

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAISO – CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

PROPUESTAS DE MÉTODOS DE LANZAMIENTO E INSTALACIÓN PARA
UN SISTEMA DE ADUCCIÓN DE AGUA DE MAR MEDIANTE LA
METODOLOGÍA TRADE-OFF

MATÍAS ANDRÉ CORDERO CABEZAS

Memoria para optar al título de
Constructor Civil

Profesor Guía
Anne Quaas Hernández
Sergio Carmona Malatesta

Diciembre de 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: "Propuestas y métodos de lanzamiento para un sistema de aducción de agua de mar mediante la metodología trade off"

Nombre del candidato(a): Matías Andre Cordero Cabezas

Carrera / Grado: Construcción Civil

Campus: Casa Central **Departamento:** Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Anne Quaas Hernández en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente

DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 15/01/2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 15/01/2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo agradecer a Dios, una vez más en mi vida, por darme la capacidad y la oportunidad de cursar esta carrera universitaria, tan esperada y soñada en lo personal. Gracias por recordarme que cada desafío y cada etapa pueden ser superados con Él a mi lado, y que todo, bajo convicciones claras y un norte bien definido, forma parte del plan que tiene para mí.

Por supuesto, el respaldo familiar ha sido fundamental en cada etapa de mi vida, especialmente durante la universidad, un periodo en el que las responsabilidades adquieren una exigencia mucho mayor. Aun así, he podido sobrellevar este camino de manera plena, natural y tranquila, gracias al apoyo incondicional que siempre he sentido y valorado profundamente. A mis padres, Paula y Jorge, quienes lo han dado todo y han apostado por mí desde que tengo memoria: espero algún día tener la oportunidad de retribuirles, al menos en parte, todo lo que han hecho por moldear a la persona que soy hoy. Mi gratitud hacia ustedes es eterna.

A mis hermanas, mis segundas madres, quienes han sido tan protagonistas de esta historia como mis padres. Desde su propia perspectiva, cada consejo, cada momento compartido y cada muestra de cariño han sido un soporte invaluable. El valor de tenerlas a mi lado durante todo este proceso es incalculable.

La vida universitaria fue una etapa de aprendizaje, de momentos inolvidables y de madurez en crecimiento, que tuve la fortuna de vivir y disfrutar de una manera especial. Por ello, no puedo dejar de agradecer a quienes formaron parte de esta experiencia: a los profesores, protagonistas en compartir sus conocimientos y en entregar enseñanza con dedicación; y a mis compañeros, quienes fueron parte de esta aventura, de ese aguante en noches largas de estudio, y de esos necesarios intercambios de visiones y opiniones críticas que nos permitieron llegar a soluciones fundamentadas y coherentes. Su compañía y colaboración hicieron de este camino uno más significativo.

Finalmente, agradezco a cada persona, circunstancia y aprendizaje que formó parte de este camino. Cada experiencia, ya sea desafiante o gratificante, contribuyó a mi crecimiento personal y profesional. Hoy concluyo esta etapa con orgullo, gratitud y la convicción de que todo lo vivido ha sido fundamental para llegar hasta aquí y continuar construyendo el futuro que deseo.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	8
2	INTRODUCCIÓN	9
3	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	10
4	MARCO TEÓRICO	13
4.1	DINÁMICA COSTERA Y VARIABLES DE INTERÉS	13
4.2	CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y MARINAS	15
5	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO	15
5.1	UBICACIÓN.....	15
5.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA BAHÍA	17
5.3	DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA.....	17
5.4	CARÁCTERÍSTICAS METEOCEANOGRÁFICAS	18
6	SISTEMA DE ADUCCIÓN	22
6.1	IMPORTANCIA EN EL MEDIO	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
6.2	ETAPA Y SISTEMAS DE CAPTACIÓN	23
6.3	PROPUESTAS DE ESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN	25
7	METODOLOGIAS DE INSTALACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN	47
7.1	METODOLOGIAS DE LANZAMIENTO.....	48
7.2	METODOLOGIAS DE TRASLADO	58
7.3	METODOLOGIAS DE INSTALACIÓN	68
7.4	PLANES DE CONTINGENCIA	75
8	PROPUESTAS CONSIDERADAS PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS	86
8.1	PROPUESTA 1	87
8.2	PROPUESTA 2	90
8.3	PROPUESTA 3	93
8.4	PROPUESTA 4.....	96
9	EVALUACIÓN	99
9.1	METODOLOGÍA	99
9.2	DETERMINACIÓN CRITERIOS DE EVALUACIÓN	99
9.3	PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	101
9.4	DEFINICIÓN ESCALA DE VALORIZACIÓN	102
9.5	ÍNDICE DE EFECTIVIDAD	103
9.6	ÍNDICE DE EFICIENCIA	103
10	RESULTADOS.....	104
10.1	RESUMEN MATRIZ DE DECISIÓN.....	105
10.2	ANÁLISIS Y PLANIFICACIÓN DE LAS PROPUESTAS	123

10.3	ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	132
10.4	CÁLCULO ÍNDICE DE EFICIENCIA POR PROPUESTA	143
10.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	145
10.6	RECOMENDACIONES	149
11	SUGERENCIAS.....	150
12	CONCLUSIONES.....	152
13	BIBLIOGRAFÍA.....	154
14	ANEXOS.....	156
14.1	ANEXO A (MECÁNICA DE INSTALACIÓN ESTRUCTURA TIPO CAMPANA).....	156
14.2	ANEXO B	157
14.3	ANEXO C (RESOLUCIÓN DE HABILITACIÓN MUELLE VENTANAS).....	158
14.4	ANEXO D (MODELO PARA LA METODOLOGÍA TRADE-OFF, SECUENCIAS Y PASOS).....	159
14.5	ANEXO E (TABLAS DE INMERSIÓN BUCEO U.S NAVY).....	160
14.6	ANEXO F (TRANSFERENCIAS DE CARGA COMEX 2024).....	162
14.7	ANEXO G (PARÁMETROS DE DISEÑO LASTRES)	163

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Imagen área referencial a punto de instalación y ejecución del proyecto.....	16
Figura 2. Imagen georreferencial de la bahía de Quintero	18
Figura 3. Carta SHOA con disposición de la bahía y sus correspondientes puntos batimétricos	20
Figura 4. Batimetrías y veriles demarcados para la bahía de Quinteros.....	21
Figura 5. Dinámica de funcionamiento de un sistema de captación de agua marina	22
Figura 6. Prototipo de mecanismo para la captación de agua de mar	24
Figura 7. Perfil de ubicación de estructura (campana) de aducción	25
Figura 8. Modelo 3D, estructura de aducción tipo campana	26
Figura 9. Captación de agua de mar, filtro y muerto de sujeción.....	27
Figura 10. Modelo para placa estabilizadora de campana de aducción	28
Figura 11. Tramo inferior de disco de fundación para campana de aducción.....	29
Figura 12. Tramo inferior de disco de fundación para campana de aducción.....	29
Figura 13. Elevación muro tubular	30
Figura 14. Vista planta muro tubular	30
Figura 15. Elevación de tramo superior (filtro FRP) torre de captación	32
Figura 16. Campana de aducción y sus componentes principales.....	32
Figura 17. Filtro de aducción en la estructura de captación en base a muertos piramidales	33
Figura 18. Geometría muerto de sujeción tipo montura	34
Figura 19. Coeficientes de arrastre en condiciones marinas	38
Figura 20. Coeficientes de inercia	40
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre para un muerto de fijación tipo montura	44
Figura 22. Esquema representativo de las etapas de desarrollo para los protocolos de instalación	47
Figura 23. Proceso de lanzamiento, campo de alcance.....	49
Figura 24. Rampa tipo opaca, dispuesta para el lanzamiento de las estructuras	50
Figura 25. Zona de emplazamiento de la rampa para acceso al medio marítimo	51
Figura 26. Zona de emplazamiento de la rampa para acceso al medio marítimo	51
Figura 27. Sector de grúas de operación para el muelle de ventanas.....	53
Figura 28. Zona de descarga por medio de la grúa de muelle	54
Figura 29. Rutas Estimadas para la realización del traslado de las estructuras.	58
Figura 30. Imagen referencial para el funcionamiento de remolque de las estructuras.	62
Figura 31. Barcaza Yagana	63
Figura 32. Disposición de la barcaza yagana (vista planta y elevación)	64
Figura 33. Plataforma Jack up utilizada en proyecto en Puerto Patache.....	65
Figura 34. Procedimiento de instalación desde barcaza yagana	68
Figura 35. Procedimiento de instalación, descenso por despresurización de globos de levante.....	69
Figura 36. Procedimiento de instalación, descenso por medio de Grúa de plataforma Jackup	69
Figura 37. Estructura preparada con sistema de globo de levante para su posterior descenso	70
Figura 38. Yagana operando su mecanismo de izaje para proyecto en quebrada blanca.....	73
Figura 39. Jack up tipo para realizar las labores de instalación en Bahía de Quinteros	74
Figura 40. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación	87
Figura 41. Pesos de partes de la estructura tipo campana	88
Figura 42. Peso de estructura tipo tronco piramidal.....	88
Figura 43. Distinción de secciones modulares en la cual se operará con la estructura tipo campana.....	89
Figura 44. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación	90
Figura 45. Módulo tramo inferior estructura tipo campana.....	91
Figura 46. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación	93
Figura 47. Disposición de los módulos de la estructura tipo campana, los cuales son instalados y acoplados en el lecho marino	95
Figura 48. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación	96

Figura 49. Planificación estimada propuesta 1B	124
Figura 50. Planificación estimada propuesta 1A	125
Figura 51. Planificación estimada propuesta 2B	126
Figura 52. Planificación estimada propuesta 2A	127
Figura 53. Planificación estimada propuesta 3B	128
Figura 54. Planificación estimada propuesta 3A	129
Figura 55. Planificación estimada propuesta 4B	130
Figura 56. Planificación estimada propuesta 4A	131
Figura 57. Resultados efectividad	146
Figura 58. Resultados eficiencia	147
Figura 59. Mecanismo de funcionamiento y lógico de la metodología Trade off	159
Figura 60. Propagación Direccional WSW (247,5°)	164

RESUMEN DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas de emplazamiento filtro tipo campana	26
Tabla 2 Coordenadas UTM de emplazamiento de estructura	27
Tabla 3 Resumen de fuerzas actuantes en el filtro superior de la campana	31
Tabla 4 Dimensiones del elemento de fijación del sistema tipo montura	35
Tabla 5 Códigos de procedencia según tipo de dato	35
Tabla 6 Asignación de procedencia de los datos descriptivos en las estructuras	35
Tabla 7 Pesos específicos de los materiales de la estructura	36
Tabla 8 Fuerzas estáticas generadas en la estructura	36
Tabla 9 Parámetros para el cálculo de fuerzas hidrodinámicas generadas por corrientes	37
Tabla 10 Representación de fuerzas actuantes por corriente marina en la estructura	38
Tabla 11 Parámetros oceanográficos dinámicos	39
Tabla 12 Representación de fuerzas actuantes por corriente marina en la estructura	41
Tabla 13 Parámetros cálculo sísmico	42
Tabla 14 Determinación de masas asociadas y fuerzas sísmicas actuantes sobre la torre	42
Tabla 15 Fuerza por masa adherida en la estructura	43
Tabla 16 Definición de nomenclatura de cargas actuantes	44
Tabla 17 Riesgos asociados con su respectiva medida de control	72
Tabla 18 Riesgos asociados y su respectiva medida de control	75
Tabla 19 Medida preventiva frente a accidente de buzo en labores submarinas	77
Tabla 20 Medidas de respuesta inmediata frente a accidente de buzo en labores submarinas	78
Tabla 21 Medidas preventivas ante pérdida de estabilidad de la estructura	80
Tabla 22 Medidas de respuesta inmediata ante pérdida de estabilidad de la estructura en etapas de traslado	81
Tabla 23 Medidas preventivas frente a inoperatividad de los equipos	83
Tabla 24 Medidas de respuesta inmediata frente a inoperatividad de los equipos	84
Tabla 25 Ponderación criterios de evaluación	101
Tabla 26 Escala de valorización	102
Tabla 27 Matriz de evaluación propuesta 1A	106
Tabla 28 Matriz de evaluación propuesta 2A	108
Tabla 29 Matriz de evaluación propuesta 3A	110
Tabla 30 Matriz de evaluación propuesta 4A	112
Tabla 31 Matriz de evaluación propuesta 1B	114
Tabla 32 Matriz de evaluación propuesta 2B	116
Tabla 33 Matriz de evaluación propuesta 3B	118
Tabla 34 Matriz de evaluación propuesta 4B	120

Tabla 35	Resumen de ponderaciones propuestas A	122
Tabla 36	Resumen de ponderaciones propuestas B	122
Tabla 37	Resumen de duraciones para cada una de las propuestas	132
Tabla 38	Costo de elementos requeridos para la etapa de lanzamiento	132
Tabla 39	Costo de equipamiento requerido	133
Tabla 40	Costos relevantes en etapa de instalación	133
Tabla 41	Valores de personal específico para las labores operacionales de las propuestas	134
Tabla 42	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 1A	135
Tabla 43	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 1B.....	136
Tabla 44	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 2A	137
Tabla 45	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 2B.....	138
Tabla 46	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 3A	139
Tabla 47	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 3B.....	140
Tabla 48	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 4A	141
Tabla 49	Costos definidos para las operaciones de la propuesta 4B.....	142
Tabla 50	Resumen de costos por propuestas.....	143
Tabla 51	Resultados efectividad	146
Tabla 52	Resultados de eficiencia	147
Tabla 53	Tablas de inmersión U.S Navy.....	160
Tabla 54	Transferencias de Carga bahías de Chile	162

1 RESUMEN

La presente memoria analiza y compara distintos métodos de lanzamiento e instalación de estructuras de aducción de agua de mar, aplicando la metodología Trade-Off como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en obras marítimas. El estudio se desarrolla en la bahía de Quintero, considerando condiciones representativas del litoral central de Chile.

Se evalúan dos tipologías estructurales: una campana de aducción de hormigón armado y un filtro con muerto troncopiramidal, ambas diseñadas para operar en profundidades superiores a 25 [m]. A partir de ellas, se proponen cuatro alternativas constructivas que combinan distintas metodologías de lanzamiento, traslado e instalación.

El proceso de evaluación se basa en criterios técnicos, logísticos, de seguridad operacional y eficiencia constructiva, los cuales permiten ponderar y jerarquizar las alternativas de acuerdo con su desempeño global. La aplicación de la metodología Trade-Off posibilita estructurar una comparación objetiva entre opciones bajo condiciones marítimas equivalentes.

El trabajo aporta un modelo metodológico replicable para proyectos de captación marina, contribuyendo a optimizar la planificación y ejecución de operaciones de instalación en sistemas de aducción de agua de mar. Asimismo, la propuesta entrega un soporte estructurado para la toma de decisiones en los niveles directivos de proyectos marítimos de alta complejidad, especialmente considerando los elevados montos de inversión involucrados, otorgando así una metodología “clonable” aplicable en futuros desarrollos similares

2 INTRODUCCIÓN

La ingeniería de obras marítimas enfrenta hoy uno de sus mayores desafíos en la búsqueda de soluciones que permitan garantizar el suministro hídrico en sectores industriales, energéticos y mineros de alta demanda. En este contexto, los sistemas de aducción de agua de mar se consolidan como una alternativa estratégica para responder a la escasez de agua dulce en zonas costeras y semiáridas, constituyendo infraestructuras críticas para el desarrollo productivo del país. Su diseño, construcción e instalación no solo requieren de un profundo conocimiento de los fenómenos oceanográficos y estructurales, sino también de metodologías constructivas especializadas que aseguren eficiencia, seguridad y sostenibilidad.

La instalación de estructuras de captación submarina, tales como campanas de aducción o filtros soportados por “muertos o lastres” de hormigón, implica maniobras complejas de lanzamiento, traslado y fondeo en un medio altamente dinámico, condicionado por el oleaje, las corrientes, las mareas, los vientos y la sismicidad local. Estos factores, sumados a la envergadura y peso de las estructuras, hacen indispensable la formulación de protocolos de instalación que integren criterios técnicos, logísticos, ambientales y normativos. En este escenario, resulta necesario analizar alternativas metodológicas que permitan seleccionar los protocolos de instalación más convenientes bajo condiciones de seguridad operacional y viabilidad económica.

El presente trabajo se enmarca en esa necesidad y tiene como propósito formular, analizar y comparar diferentes métodos de lanzamiento e instalación de estructuras de aducción de agua de mar, aplicando la metodología Trade-Off como herramienta de apoyo a la toma de decisiones. La investigación se centra en la evaluación de dos tipologías principales de captación (denominados “campana de aducción” y filtro con “muerto tronco-piramidal”), representativas de las soluciones constructivas actualmente empleadas en la industria. A partir de estas, se desarrollan propuestas de protocolos de instalación que contemplan las etapas de lanzamiento, transporte y fondeo, considerando estudios de caracterización del medio, normativas nacionales e internacionales (ROM, OCDI, PIANC, SHOA, NCh) y experiencias previas del sector público y privado en proyectos de similar naturaleza.

Cabe destacar que este estudio no se limita a un proyecto específico, sino que busca establecer un marco metodológico y comparativo que pueda ser aplicado en distintos contextos. Para ello, se toma como referencia el emplazamiento de la bahía de Quintero-Puchuncaví, un área que concentra condiciones oceanográficas, geográficas y logísticas relevantes, y que constituye un escenario representativo para la validación de las propuestas aquí desarrolladas, en consideración con el nivel de industrialización que presenta esta zona. De este modo, la memoria aporta un análisis técnico con potencial de replicabilidad en proyectos futuros de captación y aducción marina en Chile y en otros entornos costeros.

La relevancia de este trabajo radica en integrar la ingeniería estructural, marítima y logística con la gestión de proyectos, proponiendo alternativas que mejoren la planificación del montaje e instalación de infraestructuras submarinas. Esto no solo aporta al ámbito académico, sino que también ofrece una herramienta práctica para optimizar costos, disminuir riesgos y asegurar la operatividad de sistemas de aducción en un entorno oceánico exigente.

3 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acero A630-420H: Tipo de acero de refuerzo de alta resistencia usado en estructuras de hormigón armado en ambientes marinos.

Barcaza: Embarcación de carga empleada para transporte y lanzamiento de estructuras pesadas en el mar.

Batimetría: Medición de las profundidades y relieves del lecho marino, expresada mediante isóbatas. Fundamental para definir trazados de tuberías y emplazamientos de estructuras. El cual es medido en referencia al nivel de reducción de sondas (NRS).

Biofouling: Acumulación de organismos marinos sobre estructuras, que afecta su desempeño y durabilidad.

Boyarín de demarcación: Elemento flotante utilizado como señalización marítima para delimitar áreas de trabajo o fondeo.

Campana de Aducción: Estructura de captación de agua de mar, generalmente de hormigón armado, instalada en el fondo marino para captar caudales requeridos. Y unida a una cañería conductora hasta la planta de operación.

Captación Activa: Sistema de bombeo mecánico para captar agua de mar en ductos o torres, con mayor control de caudal pero mayor consumo energético debido a la utilización de sistemas de bombeo.

Captación Pasiva: Toma de agua que funciona por gravedad o infiltración, sin equipos de bombeo, reduciendo el arrastre de organismos y sedimentos.

Cofferdam: Estructura temporal que permite trabajar en seco en áreas normalmente sumergidas.

Concesión Marítima: Autorización otorgada por el Estado Chileno para ocupar una porción determinada de bienes nacionales de uso público en la zona costera y marina, supervisada y regulada por la Subsecretaría de las Fuerzas Armadas (SSFFAA).

Corrientes de deriva: Corrientes superficiales inducidas por el viento, que desplazan agua paralela a la dirección del mismo, influyendo en transporte de sedimentos y contaminantes.

Corrientes Eulerianas: Mediciones de velocidad y dirección del flujo en un punto fijo mediante instrumentos, usadas en estudios oceanográficos y de diseño.

Corrientes Marinas: Desplazamientos horizontales de agua causados por viento, mareas, diferencias de densidad y morfología submarina. Afectan al transporte de sedimentos, el diseño de anclajes y las maniobras de fondeo, sobre todo en objetivos en profundidad.

Corrientes termohalinas: Movimientos de agua generados por diferencias de temperatura y salinidad, que producen variaciones de densidad y forman parte de la circulación oceánica global.

Criterio de Diseño Sísmico: Parámetros estructurales aplicados en Chile (NCh 2369, etc.) para asegurar estabilidad de obras marítimas frente a sismos.

Directemar: Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante de Chile, autoridad marítima responsable de concesiones y fiscalización.

Dragado: Proceso de excavación y remoción de sedimentos del fondo marino para permitir la instalación de estructuras o la navegación.

Filtro de Captación: Elemento rejillado, usualmente en FRP o acero inoxidable, que limita la entrada de sólidos y organismos.

Fondeo: Sistema de posicionamiento de embarcaciones o estructuras mediante anclas o muertos.

Geotextiles: Materiales sintéticos permeables utilizados en obras marítimas para separación, filtración y refuerzo de suelos.

Globo de Levante: Dispositivo inflable utilizado en operaciones submarinas para generar flotabilidad controlada.

Hormigón G-35: Concreto estructural con resistencia característica a la compresión de 35 MPa, comúnmente empleado en obras marítimas.

Hipótesis: Enunciado propuesto para explicar un fenómeno, validado o rechazado mediante investigación.

Introducción: Capítulo inicial que contextualiza el problema, los antecedentes y la relevancia del proyecto.

Jack-up: Plataforma autoelevable utilizada en operaciones offshore para instalación estable.

Longshore drift: Corriente paralela a la costa causada por oleaje oblicuo, que arrastra sedimentos a lo largo de la playa.

Marco Teórico: Revisión bibliográfica y conceptual que sustenta la investigación y establece estado del arte.

Mareas: Oscilaciones periódicas del nivel del mar causadas por atracción gravitatoria lunar y solar. Condicionan la profundidad efectiva para operaciones marítimas y la disponibilidad para la ventana de trabajo, pudiendo variar entre 0,5 [m] y 6 [m] para el territorio nacional.

Metodología: Descripción de métodos, materiales, equipos y procedimientos de la investigación.

Modelo Numérico: Simulación computacional para analizar condiciones oceanográficas, estructurales o logísticas.

Muerto de Anclaje: Bloque de hormigón armado usado como elemento de fijación y estabilización. También se conoce como “lastre”.

Nivel de Reducción de Sondas (NRS): Referencia altimétrica usada en Chile para cotas batimétricas regulado por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada.

Normativas Técnicas: Conjunto de guías y estándares (OCDI, ROM, SHOA, NCh) de obras marítimas.

OCDI: Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan.

Objetivos: Metas planteadas en la investigación, divididas en general y específicas.

Oleaje: Movimiento ondulatorio del mar; incluye mar de fondo y mar de viento.

PIANC: Asociación Mundial de Infraestructura de Transporte Acuático.

Placa Estabilizadora: Elemento de acero que otorga estabilidad temporal durante instalación.

Prefabricación: Construcción de elementos estructurales en tierra firme para luego instalarlos en el mar.

Proyecto de Título: Investigación científica o aplicada desarrollada por el estudiante.

Remolcador: Nave de gran maniobrabilidad para asistencia en maniobras.

Resumen: Síntesis del contenido del documento.

ROM: Recomendaciones de Obras Marítimas (normativa española).

SEA: Sistema de Evaluación Ambiental. Organismo encargado de evaluar y aprobar posibles proyectos en el territorio nacional.

SHOA: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.

Título del Proyecto: Enunciado breve y específico del trabajo.

Trade-Off: Metodología de análisis comparativo para seleccionar alternativas.

Ventana Operacional: Intervalo seguro de tiempo para realizar faenas marítimas.

4 MARCO TEÓRICO

El desarrollo de obras civiles en entornos marino-costeros representa un desafío multidisciplinario que requiere integrar variables oceanográficas, criterios de diseño hidráulico y estructural, así como metodologías constructivas especializadas. En particular, la planificación, transporte e instalación de estructuras de captación de agua de mar destinadas a procesos industriales como plantas de desalación, enfriamiento o procesamiento minero involucra una comprensión detallada del medio físico, los sistemas tecnológicos asociados y las condicionantes operativas que definen la viabilidad técnica de cada solución.

Este marco teórico reúne los fundamentos esenciales para sustentar la formulación de alternativas logísticas y constructivas vinculadas a sistemas de aducción marina. Se abordan tres ejes principales: la dinámica costera y las variables que determinan el comportamiento del entorno marino (como batimetría, oleaje, corrientes y marea); los sistemas de aducción de agua de mar, sus componentes funcionales y áreas de aplicación industrial; y finalmente, las condiciones y criterios generales para la ejecución de obras en playas y medios marinos salinos, considerando las particularidades técnico-constructivas, restricciones operativas y exigencias normativas propias de este tipo de intervenciones.

4.1 DINÁMICA COSTERA Y VARIABLES DE INTERÉS

La dinámica costera comprende el estudio de los procesos físicos que controlan la evolución del borde costero y del entorno marino adyacente. Estos procesos están fuertemente influenciados por las características geográficas y morfológicas del fondo marino, así como por una serie de variables oceanográficas interdependientes. Entre las más relevantes se encuentran la batimetría, el oleaje, las corrientes marinas y las mareas. Cada uno de estos factores posee un impacto específico en la planificación, diseño y ejecución de obras civiles en el medio marino, en particular aquellas que involucran el fondeo o instalación de estructuras permanentes bajo el nivel del mar.

Para entender cómo se relacionan estas variables, a continuación, se entrega una descripción de cada una de ellas:

Batimetría

La batimetría es la ciencia encargada de medir las profundidades del lecho marino, representando el relieve del fondo oceánico mediante curvas de nivel llamadas isóbatas. Su análisis permite identificar taludes, canales, terrazas submarinas y zonas de acumulación o erosión sedimentaria, lo cual es esencial para determinar trazados de tuberías sumergidas, emplazamientos de estructuras y evaluación de riesgos geotécnicos. Además, influye directamente en la propagación del oleaje a través del fenómeno de refracción: a medida que las ondas se aproximan a aguas someras, su velocidad disminuye y su dirección se curva en función de la pendiente batimétrica. Esta interacción entre morfología y oleaje tiene implicancias clave en la estimación de esfuerzos sobre estructuras y en la erosión costera (Komar, 1998).

Oleaje

El oleaje es un fenómeno que comúnmente, se clasifica en mar de fondo y mar de viento, el primero corresponde a ondas de generación lejana que se propagan por el océano pacífico hasta llegar a la costa, por otra parte, el mar de viento corresponde a ondas generadas localmente por la acción de vientos (Beyá-Marshall, 2016)

Al analizar ambos oleajes como superposición de ondas, se puede caracterizar por parámetros como altura significativa (H_s), período de energía (T_e), dirección predominante y espectro energético.

En ingeniería costera, el oleaje constituye una de las principales fuentes de carga hidrodinámica sobre estructuras sumergidas y emergentes. Su análisis es crucial para estimar acciones dinámicas, estudiar procesos de transporte litoral y definir ventanas operacionales seguras. Durante tormentas o condiciones de marejada, los niveles de energía pueden incrementarse notablemente, afectando tanto la seguridad como la estabilidad de elementos en proceso de instalación (Dean & Dalrymple, 1991)

Corrientes Marinas

Las corrientes son desplazamientos horizontales del agua en el océano, causados por diversos factores como el viento (corrientes de deriva), batimetría, diferencias de temperatura y salinidad (corrientes termohalinas), gradientes de presión y mareas. En el contexto costero, adquieren relevancia las corrientes inducidas por oleaje (longshore drift), corrientes de marea y corrientes locales asociadas a morfologías específicas del fondo marino. Las corrientes condicionan la dirección y velocidad del transporte de sedimentos (longitudinal y transversal) y el diseño de anclajes, obras de protección y maniobras de fondeo. Su comportamiento puede ser estacionario o transitorio, variando a escalas horarias, diarias o estacionales (Pond & Pickard, 1983)

Mareas

Las mareas son oscilaciones periódicas del nivel del mar causadas por las fuerzas gravitacionales ejercidas por la luna y el sol sobre la Tierra. Se clasifican según su régimen en mareas diurnas, semidiurnas o mixtas, y su rango (diferencia entre marea alta y baja) puede ser micro (≤ 2 m), meso (2–4 m) o macro (> 4 m). Las mareas modulan la profundidad efectiva del agua sobre una obra y definen la disponibilidad temporal de zonas intermareales para trabajos constructivos. Asimismo, la superposición de marea y oleaje puede producir efectos como la elevación del nivel medio (set-up) y el incremento del flujo de energía hacia la costa, factores que deben considerarse tanto en el diseño estructural como en la planificación de actividades en terreno (Pugh, 2004).

La interacción de estas variables da origen a un sistema costero de comportamiento complejo y cambiante, que requiere ser caracterizado mediante campañas de medición oceanográfica in situ, modelaciones numéricas y análisis estadísticos multianuales. Por ejemplo, una pendiente batimétrica suave puede amplificar la altura del oleaje en zonas someras, mientras que una corriente transversal intensa puede modificar la trayectoria de estructuras en descenso controlado. De igual forma, el régimen de mareas condiciona los rangos horarios disponibles para operaciones de buceo, fondeo o montaje. Ignorar estas interacciones puede llevar a sobre costos, fallas constructivas o riesgos operacionales durante la ejecución de obras marítimas.

4.2 CONSTRUCCIÓN EN ZONAS COSTERAS Y MARINAS

Las construcciones en playas y medios marinos salinos constituyen un desafío técnico y normativo, ya que además de los factores oceanográficos y geotécnicos que condicionan su ejecución (oleaje, corrientes, mareas, erosión y accesibilidad), requieren un marco de autorización especial, dado que la zona costera es un bien nacional de uso público administrado por el Estado.

En Chile, toda intervención en terrenos de playa, porciones de agua o fondo de mar debe tramitar una concesión marítima otorgada por la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas, con supervisión de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), además de cumplir con la evaluación de impactos ambientales cuando corresponda, a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEA).

Desde el punto de vista constructivo, se aplican metodologías como la prefabricación y remolque de elementos, el uso de plataformas especializadas (jack-ups, barcasas grúa), dragados, pedraplenes o cofferdams para cimentaciones en zonas intermareales, todo ello bajo consideraciones de durabilidad frente a la corrosión por cloruros, biofouling y cargas dinámicas cíclicas [(Ministerio de Fomento Español, 2001); (OCDI, 2020); (PIANC, 2014)]. Asimismo, es esencial integrar criterios ambientales y sociales, pues este tipo de proyectos pueden alterar ecosistemas bentónicos, modificar la dinámica sedimentaria o entrar en conflicto con otros usos del borde costero como la pesca artesanal o el turismo, lo que exige un enfoque integral de planificación y gestión (CEDEX, 2010)

Para efectos de la presente memoria, se establece de manera clara y consistente que los aspectos relacionados con la tramitación de permisos y autorizaciones no forman parte del alcance del estudio. Dichas materias se mencionan únicamente desde una perspectiva general, reconociendo que son relevantes y que implican tiempos y costos significativos; sin embargo, al no estar alineadas con el enfoque ni con los objetivos principales de este trabajo, no corresponde profundizar en ellas. La gestión de dichos trámites será responsabilidad de las entidades o empresas competentes encargadas de administrar y ejecutar el proyecto.

5 CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

A continuación, se realiza una descripción general de todos los componentes que constituyen el medio operacional en la zona de análisis, de esta manera se obtiene una noción base eficiente y determinante de los aspectos a tomar en cuenta para el desarrollo de las labores del proyecto en cuestión.

5.1 UBICACIÓN

Se formulan propuestas de instalación para el proyecto emplazado en la bahía de Quintero, Región de Valparaíso, Chile.



Figura 1. Imagen área referencial a punto de instalación y ejecución del proyecto
Fuente. Google Earth; SVIP

5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA BAHÍA

La bahía presenta condiciones geográficas y logísticas favorables para el desarrollo de proyectos de diversa índole. Su configuración natural la protege de los vientos predominantes y ofrece una profundidad de hasta 40 metros, lo que permite el acceso de embarcaciones de gran calado. Además, cuenta con una conectividad adecuada gracias a la infraestructura vial y ferroviaria existente, y su cercanía a la Región Metropolitana y principales centros de consumo la convierten en una ubicación estratégica.

De acuerdo con los estudios propuestos por (CAMPORT, 2023) y definiendo diferentes porcentajes de transferencia por puerto y diferenciados por el tipo de carga presentado en el anexo F de esta memoria, el área mantiene un tráfico marítimo constante, con un flujo anual significativo de naves, lo que refleja su dinamismo comercial e industrial. A lo largo de su borde costero se encuentran asentadas diversas actividades productivas e industriales, incluyendo sectores energético, portuario y logístico, así como presencia institucional relevante.

Las comunas de Quintero y Puchuncaví, que conforman el entorno inmediato, aportan una base poblacional estable y servicios asociados, además de actividades complementarias como pesca, comercio y turismo, especialmente en temporada alta.

5.3 DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA

La bahía de Quintero-Puchuncaví se ubica en la Región de Valparaíso y se extiende entre Punta Ventanillas (al norte) y Punta Liles (al sur), abarcando un borde costero aproximado de 14 km y una boca de 4,3 km. Su forma de herradura y orientación abierta hacia el norte genera una exposición significativa al oleaje y a los vientos predominantes, especialmente durante el invierno. Se trata de una bahía somera, con profundidades que alcanzan hasta los 40 metros.

Administrativamente pertenece a las comunas de Quintero y Puchuncaví, las cuales, según el Censo 2017, tienen una población de 31.923 y 18.546 habitantes respectivamente.

La bahía presenta un régimen mareal semidiurno mixto y un tiempo de residencia de aguas de aproximadamente 4 a 5 días. Además, en su extremo sur desemboca el estero Campiche, una subcuenca de 110 km² de extensión y régimen pluvial, cuyas aguas usualmente no alcanzan la bahía de manera superficial, dado que una barrera de arena en su desembocadura forma una laguna costera la mayor parte del tiempo.

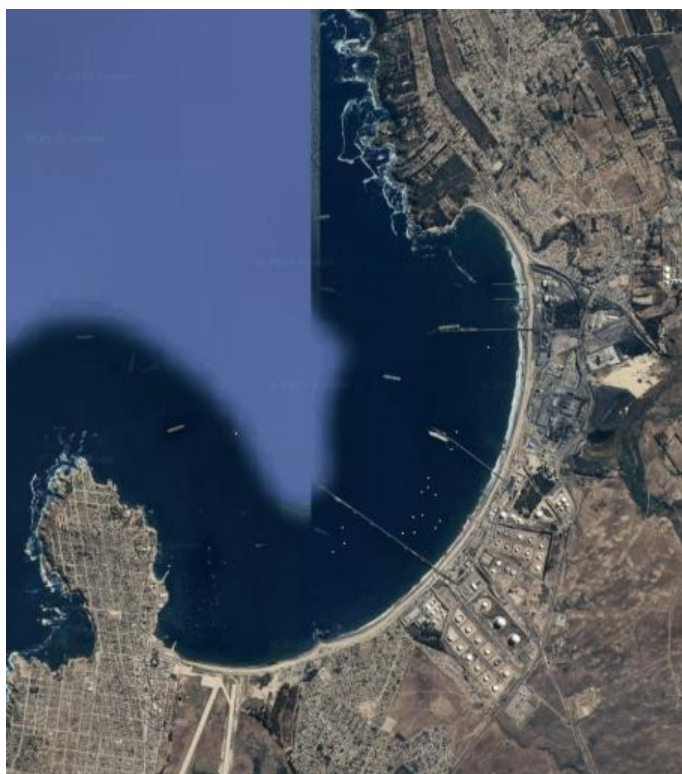


Figura 2. Imagen georreferencial de la bahía de Quintero
Fuente. Google Earth

5.4 CARACTERÍSTICAS METEOCEANOGRÁFICAS

Las características meteoceanográficas corresponden al conjunto de condiciones atmosféricas y oceánicas que influyen directamente en el comportamiento del entorno marino-costero. Estos factores son fundamentales para el diseño, planificación y ejecución de proyectos que se emplazan en zonas litorales, ya que afectan la estabilidad estructural, la logística de montaje, la operación y la seguridad de las obras marítimas.

Entre las variables más relevantes se encuentran el régimen de vientos, el oleaje, las mareas, las corrientes marinas y la temperatura del agua, las cuales determinan el grado de exposición del sitio a fenómenos naturales y definen los requerimientos técnicos para su intervención.

En el caso de la bahía de Quintero-Puchuncaví, algunas de estas condiciones adquieren especial importancia debido a su orientación, morfología y dinámica costera, aspectos que serán analizados a continuación con mayoritaria atención en el impacto que generan en el desarrollo del proyecto en estudio.

5.4.1 CORRIENTES

De acuerdo con un informe final (*“Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región”*) (Subsecretaría de Agricultura y Pesca, 2016) la circulación de las corrientes marinas en la Bahía de Quintero está influenciada principalmente por el régimen de mareas, los vientos predominantes y la morfología costera. En general, se trata de un sistema de baja energía, con velocidades medias inferiores a 0,15 m/s. Sin embargo, estas pueden aumentar localmente debido a eventos meteorológicos o la descarga de emisarios submarinos.

El patrón de circulación dentro de la bahía es predominantemente circular en sentido horario. Esto se debe a su forma semicerrada y a su abertura hacia el norte, lo que genera zonas de retención de masas de agua. Como consecuencia, el tiempo de residencia del agua es de aproximadamente 4 a 5 días, lo que implica una renovación limitada. Estas condiciones son relevantes tanto para la planificación de maniobras marítimas como para la evaluación de impactos ambientales, especialmente en proyectos donde puedan acumularse contaminantes o sedimentos en suspensión.

En la superficie, las corrientes muestran mayor variabilidad por efecto del viento. En cambio, en profundidad, el flujo es más estable y responde principalmente a las mareas y a la topografía submarina.

Existen ciertos grados de clasificación para las corrientes registradas en el mar, estas Según (DIRINMAR, 2019), Escobar define que se clasifican en:

1. Corrientes de flujo en profundidad, presentes en las zonas norte, centro y sur.
2. Corrientes de reflujo en profundidad, localizadas principalmente en el extremo sur.

