

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA NAVAL**



**REDISEÑO HIDRODINÁMICO Y ESTRUCTURAL DE UN BUQUE  
OCEANOGRÁFICO PARA LA NAVEGACIÓN E INVESTIGACIÓN  
CIENTÍFICA EN EL LITORAL PERUANO Y EN EL MAR DE LA  
ANTÁRTIDA A TRAVÉS DE IMARPE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO NAVAL**

**AUTOR**

**LUIS ENRIQUE PAREDES VARGAS**

**ASESOR**

**MANUEL ARCENIO URCIA LARIOS**

**<https://orcid.org/0000-0003-2330-1300>**

**Chiclayo, 2022**

**REDISEÑO HIDRODINÁMICO Y ESTRUCTURAL DE UN  
BUQUE OCEANOGRÁFICO PARA LA NAVEGACIÓN E  
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL LITORAL PERUANO  
Y EN EL MAR DE LA ANTÁRTIDA A TRAVÉS DE IMARPE**

PRESENTADA POR

**LUIS ENRIQUE PAREDES VARGAS**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO NAVAL**

APROBADA POR

Alexander Querevalú Morante

PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza

SECRETARIO

Manuel Arcenio Urcia Larios

VOCAL

## **Dedicatoria**

A Dios por ser quien me guío y me fortaleció en todo momento, gracias por darme una familia maravillosa y amigos con quienes puedo confiar.

A mis padres por todos los consejos y por siempre estar pendientes de mí y apoyarme con tanto cariño.

A mi hermana por compartirme sus sueños y alegrías y por ser parte importante de mi familia.

A mis abuelos por sus consejos de superación y sus alientos para seguir adelante, por ellos, gracias por fortalecer este sentimiento de empuje y perseverancia.

## **Agradecimientos**

Un agradecimiento especial por todo el apoyo metodológico y profesional para la orientación en el desarrollo de esta tesis al Dr. Manuel Urcia Larios, esta tesis no hubiera sido posible sin su participación. Asimismo, gracias por la gran cantidad y calidad de saberes brindados en este tiempo.

Así mismo agradecemos a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a la Facultad de Ingeniería; y en especial, a nuestra querida Escuela de Ingeniería Naval y a toda su planta docente, por los conocimientos y orientación impartidos durante nuestra formación profesional.

# Tesis 100%

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://oa.upm.es">oa.upm.es</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://docshare04.docshare.tips">docshare04.docshare.tips</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://cummins.com.au">cummins.com.au</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://es.wikipedia.org">es.wikipedia.org</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://www.proteccioncivil.es">www.proteccioncivil.es</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://www.imarpe.pe">www.imarpe.pe</a> Fuente de Internet	<1%

---

# Índice

Resumen .....	13
Abstract.....	14
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
1.2.1. Objetivo General .....	18
1.2.2. Objetivos Específicos.....	18
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Antecedentes del problema.....	19
2.2. Fundamento Teórico .....	21
2.2.1. Cuerpo flotante o flotador .....	21
2.2.2. Buque.....	21
2.2.3. Casco.....	21
2.2.4. Geometría del buque .....	21
2.2.5. Registros de clasificación .....	27
2.2.6. Parámetros meteorológicos de diseño.....	28
2.2.7. Materiales.....	29
<b>III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>30</b>
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	30
3.1.1. Enfoque.....	30
3.1.2. Tipo .....	30
3.2. Diseño de la investigación .....	30
3.2.1. Población y muestra .....	30
3.2.2. Criterios de selección.....	30
3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	30
3.2.4. Procesamiento de recolección de datos .....	30
3.3. Diagrama Metodológico.....	31
3.4. Matriz de consistencia.....	32
<b>IV. ANÁLISIS Y DISEÑO.....</b>	<b>33</b>
4.1. Autonomía.....	33
4.1.1. Autonomía de navegación.....	33
4.1.2. Autonomía operativa.....	37
4.2. Diseño de formas .....	39
4.2.1. Consideraciones generales.....	39
4.2.2. Modelado del bulbo .....	39
4.2.3. Diseño de formas del casco .....	47
4.3. Predicción de la potencia y la elección del aparato motor .....	52
4.3.1. Cálculo de la resistencia y potencia efectiva .....	52

4.3.2.	Selección del motor .....	54
4.4.	Escantillonado y estructuras .....	57
4.4.1.	Datos para el escantillonado .....	57
4.4.2.	Materiales.....	57
4.4.3.	Diseño de cargas de hielo .....	59
4.4.4.	Características de la carga de impacto de hielo.....	59
4.4.5.	Cálculo de espesores.....	64
4.4.6.	Dimensionamiento de refuerzos .....	69
4.5.	Equipamiento y Compartimentación .....	73
4.5.1.	Sala de máquinas/Propulsión .....	73
4.5.2.	Bodegas y Tanques .....	78
V.	ECONOMÍA DEL PROYECTO.....	79
5.1.	Programa de proyecto.....	79
5.1.1.	Cronograma de trabajo .....	79
5.1.2.	Módulos de construcción .....	80
5.1.3.	Presupuesto proyectado .....	84
VI.	RESULTADOS.....	85
6.1.	Características hidrostáticas .....	85
6.2.	Diseño de formas .....	87
6.2.1.	Evaluación de eficiencia de la instalación del bulbo.....	87
6.2.2.	Evaluación de diseño de la zona de popa para la instalación de azimutales .....	88
6.3.	Predicción de la potencia efectiva .....	91
6.3.1.	Curva de Resistencia al avance – Velocidad .....	93
6.3.2.	Curva de Potencia – Velocidad .....	95
6.4.	Estabilidad .....	97
6.4.1.	Criterios de estabilidad .....	97
VII.	CONCLUSIONES.....	101
VIII.	RECOMENDACIONES.....	103
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104
X.	ANEXOS.....	106

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de eslora .....	22
Tabla 2: Tipos de calados.....	23
Tabla 3: Clase Polar IACS - Lloyd's Register.....	28
Tabla 4: Definición de Condiciones de hielo de la WMO .....	29
Tabla 5: Distancias en millas de la ruta de navegación.....	35
Tabla 6: Datos para el cálculo del volumen de combustible.....	36
Tabla 7: Dimensiones principales del buque base "BIC José Olaya Balandra" .....	39
Tabla 8: Datos del buque Oceanográfico .....	42
Tabla 9: Evaluación de criterios de diseño.....	42
Tabla 10: Ángulos del casco obtenido del modelado 3D.....	50
Tabla 11: Resultado de los ángulos del casco de la nave proyecto .....	51
Tabla 12: Resultado de análisis de resistencia obtenido del MaxSurf Resistance .....	54
Tabla 13: Modelos de Azimutales EcoPeller – Shottel.....	56
Tabla 14: Modelos KTA19 de motores Cummins .....	56
Tabla 15: Dimensiones principales de la nave Oceanográfica.....	57
Tabla 16: Clase de material II de los elementos estructurales .....	58
Tabla 17: Clase de material I de los elementos estructurales.....	58
Tabla 18: Valores de K <sub>I</sub> .....	58
Tabla 19: Factores polares.....	59
Tabla 20: Factores polares con respecto a la clase polar PC7.....	60
Tabla 21: Factores de presión.....	62
Tabla 22: Valores de factores de diseño según la zona del casco .....	63
Tabla 23: Espesor del revestimiento del casco.....	64
Tabla 24: Datos de diseño M <sub>I</sub> .....	65
Tabla 25: Datos de diseño M <sub>i</sub> .....	67
Tabla 26: Resultados de espesores de plancha.....	68
Tabla 27: Datos obtenidos de la zona M <sub>I</sub> .....	70
Tabla 28: Datos obtenidos de la zona M <sub>i</sub> .....	71
Tabla 29: Dimensionamiento de los refuerzos estructurales.....	72
Tabla 30: Dimensiones del Motor marino Cummins KTA19.....	73
Tabla 31: Modelos de Bow Thruster - SCHOTTEL .....	77
Tabla 32: Distribución de las bodegas .....	78
Tabla 33: Distribución de los tanques de combustible.....	78
Tabla 34: Distribución de los tanques de agua fresca .....	78
Tabla 35: Distribución de otros tanques.....	78
Tabla 36: Costo total de estadía, mantenimiento del BO en el astillero DM SAC. ....	79
Tabla 37: Peso total de la Estructura del fondo.....	82
Tabla 38: Peso de acero trabajado entre M64-C70 .....	83
Tabla 39: Peso de acero trabajado del Bulbo .....	83
Tabla 40: Resumen del Presupuesto Final - Rediseño del Buque BIC .....	84
Tabla 41: Comparación de Dimensiones Principales de la nave proyecto .....	86
Tabla 42: Resultados de parámetros de diseño de instalación de un Azimutal.....	90

Tabla 43: Resultados de la simulación - Buque Base .....	91
Tabla 44: Resultados de la simulación - Buque proyecto .....	92
Tabla 45: Resultados comparativos del análisis hidrodinámico .....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plano de líneas de formas .....	22
Figura 2: Dimensiones principales .....	24
Figura 3: Plano de flotación .....	24
Figura 4: Vista isométrica de carena .....	25
Figura 5: Vista isométrica de la sección maestra .....	25
Figura 6: Vista transversal de la sección maestra .....	26
Figura 7: Mapa de la Antártida .....	33
Figura 8: Ubicación del campamento antártico Machu Picchu.....	34
Figura 9: Ruta de navegación.....	35
Figura 10: Comportamiento de onda de un casco sin bulbo vs con bulbo (Kracht) .....	40
Figura 11: Tipos de Bulbo.....	41
Figura 12: Parámetros lineales y no lineales del bulbo .....	43
Figura 13: Modelado del bulbo tipo $\nabla$ en Rhinoceros .....	46
Figura 14: Líneas de formas del buque base en la vista longitudinal .....	47
Figura 15: Líneas de formas del buque base en la vista transversal .....	48
Figura 16: Líneas de formas del buque base en la vista horizontal.....	48
Figura 17: Vista 3D del buque modificado .....	48
Figura 18: Definición de ángulo del casco .....	49
Figura 19: Ventana principal del MaxSurf Resistance.....	52
Figura 20: Opciones de Análisis de Resistencia al avance .....	52
Figura 21: Parámetro de velocidad.....	53
Figura 22: Parámetro de eficiencia.....	53
Figura 23: Resultados del análisis de la resistencia al avance .....	54
Figura 24: Requerimientos del grado de acero para la carena y obra muerta .....	57
Figura 25: Áreas de análisis del casco .....	59
Figura 26: Ángulos según la dirección de los refuerzos .....	65
Figura 27: Áreas del casco – Zona MI: zona media baja del casco .....	65
Figura 28: Áreas del casco – Zona Mi: zona media baja del casco .....	67
Figura 29: Geometría del refuerzo .....	69
Figura 30: Motor marino KTA19.....	73
Figura 31: Azimutal EcoPeller SRE150 - Schottel .....	74
Figura 32: Dimensión vertical del engranaje cónico superior – SCHOTTEL .....	75
Figura 33: Esquema del Sistema combinado SSP Diésel – Eléctrico .....	76
Figura 34: Diagrama de funcionamiento del Bow Thruster.....	77
Figura 35: Ventana principal del programa MS Project – Plan de proyecto BO .....	79
Figura 36: Vista Longitudinal del BIC Olaya .....	80
Figura 37: Vista Longitudinal del BIC Olaya Rediseñado .....	80
Figura 38: Zona de popa del casco base.....	81
Figura 39: Vista transversal del Mamparo 7 - Casco base.....	81
Figura 40: Estructura del fondo del caso base.....	82
Figura 41: Vista de región de proa - Casco base.....	82
Figura 42: Modelado 3D de Bulbo del buque proyecto .....	83

Figura 43: Resultados Hidrostáticos del buque base.....	85
Figura 44: Ángulos de entrada de la unión del Azimutal-Casco [24].....	88
Figura 45: Ángulos de inclinación para la instalación de un Azimutal [24].....	89
Figura 46: Vista longitudinal de la zona de popa del BO .....	89
Figura 47: Simulación hidrodinámica - Buque Base .....	91
Figura 48: Simulación Hidrodinámica - Buque proyecto .....	92
Figura 49: Ventana de análisis del MaxSurf Stability.....	97

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Coeficiente de Bloque vs Parámetros de Volumen y Calado .....	44
Gráfico 2: Parámetros de Área Transversal vs Volumétricos .....	45
Gráfico 4: Diagrama de superposición del N°Froude y Cb de Watson/Gilgillan [21] .....	87
Gráfico 5: Curva Resistencia al avance vs Velocidad - Casco base .....	93
<i>Gráfico 6: Curva Resistencia al avance vs Velocidad – Casco proyecto .....</i>	<i>94</i>
Gráfico 7: Curva de Potencia vs Velocidad - Casco base .....	95
Gráfico 8: Curva de Potencia vs Velocidad – Casco Proyecto .....	96
Gráfico 9: Curvas Hidrostáticas .....	98
Gráfico 10: Curva de áreas .....	99
Gráfico 11: Diagrama de las curvas de Bonjean .....	100

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Clasificación de buques según la Lloyd's Register .....	106
Anexo 2: Plano de Líneas de Formas .....	107
Anexo 3: Plano de la Cuaderna Maestra .....	108
Anexo 4: Plano de Curvas Hidrostáticas .....	109
Anexo 5: Guía de producto EcoPeller SRE – SCHOTTEL .....	110
Anexo 6: Catálogo de Motores KTA19– Cummins .....	111
Anexo 7: Catálogo Schottel Rim Thruster .....	112
Anexo 8: Plano de Disposición General .....	113
Anexo 9: User Manual - AZP100 CP .....	114
Anexo 10: Plan del Proyecto: Rediseño Hidrodinámico y estructural del BO .....	115

## Resumen

Los buques oceanográficos están equipados para llevar a cabo misiones de investigación científica: analizando las características biológicas y físicas del océano, o realizando tareas de observación meteorológica e hidrográfica del mar. Con estos propósitos, las naves científicas se diseñaron para estudiar innumerables actividades oceanográficas. En la actualidad, los buques de investigación oceanográficas de IMARPE, adquiridos hace décadas, no cuentan con una infraestructura hidrodinámica adecuada que les permita navegar por el océano Antártico. Por este motivo, se plantea un rediseño hidrodinámico de este tipo de navíos, realizando modificaciones en los sistemas de propulsión, maniobrabilidad y forma del casco; además, se pretende disminuir su impacto ambiental, que, a su vez, cumplan con los reglamentos internacionales de las sociedades de clasificación marítima. Para esto, se utilizará el software MaxSurf, donde se diseñará el buque con las modificaciones correspondientes, se harán los respectivos análisis hidrodinámicos, resistencia y maniobrabilidad. Además, en todo el proceso se empleará el reglamento de Lloyd's Register, proporcionando los estándares apropiados para la construcción y diseño del buque oceanográfico

**Palabras clave:** buque oceanográfico, hidrodinámica, investigación científica en la Antártida.

## **Abstract**

Oceanographic vessels are equipped to carry out scientific research missions: analyzing the biological and physical characteristics of the ocean, or carrying out meteorological and hydrographic observation tasks of the sea. For these purposes, science ships were designed to study innumerable oceanographic activities. Currently, IMARPE's oceanographic research vessels, acquired decades ago, do not have an adequate hydrodynamic infrastructure that allows them to navigate the Antarctic Ocean. For this reason, a hydrodynamic redesign of this type of ships is proposed, making modifications to the propulsion systems, maneuverability and shape of the hull; In addition, it is intended to reduce its environmental impact, which in turn, comply with the international regulations of maritime classification societies. For this, the MaxSurf software will be used, where the ship will be designed with the corresponding modifications, the respective hydrodynamic, resistance and maneuverability analyzes will be made. In addition, the Lloyd's Register regulations will be used throughout the process, providing the appropriate standards for the construction and design of the oceanographic vessel.

**Keywords:** oceanographic vessel, hydrodynamics, scientific research in Antarctica.

## I. INTRODUCCIÓN

A través de los años, la tierra ha estado en constante evolución, el punto de inflexión más importante fue la aparición de los océanos hace millones de años. Esto permitió la primera aparición de vida en el planeta. Este recurso hídrico, básico para la existencia de todo ser vivo, es el 71% de la superficie de todo el mundo y se estima que el volumen total de agua es aproximadamente 1, 386 millones de km<sup>3</sup>. [2]

Esto indica la gran importancia que tiene este recurso y por tanto el interés del estudio del medio acuático. A través de la investigación se obtienen los conocimientos que permiten comprender mejor el ambiente donde vivimos y sus cambios constantes, prepararnos para ellos e incluso mitigar los efectos perjudiciales que dichas alteraciones pudieran generar, por ejemplo, los cambios producidos por la acción humana, que por todos es sabido, en ocasiones ha causado estragos en la naturaleza. [2]

La única solución para realizar este estudio requiere de una máquina especializada tecnológicamente avanzada, personal capacitado y laboratorios donde se puedan analizar los resultados. Como no es rentable construir un laboratorio en medio del mar, se debe recurrir a construir una plataforma desplazante y capaz de albergar todo el laboratorio y personal de investigación. Para esto, la utilización de buques especializados para la investigación es indispensable, capaces de realizar misiones de estudio tanto del medio hidrográfico. [2]

La dirección de investigaciones oceanográficas y cambio climático (DGIOCC), es el órgano encargado de realizar las investigaciones científicas y tecnológicas del IMARPE sobre los procesos oceanográficos físicos, químicos, biológicos y geológicos, aplicando herramientas observacionales, experimentales y de modelado. Asimismo, de diagnosticar y pronosticar la evolución de las condiciones oceanográficas, para contribuir al manejo racional de los recursos pesqueros, de conformidad con los dispositivos legales vigentes. Sin embargo, este organismo cuenta con buques antiguos, las cuales no cumplen con las exigencias de la investigación y de la navegación en el mar Antártico. [1]

Para seguir expandiendo la investigación científica hasta la Antártida, IMARPE, requiere de un buque oceanográfico moderno capaz de navegar por dicho océano. Estas naves especiales para investigación son herramientas para realizar investigaciones

oceanográficas, mediante observaciones directas y el despliegue de sensores o vehículos autónomos. [1]

Estos buques antiguos, requieren una renovación en la forma de su casco, para que puedan navegar por el océano Antártico tomando como referencia los actuales reglamentos de clasificación establecidas por Lloyd's Register. Además, se modificará el sistema de propulsión teniendo en cuenta las bases de los requerimientos del armador, lo cual conlleva a cambiar el tipo de hélice por un azimutal (combinación de hélice y timón para la maniobrabilidad y ahorro de espacio para su instalación). Además, se utilizará las guías de la ITTC (International Towing Tank Conference) para el análisis de la resistencia al avance de la nave. [1], [5]

Al realizar todas las modificaciones correspondientes requeridas por el armador, se obtendrá un buque moderno OC que cumpla con las exigencias de navegación óptimas y avalado por los reglamentos internacionales actuales de construcción para sus diversas operaciones de investigación biológica, geológica, físicas químicas, meteorológicas e hidrográficas del mar de la Antártida y del litoral peruano. [1]

## **1.1.JUSTIFICACIÓN**

### **1.1.1. Social**

Las nuevas características del buque de investigación garantizarán a los tripulantes y científicos a bordo continuar con sus labores de investigación hidrográficas en la Antártida. Además, proveerá a la tripulación el confort necesario para seguir con sus actividades de investigación en el polo sur con ambientes climatizados para soportar las bajas temperaturas.

### **1.1.2. Económica**

Las modificaciones estructurales y la implementación de un bulbo en proa, garantizarán un desplazamiento eficiente disminuyendo la resistencia al avance y, por ende, la potencia necesaria para la propulsión se reducirá. Lo cual, es de suma importancia para el ahorro de combustible, debido a que consumirá una cantidad menor a diferencia del buque base. Ante esto, el costo de combustible necesario en la propulsión la nave para realizar operaciones, será menor.

### **1.1.3. Tecnológica**

Con respecto al problema del proyecto, el buque debe modificarse para obtener la capacidad polar de navegar en la Antártida. Para ello, se ha tomado en cuenta diversos estudios científicos y experimentales. En la modificación del casco del buque, se ha utilizado el desarrollo de las series sistemáticas, aplicando el método de derivación de carena; donde, a partir de un buque base se realiza la derivación de la forma del casco según los requerimientos del armador. Además, para el diseño y análisis hidrodinámico, se ha utilizado las variantes recomendadas del programa MaxSurf. Todo esto sustentado conforme a los reglamentos de Lloyd's Register.

### **1.1.4. Ambiental**

Al aplicar el estudio experimental y el uso de software para los respectivos cálculos estructurales y análisis hidrodinámicos no generan ningún daño medioambiental. Además, estas ventajas tecnológicas ayudarán a rediseñar un buque con mayor sostenibilidad ambiental, realizando algunas modificaciones en el sistema propulsivo para disminuir su contaminación.

## **1.2.OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Rediseñar la forma del casco – sistema propulsivo y estructural de un buque Oceanográfico para la navegación e investigación científica en el litoral peruano y en el mar de la Antártida

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la misión de la nave según los requerimientos del armador (IMARPE) en cuanto refiere a logística de transporte, ruta, capacidad de carga y velocidad para la investigación y navegación en el océano de la Antártida y litoral peruano.
- Utilizar el método de derivación (Series Sistemáticas) más apropiado para generar la nueva forma de carena para este tipo de naves especiales.
- Calcular la resistencia total y la potencia efectiva del buque proyecto seleccionando el sistema de propulsión y maniobrabilidad para la misión a la cual está destinada, utilizando las variantes recomendadas del software MaxSurf.
- Diseñar el buque con las modificaciones hidrodinámicas y estructurales correspondientes con el software MaxSurf, Rhinoceros y AutoCAD, y con la sociedad de clasificación Lloyd's Register.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del problema

En [3] se explica cómo se debe de analizar los distintos elementos que componen cada uno de los sistemas de un buque oceanográfico, con el fin de determinar los elementos estructurales más vulnerables e implementar un mantenimiento. Como correlación al presente proyecto de investigación, se vincula con el análisis estructural del casco para determinar los elementos más vulnerables de un buque oceanográfico.

En [7] se explica cómo es el diseño de una línea de ejes de un buque Oceanográfico tomando en cuenta las diversas condiciones de navegación y condiciones climáticas muy adversas, además, estas naves especiales deben estar acondicionadas para las tareas de investigación científica en mares y océanos. Como correlación a la presente investigación, se vincula el estudio de un sistema propulsivo adecuado para las diferentes condiciones de navegación de un buque Oceanográfico.

En [8] se describe el desarrollo de nuevos mecanismos de control de movimiento simplificando y mejorando el sistema de propulsión convencional de un buque. En correlación con el presente proyecto, se vincula su estudio para la aplicación de estos nuevos sistemas propulsivos al rediseño del buque de investigación.

En [4] se desarrolla la implementación del código de categorización de buques para una navegación segura por el océano Antártico. En correlación al presente tema de investigación, se relacionan los diferentes requerimientos que debe poseer un buque para que pueda navegar sin problemas por el mar Antártico.

En [9] se explica cómo se realiza el cálculo y el diseño de un casco capaz de soportar las condiciones climáticas y marítimas de un buque rompehielos; además, señala las características estructurales de la nave para evitar el atasco con el hielo. En correlación al presente proyecto, se vincula el estudio del casco del rompehielos como modelo para la modificación estructural del buque oceanográfico.

En [5] se explica cómo es el diseño preliminar de un buque oceanográfico utilizando la metodología de la espiral de diseño, y del proceso analítico jerárquico para la toma de decisiones AHP para la calificación y clasificación de los requerimientos entregados por el armador con el fin de garantizar con esto la calidad que debe tener el cliente en relación

con las necesidades del buque. En correlación a la presente investigación, se tomarán parámetros de diseño requeridos en la construcción de una nave de investigación.

En [10] se interpreta cómo se proyecta una planta propulsora de un buque oceanográfico, así como también los sistemas auxiliares, de combustible, de arranque, de refrigeración y ventilación. En correlación al presente proyecto de investigación, se vincula parámetros necesarios en la propulsión de un buque de investigación científica.

## **2.2.Fundamento Teórico**

### **2.2.1. Cuerpo flotante o flotador**

Es un cuerpo delimitado por una superficie cerrada y continua (tal que se puedan utilizar los métodos de análisis matemática), que en condiciones de equilibrio es atravesada por la superficie libre de un fluido. [9]

### **2.2.2. Buque**

El buque es un medio que debe desarrollar un particular tipo de servicio (misión), desde el transporte de cosas y/o personas al desarrollo de actividades de trabajo (pesca, dragado, acciones militares, recreo, etc.), con la confianza de navegar en total autonomía y en seguridad, en una vía marítima, donde estará sometida a corrientes y a diferentes condiciones meteomarinadas adversas. [9]

### **2.2.3. Casco**

En el buque, constituye el cuerpo impermeable y resistente, siendo el conjunto de los elementos que constituyen las estructuras del buque; está constituido del forro que viene a ser el revestimiento externo del buque y de las estructuras internas, cumpliendo con la misión de resistir a los esfuerzos generados de las cargas internas y externas de la nave. [9]

### **2.2.4. Geometría del buque**

#### ***2.2.4.1.Plano de construcción***

Esta representación gráfica es uno de los planos más primordiales de una nave; ya que, revela todos los elementos fundamentales para el desarrollo del proyecto, tales como: volúmenes y centros de carena, flotabilidad, momentos de inercia, metacentros, coeficientes del casco, etc.; así como los datos necesarios para el cálculo de las resistencias, velocidad y estabilidad del casco. [9]

Este plano también conocido como plano de líneas de formas, se proyecta, en la relación de escala elegida de una embarcación, en sus tres planos tridimensionales detallando las secciones longitudinales, horizontales y transversales. Para formas de cascos muy elaborados, se añaden secciones diagonales. En cuanto a su desarrollo, debe ser a base de parámetros y cálculos preliminares que verifiquen el cumplimiento

del proyecto con las principales condiciones que exigen las sociedades de clasificación. [9]

De esta manera, el diseño del plano de líneas de formas será absolutamente la expresión gráfica de un problema científicamente desarrollado, y no algo intuitivo o artístico del proyectista. [9]

A continuación, se muestra una representación gráfica de las líneas de formas de un buque:

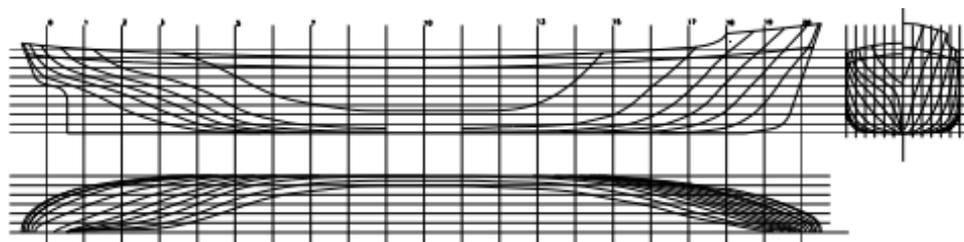


Figura 1: Plano de líneas de formas

#### 2.2.4.2. Dimensiones principales

- Eslora/length/lunghezza: es una de las dimensiones principales que expresa la longitud de un buque, según los registros de clasificación, estas magnitudes longitudinales pueden ser: [9]

MAGNITUD	ABREVIATURA	DESCRIPCIÓN
Eslora fuera por fuera/length over all	$L_{FF} - L_{OA}$	Es la eslora definida por la estructura del casco, excluyendo cualquier saliente.
Eslora de la línea de flotación de carga/load water line	$L_F - L_{WL}$	Es la medida longitudinal del plano de flotación a plena carga.
Eslora entre perpendiculares/length between perpendiculars	$L_{PP} - L_{BP}$	Es la eslora medida entre la perpendicular que cruza por el eje del timón hasta la perpendicular que intercepta la proa con la línea de flotación a plena carga. $L_{BP} > 96\% L_{wl}$
Eslora de la línea de flotación de diseño/signed water line	$L_D - D_{WL}$	Es la dimensión que se utiliza para la proyección del buque, en general, coincide con la del desplazamiento esperado a plena carga.

Tabla 1: Tipos de eslora

- Manga/beam - breadth/larghezza: es la magnitud que se refiere al ancho del casco de una nave, si se hace referencia a los elementos de cálculo, el ancho máximo es el máximo en cualquier punto de la sección maestra, y puede llamarse también

“manga moldeada/moulded”. Se abrevia con la letra B, por las terminologías en inglés de “beam o breadth”, siendo medido a una altura máxima del bao; cuando la medida se realiza en la línea de flotación, esta se indica con  $B_{LWL}$  o  $B_{WL}$ ; cuando la manga en cubierta es menor que la manga en la línea de flotación, se crea una abertura en los costados del buque, denominadas como “tumble home”. [9]

- Puntal: es una medida de clasificación o tonelaje y se determina según lo indicado por los reglamentos; esta altura de construcción se mide desde la línea base hasta la recta del bao del puente principal y se indica con la letra D (en inglés “depth” que significa profundidad). [9]
- Línea base: es la línea horizontal tangente a la cara inferior de la quilla en la sección maestra de una nave. En los planos se indica con BL o LB. [9]
- Inmersión o calado/draught: como símbolo es indicado internacionalmente por la letra T (proviene del francés “tirant d’eau”). Es la distancia vertical entre el plano de flotación y la línea bajo la quilla. Se pueden distinguir los siguientes tipos: [12]

TIPO DE CALADO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Calado en proa/forward draught	$T_F$	Medido en la perpendicular de proa entre la línea de flotación y la línea bajo la quilla.
Calado en popa/aft draught	$T_A$	Medido en la perpendicular de popa entre la línea de flotación y la línea bajo la quilla.
Calado al medio/midship draught	$T_M$	Medido en la perpendicular al medio entre la línea de flotación y la línea bajo la quilla.
Calado medio/mean draught	$T_m$	Es dado por la relación: $T_m = \frac{1}{2} (T_A + T_F)$

Tabla 2: Tipos de calados

- Francobordo/free-board: es una medida que es de gran importancia a efectos de la estabilidad. En los buques de acero, es la distancia entre la eslora de la línea de flotación LWL y la intersección de la cara superior del bao de la cubierta principal con el casco; mientras que, en los barcos de madera o fibra de vidrio, se toma la intersección de la cara superior de la cubierta principal con la exterior del entablado. [9] [12]

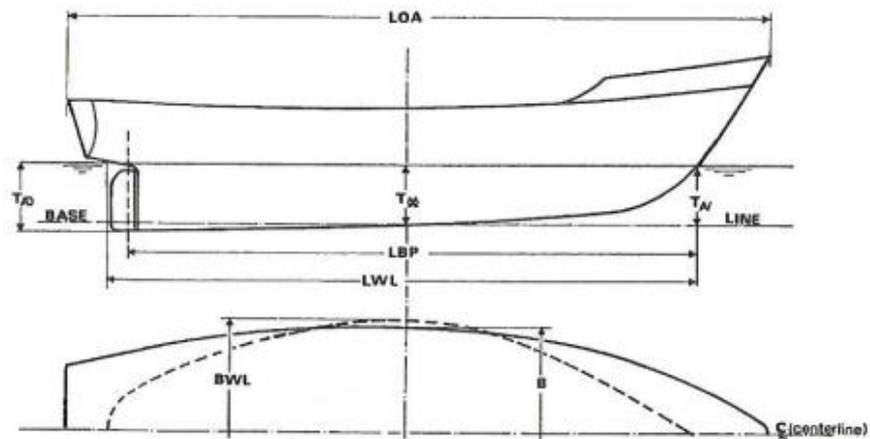


Figura 2: Dimensiones principales

### 2.2.4.3. Sección maestra

Corresponde a la sección transversal que tiene el mayor ancho y no necesariamente tiene que corresponder con la sección en la mitad de la longitud de LOA, LBP o LWL. El ángulo que forma la línea de fondo con el plano de la base se llama elevación del piso, técnicamente conocida como “astilla muerta”. [9]

### 2.2.4.4. Coeficientes de forma

Los coeficientes de carena se utilizan para realizar cálculos particulares, tanto estáticos como dinámicos de los buques.

