



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD MADERO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



TITULACIÓN INTEGRAL
INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

NORTH STAR SEEKER

Que para obtener el Título de
Ingeniero Industrial

Presenta

Michelle Nicole Ruiz Vazquez
19070385

Asesor

M.C. Jesus Esquivel Rodriguez

Cd. Madero, Tamaulipas

Marzo 2024



Ciudad Madero, Tamaulipas, 01/Marzo/2024

OFICIO. P. 086/2024

ASUNTO: Autorización de Impresión

C. MICHELLE NICOLE RUIZ VÁZQUEZ
Nº DE CONTROL 19070385
P R E S E N T E

De acuerdo al fallo emitido por el Jurado asignado para la revisión de su trabajo profesional, integrado por los siguientes catedráticos:

JURADO	SINODALES
PRESIDENTE:	ING. JESÚS ESQUIVEL RODRIGUEZ
SECRETARIO:	ING. JORGE ALBERTO GALVEZ CHOY
VOCAL:	ING. JUAN FLAVIO MOLAR OROZCO
SUPLENTE:	ING. JOSÉ LUIS LUCIO SILVA

Y considerando que a llena todos los requisitos del reglamento de titulación en vigor del Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, doy a Usted autorización para que proceda a imprimir su trabajo profesional de la **Titulación Integral (TESIS)**.

"NORTH STAR SEEKER"

Lo hago de su conocimiento para los efectos y fines correspondientes a su examen Profesional, esperando que el logro mismo sea congruente con sus deseos profesionales.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
"Por mi patria y por mi bien" ®

JUAN FLAVIO MOLAR OROZCO
JEFE DEL DEPTO. DE ING. INDUSTRIAL

C.p.- Archivo



Av. 1º de Mayo y Sor Juana I. de la Cruz S/N Col. Los Mangos C.P. 89440 Cd. Madero, Tam.

Tel. 01 (833) 357 48 20, ext. 3060, e-mail: industrial@cdmadero.tecnm.mx

tecnm.mx | cdmadero.tecnm.mx



INDICE

I.	Introduccion	8
II.	Marco contextual.....	10
II.I.	Barcos de Referencia	10
II.II.	Buque AG Louhi	10
II.III.	RV Polarstern	12
II.IV.	RRS Sir David Attenborough	13
III.	Marco conceptual.....	15
III.I.	Tipo y categoría del barco.....	15
III.II.	Misión:	15
III.III.	Área Operativa	15
III.IV.	Factores Limitantes de Diseño	16
III.V.	Parámetros de Diseño del Barco.....	16
III.VI.	Moonpool	16
III.VII.	Propulsor de Azimut	17
III.VIII.	Propulsión Diésel-Eléctrica.....	17
III.IX.	Área de Trabajo Interna para Sistemas de Investigación	18
III.X.	Grúas de Carga de Alta Capacidad	18
III.XI.	Área de Cubierta Grande	18
III.XII.	Monitoreo del Casco y la Superestructura del Barco.....	18
III.XIII.	Área de Operación y Resistencia del Barco	19
III.XIV.	Perfil Operativo	19
III.XV.	Restricciones y Límites de Diseño	20
III.XVI.	Condiciones Climáticas Desafiantes	20
III.XVII.	Regulaciones y Legislación	21
III.XVIII.	Costo Operativo	22
III.XIX.	Costo de Capital	22
III.XX.	Restricciones por Puertos y Rutas.....	22
IV.	Marco metodologico.....	23
IV.I.	Selección de las Dimensiones	23
IV.II.	Número de Normand	24
IV.III.	Validación de las Dimensiones Preliminares	26
IV.IV.	Datos Estadísticos de los Buques de Referencia Recopilados	27

IV.V.	Forma del casco	29
IV.VI.	Proa	30
IV.VII.	Popa	31
IV.VIII.	Hidrostatica	32
IV.IX.	Estimación del volumen del casco	32
IV.X.	Cálculo de Área y Volumen utilizando Métodos Numéricos	33
IV.XI.	Distribucion general	36
IV.XII.	Definición de la Distribución General (GA)	36
IV.XIII.	Requisitos Funcionales	39
IV.XIV.	Normas y Regulaciones	41

V. Marco operativo42

V.I.	Estructura del Barco	42
V.II.	Requisitos Estructurales	42
V.III.	Desafíos Específicos del Barco.....	44
V.IV.	Requisitos Estructurales	45
V.V.	Cálculo de la Resistencia	49
V.VI.	Resistencia Viscosa del Casco.....	50
V.VII.	Resistencia de Apéndices	50
V.VIII.	Resistencia por Formación de Olas	50
V.IX.	Resistencia de Inmersión de la Popa	51
V.X.	Resistencia de Correlación de Modelo de Barco	51
V.XI.	Resistencia al Hielo.....	51
V.XII.	Resistencia Total	52
V.XIII.	Cálculo de Potencia para la Propulsión del Barco en el Análisis Resistencia	54
V.XIV.	Demanda total de energía.....	56
V.XV.	Selección de Maquinaria	56
V.XVI.	Selección de Propulsión	56
V.XVII.	Selección del Sistema de Potencia.....	57
V.XVIII.	Eleccion de motor.....	58
V.XIX.	Generador de emergencia:	60
V.XX.	Equipamiento - Equipos necesarios:	60
V.XXI.	Sistema de anclaje y líneas de amarre:	61
V.XXII.	Equipamiento de seguridad	62
V.XXIII.	Equipos de manipulación de carga	63
V.XXIV.	Otros equipos.....	63

V.XXV.	Clasificación SFI de Componentes Principales	65
V.XXVI.	Peso y Estabilidad	66
V.XXVII.	Peso en Condición de Luz (Lightship)	66
V.XXVIII.	Peso en Carga Muerta y Desplazamiento	69
V.XXIX.	Estimación de Costos	72
VI.	Conclusion	74
VII.	Glosario.....	75
VIII.	Referencias.....	77

FIGURAS

Figura 1.	Metadología del espiral del diseño	9
Figura 2.	Buque polivalente finlandés AG Louhi en hielo	11
Figura 3.	RV Polarstern en la bahía de Atka, Antártida, durante el suministro a la Estación Neumayer	12
Figura 4.	RRS Sir David Attenborough en la Antártida.....	13
Figura 5.	Ejemplo de Perfil Operativo del North Star Seeker.....	19
Figura 6.	Ejemplo de Ruta de la Misión de Investigación del North Star Seeker	20
Figura 7.	Cobertura de hielo en áreas del Mar Ártico	21
Figura 8.	Cobertura de hielo en el Ártico en marzo y septiembre como mediana de los años 1981-2010 y la situación en marzo de 2022.....	21
Figura 9.	Comparación de estadísticas con barcos antiguos.....	28
Figura 10.	Sir David Attenborough.....	29
Figura 11.	Diseño de proa para la embarcación.....	29
Figura 12.	Líneas de flotación.	29
Figura 13.	Perfil frontal de la forma de la proa.	30
Figura 14.	Perfil de la forma de la popa, vista desde la popa.....	31
Figura 15.	Curva de Área de Sección.....	32
Figura 16.	Curvatura del Área de Sección Transversal en la Cubierta Superior.	33
Figura 17.	Gráfico SAC dividido en cuadrados.....	33
Figura 18.	Vista de perfil del North Star Seeker	37
Figura 19.	Vista de la Cubierta 1 del North Star Seeker.....	37

Figura 20.	Vista de la Cubierta 2 del North Star Seeker.....	37
Figura 21.	Vista de la Cubierta 3 del North Star Seeker.....	38
Figura 22.	Vista de la Cubierta 4 del North Star Seeker.....	38
Figura 23.	Vista de la Cubierta 5 del North Star Seeker.....	38
Figura 24.	Sección de la Mitad del North Star Seeker	49
Figura 25.	Resistencia total y empuje (Sin Hielo).....	53
Figura 26.	Resistencia total y empuje.....	53
Figura 27.	Resistencia total de North Star Seeker	54
Figura 28.	Potencia de la North Star Seeker.	55
Figura 29.	Azimuth thrusters.....	57
Figura 30.	Distribución estándar del sistema diésel-eléctrico.....	58
Figura 31.	Datos técnicos de Rolls-Royce Bergen B33:45L6A	59
Figura 32.	Distribución del motor en la sala de máquinas del R/v North Star Seeker	60
Figura 33.	Vista lateral con ubicación de los diferentes sistemas del barco	65

TABLAS

Tabla 1.	Hoja informativa para el AG Louhi	11
Tabla 2.	Hoja informativa para el RV Polarstern.....	13
Tabla 3.	Hoja informativa para el RRS Sir David Attenborough.....	14
Tabla 4.	Especificaciones de R/V North Star Seeker.....	15
Tabla 5.	Categoría de Tipo de Barco	15
Tabla 6.	Moonpool en RV Wester Flyer	17
Tabla 7.	Información Básica sobre los Puertos más Grandes en Groenlandia	23
Tabla 8.	Dimensiones del Barco de Referencia.....	24
Tabla 9.	Pesos Aproximados del Barco de Referencia.....	25
Tabla 10.	Comparación de Motores de Dos Buques de Investigación.....	26
Tabla 11.	Nuevas Dimensiones del RV North Star Seeker.....	26
Tabla 12.	Área del Plano de Flotación de todas las líneas de flotación.	34
Tabla 13.	Área de la Sección Transversal de todos los marcos.....	35
Tabla 14.	Volumen utilizando Áreas de Plano de Flotación	35
Tabla 15.	Volumen utilizando Áreas Transversales.....	36

Tabla 16.	Cálculo del Módulo de Sección de la Sección de la Mitad del Barco	48
Tabla 17.	Cálculo del Momento Flector de la Sección de la Mitad del Barco	48
Tabla 18.	Datos sobre el Hielo	52
Tabla 19.	Equipo de anclaje y amarre del R/V North Star Seeker	62
Tabla 20.	Principal equipo de seguridad del RV North Star Seeker	63
Tabla 21.	Gruas de manipulación de carga de RV North Star Seeker	63
Tabla 22.	Peso Estructural del North Star Seeker	67
Tabla 23.	Peso de la Maquinaria del North Star Seeker	68
Tabla 24.	Peso del Equipamiento del North Star Seeker	68
Tabla 25.	Características Principales del Barco North Star Seeker	69
Tabla 26.	Detalles del Motor del North Star Seeker	69
Tabla 27.	Estimación del Consumo de Combustible y Aceite Lubricante	70
Tabla 28.	Peso Muerto Total	71
Tabla 29.	Desplazamiento Total	71

I. Introduccion

Antecedentes:

Este proyecto se enfocó en diseñar un barco de investigación ártico denominado “North Star Seeker”. Se llevó a cabo completamente en inglés como parte del curso de Arquitectura Naval, con evaluaciones semanales hasta su presentación final.

El proceso comenzó con la determinación de dimensiones principales mediante datos de referencia y la metodología Normand. Se crearon las líneas del casco y un modelo 3D con Delftship, seguido por un arreglo general inicial en AutoCAD. Se seleccionó la maquinaria y el equipamiento, realizando cálculos de estabilidad y peso total, estimando un costo aproximado de €288.25 millones.

A pesar de desafíos como la generación de la forma del casco y disposición general, se superaron con múltiples iteraciones de diseño. No obstante, este trabajo representa una fase preliminar de diseño, ante futuros cambios en el Ártico.

Planteamiento del problema:

El planteamiento del problema se centra en cómo abordar los desafíos asociados con el diseño y la operación sostenible de barcos de investigación en el Ártico. Esto implica desarrollar soluciones que mejoren la eficiencia energética, reduzcan el impacto ambiental y optimicen la capacidad de navegación del barco en condiciones de hielo extremas, garantizando la seguridad y eficacia de las operaciones de investigación en la región ártica.

Justificación:

La justificación del proyecto “North Star Seeker” radica en su contribución esencial a la sostenibilidad ambiental, la optimización del rendimiento y la seguridad en la investigación ártica o marina. A lo largo de su desarrollo, se han realizado actividades que abarcan desde el diseño innovador hasta el análisis técnico, lo que ha mejorado notablemente la calidad y eficiencia de los barcos de investigación. Además, estas

Objetivos:

Por lo tanto, para alcanzar este objetivo, se aplicó la metodología del "espiral del diseño", un enfoque iterativo que guía el proceso del diseño a través de varias etapas, permitiendo desarrollar un buque de manera efectiva.



Supuestos o Hipótesis:

la implementación de un sistema diesel-eléctrico junto con azimuth thrusters contribuirá significativamente a mejorar la eficiencia energética y la capacidad de maniobra del barco en condiciones extremas del Ártico. Se espera que estas mejoras en el diseño y la operación del barco optimicen su desempeño y reduzcan su impacto ambiental, lo que resultará en una mayor seguridad y eficacia de las operaciones de investigación en la región ártica.

Alcances y Limitaciones:

El proyecto se centra en diseñar un barco de investigación para el Ártico con un sistema diesel-eléctrico y azimuth thrusters para mejorar la maniobrabilidad. Aunque logra objetivos educativos, las limitaciones presupuestarias y de tiempo lo enfocan principalmente en el diseño general. Las condiciones extremas del Ártico presentan desafíos adicionales en seguridad y sostenibilidad. A pesar de avances, detalles operativos y de diseño necesitan más exploración para garantizar su eficacia.

II. Marco contextual

II.I. Barcos de Referencia

El propósito de cada buque de investigación difiere según los objetivos de las misiones individuales. No obstante, la mayoría de los buques de investigación (RVs, por sus siglas en inglés) se adhieren a ciertos requisitos estándar. La siguiente sección presenta buques de investigación de referencia, seleccionados en función de su uso en diversas condiciones para este diseño de buque. Además, se destacan características distintivas que son tanto únicas como buscadas por los equipos de investigación

II.II. Buque AG Louhi

El buque de control de la contaminación AG Louhi es un buque de respuesta a derrames químicos y de petróleo operado por la Marina de Finlandia. Además de su función principal, también puede llevar a cabo otras tareas marinas, incluyendo investigación marina y operaciones de apoyo. Comisionado en 2011, el buque está diseñado como un

rompehielos con una *clasificación* de 1A Super (*clasificación de hielo finlandesa-sueca*). AG Louhi proporciona perspectivas sobre buques rompehielos de longitud media. Además, el buque cumple con otros requisitos típicos de los buques de investigación, como poseer una cubierta de operación grande y grúas marinas.



Figura 2. Buque polivalente finlandés AG Louhi en hielo

Atributo	Valor
Puerto de registro	Upinniemi, Finlandia
Longitud	71.4 m
Ancho	14.5 m
Calado máximo	5 m
Desplazamiento máximo	3,450 toneladas
Potencia instalada	4 x 1,800 kW (Wärtsilä 9L20)
Puesta en servicio	2011
Área de operación	Mar Báltico
Tripulación	15 (máximo 40)
Costo	€48 millones

Tabla 1. Hoja informativa para el AG Louhi

II.III. RV Polarstern

El RV Polarstern fue construido en 1982 para el Instituto Alfred Wegener de Investigación Polar y Marina (AWI) de Alemania. Sus áreas principales de investigación son el Ártico y la Antártida. El RV Polarstern ha sido un activo significativo para el AWI y la investigación polar global. Ha completado numerosas expediciones en ambas regiones polares y ha servido como base para científicos que trabajan en diversos estudios interdisciplinarios. La elección del Polarstern en varios proyectos de investigación se debe a sus diversas capacidades de investigación demostradas en expediciones pasadas. Los principales puntos de interés son la capacidad de romper el hielo y las tecnologías de investigación.



Figura 3. RV Polarstern en la bahía de Atka, Antártida, durante el suministro a la Estación Neumayer

Atributo	Valor
Puerto de registro	Bremerhaven, Alemania
Longitud	118 m
Ancho	25 m
Calado máximo	11.2 m
Desplazamiento máximo	17,277 toneladas
Potencia instalada	4 x 3,530 kW (KHD 8M 540)
Puesta en servicio	1982

Área de operación	Zonas de Hielo
Tripulación	44 (máximo 124)
Costo	No disponible

Tabla 2. Hoja informativa para el RV Polarstern

II.IV. RRS Sir David Attenborough

El Royal Research Ship (RRS por sus siglas en ingles) Sir David Attenborough fue construido en 2019 y es operado por el British Antarctic Survey. El barco se utiliza para misiones de investigación y suministro. Fue diseñado para operar en entornos tanto árticos como antárticos, ofreciendo a los científicos instalaciones de última generación para llevar a cabo investigaciones cruciales sobre el cambio climático y la biología marina. La presencia del moonpool permite desplegar instrumentos desde dentro del barco sin verse afectados por el hielo marino, mientras que el *hangar interno* proporciona espacio de almacenamiento y mantenimiento para equipos de investigación y vehículos. La embarcación también promueve operaciones sostenibles, ya que está diseñada con un enfoque en eficiencia energética y un impacto ambiental mínimo.



Figura 4. RRS Sir David Attenborough en la Antártida

Atributo	Valor
Puerto de registro	Stanley, Islas Malvinas
Longitud	128 m
Ancho	25 m
Calado máximo	7 m
Desplazamiento máximo	12,790 toneladas
Potencia instalada	2 x 3,600 kW / 2 x 5,400 kW
Puesta en servicio	2019
Área de operación	Zonas de Hielo
Tripulación	30 (máximo 90)
Costo	€230 millones

Tabla 3. Hoja informativa para el RRS Sir David Attenborough

Principales especificaciones

A continuación se presentan las principales especificaciones del R/V North Star Seeker:

Atributo	Valor
Longitud	115 m
Ancho	22 m
Profundidad	12 m
Calado	8 m
Desplazamiento	12,000 – 14,000 toneladas
Clase de Hielo	IACS Clase Polar 3
Sistema de Propulsión	Propulsores de azimut alimentados por generadores diésel eléctricos
Resistencia	30 días
Alcance	6,000 millas náuticas

Tripulación	25 tripulantes + 50 científicos
-------------	---------------------------------

Tabla 4. Especificaciones de R/V North Star Seeker

III. Marco conceptual

III.I. Tipo y categoría del barco

III.II. Misión:

Los barcos pueden clasificarse, por ejemplo, según su servicio o misión prevista. La naturaleza de su misión determina si se utilizan con fines comerciales (como el transporte de mercancías para el comercio), defensa (como los buques de guerra), ocio y turismo (como los barcos de pasajeros) o propósitos especiales (como los buques de investigación, rompehielos y embarcaciones de placer). Considerando los requisitos de misión de nuestro barco, se clasifica como un barco de propósito especial, específicamente, como un Buque de Investigación.

