

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Diseño básico de un buque de reabastecimiento para operaciones estratégicas de la Armada del Ecuador en las Islas Galápagos.

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Naval

Presentado por:

Luis Antonio Núñez Vera

Karen Lissette Villalva Pinto

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

A nuestros padres Luis Alberto Núñez, Graciela Marina Vera, Cesar Alonso Villava y Graciela Gertrudis Pinto por su esfuerzo, dedicación y apoyo a lo largo de los años.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los profesores que nos impartieron sus conocimientos, a nuestro tutor el Ingeniero Hugo Jama por su orientación y tiempo dedicado, a el Capitán Ivan Arias por la confianza y predisposición brindada y a todas las personas que nos dieron su ayuda cuando más la necesitábamos.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Karen Villalva Pinto* y *Luis Núñez Vera* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Karen Villalva Pinto



Luis Núñez Vera

EVALUADORES

.....
MSc. Nadia Muñoz Agila

PROFESOR DE LA MATERIA

.....
Ing. Hugo Jama Aveiga

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las operaciones de patrullaje en el mar están limitadas por la autonomía de las naves, debido a que deben trasladarse a los puertos para reabastecerse. Esto implica que deben recorrer grandes distancias, perdiendo tiempo y debilitando la vigilancia de las áreas críticas. Para esto se propuso diseñar un buque para reabastecer en el mar a los buques de la Armada que patrullan en las islas Galápagos.

El diseño del sistema de reabastecimiento al costado y a popa se realizó mediante las regulaciones de *Lloyds Register*, la información del manual *ATP/MTP Replenishment at sea* y la validación estructural desarrollada en Ansys. Para el sistema propulsivo se utilizó el software *Hydrocomp* en la selección de la maquinaria principal, reductor y hélice. Luego, las relaciones geométricas de la hélice se determinaron evaluando los criterios de cavitación, y por último, se establecieron las separaciones entre los cojinetes mediante un análisis de vibración lateral. Posterior a ello, se evaluaron los criterios A.749(18) de la OMI para estabilidad intacta, el criterio meteorológico y de estabilidad para buques equipados con grúas.

Los resultados indican que el buque podrá reabastecer a 4 o 5 embarcaciones, debido a su capacidad de transporte y trasvase de carga líquida, sólida e intercambio de 150 tripulantes. Además, se calculó que el tiempo de aprovisionamiento disminuye a dos horas por buque e incrementará en un 12 % las operaciones de control en la ZEE insular, por lo que se recomienda la implementación a fin de mejorar la logística del escuadrón de patrullaje.

Palabras claves: *sistema de reabastecimiento, sistema propulsivo, buque de reabastecimiento, ZEE Insular.*

ABSTRACT

Patrol operations at sea are limited by the autonomy of the ships since they must travel to ports to refuel. This implies that they must travel long distances, wasting time and weakening the surveillance of critical areas. For this, it was proposed to design a ship to resupply at sea the Navy ships that patrol at Galapagos Islands.

The replenishment system design of the side and stern was carried out using Lloyds Register regulations, the information from the ATP/MTP Replenishment at sea manual and the structural validation developed at Ansys. For the propulsive system, the Hydrocomp software was used to selection of the main machinery, gear box and propeller. Next, the propeller geometric relationships were determined by evaluating the cavitation criteria, and finally, the spacing between the bearings were established by lateral vibration analysis. Subsequently, the IMO A.749(18) criteria for intact stability, meteorological and stability criteria for ships equipped with cranes were evaluated

The results show that the ship will be able to resupply 4 or 5 vessels, this due to its capacity to transport and transfer liquid and solid cargo and the exchange of 150 crew members. In addition, it was calculated that the provisioning time decreases to two hours per ship and will increase control operations in the insular ZEE by 12%, so the implementation is recommended to improve the logistics of the patrol squad.

Keywords: *Replenishment System, Propulsive system, Replenishment Ship, Insular ZEE.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Buque de aprovisionamiento logístico	4
1.4.2 Regulaciones y estándares de clasificación	6
1.4.3 Espiral de diseño y diseño básico.....	6
1.4.4 Resistencia y Potencia.....	7
1.4.5 Análisis Costo-Beneficio	8
CAPÍTULO 2.....	11
2. Metodología	11
2.1 Diseño preliminar.....	12
2.2 Etapa complementaria del diseño preliminar.....	13
2.2.1 Determinación de los elementos principales del sistema RAS	13

2.2.2	Diseño de sistema de trasvasije de liquido	16
2.3	Mejora del diseño preliminar.	17
2.3.1	Diseño del sistema propulsivo.	18
2.3.2	Disposición general.....	21
2.4	Evaluación de estabilidad.....	22
2.4.1	Estabilidad Intacta.....	22
2.4.2	Criterio meteorológico.....	23
2.4.3	Criterio de estabilidad para buques equipados con grúas	25
2.5	Estimación de costos y beneficios.....	26
CAPÍTULO 3.....		27
3.	Resultados y Análisis.....	27
3.1	Etapas complementarias del diseño preliminar	27
3.1.1	Elementos principales del sistema RAS	27
3.1.2	Sistema de trasvasije de liquido.....	28
3.2	Mejoras del diseño	31
3.2.1	Diseño del sistema propulsivo	31
3.2.2	Disposición general.....	35
3.3	Estabilidad.....	39
3.3.1	Estabilidad intacta.....	39
3.3.2	Criterio meteorológico.....	40
3.3.3	Criterio de estabilidad para buques equipados con grúa	40
3.4	Análisis Costo beneficio	40
CAPÍTULO 4.....		43
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	43
4.1	Conclusiones.....	43
4.2	Recomendaciones.....	44
BIBLIOGRAFÍA		

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ACB	Análisis Costo Beneficio
ATP	Allied Tactical Publication
B	Beneficio
BCM	Razón Beneficio Costo Modificada
BN	Beneficio Negativo
CC	Costo de Construcción
CE	Costo de Equipamiento
CK	Costo de Capital
CM	Costo de Mantenimiento
CO	Costo de Operación
CONREP	Reabastecimiento Conectado al Costado
CTA	Costo Total Anual
CUS	Costo de Unidad de Servicio
DNV	Det Norske Veritas
DOT	Delincuencia Organizada Trasnacional
IACS	Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación
MTP	Multinational Tactical Publication
NATO	North Atlantic Treaty Organization
OMI	Organización Marítima Internacional
RAS	Replenishment at Sea
SAP	Servicios Anuales Prestados
SNAME	Society of Naval Architects and Marine Engineers
SOLAS	Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar
VERTREP	Reabastecimiento Vertical
ZEE	Zona Económica Exclusiva Insular

SIMBOLOGÍA

A_E/A_0	Razón de Área Expandida
a_{roll}	Aceleración de rolido
A_s	Área seccional de la viga [m^2]
a_{sway}	Aceleración de deriva
a_{yaw}	Aceleración de guiñada
BHP	Potencia al Freno
Bwl	Manga en la línea de agua
C_b	Coeficiente de bloque
CP	Coeficiente Prismático
C_{ws}	Radio entre la superficie mojada y la raíz cuadrada del volumen desplazado por la eslora de la línea de agua
d	Diámetro de la circunferencia del centro de los pernos
D	Diámetro mínimo requerido para ejes macizos
D_b	Diámetro de la circunferencia del centro de los pernos, Diámetro de las bridas
D_p	Diámetro de la hélice
D_r	Distancia entre la arandela de los pernos y el final de la brida
E	Módulo de elasticidad del material [N/m^2]
EHP	Potencia Efectiva
F_n	Número de Froude
FP	Pique de proa
g	Gravedad [m/s^2]
h	cabezal [m], Inmersión del eje [m]
I	Inercia de la sección transversal de la viga [m^4]
L	Largo del mástil [m]
LCB	Posición longitudinal del centro de boyantez
LPP	Eslora entre perpendiculares
LWI	Eslora de línea de agua
n	Número de pernos en el acoplamiento
P	Potencia a la velocidad de diseño [kW], Potencia a la velocidad de diseño [kW]
Q	Caudal [m^3/s]
r	Revoluciones del propulsor

R	Revoluciones por minuto del eje
RPM	Revoluciones por minuto
T	Calado de diseño
T_s	Empuje efectivo de la hélice [kgf]
V_{1xx}	Segunda derivada de la deflexión [1/m]
Z	Número de palas, Numero de aspas
γ	peso específico
η	Eficiencia
η_{gear}	Eficiencia Mecánica
η_P	Eficiencia Propulsiva
ρ	Densidad del material [kg/m ³]
σ	resistencia a la tracción mínima de pernos [N/mm ²]
σ_u	Último esfuerzo de tensión [N/mm ²]
ω_0	Frecuencia natural de la línea propulsora
ω_e	Frecuencia de las palas de la hélice (Blade rate)

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Conceptos definidos para el diseño básico del buque.....	3
Figura 1.2 Buque de apoyo logístico	4
Figura 1.3 Reabastecimiento de Embarcación mediante la maniobra CONREP	5
Figura 1.4 Reabastecimiento de combustible a popa.....	5
Figura 1.5 Espiral de diseño	7
Figura 1.6 Eficiencia del sistema propulsivo de una embarcación	8
Figura 2.1 Diagrama de flujo de diseño básico del buque.....	11
Figura 2.2 Vista 3D del diseño preliminar del buque	12
Figura 2.3 Modelado del mástil RAS	13
Figura 2.4 Componentes del movimientos transversales	14
Figura 2.5 Esquema de elementos del sistema para maniobra CONREP	16
Figura 2.6 Huelgo entre hélice y casco para embarcaciones multi-hélices	19
Figura 2.7 Curva de brazos adrizantes.....	24
Figura 3.1 Esquema del mástil para reabastecimiento.....	27
Figura 3.2 Curvas de rendimiento de la bomba GORMAN-RUPP.....	30
Figura 3.3 Esquema de la brida.....	32
Figura 3.4 Esquema del cojinete OPSY-F	33
Figura 3.5 Cambios efectuados en la distribución de tanques	35
Figura 3.6 Curva de brazos adrizantes.....	39
Figura 3.7 Posición de la grúa, caso 2	40
Figura 3.8 Cuantificación de los beneficios	42
Figura 3.9 Cuantificación de los costos	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características principales del diseño preliminar.....	12
Tabla 2.2 Capacidad de tanques de combustible para reabastecimiento	16
Tabla 2.3 Caudal seleccionado para trasvasije de fluidos.....	17
Tabla 2.4 Parámetros del buque	18
Tabla 2.5 Evaluación de parámetros de aplicación de Holtrop.....	19
Tabla 2.6 Escenarios de carga	22
Tabla 2.7 Condiciones de carga	22
Tabla 2.8 Criterios generales de estabilidad intacta	23
Tabla 3.1 Manguera seleccionada.....	28
Tabla 3.2 Dimensiones de los alambres de soporte.....	28
Tabla 3.3 Cabezal requerido para el reabastecimiento	29
Tabla 3.4 Características del motor.....	31
Tabla 3.5 Características de la hélice.....	31
Tabla 3.6 Características del reductor.....	32

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Esquema del sistema propulsivo	34
PLANO 2 Cambios efectuados en las cubiertas 02 y 03	36
PLANO 3 Perfil de la superestructura, reubicación de grúa	37
PLANO 4 Aumento de contenedores	38
PLANO 5 Líneas de formas.....	50
PLANO 6 Distribución general 1/3, Cubierta 01 y 02.....	51
PLANO 7 Distribución general 1/3, Cubierta 200 y 100.....	52
PLANO 8 Distribución general 3/3, Cubierta 300 y doblefondo.	53
PLANO 9 Rayado Estructural 1/3, Cubierta 01.....	54
PLANO 10 Rayado Estructural 2/3, Cubierta 200 y 100.....	55
PLANO 11 Rayado estructural 3/3, Cubierta 300 y doble fondo.....	56
PLANO 12 Vista del sistema de reabastecimiento de combustible y de agua dulce.	59

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Las tareas de control, vigilancia y neutralización de actividades ilícitas en la Zona Económica Exclusiva Insular (ZEE) requieren una mayor cantidad de recursos, debido a que es una zona estratégica para las operaciones de los grupos de Delincuencia Organizada Transnacional (DOT). El uso de buques de vigilancia, aeronaves de exploración aeromarítima y un mínimo de contingente militar es necesario para su continuo monitoreo (Obregón, 2015), implicando una tediosa logística para el avituallamiento. Realizar estas operaciones involucran un significativo consumo de recursos económicos y humanos para el mantenimiento de la seguridad y soberanía del Estado Ecuatoriano.

1.1 Descripción del problema

La Armada del Ecuador ejecuta tareas de control, asistencia y protección de los puertos, buques y gente del mar en los espacios marítimos jurisdiccionales del Estado. Según (Jarrín & Guevara, 2018), en los últimos años la necesidad de proteger la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Ecuador se ha incrementado, debido a la presencia de flotas pesqueras extranjeras en los alrededores de la región insular. Una de las últimas acciones reportadas para el control de la pesca ilegal (infodefensa.com, 2021) fue el despliegue de un escuadrón de patrullaje conformado por dos corbetas misileras de la clase Esmeraldas y dos lanchas guardacostas de alrededor 45 metros de eslora.

El control de actividades ilícitas, ejecutadas por estas embarcaciones, están limitadas principalmente por dos factores: primero, la limitada autonomía de las naves que son utilizadas para las operaciones de patrullaje, puesto que tienen un máximo de 8 días de vigilancia sin necesidad de reabastecerse. Mientras que el segundo factor, es el tiempo que tardan las naves en trasladarse hacia los puntos de reabastecimiento, ya sea en la Isla Baltra o los puertos de la zona continental. Estos factores debilitan la vigilancia en las zonas críticas, debido a que las naves

para reabastecerse deben recorrer grandes distancias hasta el punto de aprovisionamiento definido para estos fines.

Lo mencionado previamente representa una evidente necesidad de mejorar la logística en avituallamiento de la flota. Por este motivo, la Armada del Ecuador se ha visto en la necesidad de fortalecer su Escuadrón Naval, requiriendo la incorporación de un buque de apoyo logístico que incremente su tiempo de vigilancia en la ZEE.

1.2 Justificación del problema

El tiempo de vigilancia en el mar está limitado por la necesidad de reabastecimiento en puerto de los escuadrones de patrullaje, debido a que no cuentan con un servicio de aprovisionamiento en el mar. Ante esta problemática se plantea el diseño básico de un buque que mejore la logística en el aprovisionamiento de los escuadrones navales.

Este buque podrá reabastecer a las naves en el mar mediante las maniobras RAS (Replenishment at sea), posibilitando su avituallamiento y el intercambio de personal militar. El diseño cumplirá las regulaciones de la OMI, SOLAS y DNV para garantizar la seguridad de la navegación y la confiabilidad del transporte de carga. De este modo, la Armada incrementará su presencia en operaciones de disuasión, control y prevención de actividades ilícitas que puedan desarrollarse en la ZEE Insular.

Finalmente, el buque de reabastecimiento implica una mejora continua en el fortalecimiento de la logística de reabastecimiento que beneficia a los diferentes escuadrones de la Armada incrementando el control y vigilancia del mar territorial.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar el diseño básico de un buque de reabastecimiento, cumpliendo las reglas y estándares de clasificación para mejorar la logística de aprovisionamiento

de los escuadrones de la Armada del Ecuador que se dedican al control de actividades ilícitas Zona Económica Exclusiva (ZEE) Insular.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar el sistema de reabastecimiento del buque considerando las recomendaciones del manual ATP/MTP Replenishment at Sea y de la sociedad Lloyd's Register para un adecuado reaprovisionamiento de líquidos y sólidos
2. Modificar el diseño del sistema propulsivo utilizando un software de ingeniería naval para mejorar la estimación de potencia del motor principal al propulsor
3. Evaluar la estabilidad del buque, utilizando los criterios de la OMI para garantizar la confiabilidad del transporte y reabastecimiento de la carga.
4. Evaluar la relación costo-beneficio del proyecto mediante la identificación de costos y beneficios sociales para determinar la viabilidad económico-social de su implementación.

1.4 Marco teórico

Los conceptos utilizados para el desarrollo del diseño básico del buque de reabastecimiento se resumen en la Figura 1.1.

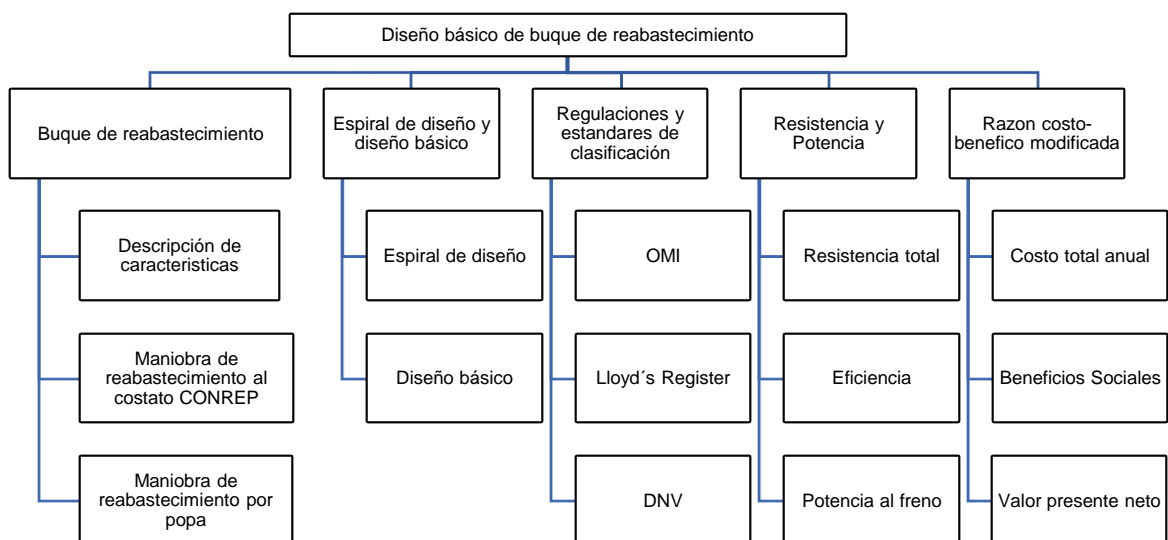


Figura 1.1 Conceptos definidos para el diseño básico del buque

1.4.1 Buque de aprovisionamiento logístico

Un buque de aprovisionamiento logístico (ver Figura 1.2) puede definirse como un buque capaz transportar y reabastecer consumibles a la flota, teniendo como objetivo prolongar la permanencia en el mar. Las maniobras de reaprovisionamiento en el mar, RAS por sus siglas en inglés, pueden darse mediante reabastecimiento conectado al costado (CONREP), de combustible a popa. Además, otras de sus funciones son: transporte de víveres y combustible, apoyo en desastres naturales, soporte a zonas costeras y evacuación de heridos.



Figura 1.2 Buque de apoyo logístico

(DAMEN, 2021)

1.4.1.1 Reabastecimiento conectado al costado

El reabastecimiento conectado al costado (CONREP)

(ver Figura 1.3), descrito en el manual *Replenishment at Sea* (NATO Standardization Agency, 2001), es un método de transferencia estándar de líquidos, municiones y mercancías a granel. La restricción para realizar la maniobra es mantener constante la velocidad de las embarcaciones entre 12 y 16 nudos, a una separación aproximada de 27 metros. Iniciándose, cuando el buque reabastecedor dispara una línea de tiro o un lanzador de línea neumático para establecer la comunicación entre los dos buques.



Figura 1.3 Reabastecimiento de Embarcación mediante la maniobra CONREP

(Macready, 2010)

1.4.1.2 Reabastecimiento de combustible a popa

El reabastecimiento de combustible a popa (NATO Standardization Agency, 2001) (ver Figura 1.4) es un método de transferencia donde el buque receptor navega por la popa del buque reabastecedor. Para iniciar esta maniobra el buque reabastecedor lanza una manguera al mar, que es recuperada por el buque receptor, limitando la transferencia a un solo buque.



Figura 1.4 Reabastecimiento de combustible a popa

(Anonimo, 2021)

1.4.2 Regulaciones y estándares de clasificación

1.4.2.1 Organización Marítima Internacional

La Organización Marítima Internacional (OMI, 2021) es el organismo especializado de las Naciones Unidas responsable de la seguridad, protección de la navegación y de prevenir la contaminación del mar. Su función principal es establecer un marco normativo, que se adopte y aplique en el plano internacional para el sector del transporte marítimo.

1.4.2.2 Det Norske Veritas

Det Norske Veritas (DNV, 2021), “es la principal sociedad clasificadora del mundo en la industria marítima. Puede ser aplicada a todo tipo de buque y estructuras offshore potenciando la seguridad, calidad, eficiencia energética y el desempeño ambiental de la industria naviera mundial”.

1.4.2.3 Lloyd’s Register

Lloyd's Register (Lloyd's Register, 2022), “es una empresa especializada en ingeniería y tecnología marina con 260 años de experiencia. Sus regulaciones establecen los estándares apropiados para el diseño, la construcción y el mantenimiento de embarcaciones e instalaciones en tierra”.

1.4.3 Espiral de diseño y diseño básico

1.4.3.1 Espiral de diseño

El diseño de una embarcación o proyecto generalmente se lo realiza a través de las siguientes etapas: conceptual, preliminar, contractual y de detalle. Dado los requerimientos (CEDEÑO, 2018), los diseñadores logran la mejor solución ajustando y equilibrando los parámetros a medida que avanzan las etapas de diseño. Ver Figura 1.5.

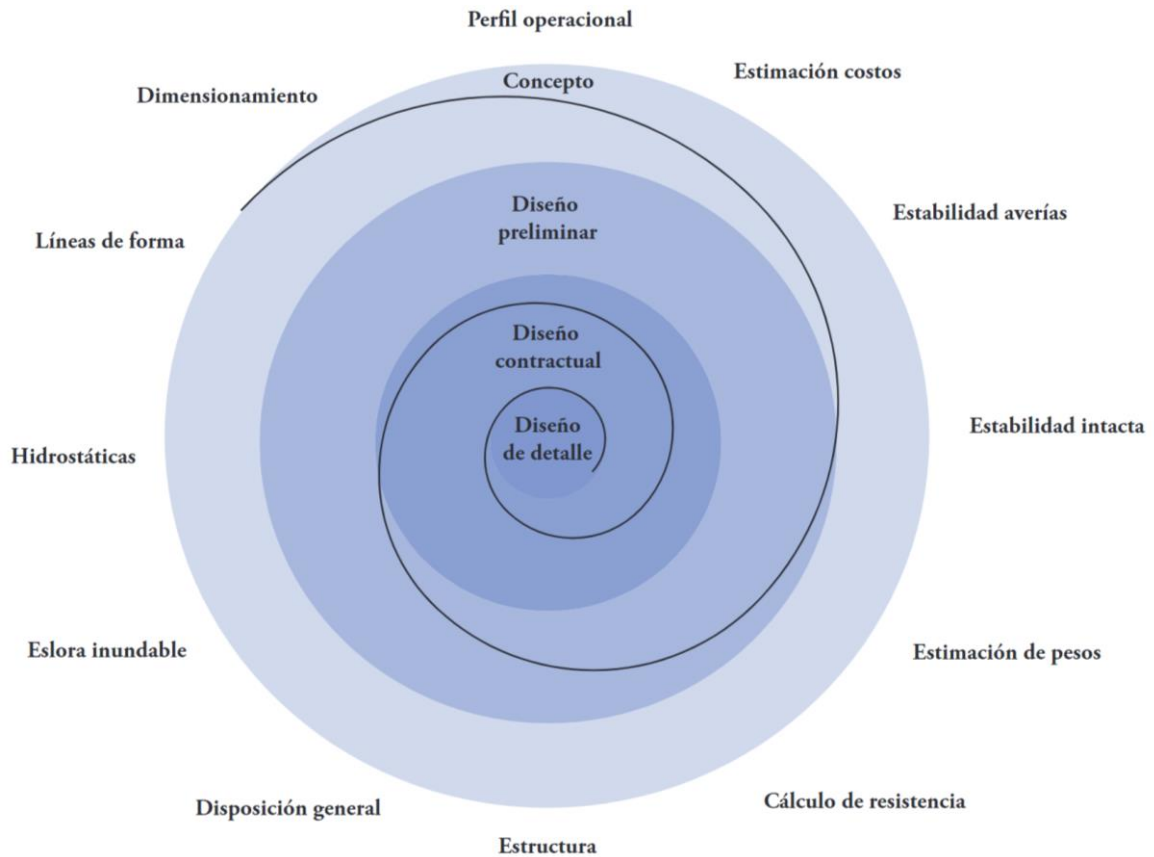


Figura 1.5 Espiral de diseño

(Aranibar & Rafael)

1.4.3.2 Diseño básico

En el proceso de diseño (SNAME, 1980), la etapa básica comprende tanto el diseño preliminar como el diseño conceptual. Su desarrollo inicia desde la recopilación de las necesidades del Armador, y mediante procesos iterativos, la obtención de las características y elementos principales de la embarcación. Estos resultados permiten al grupo de diseño establecer una aproximación de los costos constructivos, determinando si se debe continuar con la siguiente etapa de diseño.