- Coeficiente del plano de flotación ( $C_W$ ): este coeficiente se obtiene de la relación entre el área del plano de flotación ( $A_{WP}$ ) y el área del rectángulo circunscrito a él, cuyos lados son la eslora de flotación  $L_{WL}$  y la manga de flotación  $B_{WL}$ . [9] [12]

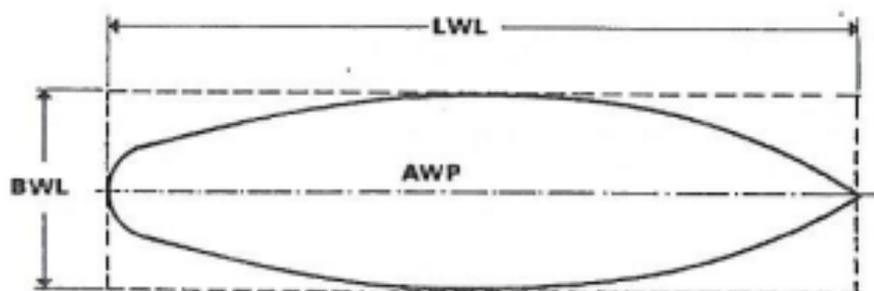


Figura 3: Plano de flotación

$$C_W = \frac{A_{WP}}{L_{WL} \times B_{WL}}$$

- Coeficiente de bloque ( $C_B$ ): se adquiere de la relación entre el volumen de la carena  $\nabla$  y el paralelepípedo circunscrito al propio casco delimitado por la eslora de flotación  $L_{WL}$ , la manga de flotación  $B_{WL}$  y el calado  $T$ . [9] [12]

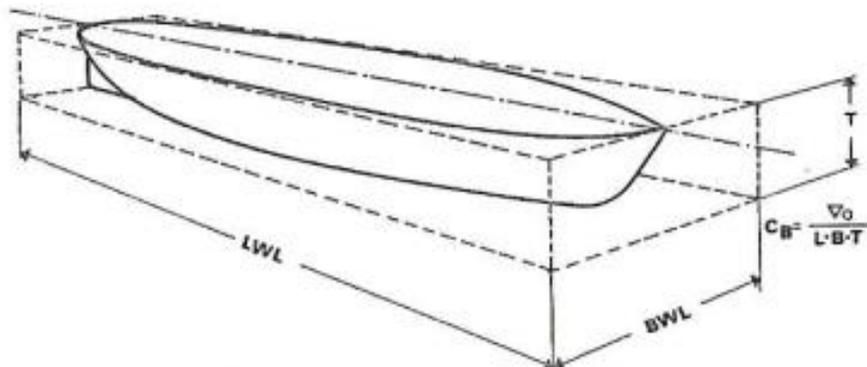


Figura 4: Vista isométrica de carena

$$C_B = \frac{\nabla}{L_{WL} \times B_{WL} \times T} \rightarrow \text{Volumen: } \nabla = \frac{\Delta}{\gamma}$$

- Coeficiente prismático ( $C_P$ ): se consigue dividiendo el volumen de carena  $\nabla$  por el volumen que resulta multiplicando el área inmersa de la sección maestra ( $A_X$ ) por la eslora de flotación correspondiente. [9] [12]

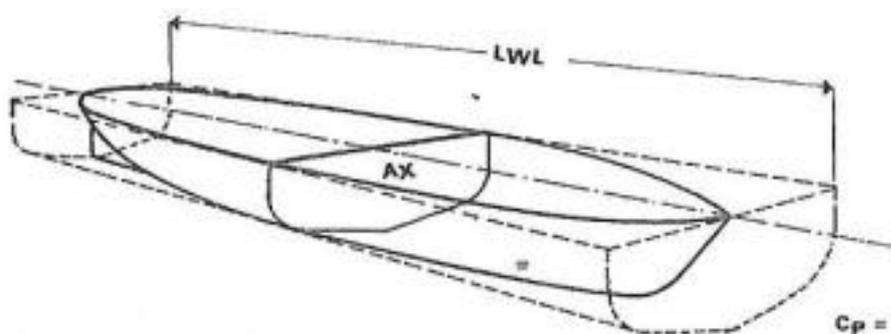


Figura 5: Vista isométrica de la sección maestra

$$C_P = \frac{\nabla}{A_X \times L_{WL}}$$

- Coeficiente de la sección maestra ( $C_x$ ): viene dada por la relación entre el área sumergida de la sección maestra y el área del rectángulo circunscrito a ella. [9] [12]

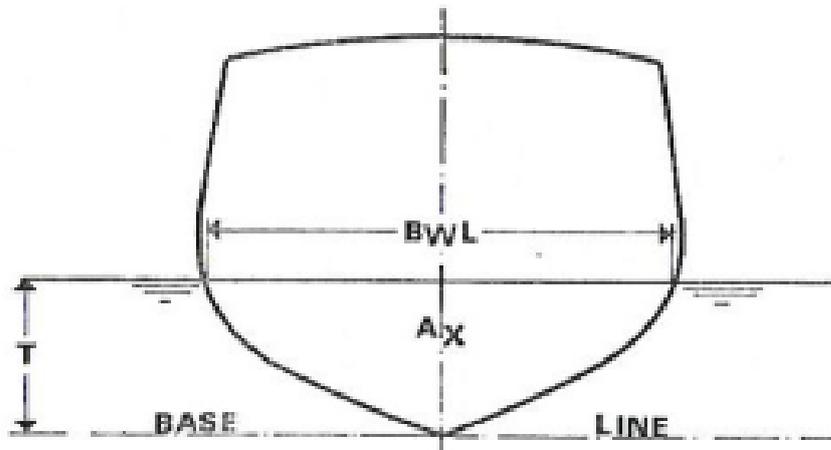


Figura 6: Vista transversal de la sección maestra

$$C_x = \frac{A_x}{B_{WL} \times T}$$

### 2.2.5. Registros de clasificación

En el ámbito Naval, existen organizaciones de grupos profesionales que desarrollan reglamentos de diseño para el casco, maquinaria y equipos de cualquier tipo de buque existente, con el fin de asegurar las vidas humanas y bienes a bordo; además, de velar por la protección del entorno del medio marino por la que navega. Todo esto es posible por el desarrollo de las normativas de las Sociedades de Clasificación, y para comprobar el cumplimiento de estos reglamentos durante la construcción de estas naves, estas entidades emplean inspectores, técnicos e ingenieros navales autorizados para inspeccionar buques u otras estructuras marinas y efectuar certificados en nombre del País bajo cuya bandera estén registrados dichas naves. [10]

Todos los estados requieren que las naves o estructuras marinas que operen bajo su bandera cumplan con ciertas normativas; mayormente ocurren cuando el buque tiene el certificado de cumplimiento de un miembro de la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS) o de alguna otra Sociedad de Clasificación autorizada. Este certificado garantiza la construcción y el mantenimiento de la nave asegurada para el fin para cual está construida. [10]

Las funciones que presentan las Sociedades de Clasificación abarcan diferentes puntos: determinan las reglas de construcción y de instalaciones de sistemas a bordo para la correcta navegabilidad y protección del pasaje y la carga; además, realizan inspecciones directamente en los astilleros navales de construcción y mantenimiento; otro punto importante, es el asesoramiento a los armadores y aseguradoras sobre el estado de los barcos en fabricación o reparación. [10]

La IACS es un consultor de la Organización Marítima Internacional (OMI), que dependen de la ONU, representa a las 10 Sociedades de Clasificación más importantes del mundo. Actualmente consta de los siguientes miembros: Lloyd's Register (LR), American Bureau of Shipping (ABS), Det Norske Veritas (DNV), Bureau Veritas (BV), China Classification Society (CCS), Germanischer Lloyd's (GL), Korean Register of Shipping (KR), Nippon Kaiji Sangyokai (NK), Registro Italiano Navale (R.I.N.A.) y Russian Maritime Register of Shipping (RS). [10]

### 2.2.5.1. Clasificación de los buques

Notación de tipo: Una notación que indica que el buque se ha dispuesto y construido de conformidad con Reglas particulares destinadas a aplicarse a ese tipo de buque. [11]

Según, Lloyd's Register, el buque se encuentra en la siguiente clasificación:

- Research ESP/ – C ✘ – Navegación sin restricciones Ice Class PC7 – Summer/autumn operation in this first-year ice which may include old ice inclusions

## 2.2.6. Parámetros meteorológicos de diseño

### 2.2.6.1. Capacidad polar

Según las normativas de las asociaciones internacionales de las Sociedades de Clasificación, IACS, se establecen 7 notaciones de clases polares; donde, estos niveles indican la capacidad operativa y la fuerza del buque, partiendo desde PC7 (con las condiciones mínimas) hasta el PC1 (capacidades y condiciones máximas). [11] A continuación, se tienen las siguientes notaciones:

Descripción	Notación	Condiciones
IACS Polar Ship Rules/IACS Normativas polares de Buques	Ice Class PC7/Clase de hielo PC7	Operación de verano / otoño en hielo delgado de primer año que puede incluir inclusiones de hielo viejo.
	Ice Class PC6/Clase de hielo PC6	Operación de verano / otoño en hielo medio de primer año que puede incluir inclusiones de hielo viejo.
	Ice Class PC5/Clase de hielo PC5	Operación durante todo el año en hielo medio del primer año que puede incluir inclusiones de hielo viejo.
	Ice Class PC4/Clase de hielo PC4	Operación durante todo el año en hielo grueso del primer año que puede incluir inclusiones de hielo viejo.
	Ice Class PC3/Clase de hielo PC3	Operación durante todo el año en hielo de segundo año que puede incluir inclusiones de hielo de varios años.
	Ice Class PC2/Clase de hielo PC2	Operación durante todo el año en condiciones de hielo moderadas durante varios años.
	Ice Class PC1/Clase de hielo PC1	Operación durante todo el año en todas las aguas polares.

Tabla 3: Clase Polar IACS - Lloyd's Register

Para este proyecto, según las capacidades operativas del buque oceanográfico, realizarán operaciones de verano/otoño en hielo delgado de primer año; por lo tanto, la clase polar correspondiente de análisis será el PC7.

### 2.2.6.2. Entorno polar

Esta condición de diseño es de suma importancia en cuanto a las evaluaciones de las condiciones de hielo y la temperatura en el momento de navegación, para determinar un límite de operaciones del buque referente a la clase polar elegida anteriormente. Además, este dato servirá para el proceso de escantillado de la nave, siendo un factor necesario para determinar las zonas más críticas por impacto de hielo y el espesor de plancha del casco. [11]

A continuación, se presentan las condiciones de hielo, optado por la Organización Meteorológico Mundial/World Meteorological Organisation's (WMO), definiendo los respectivos espesores de hielo:

<i>Condiciones de hielo</i>	<i>Espesor de hielo</i>
<i>Medio primer año</i>	1,2 m
<i>Delgado primer año, segunda etapa</i>	0,7 m
<i>Delgado primer año, primera etapa</i>	0,5 m
<i>Gris blanco (hielo no tan viejo)</i>	0,3 m
<i>Gris (incrustaciones viejas de hielo)</i>	0,15 m

Tabla 4: Definición de Condiciones de hielo de la WMO

Como se observa en la tabla, se definen diferentes condiciones de hielo, estos están sujetos a la clase polar; en este caso, por la clase polar seleccionada anteriormente, corresponde la condición de hielo delgado de primer año con un espesor máximo de 0,7 m.

### 2.2.7. Materiales

En la construcción naval, existe gran variedad de materiales (acero, aluminio, fibra de vidrio, de carbono, madera, etc.), como cada buque tiene una misión, el material utilizado debe ser apto para que dicha nave cumpla con su objetivo en todo su ciclo de vida.

De acuerdo con las exigencias de las Sociedades de Clasificación, estos especifican el tipo de material adecuado para la fabricación; en el caso de este proyecto, el buque está trabajado con acero naval ASTM 131 – Grado A; para las nuevas exigencias de navegación, se evaluará el refuerzo de plancha o el cambio de esta por un acero más resistente.

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

##### **3.1.1. Enfoque**

Para este proyecto, se ha tomado un enfoque de carácter cuantitativo, en donde el objetivo de la investigación se desarrolla a partir de un proceso deductivo a través de análisis estadísticos de una base de datos existente. Esta investigación se realiza a través de diferentes tipos de datos, documentos, resultados experimentales, observación, imágenes, etc.

##### **3.1.2. Tipo**

El presente proyecto es de tipo Aplicativo Correlacional – causa/efecto, esto indica que la investigación tiene el propósito de estudiar la correlación de dos o más variables y en qué forma interactúan entre sí para generar un diseño óptimo. Por ejemplo, la influencia del bulbo en la proa de un buque para disminuir su resistencia al avance, y así, disminuir los costes de combustible para su propulsión.

#### **3.2. Diseño de la investigación**

##### **3.2.1. Población y muestra**

- Población: son los buques Oceanográficos con capacidad polar capaces de navegar por zonas heladas del mar.
- La muestra corresponde a la carena del buque Oceanográfico base, el BIC José Olaya Balandra.

##### **3.2.2. Criterios de selección**

Los criterios para determinar las variables de la investigación, se toma en cuenta al objetivo principal, el cual es el rediseño hidrodinámico y estructural de un buque oceanográfico para la navegación en la Antártida. Esto corresponde a evaluar qué criterios se necesitan para desarrollar el proyecto.

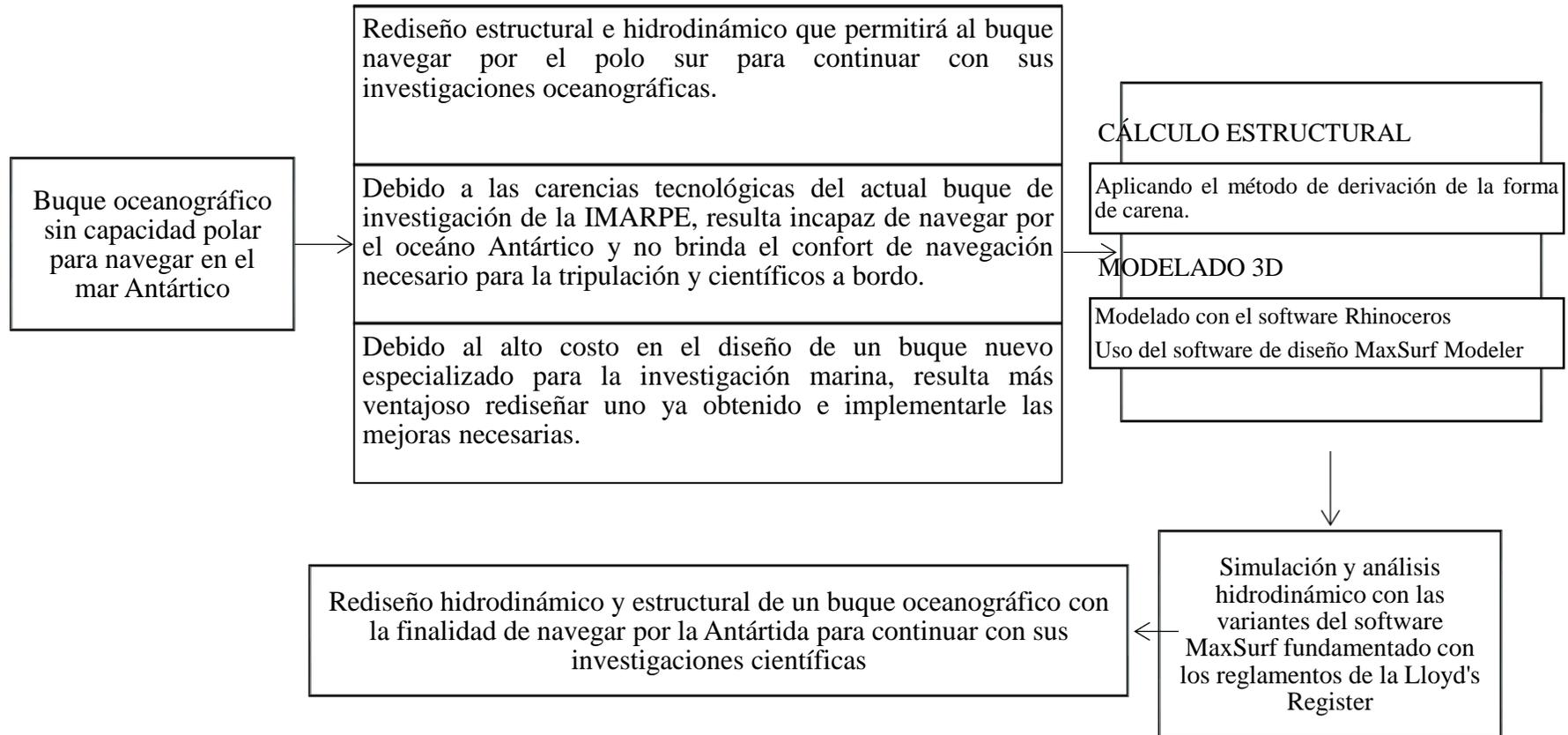
##### **3.2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recolección de datos para este proyecto se ha optado la recopilación de información a través de documentos ya existentes como base de datos, informes, tesis, libros, etc., los cuales nos permite acercarnos al objetivo de la investigación.

##### **3.2.4. Procesamiento de recolección de datos**

En cuanto a la información necesaria para realizar el estudio correspondiente del presente proyecto, es la búsqueda y el conocimiento de las características operacionales de la nave de investigación oceanográfica .

### 3.3. Diagrama Metodológico



### 3.4. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	
¿Cuál es el modelo estructural más adecuado para que el moderno buque oceanográfico cumpla con las exigencias de investigación y navegación en el litoral peruano y en el mar de la Antártida?	<b>GENERAL</b>		<b>INDEPENDIENTE</b>	<b>DISEÑO DE INVESTGACIÓN</b>  El presente proyecto es de tipo Aplicativo Correlacional – causa/efecto	
	Rediseñar la forma del casco, sistema propulsivo y estructural de un buque oceanográfico para la navegación y la investigación científica en el litoral peruano y en el mar de la Antártida.	Si se rediseña la forma del casco y los sistemas propulsivos y estructurales, entonces, permitirá al buque Oceanográfico navegar y continuar con sus investigaciones hidrográficas por el litoral peruano hasta el mar gélido de la Antártida.	Rediseño hidrodinámico y estructural de un buque Oceanográfico  INDICADORES:		
	<b>ESPECÍFICOS</b>		<b>DEPENDIENTE</b>	<b>TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>  En este proyecto de investigación tecnológica se usará la observación y el uso de innumerables fuentes sobre normas IACS, reglamentos de las Sociedades de Clasificación, etc.	
	Analizar la misión de la nave según los requerimientos del armador (IMARPE) en cuanto refiere a logística de transporte, ruta, capacidad de carga y velocidad para la investigación y navegación en el océano de la Antártida y litoral peruano.	Si se realiza un análisis de las capacidades operaciones de un buque oceanográfico, entonces, se podrá determinar los parámetros requeridos para que un buque de investigación pueda navegar por el mar de la Antártida.			Resistencia al avance (kgf)  Potencia Efectiva (kW)  Autonomía (Cantidad de combustible/Consumo por milla (kg/kg/milla))
	Utilizar el método de derivación (Series Sistemáticas) más apropiado para generar la nueva forma de carena para este tipo de naves especiales.	Si se utiliza el método de derivación de la forma de carena a partir de un buque base, entonces, se podrá rediseñar la nueva forma del buque proyecto			Comportamiento en mar agitado
	Calcular la resistencia total y la potencia efectiva del buque proyecto seleccionando el sistema de propulsión y maniobrabilidad para la misión a la cual está destinada, utilizando las variantes recomendadas del software MaxSurf.	Si se calcula la resistencia total y la potencia efectiva del buque proyecto utilizando las variantes recomendadas del software MaxSurf, entonces, se podrá seleccionar el sistema de propulsión y maniobrabilidad para la misión a la cual está destinada.			Escantillonado (mm)
Diseñar el buque con las modificaciones hidrodinámicas y estructurales correspondientes con los software MaxSurf, Rhinoceros y AutoCAD, y con la sociedad de clasificación Lloyd's Register	Si se diseña el buque con las modificaciones hidrodinámicas y estructurales correspondientes con el software MaxSurf Modeler y con la sociedad de clasificación Lloyd's Register, entonces, se podrá obtener la nueva forma hidrodinámica y estructural de la nave oceanográfica.	Capacidad polar para la navegación e investigación oceanográfica en el mar Antártico  INDICADORES:  Clases polares de la IACS – PC7			
		<b>POBLACIÓN Y MUESTRA</b>  Unidad de estudio:  La unidad de estudio será el rediseño de un buque Oceanográfico a partir de un buque base de la IMARPE.  La población serán los buques Oceanográficos con capacidad polar capaces de navegar por zonas heladas del mar.			

## IV. ANÁLISIS Y DISEÑO

### 4.1. Autonomía

Este parámetro de diseño se enfoca sobre la energía necesaria que requiere un buque para sus diferentes funciones durante su ciclo de vida como: la propulsión, alimentación de servicios a bordo (manipulación de la carga, navegación, sistemas de amarre, servicios de hotelería, etc.); además, este factor debe considerar la seguridad del buque, al tener los suficientes recursos para el correcto funcionamiento de los medios a bordo en caso de eventuales siniestros (sistemas contra incendios, abandono de nave, colisión inminente, etc.). Esta definición, puede derivarse en dos categorías: autonomía de navegación y operativa.

#### 4.1.1. Autonomía de navegación

Es expresada en millas, dentro de este factor se fija la cantidad de los líquidos consumibles para la planta de propulsión (combustible). Además, se detalla el entorno y la ruta de navegación que tendrá que recorrer el buque proyecto para su determinado fin.

##### 4.1.1.1. Entorno geográfico

Se pretende expandir las expediciones de los buques Oceanográficos hacia el continente helado del Polo Sur de la Antártida; dicha operación es realizada para aprovechar el Tratado internacional con el fin de promover la investigación científica del ambiente marino. [15] [16]

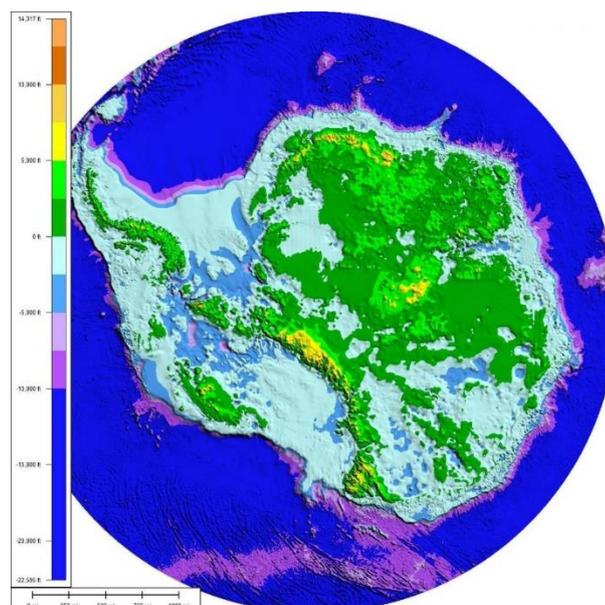


Figura 7: Mapa de la Antártida

#### 4.1.1.2. Estación científica Antártica “Machu Picchu” – ECAMP

Está ubicada en la ensenada de Mackellar de la isla Rey Jorge y las islas Shetland del Sur, ambas ubicadas en el extremo norte de la Península Antártica, compartiendo la isla con las Estaciones de Ferraz de Brasil, Arctowski de Polonia, Carlini de Argentina, King Sejong de Corea, Artigas de Uruguay, Bellingshausen de Rusia, Frei de Chile y la Gran Muralla de China. Coordenadas de ubicación geográfica, 62° 05.5' latitud Sur y 58°28.5' longitud Oeste. [13]



Figura 8: Ubicación del campamento antártico Machu Picchu

### 4.1.1.3. Ruta de navegación



Figura 9: Ruta de navegación

En cuanto a la ruta de navegación, se ha establecido que la nave debe realizar un primer atraque en el puerto Punta Arenas que está ubicado en Chile, esto para operaciones de abastecimiento y para evaluar las condiciones climáticas de navegación hacia la Antártica. Debido a la cercanía de este puerto con respecto a los campamentos polares, es un punto de control primordial, donde las naves Oceanográficas deben atracar para verificar las condiciones de navegación y continuar con sus travesías.

A continuación, se presenta una tabla de resumen de la ruta de navegación del buque proyecto:

<b>Ruta</b>	<b>Distancia (millas náuticas)</b>
<i>Puerto del Callao (Perú) – Puerto Punta Arenas (Chile)</i>	2611
<i>Puerto Punta Arenas (Chile)- ECAMP</i>	778
<b>TOTAL</b>	<b>3389</b>

Tabla 5: Distancias en millas de la ruta de navegación

Para tener un margen de seguridad, la distancia se tomará un valor de 3600 millas náuticas, esto para enfrentar diversos percances posibles durante la navegación o las operaciones de la nave.

#### 4.1.1.4. Velocidad

Para las operaciones de investigación se requiere que el buque oceanográfico tenga una velocidad de crucero de 12 nudos, una velocidad para la misión oceanográfica de 10 nudos y una velocidad para la misión de pesca pelágica de 5 a 6 nudos.

#### 4.1.1.5. Tiempo de navegación

Ya detallado la distancia y la velocidad de navegación en los apartados anteriores, se procede a realizar un breve cálculo sobre el tiempo que requiere la nave para cumplir con su travesía hacia el polo sur.

$$\text{Tiempo (horas)} = \frac{\text{Distancia (Millas náuticas)}}{\text{Velocidad (nudos)}} = \frac{3600}{12}$$

$$\text{Tiempo (días)} = 300 \text{ horas} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$\text{Tiempo} = 12,5 = 13 \text{ días}$$

Con un margen de seguridad, se evaluará la autonomía para 20 días de navegación si se presentan problemas meteorológicos.

#### 4.1.1.6. Consumo a bordo

En este apartado, solo se busca el cálculo del volumen de combustible requerido para que el buque tenga la suficiente capacidad para cumplir en plena autonomía a la misión que se propone.

Como se ha detallado en el punto 4.1.1.3, el análisis de consumo se evaluará con la distancia total de 3600 *millas náuticas* (ida y vuelta) para cubrir la mayor cobertura en cuanto a la cantidad de combustible.

Datos necesarios:

Distancia	Velocidad de crucero	Consumo de combustible a Máx. Vel. c/ motor
3600 Millas náuticas	12 nudos	96 L/h

Tabla 6: Datos para el cálculo del volumen de combustible

$$V_{\text{combustible}} = \frac{\text{Distancia} \times \text{Consumo de combustible a máxima velocidad}}{\text{Velocidad de crucero}}$$

$$V_{\text{combustible}} = \frac{3600 \times 96 \times 2}{12} L$$

$$V_{\text{combustible}} = 57\,600 L = 57,60 m^3 = 15\,220 \text{ galones}$$

#### **4.1.2. Autonomía operativa**

Expresado en horas, durante la cual la nave, en navegación, en rada o en puerto, no debe depender de cualquier abastecimiento externo; en base a esto es fijado la cantidad de los líquidos consumibles para la planta eléctrica (sistemas a bordo, laboratorios, comunicación, etc.) y para las personas embarcadas.

##### ***4.1.2.1. Cantidad de pasajeros***

De acuerdo con las exigencias del armador, se requiere a la nave una capacidad de alojamiento para 32 personas, incluyendo 16 para la tripulación y 16 para el personal científico.

##### ***4.1.2.2. Áreas y espacios considerados***

Con respecto a este punto, el buque debe estar proyectado con el confort necesario para tener la capacidad de mantener a toda la tripulación a una temperatura corporal aceptable (36-37°C), ya sea, al momento de navegar por ambientes extremos o realizando las operaciones oceanográficas correspondientes. [17]

En cuanto a las investigaciones que se realizarán a bordo, la nave debe contar con dos laboratorios, uno seco de 10 m<sup>2</sup> (oficinas de investigación) y uno húmedo de 10 m<sup>2</sup> (laboratorios de muestras); dos celdas frigoríficas, de 20 m<sup>3</sup> para la conservación de muestras a +5°C, y de 10 m<sup>3</sup> para la conservación de muestras a -20°C, instrumentos de meteorología, geología e hidrología.

Aparte de estas zonas de trabajo, el buque cuenta con los compartimientos convencionales de cualquier nave: sala de máquinas, piques de popa y proa, tanques de agua dulce, lastre, combustible, sollado, etc.

##### ***4.1.2.3. Navegación***

Para este punto, adicionalmente, se requiere la implementación de un sistema de posicionamiento dinámico, DP-0, incluyendo nuevas máquinas de propulsión, 2 hélices azimutales y 1 bow thruster (hélice de maniobra transversal), por consiguiente, servirán para el diseño de la nueva disposición general y forma de la nave.

#### ***4.1.2.4. Operaciones de Oceanografía***

Para las operaciones oceanográficas, se requiere un portal de popa fijo de una altura de 8 m con un porte de 10 t, un portal hidráulico lateral izquierdo de una altura de 2,6 m con un porte de 1,5 t, una grúa a popa con un porte de 14 t\*m, un cabrestante oceanográfico, un tambor con cavo coaxial de 6 mm x 3000 m de un porte de 1,5 t, dos cabrestantes “trawl” con un 1 tambor cada uno de un cavo de 18 mm x 3000 m de un porte de 3 t, un cabrestante para la red de pesca de un tambor con una capacidad de 4 m<sup>3</sup> de un porte de 3 t, un cabrestante cod-end con un tambor de cavo de 20 mm de un porte de 4,5 t.

## 4.2. Diseño de formas

### 4.2.1. Consideraciones generales

En esta etapa del diseño conceptual y preliminar, se procede a crear un modelado del buque base, considerando los parámetros iniciales como la eslora,  $L$ ; manga,  $B$ ; puntal,  $D$ ; calado,  $T$ ; coeficiente de bloque,  $C_B$ ; etc.

DIMENSIONES					UND.
Eslora (Length – L)	Fuera por fuera (overall – o.a.)		$L_{oa} = 40.62$		m
	Entre perpendiculares (between perpendicular – b.p.)		$L_{bp} = 35$		
Manga Máxima (Beam – B)			$B = 8.30$		m
Puntal (Depth – D)			$D = 3.70$		m
Calado (Draught – T)			$T = 3.40$		m
Peso muerto (Deadweight)					
		Francobordo	Calado exterior	Desplazamiento	Peso muerto
Agua fresca Tropical	TD	206 mm	3.851 m	701.9 t	332.6 t
Agua fresca Tropical	D	277 mm	3.780 m	681.8 t	312.5 t
Verano	T	264 mm	3.793 m	702.6 t	333.3 t
Invierno	V	335 mm	3.722 m	681.9 t	312.6 t
Invierno Atlántico del Norte	I	406 mm	3.651 m	661.4 t	292.1 t
Invierno Atlántico del Norte	AN I	456 mm	3.601 m	647.1 t	277.8 t

Tabla 7: Dimensiones principales del buque base "BIC José Olaya Balandra"

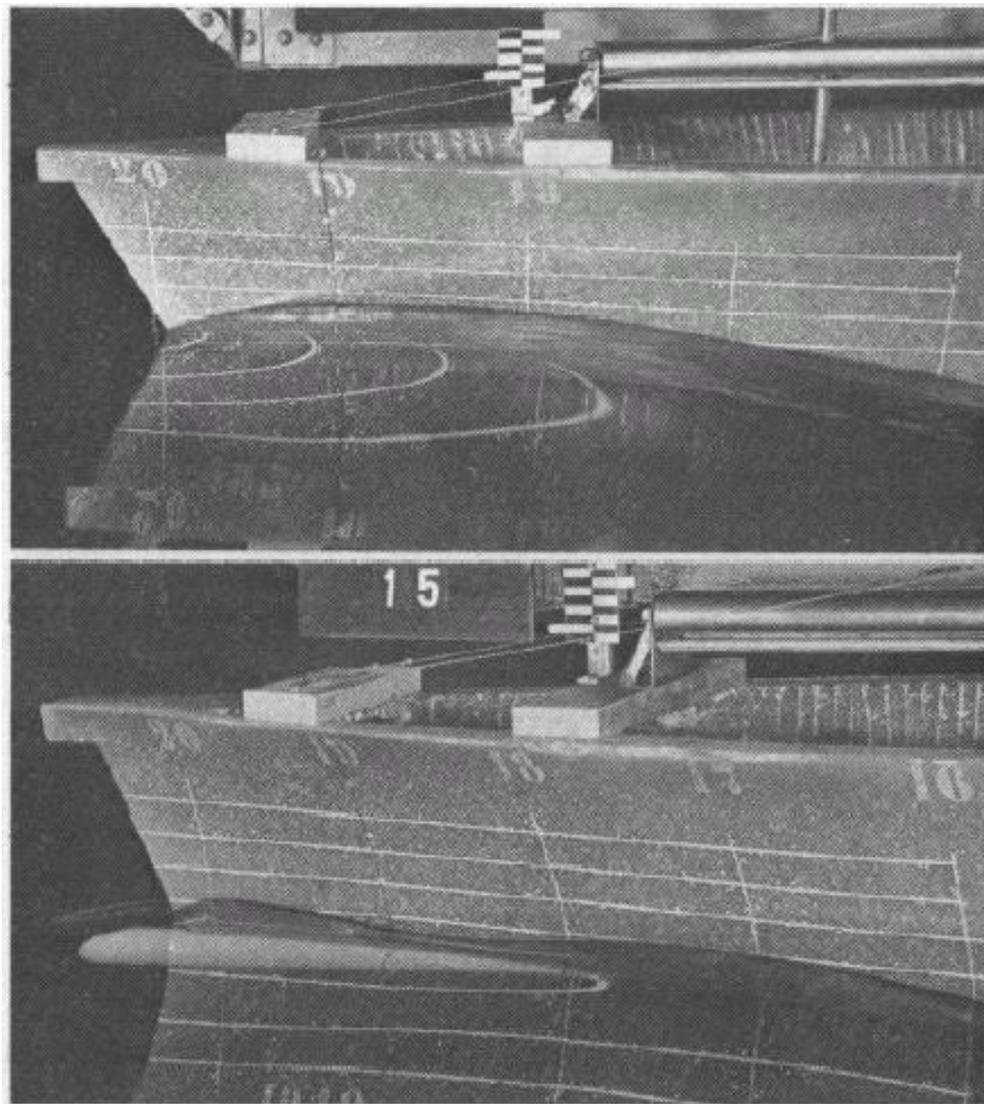
### 4.2.2. Modelado del bulbo

La implementación de un bulbo es el medio más ventajoso para reducir la resistencia total del buque, fundamentalmente a la resistencia de ola. Estos apéndices, se instalan en la mayoría de las naves con números de Froude relativamente altos. Para su diseño, esto depende de las características geométricas y de relaciones adimensionales de los buques. [18]

La presencia de esta prolongación en proa reduce el ángulo medio de entrada del impacto de ola y afina la línea de flotación en dicha zona, esto permite a la interferencia del sistema de olas creado por el bulbo y el sistema de olas de los buques generados en la proa provocando una reducción de resistencia total a la nave. [18]

En la siguiente figura, se muestra un experimento de Kracht en un canal de experiencias sobre la importancia de este apéndice en proa, con respecto a la reducción del impacto de ola provocando una menor resistencia al avance; por ende, una menor potencia necesaria

para su desplazamiento. Además, presenta grandes cualidades de Seakeeping (comportamiento en el mar), como la reducción del cabeceo y la arfada. [18]



*Figura 10: Comportamiento de onda de un casco sin bulbo vs con bulbo (Kracht)*

En la imagen superior, se observa la onda creada por la forma de la carena del buque en la condición de remolque (navegación en mar calmo), esta onda con gran amplitud genera una gran resistencia al avance de la nave; en cambio, en la figura inferior, se ve esta misma onda atenuada por la interferencia de ondas del bulbo y la carena, provocando una menor resistencia y así, una menor potencia necesaria para navegar. [18]

#### 4.2.2.1. Tipos de Bulbos

Para una adecuada presentación de las propiedades hidrodinámicas de los bulbos, es necesario sistematizar las diferentes formas de bulbos existentes mediante parámetros geométricos. Evidentemente, una descripción definitiva de la forma de un bulbo, al igual que de la forma de un barco, con un número finito de parámetros geométricos, es imposible. Pero es posible una clasificación aproximada utilizando solo unos pocos parámetros. [18]

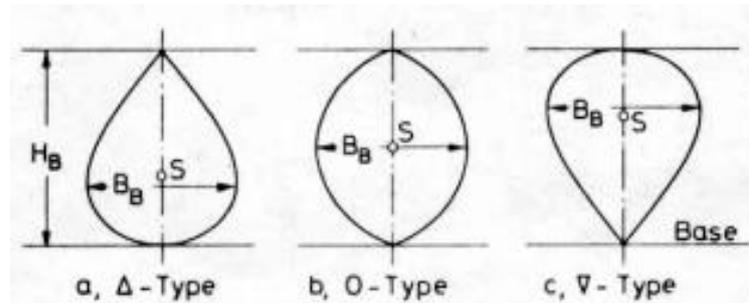


Figura 11: Tipos de Bulbo

El primer tipo, es el bulbo con forma de gota llamado bulbo delta ( $\Delta$ ), tienen el centro del área en la mitad inferior de la sección transversal esto indica una concentración del volumen cerca de la base. Actualmente, estas configuraciones ya no se construyen debido a las propiedades hidrodinámicas no tan favorables. [18]

El segundo arco bulboso, tiene una sección ovalada con su centro de área al medio, por ende, con una concentración del volumen al centro. [18]

El último tipo corresponde al tipo de delta invertido  $\nabla$  (nabla), tiene un área de sección transversal con el arco bulboso en la parte superior y su centro está ubicado en la mitad de la parte superior; por lo cual, tiene una concentración volumétrica en la superficie libre. Por lo general, son los bulbos más comunes debido a sus muy buenas propiedades de comportamiento en el mar. [18]

#### 4.2.2.2. Evaluación de criterios del bulbo

Todo diseño debe cumplir con ciertos criterios proporcionados por las Sociedades de Clasificación, estos han sido experimentados innumerables veces para la mejora continua de las cualidades de navegación como: la disminución a la resistencia al avance, buen comportamiento en el mar, buena maniobrabilidad, una óptima estabilidad, etc. En este caso, la instalación de un bulbo debe seguir los siguientes criterios para determinar si es adecuado su presencia en la proa del casco.

