



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**DISEÑO DE OBRA COSTERA PARA LA OPTIMIZACIÓN
DE BOTADURA DE LOS ASTILLEROS Y MAESTRANZAS
DE LA ARMADA EN VALPARAÍSO, CHILE.**

Bicett Aracely Díaz Gómez

Diciembre 2018

DISEÑO DE OBRA COSTERA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE BOTADURA DE
LOS ASTILLEROS Y MAESTRANZAS DE LA ARMADA EN VALPARAÍSO,
CHILE.

Bicett Aracely Díaz Gómez

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

Rodrigo Sazo Fernández
Profesor guía

Mauricio Molina Pereira
Revisor

Jorge Rojas Alcaíno
Revisor

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Bicett Díaz Gómez
Alumno Memorista

Rodrigo Sazo Fernández
Profesor Guía

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a todas las personas que me acompañaron en este arduo proceso. En especial a mis padres, que me han apoyado en todo lo necesario para que logre cada una de mis metas. A mi pareja Manuel Vásquez por incentivarme día a día a terminar esta etapa, por su amor infinito y complementar mi vida. Y a mi hermana Marlene Díaz, por cada sonrisa y pelea compartida, por sus consejos y locuras que han forjado en mí grandes enseñanzas.

A mi profesor guía Rodrigo Sazo Fernández quien me motivó incondicionalmente en el desarrollo de este proyecto de título, transmitiéndome sus diversos conocimientos constantemente. Además, a los profesores Mauricio Molina y Jorge Rojas, por su buena voluntad para aclarar dudas que aparecían en el transcurso de la elaboración de esta memoria.

Gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	GENERAL	3
2.2	ESPECÍFICOS	3
3	ALCANCES Y LIMITACIONES	4
4	MARCO TEÓRICO	5
4.1	MEDIO.....	5
4.1.1	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO	5
4.1.2	ANÁLISIS DE CLIMA MEDIO Y EXTREMO	10
4.2	EMBARCACIONES	13
4.3	DISEÑO.....	15
4.3.1	BASES DE DISEÑO	15
4.3.2	TIPOLOGÍAS DE OBRA COSTERA.....	16
4.3.3	CARGAS INVOLUCRADAS	19
4.3.4	ANÁLISIS ESTÁTICO SISMICO Y SU DEFORMACIÓN	30
5	METODOLOGÍA.....	32
6	RESULTADOS	35
6.1	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO	35
6.1.1	BATIMETRÍA.....	35
6.1.2	VIENTO.....	36
6.1.3	MAREA.....	38
6.1.4	OLEAJE.....	40
6.1.5	CORRIENTES.....	47
6.2	CARACTERIZACIÓN DE EMBARCACIONES.....	49
7	DISEÑO.....	50
7.1	BASES DE DISEÑO	50
7.2	CONDICIONANTES DE DISEÑO.....	50
7.3	TIPOLOGÍAS DE OBRA COSTERA.....	51
7.3.1	MURO DE CONTENCIÓN.....	52
7.3.1	RAMPA.....	58
8	PRESUPUESTO Y ESTRUCTURAS SELECCIONADAS.....	62
9	CONCLUSIONES	64
10	RECOMENDACIONES	66
11	REFERENCIAS.....	67
	ANEXO A.....	70
	ANEXO B.....	81
	ANEXO C	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Fotografía Astillero Las Habas en 1958	1
Figura 1.2: Rampa frente a ASMAR Valparaíso.....	2
Figura 1.3: Ubicación ASMAR Valparaíso y Molo de Abrigo	2
Figura 4.1: Método para identificar valores extremos.....	11
Figura 4.2: Factores que inciden en la definición del calado en la línea de atraque	13
Figura 4.3: Mínima extensión del calado de atraque	14
Figura 4.4: Presiones generadas por el oleaje en muro vertical.....	24
Figura 4.5: Fuerza de Oleaje sobre un pilote.	25
Figura 5.1: Mapa conceptual de la metodología empleada en el proyecto.	34
Figura 6.1: Grilla batimétrica.	35
Figura 6.2: Rosa de viento	36
Figura 6.3: Distribución de Gumbel y bandas de confianza para el viento	37
Figura 6.4: Amplitud de constituyentes armónicas.	38
Figura 6.5: Marea astronómica y meteorológica	39
Figura 6.6: Distribución de Gumbel y bandas de confianza para marea meteorológica ...	40
Figura 6.7: Rosas de oleaje altura-dirección y periodo-dirección, en aguas profundas. ...	41
Figura 6.8: Distribución de Weibull $k = 1.4$ y bandas de confianza para oleaje en aguas profundas.....	42
Figura 6.9: Malla y anidados.	43
Figura 6.10: Propagación SO y periodo 13 [s].....	44
Figura 6.11: Gráfico coeficientes de agitación	44
Figura 6.12: Gráfico coeficientes de dirección	45
Figura 6.13: Rosas de oleaje altura-dirección y periodo-dirección, en el sitio de interés. .	46
Figura 6.14: Distribución de Gumbel y bandas de confianza para oleaje en el sitio de interés.	47
Figura 6.15: Dirección de corrientes en la bahía de Valparaíso en Pleamar y Bajamar. ...	48
Figura 7.1: Diseño en planta.	52
Figura 7.2: Dimensiones (en milímetros) grúa modelo <i>TEREX A/C 60 Mk</i>	54
Figura 7.3: Plano perfil muro cantiléver.....	56
Figura 7.4: Plano perfil muro gravitacional.	57
Figura 7.5: Distribución de cargas verticales en la rampa	58
Figura 7.6: Plano perfil rampa A) Opaca y B) Transparente.....	60
Figura 7.7: Plano frente rampa A) Opaca y B) Transparente.	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1: Distribución de probabilidad.	11
Tabla 4.2: Formulación simplificada para la estimación del calado de atraque.	14
Tabla 4.3: Vida útil mínima para obras o instalaciones de carácter definitivo.	15
Tabla 4.4: Riesgo máximo admisible.	15
Tabla 4.5: Límites generales de sobrepaso admisible detrás de la obra.	17
Tabla 4.6: Coeficientes de rozamiento.	28
Tabla 4.7: Cargas de amarre para embarcaciones de hasta 2000 [t].	28
Tabla 4.8: Cargas sobre varaderos de halado longitudinal en función del desplazamiento máximo de buque del proyecto, para carros rígidos.	29
Tabla 4.9: Valores del coeficiente I.	30
Tabla 4.10: Valores de aceleración efectiva.	30
Tabla 6.1: Cartas náuticas.	35
Tabla 6.2: Tabla de incidencia dirección – velocidad de viento.	36
Tabla 6.3: Clima extremo de viento.	37
Tabla 6.4: Clima extremo marea meteorológica.	40
Tabla 6.5: Tabla de incidencia periodo – altura en aguas profundas.	41
Tabla 6.6: Clima extremo en aguas profundas.	42
Tabla 6.7: Tabla de incidencia altura – dirección en el sitio de interés.	46
Tabla 6.8: Clima extremo de oleaje en el sitio de interés.	47
Tabla 6.9: Influencia del transporte trasversal.	48
Tabla 6.10: Características de embarcaciones.	49
Tabla 7.1: Bases de diseño.	50
Tabla 7.2: Resumen condicionantes de diseño.	50
Tabla 7.3: Parámetros de diseño del suelo de fundación y relleno.	53
Tabla 7.4: Empujes y Momentos.	54
Tabla 7.5: Empujes y Momentos.	59
Tabla 8.1: Presupuesto muro costero de contención.	62
Tabla 8.2: Presupuesto rampa.	63

LISTA DE ANEXO A **CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO**

Anexo A 1: Datos extremos de viento.....	71
Anexo A 2: Resultado clima extremo de viento.....	71
Anexo A 3: Amplitud de constituyentes armónicas.....	72
Anexo A 4: Datos extremos de marea meteorológica y datos de viento y presión a ese instante.....	72
Anexo A 5: Resultado clima extremo de marea meteorológica.....	73
Anexo A 6: Tabla de incidencia dirección – altura en aguas profundas.....	73
Anexo A 7: Tabla de incidencia dirección – periodo en aguas profundas.....	73
Anexo A 8: Datos extremos de oleaje aguas profundas.....	74
Anexo A 9: Resultado clima extremo de oleaje en aguas profundas.....	74
Anexo A 10: Combinaciones de propagación.....	75
Anexo A 11: Coeficientes de agitación.....	75
Anexo A 12: Coeficientes de dirección.....	75
Anexo A 13: Rosas de oleaje altura – dirección y periodo – dirección, en el sitio obtenida del espectro.....	76
Anexo A 14: Tabla de incidencia altura – dirección en el sitio de interés obtenida del espectro.....	76
Anexo A 15: Tabla de incidencia periodo – dirección en el sitio de interés obtenida del espectro.....	76
Anexo A 16: Tabla de incidencia altura – periodo en el sitio de interés obtenida del espectro.....	77
Anexo A 17: Tabla de incidencia periodo – dirección en el sitio de interés obtenida de parámetros de resumen.....	77
Anexo A 18: Tabla de incidencia altura – periodo en el sitio de interés obtenida de parámetros de resumen.....	77
Anexo A 19: Datos extremos de oleaje en el sitio de interés a partir de parámetros de resumen.....	78
Anexo A 20: Datos extremos de oleaje en el sitio de interés a partir del espectro de aguas profundas.....	79
Anexo A 21: Resultado clima extremo de oleaje en el sitio de interés a partir de parámetros de resumen.....	79
Anexo A 22: Resultado clima extremo de oleaje en el sitio de interés a partir del espectro.....	80

LISTA DE ANEXO B

CARACTERIZACIÓN DE EMBARCACIONES

Anexo B 1: PUMAR MI420 PATRULLA.	82
Anexo B 2: PUMAR MI470 COMANDO.	82
Anexo B 3: PUMAR MI470 DANUBIO.	82
Anexo B 4: PUMAR MI585 ASALTO.	83
Anexo B 5: PUMAR MI585 FAENA.	83
Anexo B 6: RHIB PUMAR WR450 BOMBEROS.	83
Anexo B 7: RHIB PUMAR AR670E.	84
Anexo B 8: RBB PUMAR WR900-EX.	84
Anexo B 9: RBB PUMAR WR1250.	84
Anexo B 10: LPC "Salinas".	85
Anexo B 11: SAFE 25 Full Cabin.	85
Anexo B 12: SAFE 36 Full Cabin.	86

LISTA DE ANEXO C

DISEÑO: MEMORIAS DE CÁLCULO

Anexo C 1: Cota de coronamiento.	88
Anexo C 2: Carga de atraque.	88
Anexo C 3: Diseño Muro Cantilever.	89
Anexo C 4: Diseño Muro Gravitacional.	90
Anexo C 5: Requerimiento geométrico de la rampa.	91
Anexo C 6: Cargas verticales y máximo tiro.	91
Anexo C 7: Diseño Rampa Opaca.	92
Anexo C 8: Fuerza de Morison.	92
Anexo C 9: Secciones H.	93
Anexo C 10: Perfiles circulares de diámetro mayor.	94
Anexo C 11: Esfuerzo de corte basal y deformaciones.	95
Anexo C 12: Precios unitarios de materiales en cada proyecto.	96

RESUMEN

ASMAR es la empresa de construcción naval más grande e importante de Chile, posee 3 instalaciones principales ubicadas en Talcahuano, Punta Arenas y Valparaíso (ASMAR, 2017). Sin embargo, esta última planta no posee estructuras costeras para la prueba de sus embarcaciones. De esta manera nace el proyecto que tiene como objetivo general proponer el diseño de un muro costero y una rampa para optimizar el proceso de botadura del astillero.

Las condiciones naturales son obtenidas para el diseño estructural mediante estudios de ingeniería oceánica.

- La batimetría del lugar da indicios de una pendiente del terreno de playa y fondo marino cercana al 11%.
- Los vientos no son un factor importante en la zona, tanto estructural como operacionalmente. Debido a que la restricción dada por la ROM (2012) es para vientos esperados de a lo menos 22 [m/s] y frente ASMAR Valparaíso, tal proyección se lograría tan sólo para un período de retorno mayor a 70 años y las condiciones límites establecidas por la autoridad marítima en Valparaíso como norma general para la realización de maniobras, están dadas por vientos de intensidad de 7.7 [m/s] aconteciendo en el año el 1%.
- El oleaje reinante es de 1.5 [m] de altura desde el NNO y periodo 13 [s]; el oleaje dominante de 2.86 [m] de altura desde la misma dirección y periodo; el nivel de diseño es de 3.16 [m] sobre NRS (incluyendo forzante astronómica y meteorológica).
- La correntimetría del lugar es menor y se estima que el proceso de arrastre litoral se debe fundamentalmente al oleaje.

La nave de diseño determina las características en planta y alzado de las obras costeras, corresponde a la Lancha de Patrulla Costera (LPC) "Salinas" pertenecientes a la Armada de Chile.

En base a estas condiciones se asume un periodo de retorno de 70 años, y se sugieren dos muros costeros de contención: cantiléver y gravitacional. Asimismo, la rampa propuesta es del tipo opaca y transparente.

De acuerdo con el presupuesto (sólo de material) de cada obra se determina apropiado emplazar un muro cantiléver de hormigón armado H-30 y una rampa transparente de marcos rígidos, secciones H 250x200x100.01, con pilotes verticales de acero estructural de diámetro 620 [mm], valorado en 167615 UF.

1 INTRODUCCIÓN

Astilleros y Maestranzas de la Armada, más conocido por su acrónimo ASMAR, es una empresa del Estado de Chile, de administración autónoma, prestadora de servicios en construcción, mantenimiento, reparación y modernización en la industria naval, tanto en buques civiles como militares. Es la empresa de construcción naval más grande e importante de Chile, y posee 3 instalaciones principales ubicadas a lo largo de la costa occidental de Sudamérica, localizadas en las ciudades de Talcahuano ($36^{\circ}41'29.9''S$ $73^{\circ}06'17.2''O$), Punta Arenas en el Estrecho de Magallanes ($53^{\circ}07'23.8''S$ $70^{\circ}52'06.1''O$) y Valparaíso ($30^{\circ}01'32.6''S$ $71^{\circ}37'54.4''O$) (ASMAR, 2017).

Previo a ser ASMAR Valparaíso, era el astillero Las Habas, éste contaba con una rampa y un muelle para sus embarcaciones (Figura 1.1).

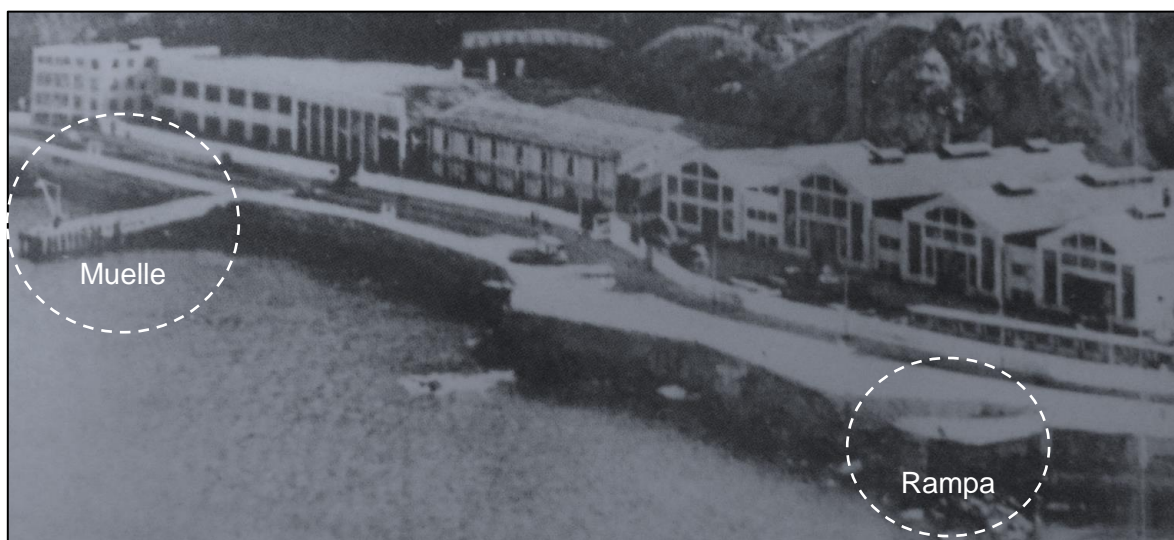


Figura 1.1: Fotografía Astillero Las Habas en 1958. Fuente: (Fritz, 2005)

En 1972 y 1973, producto de huelgas y paros el astillero quebró y su infraestructura fue adquirida y traspasada a los Astilleros y Maestranzas de la Armada en Valparaíso, pero con grave daño a sus obras costeras (Fritz, 2005), que a la fecha se han perdido en su totalidad (Figura 1.2), por lo que la actual planta no cuenta con estructuras para la prueba de sus embarcaciones, por este motivo se propone un diseño de obra costera para optimizar el proceso de botadura¹ de ASMAR Valparaíso.

¹ Botadura: acción de poner una embarcación en el mar (RAE, 2017).



Figura 1.2: Rampa frente a ASMAR Valparaíso. Fuente: Elaboración propia, Abril 2017.

Este proyecto tiene como fin, permitir que el proceso de botadura de la planta industrial sea a través de la avenida Altamirano, eliminando la dependencia de la planta con el Molo de abrigo.

Actualmente, para realizar el proceso de prueba de una embarcación es necesario solicitar permiso a la Armada, ver disponibilidad de un sitio y de grúa para la acción, una vez autorizada la prueba se debe transportar la nave aproximadamente 500 metros desde la planta hasta el molo (Figura 1.3). Después de ejecutada la prueba, se saca la embarcación y se transporta nuevamente a la planta para arreglar tanto estética, como estructuralmente la nave, para luego realizar otra prueba en el mar.

Con esta propuesta se contribuirá al mejoramiento del proceso de producción del astillero ASMAR Valparaíso. Además, de disminuir el tiempo de transporte al sitio de prueba y la congestión que se produce en el sector.



Figura 1.3: Ubicación ASMAR Valparaíso y Molo de Abrigo. Fuente: Elaboración propia con Google Earth.

Para la elaboración de este proyecto de título es necesario considerar estudios de ingeniería oceánica, con ellos se obtendrán criterios de diseño.

2 OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Proponer el diseño de una obra costera que optimice el proceso de botadura, a través de estudios de ingeniería oceánica que permitan caracterizar las condiciones naturales frente a los Astilleros y Maestranzas de la Armada en Valparaíso.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar las condiciones ambientales (batimetría, viento, oleaje, marea, y corrientes), mediante análisis estadísticos y modelos numéricos, según corresponda.
- Caracterizar el tipo de naves que crea y repara ASMAR Valparaíso, a partir de información entregada por la planta.
- Determinar los criterios de diseño, conforme a los resultados anteriores.
- Proponer el diseño de una rampa y muro de contención para el atraque, mediante la utilización del “Programa de Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM)” del Ministerio de Fomento del Gobierno de España (Puertos del Estado, 2017) y el “Coastal Engineering Manual (CEM)” (USACE, 2002).

3 ALCANCES Y LIMITACIONES

La propuesta de diseño se basa en los resultados del análisis de las condiciones ambientales y de uso, su ubicación será frente a los Astilleros y Maestranzas de la Armada Valparaíso, exactamente en avenida Altamirano.

No se considera alguna metodología que estime los efectos del calentamiento global en las variables oceanográficas y meteorológicas, ya que aún no existe algún método recomendado y oficializado.

Se propone recuperar las estructuras antes existentes, es decir: muro de contención y rampa de varado. Estos diseños consideran la ingeniería básica y no la ingeniería de detalle.

Además, no se analiza el proceso constructivo ni el beneficio económico de la obra proyectada.

4 MARCO TEÓRICO

En esta sección se presentan brevemente los conceptos implicados en la propuesta de diseño.

4.1 MEDIO

4.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

4.1.1.1 BATIMETRÍA

La batimetría es la técnica asociada a la obtención de valores de profundidad del agua. Se utilizan cartas náuticas para presentar el relieve del fondo como curvas de nivel, indicando las profundidades, la naturaleza del fondo, las alturas, configuración y características de la costa, los peligros y las ayudas a la navegación, entre otras cosas (SHOA, 2015).

Además, existe la batimetría de precisión que sirve para corroborar las profundidades, estableciendo un plano con valor hidrográfico que puede ser utilizado en la construcción de obras de ingeniería (SHOA, 2003).

4.1.1.2 VIENTO

El viento es el resultado del flujo de aire entre zonas con presiones distintas, es una fuerza generadora de oleaje y una limitante para maniobras navales (Silva, 2005).

Para registrar el comportamiento del viento, se mide la magnitud y dirección del vector desplazamiento en un flujo volumétrico de fluido atmosférico, en unidades de longitud sobre tiempo, generalmente con un instrumento llamado anemómetro (SHOA, 2005).

Se caracteriza mediante un análisis de clima medio y extremo (capítulo 4.1.2.1 y 4.1.2.2 respectivamente), basado en la normativa entregada como especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos (SHOA, 2005).

4.1.1.3 MAREA

4.1.1.3.1 MAREA ASTRONÓMICA

Se define como el ascenso y descenso rítmico y alternado del nivel de agua del océano, aconteciendo dos veces al día sobre la mayor parte de la Tierra, resultado de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol (SHOA, 1992). Para poder analizar la marea astronómica, es necesario realizar un análisis armónico y no-armónico (SHOA, 2005).

En Valparaíso la onda de marea astronómica obedece al régimen mixto semidiurno, es decir, diariamente se presentan dos bajamares y dos pleamares, existiendo entre una pleamar y una bajamar consecutivas un lapso de 6 horas aproximadamente (EPV, 2015).

4.1.1.3.2 MAREA METEOROLÓGICA

Representan las variaciones del nivel del mar producidas principalmente por causas meteorológicas, tales como variaciones de presión atmosférica, variación en tensiones tangenciales inducidas por el viento, y efecto del oleaje (Ortega, Minguito, & Monino, 2015), éstas, pueden generar sobre elevaciones del nivel medio (SHOA, 1992).

A medida que la presión relativa aumenta, el agua se comprime y experimenta un nivel menor, en cambio a medida que la presión atmosférica disminuye, se produce el efecto contrario en la superficie del océano y éste se peralta; la relación entre presión y nivel de las aguas se conoce como barómetro invertido (Kamphuis, 2000).

El esfuerzo cortante de un flujo de viento sobre la superficie del agua produce una variación de nivel y cantidad de movimiento. Aunque el esfuerzo tangencial asociado al viento sobre la superficie es pequeño, integrado sobre una gran masa de agua puede llegar a ser importante (Ortega, Minguito, & Monino, 2015). Durante una tormenta, el nivel del agua se eleva hasta que la gravedad contrarresta los efectos cortantes del viento (Kamphuis, 2000).

El nivel de agua se ve afectado por el oleaje en rompiente, al ocurrir la rotura se produce un desequilibrio de momentum produciendo una desnivelación negativa previo a la rotura llamado *setdown* y posterior a la rotura, en la zona de surf, ocurre un aumento de nivel conocido como *setup* (USACE, 2002).

Para el diseño, es necesario calcular la influencia de todas las forzantes meteorológicas (Kamphuis, 2000), a través, de un análisis de clima extremo del régimen de marea meteorológica, obtenido de la diferencia entre la serie del nivel del mar corregido y serie de la marea astronómica reconstruida con el análisis armónico.

4.1.1.3.2.1 ANÁLISIS ARMÓNICO Y NO-ARMÓNICO

El análisis armónico superpone muchas ondas perfectas, llamadas constituyentes, cada una de ellas representa un cambio periódico o variación en las posiciones relativas de la Tierra, Luna y Sol. Es utilizado para determinar la amplitud y la fase de las constituyentes en un sitio particular (Foreman, 1997).

El propósito es representar el movimiento complejo del sistema Sol-Tierra-Luna, mediante una superposición de satélites (aplicando la linealidad del sistema), que orbitan sobre el plano del ecuador celeste describiendo círculos; cada uno de estos satélites tienen una velocidad angular constante asociada a períodos de eventos astronómicos (día solar, día lunar). Cada uno de estos satélites tiene masa y se encuentra a una determinada distancia del centro de la Tierra permitiendo, de esta manera, determinar su aporte a la fuerza generadora de marea. Para ello existen diversos métodos, modernamente la predicción de marea se realiza utilizando computadoras que pueden por un lado obtener las constituyentes de la marea de forma más precisa y calcular los valores resultantes inmediatamente.

Los valores no-armónicos de la marea corresponden al conjunto de parámetros que permiten describir el comportamiento de ésta, cada uno de estos valores tiene su importancia y aplicación en los cálculos permitiendo al ingeniero determinar planos de referencia y rangos de marea necesarios en la construcción de obras (SHOA, 1999).

4.1.1.4 OLEAJE

El oleaje puede ser considerado como un conjunto de ondas viajando en diferentes direcciones, con diferentes amplitudes, frecuencias y fases, por lo tanto, puede ser estudiado como una superposición lineal de ondas armónicas simples. Es producido por el traspaso de energía del viento al mar en la interface océano-atmósfera, debido a la fricción entre fluidos y a la tensión superficial del mar, se crean ondas capilares que van creciendo poco a poco en amplitud y disminuyendo en frecuencia con el paso del tiempo. La generación llega a su equilibrio cuando la energía transmitida por el viento es igual a la disipada por el oleaje, este proceso es llamado “mar completamente desarrollado” (Silva, 2005).

Una vez que el oleaje se aleja de la zona de generación, la energía del oleaje se propaga y las olas de la misma frecuencia tienden a reunirse con otras, logrando un orden en el oleaje conocido como dispersión radial de frecuencias, llamado mar de fondo o swell. Sin embargo, cerca de la zona de generación, o donde predominan las frecuencias más altas, se forma un oleaje asimétrico llamado mar de viento o sea (Silva, 2005)

La propagación costera se aplica solo antes de la rompiente y experimenta una serie de fenómenos que van variando sus características mecánicas, estos procesos son (GIOC, 2000):

- **Asomeramiento:** se produce por la disminución de profundidad del fondo marino, debido a esto el oleaje comienza a deformarse por la interacción con el talud, resultando en un aumento de la altura y una disminución de su longitud de onda y celeridad. Ocurre sólo cuando la dirección principal de incidencia del oleaje es ortogonal a los veriles del terreno y línea de costa.
- **Refracción:** ocurre cuando un tren de ondas incidiendo oblicuamente sobre la costa encuentra un cambio de profundidad. A medida que arriba a la costa, parte del frente de la ola se propaga a aguas menos profundas con menor celeridad, produciendo una desviación progresiva en la incidencia del oleaje.
- **Difracción:** se caracteriza por la transferencia lateral de energía del oleaje, en forma perpendicular a la dirección predominante de la propagación, cuando la altura de ola presenta variaciones a lo largo del frente. Se produce cuando las ondas se encuentran con una protuberancia o cuando por efectos de refracción las ondas se conducen a singularidades geográficas.
- **Reflexión:** se refiere al proceso por el cual porción de la energía no disipada de un tren de ondas, debido a la incidencia con una estructura artificial o natural, generando otro tren en sentido contrario.

Cuando el tren de ondas se propaga a profundidades decrecientes, se produce un aumento del peralte y una disminución de la celeridad, hasta llegar al punto que la onda se hace inestable y deja de mantener la forma. Cuando las velocidades de cada partícula de la cresta superan la celeridad de la onda se produce la rotura de la onda, provocando una gran disipación turbulenta de energía (GIOC, 2000). Al cabo de una determinada distancia, denominada zona de rotura, el proceso de rotura se normaliza y la onda toma forma de resalto hidráulico con un frente turbulento, llamado ampliamente “wave setup” o peralte por oleaje.

El oleaje se analiza para obtener el oleaje operacional y oleaje de diseño en el sitio para un proyecto de ingeniería costera, mediante un análisis de clima medio y extremo (SHOA, 2005), tal como en el apartado 4.1.2.1 y 4.1.2.2 respectivamente.

4.1.1.4.1 TRANSFERENCIA ESPECTRAL

Existen software que modelan la energía contenida en las ondas desde aguas profundas hasta zonas costeras, incluyendo procesos de propagación ya mencionados.

SWAN es un modelo numérico de propagación de oleaje espectral, desarrollado por la Universidad de Delft, que permite realizar estimaciones de las condiciones del oleaje en una zona específica en un periodo determinado (SWAN, 2006). Este modelo es euleriano, no estacionario y promediado en la fase, que se basa en la resolución de la ecuación de conservación de la energía espectral (Holthuijsen, 2007). Los datos de entradas necesarios del modelo son mallas de batimetrías de la zona e información climática del oleaje, donde se puede utilizar datos paramétricos, como altura, dirección y periodo de ola, dirección y velocidad de viento.

Mediante una transferencia espectral desde aguas profundas hacia aguas someras, se logra determinar el clima de oleaje en el área de interés. Este modelo no es representativo en veriles mayores a los -20 [m] (SWAN, 2006).

La transferencia se puede realizar a partir de cuatros métodos descritos por Nicolau del Roure (2004):

- Parámetros de resumen: se propaga cada parámetro de resumen de los espectros de oleaje (altura significativa espectral, periodo peak y dirección peak) como un evento aislado.
- Purista: consiste en la transferencia de espectros en 2D, debido a que se considera en la propagación todos los datos de oleaje, tomando en cuenta cada ola con su respectivo periodo y dirección de registro
- Cuasi Purista: se basa en determinar funciones para la transferencia de oleaje, en la modificación de la altura de ola como también de la dirección, considerando el periodo constante. La propagación se realiza mediante la altura unitaria de ola con diferentes periodos y direcciones. Luego, la altura de ola en la zona de interés es el producto entre el coeficiente de transferencia y la altura de ola en condiciones de aguas profundas, referida al periodo.
- Cuasi Purista Modificada: similar al anterior, con la diferencia de considerar distintas alturas de oleaje en la transferencia para simular de mejor manera la zona de la rotura del oleaje.

4.1.1.4.2 PROPAGACIÓN AL PIE DE LA OBRA

Para caracterizar el oleaje al pie de la obra considerando los efectos del fondo, se utiliza la formulación propuesta por Goda (1985), la cual despreja los fenómenos de refracción y difracción, asumiendo sólo el asomeramiento (OCDI, 2002):

$$H_p = \begin{cases} K_S H_S & , \text{si } h/L_0 \geq 0.2 \\ \min (\beta_0 H_S + \beta_1 h ; \beta_{\max} H_S ; K_S H_S) & , \text{si } h/L_0 < 0.2 \end{cases} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\beta_0 = 0.028 \left(H_S / L_0 \right)^{-0.38} \times e[20 (\tan \theta)^{1.5}] \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\beta_1 = 0.52 \times e(4.2 \tan \theta) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\beta_{\max} = \max \left\{ 0.92 ; 0.32 \left(H_S / L_0 \right)^{-0.29} \times e(2.4 \tan \theta) \right\} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde,

- H_p : Altura significativa de oleaje propagada al pie de la obra.
- K_S : Coeficiente de asomeramiento de Shoaling.
- H_S : Altura significativa a propagar al pie de la obra.
- h : Profundidad de un punto de entrada relacionado a H_G .
- L_0 : Longitud de onda de la ola relacionada con H_G .
- $\beta_0, \beta_1, \beta_{\max}$: Factores empíricos de Goda (1985).
- $\tan \theta$: Pendiente de fondo.

4.1.1.5 CORRIENTES

Se definen como el movimiento horizontal del agua. Se clasifican en corrientes de marea y corrientes oceánicas. Las primeras son producidas por las mismas fuerzas que provocan las mareas. Las corrientes oceánicas son movimiento de las aguas del océano que se caracteriza por su regularidad, así como por su naturaleza cíclica. Son producidos principalmente por la circulación atmosférica sobre la superficie y los gradientes de densidad en el agua de mar, dando lugar a la formación de grandes giros oceánicos y sistemas de corrientes son movimientos relativos de agua (SHOA, 1992).

Las corrientes costeras son producidas principalmente por las ondas de oleaje y marea, existen dos tipos (Neshyba & Fonseca, 1981):

- Las corrientes transversales a la costa: producidas principalmente por las ondas de mareas. Por lo general son débiles en altamar, pero pueden adquirir velocidades suficientes para arrastrar material sedimentario del fondo o que pudo ser puesto en suspensión por la acción del oleaje.
- Las corrientes longitudinales: mueven el sedimento de un lado a otro de un litoral, dependen del ángulo oblicuo de incidencia del oleaje, de la energía del último y de las características del material sedimentario, generando transporte sedimentario longitudinal, llamado deriva litoral.

El análisis transversal tiene como fin determinar la profundidad en la cual comienza el transporte transversal (profundidad de cierre) y determinar la profundidad donde deja de ser importante y comienza a ser relevante el transporte paralelo a ella (profundidad activa) (Benítez, 2014).

