

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO ANÁLISIS ESTÁTICO DE HÉLICE SOBRE SU
FUNCIONALIDAD DE GFRE TIPO S EN EMBARCACIÓN
PESQUERA DE 18 TN.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

WILLIAM IPANAQUE FLORES

ASESOR

WILLIAM FERNANDO VILLARREAL ALBITRES

<https://orcid.org/0000-0003-1743-6014>

Chiclayo, 2022

**DISEÑO ANÁLISIS ESTÁTICO DE HÉLICE SOBRE SU
FUNCIONALIDAD DE GFRE TIPO S EN EMBARCACIÓN
PESQUERA DE 18 TN.**

PRESENTADA POR

WILLIAM IPANAQUE FLORES

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

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Jony Villalobos Cabrera

PRESIDENTE

Elmer Ronaldo Polo Briceño

SECRETARIO

William Fernando Villarreal Albitres

VOCAL

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico a Dios, primeramente, por ser mi guía y brindar la fortaleza para culminar este proyecto. A mi familia por siempre brindarme su apoyo en cada etapa de mi vida, su comprensión y estar pendientes de mí.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a mi familia que en cada momento me dieron su apoyo. gracias a ellos he culminado este proyecto que costa de mucha dedicación y esfuerzo.

De igual manera un agradecimiento especial por todo el apoyo metodológico y profesional para poder orientarme en la elaboración de esta tesis a los ingenieros que impartieron su conocimiento.

Agradezco a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a la Facultad de Ingeniería; y en especial, a nuestra querida Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a toda su plana docente, por los conocimientos impartidos durante nuestra formación profesional.

tesis ipanaque w

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	3%
2	repositorio.unican.es Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	dokumen.pub Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Infile Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1%
7	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
9	es.scribd.com Fuente de Internet	

ÍNDICE

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
1.INTRODUCCIÓN	14
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo General	15
1.2.1 Objetivo Especifico	15
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
1.3.1 Económica.....	16
1.3.2 Social	16
1.3.3 Tecnológica	16
1.3.4 Ambiental.....	16
2 MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes Empíricos.....	17
2.2 Bases teóricas –científicas	18
2.2.1 La hélice	18
2.2.2 Serie sistemáticas.....	26
2.2.3 Serie B de Wageningen	26
2.2.4 Diseño de una hélice.....	28
2.2.5 Fundamentos de análisis de hélice marina	39
2.2.7 Potencia consumida por la hélice.....	52
2.2.8 El rendimiento de la propulsión	52
2.2.9 Calculo de empuje [21]	54
2.2.10 Materiales compuestos.....	55
3 HIPÓTESIS 60	
4 MARCO METODOLÓGICO.....	61
4.1 Tipo y nivel de investigación	61
4.1.1 Enfoque	61
4.1.2 Tipo.....	61
4.1.3 Nivel.....	61

4.2	Diseño de la investigación	61
4.3	Población y muestra	61
4.3.1	Población	61
4.3.2	Muestra	61
4.4	Métodos y Procedimientos	62
4.5	Técnicas e instrumentos	63
4.6	Matriz de consistencia	63
5	RESULTADOS	66
5.1	Caracterización del material compuesto GFRP tipo S con resina epoxi.	66
5.1.1	La fibra de vidrio tipo S	66
5.1.2	La resina epoxi	68
5.1.3	Material GFRP tipo S con resina Epoxi	69
5.2	Diseñar y Modelar la geometría de la hélice	78
5.2.1	Calculo de los parámetros para diseño de la hélice	78
5.2.2	Coefficiente de bloque	78
5.2.3	Coefficiente de estela	79
5.2.4	La velocidad de avance	80
5.2.5	Parámetro <i>BP</i>	80
5.2.6	Calculo del coeficiente δ	81
5.2.7	Estudio de la cavitación	82
5.2.8	Dimensiones generales de la hélice	83
5.2.9	Geometría de las palas	83
5.2.10	Dimensiones del núcleo	88
5.2.11	Análisis dinámico de la embarcación	90
5.3	Realizar los análisis estáticos en la hélice de la embarcación usando fibra S –resina epoxi usando software CAD.	96
5.3.1	Simulación de flujo	96
5.3.2	Análisis estático de la hélice usando como material GFRE tipo S	99
5.3.3	Análisis estático de la hélice usando como material bronce al manganeso	104

5.4	Análisis de los resultados de los análisis estáticos de hélice de 4 palas de material GFRE tipo S y bronce al manganeso.	108
5.5	Evaluar económicamente del diseño de la hélice usando GFRE tipo S para una embarcación pesquera de 18 toneladas.	113
6	CONCLUSIONES	117
7	RECOMENDACIONES	118
8	BIOGRAFÍA	119
9	ANEXOS	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Tabla de la serie B-Wageningen existentes [13].....	27
Tabla 2.Ley de pasos para hélices de 4 alabes [12]	33
Tabla 3.Valores de la constante K (r) respecto a la relación r/R [12].....	34
Tabla 4.Valores de la constantes Ar y Br [12].....	35
Tabla 5.Relaciones de Ie y Xe con la cuerda de la serie B de Wageningen [12].....	35
Tabla 6.Valores de los bordes de entrada y salida [10]	37
Tabla 7.Coefficientes V1 [12].....	37
Tabla 8.Coefficientes V2 [12].....	38
Tabla 9.Coefficiente V1 [12].....	38
Tabla 10.Coefficientes V2 [12].....	39
Tabla 11.Propiedades de la resina epoxi [22]	60
Tabla 12.Propiedades de la fibra de vidrio tipo S [22]	60
Tabla 13.Composición química de algunos vidrios para la producción de fibra continua [25]	66
Tabla 14.Propiedades físicas y mecánicas de algunas categorías de fibra de vidrio [25]	67
Tabla 15.Propiedades ambientales [26]	67
Tabla 16.Propiedades mecánicas de resina Epoxi	68
Tabla 17.Propiedades mecánicas de fibra de vidrio-S/Epoxi. Compuesto Vf = 0.6 [27]	76
Tabla 18.Propiedades de material bronce al manganeso	104
Tabla 19.Evaluación de costo en un periodo de un año y medio.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Partes de la hélice [10].....	19
Figura 2.Pitch de hélice [1]	20
Figura 3.Angulo de inclinación [1]	20
Figura 4.Hélice con mayor y menos paso. [1]	21
Figura 5.Cup de la hélice [1].....	21
Figura 6.Funcionamiento de la hélice [1]	22
Figura 7.Hélice monopalas [1].....	23
Figura 8.Hélice bipalas [1].....	23
Figura 9.Hélice tripalas [1]	24
Figura 10.Hélice de 5 palas.....	24
Figura 11.Hélices de paso fijo [1].....	25
Figura 12.Hélice de paso variable [1]	25
Figura 13.Hélices de paso controlable [11]	26
Figura 14.La relación de área expandida y área disco [10]	28
Figura 15.Dimensiones principales y coeficientes de forma de una embarcación[10].....	29
Figura 16.Diagrama para determinar coeficiente de estela [14]	30
Figura 17.El diagrama BP- δ	31
Figura 18.Definición de parámetros geométricos de la hoja de Wageningen B-BB- series de hélices [10]	32
Figura 19.Elementos de la sección de la pala [10].....	35
Figura 20.Las fuerzas resultantes en la sección del hidroala. [15]	39
Figura 21.Distribución de la presión en el hidroala de la hélice marina [15]	40
Figura 22.Fuerzas y momentos de la hélice marina [15]	41
Figura 23.Derivación de la carga mecánicas de las componentes de la pala [16]	43
Figura 24.Fuerzas presentes en la hélice [16].....	43
Figura 25.Velocidad en la capa límite desarrollada sobre una placa plana [17].....	46
Figura 26.valor numérico del coeficiente de la forma de popa Cstern [14].....	48
Figura 27.Señalización de las variables geométricas para el cálculo del coeficiente CWP [14]..	51

Figura 28.Rigidez específica vs. Resistencia específica. [22]	56
Figura 29.Gráfica de longitud vs resistencia a la tensión [23].....	56
Figura 30.Resultados de la orientación sobre la resistencia del compuesto epóxicos utilizando fibra de vidrio E como refuerzo. [23]	57
Figura 31.a) Estructura compuesta unidireccional de varias capas b) Compuesto casi isotrópico $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$. [23].....	58
Figura 32.Comparación del material GFRE tipo S con otros materiales.....	69
Figura 33.Comparación del material GFRE tipo S respecto al módulo de Young y la densidad	70
Figura 34.Escala del material compuesto	70
Figura 35.Corte longitudinal de la fibra de vidrio y resina epoxi	71
Figura 36.Micrografía de la superficie del material compuesto de fibra de vidrio tipo S y resina epoxi, visualizándose la orientación de la fibra de manera longitudinal.	71
Figura 37.Selección en la superficie de regiones de fibra de vidrio con respecto a toda el área del material compuesto con un porcentaje de ocupación del 78,97%.	72
Figura 38.Histograma para cuantificar el porcentaje de fibra ocupado en la superficie del material compuesto.....	72
Figura 39.Imagen de la superficie donde se puede apreciar el relieve de la fibra de vidrio con respecto a la resina poliéster.	73
Figura 40.Corte transversal de la fibra de vidrio y resina epoxi	73
Figura 41.La medición del diámetro promedio de la fibra de vidrio apreciado en un corte transversal obteniéndose el diámetro más corto (D_1): 5,1051 μm y el diámetro más largo (D_2): 8,2636 μm	74
Figura 42.Selección en la superficie transversal de regiones de fibra de vidrio con respecto a toda el área del material compuesto con un porcentaje de ocupación del 98,54%	74
Figura 43.Histograma para cuantificar el porcentaje de fibra ocupado en la superficie transversal del material compuesto.	75
Figura 44.Secciones de la pala proyectada en software SolidWorks.....	88
Figura 45.hélice modelada en SolidWorks	89
Figura 46.velocidad máxima global de la simulación de flujo	97
Figura 47.Velocidad de fluido generado por la hélice	97
Figura 48.Presión global en la cara de presión de la hélice	98

Figura 49.Mallado de la pieza de estudio	99
Figura 50.Importación de los valores de presión que está sometida la hélice	100
Figura 51.Presiones que va estar sometida la hélice en el análisis estático	101
Figura 52.Resultados de tensión de la hélice usando el material GFRE tipo S	101
Figura 53.Resultados de desplazamiento de la hélice usando el material GFRE tipo S	102
Figura 54.Resultados de deformación unitaria de la hélice usando el material GFRE tipo S	102
Figura 55.Resultados de factor de seguridad unitaria de la hélice usando el material GFRE tipo S	103
Figura 56.Mallado de la pieza de estudio	105
Figura 57.Resultados de tensión de la hélice usando bronce al magnesio.....	105
Figura 58.Resultados de desplazamiento de la hélice usando como material la aleación de bronce al magnesio.	106
Figura 59.Resultados de deformación unitaria de la hélice usando la aleación de bronce al magnesio.....	106
Figura 60.Resultados de factor de seguridad de la hélice usando la aleación de bronce al magnesio.....	107
Figura 61.Comparación de las tensiones usando diferentes tipos de materiales	108
Figura 62.Comparación de los desplazamientos usando diferentes tipos de materiales	109
Figura 63.Desplazamiento de las palas de hélice de material GFRE tipo S debida por las presiones sometida.	109
Figura 64.Comparación de las deformaciones unitarias usando diferentes tipos de materiales	110
Figura 65.Comparación de factor de seguridad usando diferentes tipos de materiales	111
Figura 66.Comparación de los pesos de la hélice usando diferentes tipos de materiales	111
Figura 67.Desglose de los costes de fabricación de materiales compuestos de la industria....	114

RESUMEN

La tecnología de propulsión marítima es un tema complejo que tiene varias disciplinas involucradas. La propulsión en las embarcaciones es necesaria para avanzar contra las fuerzas (arrastre de agua y aire), para desacelerar, detenerse y también para mantener la posición. Parte de la propulsión es la hélice que es una estructura giratoria que se ubica en el exterior del navío bajo la línea de flotación .la cual genera un empuje a través de la utilización de la energía transmitida por el motor del barco.

En la actualidad el diseño y la fabricación de hélices para embarcaciones de pesca artesanal de altura son hechas por fundidoras que no tienen un correcto estudio de los parámetros que se presentan en el funcionamiento de la hélice. Por lo tanto, esto trae consigo problemas como la corta vida de funcionamiento de la hélice, rompimiento de una de las palas y un mayor peso.

La presente tesis tiene el propósito de la realización de un diseño de una hélice de cuatro palas para una embarcación pesquera de 18 ton que es utilizada en la pesca de tipo de altura usando como material GFRE tipo S para disminuir el peso, el costo y ser una alternativa respecto a los materiales usados actualmente .Se realizaron los análisis estáticos de la hélice usando el material compuesto GFRE tipo S y el bronce al magnesio, dando como resultado que las tensiones obtenidas están dentro de los límites de seguridad de las propiedades elásticas de los materiales, presentan un buen valor de factor de seguridad, un desplazamiento y una gran diferencia en los pesos, por lo tanto, la funcionalidad del uso del material compuesto de fibra de vidrio tipo S con resina epoxi es aceptable.

Palabra clave: Grfe tipo S, hélice, análisis estático, diseño

ABSTRACT

Marine propulsion technology is a complex subject with several disciplines involved. Propulsion in ships is necessary to move forward against forces (water and air drag), to decelerate, to stop and also to maintain position. Part of the propulsion is the propeller which is a rotating structure located on the outside of the vessel below the waterline which generates thrust through the utilization of the energy transmitted by the ship's engine.

At present, the design and manufacture of propellers for artisanal deep-sea fishing vessels are made by foundries that do not have a correct study of the parameters that are present in the operation of the propeller. Therefore, this brings with it problems such as short propeller operation life, breakage of one of the blades and higher weight.

The purpose of this thesis is to design a four-bladed propeller for an 18 ton fishing vessel used in deep-sea fishing using GFRE type S as material to reduce weight, cost and to be an alternative to the materials currently used. Static analysis of the propeller using the composite material GFRE type S and magnesium bronze were carried out, resulting that the obtained tensions are within the safety limits of the elastic properties of the materials, they present a good value of safety factor, a displacement and a great difference in the weights, therefore, the functionality of the use of the composite material of fiberglass type S with epoxy resin is acceptable.

Keywords: Grfe S, propeller, static analysis, design.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la hélice náutica empezó desde el siglo XIX, el cual se ha ido perfeccionando en el tiempo, a través de nuevos métodos y desarrollos en el campo náutico. A mediados del siglo XX se efectuaron investigaciones sobre la interacción entre la hélice y el flujo que se desarrolla en la popa del buque, lo que permite conseguir mejoras en el comportamiento de la hélice. [1]

La optimización de la propulsión para un servicio predefinido brinda la posibilidad de reducir significativamente el consumo de combustible en comparación con otras embarcaciones de la misma actividad. [2]

La hélice debe combinarse con las características del sistema de propulsión, motor y engranajes reductores que están acoplados para tener un diseño con las dimensiones adecuadas, lo cual nos otorgará la velocidad diseñada sin llevar al motor a una sobrecarga. [3]

Durante mucho tiempo se empleó el acero y el aluminio en la fabricación convencional de las hélices. Posteriormente se empezó a utilizar aleaciones de Al, aleaciones de Cu, las aleaciones más utilizadas son NAB y MAB. En las últimas décadas se ha empezado investigar el uso de materiales compuestos debido las ventajas que ofrece, entre las principales su alta vida, bajo costo y su rigidez. [4]

Las fabricaciones de hélices para las embarcaciones pesqueras artesanales de altura son realizadas por fundidoras, que presentan una vida corta de funcionalidad, rupturas en alguna de las palas, son costosas, un mayor peso a lo adecuado y un mayor desgaste por los elementos del entorno.

La vida útil, los costos y la estabilidad son factores muy importantes en la elección de la hélice. Por consiguiente, el objetivo de esta presente tesis consiste en realizar un diseño de una hélice de 4 palas usando como material GRFE tipo S y realizar una comparación con el material convencional que es la aleación de bronce. Para lograr estos objetivos se dimensionará la hélice adecuada y se realizará el análisis estático usando como material GFRE tipo S y bronce al magnesio.

1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la etapa de operación de las embarcaciones , están sometidas a diferentes factores ,una de ellas es el desgaste de los materiales producido por la salinidad y por los diferentes esfuerzos sometidos el casco y la propulsión [5] .Un mecanismo importante de la propulsión es la hélice que es la estructura donde se produce la fuerza de empuje para mover la embarcación .es necesario conocer las dimensiones idóneas y los esfuerzos que está sometida la hélice para tener un buen rendimiento en la propulsión.

La construcción de las hélices de embarcaciones de pesca artesanal de altura es realizada por fundidoras con poca preparación en el diseño de hélices, estudio de los esfuerzos sometidas y el uso de nuevas tecnologías. Por lo tanto, da como resultado una vida corta de funcionamiento, por lo cual debe cambiarse en un periodo de un año, también se produce rupturas en las palas y tiene un costo elevado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Diseñar y analizar estáticamente la hélice sobre su funcionalidad del material compuesto de fibra de vidrio tipo S con resina epoxi en embarcación pesquera de 18 ton para reducir el peso y costos.

1.2.1 Objetivo Especifico

1. Caracterizar el material GFRE tipo S.
2. Dimensionar y modelar la geometría de la hélice de la embarcación pesquera.
3. Realizar los análisis estáticos en la hélice de la embarcación con GFRE tipo S usando software CAD-CAE.
4. Analizar resultados estáticos de la hélice de 4 palas con GFRE tipo S y bronce al magnesio.
5. Evaluar económicamente del diseño de la hélice usando GFRE tipo S para una embarcación pesquera de 18 toneladas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 Económica

El adecuado diseño de la hélice y usando material compuesto va suponer una disminución en el costo de uso combustible y va prolongar el tiempo de uso de la hélice, por lo tanto, se evitará las paradas inesperadas y de cambio de hélice.

1.3.2 Social

El producto que es ofertado por los pescadores va tener un menor precio que beneficiará a la población más necesitada.

1.3.3 Tecnológica

Desarrollo de una nueva aplicación del material compuesto (GFRE tipo s) en la construcción de hélices marinas para aumentar el rendimiento de la propulsión. por lo tanto, se brindará incorporación de tecnología en el sistema de propulsión de las embarcaciones pesqueras.

1.3.4 Ambiental

El uso del material compuesto GFRE tipo S nos proporcionan muchas ventajas estructurales y químicas con respecto a otros tipos de materiales. Después del término de la vida útil de la hélice fabricada con material compuesto se puede reutilizar en otras aplicaciones por ejemplo productos de plástico, en refuerzo de concreto, etc. De esta manera se disminuye la contaminación ambiental.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes Empíricos

Ravinder Reddy Pinninti y Solomon Raj, en su artículo Design, Fabrication and Analysis of Composite Marine Propeller, se realizó un diseño y modelo una hélice marina compuesta usando 3 materiales compuestos. El modelo de la hélice se evaluó numéricamente por sus características en aguas abiertas y rendimiento de cavitación utilizando un modelo hidroelástico. La hélice compuesta se fabricó utilizando la técnica de molde abierto y se realizó pruebas en un túnel de cavitación disponible en NSTL vizag. En este modelo se realizó el análisis de fluidos utilizando el software CFD de uso general Fluent 6.3.26 y el análisis estructural se lleva a cabo utilizando ANSYS11. Se concluyó que una hélice compuesta con un adecuado diseño es factible reemplazar una hélice metálica para tener un mejor rendimiento desde la cavitación y la eficiencia. [6]

Ching-Chieh Lin, Ya-Jung Lee y Chu-Sung Huna, en este artículo se demuestra el resultado experimental de una hélice de paso variables con material compuesto. se consideraron dos secuencias de apilamiento; la primera es la cuasi isotrópica y la segunda es la secuencia optima obtenida mediante un algoritmo genético. Para la realización de los experimentos se diseñaron dos hélices fabricadas por la primera y segunda secuencia de apilamiento. Tuvo como resultado que para una velocidad de rotación dada el paso de la hélice no optimizada aumenta a baja velocidad del barco y aumenta el par del motor y la reducción de la eficiencia de propulsión. Pero el paso de la hélice optimizada disminuye a medida que la velocidad del barco disminuye, reduciendo el par y aumentando la eficiencia. [7]

Hyoungsuk Lee, Jaewook Hur, Jin Hyoun Park, Zoo Hwan Hah, Min-Churl Song y Bong-Jun Chang, en el artículo A Design Concept of Composite Marine Propeller for Long Stroke Slow Speed Main Engine, se realizó un concepto de diseño de hélice marina compuesta para aumentar el rendimiento en condiciones de baja velocidad vs carga pesada con diámetro optimo a través de la optimización del laminado compuesto. Se aplicó un análisis FSI basado en BEM.FEM de acoplamiento iterativo bidireccional constante e inestable para evaluar el requisito de potencia mínima y la seguridad estructural. Se concluyó que las hélices marinas compuestas pueden ser una alternativa para mejorar el rendimiento. Un concepto de diseño de hélice marina compuesta se sugiere considerando LSSS M / E y característica de la hélice compuesta. [8]

Enrique Lekuona, en su investigación Memoria Final Proyecto Helico, se realizó la investigación sobre el diseño de una hélice marina usando diferentes compuestos en diferentes zonas. En la zona de largueros se usó la resina epoxi y fibra de carbono tejido unidireccional de alto modulo. En la zona de piel exterior se usó la resina epoxi con fibra de carbono 0/90 de alta resistencia, tejido de polyester de alta resistencia

y tejido de carbono unidireccional de alto modulo. La zona de relleno se utilizó espuma de poliuretano y en como recubrimiento exterior acabado cerámico. A través del análisis de rigidez de las palas se observó que la pala de cunial (aleación metálica) se deforma menos que la de fibra de carbono, pero esta deformación de la pala de fibra de carbono está dentro de la tolerancia de 3° para el ángulo de ataque .la resistencia de la pala de material compuesto es casi igual a la pala de cunial (aleación) y se obtuvo una reducción del peso en un 66,25% que representa un ahorro energético y mayor maniobrabilidad de la embarcación. [9]

2.2 Bases teóricas –científicas

2.2.1 La hélice

Elemento compuesto por una serie de palas o alabes, que están ubicadas de forma concéntrica sobre un eje. A través del giro de las palas se transmite su energía cinética a un fluido.

El empuje que ejerce la hélice precisa de las dimensiones; la velocidad de avance, densidad, el tiempo invertido en una revolución, viscosidad del líquido y gravedad.

Este elemento se conecta al eje del motor, el cual hace girar a revoluciones por minuto para producir fuerza de empuje. Las revoluciones dependerán del modelo y capacidad del motor.

La aplicación de la hélice es muy extensa, como las diferentes formas que ha adquirido los alabes, de acuerdo al propósito que se necesitan.

Una hélice idónea debe cumplir con los siguientes objetivos:

- No debe presentar el fenómeno de cavitación o debe reducirse a límites aceptables
- La hélice debe tener una idónea resistencia mecánica para que funciones correctamente frente a los esfuerzos desarrollados por los alabes, sin exposición a rupturas o deformaciones
- No debe presentar vibraciones, debido a una inadecuada posición de la hélice

El empuje que provoca la hélice es ocasionado por la diferencia de flujo que crea entre las caras activas y pasivas, producto de la forma de las secciones de la pala y al ángulo de ataque. [1]

Partes de la hélice:

- **Núcleo:**

Es el cuerpo central donde las palas se ubican.