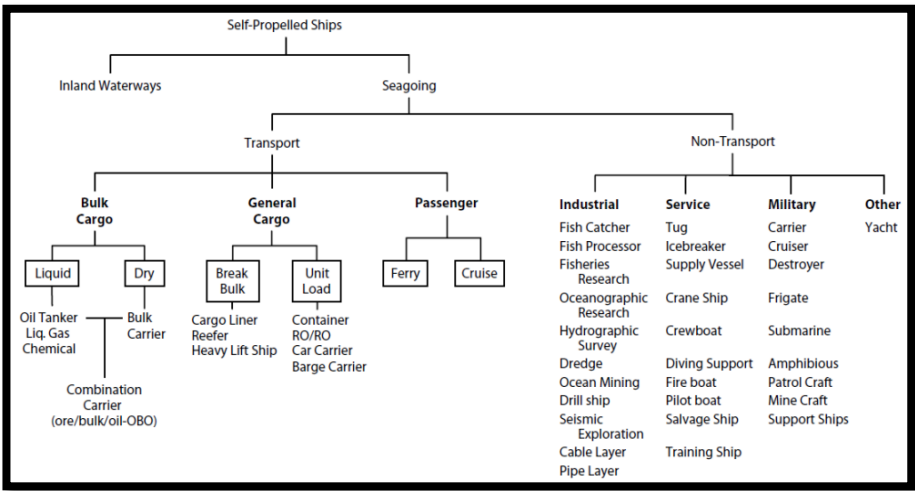


Tabla 5. Categoría de Tipo de Barco

III.III. Área Operativa

Los barcos también pueden clasificarse según su área operativa. Algunos barcos tienen un alcance global, como la mayoría de los buques comerciales que transportan

mercancías en diferentes partes del mundo. Otros operan en áreas restringidas, como vías fluviales interiores. Por otro lado, ciertos barcos están diseñados para regiones específicas, como los rompehielos que navegan por las regiones árticas o antárticas. Nuestro buque de investigación se encuentra en esta categoría y puede clasificarse como un barco ártico según su área operativa.

III.IV. Factores Limitantes de Diseño

Existen limitaciones en el diseño del barco cuando se utiliza para un propósito específico. Por ejemplo, si un barco está comerciando desde el Golfo hasta Europa a través del Canal de Suez, debe cumplir con las restricciones de ancho del canal. Por lo tanto, el ancho de diseño del barco debe coincidir con el ancho disponible necesario para pasar por el Canal de Suez. De manera similar, para la limitación de longitud, el barco debe diseñarse de acuerdo con los requisitos de longitud del Canal de Panamá. Sin embargo, en el caso de nuestro buque de investigación que opera en la región ártica, debe diseñarse con la resistencia necesaria para romper el hielo, cumpliendo con las clasificaciones de *Clase Polar 3*.

III.V. Parámetros de Diseño del Barco

Las siguientes características únicas han demostrado ser exitosas para operaciones marinas y misiones de investigación independientes. Algunas de estas características son de última generación e implementadas en nuevos barcos.

III.VI. Moonpool

Un *moonpool* es una abertura en la parte inferior de una embarcación marina que permite el acceso directo al agua debajo, mientras la embarcación permanece en la superficie. Una ventaja principal de un moonpool es que brinda a los investigadores acceso directo al océano sin verse afectados por el movimiento del barco o el estado del mar en la superficie, lo que permite trabajar en diversas condiciones. Además, se pueden evitar peligros externos asociados con despliegues laterales de Vehículos Operados Remotamente (ROVs) y Vehículos Submarinos Autónomos (AUVs).

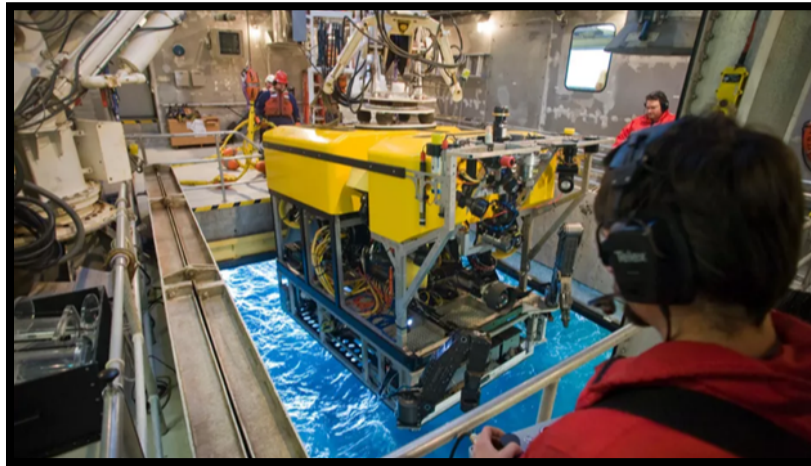


Tabla 6. Moonpool en RV Wester Flyer

III.VII. Propulsor de Azimut

Los sistemas de propulsión de azimut son un sistema de propulsión para barcos donde la hélice puede girar 360° alrededor del eje vertical. Este sistema ofrece varias ventajas a las embarcaciones. Proporcionan una alta maniobrabilidad, permitiendo que los barcos se muevan en cualquier dirección sin necesidad de una configuración de propulsión clásica. Esto permite que el barco se mantenga en la misma posición durante las misiones de investigación.

III.VIII. Propulsión Diésel-Eléctrica

El sistema de propulsión diésel-eléctrica opera un generador alimentado por diésel que produce electricidad a su eficiencia óptima, permitiendo que el motor funcione a velocidades óptimas. La electricidad luego alimenta motores eléctricos que impulsan el barco. Esto garantiza un funcionamiento eficiente en términos de combustible y las vibraciones del sistema se pueden aislar mejor, lo que resulta en un sistema de propulsión comparativamente silencioso.

III.IX. Área de Trabajo Interna para Sistemas de Investigación

El mantenimiento del área de trabajo para equipos de investigación marina (por ejemplo, *ROVs* o *AUVs*) ofrece varios beneficios. Estar protegido de los elementos proporciona más seguridad y comodidad para científicos y técnicos. Además, el equipo se puede probar en condiciones controladas y está protegido del entorno marino adverso.

III.X. Grúas de Carga de Alta Capacidad

Se requieren grúas marinas con una capacidad de elevación alta para garantizar la máxima versatilidad del barco para diversos equipos de investigación. Las grúas deben colocarse en diferentes lados del barco para que diferentes instrumentos de investigación se puedan desplegar lo más fácilmente posible. Las grúas también facilitan las operaciones de reaprovisionamiento, especialmente en puertos pequeños y al reabastecer desde embarcaciones auxiliares. La capacidad de elevación de las grúas debe ser suficiente para levantar, por ejemplo, una lancha de trabajo o un *ROV*.

III.XI. Área de Cubierta Grande

Una cubierta principal grande y espaciosa es un requisito previo para un buque de investigación. Debe haber suficiente espacio de trabajo para que un gran número de personas puedan operar equipos de investigación de manera segura en condiciones climáticas difíciles. También debe haber suficiente espacio en las cubiertas del barco para un helipuerto. La carga del buque de investigación a menudo tiene tamaños variados y requiere necesidades especiales, en cuyo caso la cubierta principal debe organizarse fácilmente para transportar contenedores, por ejemplo.

III.XII. Monitoreo del Casco y la Superestructura del Barco

Un sistema de monitoreo en vivo para la estructura del casco del barco proporciona retroalimentación en tiempo real sobre la integridad del barco durante maniobras en condiciones de hielo severas. La colaboración entre el Departamento de Medio Ambiente, Silvicultura y Pesca de Sudáfrica y la Universidad Aalto ayudó a los investigadores a investigar las cargas estructurales reales del S. A. Agulhas II. Además, los datos

obtenidos se pueden comparar con datos simulados y de laboratorio, lo que permite a los científicos validar los hallazgos y mejorar los métodos de prueba.

III.XIII. Área de Operación y Resistencia del Barco

El área de operación principal del buque de investigación es la costa de Groenlandia. Está diseñado para operar, por ejemplo, en el Mar de Groenlandia, el Océano Ártico, el Mar de Labrador o la Bahía de Baffin. La embarcación está destinada principalmente a investigar la vida marina en áreas de aguas someras.

El buque de investigación está diseñado para operar de manera independiente en el área del Mar Ártico durante aproximadamente 30 días y dentro de un alcance de 15,000 millas náuticas. El barco está clasificado de acuerdo con la Clase Polar 3 de la IACS, lo que significa que podrá operar durante todo el año en la cobertura de hielo de segundo año. La Clase Polar 3 de la IACS corresponde a un grosor de hielo de hasta 2.5 metros según la Nomenclatura de Hielo Marítimo de la *WMO*.

III.XIV. Perfil Operativo

North Star Seeker es un buque de investigación alquilable, lo que significa que opera sin una ruta regular, ya que cada misión que emprende es única en su naturaleza. Aunque el área operativa permanece relativamente consistente debido a la capacidad de rompehielos, la duración y los puntos de reaprovisionamiento de las misiones pueden variar significativamente. El perfil operativo siguiente proporciona una estimación basada en una misión típica que la embarcación podría llevar a cabo.

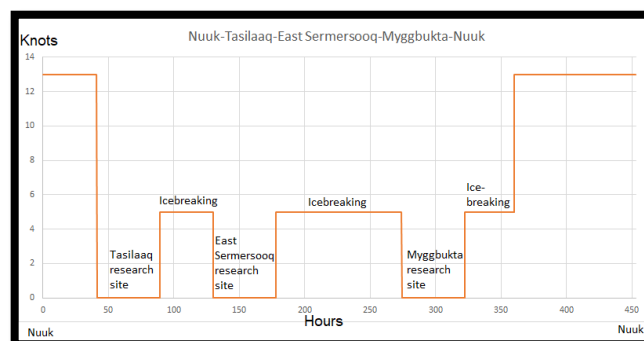


Figura 5. Ejemplo de Perfil Operativo del North Star Seeker

La misión consiste en una expedición a Tasilaq, East Sermersooq y Myggbukta, permaneciendo en cada ubicación de investigación dos días anclados. Desde Takilaq en adelante, la ruta tiene hielo de un año y dos años, que puede romperse a una velocidad promedio de aproximadamente cinco nudos. En el camino de regreso a Nuuk, el barco utilizará aguas libres de hielo para navegar de manera más económica y rápida. La misión tomará aproximadamente de 18 a 20 días y tendrá una longitud de aproximadamente 3200 millas náuticas. El reabastecimiento y el suministro de combustible se realizarán en Tasilaq con la ayuda del bote de trabajo del barco.

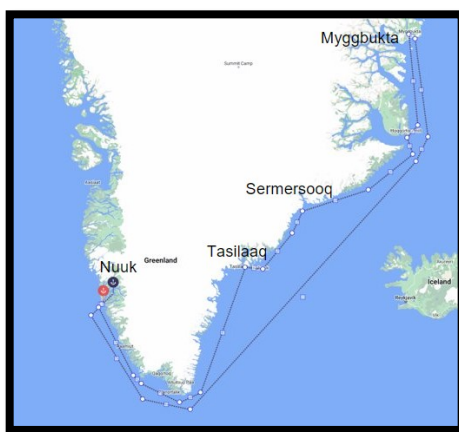


Figura 6. Ejemplo de Ruta de la Misión de Investigación del North Star Seeker

III.XV. Restricciones y Límites de Diseño

III.XVI. Condiciones Climáticas Desafiantes

El entorno operativo del barco es particularmente desafiante en términos de condiciones naturales, como, por ejemplo, en el Mar de Groenlandia, donde la temperatura rara vez supera los 0 grados Celsius y los vientos pueden ser poderosos. La Figura 6 ilustra que la cobertura de hielo en áreas marítimas árticas también puede tener varios metros de grosor. A su vez, la Figura 7 ilustra la extensión de la cobertura de hielo en el Ártico en marzo y septiembre como mediana de los años 1979-2008 y la situación en marzo de 2022.

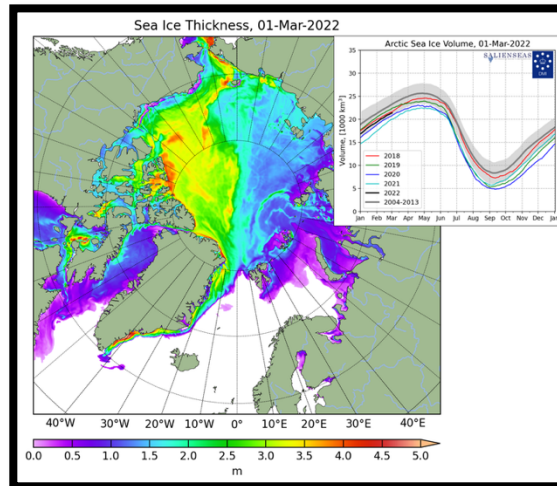


Figura 7. Cobertura de hielo en áreas del Mar Ártico

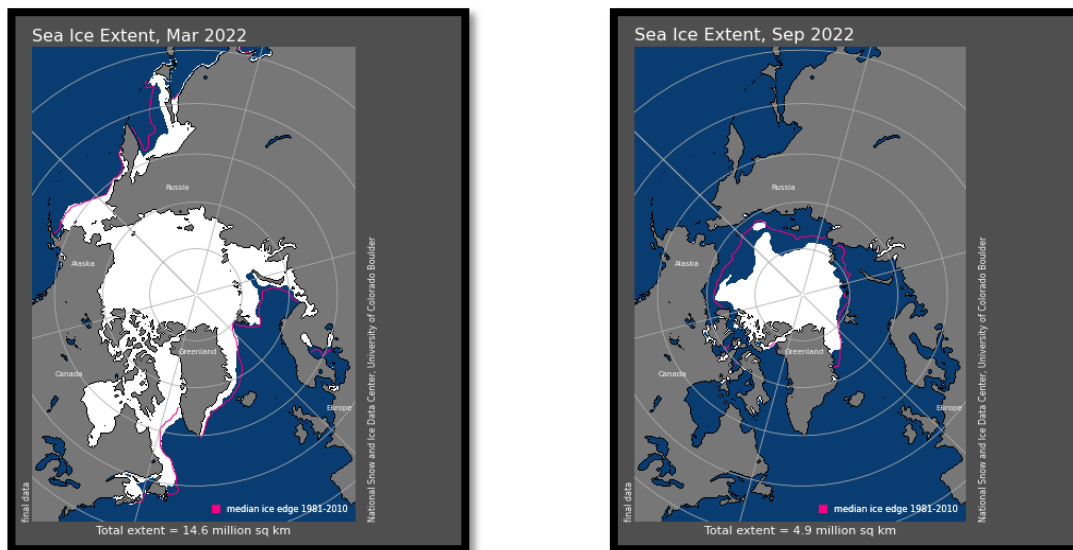


Figura 8. Cobertura de hielo en el Ártico en marzo y septiembre como mediana de los años 1981-2010 y la situación en marzo de 2022.

III.XVII. Regulaciones y Legislación

Debido a la naturaleza sensible de la región ártica, se deben tener en cuenta varias regulaciones y leyes especiales con respecto al tráfico marítimo en el proceso de planificación. Por ejemplo, el Código Internacional para Buques que Operan en Aguas Polares establece regulaciones para la navegación en las regiones polares,

principalmente relacionadas con la navegación en hielo y el diseño de barcos. Las regulaciones de emisiones también son más estrictas en el área ártica.

III.XVIII. Costo Operativo

Operar un buque de investigación en la región ártica presenta varios desafíos significativos para gestionar los costos operativos. Estos desafíos incluyen la necesidad de capacidades de rompehielos especializadas, un mayor consumo de combustible en condiciones extremadamente frías y mayores costos de mantenimiento debido a las duras condiciones ambientales, lo que hace esencial asignar recursos sustanciales para garantizar la confiabilidad y eficacia del buque en este entorno exigente.

III.XIX. Costo de Capital

Operar un buque de investigación en la región ártica conlleva costos de capital sustanciales, principalmente debido a la necesidad de cascos resistentes al hielo, equipos para climas fríos, sistemas de navegación avanzados y equipos especializados para garantizar la seguridad y el cumplimiento de las regulaciones ambientales. Estos gastos son esenciales para mantener la funcionalidad del buque y salvaguardar el frágil ecosistema ártico.

III.XX. Restricciones por Puertos y Rutas

El área principal de operación del R/V North Star Seeker es la costa de Groenlandia, donde la profundidad promedio del océano es relativamente baja. La principal misión del barco es investigar la vida marina en el rango de profundidad de 0 a 200 metros, por lo que el *calado del buque* será un factor limitante en ciertas áreas de investigación, como en fiordos poco profundos y estrechos. Los generadores diésel-eléctricos y las hélices azimutales del R/V North Star Seeker brindarán ventajas en términos de *maniobrabilidad* y eficiencia. Las áreas de investigación más someras, donde el calado del barco limitará la navegación, pueden ser alcanzadas por los botes auxiliares del buque. No hay canales ni estrechos significativos en la ruta que afecten la operación del barco.