En el sector del muelle de Ventanas, la Resolución de Habilitación describe corrientes de muy baja intensidad, con dirección acorde a las fases de marea (llenante y vaciante). En esta área, el flujo se orienta de forma paralela a la costa, con componente norte-sur en el extremo este, y componente este-oeste hacia la punta del muelle.

Datos de otras instalaciones portuarias confirman que las velocidades de corriente en la bahía son generalmente bajas, con promedios por debajo de 0,12 m/s y dirección predominante hacia el sur.

Entre el 31 de julio y el 9 de septiembre de 2002 se realizaron mediciones de corrientes Eulerianas usando dos correntómetros Sensordata 6000, uno en el fondo y otro a 2 metros sobre el fondo.

Las corrientes registradas fluctuaron entre las direcciones norte-sur y este-oeste, predominando un flujo paralelo a la costa (noreste-suroeste) con variaciones de corto periodo influenciadas por la marea. Las velocidades más comunes se encontraron entre 3,41 y 6,60 cm/s. Los derivadores también se desplazaron paralelos a la costa: hacia el noreste en marea llenante y hacia el suroeste en marea vaciante. Durante el periodo de medición, el viento tuvo escasa influencia sobre el comportamiento de las corrientes.



Figura 3. Carta SHOA con disposición de la bahía y sus correspondientes puntos batimétricos
Fuente. SHOA

5.4.2 BATIMETRÍA

Se entenderá por batimetría la medición vertical o de profundidad de cada nivel o zona en estudio de la componente oceánica.

Dado el concepto de batimetría, es posible obtener los registros de dichas cotas a partir de cartas náuticas referentes a la bahía de Quintero. Con esto es posible visualizar la variación de profundidades en la extensión de la bahía. Los otros registros y recopilaciones de datos del levantamiento batimétrico fueron realizado por entidades privadas.

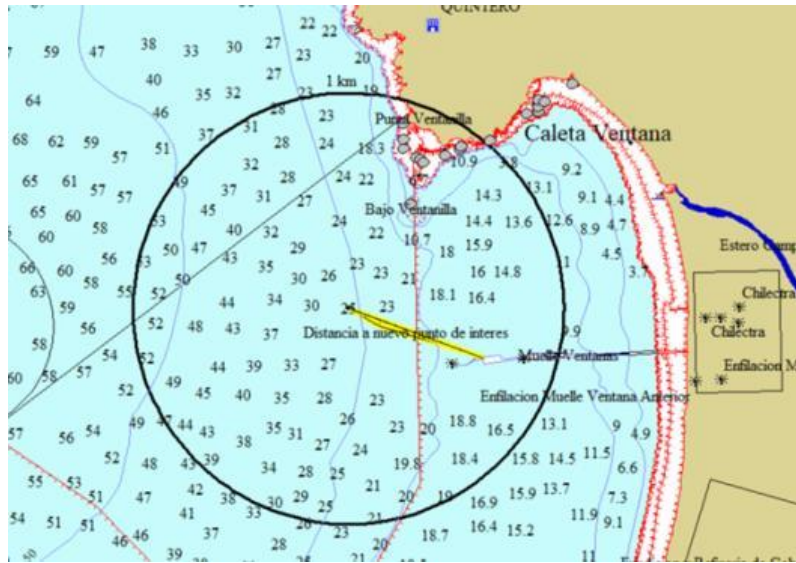


Figura 4. Batimetrías y veriles demarcados para la bahía de Quintero
Fuente. Elaboración propia (Carta náutica, Global Mapper).

5.4.3 TIPO DE FONDO

De acuerdo con los informes de resolución dispuestos por el Sistema de Visualización de Instalaciones Portuarias (SVIP). Se describe el fondo marino en dicha zona como de naturaleza compuesta principalmente y dominado por las arenas, de las cuales en su conjunto representan el 99,3% del total de las muestras. Además, se advierte de la dominancia de arenas finas, muy finas y medias, con un porcentaje de 53.95%, 19.0% y 17.3% respectivamente.

5.4.4 MAREAS

Al igual que en todas las localidades chilenas abiertas al Océano Pacífico en Chile, el régimen de marea en la Bahía de Quintero corresponde a un régimen mareal mixto principalmente semi-diurno con dos pleamares y dos bajamares en 24 horas.

5.4.5 OLEAJE

La Bahía de Quintero presenta un régimen de oleaje dominado principalmente por el mar de fondo proveniente del suroeste del océano Pacífico, con alturas significativas promedio que oscilan entre 1,5 y 2,5 metros. Esta condición es persistente durante gran parte del año, intensificándose en temporadas de marejadas donde se pueden superar los 3 metros. La configuración semicerrada de la bahía proporciona cierto resguardo, pero fenómenos como la refracción y difracción del oleaje, debido a la morfología submarina local, pueden concentrar la energía en sectores específicos del litoral. Esta dinámica es crucial al considerar operaciones marítimas, fondeo de estructuras y planificación constructiva en el área.

6 SISTEMA DE ADUCCIÓN

Los sistemas de aducción de agua de mar cumplen un rol fundamental en el abastecimiento hídrico de diversos procesos industriales, energéticos y mineros, especialmente en zonas costeras donde el acceso a fuentes de agua dulce es limitado. Estas infraestructuras permiten disponer de una fuente segura y permanente de agua para sostener actividades de gran escala.

Asimismo, los sistemas de aducción permiten captar, transportar y entregar grandes volúmenes de agua marina de manera continua y eficiente. Este suministro puede destinarse a procesos de desalación, enfriamiento de equipos o aplicaciones productivas específicas, dependiendo de las necesidades de cada instalación industrial.

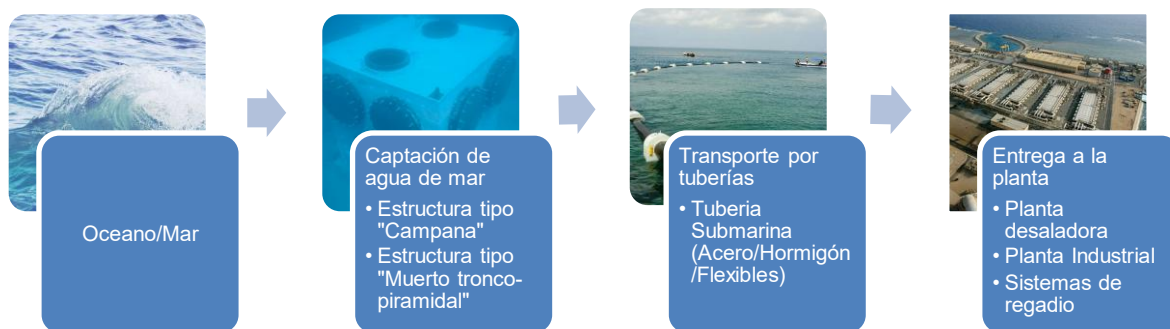


Figura 5. Dinámica de funcionamiento de un sistema de captación de agua marina
Fuente. Elaboración propia

6.1 TIPOLOGÍAS DE CAPTACIÓN

Las obras de captación de agua de mar se clasifican en captaciones abiertas o superficiales, donde el agua se extrae directamente desde el mar, y captaciones cerradas o subsuperficiales, que utilizan pozos costeros con galerías de infiltración o drenes (Vicuña, 2022). En el contexto chileno, ambos sistemas son aplicables, dependiendo de las condiciones oceanográficas, geomorfológicas y ambientales del emplazamiento.

Las captaciones abiertas consisten en la extracción de agua mediante un ducto instalado de forma sumergida o elevada, cuya ubicación, longitud y profundidad son definidas según los requerimientos del proyecto y las características del medio marino. La selección del sitio de captación debe considerar la coexistencia con otros usos del territorio y evitar interferencias con áreas protegidas o zonas de alto valor ambiental. Desde un enfoque ambiental, se prioriza emplazar estas estructuras fuera de áreas relevantes para la alimentación, reproducción o descanso de especies marinas, con el objetivo de reducir el riesgo de succión de organismos y el impacto sobre el ecosistema.

Este tipo de captación puede incorporar un pozo húmedo, sentina o sistema equivalente que alimente las bombas encargadas de conducir el agua hacia la infraestructura receptora, generalmente ubicada en la franja costera. En Chile, es habitual que estas estructuras se sitúen a profundidades superiores a los 25 [m], debido a la morfología del litoral y a las condiciones oceanográficas predominantes.

Dentro de las captaciones abiertas se distinguen tres modalidades principales: captación sumergida, donde el ducto se ancla o entierra en el fondo marino y el ingreso del agua se realiza mediante una torre o cámara equipada con mallas protectoras., captación elevada, en la que el ducto se instala sobre una estructura tipo muelle para evitar los primeros metros de la columna de agua., y captación directa, que corresponde a estructuras de hormigón ubicadas bajo el nivel del mar y conectadas mediante túneles horizontales, incorporando rejillas de protección en el punto de ingreso.

El sistema de captación abierta se compone principalmente de una torre o cajón de captación, un ducto de aducción y el punto de entrega a la planta demandante. Las torres o cámaras de captación pueden construirse en materiales como HDPE, poliéster o hormigón, y deben contar con mallas o rejillas que limiten el ingreso de sólidos y organismos marinos. Para minimizar el impacto biológico, se recomienda ubicar estas estructuras por debajo de la capa superficial de mezcla y limitar la velocidad de captación a valores entre 0,1 y 0,15 [m/s] (Missimer, 2015).

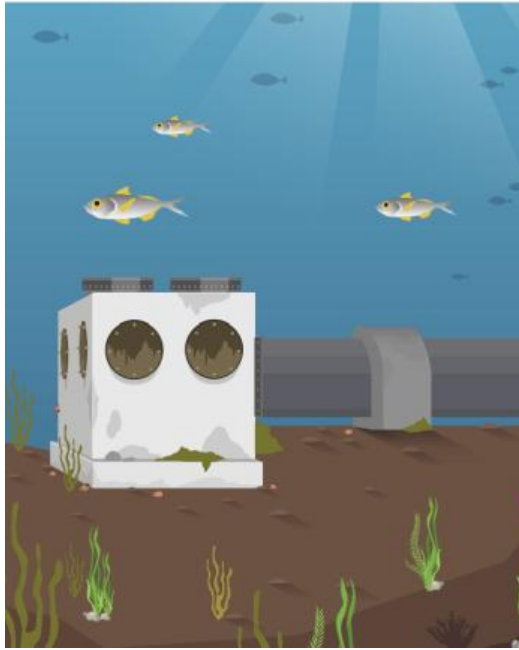


Figura 6. Prototipo de mecanismo para la captación de agua de mar
Fuente. SEA, Guía para la descripción de proyecto de plantas desalinizadoras en el SEIA.

El transporte del agua de mar se realiza mediante ductos o túneles fabricados en concreto, FRP o HDPE, anclados al fondo marino mediante lastres. Su instalación puede ejecutarse mediante técnicas como hincado, tunelación, microtunelación o perforación horizontal dirigida, permitiendo reducir la intervención directa sobre el fondo marino (Vicuña, 2022).

Finalmente, la etapa de llegada y entrega corresponde al tramo final del sistema de aducción, donde el agua es recibida por la planta desaladora, industrial o de enfriamiento. Esta fase es crítica para asegurar el caudal y la calidad requeridos, pudiendo incluir estanques de regulación, sistemas de pretratamiento o estaciones de bombeo. En esta zona se incorporan equipos de medición y control, así como tratamientos preliminares destinados a la remoción de sólidos, decantación de sedimentos y protección de la infraestructura, garantizando una operación eficiente y segura en el largo plazo.

6.2 PROPUESTAS DE ESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN

Como se comentaba no hay limitaciones en la innovación ni en un modelo de diseño único aplicable para la captación de agua de mar en un sistema de captación abierto, siempre que cumpla con los requisitos técnicos y funcionales que necesita su operación.

Es por ello por lo que en esta memoria se presentará la opción de dos mecanismos de aducción, los cuales cuentan con un diseño estructural ampliamente variable, desde el punto de vista estructural, de materialidad, peso, y por sobre todo geométrico. Con esto será posible plantear y establecer una diferencia clara entre ambos mecanismos u estructuras de aducción de agua de mar.

6.2.1 DEFINICIÓN DE LAS PROPUESTAS DE ESTRUCTURAS

A continuación, se describen dos tipologías de estructuras destinadas a la captación de agua de mar: (i) un filtro de geometría troncopiramidal y (ii) una campana de aducción. Aunque difieren en su geometría, procedimientos constructivos y criterios de diseño, ambas persiguen el mismo objetivo operativo: captar eficientemente agua desde el fondo marino y conducirla hacia el sistema correspondiente. En las secciones siguientes se presentan sus características, ventajas y particularidades constructivas.

A) Estructura de aducción tipo campana

El sistema de aducción mediante una “campana” de captación submarina corresponde a una solución estructural y funcional diseñada para realizar la captación de agua de mar desde un punto específico en el fondo oceánico, con el objetivo de alimentar una línea de conducción hacia una planta de tratamiento o proceso industrial. Este tipo de sistema se caracteriza por su robustez, estabilidad y capacidad de captación controlada, protegiendo la toma frente a arrastre de sedimentos, fauna marina o ingreso de sólidos.

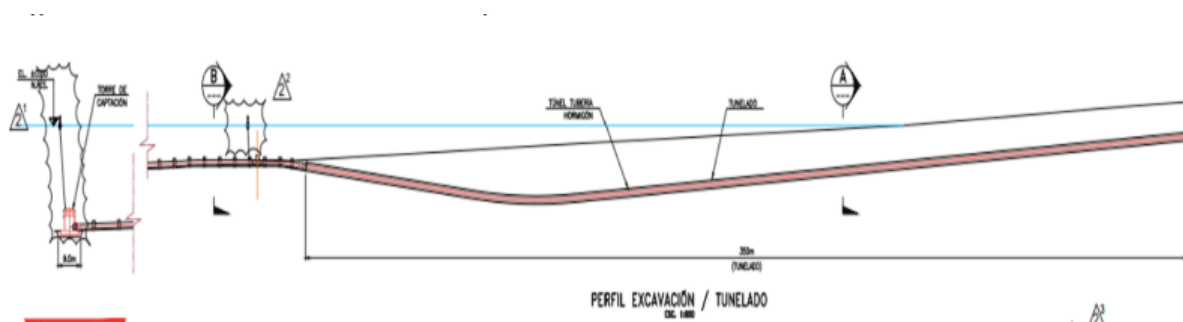


Figura 7. Perfil de ubicación de estructura (campana) de aducción
Fuente. Elaboración empresa privada

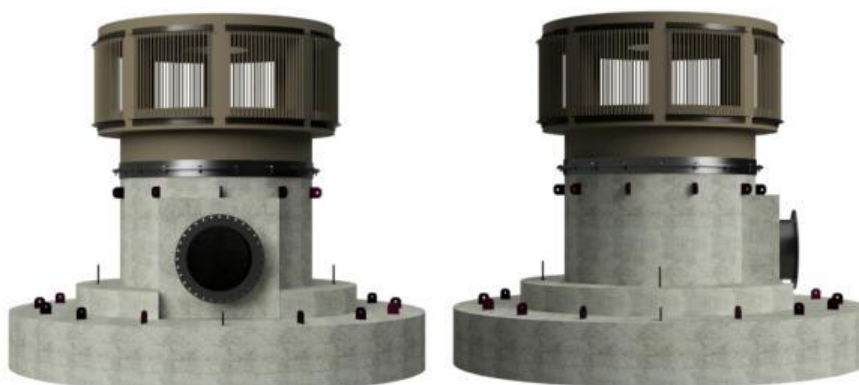


Figura 8. Modelo 3D, estructura de aducción tipo campana
Fuente. Elaboración de la empresa a cargo

La campana forma parte del sistema de aducción principal del proyecto y se instala en una ubicación estratégica, generalmente en profundidades superiores a los 20 metros, donde las condiciones del flujo permiten una captación estable, limpia y constante.

De acuerdo con la generalidad de un proyecto de esta envergadura una de las obras marítimas primordiales es la torre de captación, esta estructura se proyecta a una profundidad de 25 metros bajo el Nivel de Reducción de Sondas (NRS) y aproximadamente a 852 metros desde la línea de playa. El objetivo de esta estructura es la captación de agua de mar para ser posteriormente transportada por una cañería submarina hasta la planta terrestre.

Ubicación

La instalación de la campana de aducción será conforme a los requisitos de funcionamiento bases establecidos, dejándose operativa en una zona que cumpla con las condiciones de profundidad según la normativa. Se establecen las siguientes coordenadas UTM para la ubicación de la campana.

Tabla 1 Coordenadas de emplazamiento filtro tipo campana

	Coordenadas UTM - WGS84 - Zona 19	
	Norte	Este
Campana de aducción	6.373.835	265.721

B) Estructura de aducción tipo tronco piramidal

El agua será captada a través de un filtro de aducción de latón naval a 25 [m]. de profundidad, soportado sobre una cañería vertical y un muerto de fijación tronco piramidal, con el objetivo de brindar la estabilidad necesaria para que este no presente complicaciones por efecto de las corrientes y/o vórtices que se generan a estas profundidades con apoyo de una cañería que transporta hipoclorito de sodio para prevenir el crecimiento de biofouling al interior de la cañería de aducción.



Figura 9. Captación de agua de mar, filtro y muerto de sujeción

Fuente. Elaboración de la empresa a cargo.

Ubicación

La instalación de la campana de aducción será conforme a los requisitos de funcionamiento bases establecidos, dejándose operativa en una zona que cumpla con las condiciones de profundidad según la normativa. Se establecen las siguientes coordenadas UTM para la ubicación de la campana.

Tabla 2 Coordenadas UTM de emplazamiento de estructura

	Coordenadas UTM - WGS84 - Zona 19	
	Norte	Este
Filtro de aducción	6.373.835	265.721

6.3 COMPONENTES Y ELEMENTOS DE LAS ESTRUCTURAS PROPUESTAS PARA ESTA MEMORIA

A continuación, se presentan los componentes principales para el funcionamiento de las estructuras propuestas en la presente memoria.

A) Estructura tipo campana

1. Placa Estabilizadora

Este componente actúa como un elemento de sacrificio y está conformado por dos planchas de acero ASTM A572 de 50 mm de espesor, unidas mediante soldadura. Para reforzar su estructura, se incorporan tres barras del mismo material: una en la parte central y dos en los extremos.

La única función de este elemento corresponde a la estabilización temporal para las faenas de instalación y vertido de material de relleno. Este elemento posee 4 m de ancho y 6 m de largo, con 3 refuerzos de 706 mm de ancho y 6 m de largo.

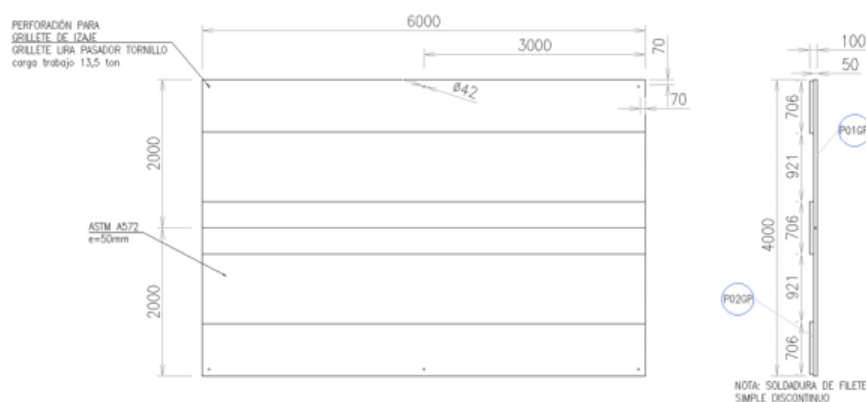


Figura 10. Modelo para placa estabilizadora de campana de aducción

Fuente. Elaborado por empresa a cargo

2. Tramo Inferior – Disco de Fundación

La sección inferior está construida en hormigón G-35 armado con barras de acero A630-420H de 22 mm de diámetro. Incluye, además, un cáncamo de izaje fabricado con una placa de acero ASTM A572 y barras A630-420H de Ø32 mm.

Este elemento corresponde a un disco de hormigón armado, con un radio externo de 7,5 metros, un radio interno inferior de 3,7 mts y un radio interno superior de 3,9 metros.

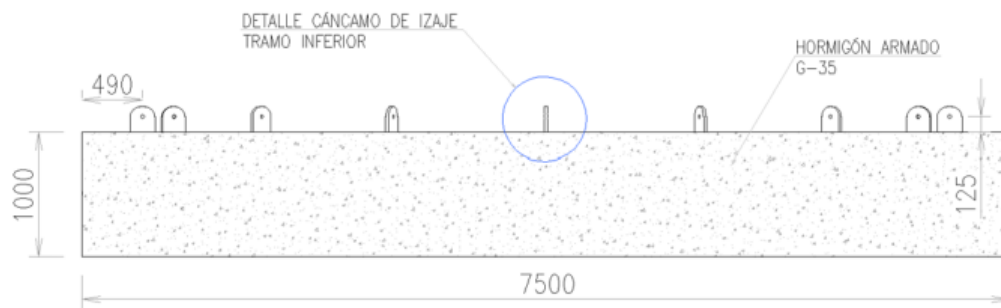


Figura 11. Tramo inferior de disco de fundación para campana de aducción

Fuente. Elaborado por empresa a cargo

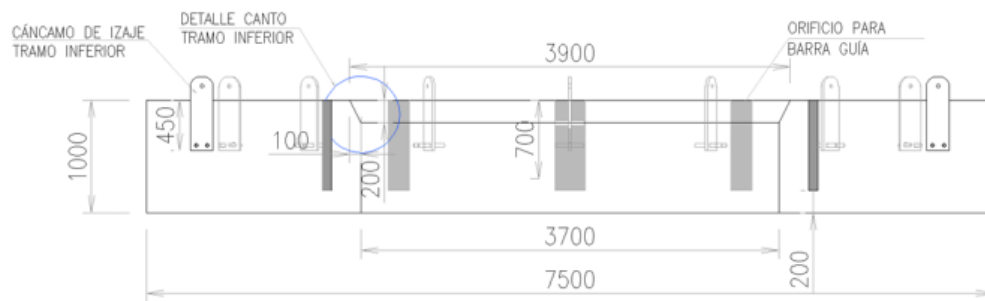


Figura 12. Tramo inferior de disco de fundación para campana de aducción

Fuente. Elaborado por empresa a cargo

En la estructura se pueden observar orificios para las barras guías que se instalarán para generar una estructura colaborante con el tramo central. Adicionalmente se pueden observar los cáncamos de izaje anclados a la armadura de la estructura.

3. Tramo Central – Muro Tubular

Esta parte está compuesta por hormigón G-35 armado con barras de acero A630-420H de 12 mm de diámetro. También incorpora un cáncamo de izaje, realizado con placa ASTM A572 y barras de Ø32 mm, y se incluyen barras guía de Ø36 mm del mismo acero. Las dimensiones y espesores específicos están detallados en las memorias de cálculo, la memoria descriptiva y los planos de ingeniería correspondientes.

Esta estructura corresponde a un muro cilíndrico de 350 mm de espesor de hormigón armado, un radio exterior de 3,5 metros, un radio interior de 2,8 metros y una altura de 3,48 metros. Como estructuras colaborantes al muro cilíndrico descrito se pueden observar una estructura con forma de herradura de 450 mm de alto y un radio externo de 5,1 metros, y un cuadrado de 2 metros de ancho por 2 metros de alto donde se instalará la tubería de Ø1100 (acero inoxidable dúplex) anclada a la estructura mediante insertos en todo su perímetro.

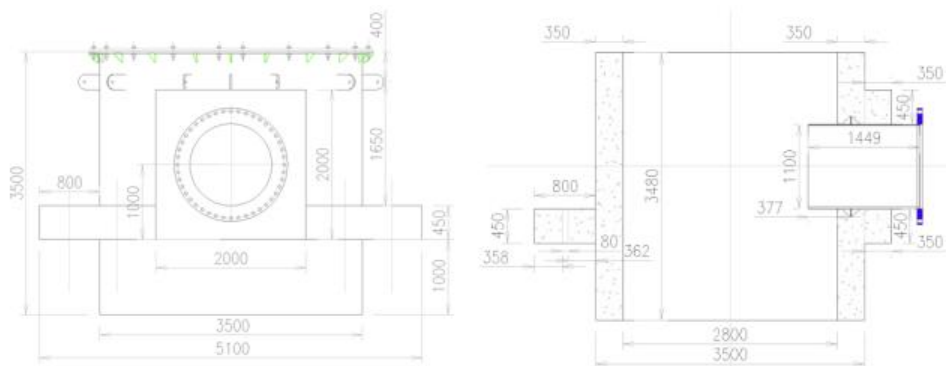


Figura 13. Elevación muro tubular
Fuente. Elaborado por empresa a cargo

La estructura con forma de herradura tiene como finalidad proporcionar estabilidad durante las labores de instalación.

A lo largo del perímetro del tramo central, se encuentran distribuidos diez (10) cáncamos de izaje, ubicados de manera equidistante cada 36° , que facilitan las maniobras de traslado e instalación.

Asimismo, en la herradura se disponen de seis (6) orificios destinados al vertido de material de relleno y siete (7) orificios adicionales para la instalación de las barras guía. La distribución de las componentes mencionadas anteriormente es posible visualizarlas en la siguiente imagen (figura 14).

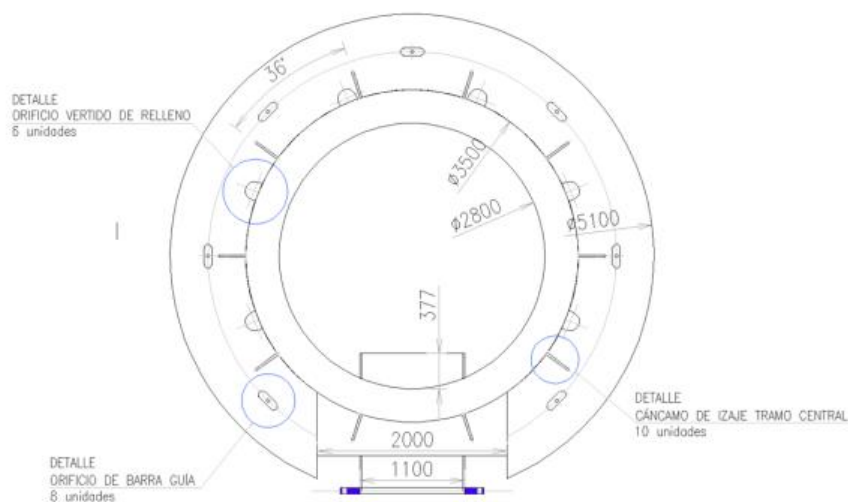


Figura 14. Vista planta muro tubular
Fuente. Elaborado por empresa a cargo

4. Conexiones y Piezas Especiales

La conexión mediante flange con FRP corresponde a una pieza fabricada bajo pedido en acero ASTM A572 de 20 mm de espesor, con cartelas del mismo acero de 16 mm y anclajes A630-420H de Ø16 mm.

La tubería de Ø1100 mm incorporada en la campana de aducción está fabricada en acero inoxidable dúplex, con un espesor de 16 mm y recubrimiento interno de HDPE de 3 mm. Esta se fija al tramo central mediante insertos triangulares distribuidos a lo largo de su perímetro. A su vez, el flange fijo acoplado a esta tubería también es de acero inoxidable con revestimiento interno de HDPE.

El carrete de ajuste está conformado por una tubería HDPE de Ø1200, con STUB-END del mismo material y flanges sueltos de acero inoxidable en ambos extremos. Este carrete se conecta a la tubería final de Ø1200 HDPE mediante un flange fijo de acero inoxidable dúplex.

5. Filtro FRP de captación

El filtro ha sido diseñado y dimensionado específicamente para las condiciones operativas del proyecto, considerando los caudales requeridos y la calidad del agua de entrada. Su fabricación en FRP responde a la necesidad de garantizar una alta resistencia a la corrosión y durabilidad frente a ambientes industriales agresivos, como los presentes en proyectos mineros y de tratamiento de agua de proceso.

A continuación, se muestra un resumen de las cargas actuantes en la estructura de FRP, que, para casos de desarrollo de este documento, no son tan influyentes en la selección de decisiones posteriores a establecerse.

Tabla 3 Resumen de fuerzas actuantes en el filtro superior de la campana

Parámetro	Término	Valor	Unidad
Presión hidroestática	Ph	0,4	Mpa
Peso de la torre	Fp	45080	N
Fuerza de flotación vertical	Ff	23216	N
Fuerza Sísmica Vertical	Ev	260263	N
Fuerza Sísmica Horizontal	Eh	107542	N

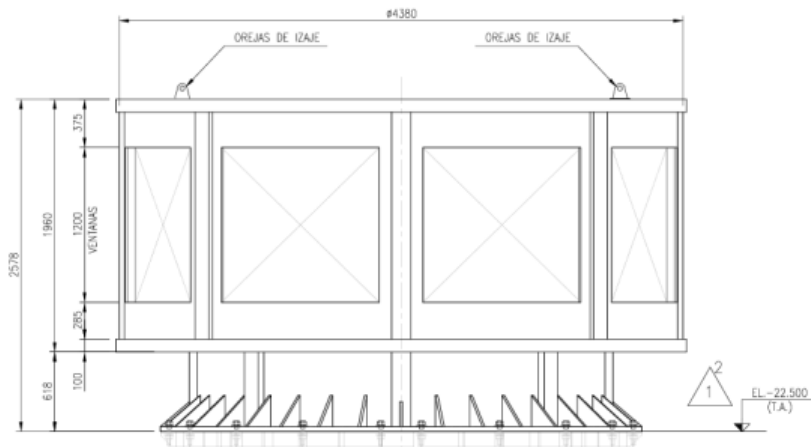


Figura 15. Elevación de tramo superior (filtro FRP) torre de captación
Fuente. Elaboración por empresa privada

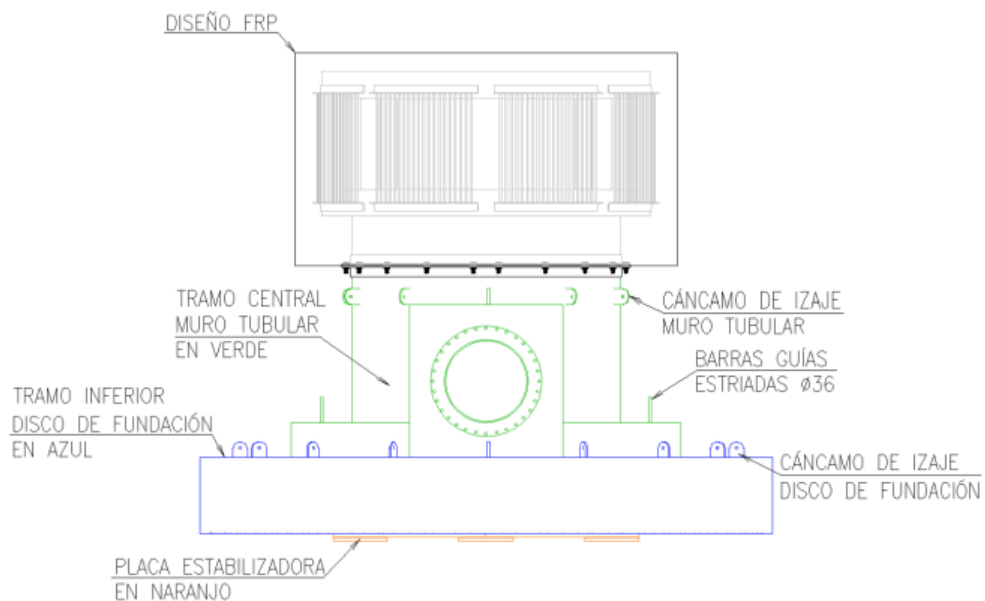


Figura 16. Campana de aducción y sus componentes principales
Fuente. Elaboración de la empresa a cargo.

La figura 15 y 16 hacen referencia al punto encargado de la aducción de la estructura o zona de FRP y a la disposición general de la estructura considerando todos sus tramos modulares de composición respectivamente.

B) Estructura tipo tronco piramidal

Para los diseños del filtro de captación de ambas estructuras (campana de aducción y torre de captación) se consideraron los mismos parámetros y dimensiones para la solución y el cumplimiento de la normativa requerida. Esto viene dado con el fin de cumplir por lo menos con el caudal de captación y con la velocidad de aducción.

El filtro es una estructura en base a rejilla (figura 17), la cual cumple con las siguientes condiciones dado a un supuesto de diseño aplicado a un proyecto en particular:

- Caudal: $2160 \left[\frac{m^3}{h} \right]$; Máximo caudal de impulsión
- Diámetro del filtro: 1,8 [m]
- Altura del filtro: 1,6 [m]
- Transparencia del filtro (T): 70%
- Área Efectiva: $6,33 [m^2]$

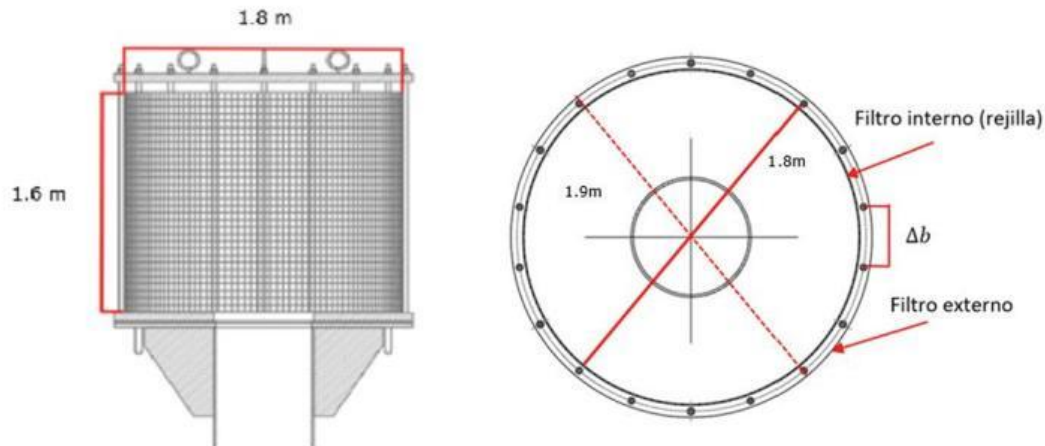


Figura 17. Filtro de aducción en la estructura de captación en base a muertos piramidales
Fuente. Elaboración de empresa a cargo

De acuerdo con la normativa EPA, establece límites y rangos de velocidades de aducción aptos para no interferir en el medio.

- Velocidad de succión permitida (v): 0,1524 [m/s]
- Factor de seguridad (FS): 1,5
- Velocidad de succión del filtro en cuestión (V): 0,095 [m/s]
- Porcentaje de velocidad de aducción respecto a normativa EPA: 62,162 %
- Porcentaje de velocidad de aducción bajo normativa EPA: 37,838 %

A continuación, se presentan los componentes principales para el funcionamiento de la estructura.

Muertos de Anclaje o elementos de sujeción

Para garantizar la adecuada sujeción de la cañería en el entorno marino, se dispuso de un sistema de fijación conformado por muertos de anclaje tipo montura. Estos elementos estructurales estarán materializados en hormigón armado G-30, con un nivel de confianza del 90%, y reforzados mediante barras de acero estriadas de calidad A63-42H.

El diseño de estos anclajes se fundamenta en un análisis estructural que consideró los principales estados de carga que afectan al sistema, incluyendo: el peso propio de la línea, las fuerzas hidrostáticas, las fuerzas hidrodinámicas y las fuerzas de interacción entre la cañería y el fondo marino. A continuación, se muestra la geometría dimensional del lastre base y principal de la estructura tipo tronco piramidal.

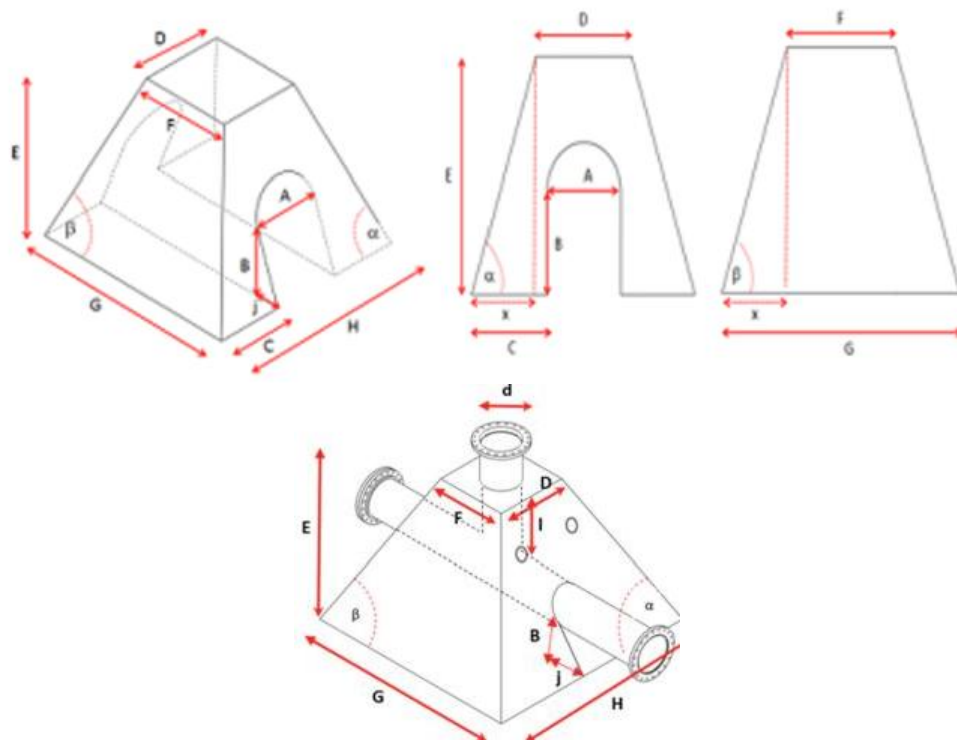


Figura 18. Geometría muerto de sujeción tipo montura

Fuente. Elaboración de empresa a cargo

Tabla 4 Dimensiones del elemento de fijación del sistema tipo montura

Dimensionamiento muerto tipo montura		
A	0,99	[m]
B	0,99	[m]
C	0,99	[m]
D	1,23	[m]
E	2,39	[m]
F	1,36	[m]
G	3,09	[m]
H	2,97	[m]
x	0,87	[m]
j	0,36	[m]
l	1,40	[m]
d	0,99	[m]

A modo de diferenciar la procedencia de los datos involucrados en la composición de las estructuras, se presenta a continuación una tabla representativa de procedencia de los valores utilizados en la descripción y componentes de cada estructura correspondiente a la actual memoria.