La profundidad de cierre es la profundidad en la cual las variaciones verticales del talud a lo largo del tiempo son tan reducidas que son imperceptibles, indica las posibles zonas de socavación, debido a que es la profundidad donde los agentes climáticos marinos tienen la capacidad de mover sedimentos. Se calcula con la siguiente fórmula (Benítez, 2014):

$$d_L = 3.5 \times H_{12} \quad \text{Ecuación 5}$$

La profundidad activa está comprendida entre la rotura y la profundidad de cierre, los efectos normales a la costa son débiles y los efectos paralelos son intensos. Se calcula con la siguiente ecuación (Hallermeier, 1981):

$$d_1 = 2.28 \times H_{12} - 68.5 \left(\frac{H_{12}^2}{g \times T_{12}^2} \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

donde,

- d_L : Profundidad de cierre [m].
- d_1 : Profundidad activa [m].
- H_{12} : Altura de ola superada 12 horas al año [m].
- T_{12} : Periodo pico de altura de ola superada 12 horas al año [m].

4.1.2 ANÁLISIS DE CLIMA MEDIO Y EXTREMO

El análisis de clima medio se realiza para establecer el comportamiento reinante de la variable estudiada y así determinar el clima operacional en el sitio donde se emplazará el proyecto.

El análisis de clima extremo tiene como fin estimar eventos que podrían suceder a lo largo de la vida útil de la obra costera y considerarlas como condicionantes del diseño.

4.1.2.1 ANÁLISIS DE CLIMA MEDIO

Consiste en estimar el comportamiento de la variable en un periodo de tiempo menor o igual a un año realizando una tabla de incidencia de al menos 8 columnas de direcciones y 6 filas de bandas de magnitud conteniendo la frecuencia de ocurrencia en cada combinación, para el promedio de cada uno de los meses del año de la base de datos, ésta se complementa con su representación gráfica denominada rosas (SHOA, 2005).

Para más información sobre el proceso estadístico para determinar los ciclos de corto plazo, se definen y profundizan en la publicación 3202 del SHOA (SHOA, 2005).

4.1.2.2 ANÁLISIS DE CLIMA EXTREMO

Se deben identificar los valores extremos con el método llamado “máximo anual” que selecciona el valor máximo de cada año, o con el método llamado “máximos sobre un umbral” que selecciona una serie de valores que superan un umbral definido, como se muestra en la siguiente figura:

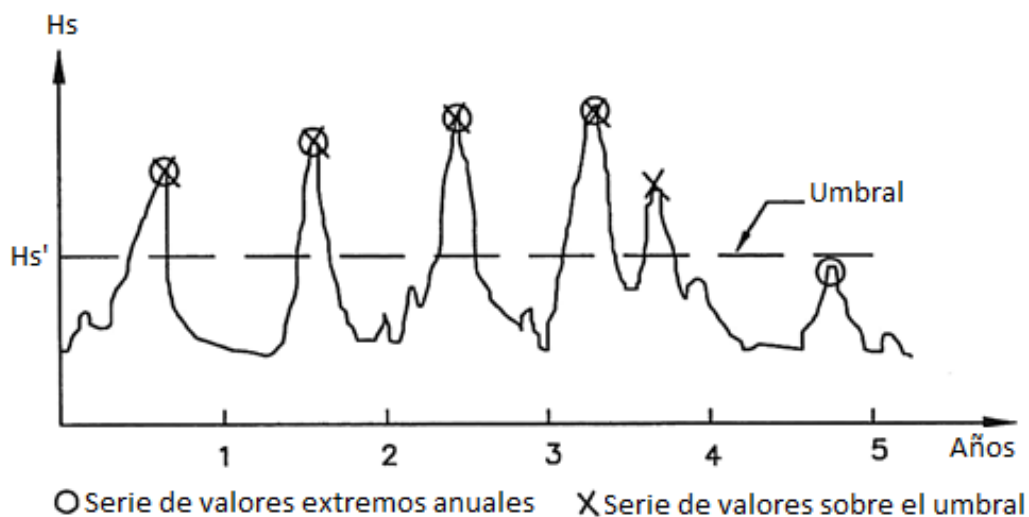


Figura 4.1: Método para identificar valores extremos. Fuente: (Liu & Frigaard, 1999).

Una vez identificados los valores extremos, se realiza un análisis estadístico que estima las máximas velocidades de viento en los 5, 10, 25, 50, 70 y 100 años, a partir de distribuciones de probabilidad no lineales (Tabla 4.1) a las cuales se les realiza un ajuste para linealizarlas.

La función ajustada y con mayor coeficiente de correlación indica el valor extremo más probable para un periodo de retorno determinado (Liu & Frigaard, 1999).

Tabla 4.1: Distribución de probabilidad.

Distribución	Ecuación
Exponencial	$1 - e^{-\frac{(x-B)}{A}}$
Weibull	$1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}$
Gumbel	$e^{-e^{-\frac{(x-B)}{A}}}$
Log. Normal	$\Phi \left[\frac{\ln(x) - B}{A} \right]$

Fuente: (Liu & Frigaard, 1999).

donde,

- x : Magnitud característica máxima de la serie de valores a utilizar.
- A y B : Parámetros que dependen de cada distribución.
- k : Coeficiente adimensional.
- Φ : Función de distribución normal estándar.

Una vez determinada la distribución con el margen de error más pequeño se procede a calcular la probabilidad de ocurrencia para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 70 y 100 años con la siguiente ecuación (Liu & Frigaard, 1999):

$$F = 1 - \frac{1}{\lambda T} \quad \text{Ecuación 7}$$

donde,

- F : Función linealizada.
- T : Periodo de retorno.
- λ : Ratio entre cantidad de datos y años.

Para disminuir la incertidumbre, se puede asociar la desviación estándar de cada valor extremo estimado, generando un intervalo de confianza (Liu & Frigaard, 1999), con su límite superior e inferior, llamadas bandas de confianza.

4.2 EMBARCACIONES

En Chile, según el Decreto Ley número 2222 artículo 4, las naves se clasifican en mayores y menores, siendo naves menores las de cincuenta o menos toneladas de registro grueso.

Es necesario determinar las características principales de la embarcación: eslora (longitud), manga (ancho), calado (distancia vertical desde la quilla a la línea de flotación) y desplazamiento (peso de la embarcación), de las naves (Bahamonde, 2002) que produce y repara ASMAR Valparaíso, para definir la nave de diseño.

El calado del atraque (h_a) se define como la distancia entre el nivel del fondo marino y el nivel inferior de la ventana de marea operativa adoptada para la permanencia de los buques en el atraque (ROM, 2012). El calado necesario respecto al nivel de referencia adoptado para las aguas exteriores es función de los siguientes factores:

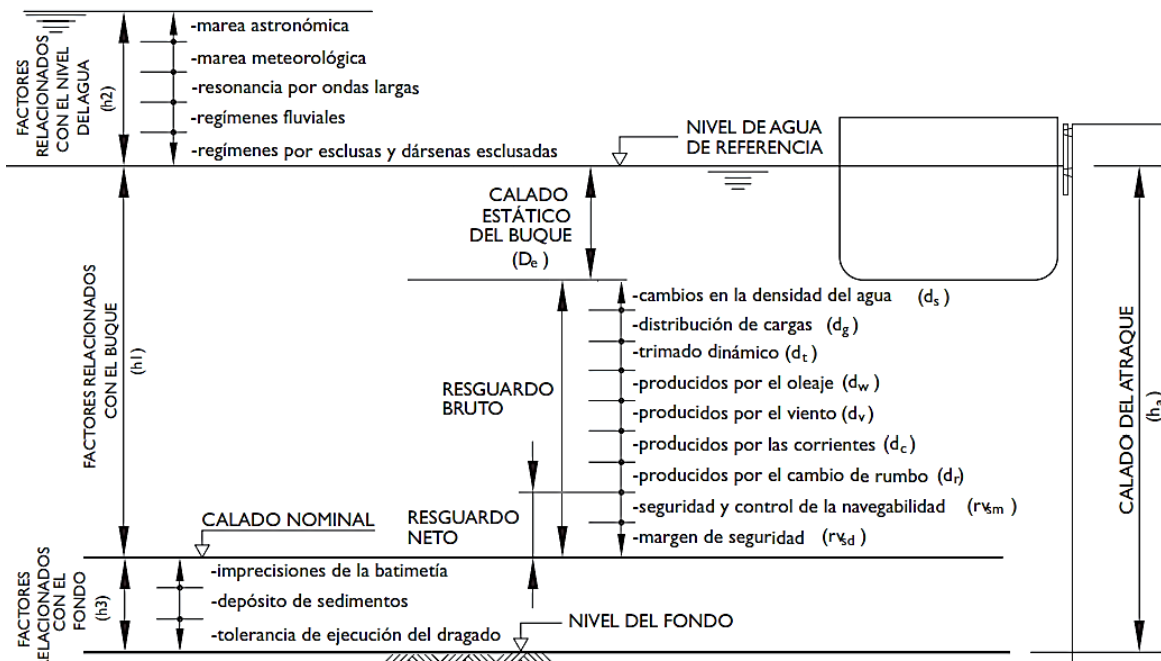


Figura 4.2: Factores que inciden en la definición del calado en la línea de atraque. Fuente: (ROM, 2000).

De acuerdo a la figura, el calado de atraque mínimo será la suma de los factores relacionados con el fondo (h_3) y los relacionados con el buque (h_1):

$$h_a = h_1 + h_3 \quad \text{Ecuación 8}$$

Simplificadamente, los factores h_1 y h_3 pueden estimarse por medio de la formulación de la Tabla 4.2 aplicable al buque de máximo calado esperable en el atraque.

Tabla 4.2: Formulación simplificada para la estimación del calado de atraque.

	Buque de calado máximo en la peor situación de carga de la flota esperable en el atraque	h1 *	h3
Obras de atraque situadas en áreas abrigadas	Buques de gran desplazamiento (≥ 10000 t)	1.08 De	1.0 [m]
	Buque de desplazamiento pequeño y mediano (< 10000 t)	1.05 De	0.75 [m]
Obras de atraque situadas en áreas poco abrigadas	Buques de gran desplazamiento (≥ 10000 t)	1.12De	1.0 [m]
	Buque de desplazamiento pequeño y mediano (< 10000 t)	1.10 De	0.75 [m]

* En cualquier caso de resguardo bruto mínimo ($h1 - De$) debe ser de 0.5 [m] para obras de atraque de uso comercial, industrial y militar y de 0.30 [m] para obras de atraque de uso pesquero y deportivo. No obstante, lo anterior, cuando se prevean socavaciones importantes causadas por acción de las hélices del oleaje u otras causas, el resguardo bruto mínimo habrá de aumentar hasta 1.0 [m]. Si se colocan elementos de protección contra dichos efectos, estos se situarán como mínimo a 0.75 [m] por debajo del nivel nominal del fondo.

Fuente: (ROM, 2012).

El calado del atraque se extenderá como mínimo a lo largo de toda la longitud de la línea de atraque (L_a), extendiéndose en cada extremo, cuando la obra de atraque no esté limitada, en una longitud igual a 0.15 veces la eslora correspondiente al buque de la flota esperable en el atraque de eslora máxima (L_{max}), siendo en este caso la longitud total no menor que $1.5 L_{max}$. Es decir, una longitud igual a:

$$L_a + 0.30 L_{max} > 1.5 L_{max} \quad \text{Ecuación 9}$$

Y en una anchura igual a 1.25 veces la manga correspondiente al buque de mayor manga (B_{max}) de la flota. En el caso de obras de atraque donde exista la posibilidad de que una falsa maniobra del buque pueda llevar la proa por detrás de la línea de atraque, el calado de proyecto se extenderá también en una anchura igual a B_{max} por detrás de la línea de atraque, no menor de 10 metros (ver Figura 4.3).

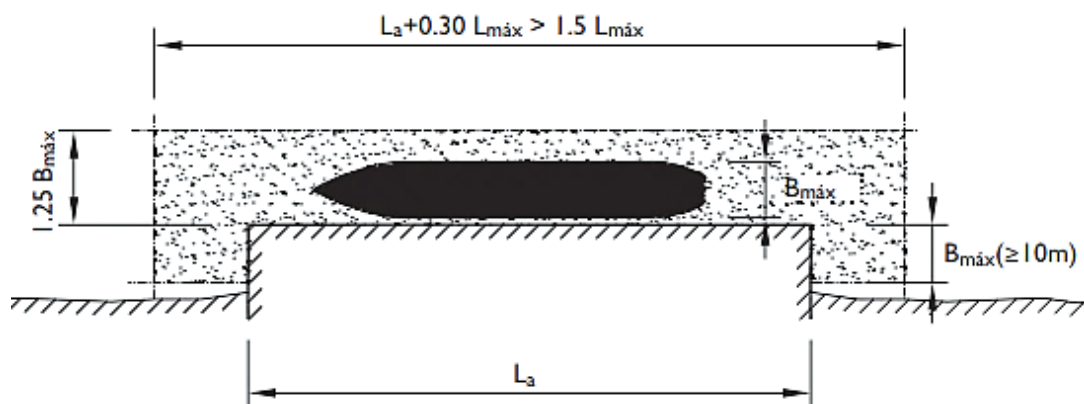


Figura 4.3: Mínima extensión del calado de atraque. Fuente: (ROM, 2012).

4.3 DISEÑO

4.3.1 BASES DE DISEÑO

Las bases de diseño son la vida útil, el riesgo a asumir y el periodo de retorno para los estudios estadísticos de no-excedencia (DOP, 2013).

La vida útil de un proyecto es el tiempo en el que se prevé el servicio de la obra costera, y se define a partir de la siguiente tabla:

Tabla 4.3: Vida útil mínima para obras o instalaciones de carácter definitivo.

Tipo de obra o instalación	Nivel de seguridad requerido		
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura de carácter general	25 años	50 años	100 años
Infraestructura de carácter industrial específico	15 años	25 años	50 años

Nivel 1: Obras e instalaciones de interés local o auxiliar (pequeño riesgo de pérdida de vidas humanas o daños medioambientales en caso de fallo). Ejemplo: Obras de defensa, generación de costa, obras en puestos deportivos, emisarios locales, pavimentos portuarios.
 Nivel 2: Obras e instalaciones de interés general (riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas o daños medioambientales en caso de falla). Ejemplos: Obras de grandes puertos o emisarios de grandes ciudades.
 Nivel 3: Obras e instalaciones de protección contra inundaciones o de carácter supranacional (riesgo elevado de pérdidas humanas o daños medioambientales en caso de falla). Ejemplo: defensa costera de núcleos urbanos o bienes industriales de carácter nacional.

Fuente: (ROM, 2000).

El riesgo admisible se fija para el conjunto estructural de la obra, en función de sus características físicas y económicas. Las repercusiones económicas directas e indirectas en caso de inutilización parcial o total, y la estimación de pérdidas humanas en caso de destrucción física o falla estructural se puede calcular mediante la siguiente tabla:

Tabla 4.4: Riesgo máximo admisible.

A) Riesgo de iniciación de averías		Posibilidades de pérdidas humanas	
		Reducidas	Altas
Índice : $\frac{\text{coste de reparación}}{\text{inversión}}$	Baja	0.50	0.30
	Media	0.30	0.20
	Alta	0.25	0.15
B) Riesgo de destrucción total		Posibilidades de pérdidas humanas	
		Reducidas	Altas
Índice : $\frac{\text{coste de pérdidas}}{\text{inversión}}$	Baja	0.20	0.15
	Media	0.15	0.10
	Alta	0.10	0.005

Para obras rígidas o de rotura frágil sin posibilidad de reparación se adopta el riesgo de destrucción total. Para obras flexibles, semirrígidas o de rotura en general reparable se adopta un riesgo de iniciación de averías.
 Posibilidad de pérdida humanas
 Reducidas: cuando no es esperable que se produzcan pérdidas humanas en caso de falla o daño estructural.
 Esperables: cuando es previsible que se produzcan pérdidas humanas en caso de falla o daño estructural.
 Repercusión económica para pérdida total
 Si Índice < 5 → Riesgo bajo.
 Si 5 < Índice < 20 → Riesgo medio.
 Si Índice > 20 → Riesgo alto.

Fuente: (ROM, 2000).

Periodo de retorno es una función que depende de la vida útil y el riesgo admisible, es una condición para el análisis estadístico de no excedencia de las condiciones naturales, el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$T_r = \frac{-L}{\ln(1-R)} \quad \text{Ecuación 10}$$

donde,

- T_r : Periodo de retorno [años]
- L : Vida útil proyectada [años]
- R : Riesgo admisible

4.3.2 TIPOLOGIAS DE OBRA COSTERA

4.3.2.1 MURO COSTERO DE CONTENCIÓN

Los muros costeros son estructuras dispuesta en forma paralela a la línea de costa para separar un área marítima de un área terrestre. El objetivo principal de un muro costero es retener el suelo, evitar deslizamientos de tierra hacia el mar y proteger la tierra de la erosión por olas y corrientes. Además sirve como punto de amarre y transferencia de carga para embarcaciones (DOP, 2013), considera muros gravitacionales y cantiléver (MOP, 2014).

4.3.2.1.1 COTA DE CORONAMIENTO

Se debe fijar un caudal admisible de sobrepaso, se presenta la formulación general propuesta por Franco y Franco (1999), que estima el valor medio del sobrepaso en función de la altura de francobordo o viceversa (Van der Meer, et al., 2016).

$$\frac{Q_{adm}}{\sqrt{g} H_s^3} \sqrt{\frac{s_{op}}{\tan \alpha}} = 0.06 \exp \left[-5.2 \sqrt{\frac{s_{op}}{\tan \alpha}} \frac{R_C}{H_s \gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} \right] \quad \text{Ecuación 11}$$

donde,

- Q_{adm} : Caudal admisible de sobrepaso [m^3/s por m] de acuerdo a la Tabla 4.5.
- R_C : Francobordo o cota de coronamiento [m].
- g : Aceleración de gravedad [m/s^2]
- H_s : Altura de oleaje de diseño (al pie de la obra) [m].
- γ_f : Factor de rugosidad del material, impermeable igual a 1.
- γ_β : Factor Angulo de incidencia, perpendicular igual a 1.
- γ^* : Factor inclinación, 1 es vertical.
- s_{op} : $\frac{2\pi H_s}{g T_p}$
- T_p : Periodo peak.

Tabla 4.5: Límites generales de sobrepaso admisible detrás de la obra.

	Descarga media q [l/s por m]
Daño significativo o hundimiento de yates más grandes; $H_{m0} > 5$ m	> 10
Daño significativo o hundimiento de yates más grandes; $H_{m0} = 3-5$ m	> 20
Hundimiento de botes pequeños a 5-10 m de la pared; $H_{m0} = 3-5$ m Daño a yates más grandes	> 5
Seguro para yates más grandes; $H_{m0} > 5$ m	< 5
Seguro para barcos más pequeños configurados a 5-10 m de la pared; $H_{m0} = 3-5$ m	< 1
Elementos de la estructura del edificio; $H_{m0} = 1-3$ m	≤ 1
Daños en el equipo atrasados 5-10 m	≤ 1

Siendo H_{m0} la altura de ola significativa del análisis espectral.

Fuente: (Van der Meer, et al., 2016)

4.3.2.1.2 FACTOR DE SEGURIDAD

Con el fin de evitar una falla estructural en la obra en el largo de la vida útil del muro, es recomendado aplicar un factor de seguridad estructural, el cual asegure que las sollicitaciones estimadas que enfrenta la obra durante su servicio sean siempre menores a la resistencia máxima de la misma (DOP, 2013):

$$FS_D = \frac{f \times W + F_p}{P} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$FS_V = \frac{W \times T_M}{P \times H_V} \quad \text{Ecuación 13}$$

donde,

- FS_D : Factor de seguridad al deslizamiento:
 $FS_D > 1.2$ en condiciones normales
 $FS_D > 1.0$ en condiciones extraordinarias.
- f : Coeficiente de fricción entre el suelo de fundación y el muro.
- W : Resultante de las fuerzas verticales que actúan en el muro.
- F_p : Resultante de los esfuerzos pasivos.
- P : Resultante de los esfuerzos activos o deslizantes.
- FS_V : Factor de seguridad al volcamiento:
 $FS_V = 1.2$ en condiciones normales.
 $FS_V = 1.0$ en condiciones extraordinarias.
- T_M : Distancia entre la línea de aplicación de la resultante de las fuerzas verticales que actúa sobre el muro y la esquina frontal inferior del muro.
- H_V : Altura de aplicación de la resultante de las fuerzas horizontales actuando sobre el muro, medida desde el fondo del muro sumergido.

4.3.2.2 RAMPA

Las rampas se utilizan como obra de atraque, varado y botado de embarcaciones, pueden ser del tipo opaca o transparente. El propósito principal de una rampa marítima es permitir

el traspaso seguro entre la costa y la embarcación tomando en consideración las condiciones medioambientales y el tipo de embarcación (DOP, 2013).

Las rampas opacas no permiten flujo importante de agua a través de ellas y se caracterizan por que su estructura de apoyo modifica el comportamiento de las condiciones hidrodinámicas del lugar donde se emplaza, generando un nuevo equilibrio en el lugar (DOP, 2013).

Las obras transparentes, son aquellas en las que la estructura está formada por una plataforma sustentada en pilotes, permitiendo el paso del flujo del agua. Este tipo de obras no modifica significativamente el comportamiento del oleaje y corrientes del lugar donde se emplaza (DOP, 2013).

Las rampas actúan como instalación auxiliar dedicada a la construcción, mantenimiento o reparación de buques o embarcaciones. Está constituido por un plano inclinado dotado generalmente de elementos complementarios como carriles, carros de varada y sistemas de rodadura, con objeto de facilitar la puesta en seco de los buques o su botadura mediante halado longitudinal o transversal.

Para varaderos de arrastre longitudinal se adoptarán como características mínimas las siguientes (ROM, 1990):

- Inclinación y longitud de la rampa: es preferible proyectar la rampa con una única inclinación, generalmente entre $\frac{1}{6}$ y $\frac{1}{12}$. Sin embargo, podrán diseñarse varaderos con pendientes superiores en las zonas sumergidas al necesitarse menos fuerza de arrastre del carro en esa zona. La longitud de la rampa no será menor a 2 veces y media la eslora del mayor buque del proyecto.
- Se adopta la longitud mínima de carriles (L_c) aumentada en 30 [m].
- Dimensiones del carro: se fijan en función de la eslora, manga y calado máximos de entre todos los buques del proyecto. Deben mantener zonas libres de 4.5 [m] a cada lado en sentido longitudinal respecto a la mayor eslora entre perpendiculares de entre los buques del proyecto (L_{pp}), y de 1.5 [m] a cada lado en sentido transversal respecto a la mayor manga (B).
- El carro se diseña de forma que la parte superior del mismo se mantenga en seco durante la pleamar media, es decir, 0.6 veces la pleamar máxima viva equinoccial (0.6 PMVE) con francobordo mínimo de 0.30 [m].
- Longitud de carriles (L_c): la longitud mínima de carriles será igual a:

$$L_c = L_{pp} + \frac{1}{s}h \quad \text{Ecuación 14}$$

siendo,

- L_{pp} : Eslora entre perpendiculares del mayor buque del proyecto.
- s : Inclinación de la rampa.
- h : Altura del carro de varada = calado máximo + altura máxima de los picaderos de quilla sobre los carriles.

Si el sistema de rodadura es sobre rodillos se añade a la longitud mínima 2 veces el diámetro de los mismos.

- Disposición de picaderos: los picaderos de quilla suelen corresponderse con las vías centrales y la parte central del carro, y los de pantoque con las vías laterales y parte inferior del carro.

El máximo tiro necesario para el halado de la embarcación en la rampa se calcula utilizando la siguiente formulación (ROM, 1990):

$$T = W \times \text{sen } \varphi + W \times C \quad \text{Ecuación 15}$$

siendo,

- | | | |
|-----------|---|---|
| T | : | Máximo tiro. |
| W | : | Peso total del mayor buque + peso del carro de varada + peso de los elementos de unión y tractores. |
| φ | : | Ángulo de inclinación de la rampa. |
| C | : | Coficiente de fricción: 0.03 para carro sobre rodillos o 0.04 para carro sobre ruedas. |

Es recomendable disponer el atraque de forma que el eje longitudinal de los buques quede lo más paralelo posible a las direcciones más frecuentes de las acciones climáticas o, si eso no es posible, a la más frecuente de las preponderantes (ROM, 2012).

4.3.3 CARGAS INVOLUCRADAS

Las cargas son fuerzas y otras acciones resultantes del peso de todos los materiales de construcción y los efectos medioambientales, entre otros. Las cargas o sollicitaciones que se consideran en el diseño estructural y operacional pueden tener variación en el tiempo, siendo permanentes, variables y eventuales; pueden también variar en el espacio, siendo fijas o móviles y además pueden variar en su estado inercial, siendo estáticas o dinámicas (DOP, 2013).

Las cargas permanentes, esencialmente gravitatorias, actúan en todo momento durante la fase de proyecto que se analiza, siendo constantes en posición y magnitud, o no constantes de variación lenta o despreciable en comparación a su valor medio. Asimismo, se considerarán cargas permanentes aquéllas cuya variación tenga lugar en un solo sentido hasta alcanzar un cierto valor límite (ROM, 1990).

Las cargas variables son externas a la obra en sí, cuya magnitud y/o posición es variable a lo largo del tiempo de forma frecuente o continua, y de variación no despreciable en comparación a su valor medio (ROM, 1990).

- Cargas variables de uso o explotación: están asociadas al servicio y normal uso de la estructura resistente, las cuales pueden variar en posición y magnitud durante la fase de vida que se analiza.
- Cargas de terreno: son presiones o empujes debidos a la actuación directa de un terreno natural o de un relleno, o la indirecta de otras cargas a través de él.

- Cargas medioambientales: debidas a la acción de fenómenos naturales, climáticos o medioambientales que actúan sobre la estructura.

4.3.3.1 PESO PROPIO Y CARGA MUERTA

El peso propio es la carga producida por los pesos correspondientes a los distintos elementos resistentes o estructurales. Y se define como carga muerta a la carga producida por el peso de todos los elementos no resistentes en el sentido estructural, soportados o incluidos en la estructura resistente de forma permanente tales como: elementos constructivos, pavimentos, equipamiento, instalaciones fijas, lastres, rellenos y adherencias marinas (ROM, 1990).

Estas acciones se determinan en función de la geometría del elemento estructural y del peso propio del material correspondiente, siendo preferible que los pesos del equipamiento y de las instalaciones fijas sean obtenidos directamente de fabricantes y proveedores, o mediante pesadas directas de los elementos correspondientes (ROM, 1990).

4.3.3.2 CARGAS DE TERRENO

Se definen como cargas del terreno a las presiones, empujes y demás esfuerzos ejercidos por un relleno sobre los distintos elementos de una estructura resistente; o las reacciones que tales estructuras pueden originar en el terreno para lograr su equilibrio (ROM, 1990).

4.3.3.2.1 EMPUJE ACTIVO

Para el caso de relleno estructural, el empuje activo es la presión lateral del terreno a contener sobre una estructura de contención, dado por la siguiente ecuación (Nilson, 2001):

$$E_A = 0.5 \times K_A \times \rho_{\text{sat}} \times h^2 \quad \text{Ecuación 16}$$

donde,

- E_A : Fuerza de empuje activo.
- ρ_{sat} : Densidad del suelo, en estado saturado.
- h : Altura del terreno a contener.
- K_A : Coeficiente de empuje activo dado por:

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi_1 - \beta_1)}{\cos^2(\beta_1) \cos(\beta_1 + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_1 + \delta) \sin(\phi_1 + i)}{\cos(\beta_1 + \delta) \cos(\beta_1 + i)}} \right]^2} \quad \text{Ecuación 17}$$

siendo,

- ϕ_1 : Ángulo de fricción interna del suelo.
- β_1 : Inclinación del trazado del muro respecto a la vertical.
- δ : Ángulo de fricción suelo-muro.
- i : Pendiente de la superficie del suelo a contener.

El empuje tiene una forma triangular para rellenos con pendiente lineal, actuando a un tercio de la altura total del muro (h) (Nilson, 2001). Se debe incluir el empuje activo por sobrecargas de uso. A continuación, se presenta la ecuación para calcular el empuje activo por sobrecarga uniforme (DOP, 2013):

$$E_{SC} = q_1 \times K_A \times h \quad \text{Ecuación 18}$$

donde,

- E_{SC} : Empuje activo por sobrecarga uniforme.
- q_1 : Carga uniforme de uso.
- h : Altura del terreno a contener en [m].
- K_A : Coeficiente de empuje activo.

Finalmente, el empuje activo sísmico está dado por la siguiente ecuación que utiliza las mismas variables anteriormente descritas (DOP, 2013).

$$E_{AS} = 0.5 \times K_{AS} \times \rho_{sat} \times h^2 \times (1 - K_V) \quad \text{Ecuación 19}$$

donde,

- E_{AS} : Empuje activo sísmico.
- K_{AS} : Coeficiente de empuje sísmico dado por:

$$K_{AS} = \frac{\text{sen}^2(\phi_1 - \theta - \beta_1)}{\cos(\theta) \text{sen}^2(\beta_1) \cos(\beta_1 - \delta - \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi_1 + \delta) \text{sen}(\phi_1 - \theta - i)}{\text{sen}(\beta_1 + \delta + \theta) \text{sen}(\beta_1 + i)}} \right]} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$\theta : \text{Ángulo sísmico} = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_V} \right)$$

$$K_h : \text{Coeficiente de aceleración sísmica media} = \frac{A_0}{2}$$

$$K_V : \text{Coeficiente de aceleración sísmica} = \frac{A_0}{4}$$

A_0 : Aceleración sísmica del talud dado por NCh 433 (INN, 2012).

ρ_{sat} : Densidad del suelo, en estado saturado.

4.3.3.2.2 EMPUJE PASIVO

Son todos los empujes resistentes, en dirección opuesta a los activos, llámese a estos: pesos del muro y empuje pasivo de tierra. Análogamente del empuje activo, el pasivo se calcula con la siguiente formulación (Nilson, 2001):

$$E_p = 0.5 \times K_p \times \rho_{sat} \times h^2 \quad \text{Ecuación 21}$$

donde,

- Ep : Empuje pasivo.
- h : Altura del terreno a contener en [m].
- Kp : Coeficiente de empuje activo dado por:

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi_1 - \beta_1)}{\cos^2(\beta_1) \cos(\beta_1 + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_1 + \delta) \sin(\phi_1 + i)}{\cos(\beta_1 + \delta) \cos(\beta_1 + i)}} \right]^2} \quad \text{Ecuación 22}$$

- ϕ_1 : Ángulo de fricción interna del suelo.
- β_1 : Inclinação del trazado del muro respecto a la vertical.
- δ : Ángulo de fricción suelo-muro.
- ρ_{sat} : Densidad del suelo, en estado saturado.

4.3.3.3 SOBRECARGA

Se definen como sobrecargas de estacionamiento y almacenamiento aquellas cargas de naturaleza variable, debidas fundamentalmente al peso de materiales, suministros o mercancías, almacenados o apilados bien directamente, en el interior de instalaciones específicas como silos, depósitos o tinglados, o en el interior de instalaciones auxiliares para su transporte y manipulación como contenedores, semirremolques, etc.; siendo su actuación y distribución constante durante un período de tiempo más o menos prolongado (ROM, 1990).

La sobrecarga de estacionamiento y almacenamiento (Q_{V1}) tomada como carga repartida será igual al máximo peso de las mercancías, materiales o suministros por unidad de superficie, transitoriamente estacionados en el área de operación o almacenados en el área de almacenamiento, en las condiciones de estiba previstas en el proyecto (ROM, 1990):

$$Q_{V1} = H_a \times \gamma \quad \text{Ecuación 23}$$

siendo,

- H_a : Altura máxima de almacenamiento, o estacionamiento transitorio, del material considerado, en [m].
- γ : Peso específico aparente del material estacionado o almacenado en las condiciones medioambientales más desfavorables, en [t/m³].

4.3.3.4 MEDIOAMBIENTALES

Se definen como cargas medioambientales aquellas cargas debidas a la actuación directa sobre la estructura resistente o sobre elementos no estructurales que incidan sobre ella, de fenómenos naturales, climáticos o medioambientales; independiente de que dichos fenómenos puedan afectar o influir en la determinación de otras cargas variables o accidentales (ROM, 1990).

4.3.3.4.1 CARGAS DE VIENTO

Se consideran dos situaciones: las cargas del viento sobre las estructuras y las cargas de vientos sobre buques. En ambos casos, las cargas dependen del parámetro denominado “presión dinámica del viento”, la norma chilena (INN, 1971), donde es llamada “presión básica del viento”:

$$q = \frac{u^2}{16} \quad \text{Ecuación 24}$$

donde,

- q : Presión básica [kg/m²].
- u : Velocidad máxima instantánea del viento [m/s]

4.3.3.4.2 CARGAS DE OLEAJE

Según el “CEM” (USACE, 2002) se recomienda analizar las fuerzas por oleaje en las estructuras portuarias, basándose principalmente en modelos físicos o fórmulas empíricas. Las formulaciones propuestas por Goda (1974) consideran los efectos de las presiones laterales producidas por las olas (USACE, 2002):

$$\eta^* = 0.75 (1 + \cos\beta) \times \gamma_1 \times H_d \quad \text{Ecuación 25}$$

$$p_1 = 0.5 (1 + \cos\beta) (\gamma_1 \times \alpha_1 + \gamma_2 \times \alpha_2 \times \cos^2\beta) \rho_w \times g \times H_d \quad \text{Ecuación 26}$$

$$p_2 = \begin{cases} \left(1 - \frac{hc}{\eta^*}\right) p_1 & \text{para } \eta^* > hc \\ 0 & \text{para } \eta^* \leq hc \end{cases} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad \text{Ecuación 28}$$

$$p_u = 0.5(1 + \cos\beta) \times \gamma_3 \times \alpha_1 \times \alpha_3 \rho_w \times g \times H_d \quad \text{Ecuación 29}$$

donde,

β : Ángulo de incidencia del oleaje.

$$\alpha_1 : 0.6 + 0.5 \left[\frac{\frac{4\pi hs}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi hs}{L}\right)} \right]^2$$

$$\alpha_2 : \frac{2d}{H_d}$$

$$\alpha_3 : 1 + \frac{hw + hc}{hs} \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi hs}{L}\right)} \right]$$

H_d : Altura de ola de diseño.