Sin embargo, los mayores desafíos en cuanto a la planificación de la ruta están relacionados con el calado del barco, especialmente en los puertos. Hay 7 puertos principales en Groenlandia, siendo el Puerto de Nuuk el más grande medido por limitaciones de tamaño de embarcación. La tabla a continuación muestra información básica sobre los puertos más grandes en Groenlandia:

Puerto	Máx. LOA (Longitud total)	Máx. Draft (Calado máximo)	Fondeadero	Libre de hielo durante todo el año
Puerto de Nuuk	165 m	9.5 m	+23.0 m	Sí
Puerto de Sisimiut	135 m	7.5 m	+23.0 m	Sí
Puerto de Qasigiannguit	164 m	8.5 m	22.0 m	No
Puerto de Narsaq	150 m	9.5 m	+23.0 m	No
Puerto de Paamiut	100 m	7.0 m	+23.0 m	No
Puerto de Aasiaat	135 m	7.4 m	+23.0 m	No
Puerto de Ammassalik	70 m	6.5 m	-	No

Tabla 7. Información Básica sobre los Puertos más Grandes en Groenlandia

IV. Marco metodológico

IV.1. Selección de las Dimensiones

Durante el proyecto, se exploró dos enfoques distintos para determinar las dimensiones principales del barco. Inicialmente, se intentó emplear el Método Estadístico, que se basa en datos empíricos de embarcaciones comparables. Sin embargo, este método arrojó

resultados insatisfactorios, con un calado notablemente bajo y dimensiones que se desviaron significativamente de las del barco de referencia. Posteriormente, se optó por el Método de Normand, realizando cálculos para así determinar las dimensiones principales del barco.

IV.II. Número de Normand

Se utilizaron datos del barco de referencia RV Polar Stern para determinar las dimensiones principales de nuestro barco utilizando el Número de Normand. Los datos sobre longitud, *manga*, calado, *peso muerto* y desplazamiento en condición de ligereza estaban disponibles, pero utilizamos aproximaciones diferentes para determinar el peso del casco, la maquinaria, el equipo y el combustible para el cálculo del Número de Normand.

Por lo tanto, se definió las siguientes dimensiones principales del barco de referencia en la hoja de cálculo de Excel proporcionada para el cálculo del Número de Normand:

Ítem	Datos del Barco de Referencia
Longitud Total (m)	118
Manga (m)	25
Calado Máximo (m)	11.2
Desplazamiento Total (toneladas)	17277
Peso en Condición de Ligereza (toneladas)	12012
Peso Muerto (toneladas)	5265

Tabla 8. Dimensiones del Barco de Referencia

Descripción	Peso (toneladas)
Peso del Casco (WH)	5000
Peso de la Maquinaria (WM)	1500

Peso del Equipamiento (WO)	5512
Peso en Condición de Ligereza (LSW)	12012
Peso del Combustible (WF)	1500
Peso Muerto (toneladas)	5265
Número de Normand (N)	3.626

Tabla 9. Pesos Aproximados del Barco de Referencia

Después de definir los principales parámetros del barco y calcular el Número de Normand, necesitamos ajustar el peso muerto del barco. Este ajuste determinará el nuevo desplazamiento y dimensiones de la plataforma actualizada. Sin embargo, no cambiaremos el calado (profundidad a la que se sumerge el barco en el agua) ni las proporciones (relación longitud a manga, o L/B, y el coeficiente de bloque, C) en comparación con el barco de referencia. El calado del barco de referencia es actualmente de 11.2 metros, pero esto es demasiado profundo para los puertos árticos, donde el calado máximo permitido es de 10.5 metros. Por lo tanto, se está cambiando el calado del barco para que sea 8 metros.

Adicionalmente, el barco de referencia, RV Polar Stern, fue comisionado en 1982 y utiliza equipos más antiguos. En contraste, para el diseño del barco de investigación, me basaré en el barco Sir Attenborough como referencia porque cuenta con equipos y tecnología más actualizados, que son más adecuados para las necesidades del barco al que quiero llegar. Al comparar los motores principales de propulsión, se examinó la potencia del motor (en *kilovatios*) y el peso tanto para el barco de referencia como para el diseño del que trabajo. Por lo tanto, descubrí que los avances tecnológicos han llevado a una disminución en el peso del motor.

Motor Utilizado	Potencia (kW)	Peso (kg)	kg/kW	% de Descenso
RV Polar Stern	971	21000	21.63	38%
RV Sir David	3600	48300	13.42	-

Tabla 10. Comparación de Motores de Dos Buques de Investigación

A partir de los cálculos mencionados anteriormente, razonablemente se puede esperar que el peso del buque North Star Seeker, sea al menos 1000 toneladas menor que el del barco de referencia. Como resultado, aquí están las nuevas dimensiones para el buque North Star Seeker:

Ítem	Datos del Nuevo Barco
Longitud Total (m)	115
Manga (m)	22
Calado Máximo (m)	8
Coeficiente de Bloque (CB)	0.58
Desplazamiento (toneladas)	11800
Peso Muerto (toneladas)	3265

Tabla 11. Nuevas Dimensiones del RV North Star Seeker

IV.III. Validación de las Dimensiones Preliminares

Dado que las dimensiones principales desempeñan un papel crucial en lograr un diseño exitoso, es esencial asegurar su precisión. Un punto de partida valioso implica examinar datos existentes, especialmente datos derivados de buques funcionales en servicio. La ventaja significativa de este enfoque es que se basa en buques del mundo real que ya están operativos. Al analizar una muestra sustancial de estos buques, se pudo establecer estadísticamente curvas de regresión. Estas curvas proporcionan ideas valiosas sobre las relaciones esperadas entre varios parámetros de diseño. Si mi diseño se desvía

significativamente de estas curvas establecidas, podría indicar posibles problemas de diseño.

IV.IV. Datos Estadísticos de los Buques de Referencia Recopilados

En esta sección, el objetivo es evaluar cómo las dimensiones del barco North Star Seeker” se comparan con las de buques similares con medidas casi idénticas, especialmente aquellos que operan en áreas restringidas. Los gráficos a continuación demuestran una estrecha alineación entre las dimensiones que hemos elegido y las curvas de regresión derivadas de las estadísticas de los buques de referencia. Estas curvas muestran las relaciones entre varios parámetros clave y las proporciones que se encuentran en los datos de los buques de referencia. En estos gráficos, el diseño preliminar está representado por el punto naranja.

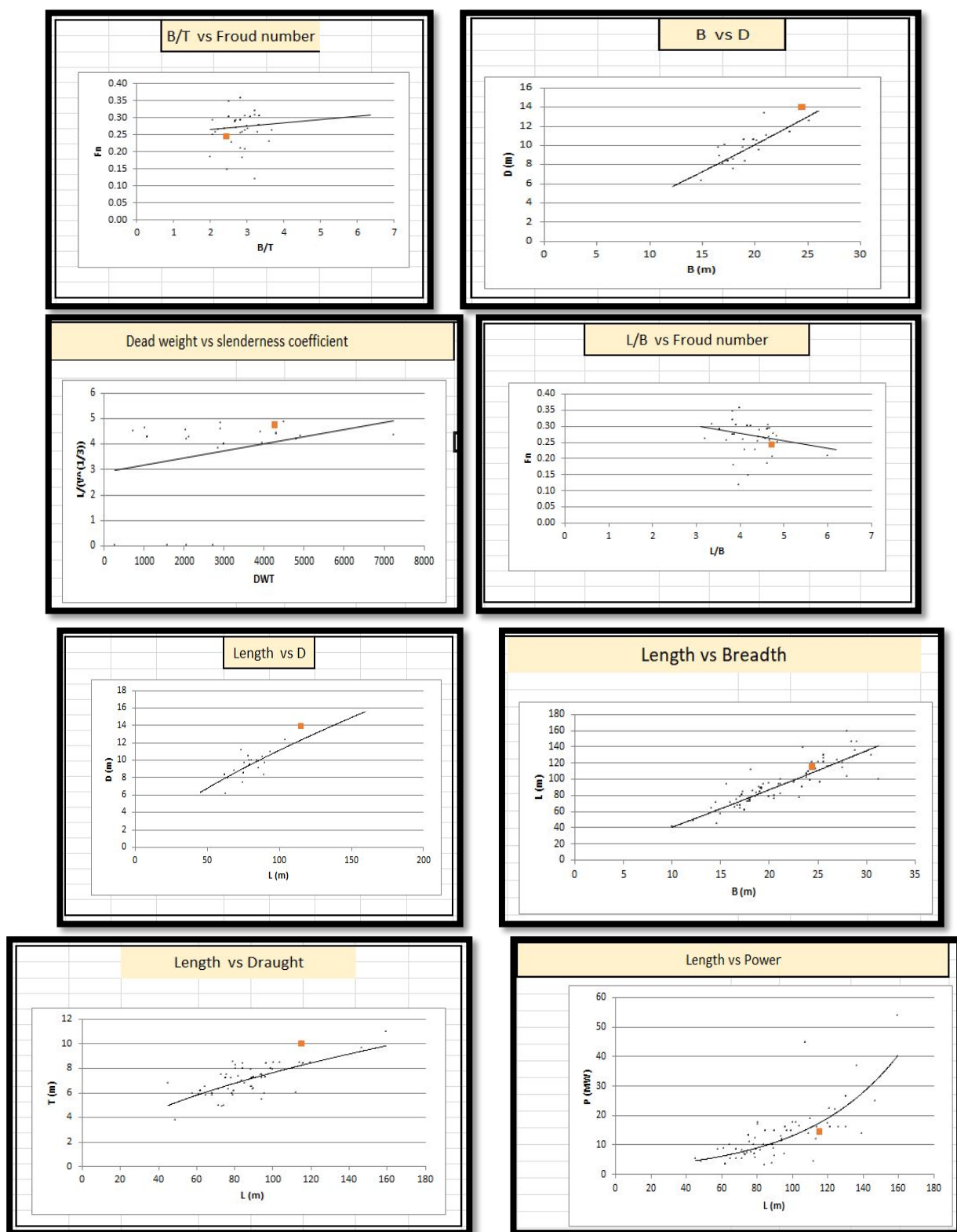


Figura 9. Comparación de estadísticas con barcos antiguos

IV.V. Forma del casco

El diseño y la estructura del *casco de un barco* son esenciales para garantizar que se ajuste al propósito previsto de la embarcación y a su entorno operativo. En la conformación del casco, se utilizó el barco de referencia "Sir David Attenborough".

Para el diseño preliminar del casco, se utilizó la hoja de cálculo de Excel suministrada. Esta herramienta ayudó a elaborar el plan de perfil de la embarcación, el plan de líneas de flotación y los planos del cuerpo.

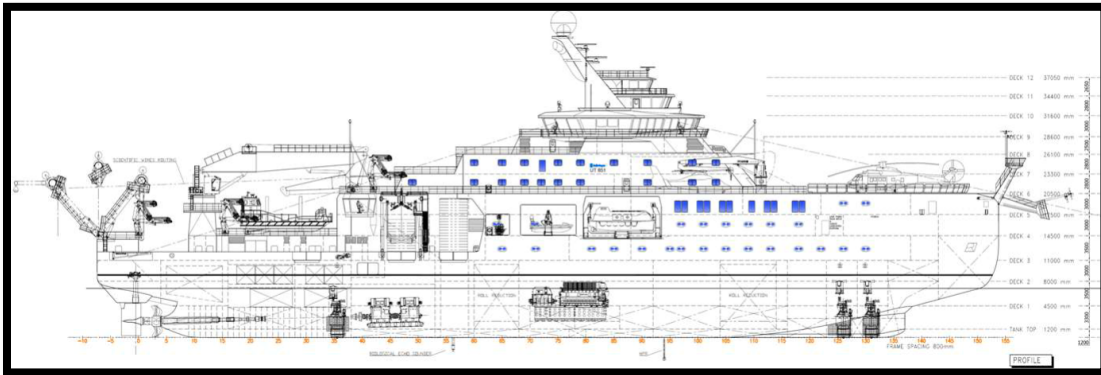


Figura 10. Sir David Attenborough

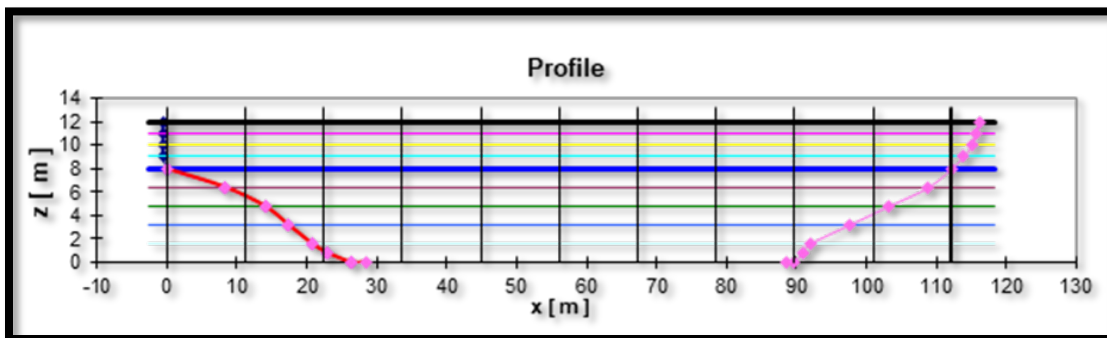


Figura 11. Diseño de proa para la embarcación.

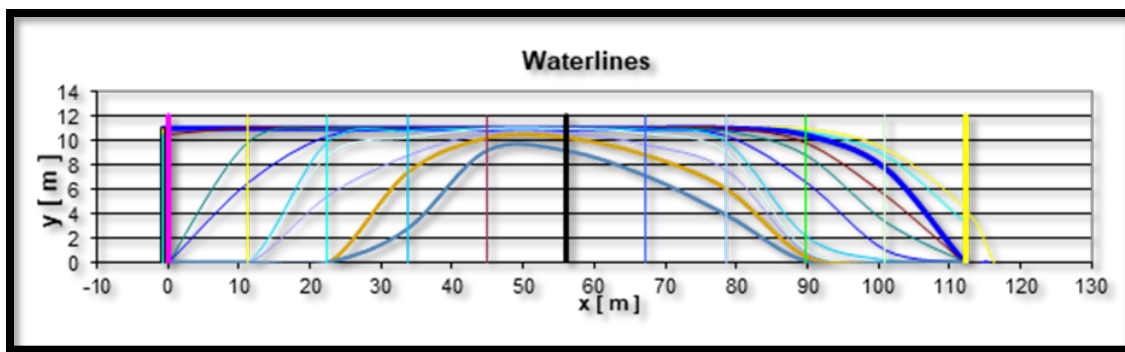


Figura 12. Líneas de flotación.

IV.VI. Proa

Elegir el diseño adecuado y la forma para la proa es vital al determinar la forma del casco. La configuración de la proa influye significativamente en factores como la resistencia, la flotabilidad y la capacidad de romper el hielo de la embarcación. Al ser el punto inicial de interacción con el agua, el tipo de proa afecta directamente la velocidad de la embarcación a lo largo de toda su longitud. Es importante notar cómo funciona un rompehielos. La proa está reforzada y conformada para deslizarse sobre el hielo y "cortarlo", en lugar de chocar directamente contra él. A medida que la embarcación avanza y su peso se posa sobre el hielo, este se agrieta bajo la presión. Estos fragmentos de hielo roto luego se alejan o pasan por debajo del barco, gracias a la forma aerodinámica del casco de la embarcación y las corrientes de agua.

Las Figuras 10 y 11 muestran el diseño de la *proa* de la embarcación. La proa de la embarcación es del tipo cuchara para una capacidad de maniobra optimizada en el hielo. También está diseñada para evitar que la mezcla de hielo golpee el cuerpo medio paralelo y las hélices. El bajo ángulo de la proa aumenta la carga de flexión hacia abajo de la proa hacia el hielo y reduce la resistencia al avance del hielo del barco.

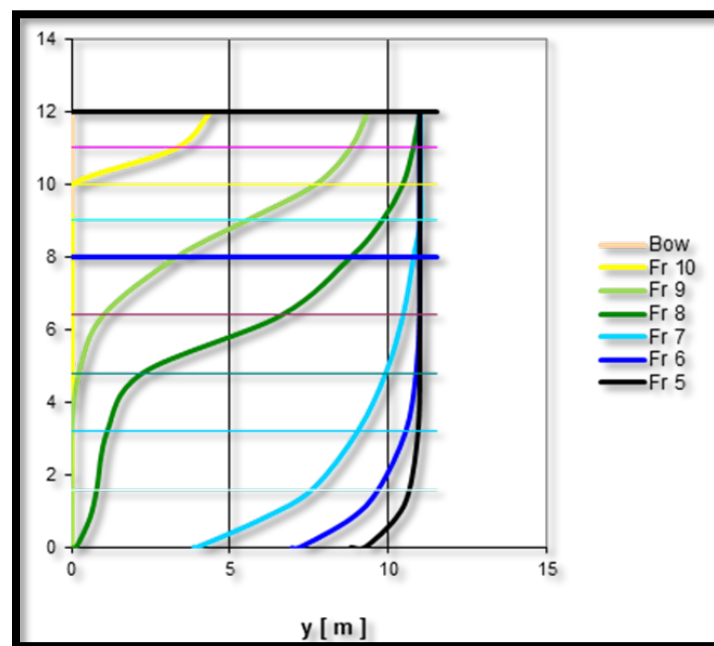


Figura 13. Perfil frontal de la forma de la proa.

IV.VII.Popa

El diseño de la *popa* de un barco está fuertemente influenciado por su sistema de propulsión. Como tal, la estructura del casco y la elección de los propulsores deben considerarse de manera conjunta. El buscador RV North Star utiliza propulsores de azimuth ubicados en la parte trasera. El plano de líneas, como se muestra en la Figura 13, presenta el diseño de la popa. Se realizaron ajustes al diseño original de la quilla debido al sistema de propulsión diferente del barco de referencia. Además, la hoja de Excel no admite el diseño necesario para los propulsores de azimuth.