Tabla 5 Códigos de procedencia según tipo de dato

Código	Tipo de dato	Significado
D _n	Dato normativo	Viene impuesto por norma, guía o estándar
D _l	Dato levantado	Proviene de estudios, informes, mediciones reales
D _m	Dato de modelación	Supuesto, criterio ingenieril o simplificación

A partir de la tabla 5 se asigna una codificación de procedencia a cada dato de la descripción de componentes

Tabla 6 Asignación de procedencia de los datos descriptivos en las estructuras

Datos correspondientes a la composición de las estructuras	
Dimensionamiento propio de las componentes de las estructuras	D _m
Fuerzas actuantes en el filtro superior de la estructura tipo campana	D _m
Caudal de trabajo, transparencia, área efectiva y dimensionamiento del filtro en estructura tronco piramidal	D _m
Velocidad de succión máxima permitida para ambas estructuras (V)	D _n
Factor de seguridad aplicado (FS)	D _l
Velocidad de succión en filtro tipo tronco piramidal (v)	D _m

Diseño y especificaciones técnicas de la estructura

A) Estructura tipo campana

Peso Propio de la Estructura

Se definen los siguientes pesos específicos para la realización de los cálculos.

Tabla 7 Pesos específicos de los materiales de la estructura

Material	Calidad / Norma	Peso específico	Unidad	Naturaleza del dato
Hormigón	G-35	2.500	kg/m ³	Dato levantado (D _I)
Acero	ASTM A572	7.850	kg/m ³	Dato levantado (D _I)
Agua de mar	—	1.030	kg/m ³	Dato levantado (D _I)

Se considera que el peso en seco de la campana de FRP es igual a 5.000 [Kg].

Con lo anterior, se calcula el empuje que la estructura resiste, el peso seco y el peso sumergido, obteniendo los resultados que son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 8 Fuerzas estáticas generadas en la estructura

Parte Componente	Peso Seco [Kg]	Empuje [Kg]	Peso Sumergido [Kg]
Tramo inferior	83.566,0	34.429,2	49.136,8
Tramo Central	41.008,1	16.894,9	24.112,2
Varios*	12.064,7	5.464,6	6.600,1

Cabe considerar que para reflejar los efectos del empuje/boyantes sobre la estructura, se calculó el peso sumergido, restando el peso específico del medio (agua salada) al peso específico de la estructura (hormigón ó acero).

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Naturaleza del dato
Peso específico del hormigón en seco	γ_h , seco	2.500	kg/m ³	Dato levantado (D _I)
Peso específico del agua de mar	γ_{am}	1.030	kg/m ³	Dato levantado (D _I)
Peso específico del hormigón sumergido	γ_h , sum	1.470	kg/m ³	Dato de modelación (D _m)
Peso específico del acero en seco	γ_a , seco	7.850	kg/m ³	Dato levantado (D _I)
Peso específico del acero sumergido	γ_a , sum	6.820	kg/m ³	Dato de modelación (D _m)

Determinación de fuerzas dinámicas por corrientes

Considerando la metodología descrita en OCDI (2020), Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, específicamente en el Capítulo II, Subcapítulo 7.2: "Fluid force due to currents", y utilizando las condiciones oceanográficas de la zona, se determinaron los parámetros necesarios para la estimación de las fuerzas de arrastre y levante inducidas por corrientes marinas sobre estructuras expuestas.

Parámetros:

Tabla 9 Parámetros para el cálculo de fuerzas hidrodinámicas generadas por corrientes

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Código procedencia	Fuente
Peso específico del agua de mar	ρ_{am}	1.025	kg/m ³	Dato levantado (D _I)	Abierta
Coefficiente de arrastre	C^D	2	-	Dato levantado (D _I)	OCDI (2020)
Área proyectada expuesta a corriente	A^D	28	m ²	Dato de modelación (D _m)	Planimetría del proyecto
Velocidad de corriente en fondo	U	0,31	m/s	Dato de modelación (D _m)	I0740-123115-CD-000-201
Coefficiente de levante	C^L	1	-	Dato levantado (D _I)	OCDI (2020)
Área proyectada perpendicular a la corriente	A^L	28	m ²	Dato de modelación (D _m)	Planimetría del proyecto

Estos parámetros permiten aplicar las ecuaciones de arrastre y levante según la norma japonesa OCDI, considerando un flujo uniforme a nivel del fondo marino, lo cual es representativo de la interacción hidrodinámica sobre la estructura analizada.

Para definir ciertos valores y coeficientes es necesario basarse en la tabla de geometría de la estructura de acuerdo con su interacción con el medio (figura 19).

Table 7.2.1 Drag Coefficients

Object shape	Standard area	Drag coefficient
Circular cylinder (rough surface) 	Dl	1.0 ($l > D$)
Rectangular cylinder 	Bl	2.0 ($l > B$)
Circular disk 	$\frac{\pi}{4} D^2$	1.2
Rectangular plate 	ab	When $a/b=1$ 1.12 " " 2 1.15 " " 4 1.19 " " 10 1.29 " " 18 1.40 " " ∞ 2.01
Sphere 	$\frac{\pi}{4} D^2$	0.5-0.2
Cube 	D^2	1.3-1.6

Figura 19. Coeficientes de arrastre en condiciones marinas

Fuente. OCDI, Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

Fuerza de arrastre por corriente $FD = 0,5 * C^D * \rho_{am} * A^D * U^2$

Fuerza de sustentación por corriente $FL = 0,5 * C^L * \rho_{am} * A^L * U^2$

Fuerza total de corriente a la estructura $FC = FD + FL$

De acuerdo con lo anterior se tiene la siguiente información con respecto a las fuerzas por corrientes actuantes en la estructura.

Tabla 10 Representación de fuerzas actuantes por corriente marina en la estructura

Fuerza	Abreviación	Carga	Código procedencia
Fuerza de arrastre por corriente	FD	0,28 tonf	Dato de modelación (D _m)
Fuerza de sustentación por corriente	FL	0,14 tonf	Dato de modelación (D _m)
Fuerza total por corriente	FC	0,42 tonf	Dato de modelación (D _m)

Determinación de fuerzas dinámicas por oleaje

Considerando la metodología detallada en OCDI, 2020, Technical standards and commentaries for port and harbour facilities in Japan, Capítulo II, Subcapítulo 6.3 "Wave force acting on submerged members and large isolated structures" y las condiciones oceanográficas detalladas en la bahía de Quintero, se obtiene lo siguiente:

Tabla 11 Parámetros oceanográficos dinámicos

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Código procedencia	Fuente
Peso específico del agua de mar	ρ_{am}	1.025	kg/m ³	Dato levantado (D _l)	Abierta
Aceleración de gravedad	g	9,81	m/s ²	Dato levantado (D _l)	OCDI (2020)
Coefficiente de arrastre por oleaje	C ^D	2	-	Dato levantado (D _l)	OCDI (2020)
Coefficiente de inercia por oleaje	CM	2,19	-	Dato levantado (D _l)	OCDI (2020)
Ancho de la estructura perpendicular al oleaje incidente	D	4,3	m	Dato levantado (D _l)	OCDI (2020)
Área de la estructura perpendicular al oleaje incidente	A	28	m ²	Dato de modelación (D _m)	Planimetría del proyecto
Longitud de la estructura	ΔS	28	m	Dato de modelación (D _m)	Planimetría del proyecto
Altura de ola significativa	HS	2,2	m	Dato levantado (D _l)	Atlas de Oleaje
Periodo de ola	TW	13	s	Dato levantado (D _l)	Atlas de Oleaje
Profundidad punto de campana	dca	25	m	Dato de modelación (D _m)	Planimetría del proyecto
Longitud de la TLO	LW	183,21	m	Dato de modelación (D _m)	
Amplitud de marea	M	1,7	m	Dato de modelación (D _m)	

$$m = 2 * \pi * ((M + dca)/Lw) \quad ; \quad m: 0,92$$

$$n = (2 * \pi * dca)/Lw \quad ; \quad n: 0,86$$

$$\theta = 2 * \pi / Lw - 2 * \pi / Tw \quad ; \quad \theta: -0,45$$

Velocidad de la partícula horizontal

$$u_n = (H_s * g * T_w) / (2 * L_w) * (\cosh(m) / \cosh(n)) * \cos(\theta)$$

$$u_n = 0,72 \text{ [m/s]}$$

Aceleración de partículas horizontal

$$a_n = ((g * \pi * H_s) / (L_W) * (\cosh(m) / \cosh(n)) * \sin(\theta))$$

$$a_n = -0,17 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Table 6.3.1 Inertia Coefficient

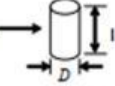
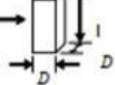
Shape of the object	Basic volume	Inertia coefficient
Cylinder 	$\frac{\pi}{4} D^2 l$	2.0 ($l > D$)
Regular prism 	$D^2 l$	2.19 ($l > D$)
Cube 	D^3	1.67
Sphere 	$\frac{\pi D^3}{6}$	1.5
Flat plate 	$\frac{\pi}{4} D^2 l$	When $D/l = 1$, 0.61 When $D/l = 2$, 0.85 When $D/l = \infty$, 1.00

Figura 20. Coeficientes de inercia

Fuente. OCDI, Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan

Fuerza por oleaje (Morison, inercia)

$$FOI : CM * \rho * a_n * A * \Delta S$$

Fuerza por oleaje (Morison, arrastre)

$$FOA : 0,5 * C_D * \rho * a_n * |u_n| * D * \Delta S$$

Fuerza por oleaje (Morison, arrastre + inercia)

$$FO : FOI + FOA$$

De acuerdo con lo anterior se tiene la siguiente información con respecto a las fuerzas por oleaje actuantes en la estructura.

Tabla 12 Representación de fuerzas actuantes por corriente marina en la estructura

Fuerza	Abreviación	Carga	Código de procedencia
Fuerza por oleaje inercia	FOI	4,61 tonf	Dato de modelación (D _m)
Fuerza por oleaje arrastre	FOA	1 tonf	Dato de modelación (D _m)
Fuerza total por oleaje (Morrison, Inercia+Oleaje)	FO	5,61 tonf	Dato de modelación (D _m)

Determinación de fuerzas dinámicas por sismo

Se implementa un análisis dinámico modal espectral basado en la demanda definida en la NCh 2369 del 2003.

Dado las características dimensionales de la estructura, la fuerza sísmica es de alto impacto en la estructura, por lo que se analiza esta misma bajo el desglose de parámetros establecidos en la expresión de la normativa.

El espectro de diseño queda definido por la siguiente expresión

$$S_a = \frac{2,75 A_o I}{R} \left(\frac{T'}{T} \right)^n \left(\frac{0,05}{\xi} \right)^{0,4} \leq I C_{\max} g$$

Se recopilan los siguientes datos para la zona de análisis

Tabla 13 Parámetros cálculo sísmico

Parámetros de cálculo sísmico			Naturaleza del dato
Aceleración efectiva máxima para zona 3	Ao	0,4g	Dato levantado (D _I)
Coefficiente de importancia. Categoría C1	I	1.2	Dato levantado (D _I)
Factor de modificación de respuesta	R	2	Dato levantado (D _I)
Razón de amortiguamiento	ξ	0.03	Dato levantado (D _I)
Valor máximo del coeficiente sísmico.	Cmax	0.49	Dato levantado (D _I)

Según recomendaciones de BS-6349-1 “Maritime Structures – Part 1: Code of Practice for General Criteria” es necesario considerar la masa de agua adherida en la estructura para efectos sísmicos.

Tabla 14 Determinación de masas asociadas y fuerzas sísmicas actuantes sobre la torre

Concepto	Expresión utilizada	Valor obtenido	Unidad	Naturaleza del dato
Masa de agua interior (Estructura principal)	$\rho_{am} * \pi * (2,8)^2 / 4 * 3,5$	22.198	kg	Dato de modelación (D _m)
Masa de agua exterior (Estructura principal)	$\rho_{am} * \pi / 4 * (3,5)^2 * 3,5$	34.684	kg	Dato de modelación (D _m)
Masa de agua desplazada (Estructura superior FRP)	$\rho_{am} \cdot V$	2.657	kg	Dato de modelación (D _m)
Masa adherida vertical	$\rho_{am} * 8/3 * (3,5/2)^3$	14.720	kg	Dato de modelación (D _m)
Fuerza sísmica horizontal	Fsh	35,3	ton	Resultado de cálculo
Momento sísmico basal	Ms	81,6	ton·m	Resultado de cálculo
Fuerza sísmica vertical	$0,267 \cdot (14.720 + 61.434)$	20.333	kg	Resultado de cálculo
Fuerza sísmica horizontal final	Fsh	35,3	ton	Resultado de cálculo
Fuerza sísmica vertical final	Fsv	20,3	ton	Resultado de cálculo

Las masas de agua consideradas corresponden a valores de modelación definidos a partir de la geometría sumergida de la estructura y del peso específico del agua de mar. Las fuerzas sísmicas horizontal y vertical se obtienen a partir de dichas masas, conforme a los criterios establecidos para el análisis sísmico de estructuras marítimas.

Determinación de fuerzas dinámicas por masa adherida (F_{hma})

A partir de experimentos en laboratorio, se determina que, para estructuras estacionarias en fluidos en movimiento, la fuerza hidrodinámica actuando en la estructura es el doble de la masa del fluido desplazado por la aceleración del fluido.

Tabla 15 Fuerza por masa adherida en la estructura

Fuerza	Abreviación	Carga	Naturaleza del dato
Fuerza por masa Adherida	Fhma	15,8 Ton	Dato de modelación (D_m)

B) Estructura tipo tronco piramidal

Dado las dimensiones de la estructura tipo tronco piramidal se obtiene lo siguiente.

- Volumen del muerto tronco piramidal (Dato de modelación (D_m)):

$$W_m = 11,13 [m^3]$$

- Peso del muerto sin enfierradura (Dato de modelación (D_m)):

$$W_m = 11,13 [m^3] * 2,5 \left[\frac{tonf}{m^3} \right] = 27,8 [tonf]$$

- Peso del muerto considerando enfierradura (Dato de modelación (D_m)):

$$W_{m+e} = 27,8 [tonf] + 0,24 [tonf] = 28,04 [tonf]$$

Fuerzas Actuantes Sobre la Estructura

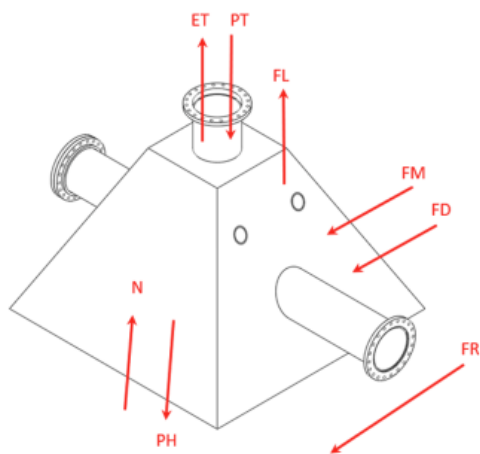


Figura 21. Diagrama de cuerpo libre para un muerto de fijación tipo montura
Fuente. Elaboración de empresa a cargo.

Definición de cargas actuantes:

Tabla 16 Definición de nomenclatura de cargas actuantes

PT	Peso propio de la tubería y filtro
PH	Peso propio del muerto tipo montura
FM	Fuerza de inercia
FD	Fuerza de arrastre
FL	Fuerzas de levante
N	Fuerza normal
FR	Fuerza friccional
ET	Empuje tubería
EF	Empuje filtro
EM	Empuje muerto

Cálculo de cargas actuantes sobre el muerto de anclaje

Al igual que en la estructura tipo campana la evaluación y análisis de cargas actuantes se determinó mediante las fórmulas de Morrison.

Dado lo anterior y considerando las cargas más influyentes según las características propias de la estructura se obtuvo lo siguiente:

Fuerza máxima de Arrastre: $FD = 0,482 \left[\frac{Tonf}{m} \right]$ (Dato de modelación (D_m))

Fuerza máxima de Inercia: $FM = 0,169 \left[\frac{Tonf}{m} \right]$ (Dato de modelación (D_m))

Fuerza máxima de Lift o levante: $FL = 0,0046 \left[\frac{Tonf}{m} \right]$ (Dato de modelación (D_m))

Disposición frente al medio

La torre de captación estará posada sobre el fondo marino mediante un sistema de apoyo directo por gravedad, complementado con barras de anclaje que aseguran su fijación y estabilidad frente a las sollicitaciones ambientales y sísmicas. La base de la estructura descansa sobre un terreno preparado, mientras que las barras de anclaje, embebidas en la estructura de hormigón y que además actúan como elementos de retención pasiva.

Estas barras están diseñadas para resistir tanto cargas verticales, derivadas del peso propio de la torre, como fuerzas horizontales inducidas por oleaje, corrientes y movimientos sísmicos. La disposición y longitud de las barras permite transferir las sollicitaciones hacia capas más competentes del sustrato marino, evitando desplazamientos o volcamiento de la estructura.

De este modo, la torre queda firmemente asentada, con su peso distribuido sobre la base y su estabilidad reforzada por el sistema de anclaje, garantizando un comportamiento monolítico y seguro durante su vida útil bajo condiciones marinas adversas.

Comparativa entre las tipologías analizadas

Se realiza una comparación general entre dos tipologías de filtros de captación de agua de mar, con el propósito de identificar las principales diferencias que influyen en la selección de la solución estructural más adecuada, según el entorno operativo y los requerimientos del proyecto. El análisis se aborda desde una perspectiva macro, considerando aspectos como dimensionamiento, constructibilidad, facilidad de instalación, resistencia frente a eventos extremos, costos, mantenimiento y materialidad.

Desde el punto de vista del dimensionamiento, la estructura tipo campana presenta mayores dimensiones y masa en comparación con la torre de captación tipo tronco piramidal, lo que influye directamente en los volúmenes de material y en los tiempos de fabricación. Ambas tipologías emplean hormigón armado como material estructural principal; sin embargo, las diferencias constructivas se relacionan principalmente con la cantidad de material requerido.

En cuanto al comportamiento frente a eventos extremos, la estructura tipo campana presenta una mayor robustez asociada a su elevada masa, mientras que la torre tipo tronco piramidal, si bien cumple adecuadamente su función, resulta más sensible a fuerzas boyantes y dinámicas debido a su menor peso propio. Respecto a los costos, se anticipan diferencias asociadas al volumen de material utilizado, mientras que los costos de instalación dependen principalmente del método constructivo seleccionado.

Finalmente, la elección entre ambas tipologías responde no solo a criterios técnicos, sino también a la orientación de diseño y a los protocolos internos del mandante, donde coexisten enfoques conservadores, que privilegian estructuras masivas y de alta durabilidad, y enfoques más modernos basados en adaptabilidad y resiliencia, alineados con principios de “building with nature”.

7 METODOLOGIAS DE INSTALACIÓN PARA ESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN

Con el objetivo de analizar propuestas de lanzamiento, traslado e instalación de estructuras de aducción de agua de mar mediante un análisis comparativo para la jerarquización de alternativas. Se pretende abordar la puesta en servicio desde una perspectiva integral, considerando los distintos factores que inciden en la eficiencia de cada procedimiento.

Existen diversas opciones para la ejecución de cada etapa del proceso, las cuales presentan diferencias tanto cuantitativas como cualitativas. Por ello, en los capítulos siguientes se desarrollará un análisis comparativo de estas metodologías, proponiendo alternativas que combinan y adaptan distintas técnicas aplicadas en las fases de lanzamiento, traslado e instalación de las estructuras.

A continuación, se presenta un esquema (figura 22) que da contexto e idea de cómo se desarrollará el protocolo de instalación y cuáles son los procesos que constituyen la instalación para analizar en esta memoria.

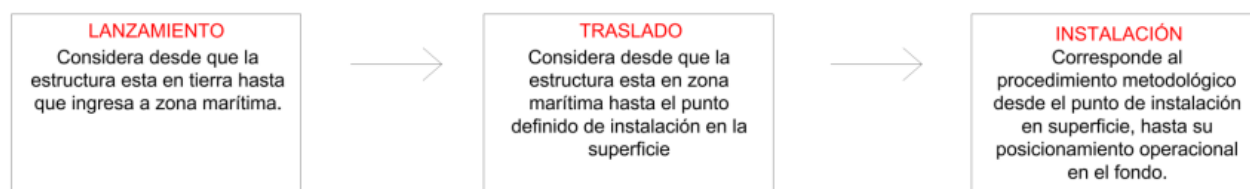


Figura 22. Esquema representativo de las etapas de desarrollo para los protocolos de instalación

Fuente. Elaboración propia

Considerando lo anterior, en el subcapítulo posterior, se abordarán las tres etapas mencionadas en la figura anterior con un mayor alcance.

7.1 METODOLOGIAS DE LANZAMIENTO

La etapa de lanzamiento es una etapa naturalmente fundamental en la evaluación y determinación para formular las propuestas de la presente memoria, es por eso por lo que a continuación se explicará en que consiste dicha etapa del proceso, como se aborda y bajo qué condiciones debe realizarse.

7.1.1 DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTO DE LANZAMIENTO

Se define como protocolo de lanzamiento al conjunto de procedimientos y acciones destinadas a trasladar y posicionar una estructura de aducción desde su lugar de armado o almacenamiento en tierra hasta su inmersión inicial en el medio marino. Este protocolo abarca exclusivamente la etapa de puesta en el agua, sin considerar las operaciones posteriores de fondeo, anclaje o conexión definitiva en el lecho marino.

El alcance de este procedimiento incluye todas las alternativas técnicas disponibles para la transferencia controlada de la estructura al mar, ya sea mediante el uso de grúas, ramplas de lanzamiento, sistemas de deslizamiento, balsas auxiliares o embarcaciones especializadas. Cada método deberá ser seleccionado en función de las características geométricas y peso de la estructura, las condiciones del sitio y las restricciones logísticas del proyecto.

El objetivo principal de este protocolo es asegurar que la estructura sea introducida en el medio marino de forma segura, sin comprometer su integridad estructural, y bajo condiciones controladas que permitan su posterior manipulación e instalación final. Entendiendo también dentro del objetivo, que la integridad y seguridad de los operadores en estas maniobras es fundamental.

La siguiente figura (figura 23) describe el campo de alcance del procedimiento de lanzamiento, las metodologías presentes son netamente explicativas para poder contextualizar el funcionamiento del sistema de lanzamiento.

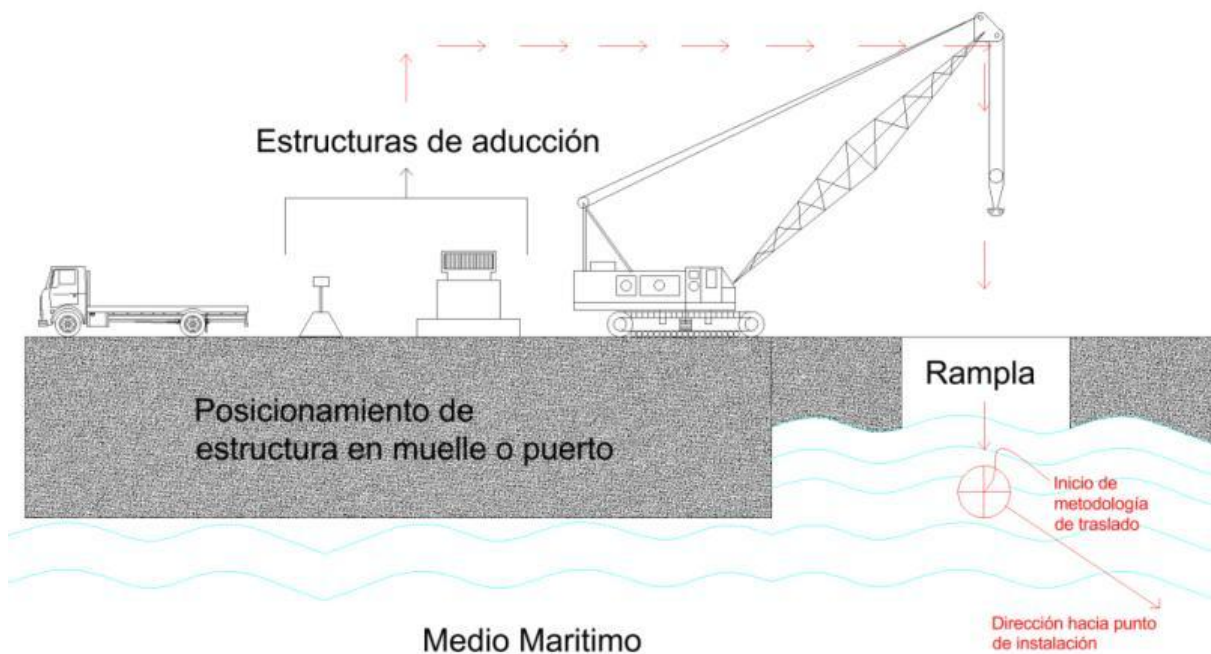


Figura 23. Proceso de lanzamiento, campo de alcance
Fuente. Elaboración propia

Considerando lo anterior, a continuación, se presenta las diferentes alternativas de lanzamiento compatibles con las dos propuestas de estructuras de aducción (campana y filtro sobre muerto), correspondientes a:

- ✓ Lanzamiento por rampas y ruedas de arrastre
- ✓ Lanzamiento por medio de grúas

7.1.2 LANZAMIENTO POR MEDIO RAMPAS OPACAS Y RUEDAS DE ARRASTRE

En base a lo definido como rampas opacas según *Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras Marítimas y Costeras* (MOP, 2013). Define a este tipo de solución como estructuras fijas cuya parte resistente está constituida por un muro continuo, de orientación vertical o casi vertical, que se extiende desde la superestructura hasta la cimentación. Por lo general, estas construcciones no permiten un paso significativo de agua a través de ellas, aunque en ocasiones pueden incorporar aberturas para disminuir los efectos de reflexión provocados por el oleaje.

Este tipo de obras se distingue porque su estructura altera las condiciones hidrodinámicas del entorno donde se instala, originando nuevas corrientes reflejadas, procesos de sedimentación o erosión que establecerán un nuevo equilibrio en la zona, el cual debe ser considerado durante el diseño.



Figura 24. Rampa tipo opaca, dispuesta para el lanzamiento de las estructuras
Fuente. *Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras Marítimas y Costeras (MOP).*

7.1.2.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

Considerando las condiciones logísticas y técnicas del proyecto, el método de lanzamiento mediante rampa con ruedas es seleccionado por su simplicidad operativa, menores requerimientos de equipos especializados y adecuada adaptación a la geografía costera disponible. Estudios previos y experiencias en proyectos similares (HSE, 2015) demuestran que el método Ro-Ro ofrece una solución eficiente y segura para el lanzamiento de estructuras de gran peso en ambientes donde el acceso a infraestructura portuaria es limitado. Asimismo, el posterior análisis comparativo permitirá evidenciar que alternativa presenta el menor costo directo y menor tiempo de ejecución frente a métodos como el float-out o el izaje con grúa flotante.

A efectos de las condiciones geográficas más favorables para la operación bajo esta opción, se emplazará la rampa en el sector norte de la bahía, específicamente en la zona del muelle de pescadores, en la zona de la Ventana.



Figura 25. Zona de emplazamiento de la rampa para acceso al medio marítimo
Fuente: Google Earth



Figura 26. Zona de emplazamiento de la rampa para acceso al medio marítimo
Fuente: Google Earth

7.1.2.2 BASE DE DESARROLLO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

A continuación, se hace una descripción secuencial de todas las etapas claves para la correcta operación del sistema de lanzamiento, considerando a grandes rasgos todo lo que implica el lanzamiento realizado por medio de rampas y ruedas de arrastre.

Para la operación es necesario el ajuste en dos aspectos fundamentalmente:

1. Preparación en Terreno

- Revisión estructural: Se inspecciona la estructura de aducción para verificar integridad, puntos de izaje, fijaciones para flotadores y ausencia de daños.
- Montaje de rodillos: Se instalan rodillos sobre una vía o cama preparada desde la zona de prefabricado hasta el borde del muelle, garantizando alineación y capacidad de carga.
- Instalación de flotadores: Se fijan los flotadores a la estructura en puntos estratégicos definidos por cálculos de estabilidad, de modo que permitan un arrastre semisumergido una vez en el agua.
- Montaje de eslingas y equipos de arrastre: Se instalan cables de arrastre conectados a winches ubicados en embarcaciones de apoyo o en puntos fijos en el muelle.

2. Lanzamiento desde Muelle

- Inicio del rodaje: Se inicia el desplazamiento controlado de la estructura sobre los rodillos, utilizando gatos hidráulicos o sistemas de arrastre mecánico.
- Control de velocidad: Se mantiene una velocidad lenta y constante para evitar desplazamientos bruscos que puedan dañar la estructura o desalinear los rodillos.
- Ingreso al agua: Al llegar al extremo del muelle, la estructura comienza a introducirse en el mar de forma gradual. Los flotadores proporcionan la flotabilidad necesaria para evitar que la estructura toque el fondo de forma abrupta.
- Monitoreo de flotabilidad y estabilidad: Se verifica que la estructura mantenga la posición semisumergida prevista y no presente escoras o hundimientos desbalanceados.

7.1.3 LANZAMIENTO POR MEDIO DE GRÚAS Y SPREADERS

Mediante la gestión, se busca establecer acuerdos con concesionarios portuarios para ampliar las opciones disponibles para el lanzamiento de estructuras. Esto permitirá contar con muelles habilitados que dispongan de mecanismos de descarga para elementos pesados, de modo de utilizar estas instalaciones de forma estratégica para el posterior traslado y montaje en el punto de instalación.

Una vez coordinado lo anterior, las estructuras serán dispuestas en la zona de izaje de la forma más eficiente posible desde el punto de vista logístico, siempre en conformidad con las condiciones del entorno y las normativas aplicables al sitio de operación.



Figura 27. Sector de grúas de operación para el muelle de ventanas.
Fuente. SVIP

7.1.3.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

La elección del lanzamiento mediante izaje por grúa se justifica principalmente por las ventajas que este método ofrece en términos de seguridad, control y cumplimiento con los estándares internacionales de operación.

Según las directrices establecidas por la (International Marine Contractors Association, 2003), el izaje permite un control preciso y progresivo de la estructura durante toda la maniobra, lo que facilita su detención inmediata ante cualquier desviación o condición insegura.

Esta característica reduce de forma significativa los riesgos dinámicos asociados al movimiento no controlado, las colisiones o el vuelco de la estructura, aspectos críticos en operaciones de instalación marítima. Adicionalmente, el izaje presenta una mayor tolerancia frente a variaciones moderadas en las condiciones ambientales, como oleaje y viento, en comparación con otros métodos como el lanzamiento desde playa o el uso de pontones flotantes, que son altamente sensibles a estos factores. Este método también resulta especialmente adecuado para el manejo de estructuras de gran peso o que no poseen flotabilidad propia, como es el caso de la campana de aducción de hormigón armado considerada en este proyecto, permitiendo mantener su estabilidad y orientación durante todo el proceso.

Desde el punto de vista normativo, la operación mediante izaje facilita el cumplimiento con los procedimientos de planificación, supervisión y documentación exigidos por los estándares internacionales, favoreciendo así la aprobación por parte de las autoridades competentes y aseguradoras.

Finalmente, este mecanismo contribuye a minimizar la interferencia con el medio marino, ya que evita los impactos físicos directos asociados a métodos alternativos que involucran arrastres o desplazamientos desde tierra. En conjunto, estas razones sustentan la selección del izaje como una de las opciones más robusta y segura para el lanzamiento de las estructuras en el presente proyecto.

Se selecciona un muelle ubicado en la zona norte de la bahía, siendo el primero en el recorrido de norte a sur, con el fin de realizar las maniobras de izaje mediante grúa. Esta elección responde a criterios estratégicos, considerando tanto las facilidades operacionales que ofrece la infraestructura portuaria como su proximidad al punto de instalación, lo que permite optimizar tiempos de traslado y reducir los riesgos asociados al transporte marítimo de la estructura.



Figura 28. Zona de descarga por medio de la grúa de muelle
Fuente. Google Earth

7.1.3.2 BASE DE DESARROLLO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Desde el sector portuario, la operación de lanzamiento de la estructura al medio marítimo se desarrollará a partir de un proceso planificado y controlado, cuyo objetivo principal es garantizar la integridad de los elementos estructurales y la seguridad de la maniobra. Esta operación contempla el posicionamiento, izaje y descenso controlado de la estructura desde el muelle hasta el mar, empleando medios mecánicos adecuados para manejar cargas de gran volumen y peso.

Preparación de la zona de lanzamiento

Antes de iniciar las maniobras, será necesario habilitar un área operativa en el extremo del muelle, próxima a la zona de carga/descarga marítima. Esta área debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Capacidad portante verificada del muelle para soportar el peso combinado de las grúas, estructura y equipos auxiliares.
- Señalización y delimitación del área de trabajo.
- Implementación de medidas de seguridad para el personal involucrado.
- Supervisión de las condiciones climáticas y meteoceanográficas (viento, oleaje, visibilidad).

Posicionamiento de equipos de izaje

Se empleará una logística secuencial para la movilización de las piezas de la estructura hasta el punto de lanzamiento. Esta etapa puede considerar grúas móviles (RTG o grúas hidráulicas sobre neumáticos) para el traslado interno dentro del recinto portuario.

Una vez posicionada la estructura en el área de lanzamiento, se procederá al izaje mediante grúas tipo STS (Ship-to-Shore), u otras grúas portuarias de alto tonelaje, según disponibilidad y compatibilidad con el peso y geometría de la estructura.

Características mínimas requeridas para la grúa principal:

- Capacidad de carga: Igual o superior al peso de la estructura más un margen de seguridad de al menos un 20%.
- Alcance horizontal: Suficiente para posicionar la estructura más allá del borde del muelle sin colisionar con el mismo.
- Sistemas de control de balanceo y velocidad de descenso.

Fijación y verificación de aparejos

La conexión entre la grúa y la estructura se realizará mediante eslingas, grilletes y aparejos certificados. El montaje deberá ser supervisado por un operador calificado y revisado por un inspector técnico antes del izaje. Se debe verificar:

- Estado de los puntos de izaje incorporados en la estructura.
- Ángulos de carga admisibles.
- Distribución equilibrada del centro de gravedad.

Acople de Globos de levante

Dado este método de lanzamiento, y dependiendo de si es que su método de traslado se hará por contacto directo o inserto en el medio marítimo, es que es necesario el uso de globos de levante presurizados, por lo que de acuerdo con los criterios técnicos evaluados en cada caso en esta etapa debiesen posicionarse y ajustarse a través de la distribución obtenida en los cálculos apropiados con las presiones apropiadas para cada uno, de acuerdo a la estabilidad y pesos.

Por lo que el proceso de adaptación para los globos se define a continuación:

- Evaluación de la estructura: Verificar el peso y las dimensiones de la estructura para determinar la cantidad y el tamaño de los globos necesarios.
- Selección de los globos de levante: Escoger globos adecuados en función de la capacidad de carga y las condiciones del mar.
- Preparación de la estructura: Limpiar la parte baja de la estructura donde se instalarán los globos, asegurándose de que no haya obstáculos ni irregularidades.
- Posicionamiento de los globos: Colocar los globos de levante en la parte baja de la estructura mientras la estructura se encuentra izada con spreaders, de manera que queden distribuidos uniformemente, con suficiente espacio entre ellos para evitar daños o interferencias.
- Fijación de los globos: Asegurarse de que los globos estén bien sujetos a la estructura, usando cables o anclajes diseñados para soportar las fuerzas durante el traslado.
- Inflado de los globos: Inflar los globos con aire o gas según las especificaciones del fabricante, verificando que estén equilibrados y no sobre presurizados.
- Prueba de flotabilidad: Realizar una prueba de flotabilidad para asegurar que la estructura se mantenga estable en el agua y que los globos de levante estén funcionando correctamente.
- Ajustes finales: Realizar ajustes en los globos si es necesario, asegurándose de que todos estén alineados y funcionando adecuadamente para el traslado.

Maniobra de izaje y descenso

La maniobra deberá ejecutarse en condiciones ambientales controladas y con comunicación radial directa entre los operadores de grúas, señalero y supervisor de la maniobra. El protocolo es el siguiente:

- Izaje vertical lento y controlado hasta despegar la estructura del suelo.
- Traslado horizontal hacia el borde del muelle o punto de lanzamiento.
- Descenso suave hasta el contacto con el medio marítimo (agua o cubierta de plataforma/barcaza).
- Liberación de aparejos solo una vez confirmada la estabilidad de la estructura en el nuevo medio.

Cierre de operación

Una vez completado el lanzamiento, se realizará una inspección visual de los elementos estructurales, se levanta un acta de la operación, y se notifica el éxito de la maniobra. Se debe dejar constancia fotográfica y documental de todo el proceso, con especial énfasis en:

- Condición de la estructura post-lanzamiento.
- Condiciones meteorológicas durante la maniobra.
- Tiempos efectivos de operación.

7.2 METODOLOGIAS DE TRASLADO

7.2.1 DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTO DE TRASLADO

Para efectos de esta memoria, las metodologías de traslado comprenden todas las acciones y medios involucrados desde el momento en que las estructuras se encuentran insertas en el medio marítimo (ya sea directamente en el agua o posicionadas sobre embarcaciones) posterior al proceso de lanzamiento, hasta su arribo al punto de instalación definido por el proyecto. Es decir, abarcan todo el trayecto desde el puerto, muelle o playa, hasta la ubicación final establecida en superficie conforme a las coordenadas proyectadas.



Figura 29. Rutas Estimadas para la realización del traslado de las estructuras.

Fuente. Google Earth

7.2.2 TRASLADO POR MEDIO DE REMOLCADOR

Este mecanismo o método de traslado contempla la movilización de la estructura desde la zona de lanzamiento hasta el punto de instalación, utilizando una embarcación cuyas características técnicas y dimensionales le permitan actuar como remolcador de las estructuras.

Estas serán transportadas en condición semi-sumergida, gracias a los flotadores previamente mencionados, que aseguran su estabilidad y flotabilidad adecuadas. Esto aplicaría para ambas estructuras que están bajo análisis, definiendo si se hará por tramos divididos o de manera directa de acuerdo a la características físicas y geométricas de cada una.

