:

- Clima marítimo en zona de proyecto, comprendido por las características de la altura de ola, dirección de oleaje, periodo asociado a la altura de ola durante las doce horas que tomará este procedimiento.
- Características, dirección y velocidad del viento en la zona de proyecto.
- Presencia de neblina durante el proceso de fondeo.
- Carrera de marea, así como datos de pleamar y bajamar.

- **Maniobra de fondeo:**

El control y seguimiento de la ejecución del fondeo será controlado mediante el monitoreo de los cuatro puntos extremos del cajón ante la acción de los cabrestantes. Asimismo, para el proceso de lastrado, que permita el descenso a través de la inundación de las celdas, se debe mantener la superficie inferior del cajón de manera horizontal hasta pocos centímetros antes del fondo. Posteriormente, se procederá al lastrado del lado más alejado del cajón instalado previamente, puesto que se busca evitar el *aquaplanning* o deslizamiento de la superficie

inferior. Finalmente, se procede a la rápida apertura de válvulas para lastrar el cajón en su posición definitiva.

Como actividad de comprobación del replanteo, se debe verificar que las coordenadas de los cuatro puntos anteriormente mencionados son correctas bajo los límites máximos tolerables.

4.3.7. Relleno de celdas y juntas

Una vez fondeados los cajones, se procede a rellenar las celdas que aligeraban el elemento estructural. Para el relleno, se deberán definir las características más relevantes que aporten estabilidad en el comportamiento estructural y no generen consecuencias negativas sobre el concreto o el acero. Asimismo, para este proyecto, se usará material granular procedente de las canteras identificadas en los apartados anteriores sobre geología y geotecnia.

Por otro lado, con respecto a la ejecución y desarrollo de este procedimiento, se verterá directamente el material granular desde camiones, debido a que el volumen de obra no requiere de procedimiento más complejos. Sin embargo, existen otras alternativas como los sistemas de dragas.

Asimismo, se deberá controlar la adecuada ejecución del relleno de celdas, atendiendo a las siguientes recomendaciones:

- Para este proyecto, no se procederá al vertido de concreto no estructural en las juntas entre cajones hasta haber finalizado con el relleno de material granular al interior.
- De manera análoga al proceso de fondeo, se controlarán los desplazamientos en los cuatro extremos de cada cajón para preservar las características de los cajones y atender inexactitudes oportunamente.



Figura 34 Relleno procedente de dragado.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

4.3.8. Manto de protección de la banqueta y bloque de guarda

Debido a posibles efectos de socavación en el entorno de la banqueta de cimentación una vez posicionados los cajones, es necesario la instalación del bloque de guarda que minimice dicho fenómeno. Para esto, los bloques son instalados inmediatamente después a la instalación de los cajones, pues se adosarán los bloques al cajón. Finalmente, con los bloques de guarda instalados, se procederá a la colocación y complemento de los mantos de protección.

4.3.9. Espaldón y superestructura

La ejecución de la superestructura será posterior a la finalización de todas las actividades en la infraestructura, incluidas la protección de banqueta y relleno de celdas con material granular. Esto debido a que es necesario contar con estabilidad en el dique durante la construcción de los elementos superiores, tales como los detallados a continuación:

- Espaldón
- Viga cantil

4.3.9.1. *Espaldones de diques verticales*

Para el proyecto de ampliación del dique, se ha determinado que los espaldones evitarán el rebase de la estructura debido al oleaje, puesto que el dique se utilizará como zona de atraque de cruceros. Asimismo, serán elaborados de concreto armado y se utilizarán carros encofradores para alcanzar la cota requerida, +12.00,



Figura 36 Espaldón Fase 1.



Figura 35 Espaldón Fase 2.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

Por otro lado, para el control de la ejecución será necesario mantener importante atención a lo siguiente:

- Será importante que durante la fase de diseño se haya considerado que la eslora de los cajones es equivalente a un número entero de puestas de encofrado para espaldón. Esto con el objetivo de existe una coincidencia entre las juntas entre cajones y las juntas en el espaldón.
- Durante las distintas fases de vertido de concreto, se debe tratar adecuadamente la superficie para conseguir correcta adherencia.
- Las aristas deben contar con berenjenos para generar adecuada curvatura entre juntas.

- Se contará con zonas y espacios destinados a las instalaciones, conducciones y zonas de futuros equipamientos.



Figura 37 Encofrado de espaldón de hormigón armado.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

4.3.9.2. *Viga cantil*

La construcción de la viga cantil es importante en el funcionamiento del dique de abrigo como muelle o atraque de cruceros, puesto que es aquí donde “se instalan bolardos, ganchos de escape rápido, defensas y escalas” (Puertos del Estado, 2008, p. 271). Para esto, según la experiencia recopilada en la construcción de puertos en el territorio español, es común realizar el vertido de cada fase con dos días de diferencia.

A continuación, se presentan las actividades a realizar para su construcción mediante el uso de carros de encofrado:

- Limpieza y regularización de la superficie: esto con el objetivo de asegurar el adecuado traslado del carro de encofrado.
- Traslado y limpieza del carro de encofrado hacia la nueva posición de hormigonado.

- Armado de acero y colocación de anclajes necesarios según diseño. Asimismo, se debe brindar importante atención al recubrimiento del elemento y ubicación de anclajes.
- Vaciado de concreto, prestando atención al adecuado posicionamiento del encofrado.



Figura 38 Encofrado viga cantil.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.



Figura 39 Encofrado viga cantil.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

4.3.10. Bolardos

En la ejecución de bolardos sobre el dique de abrigo, en particular sobre la viga cantil, se planificará adecuadamente su fabricación, puesto que se suele necesitar varios para su elaboración. Asimismo, se contará con plantillas auxiliares para su posicionamiento definitivo en alzado y planta.



Figura 40 Bolardos.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

4.3.11. Defensas

Debido a la naturaleza de la infraestructura a desarrollar, que atenderá al atraque de cruceros de gran eslora, será necesaria la instalación de sistemas de defensa. Esto con el objetivo de:

- “Absorber la energía de atraque del buque, limitando la fuerza de reacción en el muelle.
- Proteger el casco del buque, evitando que entre en contacto con la superestructura de los muelles” (Puertos del Estado, 2008, p.274).



Figura 41 Defensas.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

Por otro lado, debido a la particularidad de los sistemas de defensa, será necesario planificar adecuadamente su incorporación en la obra, puesto que es necesario destinar periodos adecuados para su fabricación, ensayo y homologación. Asimismo, durante la etapa de transporte hacia la obra, será importante que en todo momento se evite la formación de las defensas.



Figura 42 Ensayo de carga.

Tomado de “Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas”, por Puertos del Estado (España), 2008.

4.4. Plan de Obra

Para el desarrollo del plan de obra, se considerarán la información:

- Se iniciarán las actividades de obra con la comprobación del acta de replanteo, los estudios previos que sean necesarios y el cerramiento de obra junto a la instalación de obras provisionales, como casetas para trabajadores, espacios sanitarios y de bienestar, elementos de seguridad en obra. Todo lo mencionado durante el primer mes.
- Posteriormente, se procede con las actividades de dragado y, el vertido de todo-uno y escollera. Mientras tanto, con estas actividades finalizadas por zonas, se procederá al enrase de la banqueta de cimentación. Todo ello se realizará desde el mes 2 hasta el mes 5.
- Durante el mes 4, se iniciará con la fabricación de cajones de hormigón, con el objetivo de tenerlos a disposición para cuando el enrase de la banqueta de cimentación haya finalizado. Posteriormente, durante todo el mes 7 se realizará el fondeo de los cajones.
- Al finalizar con ello, se realizará el relleno granular de las celdas de los cajones, la colocación de las juntas, bloque de guarda y hormigón sumergido.
- La implementación de la superestructura y espaldón se realizarán solo cuando el relleno granular haya sido finalizado.
- Finalmente, se procederá con la instalación de bolardos, protecciones, actividades de urbanización e instalación de elementos de seguridad operativa.

- Es necesario mencionar que la gestión de residuos y la gestión de seguridad y salud son actividades que se desarrollarán durante todo el plazo de ejecución de la obra.

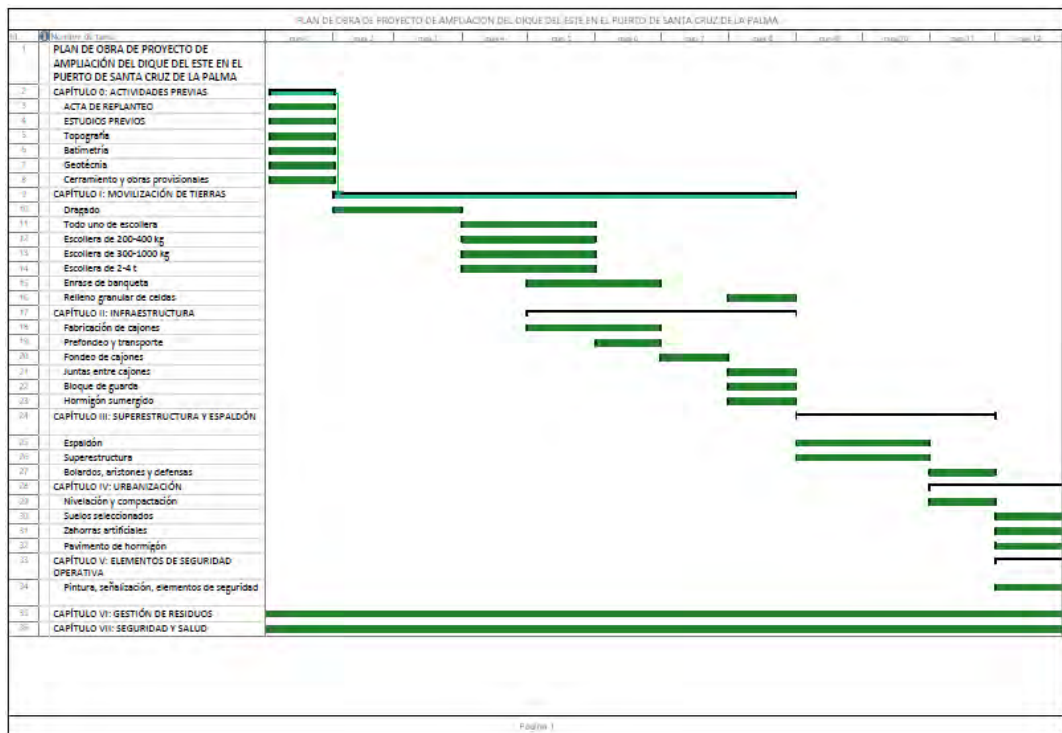


Figura 43 Plan de Obra Ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma.

Nota. Elaboración Propia.

4.5. Plazo de ejecución

El plazo de ejecución vendrá especificado en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares y será de doce meses, tal y como se detalla en el plan de obra. Por otro lado, se establece que el contratista seleccionado ejecutará los trabajos generando el mínimo impacto sobre las operaciones desarrolladas en el Puerto de Santa Cruz de La Palma. En consecuencia, se mantendrá el atraque en el puerto, los adecuados niveles de servicio y espacio necesario para el acceso de cruceros, entre otras operaciones comunes en la infraestructura en mención especificadas por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife.

Finalmente, es necesario mencionar que todas las incidencias generadas en el puerto debido a la realización de obras serán asumidas por el contratista seleccionado.

4.6. Presupuesto

4.6.1. Presupuesto de ejecución material

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	
CAPÍTULO I: MOVIMIENTO DE TIERRAS	4,314,773.32 €
CAPÍTULO II: INFRAESTRUCTURA	5,259,725.95 €
CAPÍTULO III: SUPERESTRUCTURA	2,245,219.21 €
CAPÍTULO IV: URBANIZACIÓN	278,205.16 €
CAPÍTULO V: ELEMENTOS DE SEGURIDAD OPERATIVA	6,062.04 €
CAPÍTULO VI: GESTIÓN DE RESIDUOS	174,467.43 €
CAPÍTULO VII: SEGURIDAD Y SALUD	41,817.42 €
TOTAL	12,320,270.52 €

Fuente: Elaboración propia.

Para la ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma, se ha determinado que el presupuesto de ejecución material para el desarrollo de la alternativa seleccionada es de doce millones trescientos veinte mil doscientos setenta euros con cincuenta y dos céntimos (12.320.270,52 €). De esto, se puede estimar que el costo asociado por metro lineal de dique de abrigo construido es de ochenta y dos mil ciento treinta y cinco euros con catorce céntimos (82 135.14 €/ml)

4.6.2. Presupuesto de ejecución por contrata

PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	12,320,270.52 €
GASTOS GENERALES: 13 %	1,601,635.17 €
BENEFICIO INDUSTRIAL: 6%	739,216.23 €
CONTROL DE CALIDAD: 1%	123,202.71 €
TOTAL	14,784,324.63 €

Fuente: Elaboración propia.

Para la ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma, se ha determinado que el presupuesto de ejecución por contrata para el desarrollo de la alternativa seleccionada es de catorce millones setecientos ochenta y cuatro mil trescientos veinticuatro euros con sesenta y tres céntimos (14.784.324,63 €). De esto, se puede estimar que el costo asociado por metro lineal de dique de abrigo construido es de noventa y ocho mil quinientos sesenta y dos euros con dieciséis céntimos (98 562,16 €/ml).

4.6.3. Presupuesto para conocimiento de la administración

PRESUPUESTO PARA CONOCIMIENTO DE LA ADMINISTRACIÓN	
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	14,784,324.63 €
EXPROPIACIONES	0.00 €
HONORARIOS	0.00 €
IGIC: 7%	1,034,902.72 €
TOTAL	15,819,227.35 €

Fuente: Elaboración propia.

Para la ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma, se ha determinado que el presupuesto para conocimiento de la Administración para el desarrollo de la alternativa seleccionada es de quince millones ochocientos diecinueve mil doscientos veintisiete euros con treinta y cinco céntimos (15.819.227,35 €). De esto, se puede estimar que el costo asociado por metro lineal de dique de abrigo construido es de ciento cinco mil cuatrocientos sesenta y un euros con cincuenta y dos céntimos (105 461,52 €/ml).

4.7. Fórmula de revisión de precios

Según lo descrito en el Real Decreto 1359/2011, se detallan las fórmulas de revisión de precios a utilizar según el tipo de proyecto. Para esto, el Ministerio de Economía y Hacienda (2007, p.2) detalla lo siguiente:

De conformidad con lo previsto en el artículo 78.1 de la Ley 30/2007, las fórmulas aplicables para la revisión de precios en los contratos de obras y de suministro de fabricación serán las establecidas en el anexo II. En las fórmulas de revisión de precios se representan con el subíndice t los valores de los índices de precios de cada material en el mes que corresponde al periodo de ejecución del contrato cuyo importe es objeto de revisión, así como el coeficiente K_t de revisión obtenido de la fórmula, y se representan con el subíndice 0 los valores de los índices de precios de cada material en la fecha a la que se refiere el apartado 3 del artículo 79 de la Ley 30/2007.

Por lo tanto, según lo detallado en el Anexo II del documento en mención, el proyecto de ampliación del dique se clasificaría como 3. Obras Portuarias. Asimismo, en particular se utilizarán los apartados para diques verticales y dragados excepto en roca.

A) FÓRMULA 321. Diques verticales

Fórmula 20 Fórmula polinómica de revisión de precios en proyectos de diques vertical.

$$K_t = 0.19 * C_t C_0 + 0.07 * E_t E_0 + 0.3 * R_t R_0 + 0.15 * S_t S_0 + 0.29$$

Fórmula 21 Fórmula de revisión de precios en proyectos que incluyen dragados excepto en roca.

B) FÓRMULA 332. Dragados excepto en roca.

$$K_t = 0.12 * E_t E_0 + 0.88$$

- K_t : Coeficiente de revisión de precios correspondiente al instante t.

- R: Índice del coste de áridos y rocas.
- E: índice del coste de la energía.
- C: Índice del coste del cemento.
- S: Índice del coste de materiales siderúrgicos.

4.8. Clasificación del contratista.

Tal y como se detalla en el siguiente apartado, debido al volumen e impacto de los distintos proyectos de construcción, es necesario acreditar que los contratistas cuentan con la capacidad técnica y económica para asumir el desarrollo de las obras. Por ello, el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, aprobado mediante Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, establece los criterios para que las empresas acrediten su capacidad y solvencia en distintos grupos y subgrupos.

Tras analizar el artículo 25, el Ministerio de Hacienda (2001, p.16-17) determina que la clasificación técnica con la que debe contar el contratista es la siguiente:

Grupo A: Movimiento de tierras y perforaciones. [...]

- Subgrupo 2. Explanaciones.
- Subgrupo 3. Canteras. [...]

Grupo F: Marítimas

- Subgrupo 1. Dragados.
- Subgrupo 2. Escolleras.
- Subgrupo 3. Con bloques de hormigón.

- Subgrupo 4. Con cajones de hormigón armado.
- Subgrupo 5. Con pilotes y tablestacas.
- Subgrupo 6. Faros, radiofaros y señalizaciones marítimas.
- Subgrupo 7. Obras marítimas sin cualificación específica.
- Subgrupo 8. Emisarios submarinos

Asimismo, el mismo documento, el Ministerio de Hacienda (2001, p. 17-18) en el artículo 26 presenta las categorías en las que se podría clasificar un contrato según su presupuesto por subgrupo, para las que se muestran 6 categorías:

Los contratos de obras se clasifican en categorías según su cuantía. La expresión de la cuantía se efectuará por referencia al valor estimado del contrato, cuando la duración de éste sea igual o inferior a un año, y por referencia al valor medio anual del mismo, cuando se trate de contratos de duración superior. Las categorías de los contratos de obras serán las siguientes:

- Categoría 1, si su cuantía es inferior o igual a 150.000 euros.
- Categoría 2, si su cuantía es superior a 150.000 euros e inferior o igual a 360.000 euros.
- Categoría 3, si su cuantía es superior a 360.000 euros e inferior o igual a 840.000 euros.
- Categoría 4, si su cuantía es superior a 840.000 euros e inferior o igual a 2.400.000 euros.
- Categoría 5, si su cuantía es superior a 2.400.000 euros e inferior o igual a cinco millones de euros.
- Categoría 6, si su cuantía es superior a cinco millones de euros.

Por otro lado, tras analizar el artículo 26, se determina que la clasificación económica con la que debe contar el contratista es la siguiente:

- Categoría 4 para las actividades del grupo A.
- Categoría 5 para las actividades del grupo F.

Tabla 15

Grupo, subgrupo y categoría de contratista.

GRUPO	SUBGRUPO	CATEGORÍA
A	2, 3	4
F	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	5

Nota. Elaboración propia.

Sin embargo, a nivel global para el proyecto en conjunto, será necesario que el contratista se encuentre en la capacidad de gestionar y desarrollar el proyecto en mención. Debido a la naturaleza del proyecto, ampliación de dique de abrigo, y presupuesto asociado, la clasificación del contratista, técnica y económica deberá ser la siguiente:

Tabla 16

Clasificación del contratista.

GRUPO	CATEGORÍA
F	6

Nota. Elaboración propia.

4.8.1. Procedimiento de adjudicación.

La adjudicación del proyecto desarrollado se realizará a través de un procedimiento abierto, tal y como se detalla en la Orden FOM/4003/2008, de 22 de julio. “En el procedimiento abierto todo empresario interesado podrá presentar una proposición, quedando excluida toda negociación de los términos del contrato con los licitadores. los contratos se adjudicarán normalmente por este procedimiento” (Ministerio de Fomento, 2009, p.8573).

Además, dicha Orden menciona que las etapas y plazos para la adjudicación mediante un proceso abierto deben encontrarse detalladas en los pliegos y se mencionan a continuación:

- El plazo de presentación de proposiciones no será inferior a quince días, contados desde la publicación del anuncio del contrato. en los contratos de obras, el plazo será, como mínimo, de veintiséis días.
- La apertura de las proposiciones para su valoración deberá efectuarse en el plazo máximo de 40 días contados desde la fecha de finalización del plazo para presentar las ofertas.
- El plazo máximo para la adjudicación desde la apertura de las ofertas económicas será de tres meses.

4.9. Plazo de garantía.

Una vez finalizada la ejecución del proyecto desarrollado y declarada la recepción de la obra, se contará con un periodo de un (1) año de garantía. Durante esta fase, se podrán llevar a cabo actividades de reparaciones y construcción a cargo del contratista según lo establecido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

4.10. Documentos que componen el proyecto constructivo

Para el proyecto constructivo desarrollado, es necesario incluir la documentación necesaria que garantice su adecuada planificación, cálculo y ejecución de esta. Por ello, el proyecto debe contar con Memoria de Proyecto, Planos, Pliego de Prescripciones Técnicas, Presupuesto y, Estudio de Seguridad y Salud. Asimismo, se incluye como anexo la siguiente documentación, complementaria a la información presentada en el documento principal, que se describe y detalla a continuación:

- Memoria de Proyecto (el presente documento)

- Anexo A: “Topografía, batimetría y bases de replanteo”
- Anexo B: “Clima marítimo en profundidades indefinidas”
- Anexo C: “Clima marítimo en puntos objetivo”
- Anexo D: “Estudio de alternativas”
- Anexo E: “Planos”



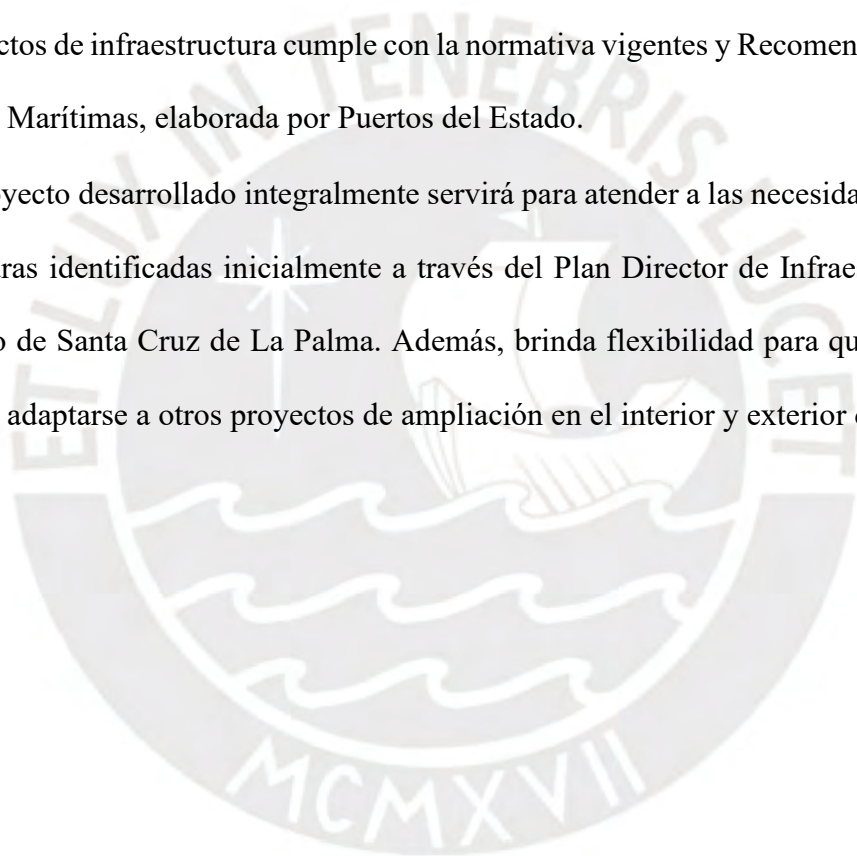
Conclusiones

Con lo expuesto en el presente documento de tesis, se concluye que el proyecto cumple con el objetivo general propuesto, pues se considera lo suficientemente detallado a los efectos que se requieran. Asimismo, sobre la base de los objetivos específicos planteados y demás información, se concluye lo siguiente:

- Se cumplió con el objetivo de recopilar y tratamiento de información lo suficientemente detallada para la preparación de los estudios previos del proyecto, puesto que es pública y de fácil acceso para los usuarios interesados. Por ello, se elaboraron estudios válidos necesarios sobre la topografía, batimetría, clima marítimo, geología, geotecnia, climatología, entre otras averiguaciones. Finalmente, es necesario resaltar que los datos brindados por Puertos del Estado sobre el clima marítimo a distintas profundidades y fuentes de datos fueron fundamental para el adecuado diseño de ampliación del proyecto.
- Tras analizar el entorno del proyecto a través de los estudios previos realizados, se desarrollaron y propusieron alternativas de ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma, por lo que se ha cumplido con el planteamiento de este objetivo. Dichas alternativas consistieron en una única propuesta en sección, debido a la naturaleza y uso de la infraestructura, y tres alternativas en planta, que darían solución a las necesidades presentes y futuras de demanda en la zona.
- Para la valoración objetiva de cada una de las alternativas propuestas, se identificaron los criterios más relevantes y se utilizó el método Pattern, que permite involucrar y valorar diversas características de cada una de las opciones consideradas. Con esto, se pudo cumplir con el tercer objetivo específico planteado y seleccionar a la alternativa

2 como la más adecuada, prolongación de 150 metros del dique de abrigo siguiendo la orientación existente.

- Se cumplió con el objetivo de desarrollar íntegramente el proyecto constructivo para la alternativa seleccionada. Esto incluye detalles sobre el diseño y dimensionamiento final de la infraestructura, desarrollo de procesos constructivos, planificación de los plazos para la ejecución de la obra, presupuestos de ejecución, fórmula de revisión de precios, clasificación del contratista, entre otros. Además, la elaboración integral de este tipo de proyectos de infraestructura cumple con la normativa vigentes y Recomendaciones para Obras Marítimas, elaborada por Puertos del Estado.
- El proyecto desarrollado integralmente servirá para atender a las necesidades presentes y futuras identificadas inicialmente a través del Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma. Además, brinda flexibilidad para que el proyecto pueda adaptarse a otros proyectos de ampliación en el interior y exterior del puerto.



Recomendaciones

Sobre la experiencia obtenida a partir del desarrollo del presente proyecto constructivo, se identificaron alternativas de mejora complementarias y recomendaciones a aplicar con el fin de obtener resultados más precisos y adecuados a las necesidades de la zona.

- Durante la etapa de recopilación de información y elaboración de estudios previos de proyecto, será necesario realizar ensayos en laboratorio sobre características geotécnicas de la zona, puesto que en el presente documento se utilizaron datos recomendados por Puertos del Estado según características geológicas y geotécnicas.
- Se recomienda la visita a la zona de proyecto, con el fin de obtener información gráfica y conocimiento del entorno de proyecto, lo cual contribuye a una mejor ejecución y planificación de los procesos constructivos y el plan de obra.
- Se recomienda la aplicación de nuevas tecnologías para las etapas de planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de la infraestructura basados en la metodología BIM. De esta manera, se optimizarán los procesos y permitirá que las incompatibilidades o recursos necesarios sean previstos en los plazos adecuados. Asimismo, permitirá una adecuada gestión de la información del proyecto, lo que permitirá gestionar eficientemente la toma de decisiones. Para esto, Puertos del Estado ha desarrollado una Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal, con la que “se pretende dar las líneas de trabajo y procedimientos generales a aplicar en la gestión del ciclo de vida de los activos portuarios” (Puertos del Estado, 2019, p.13)

Referencias

- Agencia Estatal de Meteorología. (2010) *Valores Climatológicos normales. La Palma Aeropuerto - Canarias - periodo (1981-2010)*. Recuperado de: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=C139E&k=undefined>
- Aragónés, L et al. (2017). *Ingeniería Marítima 1*. Alicante: Editorial Club Universitario.
- BTP Infraestructuras. (2019) Anejo 2 – Situación Actual. *Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma*. Referencia BTP: 17C68EE.
- Cabildo La Palma. (2015) Aprobación definitiva Plan Territorial Especial de Ordenación de Residuos de La Palma. Recuperado de: <http://www.piolp.es/index.php/planes-territoriales-especiales/>
- Comisión Obrera de Construcción y Servicios (2021) *Tablas Salariales Provinciales de Construcción – Santa Cruz de Tenerife*. Recuperado de: <https://habitat.ccoo.es/160e52020663eb4d7d031fcaa19d94f2000072.pdf>
- Cruceros NET. (s.f.) Crucero Queen Mary 2. Dimensiones. Recuperado de: https://www.crucerosnet.com/comp_3/crucero/cruceros/cunard/queen-mary2/187/bateau.html
- Gobierno de Canarias. (2011). *Boletín Oficial de Canarias núm. 67 Viernes 1 de Abril de 2011 –1672*. (pp. 7004). Canarias, España. Recuperado de: <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2011/067/001.html>
- Instituto Geográfico Nacional. (2014). *Mapa Topográfico Nacional MTN 25 – 1085 II*. Madrid, España. Recuperado de: <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>

Instituto Geográfico Nacional. (2017). *Geodesia, ¿Qué es la Geodesia?* Madrid, España.

Recuperado de: <http://www.ign.es/resources/docs/IGNCnig/GDS-Teoria-Geodesia.pdf>

Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Reseña Vértice Geodésico 108588*. Madrid, España.

Recuperado de <https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-vertices/-/vertices-geodesicos>

Instituto Geográfico Nacional. (2020). *Reseña Vértice Geodésico 108589*. Madrid, España.

Recuperado de <https://www.ign.es/web/ign/portal/gds-vertices/-/vertices-geodesicos>

Instituto Geológico y Minero de España. (1976). Santa Cruz de La Palma y San Sebastián de la Gomera. *Memoria de Mapa de Rocas Industriales – Hoja 89 y 90*. Madrid, España.

Recuperado de:

<https://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/RocasIndustrialesA200Hoja.aspx?language=es&id=89>

Instituto Geológico y Minero de España. (1976). Santa Cruz de La Palma y San Sebastián de la Gomera. *Mapa de Rocas Industriales – Hoja 89 y 90*. Madrid, España. Recuperado de:

de:

<https://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/RocasIndustrialesA200Hoja.aspx?language=es&id=89>

Instituto Geológico y Minero de España. (1976). Santa Cruz de La Palma y San Sebastián de la Gomera. *Memoria de Mapa Geotécnico General – Hoja 89 y 90*. Madrid, España.

Recuperado de:

<http://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/Geotecnico200Hoja.aspx?Id=89&language=es>

Instituto Geológico y Minero de España. (1976). Santa Cruz de La Palma y San Sebastián de la Gomera. *Mapa Geotécnico General – Hoja 89 y 90*. Madrid, España. Recuperado de

<http://info.igme.es/cartografiadigital/tematica/Geotecnico200Hoja.aspx?Id=89&language=es>

Instituto Geológico y Minero de España. (2015). Isla de La Palma - Santa Cruz de La Palma. *Memoria de Mapa Geológico de España – Hoja 1085 II*. Madrid, España. Recuperado de:

<http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?language=es&id=1085>

Instituto Geológico y Minero de España. (2015). Isla de La Palma - Santa Cruz de La Palma. *Mapa Geológico de España – Hoja 1085 II*. Madrid, España. Recuperado de <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Magna50Hoja.aspx?language=es&id=1085>

Jefatura del Estado. (2021, 8 de noviembre). *Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014*. Boletín Oficial del Estado. (BOE-A-2017-12902).

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2007). Procesos Físicos. *Manual de Restauración de Dunas Costeras*. Madrid, España. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/manual_restauracion_dunas.aspx

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2021) La Palma. Red de Reservas Marinas de España. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/proteccion-recursos-pesqueros/reservas-marinas-de-espana/isla-de-la-palma/>

Ministerio de Economía y Hacienda. (2015, 7 de octubre). *Real Decreto 1359/2011, por el que se aprueba la relación de materiales básicos y las fórmulas tipo generales de revisión de precios de los contratos de obras y contratos de suministro de fabricación de armamento y equipamiento de las Administraciones Públicas*. Boletín Oficial del Estado. (BOE-A-2011-16749)

Ministerio de Empleo y Seguridad Social. (2017, 21 de septiembre). *Dirección General de Empleo, por la que se registra y publica el Convenio colectivo general del sector de la construcción*. Boletín Oficial del Estado. (pp. 94090-94253).

Ministerio de Fomento. (2009). *Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación*. (pp. 7-14). Madrid, España.

Ministerio de Fomento. (2009, 22 de julio). *Orden FOM/4003/2008 por la que se aprueban las normas y reglas generales de los procedimientos de contratación de Puertos del Estado y Autoridades Portuarias*. Boletín Oficial del Estado. (pp.8558-8573).

Ministerio de Hacienda. (2018, 12 de octubre). *Real Decreto 1098/2011 por el que se aprueba el Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas. Capítulo II: Disposiciones relativas a los órganos de contratación*. Boletín Oficial del Estado. (BOE-A-2011-19995).

Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales (2017, 3 de febrero). *Real Decreto 55/2017 por el que se desarrolla la Ley 2/2015 de 30 de marzo de desindexación de la economía española*. Boletín Oficial del Estado. (pp. 8121).

Ministerio de Trabajo, Migraciones y Seguridad Social. (2019, 23 de abril). *Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el Acta por la que se modifica el Convenio*

colectivo general del sector construcción. Boletín Oficial del Estado (pp. 42578-42600).

Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. (2020). Mapa de la Red Natura 2000 en España. Recuperado de: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/red_natura_2000_inf_disp.aspx

Navionics. (s.f). Disponible 06 de enero del 2021, de <https://webapp.navionics.com/?lang=es#boating@7&key=en%7CmDrx~jB>

Puertos del Estado. (1990). *Recomendaciones para Obras Marítimas 0.2-90: Acciones en el Proyecto de Obras Marítimas y Portuarias*. Madrid, España.

Puertos del Estado. (1992). Clima Marítimo en el Litoral Español. *Recomendaciones para Obras Marítimas 0.3-91: Oleaje – Anejo 1: Clima Marítimo en el Litoral Español*. (pp. 14, 31-74). Madrid, España.

Puertos del Estado. (1995). Cargas de Viento. *Recomendaciones para Obras Marítimas 0.4-95: Acciones Climáticas II: Viento*. (pp. 85-162, 165-227). Madrid, España.

Puertos del Estado. (2000). Requerimientos en alzado. *Recomendaciones para Obras Marítimas 3.1-99: Proyecto de la configuración marítima de los puertos, canales de acceso y áreas de flotación*. (pp. 191-235). Madrid, España.

Puertos del Estado. (2001). Criterios Generales en el Proyecto. *Recomendaciones para Obras Marítimas 0.0 - 01: Procedimiento general y bases de cálculo en proyectos de obras marítimas y portuarias*. (pp. 27-60). Madrid, España.

Puertos del Estado. (2005). Investigación Geotécnica. *Recomendaciones para Obras Marítimas 0.5-05: Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias*. (pp. 55-80). Madrid, España.

Puertos del Estado. (2008) Obras de Abrigo. *Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas* (pp. 170-181). Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/Paginas/BibliotecaV2.aspx>

Puertos del Estado. (2008) Superestructura de diques y muelles. *Guía de Buenas Prácticas para la Ejecución de Obras Marítimas* (pp. 251-276). Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/Paginas/BibliotecaV2.aspx>

Puertos del Estado. (2009). Procedimiento y Bases de Cálculo. *Recomendaciones para Obras Marítimas 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*. (pp. 87-188). Madrid, España.

Puertos del Estado. (2009). Agentes climáticos en el emplazamiento. *Recomendaciones para Obras Marítimas 1.0-09: Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo*. (pp. 189-204). Madrid, España.

Puertos del Estado. (2012). Dimensionamiento en planta y alzado, bases de diseño y criterios generales de proyecto. *Recomendaciones para Obras Marítimas 2.0-11: Recomendaciones para el proyecto y ejecución de Obras de atraque y amarre*. (pp. 65-127). Madrid, España.