- **Pala:**

Piezas que están en torno al núcleo y donde se produce el empuje mediante el giro

- **Capacete:**

Pieza que evita la entrada del agua al agujero donde se asegura el eje con la hélice. [1]

- **Borde de ataque o entrada y de desprendimiento:**

El borde de entrada es la primera parte de la hélice que tiene contacto con el flujo ,en cambio el borde de desprendimiento es el último en tener contacto . [10]

- **Cara de succión:**

Es la parte de la hélice que está situada en el lado posterior, que hace que el flujo contiguo se acelere , por lo tanto produce bajas presiones . [10]

- **Cara de presión.:**

Es la parte de la sección de la hélice que está en la parte delantera de la pala, donde existe una mayor presión [10]

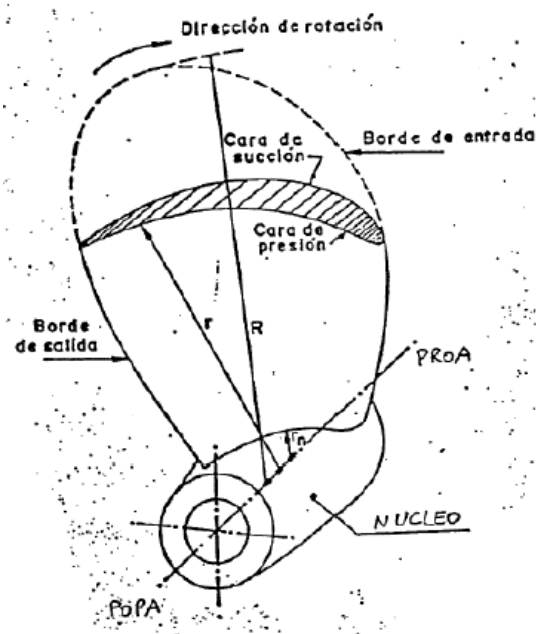


Figura 1. Partes de la hélice [10]

Características principales:

- **Diámetro:**

Es la circunferencia máxima que describe los extremos de las palas en su rotación. El diámetro se incrementa cuando se aumenta la potencia y el número de revoluciones por minuto disminuye (menor rpm del motor o mayor reducción del engranaje). [1]

- **Pitch:**

Es la longitud teórica que se mueve la hélice en cada revolución(un giro de 360) a través del agua .En el agua el desplazamiento es menor por interferencia del deslizamiento . [1]

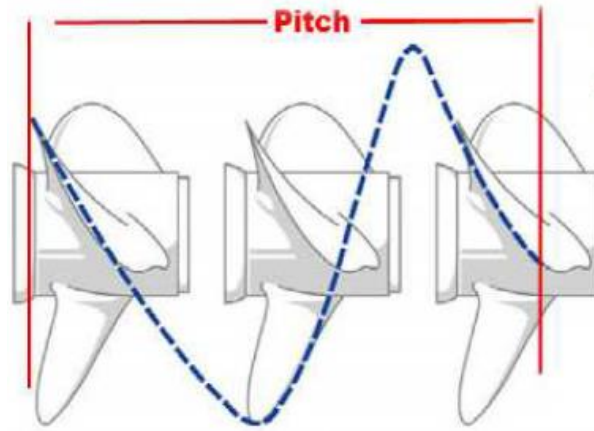


Figura 2. Pitch de hélice [1]

- **Rake :**

Es el ángulo de inclinación (hacia adelante o hacia atrás) que se forma entre las palas y el eje propulsor . [1]

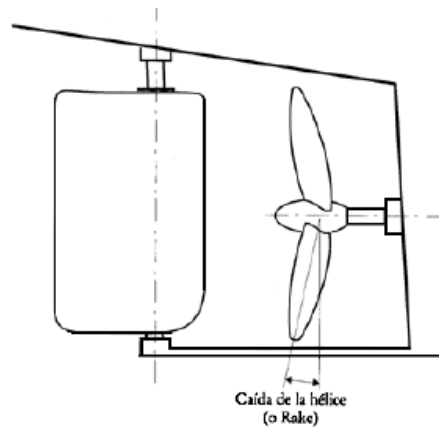


Figura 3. Angulo de inclinación [1]

A mayor paso (rake) la cantidad de agua recolectada por la superficie de la hélice es mayor, por lo tanto, el número de revoluciones del motor disminuirá. Pero si el rake es menor (menor resistencia) el número de revoluciones aumentara . [1]



Figura 4. Hélice con mayor y menos paso. [1]

- **Cup:**

Es un pequeño radio de curvatura que se ubica en el borde final de la pala .a través del cup la hélice puede aumentar la eficiencia con respecto a la velocidad. [1]

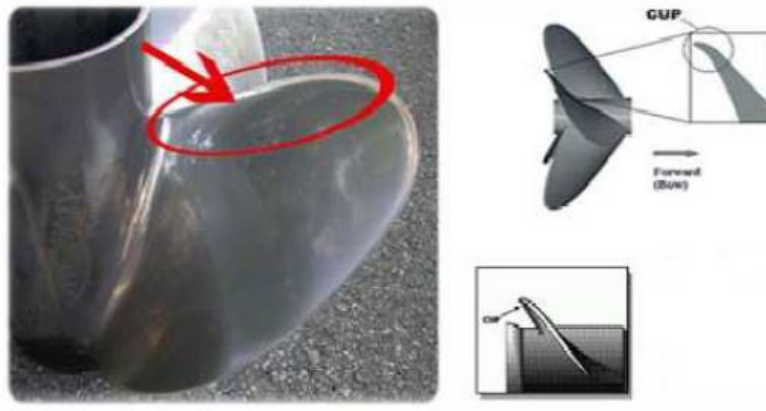


Figura 5. Cup de la hélice [1]

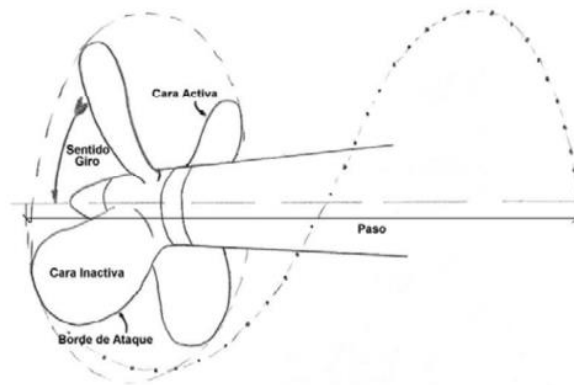


Figura 1: Funcionamiento de la hélice

Figura 6. Funcionamiento de la hélice [1]

2.2.1.1 Materiales de fabricación de la hélice

Aluminio

Las hélices fabricados de este material son las más usadas , tiene las características de bajo coste y tiene la facilidad de facturar cuando choca con un elemento duro sumergido. [1]

Bronce

Presenta una gran resistencia a la corrosión que es causada por el agua. Este material tiene un grado de deformación por el cual absorbe las colisiones. [1]

Acero inoxidable

Este tipo de hélice presenta una alta dureza y poca deformación al momento de colisiones esfuerzo que no absorbe la hélice es transmitido a los demás elementos de trasmisión.

Carbono

Este tipo de hélice presenta muchas ventajas respecto a los otros materiales usados en la fabricación de hélices por eso se usa en equipos de alto rendimiento ,pero tienen un elevado coste . [1]

2.2.1.2 Tipo de hélices

Según número de palas

El número de palas en una hélice es importante porque va depender de la función que se requiera. La carga en cada pala va disminuir con el aumento del número de palas. La vibración aumenta con el menor número de palas , por ejemplo hélices de dos palas . [1]

- **Hélices monopalas**

Son hélices de una sola alabe. Este tipo de hélice se suele fabricar con una pequeña masa en la raíz del alabe, es utiliza en modelos de alta velocidad [1]



Figura 7. Hélice monopalas [1]

- **Hélices bipalas**

Son hélices de 2 alabes o palas, no presenta destacada resistencia al avance. Su mayor aplicación es en veleros por su sencilla fabricación y uso. [1]



Figura 8. Hélice bipalas [1]

- **Hélices tripalas**

Las palas en están ubicadas a 120° alrededor del núcleo. Son utilizadas mayormente como maquetas porque otorgan a los modelos sonidos y aspecto realista.



Figura 9. Hélice tripalas [1]

- **Hélices con más de 4 palas**

Este tipo de hélices tiene una mayor superficie de contacto de las palas con el agua, por lo cual aumenta el desplazamiento de agua y de empuje. Este tipo de hélice no se usa en embarcaciones de alta velocidad.



Figura 10. Hélice de 5 palas

2.2.1.3 Tipos de hélices según su funcionamiento

- **Hélices de paso fijo**

El paso de este tipo de hélice es constante excepto los ángulos de aspa. este tipo de hélices son más comunes. [1]



Figura 11. Hélices de paso fijo [1]

- **Hélice de paso variable**

Depende del diseño en el cual el paso puede variar en cada radio, pero es más común son las hélices donde el paso se reduce en las puntas, para obtener una reducción de la presión de las aspás y la posibilidad de cavitación. Son usada en aplicaciones especiales por ejemplo grades buques o embarcaciones de alta velocidad).



Figura 12. Hélice de paso variable [1]

- **Hélices de paso controlable**

El paso puede ser controlado por el operador dependiendo de la operación realizada. Se realiza a través de mecanismo hidráulico o mecánico, lo que permite que los alabes giren en su propio eje. Éste tipo de hélices son muy costosas, pero presentan gran ventaja en el costo de operación.



Figura 13. Hélices de paso controlable [11]

2.2.2 Serie sistemáticas

Conjunto de formas de hélices ,las cuales han cambiado de forma sistemática para que el rendimiento y su comportamiento frente a la cavitación sean óptimos y de las cuales se dispone de los resultados de los ensayos de propulsor aislado. [12]

Las series que más sobresalen son las siguientes:

- Series M.A.U del Japón
- Series A y B del canal de Wageningen
- Series K.C.B. de la Universidad de Newcastle.
- Series de Gwan

2.2.3 Serie B de Wageningen

Esta serie es la más utilizada en el diseño y tiene muchos modelos de paso fijo con un rango de palas de 2 a 7 y con relación de área efectiva/área disco de pala de 0,30 a 1,05 y con rangos de relación de paso P/D de 0,6 a 1,4. [12]

2.2.3.1 Número de palas

El rendimiento de la hélice, las vibraciones tanto en el casco como en el eje y la cavitación sostienen una amplia relación con el número de palas del sistema propulsivo. Para la serie B, el número de palas puede oscilar entre dos y siete, siendo las hélices de dos palas prácticamente inexistentes en el mundo naval [10]

$$Z=3,4,5,6,7$$

2.2.3.2 Relación Área expandida- área del disco (A_e/A_o):

De acuerdo al número de palas seleccionado, la serie B tiene un rango máximo y mínimo de dicha relación. [10]

Tabla 1. Tabla de la serie B-Wageningen existentes [13]

Blade number Z	Blade area ratio A_e/A_o									
2	0.30									
3		0.35		0.50		0.65		0.80		
4			0.40		0.55		0.70		0.85	1.00
5				0.45		0.60		0.75		
6					0.50		0.65		0.80	
7						0.55		0.70		0.85

Las hélices tienen un nombre que lo conforman el tipo de serie, el número de palas y la relación de área expandida

B.X, YY

La letra B , hace referencia que es una hélice de la familia Wageningen .La letra X indica el número de palas y las letras YY indica la relación del área expandida que tiene la hélice [10]

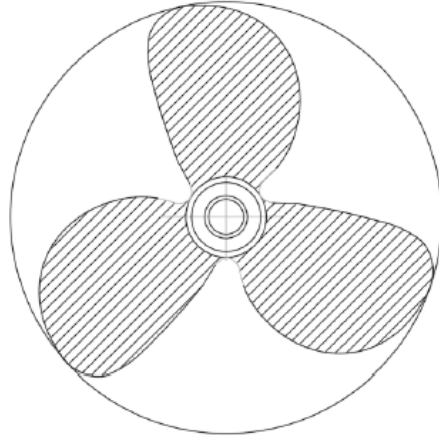


Figura 14. La relación de área expandida y área disco [10]

2.2.3.3 Relación Paso/Diámetro

La relación de paso-diámetro en todas las familias de hélices presenta límites. [10]

$$0,4 \leq P/D \leq 1,4$$

2.2.3.4 Grado de avance para la serie B

El valor del grado de avance es adimensional que relaciona la velocidad de avance de la embarcación con las revoluciones a las que gira la hélice y su diámetro y el rango de validez. [10]

$$0 \leq J \leq 1$$

2.2.3.5 Diámetro del núcleo

En la serie B presenta los valores para el diámetro del núcleo. [10]

$$Z = 3,7 \quad \frac{d}{D} = 0,18$$

$$Z = 4,5 \quad \frac{d}{D} = 0,167$$

2.2.4 Diseño de una hélice

El diseño de la hélice es muy importante para una embarcación. las características del diseño van afectar en la eficiencia del uso del combustible y de la maniobrabilidad. [12]

2.2.4.1 Cálculo de la potencia entregada a la hélice

La potencia que llega a la hélice es menor expresado BHP, debido por las pérdidas en árbol. La pérdida es de aproximadamente entre 3,5 a 4% [12]

$$DHP = BHP * \eta_S$$

El rendimiento de la línea de eje es η_S

2.2.4.2 Coeficiente de bloque

De acuerdo con las reglas Rina se calcula [12]

$$C_b = \frac{\Delta}{L * B * T}$$

Las variables son el desplazamiento (ton) Δ , la eslora (m) L , la manga (m) B y calado (m) T .

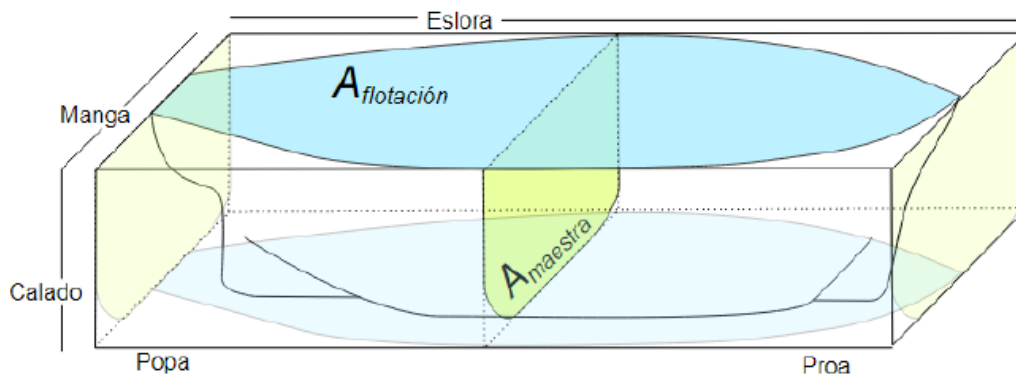


Figura 15. Dimensiones principales y coeficientes de forma de una embarcación [10]

2.2.4.3 Coeficiente de estela

A través del tiempo se han propuesto expresiones matemáticas deducidas de ensayo de canal, que han sido realizados con modelos que permiten calcular un aproximado valor de coeficiente de estela.

El siguiente gráfico se representan los valores del coeficiente estela en función de la relación B/L (manga/eslora) para embarcaciones pesqueras. [14]

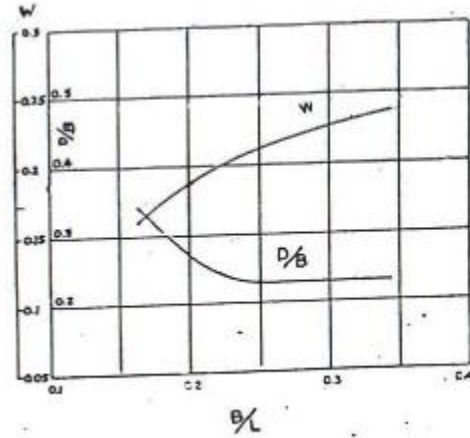


Figura 16. Diagrama para determinar coeficiente de estela [14]

2.2.4.4 La velocidad de avance

$$\omega = \frac{V - V_A}{V}$$

Las variables son la velocidad del buque (nudos) V , la velocidad de avance de la hélice (nudos) V_A . [12]

2.2.4.5 Parámetro B_P

$$B_P = \frac{N * \sqrt{DHP}}{V_A^{2,5}}$$

Las variables de la ecuación son las revoluciones de la hélice (rpm) N , la potencia entregada (hp) DHP y la velocidad de avance de la hélice (nudos) V_A . [12]

2.2.4.6 Diámetro

$$D = \frac{\delta * V_A}{N}$$

Las variables son el coeficiente δ , la velocidad de avance de la hélice V_A y las revoluciones de la hélice N .

2.2.4.7 Cálculo del coeficiente δ

Para el cálculo del coeficiente se usará el diagrama $B_p - \delta$ [13]

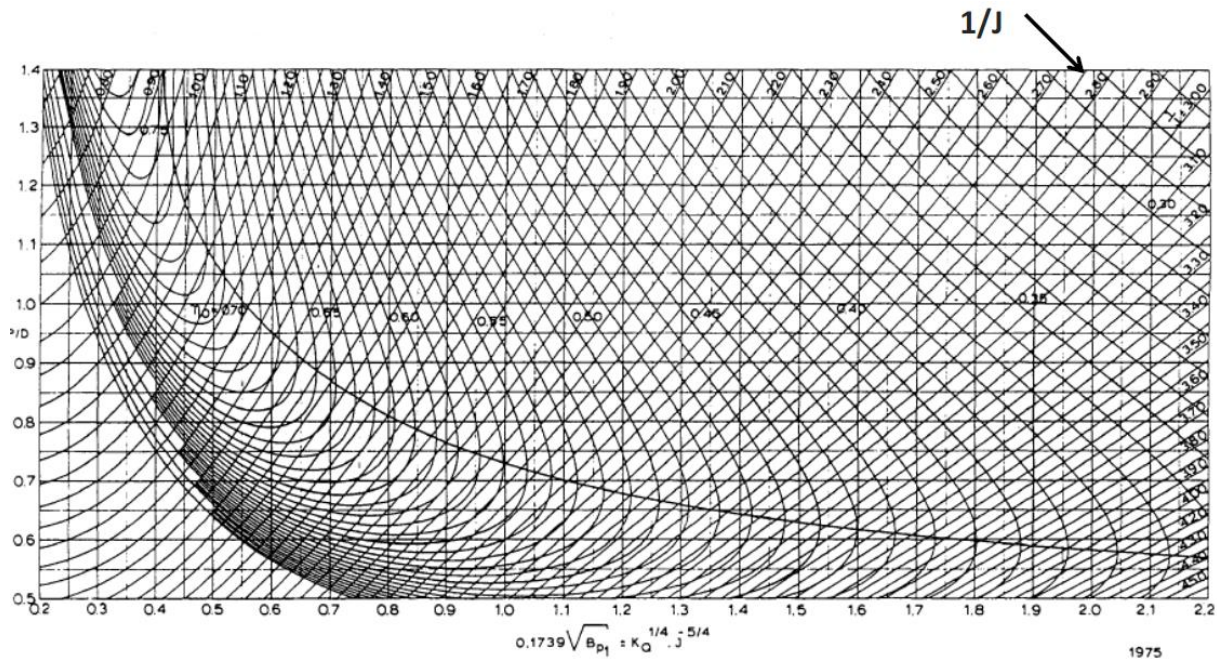


Figura 17. El diagrama $B_p - \delta$

A través de este diagrama se obtiene la relación de P/D , la eficiencia y δ

2.2.4.8 Estudio de la cavitación

Un óptimo diseño la relación área expandida –área disco A_E/A_0 debe ser la mínima posible ya que el rendimiento disminuye cuando la relación aumenta. [12]

Para evitar la cavitación de la hélice es necesario un valor mínimo de la relación.

$$A_E/A_0 = \frac{(1.3 + 0.3Z)T}{(P_0 - P_V)D^2} + K$$

Las variables de la ecuación son el empuje de la hélice (kg) T , el número de palas Z , la presión estática en el eje de la hélice ($\frac{kg}{m^2}$) P_0 , la presión de vapor de agua ($\frac{kg}{m^2}$) P_V , diámetro de la hélice (m) D y coeficiente K .

El coeficiente K depende del número de palas.

2.2.4.9 Presión estática

$$P_O = P_A + \rho * g * h$$

Las variables son la presión atmosférica $\left(\frac{kg}{m^2}\right) P_A$, densidad del agua del mar $\left(\frac{kg}{m^3}\right) \rho$, la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$, inmersión del eje (m) h . [12]

2.2.4.10 Empuje de la hélice

$$T = \frac{THP}{V_A}$$

Las variables son la potencia de empuje THP y velocidad de avance V_A

$$THP = DHP * \eta_o$$

Las variables son la potencia entregada en la hélice DHP y el rendimiento de la hélice en aguas libres η_o [12]

2.2.4.11 Geometría de las palas

La geometría de la hélice está fundamentado en los modelos experimentados en el canal de Wageningen basados en los cálculos de Troost [10]

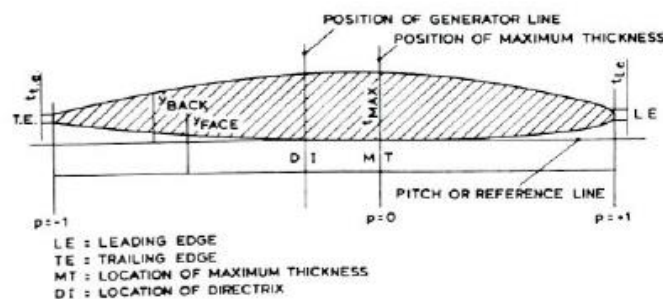


Figura 18. Definición de parámetros geométricos de la hoja de Wageningen B-BB-series de hélices [10]

Las características geométricas de las familias de la serie B de wageningen son [10]:

- La apariencia de los perfiles es de tipo de ala de avión del tipo de ala de avión para $r \leq 0,7 R$ y de arco de círculo $r > 0,7 R$.
- Es lineal la ley de espesores máximos
- El ángulo de lanzamiento. $\varepsilon = 15^\circ$.

Parámetros constantes en las familias de hélices [10]:

Por el número de palas, existe familias de 2,3,4,5,6 y 7 palas

Por cada número de palas ,presenta una cierta variedad de relaciones A_E/A_0

2.2.4.12 Paso de la pala

Para las hélices de 4 palas de la serie B de Wageningen el paso de la pala disminuye linealmente de la sección $0,5 R$ hasta la sección $0,2 R$. [12]

Tabla 2. Ley de pasos para hélices de 4 alabes [12]

secciones	Paso
1,0R	P
0,9R	P
0,8R	P
0,7R	P
0,6R	P
0,5R	0,992P
0,4R	0,950P
0,3R	0,887R
0,2R	0,822P

2.2.4.13 Dimensión de la cuerda

La cuerda es la longitud desde el borde de entrada hasta el borde salida en cada una de las secciones de la pala.