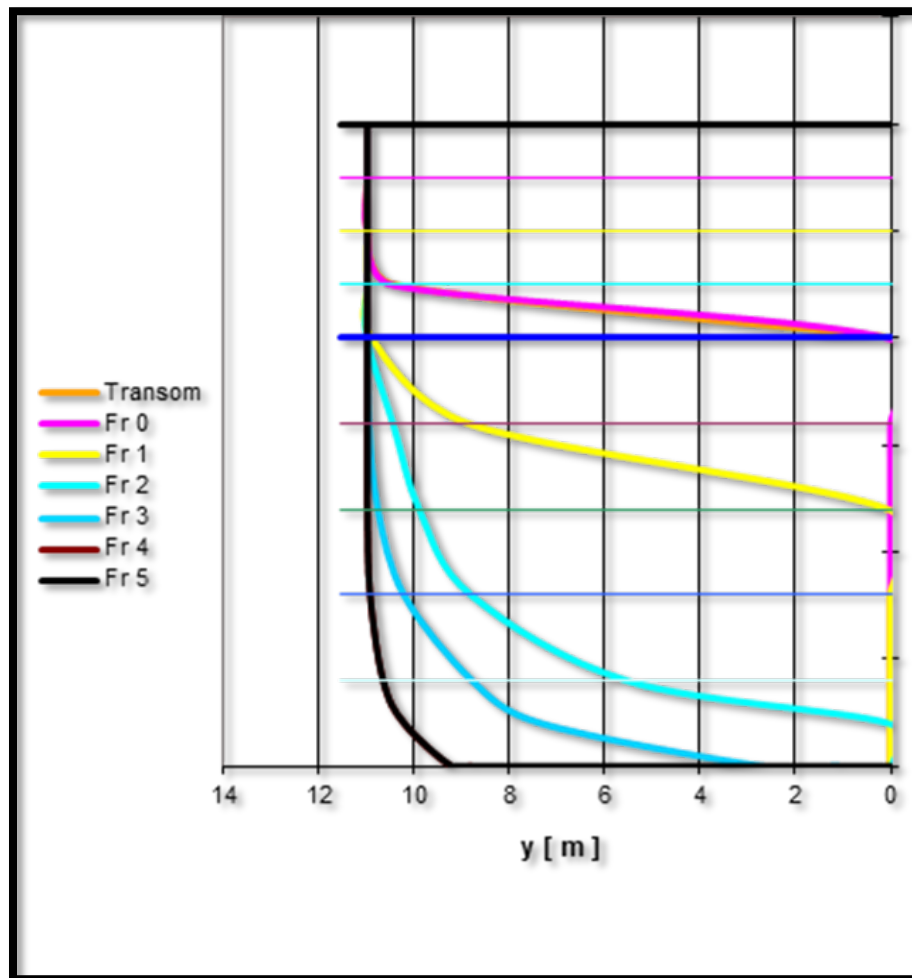


Figura 14. Perfil de la forma de la popa, vista desde la popa.

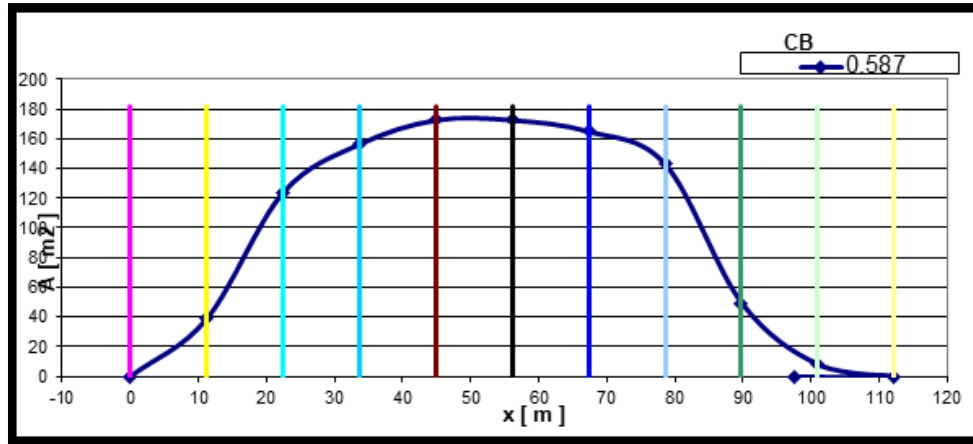


Figura 15. Curva de Área de Sección.

IV.VIII. Hidrostática

IV.IX. Estimación del volumen del casco

Para la estimación del volumen del casco en el gráfico SAC (Área de Sección Transversal en la Cubierta Superior), que se obtuvo a partir de los datos de los dibujos de las líneas del casco. La longitud del marco en el gráfico SAC es de 11.22 metros. Se dividió el gráfico SAC en cuadrados iguales, de modo que cada cuadrado represente un volumen de $50 \text{ m}^2 \times 11.22 \text{ m} = 561 \text{ m}^3$. Si el cuadrado no cabe dentro del SAC, se cuenta como la mitad del cuadrado, como se muestra en la Figura 16.

Según esto, se puede estimar que el volumen del North Star Seeker es de 19915.5 m^3 . El volumen calculado es el volumen del casco entre los marcos 1 y 11 (marcos número 0-10 en el archivo de Excel con los dibujos de las líneas del casco), lo que significa que no se han calculado los volúmenes de la popa y la proa.

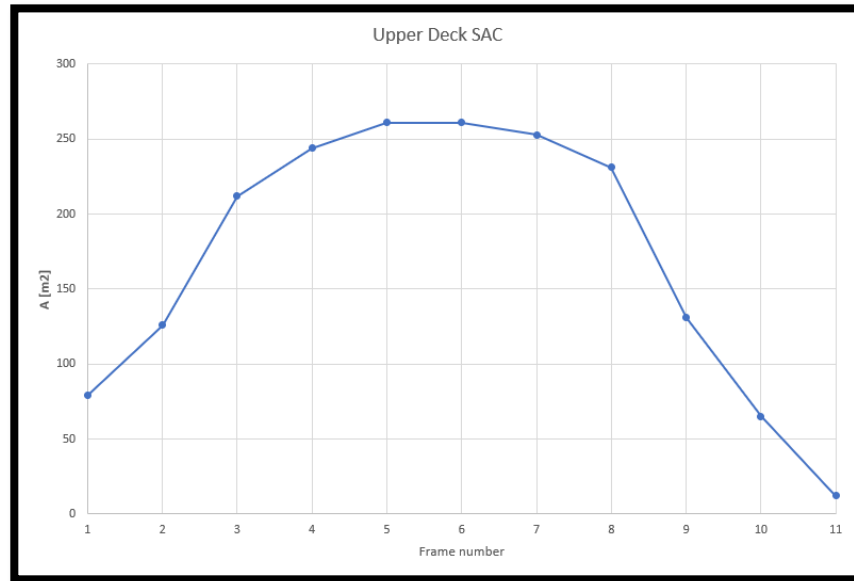


Figura 16. Curvatura del Área de Sección Transversal en la Cubierta Superior.

0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
0	0.5	0.5	1	1	1	0.5	0.5	0	0
0	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0	0
0.5	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0
0.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	0.5
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5
Half squares:		17	Estimation of total hull volume (m³) :					19915.5	
Full squares:		27							

Figura 17. Gráfico SAC dividido en cuadrados.

IV.X. Cálculo de Área y Volumen utilizando Métodos Numéricos

Se utilizó la primera regla de Simpson para determinar el área del plano de flotación para cada línea de flotación, que luego se comparó con el área calculada en la asignación

anterior de las líneas del casco utilizando una hoja de Excel. Se tomó una longitud de 112.2 entre perpendiculares con intervalos de 10 en el cálculo de la regla de Simpson y los resultados son los siguientes:

Línea de Flotación	Área del Plano de Flotación (m ²)	Diferencia (%)
Cubierta Superior	2392	2370
WL 8	2360	2342
WL 7	2291	2279
WL 6	2211	2199
CWL	2001	2001
WL 4	1781	1781
WL 3	1463	1463
WL 2	1373	1373
WL 1	1208	1208
WL ½	1001	1001
Fondo Plano	724	724

Tabla 12. Área del Plano de Flotación de todas las líneas de flotación.

Se utilizó la primera regla de Simpson para determinar el *área transversal* para cada marco (desde el fondo hasta la cubierta superior), que luego se comparó con el área calculada en la asignación anterior de las líneas del casco utilizando una hoja de Excel. Se tomó un calado máximo de 12 metros con intervalos de 10 en el cálculo de la regla de Simpson y los resultados son los siguientes:

Marco	Área de la Sección Transversal (m ²) - Cubierta Superior	Diferencia (%)
0	79	95
1	126	134
2	212	201

3	244	239
4	261	259
5	261	261
6	253	250
7	231	227
8	131	137
9	65	74
10	12	14

Tabla 13. Área de la Sección Transversal de todos los marcos.

Se empleó la primera regla de Simpson para determinar el volumen del casco hasta la cubierta superior y la CWL utilizando las áreas de los planos de flotación de las líneas de flotación, que luego se comparó con el volumen calculado en la asignación anterior de las líneas del casco utilizando una hoja de Excel. Se tomó un calado máximo de 12 metros con intervalos de 10 en el cálculo de la regla de Simpson y los resultados son los siguientes:

Línea de Flotación	Volumen (m³) - (utilizando el área del plano de flotación)	Diferencia (%)
Cubierta Superior	20670	20778
CWL	11583	10675

Tabla 14. Volumen utilizando Áreas de Plano de Flotación

Se utilizó la primera regla de Simpson para determinar el volumen del casco hasta la cubierta superior y la CWL utilizando las áreas transversales de la sección de cada marco, que luego se comparó con el volumen calculado en la asignación anterior de las líneas del casco utilizando una hoja de Excel. Se tomó una longitud de 112.2 entre

perpendiculares con intervalos de 10 en el cálculo de la regla de Simpson y los resultados son los siguientes:

Línea de Flotación	Volumen (m ³) - (utilizando el área transversal)	Diferencia (%)
Cubierta Superior	20580	20619
CWL	11584	11587

Tabla 15. Volumen utilizando Áreas Transversales.

IV.XI. Distribucion general

IV.XII. Definición de la Distribución General (GA)

La distribución general (GA por sus siglas en ingles) del North Star Seeker se creó con referencia a la GA del RRS Sir David Attenborough utilizando el software AutoCAD. Se integraron todas las maquinarias y equipos necesarios en la DG de la embarcación.

Dada la naturaleza específica de doble clase del North Star Seeker, hay espacio limitado disponible. Todos los equipos, maquinarias, alojamientos, áreas de investigación y espacios de carga deben acomodarse dentro de espacios relativamente reducidos. Además, existen requisitos normativos obligatorios para incluir equipos de salvamento.

La selección de zonas contra incendios, compartimentos estancos y la ubicación de equipos de salvamento se adhirieron a reglas y regulaciones establecidas. Dadas las limitaciones de espacio, uno de los objetivos principales fue garantizar un movimiento eficiente de personas dentro de la embarcación y proporcionar una ruta de evacuación hasta la *zona de ensamble* en la cubierta principal. Además, el diseño tuvo como objetivo proporcionar un espacio de laboratorio adecuado para fines de investigación y áreas suficientes para la logística y manipulación de carga para cumplir con todas las misiones previstas.

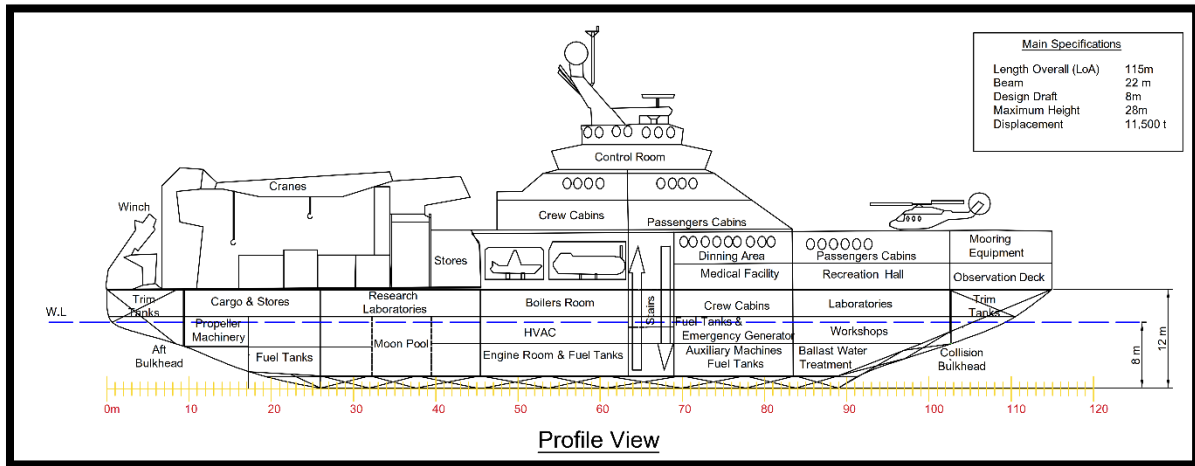


Figura 18. Vista de perfil del North Star Seeker



Figura 19. Vista de la Cubierta 1 del North Star Seeker

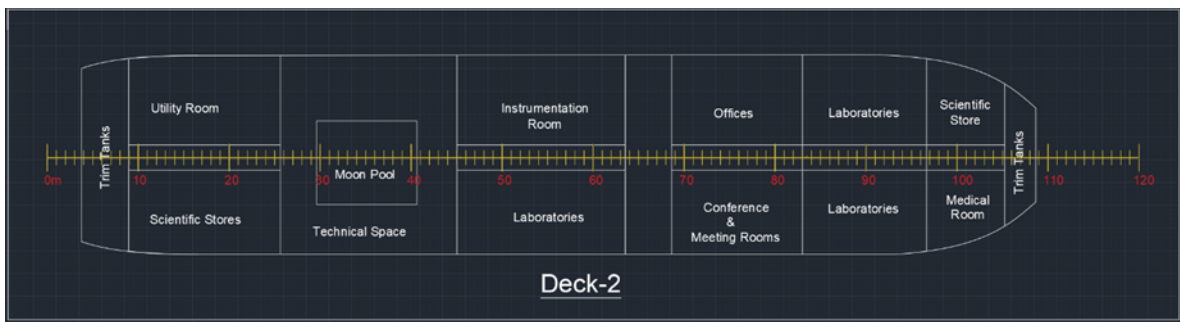


Figura 20. Vista de la Cubierta 2 del North Star Seeker

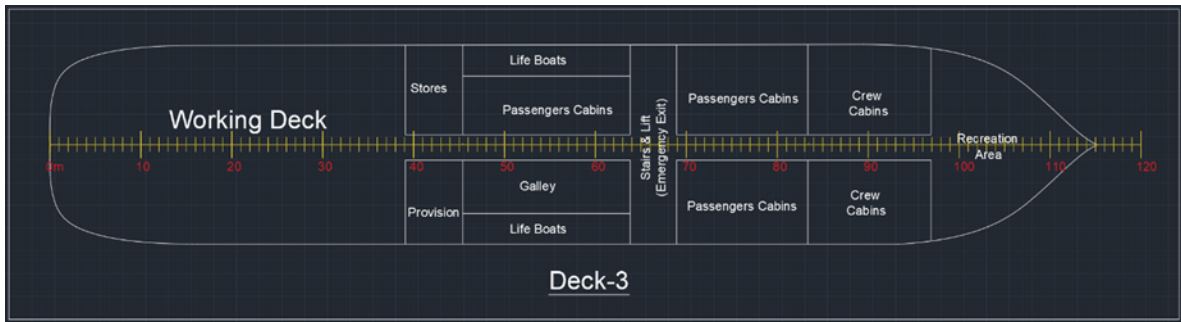


Figura 21. Vista de la Cubierta 3 del North Star Seeker



Figura 22. Vista de la Cubierta 4 del North Star Seeker

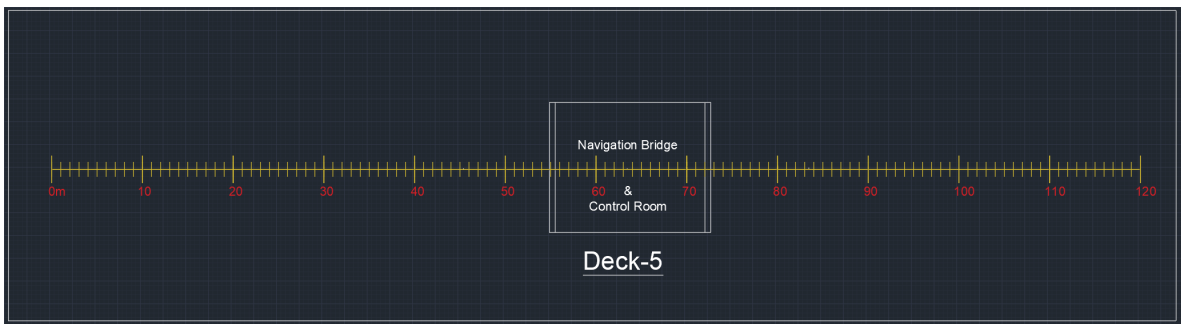


Figura 23. Vista de la Cubierta 5 del North Star Seeker

IV.XIII. Requisitos Funcionales

- Seguridad: El North Star Seeker opera en un área marítima cuyas condiciones ambientales se encuentran entre las más exigentes del mundo. Por esta razón, se ha prestado especial atención a la seguridad. Todo el equipo de seguridad, rescate y navegación del barco, así como la disposición general, cumplen con las regulaciones SOLAS es un acrónimo que significa "Safety of Life at Sea" (Seguridad de la Vida en el Mar).

Las balsas salvavidas se ubican en ambos lados del barco para que el acceso a ellas sea lo más fácil posible desde todas las secciones del barco. El equipo de las balsas salvavidas está diseñado especialmente para su uso en condiciones frías. La capacidad de las balsas salvavidas es del 125% de la capacidad de personal del barco. La capacidad de las balsas salvavidas se evalúa teniendo en cuenta la operabilidad y la capacidad de asientos, considerando las necesidades del personal que lleva ropa polar adecuada.

Además de las balsas salvavidas, el barco cuenta con una embarcación MOB (*Man Overboard*) que se puede desplegar rápidamente. La cubierta del helicóptero del barco también está diseñada para ser adecuada para operaciones de evacuación. Se ha diseñado para tener acceso sin barreras desde el área de primeros auxilios y hospital temporal del barco (área de comedor).