Puertos del Estado. (2017). *Extremos Máximos de Oleaje por direcciones – Boya de Gran Canaria*. Madrid, España. De: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado. (2017). *Extremos Máximos de Oleaje – Boya de Las Palmas Este*. Madrid, España. De: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado. (2017). *Extremos Máximos de Oleaje por Direcciones – Boya de Santa Cruz de Tenerife*. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado. (2017). *Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria – Mareógrafo de Santa Cruz de Tenerife*. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado. (2017). *Clima Medio de Oleaje – Nodo SIMAR 4009017*. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado. (2018). *Clima Medio de Oleaje – Boya de Gran Canaria*. Madrid, España. De: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado. (2018). *Clima Medio de Oleaje – Boya de Santa Cruz de Tenerife*. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

Puertos del Estado. (2019). *Clima Medio de Oleaje – Boya de Las Palmas Este*. Madrid, España. De: <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>

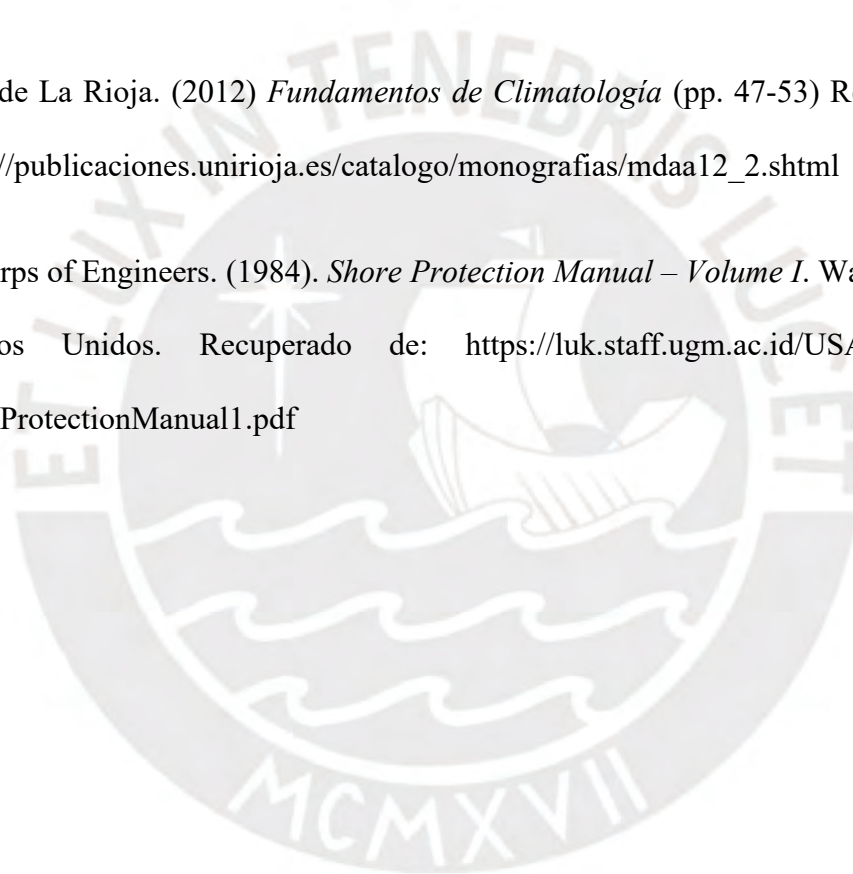
Puertos del Estado. (2019). *Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal*. Madrid, España. Recuperado de: <https://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/Guia%20BIM%2009.pdf>

Puertos del Estado. (2019). *Recomendaciones para Obras Marítimas 4.1-18: Recomendaciones para el proyecto y construcción de pavimentos portuarios*. Madrid, España.

Takahashi, S. (2002). *Design of Vertical Breakwaters* (Version 2.1) PHRI reference document nr. 34. (pp. 62). Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.998.6324&rep=rep1&type=pdf>

Universidad de La Rioja. (2012) *Fundamentos de Climatología* (pp. 47-53) Recuperado de: https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/mdaa12_2.shtml

US Army Corps of Engineers. (1984). *Shore Protection Manual – Volume I*. Washington DC, Estados Unidos. Recuperado de: <https://luk.staff.ugm.ac.id/USACE/USACE-ShoreProtectionManual1.pdf>



ANEXOS

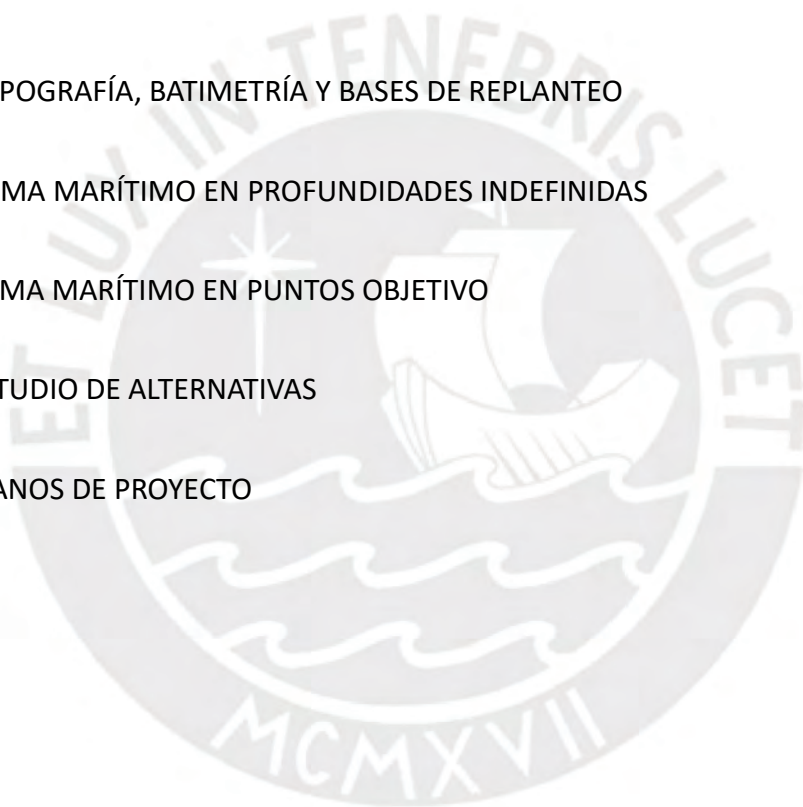
ANEXO A: TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA Y BASES DE REPLANTEO

ANEXO B: CLIMA MARÍTIMO EN PROFUNDIDADES INDEFINIDAS

ANEXO C: CLIMA MARÍTIMO EN PUNTOS OBJETIVO

ANEXO D: ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

ANEXO E: PLANOS DE PROYECTO



ANEXO A

**TOPOGRAFÍA, BATIMETRÍA Y BASES DE
REPLANTEO**

Victor Fernando Espinoza Vilcatoma



ÍNDICE

Capítulo 1	Introducción	2
Capítulo 2	Descripción de la campaña	3
2.1.	Franja de levantamiento	5
2.2.	Equipos utilizados	7
2.3.	Reseña de los vértices	7
Capítulo 3	Teoría de errores	8
3.1.	Tipos de errores	8
3.2.	Valores y variables más importantes de la teoría de errores	9
Capítulo 4	Obtención de bases de replanteo para la obra	11
Capítulo 5	Batimetría	12

APÉNDICES

APÉNDICE A: VÉRTICES GEODÉSICOS

APÉNDICE B: HOJA MTN25

APÉNDICE C: PLANO EN PLANTA GENERAL DE SITUACIÓN ACTUAL Y BATIMETRÍA

Capítulo 1 Introducción

El presente documento forma parte de los trabajos previos realizados para evaluar las posibles soluciones frente a la ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma. Para esto, es necesario contar con información sobre la situación física de la zona de proyectos (en este caso la batimetría) y los vértices geodésicos que cumplen una función importante en determinar las bases de replanteo. Sobre la antes mencionado, uno de los objetivos principales de este anejo es presentar la información necesaria sobre la superficie del terreno en el que se emplazará el proyecto a desarrollar, con lo que será fundamental caracterizar adecuadamente la batimetría de la zona. Esto condicionará los procesos de movimientos de tierra necesarios.

Por otro lado, para desarrollar un adecuado proceso de replanteo, que cumplan con todos los requerimientos y exigencias propuestas, será necesario partir de vértices geodésicos que son parte de las redes geodésicas REGENTE (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales) y ROI (Red de Orden Inferior), que cuenta con ubicación geográfica exacta. Asimismo, dentro de los diferentes sistemas de referencia de las coordenadas UTM, actualmente en España se puede utilizar el sistema de referencia ED50, European Datum 1950. Sin embargo, en el caso de las Islas Canarias, se adopta el sistema REGCAN95. Dicha definición se realizó a partir de la estación ITRF de Maspalomas, con las coordenadas publicadas en el ITRF93 y trasladadas a la época de observación de REGERENTE en Canarias, 1994.

Capítulo 2 Descripción de la campaña

Para la elaboración del presente documento, se obtuvo información del Instituto Geográfico Nacional, a través de los vértices de las redes geodésicas. En particular, el análisis parte de los vértices 108589: Muelle 2008 y 108588: Concepción, que se encuentran ubicados en las inmediaciones de la zona de proyecto, y cuyas fichas de información se encuentran en el Apéndice A del presente anejo.



Figura 1A Ubicación de vértices geodésicos 108588 Y 108589.

Tomado de “Visualizador de Redes Geodésicas y descarga de reseñas”, por Instituto Geográfico Nacional.

El primero de estos vértices, 108589: Muelle 2008, se encuentra ubicado a pocos metros del Puerto de Santa Cruz de La Palma, por lo que servirá como un referente principal. Debido a esto, se detalla la información de sus coordenadas en el siguiente cuadro.

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo

Tabla 1A Coordenadas geográficas del vértice geodésico 108589.

REGCAN95	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Longitud	-17° 45' 56,10420"
Latitud	-28° 40' 42,82703"
Alt. Elipsoidal	54.334 m (CF)
Compensación	28 de noviembre del 2004

Tomado de "Reseña Vértice Geodésico 108589", por Instituto Geográfico Nacional. (2020).

Tabla 2A Coordenadas UTM del vértice geodésico 108589.

REGCAN95	
COORDENADA UTM. Huso 28	
X	229746.117 m
Y	3175505.630 m
Factor escala	1.000500940
Convergencia	-1° 19' 41"
Altitud sobre el nivel medio del mar	9.673 m (BP)

Tomado de "Reseña Vértice Geodésico 108589", por Instituto Geográfico Nacional. (2020).

Para el caso del segundo vértice, 108588: Concepción, se encuentra ubicado a 1km del Puerto de Santa Cruz de La Palma y cuenta con visual directa, por lo que no se necesitará bases secundarias de replanteo a través de una triangulación. A continuación, se presenta una tabla con las coordenadas correspondientes.

Tabla 3A Coordenadas geográficas del vértice geodésico 108588.

REGCAN95	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
Longitud	-17° 46' 30,11237"
Latitud	-28° 40' 20,54256"
Alt. Elipsoidal	400.411 m (BP)
Compensación	01 de enero del 2001

Tomado de "Reseña Vértice Geodésico 108588", por Instituto Geográfico Nacional. (2020).

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo

Tabla 4A Coordenadas UTM del vértice geodésico 108588.

REGCAN95	
COORDENADA UTM. Huso 28	
X	228806.629 m
Y	3174840.858 m
Factor escala	1.000507210
Convergencia	-1° 19' 56"
Altitud sobre el nivel medio del mar	356.842 m (BP)

Tomado de “Reseña Vértice Geodésico 108588”, por Instituto Geográfico Nacional. (2020).

Por otro lado, el plano utilizado para el estudio del proyecto será facilitado por el IGN y será el MTN25, el cual se incluye en el Apéndice B del presente documento.

Finalmente, se puede considerar que la documentación cuenta con la calidad suficiente para el desarrollo del trabajo de estudio previo de soluciones. Asimismo, se ha decidido no realizar topografía y cartografía propia del proyecto por motivos económicos.

2.1. Franja de levantamiento

Sobre la base de la información de los dos vértices cercanos al Puerto de Santa Cruz de La Palma, se procede a implementar el método de intersección directa, el cual brinda una gran precisión en la obtención de coordenadas de puntos.

Para el primer paso, se lanzarán dos visuales a la zona de proyecto desde dos bases en las que se conozcan sus coordenadas exactas, como es el caso de ambos vértices mencionados anteriormente, 108588 y 108589.

Desde el vértice 108589, se tiene visual directa, puesto que se encuentra ubicado a pocos metros del Puerto de Santa Cruz de La Palma, por lo que no será necesario crear una red secundaria de bases de replanteo para obtener referencias exactas.

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo



Figura 2A Vista desde el vértice 108589 hacia el dique del Este.

Tomado de “Reseña Vértice Geodésico 108589”, por Instituto Geográfico Nacional. (2020).

Asimismo, desde el vértice 108588, también se tiene visual directa, puesto que se encuentra ubicado a 1 km del Puerto de Santa Cruz de La Palma y desde gran altura, por lo que no será necesario crear una red secundaria de bases de replanteo para obtener referencias exactas.



Figura 3A Vista desde el vértice 108588 hacia el dique del Este.

Tomado de “Reseña Vértice Geodésico 108588”, por Instituto Geográfico Nacional. (2020).

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo

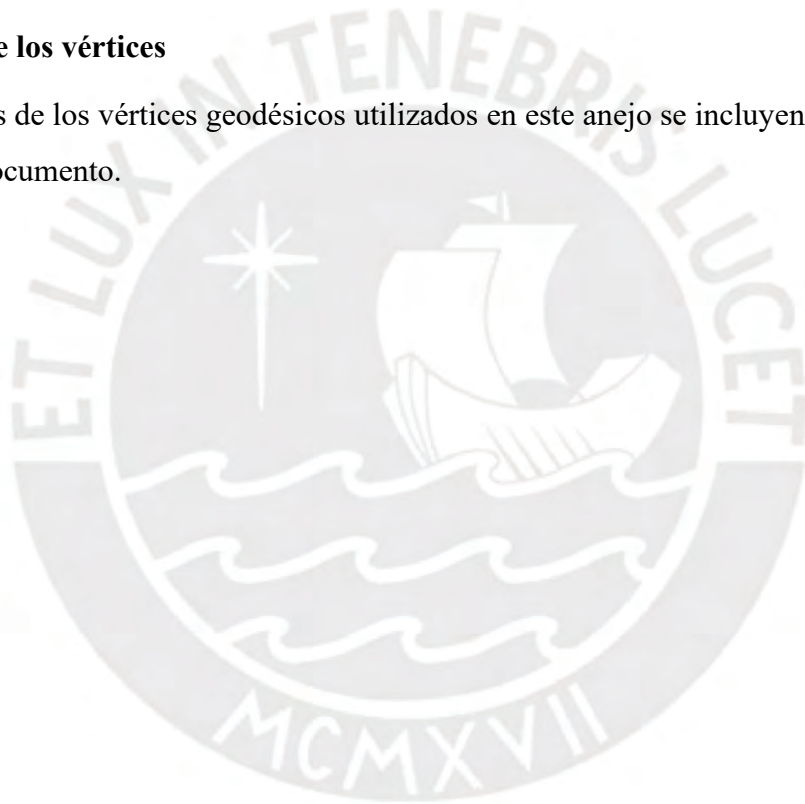
2.2. Equipos utilizados

Para los trabajos de replanteo se utilizarán equipos como:

- Estación total y todo el equipamiento complementario para realizar y lanzar las visuales directamente desde los vértices geodésicos.
- Localizador GPS, como equipo auxiliar.

2.3. Reseña de los vértices

Las fichas de los vértices geodésicos utilizados en este anejo se incluyen en el apéndice A de este documento.



Capítulo 3 Teoría de errores

Para este análisis, el término error tiene un significado relacionado con imprecisión, imperfección o indeterminación. Por ello, no se encuentra asociado a una equivocación. El objetivo de este apartado es analizar los errores que aparecerán o pueden aparecer durante la realización de la toma de mediciones, características, magnitudes, y su determinación, clasificación y propagación. Con esto, se podrá analizar si las medidas topográficas serán útiles de acuerdo con los objetivos trazados y las exigencias requeridas.

En relevamientos topográficos, se determinarán y tomarán medidas líneas y angulares, resultantes de la medición directa con instrumentos. Asimismo, existirá un gran número de datos que se obtendrán a través de una determinación indirecta. La teoría de errores estudia las medidas de una magnitud cuando estas forman parte de una serie de observaciones homogéneas, no para una medición aislada. De esto, se sabe que en topografía se utilizan medidas resultantes de una serie de observaciones.

3.1. Tipos de errores

Errores sistemáticos: Los errores sistemáticos son aquellos que siempre que se realice una observación de una misma magnitud, en idénticas condiciones, se presentan con el mismo valor y en el mismo sentido. Debido a esto, son errores controlables, pues afectan las mediciones con una influencia constantes o siguiendo los parámetros de una ley determinada.

Las causas más comunes para este tipo de errores son los defectos instrumentales, las condiciones operativas, las características propias de los sentidos del operador, discrepancias provenientes de los métodos de medición y cálculo. Esto importante conoce las causas de este tipo

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo

de errores, puesto que ayudará a que se pueda corregir la deficiencia que lo provoca o compensar su influencia.

Errores accidentales: Los errores accidentales son aquellos que influyen de manera irregular y varían en magnitud y signo de una observación a otra. Son originados por causas ajenas al control del operador y provienen de tres factores: instrumental, personal y condiciones.

Su manifestación es imprevisible y constituyen un hecho azaroso, acotado por formas de prevención dispuestas por el operador al elegir instrumentos, métodos, condiciones y un medio estricto del control del proceso de medición. Asimismo, cuando su magnitud es pequeña, existe mayor probabilidad de cometerlos que en el caso de errores grandes.

3.2. Valores y variables más importantes de la teoría de errores

- **Valor más probable:** Teniendo en cuenta que el *valor exacto* de una magnitud o medición es desconocido, se utiliza la media aritmética de las medidas que integren la serie como el valor más probable, ya que por conceptos basados en principios estadísticos resulta el valor más representativo.
- **Error aparente y error verdadero:** Determinar el error es compara la *medida* con otro valor que sirve de referencia o modelo (ejemplo: $\text{error} = \text{medida} - \text{valor modelo}$). Si ese valor de referencia o modelo es el valor más probable, entonces podemos determinar el valor del **error aparente (v)**. Si la comparación se realiza con el *valor verdadero*, entonces se obtiene el **error verdadero (e)**.

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo

- **Error relativo (V_r):** A menudo en la práctica topográfica se compara el valor absoluto del error aparente con la media aritmética, de este cociente se puede observar la bondad técnica de un valor. Es habitual también expresar el error relativo en forma porcentual.
- **Precisión:** Las mediciones de una serie con gran homogeneidad (poca dispersión) implica una precisión alta. Esto no es sinónimo de exactitud, ya que por ejemplo ante un error sistemático podemos estar en presencia de precisión y no exactitud. Existen distintas maneras de expresar las medidas de precisión. Las más utilizadas en topografía son:
 - a. **Error promedio (μ):** Media aritmética de los valores absolutos de los errores aparentes.
 - b. **Error probable (p):** Valor ubicado en el medio del conjunto de los valores absolutos de los errores aparentes.
 - c. **Error medio cuadrático (m):** Desviación estándar muestral y se puede expresar en función de los errores verdaderos o de los errores aparentes.

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo

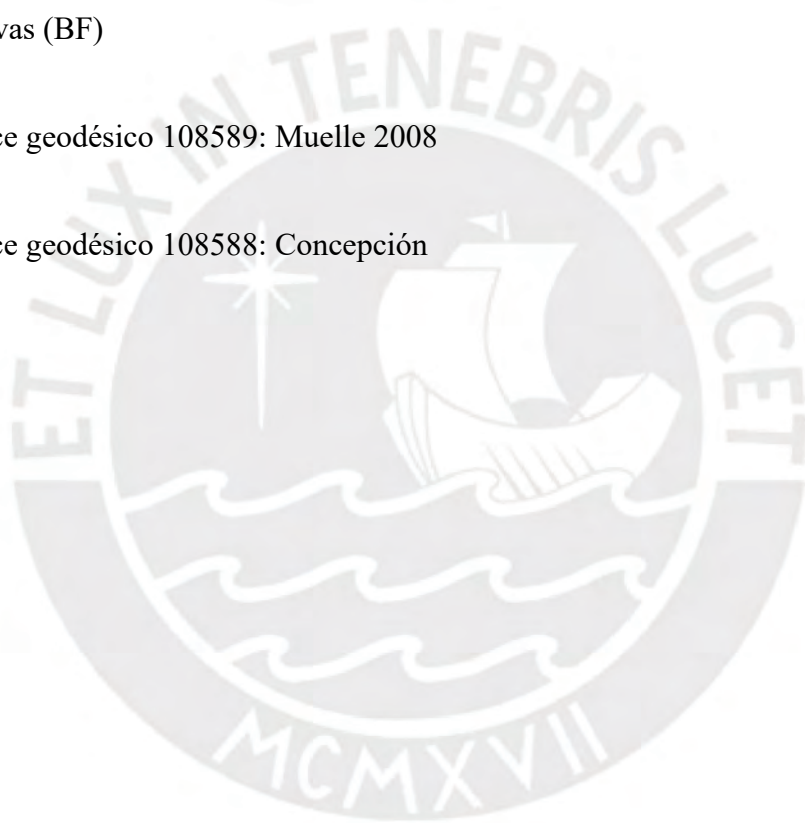
Capítulo 4 Obtención de bases de replanteo para la obra

Las bases de replanteo son el objeto principal del Anejo desarrollado, por lo que su determinación será importante para poner en marcha la construcción. '

Para el caso de análisis y debido a que contamos con vértices geodésicos cercanos a la zona de proyecto, estos puntos serán tomados como bases definitivas (BF) en tierra.

Bases definitivas (BF)

- Vértice geodésico 108589: Muelle 2008
- Vértice geodésico 108588: Concepción



Capítulo 5 Batimetría

La batimetría al interior del Puerto de Santa Cruz de La Palma se observan pendientes suaves entre las curvas de 0 m a 15 m. Luego, en la zona de la bocana del puerto, se pueden alcanzar profundidades entre 20 m y 25m, manteniendo una pendiente suave.

Por otro lado, en la zona del morro del dique del Este, se pueden alcanzar profundidades de 30 m, siendo estas mayores a medida que nos alejamos de la zona de costa. Cabe resaltar que el calado del muelle polivalente, el pantalán y, la primera y segunda alineación del dique del Este no alcanza profundidades superiores a 10 m. En la tercera alineación del dique, el calado alcanza los 14 metros de profundidad.

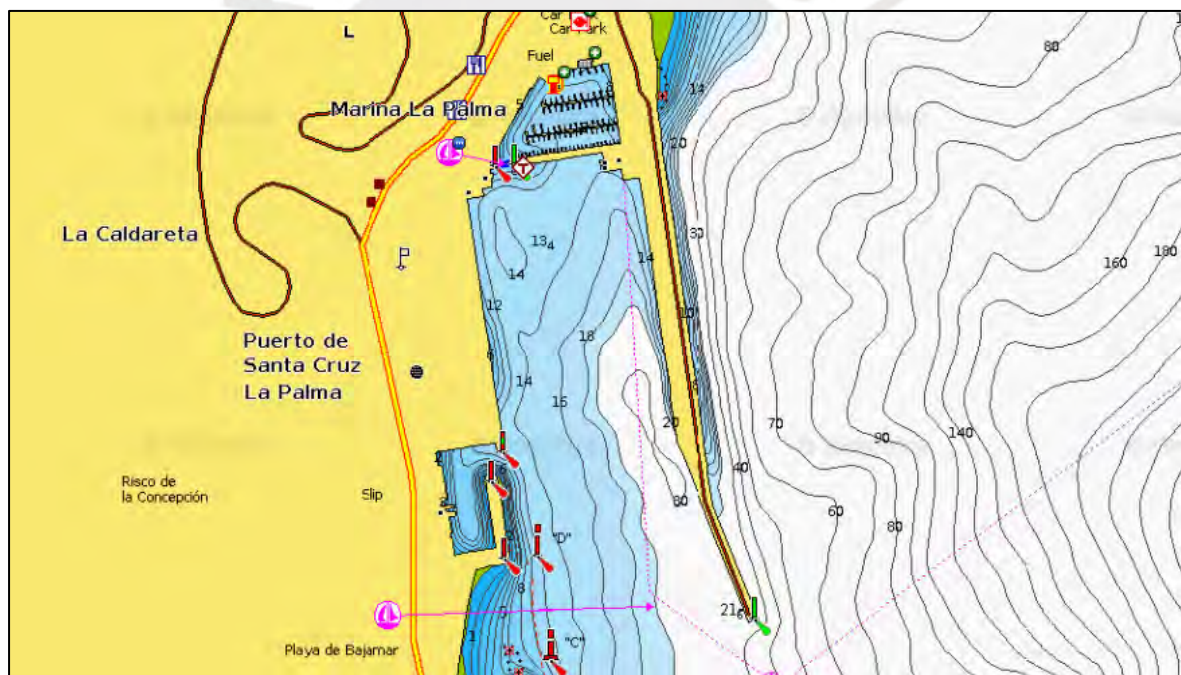


Figura 4A Detalle de la batimetría de la zona de estudio.

Tomado de Navionics, de <https://webapp.navionics.com>

Anexo A: Topografía, Batimetría y Bases de replanteo

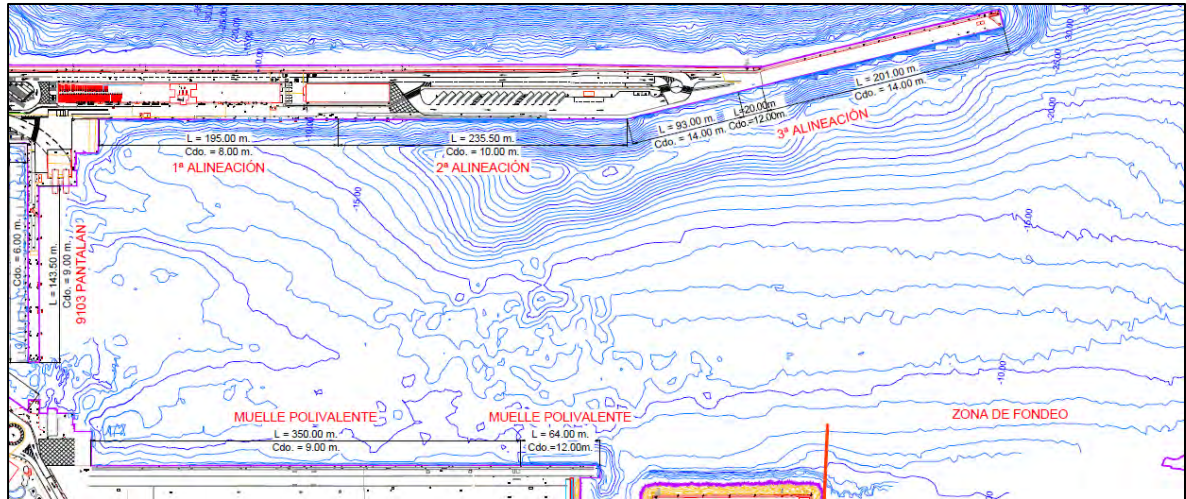
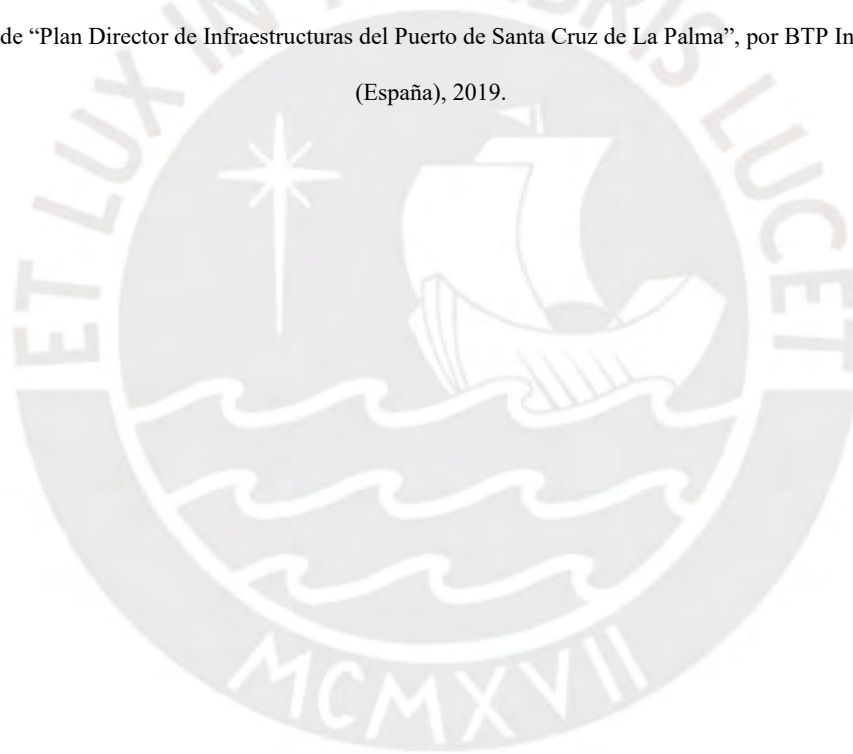


Figura 5A Detalle de la batimetría de la zona de estudio.

Tomado de “Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma”, por BTP Infraestructuras

(España), 2019.



APÉNDICE A: VÉRTICES GEODÉSICOS



Reseña Vértice Geodésico

1-jun-2020

Número.....: 108588 (antes de 2013: **108565**)
Nombre.....: Concepción
Municipios: Breña Alta
Provincias: Santa Cruz de Tenerife
Fecha de Construcción.....: 06 de agosto de 1984
Pilar sin centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 0,20 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 2 de 1,20 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	REGCAN95
Longitud.....:		- 17° 46' 30,11237"
Latitud.....:		28° 40' 20,54256"
Alt. Elipsoidal...:		400,411 m (BP)
Compensación..:		01 de enero de 2001

Coordenadas UTM. Huso 28 :

Sistema de Ref.:	ED 50	REGCAN95
X.....:		228806,629 m
Y.....:		3174840,858 m
Factor escala....:		1,000507210
Convergencia...:		- 1° 19' 56"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 356,842 m. (BP)

Situación:

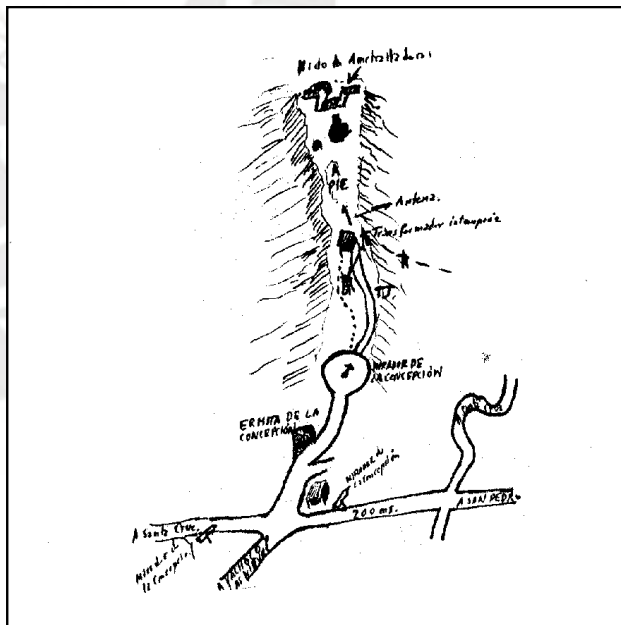
Situado en la isla de La Palma, en el borde E. del Risco de la Concepción, dando vista al mar, en terreno de erial y a unos 200 m. al E. de la cruz del Mirador de la Concepción.

Acceso:

Desde San Pedro de Breña Alta, por la carretera a Santa Cruz de La Palma, recorridos unos 1.800 m. se cruza la carretera general a Santa Cruz de La Palma, se continúan unos 200 m. y se llega a otro cruce, a la izquierda se va a Valhoco y Las Nieves y a la derecha, que es por donde se sigue, tiene indicador a "Mirador de la Concepción". A los 300 m. se pasa junto a la ermita del mismo nombre y poco después se llega al mirador, donde se deja el vehículo. A pie, por un camino, se sigue hacia el E., se pasa a los 80 m. junto a un transformador y una antena y 120 m. después se llega a la señal.

Horizonte GPS:

Despejado



Observaciones:

Cartografía de situación

1-jun-2020

Escala 1:25.000

0108588 Concepción

Coordenadas REGCAN95. Huso 28



Reseña Vértice Geodésico

1-jun-2020

Número.....: 108589 (antes de 2013: 108576)
Nombre.....: Muelle 2008©
Municipios: Santa Cruz de la Palma
Provincias: Santa Cruz de Tenerife
Fecha de Construcción.....: 01 de junio de 2008
Pilar con centrado forzado..: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 1,00 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 1,00 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.:	ED 50	REGCAN95
Longitud.....:		- 17° 45' 56,10420"
Latitud.....:		28° 40' 42,82703"
Alt. Elipsoidal...:		54,334 m (CF)
Compensación..:		28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 28 :

Sistema de Ref.:	ED 50	REGCAN95
X.....:		229746,117 m
Y.....:		3175505,630 m
Factor escala....:		1,000500940
Convergencia...:		- 1° 19' 41"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 9,673 m. (BP)

Situación:

Situado en la isla de La Palma, en el espolón del dique de Santa Cruz.

Acceso:

En el puerto de Santa Cruz de la Palma, junto a la Estación Marítima.

Horizonte GPS:

Despejado



NO EXISTE CROQUIS

Observaciones:

REGENTE ISLAS. Vértice reconstruido en el mismo sitio que el original 108575 Muelle y reobservado en Junio de 2008. Existe clavo de nivelación (2920001) semiesférico de latón al pie del pilar. Altura de centrado sobre clavo nivelado 1,197 m.

