

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Análisis Preliminar del Sistema de Varadero Syncrolift en el Terminal

Petrolero de Esmeraldas

INGE-3069

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Naval

Presentado por:

Andres Daniel Ortega Lucero

Joice Angela Vera Ayala

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios; a mi padre cuyas enseñanzas me inculcaron el camino en esta carrera; a mi madre Lucrecia y hermanos Alexandra y Víctor, por su apoyo incondicional durante esta etapa, a mis amigos y compañeros, que no dudaron ni dejaron de creer en mí.

Andres Daniel Ortega Lucero.

Dedico este trabajo a Dios; a mis padres, por su fortaleza, sacrificio, entrega incondicional y amor infinito; a mi querida Amalia; a mis hermanos Jocelyne, Jodye y Armando por caminar conmigo en este desafío. A mi abuela querida y mi tío armando, por ser luz en mis momentos más difíciles.

Este trabajo es para todos ustedes, por creer en mí, sostenerme con su amor y acompañarme hasta ver este sueño realizado.

Joice Angela Vera Ayala.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestros profesores, por su valiosa aportación de conocimientos y experiencias a lo largo de nuestra trayectoria académica; a nuestro tutor, MSc. Isaac Mendoza, por su guía y acompañamiento durante el desarrollo de esta tesis; a la Facultad de ingeniería marítima y ciencias de mar de la Espol, FIMCM; al personal del Terminal Marítimo de Balao y a la Superintendencia de Balao (SUINBA), quienes nos brindaron la oportunidad y abrieron sus puertas para el desarrollo de este proyecto en su beneficio; y a las empresas Sidermet S.A. y Cablema S.A., por su aporte al desarrollo de este proyecto.

Gracias a mi madrina Bellita; a mi tía Aida; a mis amigos Sharon, Juan, Ariana, Ma. José, Paty, Andrea, Diego y Carolina; y a mis viejitas, por su apoyo constante y por hacer el camino más ligero con su compañía.

Declaración Expresa

Nosotros Andres Daniel Ortega Lucero, Joice Angela Vera Ayala, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 14 de octubre del 2025.

Andres Daniel Ortega Lucero

Joice Angela Vera Ayala

Evaluadores

Mgtr. Ing. Jose Rodriguez Lamchang

Profesor de Materia

MSc. Ing. Isaac Mendoza Marchan

Tutor de proyecto

Resumen

Este estudio evalúa la viabilidad de implementar un sistema Syncrolift en el Terminal Marítimo de Balao en la provincia de Esmeraldas para eliminar su dependencia de astilleros distantes para el mantenimiento de su flota, incluyendo su barcaza tipo grúa con una capacidad mayor a las 500 TON. Se desarrolló un diseño preliminar de una plataforma elevadora de 1000 TON, analizando su estructura mediante normas internacionales, elementos finitos y criterios económicos.

Los resultados confirman la viabilidad técnica del sistema, cumpliendo con todos los requerimientos estructurales y operativos. Si bien el análisis financiero bajo un escenario inicial muestra una TIR modesta (3.66%) y un periodo de recuperación extendido, la implementación del proyecto brindará al Terminal una autonomía estratégica, reducirá costos logísticos y tiempos de indisponibilidad. Además, la obra generará empleo directo e indirecto, dinamizará la industria naval local y posicionará a la provincia de Esmeraldas como un centro de servicios marítimos, aportando un desarrollo significativo a nivel regional más allá de los indicadores financieros tradicionales.

Palabras Clave: Viabilidad, Varadero, Factibilidad, Elevador sincrónico, Autonomía operativa.

Abstract

This study evaluates the feasibility of implementing a Syncrolift system at the Balao Maritime Terminal in the province of Esmeraldas to eliminate its dependence on distant shipyards for the maintenance of its fleet, including its crane barge with a capacity of 500 TONS. A preliminary design for a 1000 TONS lifting platform was developed, analyzing its structure through international standards, finite element methods, and economic criteria.

Results confirm the system's technical viability, meeting all structural and operational requirements. While the financial analysis under an initial scenario shows a modest IRR (3.66%) and an extended payback period, the project's implementation will provide the Terminal with strategic autonomy, reduce logistical costs and downtime. Furthermore, the project will generate direct and indirect employment, stimulate the local naval industry, and position Esmeraldas province as a maritime service hub, contributing significant regional development beyond traditional financial indicators.

Keywords: Viability, Dry dock, Feasibility, Shiplifts, Operational autonomy.

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras	XI
Índice de tablas	XIII
Índice de Planos	XV
Capítulo 1	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del Problema	3
1.3 Justificación del Problema	3
1.3.1 Relevancia operativa	3
1.3.2 Importancia técnica	4
1.3.3 Valor estratégico	4
1.3.4 Impacto social y regional	4
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Flota Actual del TPE	5
1.6 Alcances y Limitaciones	6

Capítulo 2	9
2.1 Marco Teórico	10
2.1.1 El concepto de varadero.....	10
2.1.2 Tipos de sistemas de varamiento.....	11
2.2 Principio de funcionamiento syncrolift.....	13
2.3 Equipamiento Básico de un Astillero	14
2.4 Marco Legal y Normativo Nacional para Operación y Construcción de Astilleros	
15	
2.4.1 Autorizaciones:.....	15
2.4.2 Condiciones operacionales del terminal.....	16
2.4.3 Memorias, planos y especificaciones técnicas:.....	16
2.4.4 Organización administrativa y operacional	16
2.4.5 Seguridad industrial.....	16
2.5 Normas de Diseño Aplicadas al Sistema Syncrolift.....	17
2.6 Astilleros y Varaderos Locales.....	18
2.6.1 Astinave EP	18
2.6.2 Astillero Maridueña	18
2.6.3 Varaderos del pacífico, Varpacific S.A.	19
2.6.4 Astillero Taera.....	19
2.7 Sistemas de Elevadores Sincrónicos en la Región	19
2.7.1 Cotecmar, Colombia	19
2.7.2 SIMA, Perú.....	20

2.7.3	<i>SPI Astilleros, Argentina</i>	20
2.7.4	<i>Asmar, Chile</i>	21
Capítulo 3		23
3.1	Metodología	24
3.2	Diseño Preliminar de la Plataforma de Elevación.....	24
3.2.1	<i>Criterios técnicos y cálculos preliminar para la viga transversal</i>	25
3.2.2	<i>Criterios técnicos y cálculos preliminares para la viga longitudinal</i>	31
3.3	Análisis de la Plataforma con Elementos Finitos	34
3.3.1	<i>Mallado y convergencia</i>	35
3.3.2	<i>Condiciones de frontera y carga</i>	35
3.4	Selección del Sistema de Izaje	38
3.4.1	<i>Criterios para la selección del cable</i>	39
3.4.2	<i>Criterios para la selección de la polea</i>	40
3.4.3	<i>Selección del winche</i>	41
3.5	Dimensionamiento de los Muelles Espigón	42
3.5.1	<i>Criterios básicos de referencia para el diseño</i>	44
3.6	Presupuesto Referencial	53
3.6.1	<i>Costo referencial para la obra civil</i>	53
3.6.2	<i>Costo referencial para accesorios del sistema</i>	54
3.6.3	<i>Costo referencial obra metalmecánica</i>	55
3.6.4	<i>Costo referencial del sistema syncrolift</i>	56
3.6.5	<i>Ingresos</i>	56

3.6.6	<i>Egresos</i>	57
3.6.7	<i>Flujo de Caja e indicadores financieros</i>	58
3.6.8	<i>Análisis de Sensibilidad</i>	63
Capítulo 4		66
4.1	Conclusiones y Recomendaciones	67
4.1.1	<i>Conclusiones</i>	67
4.1.2	<i>Recomendaciones</i>	68
Referencias		69
Apéndice A		73
5.1	Apéndices del Capítulo 3	73
5.1.1	<i>Uso de la opción “joints” para simular un pasador en Ansys</i>	73
5.1.2	<i>Cálculo del momento producido por el viento sobre el área transversal de la barcaza Smith Rice</i>	76
Apéndice B		79
5.2	Planos del Diseño Preliminar	79

Abreviaturas

ASTINAVE	Astilleros Navales Ecuatorianos
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CNMMP	Consejo Nacional de la Marina Mercante y Puertos
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ISO	International Organization for Standardization
MIG-MAG	Metal Inert Gas-Metal Active Gas
MLC	Maximum Lifting Load
PRI	Periodo de Recuperación de Inversión
TIG	Tungsten Inert Gas Welding
TIR	Tasa Interna de Retorno
TMRA	Tasa Minima de Retorno Aceptable
TPE	Terminal Petrolero de Esmeraldas
ROM	Recomendaciones para Obras Maritimas
RUC	Registro Único de Contribuyente
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
SOTE	Sistema de Oleoducto transecuatoriano
SUINBA	Superintendencia de Balao
SWL	Safe Weight Load
VAN	Valor Actual Neto

Simbología

a	Distancia al punto de aplicación de la fuerza
A	Area lateral de la superficie expuesta de la barcaza Smith Rice
Ap	Ancho de plataforma
At	Area lateral de la plataforma
B	Manga
Bmax	Manga máxima disponible
CMR	Carga mínima de rotura
Cb	Coeficiente de bloque
Cm	Coeficiente de masa hidrodinámica
Ce	Coeficiente de excentricidad
Cg	Coeficiente geométrico del buque
Cc	Coeficiente de configuración de atraque
Cs	coeficiente de rigidez del sistema de atraque
D	Puntal
D	Diámetro de la polea
Dt	Diámetro del tambor
d	Diámetro del cable de acero
E	Modulo de young
E	Energía cinética característica
Ef	Energía cinética absorbido por el sistema de defensas
F	Factor de esfuerzo de Lloyd's Register
g	aceleración de la gravedad
g	Tolerancia de la garganta
Hs	Altura de ola significativa en operación
I	Inercia

IPC	índice de precio al consumidor
k	Radio de giro del buque
L	Eslora del buque
Lmax	Eslora máxima disponible
Lp	Longitud de plataforma
M	Momento del par del viento sobre el área transversal del buque
MLC	Capacidad de levante máximo de la plataforma
Mmax	Momento máximo
P	Carga puntual
Pcable	Carga por cable
Pl	Carga por línea de apoyo
Pt	Carga total de diseño
Pu	Carga por viga
Pv	Presión superficial del viento
q	Carga de carena mínima, en picaderos de quilla
R	Fuerza de impacto
SWL	Capacidad de levante nominal de la plataforma
T	Calado
T	Carga de rozamiento
Ts	Periodo de ola significativa en operación
Tmax	Calado máximo de operación
Vb	Componente normal a la superficie de atraque de la velocidad de

aproximación del buque.

Vol	Volumen de carena
Wp	Peso estructural de la plataforma
W	Carga por unidad de longitud

Z	Distancia vertical al centroide de área de aplicación de la fuerza del viento
Z_{req}	Modulo de sección requerido
σ_y	Esfuerzo Yield
σ_a, σ_{per}	Esfuerzo admisible, permisible
Δ	Desplazamiento
Δ_{max}	Deflexión máxima
Δ_{per}	Deflexión permisible
γ :	Angulo entre la línea que une el punto de contacto y el centro de gravedad del buque, y el vector velocidad, [grados].
μ	Coeficiente de rozamiento entre la superficie de la defensa y el casco del buque en el

Índice de figuras

Figura 1 <i>Terminal Marítimo de Balao - Esmeraldas</i>	2
Figura 2 <i>Metodología aplicada</i>	10
Figura 3 <i>Buque varado en rampa de varamiento</i>	11
Figura 4 <i>Dique seco astillero Asmar - Chile</i>	12
Figura 5 <i>Plataforma syncrolift</i>	12
Figura 6 <i>Plataforma syncrolift de Cotecmar - Colombia</i>	13
Figura 7 <i>Carro de transferencia acoplados</i>	14
Figura 8 <i>Plataforma sincrónica de Cotecmar, Cartagena de Indias - Colombia</i>	19
Figura 9 <i>Plataforma sincrónica de Sima, Chimbote - Peru</i>	20
Figura 10 <i>Plataforma sincrónica de SPI astilleros, Mar del Plata - Argentina</i>	21
Figura 11 <i>Espiral de diseño para el desarrollo del proyecto</i>	22
Figura 12 <i>Diseño preliminar de la plataforma con software Rhinoceros</i>	24
Figura 13 <i>Modelo viga simplemente soportada con 2 cargas puntuales</i>	26
Figura 14 <i>Sección de la viga principal transversal</i>	28
Figura 15 <i>Criterios permisibles para el diseño de pontones de escotillas de Llody's</i>	
<i>Register</i>	30
Figura 16 <i>Modela viga longitudinal empotrado en los extremos con carga distribuida</i> .	31
Figura 17 <i>Viga longitudinal perfil HEA 600</i>	33
Figura 18 <i>Modelado de la mitad de la plataforma para análisis de elementos finitos</i>	34
Figura 19 <i>Condición de pin/pasador modelado en ANSYS R2025 en los extremos de la viga</i>	35
Figura 20 <i>Condiciones de frontera y carga modelado en ANSYS R2025</i>	36
Figura 21 <i>Resultado de la convergencia en la deformación total</i>	37
Figura 22 <i>Resultado de la convergencia en el esfuerzo equivalente de Von Mises</i>	37

Figura 23 Resultado grafico del esfuerzo máximo equivalente de Von Mises de la simulación,	38
Figura 24 Sistema de poleas para elevación de la plataforma	39
Figura 25 Muelles para soportes del sistema de elevación.....	43
Figura 26 Vista transversal de un corte del muelle syncrolift SPI Astilleros, Mar del Plata-Argentina	44
Figura 27 Velocidad de aproximación según el tipo de ataque.....	46
Figura 28 Valores recomendados para el coeficiente de configuración de ataque Cc. ..	47
Figura 29 Esquema del coeficiente de excentricidad.	48
Figura 30 Coeficientes de rozamiento μ	50
Figura 31 Cargas de amarres en función del desplazamiento	51
Figura 32 Carga de carena minina soportada sobre la quilla.....	52
Figura 33 Modelo 3D de la plataforma syncrolift.....	53
Figura 34 TIR para distintos horizontes de evaluación	59
Figura 35 Sensibilidad de TIR acorde al Número de Carenamientos.....	62
Figura 36 Análisis de sensibilidad del costo de carenamiento – Escenario 1	64
Figura 37 Análisis de sensibilidad del costo de carenamiento – Escenario 2	65
Figura 38 Panel de opciones de Ansys Mechanical	73
Figura 39 Panel de opciones de Ansys Mechanical	73
Figura 40 Selección de geometría de referencia	74
Figura 41 Selección de geometría movil	75
Figura 42 Chequeo de geometría de referencia y movil	75
Figura 43 Chequeo de la conexión por pin y su sistema de referencia.....	76
Figura 44 Indicadores de escala y presión de viento para análisis con elementos finitos	77
Figura 45 Área lateral expuesta al viento de la plataforma más la barcaza	78

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Flota actual de apoyo del TPE</i>	5
Tabla 2 <i>Normas que pueden aplicarse al diseño de un syncrolift</i>	17
Tabla 3 <i>Características de la barcaza Smith Rice</i>	25
Tabla 4 <i>Dimensiones y capacidades de la plataforma syncrolift</i>	25
Tabla 5 <i>Capacidad de carga de diseño y por viga transversal principal</i>	25
Tabla 6 <i>Factores de diseño, esfuerzos admisibles y de falla para sistemas elevadores</i> ..	26
Tabla 7 <i>Esfuerzos admisibles para cada condición indicadas en el Code for Lifting Appliance</i>	27
Tabla 8 <i>Comparativa del módulo requerido vs el propuesto</i>	28
Tabla 9 <i>Cálculo de la inercia y módulo de la sección propuesta para la viga transversal</i>	28
Tabla 10 <i>Comparativa de la deflexión máxima con la permisible</i>	30
Tabla 11 <i>Resumen del cálculo preliminar de la viga transversal</i>	30
Tabla 12 <i>Carga de diseño para el análisis de la viga longitudinal</i>	31
Tabla 13 <i>Comparativa del módulo requerido vs el propuesto</i>	32
Tabla 14 <i>Dimensiones y propiedades del perfil HEA 600</i>	32
Tabla 15 <i>Comparativa de la deflexión máxima y la permisible en la viga longitudinal</i> ..	33
Tabla 16 <i>Resultados tabulados para la selección de la viga longitudinal</i>	34
Tabla 17 <i>Modelos y tamaño de elementos para análisis de convergencia</i>	35
Tabla 18 <i>Condición de carga aplicadas en la simulación</i>	36
Tabla 19 <i>Resultados para la selección del cable</i>	40
Tabla 20 <i>Resultados para la selección del diámetro de la polea y tambor</i>	40
Tabla 21 <i>Tabla comparativa para la selección del winche</i>	42
Tabla 22 <i>Resumen de cálculo para la energía cinética desarrollada por el buque durante el impacto</i>	46

Tabla 23 <i>Resultados del cálculo de la energía absorbida por el sistema de atraque</i>	49
Tabla 24 <i>Resultados del cálculo de la fuerza de impacto</i>	50
Tabla 25 <i>Resultados cálculo de la fuerza de rozamiento y amarre</i>	51
Tabla 26 <i>Resultado cálculo de la carga de carena sobre la zona de varamiento</i>	52
Tabla 27 <i>Presupuesto referencial para la obra civil</i>	54
Tabla 28 <i>Presupuesto referencial para el cable de acero y accesorios</i>	54
Tabla 29 <i>Presupuesto referencial para rieles, ruedas de acero para los carros de transferencia</i>	55
Tabla 30 <i>Presupuesto referencial para el sistema de elevación</i>	55
Tabla 31 <i>Presupuesto referencial para la construcción y montaje de la plataforma</i>	55
Tabla 32 <i>Presupuesto referencial para la construcción del sistema Syncrolift</i>	56
Tabla 33 <i>Costo Varadero por Carenamiento</i>	56
Tabla 34 <i>Sueldos personal Operativo</i>	57
Tabla 35 <i>Detalle de costos de mantenimiento y reparaciones</i>	58
Tabla 36 <i>Flujo de Caja – Parte 1</i>	60
Tabla 37 <i>Flujo de Caja – Parte 2</i>	60
Tabla 38 <i>Periodo de Recuperación de Inversión – Parte 1</i>	61
Tabla 39 <i>Periodo de Recuperación de Inversión – Parte 2</i>	61
Tabla 40 <i>Análisis de Sensibilidad</i>	63
Tabla 41 <i>Cálculo del momento escorante con formulación de SOLAS</i>	77

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Plataforma vista en planta
PLANO 2	Plataforma cortes transversales
PLANO 3	Plataforma detalle de vigas
PLANO 4	Muelle norte vistas
PLANO 5	Muelle sur vistas
PLANO 6	Plataforma syncrolift vista transversal
PLANO 7	Detalles de carros de transferencia
PLANO 8	Detalle de cajas de ruedas
PLANO 9	Posicionamiento de barcaza sobre plataforma
PLANO 10	Posicionamiento de barcaza sobre plataforma II
PLANO 11	Implantación general

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

El terminal petrolero de esmeraldas (TPE), conocido también como terminal marítimo de balao, constituye la infraestructura marítima más crítica para la economía del Ecuador. Es el punto final del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE) y el nodo a través del cual exporta la mayor parte de crudo nacional, además de canalizar la importación de combustibles y derivados [1]. Su operación continua garantiza cerca del 30% de los ingresos Fiscales del país.

La operación de TPE se apoya en un sistema de monoboyas costa afuera, con capacidad de atender buques tanqueros de hasta 100.000 toneladas de peso muerto, equivalentes a cerca de 700.000 barriles por nave [3]. En 2022 se registraron 463 arribos de buques, de los cuales 379 correspondieron a tráfico internacional y 84 a cabotaje, movilizando un total de 163,6 millones de barriles [4]. Este nivel de actividad implica que la flota de apoyo del terminal la cual está compuesta por 8 embarcaciones entre lanchas, remolcadores, una grúa barcaza multipropósito y varias lanchas auxiliares que deben operar ininterrumpida las 24 horas al día, 365 días del año [5].

Figura 1

Terminal Marítimo de Balao - Esmeraldas



Nota. Tomada de la página oficial www.suinba.com

Sin embargo, la ausencia de un varadero o plataforma de izaje local obliga a trasladar estas unidades hasta Guayaquil, donde Astinave Ep o empresas privadas centralizan las capacidades de carenamiento y reparación. Dichos traslados superan las 200 millas náuticas de distancia, esto genera altos costos, dependencia logística externa y, sobre todo, largos periodos de

indisponibilidad de las embarcaciones [6]. Cuando la indisponibilidad temporal de hasta un solo remolcador es suficiente para elevar significativamente los riesgos asociados a las maniobras esto se muestra como una vulnerabilidad estratégica para el país.

Ante esta situación, el presente trabajo formula el diseño y evaluación de factibilidad de una plataforma syncrolift para el Terminal Petrolero de Esmeraldas, con el propósito de dotar al puerto de una infraestructura que permita realizar trabajos de mantenimiento para buques de mayor acarreo en sitio, generándoles autonomía y reduciendo costos.

1.2 Descripción del Problema

El terminal petrolero de esmeraldas enfrenta una vulnerabilidad crítica debido a su dependencia de astilleros externos ubicados a más de 200 millas náuticas para el mantenimiento mayor de su flota de apoyo. Esta situación ocasiona altos costos de carenado, largos periodos de indisponibilidad operativa, riesgos logísticos durante el traslado de embarcaciones y pérdida de autonomía en la planificación preventiva. La ausencia de un varadero propio limita el desarrollo de capacidades técnicas locales y constituye un punto débil para la seguridad energética nacional, dado que la operación del terminal depende de la disponibilidad ininterrumpida de sus remolcadores, barcasas y lanchas auxiliares.

1.3 Justificación del Problema

El presente proyecto incrementará la autonomía técnica del estado para asegurar que las operaciones del TPE no dependan de astilleros externos. Además, concentrará los procesos de carenado en un entorno controlado, cumpliendo con las directrices sobre gestión ambiental en astilleros y minimizando riesgos de contaminación por residuos de pintura o hidrocarburos.

1.3.1 Relevancia operativa

La implementación de un varadero permitirá garantizar la disponibilidad continua de la flota de apoyo, reduciendo significativamente los tiempos de indisponibilidad que surgen de los mantenimientos mayores o vicios ocultos que surgen en astilleros externos. Esto se traduce en mayor eficiencia en las maniobras y en la disminución de riesgos asociados a la falta temporal de

remolcadores, lanchas o barcasas. Además, se podría ofrecer servicios de reparación a terceros, como embarcaciones de cabotaje o pesqueras generando ingresos adicionales para el puerto.

1.3.2 Importancia técnica

El sistema syncrolift es un mecanismo de izaje vertical sincronizado que eleva las embarcaciones mediante un conjunto de cabrestantes controlados electrónicamente. A diferencia del sistema de rampa tradicional, el syncrolift ofrece mayor precisión seguridad y flexibilidad modular, lo cual le permite adaptarse a diferentes capacidades de levante sin depender de las mareas [14].

1.3.3 Valor estratégico

La autonomía en el mantenimiento de las embarcaciones de apoyo fortalece la seguridad energética del Ecuador, al reducir la dependencia de astilleros externos para garantizar la continuidad de operaciones en una instalación considerada estratégica para el Estado. De este modo, el varadero se configura como un activo crítico con independencia operativa.

1.3.4 Impacto social y regional

Más allá del TPE, la infraestructura proyectada generará empleo directo e indirecto, dinamizará la industria naval del norte del país y con la posibilidad de ofrecer servicios complementarios a diferentes actores en el sector pesquero. Esto permitirá transformar a Esmeraldas en un polo de desarrollo marítimo industrial como alcance regional.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica, operativa y económica de implementar una plataforma de varamiento syncrolift en el Terminal Petrolero de Esmeraldas para el mantenimiento de su flota de apoyo y local.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar las características técnicas de la flota del TPE, mediante la revisión de planos y especificaciones, para definir los requerimientos de capacidad del sistema syncrolift.

2. Desarrollar el arreglo general del sistema syncrolift, considerando dimensiones y condiciones del sitio, para garantizar la eficiencia y seguridad operativa.
3. Elaborar un presupuesto referencial de construcción, a partir de estimaciones de obra civil y metalmecánica, para evaluar la factibilidad económica del proyecto.

1.5 Flota Actual del TPE

La flota actual del TPE consta de 7 embarcaciones, entre lanchas, remolcadores y una barcaza para el mantenimiento de las monoboyas.