L : Longitud de onda a una profundidad h_b correspondiente a la altura de ola significativa.

h_b : Profundidad del agua a una distancia $5h_s$, con h_s altura significativa.

γ_1, γ_2 y γ_3 : Factores que dependen del tipo de estructura, para muros verticales igual a 1.

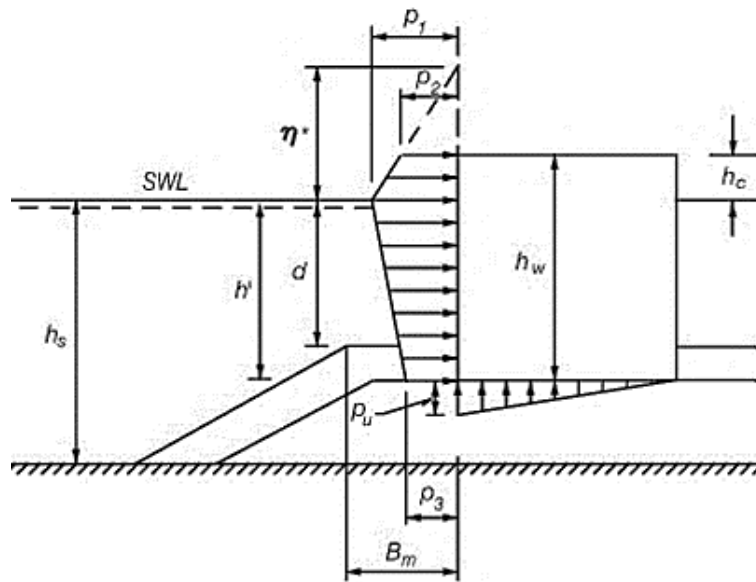


Figura 4.4: Presiones generadas por el oleaje en muro vertical. Fuente: (USACE, 2002).

A partir de estas presiones se calculan las fuerzas y momentos ejercidos en el muro, con las ecuaciones de Goda y Takahashi (USACE, 2002):

$$F_H = U_{FH} \left[\frac{1}{2} (p_1 + p_2)hc + \frac{1}{2} (p_1 + p_3)h' \right] \quad \text{Ecuación 30}$$

$$F_U = U_{FV} \times \frac{1}{2} pu \times B \quad \text{Ecuación 31}$$

$$F_G = \rho_c \times g \times B \times hw - \rho_w g \times B \times h' \quad \text{Ecuación 32}$$

$$M_H = U_{MH} \left[\frac{1}{6} (2p_1 + p_3)h'^2 + \frac{1}{2} (p_1 + p_2)h'hc + \frac{1}{6} (p_1 + 2p_2)hc^2 \right] \quad \text{Ecuación 33}$$

$$M_U = U_{MV} \frac{1}{3} pu \times B^2 \quad \text{Ecuación 34}$$

$$M_G = \frac{1}{2} B^2 \times g(\rho_c \times hw - \rho_w \times h') \quad \text{Ecuación 35}$$

donde,

- ρ_c : Densidad de la estructura.
- ρ_w : Densidad del agua.
- U_{FH} : Variable que indica el sesgo y la incertidumbre relacionada con la fuerza horizontal (F_H)
- U_{FV} : Variable que indica el sesgo y la incertidumbre relacionada con la fuerza de levante (F_U).
- h' : Profundidad del agua en el pie de apoyo.

- B : Ancho del muro vertical.
 U_{M_H} : Variable que indica el sesgo y la incertidumbre relacionada con el momento horizontal (M_H).
 U_{M_V} : Variable que indica el sesgo y la incertidumbre relacionada con el momento de levante (M_U).

Para miembros estructurales con una relación menor a 0,05 entre el diámetro del cilindro y la longitud de onda de la ola, se considera que el movimiento de la estructura no causa modificación en la forma de la ola. En este caso podemos usar la ecuación de Morison (Ecuación 36) para determinar las fuerzas del oleaje sobre la estructura como se observa en la Figura 4.5, ésta representa la fuerza por unidad de longitud del pilote como la suma de las fuerzas de inercia y arrastre (USACE, 2002):

$$F = \underbrace{\rho w \times C_m \times V \times \ddot{u}}_{F_I} + \underbrace{\frac{1}{2} \rho w \times C_d \times A \times u|u|}_{F_D} \quad \text{Ecuación 36}$$

donde,

- C_m : Coeficiente de inercia.
 V : Volumen del cilindro.
 \ddot{u} : Aceleración de la partícula de agua.
 C_d : Coeficiente de fricción.
 A : Área de sección transversal del cuerpo perpendicular a la dirección del flujo.
 u : Velocidad de la partícula de agua.
 F_I : Fuerza de Inercia.
 F_D : Fuerza de Arrastre.

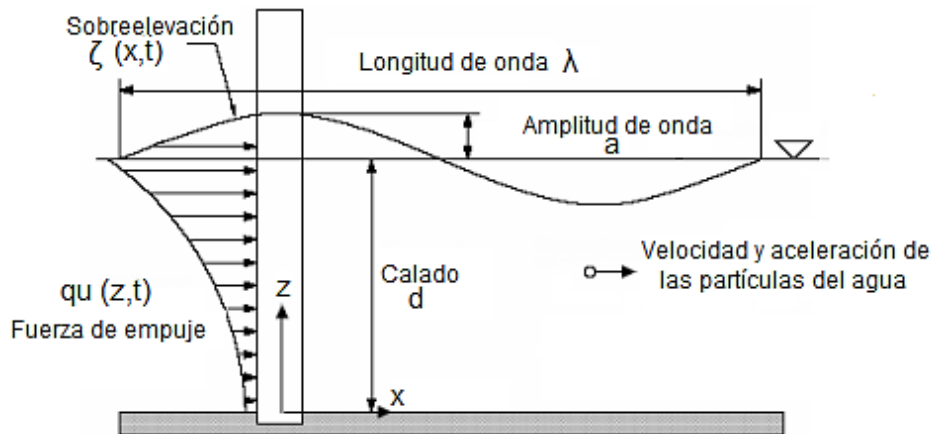


Figura 4.5: Fuerza de Oleaje sobre un pilote. Fuente: (USACE, 2002).

4.3.3.4.3 CARGA HIDROSTÁTICA

Se definen como cargas producidas por el agua y demás líquidos, actuando preponderantemente como aguas exteriores libres, capa freática en rellenos y terrenos naturales, y lastres; y cuyos niveles de actuación se mantengan en reposo o sensiblemente invariables en relación con el tiempo de respuesta de la estructura resistente, por ejemplo: mareas y demás variaciones del nivel del mar, régimen hidráulico de las corrientes fluviales; y variaciones artificiales de los niveles de agua.

No se considerarán las acciones debidas al oleaje o a las corrientes, tanto en lo que se refiere a variaciones de los niveles de agua como a los aspectos dinámicos del agua en movimiento, estas acciones se incluirán en cargas variables medioambientales. Siendo la presión en dirección normal a la superficie que se considere y se calcula con la siguiente fórmula (ROM, 1990):

$$u = \gamma_w \times Z \quad \text{Ecuación 37}$$

donde,

- γ_w : Peso específico del agua u otro líquido.
- Z : Altura del nivel piezométrico en el punto de determinación.

4.3.3.5 CARGAS DE ATRAQUE

Son las cargas generadas entre una embarcación y la estructura de atraque desde el momento en que se produce el primer contacto entre ellos hasta que finalmente se alcanza el reposo. Ésta se determina en relación directa con el tipo y característica de la nave y el sistema de defensa de la estructura de atraque (ROM, 1990).

4.3.3.5.1 CARGAS DE IMPACTO (R)

Las cargas de impacto, normales a la superficie de atraque dependerá de los siguientes factores: la energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque, la excentricidad en el atraque la geometría del buque; la configuración geométrica del atraque, las relaciones tensión/deformación en el buque, la estructura resistente y el sistema de defensa (ROM, 1990):

$$E_f = f \times E \quad \text{Ecuación 38}$$

donde,

- E_f : Energía cinética absorbida por el sistema de atraque.
- E : Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque:

$$E = \frac{1}{2g} C_m \times \Delta \times V_b^2 \quad \text{Ecuación 39}$$

siendo,

- Δ : Peso del buque de proyecto.
- g : Aceleración de la gravedad: 9.8 [m/s²]

V_b : Componente normal a la superficie de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto, en [m/s].

$$C_m = \frac{(M_d + M_w)}{M_d} \quad \text{Ecuación 40}$$

Se define como coeficiente de masa hidrodinámica al cociente entre la masa total del sistema (masa del buque + masa de agua movilizada) y la masa del buque.

f : $C_e \times C_g \times C_c \times C_s$

C_e : Coeficiente de excentricidad, para línea de atraque lateral

$$C_e = \frac{\left[\left(0.19 \times \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Eslora} \times \text{Manga} \times \text{Calado} \times \gamma_w} + 0.11 \right) \times L \right]^2 + (0.25 \times \text{Eslora})^2 \times \cos^2 70^\circ M_w}{\left[\left(0.19 \times \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Eslora} \times \text{Manga} \times \text{Calado} \times \gamma_w} + 0.11 \right) \times L \right]^2 + (0.25 \times \text{Eslora})^2} \quad \text{Ecuación 41}$$

C_g : Coeficiente geométrico del buque. Se recomiendan valores de $C_g=0.95$ cuando el punto de impacto se produce en la parte curva de los buques y $C_g=1$ cuando éste se produce en la parte recta.

C_c : Coeficiente de configuración del atraque, ocupar 1 en estructura discontinua (por ejemplo, muelle de pilotes) y ocupar 0.8 en estructura continua (por ejemplo, muelle de gravedad de cajones)

C_s : Coeficiente de rigidez del sistema de atraque igual a 0.5.

Para estructura rígida fija con defensa compresible, por ejemplo: muelle de gravedad con defensas flexibles, la energía absorbida por la defensa coincidirá con el área comprendida entre la curva reacción/deformación y el eje de abscisas desde deformación cero hasta la máxima deformación, siendo el eje de abscisas el de las deformaciones.

4.3.3.5.2 CARGAS DE ROZAMIENTO (T)

Son cargas paralelas a la superficie del sistema de defensa que actúan vertical y horizontalmente en la zona de contacto entre el casco del buque y el sistema de atraque. Dichas fuerzas son las componentes tangenciales inducidas por la oblicuidad del impacto y la geometría del buque en la zona de contacto. Para la determinación de dichas fuerzas se considerará que, en el momento de máxima deformación, en el punto de contacto atraque/buque no hay deslizamiento relativo, produciéndose únicamente una rotación del buque alrededor del punto de contacto; y que el sistema de defensa es capaz de deformarse únicamente en la dirección normal a la superficie de atraque, aceptándose que defensa y estructura son rígidos en la dirección transversal (ROM, 1990).

$$T = \mu \times R \quad \text{Ecuación 42}$$

donde,

μ : Coeficiente de rozamiento entre la superficie del sistema de defensa y el casco del buque en el área de contacto, referente a la Tabla 4.6.

R : Carga de Impacto.

Tabla 4.6: Coeficientes de rozamiento.

Material	μ
Madera	0.3
Caucho o Goma	0.5
Nilón	0.2
Polietileno	0.3
Acero	0.4

Fuente: (ROM, 1990).

4.3.3.6 CARGAS DE AMARRE

Son las cargas sobre una estructura por una embarcación atracada a través del contacto entre éste y la estructura o el sistema de defensa, o a través de líneas de amarre tensionadas. También se considerarán como cargas de amarre aquellas debidas a maniobras del buque atracado; especialmente la liberación o rotura de amarras en carga y el pre-tensionado de ellas como auxilio durante la maniobra de atraque (ROM, 1990).

Las cargas de amarre son causadas por acciones exteriores, fundamentalmente medioambientales, que se ejercen sobre el buque atracado. Su magnitud y distribución dependerá principalmente de las características geométricas y físicas del sistema buque/amarras/defensas diseñado para hacer frente a los esfuerzos producidos por las acciones exteriores, de modo que permita la realización de operaciones en el buque atracado dentro de unos límites, en cuanto a movimientos admisibles (dependientes del tipo de buque y de la operación a llevar a cabo) y a esfuerzos máximos en amarres, defensas y buques (ROM, 1990).

Para buques de proyecto hasta 20000 [t] de desplazamiento, generalmente no será necesario aplicar la metodología general de cálculo de cargas de amarre, más bien se asumen las siguientes cargas:

Tabla 4.7: Cargas de amarre para embarcaciones de hasta 2000 [t].

Desplazamiento [t]	Carga de amarre [t]		
	En bolardo o gancho de escape rápido	En bita	En roldana *
Hasta 2.000	10	10	20
2.000 ~ 10.000	30	15	50
10.000 ~ 20.000	60	30	100

* Se entiende por roldana el dispositivo en polea que devuelve desde tierra la amarra al buque para su sujeción o tensionado.

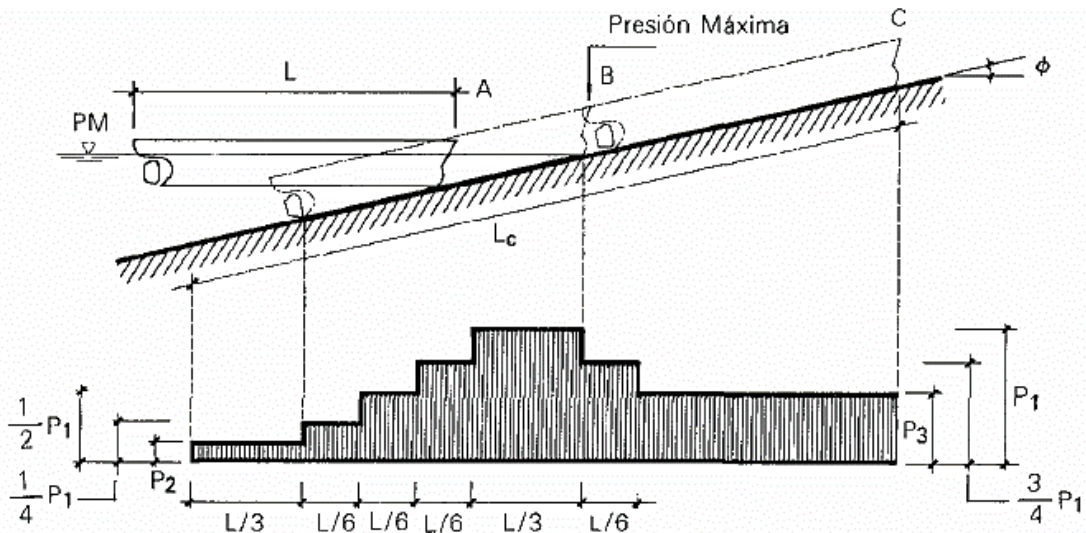
Fuente: (ROM, 1990).

4.3.3.7 CARGAS DE VARADO

Son las cargas generadas por los buques durante su operación de puesta en seco para reparación, construcción o mantenimiento, mediante halado o arrastre por planos inclinados. Las cargas sobre las rampas, carriles, carros de rodadura, picaderos y cadenas de arrastre, en magnitud, aplicación y distribución, podrán determinarse con la siguiente tabla:

Tabla 4.8: Cargas sobre varaderos de halado longitudinal en función del desplazamiento máximo de buque del proyecto, para carros rígidos.

I. Distribución longitudinal de cargas verticales



L : Eslora máxima.

Lc : Longitud de carriles.

P1 : Para desplazamientos > 2000 t $\rightarrow \frac{\text{Desplazamiento del mayor buque del proyecto}}{8}$ en t/m.

Para desplazamientos < 2000 t $\rightarrow \frac{\text{Desplazamiento del mayor buque del proyecto}}{3}$ en t/m.

P2 : Peso sumergido del carro en t/m, supuesto linealmente repartido.

P3 : 1.33 x (peso del buque + peso del carro) en seco, supuesto linealmente repartido.

II. Distribución transversal de cargas verticales y horizontales

Sobre carriles:

- 2 carriles:
 - (1) Mitad de la carga vertical sobre cada carril.
 - (2) Mitad de la carga vertical sobre cada carril + carga horizontal de viento sobre un carril:
- 3 carriles o más:
 - (1) Carga total vertical sobre los carriles de quilla.
 - (2) Carga total vertical sobre los carriles de quilla + carga horizontal de viento sobre los carriles laterales de un lado.
 - (3) Mitad de la carga vertical sobre los carriles de quilla + $\frac{1}{4}$ de la carga vertical total sobre los carriles laterales de cada uno de los lados.
 - (4) Ídem que (3) + cargas horizontales de viento sobre los carriles laterales de un lado.

Sobre picaderos:

Igual que para 3 carriles o más.

Fuente: (ROM, 1990).

Podrá suponerse aplicada sobre cada carro la carga correspondiente a la distribución uniforme longitudinal de 1.33 veces el desplazamiento del mayor buque del proyecto, repartido en toda la superficie del carro (ROM, 1990).

4.3.4 ANÁLISIS ESTÁTICO SISMICO Y SU DEFORMACIÓN

El esfuerzo de corte basal es un método de análisis estático de sismo que permite determinar la fuerza lateral total como consecuencias de las inercias que se induce a un sistema, distribuyéndolo posteriormente a lo largo de la estructura. Se calcula con la siguiente ecuación (INN, 2012):

$$Q_o = CIP \quad \text{Ecuación 43}$$

donde,

$$C : \text{Coeficiente sísmico} \quad C = \frac{2.75 A_o}{g R} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n \quad \text{Ecuación 44}$$

P : Peso total de la estructura incluida a lo menos el 25% del peso de la sobrecarga.

I : Coeficiente relativo a la categoría de la estructura, según la tabla siguiente:

Tabla 4.9: Valores del coeficiente I.

CATEGORÍA	I
A: Edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o utilidad pública.	1.2
B: Edificios cuyo contenido es de gran valor (Ej: museos, bibliotecas, etc.)	1.2
C: Edificios destinados a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a la categoría A ó B.	1.0
D: Construcciones aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificadas en ninguna de las categorías anteriores.	0.6

Fuente: (INN, 2012).

En ningún caso el valor de C será menor que $A_o/6g$

T^* : Periodo del modo con mayor masa traslacional equivalente a la dirección del análisis.

n, T' : Parámetros relativos al tipo del suelo de fundación, que se determinan según la norma NCH 433 (INN, 2012).

A_o : Aceleración efectiva, según la siguiente tabla:

Tabla 4.10: Valores de aceleración efectiva.

ZONA SÍSMICA	A_o
1	0.20g
2	0.30g
3	0.40g

Fuente: (INN, 2012)

R : Factor de modificación de la respuesta, en pórticos de acero estructural y hormigón armado $R = 7$ (INN, 2012). De acuerdo a este valor, C no debe ser mayor a $0.35SA_o/g$, donde S depende del tipo de suelo.

g : Gravedad.

Cuando el análisis se realiza con las solicitaciones sísmicas reducidas por el factor R, las deformaciones se deben determinar de:

$$d = d_0 + R \times d_d \quad \text{Ecuación 45}$$

donde,

- d : Deformación sísmica.
- d_0 : Deformación debida a cargas de servicio no sísmicas.
- d_d : Deformación calculada con solicitaciones sísmicas reducidas por el factor R, es decir, deformación del sismo obtenido por el modelo.

Esta deformación no debe ser superior a 0.015 veces la altura entre dos puntos ubicados sobre la misma vertical (INN, 2003), de ser así es necesario agregar elementos arriostrados.

5 METODOLOGÍA

La metodología empleada, se dividirá en tres etapas:

Etapas I: Caracterización del medio.

- Se crea una malla batimétrica a partir de las cartas náuticas de Valparaíso y con el software Global Mapper se separa la información de línea de costa, veriles y sondajes. Además, se describe de forma general la calidad de suelo.
- Se analizan las condiciones naturales del área, comenzando con la recopilación de datos de dirección y magnitud del viento durante 1 año obtenida del explorador eólico (Universidad de Chile, 2017) y con métodos estadísticos, clima medio, se analiza el viento reinante. Para el análisis de clima extremo, se ocupa una data histórica de 20 años sólo de velocidad de viento.
- El régimen de marea es adquirido con el método armónico utilizando el software T-Tide (Pawlowicz, Beardsley, & Lentz, 2002) a base de una data de 16 años de la estación de monitoreo ubicada en el puerto de Valparaíso (IOC, 2017).
La marea meteorológica se calcula a partir de la diferencia entre la serie del nivel del mar corregido y serie de la marea astronómica reconstruida mediante al análisis armónico, luego con el objeto de determinar el comportamiento extremo de la serie de marea meteorológica, se realiza un análisis de valores extremos.
- Similar al viento, el oleaje en aguas profundas se analiza con una data histórica de 36 años (1980 – 2005) del nodo ubicado en Valparaíso (Nodo 8) obtenido del Atlas de Oleaje (Beyá, et al., 2017), mediante el mismo análisis estadístico.
Para conocer el comportamiento del oleaje en el sitio de interés, se realiza una transferencia espectral de oleaje desde aguas profundas al veril -20 [m], con la malla batimétrica y el modelo numérico SWAN (Simulating Waves Nearshore). Se propaga utilizando el método de altura unitaria ($H_{MO} = 1$ [m]) considerando el periodo constante. Así, se obtiene el coeficiente de agitación y dirección para cada combinación. Luego, se realiza una comparación de la transferencia espectral basada en parámetros de resumen y transfiriendo el espectro de aguas profundas al sitio.
En el primer caso la altura de ola en la zona de interés, es el producto entre el coeficiente de agitación y la altura de ola en condiciones de aguas profundas, referida al periodo, llegando con la dirección que entrega el software. El segundo caso corresponde a la aplicación de un algoritmo que multiplica el coeficiente de agitación cuadrático por la densidad espectral reordenando la dirección de aguas profundas en relación al coeficiente de dirección obtenido con el software, de esta forma se obtiene un nuevo espectro, del sitio, al que se le calculan los parámetros de resumen de éste.
Finalmente se reanalizan ambas datas, con un análisis de clima medio y extremo en el sitio, optando por la más conservadora.
Luego es necesario propagar esta ola al pie de la obra con las ecuaciones expuestas en el ítem 4.1.1.4.2.
- A partir de formulaciones de hidrodinámica de rompiente se obtiene la influencia de la corriente transversal y longitudinal, determinando la profundidad de cierre y profundidad activa, con la Ecuación 5 y Ecuación 6 respectivamente.

Etapa II: Caracterización de embarcaciones.

- Con la data entregada por ASMAR Valparaíso, lista de embarcaciones menores creadas y reparadas en la planta, se determina la más grande como nave de diseño y a partir de ésta, aplicando la Ecuación 8 y la Ecuación 9 se calcula el mínimo calado necesario para el atraque y la longitud de la línea de atraque.

Etapa III: Diseño.

- Se determina la vida útil de la obra (Tabla 4.3) y el riesgo en pérdidas humanas o daños en caso de rotura (Tabla 4.4). Así, es posible calcular el periodo de retorno con la Ecuación 10. Definido el periodo de retorno se especifican las condicionantes de diseño.
- Teniendo clara las necesidades del cliente, se proyecta en planta la rampa y muro costero de contención que funciona como atraque.
- Se definen las cargas involucradas en ambas estructuras con lo aportado en el capítulo 4.3.3.
- Para el diseño del muro costero de contención se calcula la cota de coronamiento (Ecuación 11) y se proponen dos diseños de muros costeros de contención: muro cantiléver y muro gravitacional, precisando las dimensiones y materiales en cada caso. Cabe recalcar que para evitar una falla estructural se ocupó un factor de seguridad igual a 1.2.
- El requerimiento geométrico de la rampa se determina con lo otorgado en el capítulo 4.3.2.2. Al igual que con el diseño anterior, se determinan dos estructuras: una rampa opaca y una transparente. Ésta última es modelada con el software *SAP2000*², incluyendo todos los factores involucrados, para confirmar su resistencia. Se incluye el esfuerzo por corte basal (Ecuación 43) y calculan las deformaciones de la estructura (Ecuación 45), de esta manera, se determina si es necesario incluir elementos arriostrados.
- Una vez descritos los diseños se cubican y realiza un presupuesto de precios unitarios de cada estructura, con el fin de determinar cuál es más económica para proyectar.

² *SAP2000*: Programa de elementos finitos para modelado, análisis y dimensionamiento de cualquier estructura (CSI, 2018).

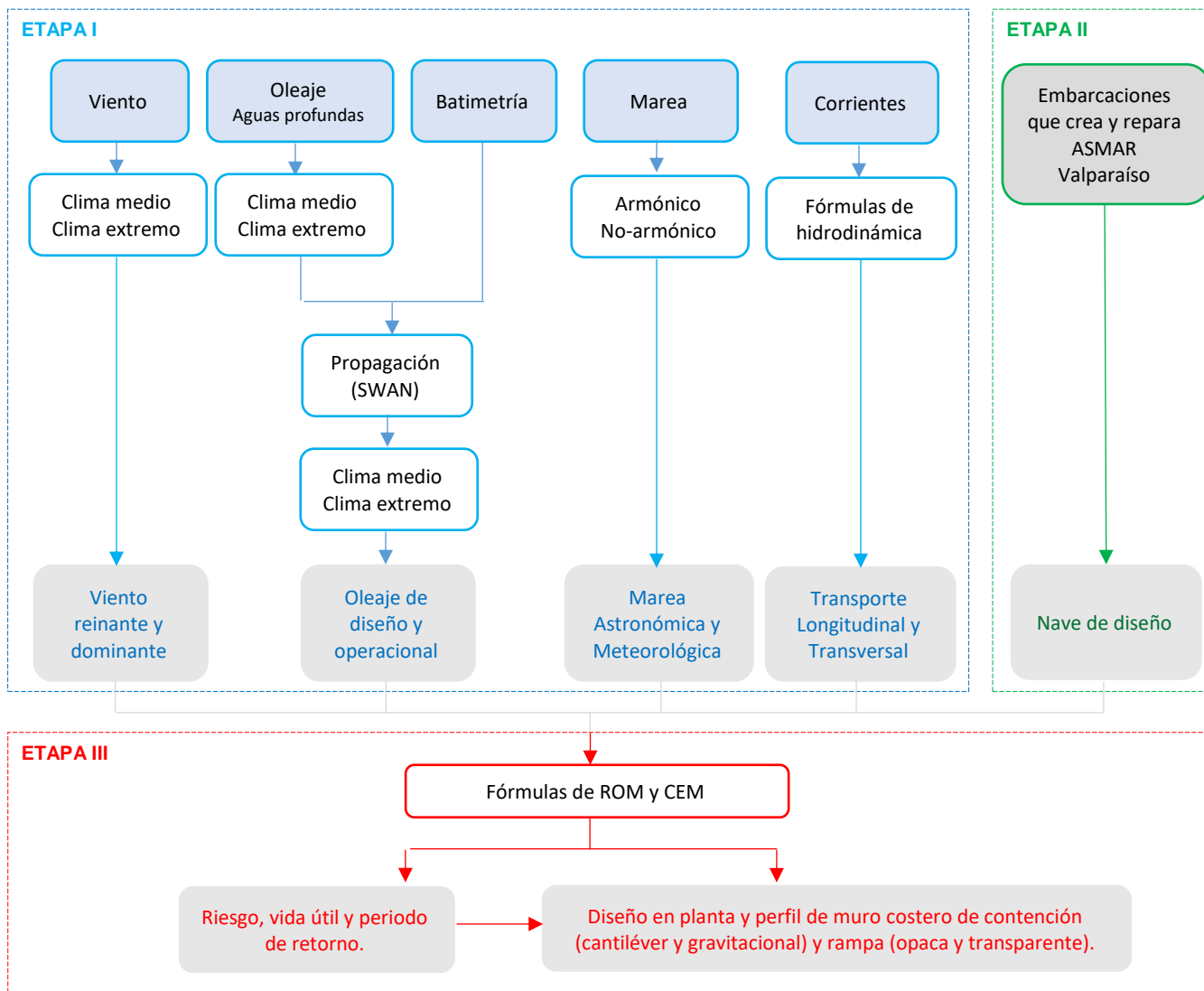


Figura 5.1: Mapa conceptual de la metodología empleada en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.

6 RESULTADOS

Utilizando la información abarcada en el marco teórico (Capítulo 4) y aplicando la metodología antes expuesta (Capítulo 5), se presentan los resultados obtenidos para cada variable involucrada en el diseño.

6.1 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

6.1.1 BATIMETRÍA

Las principales características del margen continental chileno centro-sur son la plataforma continental bien desarrollada, con la presencia de una serie de cuencas sedimentarias y cañones submarinos, éstos bajan hasta la fosa y que cortan un prisma de acreción presente en la totalidad del área. La distribución costera en el sector a estudiar es oblicua desalineada con acantilado discontinuo alternándose en rocas duras y blandas (Díaz-Naves, J & J. Frutos eds, 2010). El borde costero es escarpado y rocoso, destacándose singularidades naturales como Punta Duprat (Zurita, 2005).

La información batimétrica (Figura 6.1) se utiliza en los estudios ambientales (oleaje, mareas y corrientes). Además, es fundamental para el diseño y la maniobrabilidad de las embarcaciones. A continuación, se nombran las cartas náuticas digitales de Valparaíso utilizadas en la memoria, propiedad del SHOA:

Tabla 6.1: Cartas náuticas.

Carta N°	Escala	Nombre
4000	1:500000	Bahía Coquimbo a Bahía Valparaíso
4320	1:500000	Bahía Quintero a Bahía Valparaíso
5000	1:500000	Bahía de Valparaíso a Golfo de Arauco
5111	1:100000	Bahía y Puerto de Valparaíso

Fuente: Elaboración propia.

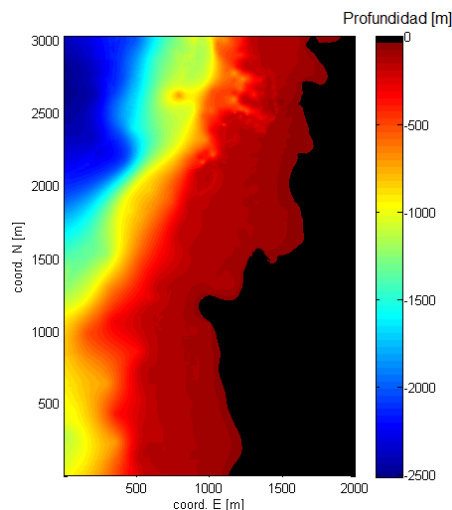


Figura 6.1: Grilla batimétrica. Fuente: Elaboración propia con Matlab.

6.1.2 VIENTO

Los datos de velocidad y dirección del viento son obtenidos frente al sitio a 5.5 [m] sobre el nivel medio del mar, exactamente en la latitud -33.0245 y longitud -71.6316.

6.1.2.1 CLIMA MEDIO

De un total de 8736 datos de dirección y magnitud registrados cada 1 hora durante el año 2010, se presenta la tabla de incidencia del viento reinante, discretizando la velocidad del viento en 6 intervalos cada 2.5 [m/s]:

Tabla 6.2: Tabla de incidencia dirección – velocidad de viento.

		Dirección								Total
		NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	
Velocidad [m/s]	< 1 (Calma)	3.1%	3.4%	3.7%	6.0%	10.5%	4.7%	4.6%	1.5%	37.4%
	[1 - 2]	3.8%	3.6%	3.5%	6.1%	9.8%	5.2%	5.8%	1.9%	39.7%
	[2 - 3]	1.4%	0.7%	0.7%	1.6%	2.8%	2.1%	2.1%	1.0%	12.3%
	[3 - 4]	0.5%	0.3%	0.4%	0.8%	2.4%	1.1%	0.8%	0.4%	6.9%
	[4 - 5]	0.2%	0.1%	0.2%	0.4%	0.8%	0.1%	0.2%	0.1%	2.1%
	[5 - 6]	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.8%
	[6 - 7]	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%
	[7 - 8]	0.0%	-	-	0.0%	-	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
	[8 - 9]	0.0%	-	0.1%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%
	[9 - 10]	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	-	-	0.1%
	> 10	0.0%	0.0%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	0.1%
	Total	9.3%	8.2%	8.7%	15.0%	26.6%	13.5%	13.6%	5.0%	100%
Máx	10.964	11.472	9.418	7.11	10.132	10.506	11.636	8.806		

Fuente: Elaboración propia.

