



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniera Civil Oceánica y al Grado de Magíster en Administración y Gestión
Portuaria

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN NUEVO SISTEMA DE AMARRE EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Rita Camila Belén González Ferruzola

Diciembre 2025

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN NUEVO SISTEMA DE AMARRE EN EL PUERTO DE VALPARAÍSO

Rita Camila Belén González Ferruzola

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

PROFESOR 1

Revisor

PROFESOR 2

Revisor

PROFESOR 3

Revisor

PROFESOR 4

Revisor

DECLARACIÓN

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

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

Guacolda Vargas
Profesora Guía

Rita González
Autora

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

En primer lugar, agradezco sinceramente a Hans Jara, de Terminal Pacífico Sur (TPS), por toda la información proporcionada, su constante disposición y la paciencia demostrada durante cada solicitud. Su apoyo fue fundamental para comprender en detalle la operación del terminal. Agradezco también a Claudio Benito, ingeniero que trabajó en la implementación del sistema MoorMaster en San Antonio, por orientarme, compartir su experiencia y entregarme datos y recomendaciones que fueron clave para el desarrollo técnico de este estudio.

A la Empresa Portuaria de Valparaíso (EPV), y especialmente a Gustavo y Pedro García, por confiar en mí y apoyarme durante el desarrollo de este proyecto. Su respaldo fue esencial para acceder a información crítica del puerto.

Extiendo mi gratitud a mi profesor Patricio Winckler, por compartir sus notas, resultados y el paper que respalda parte esencial de este trabajo, así como a mi profesora guía, Guacolda, por acompañarme en el proceso, orientarme y ofrecerme claridad en los momentos más desafiantes. Agradezco igualmente a mi carrera por el apoyo constante y por permitirme formar parte de una comunidad académica que siempre recordaré con cariño.

A mi familia mis padres, hermana, esposo e hijo, los cuales me han apoyado he instado a seguir adelante, especialmente a mis padres, les agradezco por su apoyo incondicional, tanto económico como emocional, y por brindarme la tranquilidad necesaria para estudiar, acompañando y cuidando a mi hijo. Gracias a ellos pude avanzar y llegar hasta este punto. A mi esposo, gracias por darme ánimo en los momentos de cansancio y recordarme siempre que soy capaz de alcanzar todo lo que me proponga, a mi hijo Gaspar quien me

da la fuerza de seguir adelante para poder darle lo mejor y darme una sonrisa o un abrazo cuando más lo necesitaba.

A mi jefa Paulette, le agradezco su comprensión y flexibilidad para asistir a la universidad y compatibilizar mis responsabilidades laborales con el avance de mi tesis.

Finalmente, agradezco a todas las personas que se dieron el tiempo de responder mis preguntas, participar en entrevistas y reuniones, y contribuir con su experiencia a que este trabajo creciera técnica y profesionalmente. A cada uno de ustedes, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	11
2	GLOSARIO	13
3	INTRODUCCIÓN	15
3.1	CONTEXTO PUERTO DE VALPARAÍSO	19
3.1.1	TERMINAL PACÍFICO SUR S.A.	20
3.1.2	RESTRICCIONES OPERACIONALES	21
4	OBJETIVOS	23
4.1	OBJETIVO GENERAL	23
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
5	ALCANCE Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	24
5.1	ALCANCE	24
5.2	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	25
6	MARCO TEÓRICO	26
6.1	MARCO CONCEPTUAL DE PROYECTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA	26
6.1.1	EVALUACIÓN DE PREFACTIBILIDAD	26
6.1.2	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	27
6.1.2.1	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	29
6.1.2.2	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	29
6.1.3	MÉTODO COSTO- EFICIENCIA	30
6.1.3.1	VALOR ACTUAL DE COSTOS (VAC):	31
6.1.3.2	COSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAE):	31
6.2	SISTEMA PORTUARIO Y CONTINUIDAD OPERACIONAL	33