- Coeficiente de bloque: solo si el coeficiente de bloque del buque proyecto se encuentra entre el siguiente intervalo, la instalación de un bulbo resultaría recomendable:

$$0,65 < C_B < 0,815$$

- Relación L/B: La relación de estas dimensiones del buque proyecto, debe cumplir con el siguiente intervalo:

$$5,5 < L_{pp}/B < 7$$

- Número de Froude: este criterio está acondicionado por la velocidad y la eslora de la nave, para lo que el número de Froude

$$0,24 < Fn < 0,57$$

Datos de la nave:

<b>Eslora entre perpendiculares</b>	$L_{pp} = 35,00 \text{ m}$
<b>Manga máxima</b>	$B = 8,30 \text{ m}$
<b>Calado de escantillado</b>	$T = 3,40 \text{ m}$
<b>Densidad del agua</b>	$\gamma_{\text{aguademar}} = 1,025 \text{ ton/m}^3$
<b>Desplazamiento máximo</b>	$\Delta = 702,60 \text{ ton}$
<b>Velocidad</b>	$V = 12 \text{ nudos}$

Tabla 8: Datos del buque Oceanográfico

En la siguiente, tabla se puede observar la evaluación de los criterios mencionados anteriormente, para el diseño del bulbo, no necesariamente siempre van a cumplir todos los criterios; sin embargo, se debe tomar en cuenta para futuras modificaciones del casco si se requiere.

CRITERIO	RESOLUCIÓN	EVALUACIÓN
$0,65 < C_B < 0,815$	$C_B = \frac{\Delta}{LBT\gamma} = \frac{702,6}{35 \times 8,30 \times 3,40 \times 1,025} = 0,69$	SI CUMPLE
$5,5 < L_{pp}/B < 7$	$\frac{L_{pp}}{B} = \frac{35}{8,30} = 4,22$	NO CUMPLE
$0,24 < Fn < 0,57$	$Fn = \frac{V}{\sqrt{Lg}} = \frac{12 \times 0,514}{\sqrt{35 \times 9,81}} \approx 0,3329$	SI CUMPLE

Tabla 9: Evaluación de criterios de diseño

### 4.2.2.3. Parámetros de diseño del bulbo

Para este diseño, se ha proyectado un bulbo adecuado para el buque base de investigación, según el tipo de misión de la nave, se ha escogido un bulbo tipo  $\nabla$ . En el caso de este tipo de bulbos, se deben tener en cuenta los seis parámetros principales proporcionadas por Kracht en 1978, estas son:

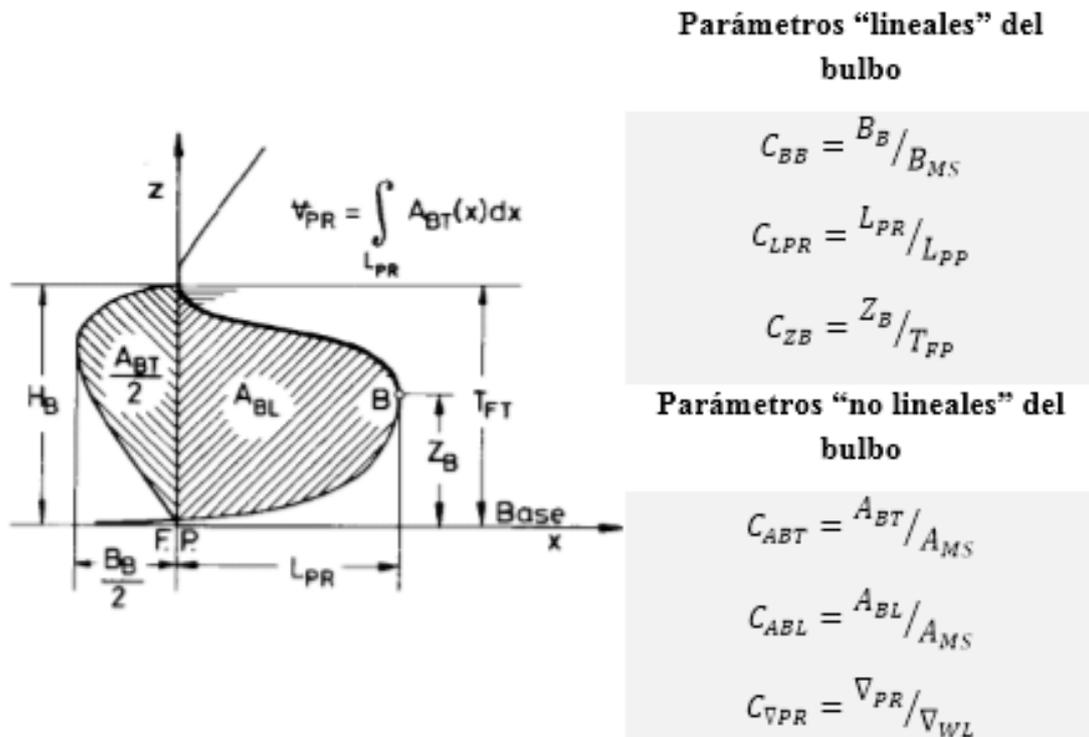


Figura 12: Parámetros lineales y no lineales del bulbo

Dónde:  $B_{MS}$ , en m, es la manga de la cuaderna maestra del buque;  $L_{pp}$ , en m, es la eslora entre perpendiculares;  $T_{FP}$  en m, es el calado en la sección media buque;  $A_{MS}$ , en  $m^2$ , es el área de la cuaderna maestra; y  $\nabla_{WL}$ , en  $m^3$ , es el volumen de carena

Con respecto a los parámetros del bulbo, se tienen las siguientes tablas de distribuciones experimentales; las cuales, es necesario encontrar el valor del coeficiente de bloque del buque en estudio, ya calculado en el apartado anterior, el  $C_B$  será de 69. Se procede a seleccionar un valor medio del parámetro volumétrico y de altura del bulbo a partir de los diagramas siguientes:

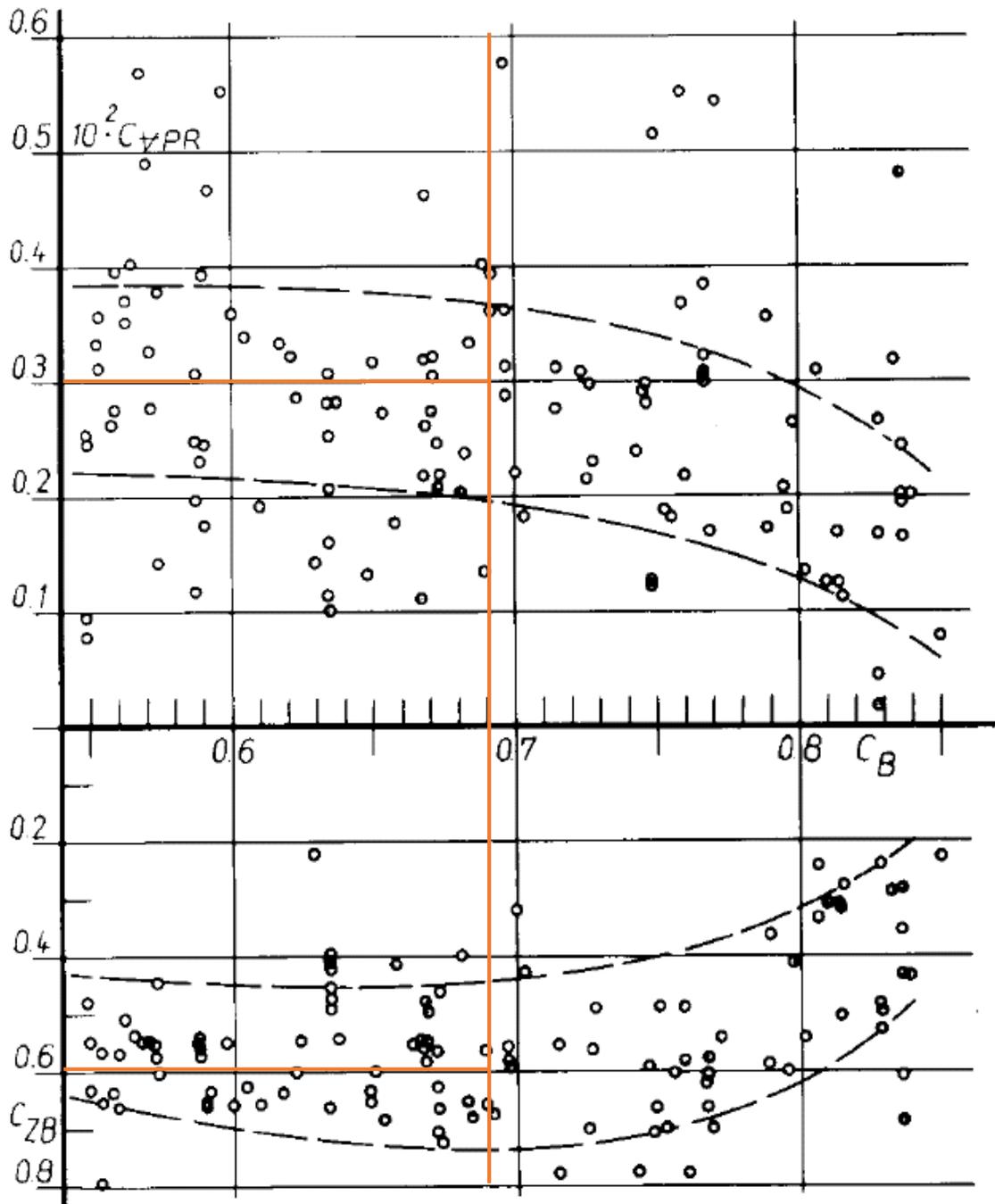


Gráfico 1: Coeficiente de Bloque vs Parámetros de Volumen y Calado

De este diagrama, se tomará valores medios ubicados dentro de la curva:

$$\text{Parámetro volumétrico: } C_{VPR} = 0,3 \times 10^2$$

$$\text{Parámetro de calado: } C_{ZB} = 0,6$$

De igual forma de la anterior, se procede a seleccionar los parámetros de eslora y manga del bulbo en el siguiente diagrama:

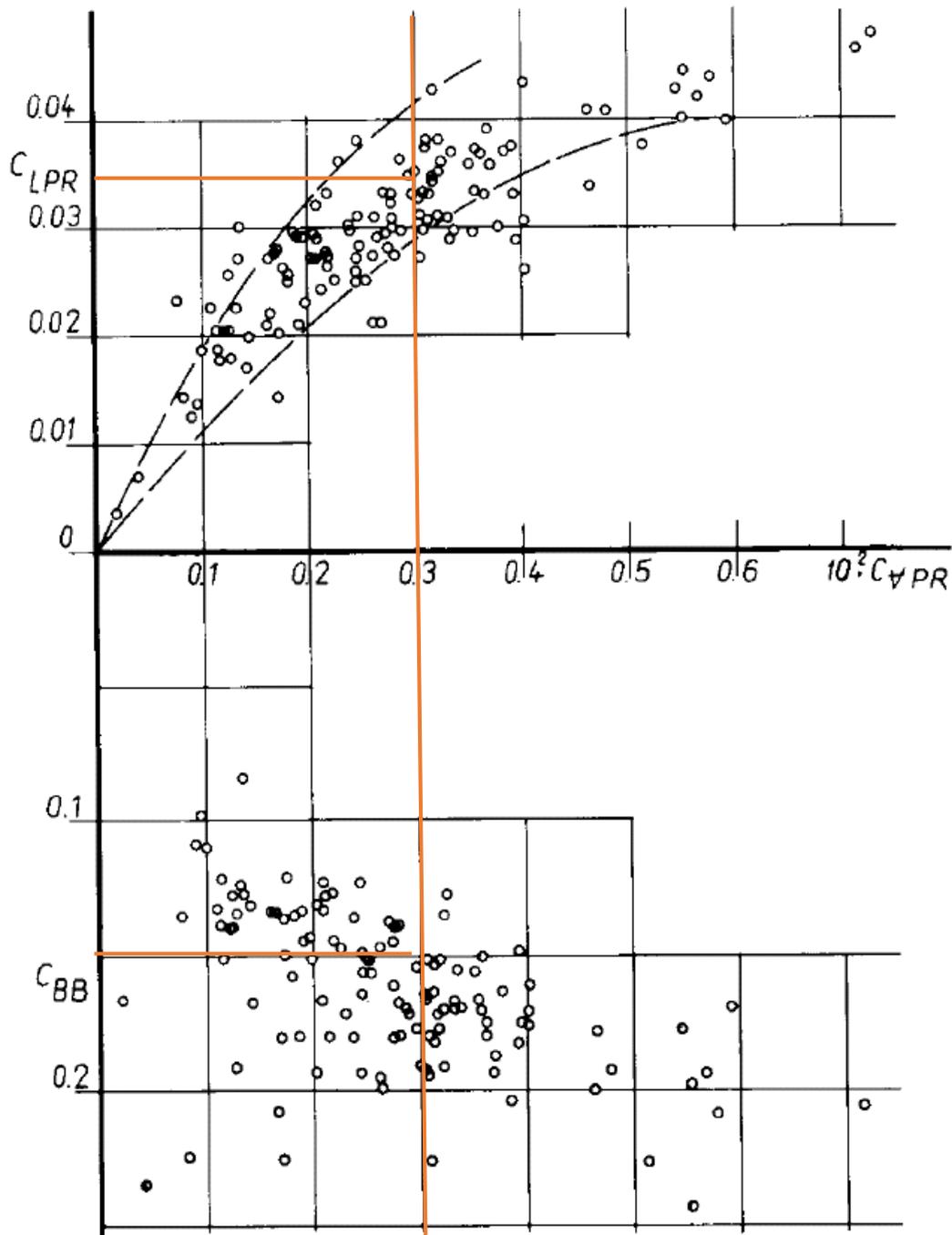


Gráfico 2: Parámetros de Área Transversal vs Volumétricos

Parámetro de eslora:  $C_{LPR} = 0,035$

Parámetro de manga:  $C_{BB} = 0,15$

Reemplazando los valores obtenidos de los parámetros en las relaciones líneas del bulbo, se obtiene:

$$C_{BB} = \frac{B_B}{B_{MS}} \rightarrow B_B = C_{BB} \times B_{MS} = 0,18 \times 8,30$$

$$B_B = 1,50 \text{ m}$$

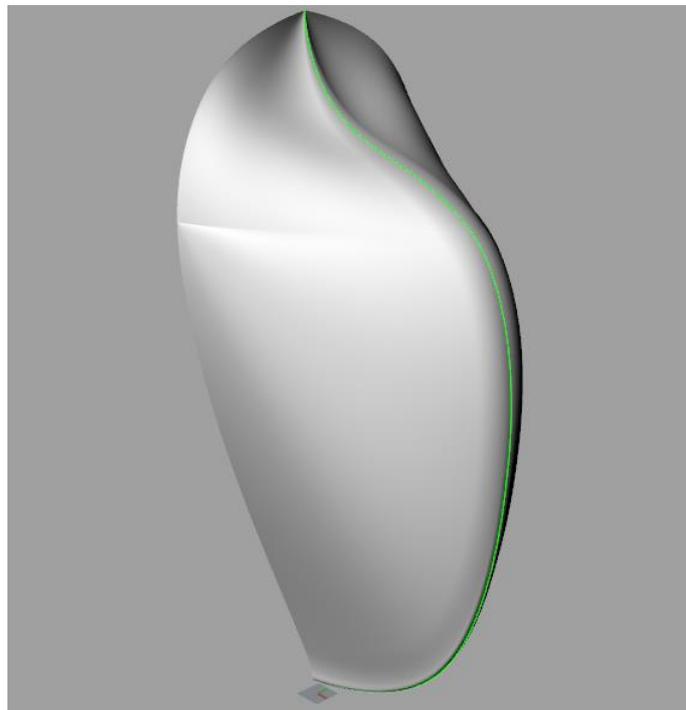
$$C_{LPR} = \frac{L_{PR}}{L_{PP}} \rightarrow L_{PR} = C_{LPR} \times L_{PP} = 0,035 \times 35$$

$$L_{PR} = 1,23 \text{ m}$$

$$C_{ZB} = \frac{Z_B}{T_{FP}} \rightarrow Z_B = C_{ZB} \times T_{FP} = 0,6 \times 3,40$$

$$Z_B = 2,04 \text{ m}$$

A partir de estos datos, se modela la forma del bulbo en 3D para luego encajar dicha estructura en la carena del buque base.



*Figura 13: Modelado del bulbo tipo  $\nabla$  en Rhinoceros*

### 4.2.3. Diseño de formas del casco

Se parte de las líneas de forma de un buque base con las mismas o similares especificaciones y formas que las del buque proyecto, y a través de modificaciones geométricas utilizando programas de CAD especializadas como Rhinoceros, MaxSurf Modeler, AutoCAD, etc.

Con la ayuda de las normativas de las Sociedades de Clasificación, como Lloyd's Register, se pueden definir parámetros para el diseño de formas del casco con el fin de realizar una forma óptima de la carena de la nave.

#### 4.2.3.1. Diseño asistido por computadora

Para crear el plano de líneas de formas, se utilizó el programa MaxSurf Modeler, importando el modelado 3D del buque base, realizado en el programa Rhinoceros, se definió las referencias correspondientes y utilizando el comando "Design Grid" se crearon las líneas de formas de dicha nave. A continuación, se aprecian las ventanas del programa de modelación con las 3 vistas respectivas a las líneas de formas del buque base.

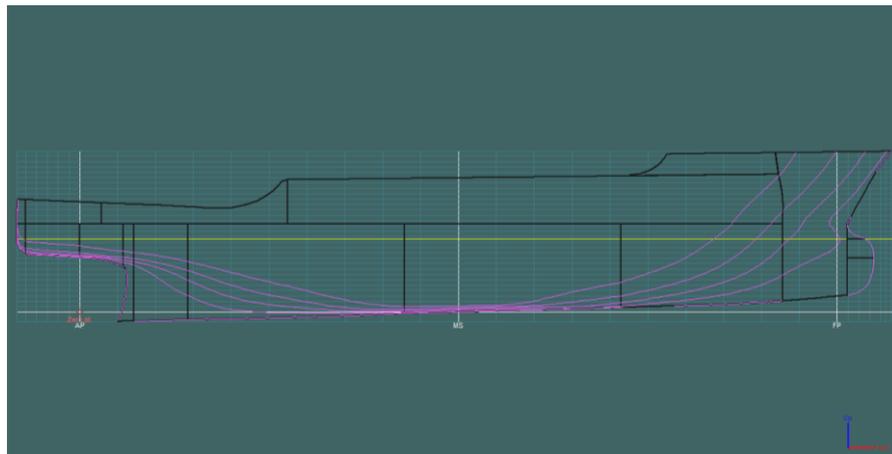
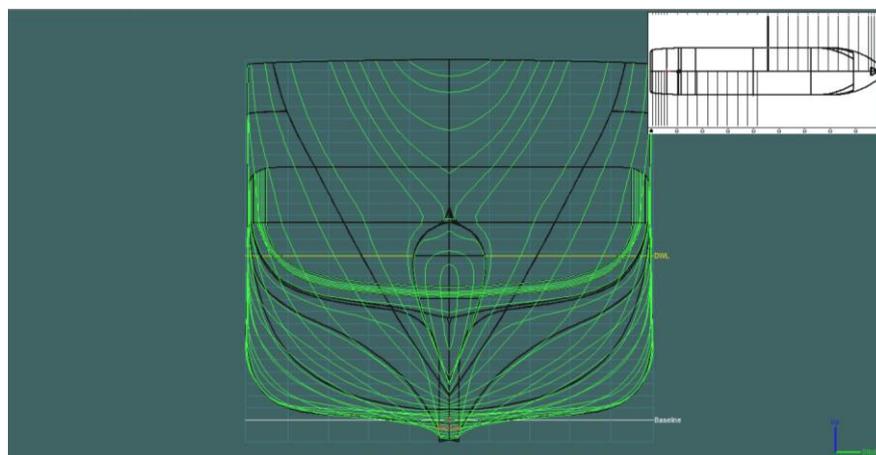
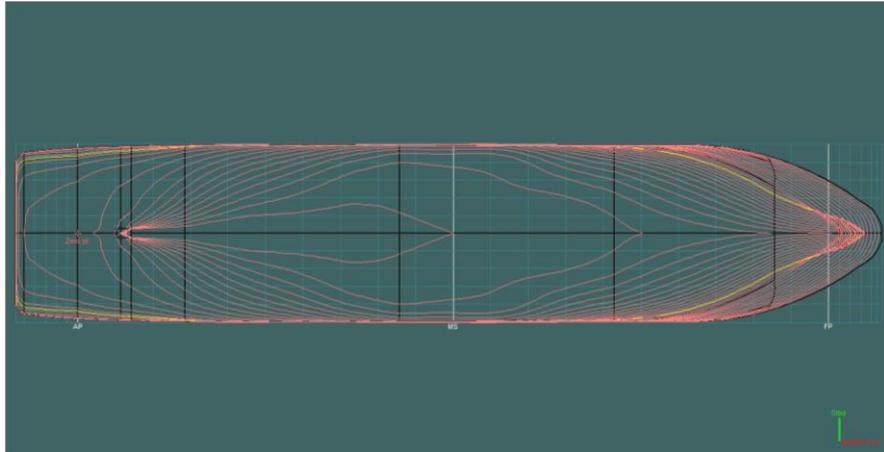


Figura 14: Líneas de formas del buque base en la vista longitudinal



*Figura 15: Líneas de formas del buque base en la vista transversal*

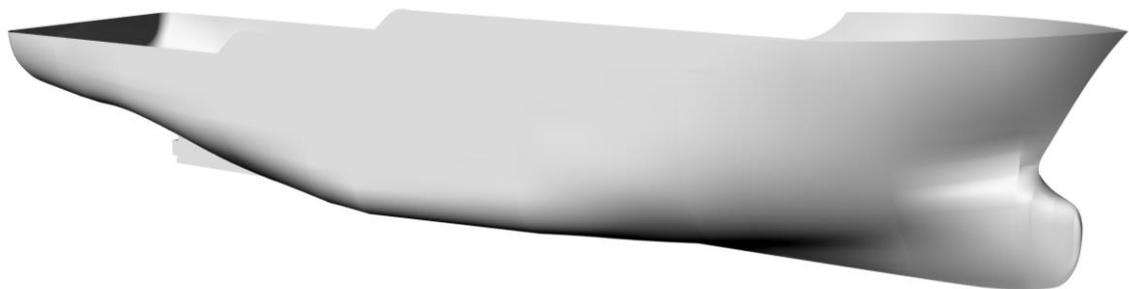


*Figura 16: Líneas de formas del buque base en la vista horizontal*

Como base, estas líneas de formas servirán para el buque proyecto; a partir de esto, se realizará modificaciones directamente del plano para generar una forma más adecuada según los requerimientos del armador y de la misión propuesta.

A esta etapa del proyecto, se ha adaptado el buque base con las formas del casco necesarias para el sistema propulsivo propuesto por el armador y para la navegación en las zonas con presencia de hielo.

Como se muestra a continuación, se han afinado las líneas de forma de dicha nave, la zona media y de proa se ha bajado hasta la línea base para acoplar el bulbo (siendo ubicada en el anterior modelado, muy elevado y no cumpliendo con las generatrices básicas de diseño) y asentado la popa en tipo U para la instalación de los azimutales.



*Figura 17: Vista 3D del buque modificado*

Ya realizado el modelado 3D del buque base modificada se evaluará sus características hidrostáticas en el programa de MaxSurf Modeler, dichos resultados se compararán a los datos iniciales de la nave; por lo tanto, el diseño concluido será utilizado como base para el buque proyecto.

#### 4.2.3.2. Ángulos de la forma del casco

En el apartado 10.4 Área de la proa, Sección 10, Capítulo 2, Parte 8 de la Lloyd's Register, se definen la influencia de los ángulos del casco en cuanto al desarrollo del escantillonado del mismo. Donde, la fuerza,  $F$ , la línea de carga,  $Q$ , la presión,  $P$  y la relación de radio de carga,  $AR$ , asociadas con el escenario de carga de impacto son funciones de los ángulos del casco medidos en la línea de flotación del hielo superior, UWL. La influencia de los ángulos del casco se captura mediante el cálculo de un coeficiente de forma de proa, "fa". Los ángulos del casco se definen en la siguiente figura: [11]

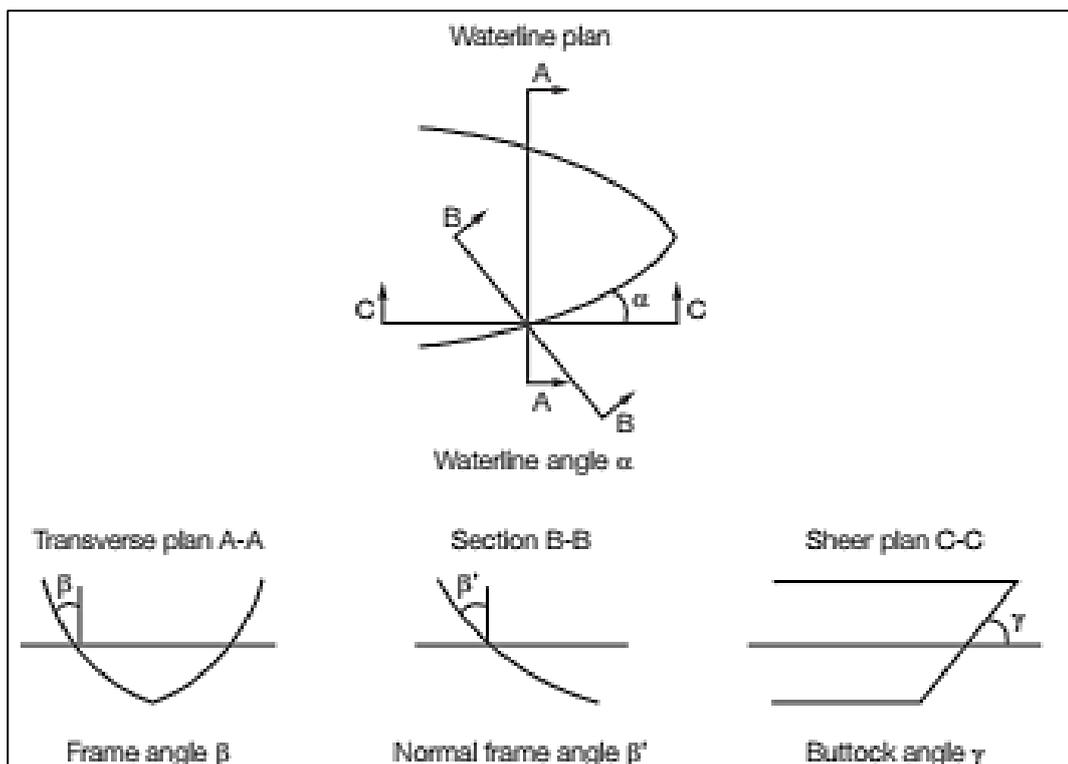


Figura 18: Definición de ángulo del casco

Dónde:  $\alpha_s$  es el ángulo superior de la línea de flotación del hielo, en grados;  $\gamma$  es el ángulo del longitudinal en la línea de flotación del hielo superior (ángulo de la línea longitudinal medido desde la horizontal), en grados;  $\beta'$  es el ángulo normal enmarcado en la línea de flotación del hielo superior, en grados.

En este caso, directamente del modelado del proyecto se pueden identificar dos ángulos de proa,  $\alpha$  y  $\gamma$ , los cuales se muestran a continuación:

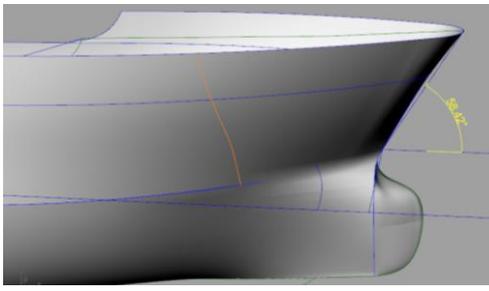
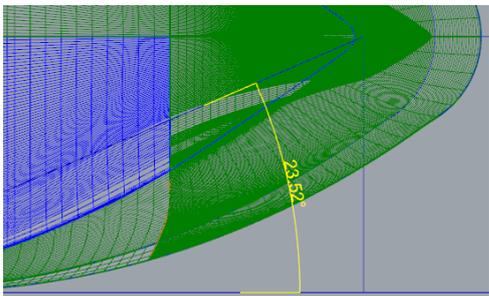
Vista Longitudinal / Vista Horizontal	Ángulo del casco
	$\gamma = 58,42^\circ$
	$\alpha = 23,52^\circ$

Tabla 10: Ángulos del casco obtenido del modelado 3D

Ángulos obtenidos del modelado:

$$\alpha = 23,52^\circ$$

$$\gamma = 58,42^\circ$$

Con el modelado del buque base, se ha sacado datos de los ángulos del casco para definir las fuerzas y cargas en las que está sometida. A continuación, se verifican los siguientes ángulos con fórmulas obtenidas del Lloyd's Register.

Ángulo  $\beta$ :

$$\tan(\beta) = \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\gamma)} \rightarrow \tan(\beta) = \frac{\tan(23,52)}{\tan(58,42)} = \frac{0,4452}{1,6003} = 0,2782$$

$$\beta = \arctan(0,2782) = 15,54^\circ \approx 16^\circ$$

Ángulo  $\beta'$ :

$$\tan(\beta') = \tan(\beta) \cos(\alpha) = 0,2782 \times \cos(23,52)$$

$$\tan(\beta') = 0,2782 \times 0,9135 = 0,2541$$

$$\beta' = \arctan(0,2541) = 14,26^\circ \approx 14^\circ$$

A continuación, se muestra la recopilación de resultados de los ángulos del casco:

<i>Ángulo del casco</i>	°
$\alpha$	24°
$\beta$	16°
$\beta'$	14°
$\gamma$	58°

*Tabla 11: Resultado de los ángulos del casco de la nave proyecto*

### 4.3. Predicción de la potencia y la elección del aparato motor

#### 4.3.1. Cálculo de la resistencia y potencia efectiva

Para utilizar el método de Holtrop, se hará uso del programa MaxSurf Resistance. Se inicia el programa MaxSurf Resistance y se importa el diseño modelado en el programa Modeler.

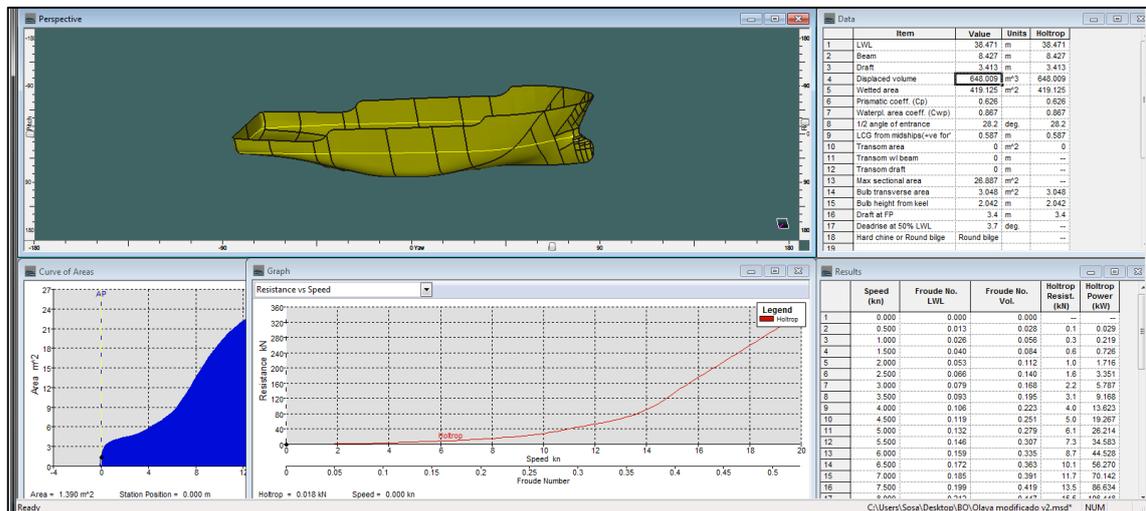


Figura 19: Ventana principal del MaxSurf Resistance

Se procede a seleccionar los parámetros necesarios para realizar el análisis de resistencia. En la pestaña “Analysis”, seleccionamos la opción “Methods” para elegir el método de análisis Holtrop.

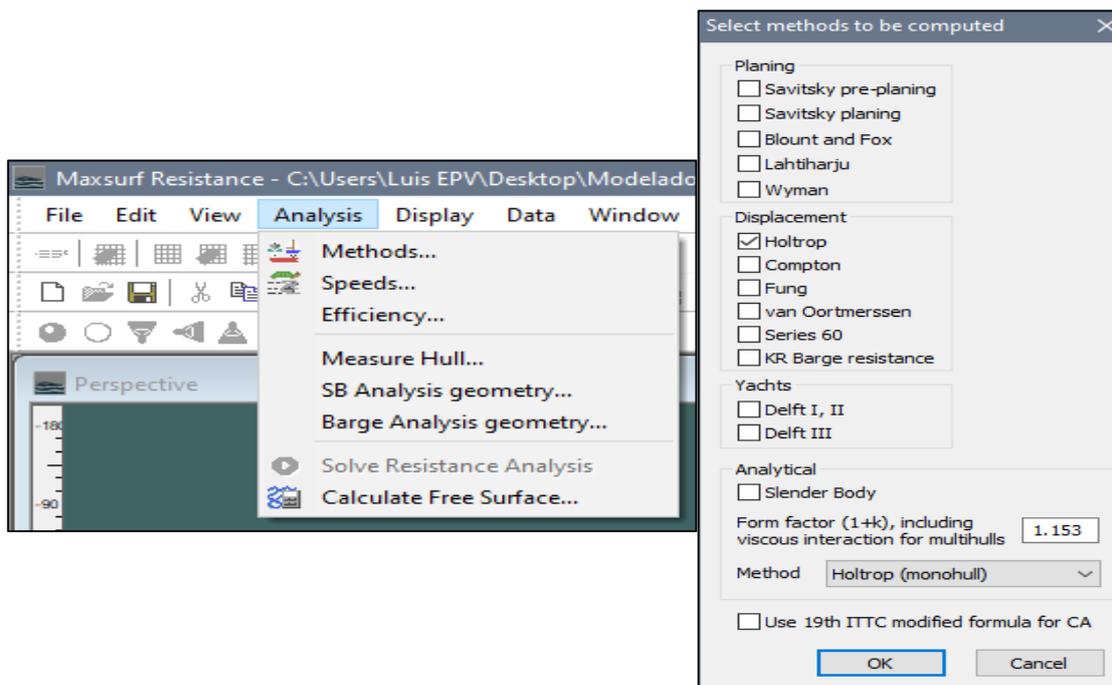
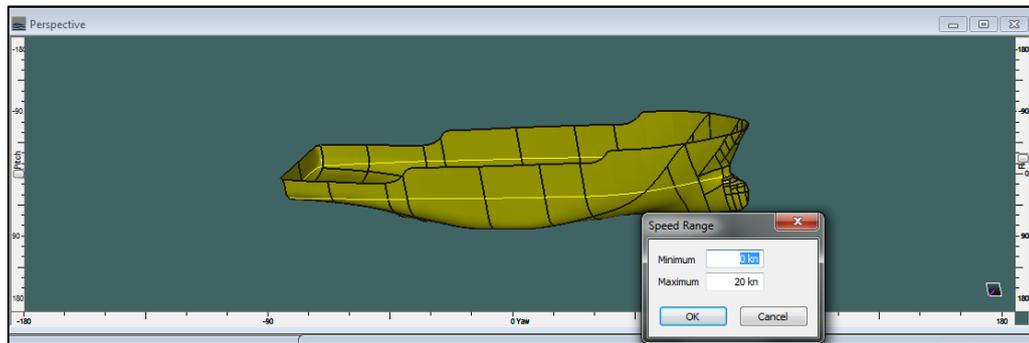


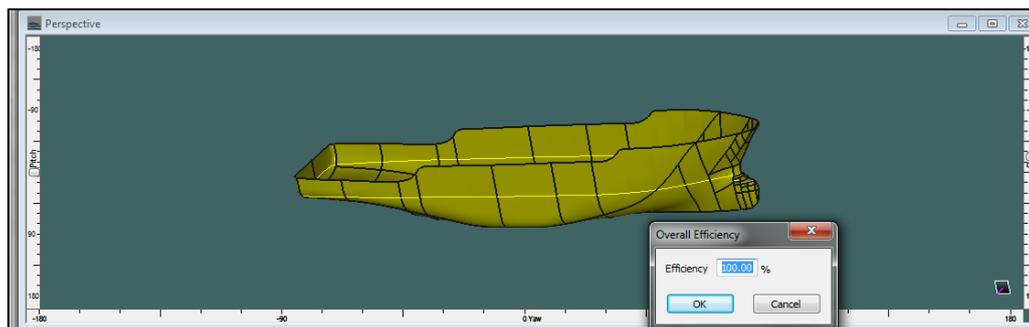
Figura 20: Opciones de Análisis de Resistencia al avance

En la opción “Speeds”, se añade el rango de velocidad del buque proyecto, en este caso será entre 0 – 20 knots (nudos).