Tabla 1

Flota actual de apoyo del TPE

Nombre buque	Característica	Dimensiones
L/ Nereida	Matricula	TN-027740
	Eslora	16.77
	Manga	5.00
	Puntal	2.50
	TRB	62.48
L/ Tepre II	Matricula	TN-027741
	Eslora	16.15
	Manga	5.00
	Puntal	2.51
	TRB	43.47
R/ Esturión	Matricula	R-02-00097
	Eslora	16.56
	Manga	5.53
	Puntal	2.55
	TRB	59.25
R/ Sierra	Matricula	R-02-00082
	Eslora	15.4
	Manga	4.80
	Puntal	2.55
	TRB	30.69
R/ Albacora	Matricula	R-02-00008

	Eslora	15.40
	Manga	4.80
	Puntal	2.35
	TRB	30.69
R/ Bonito	Matricula	R-02-00080
	Eslora	15.40
	Manga	4.80
	Puntal	2.35
	TRB	30.69
Bza. Smith Rice	Matricula	DA-00001
	Eslora	34.00
	Manga	15.85
	Puntal	2.77
	TRB	381.36

1.6 Alcances y Limitaciones

Definir la capacidad de un astillero, es un tema fundamental, porque de este ca a depender que rango de equipos se van a atender y de aquí parte también cual podría ser el costo del proyecto, por lo tanto, es fundamental tener claro el alcance del proyecto. Qué tipo de tecnología se va a manejar y cuáles serían los proveedores claves de los insumos para la etapa de construcción. [13]. Una vez definido las dimensiones del sistema conforme a las capacidades requeridas, el diseño preliminar servirá como base para la elaboración del presupuesto referencial de construcción. Resumiendo, los alcances del proyecto serian:

- Plano del diseño preliminar de la plataforma de varamiento vertical.
- Cantidad y capacidad de cada winche de izaje.
- Dimensionamiento de los 2 muelles tipo espigón.
- Plano general con el sistema syncrolift en las instalaciones del TPE.
- Presupuesto referencial de construcción.

De acuerdo con Davalos E. (2010), aparte del sistema de varamiento en el astillero naval se requiere de talleres de reparación o elaboración para el mantenimiento o construcción de una embarcación. Estos talleres están constituidos por [12]:

- Taller de calderería: Soldadura, tubería, gasfitería, tratamientos térmicos.
- Taller mecánico: mecánica general, metalúrgica, refrigeración, maquinado.
- Taller eléctrico: Potencia, electrónica.
- Carpintería; ebanistería, carpintería naval.

Dentro del proyecto de implantación general se va a considerar áreas que puedan destinarse a la ubicación de estos talleres.

Entre las limitaciones consideradas para el desarrollo del estudio de factibilidad se encuentra la estimación de costos referenciales asociados a las siguientes áreas de trabajo.

- Estudios de suelos y geotécnicos
- Batimetría del sector de influencia
- Estudios de impacto ambiental
- Análisis y bases técnicas para el desarrollo de la obra civil requerida.
- Costos de pólizas y seguros por contratación.

En este tipo de proyectos el análisis de suelos es de vital importancia por la zona en la que se desarrolla, aunque no este considerado en este estudio.

Según Erazo y Yépez (2018). el comportamiento de la resistencia del suelo se valora casi siempre por la resistencia a la compresión simple, sin embargo, una forma más precisa de valorar la resistencia de suelo es la resistencia al corte, pudiendo ser al corte directo o mediante ensayos triaxiales. Si se establece que un determinado tipo de suelo tiene un bajo valor de resistencia y por tanto esto puede fallar por las fuerzas de filtración, es posible mejorar la resistencia mediante tratamientos a dicho suelo, para que soporte las fuerzas de filtración [19].

Estos costos serán presupuestados con valores referenciales de proyectos de características similares desarrollados anteriormente.

Como elemento de apoyo, se incorporará una comparación técnico-económica entre el sistema syncrolift y la rampa tradicional, a fin de orientar a futuras decisiones de inversión en infraestructura naval.

CAPÍTULO 2

2.1 Marco Teórico

La propuesta de implementar un sistema tipo syncrolift en el TPE surge como una iniciativa del armador, quien identificó la necesidad de contar con una infraestructura moderna que permita realizar carenamientos mayores sin depender de astilleros externos.

Figura 2

Metodología aplicada



Nota: Elaboración Propia

Por esta razón, el presente marco teórico desarrolla los fundamentos técnicos e ingenieriles que respaldan el diseño y funcionamiento de dicho sistema para el carenamiento de embarcaciones, abordando la naturaleza de los varaderos, la clasificación de los sistemas de izaje y principios operativos del sistema syncrolift.

2.1.1 El concepto de varadero

Un varadero es la infraestructura destinada a sacar embarcaciones del agua para su revisión, mantenimiento o su reparación en casos necesarios. Constituye una parte esencial del ciclo de vida de un buque ya que de esto dependerá que sea óptimo o se reduzca su tiempo de vida útil, ya que permite realizar inspecciones, limpieza del casco y sustitución de elementos dañados de manera preventiva.

Según la Organización de las Naciones unidas para el desarrollo Industrial, la eficacia de un varadero depende de su capacidad de atender distintos tipos de embarcaciones, su mecanismo y las condiciones geográficas del sitio [2].

2.1.2 Tipos de sistemas de varamiento

Los sistemas para sacar embarcaciones del agua o también conocidos como sistemas de varamiento se diferencian por su tecnología, capacidad y costo de operación. En la literatura se reconocen tres tipos Principales [18]:

Rampa o slipway. De los sistemas más tradicionales y antiguos que existen se basa en un plano inclinado donde un carro cuna es halado por cabrestantes o winches y permite la varada de la embarcación. A pesar de ser uno de los sistemas más económicos, para sus maniobras siempre dependerá de la marea y su capacidad se limitará a la capacidad de levante del carro cuna.

Figura 3

Buque varado en rampa de varamiento



Dique seco. Estructura cerrada con compuertas que se inunda para recibir la embarcación, una vez se encuentre en la posición correcta se vacía para ejecutar las reparaciones. Este sistema ofrece un control total pero su mantenimiento e inversión son altos [10]

Figura 4

Dique seco astillero Asmar - Chile



Nota. Tomada de la página oficial [www. https://www.asmar.cl/servicios/buques-mercantes-y-pesqueros/diques/](https://www.asmar.cl/servicios/buques-mercantes-y-pesqueros/diques/)

Plataforma elevadora sincrónica “syncrolift”. Tecnología de izaje vertical mediante múltiples winches eléctricos sincronizados, que eleva una plataforma horizontal sobre pilotes. Es más precisa, segura y rápida que los sistemas tradicionales [17].

Figura 5

Plataforma syncrolift.



Nota. Tomada de la página oficial www.syncrolift.com

La elección del sistema de varamiento adecuado dependerá del entorno operativo, la frecuencia de mantenimiento y la capacidad de inversión.

2.2 Principio de funcionamiento syncrolift

Este sistema fue diseñado por una empresa estadounidense “Syncrolift”, en 1989 paso a formar parte del grupo Rolls Royce [18].

El sistema syncrolift se basa en una plataforma de acero que se mueve verticalmente mediante un conjunto de motores eléctricos sincronizados, Cada uno compuesto por un motor, caja reductora y cabrestante, Los cuales trabajan de forma coordinada para garantizar un izaje uniforme.

Figura 6

Plataforma syncrolift de Cotecmar - Colombia



Nota. Tomada de la página oficial www.cotecmar.com

La embarcación se posiciona sobre la plataforma mediante un carro guía y se levanta hasta el nivel del muelle, ya desde allí puede fácilmente trasladarse sobre rieles al área donde se realice el mantenimiento.

La tecnología representa una alternativa moderna a los métodos tradicionales de varada, como los diques secos excavados o las rampas “slipways”. Su principal ventaja radica en la optimización del espacio, la reducción de los tiempos de operación, y la posibilidad de operar múltiples buques de forma secuencial en una misma plataforma, en especial al combinarlo con un

sistema de transferencia terrestre. Cabe mencionar que Syncrolift es una marca comercial americana registrada [15].

Este sistema se caracteriza por su seguridad y precisión, ya que las cargas son distribuidas uniformemente y elimina cualquier esfuerzo torsional sobre el casco [9]. Además, su independencia de las mareas le permite operar con regularidad según la necesidad, lo que lo convierte en una alternativa eficiente para puertos con alto movimiento de embarcaciones.

2.3 Equipamiento Básico de un Astillero

Aparte del sistema de varamiento como tal, este tipo de infraestructuras requiere de equipamiento complementario para mejorar su eficiencia, dotar las instalaciones de estos equipos permitirá desarrollar los trabajos con mayor rapidez y no depender de la disponibilidad externa, brindándole mayor autonomía al astillero. Estos equipos son tales como:

Carros de transferencia. Estructuras metálicas con ruedas de acero guiadas sobre rieles, estas van sobre la plataforma de varamiento, una vez el buque elevado a nivel terrestre los carros ayudan a moverlo fuera de la plataforma dejando esta libre.

Figura 7

Carro de transferencia acoplados



Nota: fotografía tomada en astillero Maridueña año 2016

Nota. Foto tomada del varadero Varpacific S.A. 2015.

Grúas. Pueden ser de 2 tipos fijas y móviles, su principal uso es ayudar al transporte de equipos pesados tales como: motores, hélices, generadores, o materiales de construcción como planchas de acero. En este caso se recomienda del tipo móvil por la versatilidad que ofrece y condiciones de las instalaciones.

Compresores de aire. Utilizadas para limpieza de casco con sandblasting, procedimientos de pintura o pruebas neumáticas.

Máquinas de soldar. Las instalaciones deberán poseer equipos de soldar para diferentes procesos, tales como SMAW, MIG-MAG, TIG. Dentro de la construcción naval y reparación la combinación diferentes tipos de procesos de soldadura según las necesidades mejora la autonomía, la eficiencia, y resultados, cada proceso tiene sus ventajas si son correctamente aplicados.

2.4 Marco Legal y Normativo Nacional para Operación y Construcción de Astilleros

Dentro del marco legal ecuatoriano, aunque el Terminal Marítimo de Balao sea una empresa pública, los permisos de construcción y operación para infraestructuras de varamiento son otorgados por el Ministerios de Transporte y Obras Públicas, a través de la Subsecretaria de Puertos y Transporte Marítimo y Fluvial. Dentro de los requisitos encontramos lo siguiente [21]:

- Matricula de ocupación de zona de playa y bahía.
- Permiso de Operación a Astilleros, Parrillas, Varaderos y Factorías Navales, con una vigencia máxima de 1 año.

2.4.1 Autorizaciones:

- Acuerdo Ministerial autorizando la ocupación de la zona de playa y bahía (posterior a la aprobación del Consejo Nacional de la Marina Mercante y Puertos - CNMMP).
- Permiso municipal de construcción y funcionamiento según el caso.
- Registro Único de Contribuyentes (RUC).
- Autorización del Cuerpo de Bomberos.
- Título de propiedad de los terrenos.

- Constitución legal de la empresa o compañía, indicando sus accionistas y porcentajes de acciones.
- Autorización de la Dirección Nacional de Hidrocarburos, para el manejo de hidrocarburos y sus derivados.
- Nombramiento de representante legal.

2.4.2 Condiciones operacionales del terminal

- Tipo de naves a varar y desvarar.
- Tipo y porte de embarcaciones que recibirá el Varadero.
- Modalidades de operación y tipos de equipos a utilizarse.
- Talleres.
- Descripción de los servicios a ser prestados y tiempo de servicio.
- Representante Técnico.

2.4.3 Memorias, planos y especificaciones técnicas:

Hidrografía y estudios batimétricos.

- Estudios de suelos.
- Obras civiles de las parrillas.
- Construcciones complementarias de varadero.
- Obras de infraestructura (aguas lluvias, aguas servidas, agua potable, energía eléctrica).
- Instalaciones de seguridad contra incendios.
- Estudio Impacto Ambiental (construcción)/Plan de Manejo Ambiental (para operación).

2.4.4 Organización administrativa y operacional

- Estructura administrativa y operacional.
- Asignación de personal.

2.4.5 Seguridad industrial

- Procedimientos de seguridad industrial adoptados.

- Detalle de los equipos e instalaciones de seguridad industrial.

Toda esta normativa nacional deberá tomarse en cuenta previa construcción y posterior operación del sistema de varamiento syncrolift.

2.5 Normas de Diseño Aplicadas al Sistema Syncrolift

Según Lloyd's Register (2022) en el "Code for lifting appliance in a marine environment", en su capítulo 5, establece parámetros de diseño para sistemas elevadores de buques y sistemas de transferencia, como capacidad de carga, esfuerzos y factores de diseño [20].

Para los equipos elevadores sean eléctricos o hidráulicos y sistema de poleas la misma norma de Lloyd's Register genera criterios de selección y diseño para sus cargas nominales. Con base en esas cargas nominales los equipos seleccionados deberán cumplir con la norma de diseño ASME B30 y sus correspondientes apartados, esta norma establece estándares de diseño y construcción para equipos y medios de elevación.

Tabla 2

Normas que pueden aplicarse al diseño de un syncrolift

Norma	Rango de aplicación.
Lloyd's Register (2022) Code for Lifting Appliances in a Marine Environment	Capítulo 5. Aplicable al diseño de elevadores de buques y sistemas de transferencia.
ASME B30.7 (2016)	Aplicable al diseño, construcción y mantenimiento de winches.
ASME B30.16 (2022)	Overhead Underhung and Stationary Hoists
ASME B30.30 (2019 / 2023)	Aplicable al diseño, construcción y mantenimiento de cables de acero.
ISO 19901-5 (2016)	Weight Control of Offshore Structures
ISO 4301-1 (1986)	Cranes and Lifting Appliance. Part 1 General
ISO 16625 (2013)	Cranes and hoists – Selection of wire, ropes, dumps and sheaves

Nota: elaboración propia.

También existen referencias de la Organización Internacional de Normalización ISO, tales como la ISO 4301 y la ISO 16625, que pueden utilizarse para la selección y dimensionamiento de los accesorios para sistemas elevadores, como: poleas, cables, tambores, etc. Estas indican factores de diseño y selección basándose en el tipo y condiciones de carga a manejarse.

2.6 Astilleros y Varaderos Locales

Actualmente los principales proveedores nacionales que brinda el servicio a la industria naval del país en mantenimientos, reparaciones y construcción de buques se encuentran en la provincia del Guayas, principalmente en el Cantón Guayaquil y Duran, siendo los más representativos los siguientes:

2.6.1 *Astinave EP*

La Empresa Pública Astilleros Navales Ecuatorianos (Astinave) lleva 50 años brindando mantenimiento a la flota naval y pesquera del país, además de construir embarcaciones especializadas. Con instalaciones en Guayaquil, la empresa atiende buques tanqueros, pesqueros industriales, embarcaciones turísticas que operan en las Galápagos y la flota de la Armada del Ecuador [26]. Con una capacidad instalada que va desde las 500 a 4000 toneladas, y buques de hasta 120 metros de eslora, cubre el servicio de mantenimientos en un 40% de la demanda.

Para revertir esta realidad, Astinave proyecta la construcción de un nuevo astillero en Posorja, con una inversión de 60 millones de dólares en su primera fase. El complejo ocupará 21 hectáreas, iniciando con 6 para la instalación de seis andenes y un sistema moderno tipo syncrolift, que permitirá realizar reparaciones y construcciones simultáneamente [26].

2.6.2 *Astillero Maridueña*

Astillero Maridueña, ubicado al sur de la ciudad de guayaquil es un astillero privado desde 1960, este ofrece sus servicios a la industria naval nacional en mantenimientos, construcciones y reparaciones, actualmente consta de 5 parrillas tipo “slipway”, 4 de ellas con una capacidad de 600 toneladas y 1 con capacidad de 1000 ton [27].

2.6.3 Varaderos del pacifico, Varpacific S.A.

Ubicados en la provincia del Guayas en el cantón Duran. Con más de 12 años en el sector naval, VARPACIFIC S.A. se ha consolidado como referente en construcción, reparación y modernización de embarcaciones, brindando soluciones seguras, eficientes e innovadoras para clientes nacionales e internacionales [28].

Cuenta con 2 parrillas “slipway” de 1500 toneladas de capacidad y puede atender buques de hasta 150 metros de eslora.

2.6.4 Astillero Taera

Taera es una empresa privada que desde 1964 se dedica al mantenimiento y construcción de embarcaciones para el sector pesquero y turístico, ubicados al sur de la ciudad de Guayaquil sus instalaciones cuentan con área de 800 metros cuadrados para servicios de construcción de embarcaciones, y una parrilla “slipway” de 800 toneladas de capacidad que puede atender buques de hasta 54 metros de eslora y 14 metros de manga [29]

2.7 Sistemas de Elevadores Sincrónicos en la Región

2.7.1 Cotecmar, Colombia

El astillero de Cotecmar ubicado en la ciudad de Cartagena de Indias – Colombia, cuenta con este sistema con una capacidad de levante de 3600 ton, para buques de 120 m de eslora, 22.0 m de manga y 5.80 m de calado, contando con 28 winches elevadores. [22]

Figura 8

Plataforma sincrónica de Cotecmar, Cartagena de Indias - Colombia



Nota: imagen tomada de <https://britanniaas.com/>

2.7.2 SIMA, Perú

Servicios Industriales de la Marina S.A. SIMA Perú, con su centro de operaciones de Chimbote, siendo el mayor astillero en Perú, cuenta con un sistema elevador sincrónico de 1200 toneladas de capacidad de levante, para buques de hasta 75 m de eslora y 12.8 m de manga [23].

Figura 9

Plataforma sincrónica de Sima, Chimbote - Peru



Nota: imagen tomada de <https://maquina-de-combate.com/blog/sima-peru-se-hace-cargo-del-mantenimiento-de-seis-embaraciones-pesqueras-de-tasa/>

2.7.3 SPI Astilleros, Argentina

SPI astilleros es grupo privado dentro de la industria naval Argentina con más de 40 años en su mercado local, en su sede central en el Puerto del Mar del Plata cuenta con un elevador sincrónico, con una capacidad de 750 toneladas, para buques de hasta 45 m de eslora y 11.9 m de manga [24].

Figura 10

Plataforma sincrónica de SPI astilleros, Mar del Plata - Argentina



Nota: imagen tomada de internet

2.7.4 Asmar, Chile

Astilleros y Maestranzas de la Armada Asmar, un Astillero de la Armada Chilena actualmente adjudico en enero del 2024 a Syncrolift AS el diseño básico de un elevador de buques de 5000 toneladas y un sistema de transferencia, para la planta industrial de Talcahuano [25].

Este sistema de varamiento ya se ha implementado en países vecinos, en la región, y se siguen desarrollando, demostrando su importancia, efectividad y fortalecimiento para las industrias navales en cada uno de sus sectores.

Debido a que el desarrollo de un sistema de varamiento syncrolift implica iteraciones sucesivas entre el dimensionamiento de la plataforma, la selección del equipo de izaje, la configuración de módulos estructurales y la compatibilidad con la infraestructura existente en el Terminal marítimo de balao, resulta imprescindible adoptar un enfoque metodológico dinámico.

En este sentido, se emplea una espiral de diseño adaptada a proyectos navales y de elevación de buques, la cual permite visualizar el flujo cíclico de decisiones, verificaciones y ajustes que deben ejecutarse hasta alcanzar una solución técnica y económicamente válida. La figura siguiente resume las etapas principales de este proceso y constituye la base metodológica que guiará el desarrollo del capítulo siguiente.

Figura 11

Espiral de diseño para el desarrollo del proyecto



Nota: Elaboración Propia

CAPÍTULO 3

3.1 Metodología

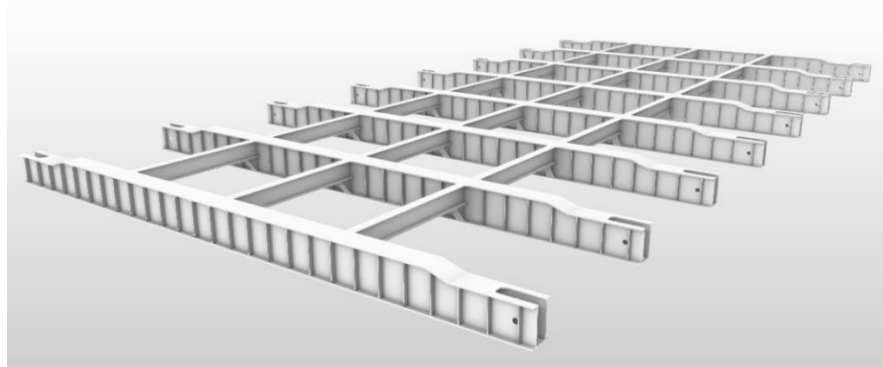
En este capítulo se desarrollará el diseño preliminar de la plataforma de elevación y el dimensionamiento del sistema de izaje considerando los requisitos operativos establecidos en el capítulo 2, mediante una espiral de diseño que integra modelación estructural, análisis mediante formulación analítica, elementos finitos y verificación normativa conforme a ASME Y Lloyd's Register. Para obtener una propuesta técnicamente validada que permita definir los componentes críticos del sistema y generar los insumos necesarios para el análisis económico posterior.

3.2 Diseño Preliminar de la Plataforma de Elevación

La plataforma de elevación será una estructura de acero compuesta de 8 vigas transversales principales conectadas entre sí por 3 vigas secundarias longitudinales. Constará con 2 caminos de rieles ubicados en las vigas longitudinales de los extremos. En cada extremo de las vigas principales estarán ubicados los polipastos de 3 poleas para aprovechar la ventaja mecánica de los mismos.

Figura 12

Diseño preliminar de la plataforma con software Rhinoceros



Nota: elaboración propia

Para el análisis y selección de las secciones transversales de cada viga se comenzó definiendo las dimensiones y capacidad de carga de acuerdo con la máxima embarcación a recibir. En este caso será la barcaza Smith Rice.

Tabla 3*Características de la barcaza Smith Rice.*

Descripción	Variable	Valor	Unidades
Eslora	L	34	m
Manga	B	15.85	m
Puntal	D	2.77	m
Calado	T	1.55	m
Volumen de carena	Vol	771.89	m ³
Desplazamiento	Δ	790.87	ton

Nota: información obtenida del registro nacional de embarcaciones

Con las dimensiones de la barcaza y su desplazamiento definimos la capacidad nominal y dimensión de la plataforma.

Tabla 4*Dimensiones y capacidades de la plataforma syncrolift.*

Descripción	Variable	Valor	Unidades
Longitud total de la plataforma	Lp	39.20	m
Ancho total de la plataforma	Ap	20.20	m
Eslora máxima disponible	Lmax	40.0	m
Manga máxima disponible	Bmax	18.0	m
Calado máximo de operación	Tmax	3.0	m
Capacidad de levante nominal	SWL	800	Ton
Capacidad de levante máxima	MLC	1000	Ton

Nota: elaboración propia

3.2.1 Criterios técnicos y cálculos preliminar para la viga transversal

Una vez definida la capacidad nominal, calculado el peso de la plataforma y dando un margen de seguridad definimos la carga de diseño, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5*Capacidad de carga de diseño y por viga transversal principal*

Descripción	Variable	Valor	Unidades
Carga nominal	SWL	800	Ton
Peso plataforma	Wp	152,02	Ton
Factor seguridad 35%	-	333,21	Ton
Carga total de diseño	Pt	1285,22	Ton
Número de vigas transversales	-	8	unds
Carga por viga	Pu	160,65	ton

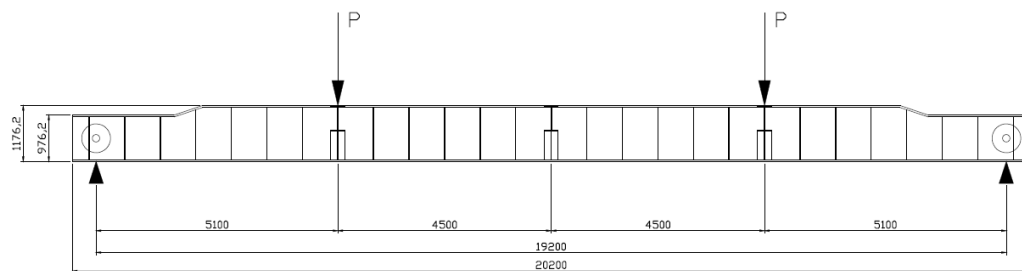
Nota: elaboración propia

$$Pu = \frac{1285,22}{8} = 160,65 \text{ [ton]}$$

Dividiendo la carga total por el número de vigas obtenemos la capacidad que debe soportar cada una de las vigas transversales principales. Con el valor de Pu se hizo un análisis modelándolo como una viga simplemente soportada con dos cargas puntuales idénticas y equidistantes de los extremos.

Figura 13

Modelo viga simplemente soportada con 2 cargas puntuales.



Nota: elaboración propia

Para seleccionar un módulo de resistencia adecuado nos basamos en él, Code for Lifting Appliance de Lloyd's Register, donde establece los esfuerzos admisibles para diferentes para 3 condiciones de carga.

Tabla 6

Factores de diseño, esfuerzos admisibles y de falla para sistemas elevadores.

Allowable stress factor not wind	F	Load case I	0,67
Allowable stress factor with wind		Load case II	0,75
Allowable stress factor with several wind		Load case III	0,85
Failure stress tension	σ	N/mm ²	1,0* σ_y
Failure stress Compression	σ_c	N/mm ²	1,0* σ_y
Failure stress shear	τ	N/mm ²	0,58* σ_y
Failure stress bearing	σ_{br}	N/mm ²	1,0* σ_y
Yield stress	σ_y	N/mm ²	235

Nota: Obtenido del capítulo 5 del Code for Lifting Appliance de Lloyd's Register [20].