A través de la Tabla 6.2 y Figura 6.2 se puede concluir que el régimen más común alcanza hasta 2.5 [m/s], mayor al 80% de incidencia, proveniente principalmente del Suroeste.

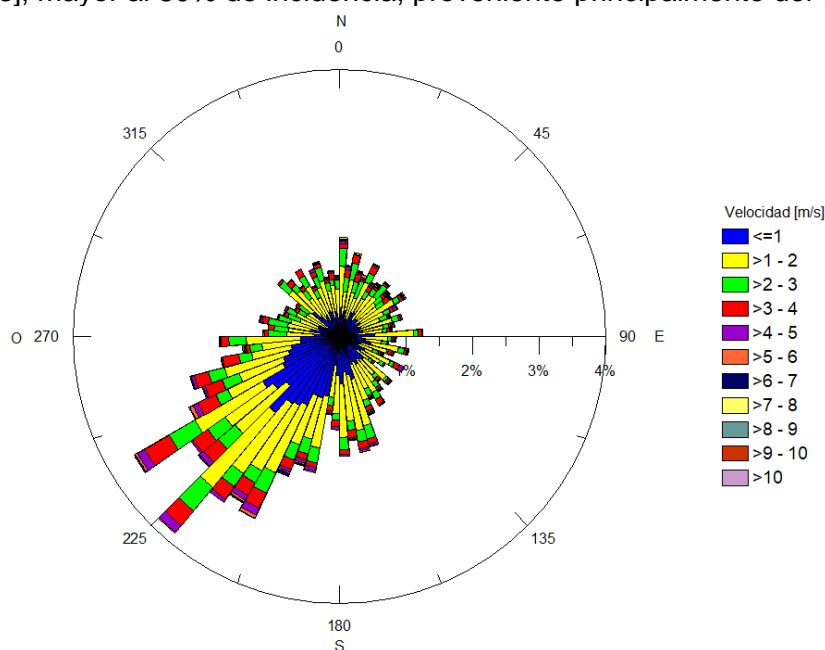


Figura 6.2: Rosa de viento. Fuente: Elaboración propia con Grapher.

6.1.2.2 CLIMA EXTREMO

A partir de una data de velocidades de viento en 20 años (entre 1994 y 2013) se seleccionan los máximos anuales (Anexo A 1), con la distribución de Gumbel y Weibull se obtienen los valores extremos de viento para 2, 5, 10, 25, 50, 70 y 100 años (Anexo A 2).

Gumbel y Weibull $k = 2.0$ tienen el mismo porcentaje de correlación, equivalente al 96%, de forma conservadora se presenta la distribución de Gumbel Figura 6.3 y Tabla 6.3 por tener mayores velocidades a lo largo del periodo de retorno.

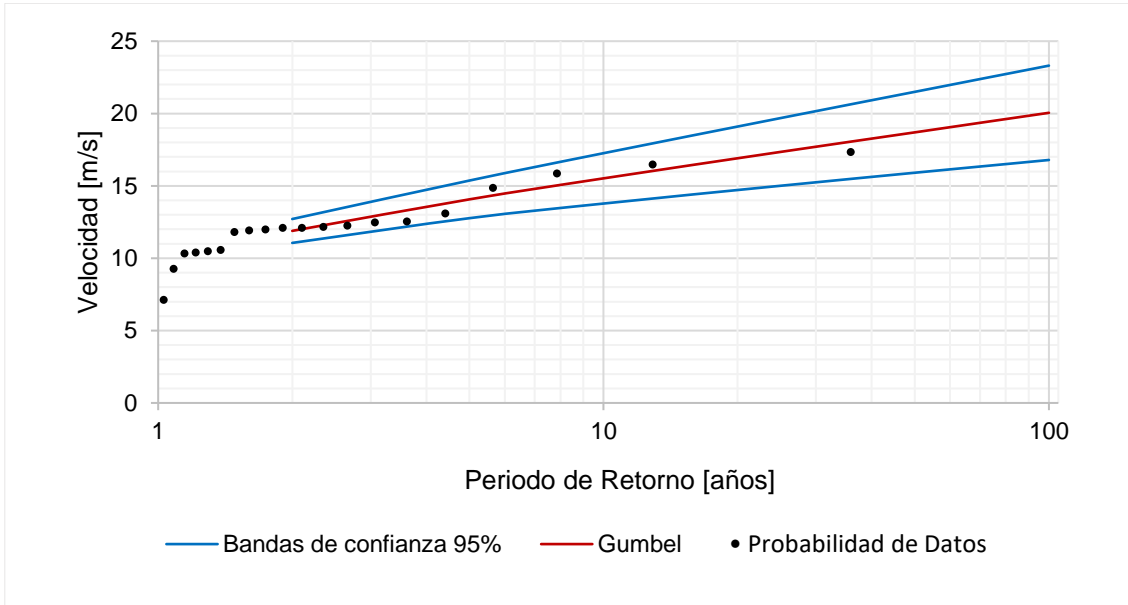


Figura 6.3: Distribución de Gumbel y bandas de confianza para el viento. Fuente: Elaboración propia.

Para disminuir la incertidumbre en la valoración de futuros eventos extremos, se consideran bandas de confianza. Así, el límite superior entrega un 95% de probabilidad de que este valor no sea superado en el tiempo.

Tabla 6.3: Clima extremo de viento.

		Velocidad [m/s]		
		Banda de confianza Intervalo Inferior	Distribución de Gumbel	Banda de confianza Intervalo Superior
Periodo de retorno [años]	2	11.14	11.97	12.8
	5	12.88	14.19	15.5
	10	13.91	15.66	17.41
	25	15.16	17.51	19.87
	50	16.07	18.89	21.71
	70	16.56	19.64	22.71
	100	16.97	20.25	23.54

Fuente: Elaboración propia.

6.1.3 MAREA

Para determinar el comportamiento del nivel del mar, se utiliza una data de 16 años de medición con registros cada 1 minuto, que cubre desde el 1 de enero de 2000 hasta 31 de diciembre de 2016, con un total de 149039 datos registrados por el mareógrafo propiedad del SHOA ubicado en el molo de abrigo, exactamente en la latitud -33.0273 y longitud -71.625.

6.1.3.1 MAREA ASTRONÓMICA

A la data, antes mencionada se le realiza un análisis armónico cuya confiabilidad es de un 89%. Los términos armónicos más representativos se presentan en la Figura 6.4 que visualiza la influencia de cada constituyente:

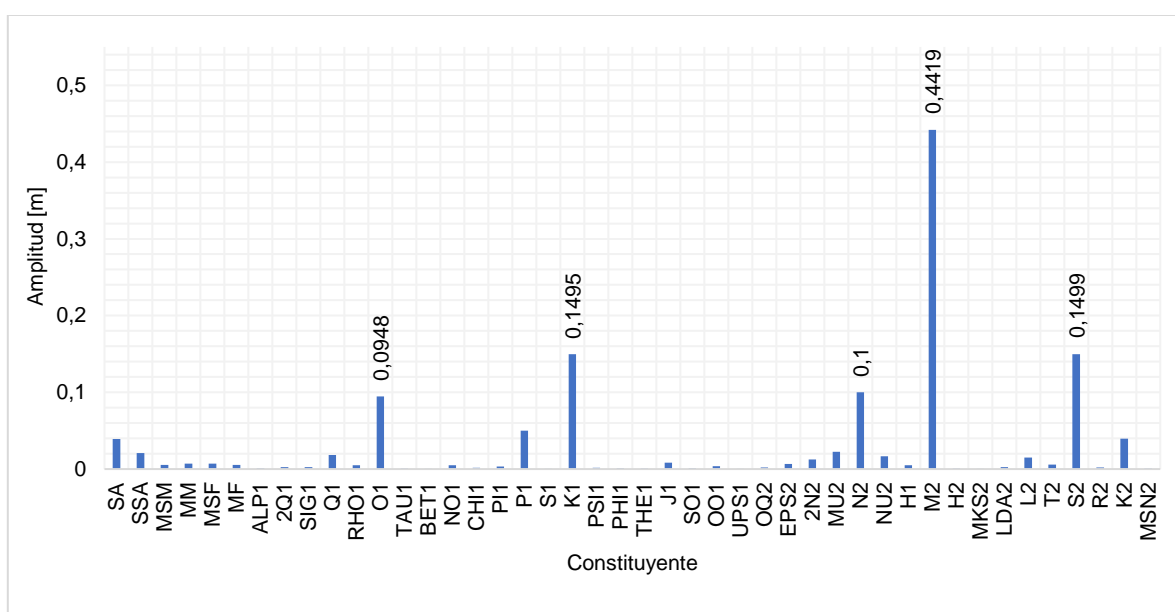


Figura 6.4: Amplitud de constituyentes armónicas. Fuente: Elaboración propia.

El rango de marea es de 1.28 [m], equivalente a la suma de todas las constituyentes (Anexo A 3). La constituyente más influyente es la semi-amplitud lunar principal (M2), por lo tanto, se demuestra que el régimen de marea del sector es del tipo semi-diurno. Además, se determina el Nivel de Reducción de Sondas a partir de la siguiente expresión (SHOA, 2015):

$$\text{NRS} = \text{NM} - (\text{O1} + \text{K1} + \text{N2} + \text{M2} + \text{S2})$$

donde,

- O1 : Semi-amplitud lunar declinacional diurno.
- K1 : Semi-amplitud lunisolar declinacional diurno.
- N2 : Semi-amplitud lunar eclíptica mayor semidiurno.
- M2 : Semi-amplitud lunar principal semidiurno
- N2 : Semi-amplitud solar principal semidiurno.

Se obtiene que el NRS es de -0.93 [m], este valor es semejante con el valor de -0.91 [m] definido en las tablas de Marea del SHOA.

6.1.3.2 MAREA METEOROLÓGICA

A la serie armónica obtenida, se le resta la medición registrada por el mareógrafo, serie verde y azul de la Figura 6.5 respectivamente, obteniendo un residuo, serie negra, interpretado como marea meteorológica.

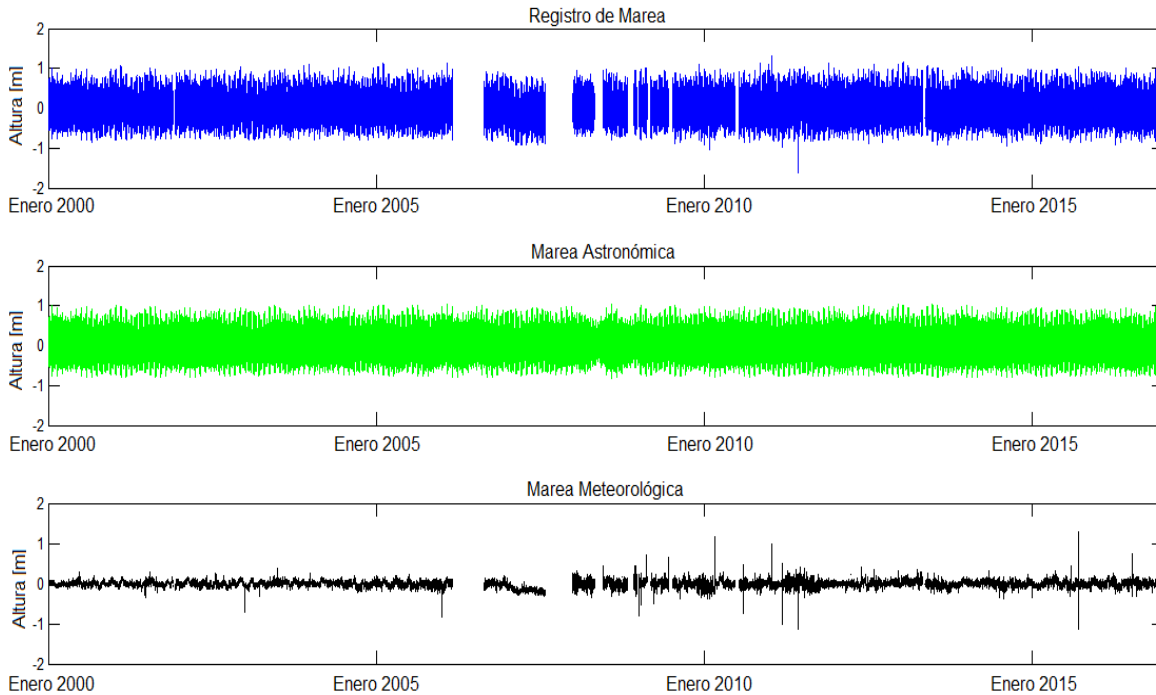


Figura 6.5: Marea astronómica y meteorológica. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que la influencia meteorológica en la bahía de Valparaíso es cercana a los 2 [cm] la mayor parte del tiempo, que es significativamente menor al rango de la marea astronómica. Sin embargo, existen frentes de mal tiempo que logran un importante aumento en la altura, superior a 0.5 [m].

Del residuo se observan variaciones del nivel del mar relativamente acotadas, con algunos peaks asociados a eventos de marejadas o tsunamis, principalmente desde el año 2010.

Con el fin de estimar el desnivel a lo largo de la vida útil del proyecto se realiza un análisis de clima extremo a la serie de residuo meteorológico, clasificando los 20 valores que superan el umbral de 0.5 [m] se excluyen los peaks de valores anómalos, mayor a 0.8 [m], debido a que son derivados de otros eventos no considerados en el diseño. Además, estos datos se relacionan con datos de viento y presión atmosférica (Anexo A 4).

Debido a que Gumbel y Weibull $k = 2.0$ tienen el mismo porcentaje de correlación (Anexo A 5) igual a 99%, se presenta el más conservador:

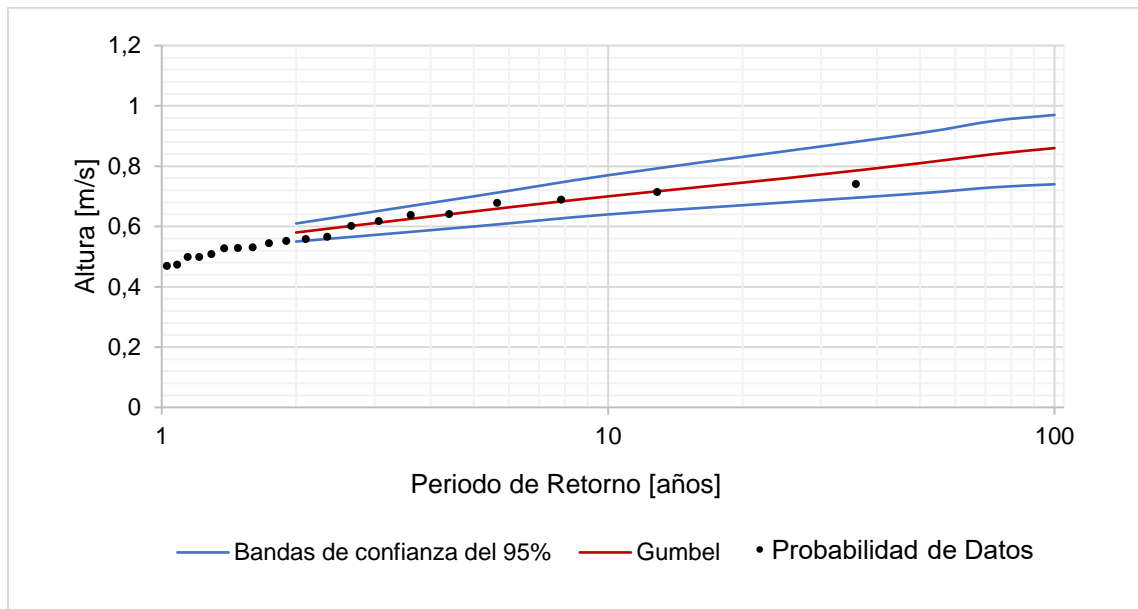


Figura 6.6: Distribución de Gumbel y bandas de confianza para marea meteorológica. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de Gumbel y las bandas de confianza presenta que el desnivel del mar por efectos meteorológicos tiene un 95% de probabilidad de no ser mayor a 0.97 [m] a los 100 años. A continuación, se presenta una tabla con los valores de la Figura 6.6:

Tabla 6.4: Clima extremo marea meteorológica.

		Altura [m]		
		Banda de confianza Intervalo Inferior	Distribución de Gumbel	Banda de confianza Intervalo Superior
Periodo de retorno [años]	2	0.55	0.58	0.61
	5	0.60	0.65	0.70
	10	0.64	0.70	0.77
	25	0.68	0.76	0.85
	50	0.71	0.81	0.91
	70	0.73	0.84	0.95
	100	0.74	0.86	0.97

Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar, que todas las cotas topo-batimétricas son referidas al N.R.S, siendo este entonces, el origen o cota cero, de los planos del sector.

6.1.4 OLEAJE

La data de 36 años analizada corresponde a parámetros de resumen espectrales de oleaje cada 3 horas entre el año 1980 hasta el año 2015, correspondiente a 105191 datos, ubicada en la latitud 33° S y longitud 73° O.

6.1.4.1 OLEAJE DE AGUAS PROFUNDAS

6.1.4.1.1 CLIMA MEDIO

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al estudio operacional de oleaje. Para la elaboración de las tablas de incidencia: Tabla 6.5, Anexo A 6 y Anexo A 7, se utilizan los parámetros espectrales: altura significativa, periodo peak y dirección peak. Las tablas de incidencia tienen un rango de alturas cada 1 [m] hasta los 7 [m] y periodos desde los 4 [s] a 24 [s] separados en intervalos de 2 [s].

Tabla 6.5: Tabla de incidencia periodo – altura en aguas profundas.

		Altura significativa [m]							Total
		[0 - 1]	[1 - 2]	[2 - 3]	[3 - 4]	[4 - 5]	[5 - 6]	[6 - 7]	
Periodo [s]	[4 - 6]	-	0.05%	0.02%	0.01%	-	-	-	0.08%
	[6 - 8]	0.00%	0.81%	1.86%	0.30%	0.01%	-	-	2.98%
	[8 - 10]	0.04%	1.21%	1.93%	0.84%	0.04%	0.00%	-	4.06%
	[10 - 12]	0.15%	5.91%	5.39%	1.26%	0.08%	0.02%	0.00%	12.81%
	[12 - 14]	0.43%	18.01%	24.33%	6.67%	0.43%	0.02%	0.00%	49.89%
	[14 - 16]	0.16%	5.84%	8.93%	3.66%	0.30%	0.02%	0.00%	18.92%
	[16 - 18]	0.08%	3.47%	4.93%	1.74%	0.25%	0.02%	-	10.47%
	[18 - 20]	0.00%	0.32%	0.33%	0.06%	-	-	-	0.71%
	[20 - 22]	-	0.04%	0.03%	0.00%	-	-	-	0.08%
[22 - 24]	-	-	0.01%	-	-	-	-	0.01%	
Total		0.86%	35.66%	47.76%	14.53%	1.11%	0.08%	0.01%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Para describir las otras combinaciones de variables se añaden rosas de oleaje, uno de altura v/s dirección y periodo v/s dirección respectivamente.

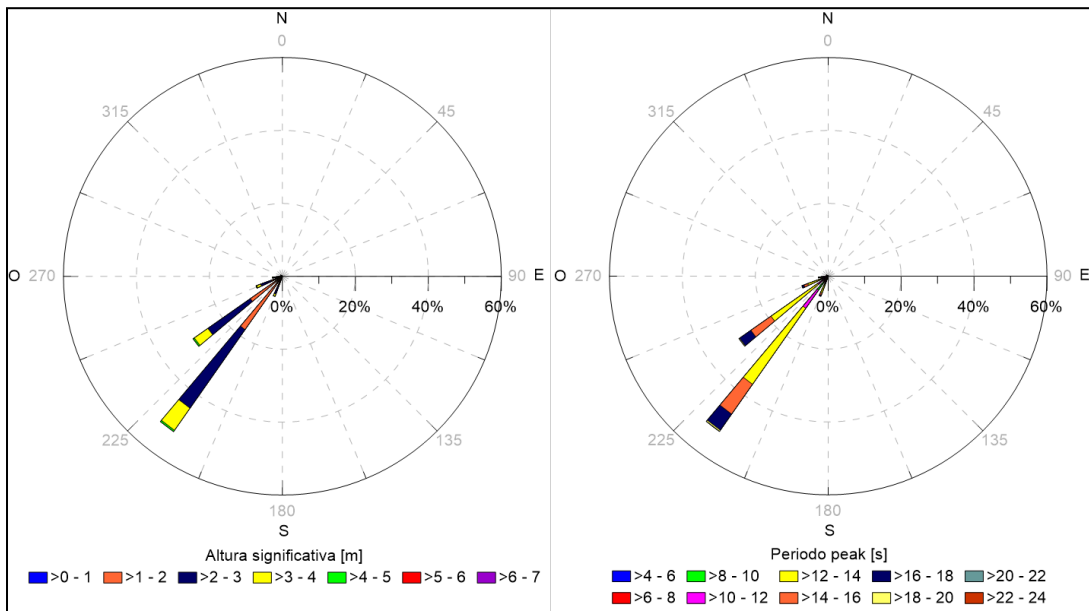


Figura 6.7: Rosas de oleaje altura – dirección y periodo – dirección, en aguas profundas.

Fuente: Elaboración propia.

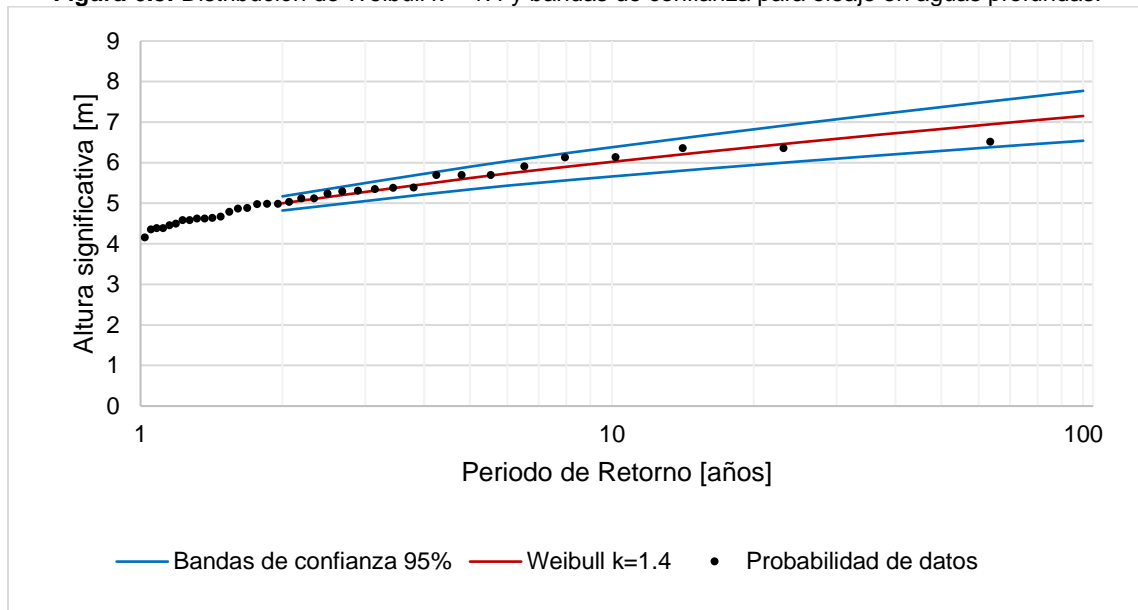
De la Tabla 6.5 y Figura 6.7 se observa que la dirección reinante, con mayor porcentaje de ocurrencia en aguas profundas proviene del suroeste con alturas entre 1 [m] y 3 [m], con periodo característico entre 12 [s] y 14 [s].

6.1.4.1.2 CLIMA EXTREMO

A partir de la data anterior se seleccionan los máximos anuales (Anexo A 8), con la distribución de Gumbel y Weibull se obtienen los valores extremos de oleaje en aguas profundas para 2, 5, 10, 25, 50, 70 y 100 años (Anexo A 9).

Se presenta la Figura 6.8 y la Tabla 6.6 resultados de Weibull $k = 1.4$ debido a que tiene el mayor coeficiente de correlación, equivalente al 99%.

Figura 6.8: Distribución de Weibull $k = 1.4$ y bandas de confianza para oleaje en aguas profundas.



Fuente: Elaboración propia.

Al considerar las bandas de confianza, el límite superior entrega una proyección de altura de ola con un 95% de probabilidad que esta no sea superada en el futuro.

Tabla 6.6: Clima extremo en aguas profundas.

		Altura significativa [m]		
		Banda de confianza Intervalo Inferior	Distribución de Weibull $k = 1.4$	Banda de confianza Intervalo Superior
Periodo de retorno [años]	2	4.82	5	5.17
	5	5.34	5.62	5.9
	10	5.66	6.02	6.38
	25	6.03	6.5	6.96
	50	6.29	6.83	7.37
	70	6.43	7.01	7.59
	100	6.54	7.15	7.77

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.2 TRANSFERENCIA ESPECTRAL

A partir de la malla batimétrica, se define una malla principal y dos anidados. La malla principal tiene una resolución de 100x100 [m] que considera condiciones de aguas profundas, los anidados tienen resolución de 30x30 [m] y 10x10 [m], con el objetivo de simular con mayor detalle la zona de estudio. La Figura 6.9 contiene un esquema de la ubicación de la malla de cálculo principal y los dos anidados.

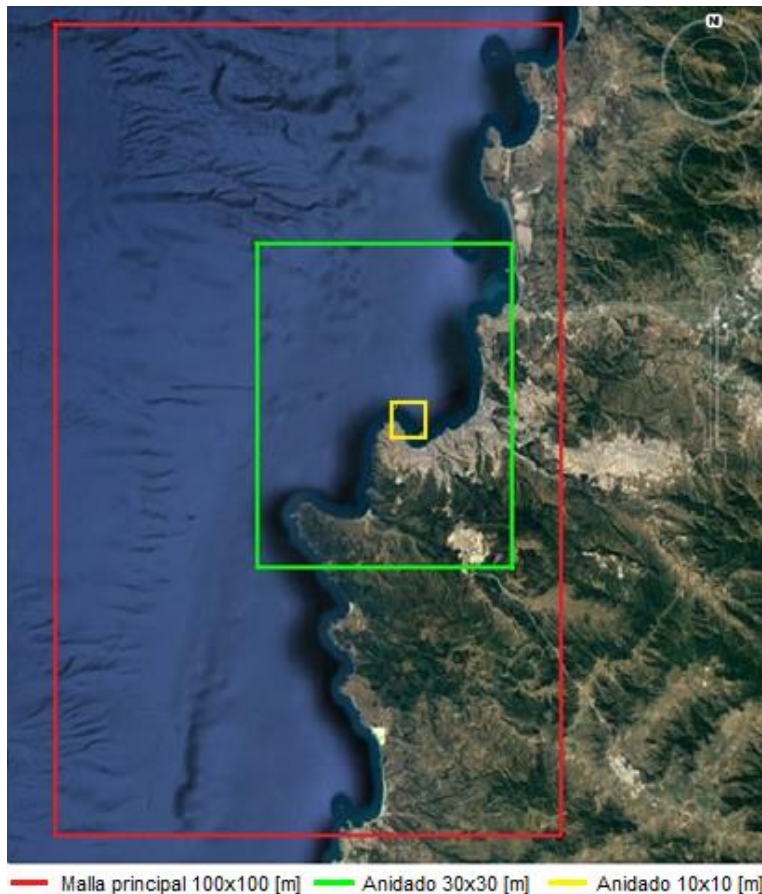


Figura 6.9: Malla y anidados. Fuente: Elaboración propia con Google Earth.

Para conocer el comportamiento del oleaje en el sitio de interés, se realizan 130 propagaciones (Anexo A 10) combinando las direcciones del tercer y cuarto cuadrante con periodos impares desde 1 [s] a 27 [s].

Los datos se propagan hasta 20 [m] de profundidad, exactamente en la latitud 33°1'13,13" S y longitud 71°37'46,65"O.

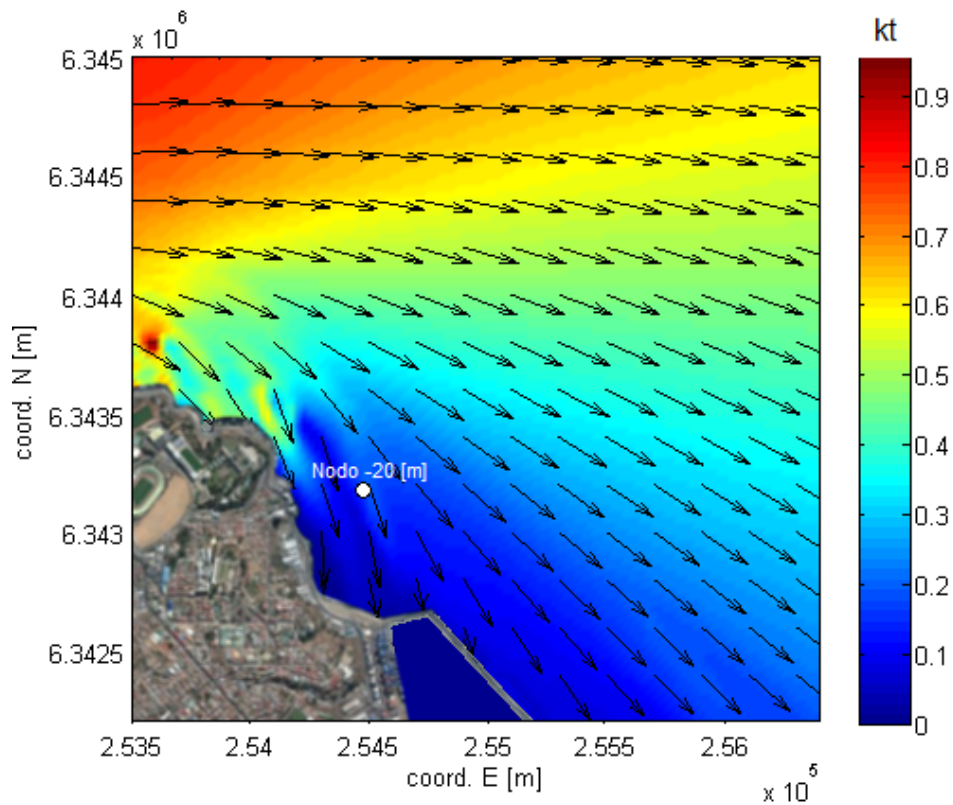


Figura 6.10: Propagación SO y periodo 13 [s]. Fuente: Elaboración propia con SWAN y Matlab.

La Figura 6.10 enseña la ubicación del nodo y los resultados de propagación de oleaje en condición operacional, considerando parámetros espectrales en aguas profundas: periodo de 13 [s] y dirección suroeste.

A partir de la propagación se obtuvieron los siguientes coeficientes de transferencia del oleaje (Anexo A 11 y Anexo A 12):

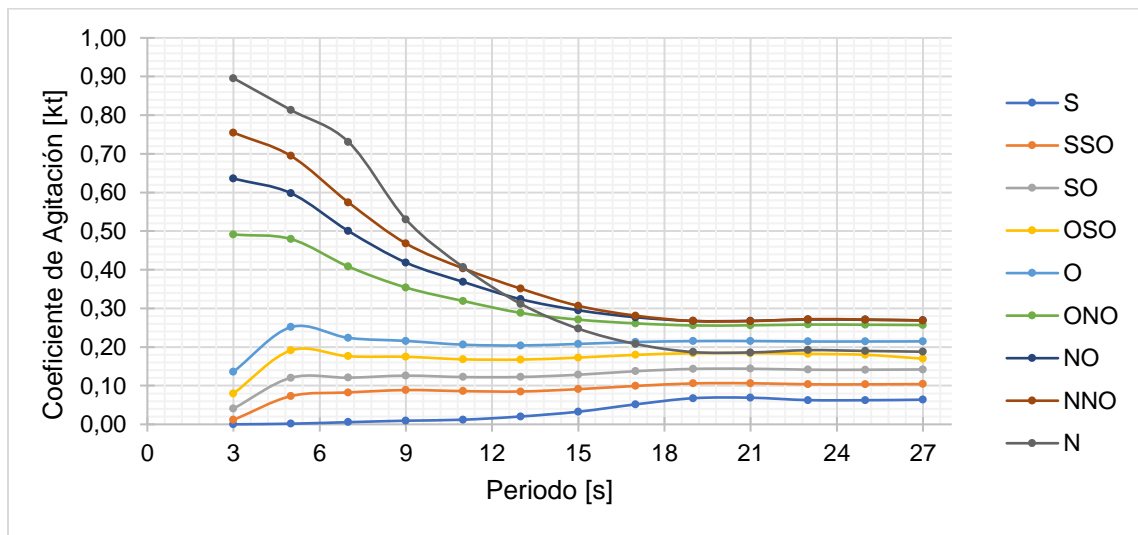


Figura 6.11: Gráfico coeficientes de agitación. Fuente: Elaboración propia.