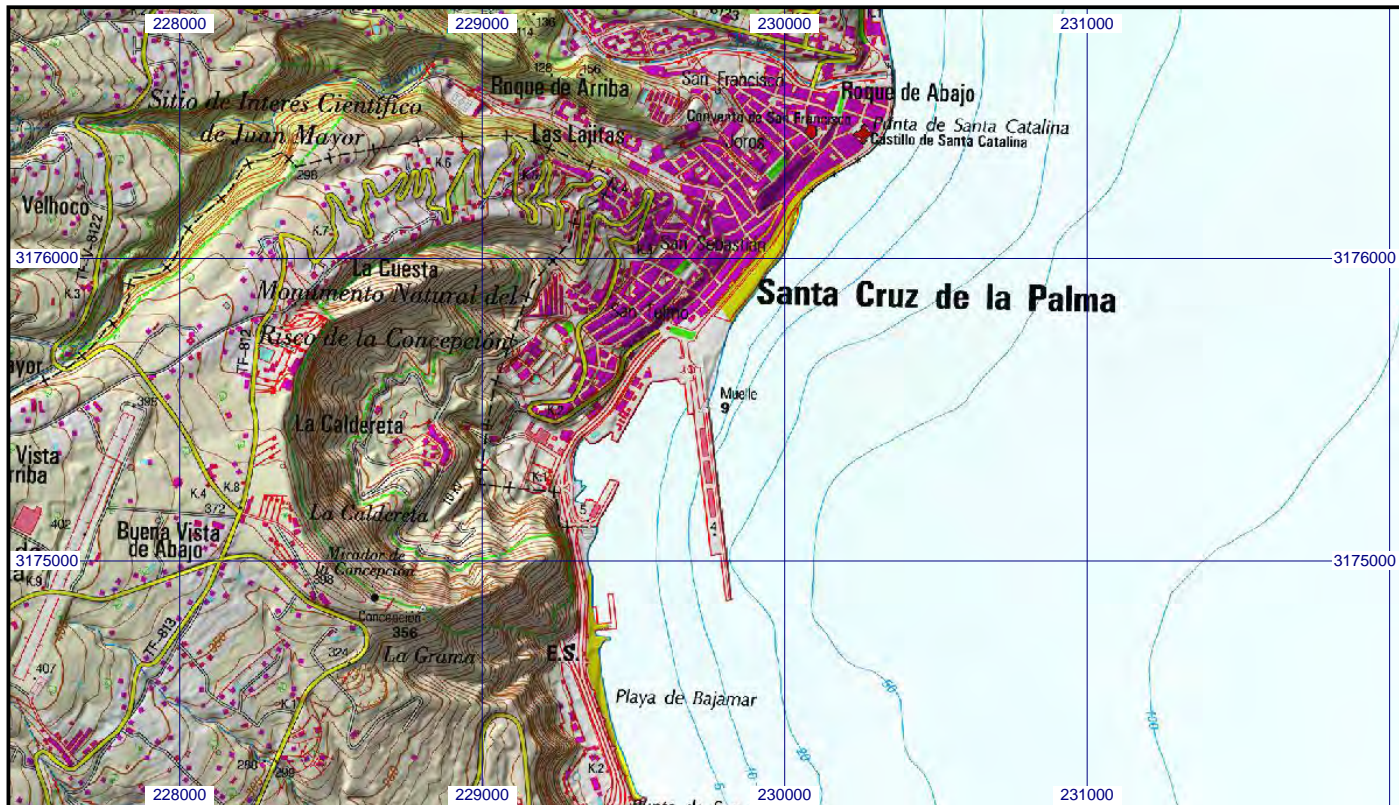
Cartografía de situación

1-jun-2020

Escala 1:25.000

0108589 Muelle 2008©

Coordenadas REGCAN95. Huso 28



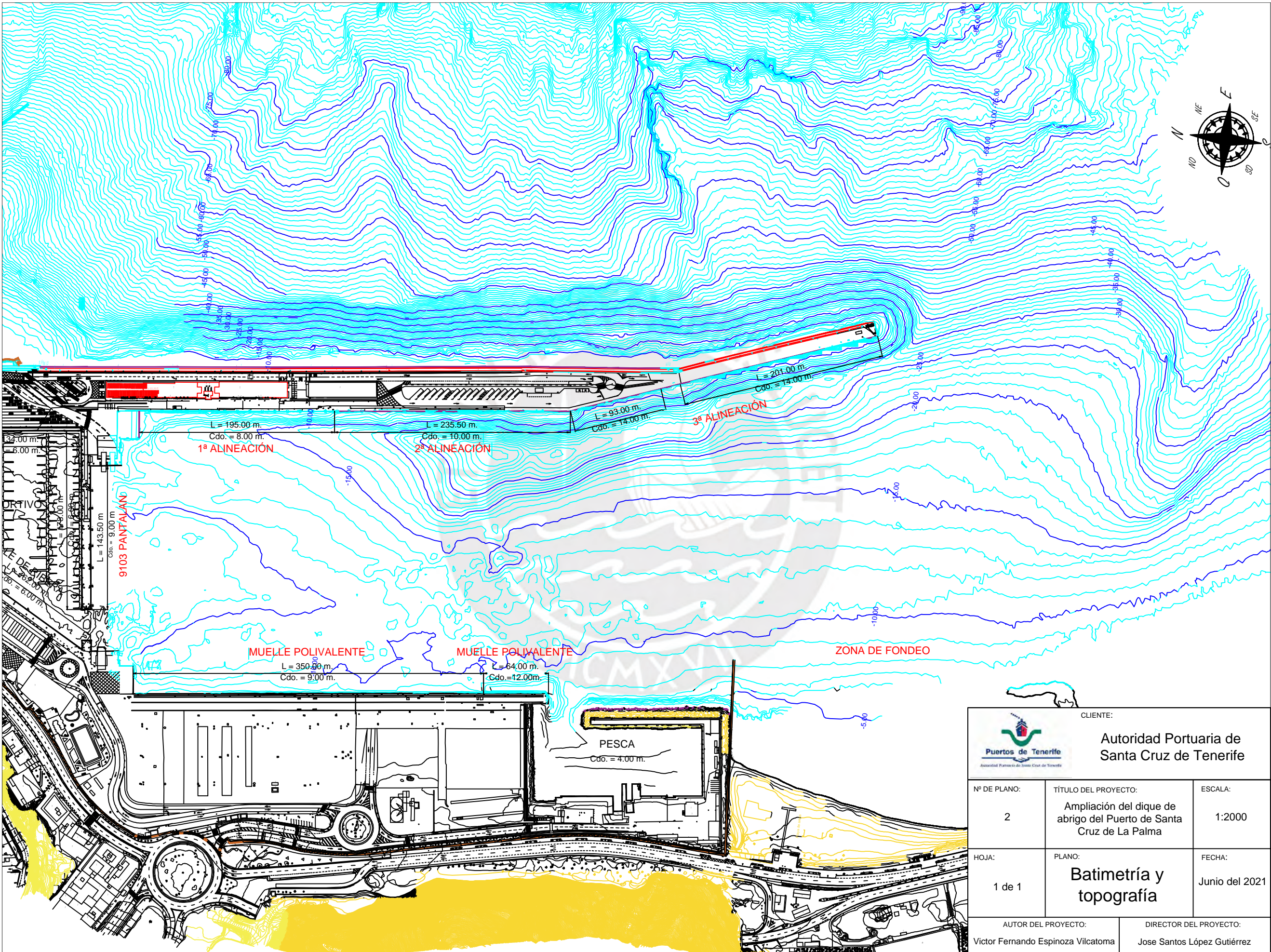
APÉNDICE B: HOJA MTN 25





**APÉNDICE C: PLANO EN PLANTA GENERAL DE
SITUACIÓN ACTUAL Y BATIMETRÍA**





 CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife		
Nº DE PLANO: 2	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: 1:2000
HOJA: 1 de 1	PLANO: Batimetría y topografía	FECHA: Junio del 2021
AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: Jose Santos López Gutiérrez

ANEXO B

**CLIMA MARÍTIMO EN PROFUNDIDADES
INDEFINIDAS**

Victor Fernando Espinoza Vilcatoma



Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

ÍNDICE

Capítulo 1	Introducción	4
Capítulo 2	Carácter de la obra	4
2.1.	Caracterización según ROM 0.2 - 90.....	4
2.1.1.	Fase de construcción	6
2.1.2.	Fase de servicio	8
2.2.	Caracterización según ROM 0.0 - 01.....	9
2.2.1.	Carácter general según ROM 0.0 – 01	10
2.2.2.	Carácter operativo según ROM 0.0 – 01	13
2.3.	Caracterización según ROM 1.0 – 09	16
2.3.1.	Vida útil mínima de los tramos definitivos	17
2.3.2.	Requisitos frente a la seguridad	18
2.3.3.	Requisitos frente al servicio	18
2.3.4.	Requisitos frente a los modos de parada	20
2.4.	Cálculo del periodo de retorno.....	23
Capítulo 3	Fuentes de datos	26
3.1.	Conjunto de datos de la red costera	28
3.1.1.	Boya de Las Palmas Este	28
3.1.2.	Boya de Santa Cruz de Tenerife.....	31

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

3.2.	Conjunto de datos de la red exterior	34
3.2.1.	Boya de Gran Canaria	35
3.3.	Conjunto de datos SIMAR.....	39
3.3.1.	NODO SIMAR 4009017.....	41
3.4.	Cálculo de régimen medio y extremal	42
3.4.1.	Régimen medio	42
3.4.2.	Régimen extremal	43
Capítulo 4	Coefficientes de direccionalidad y de propagación inversa	46
4.1.	Coefficientes de direccionalidad	47
4.2.	Coefficientes de Refracción y Shoaling	50
Capítulo 5	Estado del mar en profundidades indefinidas	53
Capítulo 6	Otras variables: marea y viento.....	55
6.1.	Marea	55
6.1.1.	Marea astronómica	56
6.1.2.	Marea meteorológica o residuo	57
6.2.	Viento.....	59
6.2.1.	Velocidad básica del viento y coeficiente de direccionalidad (V_b y K_α)	60
6.2.2.	Coefficiente de periodo de retorno (K_{tr})	61
6.2.3.	Factor de altura y rugosidad superficial (F_a)	61

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

6.2.4.	Factor topográfico (Ft)	63
6.2.5.	Factor de ráfaga máxima (Fr).....	63
Capítulo 7	Resumen de clima marítimo en profundidades indefinidas	66
7.1.	Oleaje	66
7.2.	Carrera de marea	66
7.3.	Velocidad del viento de proyecto	66



Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Capítulo 1 Introducción

El presente anexo tiene por objetivo caracterizar adecuadamente las condiciones del clima marítimo en profundidades indefinidas, tomando en cuenta los criterios necesarios para su determinación de manera eficiente. Para esto, será necesario contar y determinar características tales como el carácter de la obra, datos históricos y modelos numéricos sobre oceanografía, coeficientes direccionales y de propagación inversa, entre otras variables relevantes. Asimismo, será necesario atender a la información brindada por Puertos del Estado sobre datos históricos y seguir las Recomendaciones para Obras Marítimas, también elaboradas por este Organismo Público.

Capítulo 2 Carácter de la obra

La caracterización de una obra portuaria se basa en la importancia intrínseca de la obra y su repercusión sobre características económicas, sociales, históricas y medioambientales del entorno, con el objetivo de determinar el período de retorno a considerar para el análisis.

2.1. Caracterización según ROM 0.2 - 90

En primer lugar, será necesario definir la *vida útil del proyecto*, la cual es particular para cada uno y se ajusta al tiempo en el que se prevé en servicio la estructura. Para dicha valoración, tal y como los define la ROM 0.2-90, será necesario tomar en cuenta la facilidad, posibilidad y factibilidad económica de las reparaciones, la probabilidad y posibilidad de cambios en las circunstancias y condiciones de utilización prevista en el proyecto como consecuencia de variaciones en operaciones y tráfico portuario, y la viabilidad de refuerzos y readaptaciones a nuevas necesidades de servicio.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Con esto, se puede caracterizar a las obras según el tipo de obra o instalación, y el nivel de seguridad requerido. En consecuencia, se plantea la clasificación mostrada en el siguiente cuadro, que define la vida útil del proyecto.

VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
Tipo de obra o instalación	Nivel de seguridad requerido		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura de carácter general	25	50	100
De carácter industrial específico	15	25	50

Tabla 1B Vidas útiles mínimas para obras o instalaciones de carácter definitivo.

TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN:

- Infraestructuras de carácter general: Obras de carácter general, no ligadas a la explotación de una instalación industrial o de yacimiento concreto.
- De carácter industrial específico: Obras al servicio de una instalación industrial concreta o ligada a la explotación de recursos o yacimientos de naturaleza transitoria.

NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO

- Nivel 1: Obras o instalaciones de interés local o auxiliares, con pequeño riesgo de pérdida de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura (obras de defensa y regeneración de costas, obras de puertos menores deportivos, emisarios locales, pavimentos, etc.).
- Nivel 2: Obras e instalaciones de interés general, con riesgo moderado de pérdida de vidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura (obras de grandes puertos, emisarios de grandes ciudades, etc.).

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

- Nivel 3: Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional, con riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de rotura (defensa de núcleos urbanos o bienes industriales, etc.).

Con esto, podemos concluir que el proyecto a desarrollar es una infraestructura de carácter general, que requiere un nivel de seguridad 2, puesto que se comprende de un puerto de interés general para el Estado. **Finalmente, la vida útil asignada del proyecto será de 50 años.**

Por otro lado, las Recomendaciones para Obras marítimas 0.2-90 mencionan que los criterios generales del proyecto y el ámbito de aplicación del documento se tendrán en cuenta en todas las fases, subfases, e hipótesis de trabajo posibles siempre que afecten al dimensionamiento; procediéndose al análisis pormenorizado e individualizado de cada estructura en su totalidad, y de cada uno de los elementos resistentes en cada una de las fases.

Por esta razón, el documento define como *vida de proyecto de una estructura* al período de tiempo que va desde el comienzo de su construcción hasta su inutilización, desmontaje o cambio de uso. Además, menciona que las fases se encuentran compuestas por la fase de construcción y la fase de servicio.

2.1.1. Fase de construcción

La fase de construcción de un proyecto abarca el período que va desde el inicio de la construcción de la estructura hasta su entrada en servicio. Para el desarrollo de esta, se diferencian las siguientes subfases:

- Fabricación: Incluye la fabricación de la estructura en tierra y en el mar, sumergida o a flote.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

- Transporte: Esta subfase comprende el transporte de la estructura o de parte de ella en tierra, de tierra a mar o de tierra a gabarra, y en mar abierto; incluyendo las operaciones de amarre en aguas protegidas.
- Instalación: Se incluye en esta subfase el proceso de instalación de la estructura en su ubicación final hasta su entrada en servicio (p.e. fondeo, anclaje, vertido, etc.).
- Otras: Se incluyen en esta subfase todos aquellos procedimientos o situaciones constructivas que no afectan directamente a la ejecución de la estructura resistente (p.e. mejoras del terreno de cimentación, agotamientos, etc.).

Por otro lado, la siguiente ecuación define la relación entre el período de construcción de la obra (n), el período de retorno (Tr) y la probabilidad de presentación o riesgo (E). Dicha ecuación es planteada debido a que el período de construcción de la obra es mayor a un año, pero menor a diez años.

$$n \geq 1 \quad E = 1 - e^{-n/Tr}$$

- n : en años
- Tr : en años

Además, la ROM 0.2-90 define los riesgos admisibles máximos que pueden ser adoptados en Fase de Construcción, los cuales se muestran en la siguiente tabla. Adicionalmente, define que se adoptará como riesgo máximo admisible el de iniciación de averías o el de destrucción total según las características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adoptará el riesgo de destrucción total. Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable (daños menores que un nivel prefijado función del tipo estructural) se adoptará el riesgo de iniciación de averías.

	Riesgo máximo admisible para
Iniciación de averías	0.30
Destrucción total	0.15

Tabla 2B Riesgo admisible máximo en Fase de Construcción.

Para el presente proyecto a desarrollar, será adoptado un valor de 0,15 como riesgo máximo admisible en Fase de Construcción, debido a que se trata de un dique vertical.

2.1.2. Fase de servicio

Según la ROM 0.2-90, esta fase comprende el periodo que va desde la completa instalación de la estructura hasta su inutilización, desmontaje o cambio de uso. A dicho periodo se le denominará también vida útil. Asimismo, la siguiente ecuación define la relación entre la vida útil del proyecto (n), el período de retorno (Tr) y la probabilidad de presentación o riesgo durante la vida útil del proyecto (E). Dicha ecuación es planteada debido a que la vida útil de la obra es mayor a diez años y analiza la situación para un caso de Estado Límite Último (ELU), que es la más desfavorable.

$$n \geq 10 \quad E = 1 - (1 - (1/Tr))^n$$

- n : en años
- Tr : en años

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Asimismo, la ROM 0.2-90 define los riesgos admisibles máximos que pueden ser adoptados en Fase de Servicio, los cuales se muestran en la siguiente tabla. En ella, se toman en cuenta también características de deformabilidad y de posibilidad o facilidad de reparación de la estructura resistente.

RIESGO DE INICIACIÓN DE AVERÍAS		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA Indice : Coste de pérdidas / Inversión	BAJA	0,50	0,30
	MEDIA	0,30	0,20
	ALTA	0,25	0,15

Tabla 3B Riesgos máximos admisibles en fase de servicio y condiciones extremas para riesgo de iniciación de averías

RIESGO DE DESTRUCCIÓN TOTAL		POSIBILIDAD DE PÉRDIDAS HUMANAS	
		REDUCIDA	ESPERABLE
REPERCUSIÓN ECONÓMICA EN CASO DE INUTILIZACIÓN DE LA OBRA Indice : Coste de pérdidas / Inversión	BAJA	0,20	0,15
	MEDIA	0,15	0,10
	ALTA	0,10	0,05

Tabla 4B Riesgos máximos admisibles en fase de servicio y condiciones extremas para riesgo de destrucción total.

Para el presente proyecto a desarrollar, será adoptado un valor de **0,10** como riesgo máximo admisible en Fase de Servicio, debido a que se trata de un dique vertical, con riesgo de destrucción total, posibilidad de pérdidas humanas reducida y con alta repercusión económica en caso de inutilización.

2.2. Caracterización según ROM 0.0 - 01

La ROM 0.0-01 define, en función de las repercusiones económicas, sociales y ambientales, el carácter general y carácter operativo de un tramo de obra marítima. Para esto, se analizarán los

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

índices correspondientes a la evaluación que se desee realizar: Índice de Repercusión Económica e Índice de Repercusión Social y Ambiental para el Carácter General de la obra o Índice de Repercusión Económica Operativo e Índice de Repercusión Social y Ambiental Operativo para el Carácter Operativo de la Obra.

Posteriormente, dichos índices permitirán encontrar valores de vida útil de proyecto y probabilidad de fallo que darán como resultado el periodo de retorno asociado a la obra, relacionando la vida útil del proyecto y la probabilidad de fallo.

$$Tr = \frac{-n}{Ln(1 - Pf)}$$

Tr: período de retorno

n: vida útil del proyecto

Pf: probabilidad de fallo para ELU o ELS

2.2.1. Carácter general según ROM 0.0 – 01

En primer lugar, el carácter general de un tramo valora la importancia de una obra marítima, su repercusión económica, social y ambiental generada en caso de destrucción o pérdida de funcionalidad.

A) ÍNDICE DE REPERCUSIÓN ECONÓMICA (IRE)

Este índice se encarga de valorar 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, que depende del tipo de puerto y la importancia de este, en

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

caso de destrucción o pérdida de operatividad total de la infraestructura. Con esto, se plantea la siguiente ecuación para el cálculo de IRE.

$$IRE = \frac{C_{rd} + C_{ri}}{C_o}$$

- C_o : parámetro económico de adimensionalización (3 millones de euros)

Posteriormente, se debe clasificar la obra marítima en función del IRE en tres tipos con correspondientes tres subintervalos.

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

Además, ROM 0.0-01 recomienda el uso del siguiente cuadro, que relaciona la vida útil mínima del proyecto con el valor del IRE, el cual se presenta a continuación.

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

Tabla 5B Vida útil de proyecto relacionada con el valor del IRE

Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del IRE adoptado será del tipo R_3 , pues pertenece a un Puerto de Interés General del Estado, y será adoptado un valor de 50 años como vida útil mínima de la infraestructura, debido a la importancia del puerto sobre la Isla de La Palma en materia económica, puesto que permite el transporte interinsular y recibe importantes cruceros turísticos.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

B) ÍNDICE DE REPERCUSIÓN SOCIAL Y AMBIENTAL (ISA)

Este índice se encarga de estimar de manera cualitativa el impacto social y ambiental esperable en caso de producirse la destrucción o pérdida de operatividad total de la obra valorando:

- Pérdida de vidas humanas (ISA₁)
- Daños en el medio ambiente y en el patrimonio histórico (ISA₂)
- Alarma social generada una vez consolidadas las actividades económicas (ISA₃)

El cálculo del índice se define como el valor sumatorio de los tres subíndices mencionados anteriormente, tal como se define en la siguiente fórmula:

$$ISA = \sum ISA_i$$

Posteriormente, en función del valor del índice de repercusión social y ambiental, las obras marítimas se clasifican en cuatro categorías:

- S₁, obras sin repercusión social y ambiental significativa, $ISA \leq 5$
- S₂, obras con repercusión social y ambiental baja, $5 \leq ISA < 20$
- S₃, obras con repercusión social y ambiental alta, $20 \leq ISA < 30$
- S₄, obras con repercusión social y ambiental muy alta, $ISA \geq 30$

Finalmente, ROM 0.0 – 01 recomienda el uso del siguiente cuadro, que relaciona la máxima probabilidad de fallo conjunta en la fase de servicio para los ELU con el valor de ISA.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

ISA	≤ 5	5 a 19	20 a 29	≥ 30
Probabilidad de	0,20	0,10	0,01	0,0001
β ELU	0.84	1.28	2.32	3.71

Tabla 6B Relación entre ISA y máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio para los ELU.

Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del ISA adoptado será del tipo S₂, y se utilizará un valor de 0,10 como probabilidad de fallo máxima.

2.2.2. Carácter operativo según rom 0.0 – 01

Por otro lado, el carácter operativo valora las repercusiones económicas y los impactos sociales y ambientales que se producen cuando una obra marítima reduce su nivel de operatividad.

A) ÍNDICE DE REPERCUSIÓN ECONÓMICA OPERATIVO (IREO)

Tal y como se menciona en ROM 0.0 – 01, el índice de repercusión económica operativo, IREO, valora cuantitativamente los costes ocasionados por la parada operativa del tramo de obra. Asimismo, se indica que este índice se calculará mediante la siguiente ecuación, que tiene en cuenta características que evalúan la simultaneidad, intensidad y adaptabilidad de la demanda a la situación de parada.

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

D: coeficiente de simultaneidad

E: coeficiente de intensidad

F: coeficiente de adaptabilidad

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Posteriormente, en función del valor de Índice de Repercusión Económica Operativo (IREO), las obras marítimas se clasificarán en:

- $R_{O,1}$, obras con repercusión económica operativa baja: $IREO \leq 5$
- $R_{O,2}$, obras con repercusión económica operativa media: $5 < IREO \leq 20$
- $R_{O,3}$, obras con repercusión económica operativa alta: $IREO > 20$

Finalmente, se establece la operatividad mínima de la infraestructura en fase de servicio.

IREO	≤ 5	6 a 20	> 20
Operatividad, r	0.85	0.95	0.99
β ELO	1.04	1.65	2.32

Tabla 7B Relación entre IREO y operatividad mínima en la fase de servicio

Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del IREO adoptado será del tipo $R_{O,3}$, y se tendrá que cumplir con una operatividad mínima del 99%.

B) ÍNDICE DE REPERCUSIÓN SOCIAL Y AMBIENTAL OPERATIVO (ISAO)

Este índice 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 los siguientes criterios:

- Pérdida de vidas humanas ($ISAO_1$).
- Daños en el medio ambiental y en el patrimonio histórico ($ISAO_2$).

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

- Alarma social generada una vez consolidadas las actividades económicas (ISAO₃).

El cálculo del índice se define como el valor sumatorio de los tres subíndices mencionados anteriormente, tal como se define en la siguiente fórmula:

$$ISAO = \sum ISAO_i$$

Posteriormente, en función del valor del índice de repercusión social y ambiental operativo, las obras marítimas se clasifican en cuatro categorías:

- S_{O,1}, obras sin repercusión social y ambiental significativa, $ISAO \leq 5$
- S_{O,2}, obras con repercusión social y ambiental baja, $5 \leq ISAO < 20$
- S_{O,3}, obras con repercusión social y ambiental alta, $20 \leq ISAO < 30$
- S_{O,4}, obras con repercusión social y ambiental muy alta, $ISAO \geq 30$

Finalmente, ROM 0.0 – 01 recomienda el uso del siguiente cuadro, que relaciona el número medio de paradas operativas en el intervalo de tiempo, que normalmente es un año.

ISAO	≤ 5	5 a 19	20 a 29	≥ 30
Número	10	5	2	0

Tabla 8B Relación entre el ISAO y el número medio de paradas operativas en el intervalo de tiempo.

Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del ISAO adoptado será del tipo S_{O,2}, y se tendrá un número medio de 5 paradas operativas.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Asimismo, el documento de ROM 0.0-01 establece que, para la relación entre el IREO y el ISAO, la duración máxima probable esperada en horas, una vez producida la parada, no podrá exceder el valor consignado en la siguiente tabla:

ISAO				
IREO	≤ 5	5 a 19	20 a 29	≥ 30
≤ 5	24	12	0	0
6 a 20	12	6	3	0
> 20	6	3	1	0

Tabla 9B Duración máxima probable por parada en horas.

Para el presente proyecto a desarrollar, ampliación del dique de abrigo, el valor del ISAO adoptado será del tipo $S_{0,2}$, y el valor del IREO será del tipo $R_{0,3}$, y se tendrá un tiempo máximo de 3 horas por parada.

2.3. Caracterización según ROM 1.0 – 09

Sobre la base del ROM 1.0 – 09, Recomendaciones para Obras Marítimas – recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo, se indica que, en cada una de las fases del proyecto, cada uno de los tramos del dique de abrigo deberá satisfacer unos requisitos mínimos de seguridad, servicio, uso y explotación, que se especifican acotando la probabilidad de excedencia frente a la seguridad y el servicio en la duración de la fase y la probabilidad de no excedencia de la operatividad en el año. Estos requisitos se deberán cumplir en cada fase o subfase, la obra en su conjunto o en cada uno de los tramos en los que se divida.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

De manera particular, estos requisitos deberán cumplirse durante la vida útil del proyecto en cada uno de sus tramos.

2.3.1. Vida útil mínima de los tramos definitivos

La ROM 1.0-09 toma como referencia la tabla 5 del presente anexo, que detalla la relación entre la vida útil mínima del proyecto y el valor del IRE (índice de repercusión económica) establecido por la ROM 0.0-01. Adicionalmente, recomienda valores para la vida útil mínima en función del IRE y del tipo de área abrigada.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE IRE		VIDA ÚTIL MÍNIMA (Vm) (años)		
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTOS COMERCIAL	Puertos abiertos a todo tipo de tráficos	r3	Alto	50	
		Puertos para tráficos especializados	r2 (r3)	Medio (alto)	25 (50)	
	PUERTO PESQUERO		r2	Medio	25	
	PUERTO NAÚTICO-DEPORTIVO		r2	Medio	25	
	INDUSTRIAL		r2 (r3)	Medio (alto)	25 (50)	
	MILITAR		r2 (r3)	Medio (alto)	25 (50)	
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O MÁRGENES		r2 (r3)	Medio (alto)	25 (50)	
	ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES		r3	Alto	50
		PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r2 (r3)	Medio (alto)	25 (50)
PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		r1 (r3)	Bajo (alto)	15 (50)		
REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r1	Bajo	15		

Tabla 10B IRE y vida útil mínima en función del tipo de área abrigada.

Para el presente proyecto a desarrollar, la ampliación corresponde a un dique que abriga un puerto comercial abierto a todo tipo de tráficos, entre pasajeros y mercancías. Debido a esto, el IRE será R₃ y la vida útil mínima será de 50 años.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

2.3.2. Requisitos frente a la seguridad

La ROM 1.0 – 09 define que la seguridad mínima exigida a una obra de abrigo (o a cada tramo de esta) frente al conjunto de estados límite últimos que puedan presentarse en la fase de servicio, es función de las consecuencias derivadas del fallo o destrucción de esta.

Se recomienda que la máxima probabilidad de fallo admisible para una obra de abrigo frente al conjunto de todos los posibles modos de fallo adscritos a estados límite últimos sea inferior a los valores máximos incluidos en la ROM 0.0 - 01 en función del índice de repercusión social y ambiental (ISA). Debido a esto, para este apartado, la máxima probabilidad conjunta en la vida útil para los ELU viene determinada por la tabla 6 del presente anexo.

Adicionalmente, se presenta una tabla de recomendaciones, tabla 12, que se precisan en la sección 2.7 de la ROM 1.0 – 09, que precisa dichos valores en función del ISA y del tipo de área abrigada.

2.3.3. Requisitos frente al servicio

La funcionalidad mínima exigida a una obra de abrigo (o a cada tramo de esta) frente al conjunto de estados límite de servicio que puedan presentarse en la fase de servicio, es función de las consecuencias derivadas del fallo de servicio.

De acuerdo con la ROM 0.0-01, se recomienda que la máxima probabilidad de fallo admisible de una obra de abrigo frente al conjunto de todos los modos de fallo adscritos a estados límite de servicio, sea inferior a los valores máximos incluidos en la tabla 11 en función del índice de repercusión social y ambiental (ISA) de la misma.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

ISA	Probabilidad de fallo ELS	β ELS
≤ 5	0.20	0.84
5 a 19	0.10	1.28
20 a 29	0.07	1.50
≥ 30	0.07	1.50

Tabla 11B Máxima probabilidad conjunta en la fase de servicio para los ELS.

Adicionalmente, se presenta una tabla de recomendaciones, tabla 12, que se precisan en la sección 2.7 de la ROM 1.0 – 09, que precisa dichos valores en función del ISA y del tipo de área abrigada.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA		Pf - ELU	Pf - ELS	
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTOS COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique.	Mercancías peligrosas	s3	Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y mercancías no peligrosas	s2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique.		s1	No significativo	0.20	0.20
	PUERTO PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s1	No signif.	0.20	0.20
	NAÚTICO - DEPORTIVO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s1	No signif.	0.20	0.20
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique.	Mercancías peligrosas	s3	Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y mercancías no peligrosas	s2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique.		s1	No significativo	0.20	0.20
	MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s3	Alto	0.01	0.07
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s1	No signif.	0.20	0.20
	PROTECCIÓN	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s3	Alto	0.01	0.07
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique.		s2	Bajo	0.10	0.10
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES			s4	Muy alto	0.0001	0.07
	PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		s2	Bajo	0.10	0.10	
			s3	Alto	0.01	0.07	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		s2	Bajo	0.10	0.10	
			s4	Muy alto	0.0001	0.07	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS			s1	No signif.	0.20	0.20

Tabla 12B ISA y probabilidad conjunta de fallo para ELU y ELS.

Para el presente proyecto a desarrollar, la ampliación corresponde a un dique que abriga un puerto comercial, con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique, por lo tanto, el ISA será S2, de repercusión social y ambiental baja, con probabilidad de fallo para ELU y ELS de 0.10.

2.3.4. Requisitos frente a los modos de parada.

Tal y como se menciona en el apartado 2.5.1.3 de la ROM 1.0-09, la **operatividad mínima exigida** a una obra de abrigo (o a cada tramo de esta) frente al conjunto de estados límite de parada operativa que pueden presentarse en la fase de servicio, así como el **número medio de paradas y la duración máxima de una parada**, es función de las consecuencias derivadas de la parada operativa. Para la fase de servicio, estas consecuencias pueden valorarse globalmente por medio del carácter operativo de la obra, cuyo valor no puede ser menos exigente que el obtenido a través de los índices de repercusión económica operativo (IREO) y de repercusión social y ambiental operativo (ISAO) que le corresponde. En síntesis, la operatividad debe ser mayor cuando las consecuencias económicas de la parada operativa sean importantes.

Asimismo, la ROM 1.0-09 presenta unas tablas de recomendaciones según el tipo de área abrigada o protegida que se proyectan y construyen habitualmente en España. La tabla 13 es aquella en la que se presenta la relación entre el IREO y la operatividad mínima, y la tabla 14, en la que se presenta la relación entre el ISAO y el número máximo de paradas anuales.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE IREO		r _{f,ELO}		
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTOS COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase.	r ₀₃	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 ₀₂	Medio	0.95	
			Con tráfico de pasajeros y de mercancía general regulares	r ₀₃	Alto	0.99	
			Con tráfico de mercancía general tramp	r ₀₂	Medio	0.95	
	PUERTO PESQUERO			r ₀₃	Alto	0.99	
	NAÚTICO - DEPORTIVO			r ₀₃	Alto	0.99	
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase.	r ₀₃	Alto	0.99		
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	r ₀₂	Medio	0.95		
	MILITAR			r ₀₃	Alto	0.99	
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES			r ₀₃	Alto	0.99	
	ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES			r ₀₃	Alto	0.99
		PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO			r ₀₃	Alto	0.99
r ₀₂					medio	0.95	
PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES			r ₀₁	Bajo	0.85		
			r ₀₃	Alto	0.99		
REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS			r ₀₁	Bajo	0.85		

Tabla 13B IREO y operatividad mínima.

Para nuestro caso de análisis, la ampliación corresponde a un dique que abriga un puerto comercial, con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecta el rebase, por lo tanto, el IREO será Ro3 con operatividad mínima de 0,99.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISAO		Nm	
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTOS COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase.	Mercancías peligrosas	SO3	Alto	2
			Pasajeros y mercancías no peligrosas	SO2	Bajo	5
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique o sólo con las que no les afecte el rebase.		SO1	No significativo	10
	PUERTO PESQUERO			SO2	Bajo	5
	NAÚTICO - DEPORTIVO			SO2	Bajo	5
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecte el rebase	Mercancías peligrosas	SO3	Alto	2
			Pasajeros y mercancías no peligrosas	So2	Bajo	5
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías adosadas al dique o adosadas a las que no les afecte el rebase.		SO1	No significativo	10
	MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique a las que afecte el rebase		SO3	Alto	2
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		SO1	No signif.	10
PROTECCIÓN	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique a las que afecte el rebase	Mercancías peligrosas	SO3	Alto	2	
		Mercancías no peligrosas	SO2	Bajo	5	
ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES			SO4	Muy alto	0
	PROTECCION DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO			SO2	Bajo	5
				SO3	Alto	2
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES			SO1	No signif.	10
				SO3	Alto	2
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS			SO1	No signif.	10

Tabla 14B ISAO y número máximo de paradas anuales.

Para nuestro caso de análisis, la ampliación corresponde a un dique que abriga un puerto comercial, con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique a las que afecta el rebase, por lo tanto, el ISAO corresponde a la categoría So2, con un número máximo de paradas de 5 al año.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

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

Tabla 15B Duración máxima probable de una parada operativa

Para nuestro caso de análisis, y bajo los datos obtenidos de las tablas anteriores para el tipo de área abrigada, se obtiene que **la duración máxima probable de una parada operativa en el Puerto de Santa Cruz de La Palma es de 3 horas.**

2.4. Cálculo del periodo de retorno

Con los datos recopilados en cada uno de los documentos sobre Recomendaciones para Obras Marítimas, se procede a calcular el periodo de retorno según se indica en cada una de sus versiones. Posteriormente, dichos valores resultantes serán comparados para obtener el valor más crítico, el cual será empleado para cálculos posteriores, con el objetivo de mantener el análisis del lado de la seguridad.

- **ROM 0.2 – 90**

Debido a que el presente documento exige evaluar el proyecto y asegurar cada una de sus fases, este se divide en dos etapas: construcción y servicio.

- Fase de Construcción

$n=3$ años, tiempo asignado al periodo de construcción

$E= 0.15$

$n>1$, por lo tanto, se cumple que:

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

$$E = 1 - e^{-\frac{n}{Tr}} \quad \Rightarrow \quad Tr = 18.46 \approx \mathbf{20 \text{ años}}$$

- Fase de Servicio

n=50 años, tiempo asignado al periodo de servicio

$$E = 0.10$$

n>10, por lo tanto, se cumple que:

$$E = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^n \quad \Rightarrow \quad Tr = 475.06 \approx \mathbf{475 \text{ años}}$$

- **ROM 0.0 – 01**

Para el presente cálculo, el documento de la ROM 0.0-01 hace referencia a la fórmula presentada a continuación y mencionada en el apartado correspondiente:

$$Tr = \frac{-n}{Ln(1 - Pf)}$$

Para lo que se tiene:

$$n = 50 \text{ años}$$

$$Pf = 0.10$$

$$Tr = \frac{-50}{Ln(1 - 0.10)} = 474.56 \approx \mathbf{475 \text{ años}}$$

- **ROM 1.0 – 09**

Para el presente cálculo, el documento de la ROM 1.0-09 hace referencia a la fórmula presentada a continuación y mencionada en el apartado correspondiente:

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

$$Tr = \frac{-n}{Ln(1 - Pf)}$$

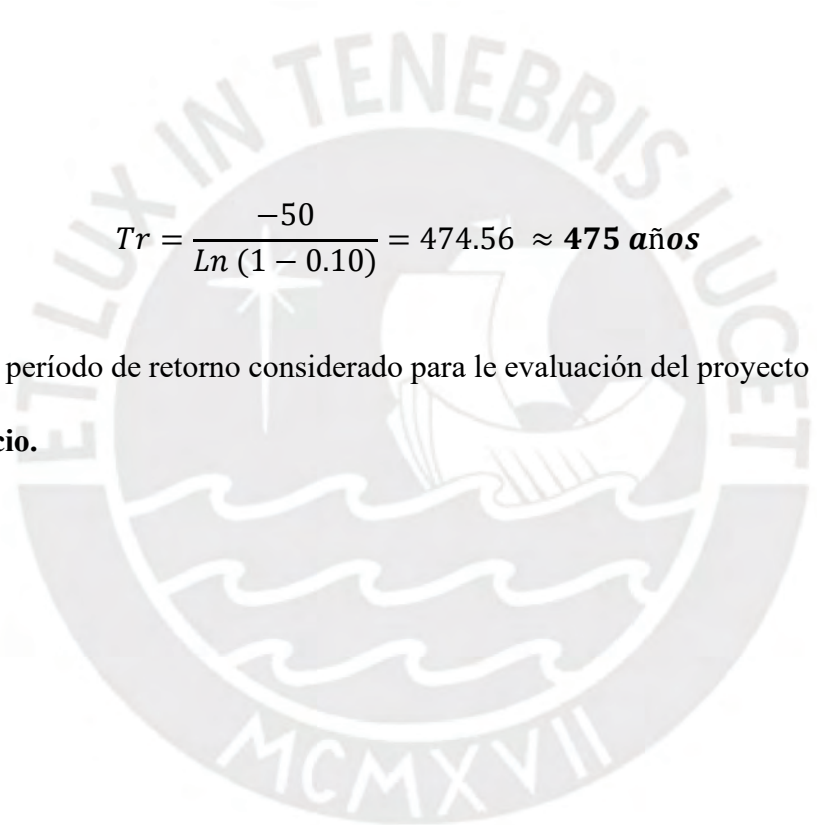
Para lo que se tiene:

n= 50 años

Pf= 0.10

$$Tr = \frac{-50}{Ln(1 - 0.10)} = 474.56 \approx \mathbf{475 \text{ años}}$$

En síntesis, el período de retorno considerado para la evaluación del proyecto será de **475 años en fase de servicio.**



Capítulo 3 Fuentes de datos

Para obtener información sobre el clima marítimo en las inmediaciones de la zona de desarrollo del proyecto, se tomará la información recopilada por Puertos del Estado. Dicha entidad realiza un análisis de los datos de oleaje registrados en las redes de boyas ubicadas por toda la costa española, lo que permitirá definir parámetros a tomar en cuenta para el diseño la infraestructura. En el presente anexo, se estudiarán las boyas de la red costera y exterior, así como datos del conjunto SIMAR, los cuales brindarán información acerca del régimen medio y extremal de oleaje.

REGIMEN MEDIO

Puerto del Estado define al régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente nos podemos encontrar. Por lo tanto, si representáramos los datos en forma de histograma no acumulado, el régimen medio vendría definido por aquella banda de datos en la que se contiene la masa de probabilidad que hay entorno al máximo del histograma.