*Figura 21: Parámetro de velocidad*

En la opción “Efficiency”, se seleccionará el porcentaje de eficiencia, será 100% para la prueba de remolque del buque o el 60% para calcular la potencia del motor. En este caso, será la primera opción.



*Figura 22: Parámetro de eficiencia*

Al seleccionar estos parámetros, los resultados de la velocidad, Nro. de Froude, Resistencia y Potencia efectiva se muestra en la siguiente tabla:

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	10.000	0.265	0.558	28.2	145.235
2	10.250	0.271	0.572	30.8	162.455
3	10.500	0.278	0.586	33.7	182.130
4	10.750	0.285	0.600	36.9	204.072
5	11.000	0.291	0.614	40.3	227.784
6	11.250	0.298	0.628	43.6	252.602
7	11.500	0.305	0.642	47.0	277.932
8	11.750	0.311	0.656	50.2	303.474
9	12.000	0.318	0.670	53.3	329.324
10	12.250	0.324	0.684	56.5	355.962
11	12.500	0.331	0.698	59.7	384.169
12	12.750	0.338	0.712	63.3	414.926
13	13.000	0.344	0.726	67.2	449.346

Figura 23: Resultados del análisis de la resistencia al avance

#### 4.3.2. Selección del motor

Se tienen los siguientes datos obtenidos en el análisis de resistencia del buque de investigación en el programa MaxSurf Resistance. Por proyección, se tomará una velocidad de 13 nudos (knots), se realizó la prueba de remolque y como resultado se encontraron los valores de la resistencia total y la potencia efectiva:

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	10.000	0.265	0.558	28.2	145.235
2	10.250	0.271	0.572	30.8	162.455
3	10.500	0.278	0.586	33.7	182.130
4	10.750	0.285	0.600	36.9	204.072
5	11.000	0.291	0.614	40.3	227.784
6	11.250	0.298	0.628	43.6	252.602
7	11.500	0.305	0.642	47.0	277.932
8	11.750	0.311	0.656	50.2	303.474
9	12.000	0.318	0.670	53.3	329.324
10	12.250	0.324	0.684	56.5	355.962
11	12.500	0.331	0.698	59.7	384.169
12	12.750	0.338	0.712	63.3	414.926
13	13.000	0.344	0.726	67.2	449.346

Tabla 12: Resultado de análisis de resistencia obtenido del MaxSurf Resistance

$$R_T = 67,2 \text{ kN} ; EHP = 449,35 \text{ kW}$$

Considerando los apéndices (quillote), se le aumenta el 10% a la resistencia total de la prueba para obtener la resistencia total al avance:

$$R'_T = R_T \times 1,1 = 67,2 \times 1,1$$

$$R'_T = 73,92 \text{ kN}$$

#### **4.3.2.1. Cálculo de la Potencia Efectiva**

En esta sección, se calculará la potencia del aparato motor y se procederá a la elección de la misma. Se utilizará la potencia efectiva prima obtenida de la nueva resistencia total prima:

Con la nueva resistencia total prima, se calculará la nueva potencia efectiva:

$$EHP' = R'_T \times V \times 0,5144 = 73,92 \times 13 \times 0,5144$$

$$EHP' = 494.32 \text{ kW}$$

#### **4.3.2.2. Cálculo de la Potencia del aparato motor**

Utilizando la fórmula para calcular potencia del aparato motor relacionando la potencia efectiva y rendimiento total, se obtiene:

$$P_{AM} = \frac{EHP'}{\eta_{Total}} = \frac{494.32}{0,7}$$

$$P_{AM} = 706,17 \text{ kW} \approx 720 \text{ kW}$$

Con este resultado, esta potencia calculada se tomará en cuenta para la elección de los propulsores azimutales de la nave de investigación. Con lo obtenido, la potencia se dividirá en dos debido al requerimiento de 2 propulsores, lo cual, la potencia para cada azimutal debe ser mayor o igual de 360 kW. Donde, el propulsor seleccionado es el modelo SRE 150 de la empresa Schottel, con una potencia mínima de 330 a una máxima de 400 kW según el tipo de operación de la nave; según la categoría de servicio, el buque se encuentra en la categoría C, por lo tanto, corresponde una potencia de 360 kW. [Ver Anexo 5]

Tipo	Potencia Nominal [kW]				Diámetro de la hélice Ø [m]	Velocidad de entrada Z-Drive [min-1]	Velocidad de entrada L-Drive [min-1]	Azimuth standard module			Azimuth compact module		
	A	B	C	D				Z	ZY	L	Z	ZY	L
SRE 100	–	190	200	225	0.80	1800 / 2100	–	S	–	–	–	–	–
SRE 150	–	330	360	400	1.20	1800 / 2100	1200	S	–	O	–	–	O
SRE 210	500	530	560	640	1.45	1600 / 1800 / 2100	1200	S	O	O	O	O	O
SRE 270	780	840	900	1000	1.85	1600 / 1800 / 2100	1200	S	O	O	O	O	O
SRE 340	1090	1170	1250	1400	2.10	750 / 1000 / 1200 / 1600 / 1800	905	S	O	O	–	–	–

Tabla 13: Modelos de Azimutales EcoPeller – Shottel

De acuerdo con los catálogos de motores navales se ha evaluado la elección de los dos motores marinos, cada uno con una potencia mínima de 373 kW, esta magnitud es acorde a la potencia de los propulsores seleccionados anteriormente. [Ver Anexo 6]

Modelo del motor	Potencia de salida			Velocidad del motor	Tipo de motor	Consumo de combustible		Emisiones			
	kW	MHP	BHP			RPM	Velocidad nominal	ISO*	IMO	EPA	EU
				L/h (gal/h)			L/h (gal/h)				
KTA19-M3	373	507	500	1800	Continuous	96.0 (25.4)	66.4 (17.5)	2	–	–	–
KTA19-M3	395	537	530	1800	Continuous	98.2 (25.9)	70.7 (18.7)	1	–	–	–
KTA19-M3	447	608	600	1800	Continuous	111.1 (29.4)	79.8 (21.1)	1	–	–	–
KTA19-M3	447	608	600	1800	Continuous	116.9 (30.9)	82.6 (21.8)	2	–	–	–
KTA19-M3	477	649	640	1800	Continuous	119.9 (31.7)	84.1 (22.2)	1	–	–	–
KTA19-M3	542	710	700	2100	Continuous	136.5 (36.0)	91.7 (24.3)	1	–	–	–

Tabla 14: Modelos KTA19 de motores Cummins

\*ISO: La Guía de productos marinos enumera el consumo promedio de combustible a potencia nominal y sobre los ciclos estándar recomendados por el ciclo de prueba estándar ISO 8178. [25]

#### 4.4. Escantillado y estructuras

El proyecto consiste en proyectar un buque de investigación científica con las condiciones necesarias para la navegación sobre el hielo. En este apartado, se desarrollará el dimensionamiento de la cuaderna maestra de dicha nave, para ello, se utilizará como base reglamentaria el Lloyd's Register.

##### 4.4.1. Datos para el escantillado

A continuación, se tienen los siguientes datos necesarios para el cálculo estructural del buque proyecto.

○ Eslora fuera por fuera	$L_{oa}$	<b>40, 62 m</b>
○ Eslora entre perpendiculares	$L_{pp}$	35, 00 m
○ Manga de la sección maestra	B	8, 30 m
○ Puntal de construcción	D	3, 70 m
○ Calado de proyecto	T	3, 40 m
○ Desplazamiento en verano	$\Delta$	681, 90 t
○ Coeficiente de bloque	$C_B$	0, 52

Tabla 15: Dimensiones principales de la nave Oceanográfica

##### 4.4.2. Materiales

Tipo de acero utilizado: En base a la reglamentación de Lloyd's Register que según el tipo de misión (expediciones por mar con presencia de hielo) del buque oceanográfico, establece los siguientes parámetros para la elección de los materiales de construcción: [11]

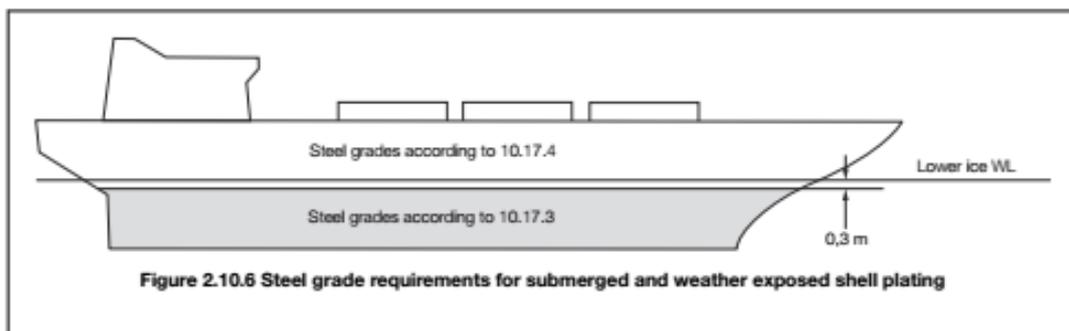


Figura 24: Requerimientos del grado de acero para la carena y obra muerta

Para el forro y elementos estructurales ubicados por debajo de la faja e intermedia de la línea de hielo de flotación, se considera el siguiente acero especial: [11]

Elementos Estructurales	Clase de Material
Revestimiento del casco dentro de las áreas del casco de la línea intermedia de hielo de proa y proa (B, Bij)	II
Materiales de planchaje para estructuras de popa y proa, bocina de timón, timón, boquilla de hélice, soportes de eje, planeadores de hielo, cuchillo de hielo (cortahielos) y otros apéndices sujetos a cargas de impacto de hielo.	II
Todo clima expuesto al mar ESPECIAL, como se define en la Tabla 2.2.1 Clases de materiales y grados en Pt 3, Ch 2 Materiales, miembros estructurales dentro de 0,2L de FP	II

Tabla 16: Clase de material II de los elementos estructurales

Para el forro y elementos estructurales ubicados por encima de la baja línea de hielo de flotación, se considera el siguiente acero especial:

Elementos Estructurales	Clase de Material
Toco clima expuesto SECUNDARIO y PRIMARIO, como se define en la Tabla 2.2.1 Clases y grados de materiales en Pt 3, Ch 2 Materiales, miembros estructurales fuera de 0,4L en el centro del barco	I
Todos los miembros de la estructura interior unidos a las placas expuestas al mar y a la intemperie, incluido cualquier miembro interior contiguo dentro de los 600 mm de la placa.	I
Planchas expuestas a la intemperie y estructuras adjuntas en las bodegas de carga de los barcos que, por la naturaleza de su comercio, tienen las escotillas de las bodegas de carga abiertas durante las operaciones en clima frío.	I

Tabla 17: Clase de material I de los elementos estructurales

Acero: Conforme a la Parte 3, Cap. 2, Sección 1.2, Para la determinación del módulo de la sección de la viga del casco, cuando se utiliza acero de mayor tracción se da un factor de acero de tracción mayor,  $k_L$ , obtenido por la Tabla 2.1.1 Valores de  $k_L$ . [11]

Límite elástico mínimo específico en $N/mm^2$ (kgf/mm <sup>2</sup> )	$k_L$
235 (24)	1,0
265 (27)	0,92
315 (32)	0,78
355 (36)	0,72
390 (40)	0,68
460 (47)	0,62

Tabla 18: Valores de  $k_L$

#### 4.4.3. Diseño de cargas de hielo

Según, Lloyd's Register Parte 8, Cap. 2, Sección 10, se tiene la siguiente figura, donde el casco del buque está particionado en regiones, estas zonas identificadas por códigos son esenciales para determinar el espesor de acero debido a las diferentes cargas que debe soportar el buque. [11]

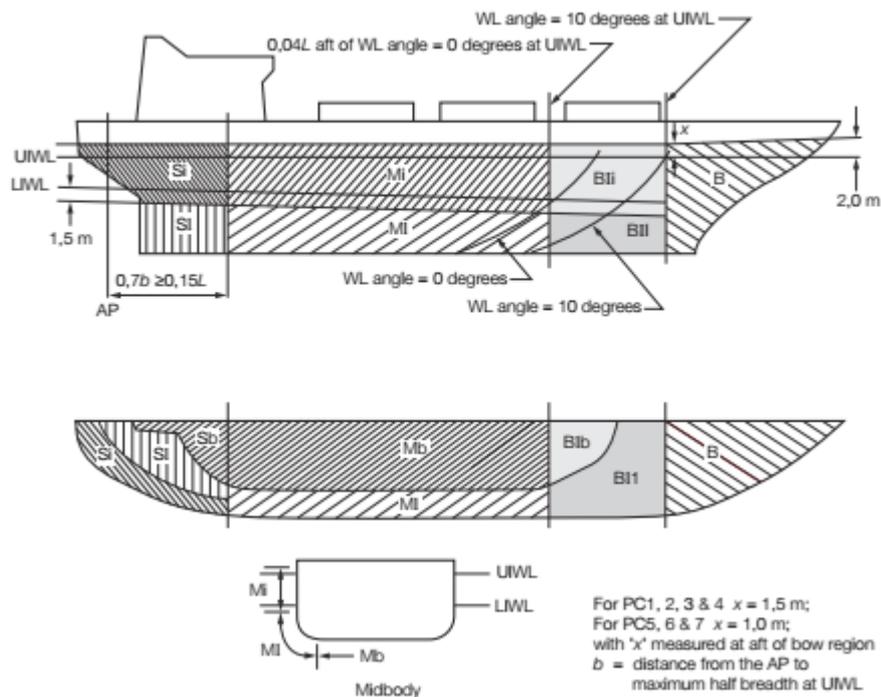


Figura 25: Áreas de análisis del casco

#### 4.4.4. Características de la carga de impacto de hielo

El registro nos ofrece un cuadro, según la clase polar a la que pertenece el buque proyecto, en este caso por la ruta de navegación y la misión que realizará, se ha determinado optar por la clase polar PC7, debido a que las expediciones se harán bajo estas condiciones de mar. [11]

Clase Polar	Factor de clase en falla por impacto	Factor de clase por falla de flexión	Factor de clase de carga	Factor de clase del desplazamiento	Factor de clase de fuerzas longitudinales
	$C_C$	$C_F$	$C_D$	$C_{DI}$	$C_L$
PC1	17,69	68,60	2,01	250	7,46
PC2	9,89	46,80	1,75	210	5,46
PC3	6,06	21,17	1,53	180	4,17
PC4	4,50	13,48	1,42	130	3,15
PC5	3,10	9	1,31	70	2,50
PC6	2,40	4,49	1,17	40	2,37
PC7	1,80	4,06	1,11	22	1,81

Tabla 19: Factores polares

#### 4.4.4.1. Cálculo de los parámetros de carga en zonas del casco distintas de la proa

En consideración a la tabla 2.10.1 Factores de clases, mencionado anteriormente, se procede a realizar los siguientes cálculos de carga en zonas del casco.

Clase Polar	Factor de clase en falla por impacto	Factor de clase por falla de flexión	Factor de clase de carga	Factor de clase del desplazamiento	Factor de clase de fuerzas longitudinales
	$C_C$	$C_F$	$C_D$	$C_{DI}$	$C_L$
PC7	1,80	4,06	1,11	22	1,81

Tabla 20: Factores polares con respecto a la clase polar PC7

Según, Lloyd's Register Parte 8, Cap. 2, Sección 10, apartado 10.5.1: se tienen las siguientes definiciones para determinar el espesor de la plancha según la zona de análisis; para señalar los parámetros fuera de la zona de proa, se le añadirá un sufijo "NB" (None Bow), de lo cual, se realizarán los siguientes cálculos: [11]

##### a) Fuerza, $F_{NB}$

$$F_{NB} = 0,36C_C\Delta_F [MN]$$

Dónde:  $\Delta_F$  es el factor de desplazamiento del buque;  $\Delta$  es el desplazamiento del buque en kilo toneladas (1000 toneladas).

$$\text{Cond. 1}^\circ: \Delta \leq C_{DI} \rightarrow \Delta_F = \Delta^{0,64}$$

$$\text{Cond. 2}^\circ: \Delta > C_{DI} \rightarrow \Delta_F = C_{DI}^{0,64} + 0,10(\Delta - C_{DI})$$

En este caso, el desplazamiento del buque en proyecto en kilo toneladas ( $681,9 t \rightarrow 0,6819 Kt$ ) es menor del valor del factor de clase del desplazamiento; por lo tanto, se procede a utilizar la condición 1 para el cálculo del factor de desplazamiento del buque. [11]

$$\text{Cond. 1}^\circ: 0,6819 Kt \leq 22 \rightarrow \Delta_F = \Delta^{0,64}$$

$$\Delta_F = 0,6819^{0,64} = 0,78$$

Obtenido el factor de desplazamiento, se procede a calcular la fuerza  $F_{NB}$ :

$$F_{NB} = 0,36(1,80)(0,78)$$

$$F_{NB} = 0,5054 MN$$

**b) Línea de carga  $Q_{NB}$**

$$Q_{NB} = 0,639F_{NB}^{0,61}C_D[MN/m]$$

Reemplazando valores, se obtiene:

$$Q_{NB} = 0,639(0,5054)^{0,61}(1,11)$$

$$Q_{NB} = 0,4678 MN/m$$

**4.4.4.2. Parche de carga de diseño**

Según el apartado 10.6.2 de la sección 10 del capítulo 8 de la Lloyd's Register, se tiene las siguientes áreas fuera de la zona de proa: [11]

$$W_{NB} = \frac{F_{NB}}{Q_{NB}} m$$

$$b_{NB} = \frac{W_{NB}}{3,6} m$$

Reemplazando la fórmula con los datos obtenidos anteriormente se obtiene:

$$\rightarrow W_{NB} = \frac{0,5054}{0,4678} = 1,08 m$$

$$\rightarrow b_{NB} = \frac{1,08}{3,6} = 0,3 m$$

**4.4.4.3. Presión de diseño dentro del parche de carga**

Según el apartado 10.7.1 se tiene la siguiente fórmula de la presión de diseño dentro del parche de carga:

$$P_a = \frac{F}{bw} MPa$$

Dónde: F es igual  $F_B$  o  $F_{NB}$  según la zona del casco en consideración, en MN; b es igual a  $b_B$  o  $b_{NB}$  según la zona del casco en consideración, en metros; w es igual a  $W_B$  o  $W_{NB}$  según la zona del casco en consideración, en metros. [11]

Por lo tanto, reemplazando los valores en la fórmula de la presión, se obtiene lo siguiente:

$$P_a = \frac{F_{NB}}{b_{NB}W_{NB}} = \frac{0,5054}{0,3 \times 1,08}$$

$$P_a = 1,56 \text{ MPa}$$

Existen áreas de mayor presión concentradas dentro del parche de carga. En general, las áreas más pequeñas tienen presiones locales más altas. En consecuencia, los factores de presión máxima enumerados, obtenidos de la tabla 2.10.2 “Los factores de presión máximo”, se utilizan para tener en cuenta la concentración de las presiones localizadas en los elementos estructurales. [11]

Elementos estructurales		Factores de presión máximo, $K_i$		$K_i$
Planchaje	Estructura transversal	$K_p = (1,8 - s) \geq 1,2$		$K_p = 1,3 \geq 1,2$
	Estructura longitudinal	$K_p = (2,2 - 1,2s) \geq 1,5$		$K_p = 1,6 \geq 1,5$
Cuadernas en las estructurales transversales	Con refuerzos	$K_t = (1,6 - s) \geq 1,0$		$K_t = 1,1 \geq 1,0$
	Sin refuerzos	$K_t = (1,8 - s) \geq 1,2$		$K_t = 1,3 \geq 1,2$
Refuerzos para carga distribuida (vigas)		$K_s = 1$	Si $S_w \geq 0,5w$	$K_s = 1$
Longitudinales del costado y fondo Alma de las varengas		$K_p = 2 - \frac{2S_w}{w}$	Si $S_w < 0,5w$	-
<b>Símbolos</b>				
s = intervalo entre cuadernas o longitudinales, en metros				0.5
S <sub>w</sub> = intervalos entre varengas, en metros				2
w = ancho del parche de carga de hielo, en metros				1.08

Tabla 21: Factores de presión

Como se muestra en la tabla anterior, los resultados de los factores de presión máximo (columna celeste) cumplen con los requisitos mínimos propuestos por el registro de clasificación. Esto indica, la validez de los cálculos previos a esta tabla.

#### 4.4.4.4. Factores de área del casco

Según el apartado 10.8.3 de la Lloyd's Register, para el diseño de buques con la presencia de dispositivos de propulsión especiales, ya sean azimutales o hélices entubadas, deberán tener especialmente en cuenta los factores del cinturón de hielo en popa,  $S_i$ , y del área del casco inferior de popa,  $S_b$ . [11]

A continuación, se tiene una tabla sobre las diferentes zonas del casco con sus respectivos valores de AF (factores de área):

Área del casco		Área	Clase Polar
			PC7
Proa (Bow - B)	Todo	B	1
	Cinturón de hielo	$BI_i$	1 ver Nota 1
Proa intermedia (Bow Intermediate - $B_i$ )	Bajo	BI	0.5
	Fondo	$BI_b$	0.25
Mitad de buque (Midbody - M)	Cinturón de hielo	$M_i$	0.45
	Bajo	$M_l$	0.25
	Fondo	$M_b$	Ver nota 2
Popa (Stern - S)	Cinturón de hielo	$S_i$	0.35
	Bajo	$S_l$	0.25
	Fondo	$S_b$	Ver nota 2
<b>Nota 1: ver Pt. 8, Cap. 2, 10.2 Diseño de cargas de hielo – General 10.2.3</b>			
<b>Nota 2: Indica que no es necesario el refuerzo para cargas de hielo.</b>			

Tabla 22: Valores de factores de diseño según la zona del casco

#### 4.4.5. Cálculo de espesores

##### 4.4.5.1. Requerimientos de planchas del casco

Según el apartado 10.9.1 de la Lloyd's Register, El requerimiento mínimo del espesor de las planchas del forro,  $t$ , está dado por:

$$t = t_{net} + t_s \text{ [mm]}$$

Donde,  $t_{net}$  es el espesor de plancha requerido para resistir las cargas de hielo, en mm;  $t_s$  es la tolerancia de corrosión y abrasión según Pt 8, Ch 2, 10.16 Adiciones de corrosión / abrasión y acero, en mm. [11]

10.9.2 El espesor del revestimiento del casco requerido para resistir la carga de hielo de diseño,  $t_{net}$ , depende de la orientación de la estructura. El planchaje, incluido todo el forro inferior, es decir el planchaje en las áreas del casco  $B_{lb}$ ,  $M_b$  y  $S_b$ , el espesor neto viene dado por la Tabla 2.10.5 Espesor del revestimiento del casco. [11]

REVESTIMIENTO DE ESTRUCTURAS TRANSVERSALES	REVESTIMIENTO DE ESTRUCTURAS OBLICUAS	REVESTIMIENTO DE ESTRUCTURAS LONGITUDINALES	
$\Omega \geq 70^\circ$	$70^\circ > \Omega > 20^\circ$	$\Omega \leq 20^\circ$	
		$b \geq s$	$b < s$
$t_{net} = \frac{500s \sqrt{\frac{AFK_p P_a}{\sigma_y}}}{1 + \frac{s}{2b}} \text{ mm}$	Interpolación lineal	$t_{net} = \frac{500s \sqrt{\frac{AFK_p P_a}{\sigma_y}}}{1 + \frac{s}{2l}} \text{ mm}$	$t_{net} = \frac{500s \sqrt{\frac{AFK_p P_a}{\sigma_y}} \sqrt{\frac{2b}{s} - \left(\frac{b}{s}\right)^2}}{1 + \frac{s}{2l}} \text{ mm}$
SIMBOLOS			
$\Omega$ = ángulo más pequeño entre la cuerda de la línea de flotación y la línea de la estructura del primer nivel como se ilustra en la Figura 2.10.3 Ángulo de encuadre del forro, $\Omega$ , en grados			
$s$ = intervalo de estructuras transversales o intervalo estructuras longitudinales, en metros			
AF = factor de área del casco de la tabla 2.10.3			
$K_p$ : Factor de presión máximo de la tabla 2.10.2			
$P_a$ = Presión media del parche de acuerdo a la Pt. 8, Cap. 2, 10.7 Presiones dentro de la carga de diseño del parche 10.7.1, en MPa			
$\sigma_y$ = límite elástico mínimo del material, en $N/mm^2$			
$b$ = altura del parche de carga de diseño, en m, donde $b \leq l - s/4$ en el caso de revestimiento de estructura transversal			
$l$ = distancia entre soportes de la cuaderna, se indica en Pt 8, Ch 2, 10.10 Framing – General 10.10.5. Cuando se instala un refuerzo de distribución de carga, la longitud, $l$ , no es necesario tomar más que la distancia desde el refuerzo hasta el soporte del de la cuaderna más distante			

Tabla 23: Espesor del revestimiento del casco

En la tabla anterior, se hace una referencia a los refuerzos con cierto ángulo  $\Omega$ , los cuales se explican en la figura siguiente:

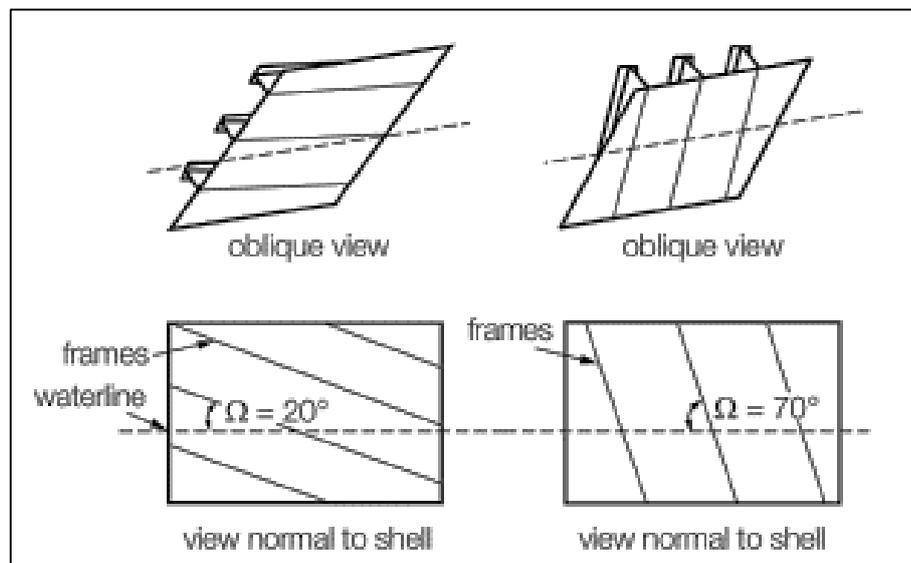


Figura 26: Ángulos según la dirección de los refuerzos

#### 4.4.5.2. Cálculo de espesores netos de la Zona $M_I$

Ya detallado en el apartado 3.4.3 Diseño de cargas de hielo, se procede a calcular los espesores netos según las áreas del casco en análisis, en este caso la zona será la sección maestra del buque. [11]

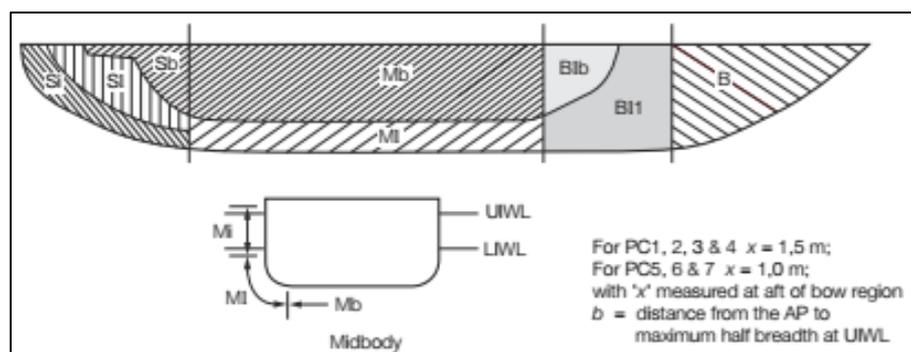


Figura 27: Áreas del casco – Zona  $M_I$ : zona media baja del casco

Datos obtenidos en los apartados anteriores:

Intervalo entre cuadernas	$s = 0,5 \text{ m}$	Factor de área del casco	$AF = 0,25$	Factor de Presión máximo	$K_p = 1,3 \text{ o } 1,6$
Presión dentro del parche	$P_a = 1,56$	Altura del parche de diseño	$b = 0,3$	Sigma admisible del material	$\sigma_y = 265 \text{ MPa}$

Tabla 24: Datos de diseño  $M_I$

- Ángulo de inclinación del refuerzo con respecto al casco,  $\Omega \geq 70^\circ$

$$t_{net} = \frac{500s \sqrt{\frac{AFK_p P_a}{\sigma_y}}}{1 + \frac{s}{2b}}$$

$$t_{net} = \frac{500(0,5) \sqrt{\frac{(0,25)(1,6)(1,56)}{265}}}{1 + \frac{0,5}{2(0,3)}}$$

$$t_{net} = 6,62 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

- Ángulo de inclinación del refuerzo con respecto al casco,  $\Omega \geq 20^\circ \rightarrow b < s$

$$b \leq l - \frac{s}{4} \rightarrow b + \frac{s}{4} \leq l \rightarrow 0,3 + \frac{0,5}{4} \leq l$$

$$0,43 \leq l$$

$$t_{net} = \frac{500s \sqrt{\frac{AFK_p P_a}{\sigma_y}} \sqrt{\frac{2b}{s} - \left(\frac{b}{s}\right)^2}}{1 + \frac{s}{2l}}$$

$$t_{net} = \frac{500(0,5) \sqrt{\frac{(0,25)(1,6)(1,56)}{265}} \sqrt{\frac{2(0,3)}{0,5} - \left(\frac{0,3}{0,5}\right)^2}}{1 + \frac{0,5}{2(0,43)}}$$

$$t_{net} = 7,03 \text{ mm} \approx 7 \text{ mm}$$

#### 4.4.5.3. Cálculo de espesores netos de la Zona $M_i$

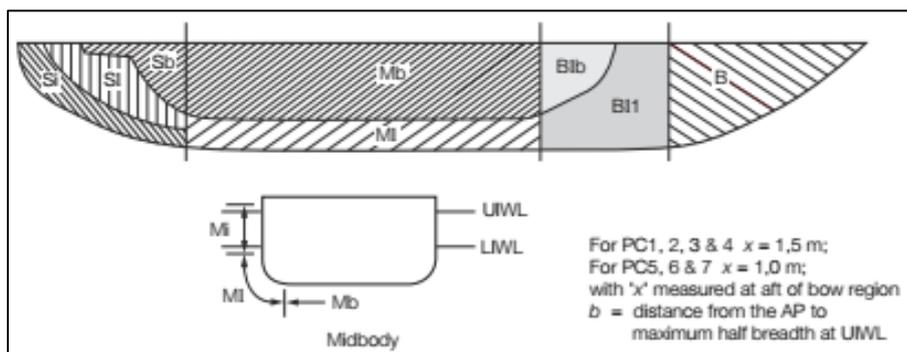


Figura 28: Áreas del casco – Zona  $M_i$ : zona media alta del casco

Datos obtenidos en los apartados anteriores:

Intervalo entre cuadernas	$s = 0,5 \text{ m}$	Factor de área del casco	$AF = 0,45$	Factor de Presión máximo de refuerzos	$K_t = 1,1 \text{ o } 1,3$
Presión dentro del parche	$P_a = 1,56$	Altura del parche de diseño	$b = 0,3$	Sigma admisible del material	$\sigma_y = 265 \text{ MPa}$

Tabla 25: Datos de diseño  $M_i$

- Ángulo de inclinación del refuerzo con respecto al casco,  $\Omega \geq 70^\circ$

$$t_{net} = \frac{500s \sqrt{\frac{AFK_p P_a}{\sigma_y}}}{1 + \frac{s}{2b}}$$

$$t_{net} = \frac{500(0,5) \sqrt{\frac{(0,45)(1,6)(1,56)}{265}}}{1 + \frac{0,5}{2(0,3)}}$$

$$t_{net} = 8,87 \text{ mm} \approx 9 \text{ mm}$$

- Ángulo de inclinación del refuerzo con respecto al casco,  $\Omega \geq 20^\circ \rightarrow b < s$

$$b \leq l - \frac{s}{4} \rightarrow b + \frac{s}{4} \leq l \rightarrow 0,3 + \frac{0,5}{4} \leq l$$

$$0,43 \leq l$$

$$t_{net} = \frac{500s \sqrt{\frac{AFK_p P_a}{\sigma_y}} \sqrt{\frac{2b}{s} - \left(\frac{b}{s}\right)^2}}{1 + \frac{s}{2l}}$$

$$t_{net} = \frac{500(0,5) \sqrt{\frac{(0,45)(1,6)(1,56)}{265}} \sqrt{\frac{2(0,3)}{0,5} - \left(\frac{0,3}{0,5}\right)^2}}{1 + \frac{0,5}{2(0,43)}}$$

$$t_{net} = 9,43 \text{ mm} \approx 10,0 \text{ mm}$$

A continuación, se muestra un resumen de los espesores del casco de la sección maestra del buque:

FORRO DEL ELEMENTO	ESPESOR MÍNIMO NETO [mm]	SOBRE-ESPESOR POR CORROSIÓN $t_s$ [mm]	ESPESOR TOTAL [mm]
<b>ZONA M<sub>I</sub></b>			
Fondo	7	+2	9
Cielo doble fondo	7	+2	9
Pantoque	7	+2	9
Vagras	7	+2	9
Varengas	7	+2	9
<b>ZONA M<sub>II</sub></b>			
Cuadernas	10	+2	12
Cinta	10	+2	12
Tranquil	10	+2	12
Puente	10	+2	12

Tabla 26: Resultados de espesores de plancha

#### 4.4.6. Dimensionamiento de refuerzos

Según el apartado 10.10.5 de la Lloyd's Register, el tramo de diseño de un elemento de estructura se determinará sobre la base de su longitud moldeada. Si se instalan soportes, el tramo de diseño puede reducirse de acuerdo con Pt 3, Ch 3 Diseño estructural. [11]

Al calcular el módulo de sección y el área de corte de un miembro estructural, los espesores netos del alma, ala (si está instalado) y el revestimiento del forro asociado. El área de corte de un elemento estructural puede incluir el material contenido sobre la profundidad total del miembro, es decir área del alma que incluye la parte de la platabanda, si está instalada, pero excluye el revestimiento del forro asociado. [11]

El área de corte neto efectivo,  $A_w$ , de un elemento estructural está dado por:

$$A_w = \frac{ht_{wn} \sin \phi_w}{100} [cm^2]$$

Donde,  $h$  es la altura total del refuerzo, en mm, ver la figura 2.10.4;  $t_{wn}$  es el espesor neto del alma, en mm,  $t_{wn} = t_w - t_c$ ;  $t_w$  es el espesor del alma, en mm, ver figura 2.10.4;  $t_c$  es la reducción por corrosión, en mm;  $\phi_w$  es el ángulo más pequeño entre la placa del forro y el alma del refuerzo, medido en la parte media del refuerzo. No puede ser menos de  $75^\circ$  [11]

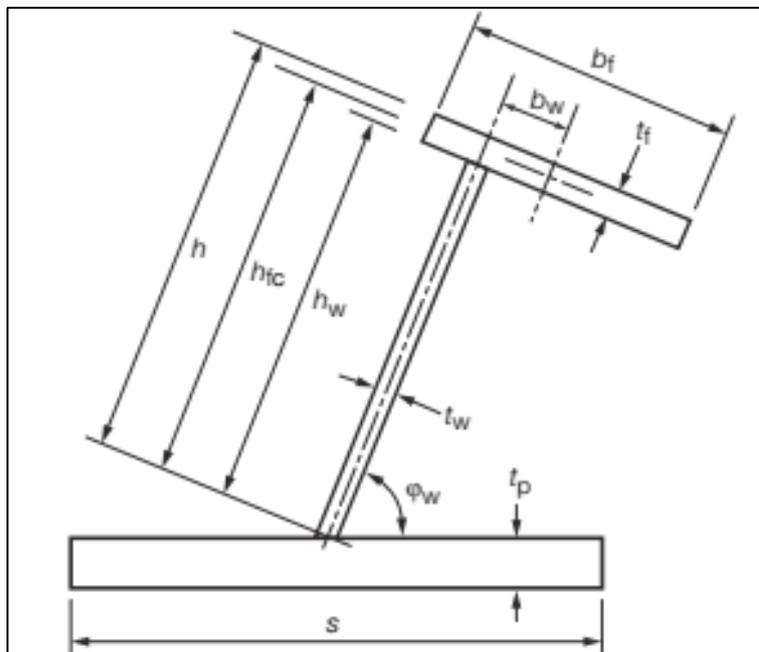


Figura 29: Geometría del refuerzo

#### 4.4.6.1. Estructuras transversales del costado y del fondo

El área actual de corte efectivo neto de una estructura,  $A_w$ , es definido en Pt. 8, Cap. 2, 10.10, se siguen las siguientes condiciones: [11]

$$A_w \geq A_t$$

$$A_t = 5000 l_L s \frac{AF K_t P_a}{0,577 \sigma_y} [cm^2]$$

Dónde:  $l_L$  es la longitud de la parte cargada del tramo, en metros, no necesita exceder el menor de a y b; a es el tramo de refuerzo, en metros; b es la altura del parche de carga de hielo de diseño, en metros; s es el intervalo entre cuadernas, en metros; AF es el factor de área del casco;  $K_t$  es el factor de presión máximo;  $P_a$  es la presión dentro del parche de carga, en Mpa;  $\sigma_y$  es el límite elástico mínimo del material, en  $N/mm^2$ . [11]

- **ZONA M<sub>I</sub>: zona media baja del casco**

Datos obtenidos en los apartados anteriores:

<b>Tramo de refuerzo</b>	a = 0,450 m	<b>Longitud de la parte de carga del tramo, no exceder del menor de a y b</b>	$l_L \leq 0,300$ m
<b>Altura del parche de diseño</b>	b = 0,300 m		
<b>Intervalo entre cuadernas</b>	s = 0,500 m	<b>Factor de Presión máximo</b>	$K_t = 1,1$ o $1,3$
<b>Factor de área del casco</b>	AF = 0,25	<b>Presión dentro del parche</b>	$P_a = 1,56$
<b>Sigma admisible del material</b>	$\sigma_y = 265$ MPa		

Tabla 27: Datos obtenidos de la zona M<sub>I</sub>

Aplicando la fórmula del área de corte efectivo, se obtiene:

$$A_t = 5000 l_L s \frac{AF K_t P_a}{0,577 \sigma_y}$$

$$A_t = 5000(0,3)(0,45) \frac{(0,25)(1,3)(1,56)}{0,577(265)}$$

$$A_t = 2,24 \text{ cm}^2$$

- **ZONA Mi: zona del cinturón de hielo de la parte media del buque**

Datos obtenidos en los apartados anteriores:

<b>Tramo de refuerzo</b>	a = 0,450 m	<b>Longitud de la parte de carga del tramo, no exceder del menor de a y b</b>	$l_L \leq 0,300 \text{ m}$
<b>Altura del parche de diseño</b>	b = 0,300 m		
<b>Intervalo entre cuadernas</b>	s = 0,500 m	<b>Factor de Presión máximo</b>	$K_t = 1,1 \text{ o } 1,3$
<b>Factor de área del casco</b>	AF = 0,45	<b>Presión dentro del parche</b>	$P_a = 1,56$
<b>Sigma admisible del material</b>		$\sigma_y = 265 \text{ MPa}$	

Tabla 28: Datos obtenidos de la zona Mi

Aplicando la fórmula del área de corte efectivo, se obtiene:

$$A_t = 5000 l_L s \frac{AF K_t P_a}{0,577 \sigma_y}$$

$$A_t = 5000(0,3)(0,45) \frac{(0,45)(1,3)(1,56)}{0,577(265)}$$

$$A_t = 4,03 \text{ cm}^2$$

Obtenido las áreas netas de corte efectivo para cada zona del casco central, se procede a dimensionar los refuerzos correspondientes a dichas zonas. En cuanto al tipo de acero, para los refuerzos se utilizará el 235 MPa con un  $k_l$  igual a 1. [11]

La tabla de resultados del dimensionamiento de los refuerzos se presenta en el siguiente cuadro:

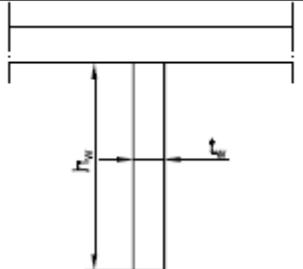
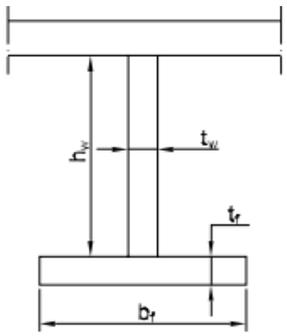
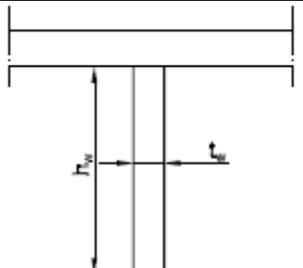
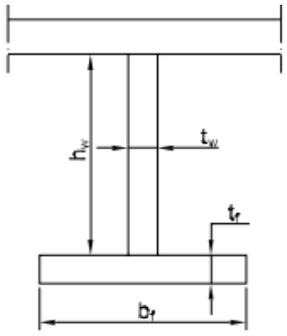
<b>ZONA M<sub>i</sub>: zona media baja del casco</b>			
Refuerzos ordinarios	Área de corte efectivo transversal [cm <sup>2</sup> ]	Área neta de corte [cm <sup>2</sup> ]	Proporción entre espesor y altura del alma del refuerzo
	$A_t = 2,24$	$A_w = \frac{ht_w \sin \varphi_w}{100}$ $A_w \geq 2,24$ $ht_w = 2,24 \times 100$ $ht_w = 224$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 20\sqrt{k}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 20\sqrt{1}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 20$
		$h_w = 120 \text{ mm}$ $t_w = 7 \text{ mm}$	
Perfiles reforzados	Proporción espesor y altura del alma	Proporción entre el ancho y espesor de la platina	Producto entre el ancho y espesor de la platina
	$\frac{h_w}{t_w} \leq 55\sqrt{k}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 55\sqrt{1}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 55$	$\frac{b_f}{t_f} \leq 33\sqrt{k}$ $\frac{b_f}{t_f} \leq 33\sqrt{1}$ $\frac{b_f}{t_f} \leq 33$	$b_f t_f \geq \frac{h_w t_w}{6}$
		$h_w = 180 \text{ mm}$ $t_w = 9 \text{ mm}$ $b_f = 90 \text{ mm}$ $t_f = 3 \text{ mm}$	
<b>ZONA M<sub>i</sub>: zona del cinturón de hielo de la parte media del buque</b>			
Refuerzos ordinarios	Área de corte efectivo transversal [cm <sup>2</sup> ]	Área neta de corte [cm <sup>2</sup> ]	Proporción entre espesor y altura del alma del refuerzo
	$A_t = 4,03$	$A_w = \frac{ht_w \sin \varphi_w}{100}$ $A_w \geq 4,03$ $ht_w = 4,03 \times 100$ $ht_w = 403$	$\frac{h_w}{t_w} \leq 20\sqrt{k}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 20\sqrt{1}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 20$
		$h_w = 140 \text{ mm}$ $t_w = 8 \text{ mm}$	
Perfiles reforzados	Proporción espesor y altura del alma	Proporción entre el ancho y espesor de la platina	Producto entre el ancho y espesor de la platina
	$\frac{h_w}{t_w} \leq 55\sqrt{k}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 55\sqrt{1}$ $\frac{h_w}{t_w} \leq 55$	$\frac{b_f}{t_f} \leq 33\sqrt{k}$ $\frac{b_f}{t_f} \leq 33\sqrt{1}$ $\frac{b_f}{t_f} \leq 33$	$b_f t_f \geq \frac{h_w t_w}{6}$
		$h_w = 200 \text{ mm}$ $t_w = 10 \text{ mm}$ $b_f = 100 \text{ mm}$ $t_f = 3 \text{ mm}$	

Tabla 29: Dimensionamiento de los refuerzos estructurales

## 4.5. Equipamiento y Compartimentación

### 4.5.1. Sala de máquinas/Propulsión

Como se ha evaluado anteriormente en el apartado 4.3.2 “Elección del motor” del presente proyecto, se ha seleccionado los motores necesarios para la propulsión de la nave; así mismo, se han elegido los propulsores azimutales correspondientes a la potencia de las máquinas principales.

#### 4.5.1.1. Máquina principal

Se ha recopilado información de diversos catálogos de motores marinos de diferentes empresas, por motivos de respuesta inmediata ante consultas, se ha optado por seleccionar a la empresa CUMMINS Perú S.A.C.

El modelo de elección es el KTA19 debido a la variedad de potencias similares a la obtenida en el análisis de resistencia al avance en los capítulos anteriores.



Figura 30: Motor marino KTA19

Dentro de los catálogos de Cummins, se menciona las dimensiones de este tipo de motores marinos, los cuales se detallan a continuación:

DIMENSIONES		
<b>LARGO</b>	1 877 mm	74 in
<b>ANCHO</b>	1 003 mm	40 in
<b>ALTURA</b>	1 905 mm	75 in
<b>PESO</b>	2 073 kg	4 570 lb

Tabla 30: Dimensiones del Motor marino Cummins KTA19

#### 4.5.1.2. Propulsores azimutales

En el caso de los azimutales se ha seleccionado el modelo SRE 150 de la empresa Schottel, su elección se basó en la potencia del motor calculada en el apartado 4.3.



*Figura 31: Azimutal EcoPeller SRE150 - Schottel*

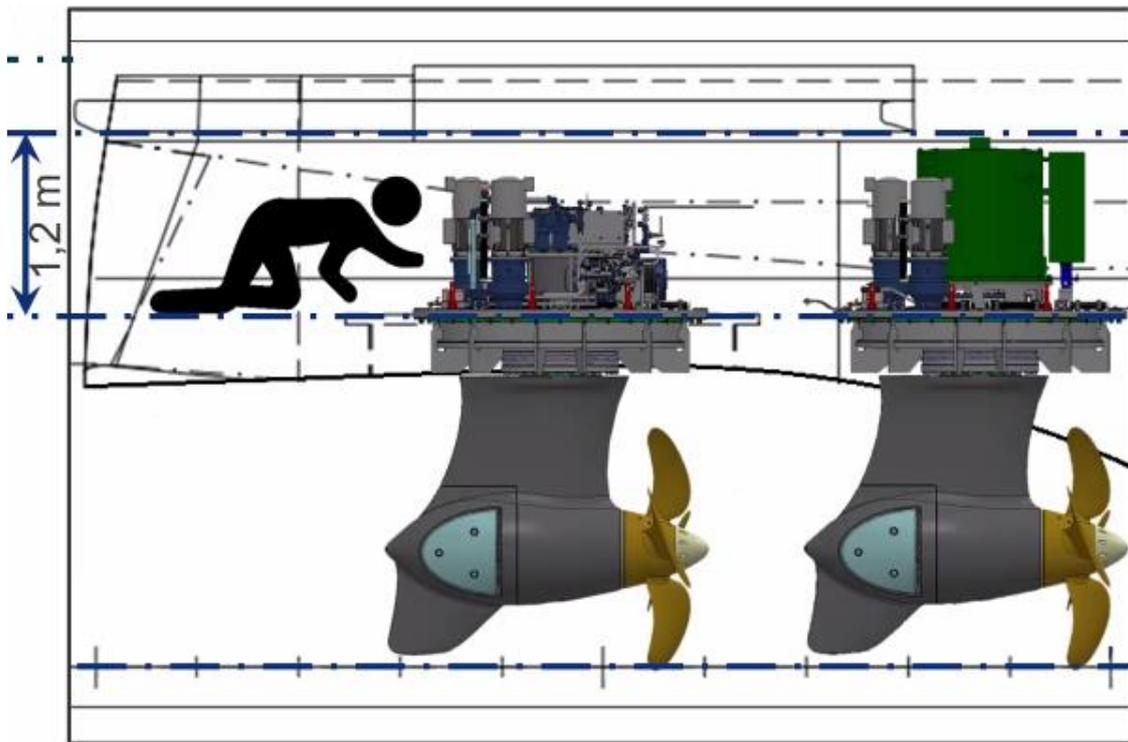
Con respecto al catálogo de propulsores azimutales de SCHOTTEL, se tiene una tabla de potencias y dimensiones respectivos a cada modelo de maquinaria. En este caso, el diámetro de la hélice correspondiente a este modelo, es de 1,20 m; este dato es de suma importancia para determinar las dimensiones del propulsor y de los equipos necesarios para su funcionamiento.

En su diseño, consta de varias partes, esencialmente divididas en 3: el engranaje cónico superior, la parte intermedia donde se ajusta con el casco y la unidad propulsora.

- ✓ Engranaje cónico superior: El engranaje cónico superior está integrado en la parte superior del cuerpo del mecanismo de dirección. Un eje de entrada horizontal con brida de acoplamiento está conectado al eje intermedio / motor primario.
- ✓ Parte intermedia: La parte entre el propulsor y el mecanismo de dirección se llama parte intermedia. Esta parte se adapta a la estructura de la nave (líneas de formas). Hay dos tipos de conexiones de casco, tipo "soldada" y tipo "atornillado".
- ✓ Unidad propulsora: La unidad de propulsión está equipada con una hélice de cuatro o cinco palas. La hélice se impulsa a través de un engranaje cónico en la carcasa del

engranaje, que se conecta a un eje vertical que se extiende en el casco del barco. Un sello del eje evita la penetración de agua y las fugas de aceite.

A continuación, se muestra un esquema proporcionado por la empresa SCHOTTEL sobre el espacio requerido para la parte superior del propulsor, engranaje cónico superior, dentro de la nave.



*Figura 32: Dimensión vertical del engranaje cónico superior – SCHOTTEL*

#### 4.5.1.3. Sistema de propulsión SSP Diésel - Eléctrico

La planta de propulsión será de tipo Diésel – Eléctrico, es decir, los motores principales estarán acoplados directamente a un alternador para transformar la energía mecánica en eléctrica. [22]

En este sistema la presencia del eje de transmisión mecánica desaparece, siendo una gran ventaja en cuanto a espacio y distribución de la planta propulsora, los azimutales serán alimentados mediante conexiones eléctricas, siendo la generación eléctrica a partir de la transformación de la energía mecánica a eléctrica a través de un alternador acoplado en el motor principal, pasando través de transformadores y convertidores de frecuencia hacia el motor eléctrico del azimutal. [22]

A continuación, se presenta un esquema del sistema SSP Diésel – Eléctrico ejemplificando la distribución de las máquinas de la planta propulsora dentro de la nave. [23]

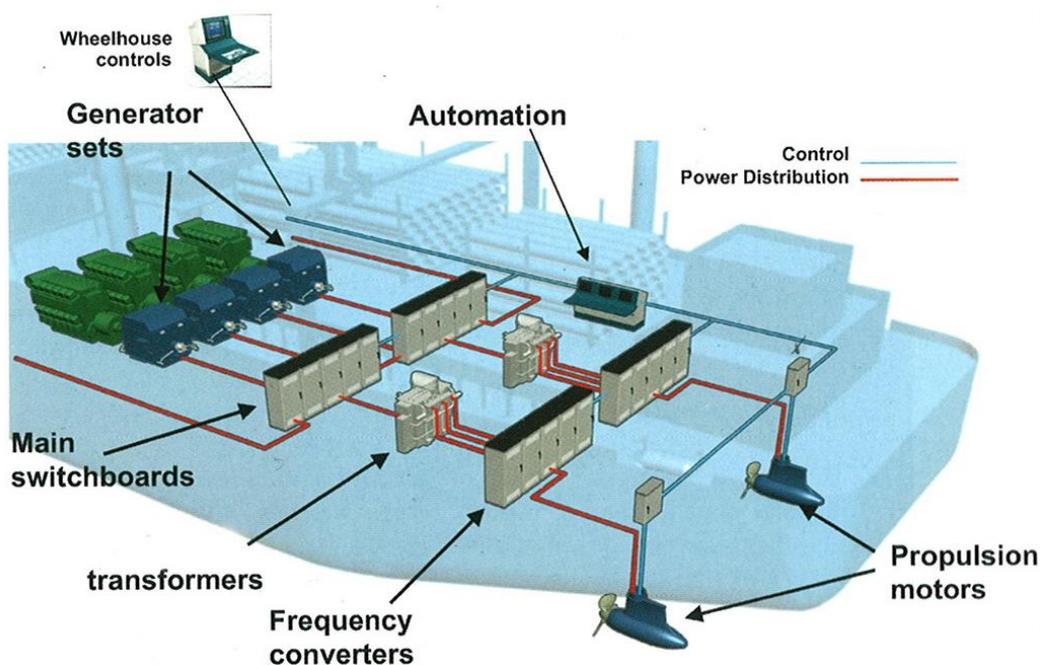


Figura 33: Esquema del Sistema combinado SSP Diésel – Eléctrico

#### 4.5.1.4. Hélices de maniobra transversal/Bow Thruster

De acuerdo a las exigencias del armador, se ha contemplado la instalación de una hélice de maniobra transversal para optimizar las maniobras de atraque y desembarque; además, de asegurar la navegación en condiciones de mar agitado. En cuanto a su selección, se ha optado por los bow thruster de la empresa Schottel, dentro de sus catálogos, se ha encontrado diversos modelos; con respecto al calado en proa, se ha seleccionado el modelo SRT 1250.

Type	Rated power [kW]	Inner diameter [mm]
SRT 800	200	800
SRT 1000	315	1000
SRT 1250	500	1250
SRT 1600	800	1600

Tabla 31: Modelos de Bow Thruster - SCHOTTEL

En la siguiente imagen, se muestra la configuración y los equipos necesarios para su funcionamiento, respecto al diagrama se distribuirá dichas máquinas dentro de la nave.

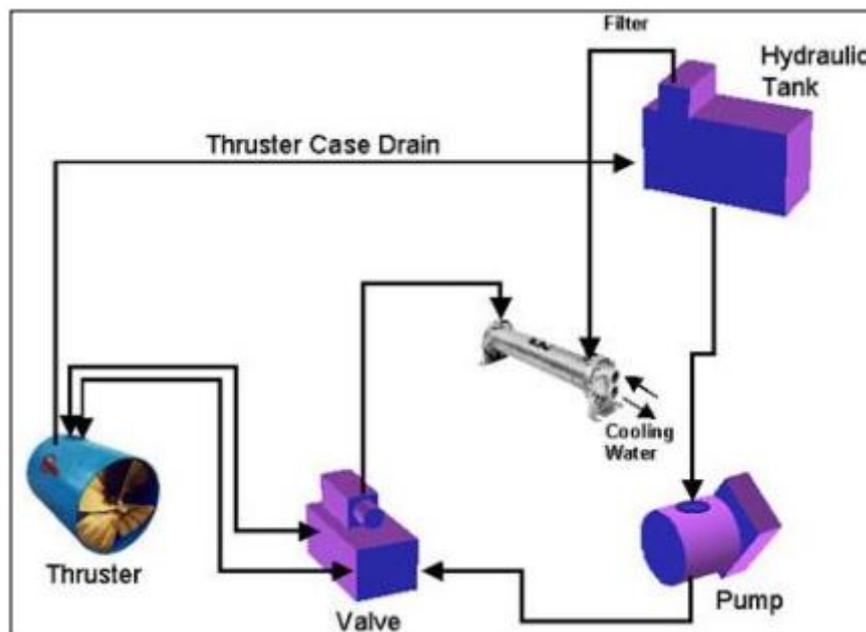


Figura 34: Diagrama de funcionamiento del Bow Thruster

#### 4.5.2. Bodegas y Tanques

A continuación, se muestran las distribuciones con sus respectivas capacidades y pesos de los tanques y bodegas a bordo, estos datos se han obtenido del buque base; y según las nuevas modificaciones del proyecto se han modificado los espacios y ubicación de las bodegas y tanques:

BODEGAS							
ITEM	UBICACIÓN		CAPACIDAD GRANO	CAPACIDAD PAQUETE	PESO	LCG	KG
Nombre	ZONA	Nº INTERVALO	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	TON	(m)	(m)
Bodega de pescado	B & E	7 – 13	2 x 10,17	2 x 8,17		12,40	2,95
Bodega frigorífica	C	7 – 13	10,55	9,96		12,52	2,87
<b>TOTAL</b>			30,89	26,30		-	

Tabla 32: Distribución de las bodegas

TANQUES DE COMBUSTIBLE (S.G. = 0,860)								
ITEM	UBICACIÓN		100% CAPACIDAD	96% CAPACIDAD	PESO	LCG	KG	I max
Nombre	ZONA	Nº INTERVALO	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	TON	(m)	(m)	(m <sup>4</sup> )
Nº1 F.O.T.	B	36 – 45	16,54	15,90	13,7	-2,82	0,81	19,7
Nº1 F.O.T.	E	36 – 45	16,75	16,10	13,8	-2,85	0,81	20,2
Nº2 F.O.T.	B	21 – 36	26,13	25,10	21,6	2,60	0,77	28,2
Nº2 F.O.T.	E	23 – 36	24,07	23,10	19,9	2,27	0,76	26,8
Nº3 F.O.T.	B	13 – 17	13,37	12,80	11,0	9,97	2,56	3,1
Nº3 F.O.T.	E	13 – 17	12,37	11,90	10,2	9,97	2,54	2,5
Nº4 F.O.T.	B & E	2 – 7	2 x 16,93	2 x 16,30	2 x 14,0	15,18	3,24	2 x 24,9
F.O.S.T.	E	14 – 16	1	1	0,9	10,00	2,83	-
<b>TOTAL</b>			144,09	138,50	119,1		-	

NOTA:

F.O.T. (Fuel Oil Tank – Tanque de Petróleo)

F.O.S.T (Fuel Oil Service Tank – Tanque de Servicio de Petróleo)

Tabla 33: Distribución de los tanques de combustible

TANQUES DE AGUA FRESCA (S.G. = 1,000)							
ITEM	UBICACIÓN		100% CAPACIDAD	96% CAPACIDAD	LCG	KG	I max
Nombre	ZONA	Nº INTERVALO	m <sup>3</sup>	TON	(m)	(m)	(m <sup>4</sup> )
F.P.T.	C	64 – FE	13	13	-15,48	2,75	8,3
Nº1 F.W.T.	B & E	62 – 64	2 x 5,73	2 x 5,7	-13,98	2,71	2 x 1,7
Nº2 F.W.T.	B & E	46 – 62	2 x 18,22	2 x 18,2	-8,73	0,97	2 x 19,5
<b>TOTAL</b>			60,90	60,8		-	

NOTA:

F.P.T. (

F.W.T. (Fresh Water Tank – Tanque de Agua Fresca)

Tabla 34: Distribución de los tanques de agua fresca

OTROS TANQUES							
ITEM	UBICACIÓN		100% CAPACIDAD	96% CAPACIDAD	LCG	KG	I max
Nombre	ZONA	Nº INTERVALO	m <sup>3</sup>	TON	(m)	(m)	(m <sup>4</sup> )
HYD.O.T. (Hidrolina Oil Tank)	E	25 – 29	2,49		4,01	0,38	0,6
B.O.T. (B Oil Tank)	B	17 – 21	2,97		7,91	0,91	1,5
L.O.T (Lubricant Oil Tank)	E	17 – 23	5,01		7,33	0,88	2,6
<b>TOTAL</b>			10,47			-	

Tabla 35: Distribución de otros tanques

## V. ECONOMÍA DEL PROYECTO

### 5.1. Programa de proyecto

#### 5.1.1. Cronograma de trabajo

Se ha realizado un plan base de procesos constructivos del buque de investigación oceanográfica correspondiente a todas las modificaciones estructurales que convergen en este proyecto. *Ver Anexo 10.*

Utilizando el software MS Project, se ha detallado cada etapa de la producción del proyecto, desde el varado de la nave al astillero hasta el mantenimiento de la carena para realizar los trabajos de calderería. Esto para calcular los tiempos de trabajo de cada operación, y cotizar el costo de estadía del buque en el dique.

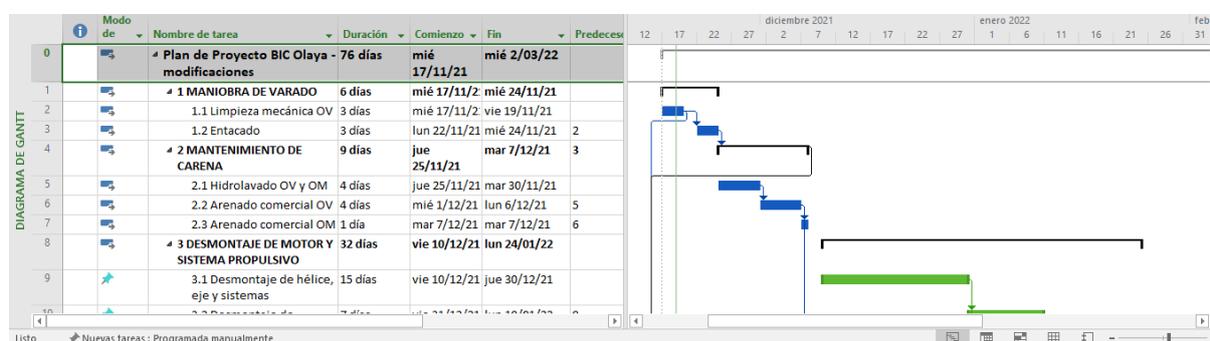


Figura 35: Ventana principal del programa MS Project – Plan de proyecto BO

Como se muestra en la figura 35, el tiempo pronosticado para realizar el trabajo propuesto es de 76 días, este dato servirá para determinar el costo total de la estadía de esta nave en un astillero y completar el presupuesto del proyecto.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UND	Precio en dólares [\$]	Costo total
1	Estadía	76	días	\$ 400.00	\$ 30,400.00
2	Varado/desvarado (incluye entacado)	1	UND	\$ 24,000.00	\$ 24,000.00
4	Hidrolavado OV y OM	1141	m <sup>2</sup>	\$ 3.50	\$ 3,993.50
5	Arenado comercial OV	451	m <sup>2</sup>	\$ 13.00	\$ 5,863.00
6	Arenado comercial OM	280	m <sup>2</sup>	\$ 14.00	\$ 3,920.00
7	Pintado OV 1ra capa	451	m <sup>2</sup>	\$ 2.00	\$ 902.00
8	Pintado OM 1ra capa	780	m <sup>2</sup>	\$ 2.00	\$ 1,560.00
9	Pintado de rotulado, matrícula, nombre - embarcación		GLO	1500	\$ -
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 70,638.50</b>

Tabla 36: Costo total de estadía, mantenimiento del BO en el astillero DM SAC.

“Todos los datos de costos de varado, estadía, mantenimiento de carena, calderería y propulsión han sido obtenidos por medio de cotizaciones realizadas del varadero donde laboro.”

### 5.1.2. Módulos de construcción

Entre los objetivos del presente proyecto de investigación, se ha diseñado las nuevas líneas de formas de la carena proyecto del buque Oceanográfico, derivando la forma base del casco en las zonas de popa, cuerpo central y proa con nuevas formas estructurales. En base a esto, se detalla la cantidad de acero retirado y añadido por la modificación, generando un valor de costo necesario para la evaluación del presupuesto del proyecto.

A continuación, se muestran las vistas longitudinales del casco base “BIC Olaya” y del casco modificado, a partir de esa vista se evidenciará las nuevas modificaciones de formas realizadas en el apartado 4.2.

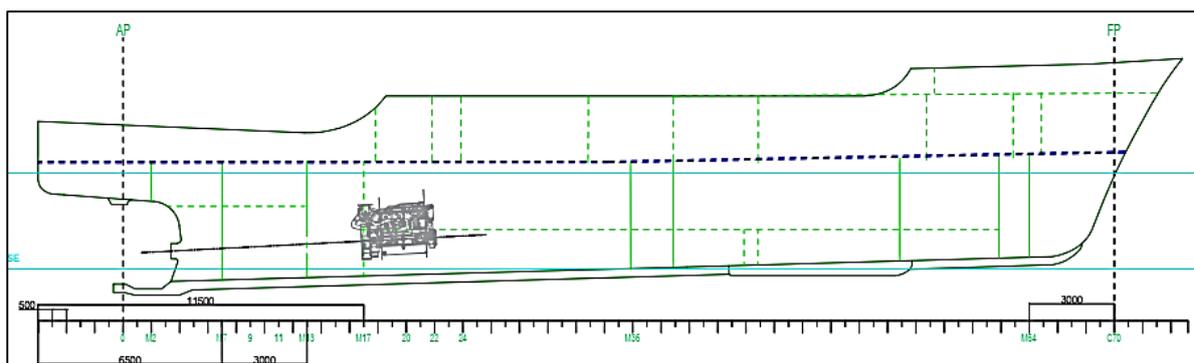


Figura 36: Vista Longitudinal del BIC Olaya

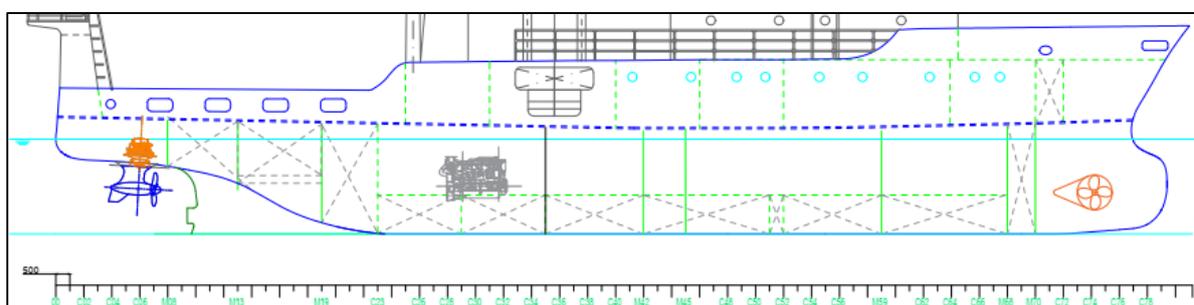


Figura 37: Vista Longitudinal del BIC Olaya Rediseñado

Como se observa en las imágenes anteriores, figura 36 y 37, las vistas longitudinales están escaladas en un eje graduado, donde se ubican las estaciones (cuadernas y mamparos) a intervalos de 500 mm; la cual, facilitará las mediciones correspondientes a las modificaciones estructurales.

Utilizando el software AutoCAD, se proyectarán las nuevas líneas de formas del buque rediseñado, sobreponiendo en el casco base del BIC Olaya, con el fin de medir las áreas de las estructuras a retirar y a utilizar.