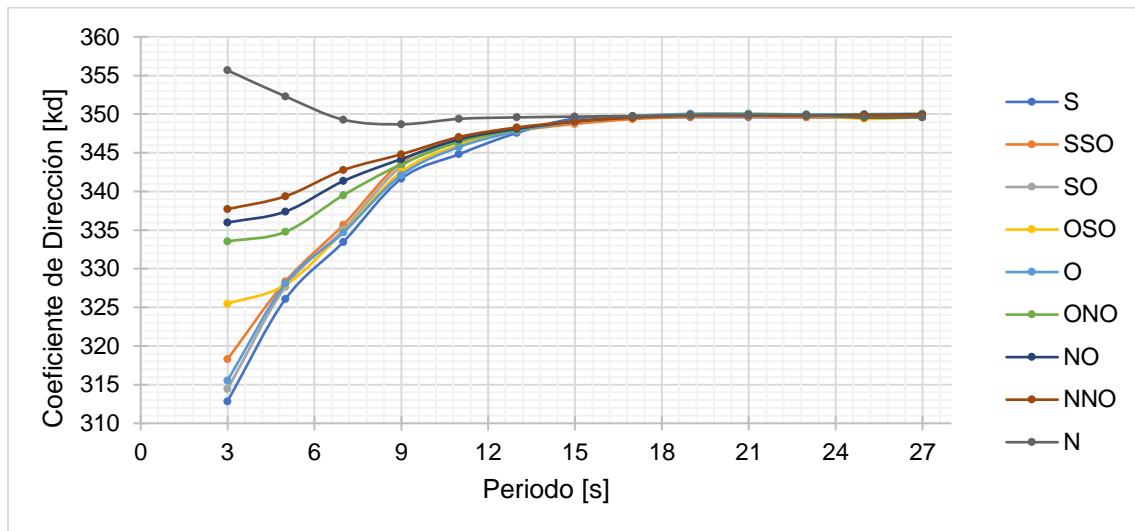


Figura 6.12: Gráfico coeficientes de dirección. Fuente: Elaboración propia.

De los gráficos anteriores se aprecia que los coeficientes de altura varían dependiendo de las direcciones de incidencia, las provenientes del tercer cuadrante poseen los coeficientes menores, debido a la protección natural del sector, disminuyendo casi en su totalidad la energía que proviene desde el Sur. Se aprecia que el oleaje proveniente del cuarto cuadrante entrega mayores coeficientes de transferencia, por lo que las alturas más considerables a registrar en el sector vendrán desde esas direcciones. Conjuntamente, desde el periodo 15 [s] en adelante el coeficiente de agitación se mantiene entre 0 y 0.3.

En cuanto a las direcciones, se obtiene que el oleaje proveniente del tercer cuadrante posee modificaciones en su trayectoria, debido a efectos de refracción y difracción. El oleaje proveniente del cuarto cuadrante llega casi de forma directa a la zona de interés debido a la orientación que posee el sector a emplazar el proyecto, dónde Punta Curaumilla y Punta Ángeles funcionan como protección natural de la bahía de Valparaíso. Además, a medida que aumenta el periodo, el coeficiente de dirección es más constante, alcanzando los 350°.

Debido a la configuración espacial del sitio a estudiar es necesario aplicar la transferencia espectral, tanto a la data de los parámetros de resumen como a la data del espectro de aguas profundas, para caracterizar todos los efectos de variación direccional, variación de la energía y altura, que se presentan en el oleaje.

6.1.4.2.1 CLIMA MEDIO EN EL SITIO DE INTERÉS

A continuación, se presentan los resultados correspondientes al estudio operacional de oleaje en el sitio de interés.

Las tablas de incidencias y rosas de oleaje obtenidas de la transferencia del espectro de aguas profundas al sitio se encuentran en el Anexo A 13, Anexo A 14, Anexo A 15 y Anexo A 16. Sin embargo, se presentan a continuación las tablas de incidencia a utilizar en este proyecto: Tabla 6.7, Anexo A 17 y Anexo A 18 obtenidas de la transferencia por parámetros de resumen, es decir, altura significativa en el sitio (altura de aguas profundas por

coeficiente de agitación), periodo peak y dirección obtenida de la propagación, debido a que es más conservador, respecto a altura de ola.

Tabla 6.7: Tabla de incidencia altura – dirección en el sitio de interés.

		Dirección		Total
		N	NNO	
Altura significativa [m]	[0 - 0.5]	-	48.44%	48.44%
	[0.5 - 1]	0.01%	41.00%	41.00%
	[1 - 1.5]	0.00%	9.58%	9.58%
	[2 - 2.5]	0.00%	0.04%	0.05%
	[1.5 - 2]	0.00%	0.93%	0.93%
	Total	0.01%	99.99%	100%

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 6.7 y Figura 6.13 se observa que la dirección reinante, con mayor porcentaje de ocurrencia en el sitio de interés frente a ASMAR es proveniente del nornoroeste con alturas menores a 1 [m], con periodo característico entre 12 [s] y 14 [s].

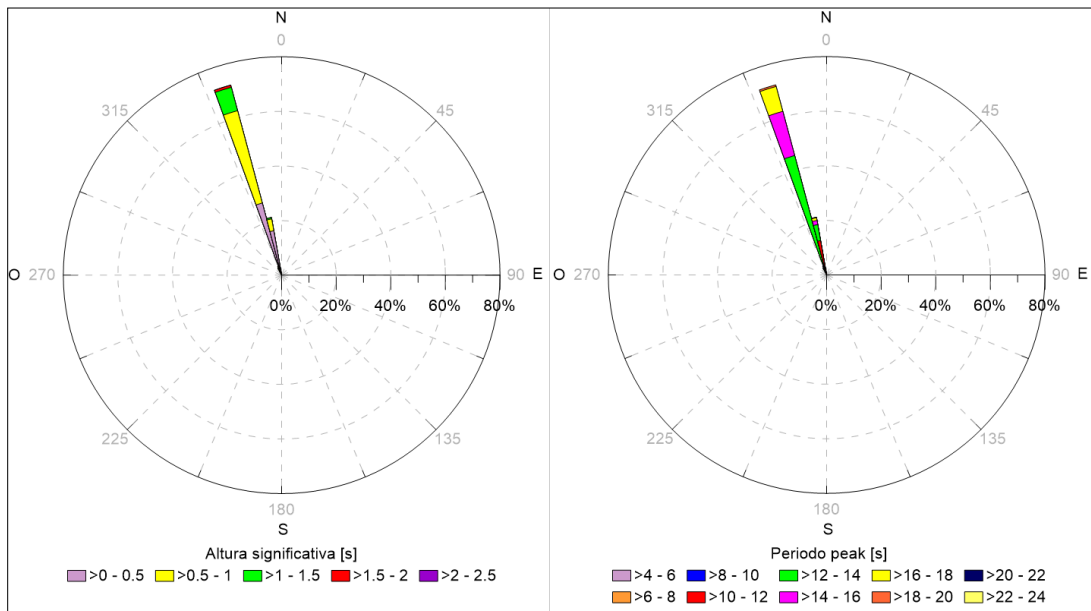


Figura 6.13: Rosas de oleaje altura – dirección y periodo – dirección, en el sitio de interés.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4.2.2 CLIMA EXTREMO EN EL SITIO DE INTERÉS

A partir de la nueva data de alturas de ola en el sitio se seleccionan los máximos anuales (Anexo A 19 y Anexo A 20) tanto de la data obtenida con parámetros de resumen como la transferencia del espectro, con la distribución de Gumbel y Weibull se obtienen los valores extremos de oleaje para 2, 5, 10, 25, 50, 70 y 100 años (Anexo A 21 y Anexo A 22), debido a que es más conservador el primer caso se presenta la Figura 6.14 y la Tabla 6.8 resultados de Gumbel, con un coeficiente de confiabilidad del 99%.

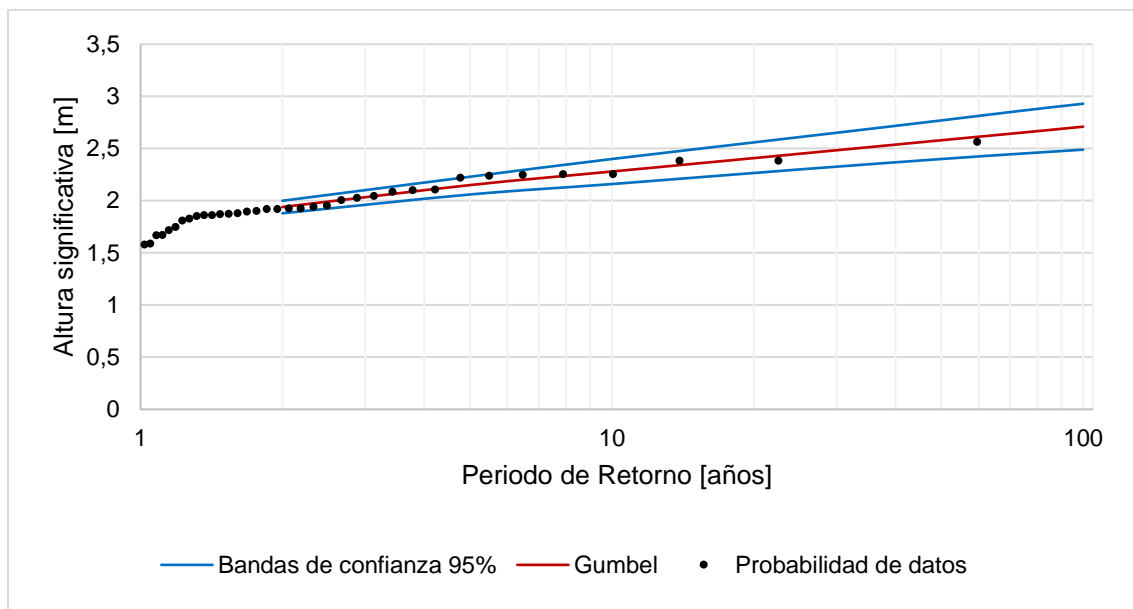


Figura 6.14: Distribución de Gumbel y bandas de confianza para oleaje en el sitio de interés.
Fuente: Elaboración propia.

La proyección de altura de ola frente a ASMAR Valparaíso es menor a 2.86 [m], con un 95% de probabilidad que esta no sea superada en el futuro.

Tabla 6.8: Clima extremo de oleaje en el sitio de interés.

		Altura significativa [m]		
		Banda de confianza Intervalo Inferior	Distribución de Gumbel	Banda de confianza Intervalo Superior
Periodo de retorno [años]	2	1.88	1.94	2
	5	2.06	2.15	2.23
	10	2.16	2.28	2.4
	25	2.3	2.45	2.61
	50	2.4	2.58	2.77
	70	2.45	2.65	2.86
	100	2.49	2.71	2.93

Fuente: Elaboración propia.

6.1.5 CORRIENTES

Mediciones de corrientes dan como resultado una distribución de velocidad con valores máximos del orden de 2.57 [m/s], y 1.54 [m/s] como valor más típico. Se ha detectado la presencia de una corriente de dirección casi permanente: noroeste, como se muestra en la Figura 6.15, generando a su vez, corrientes transversales también de dirección prácticamente constante en la zona de estudio (EPV, 2015).

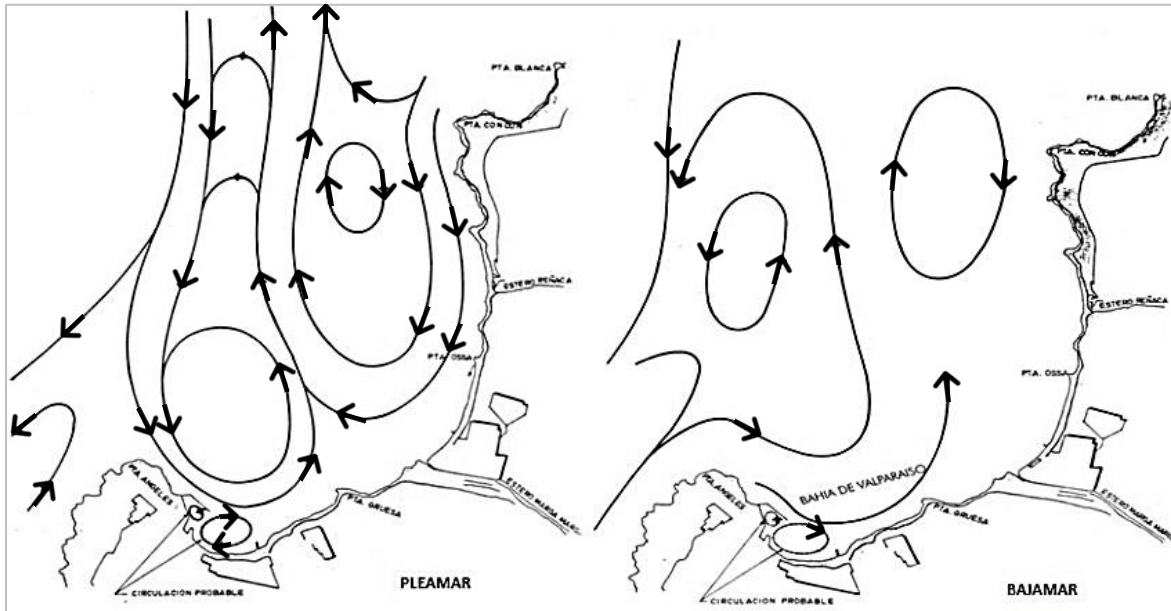


Figura 6.15: Dirección de corrientes en la bahía de Valparaíso en Pleamar y Bajamar.
Fuente: (EPV, 2015).

Respecto al transporte de sedimentos, se calcula la profundidad de cierre y la profundidad activa en el sitio, donde la altura de ola superada 12 horas al año equivale a 2.28 [m] asociada a un periodo de 16.36 [s], recalcando que se usa la transferencia espectral obtenida de los parámetros espectrales de oleaje:

Tabla 6.9: Influencia del transporte trasversal.

Profundidad de cierre	Profundidad activa
7.98 [m]	5.06 [m]

Fuente: Elaboración propia.

El análisis transversal determina que hasta los 7.98 [m] de profundidad existe el transporte de sedimento y a los 5.06 [m] de profundidad deja de ser importante el transporte trasversal y comienza a ser relevante el transporte paralelo a la costa.

6.2 CARACTERIZACIÓN DE EMBARCACIONES

Las dimensiones de las embarcaciones deberán ser determinadas convenientemente, para asegurar que la obra de atraque proyectada pueda recibirlas. Dado que la obra de atraque a diseñar tiene como objetivo servir para embarcaciones neumáticas y semirrígidas, embarcaciones menores (ASMAR, 2017).

La Tabla 6.10 presenta las embarcaciones que crea y repara ASMAR Valparaíso a la actualidad, en el Anexo B se incluye una imagen referencial de cada una de estas:

Tabla 6.10: Características de embarcaciones.

Nombre	Eslora Total [m]	Manga Total [m]	Calado [m]	Puntal [m]	Peso Propio [kg]
PUMAR MI420 PATRULLA	4.20	1.75	-	-	86
PUMAR MI470 COMANDO	4.70	1.92	-	-	125
PUMAR MI470 DANUBIO	4.70	1.92	-	-	125
PUMAR MI585 ASALTO	5.85	2.48	-	-	250
PUMAR MI585 FAENA	5.85	2.48	-	-	240
RHIB PUMAR WR450 BOMBEROS	4.50	2.45	-	-	185
RHIB PUMAR AR670E	6.70	2.67	-	0.72	1670
RBB PUMAR WR900-EX	8.80	3.10	-	0.76	4050
RBB PUMAR WR1250	12.50	4.10	-	0.82	7400
LPC "Salinas"	19.8	5.5	1.8	3.1	40000
SAFE 25 Full Cabin	7.6	2.6	0.508	-	6118
SAFE 36 Full Cabin	12.00	3.5	0.635	-	14176

Fuente: Elaboración propia con información entregada por ASMAR Valparaíso.

La embarcación de diseño corresponde a la mayor nave dentro de la categoría nave menor, correspondiente a la Lancha de Patrulla Costera (LPC) "Salinas" perteneciente a la Armada de Chile.

Considerando que la obra de atraque está situada en un área abrigada y el desplazamiento de la embarcación es menor a 10000 [T] los factores relacionados con el fondo (h3) serán iguales a 0.75 [m] y los factores relacionados con el buque (h1) serán de 1.05 veces el calado estático del buque de diseño, de acuerdo con la Tabla 4.2. Así, la profundidad mínima es de 2.64 [m] en toda la extensión longitudinal de la línea de atraque.

Según la Figura 4.3 el largo de atraque (La) es igual a 25.74 [m], equivalente a la eslora de la nave de diseño (Lmax) y un resguardo en cada extremo de 0.15 veces Lmax. Además, tendrá una anchura igual a 6.88 [m]. Por lo tanto, el espacio destinado para el atraque debe tener mínimo esas dimensiones.

7 DISEÑO

Utilizando los resultados obtenidos por los estudios de caracterización del medio y de las embarcaciones (Capítulo 6.1 y 6.2, respectivamente), se definen los criterios de diseño que contemplan las bases y las condiciones de diseños.

7.1 BASES DE DISEÑO

Se presenta la Tabla 7.1 con el resultado de las bases de diseño, mediante la metodología expuesta en el Capítulo 5.

Tabla 7.1: Bases de diseño.

Base de diseño	Valor	Justificación
Vida útil	25 [años]	Infraestructura de carácter industrial específico (nivel 2).
Riesgo	0.3	Se considera una probabilidad media de pérdidas humanas, adoptando un riesgo de iniciación de averías leves.
Periodo de retorno	70 [años]	Debido a que la vida útil es 25 años y el riesgo 0.3, se estima el periodo de retorno equivalente a 70 años.

Fuente: Elaboración propia.

7.2 CONDICIONANTES DE DISEÑO

A partir del periodo de retorno, se clasifican las condicionantes de diseño. En la Tabla 7.2 se observa un resumen de los valores obtenidos a los 70 años de periodo de retorno.

Tabla 7.2: Resumen condicionantes de diseño.

Viento	Operacional	Velocidad	2.5 [m/s]
		Dirección	SO
	Diseño	Velocidad	22.71 [m/s]
		Dirección	NE
Nivel de diseño (ND)	Nivel Medio del Mar (NMM)		0.93 [m]
	Marea Astronómica		1.28 [m]
	Marea Meteorológica		0.95 [m]
	Σ		3.16 [m]
Oleaje	Operacional	Altura	0.5 [m]
		Periodo	[12 – 14] [s]
		Dirección	NNO
	Diseño	Altura	2.86 [m]
		Periodo	[12 – 14] [s]
		Dirección	NNO
Corrientes	Velocidad		2.57 [m/s]
	Dirección		NO
	Profundidad de cierre		15.9 [m]
	Profundidad activa		9.8 [m]
Nave de diseño	Calado de mínimo de atraque (ha)		2.64 [m]
	Extensión longitudinal de la línea de atraque (La)		25.74 [m]
	Ancho línea de atraque		6.88 [m]

Fuente: Elaboración propia.

La restricción dada por la ROM (2012) no es explícita a obras de atraque en aguas abrigadas (dársenas), si no más generalizada y para vientos esperados de a lo menos 22 [m/s]. Frente a ASMAR Valparaíso, tal proyección se lograría tan sólo para un período mayor a 70 años, por tanto, tal intensidad de viento no representa un factor importante en la zona. Además, las condiciones límites establecidas por la autoridad marítima en Valparaíso como norma general para la realización de maniobras, están dadas por vientos de intensidad de 7.7 [m/s], por lo que el lugar de emplazamiento no se ve limitado en operación.

El nivel de diseño mínimo equivale a la sumatoria de tres componentes: el nivel medio del mar, marea astronómica y meteorológica, es decir 3.16 [m].

El sector está protegido por Punta Ángeles, produciendo difracción y disminuyendo la altura de ola en el sitio. A un periodo de retorno de 70 años se considera una altura de ola de 2.86 [m] con dirección nornoroeste, cabe destacar que para realizar el diseño esta ola debe ser propagada hasta el pie de la obra proyectada.

La correntimetría del lugar es menor y se estima que el proceso de arrastre litoral no afectará la estructura, pues la profundidad de cierre y activa se encuentra a mayor profundidad que la proyección de la obra.

La nave de diseño determina las características en planta y alzado de las obras costeras: rampa y muros de contención. La batimetría del lugar da indicios de una pendiente del terreno de playa y fondo marino cercana al 11%, dado el calado mínimo de atraque es necesario proyectar la línea de atraque hasta los 25 [m] aproximadamente desde la costa, para garantizar la profundidad de sitio requerida y la máxima operatividad para el rango de marea. De este modo, se propaga la ola a una profundidad objetivo de 3 [m] respecto al NRS, pie de la obra, dando una altura de 2.64 [m].

7.3 TIPOLOGÍAS DE OBRA COSTERA

Son varios los aspectos que determinan la selección de la tipología de obra portuaria a utilizar, siendo particularmente importante el tipo de embarcación usuaria o nave de diseño, la cual define la envergadura de la obra a proyectar.

El cliente: ASMAR Valparaíso, indicó la preferencia de proyectar una estructura tipo rampa de varado, a modo de recuperar las infraestructuras pasadas, por esta razón se proponen dos obras: muro costero de contención y rampa, emplazadas en el sector.

A continuación, se presenta un plano de la configuración en planta del proyecto, detallando cada obra proyectada:

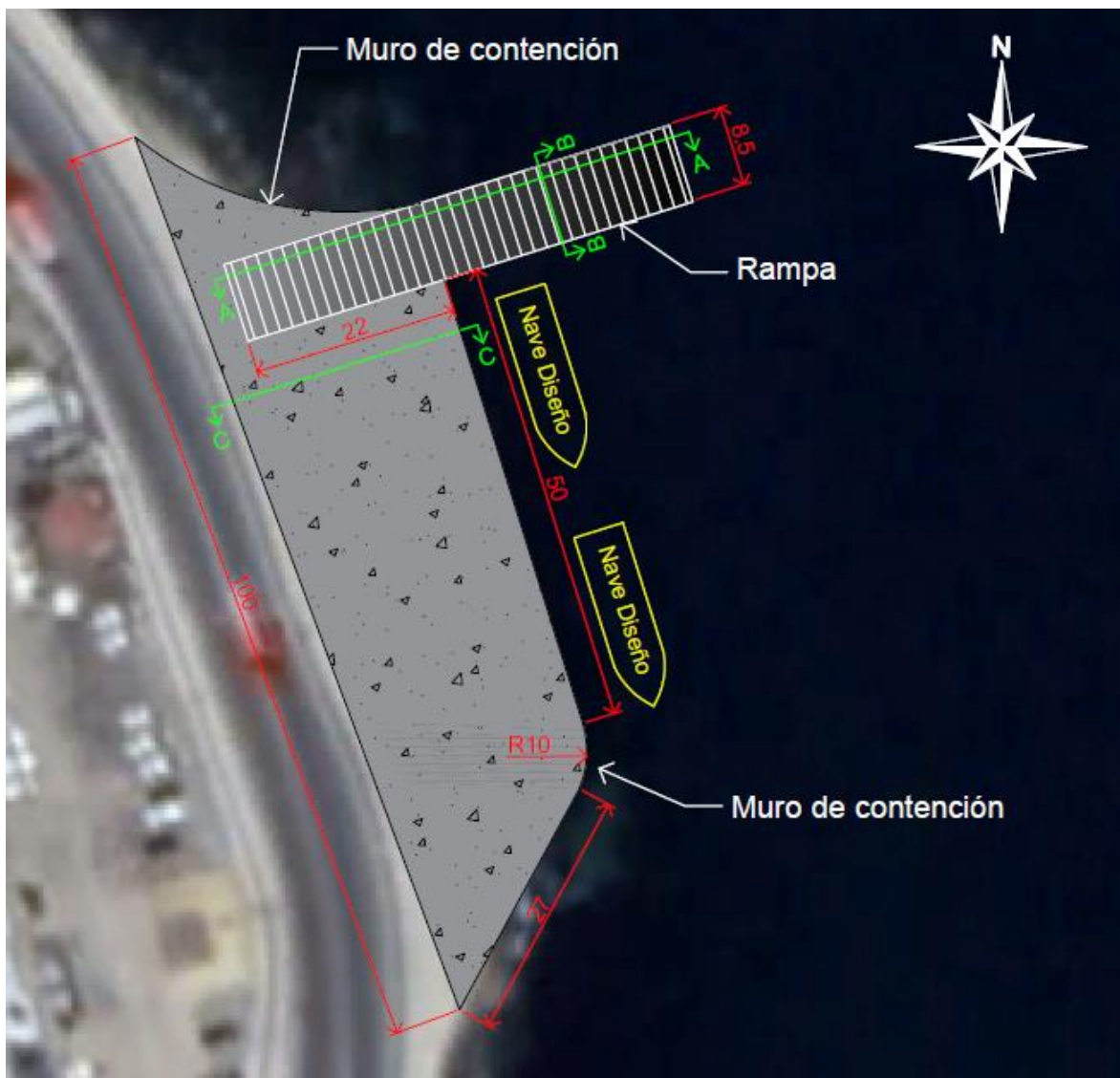


Figura 7.1: Diseño en planta. Fuente: Elaboración propia con Autocad.

Los muros costeros de contención sugeridos serán: cantiléver y gravitacional. Asimismo, la rampa propuesta es del tipo opaca y transparente. De acuerdo con el presupuesto (sólo de material) de cada obra se determinará las apropiadas para su posible construcción.

7.3.1 MURO DE CONTENCIÓN

Se proyecta un muro de protección a modo de generar una explanada ganada al mar, con el fin de facilitar el transporte y manejo de la embarcación, además de funcionar como estructura para el atraque de la misma.

Considerando que el área de interés es una zona principalmente asociada al uso de embarcaciones menores, se fija un caudal admisible máximo de sobrepaso $0.005 \text{ [m}^3/\text{s]}$ por metro lineal de muro. Utilizando la ecuación propuesta por Franco y Franco (1999) se estima

por medio de un proceso iterativo una cota de coronamiento igual a 5.7 [m] con respecto al nivel de diseño (Anexo C 1).

Sin embargo, esta cota supera la cota actual, por ende, no se considera y diseña con una cota de coronamiento de 4.12 [m], para mantener la estética en el borde costero y exponiendo que las estructuras serán solo usadas en buenas condiciones medioambientales. Esta cota produce un caudal de sobrepaso igual a 0.102 [m³/s por metro lineal] según lo calculado con la Ecuación 11.

Las cargas involucradas son definidas con los siguientes pesos específicos: hormigón armado de 2.5 [t/m³], acero 7.85 [t/m³] y agua de mar 1.025 [t/m³].

Los parámetros del suelo considerados en el proyecto corresponden a un terreno de fundación rocoso tipo basalto. A continuación, se presentan las características de éste y del suelo de relleno, según el “Código Técnico de Edificación Español” (CTE, 2018).

Tabla 7.3: Parámetros de diseño del suelo de fundación y relleno.

	Símbolo	Cantidad	Unidad
Peso unitario del suelo de relleno	ρ_s	2.0	[T/m ³]
Ángulo de fricción interna suelo relleno	ϕ_s	40	[°]
Ángulo de fricción interna suelo fundación	ϕ_F	35	[°]
Presión admisible suelo de fundación	σ_F	10	[kgf/cm ²]
Coeficiente de roce fundación	Tg μ	0.43	[2/3 Φ]
Coeficiente de aceleración sísmica	A_0/g	0.4	-
Cohesión del suelo de fundación	C	30	[kN/m ³]
Ángulo de fricción suelo-muro	δ_A	0.23	[rad]

Fuente: (CTE, 2018).

Se calcula que el empuje activo del suelo de relleno estático y sísmico es de 21.02 [t/m] y 13.26 [t/m], respectivamente.

Las sobrecargas serán el peso de la nave de diseño equivalente a 40 [t], el carro y la grúa a utilizar para el transporte y/o botadura.

El carro es una estructura robusta de acero con ruedas capaz de transportar la embarcación con un peso aproximado de 10 [t], existen diferentes modelos y tipos, pero es necesario considerar que tenga una capacidad mínima de 40 [t].

Referente al transporte, se considera el caso más desfavorable, utilizar una grúa camión modelo *TEREX A/C 60 Mk* propiedad de ASMAR Valparaíso, esta máquina tiene un peso de 36 [t]. Así, el empuje del suelo por la sobrecarga es de 14.86 [t/m].

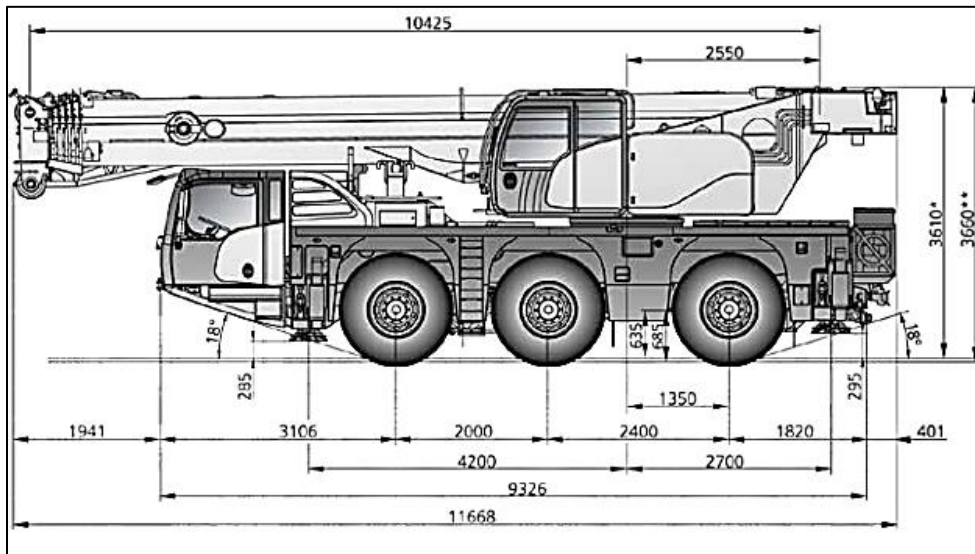


Figura 7.2: Dimensiones (en milímetros) grúa modelo TEREX A/C 60 Mk. Fuente: ASMAR Valparaíso.

Debido a que la nave de diseño es una embarcación menor, la carga de amarre será determinada según la Tabla 4.7, asumiendo que el amarre será en bita, la carga de amarre equivale a un máximo de 10 [t].

Para el cálculo del golpe de atraque no se consideran defensas en la estructuración y se supone una relación lineal reacción-deformación, por lo tanto, la fuerza de atraque será de 14 [t] aproximadamente, absorbida completamente por la estructura (Anexo C 2)

Los efectos de las corrientes no serán significativos para efectos del diseño de las obras, pero sí las cargas de oleaje. La carga hidrostática del agua es de 6.31 [t/m] y el oleaje ejerce un empuje de 13.89 [t/m] en la estructura.

Una vez definidos los empujes se realiza la sumatoria de fuerzas horizontales, siendo los empujes deslizantes: el empuje activo y sísmico del suelo de relleno, el empuje por sobrecarga y la carga de amarre. El empuje resistente es la fuerza de roce que ejerce el muro sobre el suelo de fundación, la presión hidrostática y el empuje por oleaje.

Luego se obtienen los momentos, equivalente a cada empuje multiplicado por el brazo donde se aplica cada uno. A continuación, se presenta una tabla resumen de las fuerzas y momentos deslizantes y resistentes en cada estructura:

Tabla 7.4: Empujes y Momentos.

	Muro	
	Cantiléver	Gravitacional
Empuje Deslizante	59.13 [t/m]	59.13 [t/m]
Empuje Resistente	88.75 [t/m]	93.18 [t/m]
Momento Volcante	341.21 [t/m]	341.21 [t/m]
Momento Resistente	411.15 [t/m]	435.42 [t/m]

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de seguridad mínimos considerados en los cálculos de estabilidad al volcamiento y deslizamiento son de 1.2, establecido por la “Dirección de Obras Marítimas y Portuarias” (DOP, 2013) (Anexo C 3 y Anexo C 4).

La zona industrial se explota como tal, a través de una explanada usada como área de operación, soportada por el muro de contención costera. A continuación, se presenta un plano (unidades en metros) del perfil de ambos muros, señalado en la Figura 7.1 como corte A – A.

El muro cantiléver expuesto en la Figura 7.3 considera un alto de 10.25 [m] y ancho 8.3 [m] con un espesor de 0.8 [m], posee una base de 7.5 [m] con 2 [m] de espesor.

El muro gravitacional definido en la Figura 7.4 es de 10.25 [m] de alto y ancho total de 8.5 [m] con paredes de espesor de 1.5 [m], su base interior es de 7.5 [m] con 2 [m] de espesor, materializado con hormigón armado H-30 y con relleno estructural.

Ambos muros contienen la explanada ganada al mar con relleno estructural, una base estabilizadora de 20 [cm] y una losa de hormigón armado de 30 [cm] de espesor.