El régimen medio se describe, habitualmente, mediante una distribución teórica que ajusta dicha zona media o central del histograma. Es decir, no todos los datos participan en el proceso de estimación de los parámetros de la distribución teórica, solo lo hacen aquellos datos cuyos valores de presentación caen en la zona media del histograma. La distribución elegida para describir el régimen medio de las series de oleaje es Weibull cuya expresión es la siguiente:

$$\Pr(Hs \geq x) = \exp \left(- \left(\frac{x - B}{A} \right)^c \right)$$

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

El parámetro B es conocido como parámetro de centrado y su valor ha de ser menor que el menor de los valores justados, A es el parámetro de escala y ha de ser mayor que 0, y finalmente; C es el parámetro de forma y suele moverse entre 0.5 y 3.5

El régimen medio, generalmente, suele representarse de una forma gráfica mediante un histograma acumulado y el correspondiente ajuste teórico, todo ello en una escala especial en la cual Weibull aparece representada como una recta.

REGIMEN EXTREMAL

La seguridad y la operatividad de una instalación en la costa puede estar condicionada por la acción del oleaje en situación de temporal. Es decir, en situaciones donde la altura del oleaje alcanza una intensidad poco frecuente. Con el fin de acotar el riesgo que corre una instalación, debido a la acción del oleaje, es necesario tener una estimación de la frecuencia o probabilidad con la que se presentan temporales que superen una cierta Altura Significante de ola. Para esto, Puertos del Estado menciona que un régimen extremal de oleaje, es precisamente, un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de riesgo.

Por otro lado, de las boyas analizadas se puede obtener información necesaria, a través de parámetros específicos, para determinar los valores de altura de ola significativa para un determinado periodo de retorno. Asimismo, se obtendrá la relación entre la altura de ola significativa y el periodo pico.

3.1. Conjunto de datos de la red costera

El conjunto de datos de la red costera está conformado por la Red de Boyas Costeras de Puertos del Estado, ubicadas en profundidades de transición y fondeadas, en general, a menos de 100 m de profundidad. Esta zona cumple con la ecuación presentada a continuación, que relaciona la profundidad con la longitud de onda:

$$\frac{1}{25} < \frac{h}{l} < \frac{1}{2}$$

h: profundidad

l: longitud de onda

Debido a la profundidad a la que se encuentran fondeadas las boyas, las medidas de oleaje están perturbadas tanto por el perfil de la costa, como por efectos de refracción y asomeramiento inducidos por el fondo marino. Por otro lado, la red se encuentra compuesta por boyas escalares tipo Waverider (Datawell) y boyas direccionales de tipo Triaxys (Axis).

Para nuestro caso de análisis, no se cuenta con boyas pertenecientes a la red costera en las inmediaciones del proyecto a desarrollar. Debido a esto, se ha decidido tomar información de la **boya de Las Palmas Este y de la boya de Santa Cruz Tenerife.**

3.1.1. Boya de Las Palmas Este

La Boya de las Palmas Este pertenece al conjunto de datos de la red costera, ubicándose en Longitud -15.390 E y Latitud 28.050 N, a una profundidad de 30 m.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

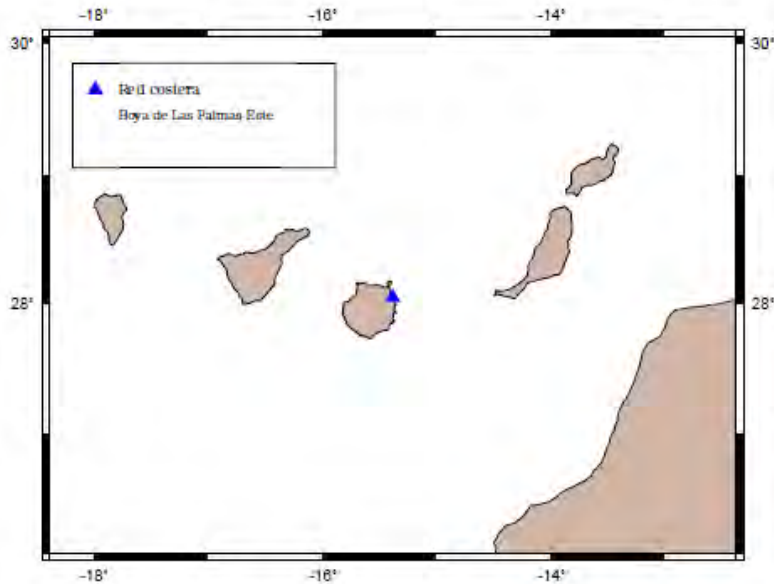


Figura 1B Ubicación de la Boya de Las Palmas Este.

A) REGIMEN MEDIO

Como se mencionó anteriormente en el presente anexo, se define como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente nos podemos encontrar.

Para el caso de la Boya de Las Palmas Este, se identificaron los siguientes parámetros de Weibull, de una serie de toma de datos desde febrero de 1992 hasta abril del 2019, para un periodo anual.

Parámetro de Escala (A): 0.95

Parámetro de Centrado (B): 0.21

Parámetro de Forma (C): 1.60

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

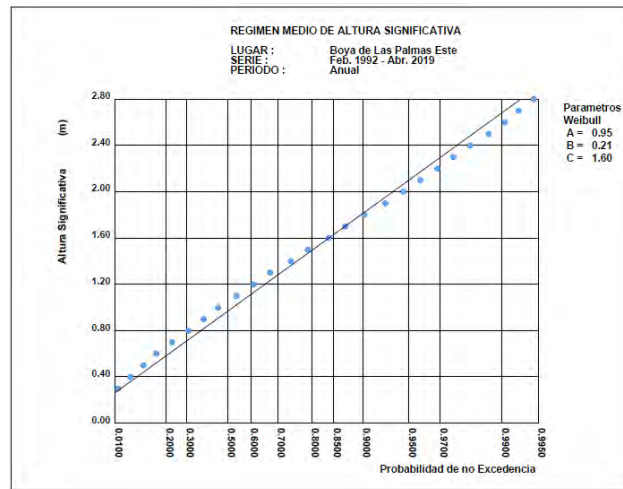


Figura 2B Régimen medio de la altura significativa en boya de Las Palmas Este.

B) REGIMEN EXTREMAL

De la información recopilada por la Boya de Las Palmas Este para Puertos del Estado, se puede notar la curva del régimen extremal escalar de oleaje para una serie tomada desde febrero de 1992 hasta agosto del 2017, el cual se presenta a continuación.

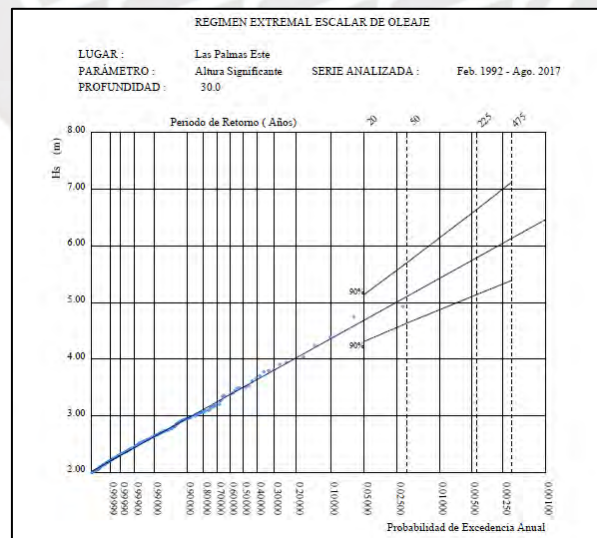


Figura 3B Régimen extremal escalar de oleaje en boya de Las Palmas Este.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Asimismo, se tiene información acerca de los parámetros de Ajuste POT de altura significativa, los cuales se presentan a continuación.

P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	4.69	5.11	5.79	6.13
Banda Sup. 90% Hs	5.14	5.71	6.65	7.12
Valor Esperado de Tp (s)	10.69	11.01	11.50	11.72
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10
Parametros del Ajuste POT de Altura Significante				
Umbral de Excedencia	2.00 (m)	Parametros de la	Alfa = 2.02	
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.48	
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	16.58	de Excedencias	Gamma = 1.02	

Figura 4B Parámetros de Ajuste POT de Altura Significante.

Finalmente, nos proporciona información acerca de la relación entre la Altura Significante (m) y el Periodo Pico (s), presentado a continuación:

$$Tp = 6.26 Hs^{0.35}$$

3.1.2. Boya de Santa Cruz de Tenerife

La Boya de Santa Cruz de Tenerife pertenece al conjunto de datos de la red costera, ubicándose en Longitud -16.230 E y Latitud 28.460 N, a una profundidad de 56 m.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

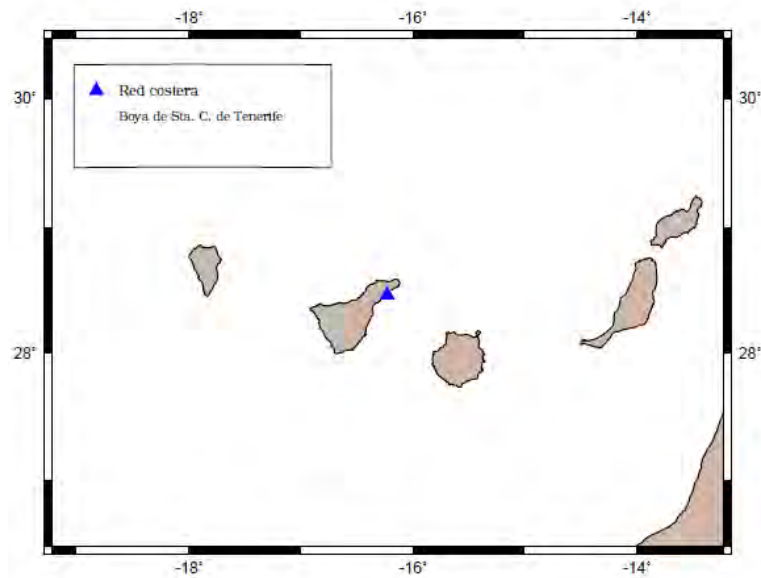


Figura 5B Ubicación de la Boya de Santa Cruz de Tenerife

A) REGIMEN MEDIO

Como se mencionó anteriormente en el presente anexo, se define como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente nos podemos encontrar.

Para el caso de la Boya de Santa Cruz de Tenerife, se identificaron los siguientes parámetros de Weibull, de una serie de toma de datos desde mayo de 2009 hasta octubre del 2018, para un periodo anual.

Parámetro de Escala (A): 0.71

Parámetro de Centrado (B): 0.13

Parámetro de Forma (C): 1.65

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

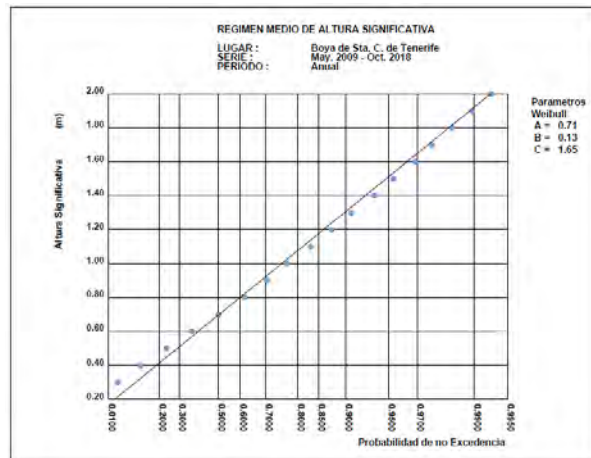


Figura 6B Régimen medio de la altura significativa en boya de Santa Cruz de Tenerife

B) REGIMEN EXTREMAL

De la información recopilada por la Boya de Santa Cruz de Tenerife para Puertos del Estado, se puede notar la curva del régimen extremal escalar de oleaje para una serie tomada desde mayo de 2009 hasta julio del 2017, el cual se presenta a continuación.

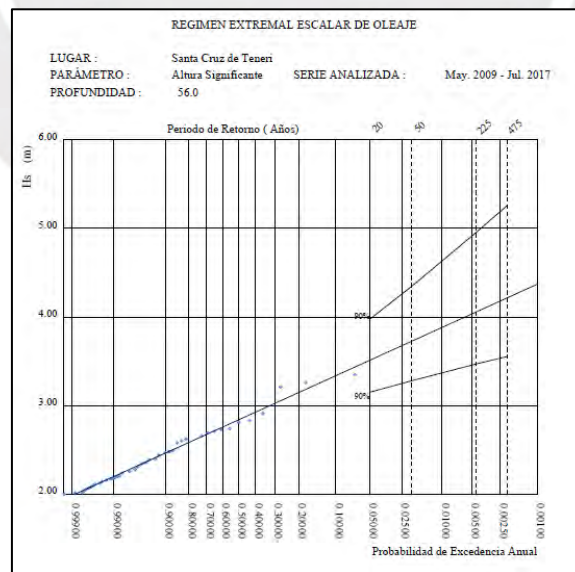


Figura 7B Régimen extremal escalar de oleaje en boya de Santa Cruz de Tenerife.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Asimismo, se tiene información acerca de los parámetros de Ajuste POT de altura significativa, los cuales se presentan a continuación.

P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	3.51	3.73	4.06	4.21
Banda Sup. 90% Hs	3.97	4.34	4.95	5.26
Valor Esperado de Tp (s)	7.34	7.34	7.35	7.35
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10
Parametros del Ajuste POT de Altura Significante				
Umbral de Excedencia	2.00 (m)	Parametros de la	Alfa = 1.92	
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.48	
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	7.36	de Excedencias	Gamma = 1.35	

Figura 8B Parámetros de Ajuste POT de Altura Significante.

Finalmente, nos proporciona información acerca de la relación entre la Altura Significante (m) y el Periodo Pico (s), presentado a continuación:

$$Tp = 4.64 Hs^{0.22}$$

3.2. Conjunto de datos de la red exterior

El conjunto de datos de la Red Exterior está formado por las medidas procedentes de la Red de Boyas de Aguas Profundas de Puertos del Estado, también denominada Red Exterior.

Las boyas de esta red se caracterizan por estar fondeadas lejos de la línea de costa a gran profundidad (más de 200 metro de profundidad). Por tanto, las medidas de oleaje de estos sensores no están perturbadas por efectos locales. Por ello, cada boya proporciona observaciones

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

representativas de grandes zonas litorales. Asimismo, esta red está compuesta por boyas de tipo Wavescan y SeaWatch.

Las boyas ubicadas dentro de la red exterior son aquellas que se encuentran en profundidades indefinidas. Estas profundidades cumplen con la relación entre profundidad y longitud de onda presentada a continuación:

$$\frac{h}{l} > \frac{1}{2}$$

h: profundidad

l: longitud de onda

Para nuestro caso de análisis, no se cuenta con boyas pertenecientes a la red exterior en las inmediaciones de la isla de La Palma, por lo que la información será tomada de **la boya de Gran Canaria**.

3.2.1. Boya de Gran Canaria

La Boya de Gran Canaria pertenece al conjunto de datos de la red exterior, ubicándose en Longitud -15.800 E y Latitud 28.200 N, a una profundidad de 780 m.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

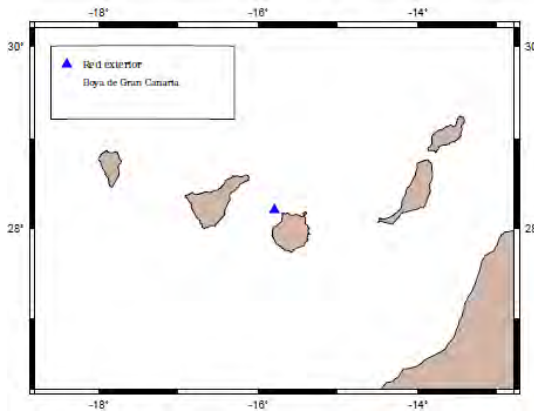


Figura 9B Ubicación de la Boya de Gran Canaria.

La boya utilizada es de tipo SeaWatch, que mide oleaje y parámetros atmosféricos y oceanográficos. A continuación, se presenta un breve esquema del tipo de fondeo en este tipo de boyas. Los flotadores sumergidos permiten crear un falso fondeo que evitan el arrastre de la línea de fondeo. La parte superior de la línea está formada por material elástico.

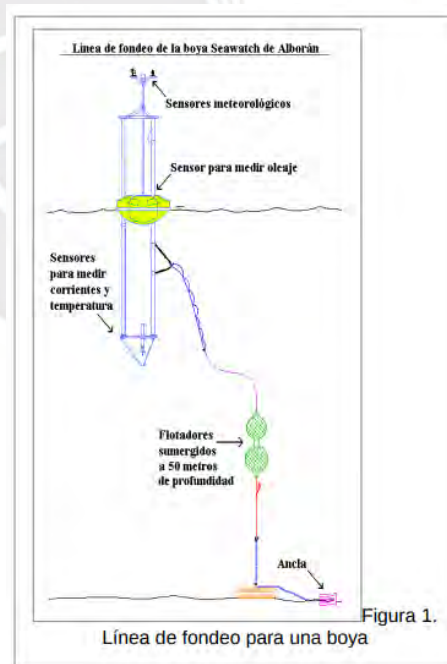


Figura 10B Esquema de fondeo de Boya Seawatch.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

A) REGIMEN MEDIO

Como se mencionó anteriormente en el presente anexo, se define como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente nos podemos encontrar.

Para el caso de la Boya de Gran Canaria, se identificaron los siguientes parámetros de Weibull, de una serie de toma de datos desde junio de 1997 hasta noviembre del 2018, para un periodo anual.

Parámetro de Escala (A): 1.21

Parámetro de Centrado (B): 0.47

Parámetro de Forma (C): 1.63

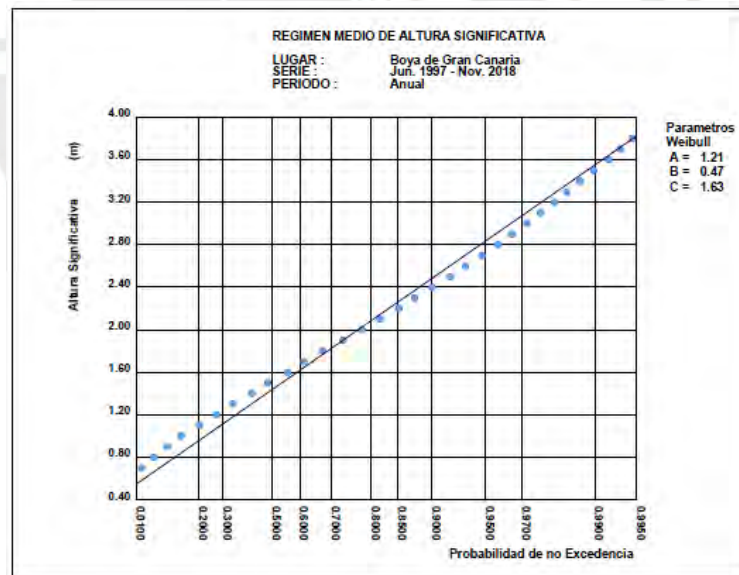


Figura 11B Régimen medio de la altura significativa en boya de Gran Canaria

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

B) REGIMEN EXTREMAL

De la información recopilada por la Boya de Gran Canaria para Puertos del Estado, se puede notar la curva del régimen extremal escalar de oleaje para una serie tomada desde mayo de 2003 hasta noviembre del 2017, el cual se presenta a continuación.

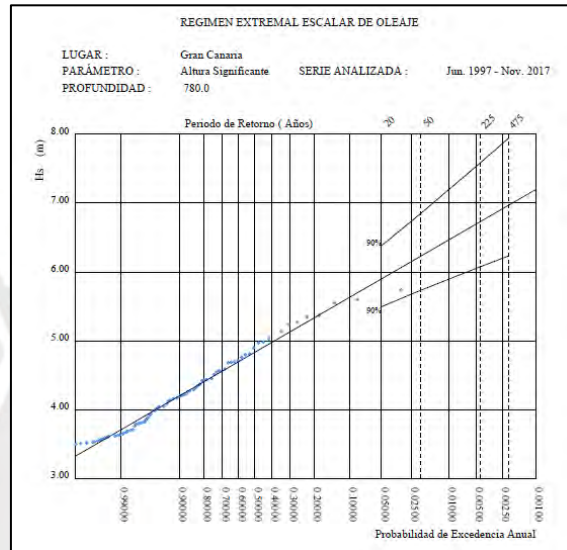


Figura 12B Régimen extremal escalar de oleaje en boya de Gran Canaria.

Asimismo, se tiene información acerca de los parámetros de Ajuste POT de altura significativa, los cuales se presentan a continuación.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

P. de Retorno (Años)	20.00	50.00	225.00	475.00
Estima Central de Hs (m)	5.90	6.23	6.73	6.97
Banda Sup. 90% Hs	6.38	6.85	7.59	7.94
Valor Esperado de Tp (s)	12.62	12.74	12.90	12.97
Prob. de Exc. en 20 Años	0.64	0.33	0.09	0.04
Prob. de Exc. en 50 Años	0.92	0.64	0.20	0.10
Parametros del Ajuste POT de Altura Significante				
Umbral de Excedencia	3.50 (m)	Parametros de la	Alfa = 3.30	
Num. Min. de Dias Entre Picos	5.00	Distribucion Weibull	Beta = 0.90	
Num. Med. Anual de Picos (Lambda)	6.29	de Excedencias	Gamma = 1.48	

Figura 13B Parámetros de Ajuste POT de Altura Significante.

Finalmente, nos proporciona información acerca de la relación entre la Altura Significante (m) y el Periodo Pico (s), presentado a continuación:

$$T_p = 6.28 H_s^{0.30}$$

3.3. Conjunto de datos SIMAR

Puerto del Estado menciona que el conjunto de datos SIMAR está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico. Son por tanto datos sintéticos y no proceden de medidas directas de la naturaleza.

Las series SIMAR surgen de la concatenación de los dos grandes conjuntos de datos simulados de oleaje con los que tradicionalmente ha contado Puertos del Estado: SIMAR-44 y WANA. El objetivo es el de poder ofrecer series temporales más extensas en el tiempo y actualizadas diariamente. De este modo, el conjunto SIMAR ofrece información desde el año 1958 hasta la actualidad.

SUBCONJUNTO SIMAR-44

El conjunto SIMAR-44 es un reanálisis de alta resolución de atmósfera, nivel del mar y oleaje que cubre todo el entorno litoral español. La simulación de atmósfera y oleaje en la cuenca mediterránea fueron realizadas por Puertos del Estado en el marco del Proyecto Europeo HIPOCAS. Los datos de oleaje en el dominio atlántico y en el Estrecho de Gibraltar proceden de dos simulaciones análogas de viento y oleaje, una realizada por Puertos del Estado de forma independiente, y la otra llevada a cabo por el Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (IMEDEA) en el marco del proyecto VANIMEDAT-II.

SUBCONJUNTO WANA

Las series WANA proceden del sistema de predicción del estado de la mar que Puertos del Estado ha desarrollado en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, www.aemet.es). No obstante, los datos WANA no son datos de predicción sino datos de diagnóstico o análisis. Esto supone que para cada instante el modelo proporciona campos de viento y presión consistentes con la evolución anterior de los parámetros modelado y consistente con las observaciones realizadas. Es importante tener en cuenta que las series temporales de viento y oleaje del conjunto WANA no son homogéneas, pues los modelos de viento y oleaje se van modificando de modo periódico para introducir mejoras. Estas mejoras han permitido, entre otras cosas, aumentar la resolución espacial y temporal de los datos a partir de los cuales se genera la información del conjunto WANA.

Para nuestro caso de análisis, se cuenta con un nodo SIMAR en las inmediaciones del proyecto, por lo que se tomó la información recopilada por el nodo 4009017.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

3.3.1. NODO SIMAR 4009017

El nodo SIMAR 4009017 pertenece al conjunto de datos SIMAR, ubicándose en Longitud -17.750 E y Latitud 28.667 N.

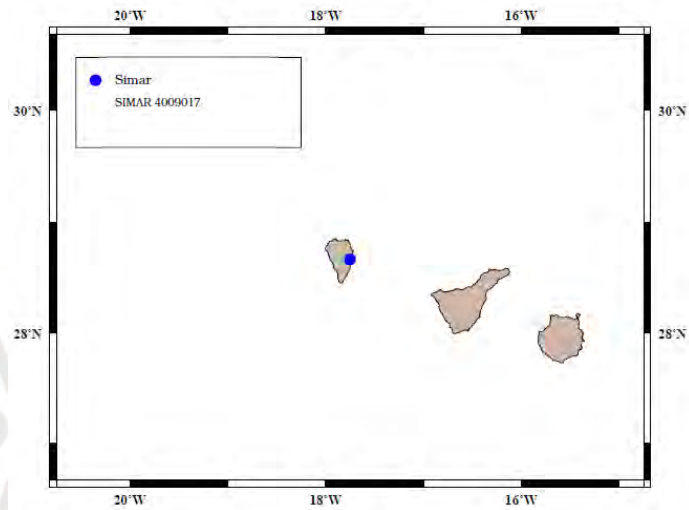


Figura 14B Ubicación de NODO SIMAR 4009017

A) REGIMEN MEDIO

Como se mencionó anteriormente en el presente anexo, se define como régimen medio de una serie temporal al conjunto de estados de oleaje que más probablemente nos podemos encontrar.

Para el caso del nodo SIMAR 4009017, se identificaron los siguientes parámetros de Weibull, de una serie de toma de datos desde enero de 1958 hasta mayo del 2017, para un periodo anual.

Parámetro de Escala (A): 0.76

Parámetro de Centrado (B): 0.06

Parámetro de Forma (C): 1.46

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

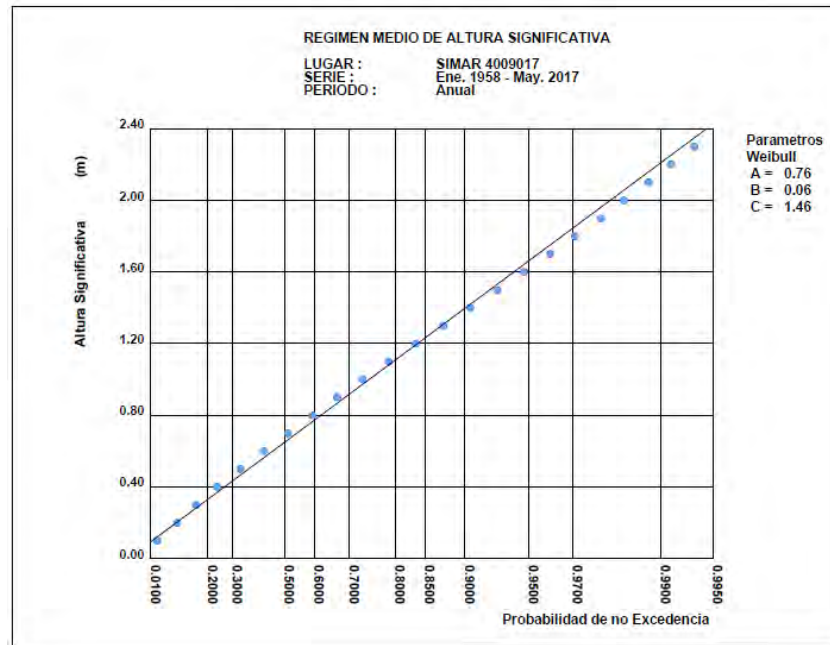


Figura 15B Régimen medio de la altura significativa en Nodo SIMAR 4009017.

3.4. Cálculo de régimen medio y extremal

Con la información recopilada anteriormente, se procede a realizar el cálculo para cada régimen, según la fórmula descritas a continuación.

3.4.1. Régimen medio

Como ejemplo de cálculo de H_{12} , se desarrollará el caso de la boya de Las Palmas Este.

Se tiene los siguientes datos y se utilizarán para cálculo mediante la fórmula presentada a continuación:

- Parámetro de Escala (A): 0.95
- Parámetro de Centrado (B): 0.21
- Parámetro de Forma (C): 1.60

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

$$\Pr(H_s \geq x) = \exp\left(-\left(\frac{x-B}{A}\right)^c\right)$$
$$\Pr(H_s \geq x) = \exp\left(-\left(\frac{x-0.21}{0.95}\right)^{1.60}\right) = \frac{12}{24x365}$$
$$x = 3.295 \text{ m}$$

De manera análoga, se calculará H_{12} para cada una de las fuentes de datos, con lo que se obtienen los datos presentados a continuación.

RED	BOYA	A	B	C	H_{12} (m)
RED COSTERA	Las Palmas Este	0.95	0.21	1.6	3.30
	Santa Cruz de Tenerife	0.71	0.13	1.65	2.36
RED EXTERIOR	Gran Canaria	1.21	0.47	1.63	4.32
DATOS SIMAR	SIMAR 4009017	0.76	0.06	1.46	2.82

Tabla 16B Cálculo de H_{12} para cada boya en régimen medio.

3.4.2. Régimen extremal

Como ejemplo de cálculo de H_s , se desarrollará el caso de la boya de Las Palmas Este. Se tiene los siguientes datos y se utilizarán para cálculo mediante la fórmula presentada a continuación:

- Parámetro α : 2.02
- Parámetro β : 0.48
- Parámetro γ : 1.02
- Parámetro λ : 16.58
- $T_p = 6.26 H_s^{0.35}$
- T_r para etapa de construcción = 20 años
- T_r para etapa de servicio = 475 años

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

A) Cálculo de H_s , para un periodo de retorno determinado, usando los parámetros de la distribución de Weibull de Excedencias:

$$H_s) Tr = \beta \left[-\ln \left(\frac{1}{\lambda * Tr} \right) \right]^{1/\gamma} + \alpha$$

- Para etapa de construcción ($Tr = 20$ años)

$$H_s) Tr = 0.48 \left[-\ln \left(\frac{1}{16.58 * 20} \right) \right]^{1.02} + 2.02 = 4.71 \text{ m}$$

- Para etapa de servicio ($Tr = 475$ años)

$$H_s) Tr = 0.48 \left[-\ln \left(\frac{1}{16.58 * 475} \right) \right]^{1.02} + 2.02 = 6.14 \text{ m}$$

B) Relación entre H_s y T_p

$$T_p = 6.26 H_s^{0.35}$$

- Para etapa de construcción:

$$T_p = 6.26 4.71^{0.35} = 10.77 \text{ s}$$

- Para etapa de servicio:

$$T_p = 6.26 6.14^{0.35} = 11.82 \text{ s}$$

C) Relación entre T_s y T_p

$$T_s = 0.95 * T_p$$

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

- Para etapa de construcción:

$$T_s = 0.95 * 10.77 = \mathbf{10.23 \text{ s}}$$

- Para etapa de servicio:

$$T_s = 0.95 * 11.82 = \mathbf{11.23 \text{ s}}$$

De manera análoga, se calculará Hs y Ts para cada una de las fuentes de datos, con lo que se obtienen los datos presentados a continuación.

BOYA	PARÁMETROS POT				CONSTRUCCIÓN (Tr = 20 años)			FASE DE SERVICIO (Tr = 475 años)		
	α	β	γ	λ	Hs (m)	Tp (s)	Ts (s)	Hs (m)	Tp (s)	Ts (s)
Las Palmas Este	2.02	0.48	1.02	16.58	4.71	10.77	10.23	6.14	11.82	11.23
Santa Cruz de Tenerife	1.92	0.48	1.35	7.36	3.50	6.11	5.81	4.19	6.36	6.04
Gran Canaria	3.3	0.9	1.48	6.29	5.91	10.70	10.17	6.97	11.24	10.68

Tabla 17B Cálculo de Hs y Ts para cada fuente de datos y etapa.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Capítulo 4 Coeficientes de direccionalidad y de propagación inversa

Basándonos en la información proporcionada por la ROM 0.3-91, Oleaje y anejo 1 sobre el clima marítimo en el Litoral Español, se muestra que existe una zonificación dividida en 10 áreas diferenciadas, definidas en base a características climáticas homogéneas, a la configuración de la costa y al emplazamiento de la información instrumental disponible.

Con ello, se presentan gráficamente los resultados obtenidos en formato Atlas de Clima Marítimo para cada una de las áreas. Entre ellos, se obtiene información de los coeficientes de refracción-shoaling para cada periodo y dirección de interés, necesarios para transferir a aguas profundas los resultados obtenidos en cada punto de medida situado en profundidades reducidas o intermedias. Asimismo, con los resultados obtenidos en el apartado anterior y los coeficientes de reparto direccional y, refracción y shoaling, se determinará la altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un periodo de retorno, para una dirección dada, a través de la siguiente ecuación:

$$Hs)o = Hs)b * \frac{K\alpha}{Kro}$$

Donde:

$Hs)o$: Altura de ola significativa en aguas profundas asociada a un periodo de retorno para una dirección particular.

$Hs)b$: Altura de ola significativa asociada a un periodo de retorno obtenida del régimen extremal escalar instrumental.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

$K\alpha$: Coeficiente de direccionalidad para la estimación de regímenes extremales direccionales a partir del régimen extremal escalar correspondiente.

$K\sigma$: Coeficiente de refracción y shoaling en una zona dada, para una dirección determinada.

4.1. Coeficientes de direccionalidad

Se define al coeficiente de direccionalidad como aquel que permite la obtención de regímenes extremales direccionales de altura de ola significativa en aguas profundas a partir del régimen extremal escalar correspondiente a la zona analizada. El régimen extremal direccional se obtiene multiplicando las alturas de ola escalares correspondientes a los distintos periodos de retorno, transferidas a aguas profundas, por el coeficiente de direccionalidad asociado a la dirección considerada para la zona analizada. Asimismo, como se menciona en el apartado anterior, es necesario ubicar el área dentro de la cual se encuentra el proyecto a desarrollar.



Figura 16B Ubicación de área de análisis.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Para esto, se consulta la sección 2.6.1 de la ROM 0.3-91, que contiene el atlas de resultados de clima marítimo en el Litoral Español y se ubica el área X, para las Islas Canarias, de la cual tomaremos uno de los sectores, Tenerife, por la orientación similar del área de interés, que es Santa Cruz de La Palma.

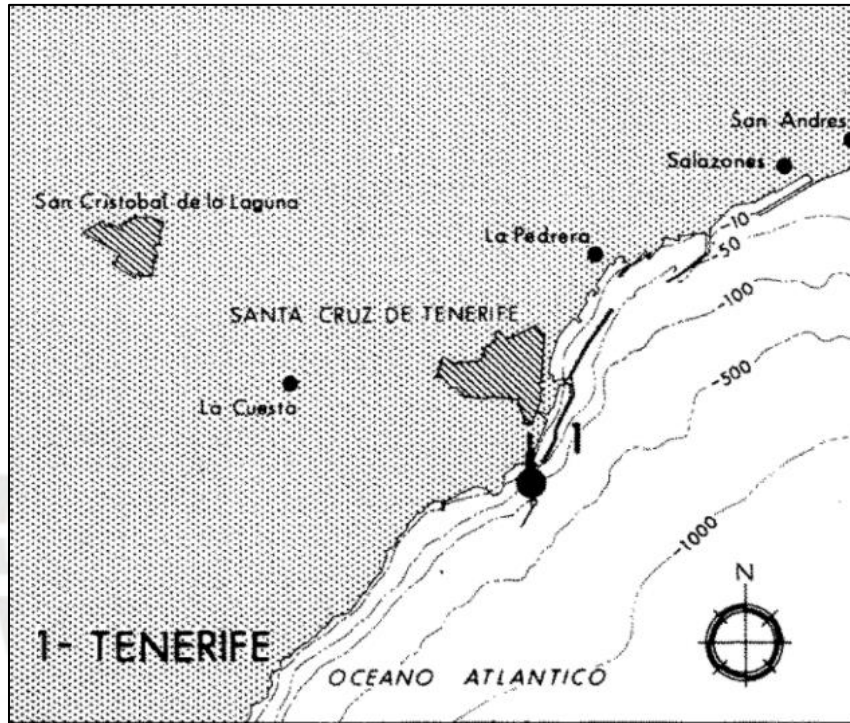


Figura 17B Orientación de análisis según área seleccionada.

Para nuestro análisis, se identificaron las direcciones significativas de la zona X, que se presentan en el gráfico mostrado a continuación, de los que serán considerados solamente los pertenecientes al grupo 1, por la orientación del Puerto de Santa Cruz de La Palma, el cual es objeto de estudio.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

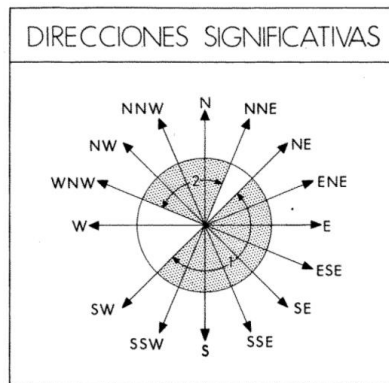


Figura 18B Direcciones significativas en área de análisis.

Finalmente, se presenta una tabla resumen de los coeficientes de direccionalidad obtenidos de la ROM 0.3-91 para el caso de estudios del Puerto de Santa Cruz de La Palma, obtenidos del gráfico D: registros instrumentales – regímenes extremales escalares.