El mecanismo puede operar de forma independiente de la ubicación específica del punto de lanzamiento, ya que solo requiere de equipos de tiro en el medio marítimo para cumplir su función. Por otro lado, resulta fundamental definir en qué condiciones se dispondrá la estructura para su remolque, es decir, si se realizará en módulos o como una unidad completa. Esta definición permitirá determinar la capacidad operativa requerida por la embarcación de acuerdo con las condiciones del traslado.

7.2.2.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

La selección del mecanismo de transporte mediante barcaza remolcada se fundamenta en criterios técnicos y operacionales descritos en el *Handbook of Offshore Engineering* (Chakrabarti, 2005), los cuales destacan su eficacia en el traslado de estructuras de gran tamaño y peso bajo condiciones marítimas controladas. Este método permite la movilización de la estructura en condición semi-sumergida, facilitando la estabilidad durante el trayecto y evitando la necesidad de segmentación, lo que reduce tiempos de montaje y riesgos asociados. Además, su independencia de infraestructura portuaria compleja y su menor costo en comparación con otros métodos como grúas flotantes o barcasas autoelevables, lo convierten en una alternativa viable y eficiente para proyectos en zonas costeras sin instalaciones especializadas.

7.2.2.2 BASE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA OPERACIONAL

El funcionamiento operacional de un remolcador durante el transporte de carga pesada implica una secuencia altamente coordinada de aproximación, enganche, remolque y posicionamiento final, todo bajo condiciones exigentes de precisión, comunicación y seguridad. El objetivo principal es garantizar la integridad de la carga, del remolcador y del entorno, minimizando riesgos y optimizando la eficiencia de la maniobra. Dado que tal como señala (Lezcano, 2014), “una pequeña variación de rumbo o velocidad puede provocar una colisión o un accidente personal al manejar las líneas de remolque” (p. 3), lo que demuestra la sensibilidad y precisión que requiere esta operación.

A continuación, se presenta una idea de la dinámica operacional de un barco remolcador y los diferentes aspectos a los que se enfrenta.

Aproximación y Enganche del Remolque

- El remolcador se acerca cuidadosamente a la estructura flotante que necesita asistencia.
- El remolcador debe mantener una posición estable y segura con respecto a la estructura, ajustando rumbo y velocidad.
- Se establece la conexión física mediante un cabo de remolque (remolque de proa, popa o por el costado).
- Esta fase es crítica, ya que el espacio de maniobra suele ser limitado y cualquier error puede provocar colisiones o accidentes personales.

Tránsito o Remolque en Movimiento

Una vez enganchado, el remolcador guía o asiste a la estructura en su desplazamiento, ya sea hacia el punto de instalación desde el muelle o zona de lanzamiento.

En remolques de carga pesada (como plataformas, módulos o grandes barcasas), los remolcadores deben compensar los efectos de:

- La interacción hidrodinámica con el remolcado.
- El oleaje y viento que puedan desviar la trayectoria.
- La velocidad máxima del remolcador, que no debe ser superada por la del convoy, para evitar arrastres peligrosos.

Puede haber múltiples remolcadores trabajando coordinadamente: uno en proa (tirando), otro en popa (frenando) y otros de apoyo lateral (corrigiendo el rumbo).

Para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento del sistema, es esencial realizar un seguimiento y control visual mediante ROV durante el traslado. Esto tiene como objetivo asegurar que la estructura remolcada mantenga una posición uniforme y experimente la menor alteración posible, previniendo así cualquier daño en la estructura o deficiencia en el proceso.

Este control es crucial, ya que una supervisión adecuada no solo asegura la integridad de la estructura durante su traslado, sino que también minimiza riesgos operativos y potenciales costos adicionales por daños o retrasos, contribuyendo a la eficiencia general del proyecto. Es importante mencionar también que es de rotunda importancia determinar y definir un track o ruta la cual tenga una profundidad aproximada de 15 [m] en referencia al NRS. Esto dado a que en posibles casos de falla en el sistema se pueda realizar la recuperación de las estructuras.

Llegada al punto de destino

- Al acercarse al punto de destino, los remolcadores ayudan a posicionar con precisión la carga.
- Se usan para frenar, girar o empujar lateralmente la estructura remolcada.
- Esta es la fase donde la maniobrabilidad del remolcador es más importante, ya que requiere de disponer la estructura en la zona más precisa de instalación de acuerdo con lo previsto en el proyecto.

Factores Críticos del Funcionamiento Operacional

- Comunicación continua entre el práctico, los patrones de los remolcadores y la tripulación del buque remolcado.
- Evaluación constante del entorno, incluyendo condiciones meteorológicas, corrientes y obstáculos.
- Formación especializada de las tripulaciones y uso de tecnologías apropiadas.
- Diseño del remolcador, incluyendo potencia, maniobrabilidad, tipo de gancho de remolque y sistemas de seguridad.



Figura 30. Imagen referencial para el funcionamiento de remolque de las estructuras.

Fuente. Elaboración propia

7.2.3 TRASLADO POR MEDIO DE BARCAZA YAGANA

La barcaza Yagana, por sus características de diseño y capacidad operativa, es una plataforma con propulsión ideal para el transporte marítimo de estructuras de hormigón armado de gran peso y volumen hasta su punto de instalación. Gracias a su cubierta de carga abierta y reforzada, permite el embarque y aseguramiento de elementos prefabricados como filtros o estructuras de aducción, estructuras portuarias, módulos de fundación o componentes de plantas industriales. Su estructura plana y de bajo calado favorece tanto la maniobra de carga en muelles o rampas especializadas, como la operación en aguas someras cercanas a la costa, donde estas estructuras suelen ser instaladas.

Además, al estar diseñada para operar en zonas como los canales y fiordos del sur de Chile, la barcaza Yagana es capaz de navegar en entornos meteorológicos exigentes, asegurando el transporte seguro de piezas que requieren estabilidad, tracción controlada y bajas aceleraciones para evitar daños durante el trayecto. Una vez en el área de instalación, la barcaza puede trabajar en conjunto con remolcadores y sistemas de flotación auxiliar (como pontones o boyas) para posicionar con precisión las estructuras en el mar, ya sea mediante descarga lateral, flotación controlada o izaje con grúas móviles. Esto la convierte en un medio logístico clave para obras de infraestructura costera, marítima o industrial en zonas de difícil acceso por tierra.



Figura 31. Barcaza Yagana
Fuente. Oxxean

7.2.3.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

La yagana a simple vista podría ser una opción con un potencial bastante interesante desde el punto de vista de tiempos, y comodidad de traslado dado las características de los filtros.

Mover grandes y significantes pesos en el mar no es tarea fácil, si no se tiene un respaldo técnico de maniobra o de diseño que permita hacer un seguimiento del procedimiento de traslado lo más riguroso posible. Es según lo anterior que la yagana entra en la lista de selección como una opción con bastante trayectoria en el manejo de cargamento pesado, teniendo bajo observación sus respectivos parámetros de operación de acuerdo con su ficha técnica, tanto para la carga de desplazamiento y traslado, como para su izaje en el respectivo punto operacional de los filtros de aducción.

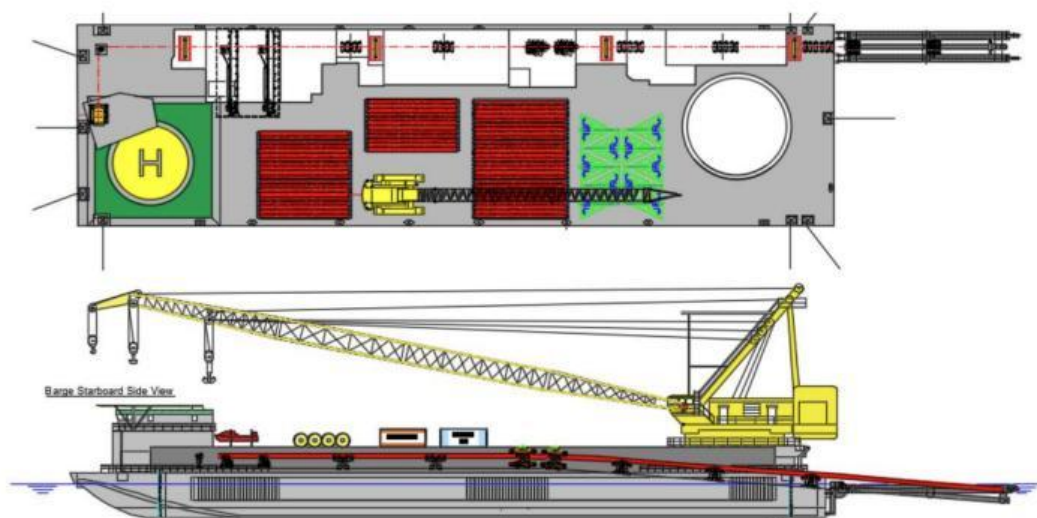


Figura 32. Disposición de la barcaza yagana (vista planta y elevación)

Fuente. Oxxean

7.2.3.2 BASE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El mecanismo de traslado se basa en el izaje de las estructuras desde la costa o desde el muelle seleccionado, utilizando la grúa de izaje incorporada en la barcaza Yagana, cuyas características operativas se encuentran detalladas en el anexo B de la presente memoria. La operación de izaje deberá realizarse de forma modular en caso de que el peso de las estructuras exceda la capacidad de carga operativa de la grúa. De igual forma, se deberá revisar cuidadosamente la distribución y posicionamiento de los módulos durante el traslado, dado que, por requerimientos específicos de la barcaza Yagana, la carga puntual máxima permitida es de 10 ton/m².

7.2.4 TRASALADO POR MEDIO DE JACKUP

Las plataformas jack-up son estructuras móviles o remolcadas ampliamente utilizadas en la industria del petróleo, el gas y, más recientemente, en la instalación de turbinas eólicas offshore. Su función principal es brindar una base estable y segura para realizar operaciones en el mar, especialmente en aguas poco profundas, típicamente de hasta 120 metros de profundidad, lo que permite que se ajuste de muy buena manera a las condiciones del proyecto. Estas plataformas son especialmente valoradas por su capacidad de trasladarse y adaptarse a distintos entornos de trabajo.

Una plataforma jack-up se compone de tres partes principales: un casco flotante, patas retráctiles (también llamadas piernas o pilotes), y un sistema de elevación. El casco permite que la unidad sea remolcada o autopropulsada hasta el sitio de operación. Una vez allí, las patas, que están unidas al casco, se bajan hasta hacer contacto firme con el lecho marino.

Posteriormente, el sistema de elevación eleva el casco por encima del nivel del mar, asegurando que la plataforma quede fuera del alcance de las olas y de otras influencias del entorno marino, garantizando una superficie de trabajo estable.

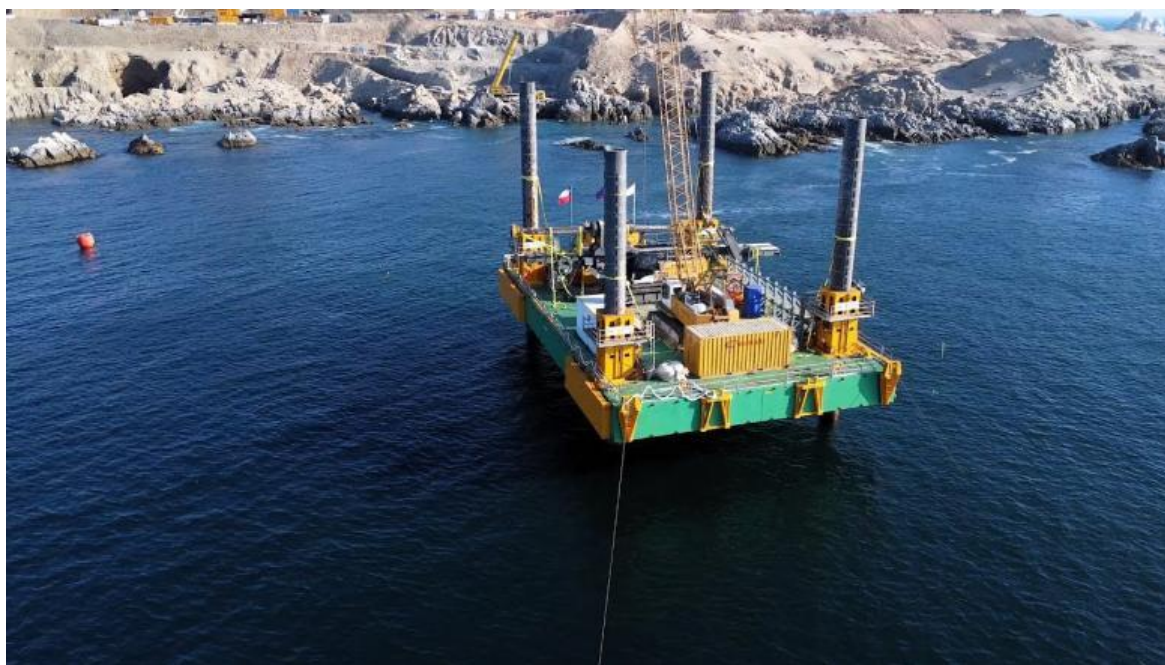


Figura 33. Plataforma Jack up utilizada en proyecto en Puerto Patache
Fuente. Proyecto C20+, Coyahuasi

7.2.4.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

De acuerdo con las características propias de las estructuras, la posibilidad de movilizar las unidades de aducción de manera más rápida y segura será un factor clave al momento de seleccionar la metodología de traslado. En este sentido, la opción de utilizar una plataforma tipo jack-up representa una alternativa sólida, ya que permite integrar diversos criterios de evaluación considerando todos los factores que pueden influir en el proceso de transporte. La velocidad operativa y la seguridad son dos de los aspectos más relevantes que destacan esta opción para llevar a cabo las labores requeridas.

7.2.4.2 BASE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA OPERACIONAL

De acuerdo con las recomendaciones de organizaciones como la International Association of Drilling Contractors (IADC) y estándares como el ISO 19905-1, que proporcionan directrices para la operación segura de plataformas jack-up en ambientes marinos, se presentan las siguientes aproximaciones a lo que sería el procedimiento de traslado de estas mismas.

Preparación previa en muelle:

- Verificación estructural de la campana o elemento a trasladar.
- Revisión de amarres y puntos de izaje.
- Inspección de la plataforma jack-up y equipos auxiliares (grúas, winches, sistemas de izaje).
- Confirmación de condiciones meteorológicas y oceanográficas favorables.
- Coordinación con la autoridad marítima local para permisos de zarpe.

Carga del elemento en la plataforma:

- Posicionamiento de la plataforma junto al muelle con las patas elevadas (modo flotación).
- Carga del elemento sobre cubierta mediante grúa portuaria o grúa de la misma plataforma.
- Aseguramiento del elemento con sistemas de fijación y distribución de cargas.

Planificación de la navegación:

- Revisión de la ruta de navegación hasta el punto de operación.

- Definición de puntos de control, velocidad y protocolos ante emergencias.
- Validación del calado, profundidad y condiciones de fondo marino en el trayecto y en el sitio de instalación.

Traslado marítimo:

- Remolque o autopropulsión de la plataforma jack-up hacia el sitio de trabajo.
- Monitoreo continuo de la carga, condiciones de mar, y estabilidad de la plataforma.
- Comunicación constante con el centro de operaciones y autoridades navales.
- Posicionamiento en el punto de operación:
- Fondeo o posicionamiento dinámico en coordenadas exactas (uso de GPS diferencial).
- Descenso de patas de la jack-up hasta contacto firme con el fondo marino.
- Nivelación y elevación del casco hasta quedar fuera del agua (modo operación).

Preparativos para instalación:

- Revisión final del elemento transportado.
- Desbloqueo de sistemas de amarre y preparación de equipos de izaje o descenso al lecho marino.
- Coordinación con buzos o equipos ROV si se requiere inspección subacuática.

Inicio de maniobras de instalación o lanzamiento:

- Según corresponda al procedimiento específico.

7.3 METODOLOGIAS DE INSTALACIÓN

7.3.1 DEFINICIÓN DE PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN

Los mecanismos y sistemas de instalación comprenden el procedimiento completo, desde la llegada de la estructura al punto de instalación definido por el proyecto, hasta su fijación y puesta en operatividad en el fondo marino. Este proceso integra diversas soluciones técnicas que aseguran un funcionamiento adecuado, evitando impactos u obstrucciones que puedan afectar su desempeño. Si bien todas las etapas del sistema son relevantes (lanzamiento, traslado e instalación) para la integridad de la estructura, esta fase final exige un seguimiento e inspección rigurosos, ya que de su correcta ejecución depende el rendimiento de la estructura en el entorno submarino.

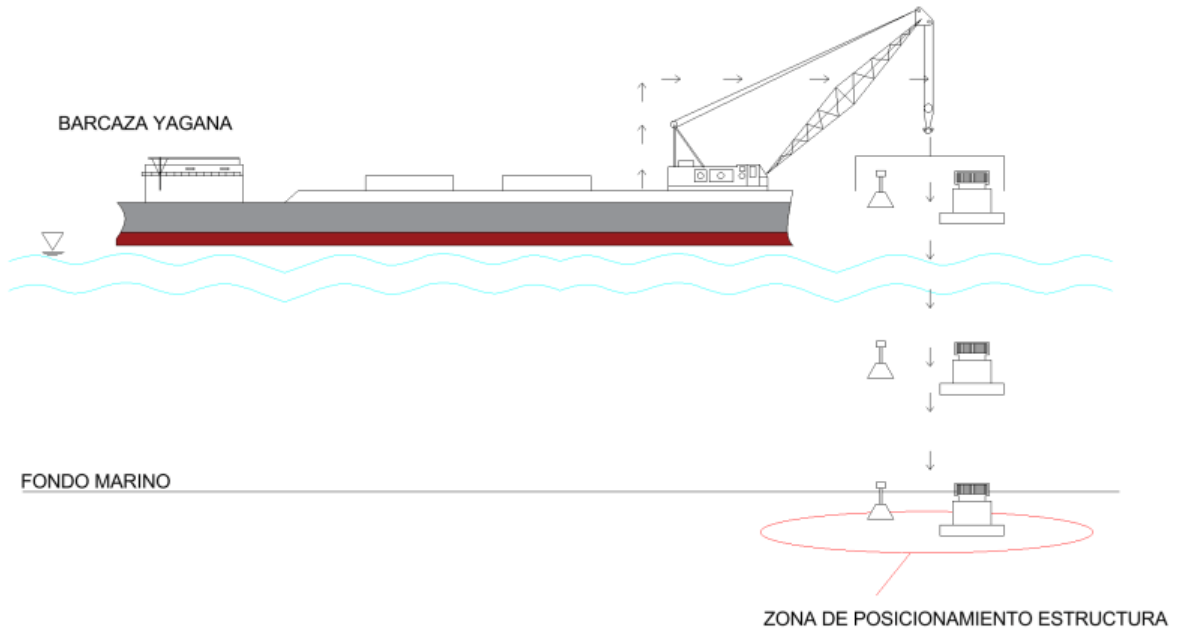


Figura 34. Procedimiento de instalación desde barcaza yagana

Fuente. Elaboración propia

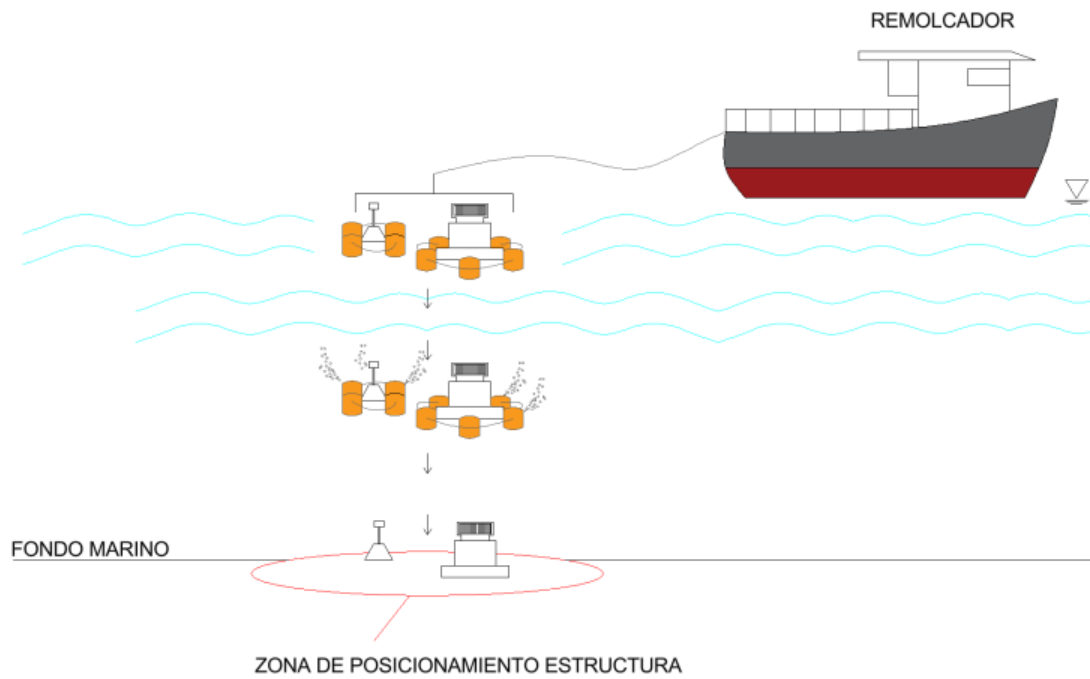


Figura 35. Procedimiento de instalación, descenso por despresurización de globos de levante
Fuente. Elaboración propia

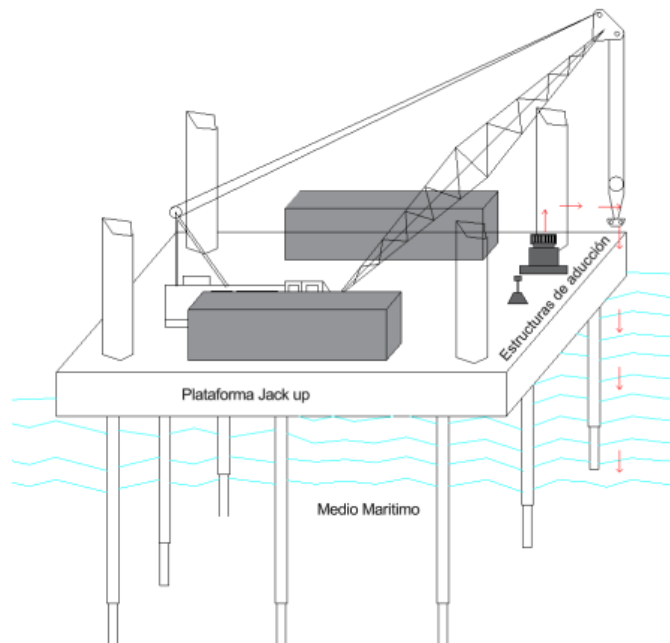


Figura 36. Procedimiento de instalación, descenso por medio de Grúa de plataforma Jackup
Fuente. Elaboración propia

7.3.2 INSTALACIÓN POR MEDIO DE DESPRESURIZACIÓN DE GLOBOS DE LEVANTE

La instalación de estructuras en el fondo marino representa un desafío logístico y técnico considerable, especialmente cuando se trata de elementos pesados y de gran volumen. Dentro de las diversas metodologías disponibles para su traslado e inmersión, el uso de globos de levante submarinos ha emergido como una solución eficaz, segura y ampliamente empleada en operaciones de salvataje, reflotamiento e instalación de estructuras en ambientes acuáticos complejos.

Estos globos, también denominados bolsas de flotación, están diseñados para proporcionar una fuerza de empuje controlada que permite elevar, mantener en suspensión o descender estructuras submarinas de forma precisa. Fabricados con tela náutica de poliéster recubierto en PVC de alta densidad, presentan una gran resistencia a los agentes químicos, hidrocarburos, rayos UV y agua salada. Modelos como los tipo paracaídas, tetraedro y zeppelin, fabricados por empresas especializadas, cuentan con eslingas y grilletes certificados, válvulas de sobrepresión y puntos de anclaje diseñados para resistir cargas de hasta 20 toneladas

Proyectos internacionales y locales han incorporado esta técnica por sus ventajas operativas. Por ejemplo, en la instalación de estructuras para sistemas de captación de agua en plantas desalinizadoras, se ha utilizado una combinación de globos tipo zeppelin y paracaídas para ejecutar el descenso desde un punto de flotación intermedio hasta el lecho marino, permitiendo un alineamiento adecuado con las estructuras ya fondeadas. Esta metodología se ha visto favorecida frente a métodos más complejos como el uso exclusivo de grúas offshore o barcasas especializadas, ya que ofrece una mayor versatilidad y menor dependencia de condiciones meteorológicas extremas.



Figura 37. Estructura preparada con sistema de globo de levante para su posterior descenso
Fuente. Musthane.com

7.3.2.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

A simple vista es un procedimiento de instalación rápido, el cual no requiere de procedimientos adicionales para su posicionamiento en el medio marítimo, dado que por su naturaleza esta inserto en él. Requiere de continua supervisión para su deseado funcionamiento, dado esto es un método que suele ser efectivo cuando se dispone de elementos y estructuras de características y dimensiones como las estudiadas en la presente memoria.

7.3.2.2 BASE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Preparación de la estructura y cálculo de flotabilidad

- Se determina el peso de la estructura en seco y su peso sumergido.
- Se calcula el volumen de aire necesario en los globos para generar el empuje equivalente que permita mantener la estructura en flotación neutra o ligeramente positiva.
- Se seleccionan globos de levante con capacidad certificada, considerando un factor de seguridad (FS) mínimo de 1.5 a 2.0 respecto al peso total.

Montaje de globos y elementos de izaje

- Los globos (tipo zeppelin, paracaídas o tetraedro) se fijan a la estructura con eslingas certificadas y grilletes de alta resistencia, distribuyendo uniformemente los puntos de carga.
- Se realiza una prueba de inflado en superficie para verificar conexiones y comportamiento de los globos.

Transporte y posicionamiento inicial

- La estructura es remolcada hasta la zona de instalación utilizando embarcaciones auxiliares.
- Se emplea instrumentación como GPS, sondas y cámaras submarinas para definir la ubicación exacta.

Descenso controlado

- Una vez en la vertical del punto de instalación, se inicia el descenso progresivo liberando aire de los globos a través de válvulas de desfogue.
- Los globos cuentan con válvulas de sobrepresión automáticas que se activan en caso de exceso de carga interna, evitando daños por sobrepresión

- El descenso se supervisa constantemente por buzos comerciales, acorde a la normativa nacional y las exigencias de capuerto para trabajos submarinos, que se puede complementar con sensores ROV (vehículos operados remotamente).

Alineación final y liberación

- Al llegar cerca del fondo, se realiza el ajuste fino del posicionamiento.
- Se libera el aire restante, permitiendo que la estructura se asiente de manera suave sobre el lecho marino.
- Finalmente, se desconectan los globos y eslingas mediante dispositivos de liberación rápida o intervención de buzos.

Riesgos Asociados y Controles

Tabla 17 Riesgos asociados con su respectiva medida de control

Riesgo	Medida de Control
Rotura de eslingas	Inspección y certificación previa, $FS \geq 5$
Penduleo de la carga	Uso de retenidas y descenso lento
Corrientes marinas	Operar en ventanas climáticas seguras
Daño por impacto en el fondo	Monitoreo con ROV, frenado progresivo

7.3.3 INSTALACIÓN POR MEDIO DE DESCENSO POR IZAJE

La instalación de estructuras en el fondo marino es un proceso clave en numerosos proyectos de infraestructura marina, desde plataformas petroleras hasta sistemas de captación de agua y energías renovables. Una de las técnicas más utilizadas en este tipo de operaciones es el izaje mediante grúas marinas, donde se realiza el levantamiento y posicionamiento controlado de la estructura desde una embarcación hasta su ubicación definitiva sobre el lecho marino.

El izaje es una maniobra crítica que debe considerar múltiples factores: las condiciones del entorno marino (viento, oleaje, corriente), las características geométricas y estructurales del elemento a instalar, así como la capacidad y configuración del equipo de izaje. A estos aspectos se suman los elementos de seguridad y control utilizados durante la maniobra, entre ellos los paracaídas de seguridad, que se emplean para limitar desplazamientos bruscos y mantener la estabilidad del elemento durante su descenso, reduciendo el riesgo de impactos o rotaciones no deseadas. Se trata de un proceso que requiere de alta precisión y una planificación detallada, ya que un fallo en esta etapa puede comprometer la integridad de la estructura y poner en riesgo tanto al personal como al entorno.

Para esta memoria en particular se dispondrán de grúas para el izaje en la etapa de instalación, tanto de la grúa de la Yagana, como también de la grúa integrada en la plataforma Jack-up.



Figura 38. Yagana operando su mecanismo de izaje para proyecto en quebrada blanca
Fuente. Compas.marine.cl



Figura 39. Jack up tipo para realizar las labores de instalación en Bahía de Quinteros
Fuente. C20 +, Collahuasi

7.3.3.1 CRITERIO DE SELECCIÓN

El sistema de izaje podría ser positivamente significativo en procesos de posicionamiento e instalación de elementos de características especiales y un tanto complejas desde el punto de vista del peso y opciones de levante. Podría significar efectos positivos desde el punto de vista de la planificación, dado que, guardando las proporciones y los márgenes, el proceso de descenso tiende a ser más mecanizado y directo, pero por supuesto que siempre al tanto de las medidas de seguridad correspondientes y los equipos de revisión presentes en cada etapa de la operación.

7.3.3.2 BASE DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

Preparación

- Instalación del conjunto de izaje con verificación de centro de gravedad.
- Posicionamiento de la Yagana o Jack up sobre el punto de descenso.
- Coordinación entre grúa, buzos, operador y supervisor de izaje.

Descenso de la Estructura

- Levante vertical de la estructura desde la cubierta.
- Inicio de descenso controlado, con monitoreo de tensión y comportamiento de la carga.
- Uso de retenidas para evitar penduleo lateral.

Asentamiento en el Fondo Marino

- Reducción de velocidad al acercarse al lecho marino.
- Supervisión visual subacuática con buzo o ROV.
- Verificación de alineación y nivelación de la estructura antes de liberación.

Riesgos Asociados y Controles

Tabla 18 Riesgos asociados y su respectiva medida de control

Riesgo	Medida de Control
Rotura de eslingas	Inspección y certificación previa, $FS \geq 5$
Penduleo de la carga	Uso de retenidas y descenso lento
Corrientes marinas	Operar en ventanas climáticas seguras
Daño por impacto en el fondo	Monitoreo con ROV, frenado progresivo

Documentación Requerida

- Plan de izaje firmado por profesional responsable.
- Certificados de equipos de izaje.
- IPER o matriz de riesgos actualizada.
- Permiso de operación otorgado por la Autoridad Marítima correspondiente.

7.4 PLANES DE CONTINGENCIA

Durante el desarrollo de las distintas actividades consideradas en esta memoria, surgen diversos riesgos y situaciones que requieren un plan de manejo adecuado, especialmente si se desvían de lo originalmente planificado. La ausencia de un plan de contingencia ante estos eventos podría generar consecuencias significativas en ámbitos administrativos, logísticos y técnicos. Por ello, resulta fundamental anticiparse a estos escenarios y no depender únicamente de la respuesta reactiva sujeta a los protocolos establecidos por las entidades correspondientes.

De acuerdo con lo anterior, es que para efectos de esta tesis se seleccionan tres actividades consideradas potencialmente críticas en el caso de ocurrir, es decir, podría traer efectos adversos generalizados desde el punto de vista antes comentado. Es por esto que se inducirá en buscar medidas y soluciones a partir de cada una de estas situaciones.

7.4.1 PLAN DE CONTINGENCIA ANTE ACCIDENTE DE BUZO EN INSTALACIÓN SUBMARINA

Durante las operaciones de instalación de estructuras en el fondo marino, la participación de buzos profesionales implica una exposición directa a riesgos físicos, fisiológicos y ambientales.

Entre los posibles incidentes se encuentran atrapamientos, cortes de suministro de aire, desorientación, lesiones traumáticas y condiciones relacionadas con la presión, como la enfermedad descompresiva (ED).

1.- Escenario Crítico Identificado

Accidente de buzo durante maniobra de instalación en el fondo marino, ya sea por atrapamiento, ascenso descontrolado, corte de suministro, o impacto físico, con potencial desarrollo de enfermedad descompresiva (ED) u otra emergencia subacuática.

2.- Medidas Preventivas

Con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia de incidentes durante las operaciones submarinas, se establecen una serie de medidas preventivas enfocadas en el control de riesgos asociados al buceo industrial.

Estas acciones permiten mantener condiciones seguras de trabajo, asegurar la trazabilidad de la inmersión y preparar al equipo para una actuación efectiva ante cualquier eventualidad, siendo fundamental la integración de las tablas de descompresión como herramienta clave de planificación y control fisiológico.

A continuación, se muestra una tabla con las principales medidas preventivas consideradas.

Tabla 19 Medida preventiva frente a accidente de buzo en labores submarinas

Medida	Descripción	Relación con Tablas de Despresurización
Revisión de equipos	Verificación diaria de trajes, líneas umbilicales, comunicación y suministro de aire	Garantiza inmersiones dentro de condiciones controladas, lo que permite aplicar correctamente las tablas descompresivas si es necesario
Checklist preinmersión	Validación del estado físico del buzo y condiciones del entorno	Asegura que los parámetros de tiempo/profundidad puedan seguirse según las tablas
Simulación de emergencias	Ejercicios prácticos de respuesta ante atrapamientos o ascensos de emergencia	Entrena al equipo en aplicar de forma inmediata procedimientos basados en tablas ante eventos reales
Registro de inmersiones	Registro riguroso de profundidad máxima, duración, tasa de ascenso y superficie	Datos clave para determinar el uso correcto de la tabla descompresiva correspondiente (por ejemplo, Tabla 6 US Navy)
Capacitación en ED	Formación en síntomas y uso de protocolos de descompresión	Aumenta la probabilidad de intervención temprana en base a tablas clínicas y operacionales

3.- Medidas de Respuesta Inmediata

En caso de presentarse un accidente durante la instalación submarina, resulta esencial contar con un protocolo de respuesta inmediata, claro y eficiente. Las medidas descritas a continuación permiten activar los mecanismos de rescate, estabilización y atención hiperbárica del buzo afectado, basándose en la correcta aplicación de las tablas de descompresión para revertir posibles cuadros de enfermedad descompresiva u otras afecciones relacionadas con el entorno hiperbárico.

Tabla 20 Medidas de respuesta inmediata frente a accidente de buzo en labores submarinas

Medida	Descripción	Aplicación de Tablas de Despresurización
Activación de emergencia	Señal submarina y movilización del equipo de rescate	Marca el inicio del registro temporal para aplicar tablas en función del momento del ascenso
Retiro del buzo	Extracción asistida a través de buzo de respaldo en tiempo real	Reduce el tiempo de exposición postaccidente y permite aplicar tabla adecuada según tiempo/profundidad de exposición
Evaluación en superficie	Revisión médica preliminar y administración de oxígeno	Si hay síntomas de ED, se utiliza Tabla 5 o 6 de US Navy (según gravedad) para iniciar recompresión inmediata
Aplicación de tabla descompresiva	Según tiempo de fondo, profundidad y condición del buzo	Ejemplo: Si el buzo emergió rápido desde 30 m, se podría aplicar Tabla 6 (recompresión estándar con oxígeno) o Tabla 6A si hubo pérdida de conciencia
Derivación médica	Traslado a cámara hiperbárica	La tabla ya iniciada se continúa en la cámara según protocolo médico. Su aplicación oportuna puede revertir efectos neurológicos en más del 80% de los casos si se actúa en las primeras 4 h

4.- Justificación para las tablas de inmersión

Las tablas de despresurización, especialmente las del Manual de Buceo de la Marina de EE.UU. (US Navy Diving Manual Rev. 7) y las del DCIEM canadiense, constituyen la principal herramienta técnica para prevenir y tratar la enfermedad descompresiva (ED). Su aplicación permite establecer:

- Tiempos máximos seguros de exposición según profundidad.
- Rango y duración de paradas de descompresión obligatorias.
- Protocolos de tratamiento hiperbárico estandarizado ante emergencias (Tabla 5, 6, 6A, etc.).

No aplicar estas tablas o hacerlo con errores puede significar secuelas neurológicas permanentes o incluso la muerte del operador subacuático. Por ello, este plan de contingencia se fundamenta en su uso obligatorio y en la formación del equipo para aplicarlas rigurosamente ante cualquier desviación del perfil de inmersión.

7.4.2 PLAN DE CONTINGENCIA ANTE PÉRDIDA DE ESTABILIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE ADUCCIÓN DURANTE SU TRASLADO

El traslado de estructuras de gran volumen como una aducción marítima implica riesgos inherentes relacionados con su estabilidad durante el desplazamiento. Factores como condiciones oceánicas cambiantes, fallas mecánicas o errores operativos pueden comprometer el equilibrio de la estructura, generando un escenario crítico que requiere planificación específica.

A continuación, se presentan las medidas preventivas y de respuesta inmediata definidas para enfrentar una eventual pérdida de estabilidad, con el objetivo de proteger tanto la integridad estructural como la seguridad del personal y del entorno operacional.

1.- Escenario Crítico Identificado

Durante el proceso de traslado de la estructura de aducción desde el punto de lanzamiento hasta el punto de instalación final en el entorno marítimo, puede producirse una pérdida de estabilidad producto de condiciones meteorológicas adversas, fallas en los sistemas de sujeción, cambios en el centro de gravedad, o errores de operación.

Esta condición representa un riesgo grave de vuelco, colapso estructural parcial, daño a embarcaciones auxiliares, contaminación ambiental o incluso lesiones al personal operativo.

2.- Medidas Preventivas

Ante el riesgo de pérdida de estabilidad durante el traslado de las estructuras de aducción, se definen una serie de medidas preventivas orientadas a asegurar el control del centro de gravedad, la resistencia estructural y las condiciones operativas del entorno marítimo.

A continuación, se presentan acciones que buscan anticipar posibles desviaciones mediante estudios técnicos, inspecciones previas y procedimientos operacionales seguros.