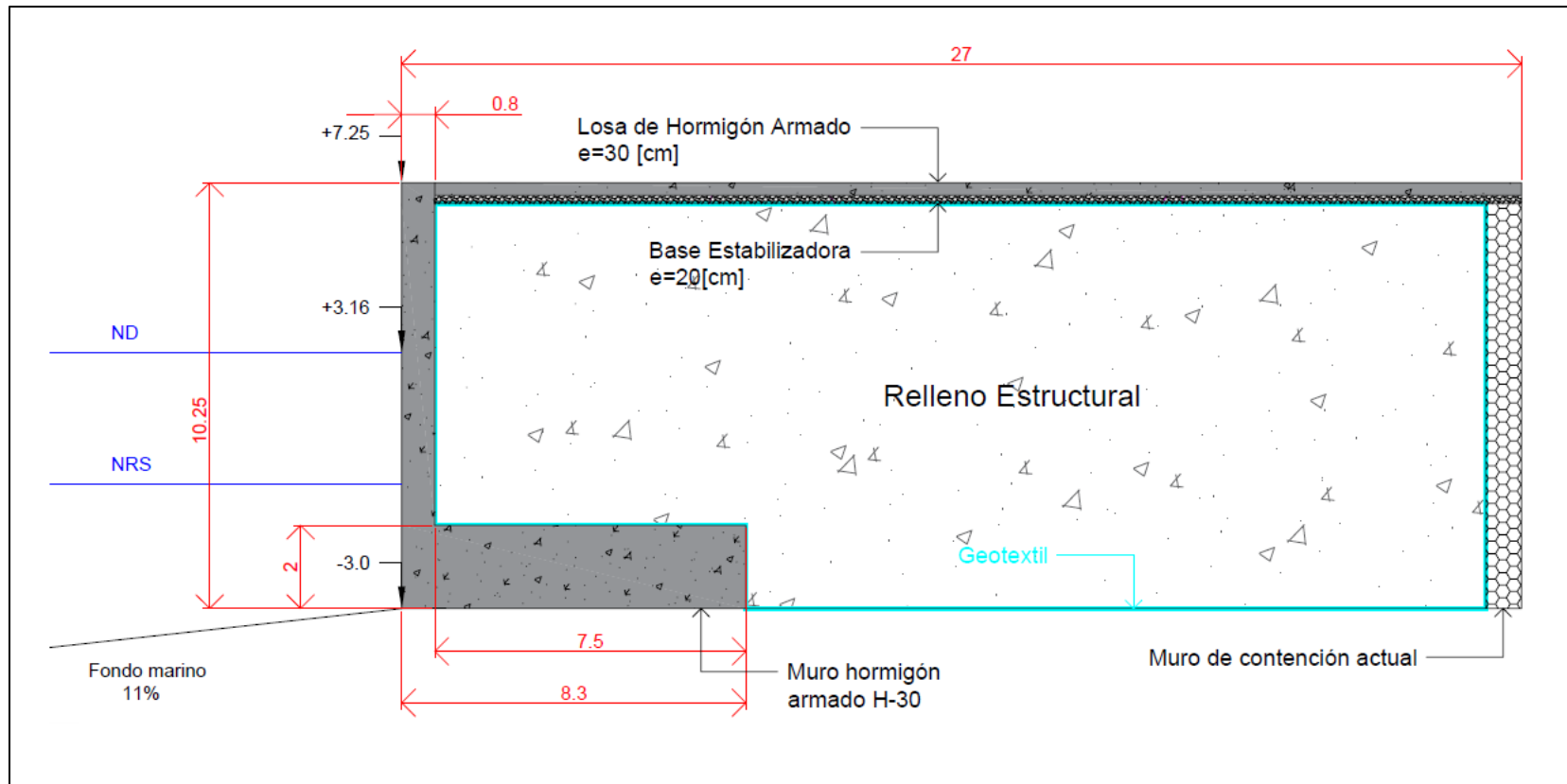


Figura 7.3: Plano perfil muro cantiléver. Fuente: Elaboración propia en Autocad.

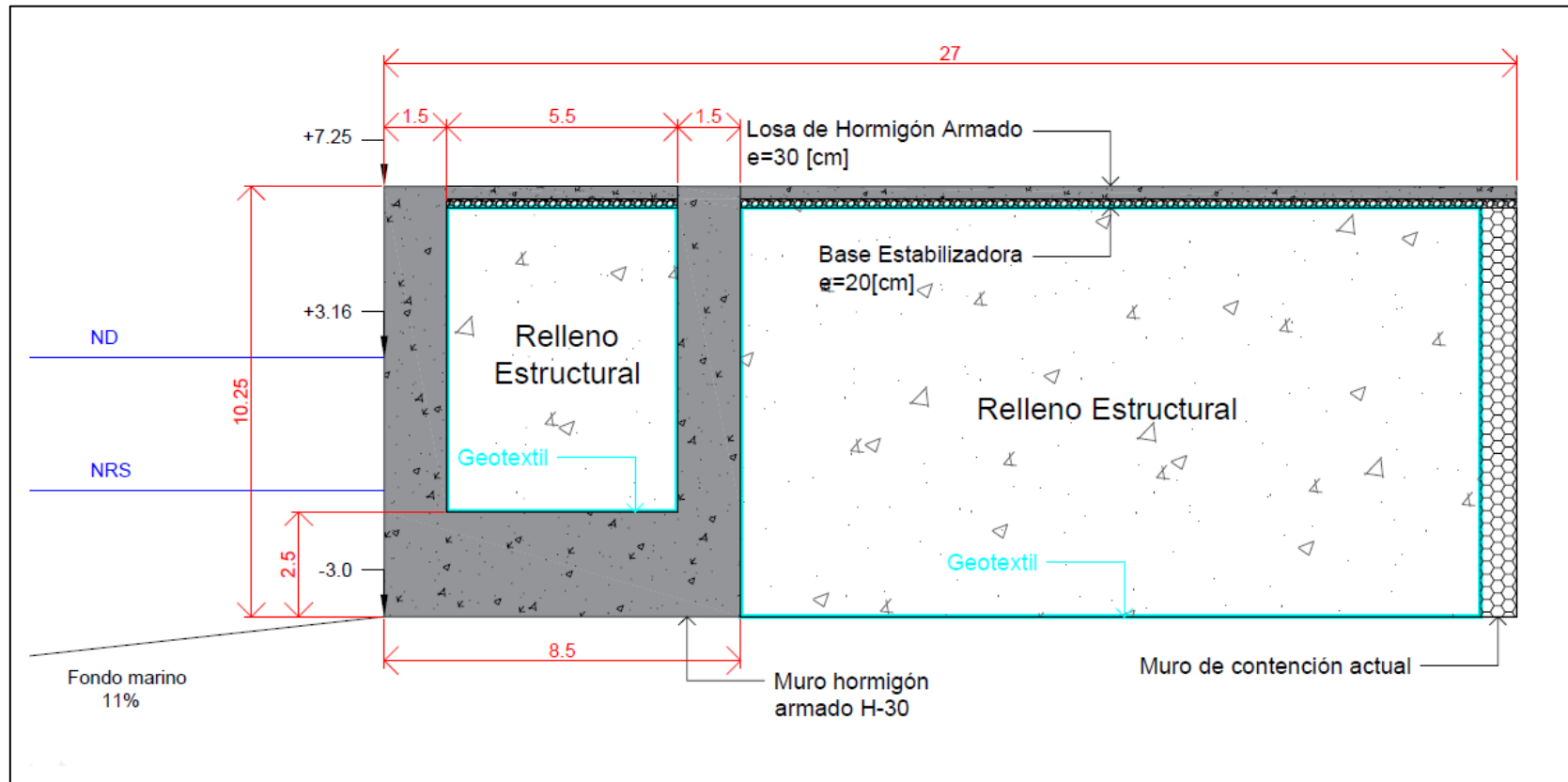


Figura 7.4: Plano perfil muro gravitacional. Fuente: Elaboración propia en Autocad.

7.3.1 RAMPA

El requerimiento geométrico de la rampa está disponible en el Anexo C 5. El ancho de la rampa, considerando un carril con zonas libres de 1.5 [m] a cada lado en sentido transversal respecto a la manga de diseño es de 8.5 [m]. Se proyecta la rampa con una única inclinación de 17% con una longitud de 49.5 [m] de acuerdo con la ROM (1990).

En el contexto de esta memoria, el término picadero se refiere a los apoyos que forman parte de la “cama de varada”. Los apoyos sobre los que se asienta la nave varada varían según la planta, pero incluyen un material “elástico” cuyo objeto es homogeneizar la distribución de cargas sobre los mismos, evitando grandes diferencias de unos a otros. El picadero más habitual, utilizado en ASMAR Valparaíso, es el formado por una base rígida de madera coronada por unas piezas de goma. Éstos son usados en el proceso constructivo, con una altura igual a 1 [m]. Así, se define la longitud mínima del carril que será de 33.6 [m], asumiendo zonas libres de 4.5 [m] al inicio de la rampa y 8.4 [m] al final de ésta, en sentido longitudinal.

Para la determinación de cargas verticales con carros rígidos (un solo armazón) se asumen distribuciones uniformes de cargas sobre los carriles, según la Tabla 4.8. De esta forma la distribución de cargas es la siguiente:

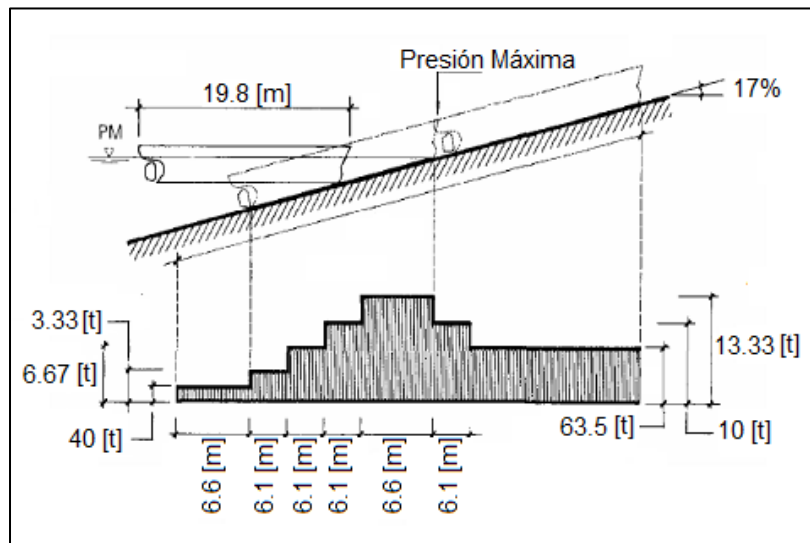


Figura 7.5: Distribución de cargas verticales en la rampa. Fuente: Elaboración propia a partir de (ROM, 1990).

El máximo tiro necesario para el halado de la embarcación es de aproximadamente 10.40 [t], utilizando la Ecuación 15 y calculado en el Anexo C 6.

Para este proyecto se diseñará una losa de hormigón armado H-30 y se supone un espesor de 0.3 [m].

7.3.1.1 RAMPA OPACA

La rampa opaca, es de hormigón en masa H-30, construida en base a muros de contención laterales y frontales con rellenos interiores y losa de hormigón utilizada como superficie de tránsito.

En este caso se calculan los empujes y momentos aplicados en la obra. Para la sumatoria de fuerzas horizontales, se consideran los siguientes empujes deslizantes: el empuje por sobrecarga, con carga vertical máxima (de modo conservador). El empuje resistente es la fuerza de roce que ejerce el muro sobre el suelo de fundación, la presión hidrostática y el empuje por oleaje.

A continuación, se presenta una tabla resumen de las fuerzas y momentos deslizantes y resistentes utilizados en el diseño (Anexo C 7), cabe recalcar que el factor de seguridad es el mismo que se utiliza en los muros de contención:

Tabla 7.5: Empujes y Momentos.

Empuje Deslizante	8.71 [t/m]
Empuje Resistente	74.61 [t/m]
Momento Volcante	44.66 [t/m]
Momento Resistente	180.19 [t/m]

Fuente: Elaboración propia.

7.3.1.2 RAMPA TRANSPARENTE

La estructuración de la rampa es de marcos rígidos con pilotes verticales de acero estructural: las vigas transversales y longitudinales son secciones H 250x200x100.01 (Anexo C 9) y los pilotes son perfiles circulares de diámetro 620 [mm] (Anexo C 10), las características de ambos son obtenidas del Instituto Chileno del Acero (ICHA, 2000).

Para corroborar la resistencia de la estructura se modeló con el software SAP2000, se incluye la fuerza de Morison mayor, de forma conservadora, suponiendo que el oleaje llega de la misma forma en cada elemento (Anexo C 8).

El esfuerzo de corte basal se calcula con el coeficiente sísmico máximo, la estructura se considera en la categoría D (Tabla 4.9), un factor de modificación de la respuesta (R) de 7, el peso de la estructura más el 30% de la sobrecarga. Se distribuye la carga 2179.26 [T] en cada nodo de la estructura, tanto en el eje x como en el eje y.

Las deformaciones producidas determinan que la rampa transparente debe poseer elementos arriostrados en el eje y como se aprecia en el Anexo C 11, estos van en los pilotes n°1, 6 y 12 (de tierra a mar) de la estructura, como se observan en los planos (Figura 7.6 y Figura 7.7).

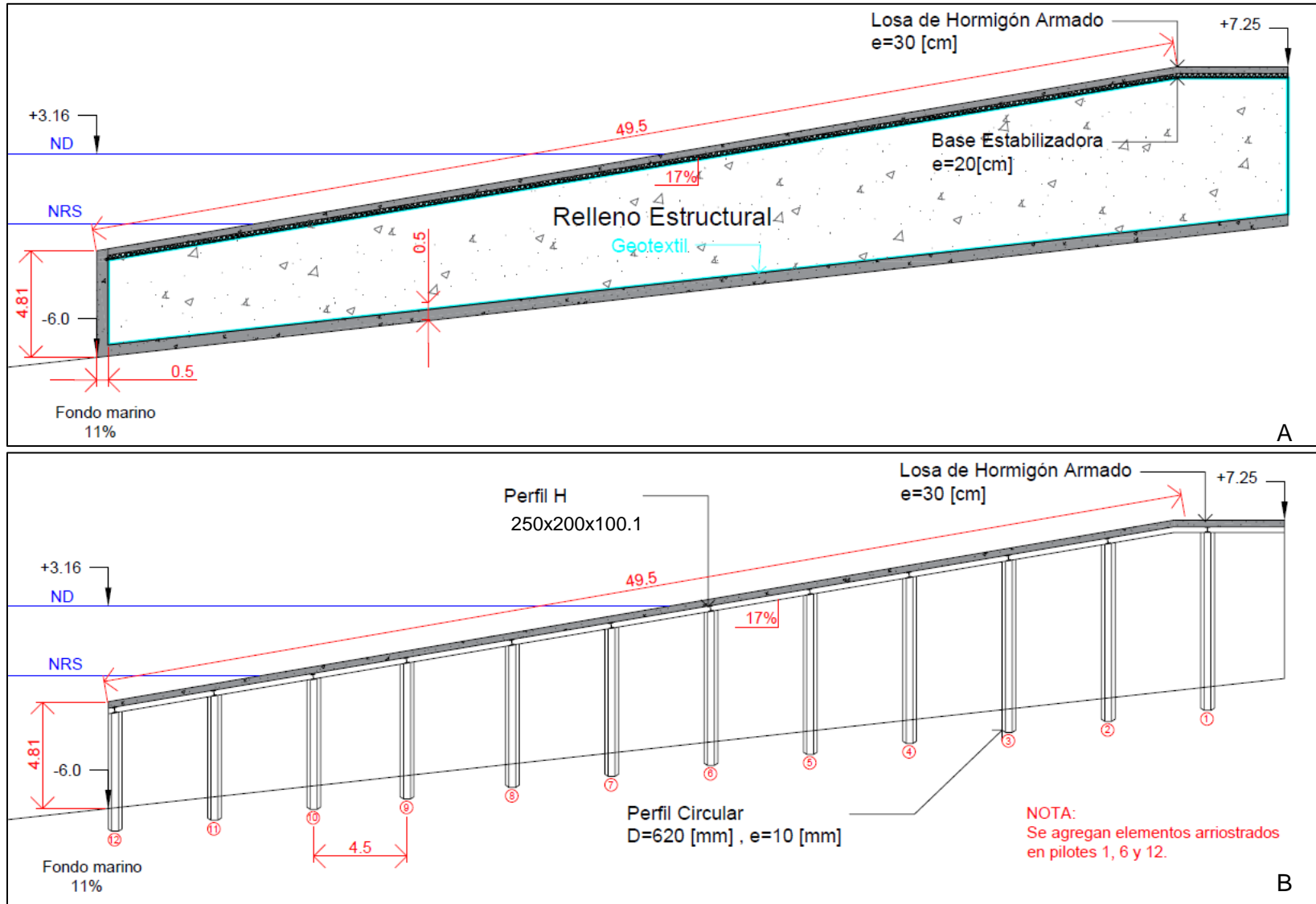


Figura 7.6: Plano perfil rampa A) Opaca y B) Transparente. Fuente: Elaboración propia con Autocad.

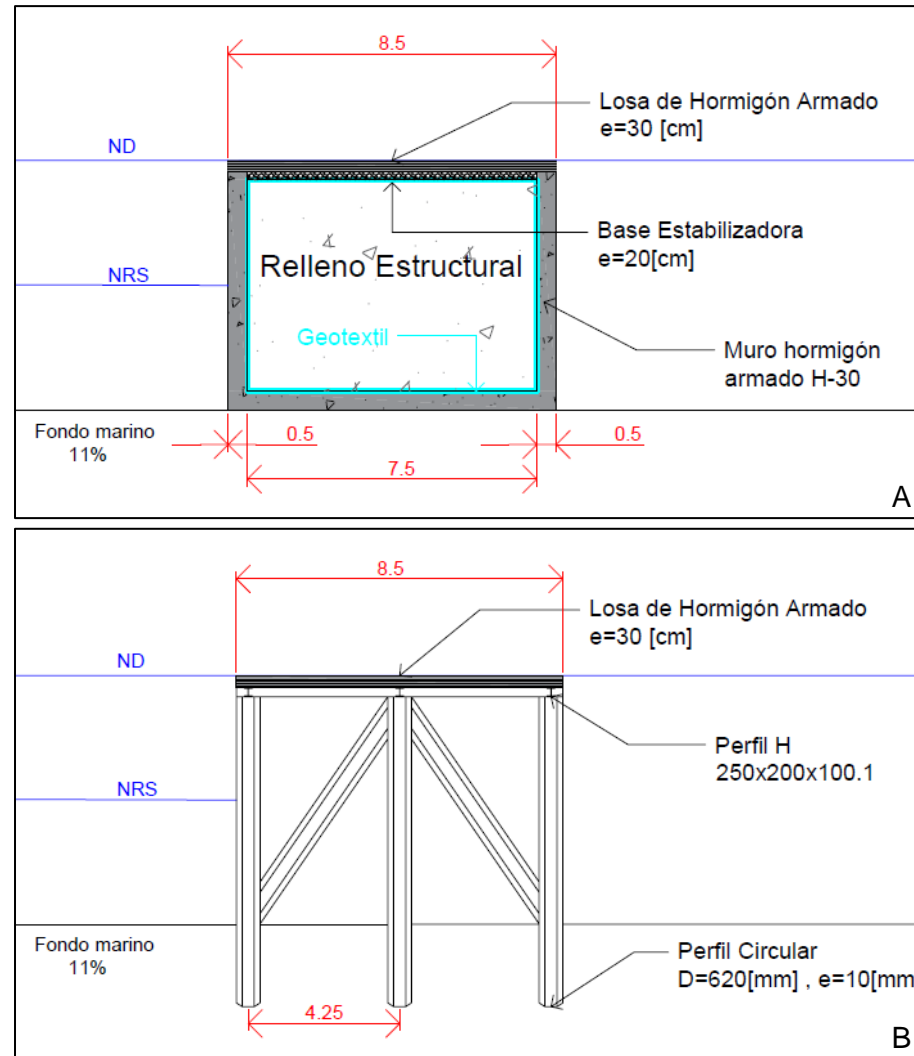


Figura 7.7: Plano frente rampa A) Opaca y B) Transparente. Fuente: Elaboración propia con Autocad.

8 PRESUPUESTO Y ESTRUCTURAS SELECCIONADAS

Se efectúa una estimación de costos de las 4 estructuras, las cuales cumplen los requisitos funcionales y de estabilidad, siendo una variable importante la económica, para elegir las alternativas del proyecto.

En la elaboración del presupuesto se toma en cuenta el valor de precios unitarios obtenidos del promedio del presupuesto de tres proyectos similares: “Conservación Caleta Guanaqueros Tongoy y Puerto Aldea, Región de Coquimbo”, “Diseño construcción infraestructura pesquera artesanal Caleta Ventanas, Región de Valparaíso” y “Conservación Caleta el Membrillo, Región de Valparaíso”. Los detalles de cada proyecto se encuentran en el sitio web Mercado Público (Ministerio de Hacienda, Gobierno de Chile, 2018) y en el Anexo C 12 se presentan los valores de los materiales utilizados en cada obra. Sin embargo, los precios de proveedores para este tipo de obras pueden presentar variaciones, debido al método constructivo, riesgos, traslado y almacenamiento de materiales. Al ser un presupuesto de materiales no detallado se considera un 10% de imprevistos, 20% de gastos generales y mantención, además del 19% de IVA.

A continuación, se indica la cantidad de materiales necesarios para la elaboración de cada obra y el precio total de cada estructura:

Tabla 8.1: Presupuesto muro costero de contención.

Muro cantilever				
Descripción item	Cantidad	Unidad	Precio Unitario [UF]	Total [UF]
Hormigón Armado H-30	2563	[m ³]	24.17	61959
Base Estabilizadora	338	[m ³]	1.39	469
Losa Hormigón Armado	1689	[m ³]	9.77	16501
Relleno Estructural	16890	[m ³]	1.31	22131
Geotextil	7700	[m ²]	0.11	819
Subtotal				101878
Imprevistos (10%)				10188
Gastos generales y mantención (20%)				20376
Subtotal neto				132442
IVA (19%)				25164
Total				157606

Muro gravitacional				
Descripción item	Cantidad	Unidad	Precio Unitario [UF]	Total [UF]
Hormigón Armado H-30	4895	[m ³]	24.17	118334
Base Estabilizadora	338	[m ³]	1.39	469
Losa Hormigón Armado	1689	[m ³]	9.77	16501
Relleno Estructural	13580	[m ³]	1.31	17794
Geotextil	9020	[m ²]	0.11	960
Subtotal				154057
Imprevistos (10%)				15406
Gastos generales y mantención (20%)				30811
Subtotal neto				200274
IVA (19%)				38052
Total				238326

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.2: Presupuesto rampa.

Descripción item	Cantidad	Unidad	Precio Unitario [UF]	Total [UF]
Hormigón Armado H-30	535	[m ³]	24.17	12921
Base Estabilizadora	82	[m ³]	1.39	114
Losa Hormigón Armado	421	[m ³]	9.77	4111
Relleno Estructural	2448	[m ³]	1.31	3208
Geotextil	995	[m ²]	0.11	106
Subtotal				20459
Imprevistos (10%)				2046
Gastos generales y mantención (20%)				4092
Subtotal neto				26597
IVA (19%)				5053
Total				31650

Rampa transparente				
Descripción item	Cantidad	Unidad	Precio Unitario [UF]	Total [UF]
Perfil H 250x200x100.1	7868	[kg]	0.23	1831
Perfil Circular D=62[cm]	7952	[kg]	0.07	529
Losa Hormigón Armado	421	[m ²]	9.77	4111
Subtotal				6470
Imprevistos (10%)				647
Gastos generales y mantención (20%)				1294
Subtotal neto				8411
IVA (19%)				1598
Total				10009

Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de costo final de las estructuras presentadas, se opta por el muro cantiléver valorado en 157606 UF y la rampa transparente equivalente a 10009 UF, dando un presupuesto final de 167615 UF. Estas estructuras requieren menor cantidad de volumen para la materialización, la cual conlleva beneficios al proyecto, debido a que reduce el tiempo en la utilización de maquinarias y mano de obra, como también la disminución en la duración de la construcción de la obra y los costos asociados a cada partida.

9 CONCLUSIONES

Conforme a las condiciones naturales, se concluye que el borde costero es escarpado y rocoso, la información batimétrica indica una pendiente del fondo marino cercana al 11%. De igual modo, dicha zona cuenta con la existencia de rocas de gran tamaño, infiriendo que la estructura a proyectar no presentará un asentamiento importante, ya que el tipo de suelo rocoso tendría la característica de soportar el peso de la obra.

El 80% del tiempo se presentan vientos menores a 2.5 [m/s] proveniente principalmente del suroeste, siendo un factor irrelevante para el diseño estructural y operacional de la estructura.

Del estudio de marea, se obtiene que en Valparaíso la onda de marea astronómica obedece al régimen mixto semidiurno, con una sobreelevación de 1.28 [m] y por efectos meteorológicos de 0.95 [m], ambas respecto al nivel medio del mar que se distancia del nivel de reducción de sonda en 0.93 [m].

El área donde se proyectan las estructuras se encuentra protegido por Punta Ángeles, presentando un oleaje reinante menor a 1 [m] de altura desde el NNO cercano al 90% del tiempo y un oleaje dominante con alturas de 2.86 [m] desde la misma dirección.

De las propagaciones realizadas: transfiriendo el espectro y los parámetros de resumen al sitio de interés, es más conservador el último caso. Sin embargo, ambas poseen un error numérico, debido a los supuesto que considera el software utilizado.

Se detectó la presencia de una corriente casi permanente desde el noroeste con velocidad máxima de 2.57 [m/s].

ASMAR Valparaíso actualmente sólo fabrica embarcaciones neumáticas y semirrígidas. Además, repara diversas embarcaciones menores, dónde la mayor nave dentro de esta categoría corresponde a la Lancha de Patrulla Costera (LPC) "Salinas" pertenecientes a la Armada de Chile, con una eslora cercana a los 20 [m] y un desplazamiento de 40 [t].

Una vez caracterizado el medio y las embarcaciones, se definen las bases y condiciones de diseño asumiendo una vida útil de 25 años para la infraestructura de carácter industrial (nivel 2) con riesgo moderado de pérdidas de vidas humanas (0.3).

Respecto al diseño se adoptó la cota de elevación actual del terreno y proyectaron dos tipologías de obras costeras: muro costero de contención y rampa.

Se calculó el diseño estructural y presupuesto de dos muros: uno del tipo cantiléver y otro gravitacional. Asimismo, una rampa opaca y una transparente.

Las obras proyectadas poseen una geometría adecuada a las condiciones naturales del sector y del tipo de embarcaciones usuarias.

La rampa transparente, no produce embancamientos de material granular en los alrededores de ésta, debido a que no es una estructura opaca el sedimento es arrastrado

por corrientes marinas, oleaje y/o marea. Sin embargo, el muro de contención cantiléver puede producir acumulación sedimentaria.

Al realizar la comparación económica entre estructuras, se determina proyectar una rampa de atraque transparente fundada sobre pilotes de acero y un muro cantiléver en el borde costero de la zona de estudio, debido a que el presupuesto total es de 167615 UF, por el menor uso de hormigón armado.

Se estima que el emplazamiento de estas tipologías impactaría positivamente en el desarrollo local de la ciudad, mejorando el uso de su borde costero, actualmente deteriorado, y beneficiando a las personas que frecuentan el lugar. Ya que el terreno ganado al mar puede ser utilizado como paseo peatonal recreativo: mirador, zona pesca artesanal, entre otros.

Finalmente se cumple con el objetivo propuesto al inicio de este proyecto, realizar estudios de ingeniería oceánica para caracterizar las condiciones naturales en el sitio de interés, determinando parámetros con la finalidad de desarrollar el diseño de una obra costera que optimice el proceso de botadura del astillero ASMAR Valparaíso.

10 RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un levantamiento batimétrico de precisión en la bahía, frente a ASMAR Valparaíso, estudios revisados y validados por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, para así, obtener parámetros de condiciones de oleaje más certeros al pie de la estructura.

Asimismo, efectuar campaña de medición in situ de viento y marea, para precisar sus efectos en el diseño operacional y estructural.

Es aconsejable realizar un modelo numérico de oleaje más precisos, con algún software que resuelvan la fase, como *MIKE 21*³. Además, la utilización de modelos físicos para simular las condiciones de oleaje extremo y rectificar si la estructura costera soporta las acciones de las olas de gran magnitud.

Conjuntamente realizar un estudio de mecánica de suelos para determinar el tipo de estrato existente en el fondo marino.

Efectuar estudios de corrientes, a partir de correntómetros instalados en el lugar de estudio, para comprobar los efectos causados por estas condiciones a la estructura.

Realizar un estudio de factibilidad técnico y económico del proyecto emplazado, que analice las contribuciones específicas del mismo para ASMAR Valparaíso.

Debido a que Valparaíso se ve afectado por eventos provenientes desde el Norte y la zona de emplazamiento del proyecto está expuesta a esa dirección, se recomienda que la obra no se utilice en eventos extremos y que los buques atracados estén operativos para zarpar en casos de emergencia.

El lector del presente proyecto de título debe tener claro que éste corresponde a un estudio de ingeniería básica y no basta esta información para construir. Para fundar el proyecto es necesario realizar los estudios antes mencionados y luego su ingeniería de detalle. Posterior a esto, elaborar un estudio de mercado con los diferentes proveedores de materiales y maquinarias necesarios, con la finalidad de realizar un presupuesto con precios unitarios más exactos.

³ *MIKE 21*: Software que modela en 2D flujos hidrodinámicos, referentes a sistemas oceanográficos, costeros y ambientes estuarinos (DHI, 2018).

11 REFERENCIAS

- ASMAR. (18 de Marzo de 2017). *www.asmar.cl*. Obtenido de ASMAR: <http://http://www.asmar.cl>
- Bahamonde, C. A. (2002). *Anteproyecto de una barcaza en madera*. Valparaíso, Chile: Universidad Austral de Chile.
- Benítez, P. (2014). *Anejo 01: Estudio de clima marítimo*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Beyá, J., Álvarez, M., Gallardo, A., Hidalgo, H., Aguirre, C., Valdivia, J., . . . Molina, M. (2017, Junio 01). *Atlas de Oleaje*. Retrieved from <http://www.oleaje.uv.cl/descargas.html>
- CSI. (Enero de 2018). *CSI Computers & Estructures, INC Spain*. Obtenido de <http://www.csiespana.com>
- CTE. (Febrero de 2018). *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*. Obtenido de Código Técnico de Edificación: www.codigotecnico.org
- DHI. (Marzo de 2018). *MIKE powered by DHI*. Obtenido de <https://www.mikepoweredbydhi.com>
- Díaz-Naves, J & J. Frutos eds. (2010). *Geología Marina de Chile*. Valparaíso: Comité Oceanográfico Nacional de Chile - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso - Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile.
- DOP. (2013). Volumen 1: Introducción. En *Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de Obras Marítimas y Costeras*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- DOP. (2013). Volumen 2: Diseño, Parte I. En DOP, *Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de Obras Marítimas y Costeras*. Santiago, Chile: Ministerio de Obras Públicas.
- ECMWF. (Noviembre de 2018). *ECMWF*. Obtenido de European Center for Medium-Range Weather Forecasts: www.ecmwf.int
- EPV. (2015). *Plan Maestro Puerto de Valparaíso*. Valparaíso: Puerto de Valparaíso.
- Foreman. (1997). *Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction*. Victoria, Canada: Institute of Ocean Sciences.
- Fritz, C. M. (2005). *ASMAR: su contribución a la industria naval en Chile*. Valparaíso, Chile: Orgraf Impresores.
- GIOC. (2000). Volumen I Dinámicas. En G. d. Cantabria, *Documento de referencia* (pág. 580). Cantabria, España: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas.
- Hallermeier, R. (1981). *Longshore variation of depth of closure on a micro-tidal wave dominated coast*. Países Bajos: Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- Holthuijsen, L. H. (2007). *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- ICHA. (2000). *Manual de diseño para estructuras: Método de factores de carga y resistencia*. Santiago: Instituto Chileno del Acero.
- INN. (1971). *Norma Chilena Oficial NCh432.Of71: Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización.
- INN. (2003). *Norma Chilena Oficial NCh2369.Of2003: Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización.
- INN. (2012). *Norma Chilena Oficial NCh433.of1996: Diseño sísmico de edificios*. Santiago: Instituto Nacional de Normalización.