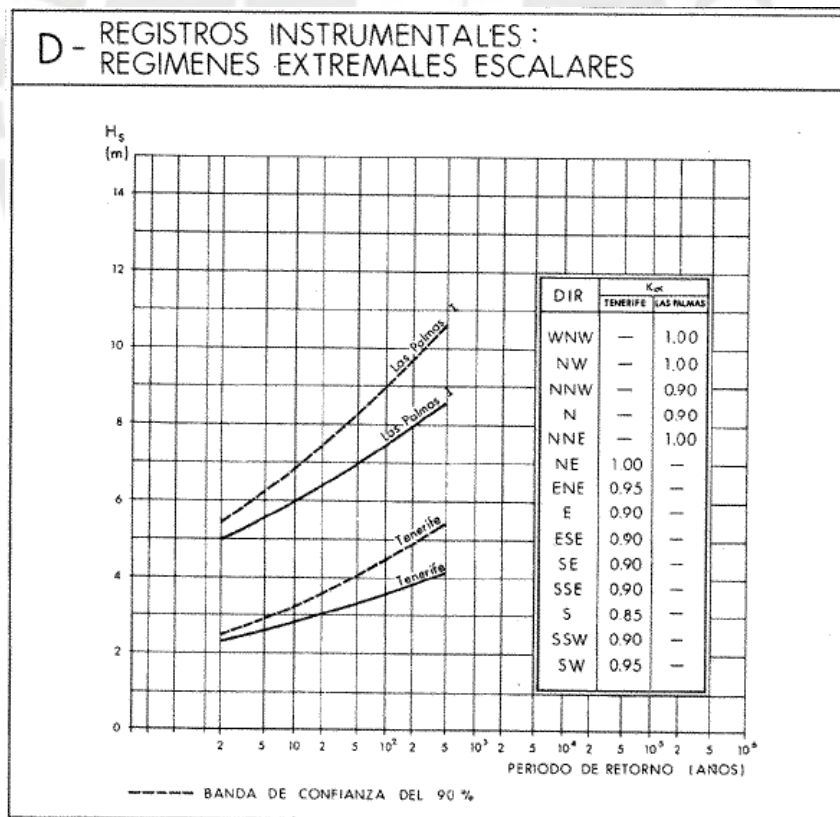


Figura 19B Coeficientes de direccionalidad en área de análisis.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

DIRECCIÓN	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW
$K\alpha$	1.00	0.95	0.90	0.90	0.90	0.90	0.85	0.90	0.95

Tabla 18B Resumen de coeficientes de direccionalidad según dirección.

Sin embargo, se ha considerado para el presenta caso de análisis, considerar un valor de coeficiente de direccionalidad $K\alpha$ igual a uno, con el objetivo de mantener el estudio del lado de la seguridad. Asimismo, se han considerado que las direcciones significativas críticas provienen de las direcciones E y ENE, debido a la ubicación del Puerto de Santa Cruz de La Palma.

$$K\alpha = 1$$

4.2. Coeficientes de Refracción y Shoaling

El coeficiente de refracción y shoaling permite cuantificar la variación de la altura de la ola por la influencia del fondo marino a partir de la altura de ola en aguas profundas. Se define en cada punto, y para cada periodo y dirección del oleaje, como el cociente entre la altura de ola en dicho punto y la misma en aguas profundas. Lo anterior es válido siempre y cuando, debido al rango de profundidades y al emplazamiento del punto analizado, los fenómenos que transforman al oleaje desde aguas profundas hasta profundidades reducidas sean únicamente la refracción y el shoaling.

La ROM 0.3-91 presenta la tabla correspondiente a los coeficientes de refracción/shoaling (K_r) correspondientes a propagación de oleajes desde aguas profundas hasta el emplazamiento de los puntos de medida analizados en función del T_s . Para nuestro caso de análisis, se puede resumir en el siguiente cuadro:

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Zona	Punto de Partida	Ts	7s	9s	11s	13s	15s
X	Tenerife	NE	0.92	0.67	0.62	0.6	0.58
		ENE	1	0.97	0.92	0.89	0.88
		E	1	1.01	0.87	0.79	0.75
		ESE	1	0.99	1.01	0.96	0.81
		SE	1	0.98	0.98	0.95	0.9
		SSE	1	0.99	0.96	0.91	0.92
		S	1	0.99	0.93	0.88	0.84
		SSW	1	0.97	0.91	0.85	0.81
		SW	1	0.98	0.92	0.86	0.84

Tabla 19B Coeficientes de refracción y shoaling según dirección y Ts en área de análisis.

ÁREA	PUNTO	T (s)	VALOR	NE	ENE	E	ESE	SE	SEE	S	SSW	SW			
X	Tenerife	11	Observ.	DIQUE								-	-	-	-
			K _{reg}	K	0.45	0.79	0.89	0.94	0.93	0.94	0.91	0.85	0.8		
				K _{max}	0.77	1.02	1.02	1.07	1.09	-	-	-	-		
				K _{min}	0.30	0.62	0.81	0.84	0.74	-	-	-	-		
				Desv	0.11	0.11	0.05	0.05	0.06	-	-	-	-		
			K ₂₅	K	0.53	-	-	-	-	-	-	-	-		
				K _{max}	0.78	-	-	-	-	-	-	-	-		
				K _{min}	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-		
				Desv	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-		
			N	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169		
			K _{prop}	-	0.79	0.89	0.94	0.93	0.94	0.91	0.85	0.8			
			13	K _{reg}	K	0.45	0.75	0.84	0.91	1.01	0.92	0.87	0.82	0.72	
		K _{max}			0.67	0.91	0.93	1.15	1.53	-	-	-	-		
		K _{min}			0.36	0.63	0.73	0.66	0.37	-	-	-	-		
		Desv			0.07	0.06	0.04	0.1	0.25	-	-	-	-		
		K ₂₅		K	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-		
				K _{max}	0.69	-	-	-	-	-	-	-	-		
				K _{min}	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-		
				Desv	0.66	-	-	-	-	-	-	-	-		
		N		169	169	169	169	169	169	169	169	169	169		
		K _{prop}		-	0.75	0.84	0.91	1.01	0.92	0.87	0.82	0.72			

Tabla 20B Valores actualizados de coeficientes de refracción y shoaling según dirección y Ts en área de análisis.

Para nuestro caso de análisis, se encuentran dos situaciones particulares, el periodo de construcción ($T_r = 20$ años) y la fase de servicio ($T_r = 475$ años). Asimismo, sobre los resultados

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

de la Tabla 17, se muestran los periodos significantes asociados a la ola obtenida por los datos de la boya de Las Palmas Este. **Estos son 10.77 s para la etapa de construcción y 11.82 s para la fase de servicio, con lo que los valores de coeficientes de refracción y shoaling serán obtenidos para dichos valores en las direcciones E y ENE.**



Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Capítulo 5 Estado del mar en profundidades indefinidas

A partir de los valores de los coeficientes mencionados anteriormente y los valores de altura de ola en las boyas pertenecientes a la red costera, se determinará la altura de ola significativa en profundidades indefinidas mediante la fórmula presentada en el apartado 3.

$$Hs)o = Hs)b * \frac{K\alpha}{Kro}$$

	Datos de Boya de Las Palmas Este						
	Tr (años)	Hsb (m)	K α	Kr	Hso (m)	Tp (s)	Ts (s)
ENE	20	4.71	1.00	0.79	5.96	11.69	11.11
	475	6.14	1.00	0.77	7.97	12.95	12.30
E	20	4.71	1.00	0.89	5.29	11.22	10.66
	475	6.14	1.00	0.87	7.06	12.41	11.78

Tabla 21B Valores de Hs y Ts corregidos por coeficientes K α y Kr en boya de red costera.

Asimismo, debido a que las boyas pertenecientes a la red exterior del conjunto de datos se encuentran en profundidades indefinidas, **estas no se encuentran influenciadas por los fenómenos asociados a los coeficientes direccionales o coeficientes de refracción**, por lo que se presenta la siguiente tabla.

Boya de Gran Canaria						
Tr (años)	Hsb (m)	K α	Kr	Hso (m)	Tp (s)	Ts (s)
20	5.91	1	1	5.91	10.70	10.17
475	6.97	1	1	6.97	11.24	10.68

Tabla 22B Valores de Hs y Ts corregidos por coeficientes K α y Kr en boya de red exterior.

Por otro lado, también se cuenta con información del conjunto de datos SIMAR, que está formado por series temporales de parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

numérico. De esto, se obtuvo información histórica de los últimos 60 años sobre la altura máxima de ola significativa en el NODO 4009017, la cual se presenta en la tabla descrita a continuación.

Mes	Altura Significante (m)	Dir (°)	Periodo de Pico (s)	Año	Día	Hora
Enero	3.66	75	9.26	1999	8.00	12.00
Febrero	3.77	68	10.10	1962	3.00	16.00
Marzo	3.22	64	10.20	1987	31.00	4.00
Abril	3.82	68	9.90	1987	12.00	22.00
Mayo	2.62	60	9.35	1962	10.00	20.00
Mayo	2.62	59	9.52	1973	9.00	2.00
Junio	2.81	64	8.70	2000	11.00	6.00
Junio	2.81	64	8.70	2000	11.00	8.00
Julio	2.79	59	9.43	1961	17.00	0.00
Julio	2.79	59	9.52	1961	16.00	22.00
Julio	2.79	59	9.35	1961	16.00	20.00
Agosto	2.58	58	9.62	1979	16.00	22.00
Septiembre	2.37	60	8.77	1968	29.00	8.00
Octubre	3.25	61	10.00	1959	22.00	4.00
Noviembre	3.16	68	9.26	2002	30.00	6.00
Diciembre	3.93	66	10.00	1980	17.00	4.00

Tabla 23B Valores de Hs y Tp máximos en el NODO 4009017 durante los últimos 60 años.

De los datos recopilados en las tablas anteriores y para mantener nuestro análisis con un adecuado nivel de seguridad, se tomarán los valores más críticos como parámetros. **En este caso, se tomarán los valores de la Boya de Las Palmas Este corregidos con dirección ENE para un periodo de retorno de 475 años; y se tomarán los valores de la Boya de Gran Canaria para un periodo de retorno de 20 años.**

Capítulo 6 Otras variables: marea y viento

6.1. Marea

La Red de Mareógrafos de Puertos del Estado (REDMAR) presenta un compendio único y fácilmente actualizable de varios parámetros derivados de las medidas registradas por los mareógrafos de la red, relacionándolos con la marea y el nivel del mar en los puertos.

Los parámetros presentados se revisan y calculan cada cierto número de años, de forma que serán cada vez más robustos conforme crezca la longitud de las series históricas de nivel del mar disponibles.



Figura 20B Puertos con estaciones pertenecientes a la REDMAR.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Para el caso de análisis, la serie histórica del puerto de La Palma para el periodo 2007-2017, se basa en los datos registrados por el mareógrafo especificado en la imagen presentada a continuación.

Estación	Sensor	Inicio/final de medidas	Longitud	Latitud
LaPa	Rádar (Miros)	Nov-2006/operativo	017° 46' 4.62" W	28° 40' 40.08" N

Figura 21B Detalles de la estación mareográfica de La Palma.

Por otro lado, para la obtención de datos de marea, se hace planteará una diferenciación entre sus dos componentes: marea astronómica y, marea meteorológica o residuo.

6.1.1. Marea astronómica

Indica la componente periódica debida a fuerzas gravitacionales que el Sol y la Luna ejercen sobre mares y océanos, que provocan la aparición de corrientes horizontales que conducen un aumento y descenso del nivel del mar. A continuación, se presenta información sobre los niveles de máxima pleamar astronómica (PMMA) y mínima bajamar astronómica (BMMI), identificadas en el mareógrafo de Santa Cruz de La Palma.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

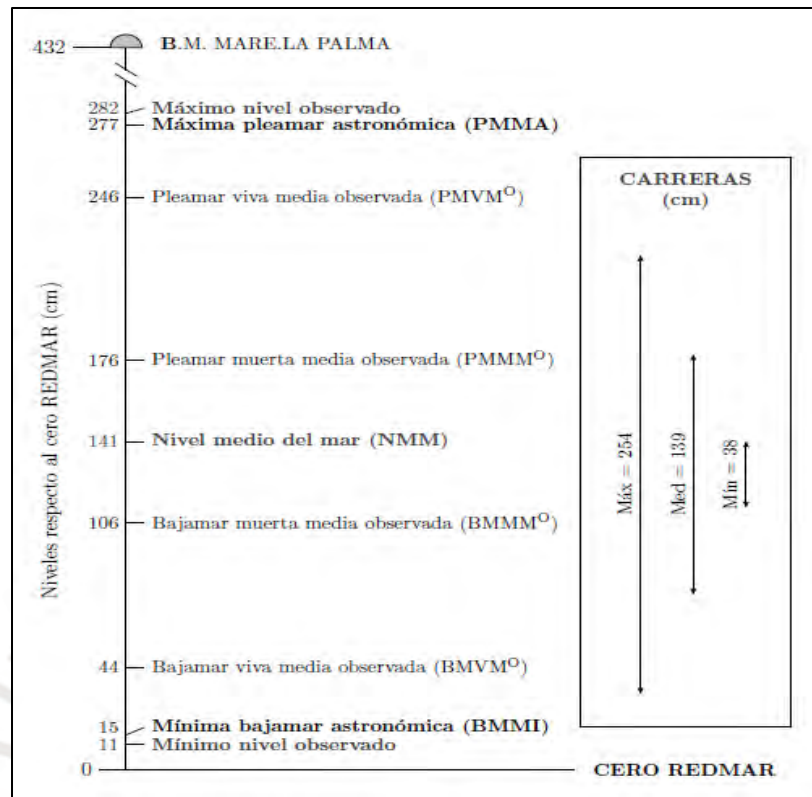


Figura 22B Principales referencias de nivel del mar.

De esto, se puede obtener la siguiente información:

- **Máxima pleamar astronómica (PMMA) = 277 cm**
- **Mínima bajamar astronómica (BMMI) = 15 cm**

6.1.2. Marea meteorológica o residuo

Según la información brindada por la dirección técnica de Puertos del Estado, se cuenta con datos históricos sobre la serie de residuos meteorológicos horarios. Para esto, la serie elaborada no toma en cuenta a la marea astronómica. Asimismo, los datos son obtenidos a partir de la diferencia entre la serie de nivel horario observado y la serie de nivel horario astronómico.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Sobre esto, se suele llamar residuo astronómico o marea meteorológica porque esta fundamentalmente **asociada a la acción de la presión atmosférica y el viento**. También contiene otros efectos como son las variaciones de densidad del agua (componente estérica) y, en definitiva, todos aquellos que no tienen una clara componente armónica asociada a un periodo determinado.

A continuación, se presentan los percentiles de la serie de residuo meteorológico, de lo que se pueden obtener los valores mínimo y máximo.

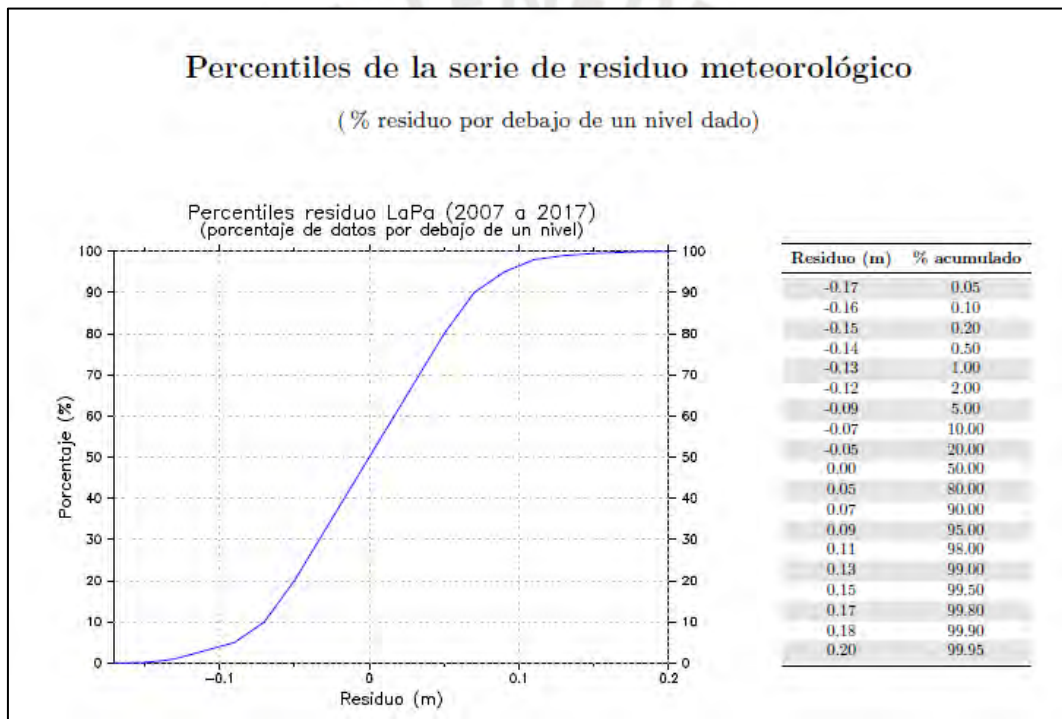


Figura 23B Distribución de frecuencia relativa acumulada (izquierda) y tabla de percentiles (derecha) del residuo meteorológico horario.

De esto, se puede obtener la siguiente información:

- **Residuo histórico mínimo = -0.17 m**
- **Residuo histórico máximo = 0.20 m**

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

Con los datos recopilados sobre marea astronómica y marea meteorológica, se puede determinar los valores para la Pleamar Máxima Viva Equinoccial, Bajamar Mínima Viva Equinoccial y Carrera de Marea.

$$\text{Pleamar Máxima Viva Equinoccial (PMVE)} = 2.77 \text{ m} + 0.20 \text{ m} = 2.97 \text{ m}$$

$$\text{Bajamar Mínima Viva Equinoccial (BMVE)} = 0.15 \text{ m} - (-0.17 \text{ m}) = 0.32 \text{ m}$$

$$\text{Carrera de marea} = \text{PMVE} - \text{BMVE} = 2.97 \text{ m} - 0.32 \text{ m} = 2.65 \text{ m}$$

Finalmente, para mantener el análisis del lado de la seguridad, se considerará una carrera de marea de 3m.

6.2. Viento

En este apartado, se obtendrá información relativa a la velocidad del viento en la zona de análisis, utilizando en documento elaborado por Puertos del Estado, ROM 0.4 – 95 ACCIONES CLIMÁTICAS II: VIENTO. Esto se debe a que el viento, en conjunto con el oleaje, es el fenómeno fundamental que condiciona cualquier proyecto de construcción y explotación de instalaciones portuarias, así como los procesos de transporte litoral y de dispersión de contaminantes o de productos de dragado.

Asimismo, se presenta, en el documento mencionado en el párrafo anterior, la información proporcionada por la ROM 0.4-95, a través de la caracterización del viento en el Litoral Español recogida por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC), y por el Instituto Nacional de Meteorología a través del Servicio de Climatología.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

En consecuencia, la presentación de resultados se hizo a través del Atlas de Viento del Litoral Español, que se estructura de forma semejante al Atlas de Clima Marítimo, incluido en el anejo 1 de la ROM 0.3-91 Oleaje, y se muestran resultados sobre la caracterización media del viento y la caracterización extremal, esta última de nuestro principal interés.



Figura 24B Localización de la información obtenido en estaciones costeras.

Por medio del Atlas de Viento es posible establecer la velocidad del viento de proyecto, tanto para condiciones climáticas extremas como para condiciones normales de operación. Para el caso de condiciones climáticas extremas, se partirá de la Velocidad Básica Escalar del Viento en la zona de estudio, que posteriormente será multiplicada por los factores que permitan tomar en consideración la altura y rugosidad superficial, topografía y factor de ráfaga, entre otros.

$$Vd = Vb * K\alpha * Ktr * Fa * Ft * Fr$$

6.2.1. Velocidad básica del viento y coeficiente de direccionalidad (Vb y K α)

Se define como Velocidad Básica del Viento a la velocidad media del viento en un intervalo de 10 minutos, medida a 10 metros de altura sobre la superficie en mar abierto o campo abierto sin obstáculos. Para el punto de análisis, se presenta el siguiente gráfico con la información del viento en la zona de análisis del proyecto.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

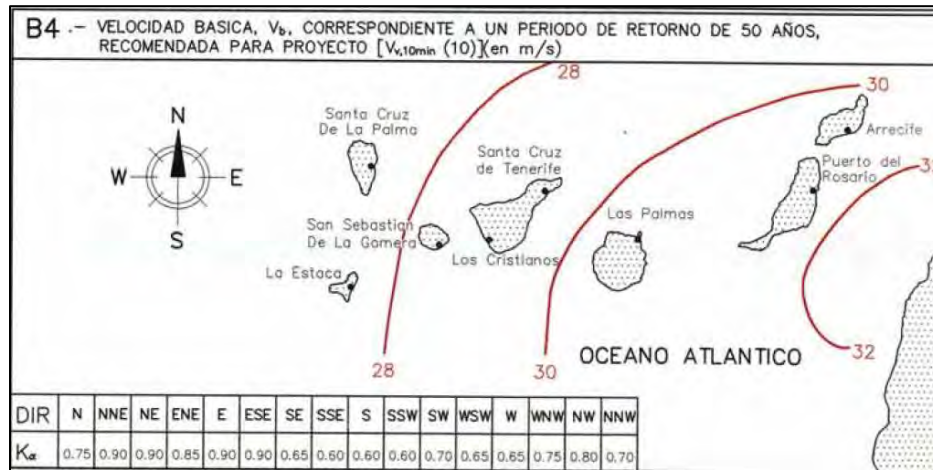


Figura 25B Velocidad Básica de Viento, a un periodo de retorno de 50 años en zona de análisis.

De esto, podemos obtener la siguiente información:

- **Velocidad Básica del Viento (V_b) = 27 m/s**
- **Coefficiente de Direccionalidad (K_{α}) = 0.90**, proveniente del Este, pues es más crítico.

6.2.2. Coeficiente de periodo de retorno (K_{tr})

El coeficiente de periodo de retorno permite obtener la velocidad del viento para un periodo de retorno distinto al propuesto por el Atlas de Viento, que es de 50 años. Para esto, se presenta el coeficiente calculado a través de la siguiente fórmula:

$$K_{tr} = 0.75 * \sqrt{1 + 0.2 * \ln\left(\frac{Tr}{10}\right)} = 0.75 * \sqrt{1 + 0.2 * \ln\left(\frac{475}{10}\right)} = \mathbf{0.9984}$$

6.2.3. Factor de altura y rugosidad superficial (F_a)

Según lo establecido por la ROM 0.4-95, el factor F_A toma en consideración el efecto combinado de la rugosidad superficial y de la altura sobre el perfil de velocidades medias. Para

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

velocidades básicas altas ($\geq 15\text{m/s}$), en las que puede admitirse que la velocidad del viento no queda afectada por la inestabilidad térmica de la atmósfera, la velocidad media del viento en la capa límite superficial, y por lo tanto el factor F_A , es creciente con la altura y decreciente con la rugosidad superficial.

Asimismo, a efectos prácticas de cálculo del factor F_a se definen cuatro categorías diferenciadas de rugosidad superficial, las cuales se incluyen en la siguiente tabla:

TIPO DE SUPERFICIE	z_0 (m)	ALTURA DEL NIVEL CERO EFECTIVO SOBRE LA SUPERFICIE (m)
I. Mar abierto y campo abierto llano sin obstáculos (p.e. zonas costeras llanas, desiertos,...).	0.005	0.00
II. Campo abierto, llano u ondulado, con obstáculos dispersos (p.e. praderas, páramos, ...) (nivel general de los obstáculos de 5 m).	0.05	4.00
III. Superficies boscosas, campo con obstáculos abundantes y pequeñas zonas urbanas (nivel general de los obstáculos alrededor de 10 m).	0.30	9.00
IV. Superficies con grandes y frecuentes obstáculos y grandes ciudades (nivel general de los obstáculos alrededor de 15m o más).	1.00	15.00

Tabla 24B Categorías de rugosidad superficial para la definición de factores de velocidad de viento (F_a) y valores de los parámetros asociados.

En el ámbito de aplicación de esta Recomendación, se tomará siempre la categoría I, salvo cuando se tome en consideración la dirección de actuación del viento. Además, el valor del factor F_a , para la altura y categoría de rugosidad superficial considerada, puede obtener del siguiente ábaco propuesto. Este ábaco ha sido desarrollado a partir de la formulación matemática del perfil medio de velocidades en la capa límite superficial, para superficies horizontalmente homogéneas.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

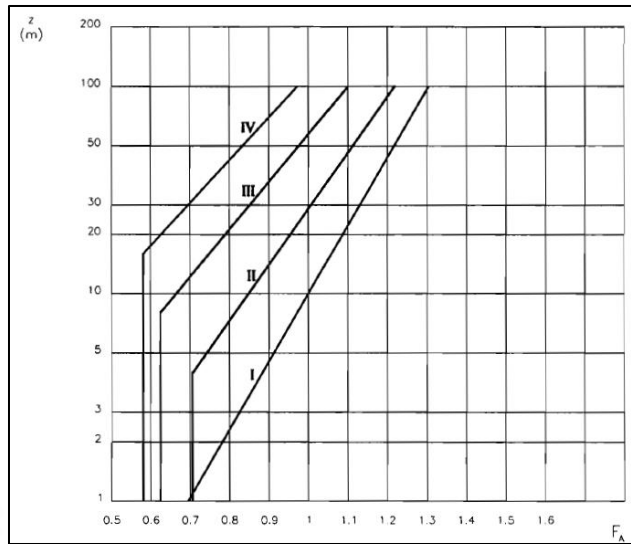


Figura 26B Factor de altura y de rugosidad superficial (F_a)

Debido a que nos encontramos en la categoría I, con una altura de análisis de 10 m, correspondiente al punto en el que se toma la Velocidad Básica del Viento, se obtiene la siguiente información:

$$F_a = 1$$

6.2.4. Factor topográfico (F_t)

El factor F_t toma en consideración el efecto de las heterogeneidades topográficas locales sobre el perfil de velocidades medias.

Para el presente proyecto, se toma el siguiente valor:

$$F_t = 1$$

6.2.5. Factor de ráfaga máxima (F_r)

El factor F_r permite la obtención de la velocidad máxima del viento asociado a una duración o intervalo de medición determinado (entre 3 s y 10 min) y a una altura z , a partir de la velocidad media del viento en el punto considerado ($V_b \cdot F_a \cdot F_t$) y de las características de rugosidad

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

superficial de la zona. Para la velocidad básicas altas (≥ 15 m/s), en las que puede admitirse que la velocidad del viento no queda afectada por la inestabilidad térmica de la atmósfera, el Factor f_r es creciente con la rugosidad superficial y decreciente con la altura.

Asimismo, el intervalo de duración de ráfaga a considerar depende del tipo estructural y elementos a evaluar, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

<i>TIPO ESTRUCTURAL</i>	<i>DURACION DE RAFAGA</i>
ELEMENTOS E INSTALACIONES FIJAS	
– Elementos estructurales aislados. – Subestructuras (p.e cerramientos, cubiertas,...) y sus elementos de sujeción a la estructura resistente.	3 segundos
– Estructuras o partes de ella cuya mayor dimensión horizontal y vertical no sobrepasa los 50 m.	5 segundos
– Estructuras o partes de ella cuya mayor dimensión horizontal o vertical excede de 50 m.	15 segundos
ELEMENTOS E INSTALACIONES MOVILES	
– Equipamiento. – Equipos e instalaciones de manipulación y transporte de mercancías.	3 segundos
– Pequeñas embarcaciones y elementos flotantes hasta 25 m de eslora.	15 segundos
– Buques y estructuras flotantes de eslora mayor de 25 m.	1 minuto

Tabla 25B Intervalo de medición o duración de ráfaga a considerar para la determinación de la velocidad de viento del proyecto en función del tipo estructural analizado.

Posteriormente, se debe determinar el Factor de Ráfaga Máxima (F_r) a partir de la categoría de rugosidad superficial, la duración de la ráfaga y la altura de análisis, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas

		CATEGORIA DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL															
		I				II				III				IV			
z (m)	DURACION	3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min	3s	5s	15s	1min
	3		1.52	1.50	1.45	1.37	1.76	1.73	1.65	1.54	1.98	1.94	1.84	1.69	2.24	2.18	2.06
5		1.48	1.46	1.41	1.34	1.73	1.70	1.62	1.51	1.98	1.94	1.84	1.69	2.24	2.18	2.06	1.87
10		1.44	1.42	1.38	1.31	1.63	1.60	1.54	1.44	1.96	1.91	1.82	1.67	2.24	2.18	2.06	1.87
15		1.42	1.40	1.36	1.29	1.59	1.56	1.50	1.41	1.86	1.82	1.73	1.60	2.24	2.18	2.06	1.87
20		1.40	1.38	1.34	1.28	1.56	1.53	1.48	1.39	1.80	1.76	1.68	1.56	2.12	2.07	1.96	1.79
30		1.38	1.37	1.33	1.27	1.52	1.50	1.45	1.37	1.73	1.70	1.62	1.51	1.99	1.94	1.84	1.69
40		1.37	1.36	1.32	1.26	1.50	1.48	1.43	1.35	1.68	1.65	1.58	1.48	1.91	1.87	1.78	1.64
50		1.36	1.35	1.31	1.25	1.48	1.46	1.41	1.34	1.65	1.63	1.56	1.46	1.86	1.82	1.73	1.60
60		1.36	1.34	1.30	1.25	1.47	1.45	1.40	1.33	1.63	1.60	1.54	1.44	1.82	1.78	1.70	1.57
80		1.35	1.33	1.29	1.24	1.45	1.43	1.39	1.32	1.60	1.57	1.51	1.42	1.76	1.73	1.65	1.54
100		1.34	1.32	1.29	1.24	1.44	1.42	1.38	1.31	1.58	1.55	1.49	1.40	1.73	1.70	1.62	1.51

Tabla 26B Factor de ráfaga máxima (Fr).

De esta información, se encontraron los siguientes resultados:

- Duración de ráfaga: 1 minuto
- Altura = 10 m
- Tipo de superficie: I

$$Fr = 1.31$$

Finalmente, con la información recopilada se calcula la Velocidad de Viento del Proyecto.

$$Vd = Vb * K\alpha * Ktr * Fa * Ft * Fr$$

$$Vd = 27 * 0.9 * 0.9984 * 1 * 1 * 1.31 = 31.78 \text{ m/s}$$

$$Vd = 31.78 \text{ m/s}$$

Capítulo 7 Resumen de clima marítimo en profundidades indefinidas

7.1. Oleaje

Para los valores relacionados al oleaje, se han tomado los valores más críticos, con lo que se tiene la siguiente tabla resumen:

BOYA	RED	Tr (años)	Hsb (m)	$K\alpha$	Kr	Hso (m)	Tp (s)	Ts (s)
Las Palmas Este	Costera	475	6.14	1	0.77	7.97	12.95	12.30
Gran Canaria	Exterior	20	5.91	1	1	5.91	10.70	10.17

Tabla 27B Tabla resumen de datos de oleaje.

7.2. Carrera de marea

- PMVE = 2.97 m
- BMVE = 0.32 m
- Carrera de marea = 2.65 m
- **Se tomará Carrera de Marea = 3 m**

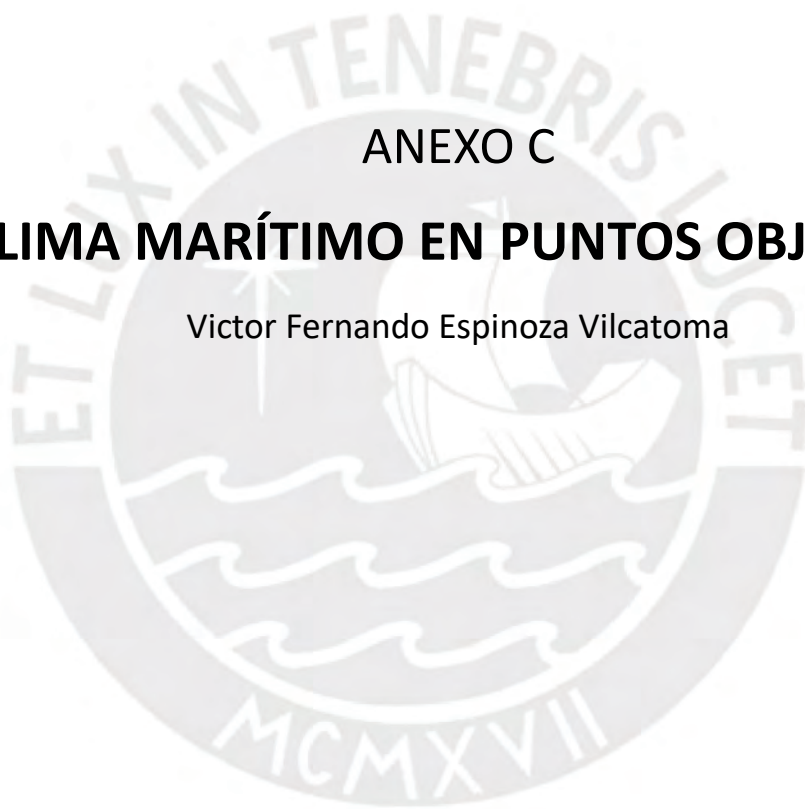
7.3. Velocidad del viento de proyecto

- $Vd \approx 32$ m/s

ANEXO C

CLIMA MARÍTIMO EN PUNTOS OBJETIVO

Victor Fernando Espinoza Vilcatoma



Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

ÍNDICE

Capítulo 1	Síntesis de Clima Marítimo en profundidades indefinidas	3
1.1.	Oleaje	3
1.2.	Carrera de marea	3
1.3.	Velocidad del viento de proyecto	4
Capítulo 2	Definición de puntos objetivo	5
2.1.	Definición del buque tipo	5
2.2.	Profundidad de la bocana según ROM 3.1-99	6
2.2.1.	Factores que dependen del buque (H1)	8
2.2.2.	Factores relacionados con el fondo (H3)	9
2.2.3.	Cálculo de la profundidad de la bocana según ROM 3.1 – 99	10
Capítulo 3	Fundamento teórico	12
3.1.	Refracción	12
3.2.	Asomeramiento (Shoaling)	15
3.3.	Ábaco asomeramiento y refracción (SPM)	16
Capítulo 4	Cálculos Previos	17
4.1.	Cálculo mediante <i>Shore Protection Manual</i> (SPM)	17

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

4.2.	Cálculo mediante ábacos de Goda y Shutto.....	21
4.3.	Cálculo mediante ley de Snell y ábaco de Shutto	25
Capítulo 5	Resumen de clima marítimo en punto objetivo	26
5.1.	Fase de construcción (Tr de 20 años)	26
5.2.	Estado límite último (Tr de 475 años)	26



Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

Capítulo 1 Síntesis de Clima Marítimo en profundidades indefinidas

El objetivo del presente anexo es obtener información sobre el clima marítimo en los puntos objetivos, en particular de la altura de ola a pie de dique. Para esto, es necesario obtener información sobre la altura de ola significativa y dirección predominante en profundidades indefinidas, y realizar la propagación del oleaje hacia el morro del dique, con lo que se podrá determinar la orientación en planta y características estructurales del dique. Asimismo, la necesidad de propagación se debe a la influencia del fondo marino en la atenuación, transformación y deformación de la altura de ola.

Para esto, será necesario empezar con el análisis a partir de la información recopilada en el Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas.

1.1. Oleaje

Para los valores relacionados al oleaje, se han tomado los valores más críticos, con lo que se tiene la siguiente tabla resumen:

BOYA	RED	Tr (años)	Hsb (m)	$K\alpha$	Kr	Hso (m)	Tp (s)	Ts (s)
Las Palmas Este	Costera	475	6.14	1	0.77	7.97	12.95	12.30
Gran Canaria	Exterior	20	5.91	1	1	5.91	10.70	10.17

Tabla 1C Tabla resumen de datos de oleaje.

1.2. Carrera de marea

- PMVE = 2.97 m
- BMVE = 0.32 m
- Carrera de marea = 2.65 m

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

- Se tomará Carrera de Marea = 3 m

1.3. Velocidad del viento de proyecto

- $V_d \approx 32 \text{ m/s}$



Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

Capítulo 2 Definición de puntos objetivo

Para el presente análisis, es necesario determinar la altura de ola a pie de dique, por lo que es requisito previo conocer las dimensiones del buque tipo. Esto se debe a que las características del buque tipo, específicamente su calado, afectarán directamente a la configuración del puerto, la profundidad de la bocana y las vías de navegables.