6.2.1	CONTINUIDAD OPERACIONAL y OPERATIVIDAD PORTUARIA	33
6.2.1.1	CONTINUIDAD OPERACIONAL	33
6.2.1.2	OPERATIVIDAD PORTUARIA	33
6.2.2	CIERRE DE PUERTOS Y DOWNTIME	33
6.2.2.1	CIERRES DE PUERTO	33
6.2.2.2	DOWNTIME	35
6.3	CAMBIO CLIMÁTICO, MAREJADAS Y VARIABLES METEO-OCEÁNICAS	36
6.3.1	CAMBIO CLIMÁTICO	36
6.3.1.1	ESCENARIO REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAY (RCP) 8.5 IPCC	37
6.3.2	MAREJADAS	40
6.3.3	AUMENTO DE LAS MAREJADAS	41
6.3.3.1	EFFECTOS DE LAS MAREJADAS EN EL SECTOR PORTUARIO	43
6.3.4	OLEAJE Y VIENTO COMO VARIABLES CLAVE PARA LA OPERATIVIDAD	44
6.3.4.1	OLEAJE	44
6.3.4.2	VIENTO	46
6.4	SISTEMA DE AMARRE EN PUERTOS	47
6.4.1	SISTEMA DE AMARRE TRADICIONAL	47
6.4.1.1	BITAS	47
6.4.2.1	SHORETENSION	49
6.4.2.2	MOORMASTER	52
6.5	SÍNTESIS: RELACIÓN ENTRE CONCEPTOS Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	55
7	CASOS EMPÍRICOS EN CHILE	57

7.1.1	PUERTO DE ARICA	57
7.1.2	CONCESIÓN TERMINAL PUERTO ARICA	59
7.1.3	RESTRICCIONES OPERACIONALES	61
7.2	PUERTO VENTANAS	61
7.2.1	RESTRICCIONES OPERACIONALES	64
7.3	PUERTO SAN ANTONIO	65
7.3.1	RESTRICCIONES OPERACIONALES	68
8	METODOLOGÍA	70
8.1	SUPUESTOS	70
8.2	ENFOQUE METODOLÓGICO	73
8.3	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES	75
8.4	DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA ACTUAL	77
8.5	EVALUACIÓN TÉCNICA DE ALTERNATIVAS	78
8.6	EVALUACIÓN ECONÓMICA	79
8.7	COMPARACIÓN INTEGRAL Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	82
9	RESULTADOS	83
9.1.1	SITUACIÓN ACTUAL	83
9.1.2	EVALUACIÓN TÉCNICA	88
9.1.3	EVALUACIÓN ECONÓMICA	96
9.1.4	RESUMEN DE RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN ECONÓMICA	96
10	DISCUSIÓN	99
11	CONCLUSIONES	102
12.	REFERENCIAS	105
13	ANEXOS	110

13.1	ANEXOS A	110
13.2	ANEXO B	111
13.3	ANEXO C	112
13.4	ANEXO D	113
13.5	ANEXO D	114
13.6	ANEXO E	115
13.7	ANEXO F	116
13.8	ANEXO G	117
13.9	ANEXO H	118
13.10	ANEXO I	119
13.11	ANEXO J	120