Tabla 21 Medidas preventivas ante pérdida de estabilidad de la estructura

Medida	Descripción	Justificación Técnica
Análisis previo de estabilidad	Evaluación hidrostática y dinámica de la estructura en condiciones de remolque/flotación o carga suspendida	Permite detectar riesgos de desplazamiento del centro de masa o momentos de vuelco en condiciones reales
Modelado numérico de trayecto	Simulación del traslado considerando oleaje, viento y corriente	Anticipa escenarios de carga lateral y permite definir configuraciones seguras de lastre o soporte
Plan de fondeo de emergencia	Definición de puntos seguros de detención temporal ante pérdida de control	Minimiza el impacto en zonas críticas y permite tomar acciones correctivas sin comprometer la estructura
Inspección estructural previa	Verificación de elementos de izaje, refuerzos y puntos de anclaje	Asegura integridad mecánica frente a cargas transitorias o dinámicas durante el movimiento
Capacitación del equipo	Formación del personal en estabilidad naval básica, lectura de instrumentos y respuesta ante emergencia	Mejora la capacidad de reacción y reduce errores humanos en momentos críticos

3.- Medidas de Respuesta Inmediata

En caso de presentarse una inestabilidad durante el traslado, es fundamental contar con un protocolo de respuesta inmediata que permita contener el evento, proteger la estructura y evitar daños colaterales.

Las acciones descritas a continuación consideran maniobras de estabilización, repliegue seguro y evaluación técnica, priorizando la seguridad del personal y la continuidad de la operación.

Tabla 22 Medidas de respuesta inmediata ante pérdida de estabilidad de la estructura en etapas de traslado

Medida	Descripción	Procedimiento Asociado
Activación del protocolo de emergencia	Comunicación inmediata al coordinador de operación vía radio VHF y activación de señal visual/sonora	El jefe de operación asume control y detiene todo movimiento de embarcaciones o izaje
Estabilización primaria de la estructura	Inyección de lastre, contrapeso externo o fondeo asistido con anclas	Se aplican maniobras de emergencia para controlar el rolido o escora de la estructura
Repliegue controlado	Si no es posible restablecer la estabilidad, se procede al retorno o desvío hacia punto de fondeo seguro definido previamente	Se minimiza el riesgo de colapso o pérdida estructural mediante movimientos calculados y supervisados
Revisión de daños	Una vez asegurada, se realiza inspección visual y estructural para evaluar daños o desplazamientos	Se define si la estructura puede continuar su traslado o si requiere intervención técnica
Informe del incidente	Registro detallado del evento, condiciones climáticas, maniobras realizadas y evaluación post incidente	Sirve como insumo para mejorar los protocolos de traslado e informar a entidades competentes si corresponde

4.- Justificación Técnica

La pérdida de estabilidad para las estructuras de aducción en movimiento es un evento de alto riesgo cuya gestión debe estar fundamentada en principios de estática y dinámica naval.

El control del centro de gravedad, el momento de escora y la capacidad de recuperación (GM) son variables clave que deben estar permanentemente monitoreadas durante la operación. El plan de contingencia se fundamenta en que cualquier desviación o fallo debe ser abordada con rapidez, evitando que se supere el ángulo crítico de escora o que se generen daños por colisión con otras embarcaciones.

Las medidas aquí presentadas permiten, además, cumplir con normativas de seguridad marítima (como las exigidas por la Dirección General del Territorio Marítimo de Chile - DIRECTEMAR), garantizando la protección de las personas, el medioambiente y la infraestructura involucrada.

7.4.3 PLAN DE CONTINGENCIA ANTE INOPERATIVIDAD DEL EQUIPAMIENTO

La ejecución de maniobras marítimas para el traslado e instalación de estructuras pesadas depende de la operatividad continua de equipos clave, como sistemas de izaje y embarcaciones de apoyo.

Ante la posibilidad de fallas mecánicas, eléctricas o hidráulicas que interrumpan el proceso, se establece el siguiente plan de contingencia, con medidas preventivas y de respuesta inmediata orientadas a mantener la seguridad operacional y asegurar la continuidad del proyecto frente a estos eventos no programados.

1.- Escenario Crítico Identificado

Durante el proceso de transporte, posicionamiento o instalación de la estructura de aducción, la falla o inoperatividad de equipos críticos como grúas, winches, sistemas hidráulicos, embarcaciones de apoyo o plataformas puede detener completamente la operación, comprometer la seguridad del personal y aumentar significativamente los riesgos estructurales y logísticos.

2.- Medidas Preventivas

Con el objetivo de minimizar la probabilidad de fallas durante las maniobras de traslado e instalación, se definen medidas preventivas enfocadas en el mantenimiento, verificación y disponibilidad operativa de los equipos críticos. Estas acciones permiten anticiparse a fallas mecánicas o técnicas, asegurando la confiabilidad de los sistemas de izaje y de las embarcaciones involucradas en la operación.

Tabla 23 Medidas preventivas frente inoperatividad de los equipos

Medida	Descripción	Justificación Técnica
Mantenimiento preventivo programado	Revisión periódica de todos los equipos involucrados en izaje, transporte y posicionamiento	Evita fallas mecánicas inesperadas y garantiza el cumplimiento de la vida útil de componentes
Pruebas funcionales previas a operación	Ensayo en vacío y bajo carga parcial de equipos de izaje, propulsión, dirección y fondeo	Permite detectar mal funcionamiento antes de iniciar operaciones críticas
Redundancia operativa	Disponibilidad de equipos de respaldo para funciones clave (por ejemplo, winch auxiliar o embarcación de apoyo secundaria)	Asegura continuidad operacional en caso de falla sin detener el proceso
Calificación del operador	Verificación de licencias, experiencia y entrenamiento específico del personal a cargo de los equipos	Reduce el riesgo de errores humanos que deriven en fallas de operación
Inspección técnica externa	Participación de una entidad técnica certificadora para verificar estado de los equipos de izaje antes del inicio de faenas	Mejora el estándar de seguridad y asegura trazabilidad técnica

3.- Medidas de Respuesta Inmediata

Ante una eventual inoperatividad de algún equipo esencial durante la operación, es fundamental contar con un protocolo de respuesta inmediata que permita contener el evento, evitar riesgos mayores y mantener la continuidad del proceso. Las medidas siguientes consideran la estabilización de la estructura, el uso de equipos de respaldo y la reorganización operativa, priorizando la seguridad y el control técnico en terreno.

Tabla 24 Medidas de respuesta inmediata frente a inoperatividad de los equipos

Medida	Descripción	Justificación Técnica
Mantenimiento preventivo programado	Revisión periódica de todos los equipos involucrados en izaje, transporte y posicionamiento	Evita fallas mecánicas inesperadas y garantiza el cumplimiento de la vida útil de componentes
Pruebas funcionales previas a operación	Ensayo en vacío y bajo carga parcial de equipos de izaje, propulsión, dirección y fondeo	Permite detectar mal funcionamiento antes de iniciar operaciones críticas
Redundancia operativa	Disponibilidad de equipos de respaldo para funciones clave (por ejemplo, winch auxiliar o embarcación de apoyo secundaria)	Asegura continuidad operacional en caso de falla sin detener el proceso
Calificación del operador	Verificación de licencias, experiencia y entrenamiento específico del personal a cargo de los equipos	Reduce el riesgo de errores humanos que deriven en fallas de operación
Inspección técnica externa	Participación de una entidad técnica certificadora para verificar estado de los equipos de izaje antes del inicio de faenas	Mejora el estándar de seguridad y asegura trazabilidad técnica

4.- Justificación Técnica

En operaciones marinas de alto tonelaje como la instalación de estructuras de aducción, la disponibilidad y operatividad de los equipos es un factor determinante en la seguridad y continuidad del proyecto.

La falla de un equipo de izaje o de una embarcación de apoyo en fase operativa puede provocar desde desalineaciones críticas hasta incidentes mayores como caída de carga o colisiones. Este plan de contingencia se estructura en base al principio de continuidad operativa, estableciendo medidas preventivas robustas, disponibilidad de unidades de respaldo, y capacidad de respuesta técnica en terreno.

Todo esto se enmarca en el cumplimiento de normativas técnicas como las de la DIRECTEMAR, NCh 1258/4 (seguridad en trabajos con grúa), y las recomendaciones de fabricantes de equipos de izaje y maniobra en entornos marinos.

8 PROPUESTAS CONSIDERADAS PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS

A continuación, se presentarán propuestas completas para la ejecución y puesta en servicio de las estructuras de aducción. Estas propuestas integran todos los procesos y metodologías de lanzamiento, traslado e instalación mencionadas en el capítulo anterior, generando combinaciones, de las cuales se evaluará su eficiencia desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo a través la metodología trade-off antes mencionada.

Antes de presentar las propuestas, es importante recalcar ciertos aspectos que serán claves en el desarrollo de las labores. A continuación, se definen dichos aspectos.

- a) Trabajo de las estructuras por módulos o completa, dependiendo de las características propias y de las condiciones.
- b) Consideración de los viajes realizados (ida y vuelta), dependiendo de la estructura y el método de traslado.
- c) Dimensionamiento y características de la estructura a instalar

Es importante señalar que, con el fin de diferenciar posteriormente el uso de las estructuras de aducción según su geometría, se adoptará una nomenclatura simple. Las propuestas que consideren una estructura tipo campana serán identificadas con la letra A, mientras que aquellas que contemplen una estructura tipo tronco piramidal llevarán la letra B.

Por ejemplo, la denominación Propuesta 1A hará referencia a la Propuesta 1 considerando la estructura tipo campana, mientras que Propuesta 1B corresponderá a la misma propuesta, pero con la estructura tipo tronco piramidal.

8.1 PROPUESTA 1

La primera propuesta a considerar consiste en integrar los procedimientos de lanzamiento, traslado e instalación por medio de una rampla provisoria, luego trasladando la estructura por el medio marino a través de remolcadores y globos de empuje hasta el punto de instalación definido por el proyecto, hasta finalmente generar la instalación en dicha zona realizando un descenso controlado bajo de despresurización de los globos de levante.



Figura 40. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación
Fuente. Elaboración propia

8.1.1 DESCRIPCIÓN

El proceso de montaje propuesto para las estructuras de aducción contempla tres etapas integradas: el lanzamiento al mar, el traslado flotante y la instalación definitiva.

Inicialmente, la estructura es posicionada sobre una rampa de hormigón armado, desde donde es deslizada de forma controlada con apoyo de rodillos y cabrestantes.

Una vez en el agua, se le otorga flotabilidad mediante globos de levante, los cuales permiten su traslado por remolque marítimo hasta la zona de instalación. Finalmente, mediante el desinflado progresivo de los globos y con apoyo de buzos profesionales, se realiza el descenso controlado de la estructura hasta su posición final, donde es alineada y fijada en el lecho marino conforme al diseño.

8.1.2 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LA ESTRUCTURA PARA LA OPERACIÓN DE LA PROPUESTA

De acuerdo con las dimensiones y características de diseño de cada uno de los filtros o estructuras de aducción considerados en el proyecto, se ha evaluado la factibilidad de su operación bajo un enfoque modular o seccionado. Esta estrategia tiene como objetivo asegurar la compatibilidad con las condiciones establecidas en la propuesta, adaptándose de manera óptima a los requerimientos técnicos y logísticos del proceso de lanzamiento, traslado e instalación.

A continuación, se presentan los pesos estimados para cada tipo de estructura, los cuales serán fundamentales para determinar la viabilidad de las distintas alternativas de manejo e instalación:

- a) Filtro o estructura tipo campana:

PESO TOTAL [kg]	DESCRIPCIÓN
9.600,0	PLACA ESTABILIZADORA, ASTM A572
5.083,2	REFUERZO SOLDADURA PLACA ESTABILIZADORA, ASTM A572
419,2	CÁNCAMO DE IZAJE TRAMO INFERIOR, ASTM A572, e=25mm
50,5	PASADOR CÁNCAMO DE IZAJE TRAMO INFERIOR, Ø32mm, A630-420H
71,9	BARRA GUÍA, Ø36mm, A630-420H ESTRIADA
97.104,0	TOTAL HORMIGÓN ARMADO TRAMO INFERIOR, DETALLE EN I0740-123115-PL-000-204
214,0	CÁNCAMO DE IZAJE TRAMO CENTRAL, ASTM A572, e=25mm
31,6	PASADOR CÁNCAMO DE IZAJE TRAMO CENTRAL, Ø32mm, A630-420H
52.349,4	TOTAL HORMIGÓN ARMADO TRAMO CENTRAL, DETALLE EN I0740-123115-PL-000-205
164.923,8	Kg

Figura 41. Pesos de partes de la estructura tipo campana

b) Filtro tipo tronco piramidal:

MUERTO DE FIJACIÓN							
Marca	Descripción	Unidad	Cantidad	Largo (m)	m3	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)
1	MUERTO		1			28208,2	28208,2
						TOTAL (TON)	28,2

Figura 42. Peso de estructura tipo tronco piramidal

Considerando la magnitud dimensional y el peso de la estructura tipo campana, así como los criterios de estabilidad, seguridad operacional y maniobrabilidad en faenas marítimas, se propone su fabricación y operación en módulos en tres etapas (tramo inferior, tramo central, tramo superior) tal como se puede observar en la figura 43. Esta decisión permite un control más eficiente durante las etapas de lanzamiento y traslado, minimizando los riesgos asociados al manejo de elementos de gran tonelaje en un entorno marino.

En contraste, la estructura tipo tronco piramidal, al presentar menores dimensiones y peso relativo, no requiere segmentación. Su configuración completa resulta manejable bajo los parámetros operativos definidos, por lo que se proyecta su operación como una única unidad estructural durante todo el proceso de esta propuesta.

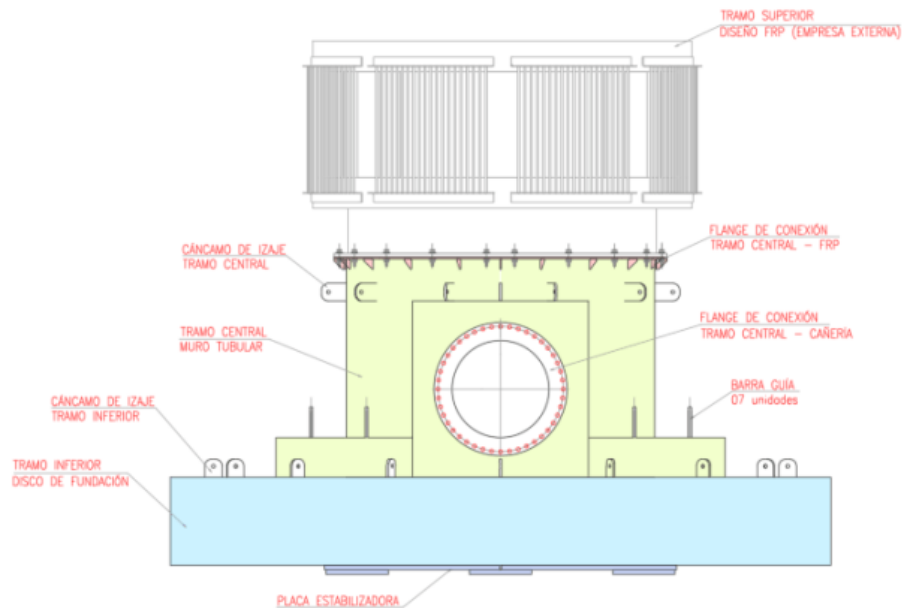


Figura 43. Distinción de secciones modulares en la cual se operará con la estructura tipo campana
Fuente. Fuente privada

8.1.3 RECORRIDOS REALIZADOS PARA COMPLETAR LA PROPUESTA

Tal como se mencionó anteriormente, dado las características operacionales con las que se trabajará cada estructura, es que el proceso deberá realizarse por lo menos tres veces para la estructura tipo campana, da manera de montar definitivamente todos los tramos en el punto de aducción, en un track de veril de 15 [m] de profundidad como medida de seguridad en la recuperación en caso de fallas.

Por otro lado, la estructura tipo tronco piramidal, realizará un solo proceso completo, ya que se ocupa la estructura completa, y con las mismas condiciones de veril para el track de cara a la seguridad.

8.1.4 EFECTOS Y RELACIÓN DE LA PROPUESTA CON EL ECOSISTEMA

Dado que la propuesta considera el uso de infraestructura portuaria existente y métodos de lanzamiento y traslado controlados, el impacto sobre el ecosistema marino se ve reducido en comparación con métodos más invasivos.

La operación desde un muelle evita intervenciones costeras directas, y el uso de globos de levante y remolcadores minimiza la necesidad de dragados o apoyos pesados en el lecho marino. No obstante, durante la fase de instalación, la presencia de buzos y anclajes puede generar alteración localizada del sustrato y turbidez temporal, por lo que se recomienda realizar la operación en condiciones de buena visibilidad y fuera de períodos críticos para la fauna local, como épocas de reproducción o migración.

8.2 PROPUESTA 2

La propuesta dos plantea la integración de métodos para el lanzamiento, traslado e instalación de las estructuras de aducción, utilizando como punto de partida un muelle o terminal marítimo operativo, seleccionado estratégicamente por su conveniencia logística. Este terminal cuenta con el equipamiento necesario para efectuar el descenso inicial de la estructura al medio marino, mediante el uso de su grúa propia.

Una vez en el agua, se incorpora flotabilidad controlada a través de globos de levante los cuales se le agregan a la estructura o tramo de estructura antes del izaje, lo que permite su traslado por medio de remolcadores hasta el punto de instalación.

Finalmente, se procede con la etapa de instalación mediante descenso controlado, liberando progresivamente el aire de los globos, de la misma forma a lo planteado en la propuesta uno.



Figura 44. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación

Fuente. Elaboración propia

8.2.1 DESCRIPCIÓN

La segunda propuesta plantea la integración secuencial y coordinada de los procedimientos de lanzamiento, traslado e instalación de la estructura de aducción. Este enfoque considera que el primer hito, el lanzamiento, implica el descenso de la estructura desde el muelle seleccionado en Ventanas, utilizando las grúas operativas disponibles en el lugar, las cuales poseen una capacidad de carga individual de 30 toneladas.

Debido al peso total de los módulos estructurales, será necesario que ambas grúas trabajen de manera sincronizada, utilizando esparcidores (spreaders) para distribuir adecuadamente la carga y garantizar la estabilidad del izaje. Con esta configuración se estima alcanzar una capacidad de levante conjunta de hasta 60 toneladas.

Previo al izaje, se realizará el acoplamiento de globos de levante (air lift bags) a los distintos módulos de la estructura, asegurando su correcta fijación mediante eslingas certificadas y revisadas según el protocolo de seguridad correspondiente. Una vez completado este proceso, se iniciará la operación de traslado marítimo, la cual se ejecutará mediante remolcadores de tiro tipo ASD (Azimuth Stern Drive) u otra embarcación auxiliar especializada, capaz de mantener la maniobrabilidad y control direccional de la estructura durante la navegación.

Al alcanzar las coordenadas definidas para la captación, se procederá al descenso controlado de la estructura. Esta maniobra se realizará mediante la despresurización progresiva y coordinada de los globos de levante, manteniendo una alineación estricta entre cada punto de apoyo, con el objetivo de asegurar la estabilidad y verticalidad de la estructura durante su inmersión.

8.2.2 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LA ESTRUCTURA PARA LA OPERACIÓN DE LA PROPUESTA

Considerando los pesos de las estructuras de captación propuestos en el punto 8.1.2 de la presente memoria, se debe buscar la manera más estratégicamente posible para lograr izar la estructura de tales dimensiones y pesos.

En base a lo anterior se llega que el tramo inferior se re seccionará, esto quiere decir que para que pueda cumplir con los alcances técnicos predefinidos por las grúas operacionales del muelle (60 toneladas totales), y considerando que solo el módulo de tramo inferior pesa 97.104 [Kg], se decide dividir el tramo inferior, de manera de generar dos semicircunferencias de estructura de tramo inferior.



Figura 45. Módulo tramo inferior estructura tipo campana
Fuente. Elaboración empresa privada

El acople y la disposición final del tramo inferior de la estructura deberán realizarse en el fondo marino, específicamente en la zona destinada para su instalación. Esta operación se llevará a cabo mediante maniobras controladas y supervisadas por los equipos de buceo, utilizando técnicas especializadas de trabajo subacuático.

En cuanto a los tramos central y superior, estos serán izados de manera independiente, sin necesidad de realizar ajustes o modificaciones estructurales, ya que no presentan las mismas restricciones de peso y capacidad de levante que afectaron al tramo inferior.

En contraste, la estructura tipo tronco piramidal, al presentar menores dimensiones y peso relativo, no requiere segmentación. Su configuración completa resulta manejable bajo los parámetros operativos definidos incluso pudiendo realizar las labores de lanzamiento solo con una grúa del muelle en cuestión, por lo que se proyecta su operación como una única unidad estructural durante todo el proceso de esta propuesta.

8.2.3 RECORRIDOS REALIZADOS PARA COMPLETAR LA PROPUESTA

Considerando que la estructura tipo campana se compone de tres tramos modulares, y que uno de ellos (el tramo inferior) se subdivide en dos partes, se establece que deberán realizarse cuatro recorridos (ida y vuelta) desde la zona de lanzamiento hasta el punto de instalación. Esto se debe a que los subtramos del tramo inferior, por su peso crítico, deben ser manipulados de forma independiente. En consecuencia, se plantea un proceso de lanzamiento modular compuesto por cuatro etapas.

Por otro lado, la estructura tipo tronco piramidal, realizará un solo proceso completo, ya que se ocupa la estructura completa.

8.2.4 EFECTOS Y RELACIÓN DE LA PROPUESTA CON EL ECOSISTEMA

La propuesta de izaje de la estructura desde las grúas del muelle de Ventanas, seguida de su traslado mediante globos de levante asistidos por remolcadores y una instalación final mediante descenso controlado por despresurización, representa una alternativa técnicamente eficiente y ambientalmente responsable.

Esta metodología evita intervenciones directas sobre el fondo marino, tales como dragados o el uso de sistemas de anclaje intrusivos, lo que reduce significativamente el impacto sobre los hábitats bentónicos y minimiza la resuspensión de sedimentos finos, preservando la calidad del agua y la estabilidad de las comunidades biológicas.

El descenso gradual de la estructura permite una deposición controlada, evitando impactos dinámicos sobre el lecho y asegurando precisión en el posicionamiento, lo cual es fundamental en zonas con sensibilidad ecológica o morfología irregular. Desde una perspectiva ecosistémica, esta operación mantiene el equilibrio físico-químico del medio marino, evitando alteraciones en la oxigenación del fondo, la turbidez o los patrones de circulación local. Para asegurar la compatibilidad ambiental de la maniobra, se recomienda implementar un plan de monitoreo oceanográfico y biológico en tiempo real, especialmente si la intervención se realiza en áreas con valor ambiental declarado, como Zonas de Protección Ecológica (ZPE) o Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB).

Considerando que la bahía de Quintero-Ventanas presenta condiciones oceanográficas particulares, como oleaje persistente, corrientes litorales y presencia de termoclinas estacionales, se recomienda implementar monitoreos en tiempo real para asegurar que la operación mantenga la compatibilidad

ambiental con el medio receptor, permitiendo una intervención de bajo impacto en un entorno ya sensibilizado por décadas de presión antrópica

8.3 PROPUESTA 3

La tercera propuesta plantea un enfoque integrado para el lanzamiento, traslado e instalación de estructuras prefabricadas en ambiente marino, combinando medios portuarios existentes con equipamiento especializado. En esta alternativa, se considera como punto de partida el uso de las grúas ya disponibles en el muelle de Ventanas para ejecutar la maniobra de lanzamiento, transfiriendo la estructura desde el área de almacenamiento hasta una plataforma tipo Jack-Up modelo C-7.

Posteriormente, dicha plataforma será trasladada hasta el sitio de instalación mediante remolcadores de tiro, dada su condición de no ser autopropulsada.

Finalmente, la instalación de la estructura en el lecho marino será ejecutada utilizando las grúas propias de la Jack-Up, lo que permite una operación más autónoma y controlada. Esta propuesta busca integrar recursos existentes con medios marítimos temporales, optimizando la seguridad y tiempos de ejecución del proyecto.

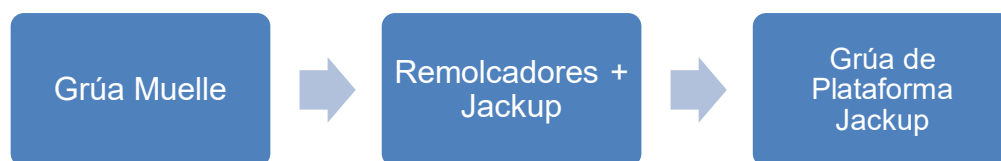


Figura 46. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación
Fuente. Elaboración propia

8.3.1 DESCRIPCIÓN

Desde un enfoque técnico, la propuesta 3 se estructura en tres fases operativas claramente definidas. En primer lugar, se contempla el lanzamiento mediante grúas fijas portuarias ubicadas en el muelle industrial de Ventanas, cuya capacidad de carga ha sido verificada para ejecutar izajes conjuntos mediante el uso de spreader beams que aseguren la estabilidad del conjunto estructural durante el traspaso.

La segunda etapa corresponde al traslado marítimo mediante una plataforma tipo Jack-Up modelo C-7, caracterizada por su cubierta reforzada y capacidad de soportar grandes cargas, aunque carente de sistemas de propulsión propios, por lo cual requiere del apoyo de remolcadores de tiro de alta potencia para su posicionamiento. Esta plataforma se posiciona sobre el sitio de instalación y ejecuta el hincado telescópico de sus cuatro patas de 38,5 [m] de largo hasta lograr contacto firme con el lecho marino, asegurando así una condición de estabilidad absoluta, crucial para operaciones de precisión.

Finalmente, la instalación de la estructura se realiza mediante la grúa integrada y estructural de la plataforma la cual tiene una capacidad de 200 [ton], operando desde un entorno inmóvil y controlado, lo cual permite una maniobra de descenso vertical precisa, minimizando el riesgo operativo y asegurando el cumplimiento de tolerancias geométricas en la instalación. Esta metodología representa una solución altamente confiable para entornos marítimos con condiciones variables, como los presentes en la bahía de Quintero.

8.3.2 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LA ESTRUCTURA PARA LA OPERACIÓN DE LA PROPUESTA

Dado que el sistema propuesto contempla, en primera instancia, el uso de las grúas operativas del muelle como medio de lanzamiento, y considerando que las condiciones dimensionales y de peso de las estructuras son equivalentes a las de la Propuesta 2, se optará por seguir un procedimiento similar, al menos para la estructura tipo campana. En este caso, se mantendrá un esquema de montaje modular compuesto por tres tramos principales, donde el tercer tramo (correspondiente al segmento inferior) será subdividido en dos subtramos. Quedando la estructura desglosada en placa base, primera mitad de disco tramo inferior, segunda mitad de disco tramo inferior, tramo central, tramo superior. Esta decisión responde a las limitaciones operacionales de capacidad de carga y alcance de las grúas, permitiendo ejecutar el izaje de forma conjunta y controlada. Así, se facilita el ensamblaje secuencial de los módulos directamente sobre la superficie de la plataforma Jack-Up, asegurando una configuración estructural apta para su posterior traslado e instalación.

Posteriormente, durante la etapa de traslado o una vez que la estructura se encuentre dispuesta modularmente sobre la cubierta de la plataforma Jack-Up, se procederá a la unificación del tramo inferior, conforme a su diseño estructural original. Esta operación permitirá consolidar la estructura en tres módulos principales, los cuales serán izados de manera independiente durante la fase de instalación. Cada módulo será descendido de forma controlada hasta su posición definitiva en el lecho marino, donde se ejecutará el acople estructural in situ. Este proceso contará con el apoyo de herramientas de asistencia técnica, tales como sistemas de monitoreo remoto, inspección mediante ROVs (vehículos operados

remotamente) y la intervención de buzos profesionales, garantizando así la correcta alineación, estabilidad y fijación de los elementos estructurales bajo condiciones subacuáticas controladas.

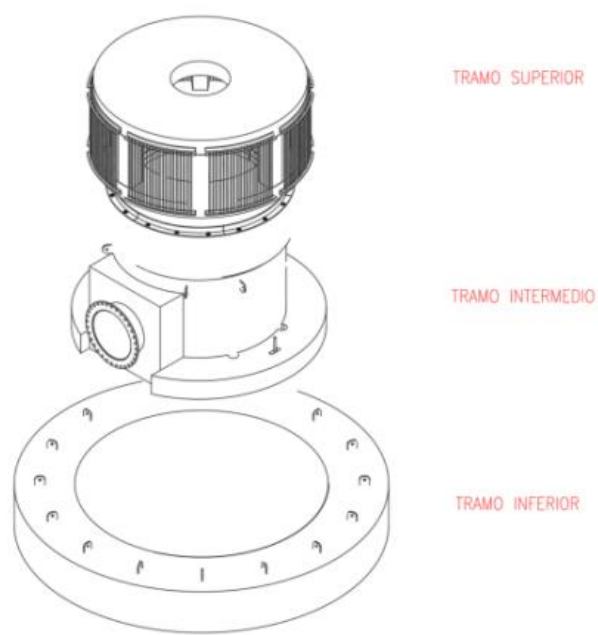


Figura 47. Disposición de los módulos de la estructura tipo campana, los cuales son instalados y acoplados en el lecho marino
Fuente. Elaboración Propia

En contraste, la estructura tipo tronco piramidal, al presentar menores dimensiones y peso relativo, no requiere segmentación. Su configuración completa resulta manejable bajo los parámetros operativos definidos incluso pudiendo realizar las labores de lanzamiento solo con una grúa del muelle en cuestión, por lo que se proyecta su operación como una única unidad estructural durante todo el proceso de esta propuesta.

8.3.3 RECORRIDOS REALIZADOS PARA COMPLETAR LA PROPUESTA

En el caso de ambas estructuras, las maniobras de traslado se ejecutarán en una única operación de ida y vuelta, dado que esta propuesta permite conservar y transportar los módulos estructurales directamente sobre la cubierta de la plataforma Jack-Up.

Esta estrategia es viable considerando que la plataforma posee una capacidad de carga útil de hasta 400 toneladas, lo que la habilita para trasladar el conjunto completo del montaje en un solo trayecto. Esta condición aplica tanto para la estructura tipo campana como para la estructura de tipo tronco piramidal, optimizando así los tiempos operacionales y reduciendo el número de intervenciones marítimas necesarias.

8.3.4 EFECTOS Y RELACIÓN DE LA PROPUESTA CON EL ECOSISTEMA

La propuesta 3, que contempla el uso de una plataforma Jack-Up para el traslado e instalación de estructuras, presenta impactos ambientales acotados pero relevantes. Su capacidad de operar sin sistemas de anclaje tradicionales reduce la alteración general del fondo marino, aunque el hincado de sus patas genera disturbios localizados, como resuspensión de sedimentos y posibles afectaciones a hábitats bentónicos.

Asimismo, la reducción de viajes gracias al transporte integral sobre la Jack-Up minimiza emisiones y riesgos operacionales, lo que favorece una menor huella ambiental. No obstante, el proceso genera ruido submarino que puede interferir con la fauna marina, por lo que se sugiere un plan de monitoreo y mitigación acústica.

La instalación de estructuras permanentes en el lecho marino puede, a largo plazo, generar un efecto de arrecife artificial, permitiendo la colonización de organismos y una eventual recuperación ecológica local. Se recomienda complementar esta propuesta con un plan de gestión ambiental, control de residuos y monitoreo del ecosistema durante la operación.

8.4 PROPUESTA 4

La cuarta propuesta de la presente memoria consiste en integrar de forma eficiente las etapas de lanzamiento, traslado e instalación. El lanzamiento se realizará mediante la grúa propia de la barcaza Yagana, para posteriormente posicionar las estructuras en el área de acopio disponible, información que se detalla con mayor claridad en el anexo correspondiente (anexo B). Finalmente, la instalación se ejecutará utilizando la misma grúa operacional de la barcaza Yagana, hasta lograr el descenso completo de la estructura y su posicionamiento en el punto de instalación sobre el fondo marino.

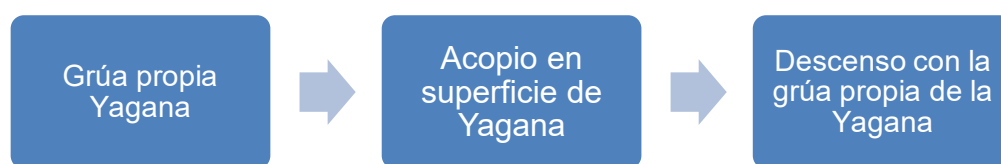


Figura 48. Secuencia lanzamiento, traslado e instalación

Fuente. Elaboración propia

8.4.1 DESCRIPCIÓN

La tercera propuesta plantea la utilización de la barcaza especializada Yagana, del tipo Pipe Laying & Derrick Crane Barge, para integrar las etapas de lanzamiento, traslado e instalación de estructuras prefabricadas en el medio marino. Inicialmente, las estructuras son izadas desde el muelle de Ventanas mediante grúas portuarias y dispuestas sobre la cubierta de trabajo de la barcaza Yagana, la cual ofrece 1.200 m² de superficie útil y una resistencia de 10 t/m², permitiendo el armado modular de las estructuras, como las de tipo campana o tronco piramidal.

El traslado hacia el sitio de instalación se realiza con remolcadores de tiro, dado que la barcaza Yagana no es autopropulsada. Una vez posicionada, su sistema de fondeo de 20 puntos y cabrestantes hidráulicos permiten una estabilización precisa en condiciones offshore. Durante la fase de instalación, se utiliza la grúa principal Clyde 42 DE, con una capacidad de hasta 500 toneladas, para el izaje y descenso controlado de los módulos estructurales hacia el lecho marino, con apoyo de ROVs, buzos y sistemas de monitoreo para asegurar el acople final.

8.4.2 DISPOSICIÓN FÍSICA DE LA ESTRUCTURA PARA LA OPERACIÓN DE LA PROPUESTA

Considerando las capacidades y el alcance técnico de la barcaza Yagana, será posible manipular e instalar las estructuras en su configuración original de diseño, sin necesidad de realizar modificaciones ni segmentaciones modulares. Esto aplicará tanto para la estructura tipo campana como para la de tipo tronco piramidal. La integridad estructural se mantendrá durante las tres etapas del proceso (lanzamiento, traslado e instalación), permitiendo una disposición unificada en todo momento.

8.4.3 RECORRIDOS REALIZADOS PARA COMPLETAR LA PROPUESTA

El recorrido definido en la presente propuesta se concentra en una única operación de traslado por cada estructura, lo que constituye uno de los principales atributos logísticos del planteamiento. Al eliminar la necesidad de dividir las estructuras en módulos, se evita la ejecución de múltiples viajes o movimientos intermedios, optimizando de manera directa el trazado y duración del recorrido marítimo.

Este enfoque permite trazar rutas más directas, reducir los puntos de detención o fondeo, y simplificar la planificación de ventanas climáticas y de mareas. En el caso particular de la estructura de aducción, el desplazamiento completo en una sola etapa minimiza la exposición prolongada en condiciones de tránsito marítimo, lo cual favorece tanto la seguridad de la carga como el cumplimiento del cronograma general. En definitiva, al priorizar un recorrido único, se mejora la trazabilidad del proceso y se reducen los tiempos operacionales vinculados al traslado.

8.4.4 EFECTOS Y RELACIÓN DE LA PROPUESTA CON EL ECOSISTEMA

La Propuesta 4, al integrar en una única operación las etapas de lanzamiento, traslado e instalación mediante el uso exclusivo de la barcaza Yagana, reduce significativamente el número de intervenciones y maniobras en el entorno marino. Esta eficiencia operativa trae consigo beneficios ambientales concretos, principalmente por la menor permanencia de equipos flotantes y embarcaciones auxiliares en la zona de intervención, lo cual reduce el riesgo de impactos acústicos subacuáticos sobre la fauna marina, especialmente en especies sensibles como cetáceos y peces pelágicos.

Además, la operación se realiza manteniendo las estructuras en su configuración original de diseño, lo que evita procesos adicionales de ensamblaje o manipulación en el mar, disminuyendo con ello la probabilidad de generación de residuos, desprendimientos o pérdidas de materiales al medio. Al eliminar

la necesidad de fondeo repetido y minimizar la resuspensión de sedimentos del fondo marino, se protege la calidad del agua y se limita la afectación sobre comunidades bentónicas, las cuales suelen ser vulnerables a cambios súbitos en turbidez o deposición de partículas.

En resumen, esta propuesta se alinea con criterios de mínima intervención y bajo impacto ambiental, favoreciendo el cumplimiento de buenas prácticas marítimas y de los principios establecidos por el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), en lo relativo a la protección de hábitats marinos y la prevención de efectos acumulativos negativos en áreas costeras de alta sensibilidad ecológica.

9 EVALUACIÓN

Para lograr obtener una alternativa o modelo de propuesta deseable, es necesario aplicar analogías determinantes para los criterios de evaluación críticos en cuestión para el caso operacional, de esta manera se dispondrán las variables más influyentes bajo procesos y operaciones previas en proyectos de desarrollo y de naturaleza similar. Bajo esta planificación de análisis, se procede a plantear el método comparativo propuesto en la presente memoria para obtener resultados cuantitativos y cualitativos, que quedan a disposición para la toma de decisión final.

9.1 METODOLOGÍA

La metodología seleccionada se basa en la aplicación de un análisis comparativo mediante la técnica trade-off, la cual permite obtener una visión tanto cuantitativa como cualitativa de las distintas alternativas propuestas, facilitando así la evaluación de su efectividad.

Para ello, se establecen criterios específicos que fundamentan la valoración de cada operación., dichos criterios, al aplicarse a cada propuesta, entregan resultados diferenciados. Además, cada criterio cuenta con una ponderación distinta según la relevancia que se le asigne dentro del caso de estudio. Con esta información se construye una matriz de evaluación, en la que se integran todos los criterios y sus valores representados en forma de puntuación, permitiendo finalmente obtener un resultado numérico comparativo, consistente y justificado en función de los criterios previamente definidos.

9.2 DETERMINACIÓN CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Los criterios de evaluación seleccionados se basan en operaciones y detalles críticos a nivel general, abordando la mayor cantidad de aristas posibles, para que de esta manera el análisis sea lo suficientemente amplio y macro para obtener un resultado tanto cualitativo como cuantitativo, lo más objetivo y útil posible al momento de la selección. Se seleccionan los siguientes aspectos a evaluar en los métodos para la presente memoria:

1. Técnisismos del Proceso

- Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural.
- Estabilidad de la estructura en el proceso de transporte bajo condiciones marinas.
- Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura.
- Precisión de instalación en el punto final (dificultad de instalación).