1.4.4 Resistencia y Potencia

1.4.4.1 Resistencia al avance

La resistencia al avance (SNAME, 1980) es la fuerza requerida para que una embarcación se desplace a cierta velocidad en condición de aguas tranquilas. La resistencia total está formada principalmente por 4 componentes: la resistencia friccional, por la formación olas, por apéndices y por acción del aire.

1.4.4.2 Eficiencias

Las eficiencias (η) están relacionadas con las pérdidas de potencia a lo largo del sistema propulsivo. Estas indican la potencia transmitida desde la maquinaria principal al propulsor, utilizada para el movimiento de la embarcación. Podemos dividirla en dos componentes: la eficiencia propulsiva (η_P) y mecánica (η_{gear}). Donde la eficiencia propulsiva es el rendimiento que considera las pérdidas en el eje, propulsor y casco de la embarcación. Mientras que la eficiencia mecánica considera las pérdidas del conjunto motor – reductor. Ver Figura 1.6.

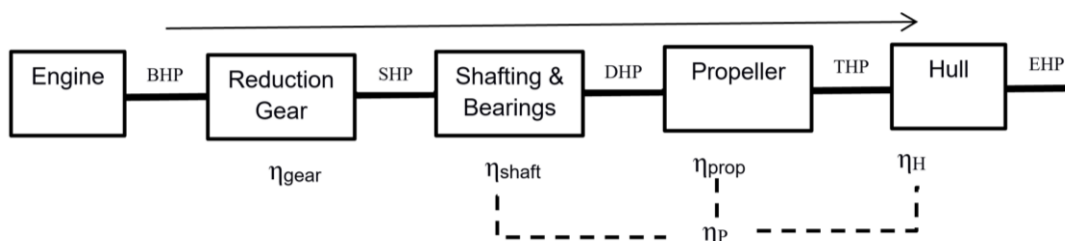


Figura 1.6 Eficiencia del sistema propulsivo de una embarcación

1.4.4.3 Potencia efectiva y al freno

La potencia efectiva (EHP) es la potencia empleada para desplazar la embarcación, venciendo la resistencia al avance, a la velocidad de diseño. Primero se calcula potencia efectiva y luego se aplica la eficiencia correspondiente a cada parte de la línea propulsiva para posteriormente estimar la potencia al freno. Siendo la potencia al freno (BHP) la potencia que debe proporcionar el motor para superar la resistencia al avance. En otras palabras, para obtener la BHP se debe dividir la EHP para la eficiencia propulsiva y mecánica.

1.4.5 Análisis Costo-Beneficio

Análisis Costo Beneficio (ACB) es un método que tiene como objetivo determinar la viabilidad de un proyecto, mediante la evaluación los costos y beneficios tangibles e intangibles. Donde los costos y beneficios tangibles se pueden cuantificar, mientras que los intangibles son subjetivos y difíciles de medir.

1.4.5.1 Costo total Anual

El costo total anual (CTA) es una medida estandarizada del costo de financiamiento que incorpora la totalidad de los costos y gastos inherentes a los créditos para el desarrollo del proyecto (Banco de Mexico, 2021). Son obtenidos del conjunto de los costos de capital (CK), mantenimiento (CM) y operación (CO). Donde el costo de capital es aquel que proviene de los bienes adquiridos, incluye el costo de construcción (CC) y de equipamiento (CE) cuya duración será de un año o más. Por otro lado, los CO y CM son los requeridos para el funcionamiento del proyecto y surgen cuando las obras han concluido (Cohen & Franco, 1992).

$$CTA=(CC+CE) +CM+CO \quad (1.1)$$

1.4.5.2 Beneficios sociales

Según (Sapag, Sapag, & Sapag, 2008), el beneficio social refleja el aumento de la disponibilidad de un servicio atribuible a un proyecto. Incluyendo, el efecto que provoca a otros productores la reducción de servicios generados, sin afectar al consumidor.

1.4.5.3 Razón beneficio costo modificada

Según (Blank & Tarquin, 2006), la razón beneficio/costo es un método de análisis fundamental que asigna mayor objetividad a la economía de los proyectos del sector público. Este se enfoca en la conversión de costos y beneficios en una unidad monetaria equivalente, incluyendo los costos operativos y de mantenimiento del proyecto. La razón beneficio costo modificada (BCM) es calculada mediante la ecuación:

$$BCM = \frac{B - BN - CO - CM}{CK} \quad (1.2)$$

El criterio de evaluación es:

- Si $BCM \geq 1,0$, el proyecto es económicamente aceptable.
- Si $BCM < 1,0$, el proyecto no es económicamente aceptable.

1.4.5.4 Valor presente neto.

El VAN determina el valor presente de una cantidad futura, después de n años con una tasa de interés i (Blank & Tarquin, 2006).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (1.3)$$

Donde:

V_t : Representa los flujos de caja en cada periodo

I_0 : Inversión Inicial

n : Numero de periodos considerados

k : Interés

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El diseño básico se desarrolló de acuerdo con el diagrama de flujo mostrado en la Figura 2.1. La información presentada en este documento se relaciona con el proyecto Diseño Preliminar de Buque Tender con capacidad de 2640 ton (Reyes & Villalva, 2021), el cual se complementó con el diseño del sistema RAS. También, se mejoró el cálculo del sistema propulsivo y se aumentó una cubierta para acomodación en la superestructura. Luego, se verificó si las modificaciones afectaron el diseño preliminar, y con ello se evaluó la estabilidad para los escenarios y condiciones de carga. Al finalizar este capítulo, se determinaron los beneficios sociales, costos del proyecto y la razón costo-beneficio modificado.

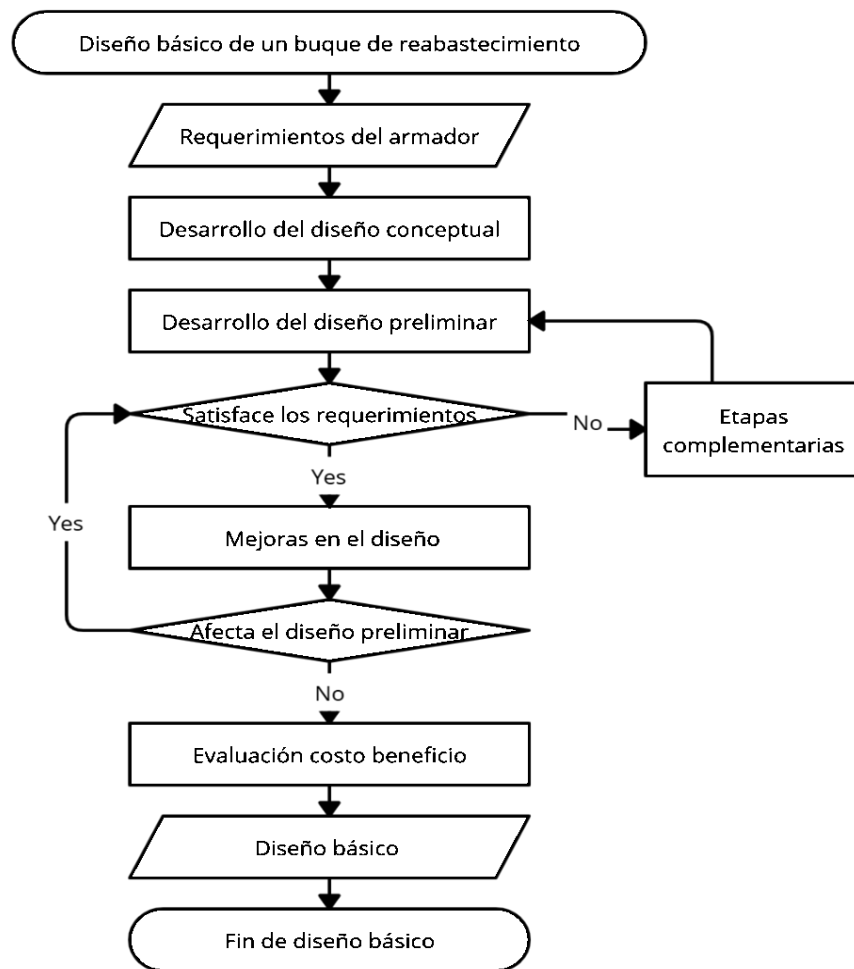


Figura 2.1 Diagrama de flujo de diseño básico del buque

2.1 Diseño preliminar

En la Tabla 2.1, se presenta las características principales del buque obtenidas en el diseño preliminar. Los requerimientos dados por el CPFGE-EMT Iván Arias, planos de líneas de formas, arreglo general y estructurales se presentan en el APÉNDICE A (relacionados con los resultados del diseño preliminar), mientras que los detalles de formulaciones, cálculos y resultados de los grupos tecnológicos se encuentran en la memoria de cálculos de Diseño Preliminar de Buque Tender con capacidad de 2640 ton (Reyes & Villalva, 2021)

Tabla 2.1 Características principales del diseño preliminar

(Reyes & Villalva, 2021)

Dimensiones		Rendimiento	
LOA [m]	95,00	V [nudos]	15
LPP [m]	87,90	Autonomía [días]	20
LWL [m]	91,45	Habitabilidad	
B [m]	16,50	Tripulación	115
T [m]	6,50	heridos	12
D [m]	9,00	Sistema propulsivo	
Desplazamiento [ton]	6210,18	Línea propulsiva	2
Capacidad de transporte		Motor [hp]	3392
Bodega [ton]	1500	Hélices	5 aspas
Agua [gal]	100.000	Equipos	
Combustible [gal]	200.000	Mástil para RAS	2
		Grúa [ton]	20

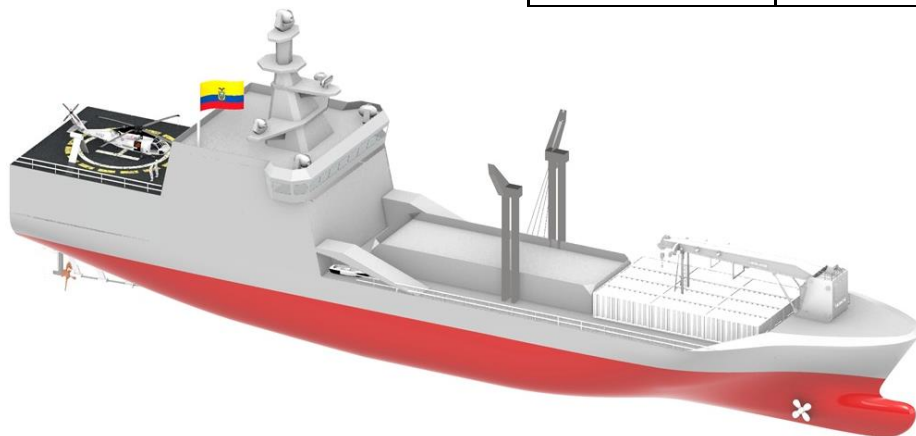


Figura 2.2 Vista 3D del diseño preliminar del buque

(Reyes & Villalva, 2021)

2.2 Etapa complementaria del diseño preliminar.

En esta sección se complementó el diseño preliminar, considerando las recomendaciones propuestas por (Reyes & Villalva, 2021). La primera parte corresponde a la determinación de los elementos principales del sistema RAS. Para ello, se utilizó el manual ATP/MTP Replenishment at Sea de (NATO Standardization Agency, 2001) y las ecuaciones de respuestas de movimiento de (Lloyd,s Register , 2019) para el cálculo de cargas locales del mástil. Mientras que la segunda parte corresponde al diseño y selección de elementos que componen el sistema de trasvasije de combustible.

2.2.1 Determinación de los elementos principales del sistema RAS

Con la finalidad de elaborar el diseño del sistema RAS se calculó y seleccionó los equipos que conforman el sistema para las maniobras CONREP y reabastecimiento de combustible a popa.

2.2.1.1 Diseño del Mástil para maniobras RAS

El mástil del sistema RAS fue diseñado mediante el análisis de flexión de vigas, siendo modelado como una viga empotrada en un extremo y libre en el otro. En la Figura 2.3 se puede apreciar el modelo, el sistema de referencia y las condiciones de frontera utilizadas.

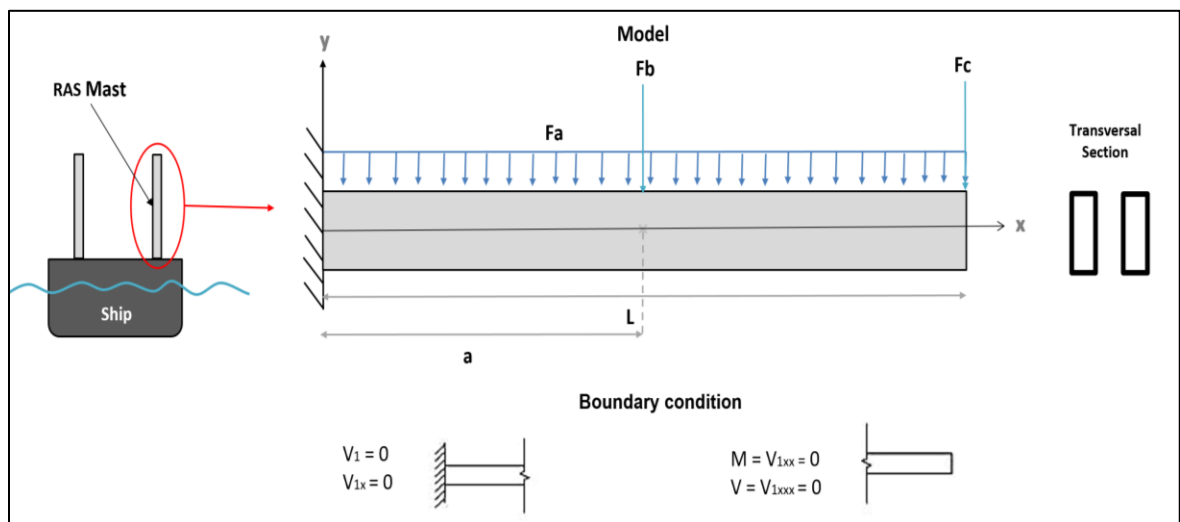


Figura 2.3 Modelado del mástil RAS

Las cargas externas desarrolladas en el sistema son las estáticas (F_a) calculada a partir de la distribución del peso del mástil, y (F_c) de la tensión generada por el cable de acero. Mientras que, la carga dinámica (F_b) es obtenida por el movimiento transversal del buque (ver Figura 2.4) y determinada con la aceleración transversal calculada con la ecuación (2.1).

$$a_{trans} = \sqrt{a_{sway}^2 + a_{yaw}^2 + a_{roll}^2} \quad (2.1)$$

Donde:

a_{sway} : Aceleración de deriva

a_{yaw} : Aceleración de guiñada

a_{roll} : Aceleración de rolido

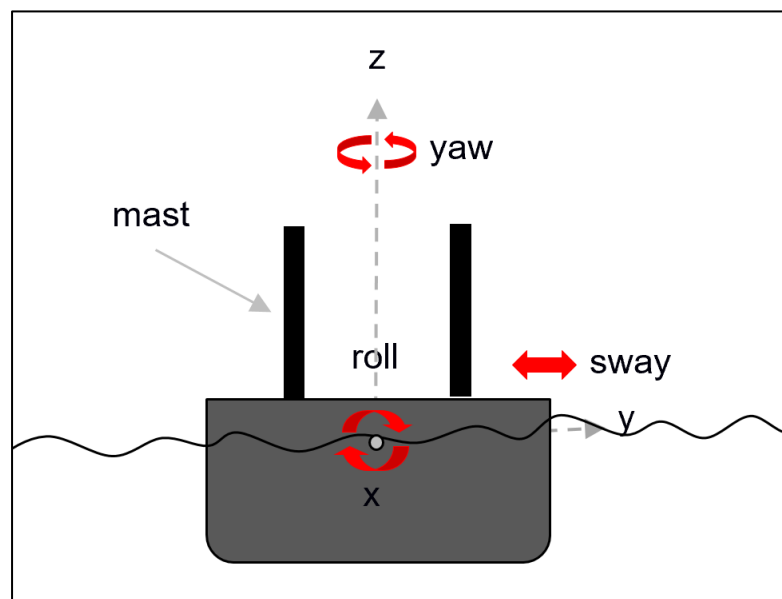


Figura 2.4 Componentes del movimientos transversales

Luego, el esfuerzo desarrollado en el mástil se calculó a partir de la razón entre el máximo momento desarrollado ecuación (2.2) y el módulo seccional de la viga. De esta forma se seleccionó el espesor de planchaje y la sección transversal requerida por el mástil.

$$M = EIV_{1xx} = -A_s\rho g \frac{x^2}{2} - F_b(x-a)E[x-a] + [A_s\rho gL + F_b + F_c]x - \left[A_s\rho g \frac{L^2}{2} + F_b a + F_c L \right] \quad (2.2)$$

Donde:

- E : Módulo de elasticidad del material [N/m²]
- I : Inercia de la sección transversal de la viga [m⁴]
- V_{1xx} : Segunda derivada de la deflexión [1/m]
- A_s : Área seccional de la viga [m²]
- ρ : Densidad del material [kg/m³]
- g : Gravedad [m/s²]
- L : Largo del mástil [m]

La validación de los resultados se realizó con un análisis de la unión de la cubierta con el mástil, en el programa ANSYS 2022 R1, mediante el método de volúmenes finitos. Se determinó el máximo esfuerzo y deformación desarrollada y se lo comparó con el permisible. El esfuerzo permisible se lo determinó con la formulación de (Lloyd,s Register , 2019) que para mástiles con carga de trabajo menor a 10 ton el esfuerzo permisible es 117,5 N/mm².

2.2.1.2 Diseño de cables de acero y mangueras

Para la obtención de las características principales de los cables de acero, aparejos y mangueras de trasvase del sistema, se recopiló información de los anexos de Información Nacional de los países de Canadá, Estados Unidos y Reino Unido del manual (NATO Standardization Agency, 2001). El esquema de los elementos del sistema se muestra en la Figura 2.5.

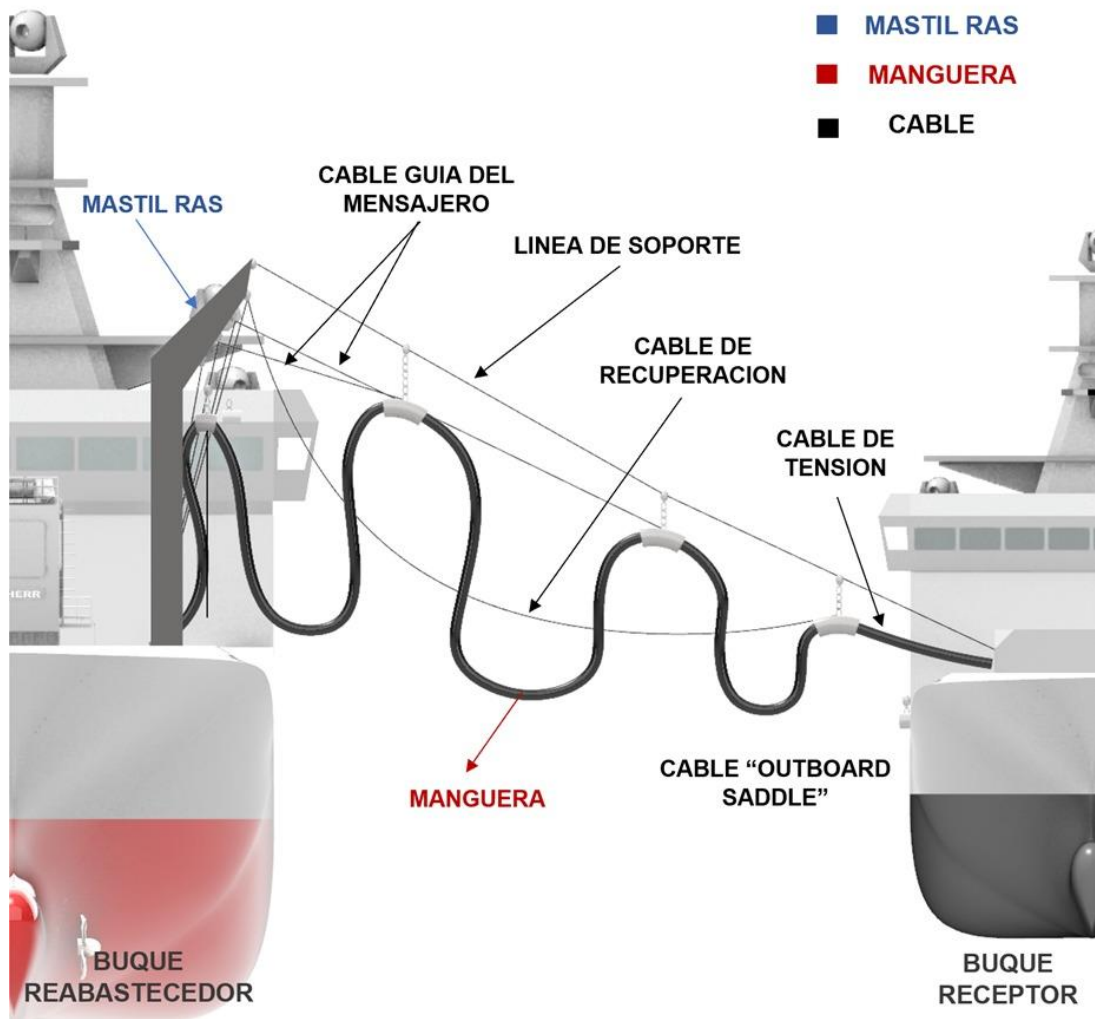


Figura 2.5 Esquema de elementos del sistema para maniobra CONREP

2.2.2 Diseño de sistema de trasvasije de liquido

Para el diseño del sistema del trasvasije se definieron los tanques para el reabastecimiento de combustible y agua dulce. La capacidad por cada tanque se muestra en la Tabla 2.2. Luego, se trazaron las líneas del sistema de trasvase, determinando su longitud, válvulas, accesorios y bombas de trasvase.