La regla nos indica factores multiplicativos para definir el esfuerzo de falla, en tensión, compresión o corte, conociendo este esfuerzo de falla y el momento máximo obtenemos el

módulo de resistencia requerido, en este caso tomaremos de referencia el valor de 157,45 N/mm² como nuestro esfuerzo admisible.

Tabla 7

Esfuerzos admisibles para cada condición indicadas en el Code for Lifting Appliance

		Load case I	Load case II	Load case III
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
Allowable stress tension	$\sigma_a = \sigma * F$	157,45	176,25	199,75
Allowable stress compression	$\sigma_a = \sigma_c * F$	157,45	176,25	199,75
Allowable stress shear	$\sigma_a = \tau * F$	91,32	102,23	115,86
Allowable stress bearing	$\sigma_a = \sigma_{br} * F$	157,45	176,25	199,75

Nota: Obtenido del capítulo 5 del Code for Lifting Appliance de Lloyd's Register [20].

Siguiendo el modelo de análisis simplemente soportado el momento máximo ocurre en el centro de la viga, dividiendo la carga P_u en 2 puntos de apoyo, obteniendo la carga P , entonces el momento máximo es calculado con la siguiente formula:

$$P = 160.65 \text{ [ton]} * 9800 \text{ [N/ton]} / 2 = 787197,74 \text{ [N]}$$

$$M_{max} = P * a = 787197,74 * 5,1 = 4014708,49 \text{ [N m]}$$

Donde:

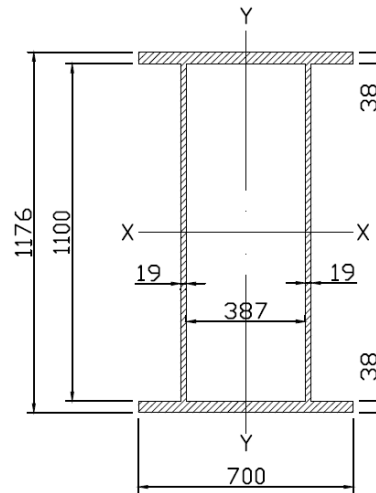
M_{max} : Momento máximo [N m]

P: carga puntal [N].

a: Distancia del extremo apoyado al punto de aplicación de la carga P. [m]

Figura 14

Sección de la viga principal transversal



Nota: elaboración propia

Con el valor del momento máximo y el esfuerzo admisible podemos calcular el módulo de sección requerido y compararlo con el módulo de la sección propuesta, esto es:

$$Z_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_a} = \frac{4014708,49 \text{ [N m]}}{157,45 \text{ [N/mm}^2\text{]}} = 25498,31 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Tabla 8

Comparativa del módulo requerido vs el propuesto

Comparativa del modulo	
Módulo requerido [cm³]	25498,31
Módulo propuesto [cm³]	37110,01
Factor	1,46

El módulo propuesto corresponde a una viga armada prefabricada con un valor mayor al requerido, cuya propiedad de inercia adicional nos permita calcular la deflexión máxima.

Tabla 9

Cálculo de la inercia y módulo de la sección propuesta para la viga transversal

CÁLCULO DE INERCIA DE LA SECCIÓN							
Elemento	b	h	A	y	A*y	A*y ²	I
	cm	cm	cm ²	cm	cm ³	cm ⁴	cm ⁴

Alma 1	1,905	110	209,55	56,905	11924,44	678560,4	211296,3
Alma 2	1,905	110	209,55	56,905	11924,44	678560,4	211296,3
Ala superior	70	3,81	266,7	115,715	30861,19	3571103	322,6203
Ala inferior	70	3,81	266,7	1,905	508,0635	967,861	322,6203
			952,5		55218,14	4929191	423237,7
Eje neutro	57,97	cm					
I sección	2151334	cm ⁴					
Modulo	37110,01	cm ³					
<i>Nota: elaboración propia</i>							

La deflexión máxima ocurre en el centro de la viga y esta puede calcularse de la siguiente forma:

$$\Delta_{max} = \frac{P * a}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \text{ [m]}$$

$$\Delta_{max} = \left(\frac{787197,74 * 5,1}{24 * 2,1E11 * 0,021513} (3(19,2)^2 - 4(5,1)^2) \right) * 1000 \text{ [mm/m]} = 37,10 \text{ [mm]}$$

Donde:

Δ_{max} : deflexión máxima [mm]

P: carga puntal [N].

a: Distancia del extremo apoyado al punto de aplicación de la carga P. [m]

L: Longitud entre soportes [m].

E: Modulo de Young del acero, [N/mm²]

I: Inercia de la sección, [m⁴]

Para verificar que la deflexión máxima este dentro de rangos admisibles tomamos de referencia las reglas de Llody's Register, Part 3 Ship Structures (General) - Chapter 11 Closing Arrangements for Shell, Deck and Bulkheads - Section 2 Steel hatch covers. [30] No está enfocado en vigas, pero esta regla nos indica la deflexión permisible para pontones de escotillas en función de su longitud no soportada.

Figura 15

Criterios permisibles para el diseño de pontones de escotillas de Lloyd's Register

Location	Permissible bending stress, N/mm ²	Permissible shear stress, N/mm ²	Permissible deflection metres
Weather deck – Positions 1 and 2	$0,68 \sigma_0$	$0,39 \sigma_0$	$0,0044 l_0$

Nota: Obtenido del Capítulo 11 del Rules for Construcción and Clasificación de Lloyd's

Register, Part 3 Ship Structures

Siguiendo la recomendación de regla su deflexión permisible sería:

$$\Delta_{per} = (0.0044 * 19.2 [m]) * 1000 [mm/m] = 84.48 [mm]$$

Tabla 10

Comparativa de la deflexión máxima con la permisible

Deflexión máxima [mm]	37,10
Deflexión permisible [mm]	84,48
Factor	0,44
Relación L/Δ_{max}	0,0019

Nota: elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra un resumen del análisis preliminar de la viga transversal.

Tabla 11

Resumen del cálculo preliminar de la viga transversal

Descripción	Variable	Valor	Unidades
Longitud viga	L	19,2	m
Distancia del extremo al riel	a	5,1	m
Fuerza puntual	P	787197,74	N
Modulo young	E	2,10E+11	N/m ²
Inercia de la sección	I	0,021513	m ⁴
Momento máximo	Mmax	3857268,94	N m
Deflexión máxima al centro	Δ_{max}	37,10	mm
Load case I Lloyds	$\sigma_{allowed}$	157,45	N/mm ²
Modulo requerido	Zreq	25498,31	cm ³
Reacción en los apoyos	R	787197,74	N
Fuerza cortante en los apoyos	V	787197,74	N
	L/ Δ_{max}	0,0019	
Deflexión permisible	0,0044L	84,48	mm

Nota: elaboración propia

3.2.2 Criterios técnicos y cálculos preliminares para la viga longitudinal

En el caso de las vigas longitudinales se realizó un proceso similar, en esta situación la carga aplicada ya no es considerada puntual sino más bien por unidad de longitud, esta carga se definió dividiendo la carga total para 2 rieles de apoyo y esta a su vez dividida para la eslora de la barcaza 34 m, obteniendo así la carga por unidad de longitud.

$$Pl = 1285,22 \text{ [ton]}/2 = 642,61 \text{ [ton]}$$

$$W = 642,61 \text{ ton}/34 \text{ m} = 18.90 \text{ [ton m]} = 185223,0 \text{ [N/m]}$$

Tabla 12

Carga de diseño para el análisis de la viga longitudinal

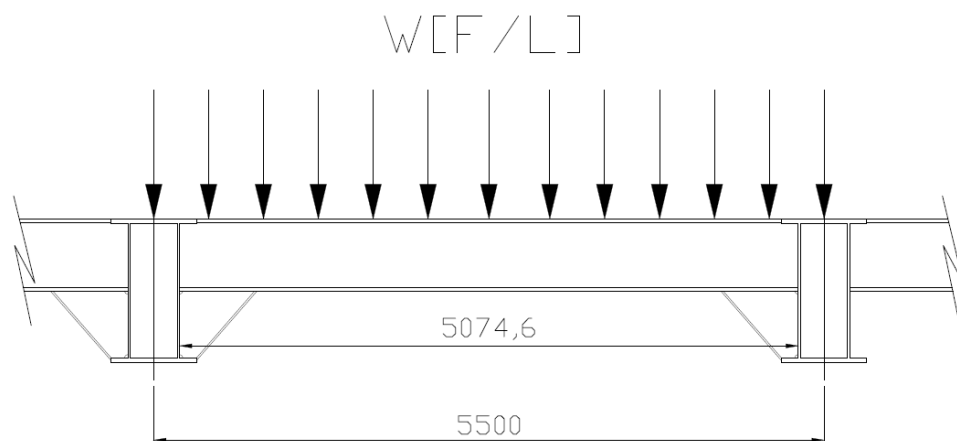
Descripción	Variable	Valor	Unidades
Carga total de diseño	Pt	1285,22	Ton
Carga por la línea de apoyo	Pl	642,61	Ton
Carga por unidad de longitud	W	18,90	Ton/m
		185223,0	N/m

Nota: elaboración propia

Para este análisis modelamos el problema como una viga empotrada en los extremos y una carga distribuida W, usando el mismo procedimiento anterior procedemos a calcular el momento máximo, en este caso ocurre en los extremos empotrados de la viga, este es calculado con la siguiente formula:

Figura 16

Modela viga longitudinal empotrado en los extremos con carga distribuida.



Nota: elaboración propia

$$M_{max} = \frac{W * L^2}{12} = \frac{185223 * 5,50^2}{12} = 466916,31 [N m]$$

Donde:

M_{max} : Momento máximo en los extremos [N m]

W: carga por unidad de longitud [N/m].

L: Longitud entre empotramiento [m].

Con el valor del momento y el esfuerzo admisible podemos calcular el módulo de sección requerido y comparar con el módulo de la sección de un perfil previamente escogido, esto es:

$$Z_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_a} = \frac{466916,31 [N m]}{157,45 [N/mm^2]} = 2965,49 [cm^3]$$

Tabla 13

Comparativa del módulo requerido vs el propuesto

Módulo requerido [cm³]	2965,49
Módulo propuesto [cm³]	4786
Factor	1,61

El perfil de viga escogido HEA 600 su modulo es 1,61 veces mayor al requerido y su propiedad de inercia nos permite calcular la deflexión máxima.

Tabla 14

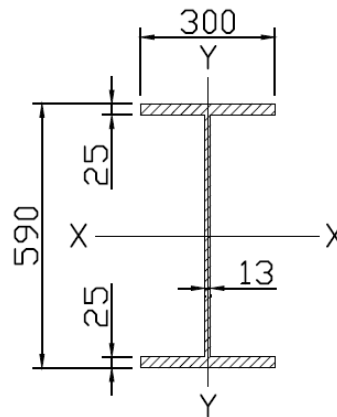
Dimensiones y propiedades del perfil HEA 600

Propiedades	HEA 600	Unidades
Ancho, B	300	mm
Alto, h	590	mm
Espesor del alma	13	mm
Espesor del ala	25	mm
Radio R	27	mm
Inercia x-x	141200	cm ⁴
Módulo	4786	cm ³
Peso	167	kg/m

Nota: elaboración propia

Figura 17

Viga longitudinal perfil HEA 600



Nota: Dimensiones y propiedades obtenida por catálogo.

La deflexión máxima ocurre en el centro de la viga, esta se calculó con la siguiente formula:

$$\Delta_{max} = \frac{W * L^4}{384EI} \text{ [m]}$$

$$\Delta_{max} = \left(\frac{185223 * 5,50^4}{384 * 2,1E11 * 0,001412} \right) * 1000 \text{ [mm/m]} = 1,49 \text{ [mm]}$$

Donde:

Δ_{max} : deflexión máxima [mm]

W: carga por unidad de longitud [N].

L: Longitud entre soportes [m].

E: Modulo de Young del acero, [N/mm²]

I: Inercia de la sección, previamente seleccionado perfil HEA 600 [m⁴]

Para verificar que la deflexión este dentro de rangos permisibles usamos la misma regla de Lloyd's descrita anteriormente, su deflexión permisible seria:

$$\Delta_{per} = (0,0044 * 5,50 \text{ [m]})/1000 \text{ [mm/m]} = 24,2 \text{ [mm]}$$

Tabla 15

Comparativa de la deflexión máxima y la permisible en la viga longitudinal

Deflexión máxima [mm]	1,49
-----------------------	------

Deflexión permisible [mm]	24,20
Factor	0,062
Relación L/Δ_{max}	0,0003

Nota: elaboración propia

En la siguiente tabla se muestra un resumen del análisis preliminar de la viga longitudinal.

Tabla 16

Resultados tabulados para la selección de la viga longitudinal

Descripción	Variable	Valor	Unidades
Longitud de la viga	L	5,50	m
Carga distribuida	W	185223,00	N/m
Modulo young	E	2,10E+11	N/m ²
Inercia de la sección	I	0,001412	m ⁴
Momento al centro	Mcen	233458,15	N m
Momento al extremo	Mmax	466916,31	N m
Deflexión máxima al centro	Δ_{max}	1,49	mm
Load case I Lloyds	σ_{per}	157,45	N/mm ²
Modulo requerido	Zreq	2965,49	cm ³
Reacción en los apoyos	R	509363,2459	N
Fuerza cortante	V	509363,2459	N
	$L/\Delta x$	0,0003	

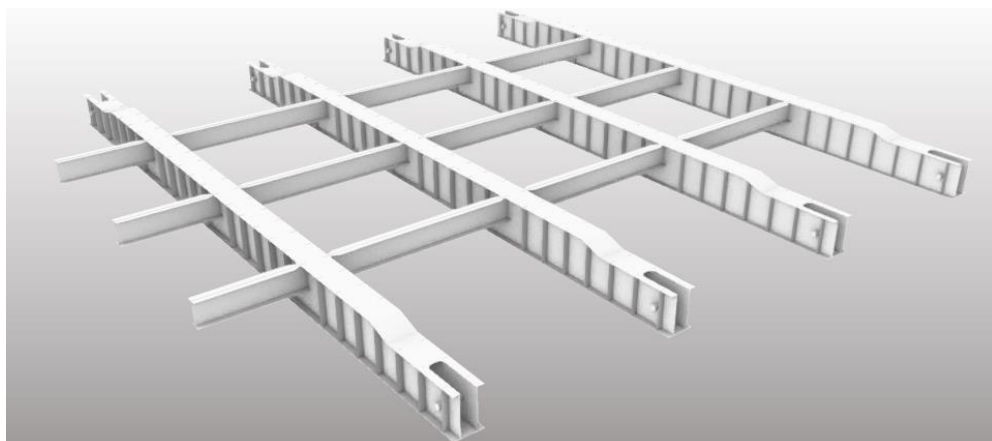
Nota: elaboración propia

3.3 Análisis de la Plataforma con Elementos Finitos

Con el cálculo preliminar se modelo la plataforma con los perfiles de vigas escogidos para realizar una prueba con elementos finitos utilizando el software ANSYS R2025 versión estudiantil.

Figura 18

Modelado de la mitad de la plataforma para análisis de elementos finitos.



Nota: elaboración propia con software Rhinoceros.

Aprovechando la simetría del problema se modelo solo la mitad de la plataforma en sentido transversal, esto nos ayuda reducir y optimizar el número de nodos y elementos durante el proceso.

3.3.1 Mallado y convergencia

Se realizaron 3 modelos variando el tamaño de los elementos de 30 a 20 mm, con el objetivo de comprobar a la convergencia de los resultados.

Tabla 17

Modelos y tamaño de elementos para análisis de convergencia

		Model 1	Model 2	Model 3
Size element	mm	30	25	20
Element Quality average	-	0,94	0,94	0,95
Nodes	-	433633	606645	980145
Elements	-	404729	561679	891999

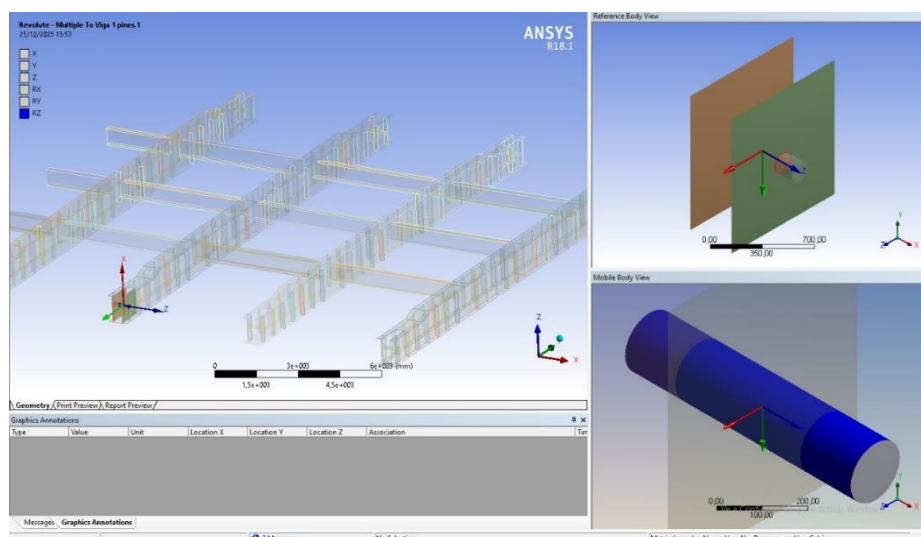
Nota: elaboración propia

3.3.2 Condiciones de frontera y carga

Se aplico una condición de tipo pin o pasador permitiendo a la viga transversal rotar alrededor de este pasador, manteniendo la malla de la viga independiente al pasador.

Figura 19

Condición de pin/pasador modelado en ANSYS R2025 en los extremos de la viga.



Nota: Captura tomada del software ANSYS R18.1 para visualización, detalle de aplicación en apéndice A.

A las vigas longitudinales se aplicó una condición de libre desplazamiento en el plano ZY y restringido en la dirección X.

Se aplicó la carga por unidad de longitud en cada uno de los rieles, esta carga no incluye los efectos propios por el peso de la estructura, ya que esta se aplica de manera automática al activar la opción de “standart earth gravity” en el software. De igual manera se incluyó los efectos del viento aplicado sobre la estructura y sobre el buque prototipo como un “remote force” para simular los momentos transmitidos a la plataforma.

Tabla 18

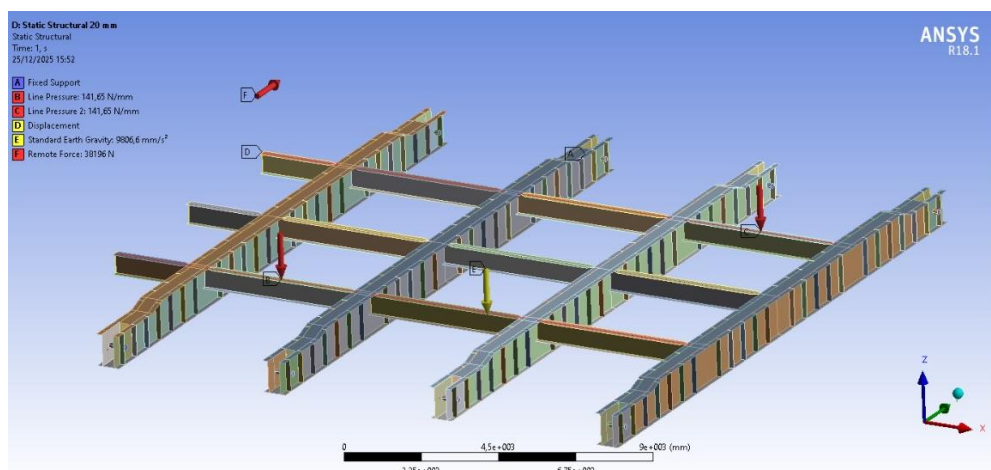
Condición de carga aplicadas en la simulación

Descripción	Valor	Unidades	
Carga por unidad de longitud por riel	141,64	N/mm	-
Fuerza remota por efectos de viento sobre el buque	38196	N	-
Punto de aplicación de fuerza remota	3674	mm	Dirección Y

Nota: Detalle del cálculo de viento se puede observar en el apéndice B.

Figura 20

Condiciones de frontera y carga modelado en ANSYS R2025

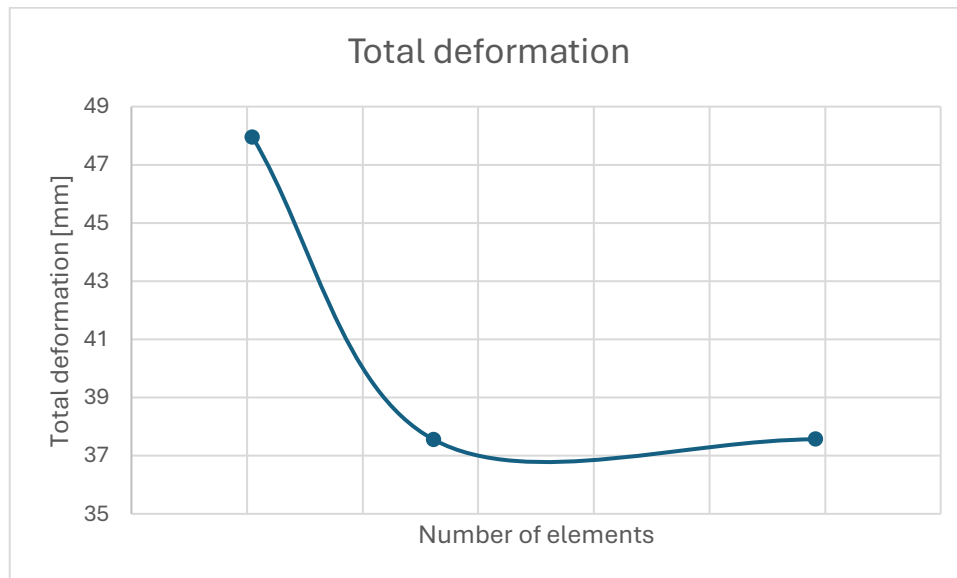


Nota: Captura tomada del software ANSYS R18.1 para visualización.

Los resultados indicaron una deformación máxima de 37.56 mm en el centro de la plataforma, un valor aproximado a la estimación analítica de 37.10 mm. De igual forma los esfuerzos máximos equivalentes se ubican en 175.21 Mpa, por debajo del permisible que recomienda Lloyd's Register de 176 Mpa.

Figura 21

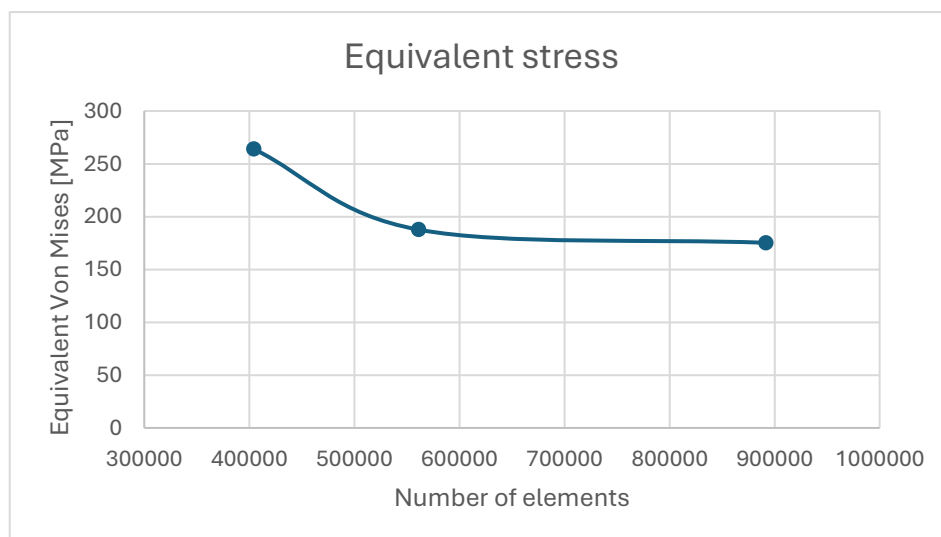
Resultado de la convergencia en la deformación total



Nota: elaboración propia.

Figura 22

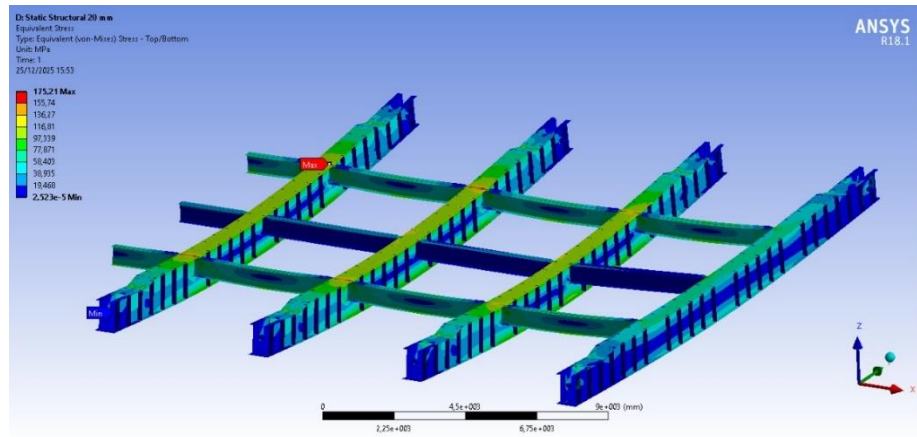
Resultado de la convergencia en el esfuerzo equivalente de Von Mises



Nota: elaboración propia.