Para hallar la cuerda se usa la serie BB que tiene establecida las siguientes constantes.

$$c(r) = \frac{K(r) * D * \frac{A_E}{A_O}}{Z}$$

Las variables son la constante $K(r)$, el diámetro D , la relación de área expandida-área disco y el número de palas Z . [12]

Tabla 3. Valores de la constante $K(r)$ respecto a la relación r/R [12]

r/R	$K(r)$
0,2	1,6
0,3	1,832
0,4	2,023
0,5	2,163
0,6	2,243
0,7	2,247
0,8	2,132
0,85	2,005
0,9	1,798
0,95	1,434
0,975	1,22

2.2.4.14 Espesor máximo de las secciones

El máximo espesor de las hélices se calcula a través de la siguiente fórmula

$$\frac{t_{max}}{D} = A_r - B_r * Z$$

A_r y B_r son constantes dadas, Z número de palas y D es el diámetro. [12]

Tabla 4. Valores de la constantes A_r y B_r [12]

r/R	A_r	B_r
1	0,003	0
0,9	0,0092	0,0005
0,8	0,0154	0,001
0,7	0,0216	0,0015
0,6	0,0278	0,002
0,5	0,034	0,0025
0,4	0,0402	0,003
0,3	0,0464	0,0035
0,2	0,0526	0,004

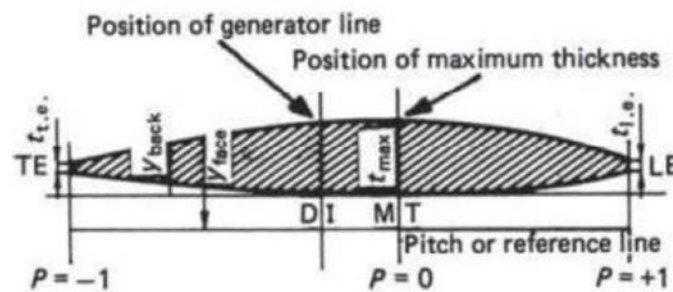


Figura 19. Elementos de la sección de la pala [10]

Parte de la geometría se presentan I_e que es la longitud desde el borde entrada hasta la generatriz y X_e que es la longitud desde el borde de entrada hasta el máximo espesor. [12]

Tabla 5. Relaciones de I_e y X_e con la cuerda de la serie B de Wageningen [12]

r/R	I_e/c	X_e/c
0,2	0,617	0,350
0,3	0,613	0,350
0,4	0,601	0,351
0,5	0,586	0,355
0,6	0,561	0,389
0,7	0,524	0,443
0,8	0,463	0,479
0,9	0,351	0,500
1	0	0,000

2.2.4.15 Ángulo de ataque

$$\theta = \tan^{-1} \frac{P}{2 * \pi * r}$$

2.2.4.16 Espesor de las secciones (contorno expandido)

Los perfiles que se obtienen de la intersección de cilindros coaxiales con el eje con la pala, se presentan expandidos, es decir estirados, sobre el plano.

Para la serie de tornillos B de Wageningen serie de tornillos B, el perfil se define, geoméricamente, por una sucesión de ordenadas verticales que especifican puntos a lo largo de la sección de la pala en la "cara" ($Y_{c.p}$) y en la parte trasera ($Y_{c.s}$) con respecto a la línea de referencia del paso. En cualquier $r = xR$, las ordenadas verticales para las porciones de "popa" ($P < 0$) y de "proa" ($P > 0$) de la sección de la pala se determinan por: [13]

Para $P > 0$

$$Y_{c.p} = V_1(t_{max} - t_{b.e})$$

$$Y_{c.s} = (V_1 + V_2)(t_{max} - t_{b.e}) + t_{b.e}$$

Para $P < 0$

$$Y_{c.p} = V_1(t_{max} - t_{b.s})$$

$$Y_{c.s} = (V_1 + V_2)(t_{max} - t_{b.s}) + t_{b.s}$$

Siendo:

Las ordenadas verticales respecto a la cara de presión $Y_{c.p}$, las ordenadas verticales respecto a la cara de succión $Y_{c.s}$, los valores extrapolados del espesor en los bordes de entrada y salida $t_{b.e}$, $t_{b.s}$, la coordenada adimensional a lo largo de la línea de paso P y los coeficientes tabulados V_1 , V_2 dependientes de r/R y P . [13]

$P=+1$; en el borde de ataque

$P=-1$; en el borde de salida

Los valores de los espesores de borde de la pala están dados por la siguiente tabla

Tabla 6. Valores de los bordes de entrada y salida [10]

r/R	t_{le}/t_{max}	t_{te}/t_{max}
0,2	0,120	0,057
0,3	0,124	0,068
0,4	0,127	0,075
0,5	0,130	0,085
0,6	0,134	0,100
0,7	0,143	0,120
0,8	0,170	0,152
0,9	0,245	0,245
1	0	0

Coefficientes V_1 de la geometría de la sección desde el punto de máximo espesor al borde de entrada ($P>0$):

Tabla 7. Coeficientes V_1 [12]

Radio	$p>0$									
r/R	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,6	0,0382	0,0169	0,0067	0,0022	0,0006	0	0	0	0	0
0,5	0,1278	0,0778	0,05	0,0328	0,0211	0,0085	0,0034	0,0008	0	0
0,4	0,2181	0,1467	0,1088	0,0833	0,0637	0,0357	0,0189	0,009	0,0033	
0,3	0,2923	0,2186	0,176	0,1445	0,1191	0,079	0,0503	0,03	0,0148	0,027
0,2	0,356	0,2821	0,2353	0,2	0,1685	0,118	0,0804	0,052	0,0304	0,0049
0,15	0,386	0,315	0,2642	0,223	0,187	0,132	0,092	0,0615	0,0384	0,0096

Coefficientes V2 de la geometría de la sección desde el punto de máximo espesor al borde de entrada ($P>0$):

Tabla 8. Coeficientes V2 [12]

Radio	$p>0$									
r/R	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,2
1	0	0,0975	0,19	0,2775	0,36	0,51	0,64	0,75	0,84	0,96
0,9	0	0,0975	0,19	0,2775	0,36	0,51	0,64	0,75	0,84	0,96
0,8	0	0,105	0,2028	0,2925	0,3765	0,5265	0,6545	0,7635	0,852	0,9635
0,7	0	0,124	0,2337	0,33	0,414	0,5615	0,684	0,785	0,866	0,9675
0,6	0	0,1485	0,272	0,3775	0,462	0,606	0,72	0,809	0,879	0,969
0,5	0	0,175	0,3056	0,4135	0,5039	0,643	0,7478	0,8275	0,888	0,971
0,4	0	0,1935	0,3235	0,4335	0,522	0,659	0,7593	0,8345	0,8933	0,9725
0,3	0	0,189	0,3197	0,4265	0,513	0,6505	0,752	0,8315	0,892	0,975
0,2	0	0,156	0,284	0,3905	0,4777	0,619	0,7277	0,817	0,8875	0,975
0,15	0	0,13	0,26	0,366	0,452	0,5995	0,7105	0,8055	0,8825	0,976

Coefficientes V1 de la geometría de la sección desde el punto de máximo espesor al borde de salida ($P<0$):

Tabla 9. Coeficiente V1 [12]

Radio	$p<0$									
r/R	-1	-0,95	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,0522	0,402	0,033	0,019	0,01	0,004	0,0012	0	0	0
0,4	0,1467	0,120	0,0972	0,063	0,0395	0,0214	0,0116	0,0044	0	0
0,3	0,2306	0,204	0,179	0,1333	0,0943	0,0623	0,0376	0,0202	0,0033	0
0,2	0,2826	0,263	0,24	0,1967	0,157	0,1207	0,088	0,0592	0,0172	0
0,15	0,3	0,282	0,265	0,23	0,195	0,161	0,128	0,0955	0,0365	0

Coefficientes V2 de la geometría de la sección desde el punto de máximo espesor al borde de salida ($P<0$):

Tabla 10. Coeficientes V2 [12]

Radio	p<0									
r/R	-1	-0,95	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0
1	0	0,0975	0,19	0,36	0,51	0,64	0,75	0,84	0,96	1
0,9	0	0,0975	0,19	0,36	0,51	0,64	0,75	0,84	0,96	1
0,8	0	0,0975	0,19	0,36	0,51	0,64	0,75	0,84	0,96	1
0,7	0	0,0975	0,19	0,36	0,51	0,64	0,75	0,84	0,96	1
0,6	0	0,0965	0,1885	0,3585	0,511	0,6415	0,753	0,8426	0,9613	1
0,5	0	0,095	0,1865	0,3565	0,514	0,6439	0,758	0,8456	0,9639	1
0,4	0	0,0905	0,181	0,35	0,504	0,6353	0,7525	0,8415	0,9645	1
0,3	0	0,08	0,167	0,336	0,4885	0,6195	0,7335	0,8265	0,9683	1
0,2	0	0,064	0,1455	0,306	0,4535	0,582	0,6995	0,7984	0,9446	1
0,15	0	0,054	0,1325	0,287	0,428	0,5585	0,677	0,7805	0,936	1

2.2.5 Fundamentos de análisis de hélice marina

El movimiento de rotación de la hélice marina en su hidromecánica permite incrementar la energía cinética del flujo de fluido que arrastra y empuja. Este mecanismo produce el empuje necesario para impulsar el conjunto de la propulsión, así como el barco para su movimiento de avance.

La línea de acción del empuje efectivo suele elevarse por encima del eje como resultado de las velocidades más lentas del agua en la parte superior de la hélice. Los componentes de la velocidad tangencial pueden ocasionar a las desviaciones de la fuerza de empuje efectiva en el plano de simetría del campo de estela axial. Esto produce fuerzas y momentos variables en las direcciones vertical y horizontal.

2.2.5.1 . Geometría de hidroala en 2 dimensiones

La figura 18 se muestra las fuerzas resultantes en la sección del hidroala. Las ecuaciones expresan la suma de las fuerzas resultantes en cada elemento del hidroala que contribuye a las fuerzas totales de arrastre y sustentación:

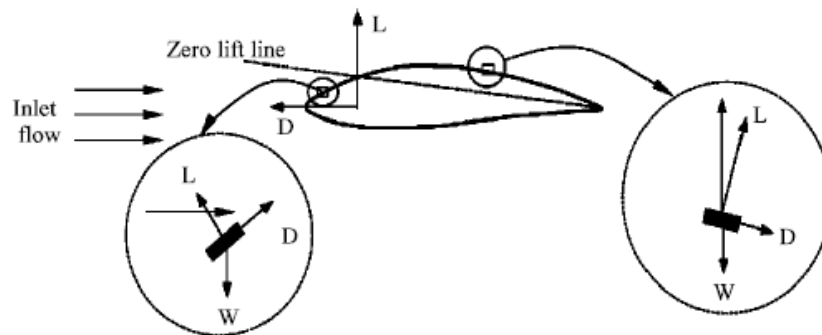


Figura 20. Las fuerzas resultantes en la sección del hidroala. [15]

En lo que respecta a la fuerza de arrastre del hidroala, la fuerza de arrastre por presión es la fuerza de arrastre causada por la presión del flujo de fluido; la fuerza de arrastre por fricción de la superficie es el esfuerzo cortante que actúa sobre la lámina y que produce el arrastre inducido por el flujo de la corriente paralela. Mientras que la fuerza de sustentación del hidroala tiene un esfuerzo cortante normal comparado con el esfuerzo cortante tangencial como componente de arrastre que actúa sobre la superficie de la lámina. [15]

Características de flujo de la sección hidroala:

La distribución de la presión sobre la sección del hidroala que se produjo en la interacción sólido-fluido. A partir del punto 1, la separación del flujo se produce en la capa superior de la superficie de succión y en la capa inferior para la superficie de presión. A medida que el flujo del fluido pasa del punto 1 al 2, la reducción de la distribución de la presión positiva tiene lugar con una mayor fracción de presión en la superficie de succión en comparación con la región de succión. A medida que el flujo se desplaza del punto 2 al 3, la presión se reduce a un valor extremadamente bajo hasta la presión negativa en el punto 3. Del punto 1 al 3, también se produjo una pequeña reducción de la presión sobre la superficie de presión. En los cambios del hidroala de la sección del cubo a la de la punta, las diferencias de presión se vuelven muy grandes, lo que también cumple con el teorema de Bernoulli al girar con velocidades variables [15].

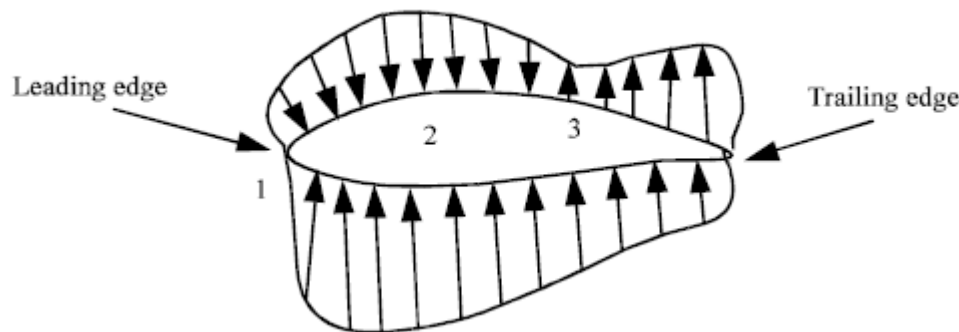


Figura 21. Distribución de la presión en el hidroala de la hélice marina [15]

El diseño anterior de la estructura general de la hélice marina se describe mediante el movimiento de rotación de las palas de la hélice con mecánica simple (Fig. 18.) para el cuerpo sólido mientras gira alrededor del centro del cubo sobre el eje x.

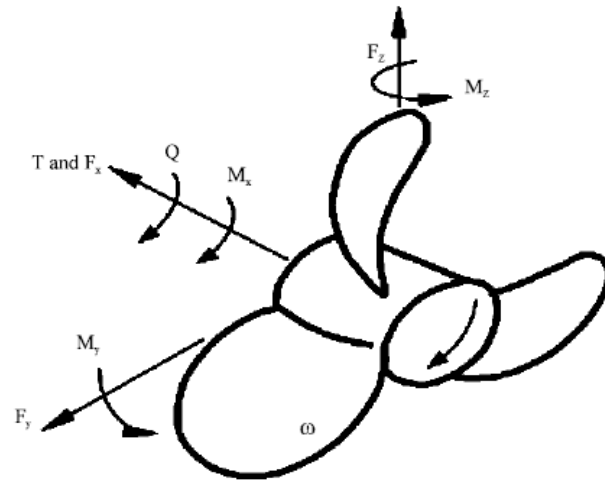


Figura 22. Fuerzas y momentos de la hélice marina [15]

La línea de acción del empuje efectivo suele elevarse por encima del eje del eje como resultado de las velocidades más lentas del agua en la parte superior de la hélice. Los componentes de la velocidad tangencial pueden ocasionar a las desviaciones de la fuerza de empuje efectiva en el plano de simetría del campo de estela axial. Esto produce fuerzas y momentos variables en las direcciones vertical y horizontal.

Sin embargo, este análisis no predice el campo de estela que surgió de forma no lineal. A medida que la hélice gira alrededor de su centro del eje del cubo, cada pala sufre un efecto de campo de entrada diferente que causó varias amplitudes de cambio cíclico en sus momentos y fuerzas resultantes. Cuando la pala de la hélice gira en el campo de la estela, las fuerzas de sustentación cíclicas generadas por el mecanismo de rotación tiran y empujan la mayor cantidad de agua posible para el empuje hacia delante, el empuje resultante y la torsión que podría derivarse de los componentes medios y armónicos de estas fuerzas como se describe en las ecuaciones:

Las fuerzas y los momentos resultantes pueden expresarse como la suma de una serie de expansión de Fourier, que contiene un componente constante y otro fluctuante [15].

$$F(t) = F_0 + \sum_{k=1}^n F_k \cos(\omega t + \varphi_k)$$

$$M(t) = M_0 + \sum_{k=1}^n M_k \cos(\omega t + \varphi_k)$$

Si el ángulo de inclinación del eje es alto, la fuerza de empuje efectiva es alta en la dirección x. Sin embargo, en ausencia de un ángulo de inclinación del eje elevado, las fuerzas de apoyo dependen de las

características del campo de estela, la velocidad del buque, las RPM de la hélice, la inclinación y el número de palas.

2.2.5.2 Método de la viga en voladizo

El método de la viga en voladizo se basa en poder representar la distribución radial del empuje y del par, mediante cargas equivalentes FT y FQ, en el centro de acción de estas distribuciones como se muestra en la imagen. [16]

$$\sigma = \sigma_T + \sigma_Q + \sigma_{CBM} + \sigma_{CF} + \sigma_L$$

Donde σ_T es la componente de la tensión debida a la acción del empuje, σ_Q es la componente de la tensión producida por la acción de par, σ_{CBM} es la componente de la tensión producida por el momento centrífugo, σ_{CF} es la componente de la tensión generada por la fuerza centrífuga y σ_L es la componente de la tensión generada por las tensiones fuera del plano.

A través de la definición de la ecuación anterior el momento flector generada por la acción hidrodinámica (MH) en la sección helicoidal de radio (r_0) está dada por:

$$M_H = F_T * a * \cos(\theta) + F_Q * b * \sen(\theta)$$

F_T es la fuerza de empuje y F_Q es la fuerza de par generada por las distintas secciones de la pala de hélice y θ es el ángulo de ataque. Los valores de a y b son las respectivas distancias de los centros de acción de las fuerzas. [16]

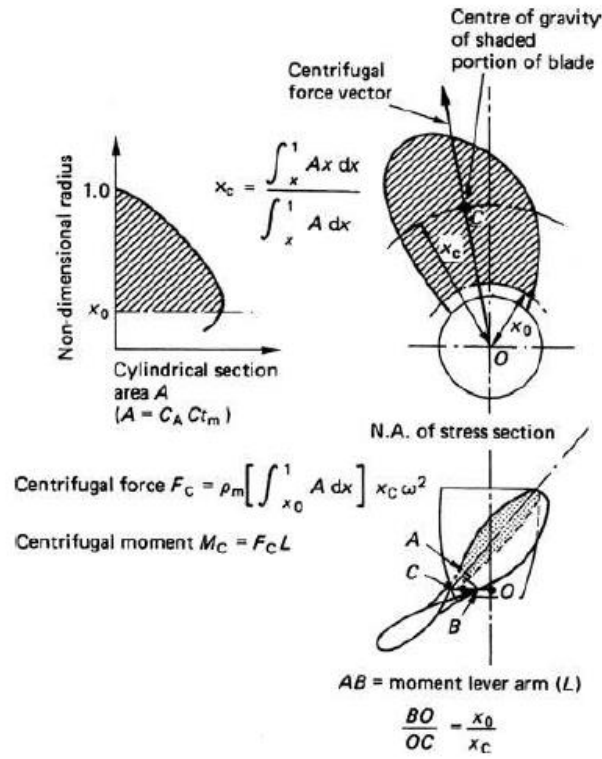


Figura 23. Derivación de la carga mecánicas de las componentes de la pala [16]

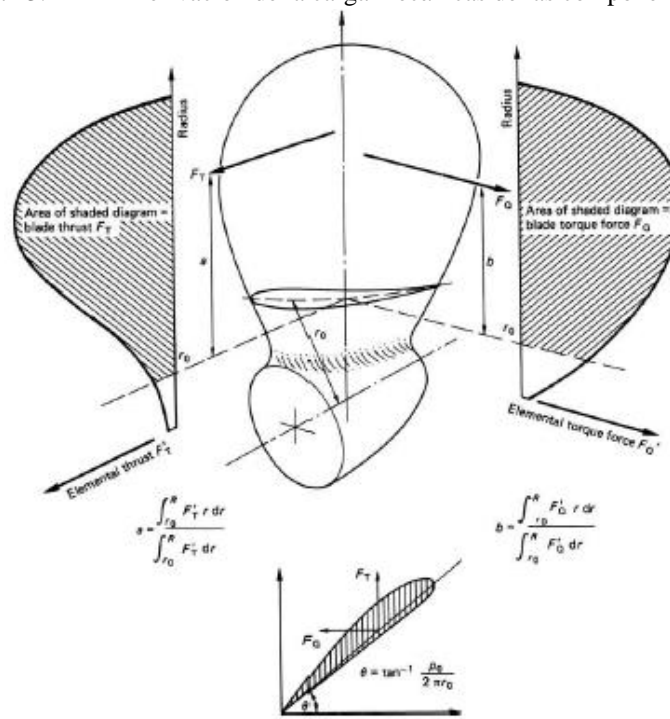


Figura 24. Fuerzas presentes en la hélice [16]

El momento flector total (M) que actúa sobre la sección de la pala producido por los efectos combinados de la acción hidrodinámica y de la acción centrífuga está dada por:

$$M = M_H + M_C$$

La componente centrífuga (M_C), es resultado de la fuerza centrífuga por el punto de empleo de la masa en las secciones ubicadas posterior de la sección en discusión .

La máxima tensión de tracción ejercida por la pala en la sección está dada por:

$$\sigma = \frac{M}{Z} + \frac{F_C}{A}$$

Donde F_C es la fuerza centrífuga ejercida por la pala en la sección , M es el momento flector , Z es el módulo de resistencia de la sección , F_C es la fuerza centrífuga y A es el área de la sección . [16]

2.2.6 Resistencia al avance de embarcaciones pesqueras

Todo cuerpo que se mueve dentro de un fluido experimenta una fuerza de oposición, por lo tanto, en las embarcaciones es necesario tener un mecanismo que ejerza una fuerza opuesta a la resistencia con el propósito de mantener en movimiento. [14]

En el diseño de conceptual de una embarcación, un factor importante desde la perspectiva hidrodinámico es la resistencia al avance. Con el valor obtenido a través del análisis de resistencia se puede determinar la potencia necesaria que debe tener el motor instalado a bordo para alcanzar la velocidad de diseño, también se toma como referencia para optimizar las formas de la embarcación y la propulsión. [17]

En las embarcaciones pesqueras presentan diferencias al resto de buques mercantes ordinarios, por ejemplo, los elevados valores de calado, manga en comparación con la eslora y también su velocidad casi siempre mayor a la relación "velocidad – eslora". [14]

El método empírico llamado método Holtrop-Mennen, se usa mayormente para buques en forma de barco. Este método se desarrolló después de realizar análisis de regresión de experimentos de modelos aleatorios y datos a gran escala. La primera publicación del método fue en 1978 y se refinó aún más en 1982 para incluir algunas combinaciones no convencionales de los principales parámetros del buque. [18]

El método se limita a los buques convencionales con forma de barco y no debe aplicarse para embarcaciones de planificación/semi-planeo o de alta velocidad.