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de Amarre Shoretension en Puerto Ventanas	17
Figura 2: Sistema de Amarre MoorMaster EPSA	18
Figura 3 Infraestructura del Puerto de Valparaíso	20
Figura 4 Etapas generales para desarrollar un proyecto	26
Figura 5 Emisiones totales acumuladas de CO2 antropogénicas desde 1870 hasta 210038	
Figura 6 Distribución anual de marejadas con daños y/o impactos en las costas de Chile, ...	42
Figura 7 Cantidad de avisos de mareadas entre los años 2006 y el 2020	43
Figura 8 Campo de $Hm0$ y Tp respectivamente, en el Puerto de Valparaíso	45
Figura 9 Disposición típica de las líneas de amarre.	48
Figura 10 Chigre o Cabrestantes	48
Figura 11 Sistema de Tensión horizontal Shoretension - HST	51
Figura 12 Sistema Vertical Shoretension	52
Figura 13 Sistema MoorMaster NxG	53
Figura 14 Infraestructura Puerto de Arica	58
Figura 15 Instalaciones Puerto Ventanas S.A.	63
Figura 16 Instalaciones Puerto San Antonio, (1) San Antonio Internacional S.A., (2) Puerto Panul S.A., (3) DP World, (4) QC Policarpo Toro S.A.	66
Figura 17 Publicación del CEO de DP WORLD por MoorMaster	68
Figura 18 Bitá tipo Cobra	84
Figura 19 Bitá tipo Doble.....	85
Figura 20 Gráfico de Tendencia por el periodo de tiempo del 2021 a 2024.	87

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Limitaciones operacionales Frente N°1, Valparaíso	22
Tabla 2 Cantidad de horas de cierres de puerto - downtime operacional en puertos estudiados, periodo 2012-2018.....	34
Tabla 3 Pérdidas económicas por downtime periodo 2012-2018 (en USD).....	35
Tabla 4 Frentes y sus sitios de atraque.....	59
Tabla 5 Tabla de condiciones operacionales Puerto Arica	61
Tabla 6 Limitaciones operacionales	64
Tabla 7 Supuestos a considerar en la evaluación económica	71
Tabla 8 Características de Bitas Terminal Pacífico Sur S.A.	83
Tabla 9 Costos asociados a las Bitas puerto de Valparaíso	85
Tabla 10 Downtime en horas para Puerto de Valparaíso y Terminal Pacífico Sur	86
Tabla 11 Tabla de comparativa de las especificaciones técnicas los sistemas de amarre	88
Tabla 12 Extracto de las entrevistas semiestructuradas.....	93
Tabla 13 Resumen de Indicadores Financieros por Escenario en USD	97

1 RESUMEN

El presente estudio desarrolla una evaluación de prefactibilidad técnica y económica para los sistemas de amarre Shoretension y MoorMaster con el fin de mejorar la continuidad operativa del Frente N.º 1 (Sitios 1, 2 y 3) del Puerto de Valparaíso, infraestructura particularmente afectada por cierres operacionales debido a marejadas provenientes del noroeste y al incremento proyectado de eventos extremos bajo el escenario climático RCP 8.5. La investigación integra análisis económico, revisión técnica, evidencia empírica nacional y entrevistas con profesionales de EPV, TPS, instaladores especializados y operadores de puertos donde estas tecnologías ya han sido implementadas.

Desde el punto de vista técnico-operacional, ambos sistemas aportan mejoras en la estabilidad del buque y permiten reducir movimientos que actualmente provocan detenciones en las operaciones portuarias. Sin embargo, las entrevistas evidenciaron diferencias relevantes entre el desempeño teórico presentado por los proveedores y el funcionamiento real observado en terreno. MoorMaster mostró alta eficiencia bajo condiciones controladas y con cascos de geometría uniforme, pero también presentó limitaciones operativas frente a oleaje significativo, requerimientos de calibración compleja y alta dependencia tecnológica. Por su parte, Shoretension demostró ser más adaptable a diversos tipos de naves, de operación más simple y compatible con la infraestructura existente, con menor necesidad de intervención estructural y sin interrupciones mayores en el proceso de amarre.

Los resultados económicos refuerzan estas diferencias. MoorMaster presenta Valores Actuales Netos (VAN) negativos en todos los escenarios analizados y Tasas Internas de Retorno (TIR) inferiores a la tasa de descuento considerada, lo que indica su inviabilidad financiera en el contexto del Frente N.º 1 del Puerto de Valparaíso. Por su parte, Shoretension muestra un desempeño económico más favorable, alcanzando VAN positivos en los escenarios conservador y optimista, junto con TIR superiores al 12 %, además de un