Figura 23

Resultado grafico del esfuerzo máximo equivalente de Von Mises de la simulación,



Nota: Captura tomada del software ANSYS R18.1 para visualización.

3.4 Selección del Sistema de Izaje

Para el sistema de izaje o de elevación de la plataforma lo vamos a asumir como el conjunto de: cables, poleas y winches. Para seleccionar de manera adecuada estos equipos se debe entender su función.

Cables

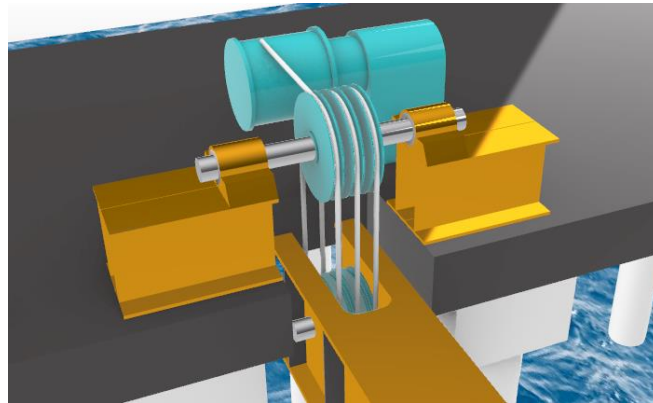
Poleas

Winche

Comprendiendo la ventaja mecánica que ofrece un sistema de poleas, se seleccionó un sistema de doble polipasto compuesta de 3 poleas, uno instalado en la viga transversal y otro en la parte superior que está asegurado al muelle.

Figura 24

Sistema de poleas para elevación de la plataforma



Nota: elaboración propia con software Rhinoceros

La carga total que recibe cada viga se distribuye equitativamente en los extremos que la soportan y esta a su vez se divide en 6 tensiones iguales, logrando reducir la capacidad requerida para el cable de acero.

$$P_{cable} = \left(\frac{Pu}{2}\right) * \frac{1}{6} = \left(\frac{160,05}{2}\right) * \frac{1}{6} = 13,39 [ton]$$

3.4.1 Criterios para la selección del cable

De acuerdo con las reglas de Llodys Register recomienda un factor mínimo de 3 veces la carga requerida para el cable [20]. En comparación con la regla ASME B30.16 en función del tipo y condiciones de carga recomienda un factor mínimo de 5 sobre la carga mínima de rotura del cable seleccionado [33], o visto de otra forma 5 veces la carga requerida, dado que esta última regla nos otorga mayor factor de seguridad fue la seleccionada. Otra norma que puede utilizarse para la selección del cable es la ISO 16625.

$$P_{cable1} = 13,39 * 3 = 40,16 [ton], \text{ Con factor de Llodys Register.}$$

$$P_{cable2} = 13,39 * 5 = 66,94 [ton], \text{ Con factor de ASME B30.16.}$$

El tipo de cable recomendado para este tipo de sistemas es de alma de acero WS con la particularidad que tenga buena resistencia a la abrasión y tracción, esto es que los cordones más gruesos estén hacia el exterior para resistir el desgaste y el aplastamiento.

Tabla 19*Resultados para la selección del cable*

Descripción	Variable	Valor	Unidades	Notas
Carga por viga	Pu	160,05	ton	
Numero de poleas	-	6	unds	Por cada extremo
Carga por cable	Pcable	13,39	ton	
Carga del cable + Factor de diseño según Llody's Register	Pcable1	40,16	ton	Factor de diseño 3
		393,60	kN	
Carga del cable + Factor de diseño ASME B30.16	Pcable2	66,94	ton	Factor de diseño 5
		656,00	kN	
Alma del cable	-	AAC		Alma de acero
Tipo de cordón	-	WS		Resistencia a la abrasión y tracción
Diámetro cable	d	32	mm	Por catalogo
Carga mínima de rotura	CMR	645	kN	Por catalogo
Peso	-	4,19	kg/m	Por catalogo
Grado del cable	-	1960	N/mm ²	Por catalogo
Wire tensile strength	-	1770 - 2160	N/mm ²	Lloyds
Nominal rope grade	-	1960	N/mm ²	Lloyds
Factor del diseño	CMR/Pcable2	0,98		

3.4.2 Criterios para la selección de la polea

Con el diámetro del cable seleccionado existen normas que nos permite dimensionar el diámetro de las poleas y los tambores, las reglas ASME indican factores en función del tipo de carga y relaciona el diámetro de la polea D con el diámetro del cable, d.

De la misma manera Lloyd's Register recomienda un diámetro mínimo para la polea "D" en función del diámetro del cable "d", este es 19 veces el diámetro del cable [20]. Dado que este último nos otorga un mayor factor

Tabla 20*Resultados para la selección del diámetro de la polea y tambor*

Descripción	Variable	Valor	Unidades	Notas
Diámetro del cable	d	32	mm	
Relación mínima para el tambor	Dt/d	18	-	ASME
Relación mínima para la polea	19*d	19	mm	Lloyd's Register
Diámetro para la polea	D	608	mm	
Diámetro del tambor	Dt	576	mm	

Tolerancia para la garganta	g	7,5	%	Canal del cable en la polea
Diámetro de la garganta	d*g	34,4	mm	Diámetro + tolerancia

Nota: elaboración propia

3.4.3 Selección del winche

El winche es el componente responsable de aplicar la fuerza necesaria para accionar el polipasto ubicado en cada extremo de las vigas transversales. Su dimensionamiento depende de la tensión que transmite al cable en cada ramal del sistema de poleas. La plataforma cuenta con 8 vigas transversales principales, cada una sostenida en dos extremos. En cada extremo se disponen polipastos de 3 poleas, lo que genera 6 ramales de cable. Esta configuración proporciona una ventaja mecánica 6:1, es decir, la fuerza de tracción que debe ejercer el winche es 6 veces menor que la carga vertical que actúa sobre cada extremo de la viga.

3.4.3.1 Determinación de la carga del winche

A partir de la carga total de diseño:

$$P_t = 1285.22 \text{ ton}$$

La carga por viga es

$$P_u = \frac{P_t}{8} = \frac{1285.22}{8} = 160.05 \text{ ton}$$

Dado que el polipasto genera 6 ramales

$$P_{ramal} = \frac{P_{ext}}{6} = \frac{80.325}{6} = 13.39 \text{ ton}$$

Este valor representa la tensión real que experimenta el cable en el ramal que llega al tambor del winche, por lo tanto, el P_{ramal} será la fuerza del winche, considerando pérdidas por fricción en poleas y márgenes operativos, se adopta un factor de seguridad del 10% por lo que la

$$F_{winche} \geq 15 \text{ ton}$$

3.4.3.2 Cálculo del torque y la potencia del winche

Con un tambor de 0.576m de diámetro, el torque requerido debe ser:

$$T = F * r = 15 \text{ ton} * 9.8 \frac{m}{s^2} * \frac{0.576}{2} = 42.367 Nm$$

$$T \approx 43kNm$$

Según la literatura [20] las grúas y equipos de elevación para cargas pesadas (heavy lift, 50-1000 Ton) operan típicamente entre 5-12 m/min, dependiendo del sistema de poleas y el ciclo de trabajo. Tomando esto como referencia para una velocidad de izaje de 0.10 m/seg.

$$P = F * v = 15 \text{ ton} * 9.8 \frac{m}{s} * 0.10 \frac{m}{s} = 15kW$$

$$P_{instalada} \approx 20 \text{ kW}$$

Dado que hay 8 vigas y son 2 extremos por viga tendremos un total de 16 winches, esto es lo que el sistema completo requiere, todos accionados y sincronizados para que trabajen de manera simultánea.

Con el propósito de validar la selección del winche y determinar cuál equipo puede satisfacer las condiciones de diseño, se realizó una comparación entre 3 modelos de winche donde se considera capacidad de 20 y 30 TON utilizados en sistemas de elevación industrial.

Esta comparación permite evaluar si un winche de potencia intermedia puede cumplir con los requerimientos mínimos del sistema de izaje para garantizar seguridad, confiabilidad y cumplimiento normativo.

Tabla 21

Tabla comparativa para la selección del winche

Parámetro	Requerido	Ingersoll Rand FA21	PWY300	PWY300
Capacidad de carga	$\geq 15 \text{ Ton}$	10 Ton	30 Ton	30 Ton
Torque disponible	$\geq 43 \text{ kNm}$	28 kNm	Cumple	Cumple
Cable compatible	32 mm	26 mm	32 mm	42 mm
Velocidad de izaje	0.10 m/s	0.10 m/s	0.10 m/s	0.15 m/s
Norma Aplicable	ASME B30.7/16	No cumple	Cumple	Cumple
Protección Ambiental	Marina	IP56 No apto para ambiente marino	IP67	No específica
Tipo de motor	-	Neumático	Hidráulico	Neumático

3.5 Dimensionamiento de los Muelles Espigón

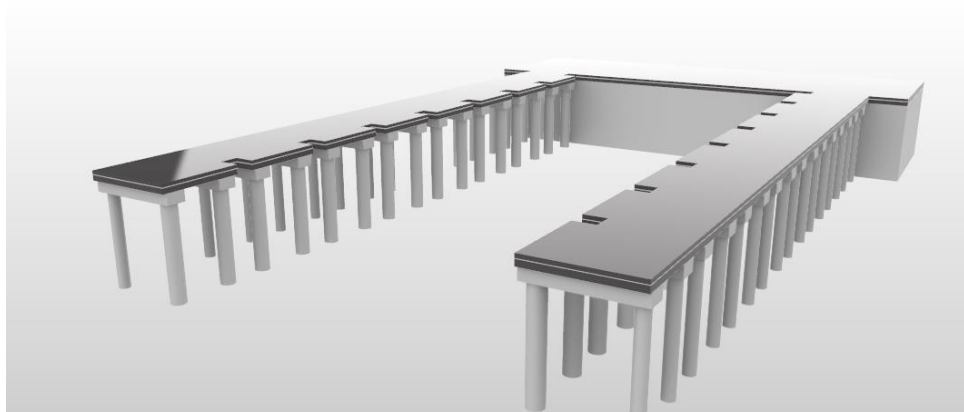
La estructura de los 2 muelles para el sistema syncrolift será de hormigón armado, cada uno estar conformado por 16 pilotes de 800 mm de diámetro del lado donde se apoyan los winches

y 16 pilotes de 600 mm de diámetro del otro lado, cada par de pilotes estarán conectados con vigas de hormigón de 1.0x1.10 m de sección y 5.0 metros de longitud.

Las dimensiones recomendadas para la losa de cada muelle son 44.0 m de largo, 5.0 metros de ancho y 50 cm de espesor, las capacidades de diseño deberán ser las adecuadas para resistir las cargas verticales ejercidas por el accionamiento de los winches al subir la plataforma y las cargas horizontales por acciones de acoderamiento de buques.

Figura 25

Muelles para soportes del sistema de elevación.

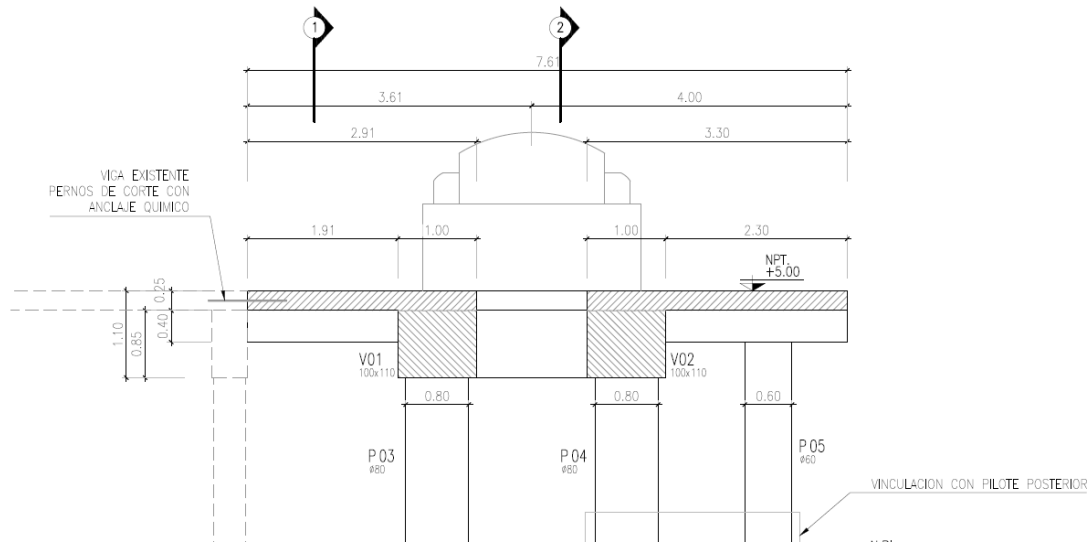


Nota: elaboración propia con software Rhinoceros

El arreglo general y disposición de los pilotes para el sistema se basó en el diseño de las estructuras de hormigón de la plataforma syncrolift de SPI Astilleros de Argentina, de acuerdo con lo indica el informe ambiental de obras menores [33].

Figura 26

Vista transversal de un corte del muelle syncrolift SPI Astilleros, Mar del Plata-Argentina



Nota: Tomado del informe ambiental de obras menores [33].

3.5.1 Criterios básicos de referencia para el diseño

Todo tipo de obras marítimas y portuarias están sometidas y diversos tipos de fuerzas, estas deben estar diseñadas de acuerdo con sus aplicaciones y bajo las normas adecuadas.

Este análisis no constituye un diseño conceptual ni preliminar de la obra civil para los 2 muelles del sistema syncrolift, pero establece parámetros de referencia básicos para el diseño de los muelles “Dolphin” o muelles sobre pilotes que van a soportar la plataforma de elevación y las embarcaciones que vayan a acoderarse.

El programa de Recomendaciones para Obras Marítimas ROM, desarrollado en España establece recomendaciones o normas técnica para el desarrollo de proyectos marítimos o portuarios [34].

La norma ROM 02-90 en la parte 3 indica las sobrecargas de operaciones de buques, según la norma, son todas aquellas cargas externas producidas por la actuación directa o indirecta de buques sobre estructuras o instalaciones portuarias [34]. Donde las diferencia en:

- Cargas de atraque.
- Cargas de amarre

- Cargas de carena
- Cargas de varada

Según la norma ROM 02-90, las cargas de atraque son generadas entre un buque y la estructura de atraque desde el momento que se produce el primer contacto entre ellos hasta que finalmente se alcanza el reposo [34]. Estas cargas pueden ser:

- Cargas de impacto R (normales a la superficie de atraque).
- Cargas de rozamiento T (paralelas a la superficie de atraque).

En este cálculo se asume que la estructura de los muelles deberá contar con un sistema de defensas, al interior en la zona de levantamiento de la plataforma y al exterior en la zona de atraque, adicional también se asume como buque proyecto la barcaza Smith Rice para efectos del cálculo.

La energía cinética que desarrolla un buque durante una maniobra de atraque al momento del impacto, la norma ROM lo define de la siguiente manera:

$$E = \frac{1}{2} g * Cm * \Delta * V_b^2$$

Donde:

E: Energía cinética característica, [t.m.]

g: aceleración de la gravedad, 9.8 m/s².

Cm: Coeficiente de masa hidrodinámica.

Δ : Desplazamiento del buque proyecto, [ton]

Vb: Componente normal a la superficie de atraque de la velocidad de aproximación del buque, [m/s].

Figura 27

Velocidad de aproximación según el tipo de ataque.

	ATRAQUE LATERAL MEDIANTE TRASLACIÓN TRANSVERSAL PREPONDERANTE $V = 0,4 \text{ a } 0,9 \text{ m/s}$
	ATRAQUE POR PROA O POPA DESDE BUQUE PARADO FRENTE AL ATRAQUE $V = 0,15 \text{ m/s}$
	ATRAQUE LATERAL MEDIANTE TRASLACIÓN LONGITUDINAL PREPONDERANTE $V = 2 \text{ a } 3 \text{ m/s}$
	ATRAQUE POR PROA O POPA MEDIANTE TRASLACIÓN LONGITUDINAL PREPONDERANTE $V = 0,5 \text{ a } 1 \text{ m/s}$

Nota: tomado de la norma ROM 02 parte 3, Acciones.

El coeficiente de masa hidrodinámica C_m se estima con la siguiente formula, ROM 02.

$$C_m = 1 + 2 * (D/B)$$

Donde:

D: Calado del buque proyecto, [m]

B: Manga del buque proyecto, [m]

Tabla 22

Resumen de cálculo para la energía cinética desarrollada por el buque durante el impacto.

Descripción	Variable	Valor	Unidades	Notas
Energía cinética desarrollada por el buque durante el impacto	E	4633,186	tm	Traslación sin rotación
Aceleración de la gravedad	g	9,8	m/s ²	
Coeficiente de masa hidrodinámica	C_m	1,196	-	
Calado	D	1,550	m	Bza. Smith rice
Manga	B	15,850	m	Bza. Smith rice
Desplazamiento	Δ	790,87	ton	Bza. Smith rice
Componente de la velocidad normal a la superficie de ataque	V_b	1,00	m/s	

Nota: elaboración propia.

La norma indica que no toda la energía desarrollada por el buque es absorbida, ya que una parte es absorbida por el sistema de defensas, esta energía E_f puede aproximarse con la siguiente expresión:

$$E_f = f * E$$

$$f = C_e * C_g * C_c * C_s$$

Donde:

E_f : Energía cinética absorbido por el sistema de defensas

C_e : Coeficiente de excentricidad

C_g : Coeficiente geométrico del buque

C_c : Coeficiente de configuración de ataque

C_s : Coeficiente de rigidez del sistema de ataque

Para el coeficiente geométrico, se recomienda valores de $C_g=0.95$ cuando el impacto se produce en las partes curvas del casco del buque y se recomienda el valor de $C_g=1$, cuando se produce en las partes rectas o costados del buque [34].

La configuración de ataque depende del tipo de estructura, al ser el diseño recomendado un muelle sobre pilotes, esta es una configuración diáfana (discontinua) [34], como lo clasifica la regla y de acuerdo con el tipo de aproximación, el valor del coeficiente será de $C_c=1$.

Figura 28

Valores recomendados para el coeficiente de configuración de ataque C_c .

TABLA 3.4.2.3.5.6. VALORES RECOMENDADOS PARA EL COEFICIENTE DE CONFIGURACIÓN DEL ATAQUE (C_c)				
MÉTODO DE APROXIMACIÓN DEL BUQUE		TIPO DE ESTRUCTURA		
		Diáfana	Semimaciza	Maciza
Transversal Preponderante		1,00	0,90	0,80
Longitudinal Preponderante	Por Proa o Popa	1,00	1,00	1,00
	Atrake Lateral	1,00	0,90	0,80
NOTAS: Para el atrake en zonas angulosas o en esquina se considerará estructura diáfana, (p.e. en los extremos de un muelle de gravedad macizo).				

Nota: tomado de la norma ROM 02, tabla 3.4.2.3.5.6

La excentricidad del atraque se refiere cuando el punto de impacto de un buque contra el sistema de atraque no coincide con el centro de gravedad del buque, [34]. Este coeficiente está en función de las características geométricas del buque y la forma en la que atraca, longitudinal o transversal, y se puede calcular de la siguiente manera:

$$Ce = \frac{k^2 + a^2 \cos^2(\gamma)}{k^2 * a^2}$$

$$k = (0.19Cb + 011) * L$$

Donde:

k : Radio de giro del buque, [m]

a : Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque, [m]

γ : Angulo entre la línea que une el punto de contacto y el centro de gravedad del buque, y el vector velocidad, [grados].

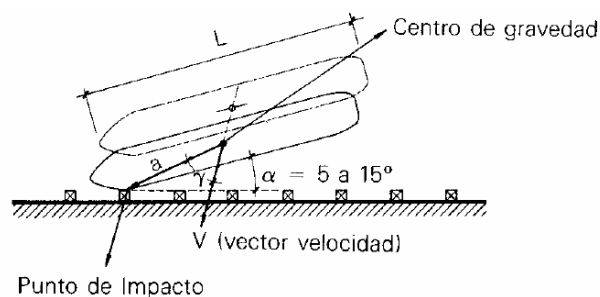
Cb : Coeficiente de bloque del buque proyecto.

L : Eslora del buque proyecto, [m]

Asumiendo un sistema de defensas discontinuo y siguiendo la normativa, el valor de “a” podrá tomarse como 0.1L mínimo y un máximo de 0.15L suponiendo que el buque atraca con una desalineación de su centro de gravedad con respecto al centro del atracadero. De igual manera el ángulo γ podrá tomarse entre 70 y 80 grados en condiciones normales como lo indica la norma [34].

Figura 29

Esquema del coeficiente de excentricidad.



Nota: tomado de la norma ROM 02, tabla 3.4.2.3.5.4

Reemplazando los valores con los datos de la barcaza:

$$k = (0.19 * 0.92 + 0.11) * 34 = 0.92$$

$$C_e = \frac{0.92^2 + 10^2 \cos^2(75)}{0.92^2 * 10^2} = 0.923$$

Para el coeficiente de rigidez del sistema constituidos por las defensas, se indica un valor de $C_s=0.5$ si el sistema de defensas es muy rígido y $C_s=1$ en caso de ser flexible, [34]. Para este caso se asume un sistema de defensas flexibles como caucho o goma, por lo que se toma el valor de $C_s=1$.

Tabla 23

Resultados del cálculo de la energía absorbida por el sistema de atraque

Descripción	Variable	Valor	Unidades	Notas
Energía absorbida por el sistema de atraque	Ef	4060,757	tm	
	f	0,876		
Coeficiente de excentricidad	Ce	0,923	-	
Coeficiente geométrico del buque	Cg	0,95	-	Para impacto en la parte curva, proa o popa
Coeficiente de configuración de atraque	Cc	1	-	Muelle sobre pilotes diáfana (discontinua)
Coeficiente de rigidez del sistema	Cs	1	-	
Radio de giro del buque	k	9,71	m	
Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque	a	10		Minimo valor 0.10L
Coeficiente de bloque	Cb	0,92	-	Bza. Smith rice
Angulo entre la línea del punto de contacto y CG del buque	Y	75	grados	Asumido

Nota: elaboración propia

Las fuerzas de impacto R, las distingue en 2 tipos: para estructuras rígidas o estructuras flotantes, para este caso se asume como una estructura flotante debido a que considera los efectos de la ola en el proceso, según la norma esta puede calcularse de la siguiente forma [34]:

$$R = 26 \left(\frac{H_s}{g} * T_s^2 \right) + 0.05 \Delta [ton]$$

Donde:

H_s : Altura de ola significativa en operación, [m]

T_s : Periodo de ola significativa en operación, [m]

Asumiendo un estado de mar 2, esto es 0.30 m de altura de ola y 6.3 segundos de periodo, debido a las condiciones de operación de la plataforma y de su ubicación geográfica, la fuerza de impacto de un buque al sistema será de:

$$R = 26 \left(\frac{0.3 \text{ m}}{9.8 \text{ m/s}^2} * (6.3 \text{ s})^2 \right) + 0.05 * 790.87 \text{ ton} = 55.40 [\text{ton}]$$

Tabla 24

Resultados del cálculo de la fuerza de impacto

Descripción	Variable	Valor	Unidades	Notas
Fuerza de impacto	R	55,40	ton	
Altura significativa de la ola en operatividad	Hs	0,3	m	Referencia tomada del software NavCad
Periodo significativo de la ola en operatividad	Ts	6,3	s	Referencia tomada del software NavCad

Nota: elaboración propia

Las cargas por rozamiento paralelas a la superficie o al sistema de defensas pueden estimarse a partir de la fuerza de impacto R y un coeficiente de rozamiento, la norma lo define de la siguiente forma:

$$T = \mu * R [\text{ton}]$$

Donde:

μ : Coeficiente de rozamiento entre la superficie de la defensa y el casco del buque en el área de contacto.

Figura 30

Coeficientes de rozamiento μ

TABLA 3.4.2.3.5.7. COEFICIENTES DE ROZAMIENTO PARA CONTACTO ACERO/OTROS MATERIALES EN CONDICIONES SECAS.	
MATERIAL	μ
Madera	0,3
Caucho o Goma	0,5
Nilón	0,2
Polietileno	0,2
Acero	0,2

Nota: tomado de la norma ROM 02, tabla 3.4.2.3.5.7

Las cargas de amarre también se estiman en función del tipo de amarre y desplazamiento del buque, la norma estima esta fuerza para buques desde 2000 hasta 20000 toneladas de desplazamiento. Para fines de este cálculo se asume un sistema de amarre en bita.

Figura 31

Cargas de amarres en función del desplazamiento

TABLA 3.4.2.3.5.8 CARGAS DE AMARRE PARA BUQUES DE HASTA 20.000 t DE DESPLAZAMIENTO.			
DESPLAZAMIENTO (en t)	CARGAS DE AMARRE (en t)		
	En bolardo o gancho de escape rápido	En bita	En roldana (*)
Hasta 2.000	10	10	20
2.000 ~ 10.000	30	15	50
10.000 ~ 20.000	60	30	100
(*) Se entiende por roldana el dispositivo en polea que devuelve desde tierra la amarra al buque para su sujeción o tensionado.			