El método empírico de Holtrop-Mennen expone el cálculo de la resistencia al avance a través de la suma de las resistencias.

$$R_{total} = R_F(1 + K_1) + R_W + R_{ap} + R_B + R_{TR} + R_A$$

Las resistencia al avance este conformado por la resistencia de fricción (R_F), el factor de forma de casco ($1 + K_1$), la resistencia por la formación de olas (R_W), la resistencia de los apéndices (R_{ap}), la resistencia debida a la presencia de bulbo de proa (R_B), resistencia por la popa sumergida (R_{TR}) y la resistencia por la correlación modelo-nave (R_A)



Figura 24: Resistencia al avance y empuje

2.2.6.1 Resistencia al avance de Fricción

Esta resistencia es producida por el movimiento de la carena a través del fluido viscoso que en este caso es el agua. En la realidad por pequeña que sea la viscosidad del fluido, las partículas que tienen contacto con la superficie de un sólido se fijan a él y se mueven a la misma velocidad. el conjunto de partículas que tiene contacto se llama como nombre de capa límite, el espesor de esa capa es una medida de la resistencia de fricción. Por lo tanto, la resistencia friccional es la pérdida de energía que es utilizada para acelerar continuamente las partículas de la capa limite y que posteriormente ingresan en la estela del buque. [14]

La capa límite del fluido depende del número de Reynolds, que tiene como variables la velocidad, la longitud de la pieza y en mayor magnitud la viscosidad. Por lo tanto, se presenta en diferentes regímenes que tiene un fluido que son; laminar o turbulento. Asimismo, sí se tiene presente los parámetros que involucran , lo más habitual en una pieza es que la capa limite se de en régimen laminar al inicio , y a medida que aumenta la longitud del sólido y/o la velocidad del fluido pase a régimen turbulento, pasando previamente por una zona de transición. [17]

Los valores del número de Reynolds (R_n) a los que se producen los cambios de régimen dependen de la geometría. Para una placa plana, se ha comprobado que el régimen laminar se produce con R_n inferiores a $2 \cdot 10^5$, el régimen de transición con R_n entre $2 \cdot 10^5$ y $3 \cdot 10^6$ y el régimen turbulento con R_n superiores a $3 \cdot 10^6$. [17]

Número de Reynolds es la siguiente:

$$R_n = \frac{V * L}{\nu}$$

Las variables de la expresión matemática son la velocidad (V) en [m/s] ,la eslora en la flotación de la embarcación (L) en [m] y viscosidad cinemática del agua $1,0038 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

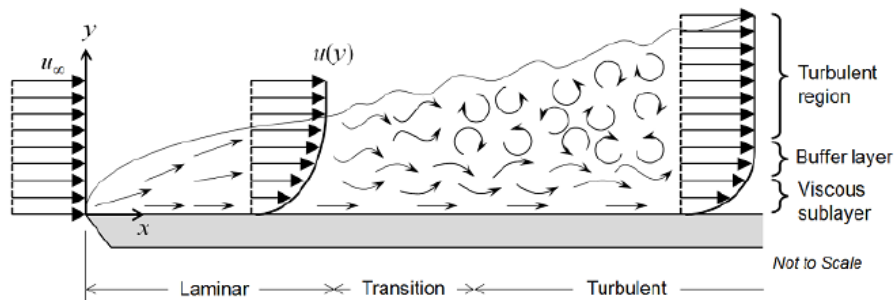


Figura 25. Velocidad en la capa límite desarrollada sobre una placa plana [17]

En una conferencia de la ITTC se unificó las diferentes líneas de fricción, el resultado fue la línea llamada ITTC-57, la cual es la más usada hasta la actualidad.

Para el régimen turbulento se aplica la siguiente expresión matemática:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} R_n - 2)^2}$$

La línea fricción para régimen laminar se aplica la expresión a continuación:

$$C_F = \frac{1.327}{\sqrt{R_n}}$$

Ecuación de la resistencia de fricción [14]

$$R_f = \frac{1}{2} * \rho * S * C_F * V^2$$

Las variables son la densidad del agua de mar (ρ) en [kg/m³] la superficie mojada del casco (S) en [m²], el coeficiente adimensional de fricción (C_F) y velocidad de la embarcación (V) en [m/s].

La superficie mojada del casco se obtiene a través de la siguiente expresión matemática. [14]

$$S = \left(3,4 * \nabla^{\frac{1}{3}} + 0,5L_{pp} \right) * \nabla^{1/3}$$

Esta ecuación está conformada por el volumen sumergido de la embarcación (∇) en [m³] y la eslora entre perpendiculares (L_{pp}) en [m].

Factor Forma

Es la descripción numérica de la resistencia de la viscosidad de la forma del casco con la resistencia de fricción.

$$1 + K_1 = C_{13} * \left\{ 0,93 + C_{12} \left(\frac{B}{L_R} \right)^{0,92497} * (0,95 - C_P)^{-0,521448} * (1 - C_P + 0,0225 * lcb)^{0,6906} \right\}$$

Las variables de la ecuación son ; el coeficiente Prismático de la embarcación (C_P) , la manga de la embarcación (B) en metros , la posición longitudinal del centro de carena (lcb) , la eslora de flotación (L) en metros y el parámetro de factor de forma que refleja la duración de la carrera (L_R) en metros .

Lcb= 0 a 0,6% de la eslora (L)

$$L_R = L * [1 - C_p + 0,06 * C_p * \left(\frac{lcb}{4 * C_p - 1}\right)]$$

$$C_{12} = \left(\frac{T}{L}\right)^{0,2228446} \text{ cuando } \frac{T}{L} > 0,05$$

T: Calado promedio en la flotación de la embarcación

$$C_{13} = 1 + 0,003 * C_{stern}$$

C_{13} : El coeficiente que define la forma específica del cuerpo en popa y tiene relación con el coeficiente de popa C_{stern}

Formas de la popa	C_{stern}
Formas en V	-10
Sección Normal	0
Formas en U con popa de espejo	10

Figura 26. valor numérico del coeficiente de la forma de popa C_{stern} [14]

2.2.6.2 Resistencia al avance por formación de olas

La resistencia al avance por formación de olas es un fenómeno gravitacional, que depende del número de Froude. El número de fraude es adimensional, formulado por William Froude por primera vez, que vincula las fuerzas de inercia y las de gravedad que actúan sobre un fluido. Este número se adaptó a las embarcaciones, que tiene como variables la velocidad de la embarcación, su eslora y la fuerza de la gravedad. A través de este valor se clasifica a las embarcaciones de acuerdo a la relación de eslora y velocidad. También permite predecir el comportamiento de la embarcación y el efecto de la resistencia. [17]

$$f_n = \frac{V}{\sqrt{g * L}}$$

El número de fraude (f_n) tiene como variables la velocidad de la embarcación (V) en [m/s], la gravedad en [m/s²] y la eslora de la embarcación en [m].

A continuación se expresa la ecuación de la resistencia por la formación de olas: [19]

$$R_w = C_1 C_2 C_5 * \nabla * \rho * g * \exp(m_1 * f_n^d + m_4 * \cos(\lambda * f_n^{-2}))$$

$$C_1 = 2223105 * C_7^{3,78913} * \left(\frac{T}{B}\right)^{1,07961} * (90 - i_E)^{-1,37565}$$

Esta expresión matemática está conformado por las variables ; la manga (B) en [m] , el calado (T) en [m] y el semiángulo de entrada en la flotación (i_E) en grados .

$$i_E = 1 + 89 * \exp\left(-\left(\frac{L_F}{B}\right)^{0,80856}\right) * (1 - C_F)^{0,30484} * (1 - C_P - 0,0225lcb)^{0,6367} * \left(\frac{L_R}{B}\right)^{0,34574} * \left(\frac{100\nabla}{L_F^3}\right)^{0,16302}$$

$$C_7 = 0,5 - 0,0625 * \left(\frac{L}{B}\right) \text{ cuando } \frac{B}{L} > 0,25$$

$$C_2 = \exp(-1,89 * \sqrt{C_3})$$

$$C_3 = \frac{0,56 * A_{BT}^{1,5}}{B * T * (0,31 * \sqrt{A_{BT}} + T_{PR} + h_B)}$$

$$C_5 = 1 - \frac{0,8 * A_{TR}}{B * T_m * C_M}$$

Los coeficientes C_2, C_3, C_5 representan la reducción de la resistencia por la formación de olas cuando se tiene bulbo en proa de la embarcación .

$$m_1 = 0,0140407 * \left(\frac{L}{T}\right) - 1,75254 * \left(\frac{\nabla^{1/3}}{L}\right) - 4,79323 * \left(\frac{B}{L}\right) - C_{16}$$

$$C_{16} = 8,07981 * C_P - 13,8673 * C_P^2 + 6,984388 * C_P^3 \text{ cuando } C_P < 0,8$$

$$m_4 = C_{15} * C_P^2 * \exp(-0,1 * f^{-2})$$

$$C_{15} = -1,69385 \text{ cuando } \frac{L^3}{\nabla} < 512$$

$$d = -0.9$$

$$\lambda = 1,446 * C_P - 0,03 * \left(\frac{L}{B}\right) \text{ cuando } \frac{L}{B} < 12$$

$$C_P = \frac{C_B}{C_M} \quad [20]$$

$$C_M = 1,006 - 0,0056 * C_B^{-3,56} \quad [20]$$

C_M : Coeficiente de sección media

C_P : Coeficiente prismático de la embarcación

∇ : Volumen de la carena de la embarcación en [m³]

2.2.6.3 Resistencia al avance debida a los apéndices

La resistencia de avance es causada por la fricción de la hélice, eje de la hélice, puntales, timón, las quillas de balance, espada hoyo, y cajas de mar. En los buques navales estas resistencias por los apéndices pueden tener el valor aproximadamente de 2-14% de la resistencia total. Los Apéndices afectan el componente viscoso de la resistencia, por ejemplo, el área de superficie de los apéndices aumenta el área de superficie de fricción viscosa.

En nuestro estudio se utilizó un factor superior al promedio que es de 10%, por nuestro tipo de embarcación.

2.2.6.4 Resistencia debida a la parte de popa sumergida

La popa de un buque experimenta resistencia a la presión adicional cuando el travesaño se sumerge en agua.

La siguiente relación empírica se utiliza en el método Holtrop-Mennen para calcular este componente de resistencia. Podemos ver que la fórmula depende de la zona del travesaño sumergido. [18]

$$R_{TR} = 0,5 * \rho * V^2 * A_T * C_6$$

$$C_6 = 0,2 * (1 - 0,2F_{nT}) , \text{ cuando } F_{nT} < 5$$

$$C_6 = 0 , \text{ cuando } F_{nT} \geq 5$$

$$F_{nt} = V / (\sqrt{(2 * g * A_T)(B + B * C_{WP})})$$

La variable A_T representa el área transversal de la parte inmersa del espejo de la popa , cuando la velocidad es cero de la embarcación .

C_{WP} es el coeficiente de área de flotación de la embarcación. [14]

$$C_{WP} = \frac{\text{área de flotación}}{\text{área del rectángulo}} = \frac{WPL}{Lwl * Bwl}$$

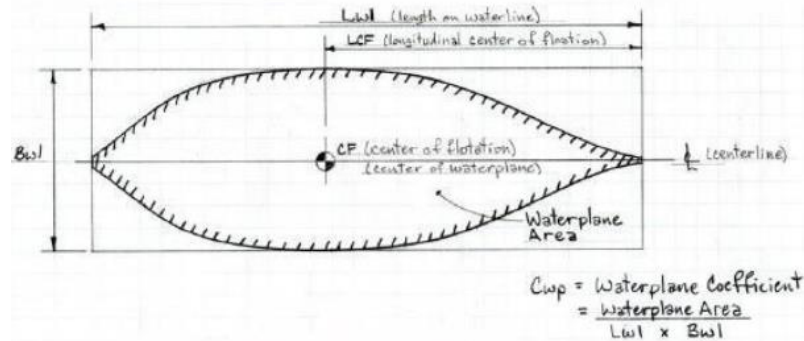


Figura 27. Señalización de las variables geométricas para el cálculo del coeficiente C_{WP} [14]

2.2.6.5 Resistencia debida a la correlación modelo-buque

La resistencia de correlación modelo-buque, explica el efecto de la rugosidad del casco, que, a su vez, se atribuye a una serie de factores:

- Rugosidad estructural: causada por el método utilizado en la fabricación del casco (soldado / remachado), o debido a la ondulación de las placas, etc.
- Rugosidad de la pintura: debido a pinturas de textura áspera o mal método de aplicación
- Resistencia a la corrosión: causada por la corrosión del revestimiento externo de la carcasa
- La adhesión de suciedad marino al casco. [18]

Esta asignación de correlación, que está dada por la formulación como se muestra a continuación (en Holtrop-Mennen):

$$R_A = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * C_A$$

Para el coeficiente de correlación de tolerancia C_A , teniendo en cuenta el efecto superior de la rugosidad del casco (k_s) respecto al estándar. ITTC-1978 y Holtrop-Mennen formulan la siguiente:

$$C_A = (0,105 * k_s^{\frac{1}{3}} - 0,005579) / L^{1/3}$$

C_A : Coeficiente de correlacion de tolerancia

k_s : rugosidad del casco

2.2.6.6 Resistencia al avance debida al aire

La energía necesaria para vencer la acción del aire sobre la obra muerta y la estructura de la embarcación. La expresión matemática de la resistencia que ofrece el viento al avance de la embarcación es la siguiente formula. [14]

$$R_{Air} = K_a * S_{om} * (V + V_v * \cos\alpha)^2$$

Las variables son:

La velocidad del viento (V_v) en nudos, el ángulo formado por la dirección del viento e el plano diametral del buque (α), la suma de las áreas (S_{om}) de las proyecciones de la obra muerta y superestructura, sobre el plano normal a la dirección del movimiento en [m²] y el coeficiente experimental (K_a) que oscila de 0,025 a 0,032 según las formas aerodinámicas.

2.2.7 Potencia consumida por la hélice.

La hélice es paso fijo y esta acoplada al motor, la potencia necesaria es [14]:

$$N_h = \left(\frac{C_1}{0,955 * 10^4} \right) * n_h^3$$

C_1 : Es la relación proporcional de $V_{embarcación}/n_h$

n_h : los rpm de la hélice

2.2.8 El rendimiento de la propulsión

El rendimiento de la propulsión está formado por el rendimiento mecánico, el rendimiento rotativo relativo, el rendimiento del casco y el rendimiento de la hélice aislado.

- **Rendimiento mecánico**

El rendimiento mecánico representa la Relación de potencia entre los SHP (Shaft Horse Power) y los BHP (Brake Horse Power) y la cantidad de energía se pierde por transmisión desde el eje de salida del motor hasta el eje después del reductor.

- **Rendimiento rotativo relativo**

Se obtiene a través de la expresión matemática [14]

$$n_{rr} = 0,9922 - 0,5908 * \left(\frac{A_E}{A_O}\right) + 0,07424 * (C_p - 0,0225 * lcb)$$

lcb: Posición longitudinal del centro del centro de carena.

- **Rendimiento del casco [21]**

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

- **Rendimiento del propulsor aislado**

Una hélice funcionando en aguas libres de velocidad V_A , el rendimiento está relacionado con el número de revoluciones n , da un empuje T absorbiendo un par Q . [14]

$$n_o = \frac{\text{Potencia util}}{\text{Potencia suministrada}} = \frac{T * V_A}{2 * \pi * n * Q}$$

El rendimiento de la propulsión [21]

$$n_p = n_o * n_{rr} * n_H * n_m$$

La eficiencia a de la propulsión está dada por la expresión matemática:

$$n_p = n_o * n_{rr} * n_h$$

- **Potencia freno**

$$BHP_p = \frac{EHP}{n_p}$$

2.2.9 Cálculo de empuje [21]

Coefficiente de succión

$$t = 0,6 * w$$

Coefficiente de estela (w)

Empuje

$$T = \frac{R_{Total}}{1 - t} [N]$$

2.2.10 Materiales compuestos

Los materiales compuestos es la combinación de dos o más materiales que presentan diferencias en forma, función a escala macroscópica. Los materiales del compuesto no se disuelven y combinan plenamente.

Si son usados por sus propiedades estructurales Los materiales compuestos se puede identificar la sustancia refuerzo (fibra o partícula) y la sustancia aglutinante(matriz).

A través de la combinación de diferentes matrices (polímeros o metales ligeros) con fibras (fibra de vidrio, de carbono, orgánica, etc) se puede obtener un compuesto con propiedades mecánicas muy partículas. En función de la tipología las fibras se diferencian entre fibras cortas o largas, continuas o discontinuas, orientadas o con arreglo aleatoria, multicapas, etc.

Tabla 13 : Cclasificación de los compuestos de matriz polimérica según la disposición y el tipo de refuerzo [22]

Fibra larga y continua	Fibra orientada unidireccional Fibra orientada bidimensional (tejido,mat cosido) Fibra orientada tridimensional (tejido 3D.cosido 3D Orientación aleatoria(mat de hilo continuo
Fibra discontinua	Frientación aleatoria(mat de hilo continuo) Orientación predominante
Partículas y whiskers	Orientación aleatoria Orientac+on predominante

Se clasifica en la tabla los distintos tipos de compuestos conforme a los diferentes tipos de refuerzo. Usualmente los compuestos se presentan en forma de laminados unidireccionales (el refuerzo en una sola dirección) o en laminados bidimensionales (laminas apiladas con el refuerzo en orientaciones diferentes).

Los GFRT (glass fibre reinforced polymer), es la combinación de la fibra de vidrio con la resina de epoxi o de polyester. Las características más importantes en los polímeros que tienen como refuerzo las fibras largas son las sobresalientes propiedades específicas de rigidez y resistencia.

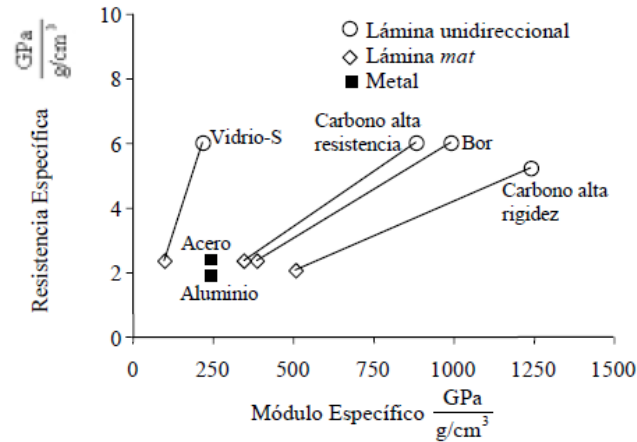


Figura 28. Rigidez específica vs. Resistencia específica. [22]

2.2.10.1 Características de materiales compuestos reforzados con fibras

Los principales factores que componen un material compuesto son:

- Longitud y diámetro de las fibras

Las fibras de refuerzan son cortas, largas o también continuas. Los tamaños se determinan de acuerdo a la proporción dimensional l/d . Donde l es la longitud de la fibra y d es su diámetro. Con frecuencia los diámetros de las fibras están desde $10 \mu m$ a $150 \mu m$.

La resistencia del compuesto se incrementa cuando la proporción dimensional es alta. Con frecuencia, las fibras se fracturan por los defectos superficiales. Al tener los diámetros pequeños, el área superficial es menor por lo tanto los efectos son menores. Los bordes de la fibra resisten inferior carga que el resto. [23]

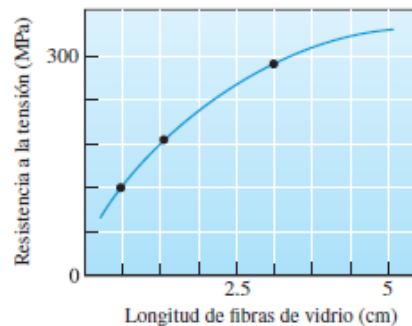


Figura 29. Gráfica de longitud vs resistencia a la tensión [23]

La resistencia del compuesto conformado por la fibra de vidrio tipo S y resina epoxica se incrementa si la longitud de las fibras aumenta.

- **Cantidad de fibras**

Al Tener una mayor proporción volumétrica de fibra aumenta la resistencia y rigidez del compuesto. El máximo porcentaje de fibra que se puede tener en un compuesto sin dejar descubierta una zona es de 80 %.

- **Orientación de fibras**

La orientación aleatoria de fibras cortas, por ejemplo, las fibras de vidrio le proporcionan al compuesto una conducta relativamente isotrópica.

La distribución de las fibras largas, continuas y unidireccionales, genera propiedades anisotropías, como la, resistencia y rigidez que son buenas. particularmente buenas en dirección paralela a las fibras. La dirección de las fibras es de 0 en relación al esfuerzo. Pero presenta malas propiedades en dirección perpendicular a las fibras.

En la configuración ortogonal de la matriz (capas $0^\circ/90^\circ$) se obtiene excelentes resistencias en dos direcciones perpendiculares. Las configuraciones más complicado (como capas $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$) provee refuerzo en múltiples direcciones.

Las fibras también pueden disponerse en patrones tridimensionales. Por lo tanto en el más simple de los tejidos, las fibras de cada capa individual de tela tienen un pequeño grado de orientación en una tercera dirección. [23]

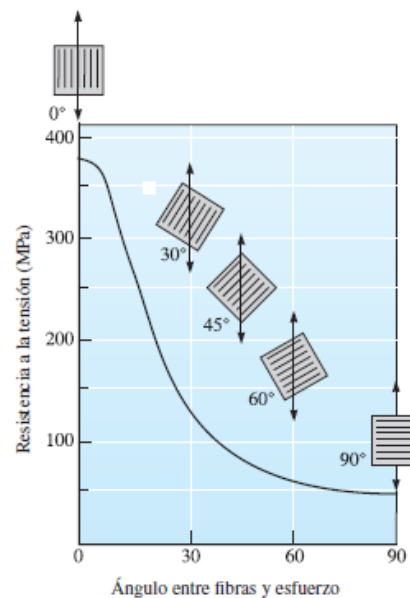


Figura 30. Resultados de la orientación sobre la resistencia del compuesto epóxicos utilizando fibra de vidrio E como refuerzo. [23]

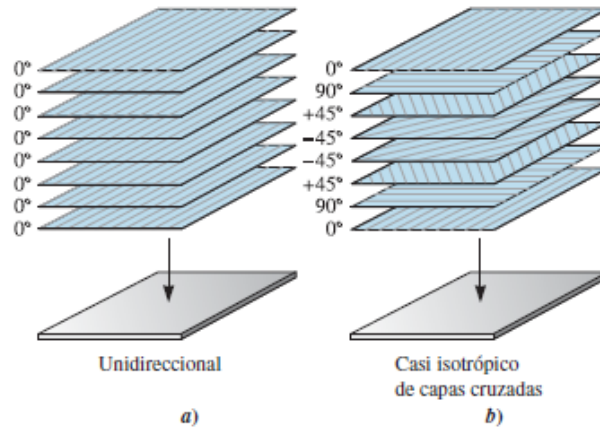


Figura 31. a) Estructura compuesta unidireccional de varias capas b) Compuesto casi isotrópico $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$. [23]

2.2.10.2 Propiedades mecánicas macroscópicas desde la microestructura

- Módulo de Young longitudinal [24]

$$E_1 = E_{1f}V_f + E_mV_m$$

- Módulo de Young transversal

$$E_2 = \frac{E_m}{1 - \sqrt{V_f}\left(1 - \frac{E_m}{E_{2f}}\right)}$$

$$E_2 = E_3$$

- Módulo de Cizalladura longitudinal

$$G_{12} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f}\left(1 - \frac{G_m}{G_{12f}}\right)}$$

- Módulo de Cizalladura transversal

$$G_{23} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f}\left(1 - \frac{G_m}{G_{23f}}\right)}$$

$$G_{13} = G_{12}$$

- Coeficiente de Poisson longitudinal

$$\nu_{12} = V_f \nu_{12f} + V_m \nu_m$$

$$\nu_{12} = \nu_{13}$$

- Coeficiente de Poisson transversal

$$\nu_{23} = \frac{0,5E_2}{G_{23}} - 1$$

- Constantes resistentes de tracción

$$X_t = V_f * X_{tf}$$

$$Y_t = X_{tm} [1 - (\sqrt{V_f} - V_f) * (1 - \frac{E_m}{E_{Tf}})]$$

- Constantes resistentes de compresión

$$X_c = V_f * X_{cf}$$

$$Y_c = X_{cm} [1 - (\sqrt{V_f} - V_f) * (1 - \frac{E_m}{E_{Tf}})]$$

- Tensión de rotura a cortadura

$$S_{12} = S_m [1 - (\sqrt{V_f} - V_f) * (1 - \frac{G_m}{G_{TLf}})]$$

Módulo de elasticidad E , el módulo de cortadura G , el módulo de Poisson V , la tensión de rotura X , la tensión de rotura a cortadura S y fracción de volumen V . [24]

Tabla 11. Propiedades de la resina epoxi [22]

Densidad	Módulo elástico	Resistencia tracción	Alargamiento	Coef. Poisson	Módulo específico	Resistencia específica
$\rho, \left(\frac{g}{cm^3}\right)$	$E[GPa]$	$S[MPa]$	%	ν	$[E/\rho]$	$[S/\rho]$
1,38	4,6	55	1296	0,36	55	103

Tabla 12. Propiedades de la fibra de vidrio tipo S [22]

Densidad	Módulo elástico	Resistencia tracción	Alargamiento	Coef. Poisson	Módulo específico	Resistencia específica
$\rho, \left(\frac{g}{cm^3}\right)$	$E[GPa]$	$S[MPa]$	$G[\%]$	ν	$[E/\rho]$	$[S/\rho]$
2,49	86,9	4300	5	0,22	34,9	1,73

3 HIPÓTESIS

Los diseños de una hélice de propulsión pueden ser diseñadas usando material compuesto de fibra de vidrio tipo s con resina epoxi a través de herramienta software CAD-CAE, obteniendo un aumento de vida útil y menor peso.