2. Seguridad Operacional

- Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas
- Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas
- Impacto de las operaciones en el ecosistema marino

3. Logística y aspectos constructivos

- Requerimientos de infraestructura a nivel general (lanzamiento, traslado e instalación).

- Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado.
- Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos.
- Adaptabilidad a la planificación (flexibilidad de acuerdo con los tiempos estimados para cada método).

4. Adaptabilidad de la solución y operatividad

- Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial.
- Utilización de equipos y recursos locales
- Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados.
- Frecuencia esperada de mantenimiento.
- Nivel de complejidad del procedimiento operativo.

9.3 PONDERACIÓN DE CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Los criterios de evaluación antes descritos, se ponderan según su importancia en el desarrollo del proyecto. La siguiente tabla ilustra esta ponderación en orden jerárquico:

Tabla 25 Ponderación criterios de evaluación

#	Criterio	Ponderación (%)	Justificación breve
1.	Referidos a tecnicismos del proceso completo	30%	Este criterio aborda la viabilidad técnica del método, asegurando que la estructura pueda ser transportada, lanzada e instalada de manera eficiente y segura. Es el corazón del éxito operacional.
2.	Referidos a la seguridad operacional	30%	La seguridad para personas, equipos, estructuras y medioambiente es crítica. Un accidente puede detener la operación o tener consecuencias legales, ambientales o económicas graves.
3.	Logística y aspectos constructivos	25%	Representa la viabilidad práctica, considerando los recursos disponibles, tipos de embarcación y coordinación. Tiene gran impacto en la factibilidad real y costos indirectos del método.
4.	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	Evalúa la resiliencia operativa, incluyendo el mantenimiento y la capacidad de adaptación frente a condiciones cambiantes. Aunque relevante, su peso es menor porque depende de cómo resulten los primeros tres criterios.
	Total	100%	

9.4 DEFINICIÓN ESCALA DE VALORIZACIÓN

Cada uno de los criterios indicados en el presente capítulo, puede adoptar los siguientes valores de calificación según corresponda:

Tabla 26 Escala de valorización

PUNTAJE	CRITERIO DE VALORIZACIÓN			
3	Óptimo	No requiere	Interferencia nula	Baja complejidad
2,5	Medianamente óptimo			
2	Bueno			
1,5	Medianamente bueno	Requiere sólo una modificación	Interferencia	Media complejidad
1	Regular			
0,5	Medianamente regular			
0	Malo	Requiere	Interferencia completa	Alta complejidad

9.5 ÍNDICE DE EFECTIVIDAD

A partir de la ponderación de los criterios de evaluación definidos, se establece la relación entre la valorización de los criterios de evaluación y la importancia relativa para cada uno, acorde a los requerimientos y alcances del proyecto. El parámetro obtenido se define como el Índice de Efectividad (I. Efe) y se obtiene mediante la siguiente formulación:

$$I.Efe = \sum (Criterio\ de\ evaluación * \% \ de\ ponderación)$$

9.6 ÍNDICE DE EFICIENCIA

Los costos asociados a cada alternativa de emplazamiento determinados en el capítulo anterior, se utilizan directamente el cálculo del Índice de Eficiencia mediante la siguiente formulación:

$$I.Efi = \sum \left(\frac{Criterio\ de\ evaluación * \% \ de\ ponderación}{Valor\ oferta\ económica} \right)$$

El objetivo de calcular el Índice de Eficiencia es relacionar el cumplimiento del objetivo de este tipo de proyectos en base a los criterios de evaluación, con los costos asociados a cada alternativa de implementación. De esta manera, las soluciones propuestas puedan ser comparadas mediante un único criterio, es decir, el Índice de Efectividad.

Para una comparación más fácil, los Índices de Eficiencia (I. Efi) se normalizarán por el máximo I. Efi obtenido, expresado en porcentaje.

Con lo anterior se establece una relación entre el esfuerzo para la realización del proyecto y los costos asociados a cada alternativa de implementación, de modo de obtener un índice global que indique la relación con el grado de eficiencia del uso del recurso financiero.

10 RESULTADOS

En esta memoria se presentan cuatro propuestas, tal como se señaló previamente. Para profundizar, específicamente el análisis de la planificación y de los costos incorporará ajustes específicos según el tipo de estructura de aducción considerado. Este enfoque diferenciado permitirá obtener la información comparativa y los resultados finales.

Cabe recordar que las propuestas consisten resumidamente en lo siguiente:

Propuesta 1: Hace referencia a la operación integral, la cual adapta la etapa de lanzamiento al mar por medio de una rampa de hormigón armado la cual debiese ser elaborada en su totalidad. Para luego adaptar y aplicar un procedimiento de traslado por medio de globos de levante presurizados y ajustados a cada una de las partes de las estructuras trasladadas y así remolcarlos. De esta manera se llega al punto de instalación del proyecto, en donde su correspondiente instalación consiste en el descenso controlado de las partes por medio de la despresurización controlada, con supervisión continua y ajuste mecánico en el lecho marino por medio de equipos de buceo.

Propuesta 2: Consiste en la integración operacional para la instalación de ambas estructuras, pero que tiene contemplada como etapa de lanzamiento, el uso de las grúas actuales de 30 toneladas de capacidad pertenecientes al muelle ventanas, en Quintero. Donde previo al izaje, se ajustan y regulan los globos de levante, para que una vez realizada la etapa de lanzamiento, las partes de las estructuras sean posadas en el medio marítimo, y sean trasladadas por remolque hasta el punto de instalación, Lugar en donde al igual que en la propuesta 1, se comienza a realizar el descenso controlado y supervisado hasta el fondo del lecho marino, con lo equipos de trabajo adecuados y pertinentes.

Propuesta 3: La actual propuesta consiste en el lanzamiento de las partes de las estructuras, por medio de izaje con las grúas pertenecientes al terminal marítimo ventanas, las mismas que se utilizan para la propuesta 2. De esta manera se van a descender sobre la plataforma de carga y ajustable, Jackup, la cual va a estar orillada apta para la carga de estructuras de grande envergadura. Remolcadores se harán cargo del traslado de la plataforma hasta el sitio de instalación, en donde posará sus patas de anclaje en el lecho marino, y reafirmará su estabilidad para comenzar con la operación de instalación y descenso de los módulos estructurales. Procedimiento que se hará por medio de la grúa propia de la plataforma Jack up de manera controlada y asegurada con equipo de supervisión sobre la plataforma y de manera submarina durante todo el proceso.

Propuesta 4: La siguiente propuesta consiste en integrar los tres principales procesos (lanzamiento, traslado e instalación) de manera directa y de una única sola manera. Esto se hará por medio de la barcaza Yagana, en donde el lanzamiento de hará desde el terminal marítimo de ventanas, izando cada parte de las estructuras de aducción o módulos propuestos, a través de la grúa propia de la Yagana, de esta manera posicionar las partes en su interior de manera estratégica y cómoda, para así finalmente comenzar el traslado por medio de su condición auto propulsante hasta la zona de instalación demarcada por el proyecto. Lugar en donde se realizará el descenso por medio de la grúa integrada y propia de la barcaza hasta el fondo del mar, donde se deberá tener en rotunda consideración los protocolos de control, supervisión y seguridad que respaldan dicha operación.

10.1 RESUMEN MATRIZ DE DECISIÓN

Se presentan a continuación los resultados obtenidos a partir del análisis realizado con metodología trade-off aplicado a cada una de las alternativas de implementación presentadas en las secciones anteriores.

En primera instancia se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología de Trade-Off aplicada a cada una de las alternativas mencionadas en el capítulo “8. PROPUESTAS CONSIDERADAS PARA EL DESARROLLO DEL ANÁLISIS”, para luego presentar las alternativas mejor puntuadas y que por consecuencia, se presentan como las mejores opciones de implementación acorde a la satisfacción de los requerimientos presentados en el inicio de este estudio

10.1.1 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 1A (Estructura: Campana de aducción)

Tabla 27 Matriz de evaluación propuesta 1A

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	1,50	0,45	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	0,5	—	Dado los aspectos físicos y composición modular de la estructura, es que no se alinea una compatibilidad permanente durante el proceso
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	1,0	—	Estabilidad al debe en operación de traslado. La cual incrementa el riesgo al realizarse tres veces dado la disposición modular
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	3,0	—	Funciona de buena manera la operación de lanzamiento, no generando un alto riesgo de daño en las estructuras si se hace de forma controlada y supervisada
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	1,5	—	Su instalación y posicionamiento en el punto de operación (lecho marino) no implicará mayores complicaciones si se siguen los protocolos
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	0,33	0,10	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	0,5	—	Riesgo medianamente alto dado el trabajo con condiciones inciertas y riesgo operacional técnico en etapas de traslado e instalación. Considerando etapa de construcción.
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	0,5	—	Riesgo medianamente alto, dado la exposición generada por los tiempos de operación
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	0,0	—	Existe material y desechos constructivos, además de posibles acciones contaminantes en el resto de las operaciones
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	1,00	0,25	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	0,5	—	Requiere la rápida construcción de un muelle de hormigón armado para las operaciones de lanzamiento
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	2,0	—	Requiere de barcasas remolcadoras que son de obtención y tramitación accesible en cuanto a disponibilidad
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	0,5	—	Requiere indispensablemente contacto permanente con todos los equipos participantes de la conexión de los procesos

3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	1,0	—	Un cambio en la planificación inicial trae repercusiones financieras considerables
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,20	0,18	
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	0,5	—	No es viable operar bajo condiciones climáticas adversas
4.2	Utilización equipos y recursos locales	—	1,0	—	La etapa de construcción genera dependencia de equipos, M.O y materiales externos a lo que ofrece las cercanías del muelle
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	2,5	—	Sistema simple con desgaste controlado que no implica profundizar a detalle
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	2,0	—	Inserto en un ambiente más propenso a fallas e imperfecciones en las operaciones
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	0,0	—	Posee complejidad operativa en sentido de protocolos de inspección y seguridad.

10.1.2 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 2A (Estructura: Campana de aducción)

Tabla 28 Matriz de evaluación propuesta 2A

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	0,88	0,26	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	0,0	—	Dado los aspectos físicos y modular de la estructura, esta no se alinea ni compatibiliza con las características base del proceso. El izado es determinante en esta decisión
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	1,0	—	Estabilidad al debe en una sola operación de traslado, lo cual se ve incrementado de manera inevitable por las condiciones físicas de la estructura que conlleva a asumir el riesgo tres veces mínimo
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	1,0	—	Posee un riesgo medio alto pero controlable en el proceso de izaje u operación de lanzamiento
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	1,5	—	Su instalación y posicionamiento en el punto de operación (lecho marino) no implicará mayores complicaciones si se siguen los protocolos y evaluaciones establecidas
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	1,50	0,45	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	1,5	—	Riesgo controlado dado a trabajo con condiciones inciertas y riesgo operacional técnico en etapas de traslado e instalación
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	1,0	—	Riesgo medianamente alto, al tener en consideración una mayor exposición por los tiempos operacionales
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	2,0	—	No conlleva a un impacto significativo, más allá que por las oscilaciones generadas por su traslado en el medio, pero que independientemente de esto se clasifica como referentemente buena
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	1,75	0,44	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	2,0	—	No implica construcciones o infraestructura auxiliar, solo en caso de que sea necesario y fuera de lo pronosticado
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	2,0	—	Requiere de barcasas remolcadoras que son de obtención y tramitación accesible en cuanto a disponibilidad
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	1,0	—	Requiere indispensablemente contacto permanente con todos los equipos participantes de la conexión de los procesos, para cada una de las etapas, dado a que es dependiente de cada uno para su correcto funcionamiento

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	2,0	—	Un cambio en la planificación inicial trae repercusiones indudablemente, y principalmente en costos, pero no a un grado o nivel significativo
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,10	0,17	
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	0,0	—	No es viable operar bajo condiciones climáticas adversas en las etapas de traslado e instalación
4.2	Utilización equipos y recursos locales	—	3,0	—	Todo lo utilizado en esta propuesta posee la virtud de ser utilizado de manera frecuente en la bahía, por lo que los equipos, materiales y accesorios a utilizar, son de rápido y fácil acceso posterior a las tramitaciones correspondientes
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	1,0	—	No posee desgastes significativos a excepción de la evaluación de condiciones de operación de la grúa para el lanzamiento
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	0,5	—	El equipamiento independiente utilizado en relación con el resto de las propuestas es mayor por lo que se asume que su inspección y mantenimiento es mayor, considerando además el ambiente en el cual se proyecta su operatividad
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	0,5	—	Posee complejidad neta en el ámbito logístico y en el sentido de maniobrabilidad. Lo cual implica profesionales y expertos en cada una de las operaciones. Más allá de lo anterior, la naturaleza del método agiliza mucho el proceso

10.1.3 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 3A (Estructura: Campana de aducción)

Tabla 29 Matriz de evaluación propuesta 3A

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	2,00	0,60	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	1,5	—	La seguridad y naturaleza dimensional de la estructura es medianamente compatible y segura con el entorno en cada etapa del proceso
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	3,0	—	Independiente de factores adversos, la plataforma aporta estabilidad asegurada en cada momento
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	1,0	—	El descenso no es proyectado a tanta altura, por lo que se podría evitar daños y obtener un buen funcionamiento del proceso si se dispone de buena supervisión y una correcta zona de descarga
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	2,5	—	El descenso implica un posicionamiento controlado y ajustado a las propiedades de cada estructura, por lo que la probabilidad de que el procedimiento sea exitoso (puesto en el punto de operación sin dificultades) es medianamente alta
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	1,83	0,55	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	2,0	—	No conlleva a riesgos significativos para el personal de trabajo dado que no existe demasiada exposición de estos mismos en el transcurso de la operación de la propuesta, más allá de los operadores de maquinaria y encargado de ajustes de accesorios en zonas seguras
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	2,0	—	Las etapas inminentemente más críticas con respecto a este aspecto son las operaciones de lanzamiento e instalación, pero que bajo una supervisión rigurosa repercuten en una evaluación medianamente buena en cuanto a la integridad de la estructura
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	1,5	—	Operación localizada, con control y menor intrusión. Pero que independiente a lo anterior, por la cantidad de operaciones y tiempo de exposición de las labores operacionales, generará un impacto mayor
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	1,00	0,25	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	2,0	—	No conlleva a construcción de infraestructura anexa, pero si requiere anticipación y planificación especial
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	0,0	—	Embarcaciones escasas y difíciles de conseguir

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	1,5	—	Requiere conexión y comunicación con el resto de los equipos para los procesos, sobre todo para su remolque, pero de igual manera el hecho de ser una plataforma con equipos independientes genera un cierto grado de desvinculación con el resto
3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	0,5	—	Un descuadre en la planificación podría generar serios percances en la logística y por consecuencia en disponibilidad y valores
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,20	0,18	
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	2,0	—	Solo podría verse interferido en la etapa de instalación, pero no implica una limitancia operacional
4.2	Utilización de equipos y recursos locales	—	0,5	—	Utilizará solo las grúas del terminal portuario para las labores operacionales del sistema
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	0,5	—	Al generar algún desperfecto en cualquiera de los elementos constituyentes del sistema, generan incerteza por la gran cantidad de componentes que son parte del sistema
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	2,0	—	Solo podría generar un mantenimiento relativamente más periódico la grúa operacional del muelle, dado que se asume que la plataforma está en condiciones óptimas para la operación y de haber desperfectos, estos se manifiestan en plazos considerables
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	1,0	—	Posee complejidad neta en lo logístico (recorridos por hacer) y en el sentido de maniobrabilidad. Lo cual implica profesionales y expertos en cada una de las operaciones. Más allá de lo anterior, la naturaleza del método agiliza mucho el proceso

10.1.4 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 4A (Estructura: Campana de aducción)

Tabla 30 Matriz de evaluación propuesta 4A

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	2,13	0,64	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	2,5	—	La seguridad y naturaleza dimensional de la estructura es completamente compatible y segura con el entorno en gran parte del proceso
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	3,0	—	Independiente de factores adversos, la barcaza aporta estabilidad asegurada en cada momento dado el favorable dimensionamiento de la barcaza
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	1,0	—	El izaje realizado por la propia grúa de la barcaza podría generar dudas operacionales, ligado a la cantidad de movimientos que conlleva la operación
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	2,0	—	El descenso implica un posicionamiento controlado y ajustado a las propiedades de cada estructura, por lo que la probabilidad de que el procedimiento sea exitoso (puesto en el punto de operación sin dificultades) es medianamente alta
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	2,33	0,70	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	2,5	—	No conlleva a riesgos significativos para el personal de trabajo dado que no existe demasiada exposición de estos mismos en el transcurso de la operación de la propuesta, más allá de los operadores de maquinaria y encargado de ajustes de accesorios en zonas seguras
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	2,5	—	En aspectos generales del proceso la integridad de los módulos de la estructura se ven medianamente alto exentos de daños
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	2,0	—	Operación localizada, con control y menor intrusión. Pero que independiente a lo anterior, podría interferir en el desarrollo natural y normal del ecosistema existente en relación con el resto de las propuestas dado los efectos de las dimensiones e interacción con el medio.
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	1,38	0,34	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	3,0	—	No conlleva a construcción de infraestructura anexa
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	0,0	—	Embarcaciones escasas y difíciles de conseguir

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	2,0	—	No requiere conexión y comunicación con el resto de los equipos para los procesos. Se desvincula en cierto grado con el equipo logístico a partir de la etapa de lanzamiento.
3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	0,5	—	Un descuadre en la planificación podría generar serios percances en la logística y por consecuencia en disponibilidad y valores
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,80	0,27	
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	2,0	—	Solo podría verse interferido en la etapa de instalación, pero no implica una limitancia operacional
4.2	Utilización de equipos y recursos locales	—	0,0	—	No utiliza ningún equipo, material o artefacto a disposición del terminal o de la bahía local en el proceso operacional
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	3,0	—	Al corresponder a características técnicas propias de la barcaza, su disposición y distribución de partes y componentes vienen testificadas y respaldadas en el manual de especificaciones técnicas propias de la empresa que ofrece el servicio de prestación
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	3,0	—	Totalmente independiente de equipos auxiliares a la barcaza, por lo que de haber fallas no implicaría hacer mantenciones periódicas si se asume que la barcaza Yagana se encuentra en condiciones óptimas
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	1,0	—	Se asume una complejidad nula o extremadamente baja en un margen generalizado de operación y de acuerdo al contexto de estudio

10.1.5 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 1B (Estructura: Tronco piramidal)

Tabla 31 Matriz de evaluación propuesta 1B

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	2,38	0,71	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	2,5	—	Cumple de buena manera y casi segura la compatibilidad de la estructura
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	2,0	—	Estabilidad asegurada en caso de seguir protocolos adecuados y respetar el desarrollo de operaciones hasta en condiciones no óptimas
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	2,5	—	Funciona efectivamente la operación de lanzamiento, y no genera alto riesgo si se supervisa y controla
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	2,5	—	Su instalación y posicionamiento en el punto de operación (lecho marino) no implicará mayores complicaciones si se siguen los protocolos y evaluaciones establecidas
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	2,17	0,65	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	1,5	—	Riesgo en cierta medida latente dado a trabajo con condiciones inciertas y riesgo operacional técnico en etapas de traslado e instalación y por sobre todo en las etapas de construcción de la rampa.
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	2,5	—	Nivel de daño menor dado a la baja exposición a generarlos
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	2,5	—	Altamente invasivo en el medio marino, esto dado a la construcción con uso de material contaminante durante la ejecución de la rampa. Por otro lado, por la ocupación continua del medio marino en todos los procesos
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	1,88	0,47	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	0,5	—	Requiere la rápida construcción de un muelle de hormigón armado para las operaciones de lanzamiento
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	2,0	—	Requiere de barcasas remolcadoras que son de obtención y tramitación accesibles en cuanto a disponibilidad
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	2,5	—	Requiere indispensablemente contacto permanente, sobre todo en la construcción
3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	2,5	—	Un cambio en la planificación inicial trae repercusiones indudablemente en costos, a nivel medianamente significativo

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,30	0,20	
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	1,0	—	Es muy difícil realizar operaciones bajo condiciones climáticas adversas en la etapa de traslado e instalación
4.2	Utilización equipos y recursos locales	—	2,0	—	La etapa de construcción genera dependencia de equipos, mano de obra y materiales externo a lo que ofrece las cercanías del muelle.
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	2,0	—	Sistema simple con desgaste controlado que no implica profundizar a detalle
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	1,0	—	Inserto en un ambiente más propenso a fallas
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	0,5	—	Posee complejidad operativa en sentido de protocolos de inspección y seguridad

10.1.6 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 2B (Estructura: Tronco piramidal)

Tabla 32 Matriz de evaluación propuesta 2B

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	2,25	0,68	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	2,5	—	Cumple regular y casi segura la compatibilidad de la estructura de aducción con cada etapa del proceso. El punto débil de la operación se centra en el lanzamiento por grúa al medio marino
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	2,0	—	Estabilidad potencialmente asegurada en caso de seguir protocolos adecuados y respetar el desarrollo de operaciones
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	2,0	—	De acuerdo con las dimensiones, pesos de la estructura, y su descenso directamente desde muelle a mar podría generar un potencial daño en la integridad de estas
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	2,5	—	Su instalación y posicionamiento en el punto de operación no implica mayores complicaciones
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	2,00	0,60	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	2,0	—	Riesgo latente en traslado e instalación principalmente
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	2,0	—	El riesgo significativo que corre la integridad de la estructura viene manifestado en el izaje de la estructura en el lanzamiento
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	2,0	—	No conlleva a un impacto significativo, más allá que por las oscilaciones generadas por su traslado en el medio
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	2,13	0,53	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	2,5	—	No implica construcciones o infraestructura auxiliar, solo en caso de que sea necesario y fuera de lo pronosticado. De todas maneras, se castiga por cierto grado de resguardo
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	2,0	—	Requiere de barcasas remolcadoras accesibles en su disponibilidad
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	1,5	—	Requiere de contacto permanente y toma de decisiones en conjunto para evitar desfases o desajustes
3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	2,5	—	Un cambio en su planificación conlleva repercusiones en costos en un nivel medio
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,60	0,24	

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	1,0	—	No es posible realizar ningún tipo de operaciones, ya sea por seguridad y por la acreditación de eficiencia en la instalación
4.2	Utilización equipos y recursos locales	—	2,5	—	Algunos de los artefactos y equipos se encuentran disponibles para arriendo o solicitud en la misma bahía
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	2,0	—	Desgaste no significativo, a excepción de las condiciones de las grúas para el lanzamiento
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	2,0	—	El equipamiento en relación con el resto de las propuestas es mayor. Por lo que se asume que requiero de mayor inspección y mantenimiento. Además de considerar el ambiente en donde opera
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	0,5	—	Complejidad operativa en sentido de protocolos de inspección y seguridad

10.1.7 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 3B (Estructura: Tronco piramidal)

Tabla 33 Matriz de evaluación propuesta 3B

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	2,88	0,86	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	3,0	—	Compatibilidad y seguridad media de la estructura en cada etapa del proceso
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	3,0	—	Independiente de factores adversos, la plataforma aporta estabilidad asegurada en cada momento
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	2,5	—	El riesgo no es mayor, y se ve todavía más reducido considerando que el tiempo de operación y exposición es menor a otro tipo de estructura
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	3,0	—	El descenso implica un posicionamiento controlado y ajustado a las propiedades de la estructura. Por lo que la probabilidad de éxito es medianamente buena
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	2,33	0,70	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	2,5	—	Riesgo controlado dado a trabajo con condiciones inciertas y riesgo operacional
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	3,0	—	Casi no hay riesgo considerando la estabilidad y seguridad propia de la plataforma Jackup, pero si en las etapas de lanzamiento e instalación
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	1,5	—	Tiempo de exposición dado las operaciones podría influir y generar un impacto mayor
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	1,13	0,28	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	2,0	—	No conlleva construcción anexa, pero si requiere anticipación y planificación especial
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	0,0	—	Plataforma difícil de conseguir, en términos de disponibilidad, costo y logística
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	1,0	—	Requiere conexión y comunicación con el resto de los equipos para los procesos, sobre todo para su remolque. Al ser una plataforma con equipos independientes genera un cierto grado de desvinculación con el resto
3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	1,5	—	Un descuadre en la planificación podría generar serios percances en la logística y por consecuencia en disponibilidad y valores

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,90	0,29	
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	2,5	—	Solo podría verse interferido en la etapa de instalación, pero no implica una limitancia operacional
4.2	Utilización equipos y recursos locales	—	0,5	—	Solo se ocupa la grúa propia del terminal, como recurso y equipo local
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	2,5	—	Sistema simple, pero con desgaste frecuente que no implica profundizar a detalle
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	2,5	—	Se asume que la plataforma está en óptimas condiciones para operar, y de haber mantenciones continuas sería en relación con las grúas participantes en el lanzamiento
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	1,5	—	Complejidad en protocolos de inspección, seguridad

10.1.8 MATRIZ PARA LA PROPUESTA 4B (Estructura: Tronco piramidal)

Tabla 34 Matriz de evaluación propuesta 4B

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
1.0	Referidos a Tecnicismos del proceso completo	30%	2,75	0,83	
1.1	Compatibilidad del método con respecto al diseño estructural	—	3,0	—	Cumple de buena manera y casi segura la compatibilidad de la estructura
1.2	Estabilidad de la estructura bajo el proceso de transporte bajo condiciones marinas	—	3,0	—	Estabilidad asegurada en caso de seguir protocolos adecuados y respetar el desarrollo de operaciones
1.3	Maniobra de lanzamiento para la integridad de la estructura	—	2,5	—	No genera un alto riesgo de daño en las estructuras si se hace de forma controlada y supervisada
1.4	Precisión de instalación en el punto final (factibilidad de instalación)	—	2,5	—	Su instalación y posicionamiento en el punto de operación está ligada principalmente al buen manejo de los buzos
2.0	Referidos a la Seguridad Operacional	30%	2,33	0,70	
2.1	Riesgos para el personal y equipo de trabajo en cada una de las etapas	—	2,5	—	Bajas condiciones de riesgo para el personal si se siguen rigurosamente los protocolos de operación de la barcaza
2.2	Daño e integridad de la estructura en cada una de las etapas	—	3,0	—	La integridad de la estructura es altamente resguardada cada parte del proceso para este tipo de estructura
2.3	Impacto de las operaciones en el ecosistema marino	—	1,5	—	Genera un impacto no mayor en el medio, pero lo genera por hecho de operar inserto en el mismo. Da mayor puntuación por su recortado tiempo operacional
3.0	Logística y aspectos constructivos	25%	1,38	0,34	
3.1	Requerimientos de infraestructura a nivel general (Lanzamiento, traslado e instalación).	—	2,0	—	Requiere la rápida construcción de un muelle de hormigón armado para las operaciones de lanzamiento
3.2	Tipo de embarcaciones necesarias para el traslado	—	0,0	—	Requiere de barcasas remolcadoras de baja disponibilidad (1 disponible a nivel nacional)
3.3	Coordinación logística entre equipos terrestres, marítimos y subacuáticos	—	2,0	—	El contacto es esencial pero esta propuesta conlleva características de independencia considerables para realizar el proceso
3.4	Planificación y relación de cumplimiento con estimación de duraciones de la propuesta	—	1,5	—	El proyecto podría verse seriamente afectado en términos económicos principalmente en caso de incumplir con lo planificado
4.0	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	1,70	0,26	

#	Criterios	Máximo	Valor	Valor Ponderado	Justificación de Valor
4.1	Capacidad de operar bajo variabilidad climática y escenarios adversos, sin afectar el cronograma inicial	—	2,0	—	No es viable operar bajo condiciones climáticas adversas
4.2	Utilización equipos y recursos locales	—	0,0	—	Nada de lo que conlleva el procedimiento, está en disposición local, debiese coordinarse desde zonas externas
4.3	Facilidad de mantenimiento de los sistemas involucrados	—	2,5	—	Sistema simple, pero con desgaste frecuente que no implica profundizar a detalle
4.4	Frecuencia esperada de mantenimiento	—	2,5	—	Inserto en un ambiente más propenso a fallas e imperfecciones en las operaciones
4.5	Nivel de complejidad del procedimiento operativo	—	1,5	—	Posee complejidad operativa en sentido de protocolos de inspección, seguridad, monitoreo por la naturalidad en que se presenta la solución de la propuesta

10.1.9 MATRIZ DE DECISIÓN DE LAS PROPUESTAS

(Estructura: Campana de aducción)

Tabla 35 Resumen de ponderaciones propuestas A

#	Criterio de Evaluación	Ponderación %	Propuesta 1A	Propuesta 2A	Propuesta 3A	Propuesta 4A
1°	Referidos a tecnicismos del proceso completo	30%	0,45	0,26	0,60	0,64
2°	Referidos a la seguridad operacional	30%	0,10	0,45	0,55	0,70
3°	Logística y aspectos constructivos	25%	0,25	0,44	0,25	0,34
4°	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	0,18	0,17	0,18	0,27
	Totales (I. Efectividad)	1	0,98	1,32	1,58	1,95

(Estructura: Tronco piramidal)

Tabla 36 Resumen de ponderaciones propuestas B

#	Criterio de Evaluación	Ponderación %	Propuesta 1B	Propuesta 2B	Propuesta 3B	Propuesta 4B
1°	Referidos a tecnicismos del proceso completo	30%	0,68	0,49	0,64	0,68
2°	Referidos a la seguridad operacional	30%	0,30	0,45	0,75	0,75
3°	Logística y aspectos constructivos	25%	0,31	0,44	0,28	0,38
4°	Adaptabilidad de la solución y operatividad	15%	0,17	0,20	0,23	0,32
	Totales (I. Efectividad)	1	1,45	1,57	1,89	2,12

10.2 ANÁLISIS Y PLANIFICACIÓN DE LAS PROPUESTAS

A continuación, se analizará de manera macro y generalizada la programación de los tiempos considerados para la operatividad de las propuestas evaluadas. La planificación se desarrolla en función de las cuadrillas requeridas, la secuencia lógica de las actividades y la envergadura de las operaciones definidas según los equipos a emplear en cada alternativa. Este análisis permite visualizar la coherencia entre los recursos asignados y los plazos estimados, identificando los hitos principales y las dependencias críticas que condicionan el desarrollo de las faenas.

De esta forma, las siguientes cartas Gantt reflejan la estructuración temporal de cada propuesta, facilitando la comparación de su eficiencia y factibilidad operativa.

10.2.1 ESTIMACIÓN DE PLANIFICACIÓN PROPUESTA 1

Correspondiente a la estructura tipo torre de captación (tronco piramidal):

Actividad / Semana	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19
Coordinación y reuniones de arranque																			
Proceso de acreditación																			
Preparación sitio y logística																			
- Limpieza y nivelación del terreno																			
- Movilización de materiales y equipos																			
Construcción rampa de hormigón																			
- Armado de cimbra y enfierradura																			
- Hormigonado y fraguado																			
Preparación módulos de estructura																			
- Montaje de módulos seccionados																			
- Instalación de rodillos y soporte inicial																			
Preparación flotación (globos / balsas)																			
Desplazamiento por rodillos																			
Transporte marítimo de módulos																			
Descenso y fijación fondo marino																			
- Posicionamiento y control por ROV / buzos																			
- Ajustes finales y verificación estructural																			
Supervisión y eventualidades																			

Figura 49. Planificación estimada propuesta 1B

Correspondiente a la estructura tipo campana de aducción:

	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8			
Actividad / Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Coordinación y permisos																																
Proceso de acreditación																																
Construcción rampa																																
Preparación módulo tramo inferior																																
Transporte módulo tramo inferior																																
Descenso / fijación módulo tramo inferior																																
Retorno recursos																																
Preparación tramo central																																
Transporte tramo central																																
Descenso / fijación tramo central																																
Retorno recursos																																
Preparación tramo superior																																
Transporte tramo superior																																
Descenso / fijación tramo superior																																
Supervisión / eventualidades																																

Figura 50. Planificación estimada propuesta 1A

10.2.2 ESTIMACIÓN DE PLANIFICACIÓN PROPUESTA 2

Correspondiente a la estructura tipo torre de captación (tronco piramidal):

Actividad / Semana	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Coordinación / permisos grúa																
Proceso de acreditación																
Lanzamiento																
Preparación módulo tramo inferior																
Lanzamiento módulo tramo inferior																
Traslado																
Transporte módulo base principal																
Instalación																
Descenso / fijación módulo tramo inferior																
Ajustes finales y verificación estructural																
Supervisión y eventualidades																

Figura 51. Planificación estimada propuesta 2B

Correspondiente a la estructura tipo campana de aducción:

	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8
Actividad / Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Coordinación / permisos grúa																													
Proceso de acreditación																													
Lanzamiento 1																													
Preparación módulo tramo inferior																													
Lanzamiento módulo tramo inferior																													
Traslado 1																													
Transporte módulo tramo inferior																													
Instalación 1																													
Descenso / fijación módulo tramo inferior																													
Retorno recursos																													
Preparación módulo tramo central																													
Lanzamiento 2																													
Lanzamiento módulo tramo central																													
Traslado 2																													
Transporte módulo tramo central																													
Instalación 2																													
Descenso / fijación módulo tramo central																													
Retorno recursos																													
Preparación módulo tramo superior																													
Lanzamiento 3																													
Lanzamiento módulo tramo superior																													
Transporte módulo tramo superior																													
Instalación 3																													
Descenso / fijación módulo tramo superior																													
Supervisión / eventualidades																													

Figura 52. Planificación estimada propuesta 2A

10.2.3 ESTIMACIÓN DE PLANIFICACIÓN PROPUESTA 3

Correspondiente a la estructura tipo torre de captación (tronco piramidal):

Actividad / Semana	Mes 1				Mes 2				Mes 3			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Coordinación / permisos jackup												
Proceso acreditación												
Lanzamiento												
Preparación módulo principal de estructura												
Izaje de base de estructura a jackup												
Transporte jackup al punto de operación												
Instalación												
Descenso / fijación base de hormigón armado												
Supervisión / eventualidades posteriores												

Figura 53. Planificación estimada propuesta 3B

Correspondiente a la estructura tipo campana de aducción:

Actividad / Semana	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Coordinación y reuniones de arranque																		
Proceso acreditación																		
Lanzamiento																		
Preparación módulo 1																		
Izaje módulo 1 a jackup																		
Preparación módulo 2 (traslape)																		
Izaje módulo 2 a jackup																		
Preparación módulo 3 (traslape)																		
Izaje módulo 3 a jackup																		
Transporte jackup al punto de operación																		
Instalación																		
Descenso / fijación módulo 1																		
Descenso / fijación módulo 2																		
Descenso / fijación módulo 3																		
Supervisión / eventualidades posteriores																		

Figura 54. Planificación estimada propuesta 3A

10.2.4 ESTIMACIÓN DE PLANIFICACIÓN PROPUESTA 4

Correspondiente a la estructura tipo torre de captación (tronco piramidal):

Actividad / Semana	Mes 1				Mes 2				Mes 3		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Coordinación / permisos jackup											
Proceso acreditación											
Lanzamiento											
Preparación módulo principal de estructura											
Izaje de base de estructura a yagana											
Transporte yagana al punto de operación											
Instalación											
Descenso / fijación base de hormigón armado											
Supervisión / eventualidades posteriores											

Figura 55. Planificación estimada propuesta 4B

Correspondiente a la estructura tipo campana de aducción:

Actividad / Semana	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Coordinación y reuniones de arranque																	
Proceso acreditación																	
Lanzamiento																	
Preparación módulo 1																	
Izaje módulo 1 a superficie yagana																	
Preparación módulo 2 (traslape)																	
Izaje módulo 2 a superficie yagana																	
Preparación módulo 3 (traslape)																	
Izaje módulo 3 a superficie yagana																	
Transporte yagana al punto de operación																	
Instalación																	
Descenso / fijación módulo 1																	
Descenso / fijación módulo 2																	
Descenso / fijación módulo 3																	
Supervisión / eventualidades posteriores																	

Figura 56. Planificación estimada propuesta 4A

10.2.5 RESUMEN DE PLANIFICACIÓN

Se consideraron para la estimación de duraciones, 5 días semanales de trabajo, lo que equivale a 20 días hábiles mensuales, con una duración de 8 horas de trabajo diario. Con lo anterior se llega a lo siguiente.

Tabla 37 Resumen de duraciones para cada una de las propuestas

	Filtro Campana de Aducción (A)	Filtro Tronco Piramidal (B)
Propuesta 1	31 semanas	19 semanas
Propuesta 2	29 semanas	16 semanas
Propuesta 3	28 semanas	12 semanas
Propuesta 4	17 semanas	11 semanas

10.3 ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS

A continuación, se presentará un análisis de costos estimados para cada uno de los elementos fundamentales de cada etapa, de manera de obtener una integración completa del proceso en términos cuantitativos y de costos.

Etapas de lanzamiento

Tabla 38 Costo de elementos requeridos para la etapa de lanzamiento

Opción	Costo Estimado CLP
Grúa del muelle (arriendo)	\$569.760 /día
Fabricación de rampa en la costa	\$93.250.000
Grúa propia de barcaza Yagana (Costo arriendo)	\$46.000.000

El valor de la grúa del muelle ventanas, considera solo el arriendo del equipo, es decir, no considera ni integra costos de capacitación.

Por otro lado, el valor considerado para la fabricación y construcción de un muelle, como opción de lanzamiento, anticipa de manera general el costo de construcción considerando los siguientes aspectos:

- Materiales (acero, concreto, etc.)
- Mano de obra (trabajadores y técnicos)
- Maquinaria (excavadoras, grúas, etc.)
- Transporte de materiales
- Costos de operacionales y administrativos

Costos directos de equipos y accesorios requeridos

Tabla 39 Costo de equipamiento requerido

Opción	Costo Diario Estimado (CLP)	Consideraciones
Globos de levante	\$480.000 c/u	Valor unitario (depende de la cantidad total)
Barcaza Yagana	\$46.000.000	Varía según el tiempo de la propuesta
Plataforma Jackup	\$35.000.000	Varía según el tiempo de la propuesta
Remolcadores	\$5.600.000	Valor considerado por las 8 horas de trabajo diario

Costos por servicio de uso de puerto y otros servicios:

Remolcadores

- Tipo de remolcador: Yunco, SAAM Towage Chile Spa.
- T.R.G: 496
- Eslora: 32 [m]
- Característica nave: nave menor, según carta 125 EPA.