Nota: tomado de la norma ROM 02, tabla 3.4.2.3.5.8

Tabla 25

Resultados cálculo de la fuerza de rozamiento y amarre

Descripción	Variable	Valor	Unidades	Notas
Carga de rozamiento	T	27,70	ton	
Coefficiente de rozamiento entre el buque y el sistema de defensa	u	0,5		Caucho o goma
Carga de amarre		10	ton	En bita para buques de hasta 2000 ton

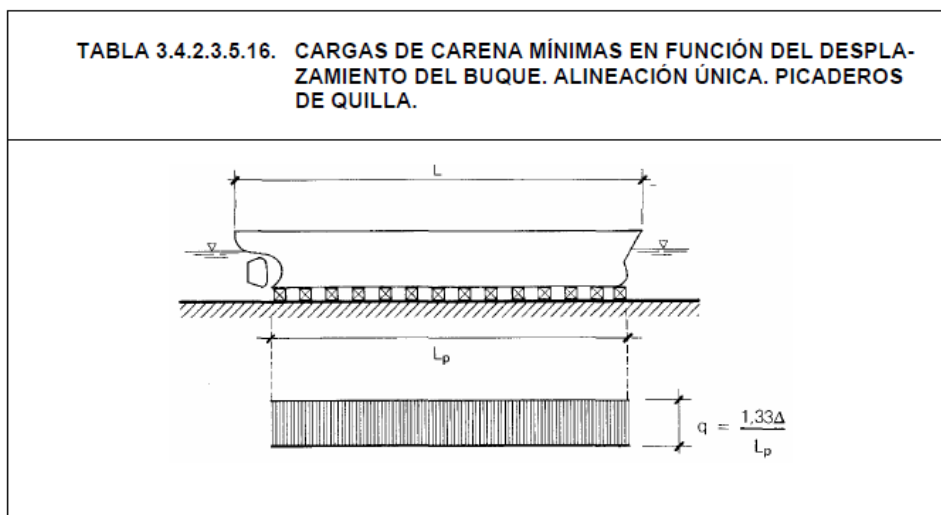
Nota: elaboración propia

Como el diseño general del sistema contempla un área fuera de la plataforma en tierra para mover el buque varado y realizar su mantenimiento o reparación respectiva, la misma norma nos permite calcular la carga lineal en la zona de varamiento como función del desplazamiento y la eslora entre perpendiculares. Aunque nuestro buque proyecto sea la barcaza Smith Rice de fondo plano, para este paso se asume un casco tipo V con quilla, para lo cual la carga por unidad de longitud la define de la siguiente forma:

$$q = 1.33 * \frac{\Delta}{L_{pp}} \left[\frac{ton}{m} \right]$$

Figura 32

Carga de carena mínima soportada sobre la quilla



Nota: tomado de la norma ROM 02, tabla 3.4.2.3.5.16

Tabla 26

Resultado cálculo de la carga de carena sobre la zona de varamiento

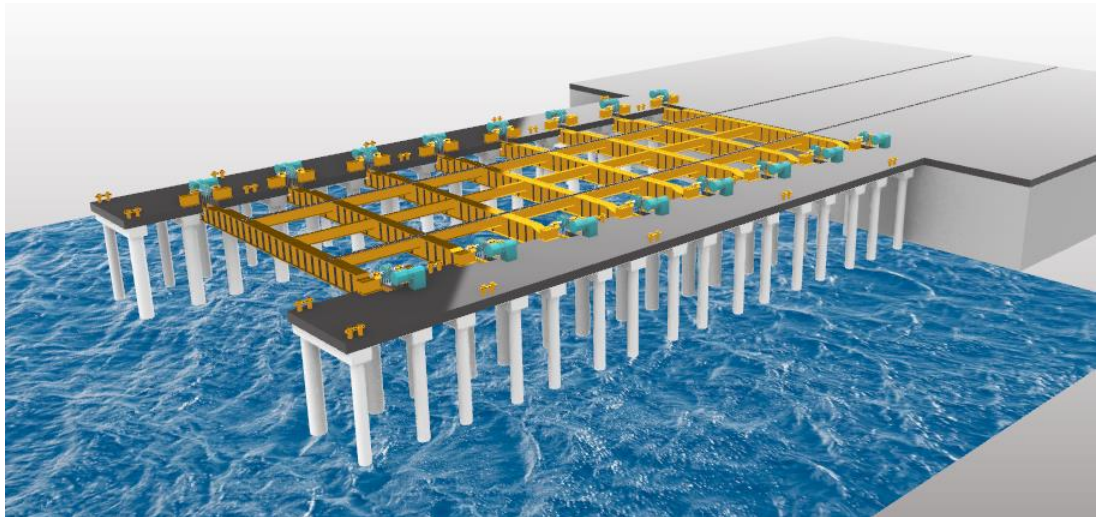
Descripción	Variable	Valor	Unidades	Notas
Eslora	L_{pp}	34	m	Bza. Smith rice
Carga de carena mínima, picaderos de quilla	Q	30,94	ton/m	

Nota: elaboración propia

Estos cálculos son valores referenciales para considerarse en el diseño preliminar de los muelles, basándose en el tipo de muelle, las condiciones de atraque y operación y las dimensiones del máximo buque a varar.

Figura 33

Modelo 3D de la plataforma syncrolift



Nota: Elaboración propia

3.6 Presupuesto Referencial

El presupuesto para la construcción del sistema se basó en las dimensiones y especificaciones del diseño preliminar propuesto, algunos rubros fueron cotizados y otros referenciados con cotizaciones para sistemas de iguales características aplicados a varaderos.

Para los valores referenciados con cotizaciones para sistemas similares se actualizo los valores basándose en el IPC (índice del precio al consumidor), este rubro mostramos el total como factor de reajuste.

$$\text{Precio actual} = \text{Precio anterior} * \left(1 + \frac{\text{IPC actual}}{\text{IPC anterior}}\right)$$

3.6.1 Costo referencial para la obra civil

La obra civil se presupuestó tomando de referencia costos unitarios actuales de la Prefectura del Guayas para obras civiles, esta información es de conocimiento público [36], adicional también se tomó como referencia costos unitarios para la construcción y el hincado de los pilotes del Consorcio Construcción del puente Daule – Guayaquil [35].

Tabla 27*Presupuesto referencial para la obra civil*

Item	Descripción	unidad	cantidad	precio unitario	precio total
Pilotaje	Suministro de pilotes prefabricados 350 kg/cm2 D600	u	32	\$ 177,53	\$ 5.680,96
	Suministro de pilotes prefabricados 350 kg/cm2 D800	u	32	\$ 315,90	\$ 10.108,80
	hincado pilotes 350 kg/cm2 D600	m	32	\$ 91,29	\$ 2.921,28
	hincado pilotes 350 kg/cm2 D800	m	32	\$ 161,93	\$ 5.181,76
	Excavación, remoción y desalojo de sedimento	m3	4200	\$ 19,15	\$ 80.430,00
	Transporte pilotes más de 180 km	ton km	301592,89	\$ 0,22	\$ 66.350,44
Muro H.A.	hormigón estructural de cemento portland clase "B" (fc 280 kg/cm2 - bombeable, incl encofrado, y aditivos)	m3	87,5	\$ 279,58	\$ 24.463,25
	Acero de refuerzo en barras fy 4200 kg/cm2	kg	875	\$ 1,64	\$ 1.435,00
Vigas de H.A.	hormigón estructural de cemento portland clase "A" (fc 350 kg/cm2 - bombeable, incl encofrado, y aditivos)	m3	176	\$ 308,58	\$ 54.310,08
	Acero de refuerzo en barras fy 4200 kg/cm2	kg	36559,424	\$ 1,64	\$ 59.957,46
Losa de muelles H.A.	hormigón estructural de cemento portland clase "B" (fc 280 kg/cm2 - bombeable, incl encofrado, y aditivos)	m3	220	\$ 279,58	\$ 61.507,60
	Acero de refuerzo en barras fy 4200 kg/cm2	kg	45699,28	\$ 1,64	\$ 74.946,82
Losa de patio de transferencia H.A.	hormigón estructural de cemento portland clase "B" (fc 280 kg/cm2 - bombeable, incl encofrado, y aditivos)	m3	396	\$ 279,58	\$ 110.713,68
	Acero de refuerzo en barras fy 4200 kg/cm2	kg	82258,704	\$ 1,64	\$ 134.904,27
	Plintos de H.A. 0,8x0,8x0,15 m de fc 210 kg/cm2210	m3	1,536	\$ 523,20	\$ 803,64
	Acero de refuerzo en barras fy 4200 kg/cm2	kg	319,06	\$ 1,64	\$ 523,27
Presupuesto Obra civil					\$ 694.238,30

*Nota: elaboración propia***3.6.2 Costo referencial para accesorios del sistema**

Cotizado con Cablesa Cia. Ltda. en función de la longitud y accesorios requeridos, valor sin IVA.

Tabla 28*Presupuesto referencial para el cable de acero y accesorios*

Descripción	unidad	cantidad	precio unitario	precio total
Cable de acero 1 1/4" 6x19WS	m	1272,72	\$ 23,89	\$ 30.405,28
Grapas 1 1/4"	und	32	\$ 24,24	\$ 775,68
Cables y accesorios				\$ 31.180,26

Nota: elaboración propia

Tabla 29

Presupuesto referencial para rieles, ruedas de acero para los carros de transferencia

Descripción	unidad	cantidad	precio unitario	precio total
Riel de varadero 60,33x109,54x111,13 mm Acero AISI 1045	m	156,8	\$ 171,82	\$ 26.941,38
Ruedas de carros Diam 600 mm Acero AISI 1045	unds	40	\$ 1.780,50	\$ 71.220,00
Ejes de acero AISI 1045 Diam 4" x 500 mm	unds	40	\$ 164,34	\$ 6.573,60
Rieles y ruedas				\$ 104.734,98
Con factor de reajuste				\$ 117.231,76

Nota: Valor referenciado para un sistema de varamiento para 1000 ton. para Astinave

EP en 2008, y actualizado en base al IPC actual.

Tabla 30

Presupuesto referencial para el sistema de elevación

Descripción	unidad	cantidad	precio unitario	precio total
Winche WMA, 40 Ton, 5m/min, Capacidad tambor 500 m, Fuerza frenado 60 ton.	und	16	\$ 105.000,00	\$ 1.680.000,00
Unidad de poder hidráulica de accionamiento simultaneo	und	2	\$ 48.500,00	\$ 97.000,00
Tablero de potencia y control	und	1	\$ 12.500,00	\$ 12.500,00
Rieles y ruedas				\$ 1'789.500,00
Con factor de reajuste				\$ 2'003.019,85

Nota: Valor referenciado para una plataforma de varamiento de 2000 ton. para Astinave

EP en 2008, y actualizado en base al IPC actual.

3.6.3 Costo referencial obra metalmecánica

Cotizado con Sidermet S.A. en base al diseño preliminar propuesto de la plataforma, valor sin IVA.

Tabla 31

Presupuesto referencial para la construcción y montaje de la plataforma

Descripción	unidad	cantidad	precio unitario	precio total
Construcción, montaje y fiscalización plataforma con acero A131 y A36 (Incluye:	kg	152015,41	\$ 13,78	\$ 2'094.772,38

Material de acero, Insumos, transporte, supervisión técnica)				
Tratamiento Epoxico 300 micras para plataforma con protección para ambientes marinos	m2	1631,04	\$ 35,00	\$ 57.086,27
Plataforma				\$ 2'151.858,64

Nota: cotizado con Sidermet S.A.

3.6.4 Costo referencial del sistema syncrolift

El presupuesto para estudios de suelos, estudios de impacto ambiental, estudio de sedimentación y batimetría se los incluye dentro de un porcentaje de costos indirectos no considerados, tomando un 15% del subtotal.

Tabla 32

Presupuesto referencial para la construcción del sistema Syncrolift

Subtotal	\$ 4'997.529,55
Costos Indirectos no considerados 15%	\$ 749.629,43
Imprevistos 10%	\$ 499.752,96
Total	\$ 6'246.911,94

Nota: elaboración propia

3.6.5 Ingresos

Los ingresos se evalúan considerando el costo del varadero. El presente valor se estimó a partir de los costos asociados al proceso de carenamiento, para el cual se estableció un promedio de 20 días para un varadero convencional. En la Tabla 33 se presenta la factura correspondiente al total anual del año 2021 de un varadero de referencia en el Ecuador. Utilizando como base para la estimación de dicho costo:

Tabla 33

Costo Varadero por Carenamiento

Precio promedio de carenamiento	
Varada, Desvarada, Preparación de cama de Varamiento	\$ 4100.00
Permanencia en varadero, 45 días de estadía en parrilla	\$ 22500.00
Limpieza de Casco	\$ 9885.20
Pintado del Casco	\$ 5681.00
Mantenimiento de 3 Cajas de Mar	\$ 570.00

Marcado y designación del casco	\$	700.00
Protección catódica	\$	1203.70
Válvulas de fondo y descarga fuera de borda	\$	593.43
Trabajos de transmisión	\$	14826.00
Trabajos de Maestría	\$	13810.00
Trabajos de Calderería	\$	4807.80
Trabajos en propulsión y caja Reductora	\$	18338.76
Trabajos Varios	\$	1808.00
Servicios Temporal	\$	11208.69
Total (2021)	\$	110032.58
Total con Reajuste (2026)	\$	137540.73

El valor total referencial correspondiente al año 2021 pudo haber experimentado variaciones a lo largo del tiempo debido a factores como la inflación y otros ajustes económicos. En consecuencia, se realizó un proceso de actualización de costos a partir del cual se estima un valor de \$ 137,540.73. Asimismo, se analizaron los ingresos del varadero considerando un flujo anual de 10 embarcaciones, correspondientes a la flota actual de la empresa requirente del varadero.

3.6.6 Egresos

3.6.6.1 Salarios

Los salarios del personal administrativo y operativo se estimaron como un porcentaje de los ingresos, de acuerdo con lo establecido en el estudio “Análisis Técnico-Económico Para Mejorar El Sistema De Bajada De La Plataforma De ASTINAVE EP”, (Tinoco, 2013). A partir de los ingresos anuales del varadero se determinaron los egresos correspondientes a remuneraciones del personal, los cuales se detallan en la Tabla 34.

Tabla 34

Sueldos personal Operativo

Detalle	Unidad	Valor
Carenamiento	Unidades/año	10
Ingresos Anual Promedios	\$/año	1,375,407.25
Sueldos operativos y administrativos (22% Ingresos)	\$/año	302,589.60

3.6.6.2 Mantenimientos y reparaciones

Los costos asociados a mantenimientos y reparaciones se estimaron con el objetivo de garantizar la continuidad operativa de la infraestructura y equipos a lo largo de la vida útil del proyecto. La Tabla 35 presenta el detalle de los costos anuales estimados correspondientes a este rubro acorde a lo mencionado en (Tinoco, 2013).

Tabla 35

Detalle de costos de mantenimiento y reparaciones

Detalle	Costo
Rollos de cable de acero	\$ 14,487.50
Garantía (5%)	\$ 68,770.36
Limpieza del Canal	\$ 11,000.00
Mantenimiento de sistema Sincrolift	\$ 15,000.00

3.6.6.3 Insumos y Materiales

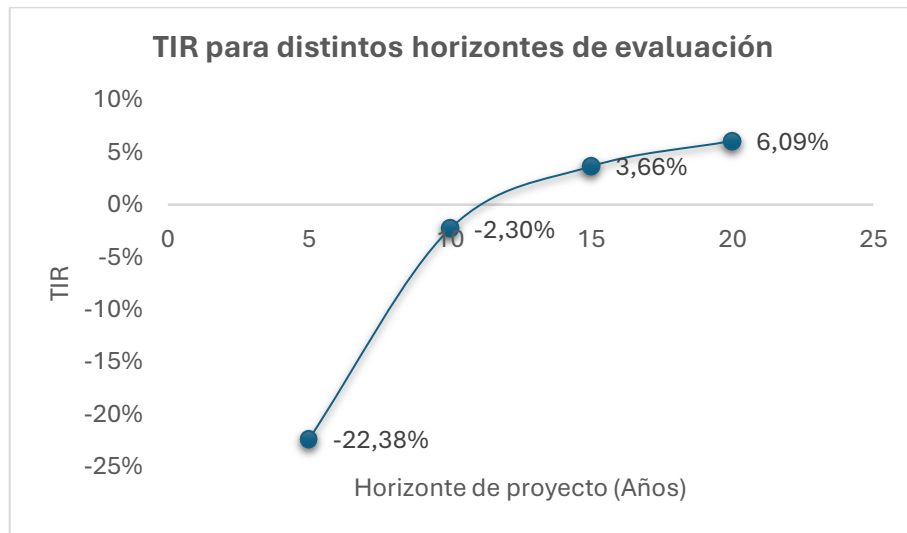
Los insumos y materiales comprenden los costos asociados al proceso de carenamiento, incluyendo materiales consumibles necesarios para la ejecución de las actividades operativas. Para su estimación se consideró al 20% del total de los ingresos anuales, (Tinoco, 2013). El costo anual estimado por concepto de insumos de carenamiento comprende los \$ 275,081.45.

3.6.7 Flujo de Caja e indicadores financieros

El flujo de caja del proyecto se elaboró considerando la inversión inicial realizada en el año cero, así como los ingresos y egresos generados durante la etapa de operación. A Partir de estos elementos se determinó la utilidad actual neta anual y se construyeron los flujos de caja correspondientes, los cuales fueron empleados para analizar el desempeño económico del proyecto bajo distintos horizontes de evaluación de 5, 10, 15 y 20 años, Figura 34.

Figura 34

TIR para distintos horizontes de evaluación



Nota: elaboración propia

En la **Error! Reference source not found.** se presenta el flujo de caja anual estimado, que sirvió de base para el cálculo de los indicadores financieros considerando un horizonte de evaluación de 15 años debido a la solicitud planteada por el Terminal Petrolero de Esmeralda.

Tabla 36

Flujo de Caja – Parte 1

Flujo de Caja- Parte 1											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingresos por Carenamiento		\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25
Egresos		\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31
Sueldos		\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60
Otros Costos de Producción		\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73
Inversión	-\$6,274,486.62										
Utilidad Neta		\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62
TIR	3.66%										
VAN	-\$1,558,747.82										

Tabla 37

Flujo de Caja – Parte 2

Flujo de Caja – Parte 2					
	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Ingresos por Carenamiento	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25	\$1,375,407.25
Egresos	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31	\$384,339.31
Sueldos	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60	\$302,589.60
Otros Costos de Producción	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73	\$137,540.73
Inversión					
Utilidad Neta	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62

Tabla 38

Periodo de Recuperación de Inversión – Parte 1

Periodo de Recuperación de Inversión – Parte 1											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Inversión	-\$6,274,486.62										
Flujo de Efectivo		\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62
Valor Presente		\$510,127.42	\$472,340.21	\$437,352.04	\$404,955.60	\$374,958.89	\$347,184.15	\$321,466.81	\$297,654.45	\$275,605.97	\$255,190.72
Flujo Acumulado		\$510,127.42	\$982,467.63	\$1,419,819.67	\$1,824,775.27	\$2,199,734.16	\$2,546,918.31	\$2,868,385.12	\$3,166,039.57	\$3,441,645.54	\$3,696,836.26
Flujo Neto		-\$5,764,359.19	\$5,292,018.98	\$4,854,666.94	\$4,449,711.35	\$4,074,752.46	\$3,727,568.31	\$3,406,101.50	\$3,108,447.05	\$2,832,841.07	\$2,577,650.36
PRI	11.39										
PRI	11 años 5 meses										

Tabla 39

Periodo de Recuperación de Inversión – Parte 2

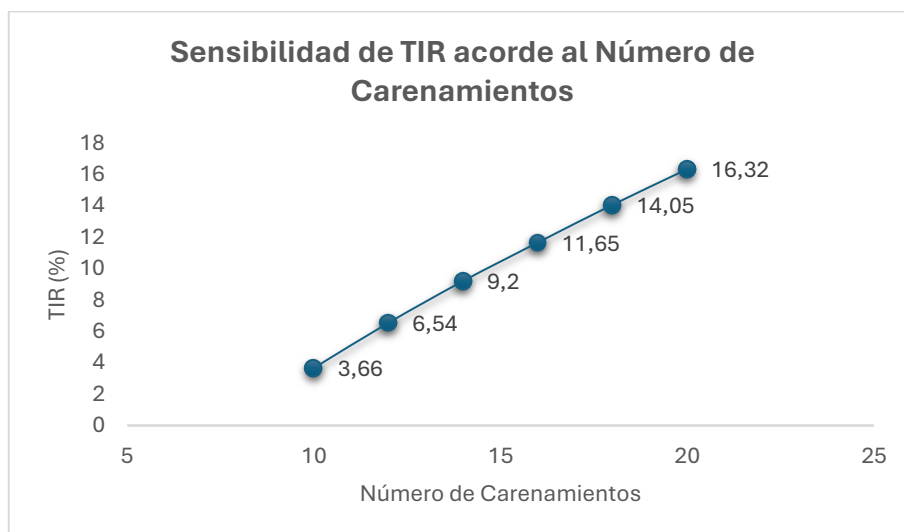
Periodo de Recuperación de Inversión – Parte 2					
	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
Inversión					
Flujo de Efectivo	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62	\$550,937.62
Valor Presente	\$236,287.70	\$218,784.91	\$202,578.62	\$187,572.79	\$173,678.51
Flujo Acumulado	\$3,933,123.96	\$4,151,908.87	\$4,354,487.49	\$4,542,060.28	\$4,715,738.80
Flujo Neto	-\$2,341,362.66	-\$2,122,577.75	-\$1,919,999.13	-\$1,732,426.33	-\$1,558,747.82

La TIR indica que el proyecto genera una rentabilidad del 3.66% considerando un horizonte de evaluación de 15 años, lo que indica que el proyecto no resulta financieramente rentable, dado que dicho valor es inferior a la Tasa Mínima de Retorno Aceptable (TMRA) del 8%. Este resultado se debe principalmente a que el servicio de carenamiento se limita al atendimento exclusivo de la flota propia, lo que restringe el volumen de ingresos generados.

No obstante, de acuerdo con el análisis de sensibilidad de la TIR en función del número anual de carenamientos, presentado en la Figura 35, se observa que al superar los 15 carenamientos por año, la TIR incrementa de manera significativa, alcanzando valores superiores al 10%, lo que evidencia que el proyecto se vuelve rentable bajo escenarios de mayor de utilización de la infraestructura.

Figura 35

Sensibilidad de TIR acorde al Número de Carenamientos



Además, el periodo de recuperación de la inversión (PRI) estimado es de 11 años y 5 meses, lo cual concuerda con la magnitud de la inversión inicial y la naturaleza del proyecto de infraestructura naval. El presente proyecto desde el punto social representa un aporte significativo para el desarrollo productivo de la provincia al fortalecer la capacidad operativa de varaderos y dinamizar la actividad marítima. Adicionalmente, se considera que la infraestructura propuesta

posee una vida útil superior a los 20 años, por lo que, una vez recuperada la inversión inicial, el proyecto continuaría generando beneficios económicos.

3.6.8 *Análisis de Sensibilidad*

La Tabla 40 presenta un análisis de sensibilidad desarrollado para dos escenarios planteados, los cuales influyen directamente en el rendimiento económico del proyecto:

Tabla 40

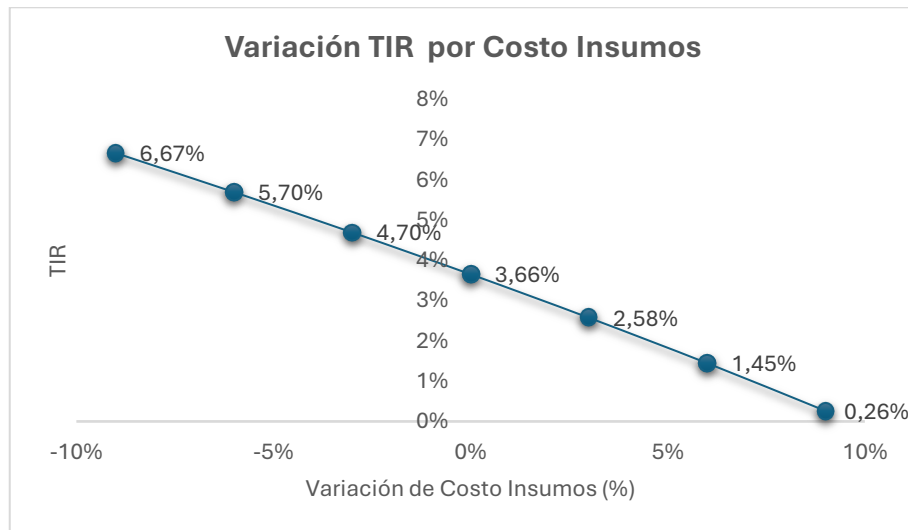
Análisis de Sensibilidad

Análisis de Sensibilidad	Variación	TIR	VAN	PRI anual
Escenario 1: Variación en costo de insumos en ± 3, ± 6 y $\pm 9\%$.	9%	0.26%	\$ -2,618,297.03	14.69
	6%	1.45%	\$ -2,265,113.96	13.40
	3%	2.58%	\$ -1,911,930.89	12.31
	0%	3.66%	\$ -1,558,747.82	11.39
	-3%	4.70%	\$ -1,205,564.75	10.60
	-6%	5.70%	\$ -852,381.68	9.91
	-9%	6.67%	\$ -499,198.61	9.30
Escenario 2: Variación en costo operacional ± 2, ± 4 y $\pm 6\%$	6%	1.45%	\$ -2,265,113.96	13.40
	4%	2.21%	\$ -2,029,658.58	12.65
	2%	2.94%	\$ -1,794,203.20	11.99
	0%	3.66%	\$ -1,558,747.82	11.39
	-2%	4.36%	\$ -1,323,292.44	10.85
	-4%	5.04%	\$ -1,087,837.06	10.35
	-6%	5.70%	\$ -852,381.68	9.91

El escenario 1 presenta una tendencia desfavorable ya que los costos de insumos y materiales influyen directamente en el valor del carenamiento de las embarcaciones. Un incremento del 9% en dichos costos se traduce en una reducción significativa de la rentabilidad del proyecto, reflejada en una disminución de la tasa interna de retorno, la cual se mantiene por debajo de la TMRA del 8%. La diferencia entre el mejor y peor escenario alcanza un 6.41% en la TIR, lo que evidencia una sensibilidad considerable del proyecto ante variaciones en el precio del carenamiento. El aumento en los costos de insumos afecta negativamente la viabilidad económica del proyecto, Figura 36.