4 MARCO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Enfoque

La presente tesis presenta un enfoque cuantitativo, porque utiliza la recolección de datos que son de magnitudes medibles que se expresan numéricamente para experimentar hipótesis, dando como resultado una serie de conclusiones con respecto a los resultados obtenidos en la investigación.

4.1.2 Tipo

Es de tipo documental, ya que para el desarrollo de la investigación se consultado diferentes documentos, libros, tesis, revistas científicas, etc.

4.1.3 Nivel

Esta investigación es de nivel descriptiva, porque se basa en describir las situaciones, en este caso el comportamiento del material compuesto para la fabricación de hélice.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental –se realizará un diseño previo, para posteriormente se someterá a condiciones de acuerdo a las variables independientes de la hélice marina.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población de este estudio comprende a las hélices de las embarcaciones pesqueras de altura.

4.3.2 Muestra

En esta investigación el sujeto es el modelo de hélice marina de paso fijo que se ha diseñado para una embarcación pesquera artesanal de 18 Ton.

4.4 Métodos y Procedimientos

Para conocer la funcionalidad de la hélice marina con material compuesto de fibra de vidrio tipo S con resina epoxi se utilizó el análisis estático, lo cual permitió la representación de la resistencia orientada a la valoración de la hélice marina para confirmar o no de su funcionalidad.

Para alcanzar este cometido, se tuvo que dividir en tres fases principales el procedimiento, las cuales fueron: el conocimiento de los parámetros de que intervienen en el estudio de la hélice, el dimensionamiento y la modelación de la hélice marina, el análisis de simulación de fluidos y el análisis estático.

Se realizó una recopilación de información que intervienen en el diseño de la hélice como, por ejemplo; las ecuaciones de diseño descrita en el marco teórico, las medidas de la embarcación pesquera presentadas en el plano, la potencia del motor, la velocidad angular del eje del motor, la velocidad de la embarcación que requiere el armador.

A continuación, se realizó un estudio sobre las fuerzas que intervienen en la operación de navegación de la embarcación pesquera artesanal, como son la fuerza de resistencia por avance friccional, la resistencia por formación olas, la resistencia por apéndices, la resistencia debido por la correlación modelo-buque, la resistencia por el aire y por la forma de la popa.

Se realizó el modelamiento de la hélice marina en software SolidWorks usando las dimensiones obtenidas en los a través de las ecuaciones y diagramas.

Posteriormente se realizó un análisis de flujo de fluidos en el software SolidWorks aplicando como parámetros iniciales la velocidad de giro de la hélice, la densidad del agua, el sentido de giro. A través de este análisis se obtuvo las presiones que van estar presentes en toda la superficie de la hélice.

Usando los valores de las presiones y la fuerzas que obtuvimos a través de dinámica de fluidos computacional (CFD), se realizó el análisis estático en el software SolidWorks en donde obtuvimos los valores de la tensión nodal, el desplazamiento, la deformación unitaria y el factor de seguridad.

4.5 Técnicas e instrumentos

En esta investigación se realizó a través de análisis cuantitativo y también se realizó una inspección a bordo de la embarcación pesquera artesanal, en donde también se realizaron mediciones de los componentes de la embarcación.

Los instrumentos usados fueron el flexo metro y el plano de la embarcación (ver Anexo N)

Software utilizado

- **SolidWorks:** Este software fue utilizado para el modelamiento de la hélice marina, la simulación de flujo y en el análisis estático.
- **Ces Edupack:** A través de este programa se analizó las propiedades del material compuesto en comparación con otros materiales y se obtuvo un costo de dicho material.
- **AutoCAD:** A través de este software se realizó el plano de la hélice.

4.6 Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
	GENERAL	GENERAL		
	Diseñar y analizar estáticamente la hélice sobre su funcionalidad del material compuesto de fibra de vidrio tipos S con resina epoxi en embarcación pesquera de 18 ton.	El diseño de una hélice marina de material compuesto de fibra de vidrio con resina epoxi disminuirá el peso , aumentara la vida útil .	VARIABLE INDEPENDIENTE Análisis estático de la hélice de la embarcación pesquera	DISEÑO DE INVESTIGACION Tipo aplicada correccional
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS		

<p>¿Cómo el diseño de hélice de propulsión de una embarcación pesquera usando materiales compuestos de fibra de vidrio tipo S con resina epoxi será funcional mecánicamente, disminuirá el peso y aumento de la vida funcional?</p>	<p>1. 1. Caracterizar el material GFRE tipo S.</p>	<p>1 Si se realiza la caracterización del material compuesto se determinará las propiedades mecánicas y el comportamiento de este material en diferentes sustancias.</p>	<p>INDICADORES:</p> <p>Esfuerzo nodal</p> <p>Desplazamiento</p> <p>Deformación unitaria</p> <p>Factor de seguridad</p> <p>VARIABLE</p> <p>DEPENDIENTE</p> <p>Análisis de los resultados del estudio estático a través del software CAD /CAE SolidWoks.</p> <p>INDICADORES:</p> <p>Procesamiento de datos</p>	<p>TECNICA DE RECOLECCION DE DATOS</p> <p>En este proyecto de investigación se usará la observación a través de archivos audiovisuales.</p> <p>MUESTRA</p> <p>La muestra de estudio es la hélice marina de la embarcación pesquera.</p>
	<p>2. Dimensionar y modelar la geometría de la hélice de la embarcación pesquera</p>	<p>2 Si se realiza un buen dimensionamiento de la hélice de la embarcación , entonces se va tener un eficiente rendimiento de la hélice</p>		
	<p>3. Realizar los análisis estáticos en la hélice de la embarcación con GFRE tipo S usando software CAD-CAE.</p>	<p>3 Si se realiza el estudio de análisis estático de la hélice , se podrá determinar si la hélice soporta las presiones que está sometida la hélice en su funcionamiento</p>		
	<p>4. Analizar resultados estáticos de la hélice de 4 palas con GFRE tipo S y bronce al magnesio.</p>	<p>4 si se realiza un análisis de los resultados con un material que es comúnmente usando en la fabricación de hélice ,se podrá verificar la funcionalidad de la hélice hecha de material compuesta .</p>		

	<p>5. Evaluar económicamente del diseño de la hélice usando GFRE tipo S con resina epoxi para una embarcación pesquera de 18 toneladas.</p>	<p>5 a través de la evaluación económica, se obtendrá la factibilidad del uso de material compuesto para el diseño de hélice para embarcación pesquera.</p>		
--	---	---	--	--

5 RESULTADOS

5.1 Caracterización del material compuesto GFRP tipo S con resina epoxi.

Material compuesto:

Los materiales compuestos están formados por dos o más materiales a nivel macroscópico para formar un tercero. El material base se llama matriz y el material adjunto se conoce como material de refuerzo esta es continua y rodea a otro material base. Las propiedades de los materiales compuestos son una función de las propiedades mecánicas de las bases constituyentes, sus cantidades relativas y la geometría de la fase dispersa.

Materiales que conforma el material compuesto GFRE tipo S:

- La resina de epoxi como matriz
- La fibra de vidrio tipo S como refuerzo

5.1.1 La fibra de vidrio tipo S

La fibra de vidrio tipo S, es un vidrio de silicato de magnesio y aluminio. este material se desarrolló para cumplir altos requisitos mecánicos y contiene más del 10% de Al_2O_3 .

El diámetro de la fibra de vidrio tipo S está entre los valores de 8-14 μm

Tabla 13. Composición química de algunos vidrios para la producción de fibra continua [25]

Tipos de fibra de vidrio	Composición (%)											
	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	ZnO	ZrO_2	TiO_2	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3	F
E (con Boro)	52-56	4-6	12-15	21-23	0.4-4		0,2-0,5		0-1	0-0,2	0,2-0,5	0,2-0,7
E (sin Boro)	59-60		12-13	22-23	3-4		0,5-1,5		0,6-0,9	0-0,2	0,2	0,1
S	60-65.5		23-35	0-9	6-11		0-1		0-0,1		0-0,1	
Ar	58,3-60.6		0,2				18,1-21,2	0-2,8	13-14,1	0-2,8		
ECR	58,2		11,6	21,7	2	2,9		2,5	1	0,2	0,1	

Tabla 14. Propiedades físicas y mecánicas de algunas categorías de fibra de vidrio [25]

Propiedades	Tipos de fibras				
	E(con Boro)	E(sin Boro)	S	AR	ECR
Temperatura de modelado °C	1160-1196	1260	1565	1260-1300	1213-1235
Punto de ablandamiento °C	830-860	960	1056		880
Densidad g/ cm ³	2,54-2,55	2.62	2,48-2,49	2,6-2,7	2,66-2,68
Coefficiente de expansión lineal 10 ⁻⁶ C ⁻¹	4,9-6	6	2,9	7,5	5,9
fuerza (Mpa)	3100-3500	3100-3500	4380-4590	3100-3500	2410
Modulo elástico (Gpa)	76-78	80-81	88-91	72-74	80-81
Elongación de ruptura %	4,5-4,9	4,6	4,5-4,9	2-2,24	4,5-4,9

Tabla 15. Propiedades ambientales [26]

	Factor de resistencia 1= Malo 5=Excelente
Inflamabilidad	5
Agua dulce	5
Disolventes Orgánicos	5
Oxidación a 500 C	5
Agua de mar	5
Ácido fuerte	5
Degaste	5
Ácido débil	5

En la tabla 15 nos proporciona una valoración de 1 (malo) a 5(excelente) sobre el comportamiento de las propiedades que tiene la fibra de vidrio tipo S respecto a los elementos que puede estar sometido. Para estos 8 elementos la fibra de vidrio tiene un excelente desempeño.

5.1.2 La resina epoxi

La resina epoxi es un polímero termoestable y tiene una excelente resistencia a los productos químicos y al calor.

La resina epoxi tiene una buena resistencia mecánica y la baja contracción del curado. Es un material industriales equilibrados y adecuados para una amplia gama de aplicaciones. [23]

Tabla 16. Propiedades mecánicas de resina Epoxi

Propiedades	Epoxi
Módulo de Young (GPa)	3-6
Resistencia Tracción (MPa)	35-100
Resistencia Compresión (MPa)	100-200
Densidad (Mg/m^3)	1.1-1,4
Alargamiento rotura (%)	1-6
Coefficiente Poisson (ν)	0,38-0,4

5.1.3 Material GFRP tipo S con resina Epoxi

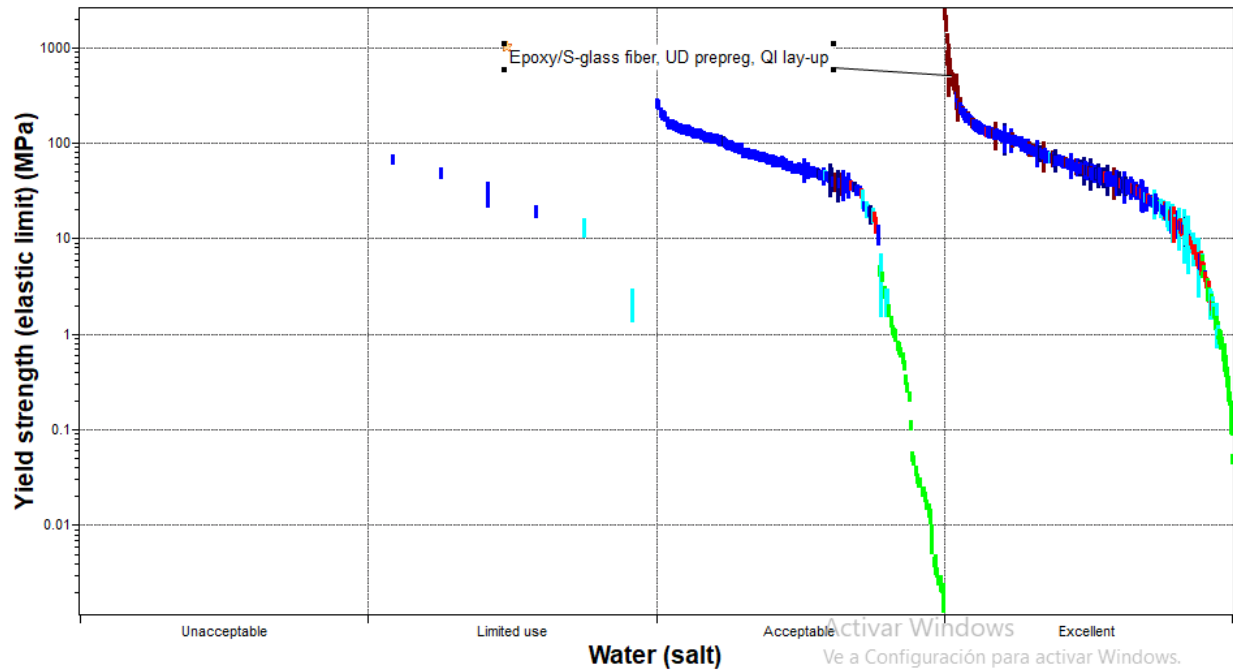


Figura 32. Comparación del material GFRE tipo S con otros materiales

A través de la figura 32, se observa que el compuesto GFRE tipo S tiene un excelente comportamiento en el agua salada y también presenta un elevado límite elástico en comparación con otros materiales.

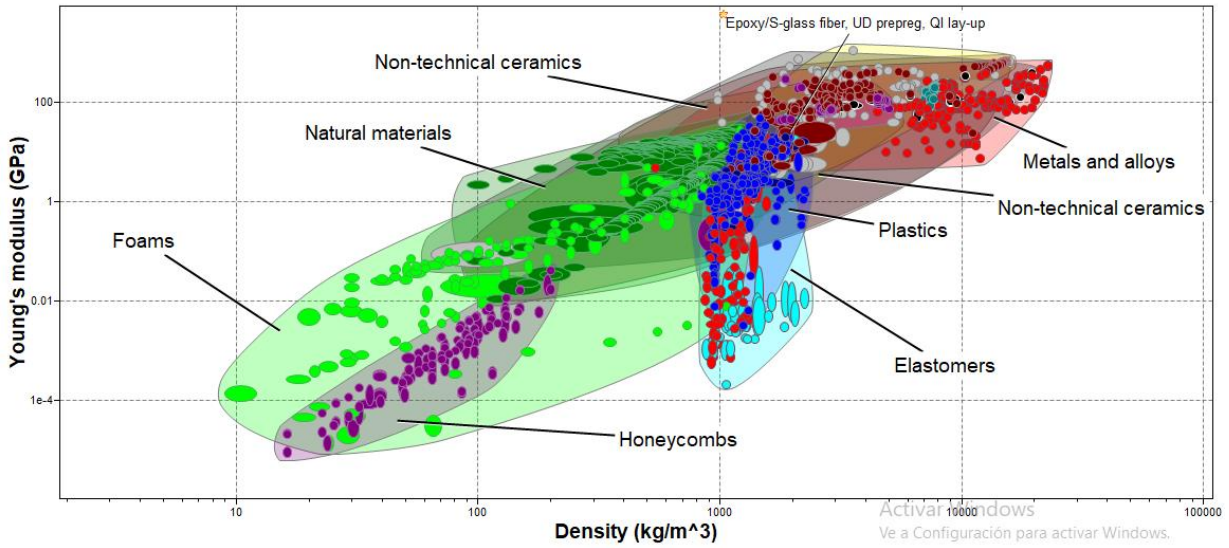


Figura 33. Comparación del material GFRE tipo S respecto al módulo de Young y la densidad

Se observa en la figura 33, que el compuesto GFRE tipo S presenta una densidad menor de los metales y aleaciones, también presenta un módulo de Young mayor a los materiales naturales, espumas, paneles

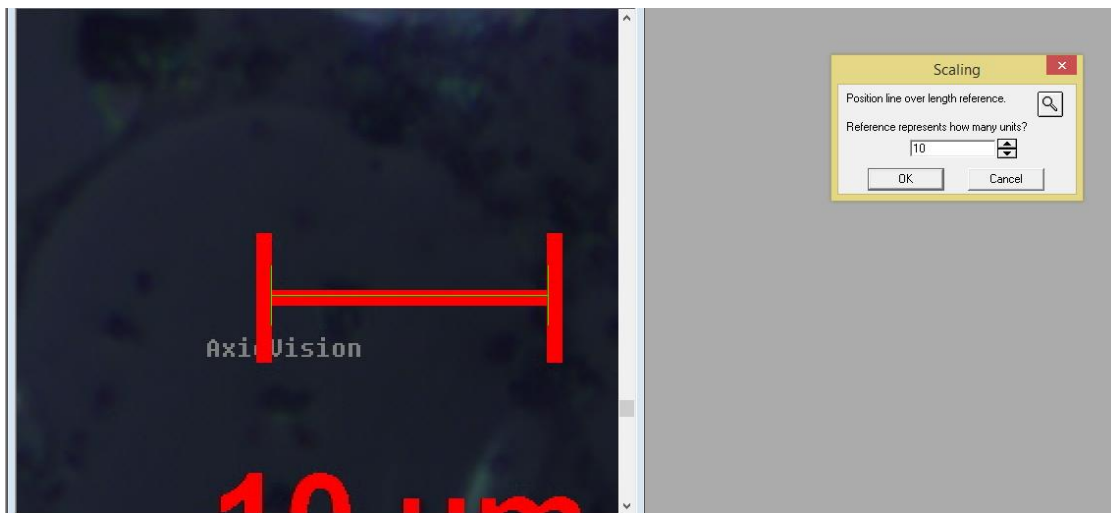


Figura 34. Escala del material compuesto

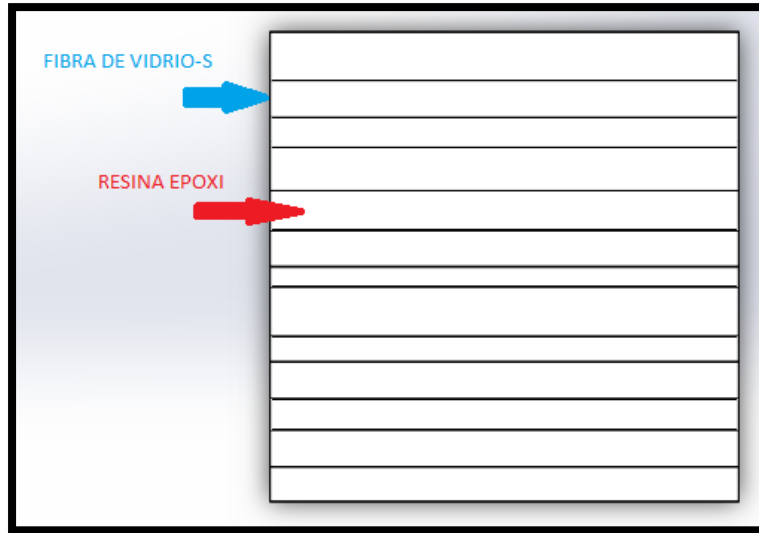


Figura 35. Corte longitudinal de la fibra de vidrio y resina epoxi

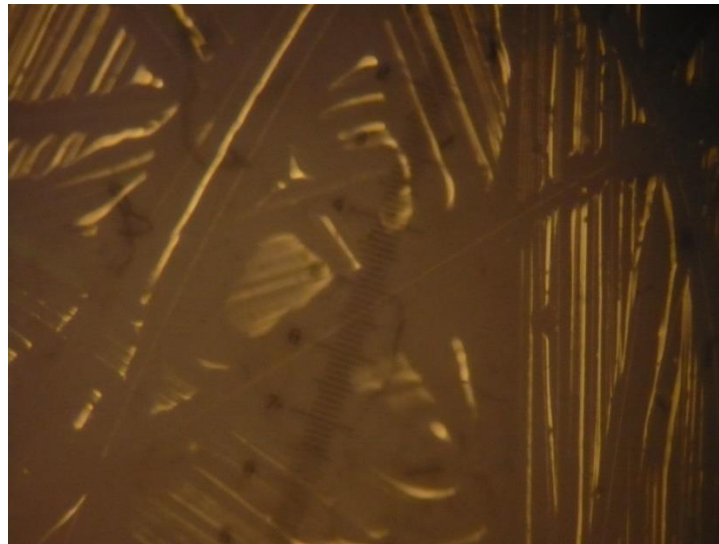


Figura 36. Micrografía de la superficie del material compuesto de fibra de vidrio tipo S y resina epoxi, visualizándose la orientación de la fibra de manera longitudinal.

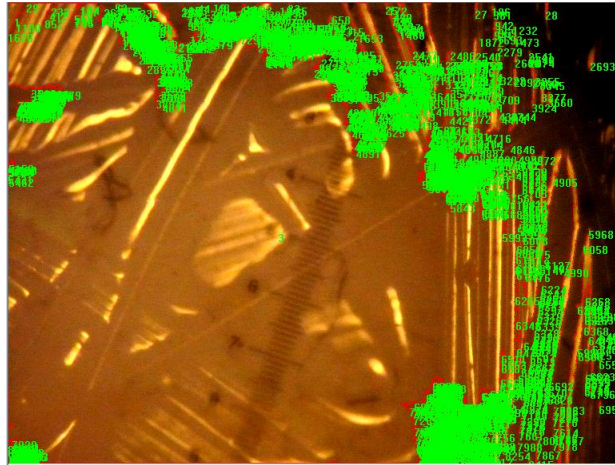


Figura 37. Selección en la superficie de regiones de fibra de vidrio con respecto a toda el área del material compuesto con un porcentaje de ocupación del 78,97%.

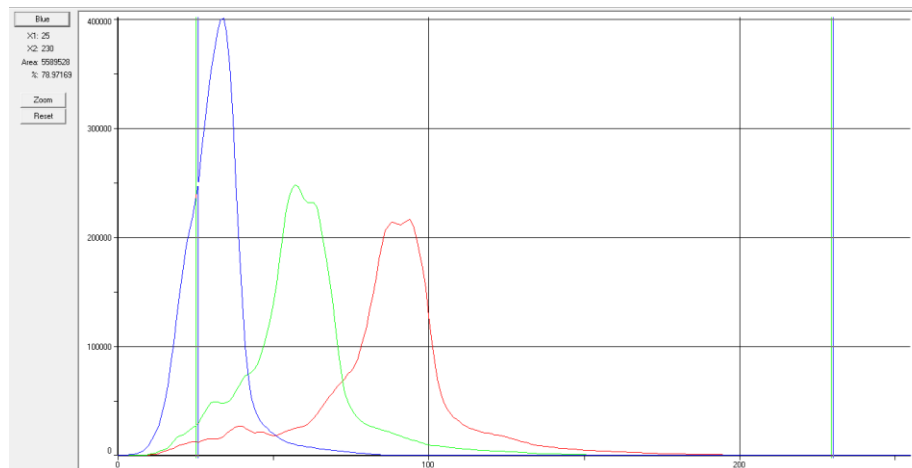


Figura 38. Histograma para cuantificar el porcentaje de fibra ocupado en la superficie del material compuesto.

En la figura 39 nos presenta a través de la gráfica de color azul el porcentaje de la fibra de vidrio tipo S en la superficie del material compuesto que es de 78,97%.