En cuanto al equipo de rescate personal, se ha tenido en cuenta especialmente el entorno operativo polar. Además del equipo de supervivencia según las regulaciones SOLAS, se reservan kits de supervivencia personales y grupales adecuados para el entorno polar según las Secciones 11.3 y 11.4 del *Código Polar* para cada pasajero.

El North Star Seeker está equipado con un cabrestante de remolque con sistema de liberación rápida en caso de que deba realizar operaciones de remolque de emergencia. También es capaz de recibir asistencia de remolque de emergencia.

- Manipulación de Carga: El barco está equipado con tres grúas marinas, una grúa principal en la cubierta de popa y dos grúas laterales para, por ejemplo, desplegar una embarcación de trabajo en la parte delantera de la cubierta principal de popa. La grúa principal tiene una capacidad de elevación de 50 toneladas con un alcance de 20 metros y las grúas laterales tienen una capacidad de 20 toneladas con un alcance de 12 metros. Además de las grúas, hay un sistema de cabrestante de gran capacidad para desplegar equipos científicos en la cubierta de popa.

Es posible colocar un total de seis contenedores de 20 pies en la cubierta de popa del barco. También es posible colocar una embarcación de trabajo de aproximadamente 15 metros de longitud en la cubierta de popa, por ejemplo, para operaciones de reaprovisionamiento.

Tanto la cubierta principal de popa como la cubierta del helicóptero están calentadas mediante tuberías de vapor para evitar la formación de hielo.

- Equipamiento Auxiliar: El North Star Seeker es capaz de operar de forma independiente durante 30 días en el mar y no necesita verter aguas residuales al mar. Las aguas negras son tratadas y almacenadas en un tanque, mientras que las aguas grises pueden limpiarse con el sistema de tratamiento de agua del barco y reciclarse para su reutilización. Sin embargo, los tanques de agua del barco están dimensionados de manera que, en caso de un accidente, la tripulación pueda sobrevivir durante todo el tiempo operativo planificado sin necesidad de reciclaje de agua. Suponiendo que la persona promedio a bordo utiliza aproximadamente 150 L de agua por día, se debe reservar un espacio de aproximadamente 350 m³ para el tanque de agua limpia, incluido el factor de seguridad. Dado que todas las aguas residuales viajan con el barco, el

volumen combinado de los tanques de aguas grises y negras también debe ser de 350 m³.

La calefacción del barco se proporciona principalmente con el agua calentada por la caldera de vapor, que circula en los radiadores. Dos aires acondicionados diferentes se encargan de la ventilación del barco, uno para la ventilación y refrigeración del compartimiento del motor y espacios técnicos, y el otro para la ventilación de los espacios comunes y las áreas de vida. Sin embargo, se ha reservado capacidad de los generadores eléctricos del barco para mantener calentados los espacios más importantes para la operación del barco y la tripulación en caso de una falla de la caldera de vapor.

IV.XIV. Normas y Regulaciones

El North Star Seeker está diseñado específicamente para operar en las duras condiciones del Ártico. Por lo tanto, su diseño y operación reflejarán un profundo compromiso con los estándares y regulaciones internacionales para garantizar la seguridad, la funcionalidad y la protección del medio ambiente:

- Zonas de seguridad contra incendios: El North Star Seeker establecerá zonas demarcadas para la prevención y respuesta contra incendios. Estas zonas contarán con sistemas de detección de incendios y supresión automática adaptados para condiciones árticas extremas. Barreras resistentes al fuego separan áreas vitales para evitar la propagación de las llamas y garantizar la evacuación segura del personal.
- Compartimentación estanca: Siguiendo las regulaciones SOLAS, específicamente en el Capítulo II-1, que se refiere a "Construcción - estructura, subdivisión y estabilidad, maquinaria e instalaciones eléctricas", el North Star Seeker ha sido diseñado con atención meticulosa a la estanqueidad y subdivisión. Esta estructura de compartimentación estanca es esencial para evitar la propagación del agua en caso de una brecha o daño en el casco, asegurando la flotabilidad y la estabilidad general del buque. Estas subdivisiones permiten que el barco mantenga su integridad y operabilidad, incluso si alguno de estos compartimentos se ve comprometido.

- Equipos y maquinaria: Todas las maquinarias a bordo, desde los motores hasta los equipos auxiliares, han sido seleccionadas para funcionar de manera óptima en temperaturas extremadamente bajas. Esto garantiza no solo la operabilidad del barco, sino también la seguridad de la tripulación y los equipos de investigación.
- Protección del medio ambiente: Siguiendo la convención *MARPOL*, el North Star Seeker contará con sistemas de prevención de la contaminación, como sistemas de tratamiento de aguas residuales y gestión de residuos.
- Seguridad: Además de las instalaciones y el diseño del buque, se han establecido protocolos claros y bien definidos para hacer frente a diversas emergencias, desde incendios hasta evacuaciones. Estos protocolos aseguran una respuesta rápida y organizada ante cualquier eventualidad para toda la tripulación.

V. Marco operativo

V.I. Estructura del Barco

V.II. Requisitos Estructurales

Garantizar la seguridad, integridad y rendimiento de estos activos marítimos involucra a varias instituciones estándar, con la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación (IACS) a la vanguardia. La IACS es una organización que unifica a sociedades de clasificación de barcos nacionales y regionales para establecer normas y regulaciones que rigen los aspectos de diseño, construcción y operación de la industria marítima. Es un colectivo de las principales sociedades de clasificación del mundo, y sus miembros son responsables de la clasificación de más del 90% de la capacidad de carga de los barcos del mundo.

La organización estándar mencionada en este informe es Det Norske Veritas (DNV), que es un miembro destacado de la Asociación Internacional de Sociedades de Clasificación

(IACS). Fundada en 1864, con sede en Oslo, DNV tiene una presencia significativa en la industria marítima y controla una considerable participación de mercado global del 21%.

El estándar DNV para buques en climas fríos define la resistencia última de la estructura longitudinal, la cortante y la viga del casco de la siguiente manera.

Resistencia Longitudinal (DNV-RU-SHIP Pt.6 Ch.6):

La evaluación de la resistencia longitudinal de un barco se centra principalmente en un impacto frontal en la proa como escenario de diseño. Sin embargo, esto no incluye impactos intencionales para barcos con proa vertical o bulbosa. Para tales barcos, especialmente aquellos con un ángulo de igual o mayor a 80 grados, los requisitos de resistencia longitudinal no son aplicables. Además, las cargas de hielo solo deben considerarse en conjunto con las cargas en aguas tranquilas. Las tensiones combinadas resultantes deben compararse con las tensiones permisibles de flexión y cortante en varias ubicaciones a lo largo de la longitud del barco. Además, es crucial garantizar que el barco posea una resistencia adecuada al pandeo local.

$$F_{IB,1} = 0.534K_i^{0.15} \sin^{0.2}(\gamma_{stern}) (\Delta_{UI}K_h)^{0.5} CF_L$$

$$F_{IB,2} = 1.20CF_F$$

Resistencia al Cortante (DNV-RU-SHIP Pt.3 Ch.5):

La fórmula para F_I representa una relación donde la fuerza se determina multiplicando un factor de corrección C_f con una fuerza base $F_{\{IB\}}$. La variable F_I podría ser una fuerza específica de interés, como una fuerza de impacto en un escenario dado, mientras que C_f es un coeficiente que ajusta la fuerza base para tener en cuenta condiciones o características particulares que pueden afectar el cálculo final de la fuerza. $F_{\{IB\}}$ es la fuerza inicial o base antes de realizar cualquier corrección o ajuste. Esta fuerza base podría ser un valor estándar o teórico a partir del cual son necesarios ajustes para llegar a una fuerza más precisa o específica del contexto.

$$F_I = C_f F_{IB}$$

Resistencia Última de la Viga de la Quilla (DNV-RU-SHIP Pt.3 Ch.5):

La capacidad última de flexión de la viga de la quilla vertical debe verificarse tanto para condiciones de arqueo como de flexión, teniendo en cuenta los diversos componentes de carga involucrados. Esto asegura que la viga de la quilla pueda soportar las tensiones máximas experimentadas durante estos escenarios opuestos de flexión.

$$M \leq \frac{M_U}{\gamma_R}$$

M es el momento de flexión vertical, expresado en kilonewton-metros (kNm), que debe calcularse.

M_U es la capacidad última de flexión vertical de la viga de la quilla, también medida en kilonewton-metros (kNm).

γ_R es el factor de seguridad parcial para la capacidad última de flexión vertical de la viga de la quilla, que es un factor de seguridad aplicado a la capacidad de flexión de la viga de la quilla.

V.III. Desafíos Específicos del Barco

El principal desafío desde un punto de vista estructural para el North Star Seeker es la integración eficiente de toda la maquinaria, equipos, alojamientos, áreas de investigación y espacios de carga dentro de su naturaleza de doble clase con espacio limitado. Dado su diseño de referencia de la disposición general del RRS Sir David Attenborough, adaptar y ajustar los diseños mientras se asegura el cumplimiento de los requisitos reglamentarios obligatorios añade capas de complejidad.

El diseño del North Star Seeker difiere porque no ofrece la amplitud de los buques convencionales. Por lo tanto, hay un énfasis adicional en la gestión e utilización innovadora del espacio. Incluir equipos de salvamento, zonas contra incendios, compartimentos estancos y la necesidad de rutas claras de evacuación en un espacio

tan reducido destaca como desafíos únicos. Esto difiere de los barcos tradicionales, donde el espacio puede ser más abundante y las configuraciones más sencillas.

Complicando aún más las consideraciones estructurales está el requisito de espacio adecuado para laboratorios e investigación. Estos espacios deben ser funcionales y aislados de perturbaciones como el ruido de la maquinaria. Integrar áreas de investigación con la logística de carga, todo dentro de una distancia limitada, es un desafío novedoso.

Además, la esencia de su naturaleza de doble clase implica que el North Star Seeker debe equilibrar dos objetivos operativos potencialmente contrastantes. Esto significa que las áreas dedicadas a un propósito, como la manipulación de carga, deben diseñarse de manera que no comprometan ni obstaculicen el otro, como las operaciones de investigación.

Dadas las características únicas del barco, hay una mayor necesidad de estudios detallados y consideraciones, especialmente en lo que respecta a garantizar un movimiento eficiente de personas dentro del barco, la gestión del ruido y garantizar rutas de evacuación seguras y accesibles hacia el área de ensamblaje de la cubierta principal. Tales esfuerzos implican extensas simulaciones, simulacros y análisis estructurales para garantizar la seguridad, funcionalidad y eficiencia del barco.

V.IV. Requisitos Estructurales

Doble fondo

El Código Internacional para Buques que Operan en Aguas Polares (Código Polar) requiere que todos los buques con Clasificación Polar tengan dobles fondos a lo ancho y a lo largo entre las mamparas de proa y popa. Según la sociedad de clasificación DNV GL, la altura mínima del doble fondo se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$h_{db} = 1000 * \frac{B}{20} (mm), \text{minimum } 760 \text{ mm}$$

La manga del North Star Seeker es $B = 22.0$ mm, lo que significa que la altura mínima del doble fondo es de 1100 mm. La altura del doble fondo de nuestra embarcación está diseñada para ser de 1500 mm, por lo que supera los requisitos.

Mamparos

DNV GL requiere 5 *mamparos transversales* para barcos con longitudes entre 105 m y 125 m si el motor está ubicado en la popa, y 6 mamparos si el motor está en cualquier otra posición. Debido a que nuestro barco tendrá el motor en la mitad del barco y operará en un entorno exigente donde se necesita resistencia adicional en el casco, decidimos seguir la recomendación de la siguiente categoría de longitud y construir nuestro barco con 7 mamparos transversales.

Según DNV GL, todos los barcos con planta de propulsión eléctrica deben tener un *mamparo de colisión*, un mamparo en la popa, un mamparo en cada extremo del cuarto de máquinas y mamparos entre el cuarto de generadores y el cuarto de máquinas. El North Star Seeker cumple con estas regulaciones.

La ubicación del mamparo de colisión está definida por SOLAS. Para barcos sin proa bulbosa y con una longitud inferior a 200 m, la posición del mamparo de colisión se puede calcular según la siguiente ecuación:

$$0.05 \cdot L_F - x_t \leq x_c \leq 0.08 \cdot L_F - x_t$$

Cuando L_f = longitud del francobordo, x_c = distancia del mamparo desde la perpendicular y $x_t = 0$ (para barcos sin proa bulbosa)

Como resultado, la posición de nuestro mamparo de colisión será de 6.50 m desde la perpendicular, cuando el mínimo permitido es de 5.18 m.

Sistema de Cuadernas

Se utiliza un sistema de cuadernas mixto en el North Star Seeker para garantizar la suficiente resistencia del casco en condiciones de hielo exigentes. La estructura del sistema de cuadernas se basa en los requisitos de IACS y DNV GL para estructuras de cascos y en los requisitos de embarcaciones que operan en áreas de baja temperatura.

Datos técnicos básicos del sistema de cuadernas:

- Espaciado de cuadernas transversales: 600 mm (cada tercer marco de cuaderna)
- Espaciado de vigas longitudinales: 2100 mm (espaciado de las longitudinales: 525 mm)
- Reforzadores en las vigas longitudinales
- Conexiones de soporte en los marcos y largueros laterales

Material del Casco

Los requisitos de material se basan en una estimación de la temperatura más baja que el barco podría encontrar durante las misiones (-45 °C). Basándonos en un estudio empírico y en los Requisitos Estructurales de IACS para Buques Clase Polar UR-I2 y en IACS UR-S6 Uso de Grados de Acero para Varios Miembros del Casco - Buques de 90 m de Longitud en Adelante, decidimos elegir el acero de alta resistencia A131 E40 para el material del casco de nuestro barco. Según las regulaciones mencionadas anteriormente, el grosor preliminar de la chapa será de 35 mm. Este tipo de acero naval mencionado está especialmente diseñado para ser utilizado en rompehielos.

Se llevaron a cabo los cálculos del Módulo de Sección y Momento Flector del barco en una hoja de cálculo de Excel, como se muestra en la figura a continuación:

Ship main particulars								
Ship Depth D	12.00	m						
Ship length L	115.00	m						
Ship Breadth B	22.00	m						
Cb	0.58							
σ_{yield}	390	MPa						
Item	Number of parts	Horizontal	Vertical	Height	Area	1st Moment	2nd Moment @ centroid	2nd moment @BL
[-]	n	b	d	h_i	$a=n*b*d$	$S=a*h_i$	$i=n*b*d^3/12$	$I_s=a*h_i^2$
		[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ³]	[m ⁴]	[m ⁴]
Bottom plating	1	19.000	0.035	0.000	0.665	0.000	0.000	0.000
Inner bottom plating	1	22.000	0.030	1.500	0.660	0.990	0.000	1.485
Strength deck plating	1	22.000	0.025	12.000	0.550	6.600	0.000	79.200
2nd deck plating	1	22.000	0.016	8.750	0.352	3.080	0.000	26.950
Side plating	1	0.025	10.500	6.750	0.263	1.772	2.412	11.960
Bilge	1	0.030	1.500	0.750	0.045	0.034	0.008	0.025
Center girder (1/2)	1	0.020	1.500	0.750	0.030	0.023	0.006	0.017
Side girders	8	0.018	1.500	0.750	0.008	0.006	0.041	0.005
				Σ	2.573	12.504	2.466	119.642
Total cross-section								
Neutral axis	4.861	m from BL						
A_{tot}	5.145	m ²						
Elements, i_{tot}	4.93	m ⁴						
Elements, $I_{s,tot}$	239.28	m ⁴						
I_{BL}	244.22	m ⁴						
I_{NA}	122.659	m ⁴						
Z_{deck}	17.181	m ³						
Z_{bottom}	25.235	m ³						

Tabla 16. Cálculo del Módulo de Sección de la Sección de la Mitad del Barco

Total cross-section				
Neutral axis	4,861	m from BL		
A_{tot}	5,145	m ²		
Elements, i_{tot}	4,93	m ⁴		
Elements, $I_{s,tot}$	239,28	m ⁴		
I_{BL}	244,22	m ⁴		
I_{NA}	122,659	m ⁴		
Z_{deck}	17,181	m ³		
Z_{bottom}	25,235	m ³		
Bending moment			Notes	
Still water bendign moment	0,00E+00	N.m	+ve hogging -ve sagging. If it is not availabe, enter 0.	
wave induced hogging moment	2,15E+08	N.m	+ve hogging -ve sagging.	
wave induced sagging moment	-2,47E+08	N.m	+ve hogging -ve sagging.	
Total bending moment	-2,47E+08	N.m	+ve hogging -ve sagging.	
Response			Notes	
Moment Maximum	2,47E+08	N.m		
σ_{deck}	14,37	MPa	tention in hogging , compression in sagging	
σ_{bottom}	9,79	MPa	compression in hogging , tention in sagging	
Type of deformation	Sagging			
FOS	27,13			

Tabla 17. Cálculo del Momento Flector de la Sección de la Mitad del Barco

Basándonos en los cálculos anteriores, la sección de la mitad de nuestro barco es la siguiente:

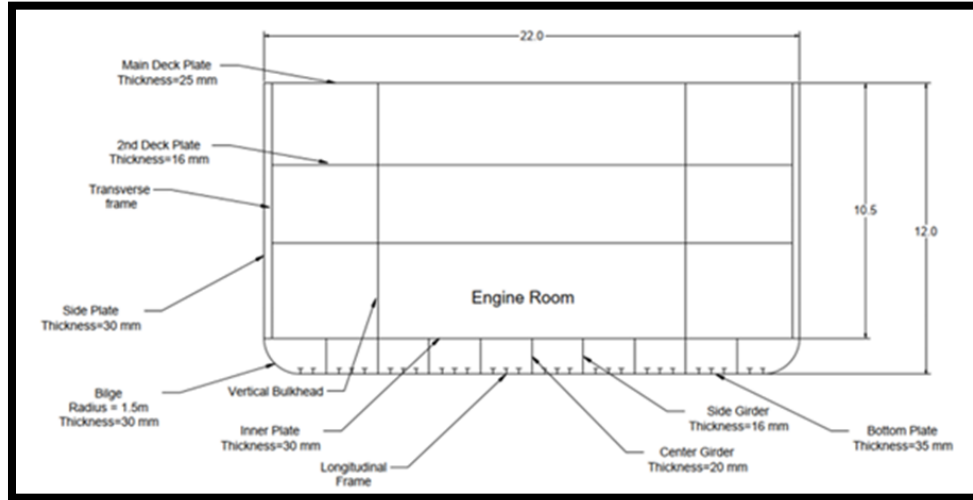


Figura 24. Sección de la Mitad del North Star Seeker

V.V. Cálculo de la Resistencia

Dado que el perfil de operación de la embarcación implica condiciones de hielo y sin hielo, dos fuerzas de resistencia principales son importantes para determinar la potencia de propulsión requerida para la embarcación. La resistencia total, R_T , y la resistencia al hielo, R_{ice} . La resistencia total experimentada por un barco que se mueve a través del agua es un resultado complejo de varios factores contribuyentes. Esta resistencia es crucial para determinar la potencia de propulsión de la embarcación. La resistencia total se divide típicamente en componentes distintos: Resistencia viscosa del casco, R_v , Resistencia de apéndices, R_{APP} , Resistencia por formación de olas, R_w , Resistencia de inmersión de la popa, R_{TR} , y Resistencia de correlación del modelo de barco, R_A .

$$R_T = R_v + R_{APP} + R_w + R_{TR} + R_A$$

V.VI. Resistencia Viscosa del Casco

La resistencia viscosa del casco es el resultado de la fricción entre el casco del barco y el agua.

$$R_v = 0.5\rho S V^2 C_F (1 + k_1)$$

donde C_F es el coeficiente de resistencia por fricción ITTC, ρ es la densidad del agua, S es el área de superficie mojada, V es la velocidad del barco y k_1 es el factor de forma que tiene en cuenta la resistencia viscosa debida a la forma del barco.