Figura 36

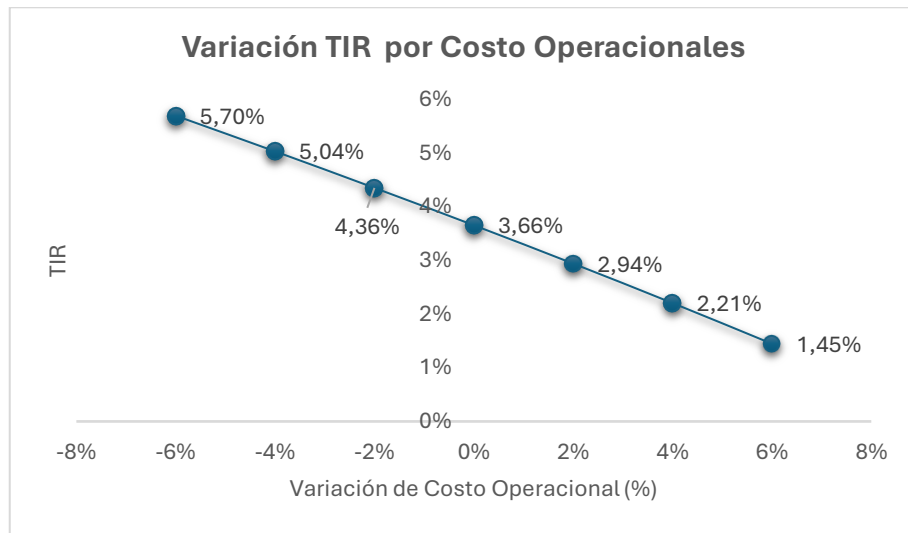
Análisis de sensibilidad del costo de carenamiento – Escenario 1



En el escenario 2 se analiza la sensibilidad del proyecto frente a variaciones en los costos operacionales. Los resultados muestran que incrementos en dichos costos generan una disminución progresiva de los indicadores de rentabilidad, afectando directamente la tasa interna de retorno y el valor actual neto. En el caso más favorable, reducciones de costos operacionales, la TIR es inferior al 6%, permaneciendo por debajo de la TMRA de 8% evidenciando que la rentabilidad obtenida no alcanza niveles suficientemente atractivos para considerar el proyecto plenamente viable. Esto demuestra que el proyecto presenta una sensibilidad moderada a los cambios en los costos operativos, los cuales influyen directamente en el desempeño económico a largo plazo.

Figura 37

Análisis de sensibilidad del costo de carenamiento – Escenario 2



CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y Recomendaciones

El sistema de varamiento syncrolift a pesar de no ser una tecnología actual presenta muchas ventajas sobre los sistemas tradicionales que actualmente tiene el Ecuador, no solo es un infraestructura más para el servicio de mantenimiento de embarcaciones en Esmeraldas, es una oportunidad para innovar y desarrollar la industria naval en el país, promoviendo la creación de empleo, nuevas tecnologías mejorando la economía local y nacional, colocando al Ecuador a la par en la industria naval de la Region, donde ya cuentan con este tipo de sistema.

4.1.1 Conclusiones

Luego de un análisis de las condiciones del terminal marítimo de Balao, la flota del SUINBA, y la información brindada por sus autoridades, y haber aplicado la espiral de diseño durante la etapa conceptual y preliminar se puede concluir lo siguiente:

1. Las dimensiones y capacidad de levante del sistema de varamiento syncrolift son suficientes para proveer el servicio de carenamientos a la barcaza Smith rice, con sus 1000 ton de capacidad máxima y esloras de hasta 40 m, el sistema está en capacidad de proveer servicios hasta la flota pesquera local de la provincia de Esmeraldas.
2. El diseño preliminar propuesto es técnicamente viable, los análisis se encuentran dentro de los limites permisibles de acuerdo con las normas utilizadas en cada fase del diseño y selección de accesorios, estos presentan buena resistencia estructural, capacidad sobre los limites requeridos y factores de seguridad adecuados.
3. El análisis económico indica que el proyecto bajo el escenario base considerado, no alcanza los niveles de rentabilidad requeridos, ya que la Tasa Interna de Retorno obtenida es inferior a la Tasa Mínima Requerida de Aceptación y el Valor Actual Neto resulta negativo para los horizontes de evaluación analizados. Así mismo, el periodo de recuperación de la inversión es prolongado, lo que refleja una baja eficiencia económica en las condiciones establecidas por el Terminal Petrolero de Esmeraldas. El análisis de sensibilidad demostró que la rentabilidad del proyecto depende

significativamente del número de carenamientos anuales y de la variación de costos operativos e insumos, evidenciando que la limitada utilización del varadero es el principal factor que restringe su viabilidad financiera.

4. La inversión inicial es elevada (6.25 M), pero los costos operativos son predecibles y controlables. El mayor riesgo financiero no está en la operación, sino en la posible baja demanda si no se comercializa activamente el servicio. El análisis de sensibilidad demuestra que la variable crítica es el volumen de carenamientos anuales. Una gestión comercial proactiva podría transformar un proyecto marginal en uno altamente rentable en un horizonte de 10-15 años

4.1.2 Recomendaciones

El trabajo presenta un diseño conceptual de la obra civil, este deberá complementarse con un diseño preliminar, que contemple todos los servicios requeridos, materiales y dimensiones adecuadas basados en normas para este tipo de estructuras, así como estudios de suelos, estudios de corrientes y sedimentación, estudios de impacto ambiental y estudios geotécnicos a fin de verificar si el lugar propuesto es adecuado para implementar esta infraestructura.

Desarrollar un plan de digitalización y automatización del syncrolift para reducir tiempos de operación y costos operacionales a mediano plazo, así como considerar este proyecto como un piloto para la modernización de la infraestructura naval pública, con potencial replica en otros puertos estratégicos del país.

Referencias

- [1] EP Petroecuador. (2023). *Estadísticas oficiales de transporte y exportación de hidrocarburos*.
- [2] Ministerio de Economía y Finanzas. (2023). *Informe macrofiscal anual*.
- [3] EP Petroecuador. (2022). *Boletín operativo Terminal Petrolero de Balao*.
- [4] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2022). *Informe anual de tráfico de buques*.
- [5] EP Petroecuador. (2022). *Informe técnico sobre la flota de apoyo del Terminal Balao*.
- [6] EP Petroecuador. (2015). *Informe de gestión de mantenimiento flota Balao 2014–2015*.
- [7] Dirección General de Intereses Marítimos (DIGEIM). (2021). *Diagnóstico sobre infraestructura portuaria menor en la región norte*.
- [8] International Maritime Organization (IMO). (2020). Guidelines for Ship Repair Yards and Environmental Protection. *IMO*.
- [9] R. G. Pawling & L. Rosenberg. (2019). Principles of Drydocking and Ship Maintenance. *Lloyd's Register*.
- [10] R. W. Parsons. (2017). Ship Repair and Maintenance Techniques. *Elsevier*.
- [11] A. Boardman, D. Greenberg, A. Vining, & D. Weimer. (2018). Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice. *Cambridge University Press*.
- [12] Davalos E. (2010). *Organización de los Astilleros Según Normas de Clase para Mejorar su Calidad y Productividad*. [tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. www.dspace.espol.edu.ec
- [13] Quejada J. (2020). *Elaboración de un Plan para la Construcción de un Astillero Naval en Urabá – Proyecto Aplicado*. [tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. www.repository.unad.edu.ec

- [14] Mandrola J. (1982). Estructuras de Astilleros de Construcción y Reparación Naval de Embarcaciones Pequeñas de Acero. *Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial*. www.unido.org
- [15] Gonzáles D. (2025). *Astilleros: Estructura, maniobra de varada y botadura y perspectivas futuras*. [Tesis de grado, Universidad de la Laguna]. www.riull.ull.es
- [16] Díaz S. (2025). *Planificación del mantenimiento de un syncrolift*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. www.repositorio.upct.es
- [17] Rodríguez M. (2015). *Programa de mantenimiento para la plataforma syncrolift en Sima astilleros Chimbote*. [Tesis de grado, Universidad nacional de Trujillo]. www.dspace.unitru.edu.pe
- [18] Sánchez S. (2018). *Procesos de varada y botadura de buques mercantes*. [Tesis de grado, Universidad de la Laguna]. www.riull.ull.es
- [19] Erazo E. Yépez X. (2018). *Estudios y diseños de soluciones para resolver los problemas geotécnicos existentes en el dique seco de Asenabra S.A.* [tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. www.dspace.espol.edu.ec
- [20] Lloyd's Register. (Julio 2022). *Chapter 5: Shiplift and transfer system. En Code for lifting appliance in a marine enviroment* (July 2022 ed.). Lloyd's Register, <https://www.lr.org/en/rules-and-regulations/code-for-lifting-appliances>
- [21] Ministerio de Transporte y Obras Publicas (2022). *Permiso de Operación a Astilleros, Parrillas, Varaderos y Factorías Navales*. <https://www.gob.ec/mit/tramites/emision-permiso-operacion-astilleros-parrillas-varaderos-factorias-navales>
- [22] Cotecmar – Cartagena de Indias Colombia (2021). *Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval Marítima y Fluvial*. Recuperado de <https://www.cotecmar.com/>

- [23] Servicios Industriales de la Marina S.A. (2018) *SIMA PERU S.A.* Recuperado de <https://www.sima.com.pe/>
- [24] SPI Astilleros. (2018) *Servicios Portuarios Integrados S.A.* Recuperado de <https://www.astillerospi.com/es/>
- [25] Garcia N. (2024, 6 mayo) Asmar estima en 80 millones de dólares la inversión para construir un syncrolift en Talcahuano. *Infodefensa*. <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/4822795/asmar-estima-80-millones-dolares-inversion-construir-syncrolift-talcahuano>
- [26] Azul sostenible (2022, 22 junio) Astilleros ecuatorianos: la apuesta estratégica para el desarrollo marítimo. *Azulsostenible*. <https://azulsostenible.ec/astilleros-ecuatorianos-la-apuesta-estrategica-para-el-desarrollo-maritimo/>
- [27] Astillero Maridueña (2015). *Astillero e Instalaciones*. Recuperado de <https://www.astilleromariduenas.com.ec/index.html>
- [28] Varaderos del Pacifico S.A. (2025). *Varpacific S.A.* Recuperado de <https://varpacific.com/nosotros/>
- [29] Astillero Taera Cia. Ltda. (2019). *Taera mantenimiento naval*. Recuperado de <http://astillerotaera.com/>
- [30] Lloyd's Register Part 3 Ship Structures. (Julio 2019). *Chapter 11: Closing Arrangements for Shell, Deck and Bulkheads – Section 2 Steel hatch covers. En Code for lifting appliance in a marine environment* (July 2022 ed.). Lloyd's Register,
- [31] International Marine Organization OMI (2020). *Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) (1974) Texto Consolidado*. International Marine Organization
- [32] Verschoof J. (2002). *Crane Design Practice and Maintenance 2nd Edition*. Professional Engineering Publish.

[33] Ingeniería y Gestión de Riesgos (2021). *Informe ambiental obras menores (IAOM)*. SPI Astilleros.

[34] Recomendaciones para Obras Marítimas, Programa (ROM) (1987). *Parte 3 Acciones, Sobre Cargas Para Operaciones de Buques*. En ROM 2.90 Acciones en el Proyecto De Obras Marítimas y Portuarias. Dirección General de Puertos y Costas España.

[35] Consorcio Puente Daule Guayaquil II (2018). *Planilla de avance de obra N. 3. Contrato LICO-MIMG-003-018*. Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil/Gobierno Autónomo Descentralizado de Daule.

[36] Prefectura del Guayas (2025). *Análisis de Precios Unitarios APU. Rubros civiles*. Dirección de Estudios y Fiscalización – Prefectura del Guayas.

APÉNDICE A

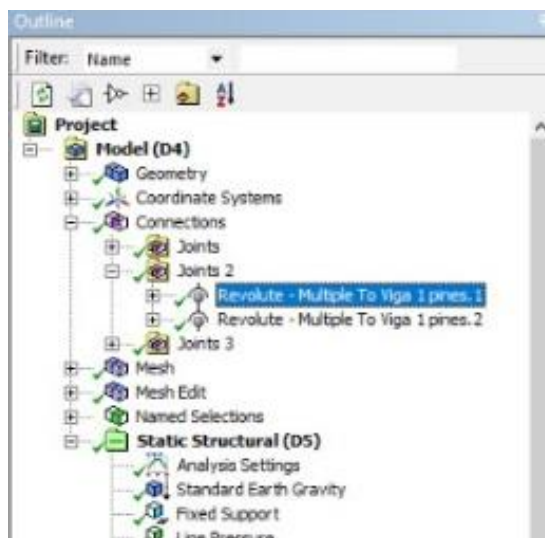
5.1 Apéndices del Capítulo 3

5.1.1 Uso de la opción “joints” para simular un pasador en Ansys

Se escoge la opción “pin” en la pestaña “connections”.

Figura 38

Panel de opciones de Ansys Mechanical

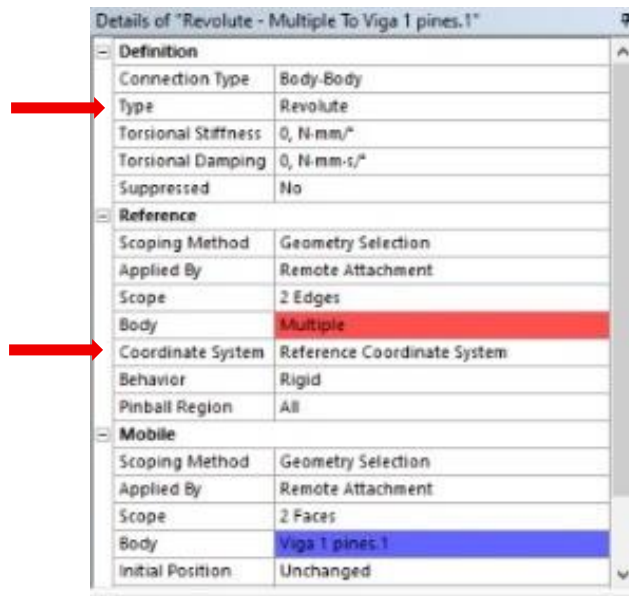


Nota: captura tomada de Ansys R18.1

En la pestaña “Definition” es escoge la opción “Revolute”, es importante definir el sistema de coordenadas local en la selección de la geometría en la pestaña “Reference”, porque la opción de “revolute” solo permite rotación alrededor del eje Z, si este no coincide con el sistema de coordenadas global se deberá definir en la opción de “coordinate system”.

Figura 39

Panel de opciones de Ansys Mechanical

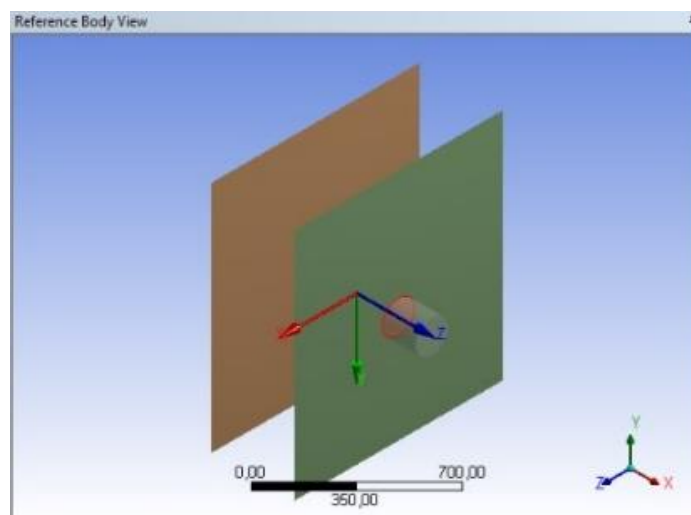


Nota: captura tomada de Ansys R18.1

luego seleccionamos las geometrías en las pestañas “Reference” y “Mobile” en la opción “scope”, seleccionamos las circunferencias en los extremos de la viga como geometría de referencia.

Figura 40

Selección de geometría de referencia



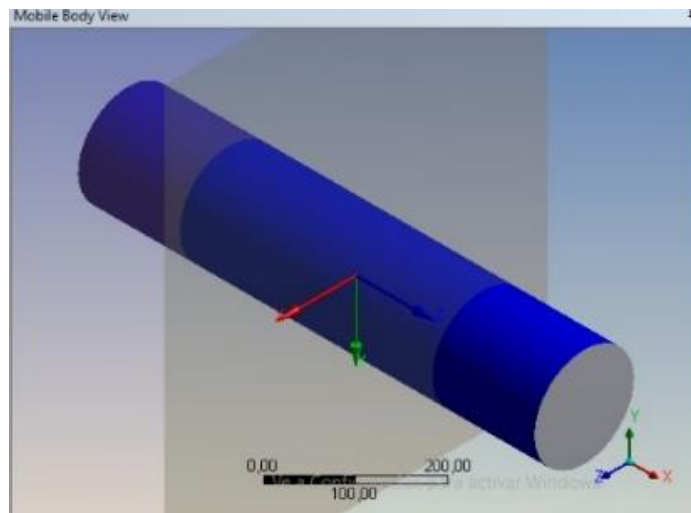
Nota: captura tomada de Ansys R18.1

Seleccionamos las superficies del pin o pasador que están en contacto con las circunferencias de las placas como geometría móvil, el orden de selección puede variar y no

debería afectar el resultado, aquí definimos también un sistema de coordenadas local, de tal manera que el eje Z local quede como eje de rotación a lo largo del pasado. Notar que el eje z local no necesariamente coincide con el eje Z global.

Figura 41

Selección de geometría móvil

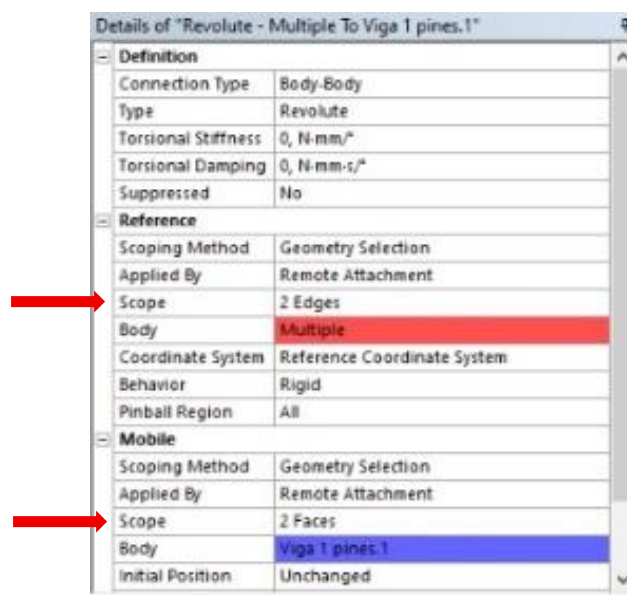


Nota: captura tomada de Ansys R18.1

Chequeamos nuevamente las selecciones de la geometría en “Reference” y “mobile”

Figura 42

Chequeo de geometría de referencia y móvil

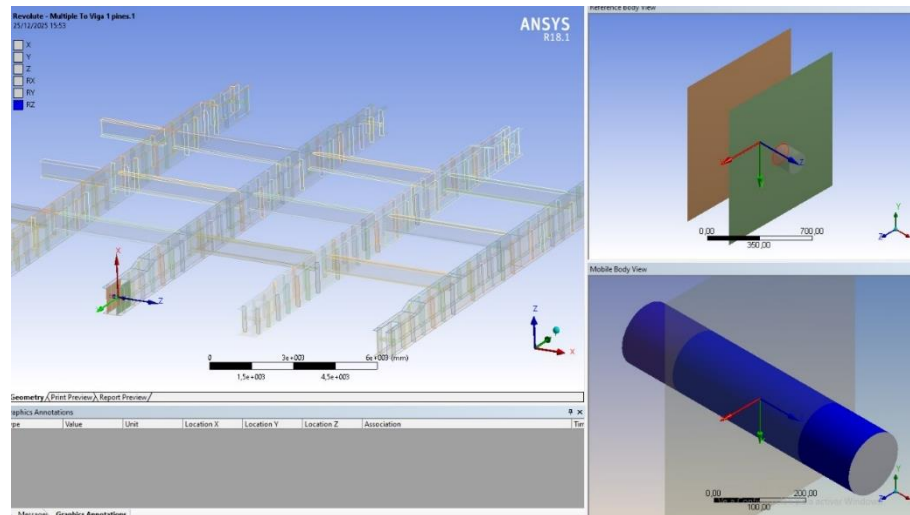


Nota: captura tomada de Ansys R18.1

Verificamos que el eje de rotación Z local coincida con el sentido de giro de la viga.

Figura 43

Chequeo de la conexión por pin y su sistema de referencia



Nota: captura tomada de Ansys R18.1

5.1.2 Cálculo del momento producido por el viento sobre el área transversal de la barcaza *Smith Rice*.

De acuerdo con las reglas de Lloyds Register, los efectos del viento se aplicarán de manera perpendicular sobre el área lateral expuesta para la plataforma, así como del buque posicionado sobre ella, Load Case II [20].

Para efectos de diseño en este caso vamos a tomar lo indicado en SOLAS capítulo 2-1; en el apartado de estabilidad sin averías la escora producida por vientos indica una presión no menor de 504 N/m² aplicada al área lateral expuesta sobre la flotación [31]. Siguiendo su formulación podemos obtener el momento generado por el viento sobre la superficie del casco, que a su vez será transmitido a la plataforma.

$$M = \frac{P_v * A}{Z} / 9800 \text{ [ton m]}$$

Tabla 41*Cálculo del momento escorante con formulación de SOLAS*

Descripción	Variable	Valor	Unidades
Distancia entre el CG del área expuesta y el centro de resistencia lateral	z	3,6747	m
Presión superficial del viento	Pv	504	N/m2
Área superficie expuesta	A	151,573	m2
Momento del par	M	28,645	ton m
Desplazamiento de la barcaza	Δ	790,87	ton
Área transversal de plataforma	At	28,4	m2

Nota: el momento escorante se calculó utilizando toda la sección lateral de la barcaza, este momento se lo aplico como una condición en el modelo de Ansys sobre la plataforma

De manera comparativa en el libro de J. Verschoof. Cranes Desing, Practice and Maintenance, menciona la fuerza del viento aplicable a los análisis con elementos finitos para estructuras o grúas que operan cerca de las costas [32], aquí se puede comparar que el valor de 504 N/m² indicado en SOLAS como una condición “heavy storm” y “very heavy”, con una velocidad de viento promedio a los 28 m/s.