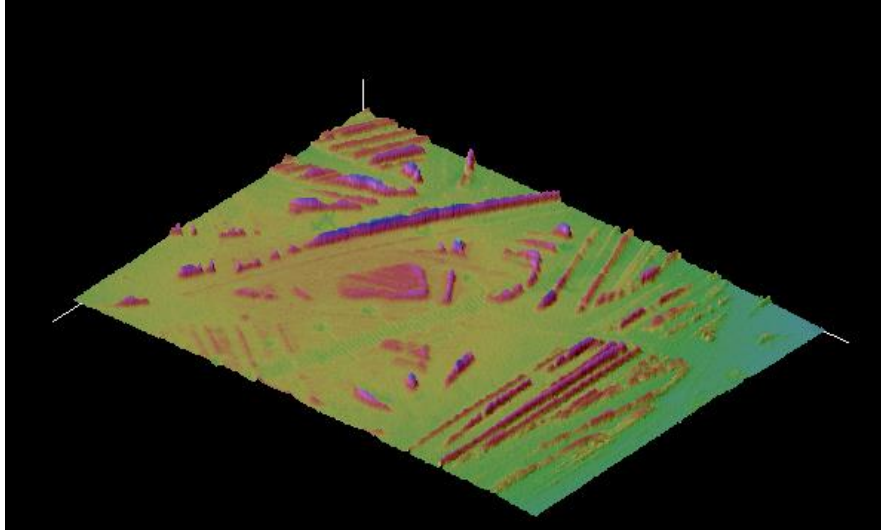


Figura 39. Imagen de la superficie donde se puede apreciar el relieve de la fibra de vidrio con respecto a la resina poliéster.

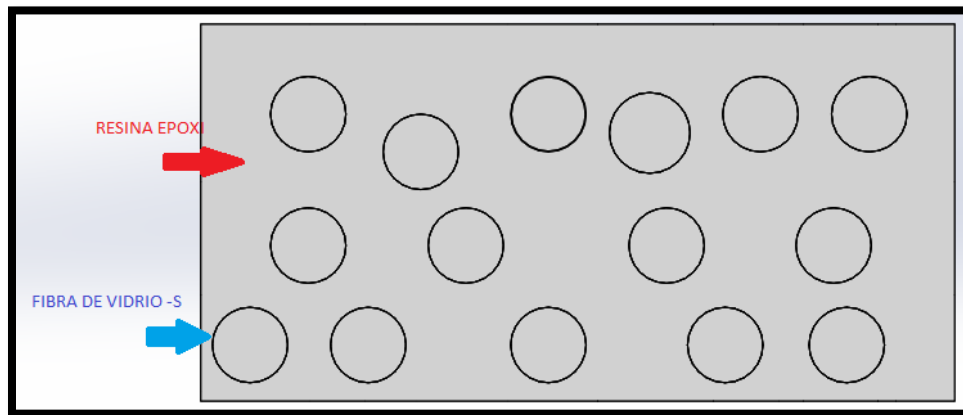


Figura 40. Corte transversal de la fibra de vidrio y resina epoxi

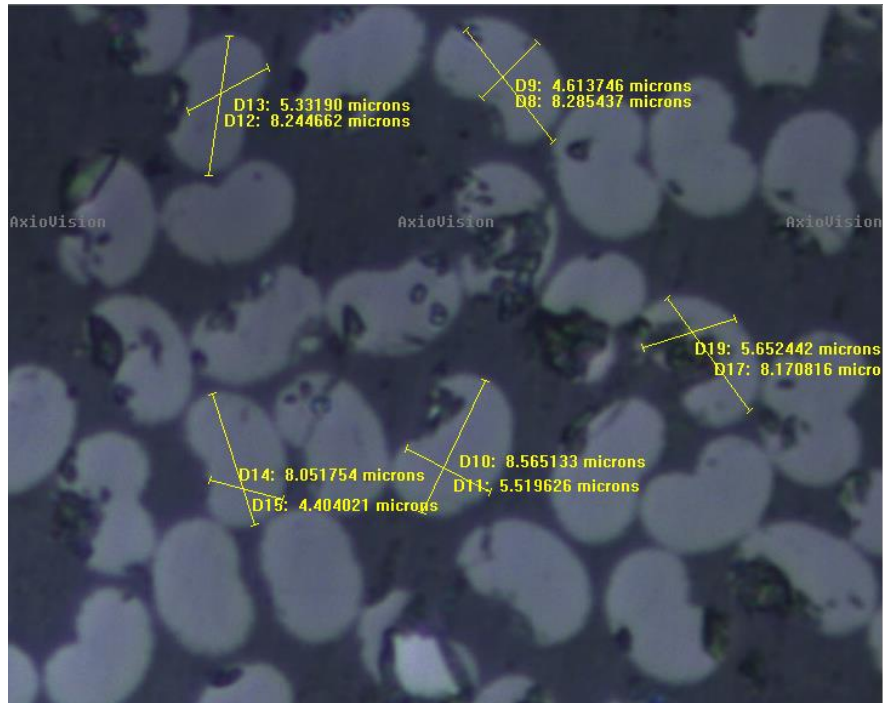


Figura 41. La medición del diámetro promedio de la fibra de vidrio apreciada en un corte transversal obteniéndose el diámetro más corto (D_1): 5,1051 μm y el diámetro más largo (D_2): 8,2636 μm .

La fibra de vidrio tiene el color más claro como se muestra en la figura 42 y la resina epoxi tiene el color más oscuro. el diámetro promedio de la fibra de vidrio es de 6,6844 μm .

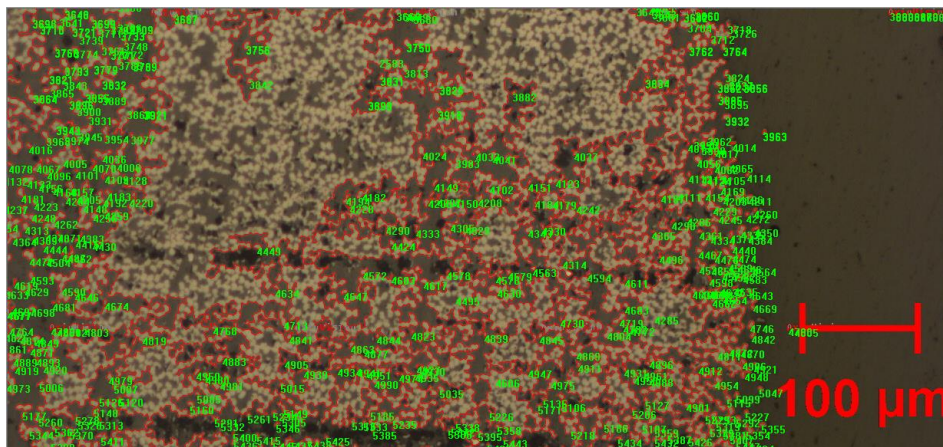


Figura 42. Selección en la superficie transversal de regiones de fibra de vidrio con respecto a toda el área del material compuesto con un porcentaje de ocupación del 98,54%.

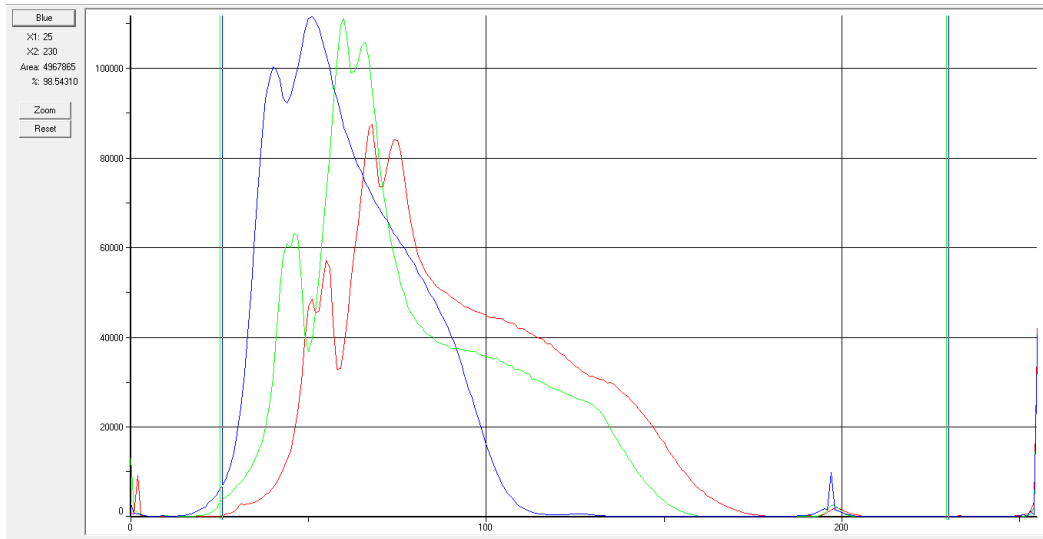


Figura 43. Histograma para cuantificar el porcentaje de fibra ocupado en la superficie transversal del material compuesto.

En la figura 44 nos presenta a través de la gráfica de color azul el porcentaje de la fibra de vidrio tipo S en la superficie transversal del material compuesto que es de 98,54%.

- Para este material compuesto se ha tomado los valores de fracción en volumen de fibras de vidrio tipo S (refuerzo) de 60% y de fracción en volumen de epoxi (matriz) de 40%.

Propiedades mecánicas del material GFRE tipo S

Tabla 17. Propiedades mecánicas de fibra de vidrio-S/Epoxi. Compuesto $V_f = 0.6$ [27]

Propiedades	S-fibra/Epoxi	Unidades
Módulo elástico longitudinal E_1	55	GPa
Módulo elástico transversal E_2	16	GPa
Módulo de poisson ν_{12}	0,28	
Módulo de poisson ν_{23}	0,6	
Módulo elástico en cortadura G_{12}	7,6	GPa
Resistencia longitudinal tensión X_t	1620	MPa
Resistencia longitudinal compresión X_c	690	MPa
Resistencia transversal tensión Y_t	40	MPa
Resistencia transversal compresión Y_c	140	MPa
Resistencia a la cortadura S_{12}	80	MPa
Densidad	2	kg/cm^3
Límite elástico	504	MPa

Propiedades físicas del material GFRE tipo S con resina epoxi

Tabla 18. Propiedades físicas de material GFRE tipo S

DURABILIDAD	
Agua fresca	Excelente
Agua salada	Excelente
Ácido débil	Aceptable
Acido fuerte	Inaceptable
Álcalis fuerte	Excelente
Solvente orgánico	Uso limitado

Para el análisis estático de la hélice se utilizará los datos de la tabla 18, porque presenta las propiedades del material ortotrópico GFRE tipo S, ya que los valores de las propiedades no son iguales en las tres direcciones de cada uno de los ejes.

5.2 Diseñar y Modelar la geometría de la hélice

Datos de la embarcación

ESLORA TOTAL	: 11,300 m.
MANGA	: 4,6 m.
PUNTAL	: 2.m.
CALADO	: 0,957 m
CAP. DE BODEGA	: 20,00 m ³ .
CAP. DE COMBUSTIBLE	: 800 gal.
MOTOR PRINCIPAL	: WP6
CAJA REDUCTORA	: HC 138 – 3,57
DESPLAZAMIENTO	: 39,57 Ton

5.2.1 Cálculo de los parámetros para diseño de la hélice

La potencia de freno del motor:

$$BHP = 115,44 \text{ HP}$$

La potencia que llega a la hélice es menor expresado BHP, debido por las pérdidas en árbol. La pérdida es de aproximadamente entre 3,5 a 4%

$$DHP = BHP * \eta_s$$

El rendimiento de la línea de eje es η_s

$$DHP = 115,44 * 96,5$$

$$DHP = 111,4 \text{ HP}$$

5.2.2 Coeficiente de bloque

De acuerdo con las reglas Rina se calcula

$$C_b = \frac{\Delta}{L * B * T}$$

Δ : 39,577 ton

L : 11,3m

B : 4,6 m

T : 0,957m

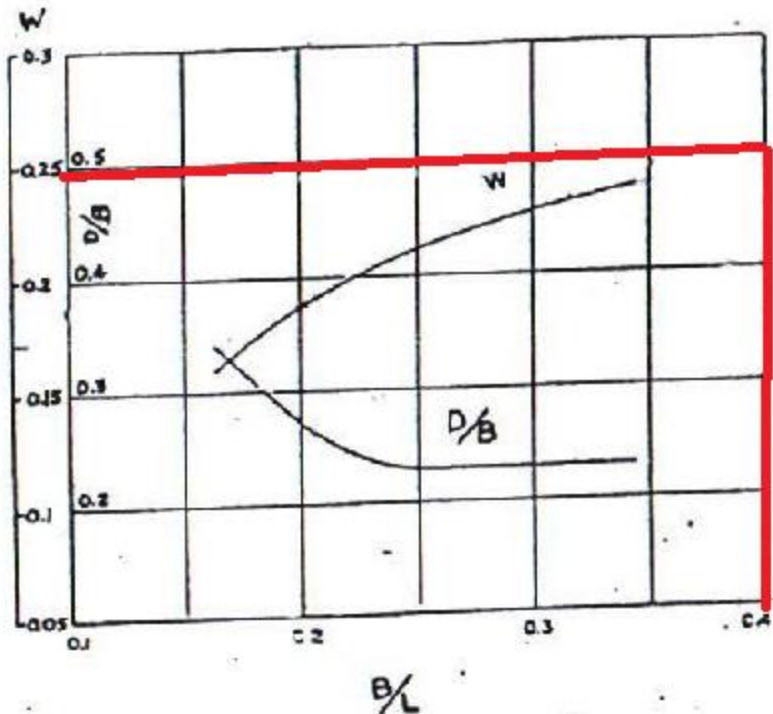
Datos obtenidos a través del anexo 1 y 2

$$C_b = 0,795$$

5.2.3 Coeficiente de estela

La relación de la manga con la eslora es :

$$\frac{B}{L} = 0,40$$



A través del grafico se puede obtener el valor del coeficiente de estela que es de 0,25.

5.2.4 La velocidad de avance

La máxima velocidad que puede llegar este tipo de embarcación está dada por la siguiente expresión matemática:

$$V = 2,423\sqrt{L}$$

$$L = 11,3 \text{ m}$$

$$V = 8,16 \text{ nudos}$$

$$\omega = \frac{V - V_A}{V}$$

$$V_A = V(1 - \omega)$$

$$V_A = 12(1 - 0,25)$$

$$V_A = 6,12 \text{ nudos}$$

5.2.5 Parámetro B_p

$$B_p = \frac{N * \sqrt{DHP}}{V_A^{2,5}}$$

$$N: 420 \text{ rpm}$$

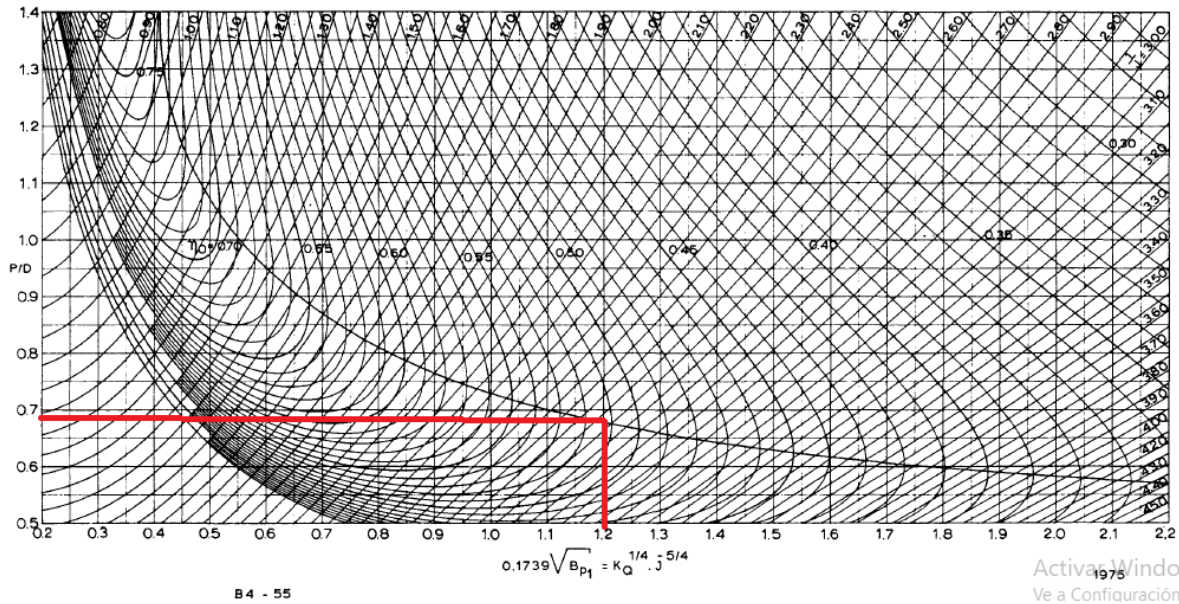
$$DHP: 111,4 \text{ hp}$$

$$V_A = 6,12 \text{ nudos}$$

$$B_p = 47,86$$

5.2.6 Cálculo del coeficiente δ

Para el cálculo del coeficiente se usará el diagrama $B_p - \delta$



El valor a ubicar en las ordenadas del diagrama es:

$$\text{Valor} = 0,1739 * \sqrt{B_p}$$

$$\text{Valor} = 0,1739 * \sqrt{47,86}$$

$$\text{Valor} = 1,2$$

$$\frac{1}{J} = \delta = 256$$

$\eta_0 = \text{Rendimiento de la helice en aguas libre}$

$$\eta_0 = 0,523$$

$$\frac{P}{D} = 0,68$$

La hélice trabaja atrás del casco, por lo tanto, se reduce un 5%

$$D = 1,079 \text{ m}$$

$$P = 0,734 \text{ m}$$

5.2.7 Estudio de la cavitación

Presión estática

$$P_o = P_A + \rho * g * h$$

$$P_A: 10332,27 \frac{kg}{m^2}$$

$$\rho: 1025 \frac{kg}{m^3}$$

$$g: 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$h: 0,76m$$

$$P_o = 18195,48 \frac{kg}{m^2}$$

Empuje de la hélice

$$T = \frac{THP}{V_A}$$

$$T = 13,8 \text{ kN}$$

$$THP = DHP * \eta_0$$

$$THP = 43,45 \text{ kW}$$

Para evitar la cavitación de la hélice es necesario un valor mínimo de la relación.

$$A_E/A_0 = \frac{(1,3 + 0,3Z)T}{(P_o - P_v)D^2} + K$$

$$Z: 4$$

$$P_o: 17974,26 \frac{kg}{m^2}$$

$$P_v: 238,39 \frac{kg}{m^2}$$

$$D: 1,079 \text{ m}$$

$$K: 0,2 \text{ (un solo eje)}$$

$$A_E/A_0 = 0,2016$$

5.2.8 Dimensiones generales de la hélice

Relacion $A_E/A_0 = 0,55$

Diámetro $D = 1,079$ m

Relación $\frac{P}{D} = 0,93$

Paso $P = 0,734$

Rendimiento $\eta_o = 0,523$

Área del disco $A_0 = 0,915$ m²

Área expandida $A_E = 0,503$ m²

5.2.9 Geometría de las palas

5.2.9.1 Paso de la pala

Para las hélices de 4 palas de la serie B de Wageningen.

secciones	Paso
1.0R	734,202443
0.9R	734,202443
0.8R	734,202443
0.7R	734,202443
0.6R	734,202443
0.5R	728,328823
0.4R	697,492321
0.3R	651,237567
0.2R	603,514408

5.2.9.2 Dimensión de la cuerda

Medidas de la cuerda en cada una de las secciones de la pala.

$$c(r) = \frac{K(r) * D * \frac{A_E}{A_O}}{Z}$$

r/R	K (r)	Cuerdac(r) (mm)
0,2	1,6	237,5360845
0,3	1,832	271,9788167
0,4	2,023	300,3346868
0,5	2,163	321,1190942
0,6	2,243	332,9958984
0,7	2,247	333,5897386
0,8	2,132	316,5168325
0,85	2,005	297,6624058
0,9	1,798	266,9311749
0,95	1,434	212,8917157
0,975	1,22	181,1212644

5.2.9.3 Espesor máximo

Espesor máximo en cada una de las secciones de la pala.

r/R	A_r	B_r	t_{max} (mm)
1	0,003	0	3,2391284
0,9	0,0092	0,0005	7,7739082
0,8	0,0154	0,001	12,3086880
0,7	0,0216	0,0015	16,8434678
0,6	0,0278	0,002	21,3782476
0,5	0,034	0,0025	25,9130274
0,4	0,0402	0,003	30,4478072
0,3	0,0464	0,0035	34,9825870
0,2	0,0526	0,004	39,5173668

5.2.9.4 los valores I_e y X_e de la serie B de Wageningen

r/R	le/c	Xe/c
0,2	0,617	0,350
0,3	0,613	0,350
0,4	0,601	0,351
0,5	0,586	0,355
0,6	0,561	0,389
0,7	0,524	0,443
0,8	0,463	0,479
0,9	0,351	0,500
1	0	0,000

5.2.9.5 Valores de los bordes de salida y entrada

r/R	t _{le} /t _{max}	t _{te} /t _{max}	borde de entrada	borde de salida(mm)
0,2	0,120	0,057	4,7420840	2,25248991
0,3	0,124	0,068	4,3378408	2,37881591
0,4	0,127	0,075	3,8668715	2,28358554
0,5	0,130	0,085	3,3686936	2,20260733
0,6	0,134	0,100	2,8646852	2,13782476
0,7	0,143	0,120	2,4086159	2,02121614
0,8	0,170	0,152	2,0924770	1,87092058
0,9	0,245	0,245	1,9046075	1,90460751
1	0	0	0,0000000	0

Valores de la cara de succión

Para $P > 0$

succion $P > 0$										
r/R	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,2	38,8183836	36,6623161	34,9618047	32,84399	30,3714674	27,2138717	25,2768885	22,8008884	19,9771354	17,1220847
0,3	34,2992091	32,1264966	30,7382896	28,9241207	26,6931831	23,7083849	21,8359909	19,6203757	16,8286393	13,2953001
0,4	29,7168315	27,6993384	26,2878908	24,5521557	22,3326475	19,4353255	17,6038991	15,35781	12,9097058	9,66417358
0,5	25,2592417	23,388062	22,0421653	20,3039971	18,0563271	15,2044688	13,4302298	11,3854587	9,06790115	6,24985943
0,6	20,8043272	19,1381065	17,8421572	16,1944501	14,083904	11,4290592	9,89428483	8,02441503	5,9268284	3,57190326
0,7	16,3743351	14,9091977	13,7399746	12,2820546	10,5137852	8,38464459	7,17211703	5,78204079	4,19853753	2,4086159
0,8	11,9357963	10,7966888	9,8925541	8,77898709	7,47131208	5,93888042	5,08071869	4,16432456	3,16517912	2,09247696
0,9	7,53913619	6,83482011	6,30658304	5,66095996	4,89795087	4,01755577	3,53333846	3,01977465	2,47686433	1,90460751
1	3,10956329	2,72086788	2,42934632	2,07304219	1,6519555	1,16608623	0,89885814	0,6154344	0,31581502	0