Tabla 2.2 Capacidad de tanques de combustible para reabastecimiento

Fluido	ID de Tanque	CAPACIDAD [m ³]
Combustible	3 (2) Eb-Bb	58,14
	4 (3) Eb-Bb	63,65
	4 (2) Eb-Bb	57,74
	4 (1) Eb-Bb	48,07

Fluido	ID de Tanque	CAPACIDAD [m ³]
	5 (3) Eb-Bb	63,17
	5 (2) Eb-Bb	53,12
	5 (1) Eb-Bb	32,77
Agua dulce	4 Eb-Bb	70,64
	5 Eb-Bb	68,88
	6 Eb-Bb	64,53

Con la finalidad de reabastecer los fluidos por ambas bandas, los tanques de igual denominación de babor y estribor fueron conectados por una tubería. Estos ramales se unen a los manifolds ubicados sobre la cubierta principal, permitiendo también el abastecimiento por popa, ver diagrama de tuberías en PLANO 14.

De acuerdo con la información recopilada de los Anexos de Canadá, Estados Unidos y Reino Unido se determinó la tasa de transferencia de fluidos entre buques. Estos límites se compararon con los existentes en la isla Baltra, determinando así el caudal para cada sistema, ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Caudal seleccionado para trasvasije de fluidos

	Caudal [GPM]
Combustible	2992,00
Agua dulce	110,00

Luego, para la selección de la bomba se estimó su caudal necesario a partir de las pérdidas de carga por fricción y accesorios.

2.3 Mejora del diseño preliminar.

Una vez finalizada la etapa complementaria del diseño preliminar, se revisaron y efectuaron mejoras en el cálculo de la transmisión de potencia de las líneas propulsivas y la selección de sus principales elementos. Además, se evaluó las condiciones de estabilidad debido a que se añadió una cubierta de acomodación en la superestructura para aumentar el traslado de personal militar y mejorar la visibilidad desde el puente de mando.

2.3.1 Diseño del sistema propulsivo.

En esta sección, se estimó la potencia al freno requerida para alcanzar la velocidad de diseño, esta evaluación fue realizada mediante el programa Hydrocomp. Para ello, se recopilaron e ingresaron las dimensiones y parámetros principales de la embarcación, como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Parámetros del buque

Parámetro	cantidad	unidad	Parámetro	cantidad	unidad
LPP	88,70	m	Max. área seccional	98,80	m ²
WL bow pt aft FP	3,56	m	Área de plano de flotación	1288,17	m ²
Lwl	91,44	m	Trimado hacia popa	0,00	m
Bwl	16,40	m	LCB desde FP	44,35	m
T	6,50	m	Bulbo hacia FP	3,20	m
Desplazamiento	6339,70	t	Área del bulbo a FP	5,12	m ²
Superficie mojada	2103,70	m ²	Centro del bulbo desde BL	2,66	m
Lwl/B	5,57		Área del espejo	22,43	m ²
B/T	2,52		Manga del espejo	14,14	m
Cb	0,64		Calado del espejo	2,31	m
Cws	2,75		Ángulo de entrada medio	33,65	grados

La resistencia al avance fue estimada mediante el método de Holtrop, para ello se evaluaron y verificaron que los parámetros se encuentren dentro del límite de aplicabilidad para buques de desplazamiento. Ver Tabla 2.5. También se evaluó la resistencia con el módulo de Maxsurf Resistance obteniéndose una diferencia porcentual del 1%.

Tabla 2.5 Evaluación de parámetros de aplicación de Holtrop

Parámetro	Rango Inferior	Rango Superior	Modelo
CP (Iwl)	0,55	0,85	0,69
Lwl/Bwl	3,90	14,90	5,57
Bwl/T	2,10	4,00	2,52
Fn	0,10	0,80	0,27

2.3.1.1 Hélice y Reductor

El diámetro de la hélice se estimó considerando la distancia vertical disponible entre el casco y la línea base. Esta distancia es igual al huelgo entre la hélice y el casco más el diámetro de la hélice. Ver Figura 2.6.

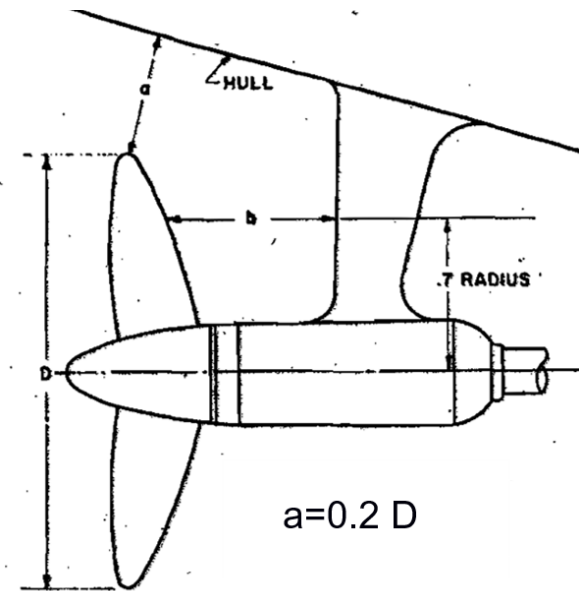


Figura 2.6 Huelgo entre hélice y casco para embarcaciones multi-hélices

(Harrington, 1971)

Luego, los parámetros geométricos y la razón de reducción se determinaron mediante el programa Hydrocomp, a partir del diámetro de la hélice, la potencia entregada al eje, la velocidad de diseño y los criterios de cavitación.

2.3.1.2 Ejes

Las líneas de eje están compuestas por dos tramos: el eje de cola y el de empuje. El eje de cola se consideró desde la hélice hasta el mamparo de popa de sala de máquina, mientras que el eje de empuje desde el mamparo hasta el reductor. El

diámetro de ambos ejes fue estimado con la ecuación (2.3) de (Lloyd,s Register , 2019).

$$D = 100k \sqrt[3]{\frac{P}{R} \left(\frac{560}{\sigma_u + 160} \right)} \text{ mm} \quad (2.3)$$

Donde:

- D : Diámetro mínimo requerido para ejes macizos
- k : factor de diseño del eje (1,22 para eje de cola y contraeje)
- P : Potencia a la velocidad de diseño (kW)
- R : Revoluciones por minuto
- σ_u : Último esfuerzo de tensión (N/mm²)

2.3.1.3 Bridas y pernos de acoplamientos

Para la unión entre los tramos del eje se optó por bridas empernadas. El diámetro mínimo de los pernos de acoplamiento se determinó con la ecuación (2.4) de (Lloyd,s Register , 2019) :

$$d = \sqrt{\frac{240 * 10^6 * P}{n * D_b * RPM * \sigma}} \text{ mm} \quad (2.4)$$

Donde:

- n : Número de pernos en el acoplamiento
- D : Diámetro de la circunferencia del centro de los pernos
- σ : Resistencia a la tracción mínima de pernos [N/mm²]
- P : Potencia a la velocidad de diseño [kW]
- RPM : Revoluciones por minuto

El diámetro de las bridas (Db) se determinó con la ecuación (2.5), que considera la suma del diámetro de los pernos (d), diámetro de la circunferencia del centro de los pernos (D) y la distancia entre la arandela de los pernos y el final de la brida. Mientras que su espesor no debe ser menor a 0,20 del diámetro del eje cola y del diámetro de los pernos de acoplamiento.

$$D_b = d + D_r + 10 \text{ mm} \quad (2.5)$$

2.3.1.4 Cojinetes y descansos

La ubicación de los cojinetes y descansos se determinó a partir de tres restricciones: El arreglo general y estructural, la relación L/D (distancia entre soportes y el diámetro del eje) y las frecuencias naturales de vibración lateral.

Considerando la longitud no soportada del eje y el espaciamiento entre cuadernas de 0,6 metros se ubicó un cojinete (de empuje) entre el mamparo de popa de sala de máquinas y la salida del reductor. También, se ubicaron tres descansos entre la hélice y el codaste. Con respecto a la relación L/D (Lehr, Parker, & Parker, 1961) señalan que esta no debe ser mayor a 14 para ejes con diámetro entre 10 y 16 pulgadas.

Finalmente, se realizó un análisis de vibración lateral para corregir la distancia entre cojinetes, para ello se utilizó las dos primeras frecuencias naturales del sistema propulsivo, los armónicos del motor, el desbalance y la razón de palas, ver ecuación (2.6).

$$\omega_0 > 1,1 * 4 \omega_e ; \omega_e = \frac{r}{Z} \quad (2.6)$$

Donde:

- ω_0 : Frecuencia natural de la línea propulsora
- ω_e : Frecuencia de las palas de la hélice (Blade rate)
- r : Revoluciones del propulsor
- Z : Numero de aspas

2.3.2 Disposición general.

Para aumentar el traslado del personal militar y mejorar la visibilidad desde el puente de mando se añadió una cubierta de acomodación en la superestructura. Esto se realizó siguiendo las recomendaciones del convenio marítimo de (International Transport Workers' Federation, 2006) y una redistribución de pesos a lo largo del

buque. Por otra parte, para el escantillado de la cubierta se empleó las regulaciones de (DNV, 2021), conforme a los cálculos realizados en la cubierta 02 del diseño preliminar (Reyes & Villalva, 2021).

2.4 Evaluación de estabilidad.

2.4.1 Estabilidad Intacta

La estabilidad del buque se analizó a partir de dos escenarios de carga inicial considerando los requerimientos y sugerencias del CPFGE-EMT. Iván Arias y el Ing. Hugo Jama, en cuanto al número de buques a reabastecer y sus capacidades de almacenamiento, ver Tabla 2.6

Tabla 2.6 Escenarios de carga

	Combustible [gal]	Agua [gal]	Tripulación [u]
Escenario 1	172000	32100	181
Escenario 2	143000	25700	163

Para cada escenario se establecieron seis condiciones de carga: salida de la Base Naval Sur, desembarco en el puerto de Baltra, condiciones 3, 4, 5 de reabastecimiento y llegada a la base de Guayaquil. Las condiciones representan el porcentaje de carga líquida o sólida durante las operaciones de reabastecimiento. La primera condición comprende el estado del buque al salir del puerto, es decir tanto los tanques de combustible y agua como las bodegas están llenas al 95%. La segunda condición fue definida luego de que el buque acodera en el puerto de Baltra, en las islas Galápagos, vaciando un 95% de las bodegas 95% y el 15 % los tanques de combustibles para la autonomía. Las condiciones restantes fueron definidas luego de que el buque encuentra a los buques patrullas y procede al reabastecimiento, Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Condiciones de carga

Condición	Consumibles	Carga para buques	Carga portuaria
Salida de la Base Naval Sur	100 %	100 %	100%
Desembarco en puerto de Baltra	90%	100%	0%
Condición 3	70 %	75 %	0%

Condición	Consumibles	Carga para buques	Carga portuaria
Condición 4	55 %	50 %	0%
Condición 5	40 %	25 %	0%
Llegada a la Base Naval Sur	10 %	0 %	0%

El KG en peso ligero del buque es 7,025 m, fue determinado a partir de la distribución de pesos y los centros de gravedad del casco, superestructura, maquinaria principal y equipos. Luego, se añadieron los datos de los tanques de combustibles, agua, lastre y de las bodegas de carga sólida, teniendo de esta forma el KG final para cada condición.

La evaluación de estabilidad intacta se realizó en Maxsurf Stability, donde se ingresaron los cambios de la redistribución de peso y se determinó la curva de brazos adrizantes. Finalmente, se evaluaron los criterios generales para cada escenario y condición utilizando la resolución A.749(18) de la (OMI, 1993). Ver Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Criterios generales de estabilidad intacta

(OMI, 1993)

Criterio	\geq	unidades
Área 0° a 30°	0,055	m*rad
Área 0° a 40°	0,090	m*rad
Área 30° a 40°	0,030	m*rad
Max GZ a 30	0,200	m
Angulo máximo GZ	30	grados
GMt inicial	0,150	m

2.4.2 Criterio meteorológico

Debido a las características del buque se evaluó la capacidad para resistir los efectos combinados del viento y las olas. Para ello se verificó que el área 'b' sea igual o mayor que el área 'a' para cada escenario y condición de carga, ver Figura 2.7. Esto se realizó a partir de la determinación del ángulo de escora de inundación y balance, así como los brazos adrizantes provocados por el viento.

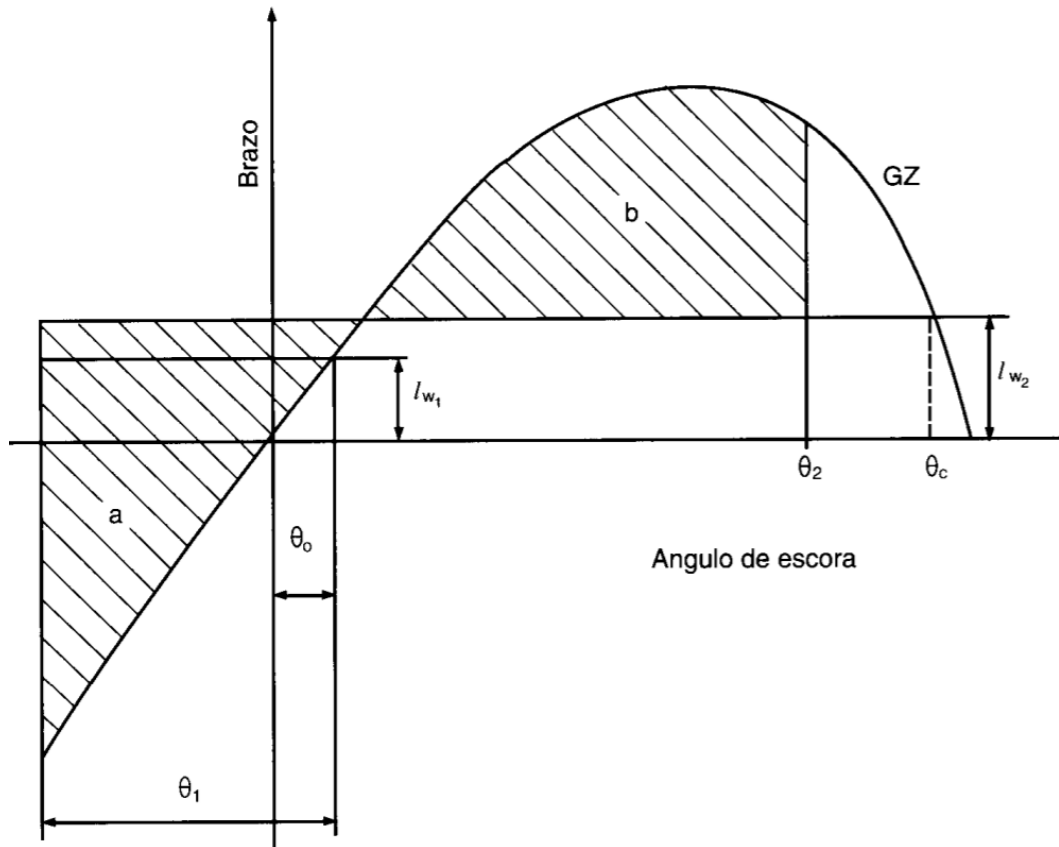


Figura 2.7 Curva de brazos adrizantes

(OMI, 1993)

2.4.2.1 Ángulo de escora, inundación y balance

El ángulo de escora por viento (θ_0), se determinó como el menor valor entre el 80% del ángulo de inmersión del borde de la cubierta (θ_{fd}) y 16 grados. De igual forma el ángulo de inundación descendente (θ_2), se determinó como el menor valor entre es (θ_f), 50 grados o (θ_c).

Donde:

- θ_f : Ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, que no puedan cerrarse de modo estanco a la intemperie.
- θ_c : Ángulo de la segunda intersección entre la curva de brazos escorantes l_{w2} y la de brazos GZ.

Por otra parte, el ángulo de balance por acción de olas θ_1 se determinó con la ecuación (2.7) :

$$\theta_1 = 109kX_1X_2\sqrt{rs} \text{ [grados]} \quad (2.7)$$

Donde:

X_1, X_2, S : Factores dependientes de las dimensiones del buque presentadas en el Apéndice C.

K : Factor 1 para buque con pantoque redondo

r : $0,73 \pm 0,6 OG/d$

OG : Distancia del centro de gravedad y la flotación [m]

D : Calado medio de trazado del buque [m]

2.4.2.2 Brazos escorantes

Los brazos escorantes lw_1 y lw_2 provocadas por el viento fueron calculados con las ecuaciones (2.8) y (2.9) :

$$lw_1 = \frac{PAZ}{1000 * g * \Delta} \text{ [m]} \quad (2.8)$$

$$lw_2 = 1,5 lw_1 \text{ [m]} \quad (2.9)$$

Donde:

P : Presión del viento 504 N/m.

A : Área lateral proyectada del buque por encima de la línea de flotación

Δ : Desplazamiento del buque

g : Gravedad 9,81 m/s²

2.4.3 Criterio de estabilidad para buques equipados con grúas

Dado que el buque reabastecedor está equipado con una grúa de 20 ton, se evaluó el brazo adrizante ocasionado por la acción del movimiento de pesos. Esto se realizó con la ecuación (2.10)

$$H_{tw}(\theta) = \frac{W}{\Delta} [h \cos \theta + v \sin \theta] \quad (2.10)$$

Donde:

- W : Masa suspendida [ton]
- h : Separación horizontal del centro de gravedad del peso en su posición de estiba a la posición de suspensión [m]
- v : Separación vertical del centro de gravedad del peso en su posición de estiba a la posición de suspensión [m]
- Δ : Desplazamiento total del buque, incluyendo la masa suspendida [ton]
- θ : Ángulo de escora constante [grados].

2.5 Estimación de costos y beneficios.

En esta sección se determinó la razón costo beneficio modificada del proyecto utilizando la ecuación (1.2). Para la determinación de los costos constructivos y de equipamientos se tomaron los resultados del diseño preliminar de buque reabastecedor (Reyes & Villalva, 2021). Por otro lado, los costos de mantenimiento y de operación se obtuvieron en base a los costos actuales del Mercado.

Los beneficios se cuantificaron a partir de las ventajas económicas, sociales y ambientales que tendrá el incremento de la vigilancia de los escuadrones del patrullaje en ZEE Insular como producto de la implementación del buque. Cabe indicar que estos valores se calcularon con los valores equivalentes al Valor presente.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se analiza los resultados de la etapa complementaria y mejoras del diseño preliminar. En la etapa complementaria se diseñó el sistema RAS y trasvasije de líquidos. Luego, se muestran las mejoras realizadas al sistema propulsivo y disposición general. Finalmente, se evaluó la estabilidad del buque para los escenarios propuestos y se presenta la evaluación del costo beneficio del proyecto.

3.1 Etapas complementarias del diseño preliminar

3.1.1 Elementos principales del sistema RAS

Los mástiles, diseñados para transportar 2 ton de carga, desarrollaron un máximo esfuerzo combinado de $95,06 \text{ N/mm}^2$, ver APÉNDICE G, y sus dimensiones se muestran en la Figura 3.1. Obteniéndose un factor de seguridad de 1.22 comparado con el esfuerzo permisible $117,50 \text{ N/mm}^2$.

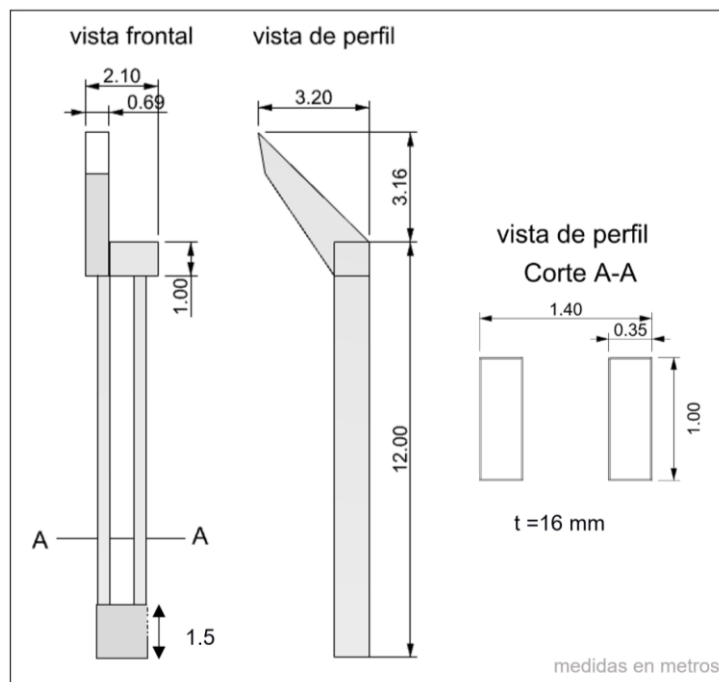


Figura 3.1 Esquema del mástil para reabastecimiento

También se determinó que la manguera para el reabastecimiento de combustible y agua es de 96,3 m de longitud y sus diámetros se especifican en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Manguera seleccionada

Tipo de reabastecimiento	Diámetro [m]	Tipo de manguera	Características
al costado	0,178 (comb.)	Elaflex tipo FHD	Colapsable y sin alambre
	0,065 (agua)		
a popa	0,152 (comb.)	JJBFlex Floatflex 20	Colapsable auto flotante con alambres

Para el reabastecimiento al costado se seleccionó cable trenzado de acero inoxidable extra flexible para la línea de soporte, sus dimensiones principales se muestran en la Tabla 3.2. Estos tienen una resistencia a la tensión de 1570 [MPa] y de acuerdo con el diámetro la carga de rotura es de 24 ton para líquidos y 46 ton para sólidos.

Tabla 3.2 Dimensiones de los alambres de soporte

	L [m]	D [mm]
Cable de soporte (líquido)	180	22
Cable guía del mensajero, tensión y recuperación	135	13
Cables exteriores / mensajero de mangueras	180	13
Cable de soporte (sólidos)	183	29
Cables exteriores / mensajero de mangueras	110	24
Cables interiores de transporte	146	20
Cables inferiores de transporte	37	28

3.1.2 Sistema de trasvasije de liquido

Las tuberías se seleccionaron considerando la velocidad máxima permitida del fluido dentro del buque, teniendo 1 m/s para el combustible y 2,5 m/s para el agua. El material es acero negro de tipo ANSI B-36-20, Sch 40.

Como se mencionó anteriormente, cada tanque consta de una bomba de tipo sumergible. Para su selección se cuantificó las pérdidas de cargas ocasionadas por las tubería, accesorios y válvulas. En el APÉNDICE B se muestra los accesorios

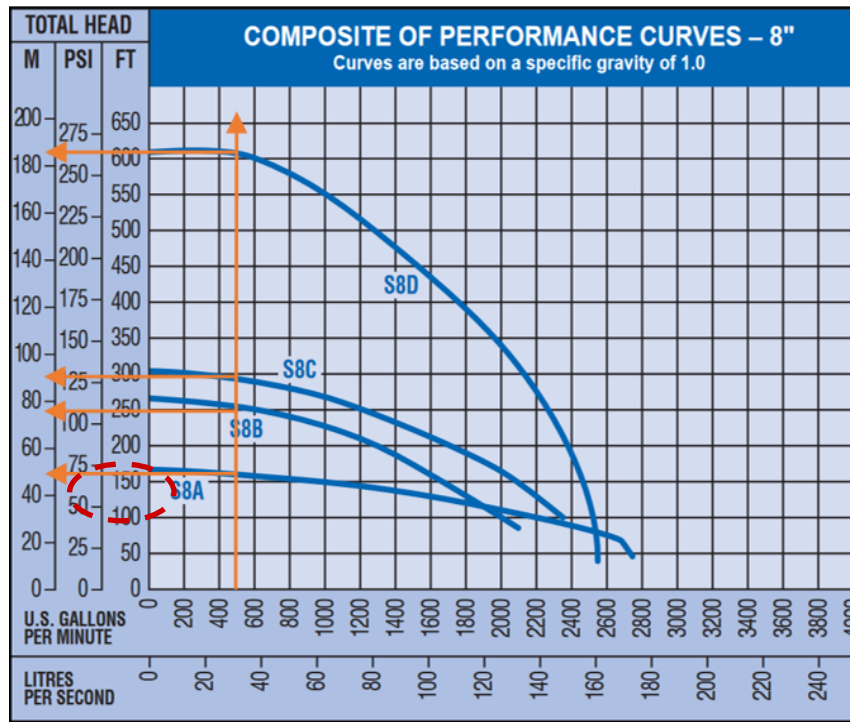
presentes en el ramal de los tanques 4(1) para el combustible y del ramal 6 para el agua dulce, con sus respectivos coeficientes de fricción y longitud equivalente.