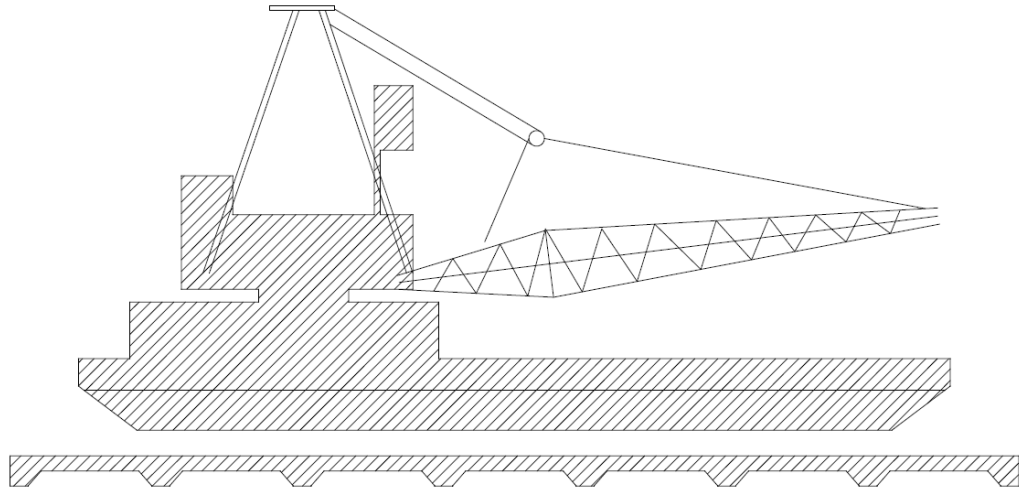
Figura 44*Indicadores de escala y presión de viento para análisis con elementos finitos*

Table 1.5.1 Wind scale and appertaining wind pressure (q)					
Wind speed averaged over 10 min. At 10 m height above flat ground or above sea			Name		Wind pressure (N/m ²)
Wind force ⁽¹⁾	m/s ⁽¹⁾	km/h ⁽²⁾	Above flat ground	Above sea	
0	0,0–0,2	0,0–0,7	Calm	Calm	0–0,03
1	0,3–1,5	1,1–5,4	Light wind	Flat calm	0,06–1,4
2	1,6–3,3	5,8–11,9	Light wind	Flat/freshening	1,6–6,8
3	3,4–5,4	12,2–19,4	Moderate wind	Slight fresh	7,2–18,2
4	5,5–7,9	19,8–28,4	Moderate wind	Moder. fresh	18,8–39
5	8,0–10,7	28,8–38,5	Fairly strong wind	Fresh breeze	40–71
6	10,8–13,8	38,9–49,6	Strong wind	Stiff breeze	73–118
7	13,9–17,1	50–61,5	Hard wind	Hard wind	121–182
8	17,2–20,7	61,9–74,5	Stormy wind	Stormy wind	184–267
9	20,8–24,4	74,9–87,8	Storm	Storm	270–371
10	24,5–28,4	88,2–102,2	Heavy storm	Heavy storm	375–502
11	28,5–32,6	102,6–117,3	Very heavy storm	Very heavy storm	509–662
12	> 32,6	> 117,3	Hurricane	Hurricane	> 662

Nota: obtenido del libro J. Verschoof. Cranes Desing, Practice and Maintenance [32]

Figura 45

Área lateral expuesta al viento de la plataforma más la barcaza

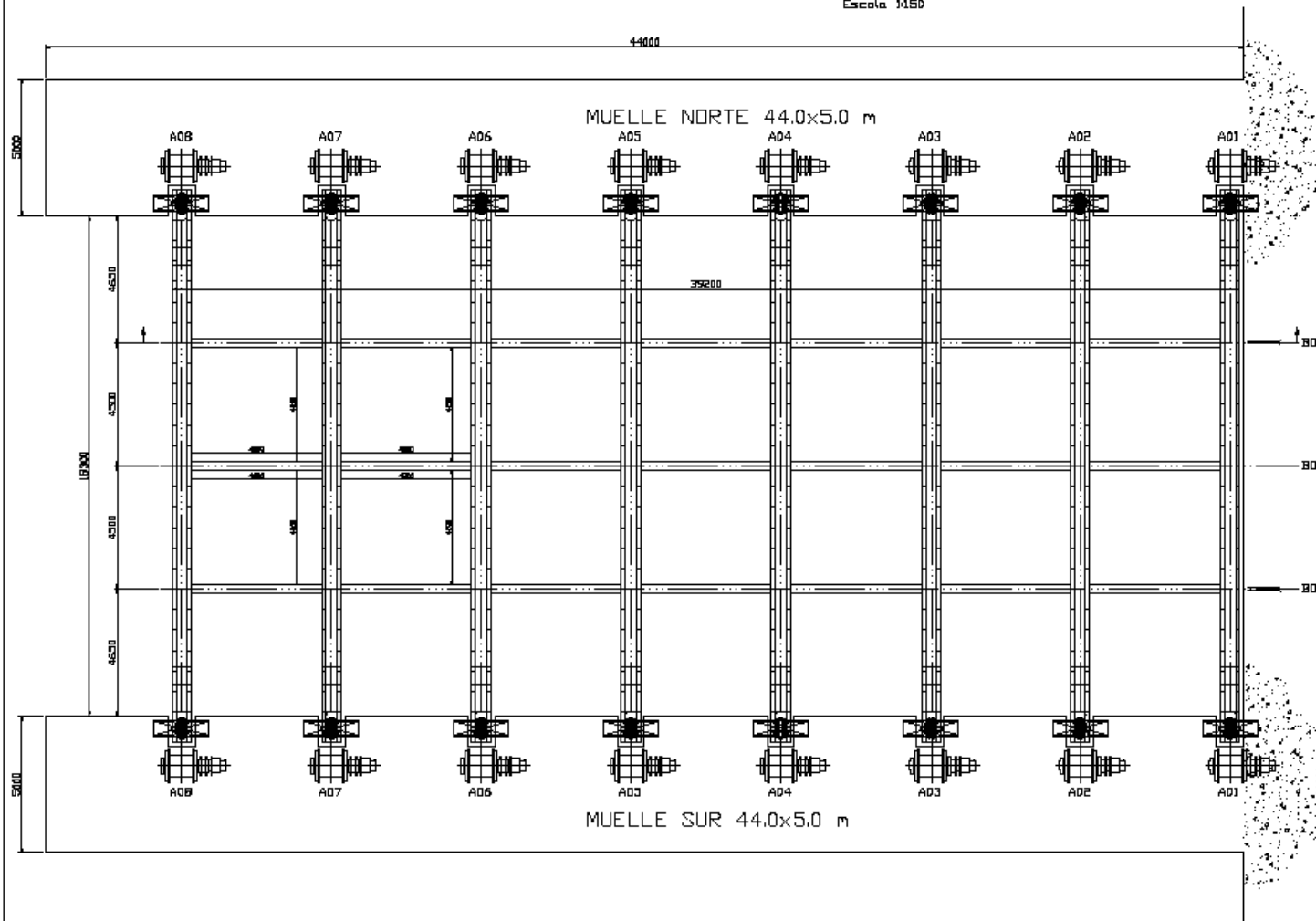


Nota: elaboración propia

APÉNDICE B

5.2 Planos del Diseño Preliminar

PLATAFORMA SYNCROLIFT VISTA EN PLANTA
Escala 1:150



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

PLATAFORMA:	
Longitud total	39.20 m
Ancho total	20.20 m
Alto total	1.29 m
Vigas transversales	Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales	HEA 650 ASTM A36
CAPACIDAD:	
Capacidad de levante	800 ton.
Eslera maxima	40.0 m
Manga maxima	16.30 m
Calado maximo	3.00 m
EQUIPAMIENTO:	
16 winches sincronicos	30 ton c/u
Polea triple/viga	Ø 608 mm

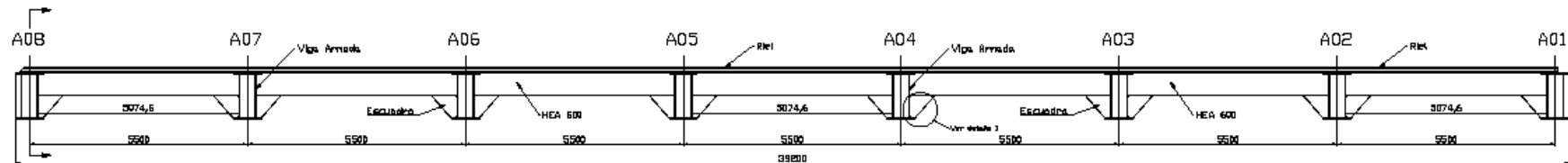
PROYECTO: Diseño Preliminar de una Plataforma
Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao

PLATAFORMA: Plataforma de Elevación Vista en Planta

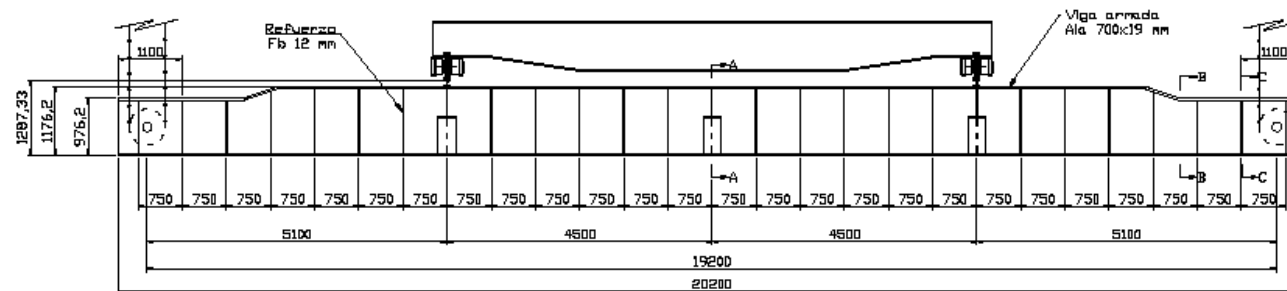
PROYECTISTA: Andrés Ortega Lucero	PROYECTO: A3	ESCALA: 1:150
REVISOR: Jairo Vera Ayala	FECHA: 01	NOV 2025
REVISOR: M.Sc. Ing. Isaac Mendoza	FECHA: 11	PAO 2025

espol

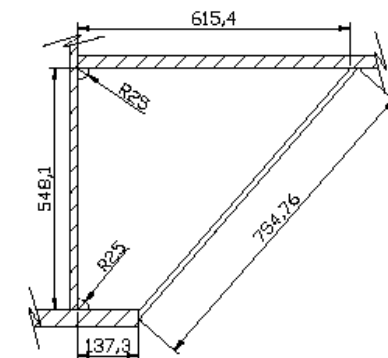
Escala 1:100



Escala 1173



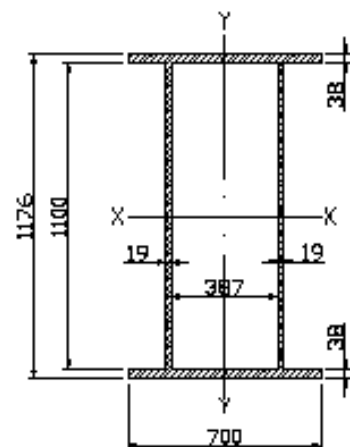
Escala 1:10



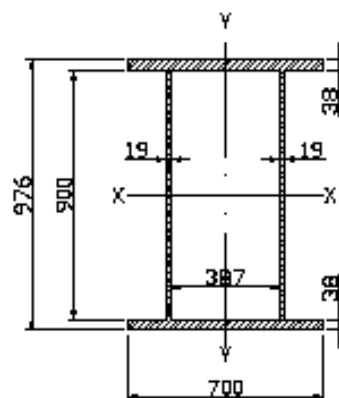
ESCANTILLON			
VIGA ARMADA		VIGAS LONGITUDINALES	
Alma izquierda	Plancha 38 mm	Vigas longitudinales	HEA 600
Alma derecha	Plancha 38 mm	Material	ASTM A36
Ala superior	Platina 700x19 mm	Peso por tramo de 5.074 m	\$47.36 kg
Ala inferior	Platina 700x19 mm	Peso por ojo (3 lineas)	5.931.5 kg
Refuerzos	Platina 137x12 mm	Peso total	17.794.5 kg
Alma en zona de poleas	Plancha 25 mm		
Material	ASTM A131	Escuadras	Plancha 9 mm
Modulo	37110 cm²	Refuerzo de escuadras	Platina 300x12 mm
Numero de vigas	8 unidades	Peso total de escuadras	611.26 kg
Peso por viga	16.390 kg	Peso total de refuerzo de escuadras	890.19 kg
Peso total	132.719 kg		

<u>CONTENIDO:</u> Plataforma de Elevación Corte Longitudinal y Transversal			
<u>INTERVENIENTE:</u> Andrés Ortega Lucero Joice Vera Ayala	<u>FORMATO:</u> A3 <u>LAMINA:</u> 02	<u>ESCALA:</u> Indicadas <u>FECHA:</u> Nov 2025	
<u>TUTOR:</u> M.Sc. Ing. Isaac Mendoza <u>PERIODO ACADÉMICO:</u> II PAO 2025			

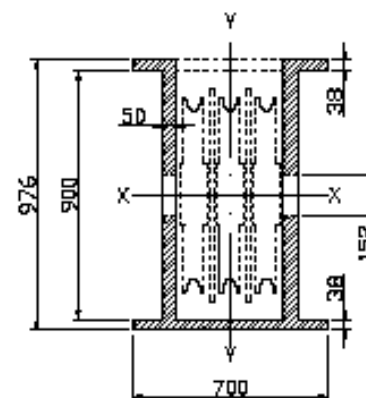
VIGA TRANSVERSAL
PERFIL ARMADO - CORTE A-A



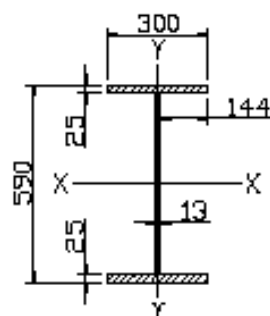
VIGA TRANSVERSAL
PERFIL ARMADO - CORTE B-B



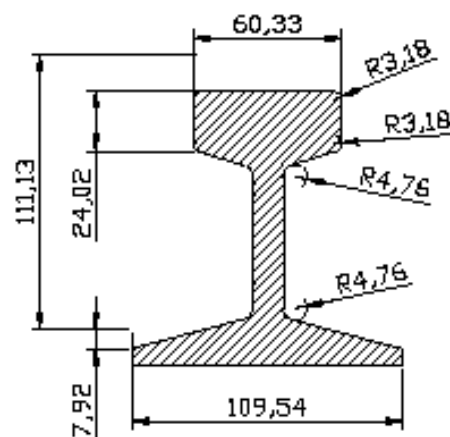
VIGA TRANSVERSAL
PERFIL ARMADO - CORTE C-C



VIGA LONGITUDINAL
HEA 600

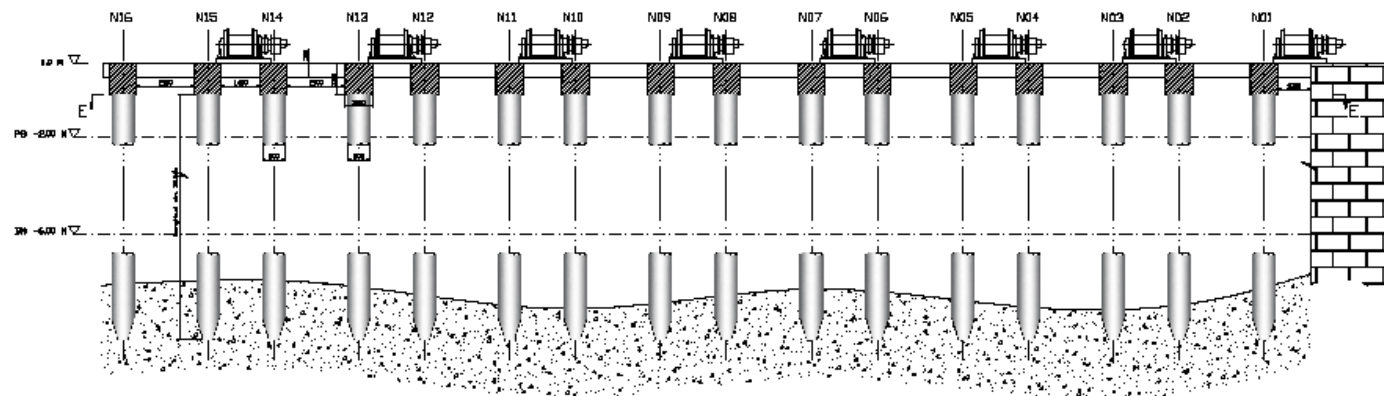


RIEL DE PLATAFORMA
Y PATIO DE TRANSFERENCIA

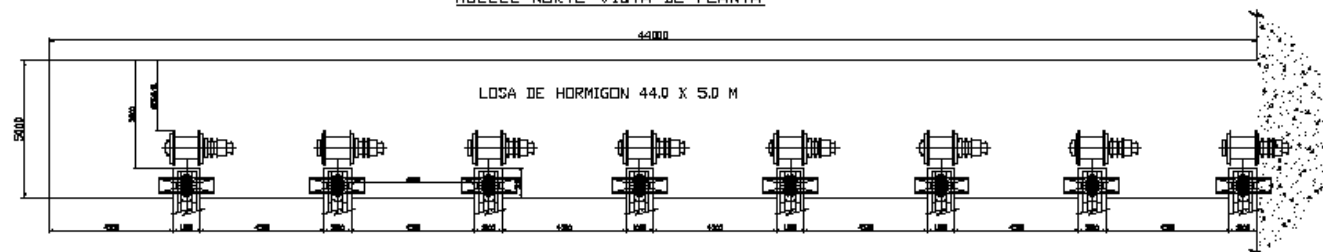


PROYECTO Diseño Preliminar de una Plataforma Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao			
CONTENIDO Cortes transversales de Vigas y Riel			
PROYECTISTA Andrés Ortega Lucero	CONSEJO A4	REVISOR Indicadas	
REVISOR Joice Vera Ayala	FECHA 03	FECHA Nov 2025	
PROFESOR M.Sc. Ing. Isaac Mendoza	PROYECTO ACADÉMICO II PAO 2025		

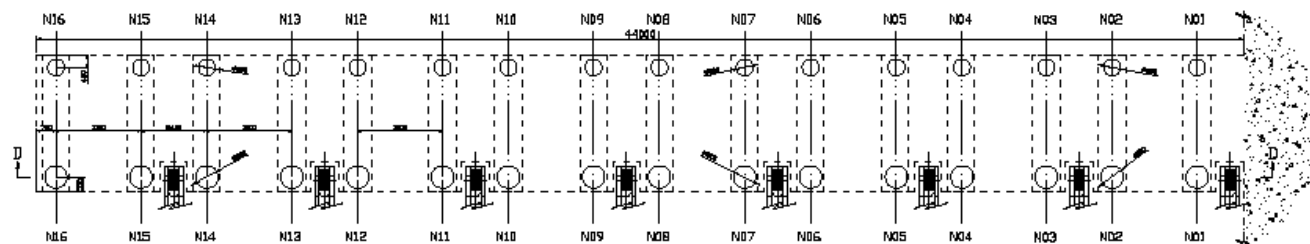
MUELLE NORTE VISTA LONGITUDINAL - CORTE D-D



MUELLE NORTE VISTA DE PLANTA



MUELLE NORTE VISTA DE PLANTA - CORTE E-E



CARACTERÍSTICAS DEL MUELLE

Longitud del muelle	44.0 m
Ancho total	5.0 m
Espesor de losa de H.A.	50 cm
Viga transversal de H.A.	5.0 x 1.10 x 1.0 mm
Pilote en zona de winche	Ø 800 mm
Numero de pilotes en zona de winche	16 unds.
Pilote en zona de acoradero	Ø 600 mm
Numero de pilotes en zona de acoradero	16 unds.
Longitud estimada pilote	12.0 m

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

PLATAFORMA:	
Longitud total	39.20 m
Ancho total	20.20 m
Alto total	1.29 m
Vigas transversales	Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales	HEA 650 ASTM A36
CAPACIDAD:	
Capacidad de levante	800 ton.
Eslora maxima	40.0 m
Manga maxima	16.30 m
Calado maximo	3.00 m
EQUIPAMIENTO:	
16 winches sincronicos	30 ton c/u
Poleas triple/viga	Ø 608 mm

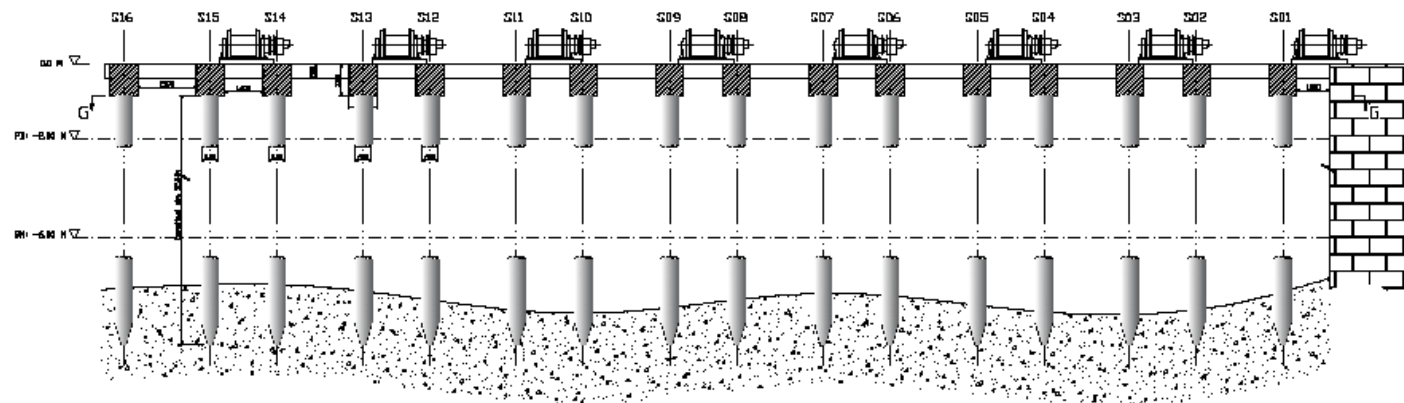
Diseño Preliminar de una Plataforma Sincrolift Para el Terminal Marítimo de Balao

Muelle Norte, Vista Longitudinal y de Planta

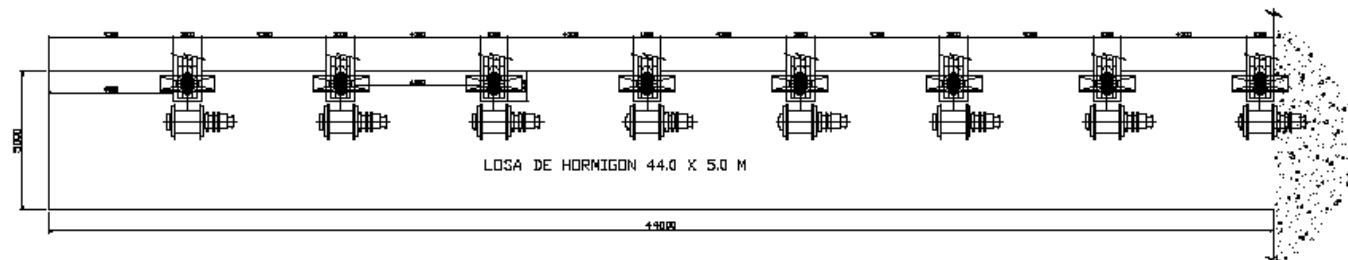
Autores:	Autores:	Autores:
Andrés Ortega Lucero	A3	1:150
Joine Vera Ayala	04	Nov 2025
Autores:	Autores:	Autores:
M.Sc. Ing. Isaac Mendoza	II PAO 2025	

espel

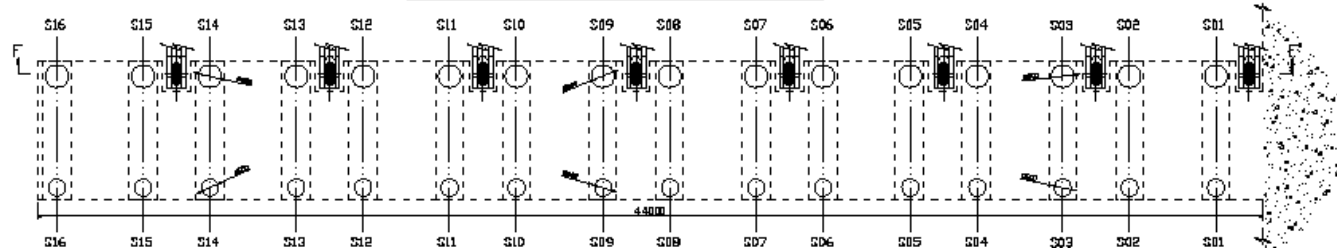
MUELLE SUR VISTA LONGITUDINAL - CORTE F-F



MUELLE SUR VISTA DE PLANTA



MUELLE SUR VISTA DE PLANTA - CORTE G-G



CARACTERÍSTICAS DEL MUELLE

Longitud del muelle 44.0 m
Ancho total 5.0 m
Espesor de losa de H.A. 50 cm

Viga transversal de H.A. 5.0 x 1.10 x 1.0 m
Pilote en zona de winche Ø 800 mm
Numero de pilotes en zona de winche 16 unds.
Pilote en zona de acoradero Ø 600 mm
Numero de pilotes en zona de acoradero 16 unds.
Longitud estimada pilote 12.0 m

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

PLATAFORMA:
Longitud total 39.20 m
Ancho total 20.20 m
Alto total 1.29 m
Vigas transversales Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales HEA 650 ASTM A36

CAPACIDAD:
Capacidad de levante 800 ton.
Eslora maxima 40.0 m
Manga maxima 16.30 m
Calado maximo 3.00 m