Para $P < 0$

P < 0										
r/R	-1	-0,95	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0
0,2	12,7835441	35,9026737	16,6180999	20,9855435	25,0026972	28,5205016	31,5985804	34,2108483	38,0938485	39,5173668
0,3	9,89724552	11,6382869	13,6597207	17,6797657	21,3802937	24,608067	27,5195838	29,9844289	33,7306022	34,982587
0,4	6,41527686	8,2121542	10,118872	13,9154091	17,59084	20,7790299	23,8038673	26,1077006	29,4479773	30,4478072
0,5	3,44029126	5,45093488	7,40704453	11,1153542	14,6268674	17,5645885	20,2035582	22,2521385	25,0570812	25,9130274
0,6	2,13782476	3,99452556	5,72616362	9,03551635	11,9696808	14,480556	16,6258632	18,349805	20,6336432	21,3782476
0,7	2,02121614	3,46638567	4,83744395	7,35722674	9,58056449	11,5074572	13,1379049	14,4719075	16,2505777	16,8434678
0,8	1,87092058	2,8886029	3,85409639	5,62851685	7,19418197	8,55109174	9,69924615	10,6386452	11,8911773	12,308688
0,9	1,90460751	2,47686433	3,01977465	4,01755577	4,89795087	5,66095996	6,30658304	6,83482011	7,53913619	7,77390822
1	0	0,31581502	0,6154344	1,16608623	1,6519555	2,07304219	2,42934632	2,72086788	3,10956329	3,23912842

5.2.9.7 Ángulo de ataque

r/R	θ
0,2	47,2621336
0,3	35,8105392
0,4	28,4190082
0,5	23,4078562
0,6	19,8369700
0,7	17,1824099
0,8	15,1396581
0,9	13,5228613
1	12,2133042

5.2.10 Dimensiones del núcleo

5.2.10.1 Diámetro del núcleo

Para la serie B el diámetro del núcleo de la hélice de 4 palas es:

$$Z = 4,5 \quad \frac{d}{D} = 0,167$$

$$d = 180,3 \text{ mm}$$

5.2.10.2 Longitud del núcleo

$$l = 201,6 \text{ m}$$

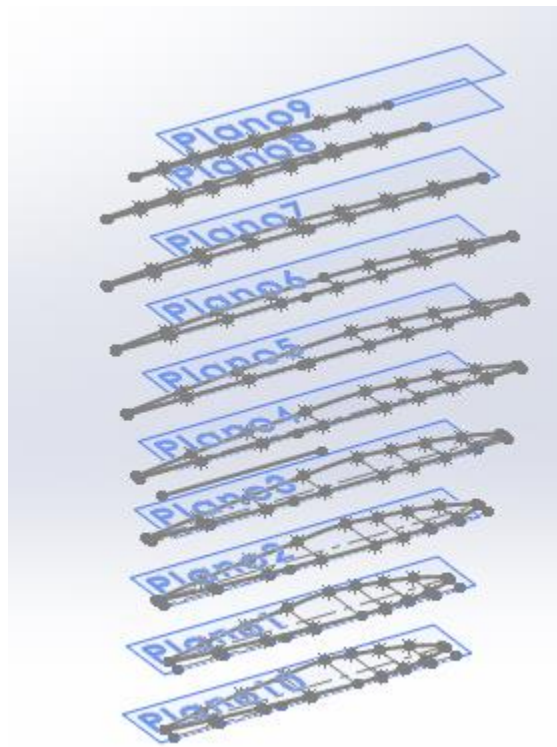


Figura 44. Secciones de la pala proyectada en software SolidWorks

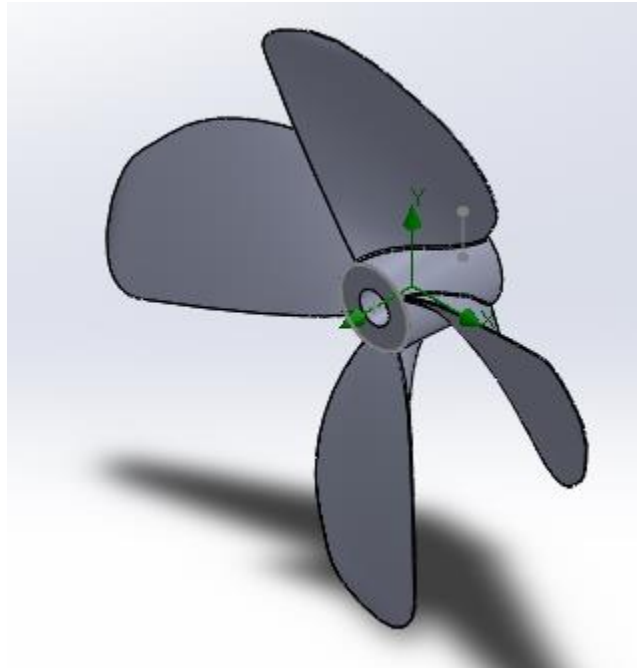


Figura 45. hélice modelada en SolidWorks

5.2.11 Análisis dinámico de la embarcación

5.2.11.1 Resistencia al avance de la embarcación

El método empírico de Holtrop-Mennen expone el cálculo de la resistencia al avance a través de la suma de las resistencias.

$$R_{total} = R_F(1 + K_1) + R_W + R_{ap} + R_B + R_{TR} + R_A$$

a) Resistencia al avance de Fricción

Número de Reynolds (Rn)

$$R_n = \frac{V * L}{\nu} = 40243147$$

$$V = 4,197 \text{ m/s}$$

$$L = 9,45 \text{ m}$$

$$\nu = 1,0038 * 10^{-6} \text{ a } 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

El número de Reynolds es mayor a $3 * 10^6$ por lo tanto se aplicará el régimen turbulento.

Para el régimen turbulento se aplica la siguiente expresión matemática:

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} R_n - 2)^2} = 0,002387$$

Ecuación de la resistencia de fricción

$$R_f = \frac{1}{2} * \rho * S * C_F * V^2 = 382 \text{ N}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$S = 17,715 \text{ m}^2$$

$$V = 4,197 \text{ m/s}$$

$$S = \left(3,4 * \nabla^{\frac{1}{3}} + 0,5L_{pp} \right) * \nabla^{1/3}$$

$$\nabla = 38,11 \text{ m}^3$$

$$L_{pp} = 9,7 \text{ m}$$

Factor forma

$$1 + K_1 = C_{13} * \{0,93 + C_{12} \left(\frac{B}{L_R} \right)^{0,92497} * (0,95 - C_p)^{-0,521448} * (1 - C_p + 0,0225 * lcb)^{0,6906}\}$$

$$1 + K_1 = 2,607$$

$$L_R = 1,98 \text{ m}$$

$$C_{stern} = 10$$

$$C_{12} = 0,5978$$

$$C_{13} = 1,03$$

$$L_R = L_f * \left[1 - C_p + 0,06 * C_p * \left(\frac{lcb}{4 * C_p - 1} \right) \right]$$

$$L_f = 9,623 \text{ m}$$

$$C_p = 0,8$$

$$Lcb = 0,2835 \text{ m}$$

$$C_{12} = \left(\frac{T}{L_f} \right)^{0,2228446} \text{ cuando } \frac{T}{L_f} > 0,05$$

$$T = 0,957 \text{ m}$$

$$C_{13} = 1 + 0,003 * C_{stern}$$

$$C_{stern} = 10$$

b) Resistencia al avance por formación de olas

Numero de fraude

$$f_n = \frac{V}{\sqrt{g * L}} = 0,398$$

$$V = 4,187 \text{ m/s}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$L = 11,3 \text{ m}$$

Resistencia por formación de ola

$$R_w = C_1 C_2 C_5 * \nabla * \rho * g * \exp(m_1 * f_n^d + m_4 * \cos(\lambda * f_n^{-2}))$$

$$R_w = 3792,64N$$

$$C_1 = 45,49$$

$$C_7 = 0,5 - 0,0625 * \left(\frac{L}{B}\right) \text{ cuando } \frac{B}{L} > 0,25$$

$$L = 11,3$$

$$B = 4,6$$

$$C_7 = 0,346$$

$$i_E = 1 + 89 * \exp\left(-\left(\frac{L_F}{B}\right)^{0,80856}\right) * (1 - C_F)^{0,30484} * (1 - C_P - 0,0225lcb)^{0,6367} * \left(\frac{L_R}{B}\right)^{0,34574} * \left(\frac{100\nabla}{L_F^3}\right)^{0,16302}$$

$$L_F = 9,62$$

$$C_P = 0,8$$

$$C_F = 0,0028$$

$$\nabla = 38,6117 \text{ m}^3$$

$$i_E = 60,89$$

$$C_7 = 0,346$$

La embarcación de pesca que se está estudiando no tiene bulbo , por lo tanto no se aplicara los constantes C_2 , C_3 y C_5 .

$$m_1 = -3,474$$

$$C_{16} = 1,165$$

$$m_4 = -0,68$$

$$C_{15} = -1,694$$

$$d = -0,9$$

$$\lambda = 1,083$$

c) Resistencia por los apéndices

$$R_{ap} = 10\% * R_T$$

$$R_{ap} = 825,15N$$

d) Resistencia debida a la parte de popa sumergida

$$R_{TR} = 0,5 * \rho * V^2 * A_T * C_6$$

$$R_{TR} = 3114,57 N$$

$$C_6 = 0,132$$

$$F_{nt} = 1,709$$

$$A_T = 2,62 \text{ m}^2$$

$$C_{WP} = 0,852$$

$$g = 9,81$$

e) Resistencia debida a la correlación modelo-buque

Esta asignación de correlación, que está dada por la formulación como se muestra a continuación (en Holtrop-Mennen):

$$R_A = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * S * C_A$$

$$R_A = 964,37 \text{ N}$$

$$\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 4,19 \text{ m/s}$$

$$C_B = 0,795$$

$$C_M = 0,993$$

$$S = 17,72 \text{ m}^2$$

$$C_A = (0,105 * k_s^{\frac{1}{3}} - 0,005579) / L^{1/3}$$

$$C_A = 0,002$$

$$k_s: 0,0009$$

f) Resistencia al avance debida al aire

$$R_{Air} = K_a * S_{om} * (V + V_v * \cos\alpha)^2$$

$$R_{Air} = 23,064 \text{ N}$$

$$K_a = 0,032$$

$$S_{om} = 13,27 \text{ m}^2$$

$$V_v = 3,2 \text{ m/s}$$

$$\alpha = 0$$

5.2.11.2 La potencia consumida por la hélice

$$N_h = \left(\frac{C_1}{0.955 * 10^4} \right) * n_h^3$$

$$N_h = 77,602 \text{ kW}$$

$$C_1 = 0,009$$

$$n_h = 420,17$$

5.2.11.3 La eficiencia a de la propulsión

$$n_p = n_o * n_{rr} * n_H * n_m$$

$$n_p = 0,579$$

$$n_m = 0,96$$

$$n_o = 0,52$$

Esta eficiencia de la helice se obtuvo a traves del diagrama (figura)

$$n_{rr} = 1,018$$

$$n_H = 1,133$$

5.2.11.4 Empuje necesario para vencer la resistencia

$$T = \frac{R_{total}}{1 - t}$$

$$T = 10,68 \text{ kN}$$

La resistencia total de la embarcación (R_{total}) es igual : 9076,69 N=9,09 k N

$$t = 0,15$$

5.3 Realizar los análisis estáticos en la hélice de la embarcación usando fibra S –resina epoxi usando software CAD.

Para realizar el análisis estático de la hélice marina se realizó el análisis de simulación de flujos a través del software SolidWorks para encontrar algunos parámetros que afectan el funcionamiento de hélice

5.3.1 Simulación de flujo

➤ **Condiciones iniciales para realizar la simulación:**

- Este análisis se realizó de tipo interno
- El eje de referencia como eje de rotación es el eje Z
- El fluido seleccionado es agua y es de tipo de flujo laminar y turbulento.
- Las condiciones térmicas son adiabáticas y de rugosidad 0 micrómetros (superficie de la hélice)
- La presión tomada es de 101,325 kPa y la temperatura de 293,2 K
- La velocidad de entrada del fluido en este análisis es de 0 m/s.
- La rotación de entrada es de 420 rpm en el eje Z con sentido horario.
- El número de iteraciones es de 650

➤ **Resultados:**

Después de realizar la simulación de flujos a través del software SolidWorks se obtuvo los valores de velocidad de salida axial del fluido de 12,14 m/s, la presión total máxima de 186,31 kPa, una fuerza de empuje de 13,47 kN.

Se puede verificar que el empuje obtenido a través de la simulación de flujo en SolidWorks es muy cercano de a lo obtenido analíticamente.

La presión obtenida del CFD (Computational Fluid Dynamics) se distribuye por igual en la cara delantera y la cara posterior de la pala de la hélice El empuje y el par de la hélice se produce por la diferencia de presión entre las caras frontal y posterior de las palas.

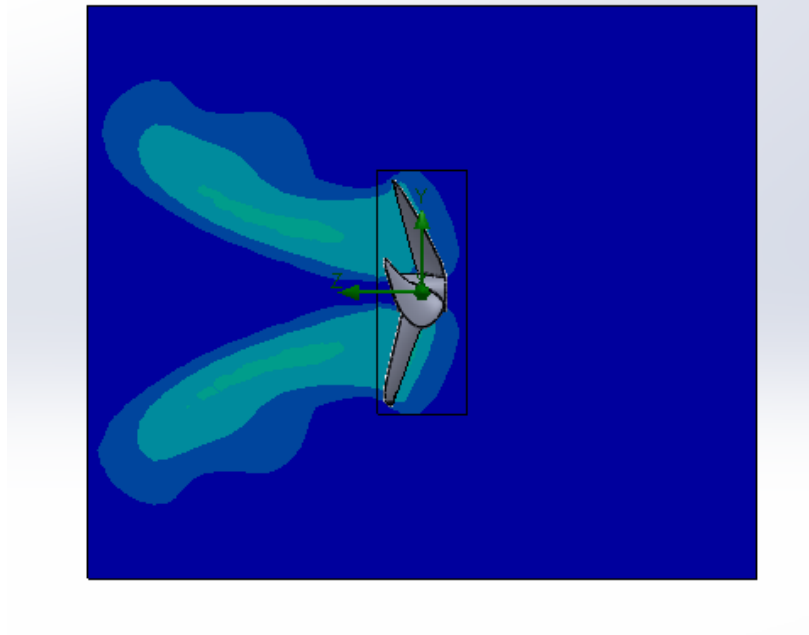


Figura 46. velocidad máxima global de la simulación de flujo

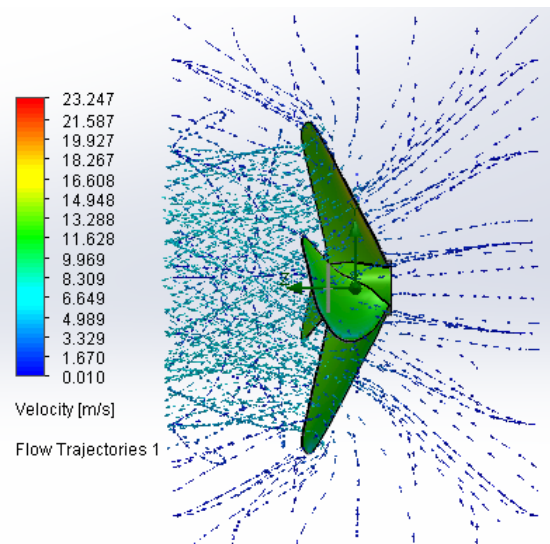


Figura 47. Velocidad de fluido generado por la hélice

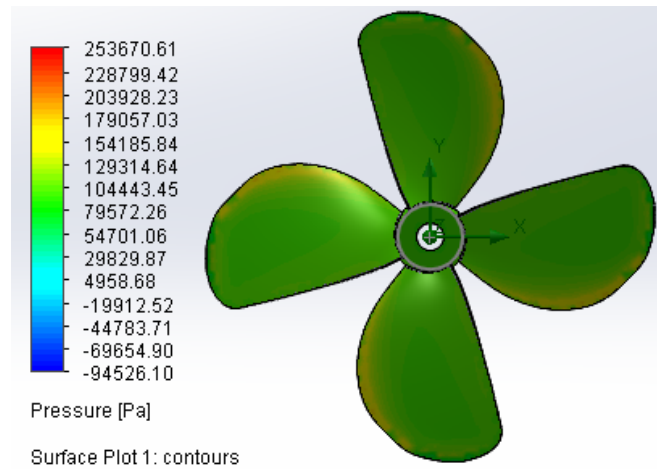


Figura 48. Presión global en la cara de presión de la hélice

Se puede observar que las máximas presiones que soporta la hélice son en el borde de entrada en las cuatro palas.

Los resultados generales del análisis de simulación de flujo se presentan en el anexo N-3

5.3.2 Análisis estático de la hélice usando como material GFRE tipo S

Las propiedades mecánicas del material GFRE tipo S con resina epoxi de la tabla 17 son usadas para realizar el análisis estático.

Los valores de los parámetros que nos proporciona el análisis de simulación de flujo, como la presión que va estar sometida la hélice son ingresados al software SolidWorks para realizar el análisis estático de la hélice usando como material GFRE tipo S.

En el software se creó una carpeta con las propiedades mecánicas del material compuesto GFRE tipo S y se le aplicó al elemento de estudio de una manera ortotrópica, ya que los valores de las propiedades no van ser iguales en los tres ejes. Las propiedades de los materiales compuestos son diferentes en diferentes direcciones, por lo tanto, el análisis estático se realizó a usando un modelo ortotrópico.

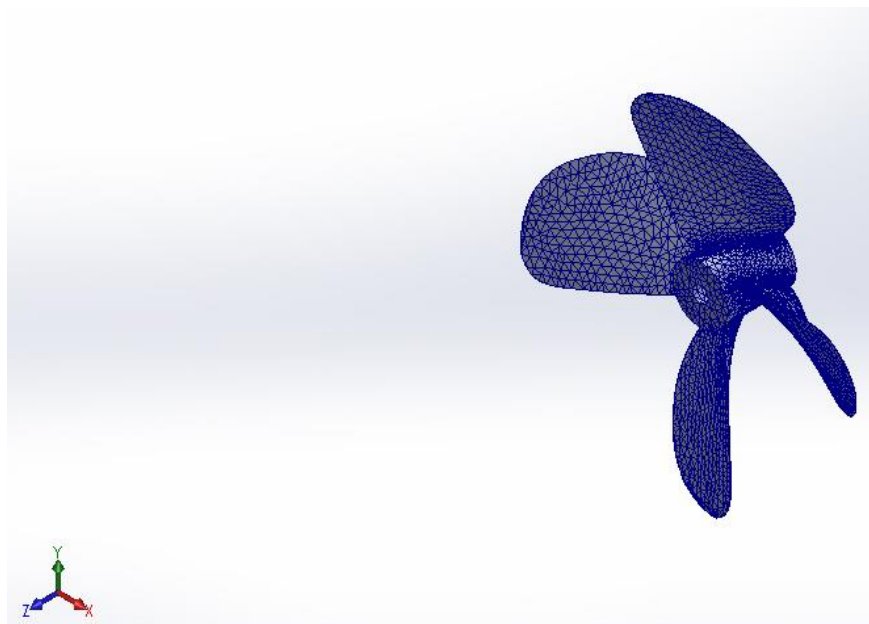


Figura 49. Mallado de la pieza de estudio

Se usó un mallado fino de tipo solida basada en la curvatura y una calidad de elementos cuadráticos de alto orden y un número total de elementos de 172229. Anexo N 4

Se agrega los efectos de la presión del fluido que se obtuvo en simulación de flujo de SolidWorks

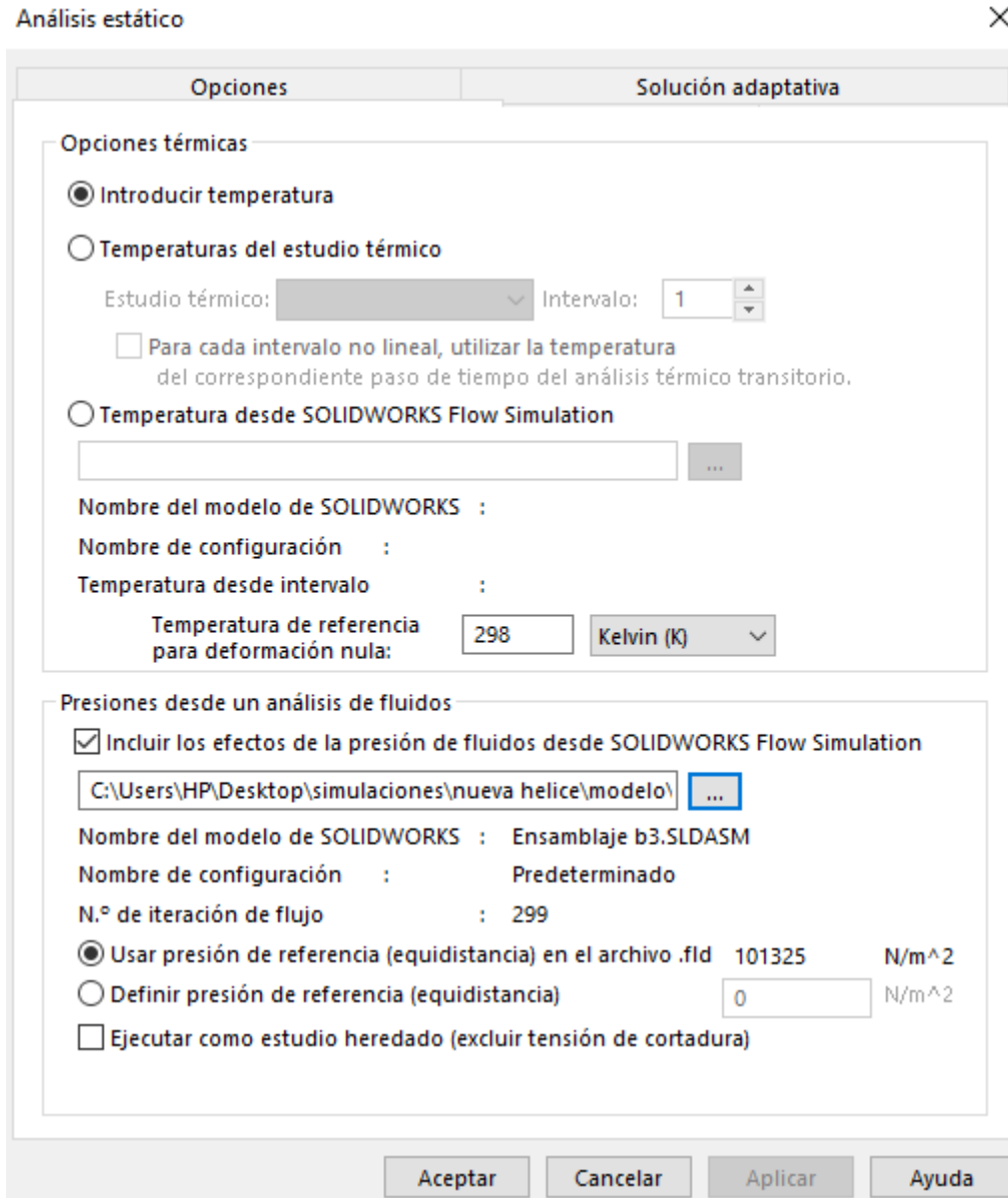


Figura 50. Importación de los valores de presión que está sometida la hélice

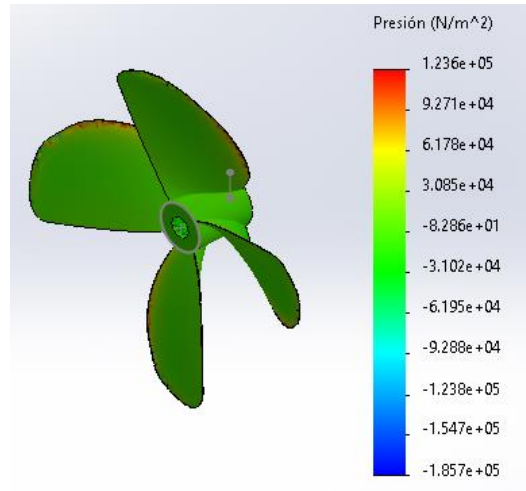


Figura 51. Presiones que va estar sometida la hélice en el análisis estático

TENSION NODAL

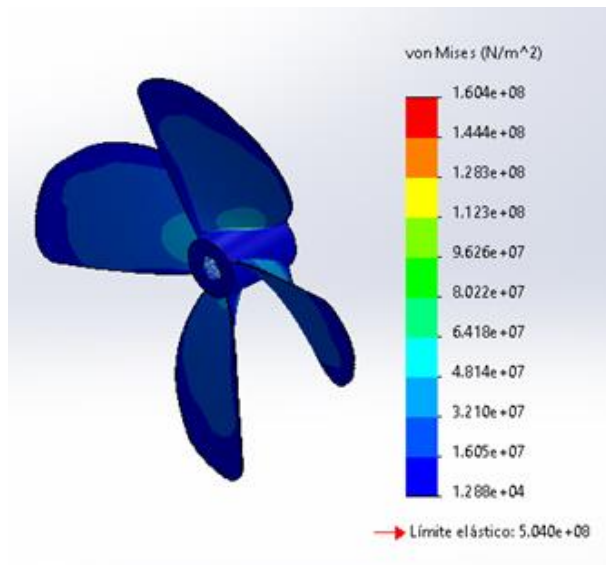


Figura 52. Resultados de tensión de la hélice usando el material GFRE tipo S

En la figura 52 se muestra la máxima tensión de 160,4 MPa y una tensión mínima de 21,8 kPa que la hélice experimenta, esta tensión no sobrepasa el límite elástico del material que es de 504 MPa.