El coeficiente de resistencia por fricción ITTC C_F se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log(Re) - 2)^2}$$

y el número de Reynolds, $Re = \frac{VL}{\nu}$.

V.VII. Resistencia de Apéndices

La resistencia de apéndices surge de la superficie mojada adicional debida a apéndices como timones y ejes. Tiene una forma similar a la resistencia viscosa del casco.

$$R_{APP} = 0.5\rho S_{APP} V^2 C_F (1 + k_2)$$

donde S_{APP} es el área de superficie mojada de los apéndices y k_2 es el factor de forma de los apéndices.

V.VIII. Resistencia por Formación de Olas

La resistencia por formación de olas es la energía perdida en la creación del sistema de olas del barco a medida que se mueve a través del agua.

$$R_w = \rho g \nabla C_1 C_2 C_5 e^{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})}$$

donde ∇ es el desplazamiento del barco, g es la aceleración debido a la gravedad, C_1 , C_2 , y C_5 son coeficientes relacionados con la forma del barco, y m_1 , m_2 , λ_1 , y λ_2 son coeficientes relacionados con el número de Froude.

V.IX. Resistencia de Inmersión de la Popa

La resistencia de inmersión de la popa tiene en cuenta la resistencia adicional debida al diseño de la popa:

$$R_{TR} = 0.5\rho V^2 A_T c_6$$

donde A_T es el área de la popa y c_6 es el coeficiente que depende del número de Froude.

V.X. Resistencia de Correlación de Modelo de Barco

Esta resistencia tiene en cuenta las diferencias entre las pruebas de modelos y los barcos a escala completa.

$$R_A = 0.5\rho S V^2 C_A$$

donde C_A es el coeficiente de correlación, que tiene en cuenta la rugosidad de la superficie del barco y otros efectos de escala.

V.XI. Resistencia al Hielo

Existen diferentes métodos para determinar la resistencia al hielo, R_i . Uno de los más comunes es el método de Lindqvist y Riska. Este informe utiliza el método de Riska debido a su simplificación.

Según Riska, la resistencia al hielo es una función del grosor del hielo, h_i , la velocidad, v , el ángulo de popa, φ , el ancho, B , la longitud L , la longitud de los paralelos, L_{par} , y la longitud de la proa, L_{bow} .

$$R_i = C_1 + C_2 v$$

$$C_1 = f_1 \frac{1}{2 \frac{T}{B} + 1} BL_{\text{par}} h_i + (1 + 0.021\phi)(f_2 B h_i^2 + f_3 L_{\text{bow}} h_i^2 + f_4 B L_{\text{bow}} h_i)$$

$$C_2 = (1 + 0.063\phi)(g_1 h_i^{1.5} + g_2 B h_i) + g_3 h_i \left(1 + 1.2 \frac{T}{B}\right) \frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

Las constantes C_1 y C_2 dependen de las características específicas del barco. El factor g es un factor adimensional que tiene en cuenta la influencia de la geometría del barco, las propiedades del hielo y las condiciones operativas en el proceso de romper el hielo. Los factores f son coeficientes de fricción que representan la interacción entre el casco del barco y la superficie del hielo. Este factor está influenciado por la rugosidad del hielo, el material del casco y el movimiento relativo entre el casco y el hielo. Se derivan a partir de datos del barco.

Índice	Coeficiente de Fricción (f)	Factor de Geometría del Barco (g)
1	$0.23 \frac{kN}{m^3}$	$18.9 kN \frac{m}{sm^{1.5}}$
2	$4.58 \frac{kN}{m^3}$	$0.67 kN \frac{m}{sm^2}$
3	$1.47 \frac{kN}{m^3}$	$1.55 kN \frac{m}{sm^{2.5}}$
4	$0.29 \frac{kN}{m^3}$	-

Tabla 18. Datos sobre el Hielo

V.XII. Resistencia Total

La resistencia total depende en gran medida de la velocidad, como muestra la figura a continuación. Además, si el buque está operando en condiciones de hielo, la resistencia al agua puede ser despreciada.

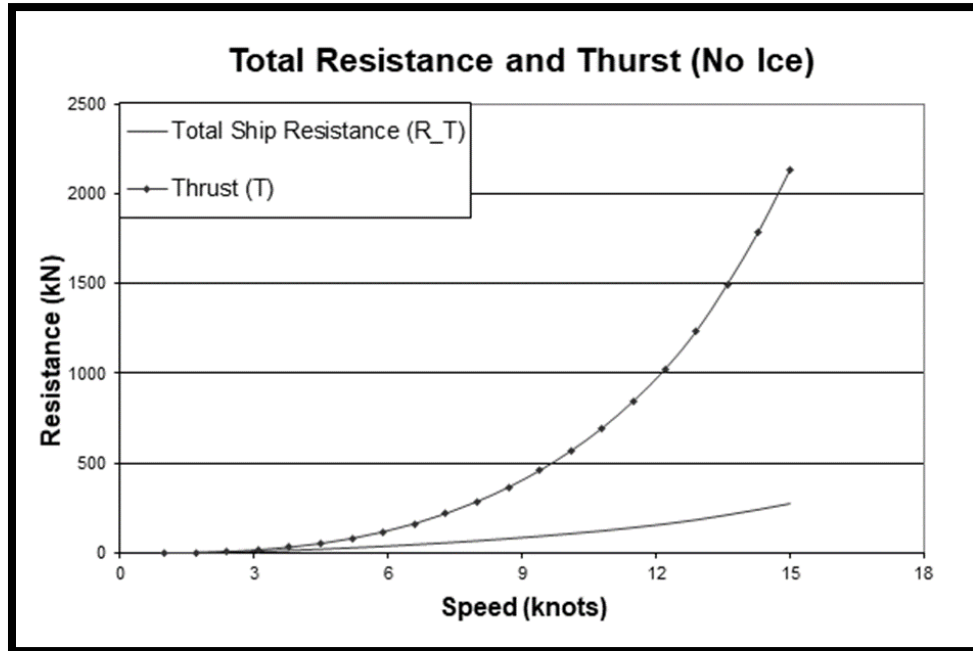


Figura 25. Resistencia total y empuje (Sin Hielo)

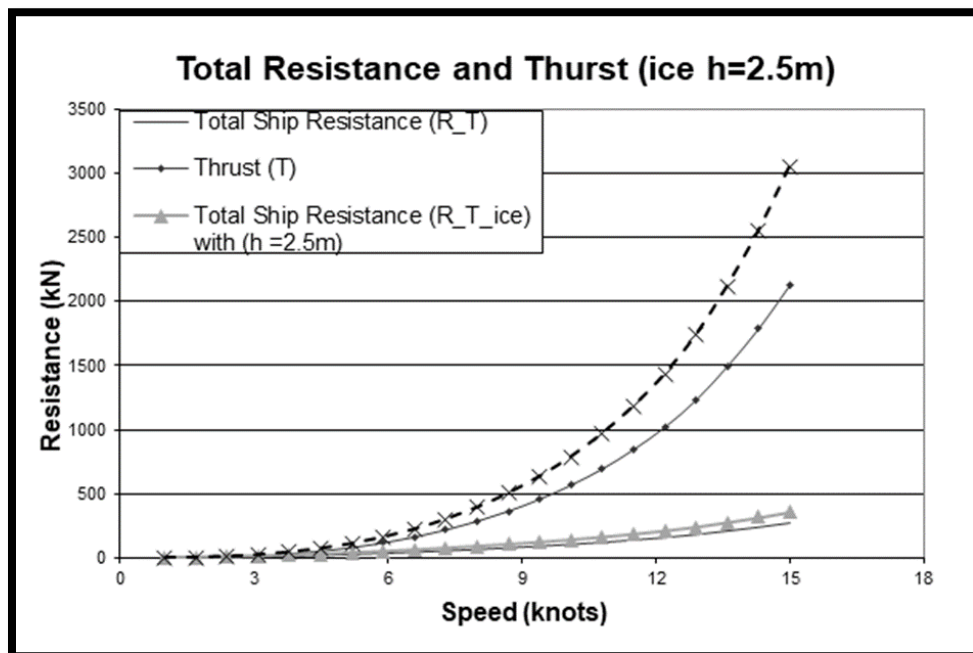


Figura 26. Resistencia total y empuje

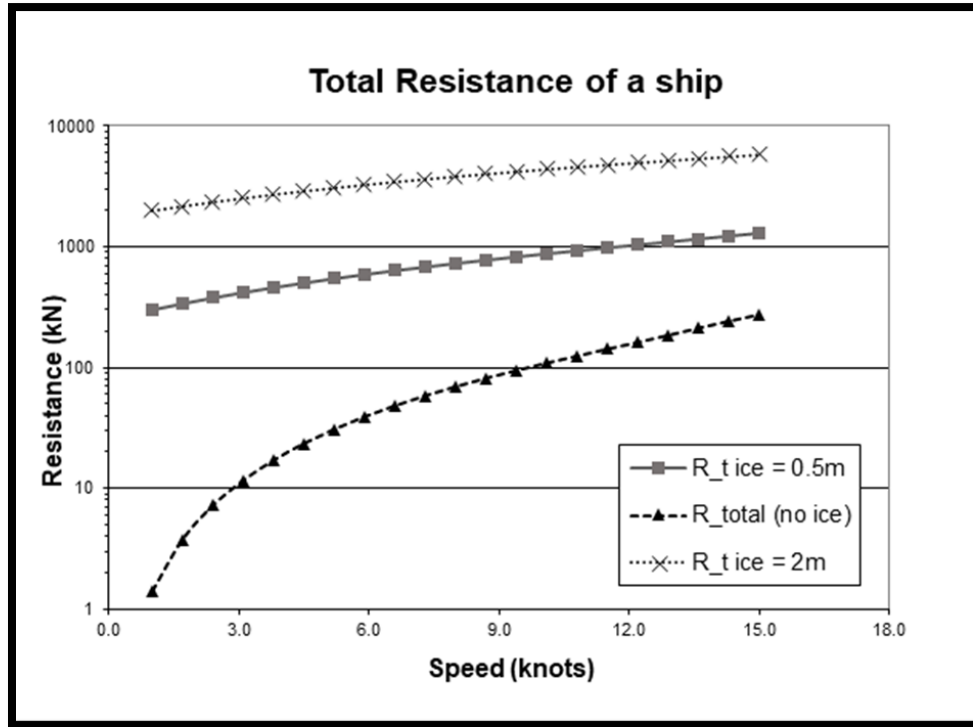


Figura 27. Resistencia total de North Star Seeker

V.XIII.Cálculo de Potencia para la Propulsión del Barco en el Análisis Resistencia

La resistencia es necesaria para el cálculo de potencia del sistema de propulsión de un barco, lo cual es importante para determinar la potencia del motor necesaria para la embarcación. La potencia efectiva P_E requerida para propulsar el barco a una velocidad dada, V , se puede calcular multiplicando la resistencia por la velocidad.

$$P_E = R_{total} V$$

Esta potencia se conoce como potencia efectiva porque representa la potencia real necesaria para superar la resistencia hidrodinámica cuando el barco se desplaza a una velocidad dada. La potencia efectiva no incluye las pérdidas debidas a la ineficiencia de la hélice y las diversas interacciones entre el casco y la hélice. Para tener en cuenta esto, se deben introducir factores adicionales. Para calcular la potencia entregada, P_D y la potencia de freno P_B del sistema de propulsión del barco.

La potencia entregada es la potencia transferida desde el motor del barco hasta la hélice, teniendo en cuenta las pérdidas en el sistema de propulsión excepto la eficiencia propia de la hélice. Está relacionada con la potencia efectiva por la eficiencia del casco η_H .

La eficiencia del casco se ve afectada por factores como la fracción de estela w , que representa la reducción en la velocidad del flujo hacia la hélice debido a la presencia del casco del barco, y el factor de deducción de empuje t , que cuantifica el aumento en la resistencia debido a la acción de la hélice:

$$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - w}$$

La potencia de freno, P_B , es la potencia producida por el motor principal o motor del barco para entregar la potencia requerida al eje de la hélice. Considera todas las ineficiencias en el sistema de propulsión, incluida la eficiencia del eje η_S , que es la relación entre la potencia entregada y la potencia de freno.

$$P_B = P_E^{-1} \eta_H \eta_O \eta_{RR} \eta_S$$

Finalmente, la potencia de freno requerida para el diseño del barco es el principal objetivo del análisis, ya que determina el tamaño y tipo de motor necesario para el proyecto del barco.

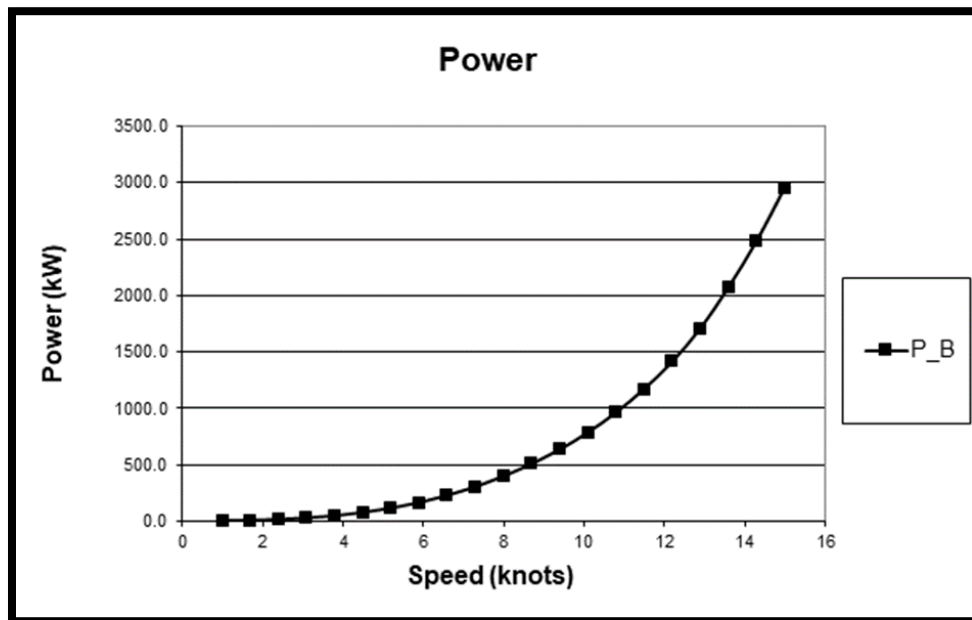


Figura 28. Potencia de la North Star Seeker.

V.XIV. Demanda total de energía

En nuestro diseño de un buque de investigación ártico "North Star Seeker", se han considerado varios consumidores de energía. La propulsión, necesaria para mover el barco a través del agua, se ha calculado sin hielo a una velocidad de 15 nudos, lo que resulta en una necesidad de potencia de 2955 kW.

La carga del hotel, que incluye las necesidades de energía para la vida y el trabajo a bordo, se basa en un cálculo estándar de 3 kW por persona. Con 75 personas a bordo (25 tripulantes + 50 científicos), se necesita un total de 225 kW para esta categoría.

Para las hélices de proa, que se utilizan para mejorar la maniobrabilidad del barco, especialmente en aguas complicadas por hielo, se reserva un total de 3000 kW.

El equipo de investigación, crucial para la misión principal del barco, también requiere una asignación significativa de energía, estimada aquí en 3000 kW.

Sumando todas estas necesidades auxiliares, obtenemos un total de 6225 kW. Sin embargo, para garantizar el funcionamiento seguro y confiable del barco en todas las condiciones previstas, se aplica un factor de seguridad de 1.3. Esto aumenta la necesidad total de potencia a 11943 kW, asegurando una capacidad suficiente para todas las operaciones y contingencias. Este cálculo proporciona una estimación sólida de la demanda de potencia para el diseño y la operación del barco.