- IOC. (2017). *Sea level station monitoring facility*. Obtenido de <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org>
- Kamphuis, W. J. (2000). *Introduction to coastal engineering and management*. Kingston: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Liu, Z., & Frigaard, P. B. (1999). *Generation and Analysis of Random Waves*. Aalborg Universitet.
- Ministerio de Fomento del Gobierno de España. (30 de Noviembre de 2017). *Puertos del Estado*. Obtenido de <http://www.puertos.es/es-es/ROM>
- Ministerio de Hacienda, Gobierno de Chile. (Abril de 2018). *Chile Compra*. Obtenido de Mercado Público: <https://www.mercadopublico.cl>
- MOP. (2014). *Manual de Carreteras Volume 3: Instrucciones y criterios de diseño*. Santiago: Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas.
- Neshyba, S., & Fonseca, T. (1981). Corrientes costeras, Manual de mediciones y análisis. *INV MAR*, 7, 132.
- Nilson, A. H. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*. Colombia: Emma Ariza H.
- OCDI. (2002). *Technical standars and comentaries for port and harbour facilities in Japan*. Tokyo: The overseas coastal area development institute of Japan.
- Ortega, M., Minguito, & Monino. (2015). *Oscilaciones de largo periodo: Marea Meteorológica*. Granada: Universidad de Granada.
- Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. (2002). *Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE*, *Computers & Geosciences*. *Computers & Geosciences*.
- RAE. (Octubre de 2017). *Real academia española*. Obtenido de <http://www.rae.es/>
- ROM. (1990). *Recomendaciones de Obras Marítimas «Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias» (ROM 0.2-90)*. España: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Gobierno de España.
- ROM. (2000). *Recomendaciones de Obras Marítimas «Proyecto de la Configuración Marítima de los Puertos; Canales de Acceso y Áreas de Flotación» (ROM 3.1-99)*. España: Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- ROM. (2012). *Recomendaciones de Obras Marítimas «Recomendaciones para el proyecto y ejecución en Obras de Atraque y Amarre» (ROM 2.0-11)*. España: Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- Roure, F. N. (2004). *Evaluación de metodologías de transferencia de oleaje desde aguas profundas hacia aguas someras*. Santiago: Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
- SHOA. (1992). *Glosario de mareas y corrientes*. Valparaíso: Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile.
- SHOA. (1992). *Pub. 3013: Glosario de Mareas y Corrientes*. Chile: Servicio Hidrográfico de la Armada de Chile.
- SHOA. (1999). *Pub. 3203: Método oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea*. Chile: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- SHOA. (2003). *Pub. 3105: Especificaciones técnicas para la ejecución de sondajes*. Chile: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- SHOA. (2005). *Instrucciones Oceanográficas N° 1*. Errázuriz 254, Playa Ancha, Valparaíso: Servicio Hidrografico de la Armada de Chile.
- SHOA. (2005). *Pub. 3201: Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos*. Chile: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- SHOA. (2005). *Pub. 3201: Especificaciones técnicas para mediciones y análisis oceanográficos*. Chile: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

- SHOA. (2015). *Pub. 3000: Catálogo de cartas y publicaciones náuticas*. Chile: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.
- SHOA. (2015). *Publicación 3105: Instrucciones Hidrográficas N°5 "Especificaciones técnicas para la ejecución de sondajes"*. Servicio hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.
- Silva, R. (2005). *Análisis y descripción estadística del oleaje*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- SWAN. (2006). *SWAN User Manual*. Delft, Países Bajos: Delft University of Technology.
- Universidad de Chile. (20 de Julio de 2017). *Explorador Eólico*. Obtenido de <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>
- USACE. (2002). Fundamentals of desing. En USACE, *Coastal Engineering Manual*.
- Van der Meer, J. W., Allsop, N., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., . . . Zanuttingh, B. (2016). *EurOtop, 2016. Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application*. Retrieved from www.overtopping-manual.com.
- Zurita, O. A. (2005). *Análisis espacial y temporal de la dinámica de las corrientes en la bahía de Valparaíso*. Santiago: Universidad de Santiago de Chile.

ANEXO A
CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

Anexo A 1: Datos extremos de viento.

Dato	Año	Velocidad [m/s]
1	2013	7.13
2	1998	9.263
3	2007	10.331
4	2001	10.391
5	2005	10.491
6	2008	10.577
7	1996	11.802
8	2012	11.917
9	2006	11.985
10	1994	12.09
11	1999	12.095
12	2004	12.164
13	2009	12.243
14	1995	12.481
15	2010	12.532
16	2003	13.086
17	2000	14.871
18	2011	15.866
19	2002	16.475
20	1997	17.33

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 2: Resultado clima extremo de viento.

		Distribución				
		Gumbel	Weibull			
			k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0
		Velocidad [m/s]				
Periodo de retorno [años]	2	11.89	11.4	11.52	11.73	11.97
	5	14.07	13.3	13.73	14.07	14.26
	10	15.52	15.02	15.41	15.58	15.57
	25	17.35	17.58	17.63	17.39	17.02
	50	18.7	19.68	19.3	18.66	17.99
	70	19.44	20.89	20.22	19.32	18.48
	100	20.05	21.92	20.98	19.87	18.87
Correlación		0.96	0.89	0.93	0.95	0.96

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 3: Amplitud de constituyentes armónicas.

Constituyente	Amplitud [m]	Constituyente	Amplitud [m]	Constituyente	Amplitud [m]
SA	0.0394	J1	0.0085	M3	0.0029
SSA	0.0209	SO1	0.0013	SO3	0.0008
MSM	0.0053	OO1	0.0038	MK3	0.0005
MM	0.0072	UPS1	0.0006	SK3	0.0028
MSF	0.0069	OQ2	0.002	MN4	0.0007
MF	0.0055	EPS2	0.0068	M4	0.002
ALP1	0.0011	2N2	0.0125	SN4	0.0004
2Q1	0.0025	MU2	0.0224	MS4	0.0005
SIG1	0.0026	N2	0.1	MK4	0.0009
Q1	0.0183	NU2	0.0166	S4	0.0012
RHO1	0.0049	H1	0.0049	SK4	0.0009
O1	0.0948	M2	0.4419	2MK5	0.0008
TAU1	0.0009	H2	0.001	2SK5	0.0002
BET1	0.0004	MKS2	0.0001	2MN6	0.0008
NO1	0.0051	LDA2	0.0027	M6	0.001
CHI1	0.0015	L2	0.015	2MS6	0.0006
PI1	0.0035	T2	0.006	2MK6	0.0001
P1	0.0499	S2	0.1499	2SM6	0.0002
S1	0.0004	R2	0.0023	MSK6	0.0004
K1	0.1495	K2	0.0398	3MK7	0.0004
PSI1	0.0017	MSN2	0.001	M8	0.0005
PHI1	0.0012	ETA2	0.0018	Total	= 1.2848
THE1	0.001	MO3	0.0008		

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 4: Datos extremos de marea meteorológica y datos de viento y presión a ese instante.

Fecha	hh:mm	Altura [m]	Data ERA-Interim (ECMWF) ⁴			
			Viento [m/s]		Presión Atmosférica [hPa]	
			Promedio diario	Valor al instante	Promedio diario	Valor al instante
13-07-2016	18:00	0.74	2.49	2.30	1019.8	1020.46
11-02-2009	7:00	0.714	7.89	7.5	1027.54	1027.58
15-06-2009	3:00	0.688	3.88	5.76	1015.29	1014.7
15-06-2009	2:00	0.678	3.88	5.75	1015.29	1014.64
17-09-2015	3:00	0.641	5.48	5.75	1020.39	1021.48
15-06-2009	4:00	0.637	3.88	5.77	1015.29	1014.75
27-02-2010	12:00	0.617	14.17	12.96	1008.31	1008.41
15-06-2009	1:00	0.601	3.88	5.74	1015.29	1014.5
15-06-2009	14:00	0.565	3.88	5.1	1015.29	1015.75
13-07-2016	19:00	0.558	2.49	2.25	1019.8	1020.2
15-06-2009	13:00	0.551	3.88	5.45	1015.29	1015.6
15-06-2009	5:00	0.544	3.88	5.78	1015.29	1014.8
12-03-2011	14:00	0.53	8.88	8.3	1019.15	1021.25
15-06-2009	15:00	0.528	3.88	4.85	1015.29	1015.78
17-09-2015	5:00	0.527	5.18	6.05	1020.39	1021.1
09-08-2010	11:00	0.508	5.17	4.95	1017.44	1017.85
15-06-2009	12:00	0.498	3.88	3.71	1015.29	1015.44
13-07-2016	17:00	0.498	2.49	2.05	1019.8	1020.4
08-08-2015	7:00	0.473	9.79	7.15	1010.67	1010.35
15-06-2009	0:00	0.469	3.88	5.72	1015.29	1014.51

Fuente: Elaboración propia.

⁴ ERA-Interim: Análisis atmosférico global actualizado continuamente en tiempo real, datos públicos de ECMWF (Centro europeo para pronósticos meteorológicos a medio plazo) (ECMWF, 2018).

Anexo A 5: Resultado clima extremo de marea meteorológica.

	Distribución					
	Gumbel	Weibull				
		k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0	
	Altura [m]					
Periodo de retorno [años]	2	0.58	0.56	0.57	0.58	0.59
	5	0.65	0.63	0.64	0.65	0.66
	10	0.7	0.69	0.7	0.71	0.7
	25	0.76	0.78	0.78	0.77	0.75
	50	0.81	0.86	0.84	0.81	0.78
	70	0.84	0.9	0.87	0.83	0.8
	100	0.86	0.94	0.9	0.85	0.81
	Correlación	0.99	0.91	0.96	0.99	0.99

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 6: Tabla de incidencia dirección – altura en aguas profundas.

Altura significativa [m]	Dirección									Total
	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	
	[0 - 1]	-	-	0.01%	-	0.04%	0.14%	0.59%	0.08%	
[1 - 2]	0.00%	0.06%	0.38%	0.04%	1.46%	3.03%	27.97%	2.71%	0.00%	35.66%
[2 - 3]	-	0.10%	0.27%	0.06%	1.35%	3.11%	40.51%	2.36%	0.01%	47.76%
[3 - 4]	0.00%	0.06%	0.10%	0.04%	0.46%	1.18%	11.98%	0.70%	0.01%	14.53%
[4 - 5]	-	0.00%	0.01%	0.00%	0.05%	0.17%	0.84%	0.04%	-	1.11%
[5 - 6]	-	0.00%	-	-	0.01%	0.02%	0.05%	0.00%	-	0.08%
[6 - 7]	-	0.00%	-	-	0.00%	0.00%	0.00%	-	-	0.01%
Total	0.00%	0.22%	0.76%	0.14%	3.36%	7.67%	81.94%	5.89%	0.02%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 7: Tabla de incidencia dirección – periodo en aguas profundas.

Periodo [s]	Dirección									Total
	N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SSO	S	
	[4 - 6]	0.00%	0.00%	0.00%	-	-	0.00%	0.03%	0.05%	
[6 - 8]	-	0.08%	0.05%	0.01%	0.01%	0.02%	2.25%	0.54%	0.02%	2.98%
[8 - 10]	0.00%	0.11%	0.08%	0.03%	0.30%	0.13%	2.99%	0.41%	0.00%	4.06%
[10 - 12]	-	0.02%	0.01%	0.08%	1.29%	1.31%	9.02%	1.08%	0.00%	12.81%
[12 - 14]	-	0.01%	0.05%	0.00%	1.40%	4.49%	41.11%	2.82%	-	49.89%
[14 - 16]	-	-	0.20%	0.01%	0.20%	1.12%	16.73%	0.65%	-	18.92%
[16 - 18]	-	0.00%	0.30%	0.01%	0.15%	0.55%	9.13%	0.32%	-	10.47%
[18 - 20]	-	-	0.05%	-	0.00%	0.03%	0.61%	0.01%	-	0.71%
[20 - 22]	-	-	0.01%	-	-	0.00%	0.06%	-	-	0.08%
[22 - 24]	-	-	-	-	-	-	0.01%	-	-	0.01%
Total	0.00%	0.22%	0.76%	0.14%	3.36%	7.67%	81.94%	5.89%	0.02%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 8: Datos extremos de oleaje aguas profundas.

Dato	Año	Altura significativa [m]	Periodo [s]	Dirección
1	1988	6.51	13.52	247.5
2	1987	6.35	9.24	217.5
3	1984	6.35	13.52	217.5
4	2015	6.13	12.29	232.5
5	2013	6.12	12.29	217.5
6	1997	5.90	13.52	217.5
7	2005	5.69	14.87	232.5
8	2003	5.69	9.24	217.5
9	2010	5.69	12.29	217.5
10	1985	5.38	6.94	232.5
11	1994	5.37	12.29	217.5
12	1981	5.34	13.52	217.5
13	1992	5.30	19.80	217.5
14	2014	5.29	18.00	217.5
15	2011	5.23	14.87	232.5
16	2006	5.11	7.63	217.5
17	1999	5.11	16.36	217.5
18	1990	5.03	14.87	217.5
19	1989	4.98	14.87	232.5
20	2012	4.98	19.80	217.5
21	1982	4.97	19.80	217.5
22	1993	4.88	6.31	202.5
23	1986	4.86	16.36	217.5
24	2007	4.78	12.29	232.5
25	1998	4.66	19.80	217.5
26	2002	4.63	16.36	217.5
27	2009	4.62	10.16	202.5
28	1983	4.62	12.29	217.5
29	1995	4.58	14.87	232.5
30	1991	4.58	12.29	232.5
31	2004	4.49	13.52	247.5
32	2000	4.45	11.18	217.5
33	1980	4.38	8.40	232.5
34	2001	4.38	6.31	232.5
35	1996	4.35	8.40	232.5
36	2008	4.15	9.24	217.5

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 9: Resultado clima extremo de oleaje en aguas profundas.

		Distribución				
		Gumbel	Weibull			
			k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0
		Altura significativa [m]				
Periodo de retorno [años]	2	5.04	4.92	4.94	5	5.06
	5	5.61	5.4	5.52	5.62	5.67
	10	5.99	5.84	5.96	6.02	6.01
	25	6.46	6.5	6.54	6.5	6.4
	50	6.82	7.04	6.98	6.83	6.65
	70	7.01	7.34	7.22	7.01	6.78
	100	7.17	7.61	7.42	7.15	6.89
Correlación		0.98	0.9	0.96	0.99	0.99

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 10: Combinaciones de propagación.

Dirección	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	N	S				
Periodo [s]	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 11: Coeficientes de agitación.

		Dirección								
		S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	N
Periodo [s]	[2 - 4]	0.000	0.012	0.041	0.004	0.136	0.491	0.636	0.755	0.896
	[4 - 6]	0.002	0.073	0.121	0.191	0.252	0.479	0.598	0.695	0.932
	[6 - 8]	0.006	0.083	0.121	0.176	0.224	0.408	0.500	0.574	0.731
	[8 - 10]	0.009	0.089	0.126	0.175	0.216	0.354	0.419	0.468	0.531
	[10 - 12]	0.012	0.086	0.122	0.168	0.206	0.319	0.369	0.403	0.407
	[12 - 14]	0.020	0.085	0.123	0.168	0.204	0.288	0.324	0.351	0.312
	[14 - 16]	0.033	0.091	0.128	0.173	0.208	0.271	0.295	0.307	0.248
	[16 - 18]	0.052	0.099	0.138	0.180	0.213	0.261	0.277	0.281	0.208
	[18 - 20]	0.068	0.106	0.143	0.184	0.215	0.256	0.268	0.267	0.187
	[20 - 22]	0.069	0.106	0.144	0.184	0.216	0.256	0.268	0.267	0.186
	[22 - 24]	0.063	0.104	0.141	0.182	0.214	0.258	0.271	0.272	0.192
	[24 - 26]	0.0624	0.1035	0.1414	0.0638	0.2144	0.2578	0.2706	0.2711	0.2831
[26 - 28]	0.064	0.104	0.142	0.064	0.215	0.257	0.269	0.269	0.279	

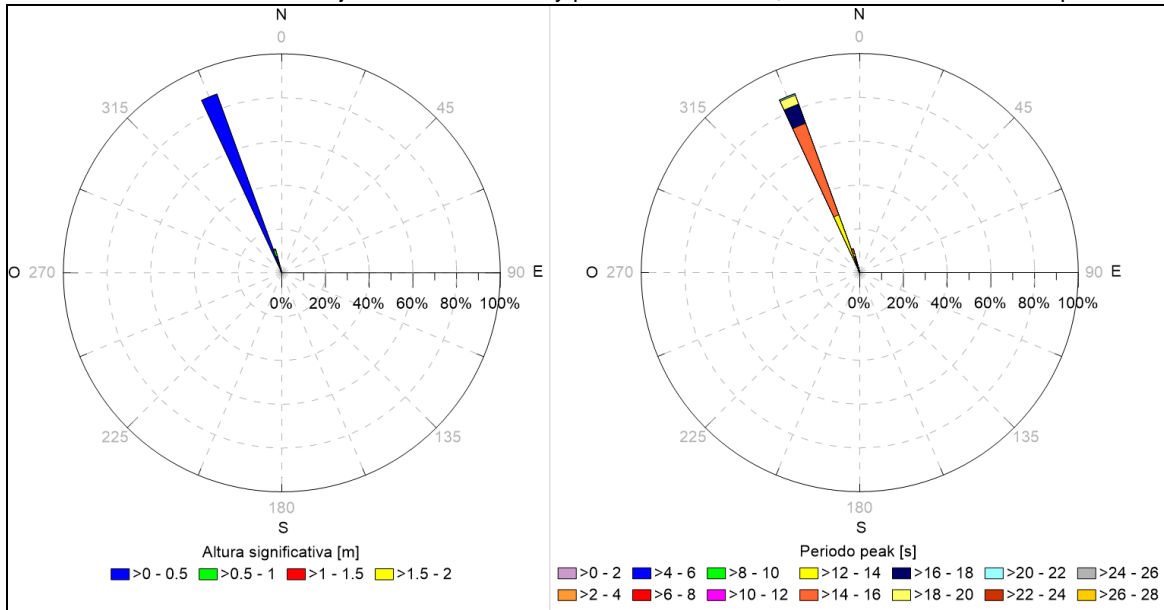
Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 12: Coeficientes de dirección.

		Dirección								
		S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	N
Periodo [s]	[2 - 4]	312.85	318.30	314.43	325.47	315.53	333.53	335.98	337.70	355.67
	[4 - 6]	326.08	328.35	327.66	327.92	328.08	334.78	337.40	339.38	352.29
	[6 - 8]	333.47	335.67	335.05	334.78	334.68	339.52	341.34	342.76	349.28
	[8 - 10]	341.65	343.73	343.23	342.53	342.12	343.51	344.19	344.81	348.69
	[10 - 12]	344.83	346.67	346.41	346.00	345.75	346.42	346.74	347.05	349.39
	[12 - 14]	347.58	347.88	347.94	347.86	347.78	347.98	348.11	348.28	349.58
	[14 - 16]	349.43	348.74	348.99	349.05	349.07	349.05	349.05	349.06	349.68
	[16 - 18]	349.55	349.37	349.59	349.70	349.75	349.66	349.61	349.55	349.76
	[18 - 20]	349.60	349.65	349.87	349.99	350.04	349.94	349.87	349.80	349.84
	[20 - 22]	349.60	349.69	349.90	350.00	350.05	349.96	349.89	349.82	349.86
	[22 - 24]	349.59	349.60	349.81	349.92	349.97	349.89	349.83	349.78	349.87
	[24 - 26]	349.59	349.61	349.83	349.40	350.00	349.94	349.89	349.84	349.55
[26 - 28]	349.59	349.64	349.87	349.59	350.05	350.00	349.95	349.90	349.61	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 13: Rosas de oleaje altura – dirección y periodo – dirección, en el sitio obtenida del espectro.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 14: Tabla de incidencia altura – dirección en el sitio de interés obtenida del espectro.

		Dirección				Total
		NNO	NO	NNE	N	
Altura signif. [m]	[0 - 0.5]	95.00%	1.40%	0.02%	0.00%	96.42%
	[0.5 - 1]	3.05%	-	-	-	3.05%
	[1 - 1.5]	0.51%	-	-	-	0.51%
	[1.5 - 2]	0.02%	-	-	-	0.02%
	Total	98.58%	1.40%	0.02%	0.00%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 15: Tabla de incidencia periodo – dirección en el sitio de interés obtenida del espectro.

		Dirección				Total
		NNO	NO	NNE	N	
Periodo [s]	[0 - 3]	0.21%	-	-	-	0.21%
	[3 - 6]	5.37%	0.01%	-	-	5.38%
	[6 - 9]	1.86%	0.00%	0.00%	-	1.87%
	[9 - 12]	4.10%	0.37%	0.01%	-	4.48%
	[12 - 15]	64.51%	0.93%	0.01%	0.00%	65.45%
	[15 - 18]	17.40%	0.07%	-	-	17.47%
	[18 - 21]	4.55%	0.02%	0.00%	-	4.57%
	[21 - 24]	0.50%	-	-	-	0.50%
	[24 - 27]	0.07%	-	-	-	0.07%
	[27 - 30]	0.01%	-	-	-	0.01%
	Total	98.58%	1.40%	0.02%	0.00%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 16: Tabla de incidencia altura – periodo en el sitio de interés obtenida del espectro.

		Altura significativa [m]				Total
		[0 - 0.5]	[0.5 - 1]	[1 - 1.5]	[1.5 - 2]	
Periodo [s]	[0 - 3]	0.21%	-	-	-	0.21%
	[3 - 6]	3.54%	1.83%	0.00%	-	5.38%
	[6 - 9]	0.35%	1.04%	0.48%	0.01%	1.87%
	[9 - 12]	4.43%	0.01%	0.03%	0.01%	4.48%
	[12 - 15]	65.29%	0.16%	0.00%	-	65.45%
	[15 - 18]	17.46%	0.01%	-	-	17.47%
	[18 - 21]	4.57%	-	-	-	4.57%
	[21 - 24]	0.50%	-	-	-	0.50%
	[24 - 27]	0.07%	-	-	-	0.07%
	[27 - 30]	0.01%	-	-	-	0.01%
Total		96.42%	3.05%	0.51%	0.02%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 17: Tabla de incidencia periodo – dirección en el sitio de interés obtenida de parámetros de resumen.

		Dirección			Total
		N	NNO		
Periodo [s]	[4 - 6]	-	0.08%		0.08%
	[6 - 8]	-	2.98%		2.98%
	[8 - 10]	-	4.06%		4.06%
	[10 - 12]	0.01%	12.80%		12.81%
	[12 - 14]	-	49.89%		49.89%
	[14 - 16]	-	18.92%		18.92%
	[16 - 18]	-	10.47%		10.47%
	[18 - 20]	-	0.71%		0.71%
	[20 - 22]	-	0.08%		0.08%
	[22 - 24]	-	0.01%		0.01%
Total		0.01%	99.99%		100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 18: Tabla de incidencia altura – periodo en el sitio de interés obtenida de parámetros de resumen.

		Altura significativa [m]					Total
		[0 - 0.5]	[0.5 - 1]	[1 - 1.5]	[2 - 2.5]	[1.5 - 2]	
Periodo [s]	[4 - 6]	0.08%	0.00%	0.00%	-	0.00%	0.08%
	[6 - 8]	2.84%	0.04%	0.07%	0.00%	0.04%	2.98%
	[8 - 10]	3.73%	0.23%	0.06%	0.00%	0.04%	4.06%
	[10 - 12]	12.07%	0.69%	0.04%	0.00%	0.00%	12.81%
	[12 - 14]	27.66%	22.19%	0.04%	-	-	49.89%
	[14 - 16]	1.56%	12.07%	5.11%	0.00%	0.18%	18.92%
	[16 - 18]	0.46%	5.39%	3.94%	0.03%	0.65%	10.47%
	[18 - 20]	0.03%	0.37%	0.28%	0.00%	0.03%	0.71%
	[20 - 22]	0.01%	0.03%	0.04%	-	0.00%	0.08%
	[22 - 24]	0.01%	-	-	-	-	0.01%
Total		48.44%	41.00%	9.58%	0.05%	0.93%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 19: Datos extremos de oleaje en el sitio de interés a partir de parámetros de resumen.

Dato	Año	Altura en el sitio [m]	Periodo [s]	Dirección
1	1987	2.56	9.2357	217.5
2	2003	2.38	9.2357	217.5
3	2010	2.38	12.293	217.5
4	2015	2.25	12.293	232.5
5	1985	2.25	6.9389	232.5
6	1994	2.25	12.293	217.5
7	1981	2.24	13.522	217.5
8	1992	2.22	19.797	217.5
9	1990	2.11	14.874	217.5
10	1997	2.10	13.522	217.5
11	1989	2.09	14.874	232.5
12	1993	2.04	6.3081	202.5
13	2005	2.03	14.874	232.5
14	1982	2.01	19.797	217.5
15	1999	1.95	16.362	217.5
16	1986	1.94	16.362	217.5
17	1988	1.93	13.522	247.5
18	1984	1.92	13.522	217.5
19	2009	1.92	10.159	202.5
20	1991	1.92	12.293	232.5
21	1983	1.90	12.293	217.5
22	2012	1.90	19.797	217.5
23	2004	1.88	13.522	247.5
24	2014	1.87	17.998	217.5
25	2008	1.87	9.2357	217.5
26	2013	1.86	12.293	217.5
27	2002	1.86	16.362	217.5
28	1980	1.85	8.3961	232.5
29	2001	1.83	6.3081	232.5
30	1995	1.81	14.874	232.5
31	2007	1.75	12.293	232.5
32	2011	1.72	14.874	232.5
33	2006	1.67	7.6328	217.5
34	1998	1.67	19.797	217.5
35	1996	1.59	8.3961	232.5
36	2000	1.58	11.175	217.5

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 20: Datos extremos de oleaje en el sitio de interés a partir del espectro de aguas profundas.

Dato	Año	Altura en el sitio [m]	Periodo [s]	Dirección
1	1992	1.94	15.13	247.5
2	2000	1.86	16.45	247.5
3	1984	1.64	14.87	247.5
4	1987	1.59	14.24	247.5
5	1985	1.58	13.63	247.5
6	2009	1.56	18.01	247.5
7	1988	1.55	19	247.5
8	2010	1.54	20.07	247.5
9	2006	1.53	17.99	247.5
10	2013	1.52	16.46	247.5
11	1997	1.47	14.86	247.5
12	2005	1.46	19.92	247.5
13	2011	1.42	12.49	247.5
14	2004	1.39	16.36	247.5
15	1983	1.39	13.92	247.5
16	1990	1.38	15.36	247.5
17	2003	1.37	14.68	247.5
18	2002	1.35	14.77	247.5
19	2012	1.31	15.01	247.5
20	2007	1.30	15.22	247.5
21	2001	1.29	13.8	247.5
22	1981	1.26	16.38	247.5
23	1982	1.24	13.56	247.5
24	1991	1.22	13.28	247.5
25	2015	1.21	15.73	247.5
26	1995	1.19	14.86	247.5
27	1989	1.12	15.38	247.5
28	2014	1.12	16.43	247.5
29	2008	1.11	15.67	247.5
30	1994	1.11	16.39	247.5
31	1999	1.10	14.47	247.5
32	1993	1.07	12.31	247.5
33	1996	1.07	15.32	247.5
34	1986	1.06	15.14	247.5
35	1998	1.00	14.87	247.5
36	1980	0.87	14.8	247.5

Fuente: Elaboración propia.

Anexo A 21: Resultado clima extremo de oleaje en el sitio de interés a partir de parámetros de resumen.

		Distribución				
		Gumbel	Weibull			
			k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0
		Altura significativa [m]				
Periodo de retorno [años]	2	1.94	1.9	1.91	1.93	1.95
	5	2.15	2.07	2.11	2.15	2.17
	10	2.28	2.23	2.27	2.29	2.29
	25	2.45	2.47	2.48	2.46	2.43
	50	2.58	2.66	2.64	2.58	2.52
	70	2.65	2.77	2.73	2.65	2.57
	100	2.71	2.87	2.8	2.7	2.6
Correlación		0.99	0.91	0.95	0.98	0.99

Fuente: Elaboración propia.

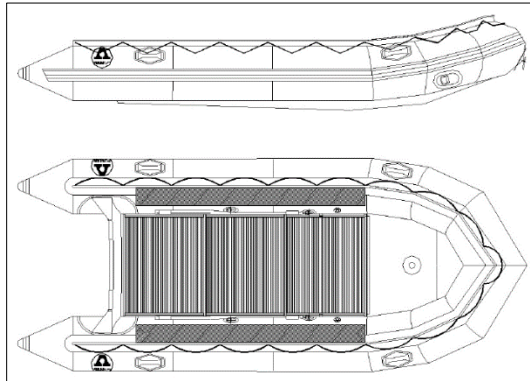
Anexo A 22: Resultado clima extremo de oleaje en el sitio de interés a partir del espectro.

		Distribución				
		Gumbel	Weibull			
			k = 0.75	k = 1.0	k = 1.4	k = 2.0
Altura significativa [m]						
Periodo de retorno [años]	2	1.3	1.26	1.27	1.29	1.31
	5	1.52	1.44	1.48	1.52	1.54
	10	1.66	1.6	1.65	1.67	1.67
	25	1.84	1.84	1.86	1.84	1.81
	50	1.97	2.04	2.02	1.97	1.91
	70	2.04	2.16	2.11	2.04	1.96
	100	2.1	2.26	2.19	2.09	1.99
	Correlación	0.99	0.9	0.95	0.98	0.99

Fuente: Elaboración propia.

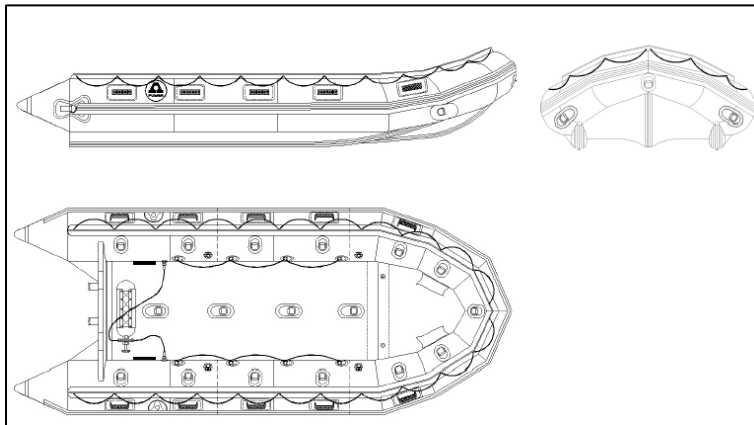
ANEXO B
CARACTERIZACIÓN DE EMBARCACIONES

Anexo B 1: PUMAR MI420 PATRULLA.



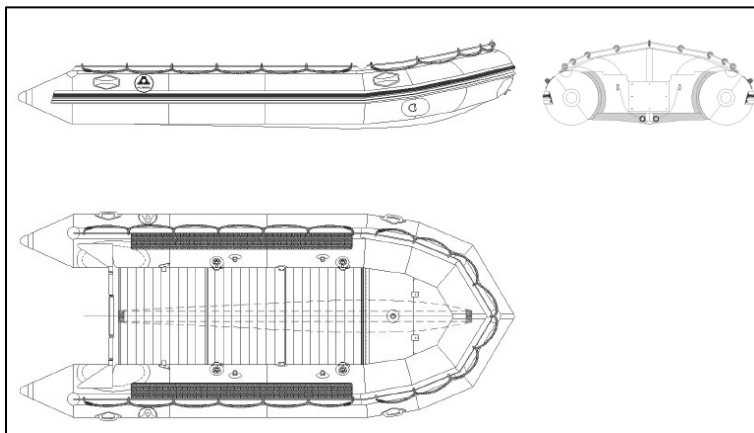
Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 2: PUMAR MI470 COMANDO.



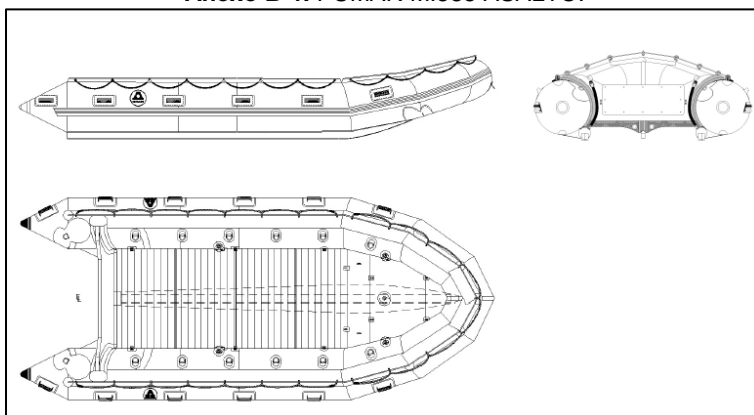
Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 3: PUMAR MI470 DANUBIO.



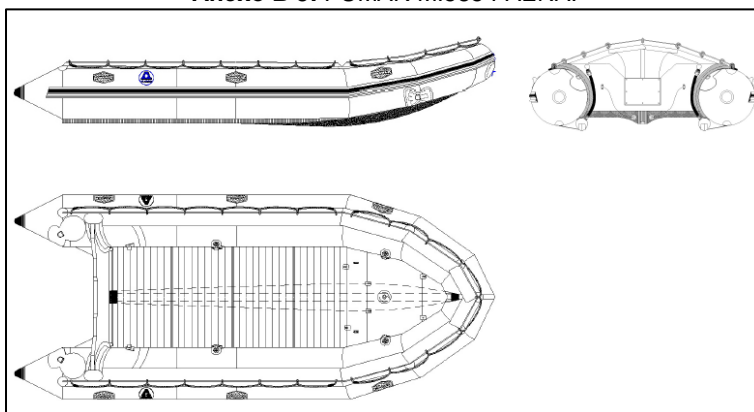
Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 4: PUMAR MI585 ASALTO.



Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 5: PUMAR MI585 FAENA.



Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 6: RHIB PUMAR WR450 BOMBEROS.



Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 7: RHIB PUMAR AR670E.



Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 8: RBB PUMAR WR900-EX.



Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 9: RBB PUMAR WR1250.