El cabezal requerido por la bomba fue calculado a partir de la demanda de cada método, para reabastecimiento a popa se consideró una longitud horizontal de tubería adicional de 57,20 m medidos desde los manifolds. Los resultados de los cabezales requeridos se muestran en la Tabla 3.3.

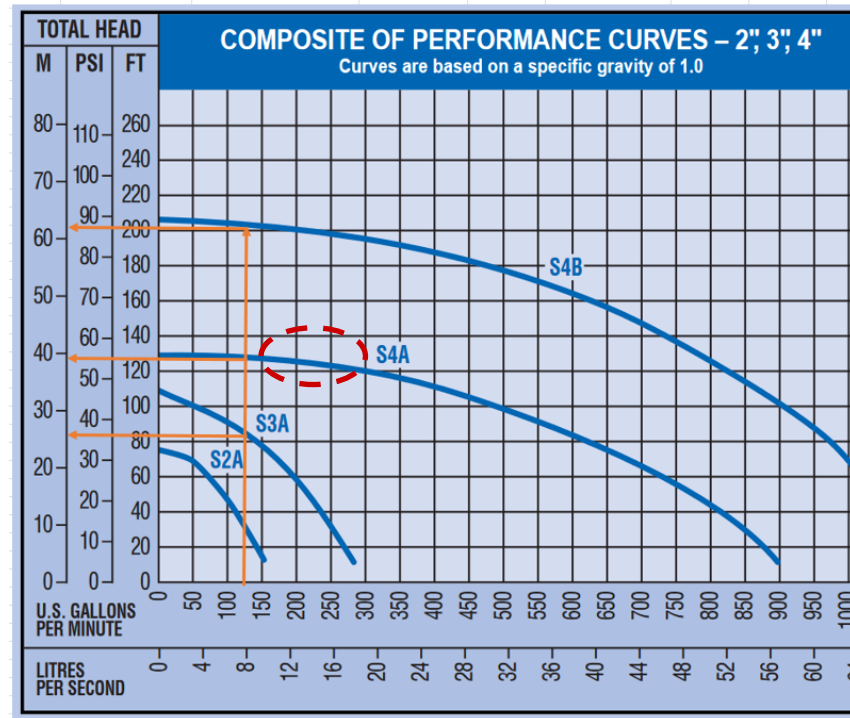
Tabla 3.3 Cabezal requerido para el reabastecimiento

	Método de reabastecimiento	Mínimo cabezal requerido [m]
combustible	Costado	26,66
	Popa	10,14
Agua dulce	Costado	33,79
	Popa	25,44

Finalmente, la bomba seleccionada deberá suministrar 500 GPM con un cabezal de mínimo de 27 m para el combustible y 110 GPM con un cabezal de 34 m para agua. Por esto, se seleccionó la bomba de la marca GORMAN-RUPP modelo S8A de 8 pulgadas y S4A de 2 pulgadas respectivamente (Figura 3.2).



(a) Combustible



(b) Agua Dulce

Figura 3.2 Curvas de rendimiento de la bomba GORMAN-RUPP

(gpumps, 2022)

3.2 Mejoras del diseño

3.2.1 Diseño del sistema propulsivo

Dado la potencia requerida 5956 [hp] para que el buque alcance la velocidad máxima de 15 nudos, se seleccionaron dos motores de la marca Caterpillar modelo C280-8 y sus características se observan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Características del motor

P [BHP]	3299
RPM	1000
Consumo [Gal/hr]	148

3.2.1.1 Hélice y Reductor

La selección del número de aspas de la hélice se realizó considerando la carga de empuje soportada en cada una de ellas. También se consideró que a mayor número de aspas disminuye la eficiencia y aumenta los problemas de cavitación. En el APÉNDICE D se definen los criterios evaluados para disminuir la cavitación en la hélice. Tomando en cuenta lo previamente mencionado se seleccionó una hélice de las series B-Wageningen de 4 aspas. Ver Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Características de la hélice

Z	4
D [m]	3
P [m]	2,7
EAR	0,65

Por otra parte, los resultados obtenidos del programa Hydrocomp indican una razón de reducción de revoluciones del motor a la hélice de 4,2. Por tal motivo se seleccionó un reductor verificando que la potencia y velocidad sea mayor o igual que la del motor. El reductor seleccionado es de la marca REINTJECS, modelo WAF 2346 con las características mostradas en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Características del reductor

RAZON	4,45
P [BHP]	3614
RPM	1100

3.2.1.2 Ejes, Bridas, Cojinete, Pasamamparo y Tubo de bocina

La línea propulsiva tiene una longitud total de 13,8 m medidos desde el propulsor hasta el reductor, siendo 2,3 m para el eje de empuje y 11,5 para el eje de cola. Luego de aplicar la ecuación 2.5 definida en la metodología se obtuvo que el diámetro del eje de cola y de empuje es de 30 cm.

Por otro lado, la brida de acople para los ejes debe tener un diámetro mínimo de 60 mm, seleccionándose la más adecuada del mercado “ANSI/ASME B16.5 Class 600 lbs”, teniendo las siguientes características ver Figura 3.3

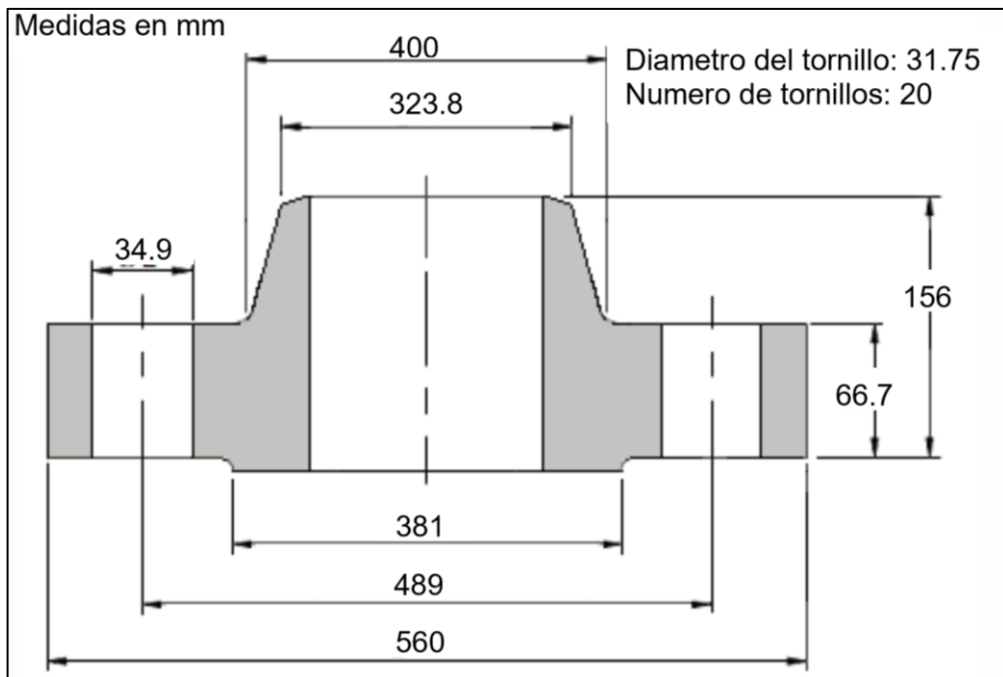


Figura 3.3 Esquema de la brida

La longitud de los cojinetes se determinó a partir del rango entre uno y dos veces el diámetro del eje. Luego se consultaron los catálogos de Wärtsilä linesafe bearing para cojinetes de soporte y thrust bearing para cojinetes de empuje, seleccionándose los modelos OPSY-F (Figura 3.4) y OBSY-F respectivamente.

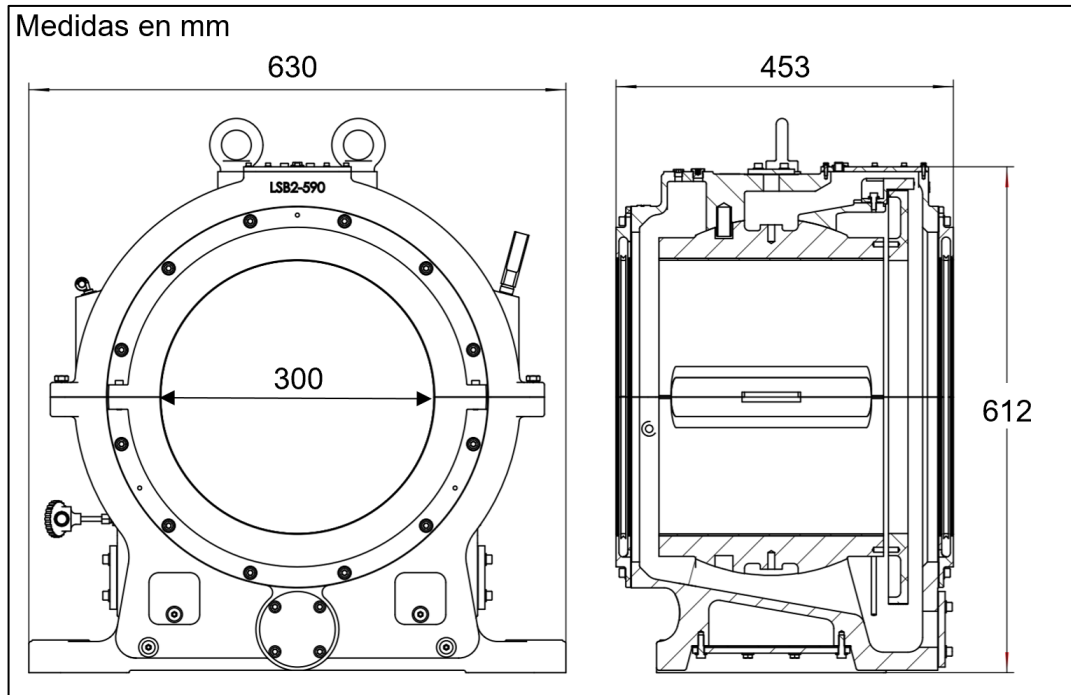
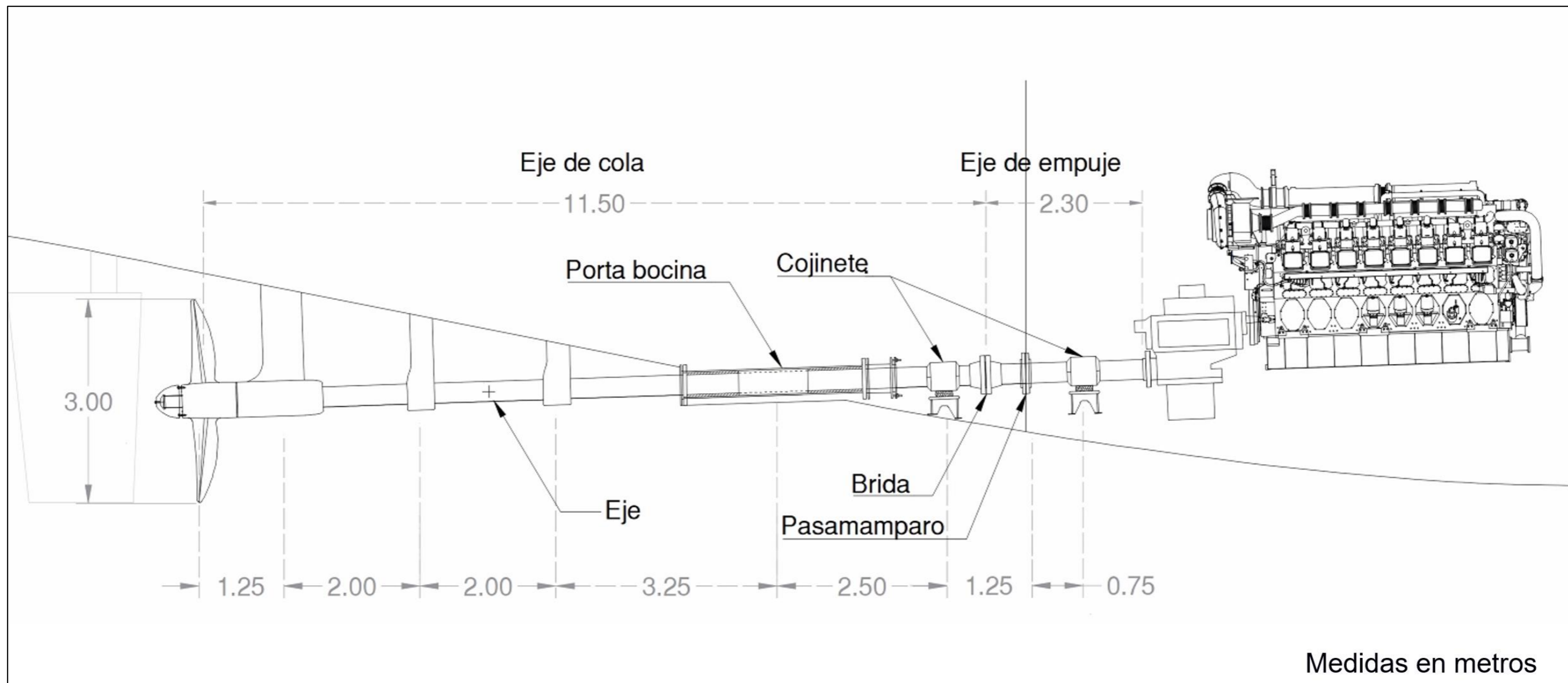


Figura 3.4 Esquema del cojinete OPSY-F

(WARTSILA, 2022)

El pasamamparos y el portabocín fueron seleccionados en función del diámetro del eje. De la línea Wartsila floodguard se escogió el modelo WFB1-F-M que tiene lubricación interna de agua y máxima presión de calado de 2 [bar] y de la línea stern tube solutions el tubo de bocina modelo OT de material S355J2G3.

La posición de los apoyos fue determinada a partir de un análisis de vibración lateral, donde se comparó las 2 primeras frecuencias naturales del sistema con los 8 primeros armónicos del motor, la razón del número de palas y de desbalance, ver APÉNDICE E. Finalmente, el esquema del sistema propulsivo es presentado en el PLANO 1.



PLANO 1 Esquema del sistema propulsivo

3.2.2 Disposición general

Se realizaron cambios en la disposición general del buque, se incrementó una cubierta en la superestructura para aumentar la capacidad de transporte de personal, cambiando el perfil de la superestructura. En la cubierta 03 estará ubicado el puente de mando y tendrá una extensión de 262 m². En la cubierta 02 dispondrá de camarotes con capacidad de 32 personas, baños equipados con duchas y vestidores, bodega y sala de reuniones, Ver PLANO 2.

También, se redistribuyeron los tanques de lastre, diarios y de combustible de helicóptero ubicados en popa, esto con el fin de mejorar el vaciado y llenado en las condiciones de carga definidas, Ver Figura 3.5.

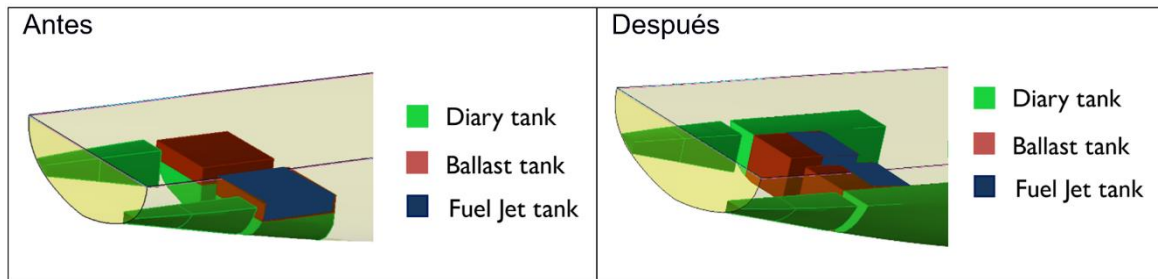
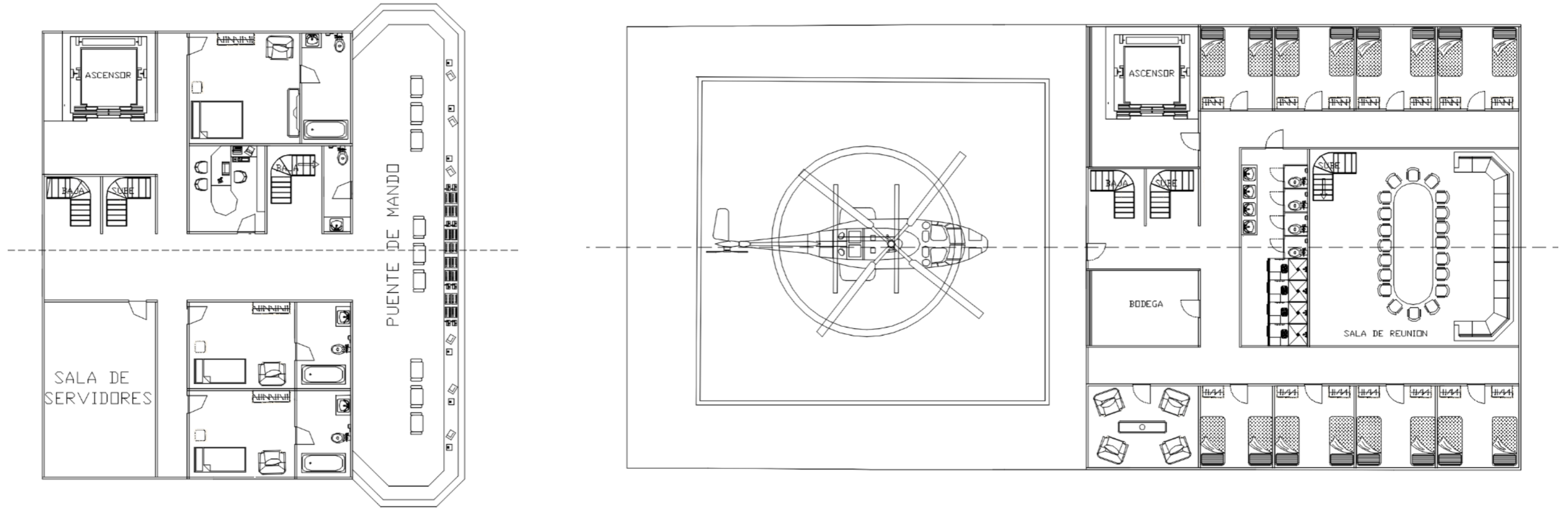


Figura 3.5 Cambios efectuados en la distribución de tanques

Por otra parte, el mástil RAS y la grúa fueron desplazados 8 m y 15 m hacia la proa respectivamente, permitiendo aumentar el número de contenedores. Ver PLANO 3 y PLANO 4.