- Zona de popa (Espejo de Popa – Mamparo M17)

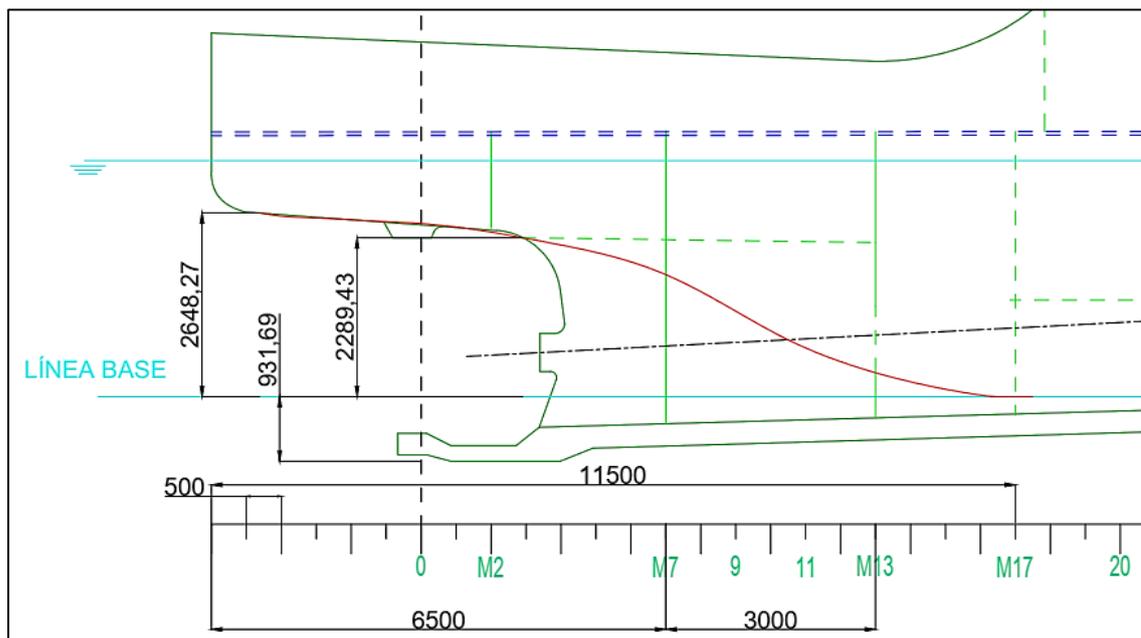


Figura 38: Zona de popa del casco base

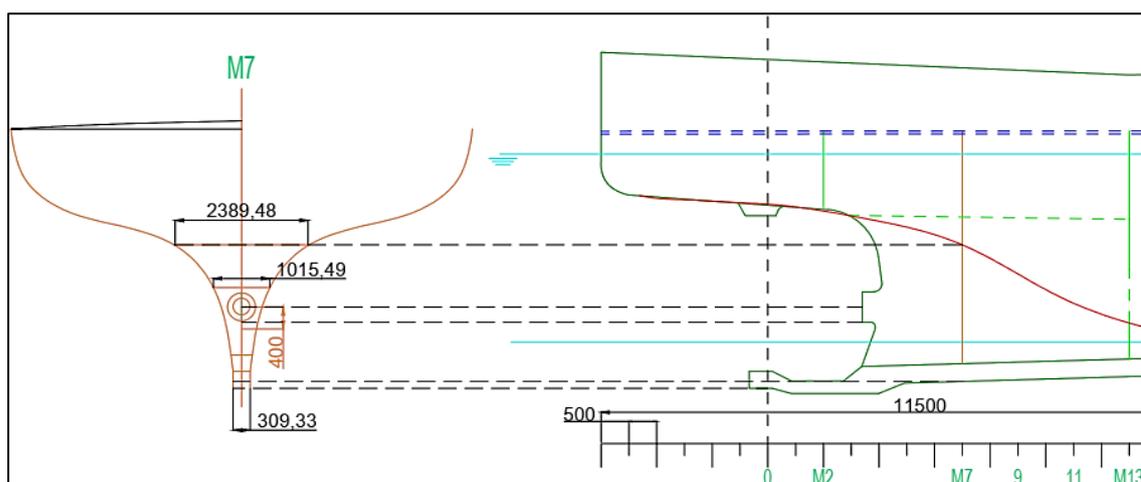


Figura 39: Vista transversal del Mamparo 7 - Casco base

En la figura 38, se muestra la curva roja indicando la sobre posición de la línea de forma de popa del buque proyecto encima de las líneas de formas de la carena madre. Para lo cual esta región estructural abarca desde la cuaderna C3 hasta el mamparo 17. Como está indicado, la nueva línea de forma sigue el recorrido de la antigua curva del fondo de la carena base; por lo tanto, en esta zona de popa no se realizará modificaciones estructurales complejas, solo se removerá la Estructura del fondo y toda región debajo de la línea base de construcción.

En la figura 39, se observa la proyección transversal mamparo M7 detallando el paso del eje de la hélice del buque base; debido a las nuevas modificaciones de propulsión, este paso del eje no será necesario, por lo cual, se sellará dicho conducto para la estanqueidad de la estructura.

- Estructura del fondo

Una de las estructuras que se removerán para dar lugar a la nueva forma de la nave, es la Estructura del fondo, esta estructura inferior longitudinal se removerá para modificar completamente el fondo de la nueva carena, siendo recta apoyándose sobre la línea base de construcción.

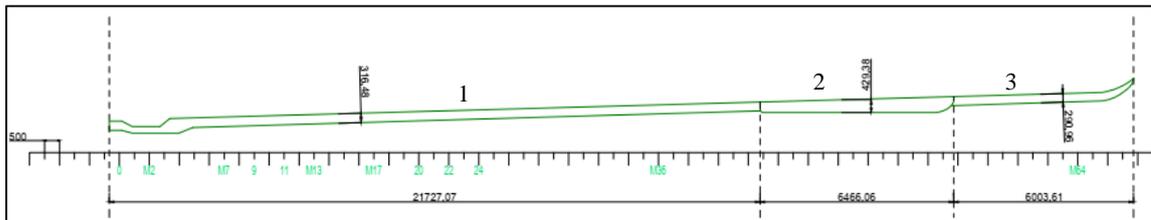


Figura 40: Estructura del fondo del caso base

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	Ancho [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	$\rho_{\text{acero}}$ [ton/m <sup>3</sup> ]	Peso [ton]
1	Estructura del fondo de la región popa	3	316	21727	25.4	7.85	4.11
2	Estructura del fondo de la región popa	3	430	6466	25.4	7.85	1.66
3	Estructura del fondo de la región popa	3	291	6004	25.4	7.85	1.05
<b>TOTAL</b>							<b>6.82</b> ton
							<b>6815.12</b> kg

Tabla 37: Peso total de la Estructura del fondo

- Zona de proa (Mamparo M64 – Cuaderna C71)

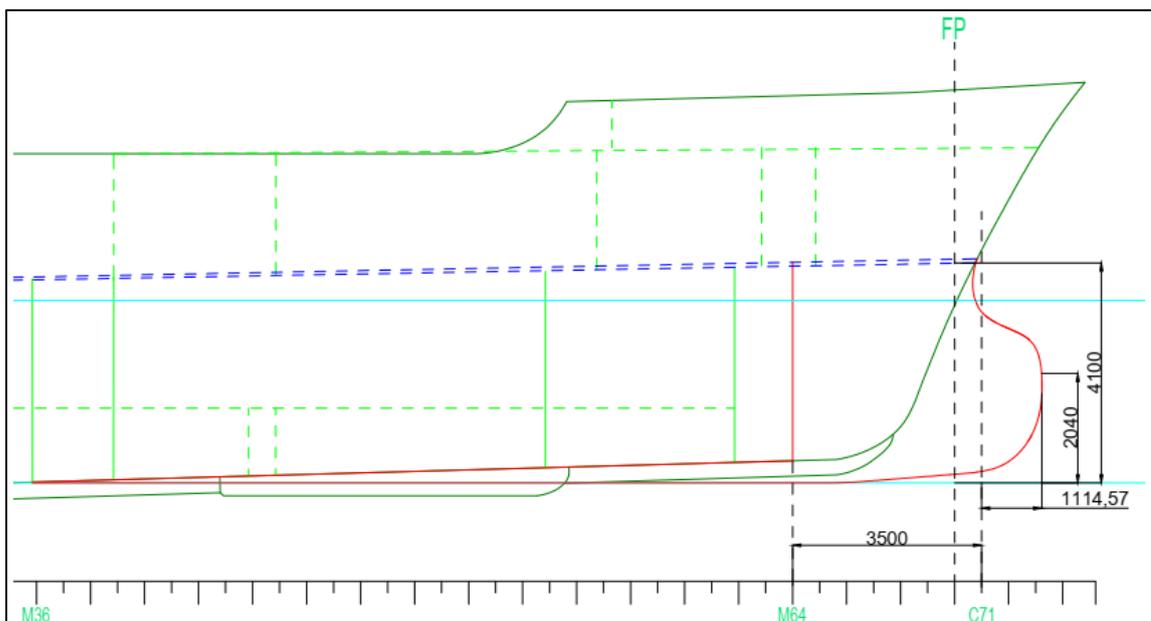


Figura 41: Vista de región de proa - Casco base

En la figura 41, se muestra la zona de proa del casco base, donde se detalla las zonas estructurales que se van a añadir (bulbo y fondo del casco de proa). Se tomará como referencia el cambio de estructura desde el mamparo M64 hasta la cuaderna C71 donde se une al bulbo.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	Ancho [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	$\rho_{\text{acero}}$ [ton/m <sup>3</sup> ]	Peso [ton]
1	Planchas del casco de la zona de proa	2	3500	4100	12	7.85	1.35
2	Estructura interna (refuerzos)	50%					0.675885
<b>TOTAL</b>							<b>2.03</b> ton
							<b>2027.655</b> kg

Tabla 38: Peso de acero trabajado entre M64-C70

En el caso del bulbo, se calcula el área total para determinar el peso total de acero trabajado en esta estructura.

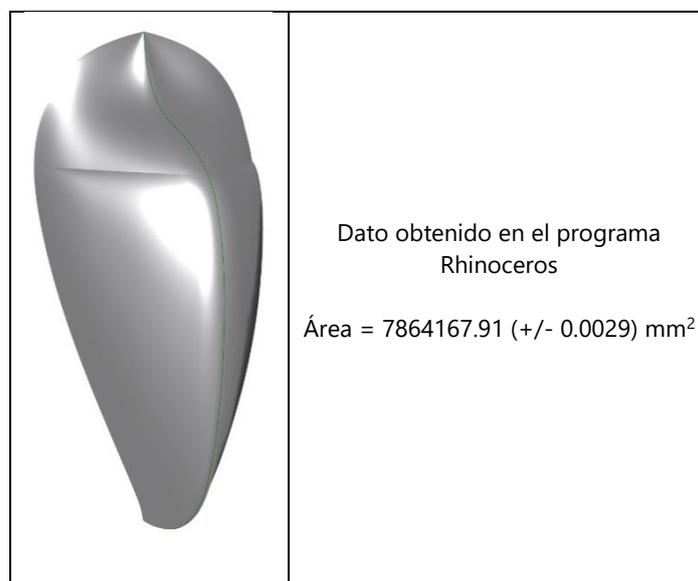


Figura 42: Modelado 3D de Bulbo del buque proyecto

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	Ancho [mm]	Largo [mm]	Espesor [mm]	$\rho_{\text{acero}}$ [ton/m <sup>3</sup> ]	Peso [ton]
1	Plancha del bulbo	1	7864167.91		12	7.85	0.74
2	Estructura interna (refuerzos)	50%					0.37
<b>TOTAL</b>							<b>1.11</b> ton
							<b>1111.21</b> kg

Tabla 39: Peso de acero trabajado del Bulbo

### 5.1.3. Presupuesto proyectado

A continuación, se detallan los precios base para el rediseño del buque Oceanográfico:

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UND	Precio en dólares [\\$]	Costo total
<b>Trabajos de calderería</b>					
1	Materiales (planchas de acero ASTM A-131)	10	UND	Precio incluido en el precio de acero trabajado	-
	Cambio de ánodos de zinc	46	UND	\$ 12.00	\$552.00
	Acero trabajado	9954	kg	\$ 5.00	\$49,769.89
<b>Propulsión y gobierno</b>					
<b>Desmontaje del sistema de propulsión</b>					
2	Recorrido de propulsión hasta 6" diámetro de eje	1	EJE	\$ 2,500.00	\$2,500.00
<b>Mantenimiento de carena</b>					
3	Limpieza mecánica OV	451	m <sup>2</sup>	\$ 3.00	\$ 1,353.00
	Hidrolavado OV y OM	1141	m <sup>2</sup>	\$ 3.50	\$ 3,993.50
	Arenado comercial OV	451	m <sup>2</sup>	\$ 13.00	\$ 5,863.00
	Arenado comercial OM	780	m <sup>2</sup>	\$ 14.00	\$ 10,920.00
<b>Máquinas de propulsión</b>					
4	MOTOR PRINCIPAL KTA19	2	UND	\$ 136,000.00	\$ 272,000.00
	AZIMUTAL SRE150	2	UND	\$ 847,500.00	\$ 1,695,000.00
	BOW THRUSTER	2	UND	\$ 282,500.00	\$ 565,000.00
<b>Costo de Astillero</b>					
1	Estadía	76	días	\$ 400.00	\$ 30,400.00
2	Varado/desvarado (incluye entacado)	1	UND	\$ 24,000.00	\$ 24,000.00
4	Hidrolavado OV y OM	1141	m <sup>2</sup>	\$ 3.50	\$ 3,993.50
5	Arenado comercial OV	451	m <sup>2</sup>	\$ 13.00	\$ 5,863.00
6	Arenado comercial OM	280	m <sup>2</sup>	\$ 14.00	\$ 3,920.00
7	Pintado OVx capa 4 capas	451	m <sup>2</sup>	\$ 2.00	\$ 3,608.00
8	Pintado OM x capa 3 capas	780	m <sup>2</sup>	\$ 2.00	\$ 4,680.00
9	Pintado de rotulado, matrícula, nombre - embarcación	1	GLO	1500	\$ 1500
<b>TOTAL</b>					<b>\$2,684,915.89</b>

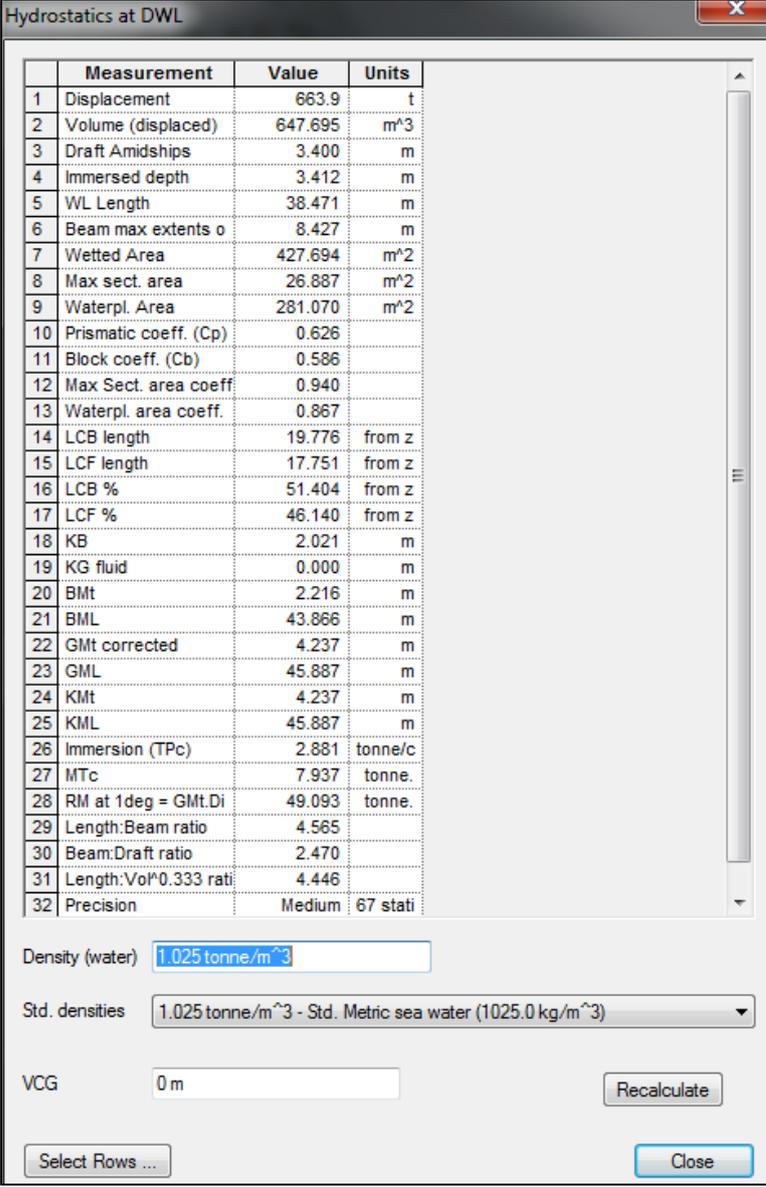
Tabla 40: Resumen del Presupuesto Final - Rediseño del Buque BIC

NOTA: Estos precios son referenciales, según el año de proyectación, dichos precios varían dependiendo de la influencia del mercado internacional.

## VI. RESULTADOS

### 6.1. Características hidrostáticas

Utilizando la herramienta “Calculate Hydrostatics” de la pestaña “Data”, se calcularán las siguientes características hidrostáticas del buque proyecto. A continuación, se detallan los resultados del análisis hidrostático de la nave:



	Measurement	Value	Units
1	Displacement	663.9	t
2	Volume (displaced)	647.695	m <sup>3</sup>
3	Draft Amidships	3.400	m
4	Immersed depth	3.412	m
5	WL Length	38.471	m
6	Beam max extents o	8.427	m
7	Wetted Area	427.694	m <sup>2</sup>
8	Max sect. area	26.887	m <sup>2</sup>
9	Waterpl. Area	281.070	m <sup>2</sup>
10	Prismatic coeff. (Cp)	0.626	
11	Block coeff. (Cb)	0.586	
12	Max Sect. area coeff	0.940	
13	Waterpl. area coeff.	0.867	
14	LCB length	19.776	from z
15	LCF length	17.751	from z
16	LCB %	51.404	from z
17	LCF %	46.140	from z
18	KB	2.021	m
19	KG fluid	0.000	m
20	BMt	2.216	m
21	BML	43.866	m
22	GMt corrected	4.237	m
23	GML	45.887	m
24	KMt	4.237	m
25	KML	45.887	m
26	Immersion (TPc)	2.881	tonne/c
27	MTc	7.937	tonne.
28	RM at 1deg = GMt.Di	49.093	tonne.
29	Length:Beam ratio	4.565	
30	Beam:Draft ratio	2.470	
31	Length:Vol <sup>0.333</sup> rati	4.446	
32	Precision	Medium	67 stati

Density (water)

Std. densities

VCG

Figura 43: Resultados Hidrostáticos del buque base

Como se detalla en el siguiente cuadro comparativo, las dimensiones principales no varían demasiado; por el contrario, el desplazamiento de la nave modificada es menor a la de base; en otras palabras, el diseño de formas de la carena actual puede ser más eficiente de la carena antigua.

COMPARACIÓN DE DIMENSIONES PRINCIPALES	
BUQUE BASE	BUQUE BASE MODIFICADO
LOA = 40.62 M	<b>LOA = 40.62 m</b>
LBP = 35 M	<b>LBP = 38.47 m</b>
B = 8.30 M	<b>B = 8.30 m</b>
D = 3.70 M	<b>D = 3.70 m</b>
T = 3.40 M	<b>T = 3.40 m</b>
$\Delta$ = 681.9 T	<b><math>\Delta</math> = 663.9 t</b>

*Tabla 41: Comparación de Dimensiones Principales de la nave proyecto*

## 6.2. Diseño de formas

### 6.2.1. Evaluación de eficiencia de la instalación del bulbo

En el apartado 4.2. Diseño de formas del capítulo IV. Análisis y Diseño, se ha evaluado la implementación de un bulbo en proa, tomando como referencia para su construcción diversos criterios de diseño, cumpliendo con la mayoría de dichos parámetros. Se diseñó y se acopló a la proa tomando en cuenta ciertas modificaciones básicas para la intersección de las líneas de formas del bulbo con la del casco del buque de investigación.

Utilizando la superposición de la línea del coeficiente de bloque ( $C_B$ ) en el diagrama de Watson/Gilgillan, se puede evaluar la eficiencia del arco bulboso. [21]

A continuación, se detallarán los datos necesarios para la superposición de línea entre el  $C_B$  y  $N^\circ$  Froude, obtenidos en los capítulos anteriores. Referentemente al  $N^\circ$  Froude, este dependerá de la velocidad a la que navegará el buque, en este caso la velocidad crucero es de 12 nudos, ubicando este valor en la tabla de resultados del análisis de la resistencia al avance (Ver Figura 23) corresponde un valor de 0,318.

En cuanto al coeficiente de bloque, este parámetro se puede encontrar en el apartado anterior en la tabla de resultados del análisis hidrostático de la nave de investigación, siendo un valor de 0,586 (Ver Figura 34).

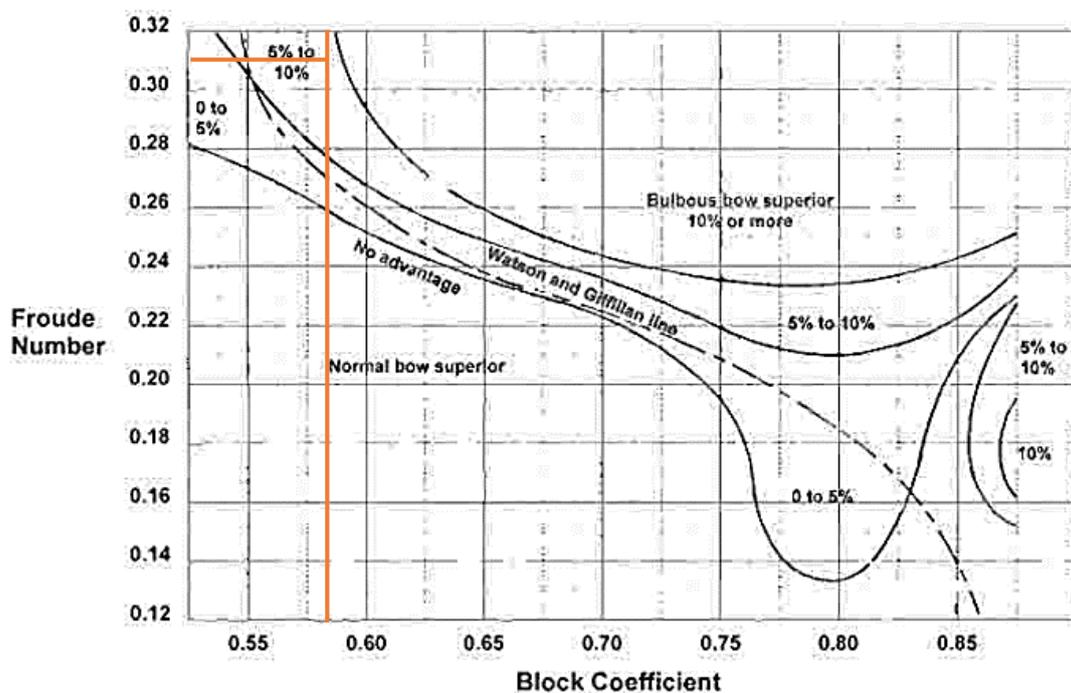


Gráfico 3: Diagrama de superposición del  $N^\circ$  Froude y  $C_b$  de Watson/Gilgillan [21]

Al seleccionar estos valores en la siguiente tabla, se intercepta dos líneas las cuales convergen en una zona donde la eficiencia de la presencia de este apéndice en proa es de 5 a 10% más eficiente que la de un casco convencional. Por lo tanto, se comprueba que la instalación de este bulbo en la proa del buque proyecto es totalmente beneficiosa.

### 6.2.2. Evaluación de diseño de la zona de popa para la instalación de azimutales

Ya obtenido la forma general de la carena del buque proyecto, se procede a realizar las modificaciones correspondientes a la zona del fondo de popa, esto para poder adaptarlo para la instalación de los azimutales. [24]

Estos lineamientos y modificaciones se han realizado conforme a las especificaciones técnicas del diseño de azimutales de la Rolls-Royce. [24]

A continuación, se muestran los parámetros de diseño de adecuación e instalación de un azimutal en la carena de un buque: [24]

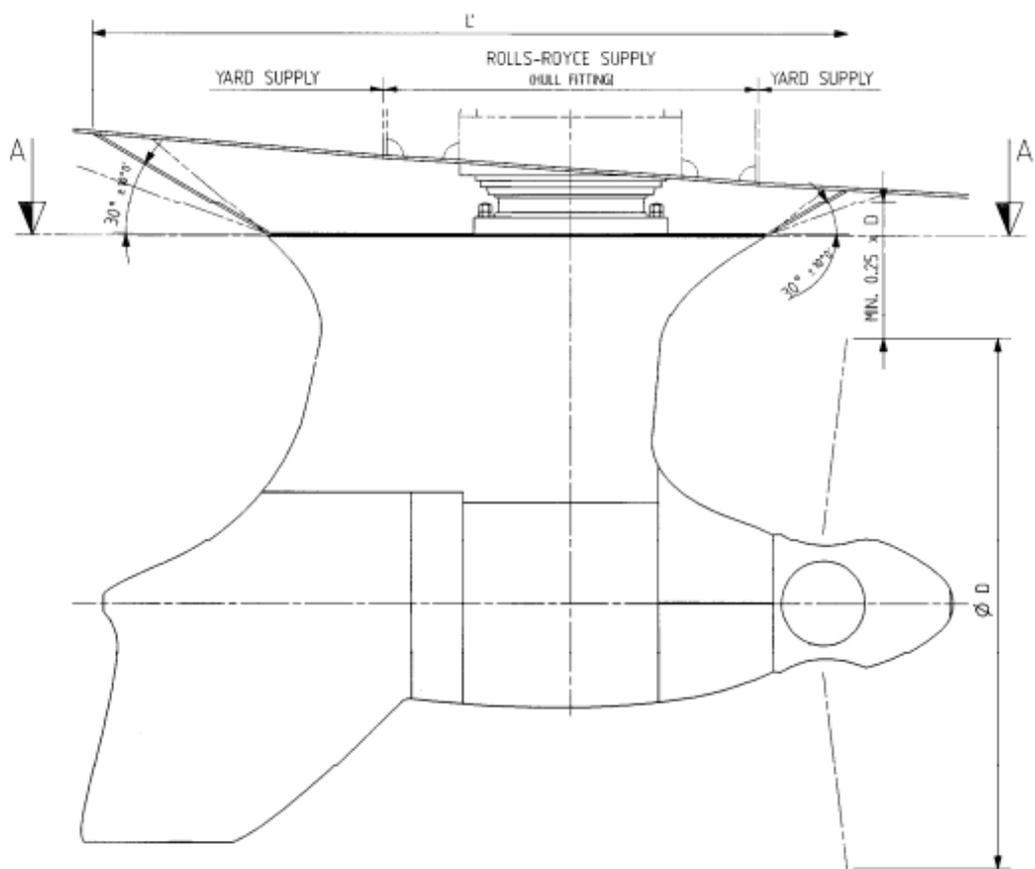


Figura 44: Ángulos de entrada de la unión del Azimutal-Casco [24]

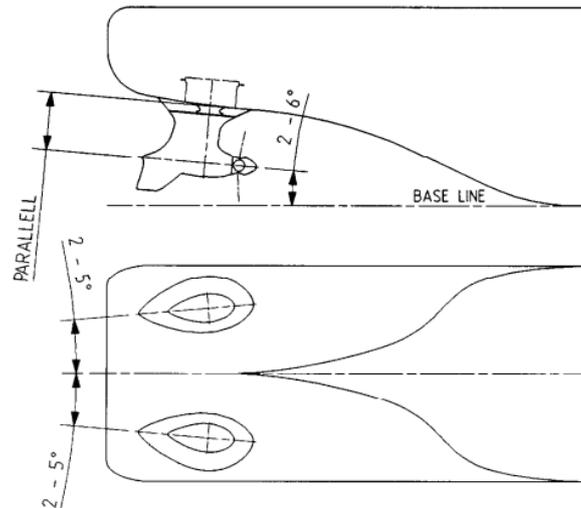


Figura 45: Ángulos de inclinación para la instalación de un Azimutal [24]

Con estos datos, se procede a afinar la parte de popa y adecuarla para la instalación de los azimutales. En la figura 36, se muestra un huelgo mínimo entre la punta de la pala y el fondo del casco de un 25% del diámetro de la hélice. Además, se muestra los ángulos de entrada de la unión del azimutal al casco, estos oscilan desde un máximo de  $30^\circ$  a un mínimo de  $10^\circ$ . En la figura 37, se muestran los ángulos máximos y mínimos para la inclinación del fondo del casco y del azimutal en procedencia de la línea base.

En la figura 38, se presenta la forma longitudinal del modelado 3D realizado en el capítulo 4.2 Diseño de formas, esta forma está adecuada para la instalación del azimutal, arrojando valores de ángulos promedios a los requeridos por los manuales de instalación de la Rolls-Royce.

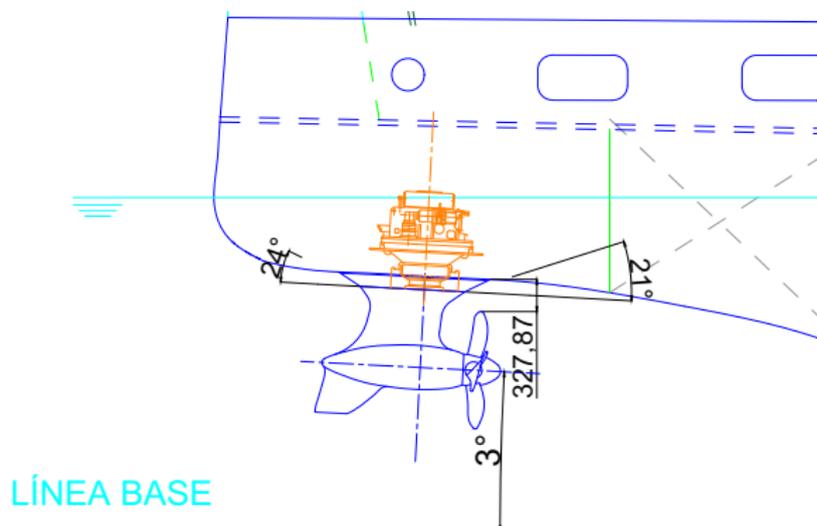


Figura 46: Vista longitudinal de la zona de popa del BO

A continuación, se muestran los resultados de evaluación de los parámetros de diseño para la instalación de azimutales en la zona de popa.

Como datos necesarios, se tiene: Diámetro de la hélice = 1200 mm

REQUERIMIENTO	COND. MÍNIMA	CÁLCULO EN PLANO	EVALUACIÓN
Huelgo mínimo: 25%D	25% (1200) = 300 mm	327,87 mm	SI CUMPLE
Ángulo de entrada en corte A-A	30° ± 10°	24° - Popa de Azimutal 21° - Proa de Azimutal	SI CUMPLE
Ángulo de inclinación	2° - 6°	3°	SI CUMPLE

Tabla 42: Resultados de parámetros de diseño de instalación de un Azimutal

### 6.3. Predicción de la potencia efectiva

Se ha llevado a cabo la simulación hidrodinámica de la carena base y de proyecto, utilizando el software MaxSurf Resistance, con el fin de evaluar la resistencia al avance y la potencia requerida para su propulsión. En la figura 39, se muestra la simulación hidrodinámica del casco base (sin presencia de bulbo), se muestra la pantalla del programa con la simulación en 3D, gráficos, diagramas de curvas de resistencia vs velocidad y la tabla de resultados, ver tabla 39, señalando los resultados del análisis hidrodinámico. En la figura 40, se muestran las mismas características del programa con los resultados al análisis hidrodinámico de la carena modificada de proyecto (con presencia de bulbo y fondo de popa afinada).

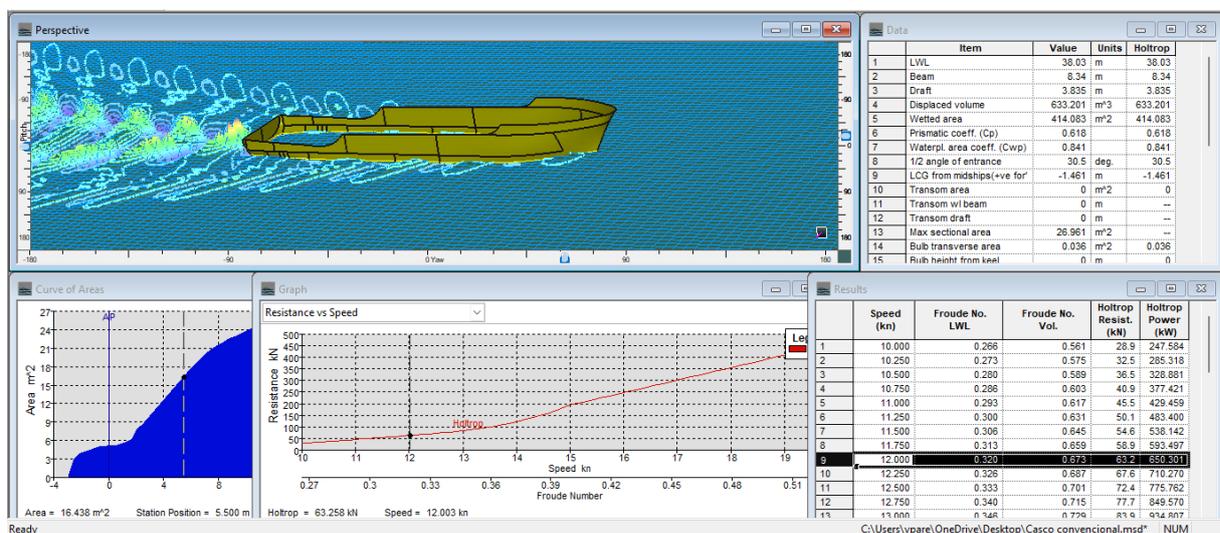


Figura 47: Simulación hidrodinámica - Buque Base

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	10.000	0.266	0.561	28.9	247.584
2	10.250	0.273	0.575	32.5	285.318
3	10.500	0.280	0.589	36.5	328.881
4	10.750	0.286	0.603	40.9	377.421
5	11.000	0.293	0.617	45.5	429.459
6	11.250	0.300	0.631	50.1	483.400
7	11.500	0.306	0.645	54.6	538.142
8	11.750	0.313	0.659	58.9	593.497
9	12.000	0.320	0.673	63.2	650.301
10	12.250	0.326	0.687	67.6	710.270
11	12.500	0.333	0.701	72.4	775.762
12	12.750	0.340	0.715	77.7	849.570
13	13.000	0.346	0.729	83.9	934.807
14	13.250	0.353	0.743	91.1	1034.861
15	13.500	0.360	0.757	99.6	1153.412
16	13.750	0.366	0.771	109.8	1294.441
17	14.000	0.373	0.785	121.8	1462.224

Tabla 43: Resultados de la simulación - Buque Base

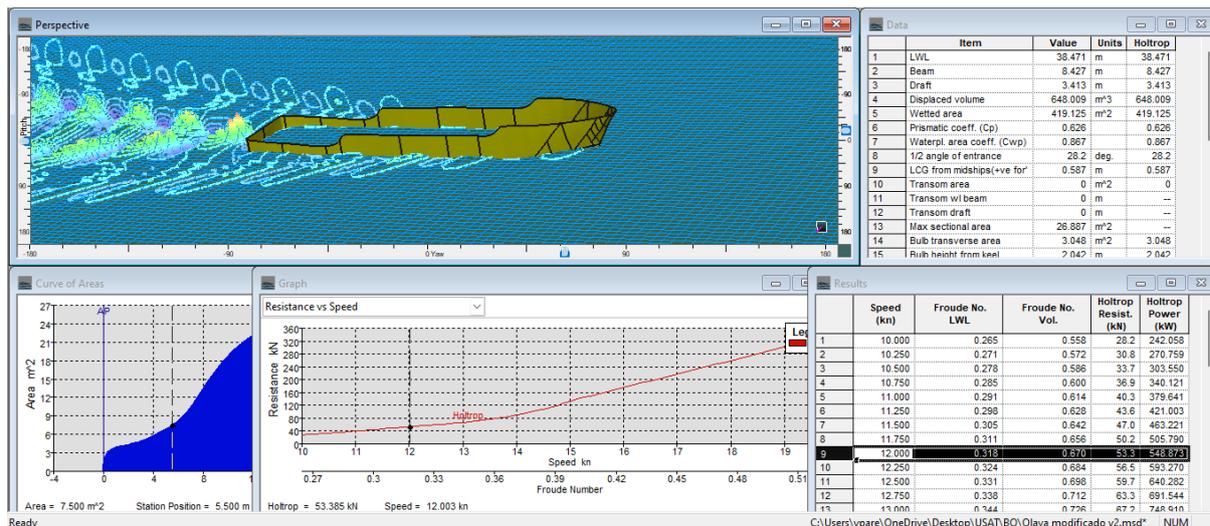


Figura 48: Simulación Hidrodinámica - Buque proyecto

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Holtrop Resist. (kN)	Holtrop Power (kW)
1	10.000	0.265	0.558	28.2	242.058
2	10.250	0.271	0.572	30.8	270.759
3	10.500	0.278	0.586	33.7	303.550
4	10.750	0.285	0.600	36.9	340.121
5	11.000	0.291	0.614	40.3	379.641
6	11.250	0.298	0.628	43.6	421.003
7	11.500	0.305	0.642	47.0	463.221
8	11.750	0.311	0.656	50.2	505.790
9	12.000	0.318	0.670	53.3	548.873
10	12.250	0.324	0.684	56.5	593.270
11	12.500	0.331	0.698	59.7	640.282
12	12.750	0.338	0.712	63.3	691.544
13	13.000	0.344	0.726	67.2	748.910
14	13.250	0.351	0.740	71.7	814.398
15	13.500	0.358	0.754	76.9	890.186
16	13.750	0.364	0.768	83.0	978.619
17	14.000	0.371	0.782	90.2	1082.221

Tabla 44: Resultados de la simulación - Buque proyecto

A continuación, se presentan los resultados comparativos del análisis de resistencia al avance de la carena base y carena modificada del buque de investigación oceanográfica del presente proyecto:

PARÁMETRO	VELOCIDAD DE CRUCERO	CASCO BASE	CASCO MODIFICADO (PROYECTO)	EVALUACIÓN
RESISTENCIA AL AVANCE [kN]	12 nudos	63,2	53,3	Los resultados con el casco modificado evidencia una menor resistencia al avance.
POTENCIA HOLTROP [kW]	12 nudos	650,31	548,873	El resultado de la potencia del casco modificado, es menor, por lo tanto es una ventaja económica.