Valor en \$US por T.R.G: \$0,19 USD

Valor total por uso de remolcador: \$ 94,24 USD $\approx$ \$ 90.863,38 CLP

Uso de muelle

- Valor arriendo y uso de grúa del muelle: \$71.220/H (Referencia: EMPORMONTT)
- Valor uso de muelle nave (general): 2.17 USD / MEH (Referencia: EMPORMONTT)

Tal como se menciona en las consideraciones de la tabla anterior, es que los valores son globales y no precisos en el sentido de que varían según la cantidad de días de desarrollo de las propuestas y por la cantidad necesaria en cada caso.

Etapas de instalación

Tabla 40 Costos relevantes en etapa de instalación

Opción de Instalación	Costo Estimado Diario (CLP)
Descenso Controlado (Despresurización de Flotadores)	\$12.000.000
Descenso por Izaje hasta el Fondo Marino	Variable

El costo considerado para el izaje hasta el punto de operación corresponde a un cierto porcentaje del costo total del arriendo de la barcaza Yagana o Jackup, dependiendo del caso y por consiguiente, dependiente del tiempo en que se dispondrá de su utilización.

A continuación, se presentan los costos de la mano de obra necesaria para la realización de las operaciones, con su respectiva cantidad de personal de manera genérica para todas las propuestas presentadas. Todos estos costos están asociados y son provenientes de fuentes cerradas, de anteproyecto y valorizaciones de proyectos previos en distintas bahías de Chile durante el año 2024.

Tabla 41 Valores de personal específico para las labores operacionales de las propuestas

	Cantidad Personal	Valor por día	Valor por Cant Pers.
Mano de obra Maniobra			
Capataz	1	\$ 159.200	\$ 159.200
Ayudante	3	\$ 113.000	\$ 339.000
	Valor total	\$ 272.200	\$ 498.200
Mano de obra Buceo			
Supervisor buceo	2	\$ 234.000	\$ 468.000
Buzo comercial	6	\$ 212.000	\$ 1.272.000
Patrón de nave	2	\$ 190.000	\$ 380.000
Ayudante tripulante	2	\$ 119.600	\$ 239.200
	Valor total	\$ 755.600	\$ 2.359.200
Mano de obra Apoyo buceo			
Supervisor buceo	1	\$ 234.000	\$ 234.000
Buzo comercial	2	\$ 212.000	\$ 424.000
Patrón de nave	1	\$ 190.000	\$ 190.000
Ayudante tripulante	1	\$ 119.600	\$ 119.600
	Valor total	\$ 755.600	\$ 967.600
Mano de obra Administrativa			
Administrador	1	\$ 234.000	\$ 234.000
Supervisor	1	\$ 190.000	\$ 190.000
Calidad	1	\$ 159.200	\$ 159.200
Oficina técnica	1	\$ 159.200	\$ 159.200
Administrativo	1	\$ 132.800	\$ 132.800
APR	1	\$ 159.200	\$ 159.200
	Valor total	\$ 1.034.400	\$ 1.034.400
Mano de obra Faena			
Guardia	6	\$ 124.000	\$ 744.000
Limpieza	4	\$ 115.200	\$ 460.800
Maestro	2	\$ 132.800	\$ 265.600
Ayudante	2	\$ 124.000	\$ 248.000
	Valor total	\$ 496.000	\$ 1.718.400

En base a lo anterior se tienen los siguientes costos por propuesta, Esto dado y tomando en cuenta todo lo correspondiente a las etapas más influyentes en las operaciones de las propuestas. Es decir, mano de obra, costos operativos de trabajos específicos y materiales utilizados en cada caso.

Cabe recordar que los costos están respaldados bajo experiencia de proyectos previos de fuentes cerradas.

A continuación, se detalla la evaluación de los costos para cada una de las propuestas bajo análisis.

Propuesta 1A (Estructura: Tipo Campana)

Tabla 42 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 1A

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 1A (Campana de aducción)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	265,92
1.4	Gestión logística y coordinación	GL	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	329,23
2.0	Construcción rampa					
2.1	Mano de obra cuadrilla	día	20	\$ 652.968	\$ 13.059.360	330,74
2.2	Excavadora	día	5	\$ 777.600	\$ 3.888.000	98,47
2.3	Hormigón	m3	80	\$ 138.098	\$ 11.047.840	279,79
2.4	Refuerzos A63 - 42H	Kg	8400	\$ 1.200	\$ 10.080.000	255,28
2.5	Transporte materiales	Gl	1	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	151,95
2.6	Otros gatos asociados a materiales	Gl	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	253,26
3.0	House Keeping					
3.1	Mano de obra maniobra	día	3	\$ 509.544	\$ 1.528.632	38,71
3.2	Mano de obra buceo	día	3	\$ 2.547.936	\$ 7.643.808	193,58
3.3	Traslado de elementos	un	3	\$ 1.026.000	\$ 3.078.000	77,95
3.4	Desechos	Gl	1	\$ 4.320.000	\$ 4.320.000	109,41
4.0	Lanzamiento					
3.1	Mano de obra maniobra	día	15	\$ 509.544	\$ 7.643.160	193,57
3.2	Globos de levante presurizados	un	4	\$ 480.000	\$ 1.920.000	48,63
3.3	Etapas de tiro al mar	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	265,92
5.0	Traslado					
5.1	Preparación de módulos	un	3	\$ 550.000	\$ 1.650.000	41,79
5.2	Remolcadores de tiro	día	2	\$ 2.700.000	\$ 5.400.000	136,76
5.3	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	4,71
5.4	Mano de obra buceo	día	95	\$ 2.547.936	\$ 242.053.920	6130,17
5.5	Apoyo equipo extra buceo	día	95	\$ 2.547.936	\$ 242.053.920	6130,17
6.0	Instalación					
6.1	Mano de obra buceo	día	15	\$ 2.547.936	\$ 38.219.040	967,92
6.2	Equipos ROV	día	15	\$ 2.500.000	\$ 37.500.000	949,71
6.3	Supervisión terrestre y marítima	día	155	\$ 1.500.000	\$ 232.500.000	5888,22
7.0	Gastos Administrativos					
7.1	Mano de obra administrativa	mes	8	\$ 34.400.570	\$ 275.204.560	6969,74
7.2	Mano de obra faena	mes	4	\$ 32.741.690	\$ 130.966.760	3316,82
7.3	Baños químicos	mes	4	\$ 3.370.010	\$ 13.480.040	341,39
7.4	Generador eléctrico	mes	4	\$ 4.774.010	\$ 19.096.040	483,62
7.5	Oficinas	mes	4	\$ 1.922.810	\$ 7.691.240	194,79
7.6	Bodegas	mes	4	\$ 1.372.010	\$ 5.488.040	138,99
				Total	\$ 1.365.698.360	34587,21

Propuesta 1B (Estructura: Tipo Tronco Piramidal)

Tabla 43 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 1B

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 1B (Filtro tronco piramidal)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 265,92
1.4	Gestión logística y coordinación	Gl	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	\$ 329,23
2.0	Construcción rampa					
2.1	Mano de obra cuadrilla	día	20	\$ 652.968	\$ 13.059.360	\$ 330,74
2.2	Excavadora	día	5	\$ 777.600	\$ 3.888.000	\$ 98,47
2.3	Hormigón	m ³	80	\$ 138.098	\$ 11.047.840	\$ 279,79
2.4	Refuerzos A63 - 42H	Kg	8400	\$ 1.200	\$ 10.080.000	\$ 255,28
2.5	Transporte materiales	Gl	1	\$ 6.000.000	\$ 6.000.000	\$ 151,95
2.6	Otros gatos asociados a materiales	Gl	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ 253,26
3.0	House Keeping					
3.1	Mano de obra maniobra	día	3	\$ 498.200	\$ 1.494.600	\$ 37,85
3.2	Mano de obra buceo	día	3	\$ 2.359.200	\$ 7.077.600	\$ 179,24
3.3	Traslado de elementos	un	3	\$ 1.026.000	\$ 3.078.000	\$ 77,95
3.4	Desechos	Gl	1	\$ 4.320.000	\$ 4.320.000	\$ 109,41
4.0	Lanzamiento					
4.1	Mano de obra maniobra	día	15	\$ 498.200	\$ 7.473.000	\$ 189,26
4.2	Globos de levante presurizados	un	4	\$ 480.000	\$ 1.920.000	\$ 48,63
4.3	Etapa de tiro al mar	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 265,92
5.0	Traslado					
5.1	Preparación de módulos	un	1	\$ 550.000	\$ 550.000	\$ 13,93
5.2	Remolcadores de tiro	día	15	\$ 2.700.000	\$ 40.500.000	\$ 1.025,69
5.3	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	\$ 4,71
5.4	Mano de obra buceo	día	15	\$ 2.359.200	\$ 35.388.000	\$ 896,22
5.5	Apoyo equipo extra buceo	día	15	\$ 967.600	\$ 14.514.000	\$ 367,58
6.0	Instalación					
6.1	Mano de obra buceo	día	15	\$ 2.359.200	\$ 35.388.000	\$ 896,22
6.2	Equipos ROV	día	15	\$ 2.500.000	\$ 37.500.000	\$ 949,71
6.3	Supervisión terrestre y marítima	día	155	\$ 1.500.000	\$ 232.500.000	\$ 5.888,22
7.0	Gastos Administrativos					
7.1	Mano de obra administrativa	mes	5	\$ 34.400.570	\$ 172.002.850	\$ 4.356,09
7.2	Mano de obra faena	mes	3	\$ 32.741.690	\$ 98.225.070	\$ 2.487,61
7.3	Baños químicos	mes	3	\$ 3.370.010	\$ 10.110.030	\$ 256,04
7.4	Generador eléctrico	mes	2	\$ 4.774.010	\$ 9.548.020	\$ 241,81
7.5	Oficinas	mes	2	\$ 1.922.810	\$ 3.845.620	\$ 97,39
7.6	Bodegas	mes	2	\$ 1.372.010	\$ 2.744.020	\$ 69,49
				Total	\$ 806.440.010	20423,62

Propuesta 2A (Estructura: Tipo Campana)

Tabla 44 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 2A

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 2A (Campana de aducción)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 266
1.2	Plan de izaje y uso Grúas	día	35	\$ 1.139.520	\$ 39.883.200	\$ 1.010
1.3	Gestión logística y coordinación	Gl	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	\$ 329
2.0	Lanzamiento					
2.1	Mano de obra maniobra	día	40	\$ 509.544	\$ 20.381.760	\$ 516
2.2	Spreaders estabilizadores 45 ton.	un	1	\$ 13.890.000	\$ 13.890.000	\$ 352
2.3	Uso de muelle a la nave	H	150	\$ 77.611	\$ 11.641.650	\$ 295
2.4	Globos de levante presurizados	un	4	\$ 480.000	\$ 1.920.000	\$ 49
2.5	Operador grúa	día	35	\$ 650.000	\$ 22.750.000	\$ 576
3.0	Traslado					
3.1	Preparación de módulos	un	3	\$ 550.000	\$ 1.650.000	\$ 42
3.2	Remolcadores de tiro	día	2	\$ 2.700.000	\$ 5.400.000	\$ 137
3.3	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	\$ 5
3.4	Mano de obra buceo	día	30	\$ 2.547.936	\$ 76.438.080	\$ 1.936
3.5	Apoyo equipo extra buceo	día	30	\$ 2.547.936	\$ 76.438.080	\$ 1.936
4.0	Instalación					
4.1	Mano de obra buceo	día	40	\$ 2.547.936	\$ 101.917.440	\$ 2.581
4.2	Equipos ROV	día	40	\$ 2.500.000	\$ 100.000.000	\$ 2.533
4.3	Supervisión terrestre y marítima	día	145	\$ 1.500.000	\$ 217.500.000	\$ 5.508
5.0	Gastos Administrativos					
5.1	Mano de obra administrativa	mes	8	\$ 34.400.570	\$ 275.204.560	\$ 6.970
5.2	Mano de obra faena	mes	3	\$ 32.741.690	\$ 98.225.070	\$ 2.488
5.3	Baños químicos	mes	3	\$ 3.370.010	\$ 10.110.030	\$ 256
5.4	Generador eléctrico	mes	2	\$ 4.774.010	\$ 9.548.020	\$ 242
5.5	Oficinas	mes	8	\$ 1.922.810	\$ 15.382.480	\$ 390
5.6	Bodegas	mes	2	\$ 1.372.010	\$ 2.744.020	\$ 69
				Total	\$ 1.124.710.390	\$ 28.484

Propuesta 2B (Estructura: Tronco Piramidal)

Tabla 45 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 2B

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 2A (Filtro tronco piramidal)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 266
1.2	Plan de izaje y uso de grúas	día	15	\$ 1.139.520	\$ 17.092.800	\$ 433
1.4	Gestión logística y coordinación	GL	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	\$ 329
4.0	Lanzamiento					
3.1	Mano de obra maniobra	día	15	\$ 509.544	\$ 7.643.160	\$ 194
3.2	Spreaders estabilizadores 45 ton.	un	1	\$ 13.890.000	\$ 13.890.000	\$ 352
3.3	Uso de muelle a la nave	H	50	\$ 77.611	\$ 3.880.550	\$ 98
3.4	Globos de levante presurizados	un	4	\$ 480.000	\$ 1.920.000	\$ 49
3.5	Operador grúa	día	10	\$ 650.000	\$ 6.500.000	\$ 165
4.0	Traslado					
4.1	Preparación de módulos	un	1	\$ 550.000	\$ 550.000	\$ 14
4.2	Remolcadores de tiro	día	10	\$ 2.700.000	\$ 27.000.000	\$ 684
4.3	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	\$ 5
4.5	Mano de obra buceo	día	10	\$ 2.547.936	\$ 25.479.360	\$ 645
4.6	Apoyo equipo extra buceo	día	10	\$ 2.547.936	\$ 25.479.360	\$ 645
5.0	Instalación					
5.1	Mano de obra buceo	día	25	\$ 2.547.936	\$ 63.698.400	\$ 1.613
5.2	Equipos ROV	día	25	\$ 2.500.000	\$ 62.500.000	\$ 1.583
5.3	Supervisión terrestre y marítima	día	80	\$ 1.500.000	\$ 120.000.000	\$ 3.039
6.0	Gastos Administrativos					
6.1	Mano de obra administrativa	mes	4	\$ 34.400.570	\$ 137.602.280	\$ 3.485
6.2	Mano de obra faena	mes	3	\$ 32.741.690	\$ 98.225.070	\$ 2.488
6.3	Baños químicos	mes	3	\$ 3.370.010	\$ 10.110.030	\$ 256
6.4	Generador eléctrico	mes	2	\$ 4.774.010	\$ 9.548.020	\$ 242
6.5	Oficinas	mes	2	\$ 1.922.810	\$ 3.845.620	\$ 97
6.6	Bodegas	mes	2	\$ 1.372.010	\$ 2.744.020	\$ 69
				Total	\$ 661.394.670	\$ 16.750

Propuesta 3A (Estructura: Tipo Campana)

Tabla 46 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 3A

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 3A (Campana de aducción)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 266
1.2	Plan de izaje y uso de grúas	día	35	\$ 1.139.520	\$ 39.883.200	\$ 1.010
1.3	Costo arriendo Plataforma Jackup	día	30	\$ 35.000.000	\$ 1.050.000.000	\$ 26.592
1.4	Gestión logística y coordinación	GL	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	\$ 329
2.0	Lanzamiento					
2.1	Mano de obra maniobra	día	50	\$ 509.544	\$ 25.477.200	\$ 645
2.2	Operadores de grúa del terminal	día	35	\$ 650.000	\$ 22.750.000	\$ 576
3.0	Traslado					
3.1	Preparación de módulos	un	3	\$ 550.000	\$ 1.650.000	\$ 42
3.2	Remolcadores de tiro	día	10	\$ 2.700.000	\$ 27.000.000	\$ 684
3.3	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	\$ 5
3.4	Mano de obra buceo	día	10	\$ 2.547.936	\$ 25.479.360	\$ 645
3.5	Apoyo equipo extra buceo	día	10	\$ 967.600	\$ 9.676.000	\$ 245
4.0	Instalación					
4.1	Mano de obra buceo	día	25	\$ 2.547.936	\$ 63.698.400	\$ 1.613
4.2	Apoyo equipo extra buceo	día	25	\$ 967.600	\$ 24.190.000	\$ 613
4.3	Equipos ROV	día	20	\$ 2.500.000	\$ 50.000.000	\$ 1.266
4.4	Supervisión terrestre y marítima	día	90	\$ 1.500.000	\$ 135.000.000	\$ 3.419
5.0	Gastos Administrativos					
5.1	Mano de obra administrativa	mes	5	\$ 34.400.570	\$ 172.002.850	\$ 4.356
5.2	Mano de obra faena	mes	2	\$ 32.741.690	\$ 65.483.380	\$ 1.658
5.3	Baños químicos	mes	2	\$ 3.370.010	\$ 6.740.020	\$ 171
5.4	Generador eléctrico	mes	2	\$ 4.774.010	\$ 9.548.020	\$ 242
5.5	Oficinas	mes	2	\$ 1.922.810	\$ 3.845.620	\$ 97
5.6	Bodegas	mes	2	\$ 1.372.010	\$ 2.744.020	\$ 69
				Total	\$ 1.758.854.070	44544,13

Propuesta 3B (Estructura: Tronco Piramidal)

Tabla 47 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 3B

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 3A (Filtro tronco piramidal)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 266
1.2	Plan de izaje y uso de grúas	día	15	\$ 1.139.520	\$ 17.092.800	\$ 433
1.3	Costo arriendo Plataforma Jackup	día	30	\$ 35.000.000	\$ 1.050.000.000	\$ 26.592
1.4	Gestión logística y coordinación	GL	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	\$ 329
2.0	Lanzamiento					
2.1	Mano de obra maniobra	día	20	\$ 509.544	\$ 10.190.880	\$ 258
2.2	Operadores de grúa del terminal	día	10	\$ 650.000	\$ 6.500.000	\$ 165
3.0	Traslado					
3.1	Preparación de módulos	un	3	\$ 550.000	\$ 1.650.000	\$ 42
3.2	Remolcadores de tiro	día	10	\$ 2.700.000	\$ 27.000.000	\$ 684
3.3	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	\$ 5
3.4	Mano de obra buceo	día	10	\$ 2.547.936	\$ 25.479.360	\$ 645
3.5	Apoyo equipo extra buceo	día	10	\$ 967.600	\$ 9.676.000	\$ 245
4.0	Instalación					
4.1	Mano de obra buceo	día	10	\$ 2.547.936	\$ 25.479.360	\$ 645
4.2	Apoyo equipo extra buceo	día	10	\$ 967.600		\$ -
4.3	Equipos ROV	día	10	\$ 2.500.000	\$ 25.000.000	\$ 633
4.4	Supervisión terrestre y marítima	día	60	\$ 1.500.000	\$ 90.000.000	\$ 2.279
5.0	Gastos Administrativos					
5.1	Mano de obra administrativa	mes	3	\$ 34.400.570	\$ 103.201.710	\$ 2.614
5.2	Mano de obra faena	mes	1	\$ 32.741.690	\$ 32.741.690	\$ 829
5.3	Baños quimicos	mes	1	\$ 3.370.010	\$ 3.370.010	\$ 85
5.4	Generador eléctrico	mes	1	\$ 4.774.010	\$ 4.774.010	\$ 121
5.5	Oficinas	mes	1	\$ 1.922.810	\$ 1.922.810	\$ 49
5.6	Bodegas	mes	1	\$ 1.372.010	\$ 1.372.010	\$ 35
				Total	\$ 1.459.136.640	36953,59

Propuesta 4A (Estructura: Tipo Campana)

Tabla 48 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 4A

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 3A (Filtro tronco piramidal)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 266
1.3	Costo arriendo Barcaza Yagana	día	60	\$ 46.000.000	\$ 2.760.000.000	\$ 69.899
1.4	Gestión logística y coordinación	GL	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	\$ 329
2.0	Lanzamiento					
2.1	Personal YAGANA	día	60	\$ 250.000	\$ 15.000.000	\$ 380
2.2	Mano de obra maniobra	día	35	\$ 509.544	\$ 17.834.040	\$ 452
2.3	Uso de muelle a la nave General	MEH	40	\$ 188.307	\$ 7.532.280	\$ 191
3.0	Traslado					
3.1	Preparación de módulos	un	3	\$ 550.000	\$ 1.650.000	\$ 42
3.2	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	\$ 5
4.0	Instalación					
4.1	Mano de obra buceo	día	20	\$ 2.547.936	\$ 50.958.720	\$ 1.291
4.2	Apoyo equipo extra buceo	día	20	\$ 967.600	\$ 19.352.000	\$ 490
4.3	Equipos ROV	día	20	\$ 2.500.000	\$ 50.000.000	\$ 1.266
4.4	Supervisión terrestre y marítima	día	85	\$ 1.500.000	\$ 127.500.000	\$ 3.229
5.0	Gastos Administrativos					
5.1	Mano de obra administrativa	mes	5	\$ 34.400.570	\$ 172.002.850	\$ 4.356
5.2	Mano de obra faena	mes	3	\$ 32.741.690	\$ 98.225.070	\$ 2.488
5.3	Baños quimicos	mes	3	\$ 3.370.010	\$ 10.110.030	\$ 256
5.4	Generador eléctrico	mes	3	\$ 4.774.010	\$ 14.322.030	\$ 363
5.5	Oficinas	mes	3	\$ 1.922.810	\$ 5.768.430	\$ 146
5.6	Bodegas	mes	3	\$ 1.372.010	\$ 4.116.030	\$ 104
				Total	\$ 3.378.057.480	\$ 85.552

Propuesta 4B (Estructura: Tronco Piramidal)

Tabla 49 Costos definidos para las operaciones de la propuesta 4B

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unidad (CLP)	Costo Total (CLP)	Costo Total (UF)
Propuesta 3A (Filtro tronco piramidal)						
1.0	Preparación y Logística					
1.1	Estudios y permisos marítimos	Gl	1	\$ 10.500.000	\$ 10.500.000	\$ 266
1.3	Costo arriendo Barcaza Yagana	día	30	\$ 46.000.000	\$ 1.380.000.000	\$ 34.949
1.4	Gestión logística y coordinación	GL	1	\$ 13.000.000	\$ 13.000.000	\$ 329
2.0	Lanzamiento					
2.1	Personal YAGANA	día	30	\$ 250.000	\$ 7.500.000	\$ 190
2.2	Mano de obra maniobra	día	15	\$ 509.544	\$ 7.643.160	\$ 194
2.3	Uso de muelle a la nave General	MEH	25	\$ 188.307	\$ 4.707.675	\$ 119
3.0	Traslado					
3.1	Preparación de módulos	un	3	\$ 550.000	\$ 1.650.000	\$ 42
3.2	Cobro por ocupación de nave	Gl	1	\$ 186.000	\$ 186.000	\$ 5
4.0	Instalación					
4.1	Mano de obra buceo	día	10	\$ 2.547.936	\$ 25.479.360	\$ 645
4.2	Apoyo equipo extra buceo	día	10	\$ 967.600	\$ 9.676.000	\$ 245
4.3	Equipos ROV	día	10	\$ 2.500.000	\$ 25.000.000	\$ 633
4.4	Supervisión terrestre y marítima	día	55	\$ 1.500.000	\$ 82.500.000	\$ 2.089
5.0	Gastos Administrativos					
5.1	Mano de obra administrativa	mes	3	\$ 34.400.570	\$ 103.201.710	\$ 2.614
5.2	Mano de obra faena	mes	2	\$ 32.741.690	\$ 65.483.380	\$ 1.658
5.3	Baños químicos	mes	2	\$ 3.370.010	\$ 6.740.020	\$ 171
5.4	Generador eléctrico	mes	2	\$ 4.774.010	\$ 9.548.020	\$ 242
5.5	Oficinas	mes	2	\$ 1.922.810	\$ 3.845.620	\$ 97
5.6	Bodegas	mes	2	\$ 1.372.010	\$ 2.744.020	\$ 69
				Total	\$ 1.759.404.965	\$ 44.558

10.3.1 RESUMEN DE COSTOS POR PROPUESTA

A continuación, se presenta un resumen generalizado de los costos asociados a cada una de las propuestas, de acuerdo con los tiempos de operación y de ejecución de cada una de las etapas del proyecto.

Tabla 50 Resumen de costos por propuestas

ALTERNATIVA	VALOR TOTAL APROXIMADO (CLP)	VALOR TOTAL APROXIMADO (UF)
Propuesta 1 A	\$1.365.698.360	34.587,21
Propuesta 1 B	\$807.440.010	20.423,62
Propuesta 2 A	\$1.124.710.390	28.484,03
Propuesta 2 B	\$661.394.670	16.750,25
Propuesta 3 A	\$1.758.854.070	44.544,13
Propuesta 3 B	\$1.459.136.640	36.953,59
Propuesta 4 A	\$3.378.057.480	85.551,52
Propuesta 4 B	\$1.759.404.965	44.558,09

*El valor de la UF está actualizado con fecha 17 de noviembre de 2025.

10.4 CÁLCULO ÍNDICE DE EFICIENCIA POR PROPUESTA

Como resultado de la matriz intervenida con la variable de costos de implementación se obtuvieron las siguientes respuestas para analizar, conforme al método constructivo a emplear.

10.4.1 PROPUESTA 1

A) Considerando estructura tipo campana:

$$I.E. = \frac{0,98}{34,6} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$

$$I.E. = 0,028$$

B) Considerando estructura tipo tronco piramidal:

$$I.E. = \frac{1,45}{20,4} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$

$$I.E. = 0,071$$

10.4.2 PROPUESTA 2

A) Considerando estructura tipo campana:

$$I.E. = \frac{1,32}{28,5} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$

$$I.E. = 0,046$$

B) Considerando estructura tipo tronco piramidal:

$$I.E. = \frac{1,57}{16,8} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$

$$I.E. = 0,093$$

10.4.3 PROPUESTA 3

A) Considerando estructura tipo campana:

$$I.E. = \frac{1,58}{44,5} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$

$$I.E. = 0,036$$

B) Considerando estructura tipo tronco piramidal:

$$I.E. = \frac{1,89}{37,0} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$

$$I.E. = 0,051$$

10.4.4 PROPUESTA 4

A) Considerando estructura tipo campana:

$$I.E. = \frac{1,95}{85,6} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$
$$I.E. = 0,023$$

B) Considerando estructura tipo tronco piramidal:

$$I.E. = \frac{2,12}{44,6} \left[\frac{\text{Criterios de eval} * \% \text{ Pond}}{\text{Costos en Miles de UF}} \right]$$
$$I.E. = 0,048$$

10.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de las evaluaciones realizadas, se muestra a continuación el análisis para la efectividad y la eficiencia.

Cabe recordar que la efectividad se asocia al cumplimiento de los criterios de evaluación, mientras que la eficiencia está asociada a la efectividad en relación con los costos de implementación.

Adicionalmente, las alternativas corresponden a las que se enlistan:

Con filtro tipo “Campana de aducción”:

- Propuesta 1A
- Propuesta 2A
- Propuesta 3A
- Propuesta 4A

Con filtro tipo “tronco piramidal”:

- Propuesta 1B
- Propuesta 2B
- Propuesta 3B
- Propuesta 4B

10.5.1 EFECTIVIDAD

La efectividad se asocia al cumplimiento de los criterios de evaluación. Los resultados de la evaluación presentada en el subcapítulo anterior se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 51 Resultados efectividad

#	Criterio de Evaluación	PROPUESTA							
		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B
1°	Referidos a tecnicismos del proceso completo	0,45	0,68	0,26	0,49	0,6	0,64	0,64	0,68
2°	Referidos a la seguridad operacional	0,1	0,3	0,45	0,45	0,55	0,75	0,7	0,75
3°	Logística y aspectos constructivos	0,25	0,31	0,44	0,44	0,25	0,28	0,34	0,38
4°	Adaptabilidad de la solución y operatividad	0,18	0,17	0,17	0,2	0,18	0,23	0,27	0,32
	Totales (I. Efectividad)	0,98	1,45	1,32	1,57	1,58	1,89	1,95	2,12
	Porcentaje de efectividad	33%	48%	44%	52%	53%	63%	65%	71%

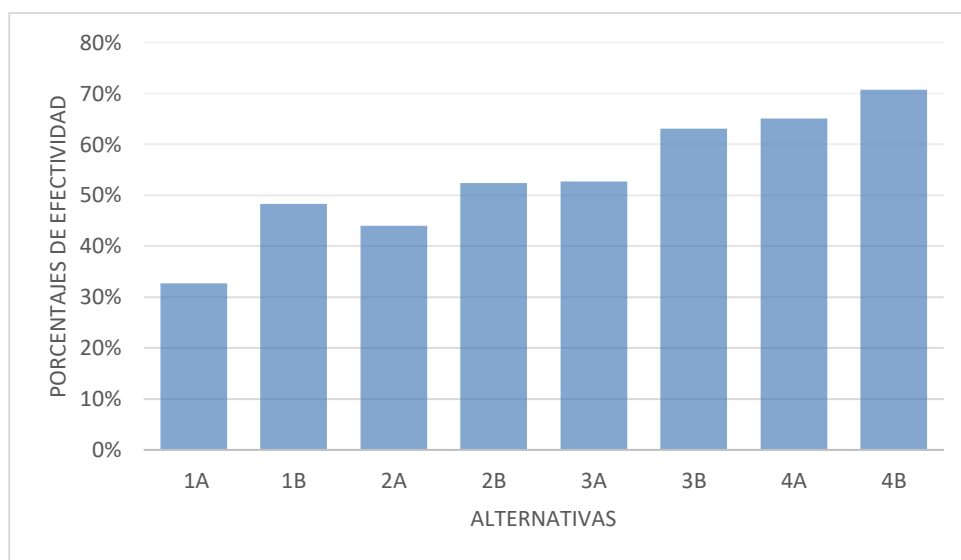


Figura 57. Resultados efectividad

Fuente. Elaboración propia

De manera general, el gráfico (figura 57) evidencia diferencias significativas en el desempeño técnico–operativo entre las alternativas evaluadas. En particular, las Propuestas 4 alcanzan los mayores niveles de efectividad, mientras que las Propuestas 1 presentan los valores más bajos., las Propuestas 2 se ubican en una posición intermedia, con un desempeño adecuado y menor complejidad operativa.

10.5.2 EFICIENCIA

Al contrastar los costos de implementación con los resultados de efectividad, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 52 Resultados de eficiencia

Propuesta	I.Eficiencia	P.Eficiencia
1A	0,028	30%
1B	0,071	76%
2A	0,046	49%
2B	0,093	100%
3A	0,036	39%
3B	0,051	55%
4A	0,023	25%
4B	0,048	52%

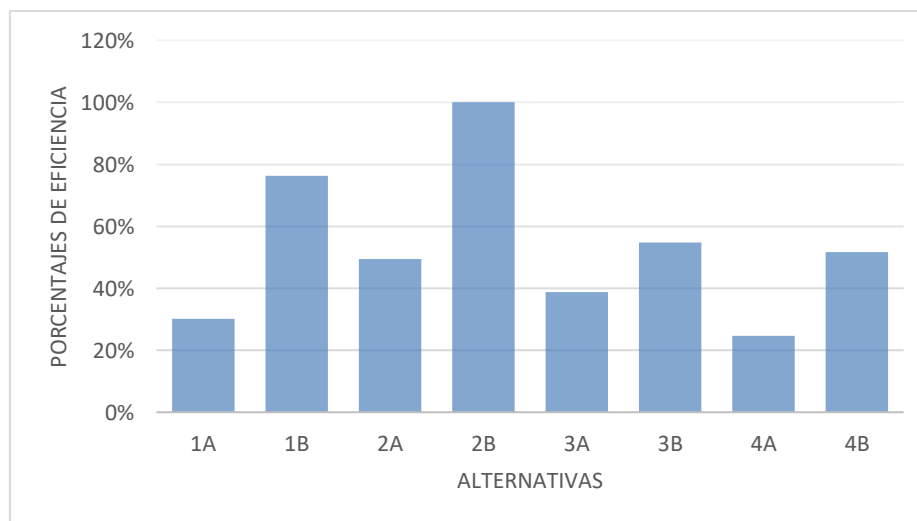


Figura 58. Resultados eficiencia
Fuente. Elaboración propia

Los resultados indican que la alternativa que mejor contrasta el cumplimiento de los criterios de evaluación con los costos de implementación, corresponde a la Alternativa 2B seguida de la Alternativa 1B y Alternativa 3B. Excluyendo la Alternativa 2B y 3B, que no requiere la materialización de infraestructura, la alternativa 1B requiere de procesos constructivos y el ingreso al Sistema de Evaluación Ambiental, mayores detalles de ventajas y desventajas de cada una de las alternativas se puede observar en capítulos anteriores. Pero queda en evidencia que parte de las propuestas que poseen mejor eficiencia son las que se ejecutan bajo instalación de un filtro tipo tronco piramidal (propuestas “B”).

10.6 RECOMENDACIONES

A partir del análisis comparativo de las cuatro propuestas de lanzamiento, traslado e instalación de la estructura de aducción, se recomienda la Propuesta 2 como alternativa prioritaria. Esta recomendación no se sustenta únicamente en la puntuación obtenida en los criterios de evaluación, sino en un conjunto de ventajas técnicas, logísticas y económicas que favorecen de manera integral la ejecución del proyecto.

En primer lugar, la Propuesta 2 aprovecha los recursos locales disponibles en el terminal marítimo de Ventanas, particularmente las grúas con capacidad de 30 toneladas. Este enfoque permite trabajar con equipamiento existente en la zona, eliminando la necesidad de movilizar maquinaria especializada desde otros puertos o proveedores externos. La reducción de los tiempos de movilización y de los costos asociados al transporte y montaje de equipos se traduce en un beneficio económico directo para el proyecto. Asimismo, la utilización de infraestructura local refuerza la factibilidad práctica de la propuesta y su integración con los recursos portuarios de la región.

En segundo lugar, la incorporación de globos de levante constituye un apoyo relevante durante el traslado marítimo de las estructuras. Una vez realizado el lanzamiento mediante las grúas locales, estos dispositivos proporcionan la flotabilidad necesaria para mantener los elementos estructurales en condiciones seguras de remolque hasta el punto de instalación. Su utilización permite asegurar la estabilidad y maniobrabilidad de las piezas en el medio acuático, reducir los esfuerzos sobre los remolcadores y facilitar un desplazamiento controlado hacia la zona de fondeo, configurando una solución ampliamente utilizada en proyectos de instalación marítima.

Un tercer aspecto relevante corresponde a la simplicidad logística que ofrece la Propuesta 2 en comparación con alternativas como la construcción de una rampa de hormigón (Propuesta 1) o el uso de infraestructura especializada, tales como plataformas tipo jack-up (Propuesta 3) o barcazas autopropulsadas (Propuesta 4). Mientras la Propuesta 1 requiere trabajos preliminares de obra civil que incrementan los plazos de ejecución, y las Propuestas 3 y 4 dependen de la disponibilidad y movilización de equipos de alto costo y acceso limitado en el contexto nacional, la Propuesta 2 maximiza el uso de infraestructura existente sin requerir inversiones adicionales significativas, posicionándose como una alternativa eficiente y compatible con el cronograma del proyecto.

Finalmente, la etapa de instalación en el lecho marino bajo la Propuesta 2 mantiene un enfoque controlado y progresivo. La combinación de un descenso gradual con supervisión continua mediante equipos de buceo permite asegurar un posicionamiento preciso de los módulos estructurales y realizar correcciones en tiempo real frente a eventuales desalineamientos. Este procedimiento contribuye a la reducción de riesgos técnicos y a la mejora de la calidad final de la obra. Adicionalmente, desde el punto de vista del diseño estructural, las configuraciones tipo tronco piramidal presentan ventajas en términos de estabilidad e instalación frente a estructuras tipo campana, lo que refuerza la conveniencia de optar por soluciones que reduzcan la complejidad del montaje y optimicen la distribución de cargas sobre el lecho marino.

En síntesis, la Propuesta 2 se presenta como la alternativa más recomendable al combinar el aprovechamiento de recursos locales, una mayor seguridad operativa durante el traslado marítimo y una logística de instalación simplificada, junto con las ventajas propias del diseño estructural tipo tronco piramidal. En consecuencia, se concluye que esta alternativa no solo resulta técnicamente viable, sino que también se ajusta de mejor manera al contexto operativo y económico del proyecto, proporcionando un marco de ejecución eficiente, seguro y sostenible en el tiempo.

11 SUGERENCIAS

El presente trabajo constituye una base metodológica orientada a la planificación y gestión de las operaciones de lanzamiento, traslado e instalación de estructuras asociadas a un sistema de captación marina. No obstante, debido al alcance definido para esta memoria y a las restricciones propias del proyecto, existen diversos aspectos que no fueron abordados en profundidad y que es recomendable considerar en futuros estudios para fortalecer y ampliar la aplicabilidad del modelo propuesto.

En primer lugar, se sugiere incorporar análisis hidrodinámicos avanzados (tanto deterministas como probabilísticos) que permitan caracterizar con mayor precisión el comportamiento del entorno marino bajo condiciones extremas. Lo anterior incluye la integración de modelaciones numéricas de oleaje, corrientes y variabilidad estacional, así como evaluaciones de riesgo asociadas a ventanas operacionales restringidas. De igual forma, sería pertinente incorporar estudios sobre maniobrabilidad de embarcaciones de apoyo y simulaciones dinámicas del izaje que consideren elementos de control, tales como paracaídas de seguridad y sistemas de amortiguación, lo que permitiría estimar de manera más realista el desempeño operacional durante las maniobras críticas de instalación.

En segundo término, debido a restricciones de confidencialidad asociadas al mandante, ciertos antecedentes técnicos, cálculos estructurales, documentos internos y especificaciones detalladas del diseño no se incorporan íntegramente en esta memoria. Por esta razón, se recomienda que futuras investigaciones que utilicen o amplíen esta metodología trabajen con información abierta, fuentes de acceso público o modelos conceptuales equivalentes que permitan reproducir los análisis sin comprometer datos sensibles. La metodología propuesta mantiene su validez y puede ser aplicada con éxito en contextos donde se disponga de información técnica completa.