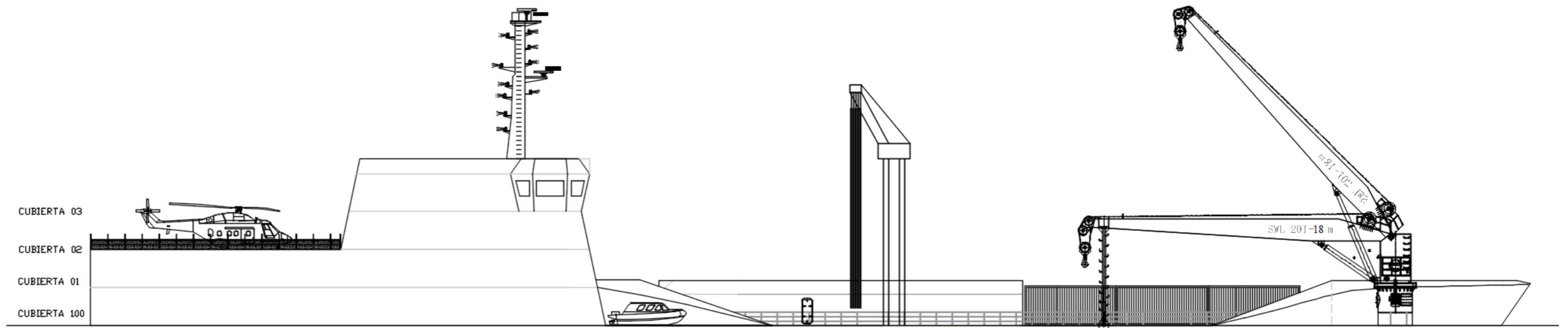
Cubierta 03

Cubierta 02

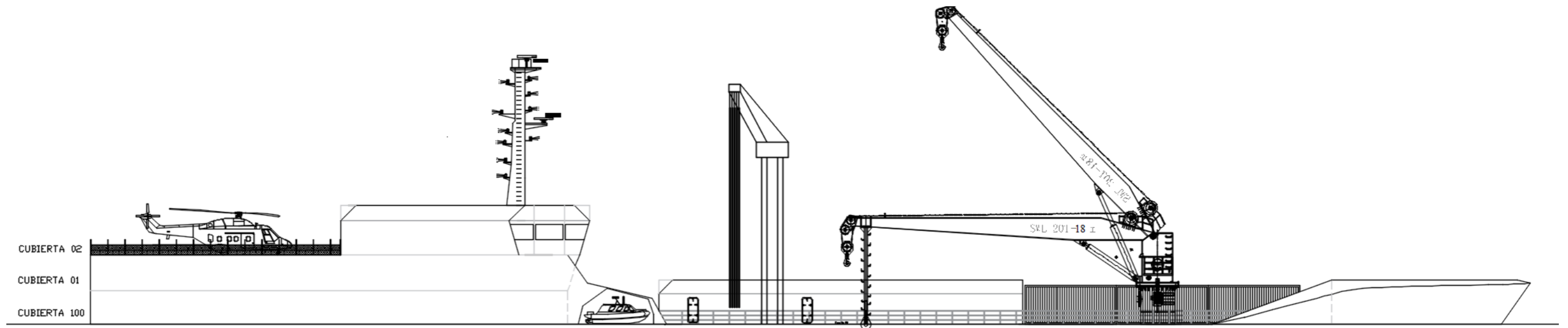


PLANO 2 Cambios efectuados en las cubiertas 02 y 03

Después

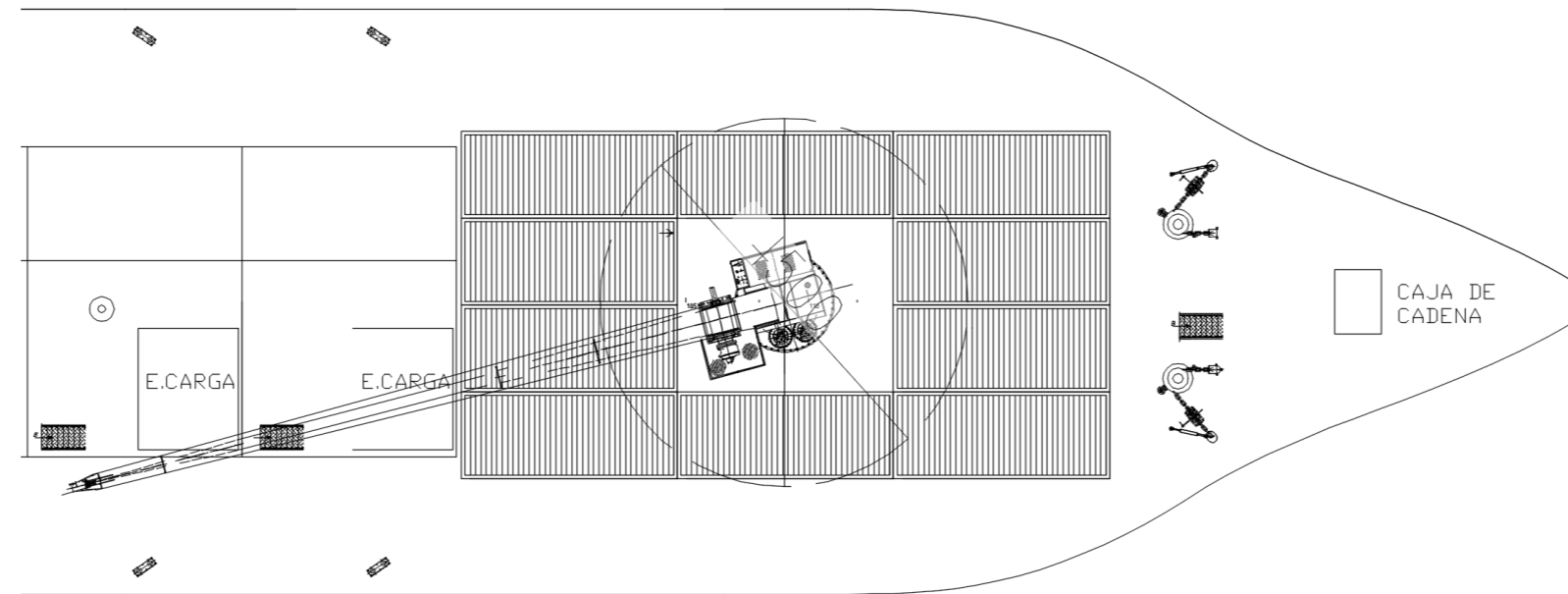


Antes

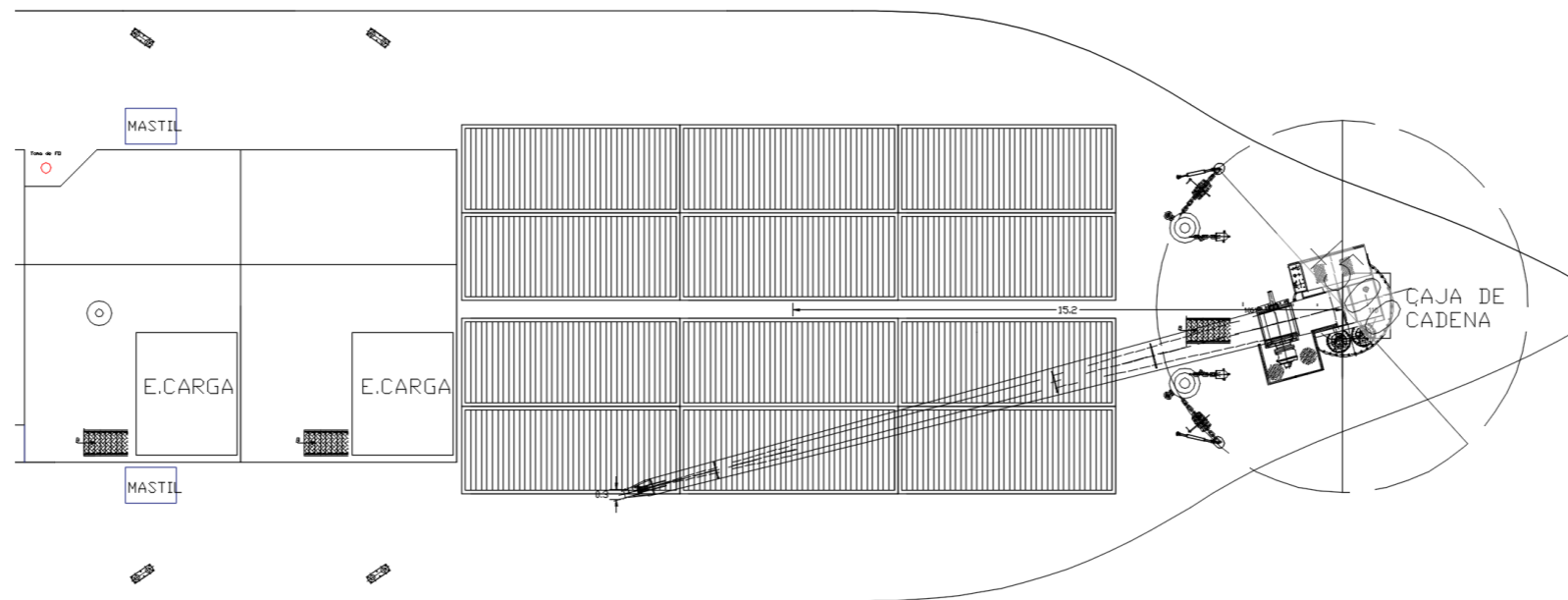


PLANO 3 Perfil de la superestructura, reubicación de grúa

Antes



Después



PLANO 4 Aumento de contenedores

3.3 Estabilidad

3.3.1 Estabilidad intacta

En el capítulo 2 se definieron dos escenarios para el análisis de estabilidad, cada uno con 6 condiciones de carga. Estos resultados se muestran en el APÉNDICE F, obteniéndose un máximo calado de 6,3 m y 6081,0 ton de desplazamiento producido en la condición 1 del escenario 1.

A partir de ello, se elaboró la curva de brazos adrizantes, en la Figura 3.6 se muestran las condiciones 1, 4 y 6. Donde, la menos favorable es la condición 1, ya que tienen menor radio metacéntrico (2,3 m). Por otra parte, la condición 6 muestra un menor ángulo de estabilidad nula (75 grados).

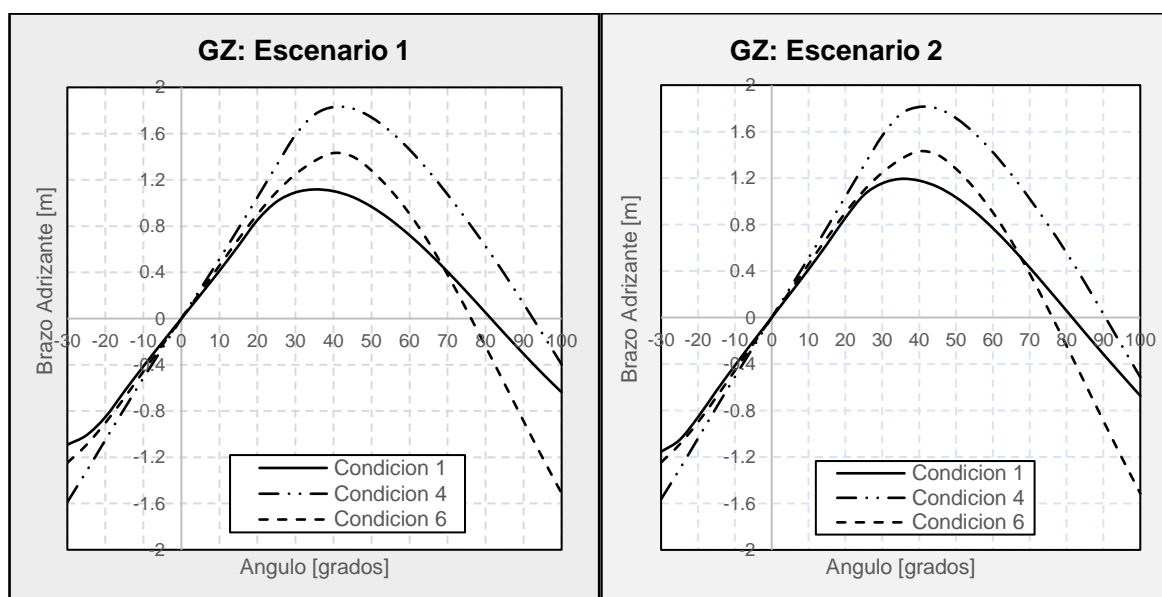


Figura 3.6 Curva de brazos adrizantes

La condición de llegada a puerto también es de interés, puesto que, los tanques de abastecimiento han sido vaciados y la autonomía está al 15 %, provocando una disminución de GMT hasta los 2,61 m para ambos escenarios. Finalmente, en la Tabla F.2 se puede evidencia que todas las condiciones cumplen los criterios de estabilidad intacta A.748(16).

3.3.2 Criterio meteorológico

Se evaluaron los criterios meteorológicos y para ello fue definido el estado de mar 4, con una altura significativa de la ola de 2,5 m. En la Tabla F.3 se resumen los resultados de las condiciones de carga 1,3 y 6, donde la condición 1 y 6 representa la condición más inestable según la evaluación del tercer criterio. Por otro lado, la condición 3 tiene la mejor respuesta a la acción del viento y olas teniendo un margen positivo de 5 veces el límite. Finalmente se determinó que el buque cumple todos los criterios para los dos escenarios y todas las condiciones de carga

3.3.3 Criterio de estabilidad para buques equipados con grúa

Se evaluó la escora causada por el movimiento de peso efectuado por la grúa con el brazo totalmente extendido. El resultado obtenido se resume en la Tabla F.4, donde en la condición 6 el buque alcanza su mayor ángulo de escora. Finalmente, el buque tiene una buena respuesta al movimiento de pesos por acción de la grúa dado que el máximo ángulo obtenido es de 3,1 y el segundo criterio es máximo del 10%, valor 6 veces menor al límite.

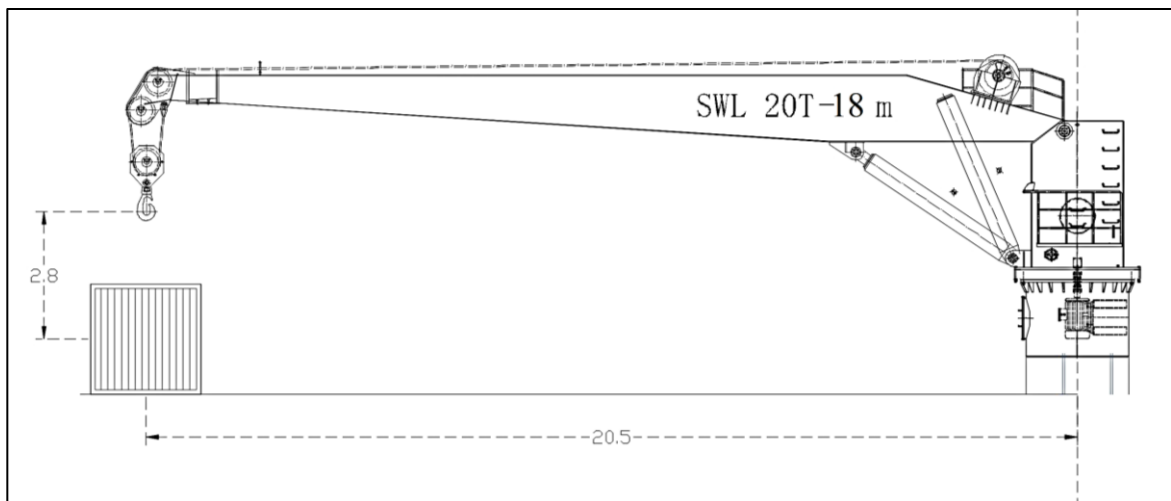


Figura 3.7 Posición de la grúa, caso 2

3.4 Análisis Costo beneficio

Los beneficios sociales y económicos identificados son descritos y cuantificados en la Figura 3.8. El primer beneficio corresponde al ahorro generado por el consumo

de combustibles en un viaje del buque reabastecedor versus el total de los buques patrullas, en el trayecto de las Galápagos-Guayaquil. Este combustible ahorrado se relacionó con las emisiones de toneladas de CO₂ y su valor correspondiente del PIB (0,18 kg/\$1000 del PIB), (Datosmacro, 2020) .

Para el segundo beneficio social se levantó información de decomisos efectuados en la ZEE Insular en el año 2020. Los datos recopilados corresponden a información periodísticas sobre la incautación de estas sustancias. Luego, se estableció un aumento del 30% en el decomiso de estas sustancias.

Al igual que el anterior beneficio, la pesca ilegal no cuenta con un registro oficial de decomiso. Debido a ello, se tomó como referencia a Perú dado que se comparte similares condiciones de extensión mar jurisdiccional y de exportación de pesca. Entonces de acuerdo con (Sociedad Nacional de Pesquería, 2019), Ecuador podría decomisar un aproximado de 5 millones de dólares en la ZEE Insular. Se consideró un incremento del 20% de incautación de pesca ilegal

En cambio, el primer beneficio económico se obtuvo cuantificando el servicio de transporte de carga desde Guayaquil hasta las Islas Galápagos con un valor de \$ 0,019/ Kg. Mientras que el segundo beneficio se consideró el ahorro de diésel con un valor de \$1,93/ Galón de combustible + IVA.

Para los costos de mantenimiento y operación (Figura 3.9) se tomaron valores referenciales de buques similares. En los costos de mantenimiento se consideró costos por mantenimientos anuales y de carenamiento cada dos años. En cambio, los costos operativos incluyen los costos de alimentación de \$15/tripulantes diarios (Dirección Nacional de Planificación de Transporte de Cargas y Logística, 2019).

Finalmente, la evaluación de BCM se realizó en valor presente considerando un periodo de 20 años y una tasa interna de retorno del 15%, obteniéndose una razón BCM de 1,67, por tal motivo el proyecto es considerado socialmente aceptable.

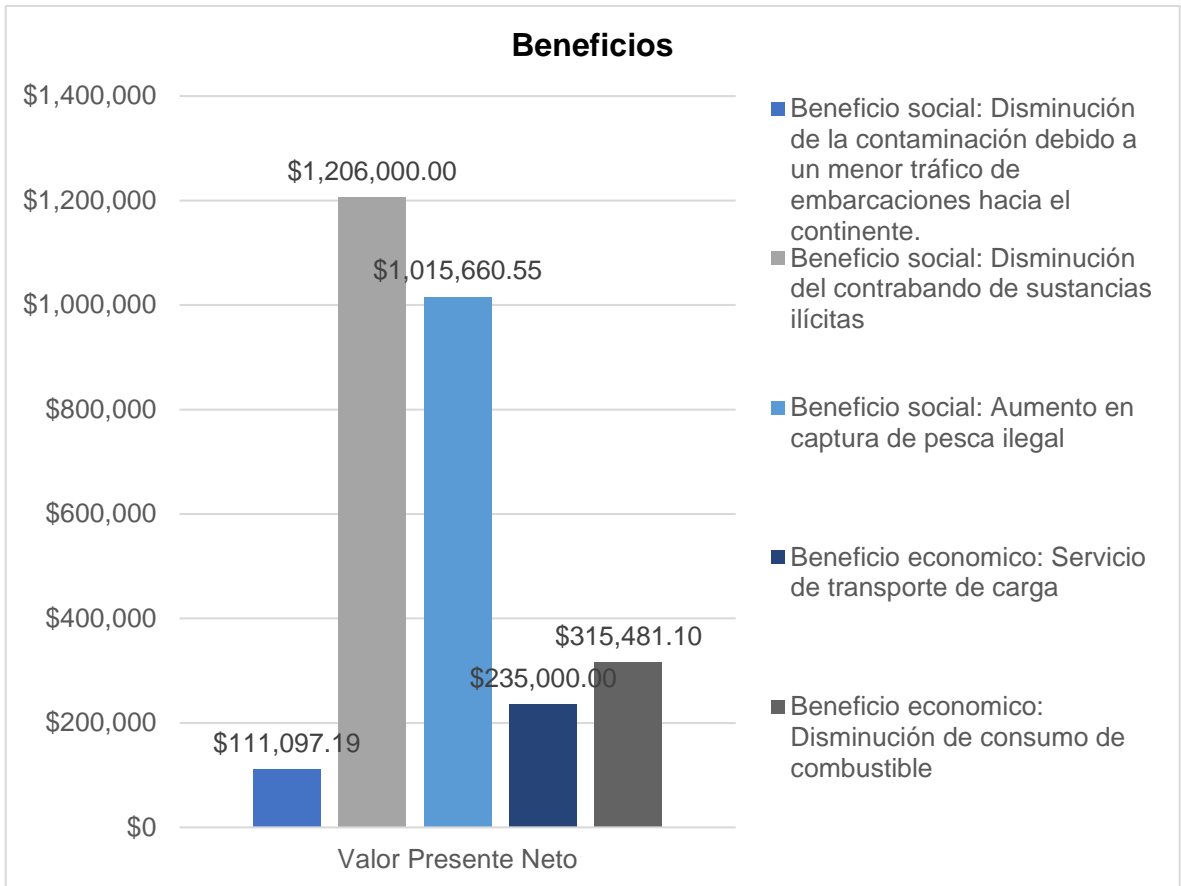


Figura 3.8 Cuantificación de los beneficios

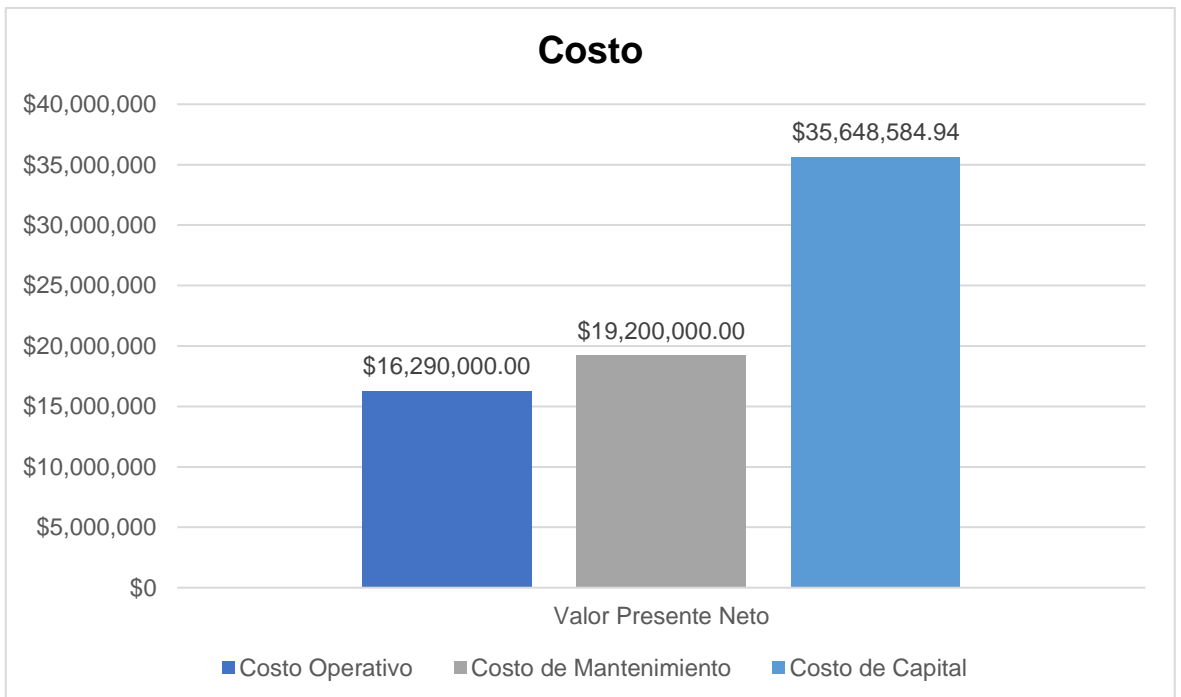


Figura 3.9 Cuantificación de los costos

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño básico del buque de reabastecimiento se desarrolló cumpliendo las regulaciones y estándares de clasificación. Su implementación disminuirá el tiempo de aprovisionamiento e incrementará en un 13 % las operaciones de control del escuadrón de patrullaje en la ZZE insular, ver APÉNDICE H.

Durante este proyecto se diseñó del sistema de reabastecimiento de agua, combustible y carga. Además, se complementó el diseño del sistema propulsivo y se incrementó una cubierta en la superestructura para aumentar el traslado de personal. Luego, se evaluó la estabilidad del buque para dos escenarios y seis condiciones de carga y finalmente se evaluó la razón beneficio costo modificada.

4.1 Conclusiones

- El sistema de reabastecimiento del buque se desarrolló mediante la aplicación de las recomendaciones del manual ATP/MTP Replenishment at Sea y los criterios de la sociedad Clasificadora Lloyd's Register, seleccionándose los elementos principales que conforman el sistema RAS y el sistema de trasvasije de agua y combustible.
- La unión de la cubierta con el mástil RAS se validó con un análisis de volúmenes finitos en Ansys, desarrollando un máximo esfuerzo de 95,06 N/mm².
- El sistema de trasvase garantiza el reabastecimiento por estribor, babor y popa en un rango de 1 hora 48 min y 2 horas 13 min, esto debido a la distribución de los ramales de tuberías y su bomba sumergible e hidráulica.
- El sistema propulsivo se diseñó con el programa Hydrocomp y las regulaciones de Lloyd's Register, permitiendo una adecuada selección de los principales elementos del sistema, pasamamparo, cojinetes, porta bocín y brida, al finalizar ese diseño se obtuvo un plano de la línea propulsiva.

- La separación entre los apoyos del eje se corrigió mediante un análisis de vibración lateral del sistema propulsivo para evitar la resonancia con el motor y la hélice.
- Los parámetros geométricos de la hélice se dimensionaron mediante la evaluación de criterios (APÉNDICE D) para disminuir la cavitación en la punta, cara presión y cara succión de las aspas, obteniéndose una relación P/D de 0,9 y EAR de 0,65.
- La hélice de 5 aspas seleccionada en la etapa preliminar se descartó debido a que existía resonancia con la frecuencia natural del sistema propulsivo, optándose por una hélice de 4 aspas.
- El buque cumple con los criterios de estabilidad de la OMI y DNV, en las condiciones de operación en puerto con una grúa tipo brazo fijo de 20 ton de carga y navegación en un estado de mar 4, garantizando la confiabilidad del transporte y reabastecimiento de la carga.
- El proyecto es viable desde el punto de vista social debido a que la razón beneficio costo modificada es 1,67 a una tasa de recuperación del 15% en un periodo de 20 años.