V.XV. Selección de Maquinaria

V.XVI. Selección de Propulsión

La selección de propulsores de azimuth para nuestro buque de investigación que opera en la región ártica representa una elección estratégica impulsada por sus capacidades excepcionales. Su capacidad para inclinarse a varios ángulos ofrece una maniobrabilidad sin igual, que es crucial para navegar por terrenos helados desafiantes. Su superioridad en maniobras, junto con su versatilidad operativa, destaca especialmente en escenarios de posicionamiento dinámico, permitiendo movimientos precisos y controlados fundamentales para nuestras misiones de investigación. Además, estos propulsores han

demostrado su eficacia al navegar eficientemente a través de aguas cargadas de hielo, superando el rendimiento de las hélices tradicionales impulsadas por ejes. Con dos propulsores azimutales posicionados en la popa y complementados con dos propulsores de proa, nuestro buque está bien equipado para navegar por las exigentes condiciones del Ártico con una eficiencia y agilidad mejoradas.



Figura 29. Azimuth thrusters

V.XVII. Selección del Sistema de Potencia

La adopción de un motor diésel-eléctrico para nuestro buque representa una elección consciente impulsada por varios factores convincentes. Principalmente, este sistema de propulsión se alinea con nuestro compromiso con la responsabilidad ambiental al reducir significativamente las emisiones. Incluso cuando está alimentado por generadores diésel, el sistema de propulsión eléctrica es una opción respetuosa con el medio ambiente en comparación con las configuraciones de motores tradicionales, reduciendo nuestra huella ecológica mientras garantiza la eficiencia operativa.

Este sistema innovador también proporciona ahorros sustanciales de combustible al permitirnos ajustar el número de generadores en línea según las demandas de energía, optimizando el rendimiento del motor a velocidades de hélice más bajas. Esta eficiencia

mejorada se traduce en una notable conservación de combustible, un aspecto crucial para expediciones prolongadas en regiones remotas del Ártico.

Además, las características de par y velocidad del motor permiten un alto par incluso cuando la hélice está detenida, ofreciendo flexibilidad para impulsar la hélice dentro de los límites de diseño en diversas velocidades y torques. Esta capacidad es fundamental para lograr un control preciso sobre la maniobra y posicionamiento, facilitando transiciones más suaves en las velocidades y reversas de la hélice. Tal adaptabilidad garantiza tasas de aceleración óptimas durante maniobras complejas, mejorando la agilidad y maniobrabilidad general del buque en condiciones desafiantes del Ártico.

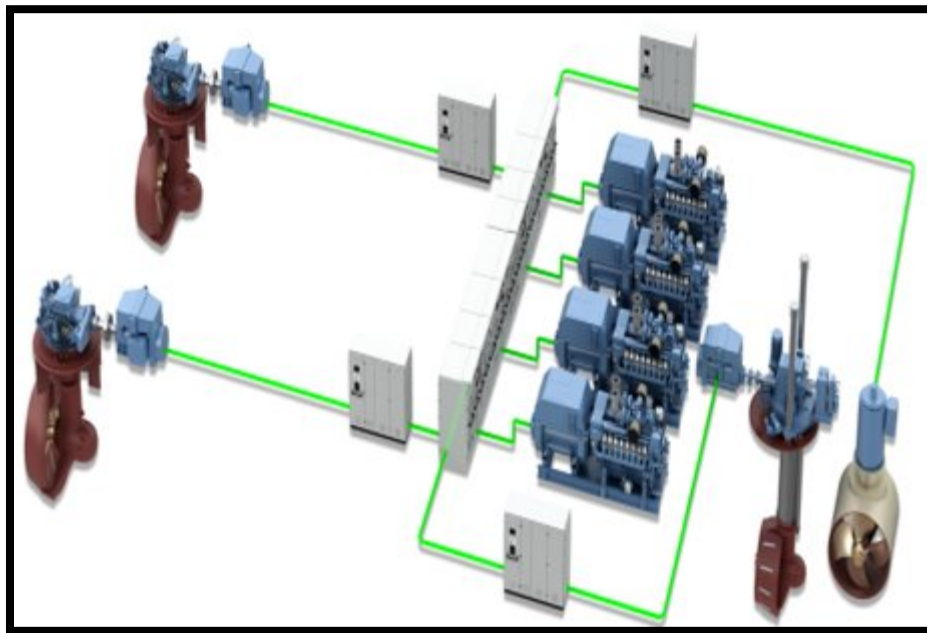


Figura 30. Distribución estándar del sistema diésel-eléctrico.

V.XVIII. Eleccion de motor

La selección de cuatro motores diésel principales Rolls-Royce Bergen B33:45L6A para el sistema de energía de nuestra embarcación se calculó en función de los cálculos de potencia derivados de las estimaciones de resistencia. La configuración de los motores incluye una combinación de dos tamaños diferentes: dos modelos de nueve cilindros que generan 5400 kW cada uno y dos modelos de seis cilindros que producen 3600 kW cada

uno. Esta configuración diversa se eligió estratégicamente para garantizar un rendimiento y eficiencia óptimos en una amplia gama de condiciones operativas, acomodando variaciones en la demanda de energía.

B33:45L		PROPULSION		
TECHNICAL DATA		B33:45L6P	B33:45L8P	B33:45L9P
ENGINE TYPE				
Number of cylinders		6	8	9
Engine speed	r/min	750	750	750
Mean piston speed	m/s	11.2	11.2	11.2
Max.cont rating (MCR)	kW	3600	4800	5400
Mean effective pressure (BMEP)	bar	25	25	25
Specific fuel oil consumption (SFOC)	g/kWh*	from 173	from 174	from 171
SFOC with engine driven pumps	g/kWh	from 175	from 176	from 173
Specific lubricating oil consumption	g/kWh	0.5	0.5	0.5
Cooling water temp. engine outlet	°C	90	90	90

Figura 31. Datos técnicos de Rolls-Royce Bergen B33:45L6A

Una de las ventajas destacables de esta configuración de motores es su capacidad para mantener la eficiencia operativa incluso cuando funciona con un solo motor principal, ofreciendo redundancia y confiabilidad durante expediciones prolongadas. Además, estos motores están diseñados específicamente para funcionar con combustible de ultra bajo contenido de azufre que contiene menos del 0,1 por ciento de azufre, alineándose con las regulaciones ambientales y enfatizando nuestro compromiso con prácticas sostenibles.

Al integrar estos sistemas de energía, nuestra embarcación está equipada con la versatilidad para adaptarse a diversos requisitos de energía, asegurando un rendimiento confiable en escenarios operativos diversos, al tiempo que cumple con estándares ambientales estrictos. Esta selección integral de motores es un testimonio de nuestra dedicación a la eficiencia, confiabilidad y responsabilidad ambiental en nuestras operaciones en el Ártico.

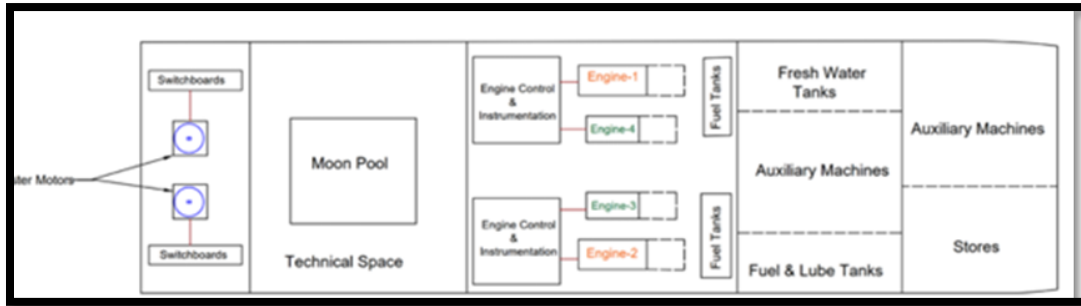


Figura 32. Distribución del motor en la sala de máquinas del R/v North Star Seeker

El diseño de la disposición del motor y el sistema de energía en la cubierta inferior del barco está dibujado utilizando AutoCAD. Proporciona un plan claro de cómo se organizan los motores y sistemas para una operación eficiente en el mar.

V.XIX. Generador de emergencia:

Además del sistema de propulsión principal, se instalará una unidad de generador diésel en espera con una capacidad de 2500 kW estratégicamente en la segunda cubierta. Este generador de respaldo sirve como un mecanismo de seguridad en caso de fallo del sistema diésel-eléctrico. Su función principal es proporcionar energía directa a los propulsores, asegurando la maniobrabilidad esencial y las capacidades operativas incluso en circunstancias imprevistas.

Este generador de reserva opera con su sistema de combustible y configuración eléctrica independientes, garantizando autonomía respecto a la red de energía principal. Esta autonomía asegura una fuente de energía confiable y separada dedicada únicamente a la función crítica de los propulsores, mitigando los riesgos asociados con un posible fallo en el sistema diésel-eléctrico principal.

V.XX. Equipamiento - Equipos necesarios:

El equipamiento del barco es un proceso integral que consiste en completar un barco después de lanzar el casco. Esto implica instalar y organizar todos los componentes, equipos y sistemas necesarios para que el barco esté operativo y listo para su propósito específico y las pruebas en el mar.

El proceso de equipamiento puede incluir tareas como completar la superestructura, instalar sistemas de navegación y comunicación, equipos de seguridad, motores y generadores, espacios de alojamiento e instalación interior, y otras características esenciales. También implica probar y garantizar que todos los sistemas funcionen correctamente antes de que el barco entre en servicio.

Los equipos principales más importantes que permiten el funcionamiento exitoso del North Star Seeker durante sus misiones se enumeran a continuación:

V.XXI. Sistema de anclaje y líneas de amarre:

Según las clasificaciones de DNV GL, el sistema de anclaje y amarre se puede definir calculando el Número de Equipamiento (EN) del barco. La fórmula utilizada para calcular el Número de Equipamiento de nuestra embarcación se presenta a continuación:

$$EN = \Delta^{2/3} + 2 \times B \times H + 0.1A$$

Donde:

H= Altura desde la línea de flotación de carga de verano hasta la parte superior del camarote más alto, en metros

Δ = Desplazamiento en toneladas

B= Manga

A= Area de la vista del perfil del casco, en metros cuadrados

Basándonos en el número EN de nuestra embarcación (1512), las reglas de DNV GL requieren un mínimo:

Cantidad	Equipo
2	Anclas bower sin stock de 4590 kg
2	Cadenas de ancla de eslabón rizado de 550 m, $\varnothing$ 52 mm, grado de acero NV K3
5	Líneas de amarre, cada una de 190 m

Tabla 19. Equipo de anclaje y amarre del R/V North Star Seeker

Además de lo anterior, el North Star Seeker contará con un extenso equipo de amarre, que incluye cabrestantes de amarre, cabrestantes y cabrestantes de remolque, en la proa y la popa de la cubierta principal.

V.XXII. Equipamiento de seguridad

Todo el equipamiento de seguridad de la embarcación cumplirá con las regulaciones de SOLAS y el Código Polar. En el proceso de diseño se ha tenido en cuenta la operación del barco en condiciones desafiantes y frías, lo que se refleja, por ejemplo, en un equipo de navegación más completo y en el equipamiento en caso de que el barco quede atrapado en el hielo. El barco está equipado con el siguiente equipamiento de seguridad:

Equipamiento de seguridad	Ubicación
1 x Bote MOB Narwhal SV-750, con 2 motores de 150 HP	Principal, lado de estribor
2 x Botes salvavidas VIKING Norsafe Maggie-107 MKI (máx. 90 personas)	Principal, en ambos lados
Chalecos salvavidas, trajes de inmersión y EEBD (120% de la capacidad máxima de personal)	Cada camarote, estación de ensamblaje, áreas públicas
Kits de supervivencia polar de emergencia (kits personales y grupales)	Cada camarote y botes salvavidas
Cabrestante de remolque con sistema de liberación rápida	Principal, en la parte de popa
Sistema de lucha contra incendios y rociadores anticongelantes	Áreas públicas
Armarios con calefacción para trajes contra incendios, mangueras y extintores	Áreas públicas

Generador de emergencia, con capacidad adicional para alimentar los sistemas de calefacción de los espacios más importantes	Cubierta 4
---	------------

Tabla 20. Principal equipo de seguridad del RV North Star Seeker.

V.XXIII. Equipos de manipulación de carga

Debido a la misión de nuestro barco, debe contar con equipos versátiles para manejar diferentes tipos de carga y equipos de investigación. Además de la espaciosa cubierta trasera, que está equipada con cerraduras de contenedores, soporte para botes auxiliares y un potente cabrestante de remolque, el barco cuenta con seis grúas diferentes que permiten la realización de operaciones científicas y reabastecimiento en alta mar. Las grúas de manipulación de carga se enumeran a continuación:

Equipo de Carga	Detalles Técnicos	Ubicación
Grúa principal de carga	Carga máxima: 50 t, Alcance: 20 m	Cubierta principal de popa, lado de babor
2 x Grúas laterales	Carga máxima: 20 t, Alcance: 30 m	Cubierta principal, en ambos lados
2 x Grúas de servicio	Carga máxima: 10 t, Alcance: 20 m	Cubierta principal, en la parte de proa y popa
Grúa en forma de A	Carga máxima: 40 t	Popa del barco

Tabla 21. Gruas de manipulación de carga de RV North Star Seeker

V.XXIV. Otros equipos

Además de lo mencionado anteriormente, el barco necesita varios sistemas adicionales necesarios para el éxito de su operación diaria y navegación. A continuación se enumeran los dispositivos más destacados.

Sistema de Monitoreo del Casco

Se instalará un Sistema de Monitoreo de Cargas de Hielo (ILMS, por sus siglas en inglés), proporcionado por Aker Arctic, en el barco, donde el casco de la nave estará equipado con una red de sensores que monitorea constantemente las cargas causadas por la ruptura de hielo en el casco. El sistema puede garantizar una vida útil más prolongada de los componentes estructurales del casco, optimizar la potencia del motor necesaria para romper el hielo y producir datos de investigación sobre el comportamiento del barco en zonas de hielo polar.

Aguas blancas y agua de lastre

El barco cuenta con una planta de tratamiento de agua de lastre de acuerdo con la Convención Internacional para el Control y la Gestión del Agua de Lastre y Sedimentos de los Buques de la IMO. También se ha instalado un sistema de tratamiento de agua en el North Star Seeker para la opción de reutilización de aguas grises. Este sistema aumentará la capacidad de carga cuando no sea necesario transportar tanta agua potable.

Calefacción, ventilación y aire acondicionado

La cubierta principal y la cubierta de aterrizaje de helicópteros se calientan mediante una caldera de vapor para evitar la formación de hielo. El calor residual de los motores se recicla y puede utilizarse para calentar los espacios de alojamiento. El barco cuenta con dos sistemas de aire acondicionado que funcionan de manera independiente para la seguridad contra incendios, uno para áreas técnicas y otro para áreas de alojamiento.

El perfil lateral del barco ilustra la disposición de los principales sistemas de la nave.

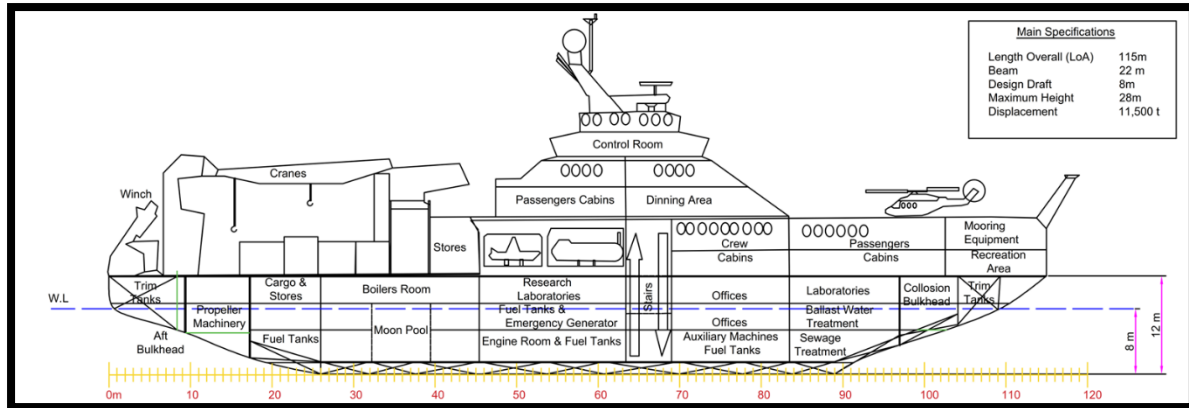


Figura 33. Vista lateral con ubicación de los diferentes sistemas del barco

V.XXV. Clasificación SFI de Componentes Principales

Grupo 1 - Generalidades del Barco

- 10. Especificaciones, Estimaciones, Dibujos, Instrucciones
- 11. Seguros, Tarifas, Certificaciones, Representación
- 12. Aseguramiento de la Calidad, Trabajos Generales, Modelos

Grupo 2 - Casco

- 20. Material del Casco, Trabajos Generales del Casco
- 21. Zona de Popa
- 22. Área del Motor
- 23. Área de Carga

Grupo 3 - Equipos y Carga

- 30. Compuertas y Portillos
- 31. Equipamiento para Carga en Bodega/Cubierta
- 32. Grúas de Cubierta para Carga

Grupo 4 - Equipamiento del Barco

- 40. Maquinaria y Equipamiento de Maniobra
- 41. Equipamiento de Navegación y Búsqueda
- 42. Equipamiento de Comunicación

Grupo 5 - Equipamiento para Tripulación y Pasajeros

- 50. Equipamiento de Salvamento, Protección y Equipamiento Médico
- 51. Aislamiento, Paneles, Mamparos, Puertas, Escotillas laterales
- 52. Inventario, Equipamiento de Entretenimiento

Grupo 6 - Componentes Principales de la Maquinaria

- 60. Motores Diésel para Propulsión, Propulsores
- 61. Almacenamiento de Energía

Grupo 7 - Sistemas para Componentes Principales de la Maquinaria

- 70. Sistemas de Combustible y Lubricación
- 71. Sistemas de Escape
- 72. Sistemas de Automatización

Grupo 8 - Sistemas Comunes del Barco

- 80. Sistemas de Lastre y Achique
- 81. Protección contra Incendios / Sistema de Botes Salvavidas
- 82. Sistema de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC)

V.XXVI. Peso y Estabilidad

Para calcular el peso preliminar del barco, se han utilizado la hoja de cálculo y las fórmulas proporcionadas en el material del curso. La precisión del peso se ha evaluado comparándolo con los datos del barco de referencia RRS Sir David Attenborough y los cálculos de las líneas del casco.