Asimismo, se considera pertinente sugerir el desarrollo de comparaciones sistemáticas entre distintas tipologías de captación marina, tales como campanas, filtros o sistemas de captación profunda, incorporando criterios de diseño, desempeño operativo, facilidad de instalación, impacto ambiental y niveles de inversión requeridos. Para ello, resulta especialmente relevante considerar la influencia que ejerce la visión técnica del mandante y sus protocolos internos de ingeniería. En particular, se recomienda integrar la perspectiva del enfoque emergente “building with nature”, el cual propone soluciones adaptables, resilientes y compatibles con el dinamismo natural del medio. Este enfoque contrasta con visiones de diseño más conservadoras, y permitiría enriquecer el análisis de alternativas bajo criterios modernos de sostenibilidad.

Del mismo modo, será conveniente ampliar el modelo metodológico hacia la integración de criterios ambientales, normativos y de permisos marítimos, considerando la participación de organismos como DIRECTEMAR, SHOA y el SEA. Elementos como tiempos de tramitación, restricciones operacionales, zonas de exclusión y requerimientos de monitoreo ambiental podrían ejercer una influencia significativa en la planificación de operaciones marítimas, por lo que su incorporación a futuros estudios mejoraría el carácter integral del modelo.

Finalmente, se propone explorar nuevas aplicaciones de la metodología desarrollada, especialmente en sectores industriales emergentes que requieren infraestructura y logística marítima especializada. Un ejemplo relevante corresponde a los proyectos asociados al hidrógeno verde, en los cuales la selección de áreas de acceso, fondeo, descarga y transporte de grandes módulos o equipos puede beneficiarse directamente desde enfoque presentado en esta memoria. De igual forma, la metodología puede aplicarse al diseño y evaluación de procesos de instalación para estructuras offshore vinculadas a energías renovables marinas, infraestructura de descarga, sistemas de bombeo y soluciones de captación en nuevas configuraciones geométricas o mayores profundidades.

En conjunto, estas sugerencias permiten proyectar la continuidad del presente trabajo y evidencian su potencial para servir como referencia metodológica en proyectos de ingeniería marítima más amplios, complejos y diversos en su alcance técnico y operativo.

12 CONCLUSIONES

El desarrollo de esta memoria permite analizar y comparar distintas metodologías de lanzamiento, traslado e instalación de estructuras de aducción de agua de mar, aplicando la metodología Trade-Off como herramienta sistemática de apoyo a la toma de decisiones en obras marítimas. A través de este enfoque, se logra establecer un proceso de evaluación objetivo, integrando criterios técnicos, logísticos, de seguridad operacional y eficiencia constructiva, considerando las condiciones propias de la bahía de Quintero, representativa del litoral central de Chile.

La metodología Trade-Off permite jerarquizar alternativas combinando un Índice de Efectividad (I.Efe) (que mide el desempeño técnico-operativo ponderando criterios como maniobrabilidad, seguridad y adaptabilidad) y un Índice de Eficiencia (I.Efi), que relaciona la efectividad con el costo total de ejecución. Los criterios de ponderación definidos fueron: aspectos técnicos del proceso (30 %), seguridad operacional (30 %), logística constructiva (25 %) y adaptabilidad (15 %), utilizando una escala de valoración entre 0 (deficiente) y 3 (óptimo). Esta metodología posibilita cuantificar comparativamente las ventajas y desventajas de cada propuesta, evitando juicios subjetivos y privilegiando la consistencia técnica.

Del análisis efectuado se obtuvieron valores de I.Efectividad entre 0,98 y 1,95 para las alternativas correspondientes a la campana de aducción, y entre 1,45 y 2,12 para el filtro con muerto troncopiramidal, con costos que variaron entre \$661 y \$3.378 millones de pesos chilenos, según la complejidad y equipamiento requerido. La normalización de los índices de eficiencia permitió identificar que las Propuestas 2 (A y B) obtuvieron el mejor equilibrio técnico-económico, al combinar adecuadamente control operativo, tiempos de maniobra y utilización de recursos locales, alcanzando los valores más altos de I.Efi dentro de su grupo (100 % relativo).

Por otro lado, las Propuestas 4 (A y B) alcanzaron los valores más altos de efectividad (I.Efe = 1,95 y 2,12), demostrando el mejor desempeño técnico, gracias al uso de plataformas autoelevables y control de flotabilidad; sin embargo, su elevado costo redujo la eficiencia relativa, lo que las posicionó como alternativas más seguras, pero económicamente menos competitivas. En cambio, las Propuestas 3 se posicionaron en un punto intermedio, con alta seguridad y menor exposición ambiental, pero con costos aún superiores a las Propuestas 2, lo que justificó su aplicación solo en escenarios donde la reducción del riesgo sea prioritaria frente a los costos.

Los resultados también mostraron que las solicitaciones sísmicas ($F_{sh} \approx 35$ ton; $F_{sv} \approx 20$ ton) dominaron sobre las hidrodinámicas ($FO \approx 5,6$ tonf; $FC \approx 0,4$ tonf), lo que reforzó la necesidad de implementar métodos de descenso controlado y fijación precisa en fondo marino. En ese contexto, las metodologías que integran prefabricación terrestre, control de flotabilidad y asistencia mediante plataformas jack-up o globos de izaje supervisados presentan una ventaja técnica relevante al reducir la exposición operacional y los riesgos de instalación.

De esta manera, el trabajo demuestra que la aplicación de la metodología Trade-Off constituye una herramienta eficaz y replicable para la toma de decisiones en ingeniería marítima, al permitir balancear objetivamente los factores técnicos, logísticos y económicos. El uso de ponderaciones normalizadas y criterios cuantificables otorga transparencia al proceso de selección de métodos constructivos, evitando depender exclusivamente de la experiencia o criterio subjetivo del proyectista.

En términos generales, se concluye que la Propuesta 2 es la alternativa óptima desde un enfoque técnico-económico, mientras que la Propuesta 4 es la más recomendable cuando la prioridad es la seguridad operacional en ambientes de alta exigencia meteoceanográfica. Ambas aportan directrices claras para la

definición de estrategias de montaje en sistemas de aducción marina, y consolidan un marco metodológico adaptable a distintos contextos geográficos y escalas de proyecto.

Finalmente, la memoria aporta una base técnica y metodológica replicable que puede ser utilizada como referencia en futuras obras de captación de agua de mar y en procesos de planificación constructiva en entornos costeros o submarinos. Su aplicación práctica favorece la optimización de recursos, la reducción de riesgos y la estandarización de procedimientos de instalación, fortaleciendo así el vínculo entre ingeniería, logística y gestión en proyectos marítimos de alta complejidad.

13 BIBLIOGRAFÍA

- (SEA), S. d. (2012). Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental . *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental* .
- Beyá-Marshall, V. F. (2016). *Atlas de oleaje de Chile*. Valparaíso : Universidad de Valparaíso, Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.
- CAMPORT. (2023). *Participación por Localidad Portuaria en el Comercio exterior Diferenciada por el tipo de Carga* .
- CEDEX. (2010). Captaciones de agua de mar para desaladoras.
- Chakrabarti, S. K. (2005). *Handbook of Offshore Engineering*. Amsterdam/London : Elsevier Science.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (1991). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. World Scientific.
- DIRINMAR. (2019). ANÁLISIS DATA POAL BAHÍA DE QUINTERO (2005-2018).
- HSE. (2015). *The Offshore Installations (Offshore Safety Directive) (Safety Case etc.) Regulations 2015: Guidance on regulations (L154)*. London: HSE Books.
- International Marine Contractors Association. (2003). *Guidelines for lifting operations (IMCA M 187)*. Londres : International Marine Contractors Association.
- Komar, P. D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation*. Prentice Hall.
- Lezcano, Ó. M. (Julio de 2014). Identificación de las situaciones de peligro de accidente en las maniobras de remolque portuario.
- Ministerio de Defensas Nacional, S. p. (1960). Decreto con Fuerza de Ley N° 340. Ley de Navegación . *Decreto con Fuerza de Ley N° 340. Ley de Navegación* .
- Ministerio de Fomento Español, P. d. (2001). ROM 0.0-01. Recomendaciones de Obras Marítimas. Generalidades y Bases de Cálculo.
- Missimer, T. M. (2015). *Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls* . Florida, USA : U. A. Whitaker College of Engineering.
- MOP. (2013). Guía para el Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras Marítimas y Costeras.
- OCDI. (2020). Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan.
- PIANC. (2014). The World Association for Waterbone Transport Insfraestructure .
- Pond, S., & Pickard, G. L. (1983). *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press.

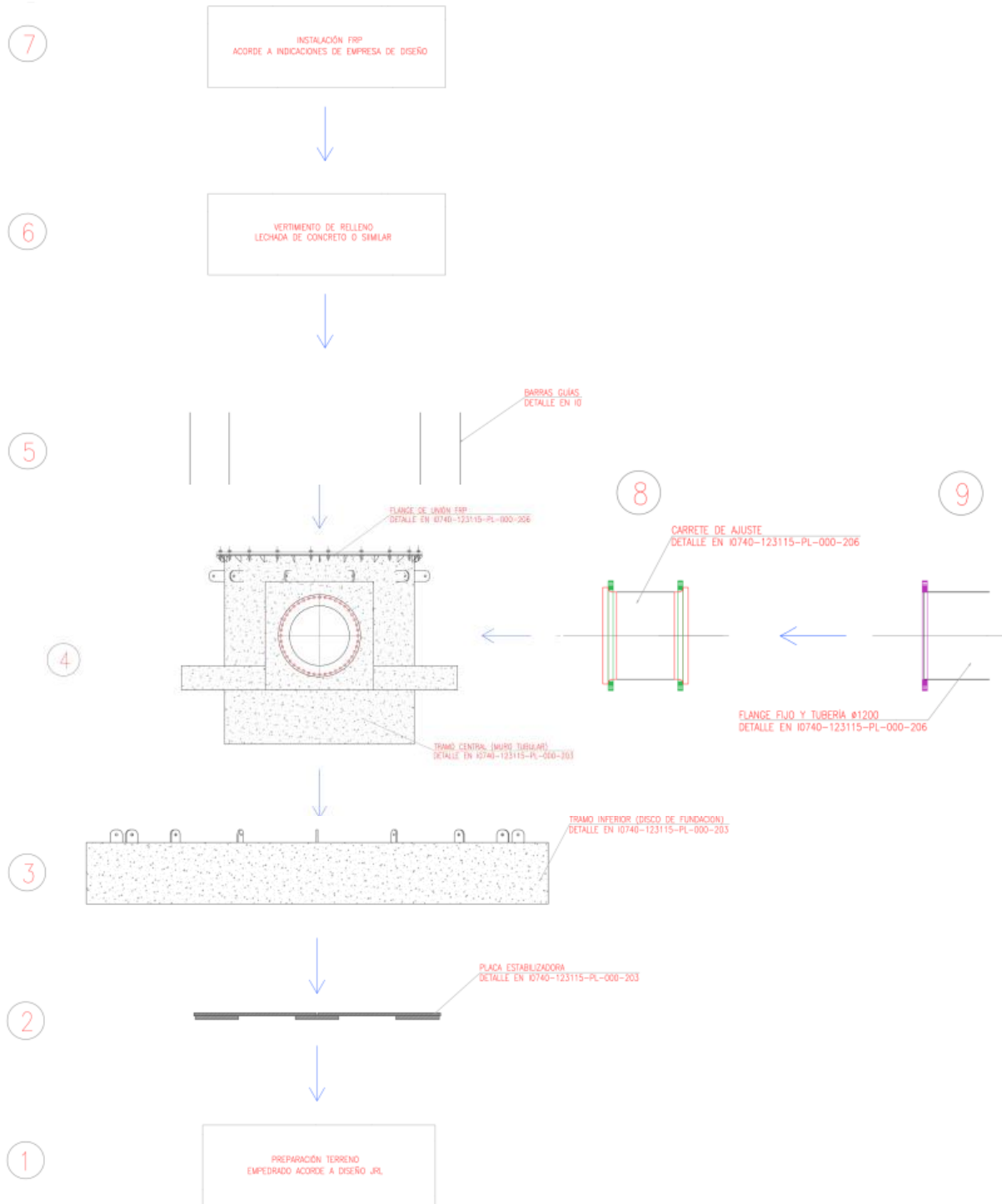
Pugh, D. (2004). *Changing Sea Levels: Effects of Tides, Weather and Climate*. Cambridge University Press.

Subsecretaria de Agricultura y Pesca. (Septiembre de 2016). *Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V región*.

Vicuña, S. D.-B. (2022). *Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*.

14 ANEXOS

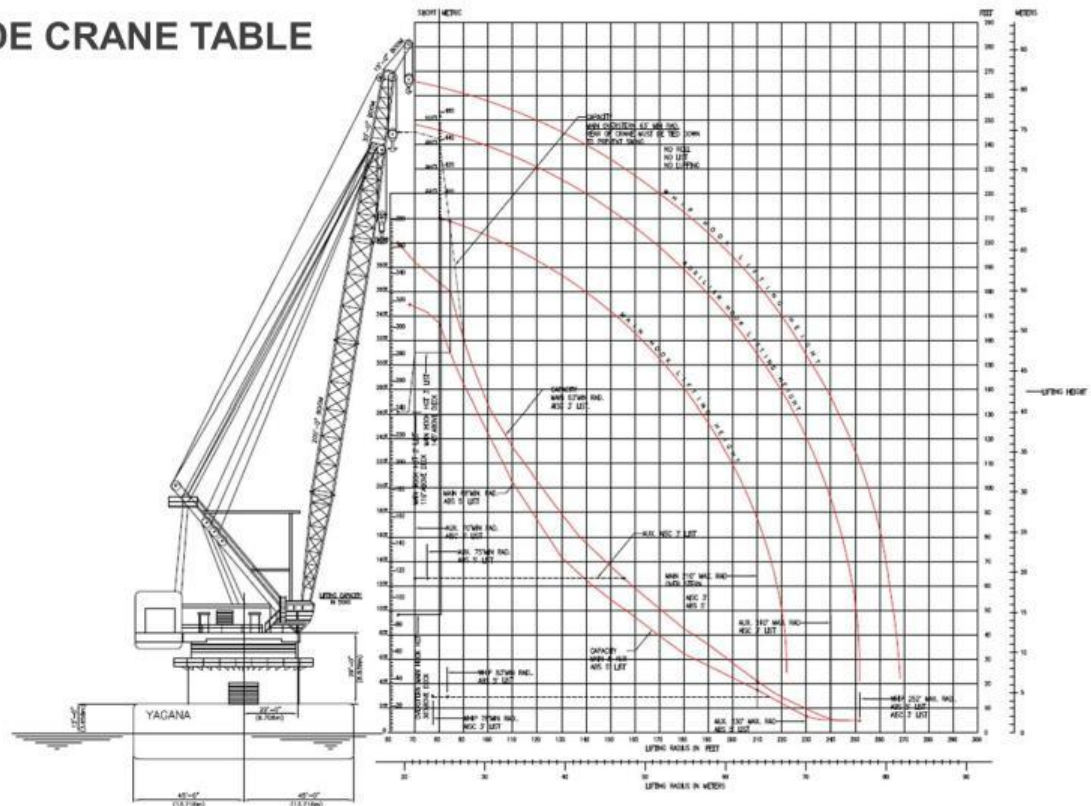
14.1 ANEXO A (Mecánica de instalación estructura tipo campana)



14.2 ANEXO B

DECK	
DECK STRENGTH	10 t/m2
DECK AREA	Approx. 1.200 m2
DECK TUGGER WINCHES	2 x 5t
PIPELAY	
CAPACITY	From 4" to 54"
TENSIONER	2 x 18t – RASCO T40
A/R WINCH	1x 45t – MANITOWOC 390 – 36 m/min – 41 mm wire
STINGER	2 x 24 m Floating stinger sections (Ballast command, Depth meter, subsea camera)
WORK STATIONS	5 Work stations (Typ. 3x welding. 1x NDT/repair, 1x field joint coating)
WELDING SYSTEM	Can accommodate manual, semi- automatic and fully automatic and fully automatic
CRANES	
MAIN CRANE	CLYDE 42 DE
	Capacity:
	500st a 20 m – Stationary
	400st a 24 m- Fully revolving
	Boom length: 60 m Main – 70 m aux. -75 m Whip
CRAWLER CRANE	1x 10 t Tugger winch for hook control
	4 x 5t Tugger winches for load control
	MANITOWOXC 3900 w
	Capacity: 90t at 6m
	35m Boom length
NAVIGATION SYSTEM	
GYRO COMPASS	1 x SPERY
ECO- DEPTH SOUNDER	1X FURUNO FCV-S-81-L

CLYDE CRANE TABLE



14.3 ANEXO C (Resolución de habilitación muelle Ventanas)

8.- CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS Y AMBIENTALES GENERALES DEL PUERTO.

8.1.- Vientos

Predominantes del SW y de intensidad inferior a 12 nudos, en los meses de invierno y al aproximarse sistemas frontales a la zona, se hace presente un viento del NE que va aumentando de intensidad y rolando en dirección al norte a medida que se aproxima el sistema frontal, alcanzando su máxima intensidad (a veces hasta los 35 nudos) con componentes N y N/NW al paso del frente, rolando en pocas horas hacia el SW cuando pasa el sistema frontal.

8.2.- Corrientes

De muy baja intensidad y tiene una circulación dentro de la bahía correspondiente a la llenante y vaciante de marea, esta mínima corriente se percibe como paralela a la costa en el sector del muelle de Ventanas, y en su extremo este cercano a la costa, se aprecia una componente N-S mientras que en la punta del muelle hay una componente más E-W.

8.3.- Olas

La altura significativa del oleaje operacional, señala que el 50% del tiempo está por debajo de 1,02 metros y que el 90% del tiempo la altura de olas está por debajo de 1,53 metros.

8.4.- Fondo Marino

En ambos costados del muelle se trata de un fondo de arenisca con un declive muy leve que se reduce progresivamente a medida que se aproxima a la playa. El fondo general es limpio de obstrucciones y parejo.

8.5.- Visibilidad

Las neblinas se levantan durante todo el año, cuando penetra en la zona la vaguada costera, o la formación de una baja local, siendo con mayor frecuencia este fenómeno atmosférico, en los meses de abril/mayo y agosto/septiembre.

Para efectos de autorizar maniobras de amarre con baja visibilidad, se exigirá una distancia aproximada de 1500 metros de visibilidad o la suficiente que permita observar las enfilaciones en tierra, dependiendo del sitio a maniobrar, lo cual será determinado caso a caso y con la asistencia del práctico de servicio.

8.6.- Mareas

Ver Tabla de Marea de la Costa de Chile, Publicación SHOA N° 3009, Puerto Quintero es Puerto Patrón, rango de marea en sicigias 1.88 metros.

14.4 ANEXO D (Modelo para la metodología Trade-off, secuencias y pasos)

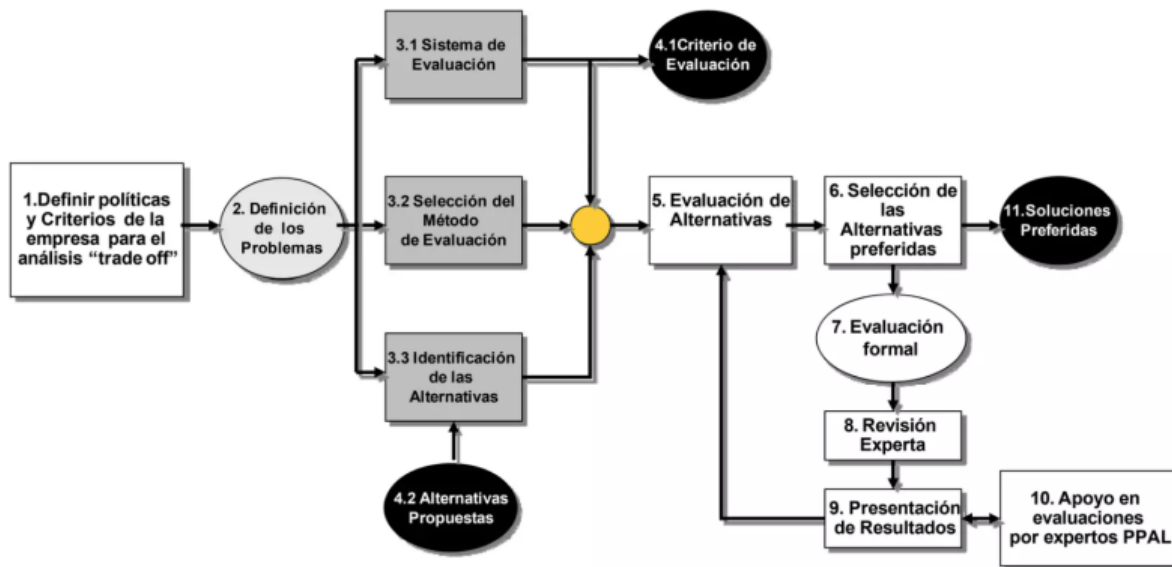


Figura 59. Mecanismo de funcionamiento y lógico de la metodología Trade off

14.5 ANEXO E (Tablas de Inmersión Buceo U.S Navy)

Tabla 53 Tablas de inmersión U.S Navy

TABLA V: PROFUNDIDAD TEÓRICA EN INMERSIONES DE ALTITUD

PROFUNDIDAD REAL DE LA INMERSION		ALTITUD EN EL LUGAR DE LA INMERSION									
		305 mts 1.000 pies	610 mts 2.000 pies	914 mts 3.000 pies	1.219 mts 4.000 pies	1.524 mts 5.000 pies	1.829 mts 6.000 pies	2.134 mts 7.000 pies	2.438 mts 8.000 pies	2.743 mts 9.000 pies	3.048 mts 10.000 pies
		PROFUNDIDAD TEORICA DE LA INMERSION (en metros)									
(metros)	(pies)										
3.0	10	3.0	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
4.6	15	4.6	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	7.6	7.6	7.6
6.1	20	6.1	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	9.1	9.1	9.1	9.1
7.6	25	7.6	9.1	9.1	9.1	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	12.2
9.1	30	9.1	10.7	10.7	10.7	12.2	12.2	12.2	13.7	13.7	13.7
10.7	35	10.7	12.2	12.2	13.7	13.7	13.7	15.2	15.2	15.2	18.3
12.2	40	12.2	13.7	13.7	15.2	15.2	15.2	16.8	16.8	18.3	18.3
13.7	45	13.7	15.2	16.8	16.8	16.8	18.3	18.3	21.3	21.3	21.3
15.2	50	15.2	16.8	18.3	18.3	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3	24.4
16.8	55	16.8	18.3	21.3	21.3	21.3	21.3	24.4	24.4	24.4	24.4
18.3	60	18.3	21.3	21.3	21.3	24.4	24.4	24.4	27.4	27.4	27.4
19.8	65	19.8	21.3	24.4	24.4	24.4	27.4	27.4	27.4	30.5	30.5
21.3	70	21.3	24.4	24.4	27.4	27.4	27.4	30.5	30.5	30.5	33.5
22.9	75	22.9	27.4	27.4	27.4	30.5	30.5	30.5	33.5	33.5	33.5
24.4	80	24.4	27.4	27.4	30.5	30.5	30.5	33.5	33.5	36.6	36.6
25.9	85	25.9	30.5	30.5	30.5	33.5	33.5	36.6	36.6	36.6	39.6
27.4	90	27.4	30.5	33.5	33.5	33.5	36.6	36.6	39.6	39.6	42.7
29.0	95	29.0	33.5	33.5	33.5	36.6	36.6	39.6	39.6	42.7	42.7
30.5	100	30.5	33.5	36.6	36.6	39.6	39.6	39.6	42.7	42.7	45.7

TABLA VI: PROFUNDIDAD REAL DE LAS PARADAS DE DESCOMPRESIÓN PARA INMERSIONES EN ALTITUD

PROFUNDIDAD REAL DE LA INMERSION		ALTITUD EN EL LUGAR DE LA INMERSION									
		305 mts 1.000 pies	610 mts 2.000 pies	914 mts 3.000 pies	1.219 mts 4.000 pies	1.524 mts 5.000 pies	1.829 mts 6.000 pies	2.134 mts 7.000 pies	2.438 mts 8.000 pies	2.743 mts 9.000 pies	3.048 mts 10.000 pies
		PROFUNDIDAD REAL DE LAS PARADAS									
(metros)	(pies)										
3.0	10	3.0	2.7	2.7	2.7	2.4	2.4	2.4	2.1	2.1	2.1
6.1	20	5.8	5.8	5.5	5.2	5.2	4.9	4.6	4.6	4.3	4.3
9.1	30	8.8	8.5	8.2	7.9	7.6	7.3	7.0	6.7	6.4	6.4
12.2	40	11.9	11.3	11.0	10.7	10.1	9.8	9.4	9.1	8.8	8.5
15.2	50	14.6	14.3	13.7	13.1	12.8	12.2	11.9	11.3	11.0	7.3
18.3	60	17.7	17.1	16.5	15.8	15.2	14.6	14.0	13.7	13.1	12.5

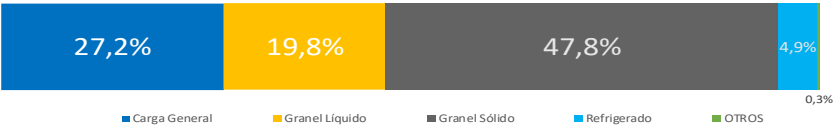
TABLA VIII: INTERVALO EN SUPERFICIE NECESARIO ANTES DE ASCENDER A ALTITUD DESPUES DE BUCEAR (hh:mm)

GRUPO DE REPETICIÓN	INCREMENTO EN ALTURA									
	<i>305 mts 1.000 pies</i>	<i>610 mts 2.000 pies</i>	<i>914 mts 3.000 pies</i>	<i>1.219 mts 4.000 pies</i>	<i>1.524 mts 5.000 pies</i>	<i>1.829 mts 6.000 pies</i>	<i>2.134 mts 7.000 pies</i>	<i>2.438 mts 8.000 pies</i>	<i>2.743 mts 9.000 pies</i>	<i>3.048 mts 10.000 pies</i>
A	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00
B	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	01:42
C	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	01:48	06:23
D	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	01:45	05:24	09:59
E	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	00:51	01:37	04:39	08:18	12:54
F	00:00	00:00	00:00	00:00	00:00	01:32	04:04	07:06	10:45	15:20
G	00:00	00:00	00:00	00:00	01:19	03:38	06:10	09:13	12:52	17:27
H	00:00	00:00	00:00	01:06	03:10	05:29	08:02	11:04	14:43	19:18
I	00:00	00:00	00:56	02:45	04:50	07:09	09:41	12:44	16:22	20:58
J	00:00	00:41	02:25	04:15	06:19	08:39	11:00	14:13	17:52	22:27
K	00:30	02:03	03:47	05:37	07:41	10:00	12:33	15:35	19:14	23:49
L	01:45	03:18	05:02	06:52	08:56	11:15	13:48	16:50	20:29	25:04
M	02:54	04:28	06:12	08:01	10:06	12:25	14:57	18:00	21:38	26:14
N	03:59	05:32	07:16	09:06	11:10	13:29	16:02	19:04	22:43	27:18
O	04:59	06:33	08:17	10:06	12:11	14:30	17:02	20:05	23:43	28:19
Z	05:56	07:29	09:13	11:03	13:07	15:26	17:59	21:01	24:40	29:15
Exposición excepcional	Esperar 48 hs antes de ascender									

14.6 ANEXO F (Transferencias de Carga COMEX 2024)

Tabla 54 Transferencias de Carga bahías de Chile

Datos COMEX de Aduana 2024												
LOCALIDAD	TOTAL	%Total	Carga General	% C.Grl	Granel Líquido	%G.L	Granel Sólido	%G.S	Refrigerado	%R	OTROS	%O
ANTOFAGASTA	2.194.501	2,0%	1.016.455	3,4%	11.639	0,1%	1.160.574	2,2%	4.991	0,1%	843	0,2%
ARICA	315.024	0,3%	173.464	0,6%	20.197	0,1%	112.085	0,2%	6.922	0,1%	2.357	0,6%
CABO NEGRO	1.274.105	1,1%	47	0,0%	1.274.057	5,8%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
CALBUCO	1.261.701	1,1%	64.373	0,2%	228.825	1,0%	968.504	1,8%	0	0,0%	0	0,0%
CALDERA	8.204.529	7,4%	543	0,0%	448.731	2,0%	7.722.820	14,6%	32.434	0,6%	0	0,0%
CALETA COLOSO	4.417.287	4,0%	37	0,0%	0	0,0%	4.417.250	8,3%	0	0,0%	0	0,0%
CHACABUCO / PUERTO AYSÉN	62.596	0,1%	7	0,0%	0	0,0%	62.589	0,1%	0	0,0%	0	0,0%
CHAÑARAL / BARQUITO	356.503	0,3%	100.320	0,3%	222.157	1,0%	34.026	0,1%	0	0,0%	0	0,0%
COQUIMBO	407.968	0,4%	30.381	0,1%	0	0,0%	302.325	0,6%	75.258	1,4%	4	0,0%
CORONEL	4.344.088	3,9%	3.141.034	10,4%	230.312	1,0%	637.805	1,2%	334.135	6,2%	801	0,2%
CORRAL	746.566	0,7%	41	0,0%	0	0,0%	746.525	1,4%	0	0,0%	0	0,0%
GNL MEJILLONES	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
GUAYACÁN	1.835.187	1,7%	23	0,0%	41.945	0,2%	1.793.219	3,4%	0	0,0%	0	0,0%
HUASCO / GUACOLDA	8.344.109	7,5%	3.518	0,0%	0	0,0%	8.340.592	15,7%	0	0,0%	0	0,0%
IQUIQUE	378.817	0,3%	290.541	1,0%	45.757	0,2%	0	0,0%	906	0,0%	41.612	11,2%
LIRQUÉN	4.844.247	4,4%	4.398.672	14,6%	535	0,0%	218.138	0,4%	220.145	4,1%	6.756	1,8%
LOS VILOS	1.220.785	1,1%	115.196	0,4%	0	0,0%	1.105.589	2,1%	0	0,0%	0	0,0%
MEJILLONES	7.936.083	7,1%	125.320	0,4%	5.945.576	27,0%	1.865.188	3,5%	0	0,0%	0	0,0%
MICHILLA	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
MUELLE HUACHIPATO	1.007.269	0,9%	33.853	0,1%	329.108	1,5%	644.308	1,2%	0	0,0%	0	0,0%
NATALES	902	0,0%	39	0,0%	739	0,0%	125	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
PATACHE	4.262.283	3,8%	11.804	0,0%	0	0,0%	4.250.479	8,0%	0	0,0%	0	0,0%
PATILLOS	4.803.303	4,3%	0	0,0%	0	0,0%	4.803.303	9,1%	0	0,0%	0	0,0%
OTROS PUERTOS CHILENOS	77.519	0,1%	8.639	0,0%	24.623	0,1%	44.257	0,1%	0	0,0%	0	0,0%
PENCO	351.334	0,3%	4.415	0,0%	0	0,0%	346.919	0,7%	0	0,0%	0	0,0%
PUERTO ANGAMOS	3.536.997	3,2%	2.591.214	8,6%	27.432	0,1%	911.131	1,7%	649	0,0%	6.571	1,8%
PUERTO CABO FROWARD	1.336.337	1,2%	131.576	0,4%	0	0,0%	1.204.762	2,3%	0	0,0%	0	0,0%
PUERTO MONTT	1.132.533	1,0%	58.835	0,2%	581	0,0%	1.073.118	2,0%	0	0,0%	0	0,0%
PUERTO WILLIAMS	12.173	0,0%	741	0,0%	11.421	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	10	0,0%
PUNTA ARENAS	62.798	0,1%	4.413	0,0%	20.902	0,1%	37.473	0,1%	0	0,0%	10	0,0%
QUINTERO	8.068.520	7,3%	294.719	1,0%	7.771.186	35,3%	350	0,0%	2.265	0,0%	0	0,0%
SAN ANTONIO	16.936.379	15,3%	10.685.290	35,4%	252.378	1,1%	3.624.780	6,8%	2.158.300	39,7%	215.631	58,0%
SAN VICENTE	3.782.697	3,4%	2.091.398	6,9%	936.261	4,3%	191.796	0,4%	562.867	10,4%	375	0,1%
TALCAHUANO	3.760.270	3,4%	351.908	1,2%	3.323.511	15,1%	56.903	0,1%	27.924	0,5%	24	0,0%
TERMINAL GRÁNELES DEL NORTE	2.158.962	1,9%	0	0,0%	0	0,0%	2.158.962	4,1%	0	0,0%	0	0,0%
TERMINAL MARÍTIMO ENAEX	343.182	0,3%	0	0,0%	318.000	1,4%	25.182	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
TERMINAL MARÍTIMO ESCUADRÓN	63.812	0,1%	3.267	0,0%	60.545	0,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
TERMINAL MARÍTIMO OXIQUEIM	86.320	0,1%	19.773	0,1%	66.548	0,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
TERMINAL MUELLE MECANIZADO ESPERANZA	547.307	0,5%	65.907	0,2%	15.608	0,1%	465.791	0,9%	0	0,0%	0	0,0%
TERMINAL PORTUARIO TERQUIM	213.883	0,2%	1.642	0,0%	212.241	1,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
TOCOPILLA	1.113.768	1,0%	102.715	0,3%	0	0,0%	1.011.053	1,9%	0	0,0%	0	0,0%
VALPARAÍSO	6.395.406	5,8%	4.188.909	13,9%	103.002	0,5%	3.472	0,0%	2.003.309	36,9%	96.715	26,0%
VENTANAS	2.806.563	2,5%	46.123	0,2%	47.433	0,2%	2.713.008	5,1%	0	0,0%	0	0,0%
Total TONELADAS	111.004.613	100,0%	30.157.151	100,0%	21.991.252	100,0%	53.054.397	100,0%	5.430.103	100,0%	371.709	100,0%
			Carga General		Granel Líquido		Granel Sólido		Refrigerado		OTROS	
	TIPO		27,2%		19,8%		47,8%		4,9%		0,3%	



14.7 ANEXO G (Parámetros de diseño lastres)

14.7.1 DATOS DE OLEAJE UTILIZADOS

Para llevar a cabo el estudio, los parámetros de resumen del oleaje (Altura de ola, periodo y dirección) fueron obtenidos de dos fuentes de información (Informe Técnico de procesamientos de datos de oleaje, corriente y marea del proyecto “Sistema de impulsión de agua de mar, Orcoma” y del Atlas de oleaje UV).

En el caso del Atlas de oleaje, la información utilizada corresponde a datos de oleaje definidos en un nodo en aguas profundas. El nodo se encuentra ubicado en las afueras de la bahía de Quinteros (-32.744785°y - 71.513671°).

Para el diseño de los muertos se realizó un análisis con la dirección de oleaje predominante en el sitio de interés, 247.5° (WSW).

14.7.2 PARÁMETROS HIDRODINÁMICOS DE DISEÑO

El proceso de transferencia de oleaje, desde un punto de aguas profundas a otro de menor profundidad, se realiza con el fin de obtener un clima de oleaje cercano a la zona de proyecto (o sitio de interés) con el fin de caracterizar el oleaje operacional y extremo. La metodología utilizada para efecto de este estudio fue la Teoría Lineal del Oleaje TLO, la información fue obtenida del Atlas de oleaje. La altura de ola de diseño en cada veril dentro de la zona de proyecto se determinó mediante la teoría línea de oleaje (TLO), de acuerdo con:

$$H = K_s \times K_r \times H_0$$

Donde

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

$$K_s = \frac{1}{\sqrt{2n \times \tan \frac{2\pi d}{L}}}$$

α_1 y α_2 son los ángulos asociados a la Ley de Snell.

Del mismo modo, las velocidades y aceleraciones orbitales fueron calculadas de la TLO. Los resultados se presentan a continuación:

d[m]	L (m)	H diseño	Fondo z=-d	u [m/s]	Tipo	Fuerza arrastre	du/dt [m/s ²]	Fuerza de inercia	w (m/s)	Fuerza Lift	Fuerza horizontal
21.4	203.3	4.8	-21.0	1.41	Progresiva	0.002	0.59	0.008	0.017	0.00043	0.010
20.4	199.1	4.8	-20.0	1.46	Progresiva	0.002	0.61	0.008	0.018	0.00044	0.010
19.4	194.8	4.8	-19.0	1.52	Progresiva	0.002	0.64	0.009	0.020	0.00044	0.011
18.4	190.3	4.9	-18.0	1.59	Progresiva	0.002	0.66	0.009	0.021	0.00045	0.011
17.4	185.7	4.9	-17.0	1.66	Progresiva	0.002	0.69	0.010	0.022	0.00045	0.012
16.4	180.8	5.0	-16.0	1.74	Progresiva	0.002	0.73	0.010	0.024	0.00046	0.012
15.4	175.8	5.0	-15.0	1.82	Progresiva	0.003	0.76	0.010	0.026	0.00047	0.013
14.4	170.5	5.1	-14.0	1.92	Progresiva	0.003	0.81	0.011	0.028	0.00048	0.014
13.4	165.0	5.2	-13.0	2.03	Progresiva	0.003	0.85	0.012	0.031	0.00049	0.015
12.4	159.2	5.2	-12.0	2.16	Progresiva	0.004	0.90	0.012	0.034	0.00050	0.016
11.4	153.2	5.3	-11.0	2.30	Progresiva	0.004	0.96	0.013	0.038	0.00051	0.017
10.4	146.7	5.4	-10.0	2.47	Progresiva	0.005	1.04	0.014	0.042	0.00053	0.019
9.4	139.9	5.5	-9.0	2.67	Progresiva	0.006	1.12	0.015	0.048	0.00056	0.021
7.4	124.9	5.8	-7.0	3.18	Rompiente	0.020	1.33	0.018	0.064	0.00063	0.020
6.4	116.5	5.0	-6.0	2.97	Rompiente	0.017	1.25	0.017	0.064	0.00063	0.017
5.4	107.4	4.2	-5.0	2.75	Rompiente	0.015	1.15	0.016	0.064	0.00063	0.015
4.4	97.2	3.4	-4.0	2.50	Rompiente	0.012	1.05	0.014	0.065	0.00063	0.012
3.4	85.7	2.7	-3.0	2.21	Rompiente	0.010	0.93	0.013	0.065	0.00063	0.010
2.4	72.2	1.9	-2.0	1.87	Rompiente	0.007	0.78	0.011	0.065	0.00063	0.007

Figura 60. Propagación Direccional WSW (247,5°)
Fuente. Empresa a cargo