2.1. Definición del buque tipo

El buque tipo es aquel que cuenta con dimensiones críticas que atracará en la estructura de análisis, el dique del Este del Puerto de Santa Cruz de La Palma. Asimismo, según el Plan Director, la longitud de muelle actual en la tercera alineación del dique del Este no es suficiente para atender buques (cruceros) con esloras totales entorno a los 340 m, como se tiene previsto operar a corto plazo. Con esto, se tiene que los buques de crucero servidos en el puerto son:

Buque	Eslora (m)	Manga (m)	Calado (m)	Bandera
Aidablu	253,33	37,6	7.3	Italia
Mein Schiff 1	315,7	42,3	8.2	Malta
Mein Schiff 4	293,2	42,3	8.2	Malta
Rhapsody of the Seas	279	32	7	Bahamas
Queen Elizabeth	294	36	8	Bermudas
Sea Cloud II	105,9	16,15	6	Malta
MS Riviera	239,27	32,31	7.32	Islas Marshall
Independence of the Seas	338,72	39,03	9	Bahamas
Queen Mary 2	345	48,7	10.3	Bermudas
Freedom of the Seas	338,77	39,03	9	Bahamas

Figura 1C Buques de crucero servidos en el Puerto de Santa Cruz de La Palma.

De dicha información, se tomará el buque crucero Queen Mary 2 como buque tipo, para el cual se presenta la siguiente información:

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

- Buque: Queen Mary 2
- Máxima eslora: 345.00 m
- Manga: 48.70 m
- **Calado: 10.30 m**
- Ángulo de amarre de largos: 45°
- Longitud de atraque: 431.35 m
- Longitud actual: 313.00 m

2.2. Profundidad de la bocana según ROM 3.1-99

Según esta Recomendación, la determinación de la profundidad de agua necesaria en las diferentes Áreas de Navegación y Flotación se realizará en cada caso tomando en consideración los factores siguientes:

- El calado de los buques y los factores relacionados con los barcos que puedan ocasionar que algún punto de su casco alcance una cota más baja que la correspondiente a quilla plana en condiciones estáticas en agua de mar (H1).
- El nivel del Agua que se considere y los factores que afectan a su variabilidad (H2), que determinarán el plano de referencia para emplazar el buque.

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

- Los márgenes de seguridad que se establezcan para prevenir un contacto del buque con el fondo. La valoración de estos márgenes de seguridad se incluye dentro del bloque de Factores H1.

La consideración de los factores anteriores determinará la profundidad mínima de agua requerida en el emplazamiento o profundidad nominal, que, para poder quedar garantizada como espacio disponible en el emplazamiento, exigirá tomar en consideración un conjunto de factores relacionados con el fondo (H3).

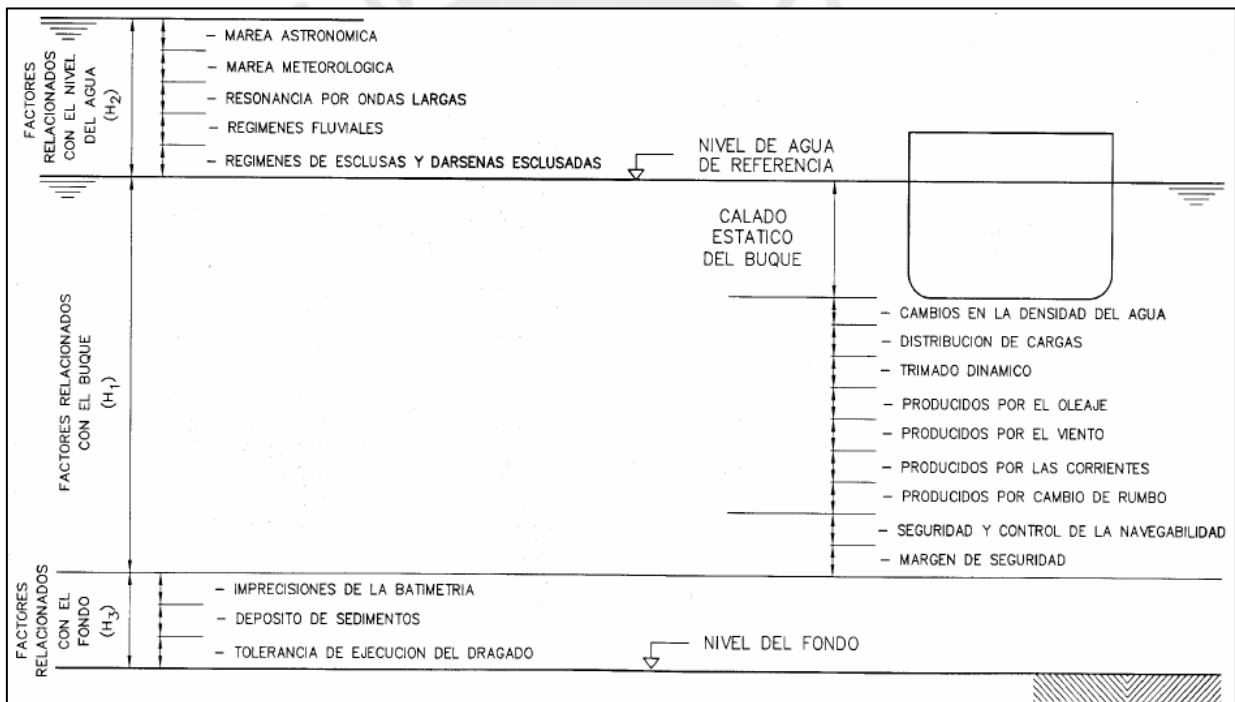


Figura 2C Factores que intervienen en la determinación de las profundidades de agua en las áreas de navegación y flotación.

En consecuencia, se tendrá que la profundidad de la bocana será:

$$h = H1 + H3$$

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

2.2.1. Factores que dependen del buque (H1)

Según lo mencionado en la ROM 3.1 – 99, para la aplicación exclusiva en estudios previos se recogen unos criterios empíricos de uso habitual que cuantifican los factores relacionados con el buque incluyendo su propio calado y los Márgenes de Seguridad (H1) en función de las características del Área de Flotación que se analice y del calado (C) del buque que se considere.

De esto, se presenta el siguiente cuadro para el análisis del caso particular del proyecto.

	H_1
— Antepuertos, fondeaderos y vías de navegación exteriores. Bocanas de puertos	
• Abrigados por la forma de la costa	1,10 C
• Poco abrigados	1,20 C
• Desabrigados con oleajes $H_s < 1,00$ m	1,30 C
• Totalmente desabrigados con oleajes $H_s \geq 2,00$ m	1,50 C
— Vías de navegación interiores	
• Abrigadas	1,10 C
• Poco abrigadas	1,15 C
— Áreas de maniobras	
• Abrigadas	1,08 C
• Poco abrigadas	1,12 C
— Muelles y atraques abrigados	
• Para buques grandes ($D > 10.000$ t)	1,08 C
• Para buques pequeños y medios ($D \leq 10.000$ t)	1,05 C
— Muelles y atraques poco abrigados	
• Para buques grandes ($D > 10.000$ t)	1,12 C
• Para buques pequeños y medios ($D \leq 10.000$ t)	1,10 C

Figura 3C Valores de H1 según la tipología de la obra.

Para el caso de análisis, se tiene un elemento totalmente desabrigado con $H_s \geq 2$ m, por lo tanto, el valor de H1 se puede calcular como:

$$H1 = 1.5 * Calado = 1.5 * 10.30 m = 15.45 m$$

- Tomando el Calado del buque tipo como 10.30 m

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

2.2.2. Factores relacionados con el fondo (H3)

A) MARGEN PARA IMPRECISIONES DE LA BATIMETRIA

Se incluye en este concepto el resguardo adicional que debe preverse para cubrir las imprecisiones de la batimetría. En el estado actual de la técnica de investigación batimétrica realizada con ecosonda y sonar de barrido lateral o sistemas equivalentes puede considerarse que la precisión de los registros obtenidos es superior al 99% de la profundidad de agua existente; las imprecisiones de la batimetría no proceden normalmente del equipo de registro sino de las oscilaciones que puedan presentarse en la embarcación en la que se instalan, oscilaciones que a su vez se deben fundamentalmente al oleaje máximo que se admita durante la campaña de toma de datos y que pueden evitarse con un sistema de compensación del oleaje. Suponiendo que este oleaje está limitado a olas de 0,50 m de altura significativa en aguas exteriores y en 0.25 m en aguas interiores, pueden considerarse los márgenes siguientes:

	Con sistemas de Compensación del oleaje	Sin sistemas de Compensación del oleaje
— Aguas exteriores	1 % de la profundidad de agua	0,25 m + 1 % de la profundidad de agua
— Aguas interiores	1% de la profundidad de agua	0,10 m + 1 % de la profundidad de agua

Para el caso de análisis, se recomienda:

$$H3a = 1\% * \frac{200}{100} * Calado = 1\% * \frac{200}{100} * 10.30 m = \mathbf{0.21m}$$

B) DEPÓSITO DE SEDIMENTOS ENTRE DOS CAMPAÑAS DE DRAGADO

La profundidad de agua adicional que deberá preverse para los aterramientos que se puedan producir entre dos campañas de dragado dependerá de la dinámica litoral o fluvial del

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

emplazamiento que se considere y del tiempo que transcurran entre dos campañas sucesivas de dragado. Este fenómeno deberá tomarse especialmente en consideración en el caso de cauces fluviales o cuando se trate de tramos de costa sometidos a transportes transversales o longitudinales de sedimentos de cuantía apreciable.

C) TOLERANCIA DE EJECUCIÓN DEL DRAGADO

La Recomendación menciona que la tolerancia de ejecución del dragado depende fundamentalmente de las características de los suelos, del equipo de dragado utilizado y de las condiciones medioambientales límites en las que se permite la operación de estos equipos. A título indicativo se recomienda adoptar tolerancias de 0,30 m para suelos blandos y 0,50 m para terrenos de naturaleza rocosa.

Por ello, debido a que el proyecto se encuentra ubicado en Canarias, el terreno es de naturaleza rocosa, se adoptará una tolerancia de 0.50 m.

$$H3b = 0.50 \text{ m}$$

2.2.3. Cálculo de la profundidad de la bocana según ROM 3.1 – 99

Finalmente, se toman en cuenta los factores calculados anteriormente para el cálculo de la profundidad de la bocana, en función del Calato del Buque Tipo con un valor de 10.30 m:

$$h = H1 + H3$$

$$h = 1.5 * C + 1\% * \frac{200}{100} * C + 0.5 \text{ m}$$

$$h = 15.45 \text{ m} + 0.21 \text{ m} + 0.50 \text{ m} = \mathbf{16.16 \text{ m}}$$

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

$$h \geq 16.16 \text{ m} \approx 20 \text{ m}$$

Para mantener el análisis del lado de la seguridad, se considera la profundidad de la bocana como $h = 20\text{m}$. Sin embargo, debido a que la prolongación del dique se dará hacia mayores profundidades, se establece que la profundidad de la bocana será de 30 metros.

$$h = 30 \text{ m}$$



Capítulo 3 Fundamento teórico

Para obtener la información sobre la propagación del oleaje a realizar desde profundidades indefinidas hacia el pie de dique, será necesario estipular las siguientes simplificaciones e hipótesis:

- 1) Suponer que el periodo (T) se mantiene constante en la propagación de profundidades indefinidas a reducidas.
- 2) Se considera que el flujo de energía entre dos ortogonales es constante.
- 3) Se supone una batimetría sensiblemente rectilínea paralela a la costa.
- 4) Se considera que el avance de los frentes no es continuo y se produce de manera lenta.
- 5) El avance depende de la celeridad y únicamente es función de la profundidad.
- 6) No existe efectos secundarios como corrientes y mareas.

Una vez que estas premisas son consideradas en el análisis, se procede a calcular las fórmulas necesarias para la propagación hacia el pie de dique.

3.1. Refracción

Según la publicación “Ingeniería Marítima I”, elaborado por Luis Aragonés Pomares, Isabel López Úbeda, entre otros, la refracción del oleaje es un fenómeno similar al que ocurre en la óptica, cuando una onda atraviesa dos medios distintos.

En el caso del oleaje, la diferencia de medios viene caracterizada por las distintas profundidades; cuando el oleaje se aproxima a la costa y “toca fondo”, es decir, entra en una zona

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

de profundidad menor que la semilongitud de onda, las zonas del frente en posición menos profunda se asomeran y reducen su velocidad; ello causa un giro en el frente, que motiva que se tienda a colocar paralelamente a las isobaras.

Por definición, la distancia entre un frente de onda y el siguiente es igual a una longitud de onda. En aguas profundas, la longitud de onda permanece constante (L_0), por lo que los frentes están equiespaciados y paralelos entre sí. Sin embargo, una vez que se alcanza la zona de profundidades intermedias o someras, a medida que la profundidad decrece, lo hacen también la celeridad y la longitud de onda, en virtud de la relación de dispersión, por lo que los frentes se aproximan entre sí. Para tomar en cuenta los efectos de la refracción, se utilizan los coeficientes de refracción, que depende de la profundidad a la que estemos calculando la altura de ola, aplicado sobre la altura de ola significativa en aguas profundas.

Dichos coeficientes serán obtenidos a través de la Ley de Snell y el método de Goda.

A) LEY DE SNELL

$$K_r = \frac{\cos \alpha_0}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_0}{\text{cth}^2\left(\frac{2 * \pi * d}{L}\right)}}$$

α_0 (°): Ángulo que forma el frente de propagación con la batimetría en profundidades indefinidas.

d (m): Profundidad en relación con el fondo marino a la que se desea conocer los efectos de refracción.

B) GODA

Para obtener el valor de K_r según Goda, es necesario contar con:

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

- α_0 (°): Ángulo que forma el frente de propagación con la batimetría en profundidades indefinidas.
- h/L_0 : Profundidad en relación con el fondo marino en punto de análisis (pie de dique) dividida por la longitud de onda del frente de propagación considerado en profundidades indefinidas. Para esto, se sabe que:

$$L_0 = \frac{g * T_0^2}{2\pi}$$

En el caso de Goda, se proponen tres ábacos según el estado del mar: Sea (mar de viento), Swell con poco decay o Swell con gran decay (mar de fondo).

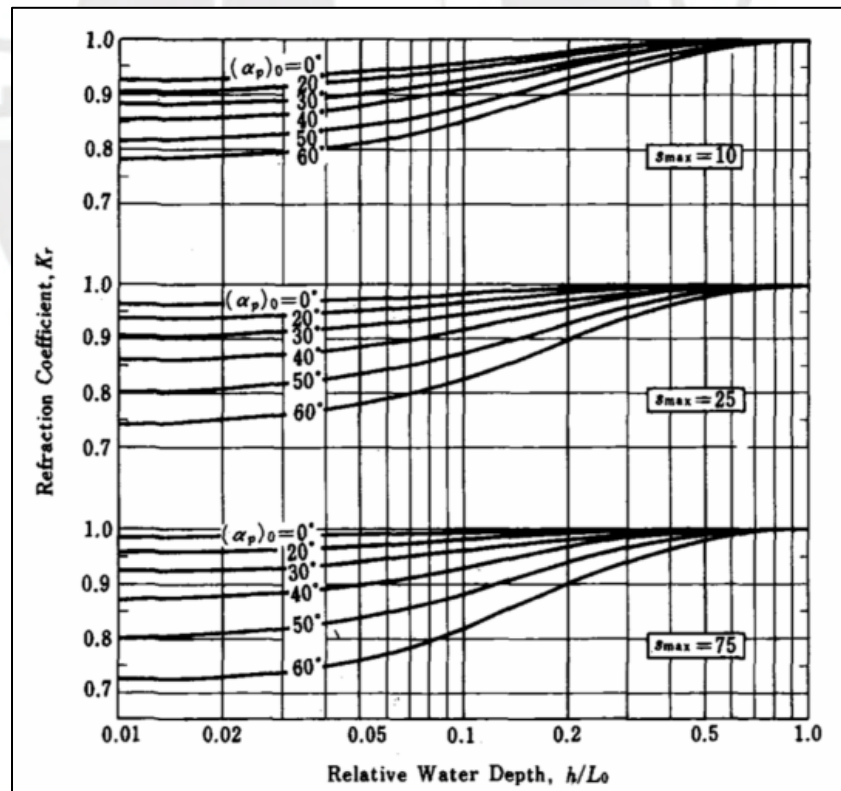


Figura 4C Ábaco de Goda para oleaje irregular.

3.2. Asomeramiento (Shoaling)

Según la publicación “Ingeniería Marítima I”, elaborado por Luis Aragonés Pomares, Isabel López Úbeda, entre otros, el asomeramiento es el fenómeno producido cuando un tren de ondas se propaga hacia profundidades menores haciendo disminuir su celeridad de onda, y, en consecuencia, la longitud de onda, variando su amplitud como consecuencia de la disminución de la velocidad de propagación de la energía.

El asomeramiento provoca una variación de la altura de ola en función de la profundidad, dependiendo de su efecto en el periodo del oleaje, por lo tanto, **provoca un aumento en la altura de ola y una disminución en la longitud de onda**, transformando su energía cinética en potencial.

Para tomar en cuenta los efectos del asomeramiento, se utilizan los coeficientes de asomeramiento o shoaling, que depende de la profundidad a la que estemos calculando la altura de ola, aplicado sobre la altura de ola significante en aguas profundas.

Dichos coeficientes serán obtenidos a través de las expresiones de BLUNT y SHUTTO.

A) BLUNT

$$K_s = \frac{1}{\sqrt{\left(1 + \frac{\frac{4 * \pi * h}{L}}{\sinh\left(\frac{4 * \pi * h}{L}\right)}\right) \cdot \tanh\left(\frac{2 * \pi * h}{L}\right)}}$$

B) SHUTTO:

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

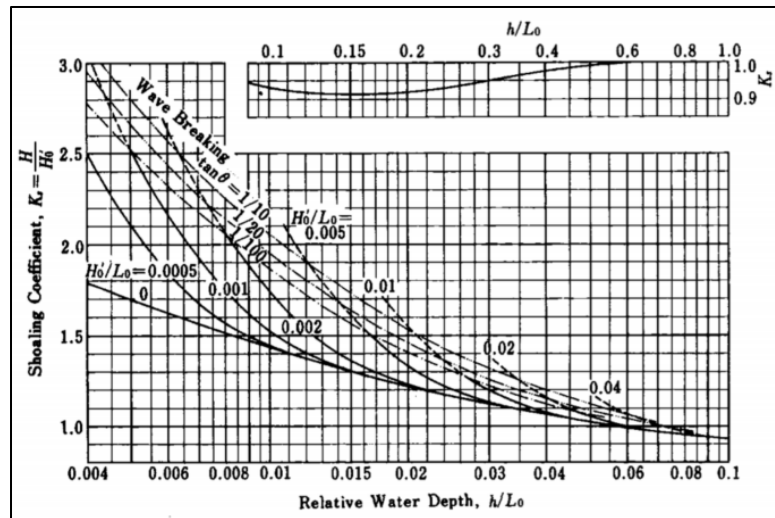


Figura 5C Ábaco de Shutto.

3.3. Ábaco asomeramiento y refracción (SPM)

El *Shore Protection Manual* propone una serie de gráficos para el cálculo del coeficiente de refracción o el valor conjunto del coeficiente de refracción y asomeramiento, válido para el caso de batimetría recta y paralela. Para el caso de análisis, se utilizará el ábaco que proporciona el valor conjunto del coeficiente de refracción y asomeramiento.

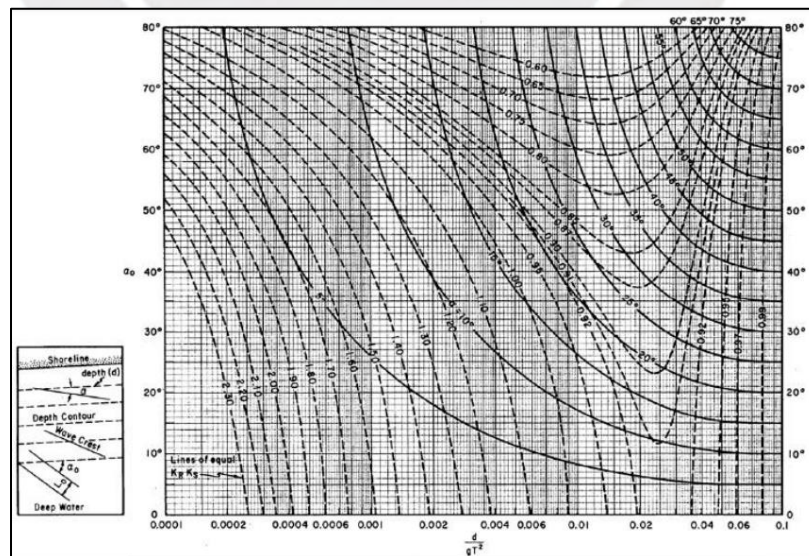


Figura 6C Coeficientes de asomeramiento y refracción (SPM, 1984)

Capítulo 4 Cálculos Previos

Para el cálculo de la altura de ola en los puntos objetivo se utilizará tres procedimientos:

- Cálculo de la altura de ola significativa en punto objetivo utilizando directamente el coeficiente de asomeramiento y refracción del *Shore Protection Manual*.
- Cálculo de la altura de ola significativa en punto objetivo utilizando los coeficientes de Goda y Shutto, y obteniendo un coeficiente productor de su multiplicación.
- Cálculo de la altura de ola significativa en punto objetivo utilizando los coeficientes de la ley de Snell y el ábaco de Shutto.

4.1. Cálculo mediante *Shore Protection Manual* (SPM)

Para realizar el cálculo de la altura de ola en el punto objetivo mediante este procedimiento, es necesario conocer la orientación de la batimetría a la profundidad de análisis. Esto se conseguirá mediante el cálculo previo de la longitud de onda y la ecuación correspondiente al paso de aguas de transición a profundidades indefinidas.

$$L_o = \frac{g \times T^2}{2\pi}$$

$$h = \frac{L_o}{2}$$

Del análisis realizado en el Anexo B: Clima marítimo en profundidades indefinidas, y el resumen de datos mostrados en el primer apartado del presente anexo, se sabe que:

BOYA	RED	Tr (años)	Hsb (m)	K α	Kr	Hso (m)	Tp (s)	Ts (s)
Las Palmas Este	Costera	475	6.14	1	0.77	7.97	12.95	12.30
Gran Canaria	Exterior	20	5.91	1	1	5.91	10.70	10.17

Tabla 2C Tabla resumen de datos de oleaje.

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

Por lo tanto, se realizará un primer análisis para el caso de Estado Límite Último, con un periodo de retorno de 475 años.

$$L_o = \frac{g \times T^2}{2 \times \pi} = \frac{9.81 * 12.30^2}{2 \times \pi} = 236.2 \text{ m}$$

$$h = \frac{L_o}{2} = \frac{236.2}{2} = 118.1 \text{ m}$$

Posteriormente, utilizando la información proporcionada por Navionics, se conocerá la orientación de la batimetría de la zona a esta profundidad, como se muestra en el gráfico presentado a continuación.

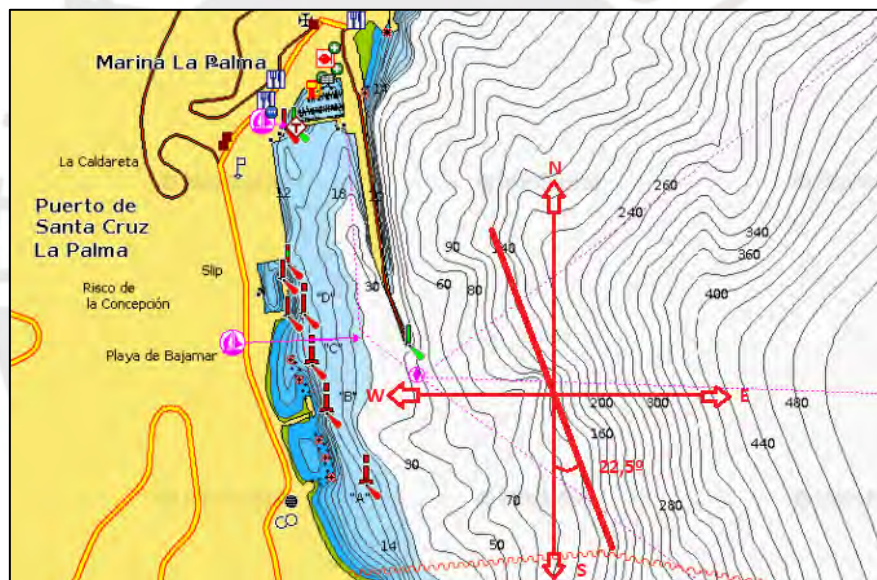


Figura 7C Orientación de la batimetría a 118.1 m de profundidad.

Por lo tanto, la dirección de la batimetría será de SE-NW, con el ángulo indicado en la imagen de 22.5° con respecto al sur.

Con esto, se tiene que la dirección de avance del oleaje hacia la batimetría en esta profundidad será la presentada en la siguiente tabla:

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

DIRECCIÓN	α_o (°)
NE	22.5
ENE	0
E	22.5
ESE	45

Tabla 3C Orientación del oleaje con respecto a la batimetría.

Posteriormente, se procede a realizar el análisis para cada estado (Estado Límite de Servicio y Estado Límite Último) según el periodo de retorno correspondiente.

A) PERIODO DE RETORNO DE 20 AÑOS

Tr (año)	20
Ts (s)	10.17
Hso (m)	5.91

Tabla 4C Datos de oleaje para periodo de retorno de 20 años.

Asimismo, el valor de la profundidad de análisis se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$h = \text{profundidad de bocana} + \text{carrera de marea} = 30 + 3 = 33 \text{ m}$$

Se calcula el valor de la constante como dato de entrada en la tabla:

$$\frac{h}{gT^2} = \frac{33}{9.81 \times 10.17^2} = 0.033$$

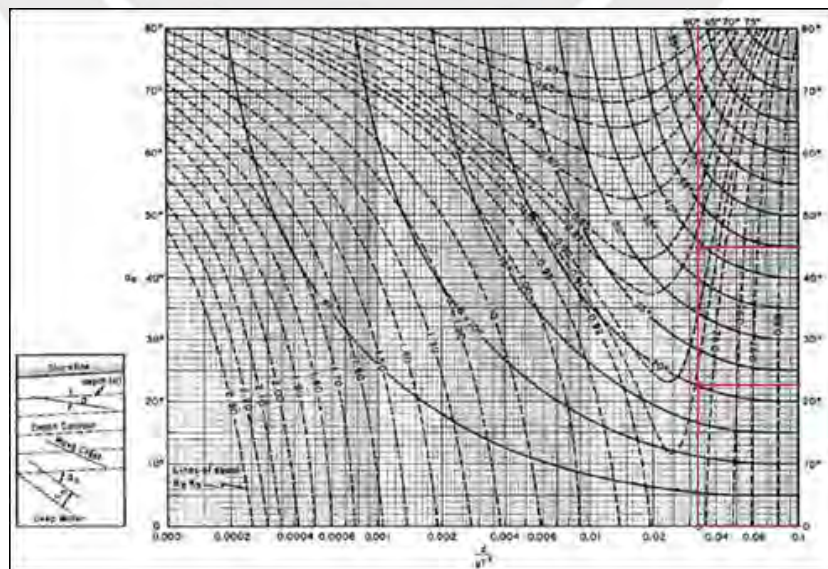


Figura 8C Ábaco SPM. Coeficientes para Tr de 20 años.

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

DIRECCIÓN	α_0 (°)	α_1 (°)	K_R	H_{so} (m)	H_{pd} (m)
NE	22.5	19	0.91	5.91	5.38
ENE	0	0	0.918	5.91	5.43
E	22.5	19	0.91	5.91	5.38
ESE	45	37	0.88	5.91	5.20

Tabla 5C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 20 años.

B) PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS

Tr (año)	475
Ts (s)	12.30
Hso (m)	7.97

Tabla 6C Datos de oleaje para periodo de retorno de 475 años.

Asimismo, el valor de la profundidad de análisis se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$h = \text{profundidad de bocana} + \text{carrera de marea} = 30 + 3 = 33 \text{ m}$$

Se calcula el valor de la constante como dato de entrada en la tabla:

$$\frac{h}{gT^2} = \frac{33}{9.81 \times 12.30^2} = 0.022$$

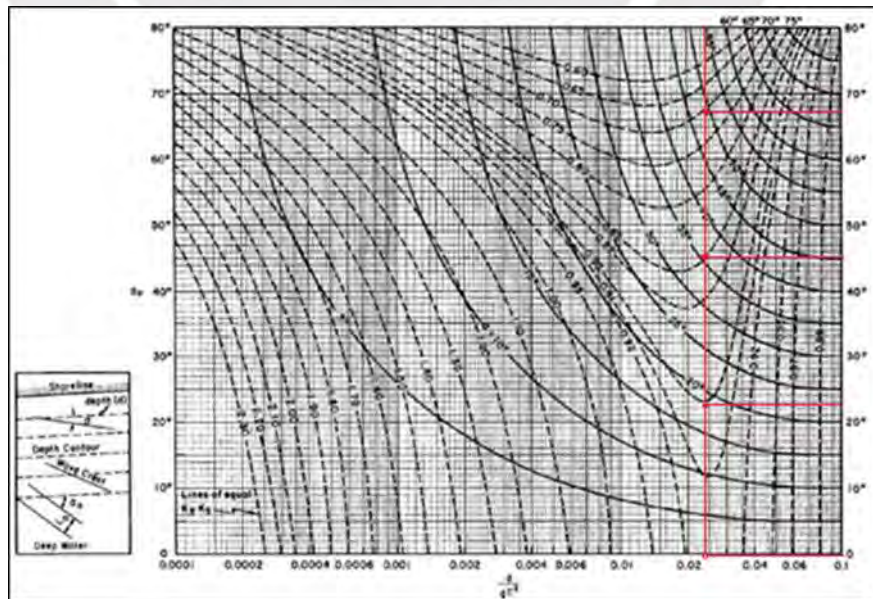


Figura 9C Ábaco SPM. Coeficientes para Tr de 475 años.

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

DIRECCIÓN	α_0 (°)	α_1 (°)	K_R	H_{so} (m)	H_{pd} (m)
NE	22.5	15	0.907	7.97	7.23
ENE	0	0	0.919	7.97	7.32
E	22.5	15	0.907	7.97	7.23
ESE	45	29	0.84	7.97	6.69

Tabla 7C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 475 años.

4.2. Cálculo mediante ábacos de Goda y Shutto

Para realizar el análisis con los ábacos de Goda y Shutto, es necesario determinar el tipo de oleaje presente en la zona. Esto puede ser determinado a partir del peralte, como se muestra a continuación.

- $\frac{H}{L}$ entre 0.018 y 0.025, entonces Tipo Swell with long decay distance ($S_{max} = 75$)
- $\frac{H}{L}$ entre 0.025 y 0.030, entonces Tipo Swell with short decay distance ($S_{max} = 25$)
- $\frac{H}{L}$ entre 0.030 y 0.040, entonces Tipo Wind waves ($S_{max} = 10$)

A partir de esta información, se puede continuar con el desarrollo y obtención de los coeficientes de refracción y shoaling para cada periodo de retorno.

A) PERIODO DE RETORNO DE 20 AÑOS

Tr (año)	20
Ts (s)	10.17
Hso (m)	5.91

Tabla 8C Datos de oleaje en profundidades indefinidas para periodo de retorno de 20 años

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

Con los datos asociados a un periodo de retorno de 20 años en profundidades indefinidas, calculamos los valores de las siguientes constantes, necesarias para la obtención de los coeficientes.

$$L_o = \frac{g\alpha T^2}{2\pi} = \frac{9.81 * 10.17^2}{2\pi} = 161.48 \text{ m}$$

$$\frac{H_{so}}{L_o} = \frac{5.91}{161.48} = 0.037$$

Por lo tanto, se tiene que el tipo de oleaje es Tipo Wind waves con S_{max} de 10. Asimismo, el valor de la profundidad de análisis se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$h = \text{profundidad de bocana} + \text{carrera de marea} = 30 + 3 = 33 \text{ m}$$

$$\frac{h}{L_o} = \frac{33}{161.48} = 0.204$$

Con esto, los valores obtenidos en el Ábaco de Goda y Shutto serán los mostrados en el gráfico y tabla presentado a continuación:

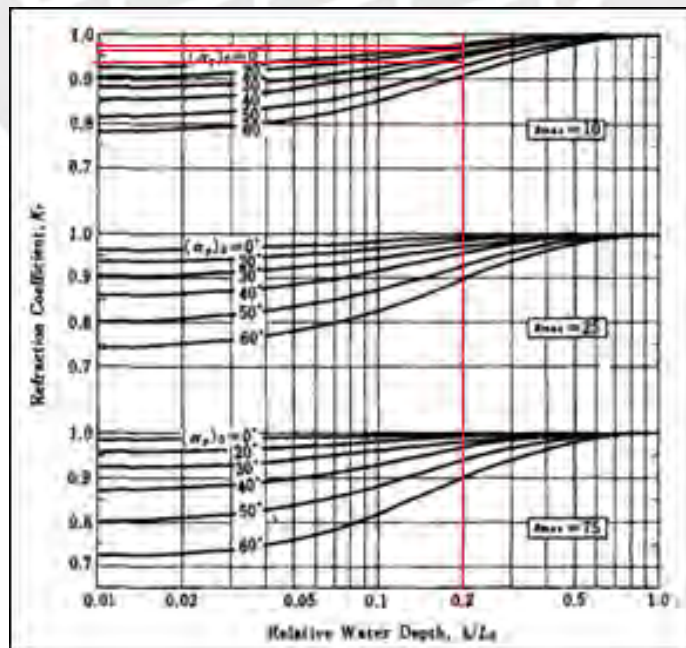


Figura 10C Ábaco de Goda para obtención de K_r

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

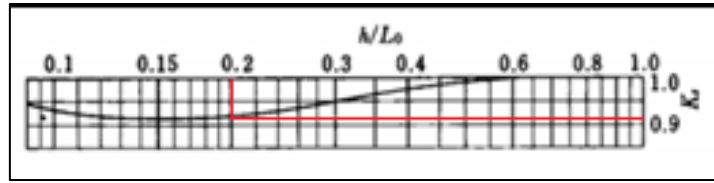


Figura 11C Ábaco de Shutto para obtención de K_s .

DIRECCIÓN	α_o (°)	K_r	K_s	H_{so} (m)	H_{pd} (m)
NE	22.5	0.97	0.92	5.91	5.27
ENE	0	0.98	0.92	5.91	5.33
E	22.5	0.97	0.92	5.91	5.27
ESE	45	0.95	0.92	5.91	5.17

Tabla 9C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 20 años

B) PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS

Tr (año)	475
Ts (s)	12.30
Hso (m)	7.97

Tabla 10C Datos de oleaje en profundidades indefinidas para periodo de retorno de 475 años

Con los datos asociados a un periodo de retorno de 475 años en profundidades indefinidas, calculamos los valores de las siguientes constantes, necesarias para la obtención de los coeficientes.

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9.81 * 12.30^2}{2\pi} = 236.21 \text{ m}$$

$$\frac{H_{so}}{L_o} = \frac{7.97}{236.21} = 0.034$$

Por lo tanto, se tiene que el tipo de oleaje es Tipo Wind waves con S_{max} de 10.

Asimismo, el valor de la profundidad de análisis se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$h = \text{profundidad de bocana} + \text{carrera de marea} = 30 + 3 = 33 \text{ m}$$

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

$$\frac{h}{L_0} = \frac{33}{236.21} = 0.14$$

Con esto, los valores obtenidos en el Ábaco de Goda y Shutto serán los mostrados en el gráfico y tabla presentado a continuación:

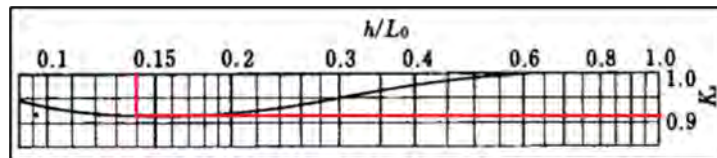


Figura 12C Ábaco de Shutto para obtención de K_s .