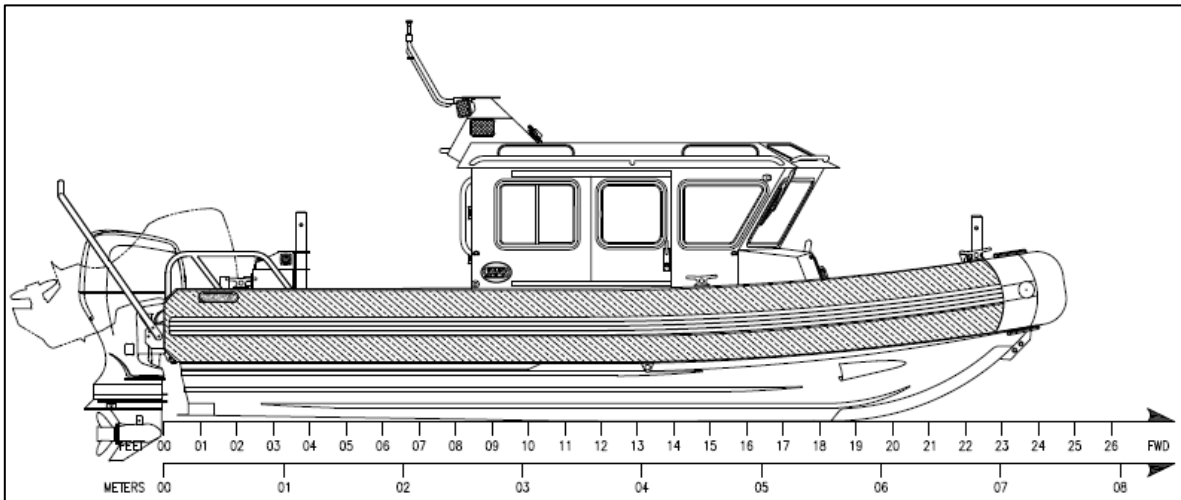
Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 10: LPC "Salinas".



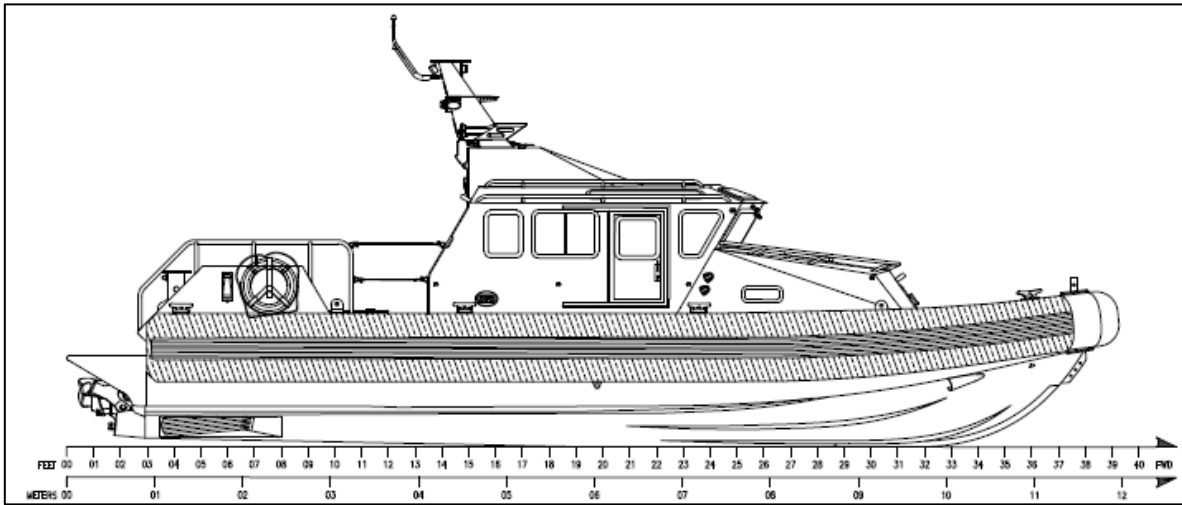
Fuente: Armada de Chile.

Anexo B 11: SAFE 25 Full Cabin.



Fuente: ASMAR Valparaíso.

Anexo B 12: SAFE 36 Full Cabin.



Fuente: ASMAR Valparaíso.

ANEXO C
DISEÑO: MEMORIAS DE CÁLCULO

Anexo C 1: Cota de coronamiento.

Datos:		Rc [m]	Rc/Hs	q [m³/sec/m]
Gravedad:	9.81 m/s²	5	1.89394	0.0117237
Periodo medio:	13 s	5.1	1.93182	0.0102236
Altura ola de diseño:	2.64 m	5.2	1.9697	0.00891546
ys:	1	5.3	2.00758	0.00777471
		5.4	2.04545	0.00677992
		5.5	2.08333	0.00591241
		5.6	2.12121	0.0051559
		5.7	2.15909	0.00449619
		5.8	2.19697	0.00392089
		5.9	2.23485	0.00341921

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 2: Carga de atraque.

Datos Nave de diseño: LPC "Salinas"			
	L: Eslora Total =	19.8 [m]	
	B: Manga Total =	5.5 [m]	
	D: Calado =	1.8 [m]	
	Puntal =	3.1 [m]	
	Desplazamiento =	40000 [kg]	
	Altura de picaderos (alt.picad) =	1 [m]	
CARGA DE IMPACTO (R):			
	Md: Masa del buque =	40000 [kg]	
	Mw: Masa de agua movilizada =	40000 [kg]	
	Cg: Coeficiente geométrico del buque =	1	} se asume
	Cc: Coeficiente de configuración del atraque =	1	
	Cs: Coeficiente de rigidez del sistema de atraque =	0.5	
	γ_w =	10.065 [N/m³]	
Coeficiente de excentricidad:	$C_e = \frac{\left[\left(\frac{0.19 * \text{Desplazamiento}}{\text{Eslora} * \text{Manga} * \text{Calado} * \gamma_w} + 0.11 \right) * L \right]^2 + (0.25 * \text{Eslora})^2 * \cos^2 70^\circ * M_w}{\left[\left(\frac{0.19 * \text{Desplazamiento}}{\text{Eslora} * \text{Manga} * \text{Calado} * \gamma_w} + 0.11 \right) * L \right]^2 + (0.25 * \text{Eslora})^2}$		= 20.411
		$f = C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s =$	10.205
	Cm: Coeficiente de masa hidrodinámica =	$C_m = 1 + 2(D/B) = \frac{(M_d + M_w)}{M_d}$	= 2
	Vb: Componente normal a la superficie de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto =	0.15 [m/s] →	se asume atraque de proa o popa, nave parada frente al atraque
	Energía cinética desarrollada por el buque durante el atraque:	$E = \frac{1}{2g} C_m \times \Delta \times V_b^2 =$	91.743 [t/m]
	Relación lineal reacción-deformación:	$R = 2E^{1/2}$	= 13.564 [t]

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 3: Diseño Muro Cantilever.

Muro Cantiléver			
H =	10.255	[m]	
h =	8.255	[m]	
A =	7.5	[m]	
C =	2	[m]	
e1 =	0.8	[m]	
Empuje activo del suelo de relleno			
β	=	0	
ϕ	=	40.00	[°] = [rad] 0.70
δ	=	0.47	[rad]
i	=	0.00	
Ka	=	0.20	
ρ_s	=	2.00	[t/m ³]
h	=	10.26	[m]
Ea	=	21.02	[t/m]
Ma	=	71.84	[t-m]
Empuje activo sísmico del suelo de relleno			
β	=	0.00	
ϕ	=	40.00	[°] = [rad] 0.70
δ	=	0.47	[rad]
Θ	=	0.20	[rad]
i	=	0.00	
Kas	=	0.33	
ρ_s	=	2.00	[t/m ³]
h	=	10.26	[m]
Eas	=	13.26	[t/m]
Mas	=	90.63	[t-m]
Empuje por sobrecarga			
Grúa	=	3.00	[t/m ²]
Carro	=	1.00	[t/m ²]
Nave	=	2.00	[t/m ²]
Explanada	=	1.25	[t/m ²]
q1	=	7.25	[t/m ²]
Ka	=	0.20	
h	=	10.26	[m]
Esc	=	14.86	[t/m]
Msc	=	76.19	[t-m]
Empuje Carga Hidrostática			
ρ_s	=	1.03	[t/m ³]
h	=	6.16	[m]
Eagua	=	6.31	[t/m]
Magua	=	12.96	[t-m]
Empuje Oleaje			
Eoleaje	=	13.89	[t/m]
Moleaje	=	85.56	[t-m]
Empuje Amarre			
Eamarre	=	10.00	[t/m]
Mamarre	=	102.55	[t-m]
Empuje Atraque			
Eatraque	=	14.00	[t/m]
Matraque	=	86.24	[t-m]
Empuje Pasivo	=	34.20	[t/m]
Momento Pasivo	=	184.77	[t-m]
Empuje Activo	=	59.13	[t/m]
Momento Activo	=	341.21	[t-m]
Peso muro	=	17.40	[t/m]
Momento muro	=	226.38	[t-m]
Peso tierra	=	37.15	[t/m]
Resistente	=	88.75	[t/m]
Resistente	=	411.15	[t/m]
Deslizante	=	59.13	[t/m]
Volcante	=	341.21	[t/m]
$\frac{\text{Resistente}}{\text{Deslizante}}$	=	1.50	≥ 1.2
$\frac{\text{Resistente}}{\text{Volcante}}$	=	1.20	≥ 1.2

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 4: Diseño Muro Gravitacional.

Muro Cantiléver			
H =	10.255	[m]	
h =	7.755	[m]	
A =	5.5	[m]	
C =	2.5	[m]	
e1 =	1.5	[m]	
Empuje activo del suelo de relleno			
β	=	0	
ϕ	=	40.00	[°] = [rad] 0.70
δ	=	0.47	[rad]
i	=	0.00	
Ka	=	0.20	
ρ_s	=	2.00	[t/m ³]
h	=	10.26	[m]
Ea	=	21.02	[t/m]
Ma	=	71.84	[t-m]
Empuje activo sísmico del suelo de relleno			
β	=	0.00	
ϕ	=	40.00	[°] = [rad] 0.70
δ	=	0.47	[rad]
Θ	=	0.20	[rad]
i	=	0.00	
Kas	=	0.33	
ρ_s	=	2.00	[t/m ³]
h	=	10.26	[m]
Eas	=	13.26	[t/m]
Mas	=	90.63	[t-m]
Empuje por sobrecarga			
Grúa	=	3.00	[t/m ²]
Carro	=	1.00	[t/m ²]
Nave	=	2.00	[t/m ²]
Explanada	=	1.25	[t/m ²]
q1	=	7.25	[t/m ²]
Ka	=	0.20	
h	=	10.26	[m]
Esc	=	14.86	[t/m]
Msc	=	76.19	[t-m]
Empuje Carga Hidrostática			
ρ_s	=	1.03	[t/m ³]
h	=	6.16	[m]
Eagua	=	6.31	[t/m]
Magua	=	12.96	[t-m]
Empuje Oleaje			
Eoleaje	=	13.89	[t/m]
Moleaje	=	85.56	[t-m]
Empuje Amarre			
Eamarre	=	10.00	[t/m]
Mamarre	=	102.55	[t-m]
Empuje Atraque			
Eatraque	=	14.00	[t/m]
Matraque	=	86.24	[t-m]
Empuje Pasivo	=	34.20	[t/m]
Momento Pasivo	=	184.77	[t-m]
Empuje Activo	=	59.13	[t/m]
Momento Activo	=	341.21	[t-m]
Peso muro	=	33.39	[t/m]
Momento muro	=	250.66	[t-m]
Peso tierra	=	25.59	[t/m]
Resistente	=	93.18	[t/m]
Resistente	=	435.42	[t/m]
Deslizante	=	59.13	[t/m]
Volcante	=	341.21	[t/m]
$\frac{\text{Resistente}}{\text{Deslizante}}$	=	1.58	≥ 1.2
$\frac{\text{Resistente}}{\text{Volcante}}$	=	1.28	≥ 1.2
		OK CUMPLE	OK CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 5: Requerimiento geométrico de la rampa.

Datos Nave de diseño: LPC "Salinas"			
	L: Eslora Total	=	19.8 [m]
	B: Manga Total	=	5.5 [m]
	D: Calado	=	1.8 [m]
	Puntal	=	3.1 [m]
	Desplazamiento	=	40000 [kg]
	Altura de picaderos (altura.picaderos)	=	1 [m]
REQUERIMIENTO GEOMÉTRICO DE LA RAMPA:			
	Inclinación: s	=	1/6 = 17%
	Longitud:	$2 L + L/2$	= 49.5 [m]
	Ancho rampa, con un carril:	1.5 [m] a cada lado respecto a B	= 8.5 [m]
	Altura del carro de varada: h	= B + altura.picaderos	= 2.8 [m]
	Longitud de carriles: Lc	= L + (1/s) · h	= 36.6 [m]
	4.5 [m] libres + Lc + x [m] libres = Longitud rampa → x	=	8.4 [m]

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 6: Cargas verticales y máximo tiro.

CARGA DE VARADO:			
Datos:			
	L: Eslora nave de diseño	=	19.8 [m]
	Lc: Longitud de carriles	=	36.6 [m]
	Desplazamiento	=	40 [t]
	Peso carro de varada	=	10 [t]
	Peso elementos de unión y tractores	=	0.1 [t]
Distribución longitudinal de cargas verticales:			
	P1: Peso nave / 3	=	13.33 [t]
	P2: Peso sumergido del carro en t/m, supuesto linealmente repartido	=	40 [t] peor caso
	P3: 1.33 · (peso nave + peso carro, en seco)	=	66.5 [t]
	$\frac{1}{2}$ P1	=	6.67 [t]
	$\frac{1}{4}$ P1	=	3.33 [t]
	$\frac{3}{4}$ P1	=	10 [t]
	L / 3	=	6.6 [m]
	L / 6	=	6.1 [m]
	W: Peso total del mayor buque + peso del carro de varada + peso de los elementos de unión y tractores	=	50100 [kg]
	φ : Ángulo inclinación rampa	=	0.168 [rad] = 9.6 [°]
	C: Coeficiente de fricción	=	0.04
	Máx Tiro: $W \cdot \text{sen } \varphi + W \cdot C$	=	10400.534 [kg] = 10.401 [t]

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 7: Diseño Rampa Opaca.

Rampa Opaca			
H	=	10.255	[m]
h	=	9.755	[m]
A	=	7.5	[m]
C	=	0.5	[m]
e1	=	0.5	[m]
e2	=	0.5	[m]
Empuje por sobrecarga			
Grúa	=	0.00	[t/m ²]
Carro	=	1.00	[t/m ²]
Nave	=	2.00	[t/m ²]
Explanada	=	1.25	[t/m ²]
q1	=	4.25	[t/m ²]
Ka	=	0.20	
h	=	10.26	[m]
Esc	=	8.71	[t/m]
Msc	=	44.66	[t-m]
Empuje Carga Hidrostática			
ps	=	1.03	[t/m ³]
h	=	6.16	[m]
Eagua	=	6.31	[t/m]
Magua	=	12.96	[t-m]
Empuje Oleaje			
Eoleaje	=	13.89	[t/m]
Moleaje	=	85.56	[t-m]
Empuje Pasivo	=	20.20	[t/m]
Empuje Activo	=	8.71	[t/m]
Peso muro	=	10.50	[t/m]
Peso tierra	=	43.90	[t/m]
Momento Pasivo	=	98.53	[t-m]
Momento Activo	=	44.66	[t-m]
Momento muro	=	81.66	[t-m]
Resistente	74.61	[t/m]	
Deslizante	8.71	[t/m]	
<u>Resistente</u>	=	8.565	≥ 1.2
<u>Deslizante</u>			
Resistente	180.19	[t/m]	
Volcante	44.66	[t/m]	
<u>Resistente</u>	=	4.035	≥ 1.2
<u>Volcante</u>			

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 8: Fuerza de Morison.

Datos:	
Diámetro pilote (D)	0.62 m
Coeficiente de arrastre (CD)	1
Coeficiente de Inercia (CM)	1.5
Periodo oleaje(T)	13 s
Altura ola (H)	2.64 m
Profundidad (d)	6 m

Máximo componente de fuerzas	
FiMax	2217.79 N
FDMax	5431.28 N
Máximo componente de momentos	
MiMax	6735.27 N-m
MDMax	16696.8 N-m
Máxima fuerza	5656.15 N
Máximo momento	17372.6 N-m
Teoría no lineal del oleaje	
D/(gT ²)	0.00361906
H/(gT ²)	0.00159239
Max. Fuerza =	11079.8 N
=	1.25 Tf
=	1130 Kgf
Max. Momento =	45622.8 N-m

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 9: Secciones H.

TABLA 2.1.1
PERFILES SOLDADOS
SECCIONES H

GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO

DESIGNACIÓN	DIMENSIONES			AREA A	EJE X-X				EJE Y-Y				ESBELTEZ ALA ALMA		PANDEO LOCAL ^a Q _s				TORSION Y ALABEO			SOLD. AUTO. S									
	d	x	b _f		Peso	t _f	t _w	h	I _x /10 ⁴	S _x /10 ³	r _x	Z _x /10 ³	I _y /10 ⁴	S _y /10 ³	r _y	Z _y /10 ³	I _a	I _r	b _f /2t _f	h/t _w	F _y , MPa		f, MPa			X ₁	X ₂ x 10 ⁴	J/10 ⁴	C _w /10 ¹²	√I _c / √J	
	mm	mm	mm		kg/m	mm	mm	mm	mm ⁴	mm ³	mm	mm ³	mm ⁴	mm ³	mm	mm ³	mm	mm	-	-	345		55	100	200	310	MPa	(1/MPa) ²	mm ⁴	mm ⁶	mm
H 250 x 200 x 100.1	28	8	194	12752	144	1149	106	1318	37.3	373	54.1	563	63.7	22.4	3.6	24.3	-	-	-	-	-	-	-	-	46722	124	296	0.4600	635	5	
95.5	28	8	194	12170	142	1134	108	1290	37.3	373	55.4	561	64.1	22.4	3.6	38.8	-	-	-	-	-	-	-	0.998	46007	123	294	0.4600	636	4	
91.1	25	8	200	11600	132	1059	107	1205	33.3	333	53.6	503	62.7	20.0	4.0	25.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	719	5
86.4	25	8	200	11000	130	1043	109	1175	33.3	333	55.0	501	63.2	20.0	4.0	40.0	-	-	-	-	-	-	-	0.996	40141	211	209	0.4219	724	4	
82.0	22	8	206	10448	121	954	107	1068	29.3	293	53.0	443	61.7	17.6	4.5	25.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	824	5
77.2	22	5	206	9630	118	947	110	1056	29.3	293	54.6	441	62.2	17.6	4.5	41.2	-	-	-	-	-	-	-	0.993	34553	383	143	0.3612	833	4	
72.7	20	6	210	9260	111	896	109	966	26.7	267	53.7	402	61.4	16.0	5.0	35.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	920	4
71.0	20	5	210	9050	110	879	110	975	26.7	267	54.3	401	61.6	16.0	5.0	42.0	-	-	-	-	-	-	-	0.990	30978	593	108	0.3527	923	4	
66.6	18	6	214	8484	102	816	110	904	24.0	240	53.2	362	60.6	14.4	5.6	35.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1028	4
64.9	18	5	214	8270	101	809	111	892	24.0	240	53.9	361	60.9	14.4	5.6	42.8	-	-	-	-	-	-	-	0.988	27521	564	78.7	0.3229	1033	4	
60.5	16	6	218	7708	92.9	743	110	820	21.3	213	52.6	322	59.9	12.8	6.3	36.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1161	4
59.8	16	5	218	7490	92.1	737	111	808	21.3	213	53.4	321	60.2	12.8	6.3	43.6	-	-	-	-	-	-	-	0.984	24183	1613	55.6	0.2920	1169	4	
54.4	14	6	222	6932	83.5	668	110	735	18.7	187	51.9	292	59.1	11.2	7.1	37.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1329	4
52.7	14	5	222	6710	82.6	661	111	722	18.7	187	52.7	291	59.4	11.2	7.1	44.4	-	-	-	-	-	-	-	0.980	20967	2892	37.6	0.2599	1341	4	
46.6	12	5	226	5930	72.8	583	111	635	16.0	160	51.9	241	58.6	9.60	8.3	45.2	-	-	-	-	-	-	-	0.975	17882	5867	24.0	0.2266	1566	4	
40.4	10	5	230	5150	62.7	502	110	545	13.3	133	50.9	201	57.6	8.00	10.0	46.0	-	-	-	-	-	-	-	0.968	14951	11836	14.3	0.1920	1866	4	
H 250 x 150 x 57.0	20	6	210	7260	84.2	673	108	756	11.3	150	39.4	227	45.7	12.0	3.8	35.0	-	-	-	-	-	-	-	-	31559	604	81.7	0.1488	688	4	
55.3	20	5	210	7050	83.4	667	109	745	11.3	150	40.0	226	45.9	12.0	3.8	42.0	-	-	-	-	-	-	-	0.988	31252	603	81.0	0.1488	691	4	
52.5	18	6	214	6684	77.7	622	108	695	10.1	135	38.9	204	45.1	10.8	4.2	35.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	768	4
50.8	18	5	214	6470	76.9	615	109	684	10.1	135	39.6	204	45.4	10.8	4.2	42.8	-	-	-	-	-	-	-	0.984	27792	972	59.3	0.1362	773	4	
47.9	16	6	218	6108	71.0	568	108	633	9.00	120	38.4	182	44.5	9.60	4.7	36.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	867	4
46.2	16	5	218	5890	70.1	561	109	621	9.00	120	39.1	181	44.8	9.60	4.7	43.6	-	-	-	-	-	-	-	0.980	24453	1644	41.9	0.1232	874	4	
43.4	14	6	222	5532	64.0	512	108	570	7.88	105	37.7	159	43.9	8.40	5.4	37.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	969	4
41.7	14	5	222	5310	63.1	505	109	557	7.88	105	38.5	159	44.2	8.40	5.4	44.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.975	21241	2848	28.4	0.1097	1002	4
37.1	12	5	226	4730	58.8	447	109	492	6.75	90.0	37.8	136	43.5	7.20	6.3	45.2	-	-	-	-	-	-	-	0.969	18168	5678	18.3	0.0956	1166	4	
32.6	10	5	230	4150	48.3	386	108	426	5.63	75.0	36.8	114	42.7	6.00	7.5	46.0	-	-	-	-	-	-	-	0.960	15265	11918	11.0	0.0810	1384	4	
28.0	8	5	234	3570	40.5	324	106	359	4.50	60.0	35.5	91.5	41.7	4.80	9.4	46.8	-	-	-	-	-	-	-	0.949	12605	27438	6.13	0.0659	1672	4	
H 250 x 100 x 32.4	14	6	222	4132	44.5	356	104	404	2.34	46.7	23.8	72.0	28.6	5.60	3.6	37.0	-	-	-	-	-	-	-	-	22284	2959	20.0	0.0325	650	4	
30.7	14	5	222	3910	43.6	349	106	392	2.34	46.7	24.4	71.4	28.9	5.60	3.6	44.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.966	21730	3056	19.3	0.0325	662	4
27.7	12	5	226	3530	38.8	311	105	349	2.00	40.0	23.8	61.4	28.4	4.80	4.2	45.2	-	-	-	-	-	-	-	-	0.958	18677	5850	12.5	0.0283	767	4
24.7	10	5	230	3150	33.9	271	104	305	1.67	33.4	23.0	51.4	27.7	4.00	5.0	46.0	-	-	-	-	-	-	-	-	0.948	15824	12066	7.67	0.0240	902	4
21.7	8	5	234	2770	28.8	230	102	262	1.34	26.7	22.0	41.5	26.9	3.20	6.3	46.8	-	-	-	-	-	-	-	0.935	13271	25581	4.42	0.0195	1071	4	
18.8	6	5	238	2390	23.5	188	99.1	217	1.00	20.0	20.5	31.5	25.6	2.40	8.3	47.6	-	-	-	-	-	-	-	0.991	0.917	11259	58266	2.46	0.0149	1255	4

^a PANDEO LOCAL: - Q_s y Q_s tabulados corresponden a perfil trabajando en compresión.
- Valor de Q_s está determinado para cálculo de tensiones.
- Valor de Q_s ó Q_s no indicado, significa valor unitario.
- Para F_y < 345 MPa, Q_s = 1 en todos los perfiles de la tabla.
DISEÑO POR MFRCR:
- Para valores de f distintos de los tabulados, ver tabla 2.4.3 ó interpolar linealmente con el siguiente margen de error:
- si f < 55 MPa, Q_s = 1, sin error

- si f ≥ 55 MPa, error en Q_s varía hasta en ± 3 %
- Flexión simple: - perfil con esbeltez de ala sombreada es no compacto para acero con F_y = 345 MPa, pero tiene M_u ≤ 0.2M_p.
- si se usa acero con F_y ≤ 265 MPa, los perfiles de la tabla clasifican como compactos.
- Flexión compuesta: ningún ala de perfil de la tabla clasifica como esbelta. Además, si P_u/φ_cP_y ≤ 0.45 ningún alma clasifica como esbelta. Si P_u/φ_cP_y > 0.45, algunas almas pueden clasificar como esbeltas. Ver tabla 5.5.1 de la Especificación.
DISEÑO POR TENSIONES ADMISIBLES:
- Flexión simple: usar Q_s tabulado y Q_s = 1.
- Flexión compuesta a compresión: usar Q_s tabulado y F_y para determinar Q_s.

Fuente: (ICHA, 2000)

Anexo C 10: Perfiles circulares de diámetro mayor.

<p style="text-align: center;">TABLA 2.1.11 PERFILES CIRCULARES DE DIÁMETRO MAYOR SOLDADOS AL ARCO SUMERGIDO</p> <p style="text-align: center;">GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO</p>														
DIMENSIONES			PESO	ÁREA	$I/10^4$	$S/10^3$	r	$Z/10^3$	ESBELTEZ	$J/10^4$	PANDEO LOCAL*			
D	D_{INT}	t									A	$I/10^4$	$S/10^3$	r
mm	mm	mm	kg/m	mm ²	mm ⁴	mm ³	mm	mm ³	-	mm ⁴	F_y, MPa			
											235	248	255	345
620	600	10	199.76	25447	2097	5091	266	6561	62.0	417466	-	-	-	0.935
616	600	8	159.41	20307	1657	4062	266	5223	102.0	331479	0.984	0.967	0.948	0.883
612	600	6	119.26	15193	1234	3039	265	3898	135.3	246757	0.906	0.893	0.879	0.829
720	700	10	175.10	22305	1406	3905	251	5041	72.0	281158	-	-	-	0.973
716	700	8	136.68	17794	1115	3115	250	4010	89.5	223016	-	-	0.987	0.913
712	700	6	104.47	13308	829	2329	250	2991	118.7	165839	0.939	0.925	0.908	0.852
620	600	10	150.44	19164	892	2876	216	3721	62.0	178318	-	-	-	-
616	600	8	119.95	13261	706	2253	215	2957	77.0	141243	-	-	-	0.953
612	600	6	89.67	11423	524	1714	214	2203	102.0	104882	0.984	0.967	0.948	0.883
570	550	10	138.10	17593	690	2421	198	3136	57.0	137972	-	-	-	-
566	550	8	110.09	14024	546	1929	197	2491	70.8	109187	-	-	-	0.978
562	550	6	82.27	10480	405	1441	197	1855	93.7	81006	-	0.994	0.973	0.902
520	500	10	125.77	16022	521	2004	180	2601	52.0	104224	-	-	-	-
516	500	8	100.22	12767	412	1597	180	2065	64.5	82391	-	-	-	-
512	500	6	74.87	9538	305	1193	179	1536	85.3	61060	-	-	-	0.925
470	450	10	113.44	14451	382	1627	163	2116	47.0	76484	-	-	-	-
466	450	8	90.36	11511	302	1256	162	1678	58.3	60382	-	-	-	-
462	450	6	67.47	8595	223	967	161	1248	77.0	44690	-	-	-	0.953
420	400	10	101.11	12881	271	1290	145	1681	42.0	54163	-	-	-	-
416	400	8	80.50	10254	213	1026	144	1332	52.0	42690	-	-	-	-
412	400	6	60.08	7653	158	766	144	989	68.7	31544	-	-	-	0.967
362	350	6	52.68	6710	106	587	126	760	60.3	21267	-	-	-	-
360	350	5	43.77	5576	88	488	126	630	72.0	17572	-	-	-	0.973
312	300	6	45.28	5768	68	433	108	562	52.0	13507	-	-	-	-
310	300	5	37.61	4791	56	360	108	465	62.0	11145	-	-	-	-
262	250	6	37.88	4825	40	302	91	393	43.7	7910	-	-	-	-
260	250	5	31.44	4006	33	251	90	325	52.0	6514	-	-	-	-

NOTAS:

1.- Soldadura espiral desde D = 150 mm

2.- Soldadura recta desde D = 400 mm

*** PANDEO LOCAL**

- Q_s tabulado corresponde a perfil trabajando en compresión.

- Valor de Q_s está determinado para cálculo de tensiones.

- Valor de Q_s no indicado, significa valor unitario.

DISEÑO POR MFRCR:

- Flexión: ningún perfil de la tabla clasifica como esbelto, excepto valor de Z sombreado que indica que el perfil sí clasifica esbelto al usar acero con $F_y=345$ MPa.

DISEÑO POR TENSIONES ADMISIBLES:

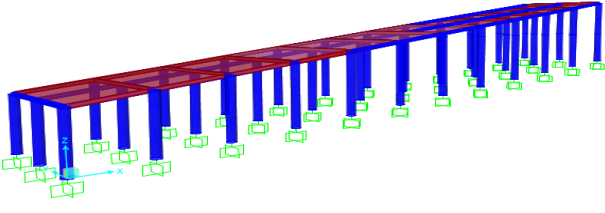
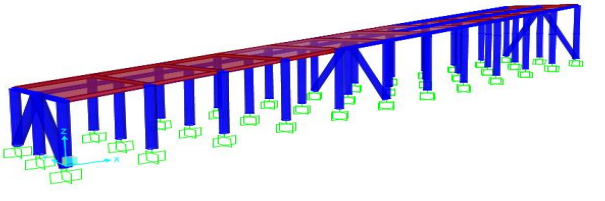
- Flexión simple: usar $Q_s=1$, con las excepciones indicadas en el diseño por MFRCR.

- Flexión compuesta o compresión: usar $f=F_y$ para determinar Q_s .

Fuente: (ICHA, 2000)

Anexo C 11: Esfuerzo de corte basal y deformaciones.

Datos:	
C	= 0.168
I	= 1
P	= 2179.26 Tf (Pp + 30%SC)
Qo	= 366.12 Tf
R	= 7
h	= 9

SAP2000	
Deformaciones rampa normal	
Eje x	Eje y
SC = 0.0005 [m]	SC = 0.00000831 [m]
Oleaje = 0.00320 [m]	Oleaje = 0.00000073 [m]
Qo = 0.01460 [m]	Qo = 0.02200000 [m]
do = 0.01830 [m]	do = 0.00000905 [m]
dd = 0.01460 [m]	dd = 0.02200000 [m]
d = 0.12050 [m]	d = 0.15400905 [m]
dmáx = 0.13500 [m]	dmáx = 0.13500000 [m]
OK CUMPLE	NO CUMPLE
Aplicar arriostrados en y	
	
Deformaciones rampa c/elementos arriostrados en y	
Eje x	Eje y
SC = 0.0005 [m]	SC = 0.00000882 [m]
Oleaje = 0.00300 [m]	Oleaje = 0.00000760 [m]
Qo = 0.01300 [m]	Qo = 0.00470000 [m]
do = 0.01300 [m]	do = 0.00001643 [m]
dd = 0.01300 [m]	dd = 0.00470000 [m]
d = 0.01476 [m]	d = 0.00065093 [m]
dmáx = 0.13500 [m]	dmáx = 0.13500000 [m]
OK CUMPLE	OK CUMPLE
	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo C 12: Precios unitarios de materiales en cada proyecto.

MATERIAL	UNIDAD	PROYECTO			PROMEDIO [pesos]	PROMEDIO [UF]
		Diseño construcción infraestructura pesquera artesanal Caleta Ventanas, Región de Valparaíso. (Noviembre, 2017)	Conservación Caleta el Membrillo, Valparaíso. (Abril, 2018)	Conservación Caleta Guañeros Tongoy y Puerto Aldea, Región de Coquimbo. (Diciembre, 2016)		
Losa HA	m ²	\$ 459000		\$ 700000	\$ 579500	9.77
Relleno granular	m ³	\$ 13950	\$ 57000		\$ 35475	1.31
Base estabilizadora	m ³	\$ 20250	\$ 63,000	\$ 29400	\$ 37550	1.39
Geotextil	m ²	\$ 3060	\$ 2700		\$ 2880	0.11
Muro HA	m ³	\$ 459000		\$ 850000	\$ 654500	24.17
Pilote	kg	\$ 1800			\$ 1800	0.07
Viga	kg		\$ 6300		\$ 6300	0.23

Fuente: Elaboración propia con datos de www.mercadopublico.cl (Ministerio de Hacienda, Gobierno de Chile, 2018)