Tabla 45: Resultados comparativos del análisis hidrodinámico

### 6.3.1. Curva de Resistencia al avance – Velocidad

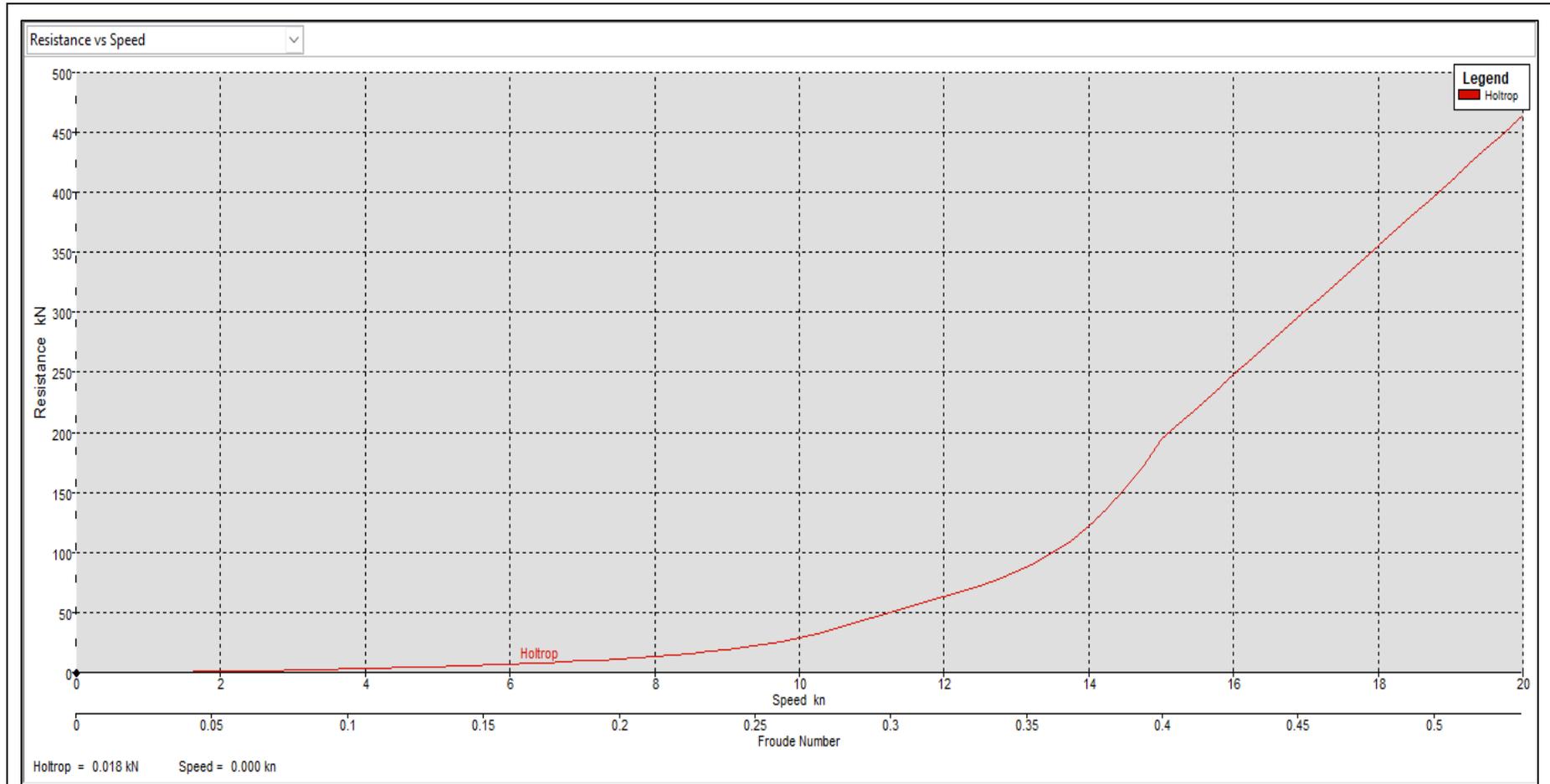
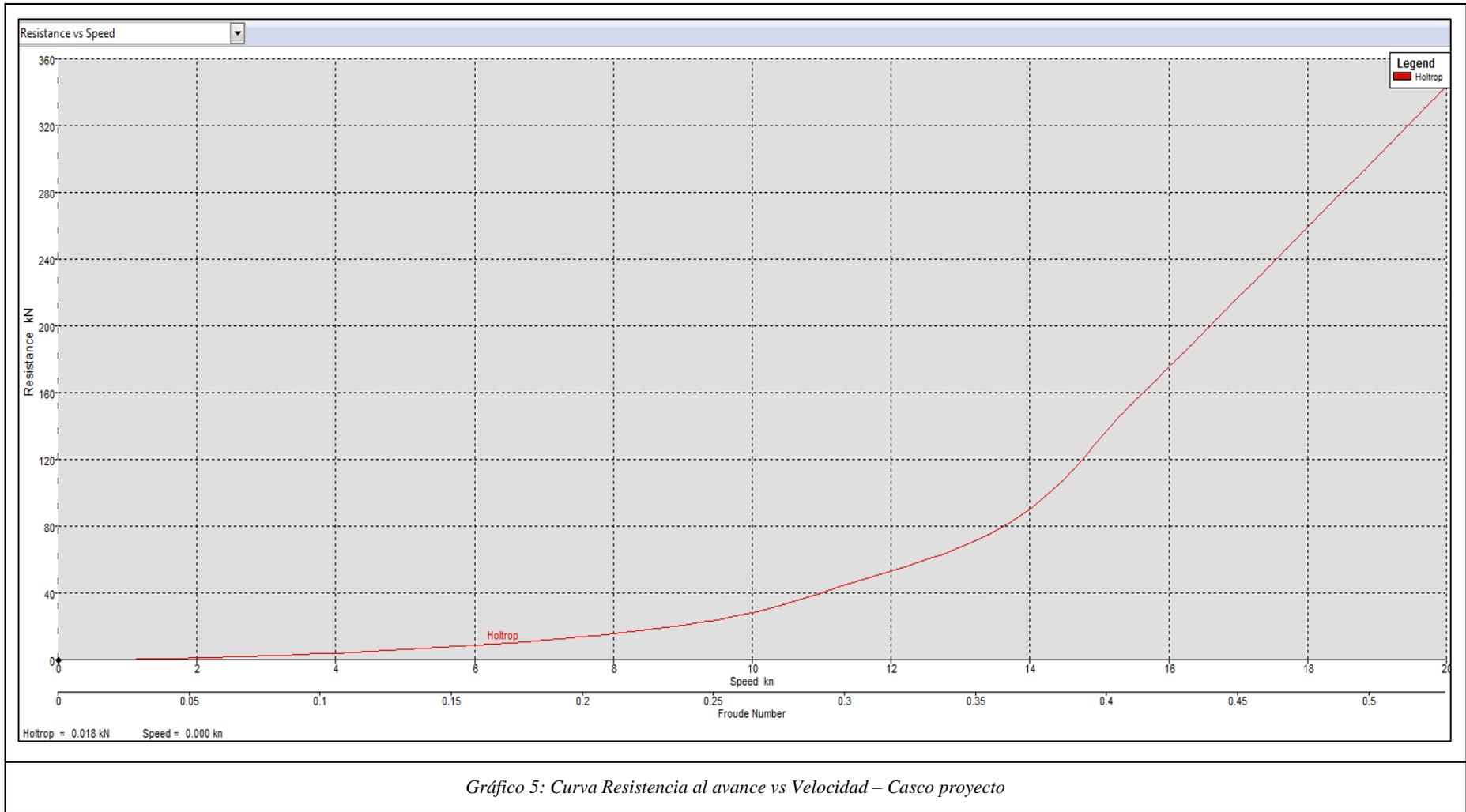
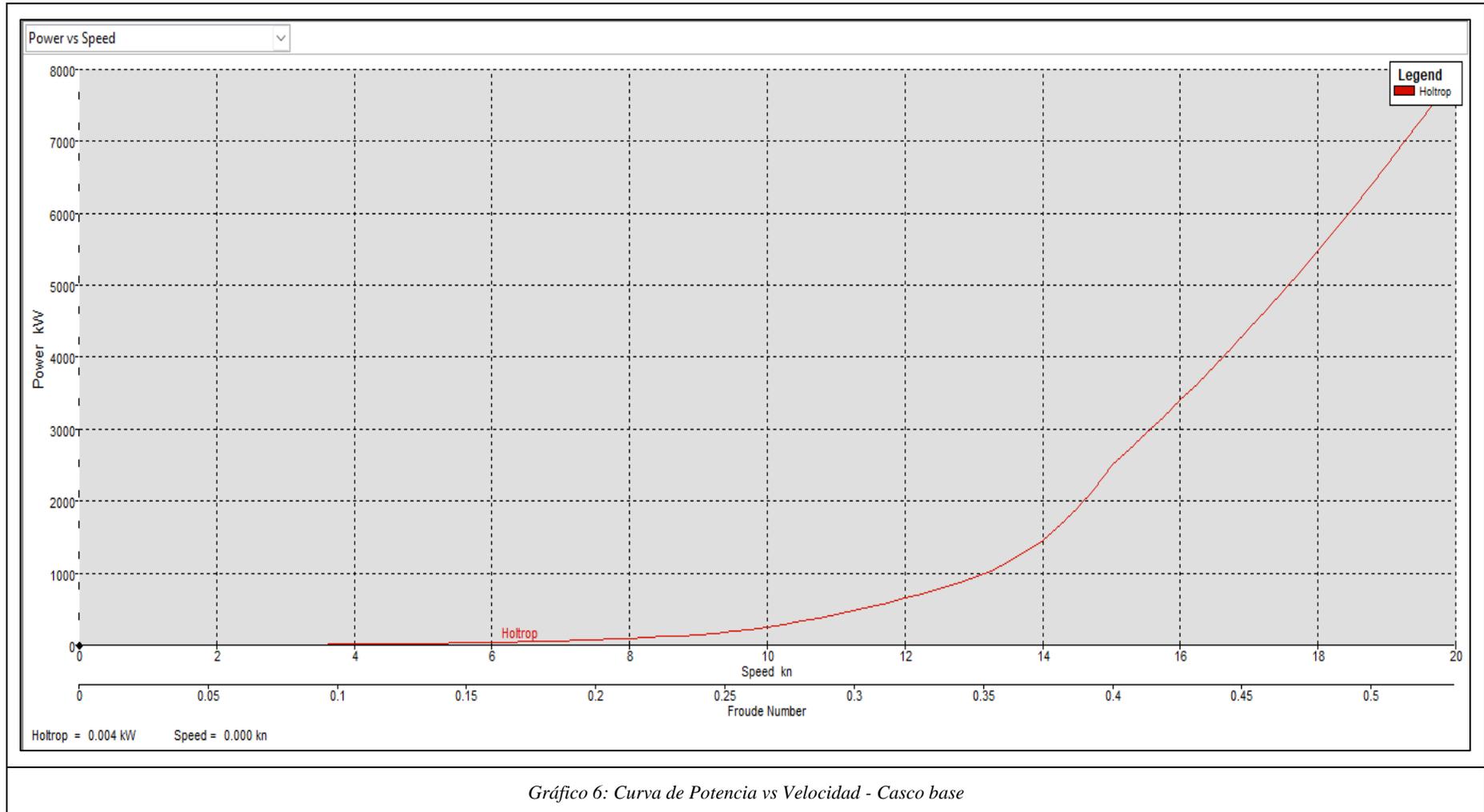


Gráfico 4: Curva Resistencia al avance vs Velocidad - Casco base



### 6.3.2. Curva de Potencia – Velocidad



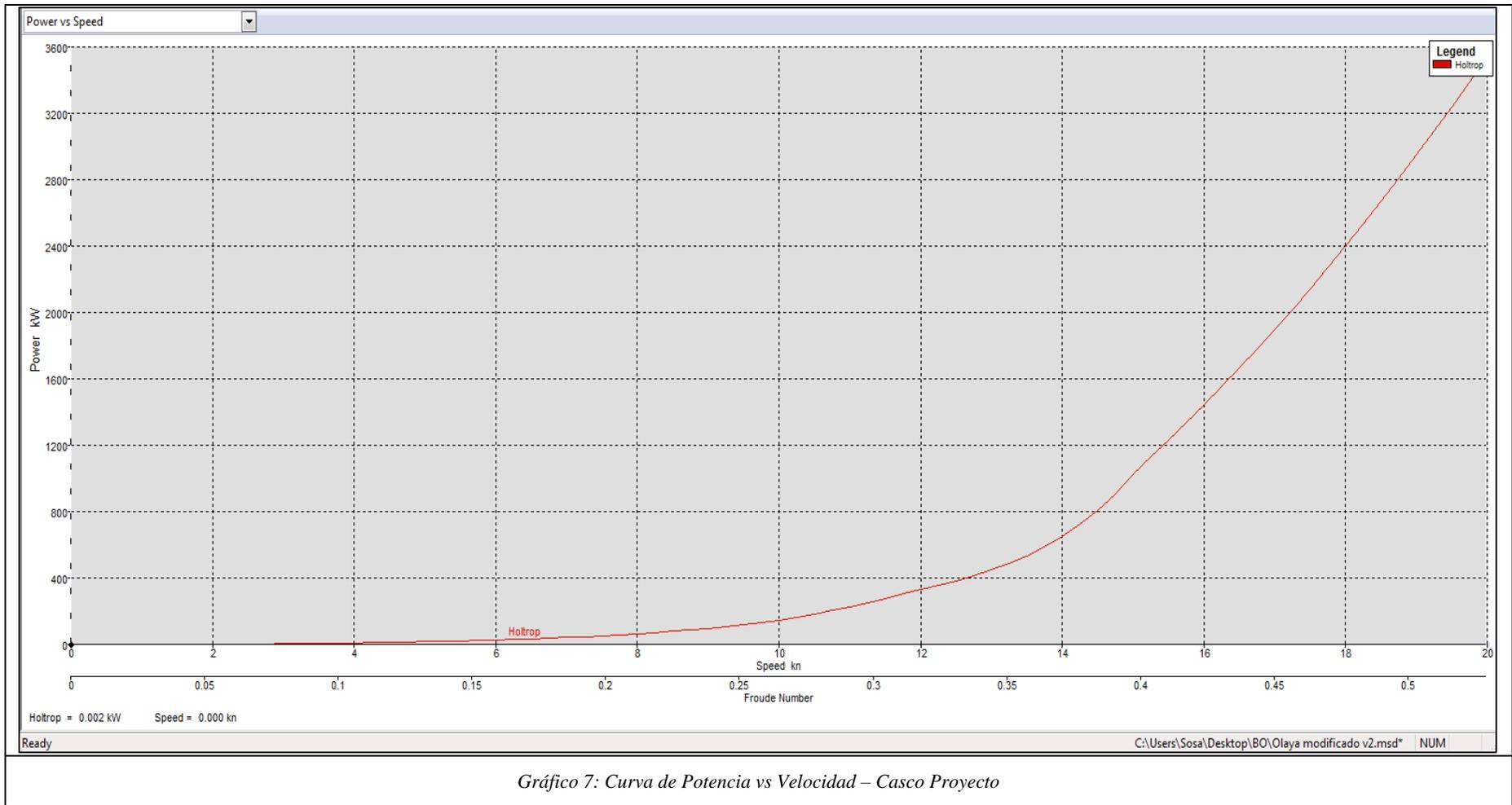


Gráfico 7: Curva de Potencia vs Velocidad – Casco Proyecto

## 6.4. Estabilidad

### 6.4.1. Criterios de estabilidad

En el programa MaxSurf Stability, se realizarán los correspondientes análisis de estabilidad. Para ello, se debe seleccionar los datos necesarios para realizar el análisis:

En la pestaña “Analysis” se encontrarán las herramientas “Trim” /trimado, “Draft” /Inmersión y “Displacement” /Desplazamiento

A continuación, se apreciarán los valores iniciales del análisis:

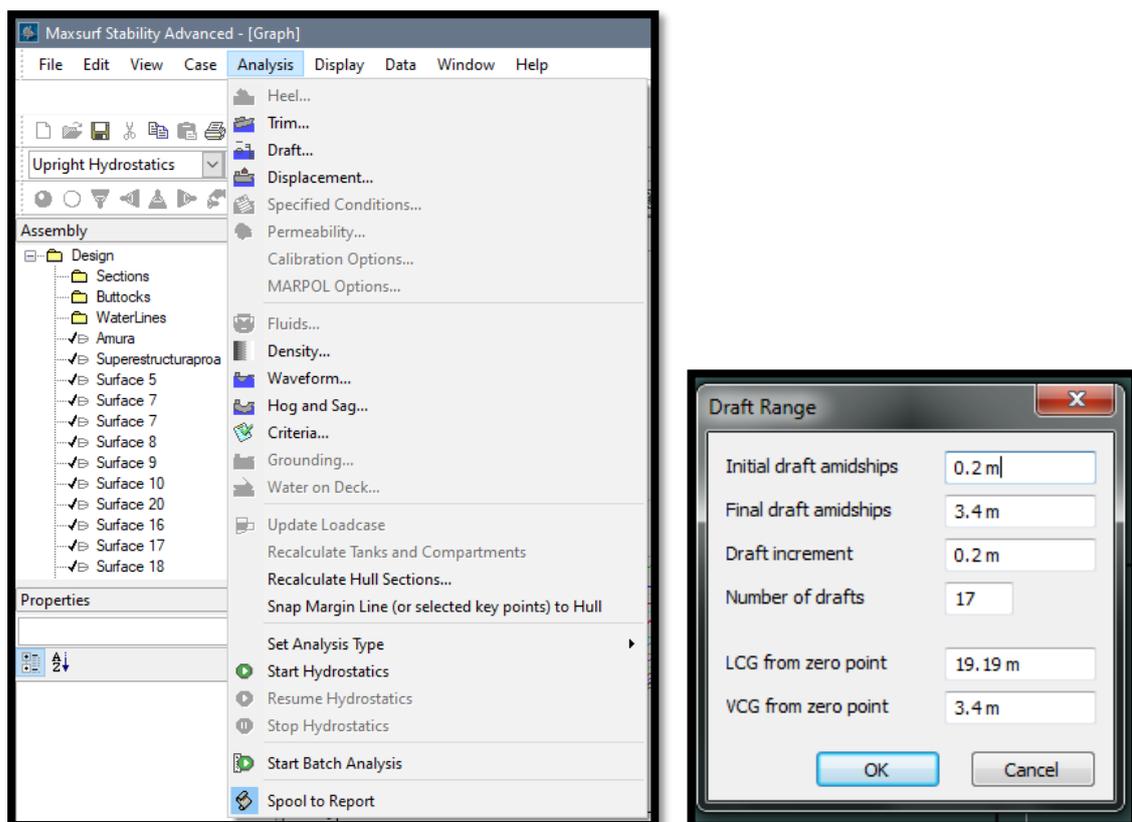


Figura 49: Ventana de análisis del MaxSurf Stability

Al seleccionar los correspondientes datos, se procede a iniciar el análisis hidrostático. Con respecto a la ventana “Graph”/Gráfico, se presentan los siguientes diagramas: Curvas hidrostáticas, curvas de formas, diagrama de áreas y diagrama de BonJean.

6.4.1.1. Curvas hidrostáticas

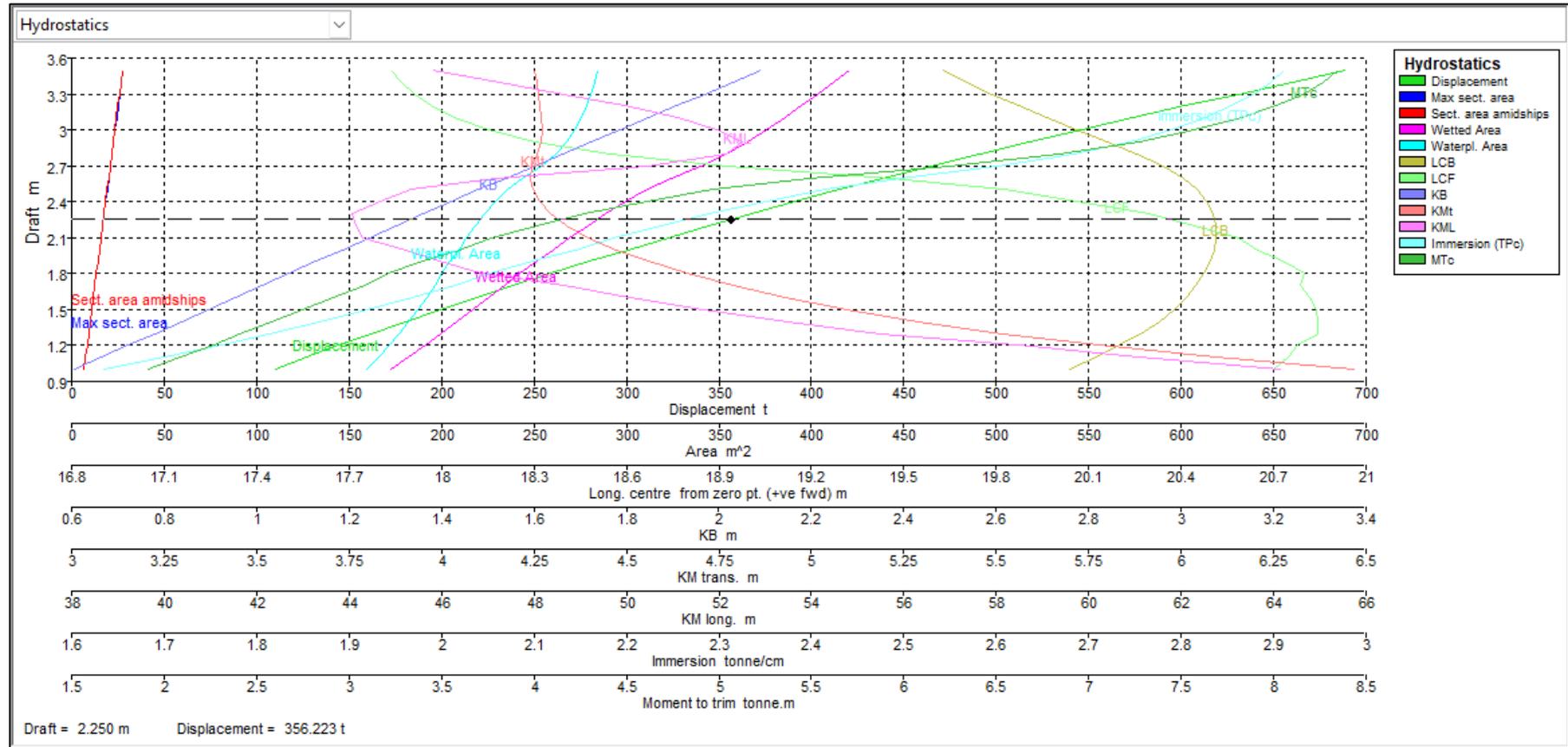


Gráfico 8: Curvas Hidrostáticas

### 6.4.1.2. Curva de áreas

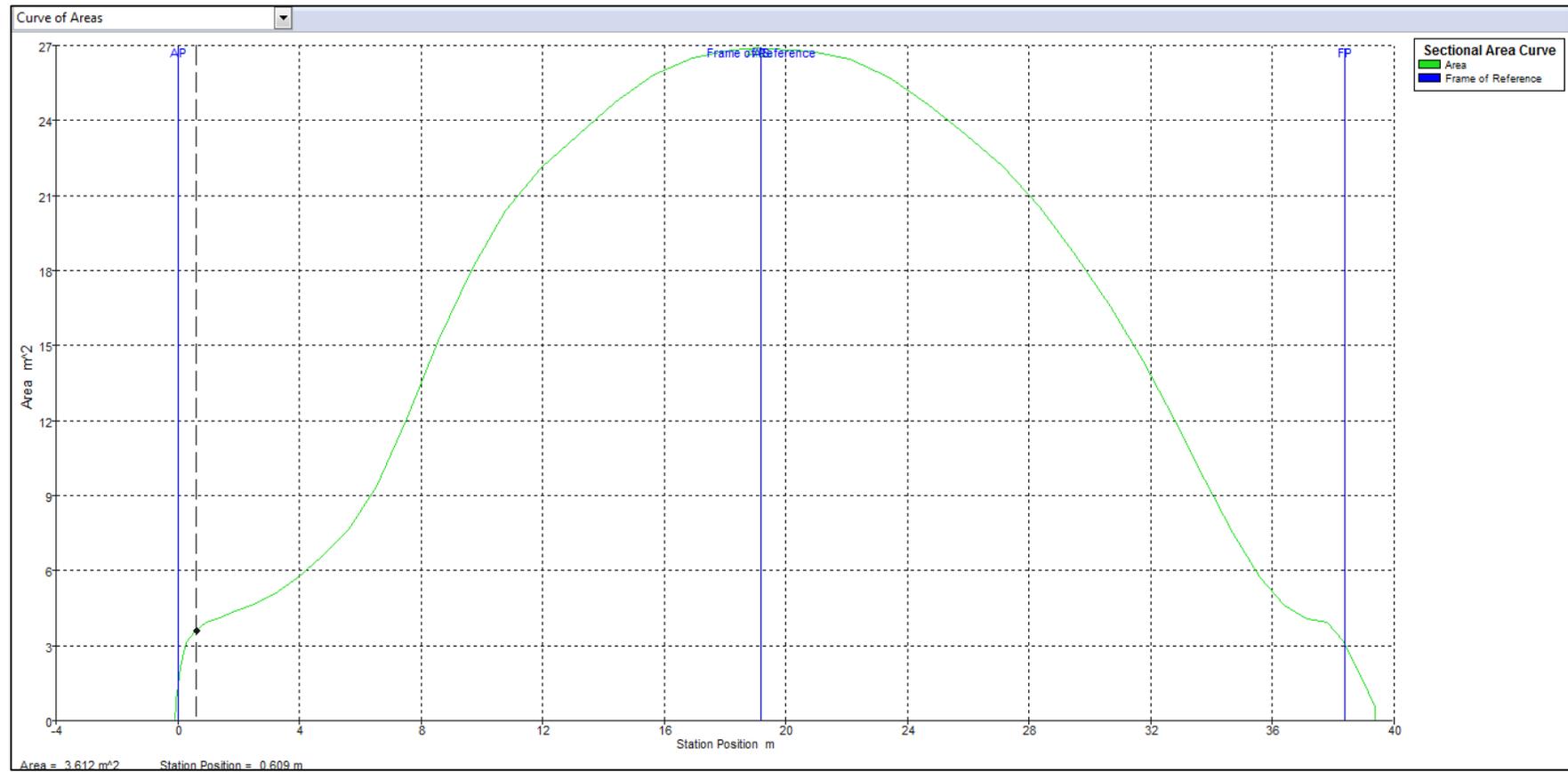


Gráfico 9: Curva de áreas

### 6.4.1.3. Diagrama de Bonjean

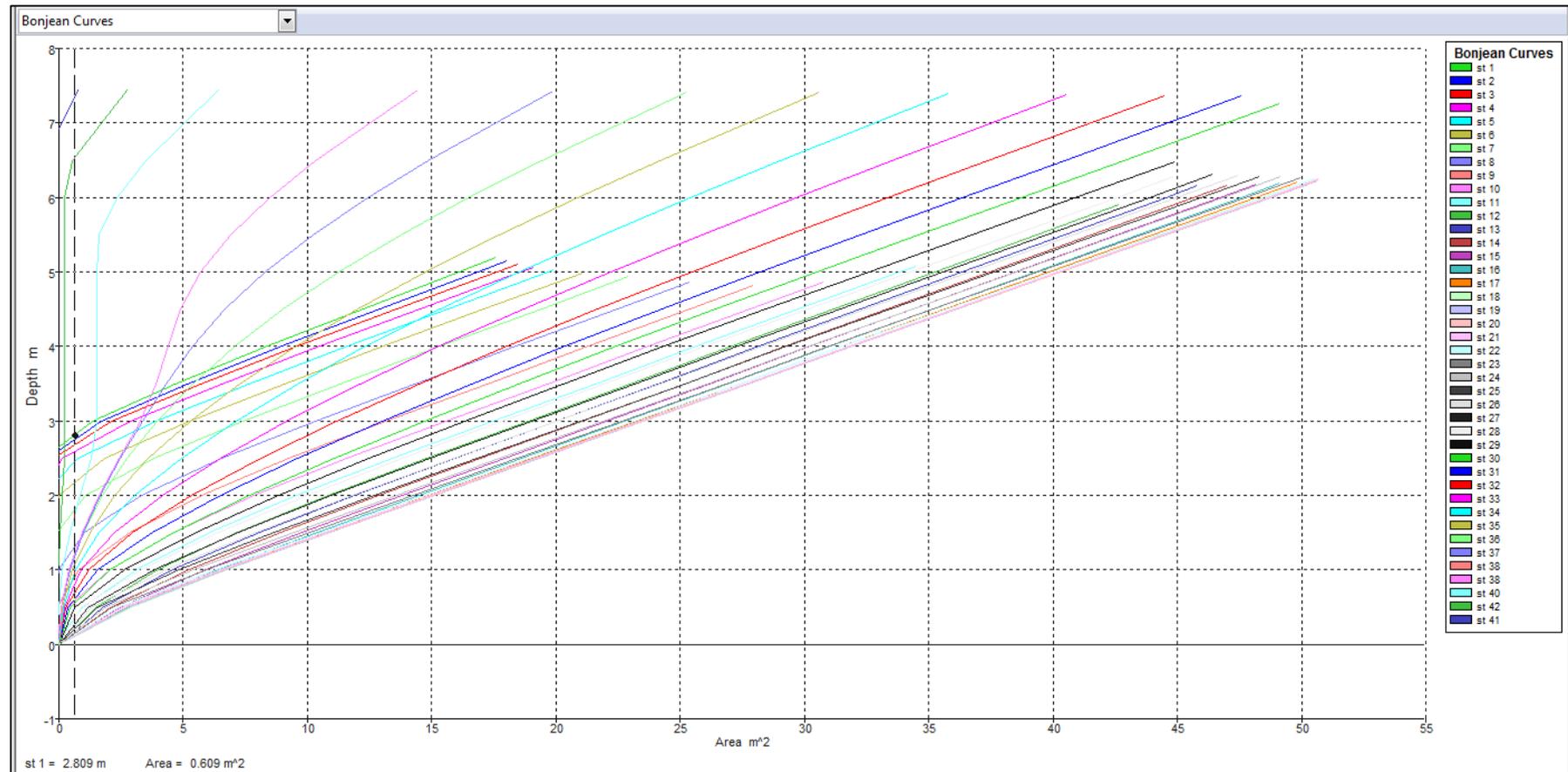


Gráfico 10: Diagrama de las curvas de Bonjean

## VII. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la misión de un buque Oceanográfico, se han respetado los parámetros operacionales que debe cumplir estos tipos de naves, avalando dicha información con los requerimientos del armador y las normativas de las Sociedades de Clasificación (Lloyd's Register).
- Ya definido las funciones específicas y las condiciones de navegación del BO, se procedió a realizar el rediseño correspondiente de un casco base (BIC Olaya), la cual fue propuesta por IMARPE para su evaluación. Bajo los estándares de diseño, se han modificado las líneas de formas de la nave, transformando la carena prácticamente en una nueva:
  - ✓ En cuanto se refiere a la zona de proa, se ha evaluado la implementación de un bulbo en proa, su diseño ha sido probado en simulaciones de resistencia al avance en MaxSurf junto al casco nuevo, arrojando resultados prometedores y ventajosos en la navegación. Además, se ha evaluado la eficiencia de la implementación del bulbo, arrojando valores desde 5 al 10% de eficiencia hidrodinámica del buque proyecto ante un casco “madre” sin presencia de bulbo.
  - ✓ En cuanto se refiere a la zona de popa, las evaluaciones de diseño realizadas a la nueva forma de la zona de popa, cumplen los requerimientos de diseño de los manuales de instalación de los azimutales proporcionados por la Rolls-Royce; estas especificaciones técnicas, son parámetros fundamentales de diseño optadas por la empresa para la instalación de estos propulsores de última generación.
- Como se ha mencionado anteriormente, las evaluaciones de diseño tanto del bulbo y de la forma de popa han cumplido con las exigencias de diseño; por lo tanto, se ha simulado dicha carena nueva en el software MaxSurf Resistance para evaluar las condiciones de estabilidad, resistencia y potencia requeridas, que han arrojado valores muy óptimos en comparación al del casco base. Estas comparaciones significan:
  - ✓ Cumple con los requerimientos del armador
  - ✓ Implementación de posicionamiento dinámico (azimutales, bow thruster)
  - ✓ Mejor aprovechamiento de los espacios, debido a la implementación de una planta propulsora SSP Diésel - Eléctrica
  - ✓ Disminución de rumorosidad y vibraciones

- ✓ Mejora la maniobrabilidad y seakeeping
- ✓ Mayor sostenibilidad ambiental con la presencia de una propulsión Diésel - Eléctrico
- ✓ Mejora logística en la instrumentación a bordo debido a la disposición general de los espacios.