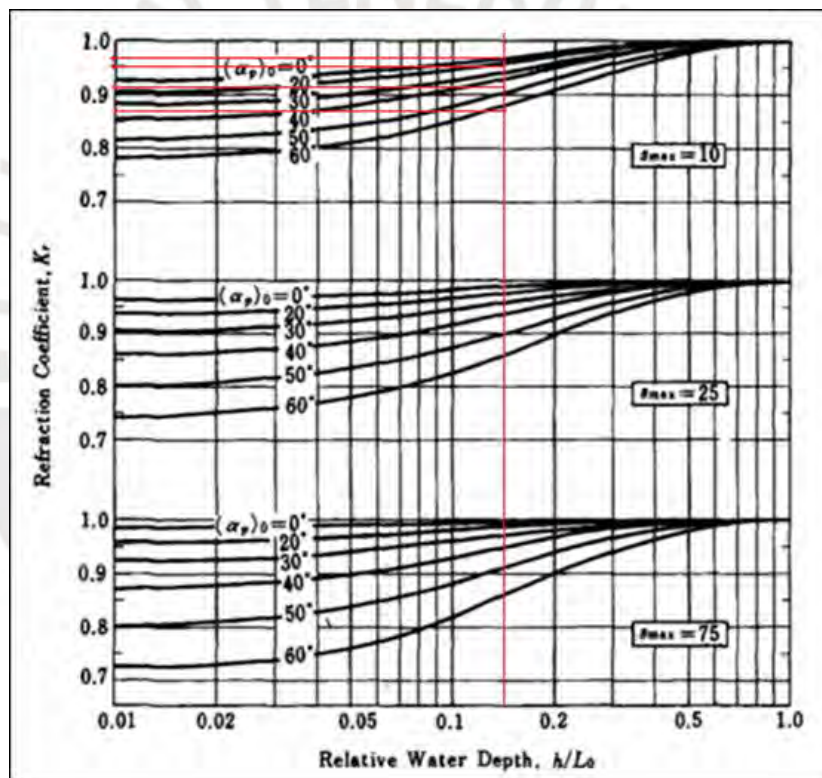


Figura 13C Ábaco de Goda para obtención de K_r .

DIRECCIÓN	α_0 (°)	K_r	K_s	H_{so} (m)	H_{pd} (m)
NE	22.5	0.95	0.91	7.97	6.89
ENE	0	0.97	0.91	7.97	7.04
E	22.5	0.95	0.91	7.97	6.89
ESE	45	0.91	0.91	7.97	6.60

Tabla 11C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 475 años.

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

4.3. Cálculo mediante ley de Snell y ábaco de Shutto

Para realizar el análisis mediante la ley de Snell, es necesario determinar la dirección de avance del oleaje hacia la batimetría en esta profundidad. Esto se presentó en la tabla 3 del presente anexo. Posteriormente, se aplica la ecuación correspondiente para cada dirección de avance de oleaje, con lo que se obtendrán los coeficientes de refracción.

LEY DE SNELL

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_o}{c t h^2 \left(\frac{2 * \pi * d}{L} \right)}}}}$$

A) PERIODO DE RETORNO DE 20 AÑOS

DIRECCIÓN	α_o (°)	K_r	K_s	H _{so} (m)	H _{pd} (m)
NE	22.5	0.98	0.92	5.91	5.30
ENE	0	1.00	0.92	5.91	5.41
E	22.5	0.98	0.92	5.91	5.30
ESE	45	0.90	0.92	5.91	4.88

Tabla 12C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 20 años.

B) PERIODO DE RETORNO DE 475 AÑOS

DIRECCIÓN	α_o (°)	K_r	K_s	H _{so} (m)	H _{pd} (m)
NE	22.5	0.98	0.910	7.97	7.10
ENE	0	1.00	0.910	7.97	7.25
E	22.5	0.98	0.910	7.97	7.10
ESE	45	0.90	0.910	7.97	6.55

Tabla 13C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 475 años.

Anexo C: Clima marítimo en puntos objetivo

Capítulo 5 Resumen de clima marítimo en punto objetivo

En síntesis, se presentan los resultados del cálculo de la altura de ola en el punto objetivo, es decir, en el morro del dique, para el caso más crítico, con el objetivo de mantener el análisis del lado de la seguridad.

En las siguientes tablas, se muestran los resultados obtenidos a partir del ábaco del *Shore Protection Manual (SPM)*.

5.1. Fase de construcción (Tr de 20 años)

DIRECCIÓN	α_0 (°)	α_1 (°)	K_R	H_{so} (m)	H_{pd} (m)
NE	22.5	19	0.91	5.91	5.38
ENE	0	0	0.918	5.91	5.43
E	22.5	19	0.91	5.91	5.38
ESE	45	37	0.88	5.91	5.20

Tabla 14C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 20 años.

5.2. Estado límite último (Tr de 475 años)

DIRECCIÓN	α_0 (°)	α_1 (°)	K_R	H_{so} (m)	H_{pd} (m)
NE	22.5	15	0.907	7.97	7.23
ENE	0	0	0.919	7.97	7.32
E	22.5	15	0.907	7.97	7.23
ESE	45	29	0.84	7.97	6.69

Tabla 15C Altura de ola a pie de dique para periodo de retorno de 475 años.

Con esto, se determina como altura a pie de dique la procedente de la dirección ENE con 7.35 m para un periodo de retorno de 475 años.

ANEXO D

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Victor Fernando Espinoza Vilcatoma

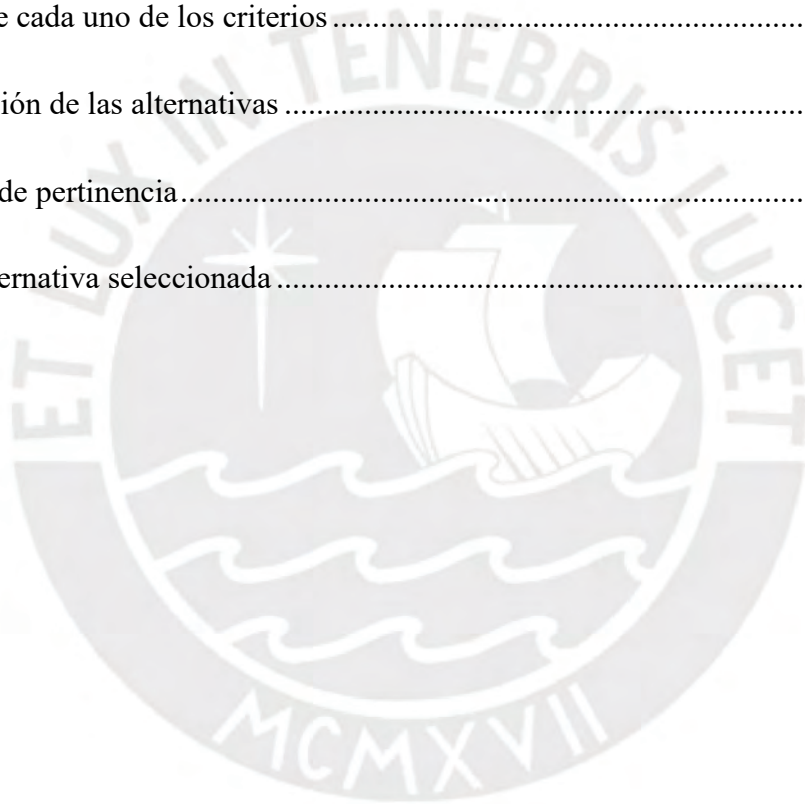


ÍNDICE

Capítulo 1	Objetivos del anexo.....	3
Capítulo 2	Alternativas planteadas	6
2.1.	Alternativas en sección	6
2.2.	Alternativas en planta	9
2.2.1.	Alternativa 1 en planta	10
2.2.2.	Alternativa 2 en planta	11
2.2.3.	Alternativa 3 en planta	12
Capítulo 3	Criterios de selección de alternativas.....	12
3.1.	Canteras.....	13
3.2.	Accesos e instalaciones.....	13
3.3.	Valoración económica	14
3.4.	Aspectos estructurales.....	14
3.5.	Funcionalidad.....	14
3.6.	Aspectos constructivos.....	15
3.7.	Aspectos ambientales.....	15
3.8.	Impacto social	16

Anexo D: Estudio de alternativas

3.9. Elasticidad de la solución.....	16
Capítulo 4 Matrices de análisis.....	17
4.1. Valoración de alternativas.....	17
4.2. Método Pattern.....	20
4.2.1. Representación de criterios como costes o beneficios	20
4.2.2. Pesos de cada uno de los criterios	21
4.2.3. Puntuación de las alternativas	22
4.2.4. Índices de pertinencia.....	23
Capítulo 5 Alternativa seleccionada.....	24



Capítulo 1 Objetivos del anexo

En el presente anexo, se pretende desarrollar el análisis de las alternativas existentes a la obra a proyectar, con el objetivo de evaluar de manera objetiva los distintos beneficios e inconvenientes de las soluciones, así como la selección de la alternativa óptima.

La información recopilada en los anexos previos presenta los estudios previos, bases de partida y criterios de diseño del proyecto. Con esto será posible presentar, analizar, comparar y seleccionar las alternativas de solución a la ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma.

Asimismo, en el presente anexo, se presentarán los criterios de evaluación, entre ellos estructurales, características funcionales, mejora en la operatividad del puerto, procedimientos constructivos, criterios sociológicos e impacto económico, y se determinará la solución que se alinea con los objetivos del estudio realizado. Será importante que la alternativa seleccionada atienda a criterios de sostenibilidad e integración con el medio ambiente, y que cumplan con todos los requisitos exigidos por la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife, leyes y normativas vigentes. Finalmente, será importante que lo realizado en el presente anexo tome como uno de sus objetivos principales brindar una solución eficiente al crecimiento sostenido del transporte de pasajeros en cruceros hacia la isla de La Palma.

A continuación, se presenta un análisis DAFO, compuesto por debilidad, amenazas, fortalezas y oportunidad, relacionado con la ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma. Esto permitirá identificar y valorar las alternativas presentadas, pues se alinea con el análisis previo realizado.

Anexo D: Estudio de alternativas

DEBILIDADES
La capacidad de ampliación es limitada, por las condiciones de maniobrabilidad
Las grandes profundidades que se alcanzan suponen a la vez una debilidad, por el coste que implican, y una oportunidad, por permitir la entrada de buques de mayor calado.
Provocará una tendencia al basculamiento de la playa de Bajamar
El aumento de tráfico de cruceros generará un incremento de contaminación atmosférica y tráfico en las cercanías del puerto
Generación de ruidos y tráfico en Santa Cruz
Complica ligeramente las maniobras de entrada y salida al puerto

Tabla 1 D DAFO de actuaciones en el dique de abrigo. Debilidades

AMENAZAS
El puerto de Tazacorte podría aspirar a competir en el tráfico de cruceros, por encontrarse más próximo a zonas de atracción natural

Tabla 2 D DAFO de actuaciones en el dique de abrigo. Amenazas

FORTALEZAS
Cuenta con la mejor red de comunicaciones de la Isla, así como con todas las infraestructuras de distribución y suministro
Las instalaciones están en general bien dimensionadas
Se encuentra cerca de los centros de negocio, incluso a pie, y bien comunicado con centros turísticos importantes, por carretera
Presenta el mejor clima marítimo del borde costero de la Isla
Se pueden conseguir calados importantes
Buena comunicación con el aeropuerto
Impacto visual muy reducido
Mejora de las condiciones interiores de agitación

Tabla 3 D DAFO de actuaciones en el dique de abrigo. Fortalezas

Anexo D: Estudio de alternativas

OPORTUNIDADES
Aumento del tráfico de cruceros en una localización próxima a los mayores centros de comercio de la Isla
Posibilidad de alcanzar calados grandes
En el futuro se podría ampliar el tráfico de cruceros aún más estudiando la disposición de un dique flotante paralelo al dique de abrigo

Tabla 4 D DAFO de actuaciones en el dique de abrigo. Oportunidades



Capítulo 2 Alternativas planteadas

En el presente apartado, se desarrollarán las distintas distribuciones posibles para llevar a cabo la ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma. Para esto, se analizará su distribución en planta y las secciones transversales asociadas. Posteriormente, se expondrán los criterios de evaluación, la evaluación de las alternativas y selección de la óptima.

2.1. Alternativas en sección

Para la presentación de las alternativas de sección, se analizan las opciones de dique en talud y dique vertical, buscando su idoneidad y adecuado acoplamiento al entorno y las necesidades del proyecto.

Los diques en talud se encuentran compuestos por un núcleo todo-uno y capas de elementos de tamaño creciente, además de capas de filtro. En la actualidad, los elementos que componen el manto exterior son, comúnmente, piezas de hormigón de distinta geometría, entre cubos, dolos o tetrapodos, que sustituyen a la escollera en caso de no encontrarse disponible por el tamaño que involucran. Asimismo, los diques en talud se caracterizan por resistir al oleaje al provocar su rotura.

Los diques verticales están formados por cajones de hormigón armado prefabricados y trasladados a su posición final en la zona de fondeo. Posteriormente, su estructura hueca es rellena con áridos para conseguir una estructura mucho más rígida. Entre sus ventajas se encuentran la necesidad de menor cantidad de material que los diques en talud. Sin embargo, entre sus desventajas se puede observar que concentran el peso en menores superficies, por lo que requieren un suelo más resistente para su colocación. Además, poseen un mayor coeficiente de reflexión de oleaje, lo que dificulta la navegación en las inmediaciones exteriores del dique.

Anexo D: Estudio de alternativas

En síntesis, se pueden presentar las ventajas del uso de diques verticales sobre los diques en talud, conociendo las condiciones del entorno.

- Reducción importante de la cantidad de material necesario proveniente de cantera, con lo que se involucra un menor impacto ambiental, disminución de afección al entorno durante el transporte, y ahorro de costes.
- Mayor velocidad de construcción tras una adecuada planificación, pues se reduce el tiempo al tener elementos prefabricados.
- Buen comportamiento frente al oleaje en fase de construcción
- Permite el atraque en el lado interior, característica fundamental para el proyecto a desarrollar en el puerto de Santa Cruz de La Palma.

Según las características del entorno, en la zona de proyecto se alcanzan profundidades entre 20 m y 30 m, con un avance hacia zonas más profundas. Asimismo, morfología de fondos, presentada en el *Geología y geotecnia*, muestra que se encuentran con fondos de roca, sedimentos no consolidados medio-gruesos y sedimentos no consolidados finos-medio. Además, existen la necesidad de atracar cruceros al interior del dique, por lo que la solución de dique vertical es óptima para la zona.

Finalmente, tras el análisis realizado en los apartados anteriores, se cuenta con información sobre la sección transversal necesaria para cubrir las necesidades del proyecto.

Anexo D: Estudio de alternativas

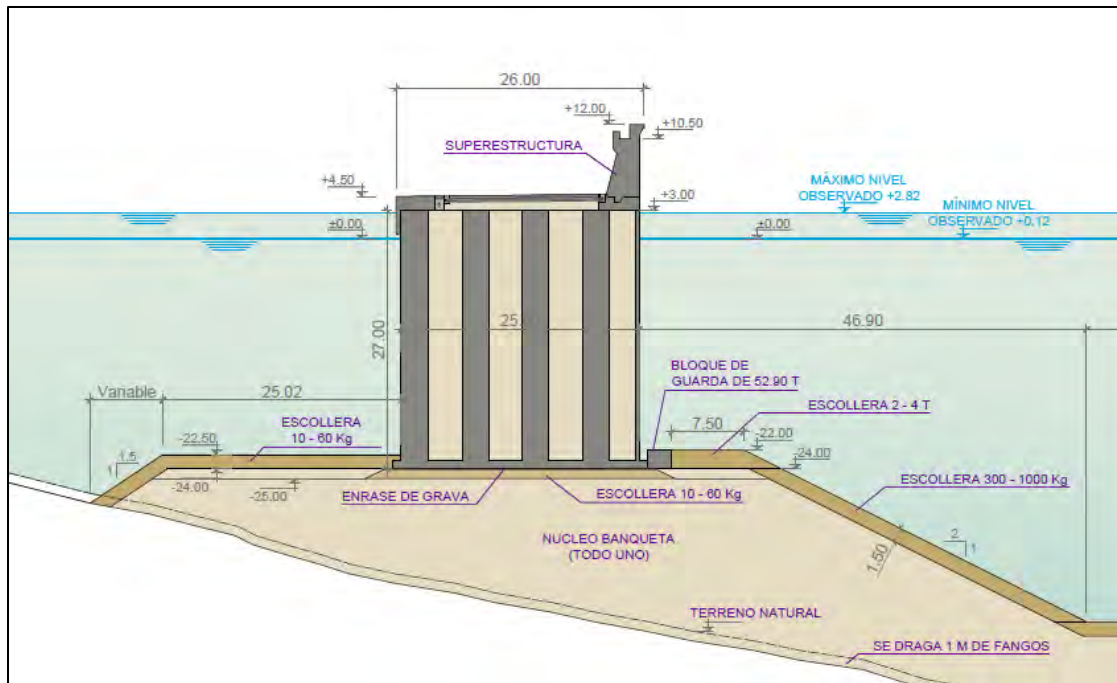


Figura 1D Sección tipo de ampliación del dique.

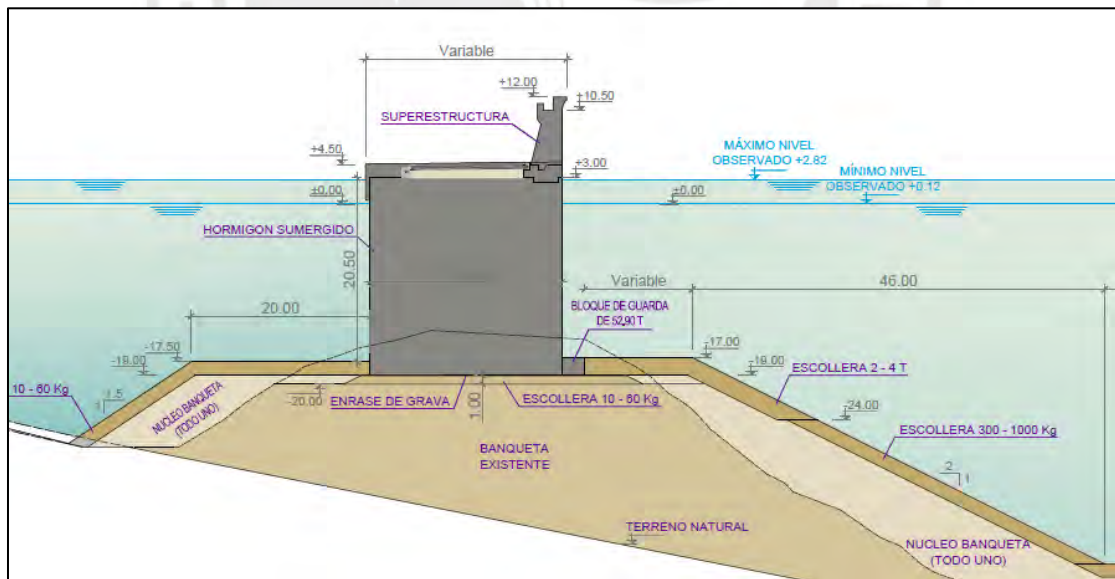


Figura 2D Sección en transición desde la tercera alineación hacia ampliación del dique.

Anexo D: Estudio de alternativas

2.2. Alternativas en planta

Las alternativas en planta se basan en la configuración necesaria para albergar el aumento de tráfico de cruceros en el puerto durante los últimos años y el aumento en la demanda previsto para los próximos años. Asimismo, el atraque de cruceros no previstos en zonas como el muelle polivalente o la primera alineación del dique de abrigo ha generado un descenso en el nivel de servicio y calidad.

Por lo tanto, es conveniente ampliar la tercera alineación del dique de abrigo, con objeto de atender a cruceros de grandes esloras (hasta 345 m), como se mencionó en los anexos anteriores al determinar el buque tipo.



Figura 3D Localización de las áreas funcionales actuales en el puerto.

2.2.1. Alternativa 1 en planta

Consiste en **la ampliación del dique de abrigo en 450 metros**, siguiendo la orientación, pero paralela a la tercera alineación. Esta alternativa presenta la ventaja de que se puede obtener mayor calado, lo que permite atender a embarcaciones de mayores dimensiones y carga.



Figura 4D Ampliación del dique de abrigo con la búsqueda de mayor calado.

2.2.2. Alternativa 2 en planta

Consiste en **la prolongación del dique de abrigo en 150 metros**, siguiendo la orientación y el trazado de la tercera alineación del dique actual. Esta prolongación presenta la ventaja de que se obtiene mayor calado y permite atender a embarcaciones de mayor eslora, con una menor prolongación y necesidad de recursos.



Figura 5D Prolongación del dique de abrigo en 150 metros para alternativa 2.

2.2.3. Alternativa 3 en planta

Consiste en la **ampliación del dique de abrigo en 450 metros** cambiando la orientación unos 30°, con lo que se obtiene un ancho de bocana de 370 metros. El objetivo de esta orientación es el cierre de la ensenada.



Figura 6D ampliación del dique de abrigo en 450 metros para alternativa 3.

Capítulo 3 Criterios de selección de alternativas

El presente apartado tiene como objetivo determinar los principales criterios de interés para realizar la comparación objetiva de las alternativas presentadas anteriormente y determinar la

Anexo D: Estudio de alternativas

más apropiada para el proyecto. Por lo tanto, será necesario caracterizar adecuadamente las alternativas para obtener una evaluación objetiva. Asimismo, en este apartado será fundamental determinar los criterios más relevantes alineados con los objetivos a alcanzar. Los puntos que se han considerado claves para escoger una alternativa son:

- Grandes calados, que implican la necesidad de grandes volúmenes de material para la construcción de la banquetta, que se incluye en la evaluación económica.
- Condiciones de maniobrabilidad, que se reducen especialmente en presencia de fenómenos meteorológicos adversos.
- Necesidad de longitud para un correcto servicio a cruceros con esloras máximas en torno a las 340 m que atienda a la demanda prevista durante los próximos años.

3.1. Canteras

Dentro de los criterios a evaluar, será necesario determinar la importancia del transporte de materiales de construcción, puesto que es un factor importante por analizar. Por ello, es fundamental contar con disponibilidad de materiales en las canteras aledañas.

Al utilizar cajones prefabricados en el proyecto, el transporte de materiales desde las canteras estará enfocado en los necesarios para la construcción de la banquetta. Asimismo, debido a que se ha considerado que la sección transversal del dique sea vertical, los materiales a emplear desde la cantera serán los mismo para las tres alternativas. Sin embargo, existirá una diferencia en la cantidad de viajes necesarios desde la cantera para cada alternativa, puesto que la longitud de estas es diferente e involucra mayor cantidad según cada caso.

3.2. Accesos e instalaciones

Para la realización del proyecto, será necesario determinar el área necesaria para la ubicación de instalaciones de distinto tipo durante la construcción, tales como central de

hormigonado, cajoneros, puntos de acopio, zonas de gestión de residuos, instalaciones de higiene, entre otras.

Según las alternativas planteadas, las instalaciones necesarias serán similares. Sin embargo, existirá diferencia según la longitud de la ampliación del dique.

3.3. Valoración económica

El presente criterio pretende tomar en consideración los costes asociados al desarrollo de cada alternativa planteada. Para esto, se ha realizado una valoración económica de cada caso, tomando en consideración el presupuesto de ejecución material.

Por otro lado, será necesario resaltar que el presupuesto de ejecución material es directamente proporcional al tamaño de la ampliación a desarrollar. Asimismo, obtendrá una mayor valoración aquella alternativa que involucre un menor impacto sobre el presupuesto público, ya que esto permitiría desarrollar otras infraestructuras y obtener mayor beneficio económico y social.

3.4. Aspectos estructurales

Los aspectos más importantes por analizar con respecto a criterios estructurales serán la estabilidad frente a sollicitaciones y durabilidad de la estructura en el largo plazo. Asimismo, será necesario determinar su impacto social en caso de fallo.

Para el presente análisis, se tiene solo una alternativa de sección, con lo que este criterio se valorará de la misma manera en cada caso.

3.5. Funcionalidad

La ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma tiene como objetivo atender a cruceros de mayor eslora en su tercera alineación, con el fin de mejorar la operatividad del puerto y atender al crecimiento de la demanda proyectado para los siguientes

Anexo D: Estudio de alternativas

años, por lo que este será un factor importante por analizar en este criterio. Asimismo, será necesario comparar factores como accesibilidad desde el exterior hacia el puerto, maniobrabilidad al interior y disposición de espacios suficiente para maniobras. Estos últimos se relacionan con la agitación interior y ancho de canales de navegación.

3.6. Aspectos constructivos

En la valoración de este criterio será importante tener en cuenta la dificultad de los procesos constructivos involucrados, la maquinaria necesaria para el desarrollo, y los plazos de ejecución de la obra en cada una de las alternativas. Estos podrán variar según la longitud de la ampliación a desarrollar y el diseño en planta.

3.7. Aspectos ambientales

El aspecto ambiental y la adecuada preservación de los espacios naturales cumplen una función importante en el desarrollo de la vida. Por ello, será importante analizar el impacto generado por cada una de las alternativas sobre los ecosistemas marinos. Para esto, se hará énfasis en aspectos fundamentales como el impacto en la flora y fauna, el volumen de material de extracción y la modificación e impacto paisajista.

Cada alternativa se desarrollará sobre zonas similares, debido a la alineación que siguen en la ampliación del dique. Sin embargo, aquellos que involucren una mayor profundidad en su actuación generará mayor impacto sobre la fauna piscícola y eliminación de mayor plataforma costera, que es un espacio importante para la alimentación y reproducción de las especies marinas.

Para valoración de este criterio, será importante que el desarrollo del proyecto se encuentre de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el Objetivo 14: Vida Submarina y el Objetivo 15: Vida de Ecosistemas Terrestres.

3.8. Impacto social

El impacto social de la obra se encuentra relacionado con la percepción por parte de la población sobre el desarrollo del proyecto, su nivel de participación y colaboración desde procesos iniciales de planificación, la participación de mano de obra local en la construcción de la infraestructura y, afección por ruido o desvíos durante la etapa de construcción, los mayores beneficios y oportunidades generadas como consecuencia de la ampliación del dique del Este.

Será importante notar que cada nivel de ampliación del dique de abrigo generará una determinada necesidad de mano de obra, que beneficiará a la población local. Asimismo, la idoneidad del proyecto y su adecuada operatividad brindará mayor crecimiento turístico, factor económico con mayor crecimiento durante los últimos años, en la zona de Santa Cruz de La Palma, localidad de ingreso hacia la isla de La Palma.

Para valoración de este criterio, será importante que el desarrollo del proyecto se encuentre de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, específicamente el Objetivo 8: Trabajo decente y Crecimiento económico y el Objetivo 9: Industria, Innovación e Infraestructura.

3.9. Elasticidad de la solución

Para este criterio, se evaluará la adecuación de las alternativas con el desarrollo de la ampliación del Puerto de Santa Cruz de La Palma, mediante el Plan Director de Infraestructura del puerto en mención.

Capítulo 4 Matrices de análisis

En el presente apartado, se valorará cada una de las alternativas presentadas anteriormente siguiendo los criterios detallados y de importancia para el desarrollo de la infraestructura. A continuación, se presentarán y aplicará el método Pattern, que será el desarrollado en el presente análisis para identificar la alternativa óptima.

Criterio	Descripción
A. Valoración económica	Presupuesto asociado a cada alternativa
B. Funcionalidad	Adecuada atención a demanda futura y agitación interior
C. Aspectos constructivos	Dificultad en etapa de construcción y plazo asociado
D. Aspectos ambientales	Impacto sobre flora y fauna, material extraído e impacto en paisaje
E. Impacto social	Beneficio social, generación de empleo y participación ciudadana
F. Elasticidad de la solución	Adecuación a Plan Director de Infraestructura del Puerto

Tabla 1K Criterios a analizar por el método Pattern.

4.1. Valoración de alternativas

- **Alternativa 1 en planta:**

La alternativa 1, ampliación del dique del Este 450 m, se caracterizará por:

- Contar con el presupuesto de ejecución material mayor entre las tres alternativas presentadas, debido a su mayor longitud y mayor uso de materiales. Asimismo, al ser la alternativa que busca mayor calado, las dimensiones de los cajones serán mayor, lo que se asocia a un mayor costo.
- Brindar una adecuada atención a la demanda futura, pues la ampliación permite el atraque de un crucero de gran eslora adicional a los tres que podrían atracar en las tres alienaciones existentes. Asimismo, no brindará un impacto considerable sobre la maniobrabilidad en el Puerto, pues el ancho de la bocana es de 540 metros.
- Se seguirá el mismo procedimiento constructivo que en las otras alternativas, con elementos prefabricados en el caso de cajones y materiales para el relleno de los

Anexo D: Estudio de alternativas

mismo. Sin embargo, se puede asociar un plazo de ejecución mayor debido al menor tamaño de la ampliación.

- D. Según el análisis realizado en el Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma, el impacto ambiental sobre la flora, fauna y paisaje no será considerable en ningún de las tres alternativas. Sin embargo, la mayor ampliación del dique asociará una mayor cantidad de material extraído del fondo marino, que sirve de hábitat para especies marinas.
- E. Se adecúa correctamente al Plan Director de la Infraestructura y un mayor tamaño podría suponer un mejor desempeño.

- **Alternativa 2 en planta:**

La alternativa 2, prolongación del dique del Este 150 m, se caracterizará por:

- A. Contar con el presupuesto de ejecución material menor entre las tres alternativas presentadas, debido a su longitud media y uso adecuado de materiales, pues corresponde a una prolongación de la alineación existente que permitirá atracar crucero de mayor eslora.
- B. Brindar una adecuada atención a la demanda futura, pues la prolongación permite el atraque de crucero de gran eslora. Asimismo, no brindará un impacto considerable sobre la maniobrabilidad en el Puerto, pues el ancho de la bocana será de 475 metros.
- C. Se seguirá el mismo procedimiento constructivo que en las otras alternativas, con elementos prefabricados en el caso de cajones y materiales para el relleno de los mismo. Sin embargo, se puede asociar un plazo de ejecución menor a la alternativa 1 debido al menor tamaño de la prolongación.

Anexo D: Estudio de alternativas

- D. Según el análisis realizado en el Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma, el impacto ambiental sobre la flora, fauna y paisaje no será considerable en ningún de las tres alternativas. Sin embargo, la menor prolongación del dique asociará una menor cantidad de material extraído del fondo marino, que sirve de hábitat para especies marinas.
- E. Se adecúa correctamente al Plan Director de la Infraestructura. Asimismo, se muestra como una alternativa idónea para cumplir con sus objetivos.

- **Alternativa 3 en planta:**

La alternativa 3, ampliación del dique del Este 200 m, con cambio de orientación hacia el interior se caracterizará por:

- A. Contar con el segundo presupuesto de ejecución material mayor entre las tres alternativas presentadas, debido a su mayor longitud y uso de materiales.
- B. Brindar una adecuada atención a la demanda futura, pues la prolongación permite el atraque de crucero de gran eslora. Asimismo, se encontraría preparado para atender a cruceros de mayor tamaño. Sin embargo, podría brindar un impacto considerable sobre la maniobrabilidad en el Puerto, pues el ancho de bocana disminuirá considerablemente. Además, debido a la orientación de la ampliación, se tendría que trabajar con calados menores, lo que sería algo perjudicial para los objetivos del proyecto.
- C. Se seguirá el mismo procedimiento constructivo que en las otras alternativas, con elementos prefabricados en el caso de cajones y materiales para el relleno de los

Anexo D: Estudio de alternativas

mismo. Sin embargo, se puede asociar un plazo de ejecución mayor a la alternativa 2 debido al mayor tamaño de la prolongación.

D. Según el análisis realizado en el Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santa Cruz de La Palma, el impacto ambiental sobre la flora, fauna y paisaje no será considerable en ningún de las tres alternativas. Sin embargo, la mayor prolongación del dique asociará una mayor cantidad de material extraído del fondo marino, que sirve de hábitat para especies marinas.

E. Se adecúa correctamente al Plan Director de la Infraestructura.

4.2. Método Pattern

El método Pattern es el método de evaluación multicriterio más frecuente dentro de esta familia debido a su fiabilidad y claridad de uso. Este método pertenece al grupo de métodos de agregación total.

Un método de agregación total se caracteriza por tener en cuenta el peso que le atribuye el decisor o decisores a los criterios de evaluación y las distintas valoraciones dadas por las partes.

En este método se introduce el concepto de pertinencia, que hace referencia a la medida relativa de contribución de una alternativa a la consecución de un objetivo. Además, se define al índice de pertinencia como la suma de la ponderación de cada criterio por el indicador correspondiente de cada alternativa. Si la suma de estos índices alcanza la unidad, entonces se cumple que representarán la probabilidad de alcanzar el objetivo trazado.

4.2.1. Representación de criterios como costes o beneficios

Para iniciar con la evaluación, es necesario determinar si los criterios identificados para el análisis se representan a través de costes o beneficios para alcanzar los objetivos del proyecto.

Anexo D: Estudio de alternativas

Por ejemplo, una mayor puntuación en funcionalidad de la infraestructura representa un mayor beneficio para alcanzar los objetivos del análisis. Sin embargo, una mayor valoración en los aspectos ambientales significará un mayor impacto sobre el medio ambiente, lo cual representa un coste mayor de la alternativa para alcanzar los objetivos trazados. Por lo tanto, se tendrá que:

Criterio	Beneficio /Coste
A. Valoración económica	Coste
B. Funcionalidad	Beneficio
C. Aspectos constructivos	Coste
D. Aspectos ambientales	Coste
E. Impacto social	Beneficio
F. Elasticidad de la solución	Beneficio

Tabla 2D Definición de criterios como beneficio o coste para el proyecto.

4.2.2. Pesos de cada uno de los criterios

Los pesos para cada uno de los criterios se asignarán en función de la importancia que el decisor o los decisores observen en cada uno de estos. Para este caso, se ha planteado lo siguiente.

Pesos					
A	B	C	D	E	F
10	9	5	8	7	5

Tabla 3D Pesos asignados a cada uno de los criterios del 1 al 10.

Sin embargo, será necesario que para el análisis mediante el método Pattern, se tenga normalizada la matriz con los pesos de los criterios. Esto se presenta en el siguiente cuadro, en función de lo que representa cada criterio en función de la suma total.

Pesos					
A	B	C	D	E	F
0.227	0.205	0.114	0.182	0.159	0.114

Tabla 4D Pesos normalizados asignados a cada uno de los criterios.

4.2.3. Puntuación de las alternativas

En este apartado, se puntuará la influencia de cada una de las alternativas en función de los criterios señalados. Es importante resaltar y considerar lo mencionado en el punto anterior sobre criterios que puntúan como costes o beneficios para el proyecto, lo cual será normalizado posteriormente.

Alternativas/Criterios	A	B	C	D	E	F
Alternativa 1	10	10	10	8	9	7
Alternativa 2	6	9	7	7	7	8
Alternativa 3	9	5	9	8	8	7

Tabla 5D Puntuación de cada alternativa según los criterios establecidos.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, aquellos criterios que significan costes para alcanzar los objetivos del proyecto se deben valorar de esa manera. Por ello, esos valores serán invertidos, mientras que los beneficios se mantienen.

Alternativas/Criterios	A	B	C	D	E	F
Alternativa 1	0.10	10	0.10	0.13	9	7
Alternativa 2	0.17	9	0.14	0.14	7	8
Alternativa 3	0.11	5	0.11	0.13	8	7

Tabla 6D Puntuación de cada alternativa según los criterios establecidos considerando costes o beneficios.

Posteriormente, los valores obtenidos deben ser normalizados, de manera que la suma de cada columna resulte en la unidad. Esto corresponde con la probabilidad de cada alternativa de alcanzar los objetivos del proyecto.

Matriz normalizada						
Alternativas/Criterios	A	B	C	D	E	F
Alternativa 1	0.26	0.42	0.28	0.32	0.38	0.32
Alternativa 2	0.44	0.38	0.40	0.36	0.29	0.36
Alternativa 3	0.29	0.21	0.31	0.32	0.33	0.32

Tabla 7D Matriz de valoración de alternativas normalizada.

4.2.4. Índices de pertinencia

Como se mencionó anteriormente, se define al índice de pertinencia como la suma de la ponderación de cada criterio por el indicador correspondiente de cada alternativa. Si la suma de estos índices alcanza la unidad, entonces se cumple que representarán la probabilidad de alcanzar el objetivo trazado.

$$IP_i = \sum C_j x P_z$$

Donde:

IP_i = Índice de Pertenencia de Alternativa i

C_j = Valoración del criterio j para la alternativa i

P_z = Peso del criterio z

Para el caso de análisis, se obtiene el índice de pertinencia para cada una de las alternativas siguiente el procedimiento mencionado. Con esto, se obtienen los siguientes valores, que sumados alcanzan la unidad. La alternativa seleccionada será la de mayor índice de pertinencia.

	IP
Alternativa 1	0.3312
Alternativa 2	0.3767
Alternativa 3	0.2922

Tabla 8D Índice de Pertenencia para cada alternativa.

Según esta valoración, se puede concluir que la Alternativa 2 es la seleccionada para el proyecto.

1	Alternativa 2
2	Alternativa 1
3	Alternativa 3

Tabla 9D Preferencia de alternativas presentadas.

Capítulo 5 Alternativa seleccionada

Finalmente, tras el detallado análisis realizado, se ha seleccionado a la Alternativa 2 como la que se desarrollará en el proyecto de ampliación del dique del Este en el Puerto de Santa Cruz de La Palma. **Esta alternativa se caracteriza por la prolongación, siguiendo el trazado de la tercera alineación actual, de 150 metros.**

La alternativa en mención cumple con los objetivos de brindar un correcto servicio a cruceros con esloras máximas en torno a los 340 metros, condiciones de maniobrabilidad adecuadas y un presupuesto inicial adecuado promedio entre las alternativas.