4.2 Recomendaciones

- Diseñar el sistema de recepción de carga en los buques de patrullaje, para la correcta ejecución de la maniobra de reabastecimiento al costado efectuada por el buque de reabastecedor.
- Establecer un plan de ruta de navegación estratégica para determinar los incidentes de actividades ilícitas en la ZEE Insular y de esta forma minimizar el tiempo de traslado entre buques de patrullaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Anonimo. (2021). *Hmong*. Obtenido de Wiki: https://hmong.es/wiki/Underway_replenishment
- Aranibar, L., & Rafael, C. (s.f.). *Ship Science & Technology*. Obtenido de <https://shipjournal.co/index.php/sst/article/view/15/20>
- Armada del Ecuador*. (2 de Septiembre de 2019). Obtenido de UNIDADES DE LA ESCUADRA NAVAL EN VIGILANCIA DE NUESTROS ESPACIOS MARÍTIMOS JURISDICCIONALES: <https://www.armada.mil.ec/?p=44567>
- Banco de Mexico. (2021). *Banco de Mexico*. Obtenido de CAT: <https://www.banxico.org.mx/CAT/>
- Blank, L., & Tarquin, A. (2006). *Ingenieria Economica*. Mexico: Mac Graw Hill.
- Burril, L., & Emerson, A. (1962). Propeller Cavitation - Further Tests on 16 Inch Propeller Models in the King's College Cavitation Tunnel. *Transactions NECI, Vol 79*.
- CEDEÑO, S. D. (2018). *DISEÑO DE BUQUE ATUNERO DE 2500 TON DE CAPACIDAD EN CUBAS PARA LA INDUSTRIA ECUATORIANA*. Ecuador.
- Cohen, E., & Franco, R. (1992). *Evaluacion de Preyectos Sociales*. Mexico: Siglo veintiuno editores.
- DAMEN. (2021). *DAMEN*. Obtenido de Products: <https://products.damen.com/es-es/ranges/logistic-support-vessel/logistic-support-vessel-replenisher-16000>
- Datosmacro. (2020). *Datosmacro*. Obtenido de Energia y medio ambiente/emisiones co2/ecuador: <https://datosmacro.expansion.com>
- Direccion Nacional de Planificacion de Transporte de Cargas y Logistica. (Septiembre de 2019). *argentina.gob.ar*. Obtenido de Ministerio de transporte: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/mecta_v_2_0_-_metodologia_vf.pdf
- DNV. (2021). *DNV*. Obtenido de About DNV: <https://www.dnv.es/about/in-brief/our-organisation.html>
- Fernando Mendoza. (5 de Noviembre de 2019). El Estado pierde \$ 212 millones por contrabando de gasolina. *El Telegrafo*.

grpumps. (2022). *Gorman-Rupp Pumps*. Obtenido de S-Series-Widebase-Submersiblez: https://es.grpumps.com/product/pump_model/S-Series-Widebase-Submersible/S8A1-E95-460_3?redirected=1

Harrington, R. L. (1971). *Marine Engineering*. New York: The Society of Naval Architects and Marine Engineers.

HydroComp. (2005). *Navcad 2005 Help*.

IACS . (2021). *IACS - the International Association of Classification Societies*. Obtenido de About IACS: <https://www.iacs.org.uk/about/>

infodefensa.com. (9 de octubre de 2021). Obtenido de <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3122986/ecuador-despliega-corbetas-helicopteros-galapagos-prevenir-pesca-ilegal>

International Transport Workers' Federation. (2006). *The Maritime Labour Convention* . London: The ITF (International Transport Workers' Federation).

Jarrín, G. S., & Guevara, G. W. (2018). La seguridad marítima y la Antártida. *Política de la Defensa Nacional del Ecuador " Libro Blanco"*, 102-105.

Keller, J. A. (1973). Extended Diagrams for Determining the Resistance and Required Power for Single Screw Ships. *International Shipbuilding Progress*.

Lehr, W. E., Parker, J., & Parker, E. L. (1961). *Consideration in the design of marine propulsion shaft system*. SNAME transactions.

Lloyd's Register . (2019). *Rulefinder User Guide*. UK.

Lloyd's Register. (2022). *Lloyd's Register*. Obtenido de About us: <https://www.lr.org/en/>

MacPherson, D. (1991). *Reliable Propeller Selection for work boats and pleasure Craft: Techniques Using a Personal Computer* ". SNAME Fourth Biennial Power Boat Symposium.

Macready, G. (12 de Marzo de 2010). *Ministry of Defence*. Obtenido de Defence Imagery: <http://www.defenceimagery.mod.uk/fotoweb/fwbin/download.dll/45153802.jpg>

NATO Standardization Agency. (2001). *ATP 16(D)/MTP 16(D) REPLENISHMENT AT SEA*. Navy Warfare Library.

Obregón, C. C. (2015). Fronteras marítimas y mercados. *Perfil Criminológico*, 3 - 6.

OMI. (1993). *Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buque regidos por los instrumentos de la OMI*.

OMI. (2020). *Organización Marítima Internacional*. Obtenido de Conventions: [https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)%2C-1974.aspx](https://www.imo.org/es/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)%2C-1974.aspx)

- OMI. (2021). *OMI - Organizacion Maritima Internacional*. Obtenido de About OMI:
<https://www.imo.org/es/About/Paginas/Default.aspx>
- Presidencia de la republica del Ecuador. (2021). Obtenido de Noticias:
<https://www.presidencia.gob.ec/ecuador-y-costa-rica-son-paises-vecinos-por-su-frontera-maritima/#>
- Reyes, A., & Villalva, K. (2021). *Diseño Preliminar de Buque Tender con capacidad de 2640*. Guayaquil: Espol.
- Sapag, N., Sapag, R., & Sapag, J. (2008). *Preparacion y evaluacion de proyecto*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- SNAME. (1980). *Ship Design and Construction*. New York.
- Sociedad Nacional de Pesqueria. (2019). *Sociedad Nacional de Pesqueria*. Obtenido de Inicio / Prensa / Artículos de opinión / Alto en tolerancia: no más pesca ilegal:
<https://www.snp.org.pe>
- U.S. Navy. (2020). *hlcopters*. Obtenido de <https://hlcopters.com/el-uss-gerald-r-ford-realiza-su-primer-vertrep-vertical-replenishment/>
- WARTSILA. (2022). *Wärtsilä*. Obtenido de Wärtsilä intermediate shaft bearings:
<https://www.wartsila.com/marine/build/shaft-line-solutions/wartsila-intermediate-shaft-bearings>

APÉNDICES

APÉNDICE A

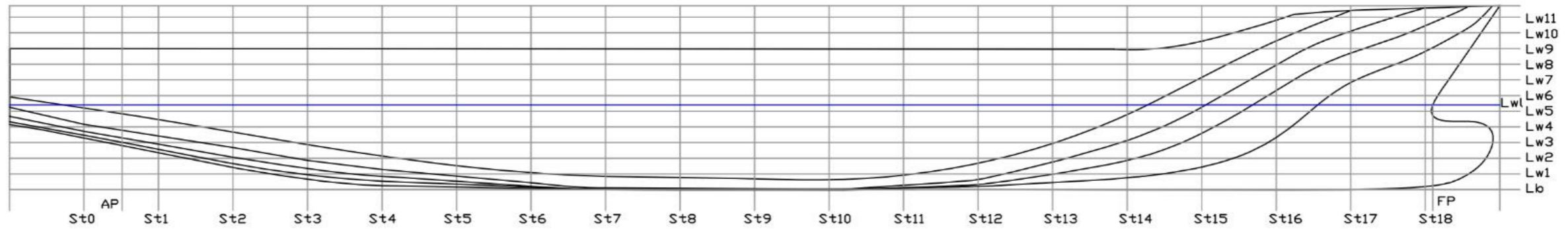
REQUERIMIENTOS DEL ARMADOR

En la Tabla A.1 se presentan los requerimientos dados por el CPFGE-EMT. Arias en la primera reunión.

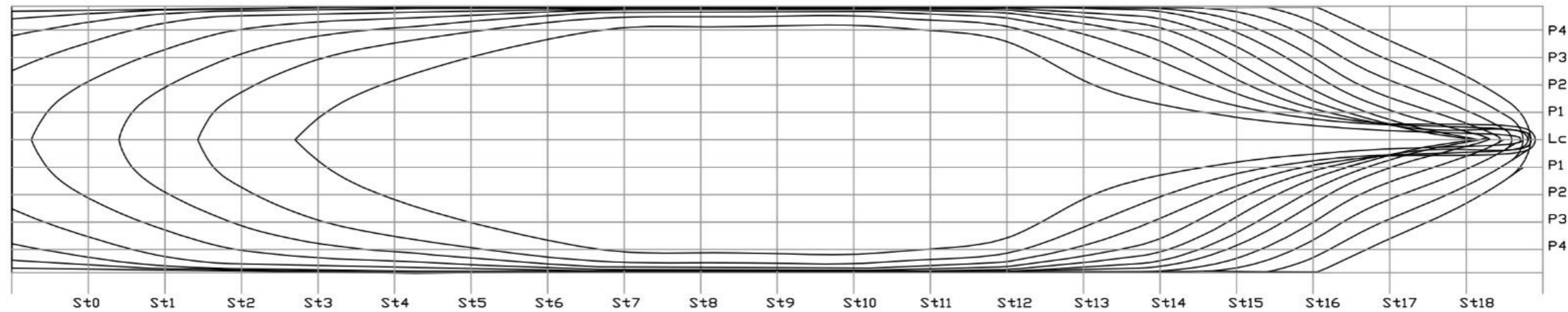
Tabla A.1 Requerimientos del armador

Capacidades	<ul style="list-style-type: none">• Capacidad de entrega de 200.000 galones de combustible diésel• 20.000 galones de combustible JET A-1• 100.000 galones de agua• Cubierta de vuelo 1 x helicóptero mediano• Cubierta de carga para 1.000 ton, Paletizada, contenerizada, vehículos Bodegas
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none">• Mástiles modulares para maniobra de reaprovisionamiento en la mar• Elevador de carga y armamento desde bodegas de 25 t• Grúa en cubierta de 22 t
Sistema de propulsión	Sistema de propulsión a diésel <ul style="list-style-type: none">• 01 o 02 Motores de propulsión a diésel• 02 propelas x FPP• 02 hélices de proa, Hélice de popa
Sistemas auxiliares	<ul style="list-style-type: none">• Generadores Diesel 2• Generador diésel de emergencia 1.
Habitabilidad	Personal <ul style="list-style-type: none">• Tripulación 43• Fuerzas embarcadas / Personal agregado 60• Heridos (hospital) 12
Facilidades médicas	El complejo médico consta de: sala de triaje, quirófano, sala de alta y baja dependencia (no permanente), consultorio, odontología

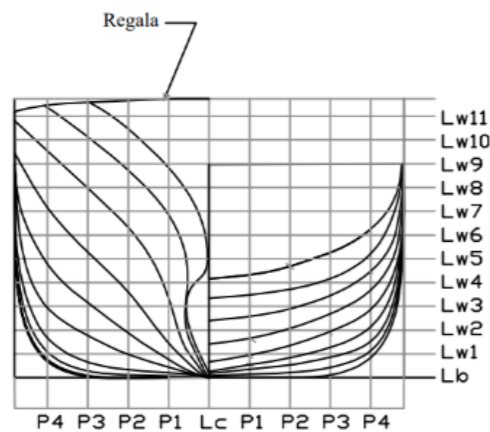
Vista Longitudinal



Vista de Planta



Vista Transversal

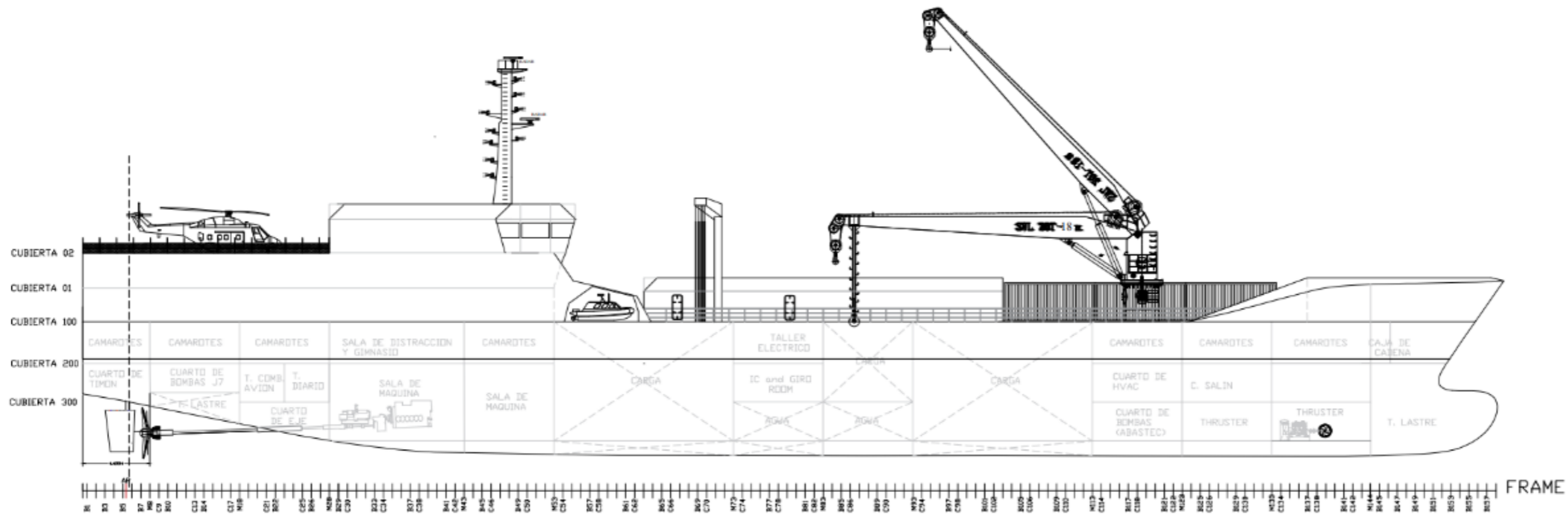


Características Principales

Eslora Total [m]	95
Lpp [m]	87.9
Manga [m]	16.5
Puntal[m]	9
Calado [m]	6.5
Velocidad Max[knots]	15

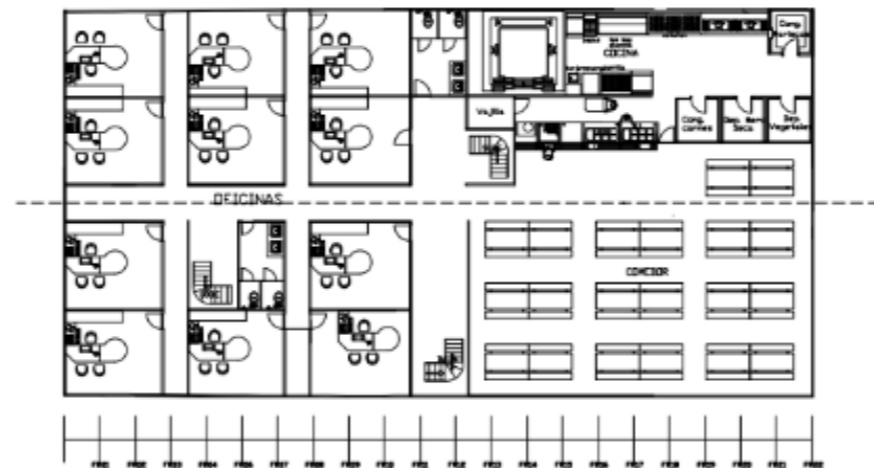
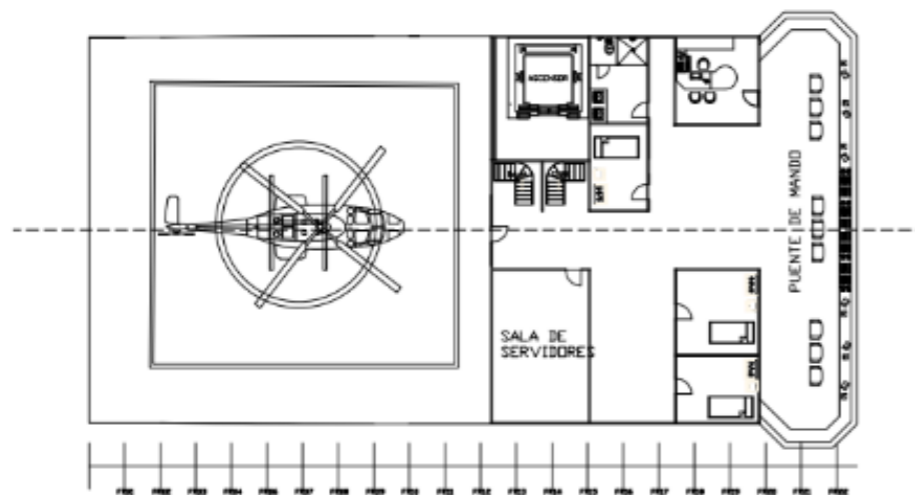
	DIBUJADO POR : VILLALVA Y REYES A.	FORMATO : A3
	CHECKED BY :	ESCALA: 1:318
PLANOS DE LINEAS DE FORMAS		
TIPO: BUQUE TENDER	NOMBRE DEL BUQUE:	
CERTIFICADO POR: :	BLOCK N°	DWG N°
	HOJA:	REV

PLANO 5 Líneas de formas



VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 01

VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 02



CARACTERISTICAS PRINCIPALES

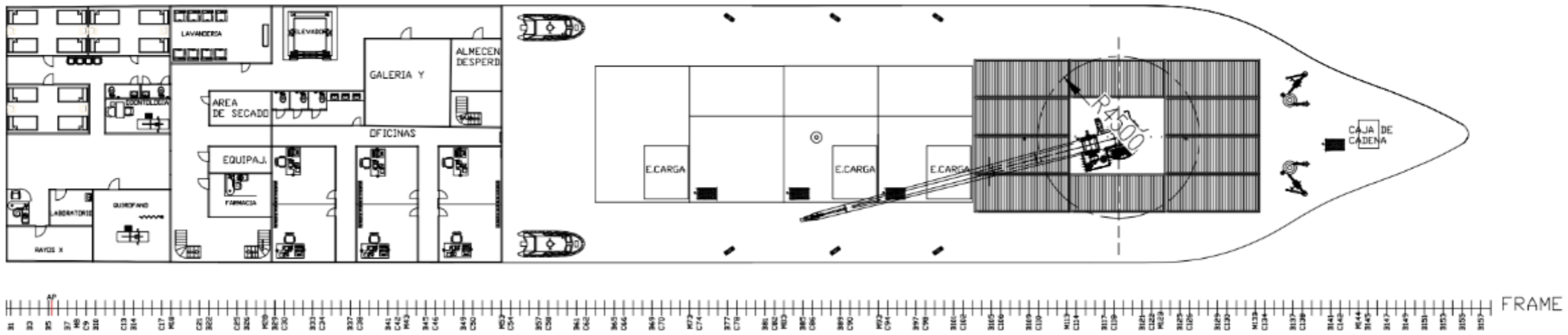
ESLORA TOTAL[m]	95
LPP [m]	87.9
MANGA [m]	16.5
PUNTAL[m]	9
CALADO [m]	6.5
VELOCIDAD MAX [knots]	15



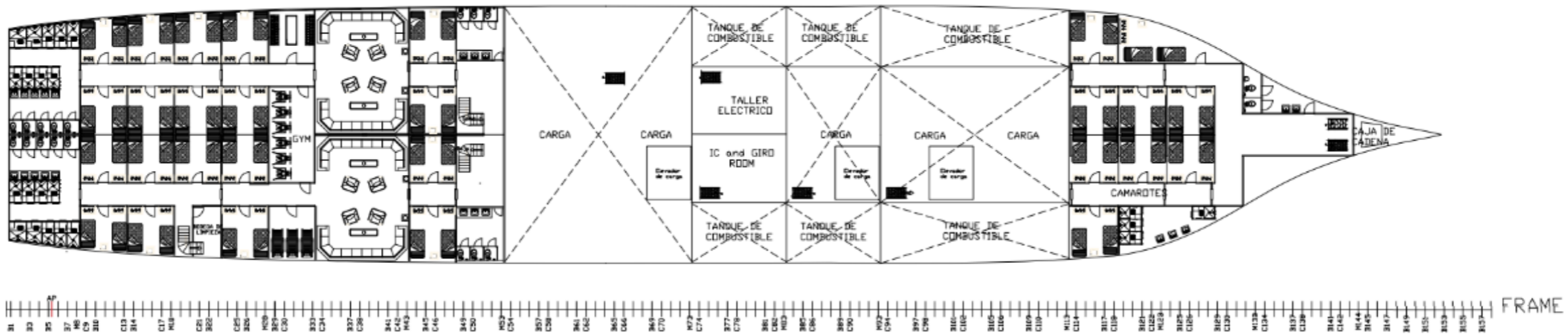
DIBUJADO POR : VILLALVA Y REYES A.	FORMATO : A3
CHECKED BY	ESCALA: 1:318 FECHA: 7/12/21

PLANO DE DISTRIBUCION GENERAL

TIPO: BUQUE TENDER	NOMBRE DEL BUQUE:			
CERTIFICADO POR :	BLOCK N°	DWG N°	HOJA:	REV N°




VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 200



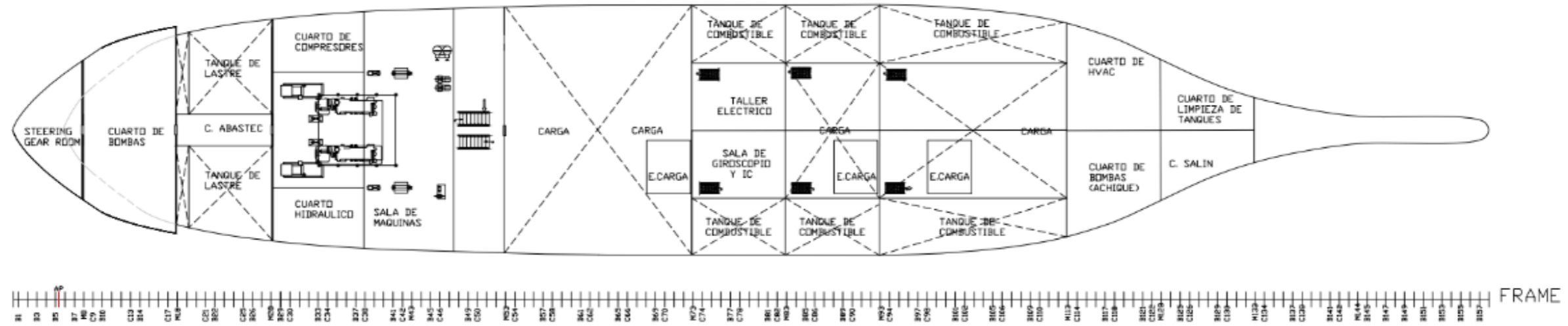
CARACTERISTICAS PRINCIPALES

ESLORA TOTAL[m]	95
LPP [m]	87.9
MANGA [m]	16.5
PUNTAL[m]	9
CALADO [m]	6.5
VELOCIDAD MAX [knots]	15

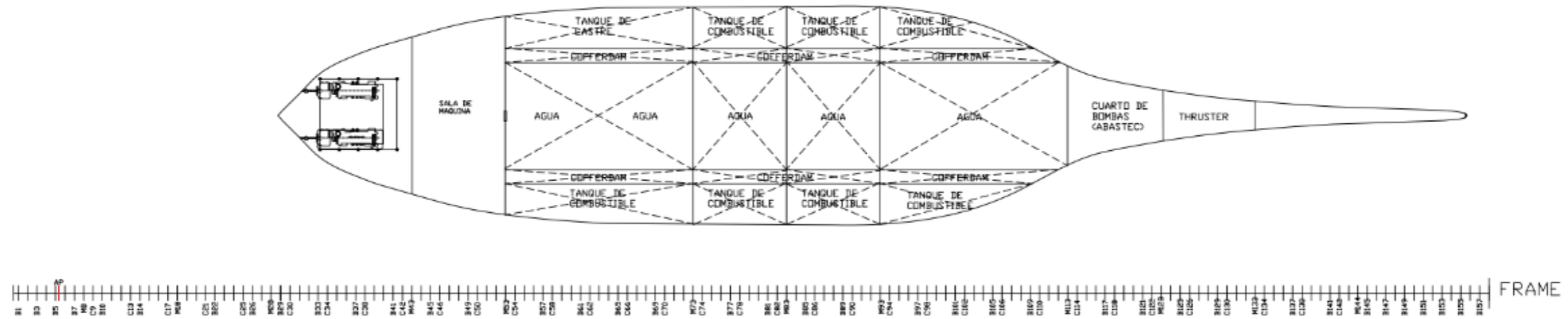
	DIBUJADO POR : VILLALVA Y REYES A.	FORMATO : A3
	CHECKED BY	ESCALA: 1:318 FECHA:7/12/21
PLANO DE DISTRIBUCIÓN GENERAL		
TIPO: BUQUE TENDER		NOMBRE DEL BUQUE:
CERTIFICADO POR :	BLOCK N°	DWG N°
	HOJA:	REV N°

PLANO 7 Distribución general 1/3, Cubierta 200 y 100.

VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 300




VISTA DE PLANTA SUPERIOR DE DOBLE FONDO

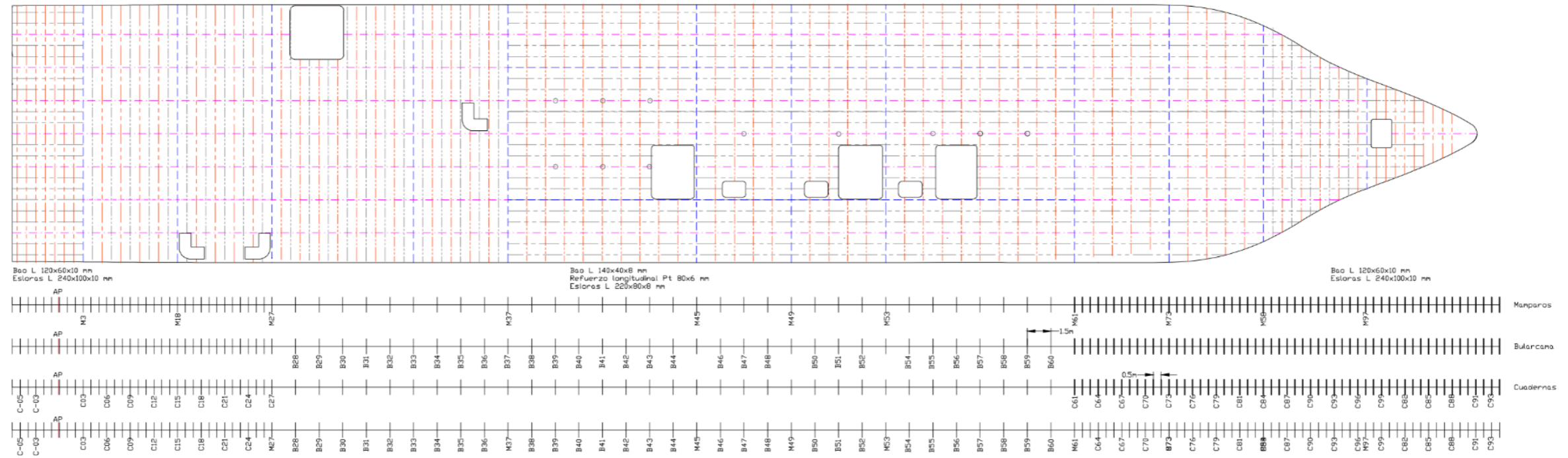


CARACTERISTICAS PRINCIPALES

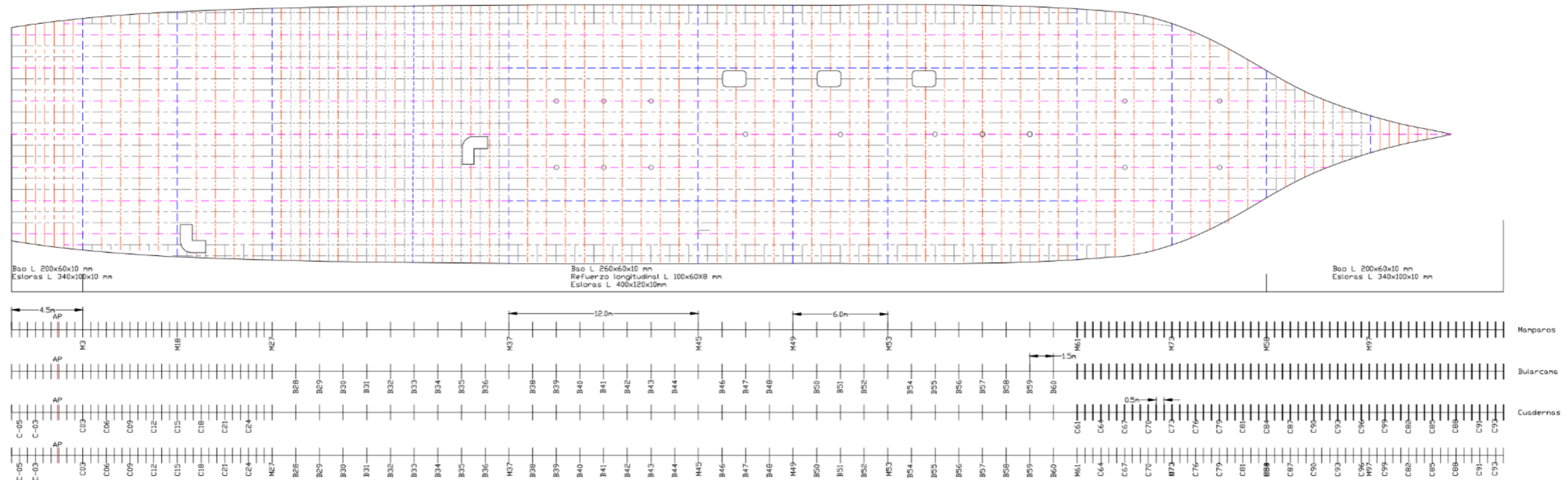
ESLORA TOTAL[m]	95
LPP [m]	87.9
MANGA [m]	16.5
PUNTAL[m]	9
CALADO [m]	6.5
VELOCIDAD MAX [knots]	15

	DIBUJADO POR : VILLALVA Y REYES A.	FORMATO : A3
	CHECKED BY	ESCALA: 1:318
PLANO DE DISTRIBUCION GENERAL		
TIPO: BUQUE TENDER	NOMBRE DEL BUQUE:	

VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 100

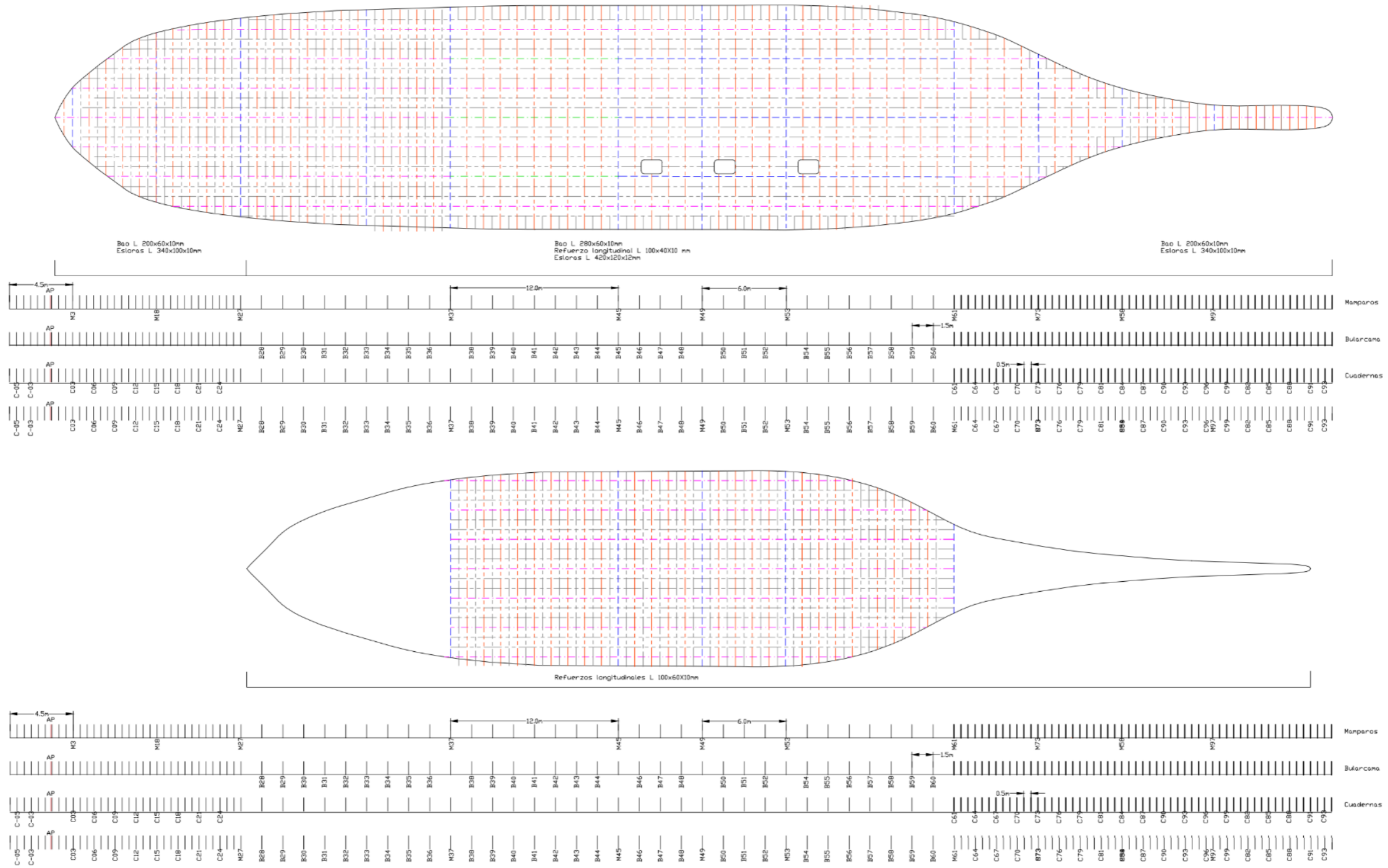


VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 200



PLANO 12 Rayado Estructural 2/3, Cubierta 200 y 100.

VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 300



PLANO 13 Rayado estructural 3/3, Cubierta 300 y doble fondo.

APÉNDICE B

SISTEMA DE TUBERÍAS

En la Tabla B.1 y Tabla B.2 se muestran los accesorios presentes en los ramales 4(1) de combustible y 6 de agua dulce respectivamente. Estos valores son utilizados para estimar las pérdidas de cargas por los accesorios.

Tabla B.1 Longitud equivalente de tuberías, accesorios y válvulas del sistema de combustible.

Descripción	Cantidad	Tot. Fricción	Tot. L equivalente
Válvula de retención	3	4,97	62,22
Codo 90	11	4,42	56,98
Válvula T	3	0,84	45,44
Válvula mariposa	2	9,60	170,80
Manifold	2	19,07	4,55

Tabla B.2 Longitud equivalente de tuberías, accesorios y válvulas del sistema de agua dulce

Descripción	Cantidad	Tot. Fricción	Tot. L equivalente
Válvula de retención	3	3,00	21,03
Codo 90	7	3,78	8,96
Válvula T	3	3,24	12,81
Válvula mariposa	2	1,62	40,86
Manifold	2	2,32	1,75

En cambio, en la Tabla B.3 y Tabla B.4 se presentan las longitudes de tuberías de los sistemas de reabastecimiento de combustible y agua dulce. Con ellos es posible determinar las pérdidas de cargas por fricción (cargas primarias).

Tabla B.3 Descripción de longitudes de tuberías del ramal de combustible

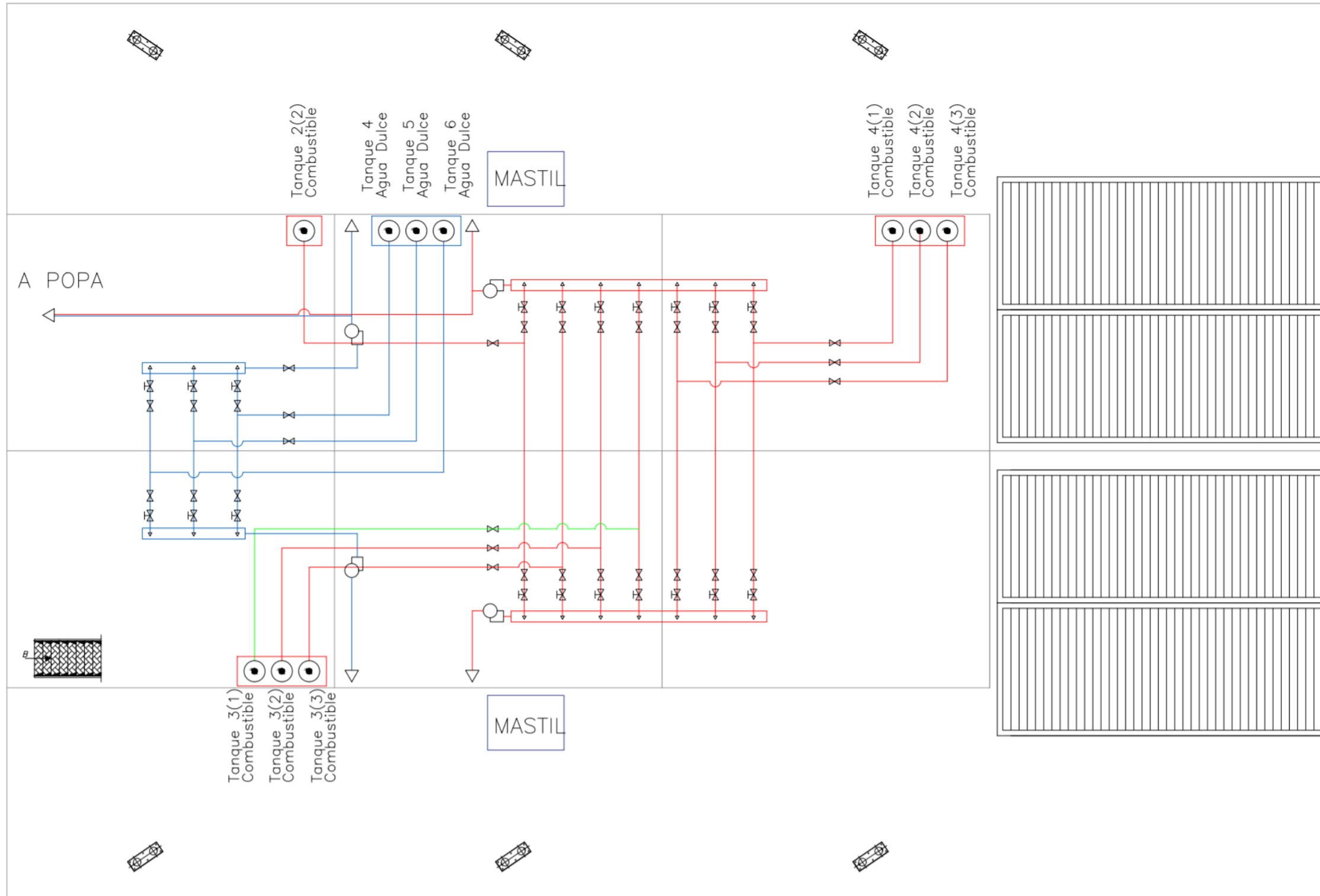
Item	Descripción	Di [m]	Longitud [m]	I.D.	Material
1	Tramo 1	0,21	10,93	8" Sch.40	ANSI B-36-20
2	Tramo 2	0,31	10,49	12" Sch.40	ANSI B-36-20
3	Tramo 3	0,31	7,60	12" Sch.40	ANSI B-36-20

Item	Descripción	Di [m]	Longitud [m]	I.D.	Material
4	Tramo 4	0,31	1,30	12" Sch.40	ANSI B-36-20
5	Tramo 5	0,31	6,00	12" Sch.40	ANSI B-36-20
6	Tramo 6	0,31	4,60	12" Sch.40	ANSI B-36-20
7	manifold	0,31	6,50	12" Sch.40	ANSI B-36-20
8	Tramo 7	0,31	1,00	12" Sch.40	ANSI B-36-20
9	Tramo 1 pp	0,31	13,20	12" Sch.40	ANSI B-36-20
10	Tramo 2 pp	0,31	3,80	12" Sch.40	ANSI B-36-20
11	Tramo 1 pp	0,31	8,80	12" Sch.40	ANSI B-36-20
12	Tramo 2 pp	0,31	4,82	12" Sch.40	ANSI B-36-20
13	Tramo 1 pp	0,31	26,30	12" Sch.40	ANSI B-36-20
13	Tramo 2 pp	0,31	1,00	12" Sch.40	ANSI B-36-20
14	Manguera de popa	0,152	96,30	JJB FLEX FLOATEX	ISO-9001, OCIMF e ISO-1307
15	Manguera de costado	0,178	96,30	Elaflex FHD	ISO-9001, OCIMF e ISO-1307

Tabla B.4 Descripción de longitudes de tuberías del ramal 6 de agua dulce

Item	Descripción	Di [m]	Longitud [m]	I.D.	Material
1	Tramo 1	0,06	8,71	2" Sch.40	ANSI B-36-20
2	Tramo 2	0,07	10,50	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
3	Tramo 3	0,07	1,00	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
4	Tramo 4	0,07	2,35	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
5	Tramo 5	0,07	10,50	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
6	Tramo 6	0,07	8,70	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
7	Tramo 7	0,07	4,30	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
8	Tramo 8	0,07	5,50	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
9	manifold	0,07	1,90	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
10	Tramo 9	0,07	2,10	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
11	Tramo 10	0,07	2,75	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
12	Tramo 11	0,07	12,80	2 1/2" Sch.40	ANSI B-36-20
13	Manguera de costado	0,07	96,30	Elaflex FHD	ISO-9001, OCIMF e ISO-1307

VISTA DE PLANTA DE CUBIERTA 100



PLANO 14 Vista del sistema de reabastecimiento de combustible y de agua dulce

APÉNDICE C

COEFICIENTES DE INTERPOLACIÓN DE LA OMI

En la Tabla C.1 se presentan los valores de los factores X_1 , X_2 , k y s . En la columna izquierda se evalúa las características del buque, y en la derecha se encuentran los parámetros necesarios para el cálculo del ángulo de balance por acción de olas.

Tabla C.1 Coeficientes para interpolación de valores X_1 , X_2 y S (OMI, 1993)

Cuadro 1		Cuadro 2		Cuadro 3		Cuadro 4	
Valores del factor X_1		Valores del factor X_2		Valores del factor k		Valores del factor s	
B/d	X_1	C_B	X_2	$\frac{A_k \cdot 100}{L \cdot B}$	k	T	s
≤ 2,4	1,0	≤ 0,45	0,75	0	1,0	≤ 6	0,100
2,5	0,98	0,50	0,82	1,0	0,98	7	0,098
2,6	0,96	0,55	0,89	1,5	0,95	8	0,093
2,7	0,95	0,60	0,95	2,0	0,88	12	0,065
2,8	0,93	0,65	0,97	2,5	0,79	14	0,053
2,9	0,91	≥ 0,70	1,0	3,0	0,74	16	0,044
3,0	0,90			3,5	0,72	18	0,038
3,1	0,88			≥ 4,0	0,70	≥ 20	0,035
3,2	0,86						
3,3	0,84						
3,4	0,82						
≥ 3,5	0,80						

(Los valores intermedios en los cuadros 1-4 se obtendrán por interpolación lineal.)

APÉNDICE D

CAVITACIÓN DE LA HELICE

La cavitación ocurre cuando la presión que rodea la hélice se reduce a un nivel por debajo de la presión de vapor del agua. La presión de vapor es el punto donde un líquido se convierte en vapor bajo el vacío. Se evaluaron los criterios para disminuir o de descartar en lo posible la cavitación en la punta, cara de presión y cara de succión del aspa de la hélice. (HydroComp, 2005)

Cavitación de la punta

Esta cavitación se genera cuando el vórtice generado por la punta genera un vacío. La cavitación de la punta generalmente no afecta el rendimiento, pero contribuye al ruido y la corrosión estructural (HydroComp, 2005). Esta se puede evitar limitando la velocidad de la punta (velocidad tangencial), el límite típico de la industria es:

$$V < 53 \left[\frac{m}{s} \right] ; \text{helice de 3 o 4 aspas} \quad (D. 1)$$

Cavitación en la cara de presión

La cavitación se genera cuando el ángulo de ataque se reduce de modo que el aspa realmente genere sustentación en la cara. Se puede corregir este tipo de cavitación aumentando la relación P/D o reduciendo la velocidad de la embarcación. La ecuación de (MacPherson, 1991) limita la relación paso diámetro:

$$\text{Min} \frac{P}{D} = \frac{J + J \sqrt{\frac{2,55 Kt}{J^2} + 1}}{2} \quad (D. 2)$$

Donde:

J : Coeficiente de avance

Kt : Coeficiente de empuje

Cavitación en la cara de succión

La cavitación en la cara posterior es la más común y ocurre cuando las palas no son suficientemente grandes para el empuje desarrollado. Este tipo de cavitación se corrige reduciendo la potencia de la hélice o aumentando el área de la pala. Se va a comprobar el criterio de presión de la pala, la mínima relación de área expandida y el porcentaje de cavitación.

- **Criterio de presión de la pala:** El límite de presión máxima de la pala para embarcaciones a 10 nudos es 6,5 [PSI] y 24 nudos es 10 [PSI]. (HydroComp, 2005)
- **Criterio de mínima relación de área expandida:** La mínima área expandida para buques de desplazamiento es calculada con el criterio de (Keller, 1973) .

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{(1,3 + 0,3 * Z) * T_s}{(1026 * h + 10100) * D_p^2} + 0,1 \quad (D. 3)$$

Donde:

- Z : Número de palas
- T_s : Empuje efectivo de la hélice [Kgf]
- h : Inmersión del eje [m]
- D_p : Diámetro de la hélice [m]
- A_E/A₀ : Razón de Área Expandida

- **Porcentaje de cavitación en la cara posterior:** El porcentaje de cavitación es obtenido con el grafico de Burril (Burril & Emerson, 1962) mediante el número de cavitación y el porcentaje de carga.

Numero de cavitación:

$$\sigma = \frac{P_A + \rho gh - \rho gr - P_v}{\frac{1}{2} * \rho * V_R^2} \quad (D. 4)$$

Coeficiente de carga:

$$\tau_c = \frac{T}{\frac{1}{2} * \rho * V_R^2 * A_P} \quad (D. 5)$$

- P_A : Presión atmosférica
 P_V : Presión de Vapor de agua
 h : Inmersión de la hélice
 r : 0.7 del Radio de la hélice
 ω : Frecuencia angular $2\pi n$; n: Revoluciones por segundo
 V_R^2 : $V_A^2 + \omega^2 * r^2$
 A_P : Área proyectada de la hélice
 T : Empuje de la hélice

En la Tabla D.1 de resultados se evalúan diferentes relaciones paso-diámetro y de área expandida con el fin de comparar y seleccionar las características de la hélice más apropiadas. Los valores en color rojo son los que no cumplen los criterios previamente descritos, por tanto, fueron descartados. Finalmente se seleccionó una relación P/D de 0,9 y una relación de área expandida de 0,65.

Tabla D.1 Evaluación de relaciones paso-diámetro y área expandida de la expandida

		Crit.	calculado									
P/D	>	0,75	0,75			0,85			0,90			
Tip Spd [m/s]	<	53,00	39,20	39,40	39,60	35,90	36,00	36,10	34,60	34,60	34,60	34,70
Press [PSI]	<	7,00	9,10	7,40	6,30	9,10	7,40	6,30	9,10	7,40	6,30	5,80
BAR	>	0,43	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,70
% Cav cara posterior	<	5,00 %	5,30 %	2,60 %	1,30 %	7,00 %	3,70 %	2,10 %	7,80 %	4,30 %	2,50 %	2,00%
Velocidad [nudos]	> =	15	13,60	13,60	13,60	14,70	14,70	14,70	15,20	15,20	15,20	15,20
Eficiencia											0,639	0,638

APÉNDICE E

ANÁLISIS DE VIBRACIÓN LATERAL DEL SISTEMA PROPULSIVO

A continuación, se presenta en la Tabla E.1 los datos del eje y propulsor utilizados para el análisis de vibración lateral. Primero se realizó una estimación de la primera frecuencia natural con la ecuación simplificada de Panagopulos, obteniendo una aproximación de la frecuencia que se obtendrá con la solución numérica de diferencias finitas.