EQUIPAMIENTO:
16 winches sincronicos 30 ton c/u
Polea triple/viga Ø 608 mm

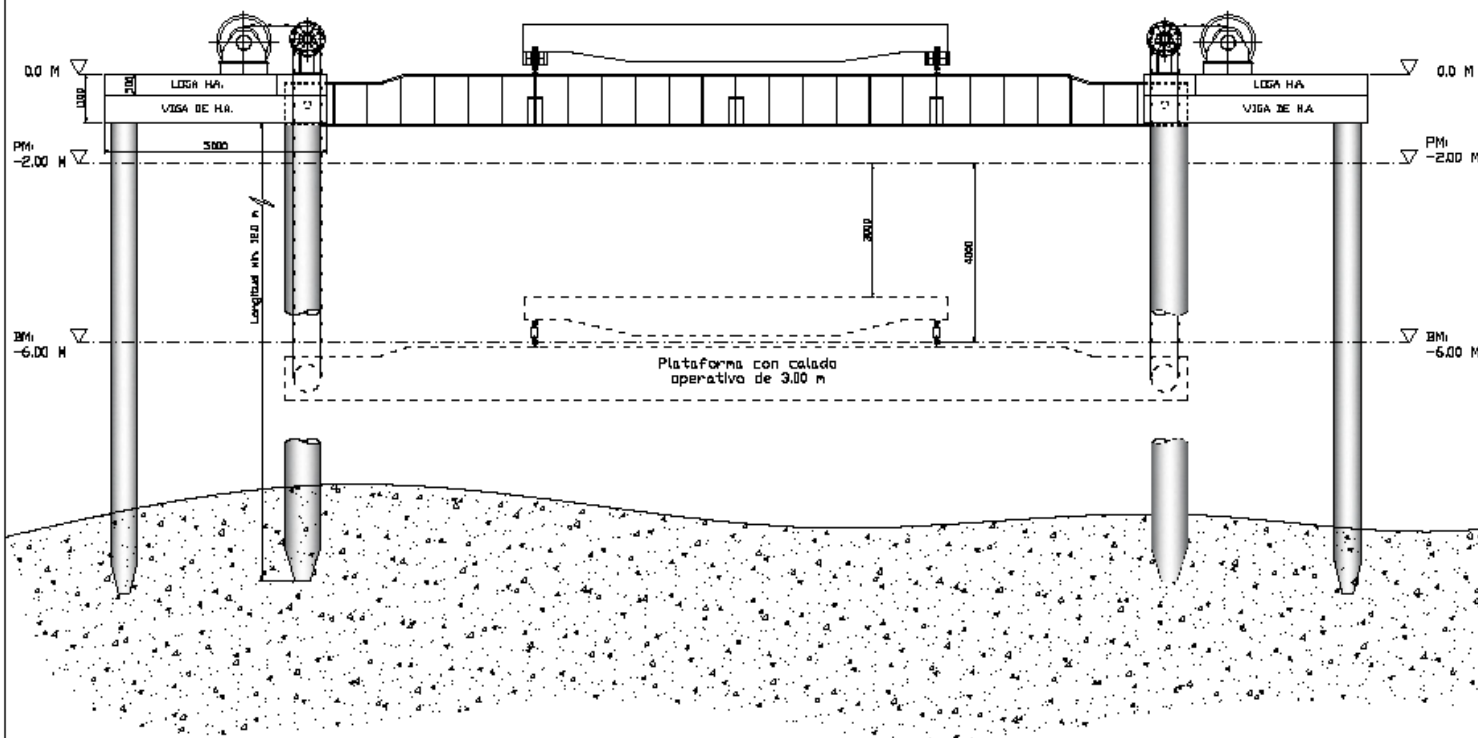
PROYECTO: Diseño Preliminar de una Plataforma
Syncrolift Para el Terminal Maritimo de Balao

CONTENIDO:
Muelle Sur, Vista Longitudinal y de Planta

PROYECTISTA:	PROYECTO:	FECHA:
Andrés Ortega Latorre	A3	1:150
JOSE VERA AYALA	05	Nov 2025
REVISOR:	REVISOR:	FECHA:
M. Sc. Ing. Isaac Mendez	II PAO 2025	

espól

PLATAFORMA VISTA TRANSVERSAL



CARACTERÍSTICAS DEL MUELLE

Longitud del muelle	44.0 m
Ancho total	5.0 m
Espesor de losa de H.A.	50 cm
Viga transversal de H.A.	5.0 x 1.10 x 1.0 mm
Pilote en zona de winche	Ø 800 mm
Numero de pilotes en zona de winche	16 unds.
Pilote en zona de acoradero	Ø 600 mm
Numero de pilotes en zona de acoradero	16 unds.
Longitud estimada pilote	12.0 m

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

PLATAFORMA:	
Longitud total	39.20 m
Ancho total	20.20 m
Alto total	1.29 m
Vigas transversales	Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales	HEA 650 ASTM A36
CAPACIDAD:	
Capacidad de levante	800 ton.
Eslera maxima	40.0 m
Manga maxima	16.30 m
Calado maximo	3.00 m
EQUIPAMIENTO:	
16 winches sincronicos	30 ton c/u
Poleas triple/viga	Ø 608 mm

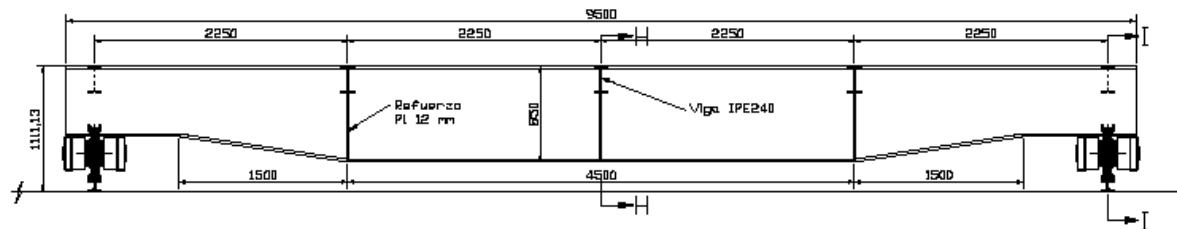
PROYECTO: Diseño Preliminar de una Plataforma Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao

CONTENIDO: Syncrolift, Vista Transversal
Plataforma y Muelles

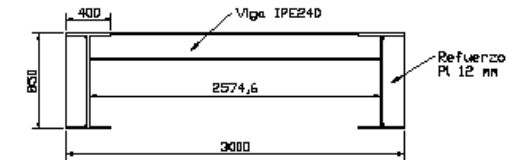
APROBADO:	PROYECTO:	REVISADO:
Andrés Ortega Lucero	A3	1:150
José Vera Ayala	06	Nov 2025
FECHA:	REVISADO:	FECHA:
M.Sc. Ing. Isaac Mendez	II PAO 2025	

espali

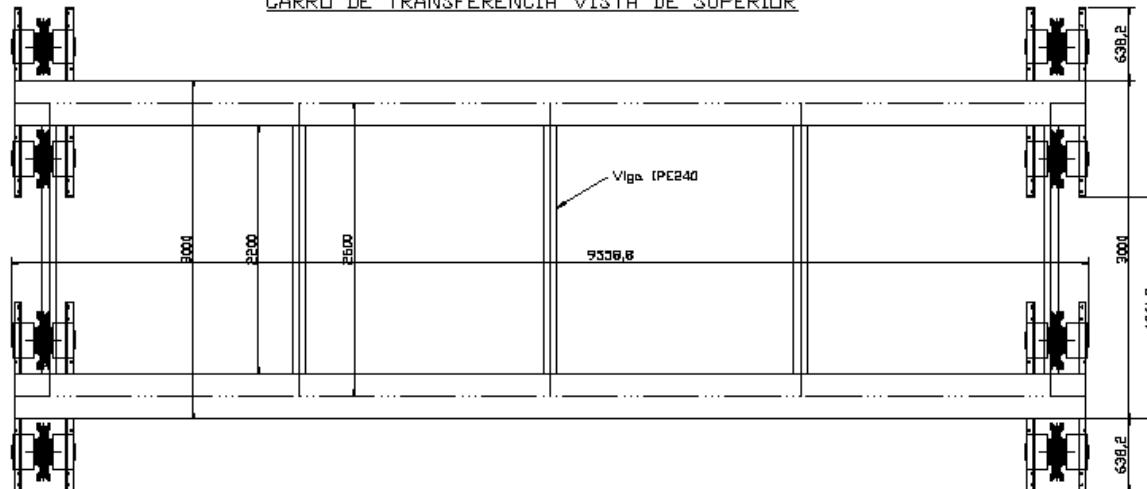
CARRO DE TRANSFERENCIA VISTA TRANSVERSAL



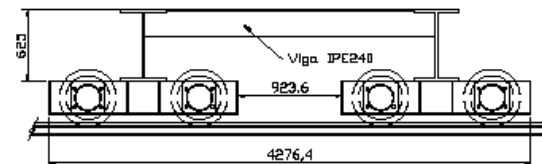
VISTA LONGITUDINAL CORTE H-H



CARRO DE TRANSFERENCIA VISTA DE SUPERIOR



VISTA LONGITUDINAL CORTE J-J



CARACTERÍSTICAS DEL MUELLE

Longitud del muelle	44.0 m
Ancho total	5.0 m
Espeor de losa de H.A.	50 cm
Viga transversal de H.A.	5.0 x 1.10 x 1.0 mm
Pilote en zona de winche	Ø 800 mm
Numero de pilotes en zona de winche	16 unds.
Pilote en zona de acoradero	Ø 600 mm
Numero de pilotes en zona de acoradero	16 unds.
Longitud estimada pilote	12.0 m

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

PLATAFORMA:	
Longitud total	39.20 m
Ancho total	20.20 m
Alto total	1.29 m
Vigas transversales	Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales	HEA 650 ASTM A36
CAPACIDAD:	
Capacidad de levante	800 ton.
Eslera maxima	40.0 m
Manga maxima	16.30 m
Calado maximo	3.00 m
EQUIPAMIENTO:	
16 winches sincronicos	30 ton c/u
Polea triple/viga	Ø 608 mm

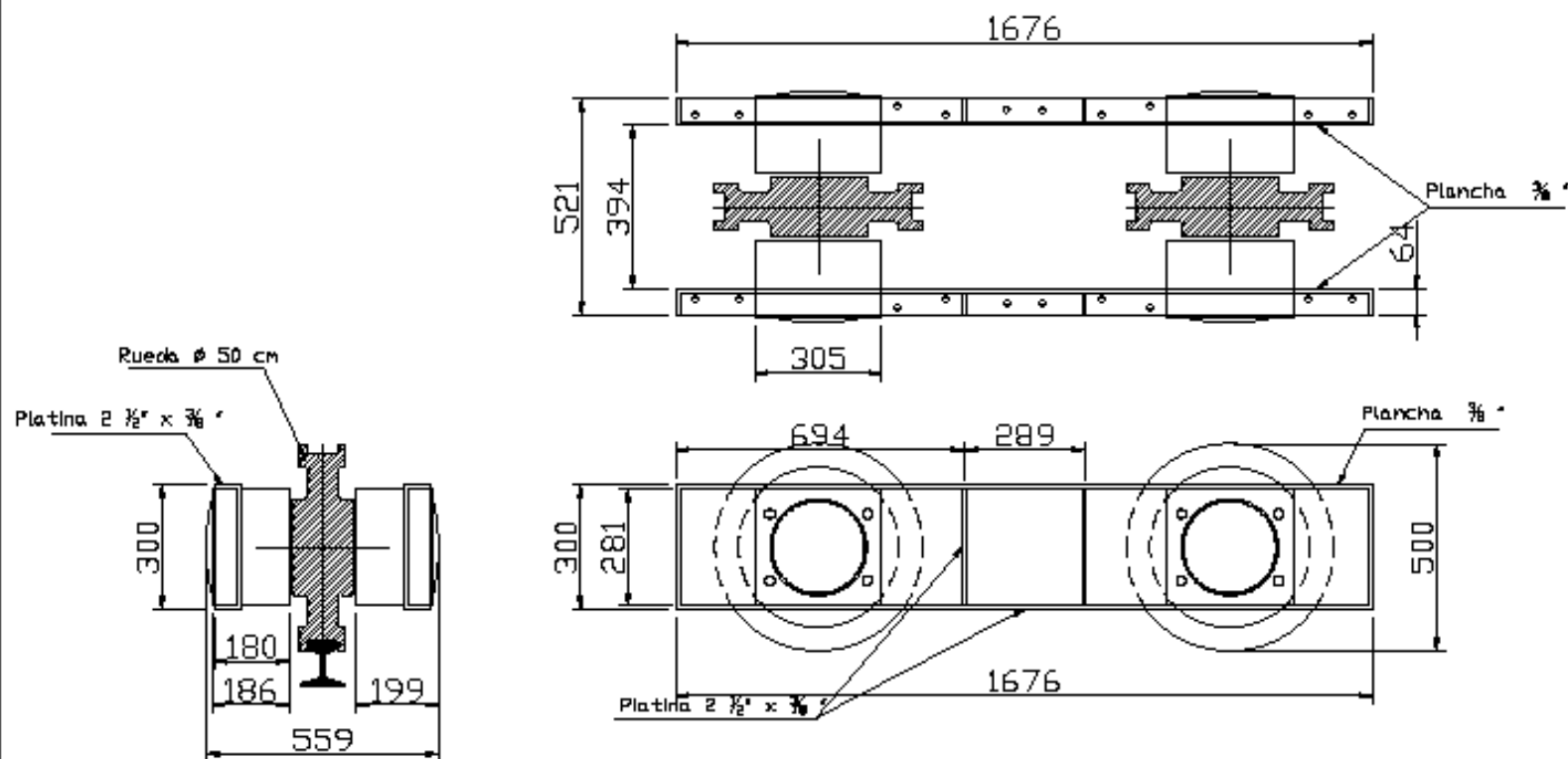
PROYECTO: Diseño Preliminar de una Plataforma
Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao

Detalles de Carros de Transferencia

PROYECTISTA:	REVISADO:	APROBADO:
Andrés Ortega Lucero	A3	1:40
Joice Vera Ayala	07	Dic 2025
FECHA:	FECHA APROBADO:	
M.Sc. Ing. Isaac Mendoza	II PAO 2025	

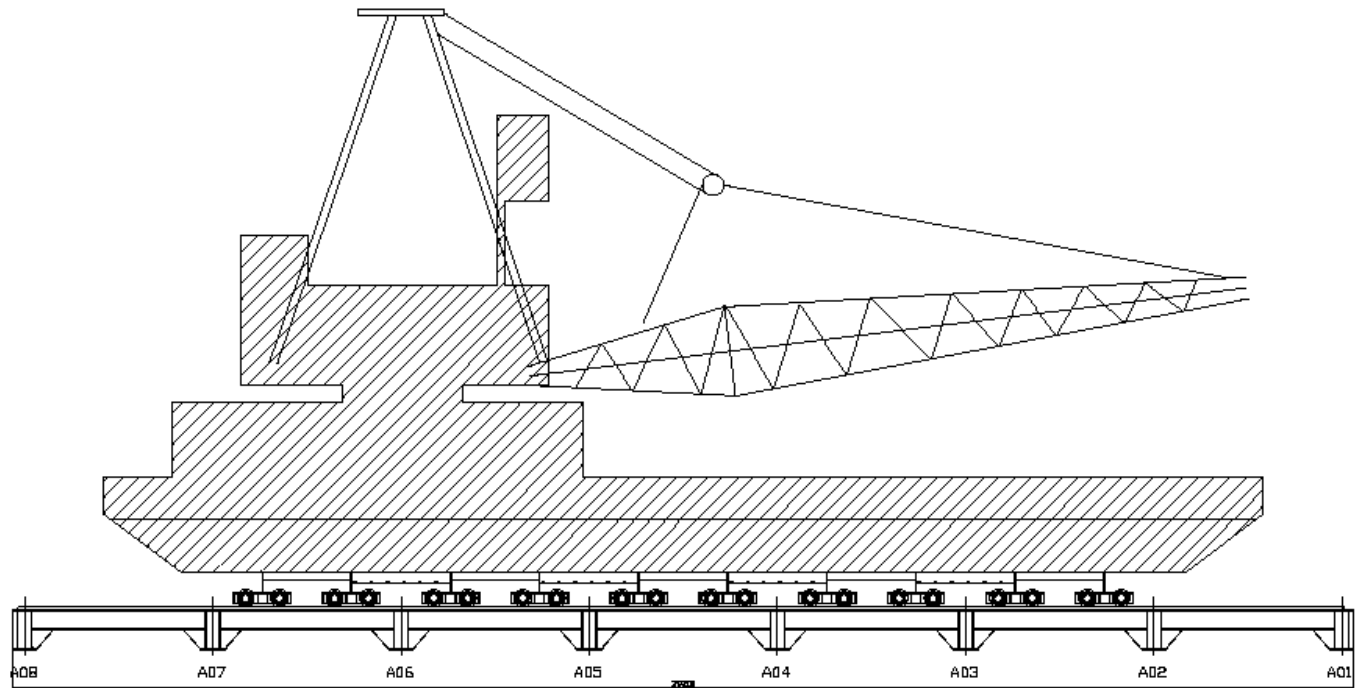
espol

DETALLE DE CAJAS DE RUEDAS



PROYECTO			
Diseño Preliminar de una Plataforma Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao			
OBJETO			
Cajas de Ruedas			
DISEÑADOR	ESCALA	FECHA	
Andrés Ortega Lucero	A4	1:20	
Joice Vera Ayala	08	Dic 2025	
APROBADO	PROYECTO ACABADO		
M.Sc. Ing. Isaac Mendoza	II PAO 2025		

POSICIONAMIENTO DE BARCAZA SOBRE PLATAFORMA - VISTA LONGITUDINAL



CARACTERÍSTICAS DEL MUELLE

Longitud del muelle	44.0 m
Ancho total	5.0 m
Espesor de losa de H.A.	50 cm
Viga transversal de H.A.	5.0 x1.10 x1.0 mm
Pilote en zona de winche	Ø 800 mm
Numero de pilotes en zona de winche	16 unds.
Pilote en zona de acoradero	Ø 600 mm
Numero de pilotes en zona de acoradero	16 unds.
Longitud estimada pilote	12.0 m

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

PLATAFORMA:	
Longitud total	39.20 m
Ancho total	20.20 m
Alto total	1.29 m
Vigas transversales	Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales	HEA 650 ASTM A36
CAPACIDAD:	
Capacidad de levante	800 ton.
Eslera maxima	40.0 m
Manga maxima	16.30 m
Calado maximo	3.00 m
EQUIPAMIENTO:	
16 winches sincronicos	30 ton c/u
Polea triple/viga	Ø 608 mm

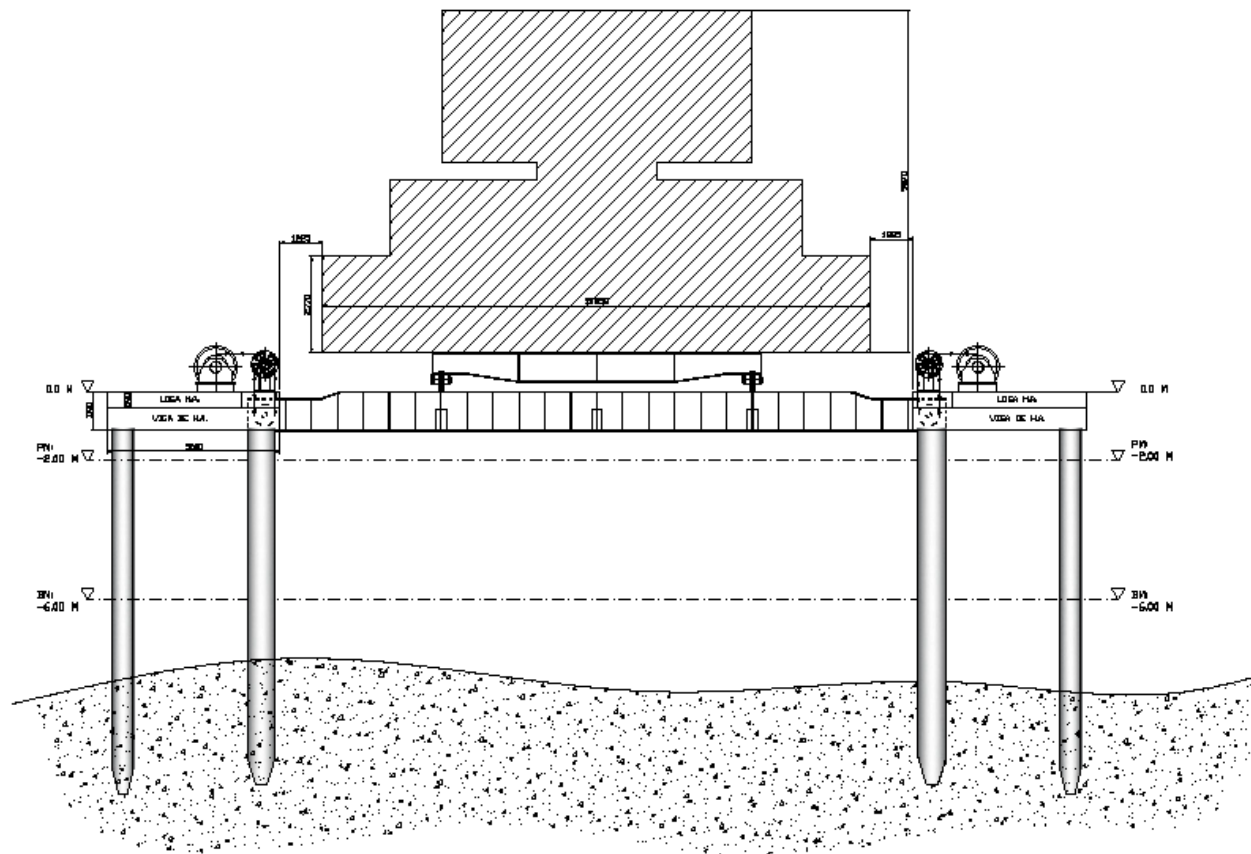
Diseño Preliminar de una Plataforma
Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao

Barcaza Smith Rice Sobre Plataforma
Vista Longitudinal

PROYECTISTA:	PROYECTISTA:	PROYECTISTA:
Andrés Ortega Lucero	A3	Sin Escala
José Vera Ayala	09	Dic 2025
PROYECTISTA:	PROYECTISTA:	PROYECTISTA:
M. Sc. Ing. Isaac Mendoza	II PAO 2025	



POSICIONAMIENTO DE BARCAZA SOBRE PLATAFORMA - VISTA TRANSVERSAL



CARACTERÍSTICAS DEL MUELLE

Longitud del muelle	44.0 m
Ancho total	5.0 m
Espeor de losa de H.A.	50 cm
Viga transversal de H.A.	5.0 x 1.10 x 1.0 mm
Pilote en zona de winche	Ø 800 mm
Numero de pilotes en zona de winche	16 unds.
Pilote en zona de acoradero	Ø 600 mm
Numero de pilotes en zona de acoradero	16 unds.
Longitud estimada pilote	12.0 m

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

PLATAFORMA:	
Longitud total	39.20 m
Ancho total	20.20 m
Alto total	1.29 m
Vigas transversales	Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales	HEA 650 ASTM A36
CAPACIDAD:	
Capacidad de levante	800 ton.
Eslera maxima	40.0 m
Manga maxima	16.30 m
Calado maximo	3.00 m
EQUIPAMIENTO:	
16 winches sincronicos	30 ton c/u
Polea triple/viga	Ø 608 mm

PROYECTO Diseño Preliminar de una Plataforma
Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao

OBJETO Barcaza Smith Rice Sobre Plataforma
Vista Transversal

PROYECTISTA	PROYECTISTA	PROYECTISTA
Andrés Ortega Lucero	A3	Sin Escala
José Vera Ayala	10	Dic 2025
APROBADO	PROYECTISTA	PROYECTISTA
M.Sc. Ing. Isaac Mendoza	II PAO 2025	

espil



CARACTERÍSTICAS DEL MUELLE	
Longitud del muelle	44.0 m
Ancho total	5.0 m
Espeor de losa de H.A.	50 cm
Viga transversal de H.A. 5.0 x1.10 x1.0 mm	
Pilote en zona de winche	Ø 800 mm
Numero de pilotes en zona de winche	16 unds.
Pilote en zona de acoradero	Ø 600 mm
Numero de pilotes en zona de acoradero	16 unds.
Longitud estimada pilote	12.0 m

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
PLATAFORMA:	
Longitud total	39.20 m
Ancho total	20.20 m
Alto total	1.29 m
Vigas transversales	Armada acero ASTM A131
Vigas longitudinales	HEA 650 ASTM A36
CAPACIDAD:	
Capacidad de levante	800 ton.
Eslera maxima	40.0 m
Manga maxima	16.30 m
Calado maximo	3.00 m
EQUIPAMIENTO:	
16 winches sincronicos	30 ton c/u
Poleas triple/viga	Ø 608 mm

Diseño Preliminar de una Plataforma Syncrolift Para el Terminal Marítimo de Balao		
Implantación General del Sistema Syncrolift en el Terminal		
autor	revisión	fecha
Andrés Ortega Lucero	A3	1.150
José Vera Ayala	11	Dic 2025
revisión	revisión	revisión
M.Sc. Ing. Isaac Mendoza	II	PAO 2025

espol