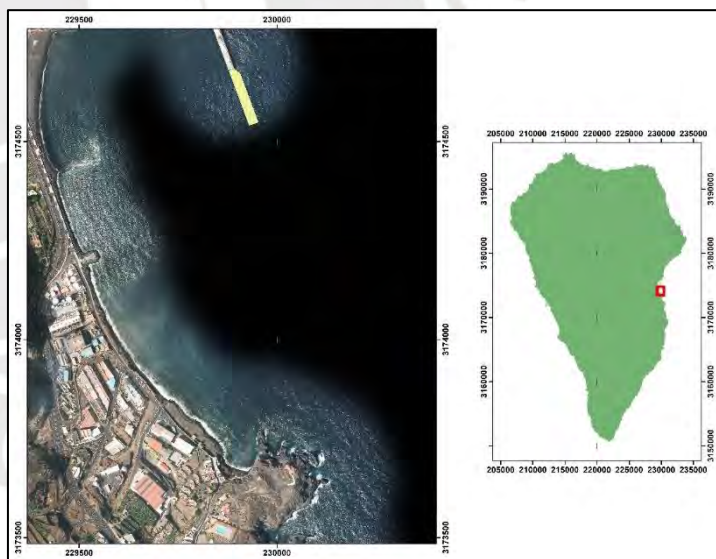
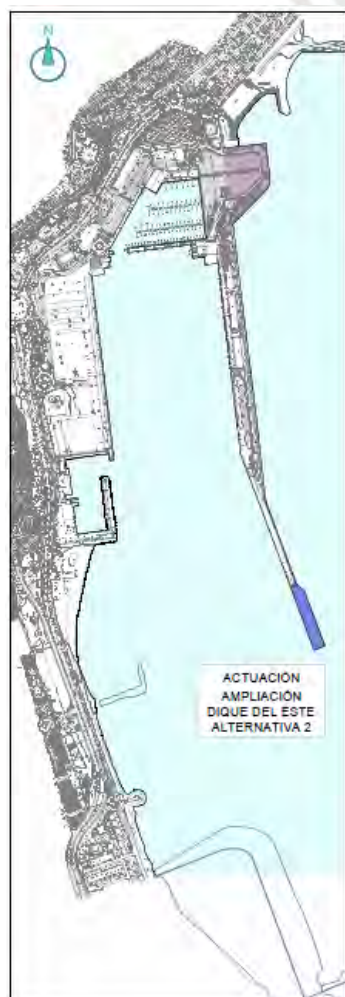


Figura 7D Alternativa seleccionada. Prolongación de 150 metros del dique.

Figura 8D Alternativa seleccionada.

Anexo D: Estudio de alternativas

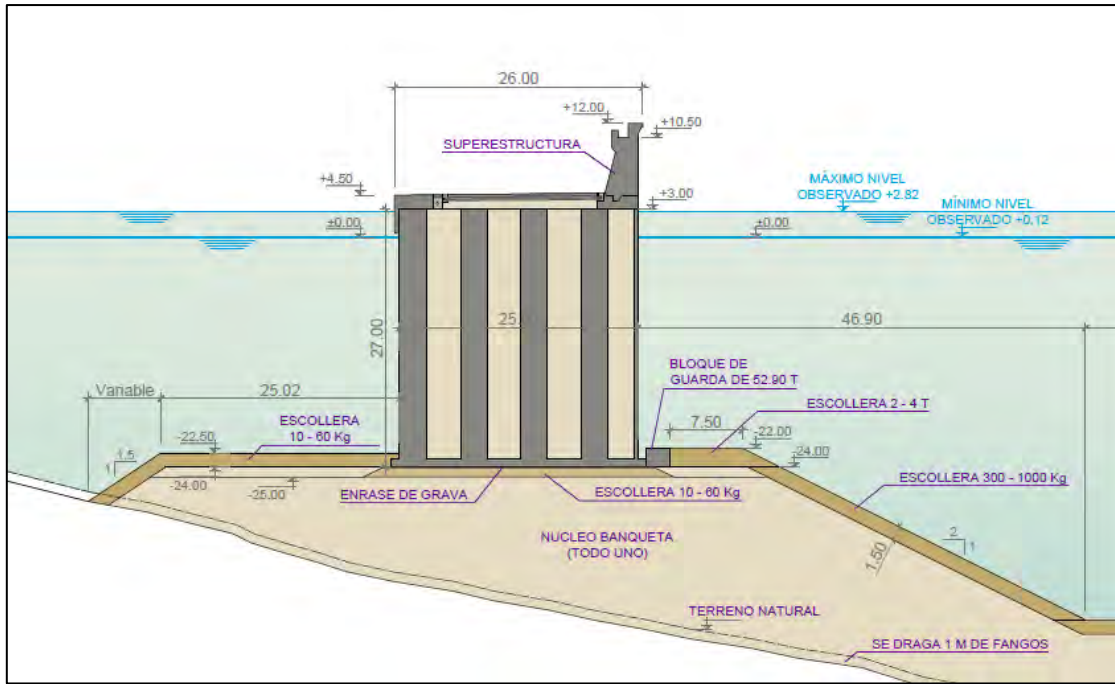


Figura 9D Sección tipo seleccionada de ampliación del dique.

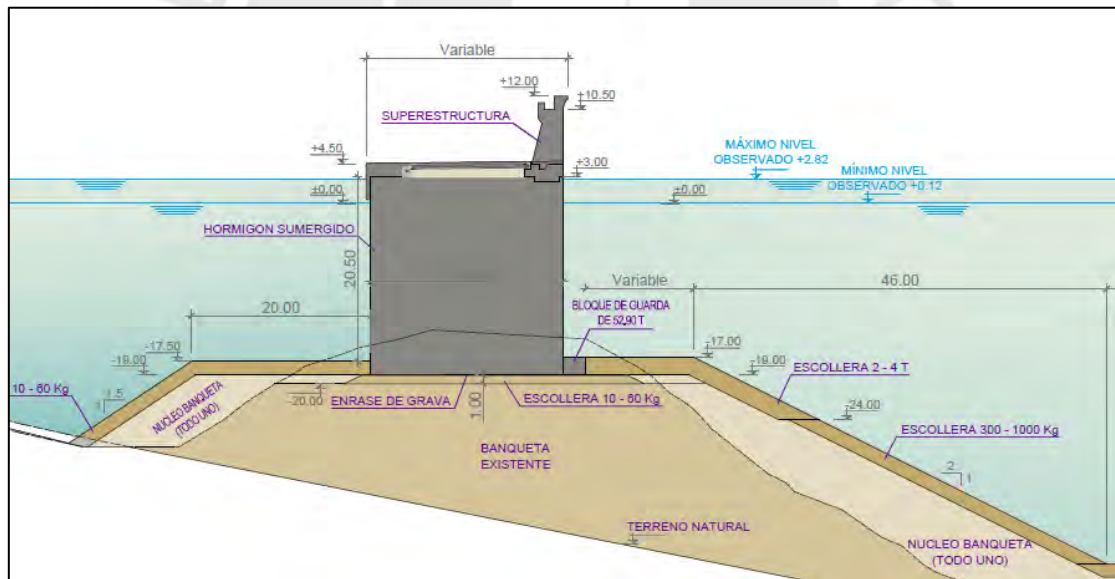


Figura 10D Sección en transición seleccionada desde la tercera alineación hacia ampliación del dique.

ANEXO E

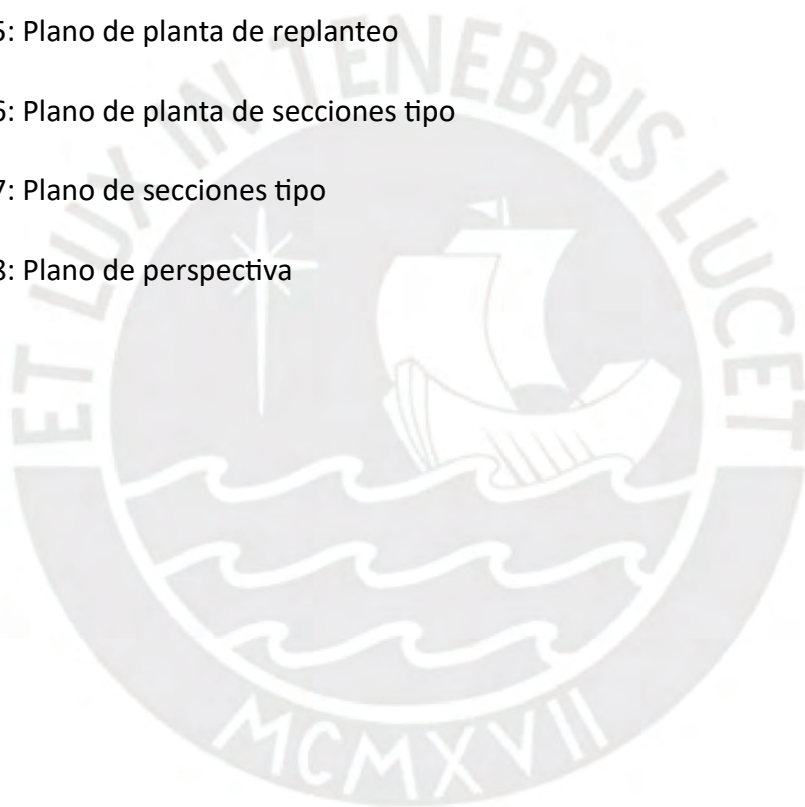
PLANOS DE PROYECTO

Victor Fernando Espinoza Vilcatoma



ÍNDICE

- Plano N°1: Plano de situación
- Plano N°2: Plano de batimetría y topografía
- Plano N°3: Plano de estado actual en planta
- Plano N°4: Plano de planta general de estado futuro
- Plano N°5: Plano de planta de replanteo
- Plano N°6: Plano de planta de secciones tipo
- Plano N°7: Plano de secciones tipo
- Plano N°8: Plano de perspectiva





ISLAS CANARIAS



ISLA DE LA PALMA



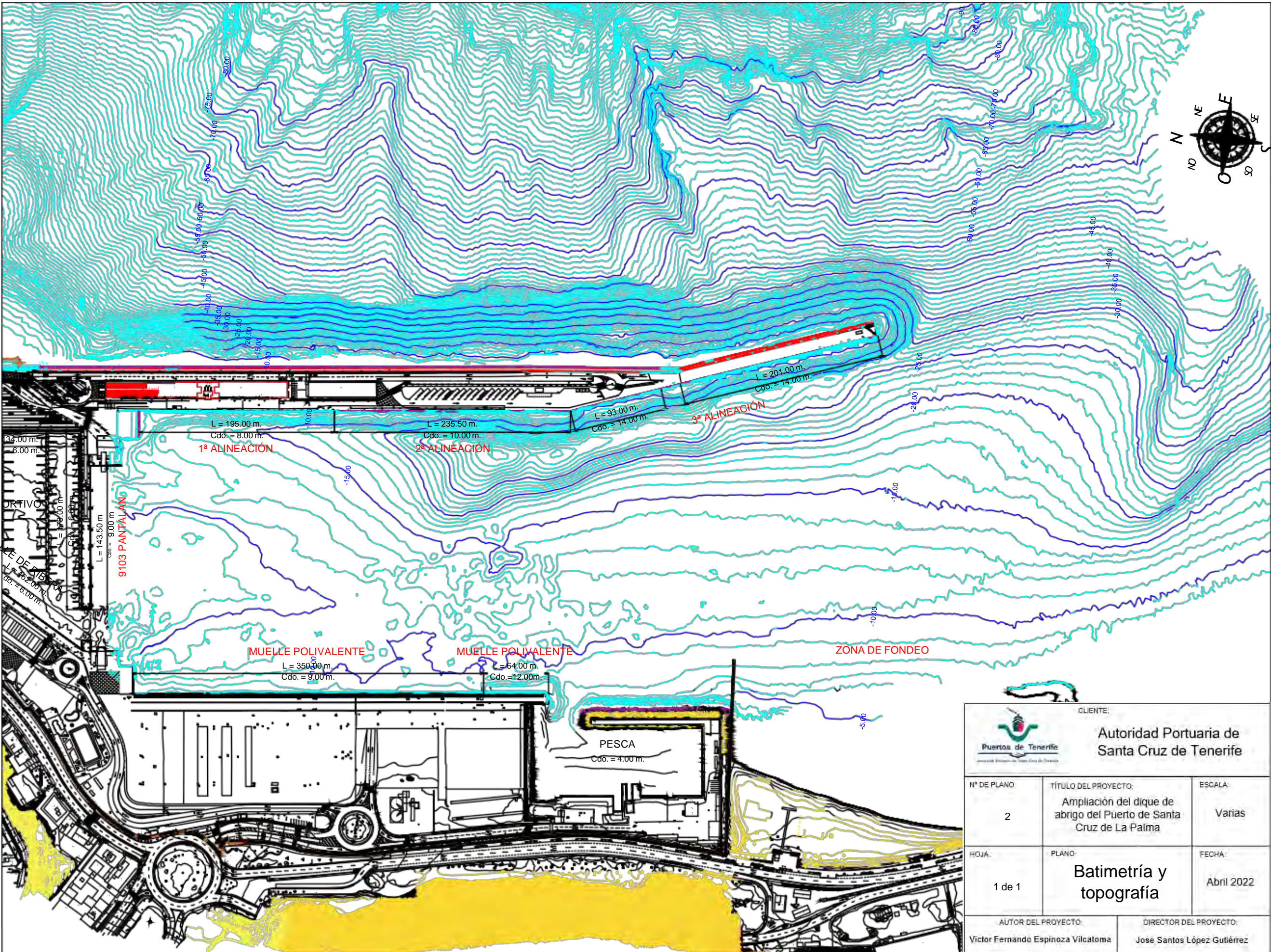
UBICACIÓN DEL PUERTO DE SANTA CRUZ DE LA PALMA



PUERTO DE SANTA CRUZ DE LA PALMA



			CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife
Nº DE PLANO: 1	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: Varias	
HOJA: 1 de 1	PLANO: Situación	FECHA: Abril 2022	
AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: Jose Santos López Gutiérrez	



34.00 m.
6.00 m.
ORTIVO
E DE B
L = 102.00 m.
00 = 6.00 m.
L = 143.50 m
Cdo. = 9.00 m
L = 130.00 m
L = 130.00 m
L = 130.00 m

9103 PANTALAN

L = 195.00 m.
Cdo. = 8.00 m.
1ª ALINEACIÓN

L = 235.50 m.
Cdo. = 10.00 m.
2ª ALINEACIÓN

L = 93.00 m.
Cdo. = 14.00 m.

L = 201.00 m.
Cdo. = 14.00 m.
3ª ALINEACIÓN

MUELLE POLIVALENTE
L = 350.00 m.
Cdo. = 9.00 m.

MUELLE POLIVALENTE
L = 64.00 m.
Cdo. = 12.00 m.

ZONA DE FONDEO

PESCA
Cdo. = 4.00 m.

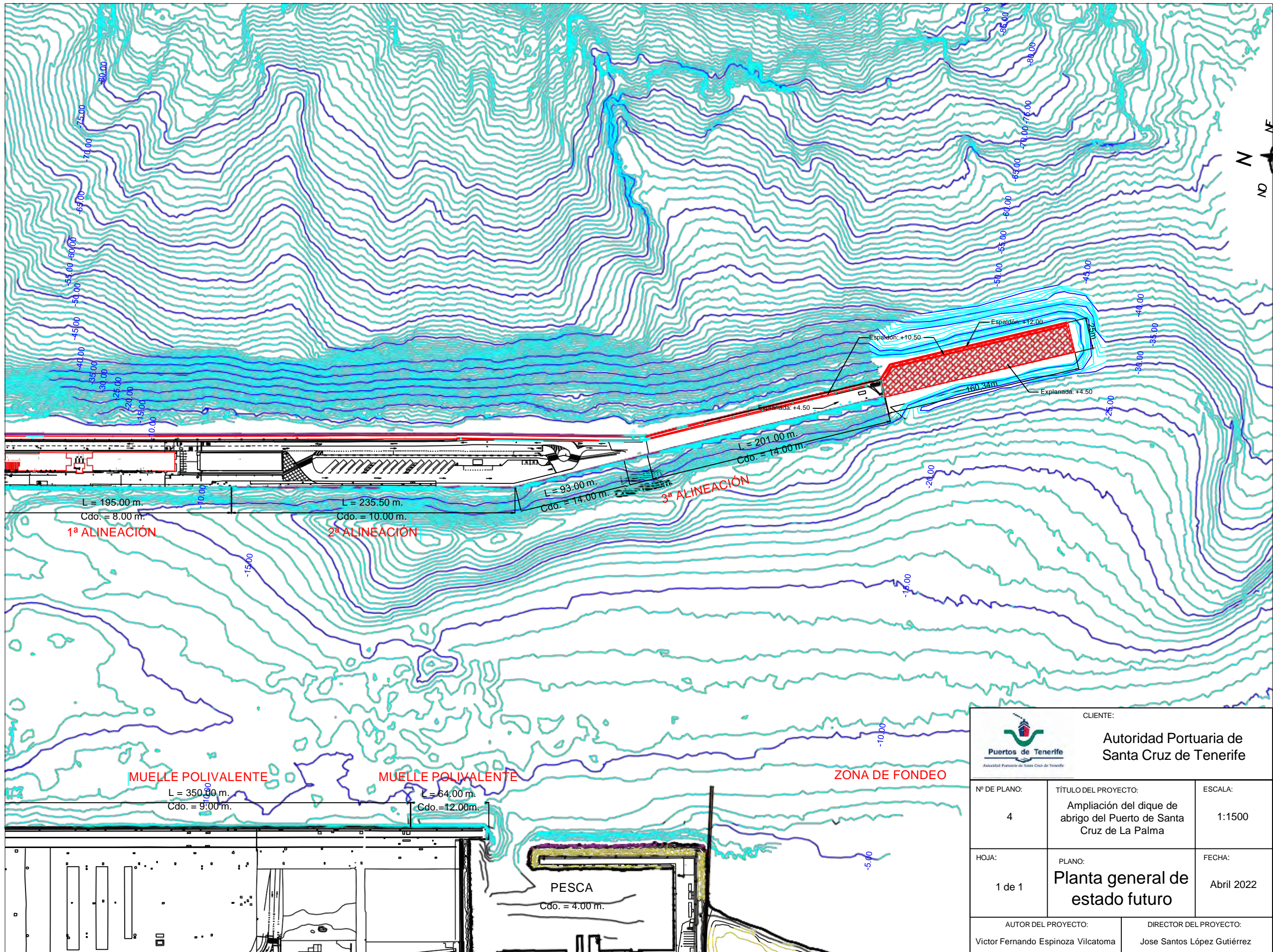
 CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife		
Nº DE PLANO: 2	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: Varias
HOJA: 1 de 1	PLANO: Batimetría y topografía	FECHA: Abril 2022
AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: José Santos López Gutiérrez



LEYENDA

1. Dársena pesquera
 2. Industrial - logística
 3. Muelle polivalente
 4. Recreativo - deportivo
 5. Muelle de Ribera
 6. Zona norte – conexión puerto – ciudad
 7. Equipamiento náutico
 8. Dique del Este
- Límite de zona portuaria
- Desafectación

		CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife
Nº DE PLANO: 3	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: Varias
HOJA: 1 de 1	PLANO: Estado actual en planta	FECHA: Abril 2022
AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: José Santos López Gutiérrez



L = 195.00 m.
Cdo. = 8.00 m.
1ª ALINEACIÓN

L = 235.50 m.
Cdo. = 10.00 m.
2ª ALINEACIÓN

L = 93.00 m.
Cdo. = 14.00 m.
3ª ALINEACIÓN

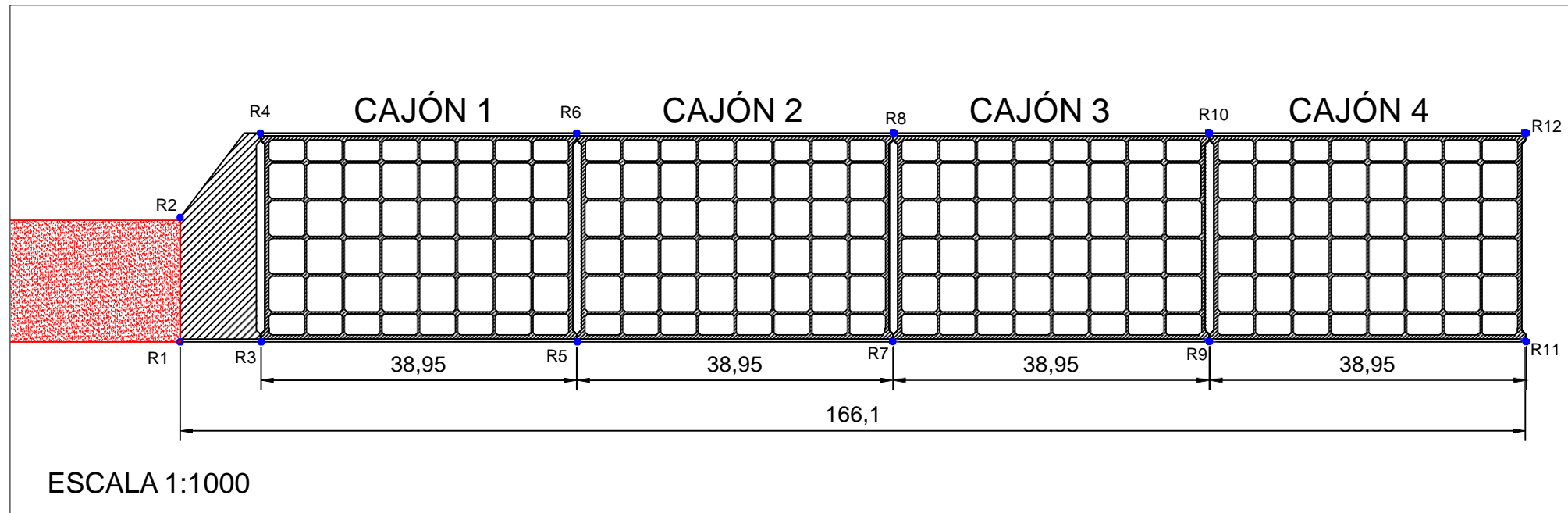
L = 350.00 m.
Cdo. = 9.00 m.
MUELLE POLIVALENTE

L = 64.00 m.
Cdo. = 12.00 m.
MUELLE POLIVALENTE

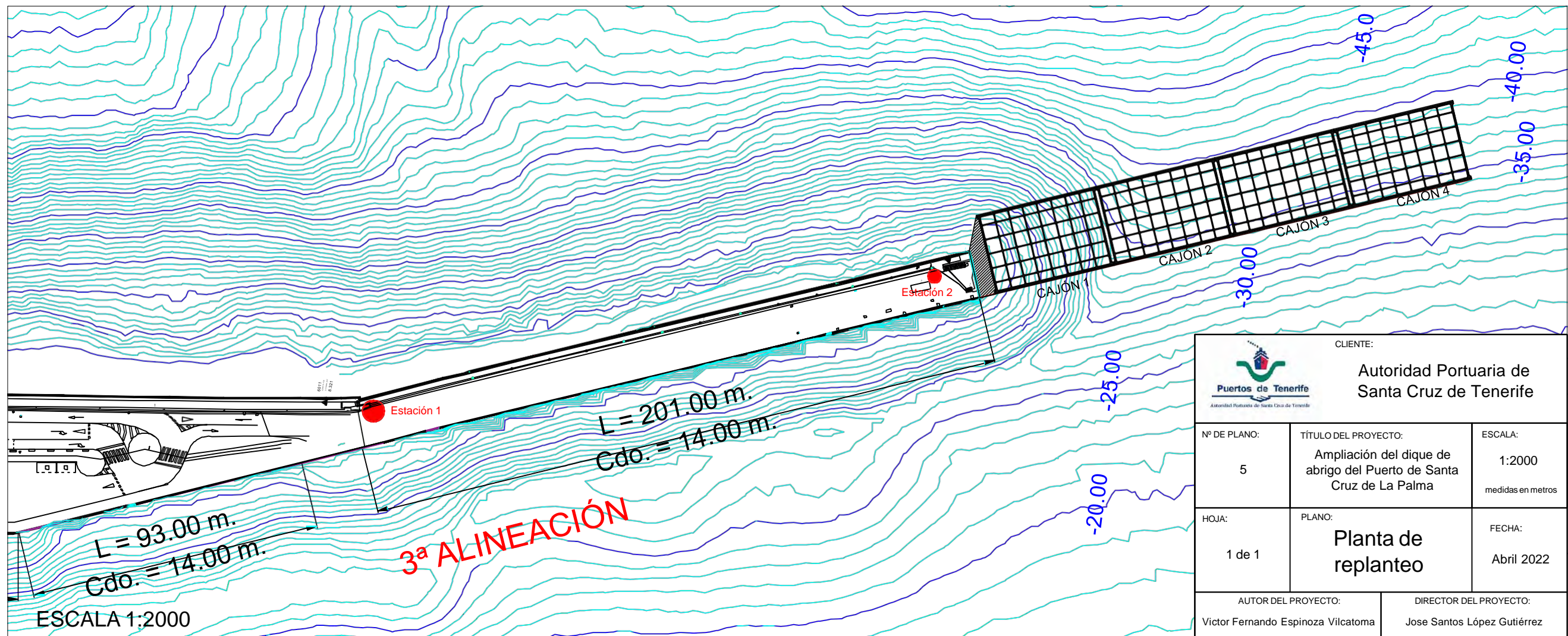
PESCA
Cdo. = 4.00 m.

ZONA DE FONDEO

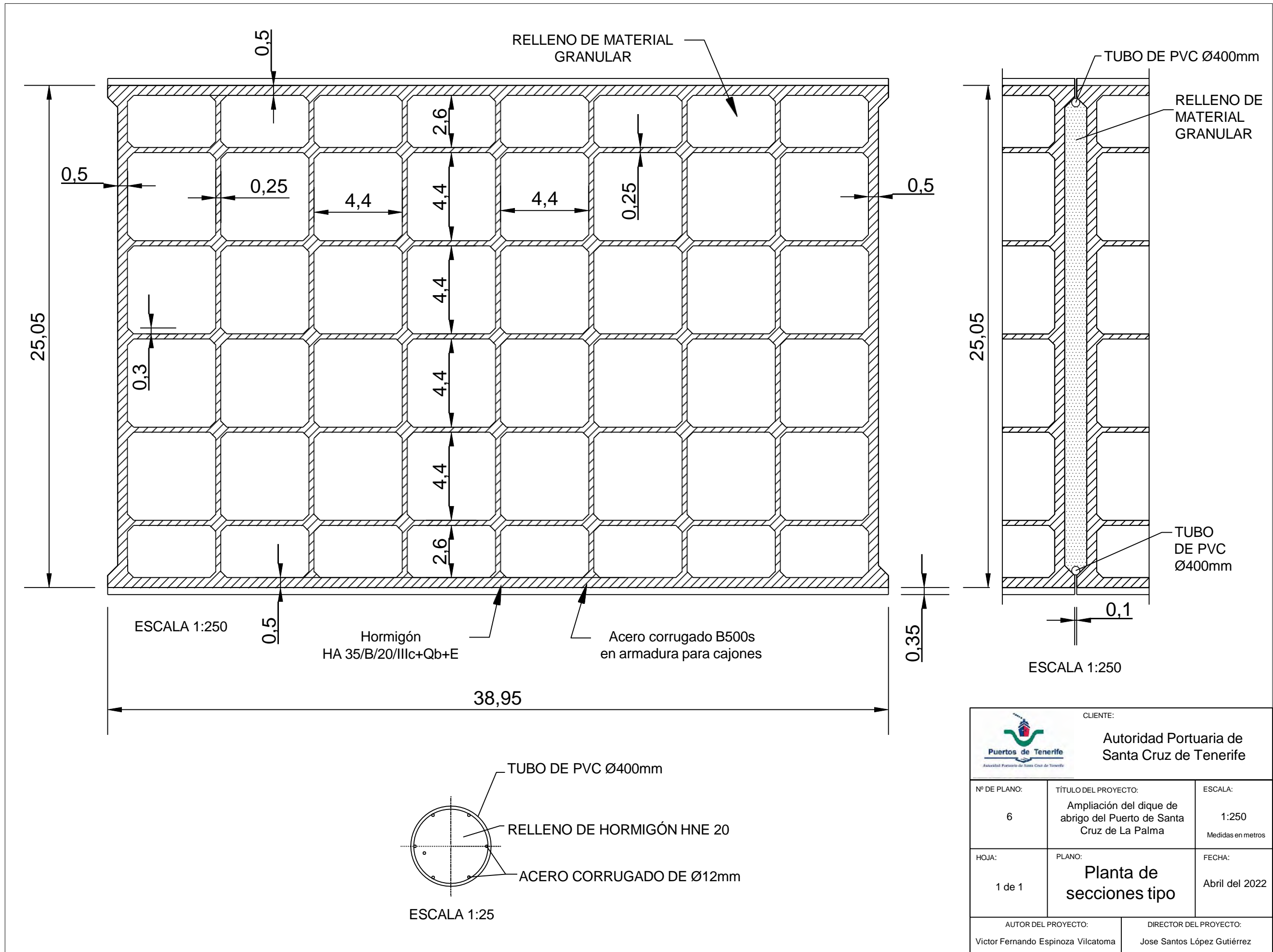
 <p>CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife</p>		
<p>Nº DE PLANO: 4</p>	<p>TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma</p>	<p>ESCALA: 1:1500</p>
<p>HOJA: 1 de 1</p>	<p>PLANO: Planta general de estado futuro</p>	<p>FECHA: Abril 2022</p>
<p>AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma</p>		<p>DIRECTOR DEL PROYECTO: Jose Santos López Gutiérrez</p>



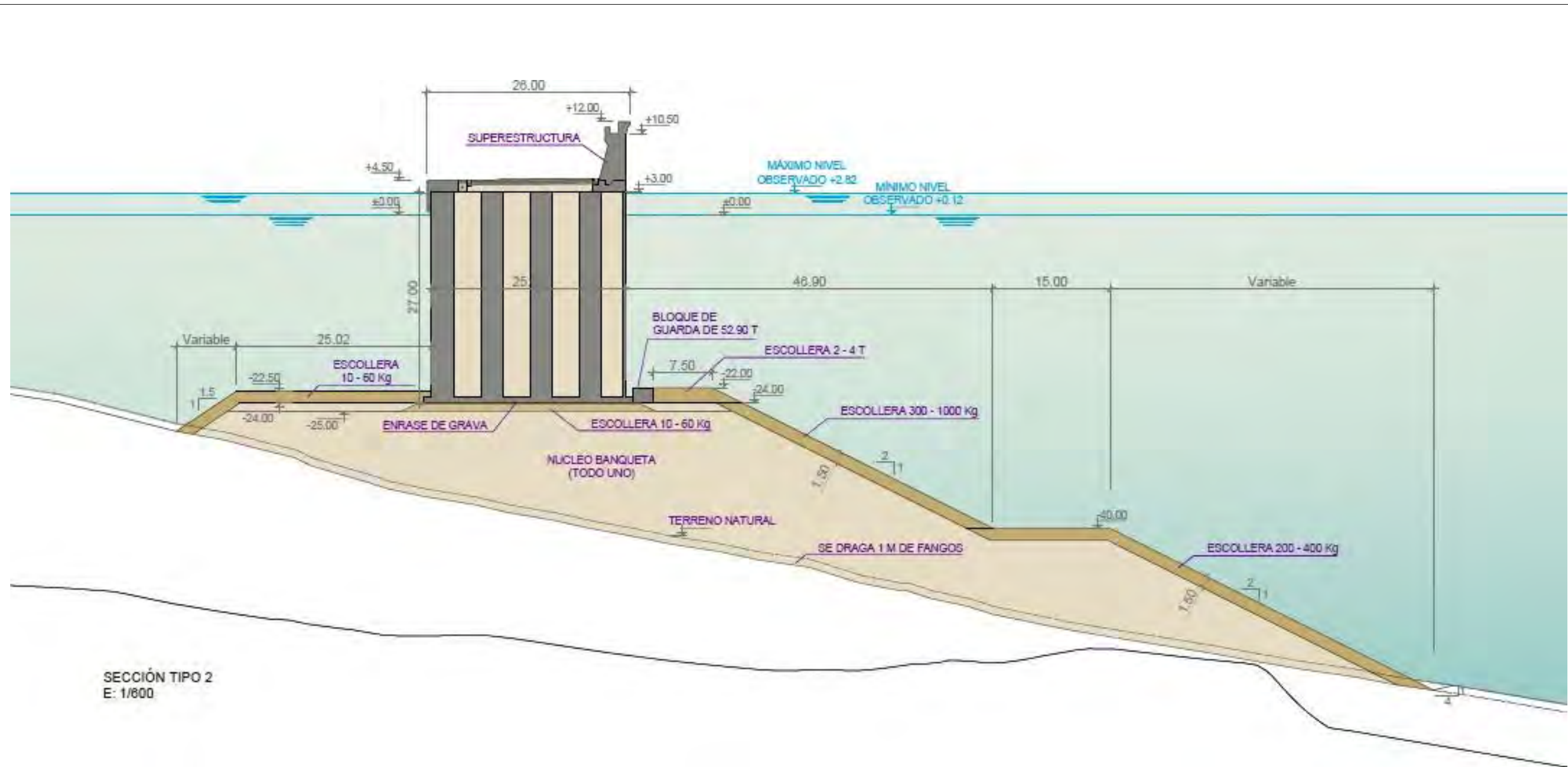
PUNTO DE REPLANTEO	UTM		CALADO	COTA MUELLE
	ESTE	NORTE		
R1	229892.7	3174675.7	-17.50	+ 4.50
R2	229919.9	3174675.1	-17.50	+ 4.50/+ 12.00
R3	229892	3174644.9	-22.50	+ 4.50
R4	229919.9	3174675.1	-22.50	+ 4.50/+ 12.00
R5	229918.5	3174613.5	-22.50	+ 4.50
R6	229919.2	3174644.3	-22.50	+ 4.50/+ 12.00
R7	229917.8	3174582.7	-22.50	+ 4.50
R8	230027.1	3174611	-22.50	+ 4.50/+ 12.00
R9	229944.2	3174551.3	-22.50	+ 4.50
R10	229971.4	3174550.6	-22.50	+ 4.50/+ 12.00
R11	229943.5	3174520.5	-22.50	+ 4.50
R12	229997.8	3174519.2	-22.50	+ 4.50/+ 12.00



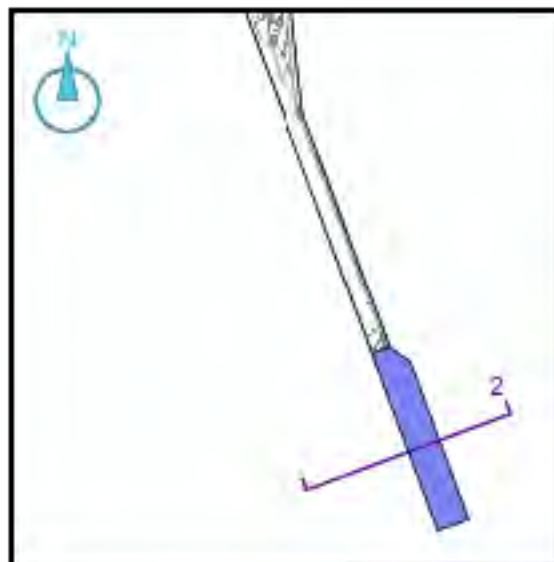
 CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife		
Nº DE PLANO: 5	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: 1:2000 medidas en metros
HOJA: 1 de 1	PLANO: Planta de replanteo	FECHA: Abril 2022
AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: Jose Santos López Gutiérrez



 CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife		
Nº DE PLANO: 6	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: 1:250 Medidas en metros
HOJA: 1 de 1	PLANO: Planta de secciones tipo	FECHA: Abril del 2022
AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: Jose Santos López Gutiérrez



SECCIÓN TIPO 2
E: 1/800



TRONCO DE
DIQUE VERTICAL

 CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife		
Nº DE PLANO: 7	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: 1:600
HOJA: 2 de 2	PLANO: Secciones tipo	FECHA: Abril del 2022
AUTOR DEL PROYECTO: Victor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: Jose Santos López Gutiérrez



		CLIENTE: Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife
Nº DE PLANO: 8	TÍTULO DEL PROYECTO: Ampliación del dique de abrigo del Puerto de Santa Cruz de La Palma	ESCALA: Varias
HOJA: 2 de 2	PLANO: Plano de perspectiva	FECHA: Abril 2022
AUTOR DEL PROYECTO: Víctor Fernando Espinoza Vilcatoma		DIRECTOR DEL PROYECTO: José Santos López Gutiérrez