Tabla E.1 Datos del eje y propulsor para análisis de vibración

DATOS				
	Panagopulos	Diferencias Finitas	D. Finitas con camisa	unidad
EJE				
Diámetro del eje	0,30	0,30		m
Longitud del eje (total)	14,00	14,00		m
Longitud de soportes	2,00	2,00		m
Longitud de cantilibrio P.	1,25	1,25		m
Masa/Longitud del eje	551,35	551,35	708,18	kg/m
Inercia del eje	3,98E-04	3,98E-04	6,56E-04	m ⁴
Area del eje	0,07	0,07	0,09	m ²
PROPULSOR				
Masa del propulsor	2717,00	2717,00	2717,00	kg
Inercia de propulsor	1857,88	1857,88	1857,88	kg m ³
MATERIAL				
Densidad material	7800,00	7800,00	7800,00	kg/m ³
Módulo de Elasticidad	2,1E+11	2,1E+11	2,1E+11	N/m ²

Para el análisis con diferencias finitas se obtuvieron las frecuencias naturales del sistema para un espaciamiento de 0,5 m y 0,25 m obteniéndose una diferencia porcentual máxima del 8%.

Tabla E.2 Frecuencias Naturales del sistema

	Panag.	H=0,5 m	H=0,25 m
i	W0i	W0i	W0i
1	93,37	111,53	105,14
2		461,34	428,84

	Panag.	H=0,5 m	H=0,25 m
3		529,04	565,08

En la Figura E.1 se presentan los armónicos del motor, la razón del número de palas y de desbalance, observándose que estos no interceptan con la primera y segunda frecuencia natural del sistema.

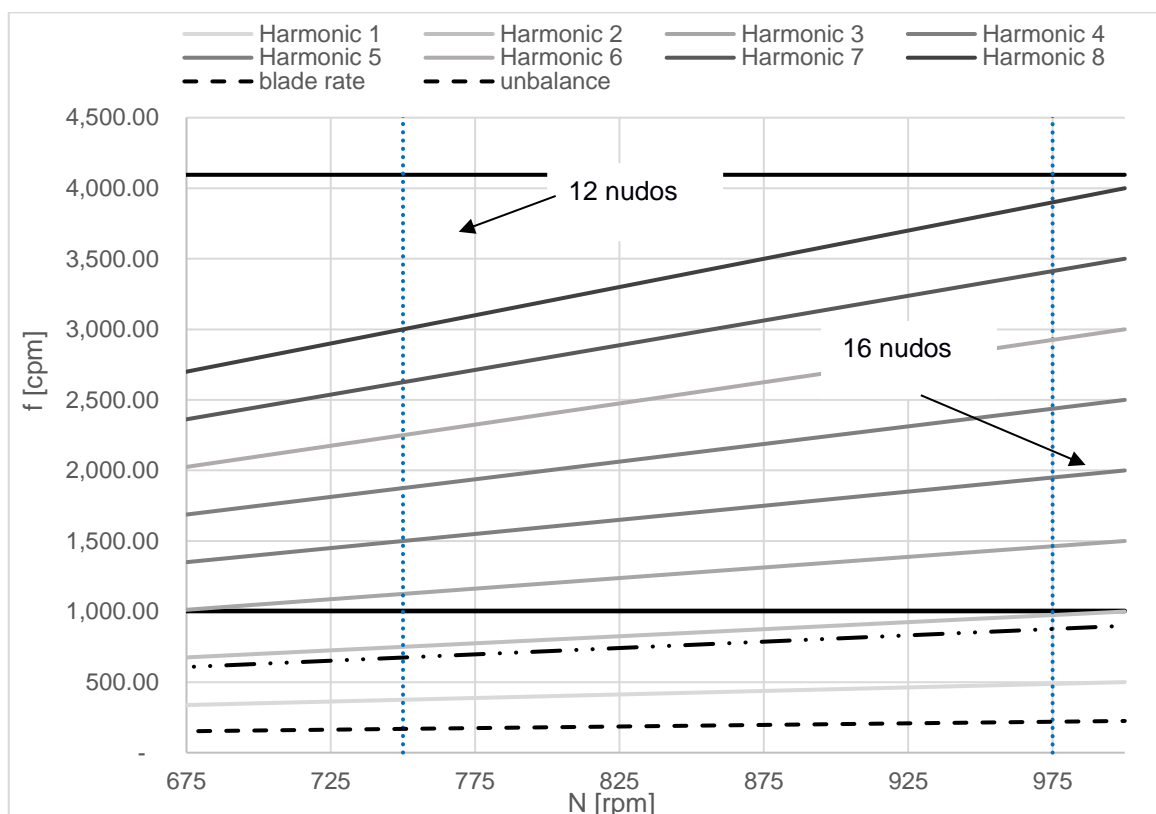


Figura E.1 Comparación entre frecuencias naturales del sistema propulsivo, armónicos del motor y razón de aspas

APÉNDICE F

RESULTADOS DE ESTABILIDAD

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la sección de estabilidad. La Tabla F.1 muestra los resultados de calado, desplazamiento, trimado, KG, GMt y KMt de las condiciones descarga.

Tabla F.1 Resultados de escenarios y condiciones de carga

Escenario 1						
	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	Cond. 5	Cond. 6
Desplazamiento [ton]	6081,00	5179,00	4728,00	4196,00	3711,00	2934,00
Calado MS [m]	6,30	5,60	5,20	4,80	4,40	3,60
Trim (+ve hacia popa) m	-0,80	-0,20	-0,10	0,30	0,80	1,70
KG m	5,70	5,20	5,30	5,40	5,60	6,40
GMt m	2,30	2,80	2,90	2,90	2,90	2,60
KMt m	8,00	8,10	8,10	8,30	8,50	9,00
Escenario 2						
	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	Cond. 5	Cond. 6
Desplazamiento [ton]	5726,00	4821,00	4353,00	4017,00	3620,00	2934,00
Calado en SM [m]	6,00	5,30	4,90	4,60	4,30	3,60
Trim (+ hacia popa) [m]	0,00	0,70	0,10	0,70	0,90	1,70
KG [m]	5,70	5,20	5,40	5,50	5,70	6,40
GMt [m]	2,30	2,90	2,80	2,90	2,90	2,60
KMt [m]	8,00	8,20	8,20	8,40	8,50	9,00

En la Tabla F.2 se muestra los resultados de la evaluación de los criterios de estabilidad intacta para todo tipo de buque.

Tabla F.2 Evaluación de criterios de estabilidad intacta A748(16)

	Escenario 1			Escenario 2		
	Cond. 1	Cond. 4	Cond. 6	Cond. 1	Cond. 4	Cond. 6
Área 0 a 30 \geq 3,15 m.deg	18,33	23,59	20,00	18,76	23,36	19,99
Área 0 a 40 \geq 5,16 m.deg	29,43	41,05	33,56	30,59	40,65	33,54
Área 30 a 40 \geq 1,718 m.deg	11,10	17,45	13,50	11,83	17,28	13,54

	Escenario 1			Escenario 2		
	Cond. 1	Cond. 4	Cond. 6	Cond. 1	Cond. 4	Cond. 6
Max GZ a 30 \geq 0,20	1,12	1,834	1,43	1,19	1,81	1,43
Angulo de máximo GZ \geq 25 deg	35,50	41,40	40,90	35,90	41,40	40,90
GMt inicial \geq 0,15 m	2,34	2,92	2,61	2,34	2,91	2,61
	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

En la Tabla F.3 se muestra los resultados de la evaluación de los criterios meteorológicos para estado de mar 4.

Tabla F.3 Resultados de Criterio Meteorológico

Escenario 1			
	condición 1	condición 3	condición 6
Ángulo de escora constante < 16 DEG	0,80	1,00	2,00
Ángulo de escora constante / El ángulo de inmersión del borde de la cubierta < 80%	6,53%	4,96%	7,38%
Area1/Area2 \geq 100%	398,40%	527,85%	329,53%
	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
Escenario 2			
	condición 1	condición 3	condición 6
Ángulo de escora constante < 16 DEG	0,90	1,10	2,00
Ángulo de escora constante / El ángulo de inmersión del borde de la cubierta < 80%	6,48%	5,20%	7,39%
Area1/Area2 \geq 100%	408,18%	511,84%	329,25%
	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

En la Tabla F.4 se muestra los resultados de la evaluación de los criterios para buques equipados con grúa.

Tabla F.4 Criterio para buques equipados con grúa

Escenario 1						
	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	Cond. 5	Cond. 6
El ángulo de escora constante debe ser \leq 15 grados	1,70	1,60	1,70	1,90	2,20	3,10

Escenario 1						
	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	Cond. 5	Cond. 6
GZ (intersección) / GZ (máx.) debe ser menor ≤ 60%	6,60%	4,83%	4,98%	5,35%	6,13%	9,80%
Escenario 2						
	Cond. 1	Cond. 2	Cond. 3	Cond. 4	Cond. 5	Cond. 6
El ángulo de escora constante debe ser ≤ 15 grados	1,80	1,70	1,90	2,00	2,30	3,10
GZ (intersección) / GZ (máx.) debe ser menor ≤ 60%	6,02%	4,95%	5,35%	5,65%	6,38%	9,81%

APÉNDICE G

ANÁLISIS DE LA UNIÓN CUBIERTA CON EL MÁSTIL

Debido a las operaciones que realiza el buque es necesario evaluar las máximas deflexiones y esfuerzos desarrollados en la base del mástil. De acuerdo con cálculos previos se determinó la necesidad de colocar una estructura de apoyo entre el mástil y la cubierta principal. La estructura de apoyo tiene un espesor de 20 mm y se describe en la Figura G.1

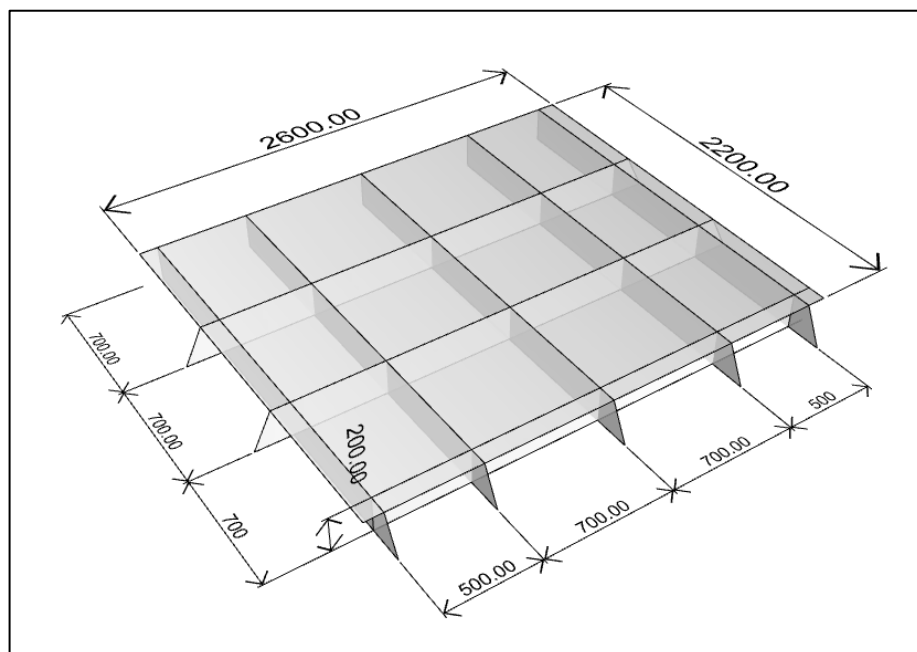


Figura G.1 Estructura de apoyo para el mástil

El escantillado de la cubierta donde se asienta la estructura de apoyo para el mástil se resume en la Tabla G.1, este va entre 43,5 y 49,5 m desde la popa. La carga de diseño calculada tiene una magnitud 6 ton, y dado que el arreglo es de tipo longitudinal, con separación entre refuerzos longitudinales de 0,7 m, vigas longitudinales de 2,1 m y vigas transversales de 1,2 m. Estos elementos cumplen la regla de clasificación DNV para buques menores a 100 m.

Tabla G.1 Refuerzos seleccionados en cubierta del mástil

Descripción	Medida [mm]
Esloras	L 100x60x16

Descripción	Medida [mm]
Vigas longitudinales	L 400x120x16
Bulárcamas	L 260x60x16
Plancha de cubierta	16

Luego se definieron dos casos para el análisis: el primero corresponde al estado inactivo del mástil, es decir, cuando la estructura de apoyo soporta el peso propio del mástil, mangueras de reabastecimiento, cables de tensión y aparejos auxiliares. El segundo, es definido cuando las cargas están siendo trasladadas desde el buque reabastecedor al receptor, aquí se incluye la tensión generada por el trasvase de los fluidos.

Por otro lado, las condiciones de frontera del sistema se definieron de acuerdo con el tipo de unión estructural. Dado que el área analizada se encuentra entre costados y refuerzos principales, estos bordes se consideraron como empotrados.

Además, se aplicó una aceleración de $6,8 \text{ m/s}^2$ a toda la estructura debido al movimiento transversal a la que está sometido el buque. En la Figura G.2 se muestra las condiciones de fronteras y las cargas aplicadas sobre el mástil.

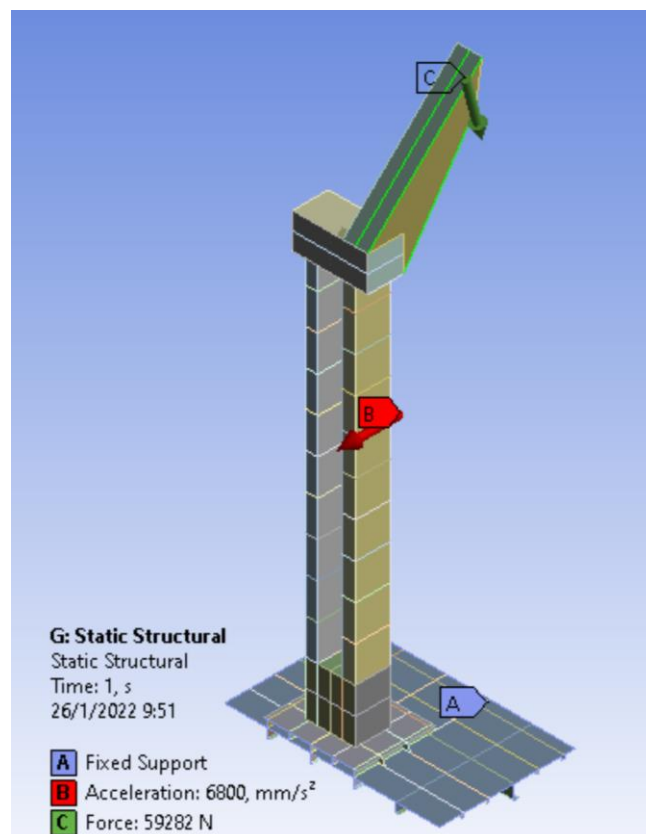


Figura G.2 Condiciones de fronteras y cargas

La validación de los resultados se realizó en ANSYS 2022 R1, mediante el método de volúmenes finitos. Para ello, se utilizaron 17035 elementos con un tamaño de 100 mm. Los resultados muestran que el mayor esfuerzo desarrollado ocurre en la unión entre la plancha de la estructura de apoyo y el mástil ver Figura G.3. Este alcanza una magnitud máxima de 95,06 N/mm² a 75 grados en las operaciones de reabastecimiento y de 67,03 N/mm² para el estado inactivo. En la Figura G.4, se puede observar cómo varía el esfuerzo con respecto al ángulo de tensión en el mástil.

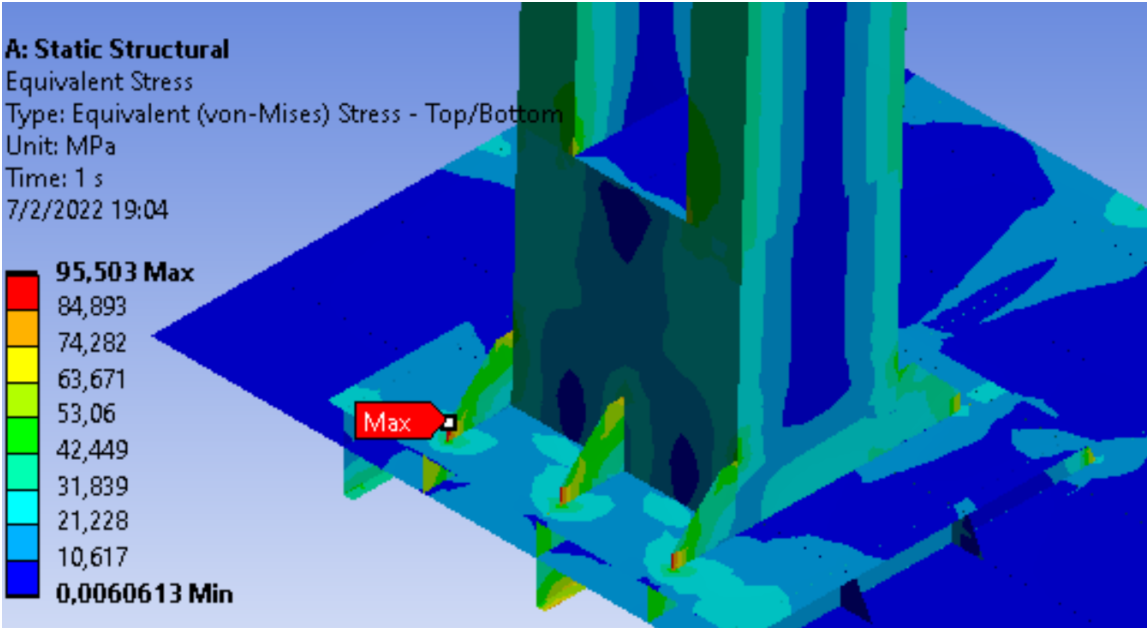


Figura G.3 Máximo esfuerzo desarrollado en la base del mástil

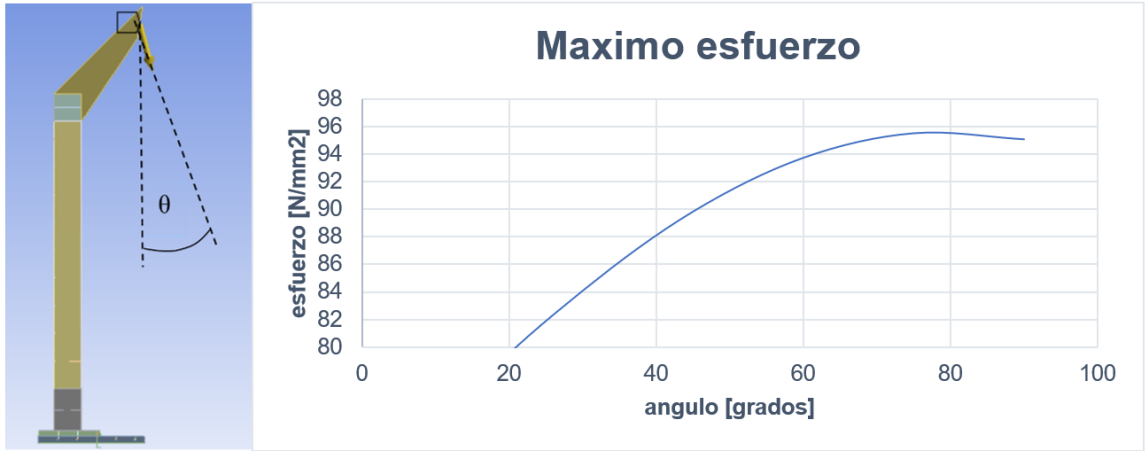


Figura G.4 Esfuerzo desarrollado vs el ángulo de tensión

Por otro lado, la deformación máxima ocurre en la parte superior del mástil, 4,47 cm que corresponde al 0,33% del largo del mástil ver Figura G.5.

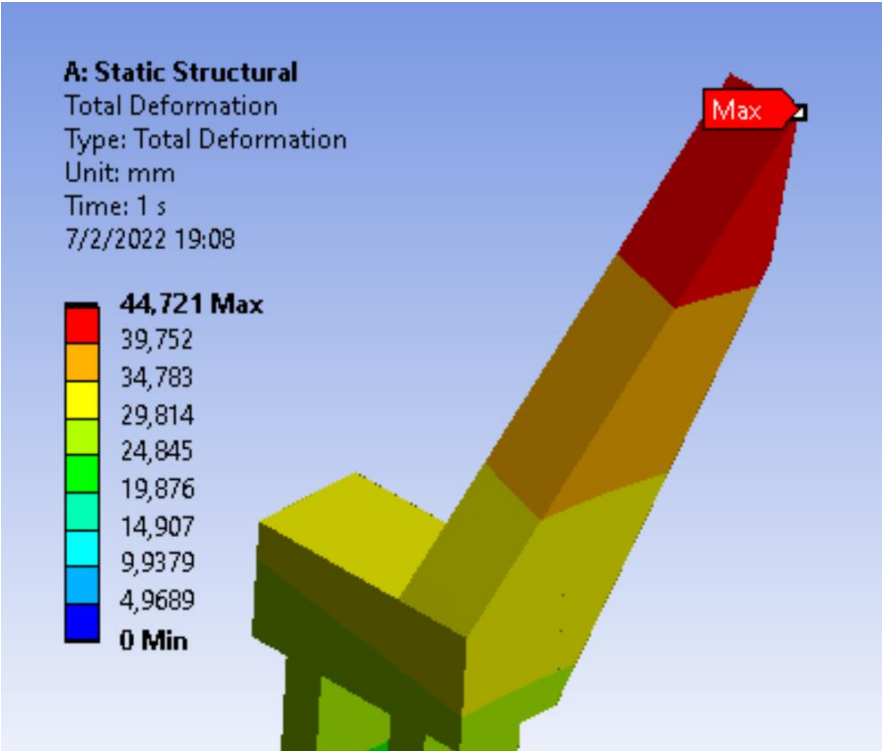


Figura G.5 Deformación máxima en el mástil

APÉNDICE H

TIEMPO DE REABASTECIMIENTO

El tiempo de reabastecimiento por buque se obtuvo a partir de la tasa de transferencia de carga sólida, los caudales dados por el sistema de trasvase de combustible y agua dulce, los cuales, fueron relacionados con las capacidades de los buques de la clase A y B que operan en la ZEE Insular, ver Tabla H.1. Los resultados muestran que rango de transferencia de carga se encuentra entre 1 hora 48 min y 2 horas 13 min.

Tabla H.1 Capacidades de buques de patrullaje y tasa de transferencia de carga

Buque	Combustible [Gal]	Agua dulce [Gal]	Carga sólida [ton]
Clase A	50000	8000	10
Clase B	25000	8000	10

Caudal Combustible	1000	GPM
Caudal Agua Dulce	110	GPM
Transferencia de carga sólida	2	Ton.min

A continuación, se detalla el cálculo del porcentaje de incremento de operaciones de patrullaje si se implementara el buque. Se consideró que el reabastecimiento en Baltra se realiza cada 15 días y en el continente cada 3 meses, además del tiempo de traslado es de 1 y 6 días respectivamente. El escenario actual indica que se considera 315 días anuales para operaciones, si se incrementa 41 días se obtendría un 13% de aumento de operaciones.

Tabla H.2 Tiempo actual de reabastecimiento anual por buque

	n veces	traslado [días]	traslado anual [días]
Reabastecimiento en Baltra (quincenal)	17	1	17
Reabastecimiento en Guayaquil (trimestral)	4	6	24
		Total anual	41