V.XXVII. Peso en Condición de Luz (Lightship)

El peso en condición de luz se ha obtenido calculando estimaciones del peso estructural, peso de la maquinaria y peso del equipo utilizando la hoja de cálculo proporcionada. A continuación se presentan los resultados para cada categoría, incluida una estimación general del peso en condición de luz:

Structural weight	
Length of superstructure (m)	77
Height of superstructure (m)	14
Length of deckhouse (m)	38
Height of deckhouse (m)	7
E	4956,8
K	0,045
WS (tonne)	4495,08
KG _{hull} (m)	5,806
LCG _{hull} (m)	52,02

Tabla 22. Peso Estructural del North Star Seeker

En la hoja de cálculo proporcionada, se ha calculado el peso estructural del North Star Seeker utilizando la siguiente fórmula:

$$W_S = K * E^{1.36} * [1 + 0.5(C_B - 0.7)]$$

Donde E es un número de equipo modificado de Lloyd, definido de la siguiente manera:

$$E = L(B + T) + 0.85 * L(D - T) + 0.85 * (A_{(profile\ of\ superstructure)}) + 0.75 * (A_{(profile\ of\ deckhouse)})$$

Se utilizo un valor de 0.045 como factor K, que es típico para un buque de investigación según los datos de las notas de la conferencia. El número de equipo modificado de nuestro barco (E = 4956.8) indica que nuestro valor de factor K debería estar más cerca del de un buque de pasajeros, porque según las notas de la conferencia, el rango de buques de investigación para E es de 1350 a 1500 y para buques de pasajeros de 5000 a 15,000. Sin embargo, el área de perfil relativamente grande de la superestructura de nuestro buque de investigación provoca que el número de equipo aumente a un valor mayor que el rango sugerido en el material fuente.

Machinery weight	
MCR (KW)	18000
N (rpm)	750
type of plant	Diesel electric
No of engines	4
cm	0,83
WM (tonne)	1501,222
Height of engine room (m)	4
Height of double bottom (m)	1,5
KGM (m)	2,375

Tabla 23. Peso de la Maquinaria del North Star Seeker

El peso de la maquinaria se calcula según la siguiente fórmula, ya que el barco utiliza un sistema de propulsión diésel-eléctrico:

$$W_M = 0.72 * (MCR)^{0.78}$$

Outfitting weight	
Co	0,7
Wo (tonne)	1771
KGo (m)	13,25

Tabla 24. Peso del Equipamiento del North Star Seeker

El peso del equipamiento se estima con la siguiente fórmula en la hoja de cálculo:

$$W_O = C_O * L * B$$

Dado que no se disponía de un coeficiente de equipamiento (Co) adecuado en los datos de las notas de la conferencia, específicamente diseñado para buques de investigación, decidimos elegir Co = 0.7, correspondiente a la relación longitud-manga (L/B) del barco (=5.23). Esta relación se encuentra entre un buque de pasajeros y un buque que transporta carga sofisticada según los coeficientes de equipamiento en las tablas de las notas de la conferencia.

Ship's main characteristics	
L(m)	115
B(m)	22
T(m)	8
D(m)	12
CB	0,584
LCB(m) @AP (m)	52,17
Lightship weight	
7767,30	
KGLight	
6,840	

Tabla 25. Características Principales del Barco North Star Seeker

La estimación total del peso en condición de luz se puede realizar sumando el peso estructural, el peso de la maquinaria y el peso del equipamiento.

$$W_{LS} = W_S + W_M + W_O = 7677 \text{ ton}$$

V.XXVIII. Peso en Carga Muerta y Desplazamiento

El peso en carga muerta se ha obtenido calculando estimaciones de peso de carga, provisiones, tripulación, agua dulce, combustible y lubricante.

Engine details:			
B33:45L6P output (kW)	3600 x 2	(MCR)	
B33:45L9P output (kW)	5400 x 2	(MCR)	
Engine output total (kW)	18000		
FO consumption (g/kWh)	173	(SFOC)	
LO consumption (g/kWh)	0,5		

Tabla 26. Detalles del Motor del North Star Seeker

Estimation of fuel and lube oil consumption in different parts of the example route:					
Sea condition	Open sea	Light ice	Heavy ice	Anchored	Total
Per voyage (%)	30	19	19	32	100%
Hours per voyage (h)	140	85	85	143	453 h (approx. 19 days)
Engine power (kW)	3000	7000	11000	2500	rough estimation
Fuel cons. (kg/h)	519	1211	1903	433	
Lube cons. (kg/h)	1,5	3,5	5,5	1,25	
Fuel cons. per voyage (ton)	73	103	162	62	400
Lube cons. per voyage (ton)	0,21	0,3	0,47	0,18	1,16

Tabla 27. Estimación del Consumo de Combustible y Aceite Lubricante

Para evaluar el consumo de combustible y aceite lubricante, utilizamos la ruta de ejemplo y el perfil operativo presentado en la Sección 23, lo que nos permitió crear una estimación promedio diaria de consumo de fuel oil y aceite lubricante. Los datos de consumo del motor provienen de las especificaciones del fabricante. En el viaje de ejemplo, el consumo de combustible fue de aproximadamente 21 toneladas por día y el consumo de aceite fue de aproximadamente 0.06 toneladas por día.

Necesitábamos una autonomía de 30 días y una capacidad de tripulación de 75 personas para nuestro buque. Con base en estos requisitos, se puede calcular el peso mínimo de fuel oil y aceite lubricante:

$$W_{FO} = \frac{\text{total usage}}{\text{days}} \cdot \text{endurance} = 630 \text{ ton}$$

$$W_{LO} = \frac{\text{total usage}}{\text{days}} \cdot \text{endurance} = 1.8 \text{ ton}$$

El peso mínimo de las demás categorías principales del peso muerto se calcula con las fórmulas encontradas en las notas de la conferencia:

El peso mínimo de provisiones se calcula con la fórmula:

$$W_{PR} = 0.01 \text{ ton} \cdot \text{crew number} \cdot \text{endurance} = 22.5 \text{ ton}$$

El peso mínimo de agua dulce se calcula con la fórmula:

$$W_{FW} = 0.17 \text{ ton} \cdot \text{crew number} \cdot \text{endurance} = 382 \text{ ton}$$

El peso mínimo de la tripulación y sus efectos se calcula con la fórmula:

$$W_{CE} = 0.17 \text{ ton} \cdot \text{crew number} = 12.75 \text{ ton}$$

La estimación inicial del peso de la carga W_C se basa en el volumen del espacio de carga de la nave. Se estima que el peso de la carga W_C es de aproximadamente 1500 toneladas.

W_Fo (ton)	630	W_Fo = 21 ton * 30 = 630 ton	Fuel Oil		
W_Lo (ton)	2	W_Lo (ton) = 0.06 * 30 = 1.8 ton	Lube Oil		
W_Fw (ton)	382	W_Fw = 0.17 ton * 75 * 30 = 382 ton	Fresh water		
W_Ce (ton)	13	W_Ce = 0.17 ton * 75 = 12.75 ton	Crew and their effects		
W_Pr (ton)	23	W_Pr = 0.01 ton * 75 * 30 = 22.5 ton	Provisions		
W_C (ton)	1500	Estimation based on cargo space volume	Cargo		
Total DWT (ton)	2550				

Tabla 28. Peso Muerto Total

Al sumar las categorías mencionadas anteriormente, se puede obtener el peso muerto total:

$$DWT = W_{FO} + W_{LO} + W_{FW} + W_{PR} + W_{CE} + W_C = 2550 \text{ ton}$$

Δ Displacement (ton) = LWT + DWT		
LWT (ton)		7767
DWT (ton)		2550
Δ (ton)		10317
+ 15% reserve		11865

Tabla 29. Desplazamiento Total

Sumar el peso en condición de luz (LWT) y el peso muerto (DWT) conducirá a un desplazamiento total de 10,317 toneladas o 11,865 toneladas si se tiene en cuenta un margen de reserva del 15%.

$$\Delta = LWT + DWT = 10317 \text{ ton}$$

La Fuerza Centrípetas Vertical (VCG, por sus siglas en inglés) de las diferentes secciones se proporciona a continuación:

VCG de la Estructura: = 5.806m

VCG de la Maquinaria: = 2.375m

VCG del Equipamiento: = 13.25m

La fórmula para calcular el VCG combinado cuando se proporcionan los VCG individuales y sus respectivos pesos (contribución al VCG general) es:

$$VCG_{light} = \frac{W_S \times VCG_S + W_M \times VCG_M + W_o \times VCG_o}{W_{light}}$$

Usando la fórmula anterior, el VCG de todo el barco se calcula como 7.14m y se compara con los datos de los barcos de referencia, lo que demuestra que está dentro del rango aceptable.

V.XXIX. Estimación de Costos

El costo de construcción de un barco se estima cerca del final de la primera etapa de la espiral de diseño. Puede utilizarse para proporcionar estimaciones preliminares de los costos totales de construcción del barco. Realizamos una exhaustiva revisión de la literatura sobre la estimación de los costos de construcción de buques de investigación y probamos diferentes métodos ampliamente conocidos de estimación de costos, incluido el método mencionado en el libro del curso, pero obtuvimos estimaciones irrealmente pequeñas. Por esta razón, acabamos dando una estimación preliminar de los costos de

construcción del barco utilizando el método del barco de referencia. El problema con los otros posibles métodos para estimar costos es que los buques de investigación polar tienen equipos más costosos a bordo que los buques de pasajeros tradicionales, por ejemplo. Además, en los buques polares, se utiliza acero más caro para la estructura del casco.

Nuestro principal barco de referencia, el RRS Sir David Attenborough, tuvo un costo de construcción de 307.24 millones de euros (costos ajustados a la tasa de valor del dinero de 2023) y un desplazamiento de 12,790 toneladas. Otros buques de investigación polar de aproximadamente la misma clase de tamaño, como el RV S.A. Aghulas II, tuvieron un costo de construcción de 127.60 millones de euros y un desplazamiento de 13687 toneladas, o el RV Kronprins Haakon tuvo un costo de construcción de 133.77 millones de euros y un desplazamiento de 9000 toneladas. Esto da a los buques un costo de 24021 €/tonelada, 9323 €/tonelada y 14863 €/tonelada respectivamente, mientras que el promedio es de 16069 €/tonelada.

El desplazamiento del RV North Star Seeker es aproximadamente de 12,000 toneladas, lo que significa que utilizando este método, el costo del nuevo barco sería de 192.82 millones de euros. Sin embargo, solo tres barcos de referencia no son suficientes para proporcionar una estimación precisa. Además, los barcos de referencia tienen una diferencia significativa en la distribución de los costos de construcción. El método de estimación tampoco tiene en cuenta las tecnologías aplicadas en nuestro barco, que no están presentes en los barcos de referencia. Es necesario realizar más investigaciones para proporcionar una estimación confiable de los costos de construcción basada en cálculos realistas.

La estimación más alta y aproximadamente la más realista recibida de este análisis proviene de nuestro barco de referencia principal, el RRS Sir David Attenborough, debido a sus dimensiones principales bastante similares, sistema de motor y equipo de investigación. Con el precio del barco, 24021 €/tonelada, la estimación de costos de construcción del RV North Star Seeker sería de alrededor de 288.25 millones de euros.

VI. Conclusion

Para concluir, el proceso de diseño preliminar de un buque destinado a operar en condiciones extremas del Ártico abarca todos los aspectos, desde las dimensiones hasta los costos asociados. La metodología de la "espiral de diseño" proporciona un marco estructurado para llegar a estas complejidades y garantizar que se cumplan los requisitos operativos y de seguridad.

Parte de mi enfoque se centró en las normas y regulaciones, reguladas por el Convenio SOLAS, que abarcan todos los aspectos cruciales relacionados con la seguridad de la vida humana en el mar y la prevención de accidentes. Este convenio es esencial para garantizar que los buques, especialmente los rompehielos destinados a operaciones en condiciones extremas, cumplan con estándares rigurosos y salvaguarden la seguridad de la tripulación, los pasajeros y el medio ambiente marino.

Además al considerar estas normas y regulaciones, se promueve una mejora continua en el diseño, construcción y operación de los buques, lo que contribuye a la eficacia y la seguridad de la navegación en el artico, teniendo como objetivo final una navegación segura y responsable en algunas de las condiciones marítimas más desafiantes.

Así mismo, cuando discutimos las dimensiones de un barco, es esencial tener en cuenta las limitaciones impuestas por los puertos y canales a los que el buque puede acceder, el espacio necesario para acomodar equipos de investigación: como sistemas de propulsión, sistemas de carga y otros equipos necesarios para cumplir con las regulaciones y normativas aplicables, como las establecidas por la Organización Marítima Internacional (OMI), que requiere que el diseño del barco cumpla con estándares específicos de seguridad, protección ambiental y funcionamiento eficiente. Asegurando que nuestro buque cumpla dentro del marco regulatorio establecido.

Para finalizar, este proyecto todavía tiene áreas de mejora para garantizar el éxito, la viabilidad, seguridad y la eficiencia del buque, esto con el fin de desarrollar de que sea competitivo, sostenible y cumpla con los más altos estándares de la industria marítima.

VII. Glosario

- Area transversal de un barco. as podemos definir como las costillas del esqueleto o estructura del barco. Son unas piezas transversales en forma de U o V, que unidas a la quilla en su parte inferior y hacia ambos lados dan forma al barco.
- AUVs. Un vehículo submarino autónomo o AUV por sus siglas en inglés, es un robot que viaja bajo el agua sin requerir la intervención de un operador humano.
- Calado del buque. distancia vertical entre un punto de la línea de flotación y la línea base o quilla, incluido el espesor del casco
- Codigo polar. abarca todas las cuestiones relacionadas con el proyecto, la construcción, el equipo, el funcionamiento, la formación, la búsqueda y el salvamento y la protección del medio marino de interés para los buques que operen en las aguas inhóspitos que rodean ambos polos.
- Hangar. Cobertizo o cuerta grande
- Inminente. Que amenaza o está para suceder prontamente.
- Kilovatio. Unidad de potencia equivalente a 1000 vatios
- Mampara de colision. Mamparo estanco colocado detrás de la roda, para que en caso de colisión y ruptura de la proa, la embarcación no haga agua. El espacio que queda se aprovecha normalmente para colocar la caja de cadenas.
- Manga. Ancho del barco.
- Maniobralidad. Cualidad que permite a un buque caer a una u otra banda con rapidez, ponerse en movimiento o detenerse rápidamente.
- MARPOL. El Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques es un convenio o conjunto de normativas internacionales que tienen el objetivo de prevenir la contaminación por los buques.

- Moonpool. es un sistema característico empleado en plataformas petrolíferas, buques de prospección y algún tipo de buque de investigación y exploración submarina, donde es conocido como “galería húmeda”
- Peso muerto en barco. peso real en toneladas que un buque puede transportar cuando está cargado hasta el calado máximo admisible (incluyendo combustible, agua dulce, suministros, captura y tripulación).
- Popa. Parte trasera de la embarcación.
- Proa. Parte delantera de la embarcación.
- Regla de Simpson. método de integración numérica. Es la aproximación numérica de integrales definidas.
- ROVs. Remote Operated Vehicle por sus siglas en inglés, son robots submarinos no tripulados y manejados por un operador humano desde la superficie.
- SOLAS. El Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar o SOLAS es el más importante de todos los tratados internacionales sobre la seguridad de los buques

VIII. Referencias

- Administrador. (2021, 7 septiembre). *Estructura de un barco; las cuadernas, los baos, la roda, el codaste*. SailandTrip. <https://sailandtrip.com/estructura-de-un-barco/#:~:text=Las%20cuadernas%20las%20podemos%20definir,lados%20dan%20forma%20al%20barco.>
- colaboradores de Wikipedia. (2023, 16 septiembre). *Vehículo submarino autónomo*. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_submarino_aut%C3%B3nomo
- S/N. (2017, enero). *Código polar*. IMO. Recuperado 26 de enero de 2024, de <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/polar-default.aspx#:~:text=El%20C%C3%B3digo%20polar%20abarca%20todas,inh%C3%B3spitos%20que%20rodean%20ambos%20polos.>
- colaboradores de Wikipedia. (2022, 26 enero). *Calado (Náutica)*. Wikipedia, la enciclopedia libre. [https://es.wikipedia.org/wiki/Calado_\(n%C3%A1utica\)#:~:text=En%20n%C3%A1utica%20el%20calado%20de,el%20llamado%20calado%20de%20trazado.](https://es.wikipedia.org/wiki/Calado_(n%C3%A1utica)#:~:text=En%20n%C3%A1utica%20el%20calado%20de,el%20llamado%20calado%20de%20trazado.)
- Cenáutica. (s. f.). *Hangar significado | Diccionario náutico*. <https://www.cenautica.com/es/hangar/diccionario-nautico/564>
- ILS Ship Design & Engineering, *Oil Spill Recovery Vessel Louhi - ILS Ship Design & Engineering*. [Online]. Available: <https://ils.fi/en/portfolio/oil-spill-recovery-vessel-louhi/> (accessed: Sep. 18 2023).
- Wikipedia, *Finnish pollution control vessel Louhi*. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Finnish_pollution_control_vessel_Louhi&oldid=1140958799 (accessed: Sep. 18 2023).
- *Research Vessel and Icebreaker Polarstern - AWI*. [Online]. Available: <https://www.awi.de/en/expedition/research-vessel-and-cutter/polarstern.html> (accessed: Sep. 18 2023).
- MOSAiC Expedition, *MOSAIC Expedition*. [Online]. Available: <https://mosaic-expedition.org/> (accessed: Sep. 18 2023).

- Felix Müller and Halvor Schøyen, "Polar research and supply vessel capabilities – An exploratory study," *Ocean Engineering*, vol. 224, p. 108671, 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.108671.