## VIII. RECOMENDACIONES

- Para la aplicación del proyecto, es necesario realizar un cálculo estructural más detallado para obtener los planos estructurales de cuadernas, mamparos, etc., con el fin de realizar en campo las modificaciones estructurales mencionadas a lo largo del trabajo de investigación.
- En el tema de los sistemas a bordo, hace falta detallar en profundidad los sistemas nuevos, las cuales se han modificado por la implementación de dos nuevos motores; estos sistemas son: sistema de llenado de combustible, sistema hidráulico, sistema de refrigeración, etc. De la misma forma, los sistemas derivados de los azimutales y del bow thruster, requieren una vista más a profundidad.
- En el tema de presupuesto, el monto final es un costo base de proyecto; el cual, indica un precio de partida para tener en consideración al momento de aplicar el proyecto en algún astillero que acepte la investigación.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

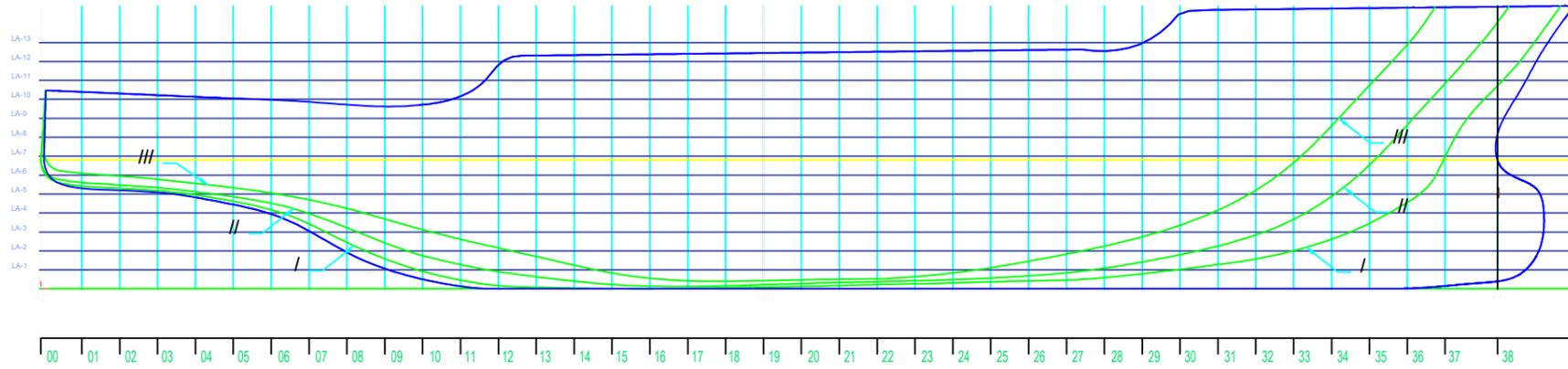
- [1]. Instituto del mar del Perú (2020). Oceanografía - Investigaciones Oceanográficas [En línea]. Disponible: <https://cutt.ly/zyOiKm8>
- [2]. A. Rodríguez, “Proyecto N°252 Buque Oceanográfico de 7 000 t”, memoria explicativa, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.
- [3]. M. Ortín y C. Anna, Implementación de la metodología RCM en un buque oceanográfico. Universidad Politécnica de Cartagena. 2018.
- [4]. R. Añón Iglesias, Buque categoría C en aguas de la Antártida: B/O Sarmiento de Gamboa. Universidade da Coruña, 2019
- [5]. F. Zapata Casas, E. Nino Francesconi y J. Posada Alcalde, Diseño preliminar de un buque Oceanográfico para dirección general marítima. Revista Derrotero para la ciencia e investigación de la E.N.A.P. 2016
- [6]. I.C. Clark, BSc, MSc and Master Mariner, The Management of Merchant Ship Stability, Trim and Strength. London: Nautical Institute, 2002.
- [7]. S. Busquier Sáez, Diseño de la línea de ejes de un buque Oceanográfico. Universidad Politécnica de Cartagena, 2017.
- [8]. F. Villamizar Lamus, Tratado Antártico y Mecanismos de Protección del Territorio Antártico, Revista Colombiana de Derecho Internacional, Bogotá, 2012.
- [9]. F. Costaguta, *Fondamenti di idronautica: Statica e dinamica della nave – carene e propulsione*. Milano: Ulrico Hoepli Editore Spa, 1981.
- [10]. L. Vives Grau, Aplicación de las reglas del Lloyd’s Register of Shipping a la construcción de un yate de acero de 45 m. LOA
- [11]. Lloyd’s Register Rules And Regulations. Classification of Ships, January 2016.
- [12]. F. *Bresciani, Appunti di Geometria dei Galleggianti*. Trieste, 2006.
- [13]. Dhn.mil.pe. 2021. *Estación Científica 'Machu Picchu' – ECAMP - Campaña Científica Antar XXVII 2020*. [online] Available at: <<https://www.dhn.mil.pe/antar27/index.php?seccion=ecamp>> [Accessed 11 September 2021].

- [14]. Dhn.mil.pe. 2021. *Programas de Investigación - Campaña Científica Antar XXVII 2020*. [online] Available at: <<https://www.dhn.mil.pe/antar27/index.php?seccion=programas-investigacion>> [Accessed 11 September 2021].
- [15]. Española, A., 2021. *La Antártida. Continente helado - Especiales - Armada Española - Ministerio de Defensa - Gobierno de España*. [online] Armada.defensa.gob.es. Available at: <<https://bit.ly/2YNNpbn>> [Accessed 11 September 2021].
- [16]. Dhn.mil.pe. 2021. *Conozcamos la antartida - Campaña Científica Antar XXVII 2020*. [online] Available at: <<https://bit.ly/38XeFWL>> [Accessed 11 September 2021].
- [17]. Principal, P., médica, E. and normal, T., 2021. *Temperatura corporal normal: MedlinePlus enciclopedia médica*. [online] Medlineplus.gov. Available at: <<https://bit.ly/2XhywxH>> [Accessed 14 September 2021].
- [18]. A.M. Kracht, “Design of Bulbous Bows”, *SNAME Transactions*, Vol. 86, pp. 197-217, 1978.
- [19]. ITTC, “The Specialist Committee on Azimuthing Podded Propulsion”, Vol. II, pp. 563-603, 2008.
- [20]. P. Maschio, “Organizzazione e logistica di produzione di un cantiere navale” en Fondo Sociale Europeo nell’ambito del Programma Operativo Regionale, 2016.
- [21]. D.G.M. Watson, “Practical Ship Design”, Elsevier Ocean Engineering Book Series, Vol. I, Chapter 8, pp. 232 – 234, 1998.
- [22]. K. Agudo, “Pre-diseño de la planta propulsora, planta eléctrica y estudio de eficiencia y ahorro energético de un Bonitero del Cantábrico”, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- [23]. K.V. Dokkum, “Ship Knowledge. Ship Design, Construction and Operation”, DOKMAR, 8ta Edición, 2013.
- [24]. Rolls-Royce, “Azimuth Thruster – AZP 100 CP Mechanical and Hydraulic System”, User Manual Rolls-Royce, 2011.
- [25]. CUMMINS, “CUMMINS MARINE PRODUCTS GUIDE: Power Solutions that mariners trust”, 2021.

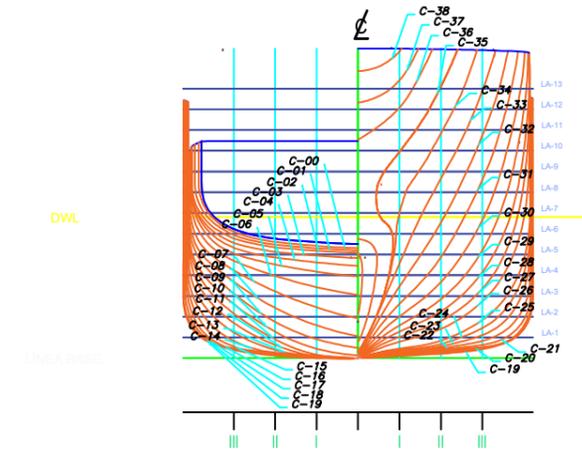
## X. ANEXOS

### Anexo 1: Clasificación de buques según la Lloyd's Register

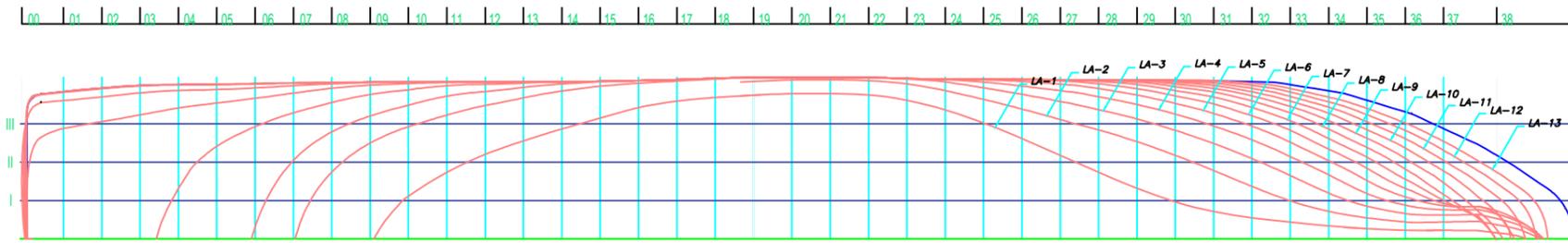
Dry Cargo/Carga seca	Tanker/Petrolero	Passenger/Pasajeros
Anchor handler / Maniobrador de anclas		
AHTS (Anchor Handler Tug Ship) / Remolcador manipulador de anclas		
Barge / Barcaza		
Bulk Carrier / Buque Granelero		
Container ship / Portacontenedores		
Diving support ship / Buque de apoyo de buceo		
Dredger / Dragas		
Escort tug / Remolcador		
Fire fighting / Buque contra incendios		
Fishing vessel / Buque pesquero	Chemical tanker / Buques químicos	
Hopper barge/dredger	Double hull oil tanker/ Petroleros de doble casco	Passenger ferry / Buque de pasajeros
Icebreaker / Rompehielos	Liquefied gas Carrier / Buques LNG	Passenger/vehicle ferry / Buque de pasajeros y vehículos
Launch / Lanchas	Liquefied gas tanker / Buque Cisterna	Passenger ship/ Buque de transporte de pasajeros
Livestock Carrier / Buques transportadores de ganado	Oil barge / Barcaza petrolera	Passenger yacht / Yates
Offshore supply	Oil or bulk Carrier / Buque granelero o petrolero	Roll on-Roll off passenger ship / Buque pasajeros Roll on-Roll off
Offshore tug / Remolcador de Offshore	Oil recovery ship / Buque de recuperación de petróleo	Sailing passenger ship / Veleros
Offshore well stimulation	Oil tanker / Buque petrolero	
Ore Carrier/Buque porta minerales	Ore or oil Carrier / Portacontenedor de minerales o hidrocarburos	
Pipe laying/Instalador de tuberías		
Pontoon / Pontón		
Reclamation ship / Buque de recuperación		
Refrigerated cargo ship / Buque de carga refrigerada		
Research / Buques de investigación		
Roll on-Roll off cargo ship / Buques Roll on-Roll		
Shipborne barge		
Standby ship/Buque de reserva		
Stern trawler / Arrastrero		
Split hopper barge/dredger		
Trawler / Buque arrastrero		
Tug / Remolcador		
Vehicle Carrier / Porta vehículos		



VISTA LONGITUDINAL



VISTA TRANSVERSAL



VISTA DE PLANTA

DIMENSIONES	VALORES	UNIDAD
Eslora fuera por fuera	$L_{oa}$ 40.620	m
Eslora entre perpendiculares	$L_{bp}$ 38.470	m
Manga máxima	B 8.300	m
Puntal	D 3.700	m
Calado	T 3.400	m
Desplazamiento	$\Delta$ 663.900	t
Coefficiente de bloque	$C_b$ 0.586	
Intervalo entre cuadernas	s 0.500	m
Intervalo entre líneas de agua	b 0.250	m
Intervalo entre longitudinales	l 1.000	m

USAT

ESCUELA DE INGENIERÍA  
NAVAL

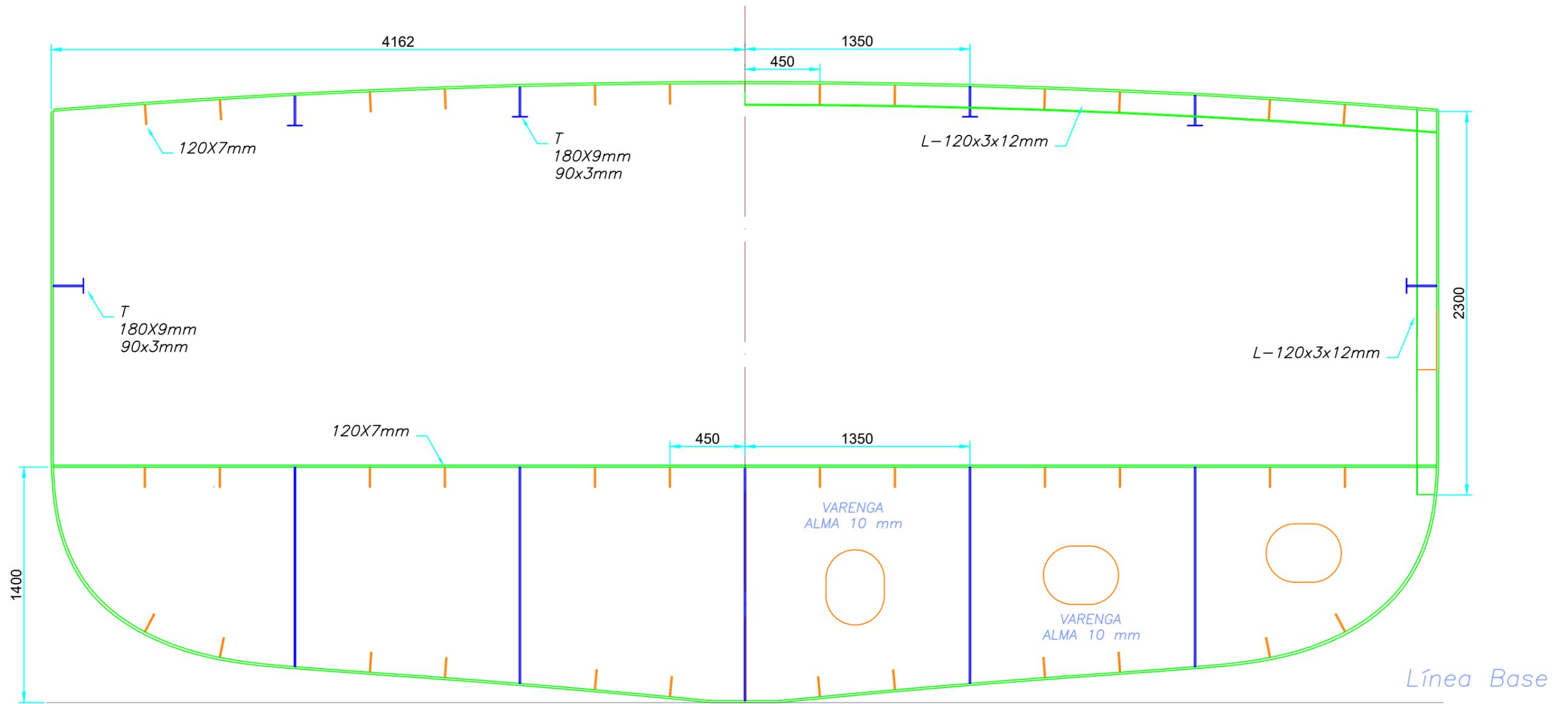
PLANO DE LÍNEAS  
DE FORMAS

DIBUJADO POR:  
L. PAREDES VARGAS

FECHA:  
07/07/21

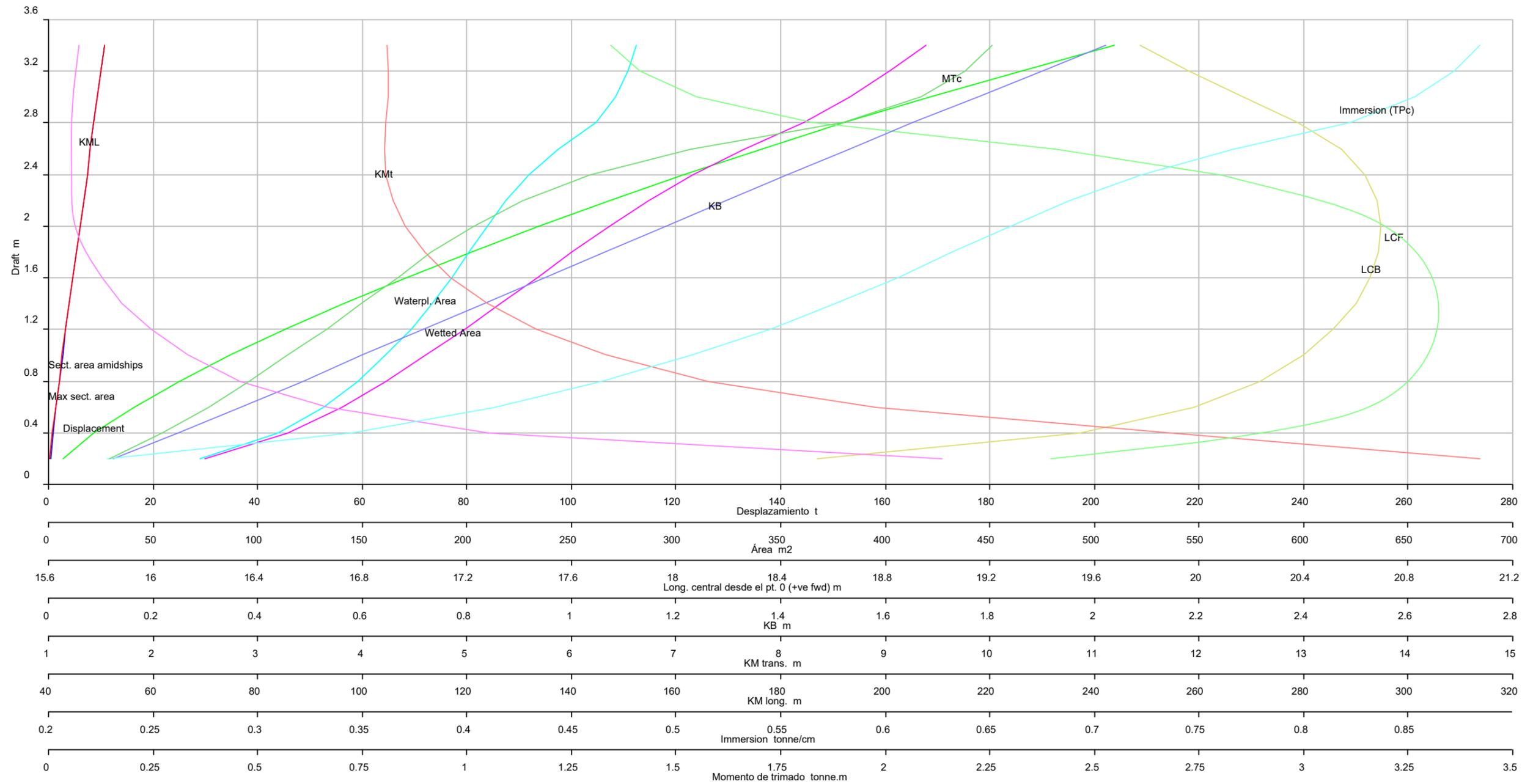
ESCALA:  
1 : 20

DIB. N°  
01



CUADERNA MAESTRA

<p>USAT</p>	<p>ESCUELA DE INGENIERÍA NAVAL</p>	<p><b>CUADERNA MAESTRA</b></p>	<p>DIBUJADO POR: <b>L. PAREDES VARGAS</b></p>	<p>FECHA: <b>07/07/21</b></p>	<p>ESCALA: <b>1 : 25</b></p>	<p>DIB. N° <b>02</b></p>
-------------	--	------------------------------------	---	-----------------------------------	----------------------------------	------------------------------



LEYENDA

- |  |                             |   |                 |
|--|-----------------------------|---|-----------------|
| <span style="color: green;">—</span>   | Desplazamiento              | <span style="color: yellow;">—</span>     | LCB             |
| <span style="color: blue;">—</span>    | Área de la sección máxima   | <span style="color: lightgreen;">—</span> | LCF             |
| <span style="color: red;">—</span>     | Área de la sección media    | <span style="color: purple;">—</span>     | KB              |
| <span style="color: magenta;">—</span> | Superficie mojada           | <span style="color: orange;">—</span>     | KMt             |
| <span style="color: cyan;">—</span>    | Área del plano de flotación | <span style="color: pink;">—</span>       | KML             |
|  |                             | <span style="color: lightblue;">—</span>  | Immersion (TPc) |
|  |                             | <span style="color: darkgreen;">—</span>  | MTc             |

USAT

ESCUELA DE INGENIERÍA  
NAVAL

**CURVAS  
HIDROSTÁTICAS**

DIBUJADO POR:  
**L. PAREDES VARGAS**

FECHA:  
**07/07/21**

ESCALA:  
**1 : 50**

DIB. N°  
**03**

Anexo 5: Guía de producto EcoPeller SRE – SCHOTTEL

Rating	Rating description	Typical vessel application
Rating	Rating Beschreibung	Typische Anwendungen
<b>A</b>	Permanent full load duty	freighters, tankers, seismic vessels, cable layers, ocean going vessels
	Permanente Volllast-Einsätze	Frachter, Tanker, seismische Schiffe, Kabelleger, seegehende Schiffe
<b>B</b>	Heavy duty	ferries, dredgers, diesel driven offshore vessels, river or lake going vessels
	Heavy Duty	Fähren, Dredger, dieselangetriebene Offshore-Schiffe, Binnenschiffe
<b>C</b>	Offshore duty	electrically driven offshore and supply, AHTS, escort tugs, work boats, pleasure yachts, small passenger vessels, barges
	Offshore-Einsätze	elektrisch angetriebene Offshore-Schiffe und Versorger, AHTS, Eskortschlepper, Arbeitsschiffe, Yachten, kleine Fahrgastschiffe, Barge
<b>D</b>	Tug duty	harbour tugs, yachts, small harbour crafts, small river or small lake going vessels
	Schleppereinsätze	Hafenschlepper, Yachten, kleine Hafenschiffe, kleine Binnenschiffe
<b>E</b>	Auxiliary restricted	
	Hilfseinsätze	

Above descriptions are for guidance purposes only. / Oben genannte Angaben dienen lediglich der Orientierung. Above descriptions are not applicable for ice classed vessels. / Oben genannte Angaben gelten nicht für Eisklassifizierte Schiffe.

Final thruster selection is dependable on the practical operation profile of the vessel and will be determined by SCHOTTEL for each case. / Die endgültige Antriebsauswahl richtet sich nach dem tatsächlichen Einsatzprofil des Schiffs und wird von SCHOTTEL vorgegeben.

The indicated ratings are based on experience gained from the field in which the typical types of vessels are operating. / Die angegebenen Ratings basieren auf Erfahrungswerten in typischen Einsätzen der Schiffe.

If you cannot identify your application under "Typical Applications" or if you have a vessel with a special operating profile, SCHOTTEL will be pleased to offer advice and assistance to find the appropriate drive. / Können Sie Ihre Anwendung nicht unter der Rubrik „Typische Anwendung“ identifizieren, oder haben Sie ein Fahrzeug mit einem speziellen Anwendungsbereich, ist SCHOTTEL gerne bereit für Sie den passenden Antrieb zu ermitteln.

EcoPeller SRE

Type	Rated power [kW]				Propeller open Ø [m]	Input speed Z-Drive [min <sup>-1</sup> ]	Input speed L-Drive [min <sup>-1</sup> ]	Azimuth standard module		Azimuth compact module	
	A	B	C	D				Z	ZY	L	Z
SRE 100	-	190	200	225	0.80	1800 / 2100	-	S	-	-	-
SRE 150	-	330	360	400	1.20	1800 / 2100	1200	S	0	-	0
SRE 210	500	530	560	640	1.45	1600 / 1800 / 2100	1200	S	0	0	0
SRE 270	780	840	900	1000	1.85	1600 / 1800 / 2100	1200	S	0	0	0
SRE 340	1090	1170	1250	1400	2.10	750 / 1000 / 1200 / 1600 / 1800	905	S	0	0	-
SRE 360	1190	1280	1360	1530	2.30	750 / 1000 / 1200 / 1600 / 1800	795	S	0	0	-
SRE 430	1450	1560	1660	2000	2.40	750 / 900 / 1000 / 1200 / 1600 / 1800	795	S	0	0	-
SRE 460	1830	1960	2100	2350	2.60	750 / 900 / 1000 / 1200 / 1600 / 1800	850	S	0	0	-
SRE 490	2050	2150	2300	2550	3.00	750 / 900 / 1000 / 1200 / 1600 / 1800	750	S	0	0	-
SRE 560	2200	2350	2500	2800	3.00	750 / 900 / 1000 / 1200 / 1600 / 1800	750	S	0	0	-
SRE 640	2600	2800	3000	3500	3.35	1000	650	S	-	0	-
SRE 700	3000	3300	3500	4000	3.60	1000	650	S	-	0	-
SRE 750	4100	4400	4700	5300	4.10	-	720 / 750	-	-	S	-

S = Standard, O = Option



With the new SCHOTTEL EcoPeller®, you benefit from top performance in terms of overall efficiency and course stability. These units enable reduced fuel consumption, thus resulting in lower operating costs and emissions.

- Optimized for open sea and coastal operating conditions as well as high-performance DP operation
- Height saving, embedded LE-Drive design for common vertical electric motors: for unbeatable comfort thanks to extremely low vibration and low noise levels
- Patented SCHOTTEL High Torque Gear (HTG®) technology for maximum performance and safety reserves and thus greater availability
- LeaCon sealing system to protect the environment from oil spills and avoid water intake into the gear
- FP and optional CP or CP includes full-feathering function

Mit dem neuen SCHOTTEL EcoPeller® profitieren Sie von Bestwerten bezüglich Gesamtwirkungsgrad und Kursstabilität. Sie ermöglichen einen verminderten Kraftstoffverbrauch, daraus resultierend niedrige Betriebskosten und Emissionen.

- Optimierte für offene Meere und küstennahe Einsatzbedingungen bei gleichzeitig leistungsstarkem DP-Betrieb
- Raumsparendes, eingebettetes LE Bauartprinzip für gängige vertikale Elektromotoren: für besten Komfort mit äußerster Vibrationsarmut und niedrigem Geräuschpegel
- Patentierte SCHOTTEL High Torque Gear (HTG®)-Technologie für höchste Leistungs- und Sicherheitsreserven und somit höhere Verfügbarkeit
- Umweltfreundliches SCHOTTEL LeaCon-Dichtungssystem schützt Gewässer vor Ölverschmutzung und verhindert einen Wassereintritt in das Getriebe
- FP-Propeller und optional CP- oder CP-Propeller mit Full-feathering-Funktion

SPS SAS SMS

## Anexo 6: Catálogo de Motores KTA19– Cummins



## KTA19

Marine Propulsion and Auxiliary Engines  
for Commercial and Recreational Applications

### General Specifications

Configuration	In-line, 6-cylinder, 4-stroke diesel
Aspiration	Turbocharged / Aftercooled
Displacement	19 L (1150 in <sup>3</sup> )
Bore & Stroke	159 X 159 mm (6.25 X 6.25 in)
Rotation	Counterclockwise facing flywheel
Fuel System	Pressure Time (PT)

### Product Dimensions and Weight

Overall Length	mm (in)	1877	(74)
Length of Block	mm (in)	1200	(47)
Overall Width	mm (in)	1003	(40)
Overall Height	mm (in)	1905	(75)
Weight	kg (lb)	2073	(4570)

Dimensions and weight may vary based on selected engine configuration.



### Power Ratings

Engine Model	Output Power			Engine Speed RPM	Rating Definition	Fuel Consumption		Emissions			
	kW	MHP	BHP			Rated Speed L/hr (gal/hr)	ISO* L/hr (gal/hr)	IMO	EPA	EU	RCD
<b>Variable Speed</b>											
KTA19-M3	373	507	500	1800	Continuous	96.0 (25.4)	66.4 (17.5)	2	-	-	-
KTA19-M3	395	537	530	1800	Continuous	98.2 (25.9)	70.7 (18.7)	1	-	-	-
KTA19-M3	447	606	600	1800	Continuous	111.1 (29.4)	79.8 (21.1)	1	-	-	-
KTA19-M3	447	606	600	1800	Continuous	116.9 (30.9)	82.6 (21.8)	2	-	-	-
KTA19-M3	477	649	640	1800	Heavy Duty	119.9 (31.7)	84.1 (22.2)	1	-	-	-
KTA19-M4	522	710	700	2100	Heavy Duty	136.5 (36.0)	91.7 (24.3)	1	-	-	-
<b>Fixed Speed</b>											
KTA19-D(M)	336	456	450	1500 (50 Hz)	Prime	82.5 (21.8)	44.8 (11.8)	-	-	-	-
KTA19-D(M1)	358	487	480	1500 (50 Hz)	Prime	91.2 (24.1)	47.1 (12.5)	2	-	-	-
KTA19-D(M)	392	532	525	1800 (60 Hz)	Prime	98.4 (26.0)	53.6 (14.2)	-	-	-	-
KTA19-D(M)	403	548	540	1500 (50 Hz)	Prime	96.5 (25.5)	49.5 (13.1)	1	-	-	-
KTA19-D(M1)	410	558	550	1500 (50 Hz)	Prime	102.6 (27.1)	52.5 (13.9)	2	-	-	-
KTA19-D(M1)	425	578	570	1800 (60 Hz)	Prime	106.4 (28.1)	58.8 (15.5)	2	-	-	-
KTA19-D(M)	447	606	600	1500 (50 Hz)	Prime	107.5 (28.4)	54.2 (14.3)	-	-	-	-
KTA19-D(M)	462	629	620	1800 (60 Hz)	Prime	110.9 (29.3)	59.3 (15.7)	1	-	-	-
KTA19-D(M1)	485	659	650	1800 (60 Hz)	Prime	120.8 (31.9)	64.7 (17.1)	2	-	-	-
KTA19-D(M)	507	690	680	1800 (60 Hz)	Prime	122.3 (32.3)	62.5 (16.5)	-	-	-	-

\* Average fuel consumption based on ISO 8178 E3 Standard Test Cycle (variable speed models) and ISO 8178 D2 Standard Test Cycle (fixed speed models)

TECHNOLOGY THAT TRANSFORMS

Anexo 7: Catálogo Schottel Rim Thruster

SCHOTTEL RIM THRUSTER

ELECTRIC MANOEUVRING



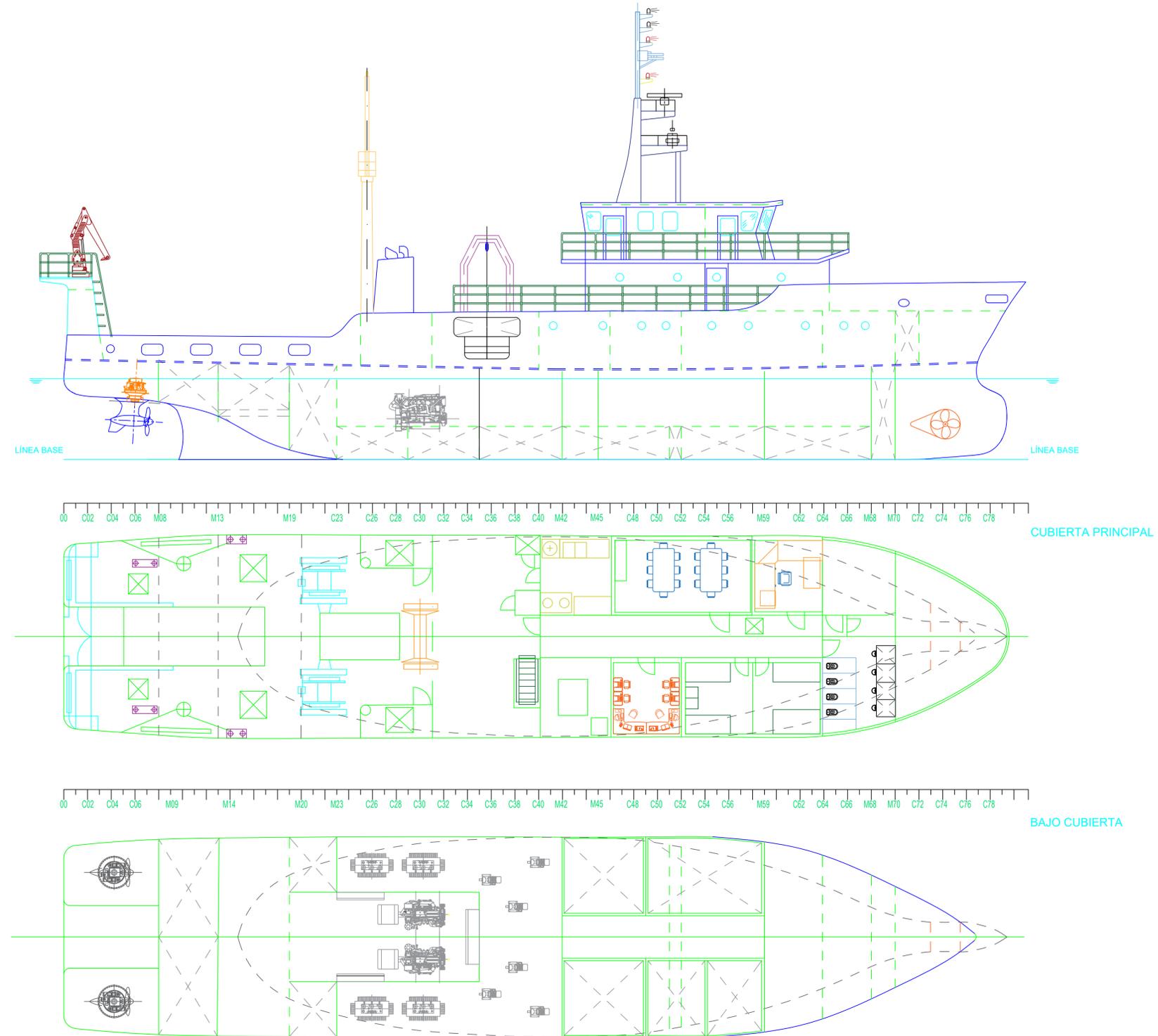
**ADVANTAGES**

- Low noise & vibrations
- Compact design
- Exchangeable blades & slide bearings
- Water-lubricated bearings
- Eco-friendly
- High performance

Type	Rated power [kW]	Inner diameter [mm]
SRT 800	200	800
SRT 1000	315	1000
SRT 1250	500	1250
SRT 1500	800	1500

Indicated powers depending on vessel type, operation profile, specific use and classification

[www.schottel.com](http://www.schottel.com)



<p>USAT</p>	<p>ESCUELA DE INGENIERÍA NAVAL</p>	<p><b>DISPOSICIÓN GENERAL</b></p>	<p>DIBUJADO POR: <b>L. PAREDES VARGAS</b></p>	<p>FECHA: <b>21/10/21</b></p>	<p>ESCALA: <b>1 : 20</b></p>	<p>DIB. N° <b>04</b></p>
-------------	--	---------------------------------------	---	-----------------------------------	----------------------------------	------------------------------

Anexo 9: User Manual - AZP100 CP