DESPLAZAMIENTO

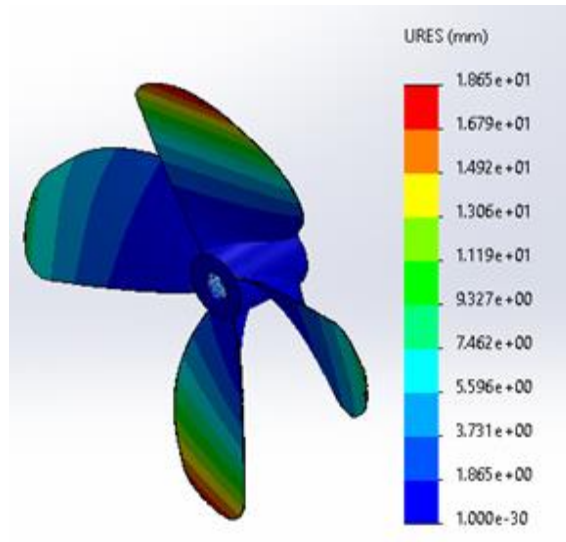


Figura 53. Resultados de desplazamiento de la hélice usando el material GFRE tipo S

En la imagen 53 se observa que el desplazamiento en la hélice aumenta a lo largo de la longitud de la pala.

DEFORMACION UNITARIA

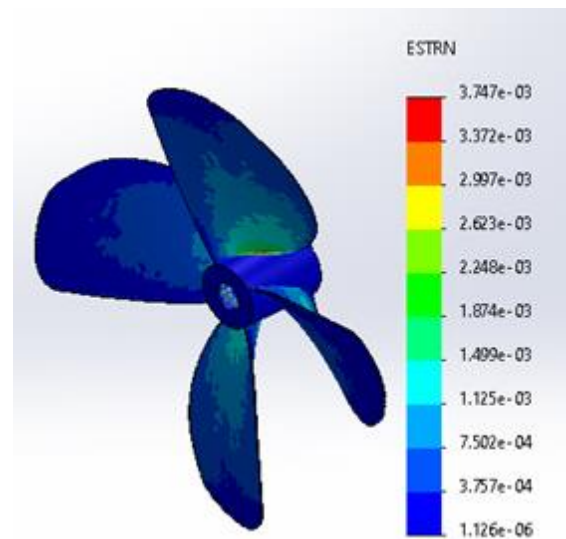


Figura 54. Resultados de deformación unitaria de la hélice usando el material GFRE tipo S

En la figura 54 se muestra que la máxima deformación unitaria en la hélice es de 0,00374 usando como material el material compuesto.

FACTOR DE SEGURIDAD

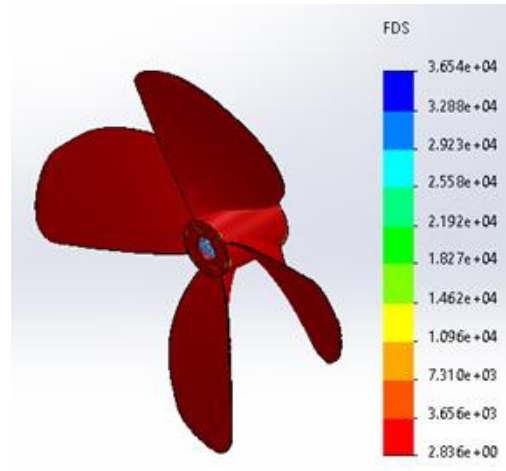


Figura 55. Resultados de factor de seguridad unitaria de la hélice usando el material GFRE tipo S

Para el cálculo del factor de seguridad se aplicó la tensión normal ya que los esfuerzos no son iguales en las diferentes direcciones. En la figura 55 se observa que el factor de seguridad mínimo en la superficie de la hélice se ubica en el área donde se une la pala con el núcleo. El factor de seguridad mínimo en la pieza es de 2,83 y el máximo factor de seguridad es de 3654.

5.3.3 Análisis estático de la hélice usando como material bronce al manganeso

Tabla 19. Propiedades de material bronce al manganeso

PROPIEDADES	VALORES	UNIDADES
Módulo elástico	1.1*e ¹¹	Pa
Coefficiente de Poisson	0,37	
Módulo cortante	3,9e+10	Pa
Densidad de masa	8300	Kg/m ³
Límite de tracción	448,081	MPa
Límite elástico	206,807	MPa
Coefficiente de expansión térmica	2,2e-5	/K
Calor específico	380	J/(kg.K)

Para realizar el análisis estático se usó los valores de las presiones que va estar sometida la hélice que nos proporcionó el análisis de Simulación de flujo y las propiedades mecánicas del bronce manganeso de la tabla 19.

Para el mallado del análisis de la pieza se empleó un mallado solido con elementos cuadráticos

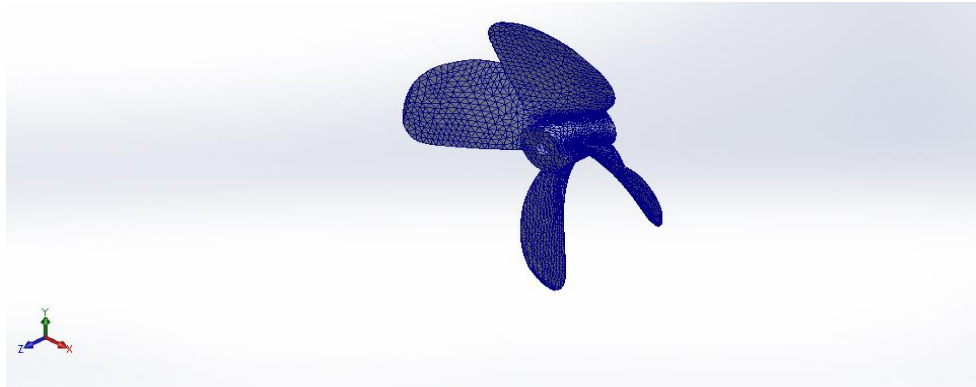


Figura 56. Mallado de la pieza de estudio

Para el análisis estático se usó un mallado fino de tipo solida basada en la curvatura y una calidad de elementos cuadráticos de alto orden y un número total de elementos de 172229. Anexo N 5

TENSION NODAL

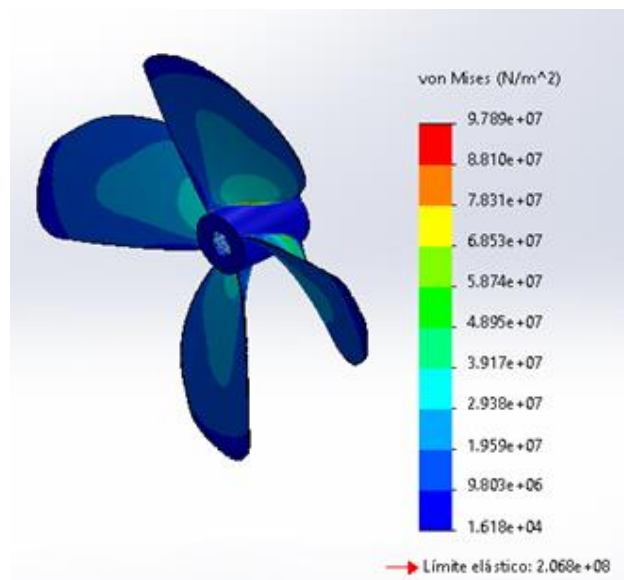


Figura 57. Resultados de tensión de la hélice usando bronce al magnesio

En la figura 57 se muestra la máxima tensión de 97,89 MPa que la hélice experimenta que está en la zona donde se une la pala con el núcleo y una tensión mínima de 16,18 kPa, esta tensión no sobrepasa el límite elástico del material que es bronce al magnesio.

DESPLAZAMIENTO

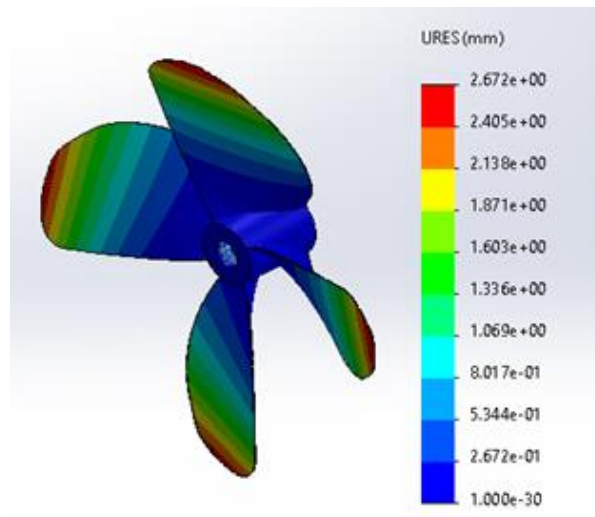


Figura 58. Resultados de desplazamiento de la hélice usando como material la aleación de bronce al magnesio.

En la figura 58 se observa que el desplazamiento en la hélice aumenta a lo largo de la longitud de la pala. El máximo desplazamiento es de 2,67 mm que se ubica en extremo de la pala.

DEFORMACION UNITARIA

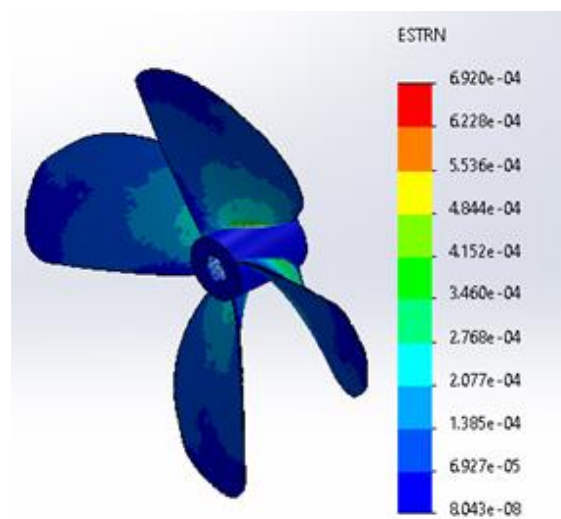


Figura 59. Resultados de deformación unitaria de la hélice usando la aleación de bronce al magnesio.

En la figura 59 se observa que la máxima deformación unitaria en la hélice es de 0,000598 usando la aleación de bronce al magnesio.

FACTOR DE SEGURIDAD

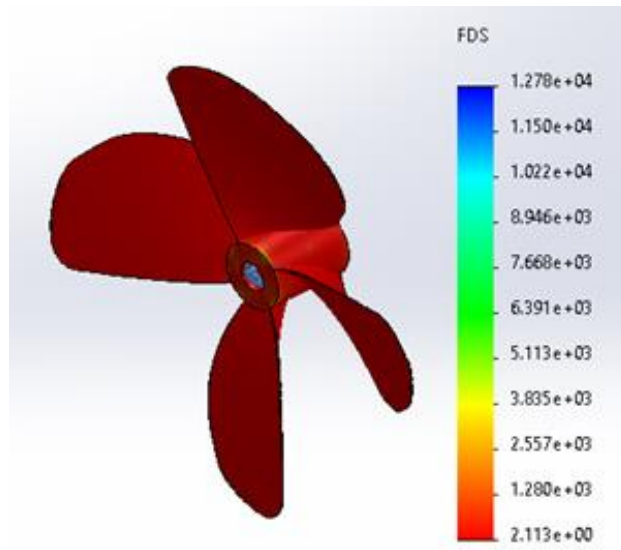


Figura 60. Resultados de factor de seguridad de la hélice usando la aleación de bronce al magnesio.

Para el cálculo de factor de seguridad se seleccionó Von Mises Max. En la imagen 58 se observa que la superficie que tiene un menor factor de seguridad es en la zona donde se une la pala con el núcleo. El factor de seguridad mínimo en la pieza es de 2,11 y el máximo factor de seguridad es de 1278.

5.4 Análisis de los resultados de los análisis estáticos de hélice de 4 palas de material GFRE tipo S y bronce al manganeso.

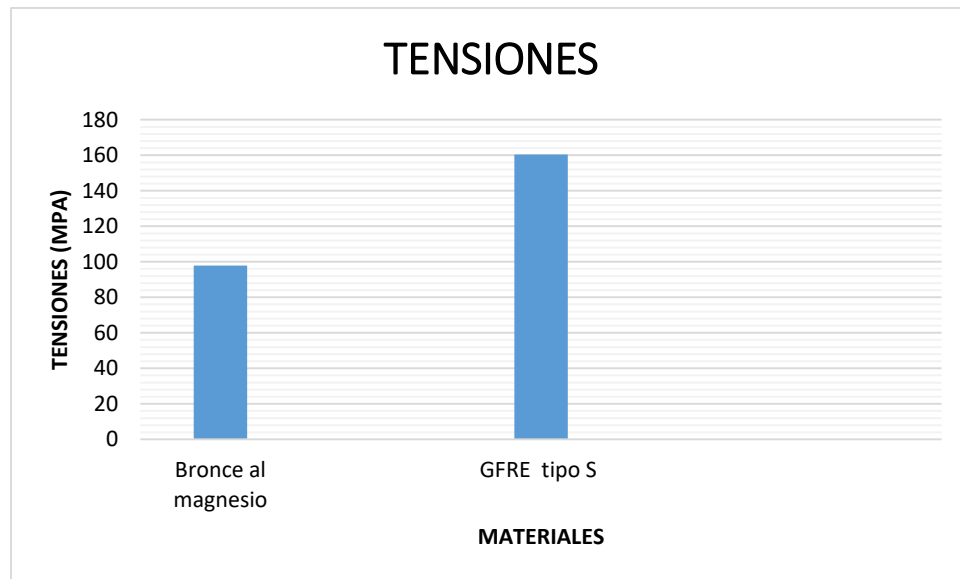


Figura 61. Comparación de las tensiones usando diferentes tipos de materiales

A través de la figura 61 nos muestra que la hélice con material GFRE tipo S soporta una mayor tensión comparado con la hélice de bronce al manganeso.

Esto acontece por que el material compuesto es menos rígido por su composición física y química que el material de bronce al magnesio, por lo tanto, va soportar una mayor tensión a lo largo de su superficie.

En la hélice de bronce al manganeso la tensión soportada no supera el límite elástico de 206,007 MPa y la hélice de material GFRE tipo S, la tensión no supera el límite elástico.

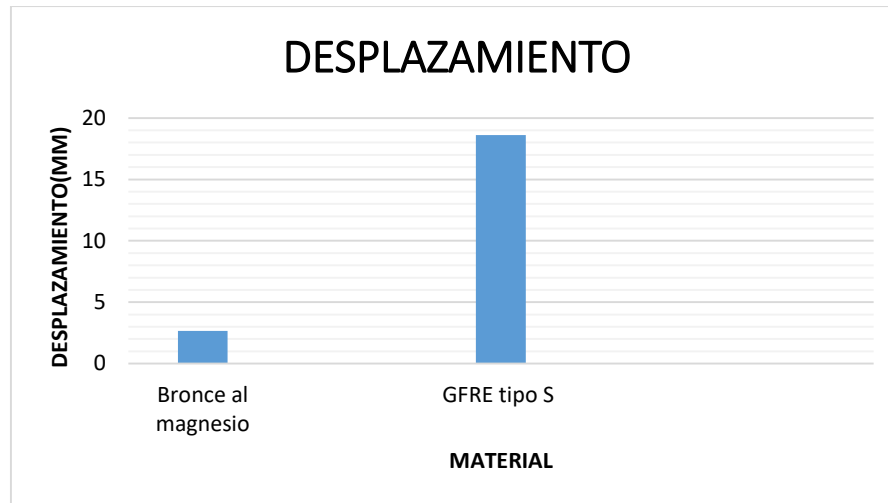


Figura 62. Comparación de los desplazamientos usando diferentes tipos de materiales

A través de la figura 62 se puede observar que existe una diferencia de desplazamiento entre los materiales, el GFRE tipo S con el material bronce al manganeso.

Los desplazamientos máximos de la hélice usando los dos materiales analizados se presentan en los extremos superiores de las palas, ya en esa parte de la hélice tiene el mínimo espesor de toda la pala. El material GFRE tipo S presenta un desplazamiento máximo de 18,6 mm esto indica que la hélice de material compuesto es menos rígida en comparación con la hélice de bronce al magnesio. Pero este resultado no indica que la hélice de material GFRE tipo S no pueda cumplir con la funcionalidad de generar empuje.

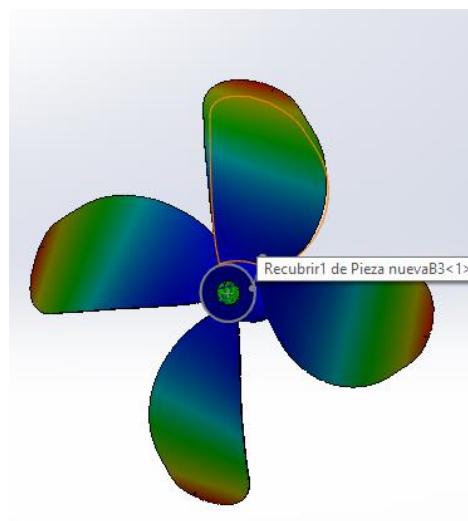


Figura 63. Desplazamiento de las palas de hélice de material GFRE tipo S debida por las presiones sometida.

En la figura se aprecia una deformación de la pala de material GFRE tipo S. pero esta no afecta en un alto grado el ángulo de ataque para su correcta función.

Los resultados obtenidos en esta investigación tienen una relación con los resultados obtenidos con el informe de "Memoria Final de Proyecto Helico", que utiliza la fibra de carbono como material de estudio. Por ejemplo, en el desplazamiento obtenido es de 12,1 mm y tiene una deformación longitudinal que no afecta al ángulo de ataque. En las palas de las hélices, el análisis de rigidez no es tan importante como lo es el análisis de resistencia. [28]

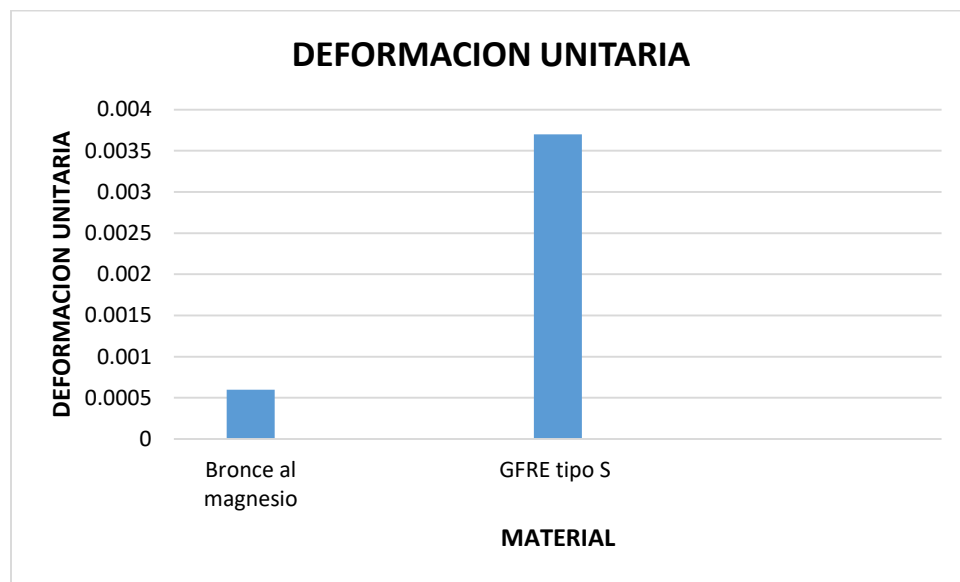


Figura 64. Comparación de las deformaciones unitarias usando diferentes tipos de materiales

La mayor deformación unitaria que es el cambio de dimensión por unidad de longitud lo presenta el material compuesto GFRE tipo S, eso se debe por su composición, la cual presenta una menor rigidez

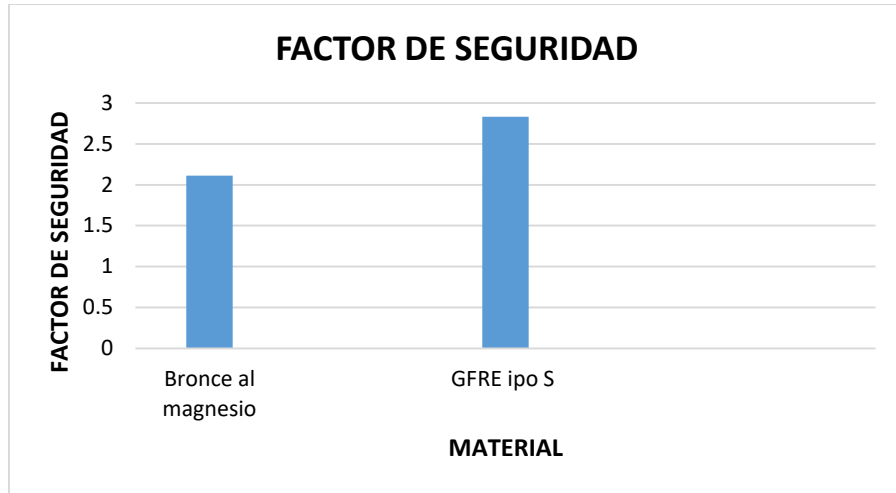


Figura 65. Comparación de factor de seguridad usando diferentes tipos de materiales

En la imagen 65 nos presenta que el material con mayor factor de seguridad es el material GFRE tipo S. Este material presenta un excelente factor de seguridad que es un 34,12 % mayor al material bronce al manganeso.

La hélice de material compuesto va poder soportar mucho mejor las cargas que va estar sometido a la máxima revoluciones en comparación con la hélice de bronce al magnesio, por lo tanto, la hélice de GFRE tipo S no va tener problemas para cumplir su función.

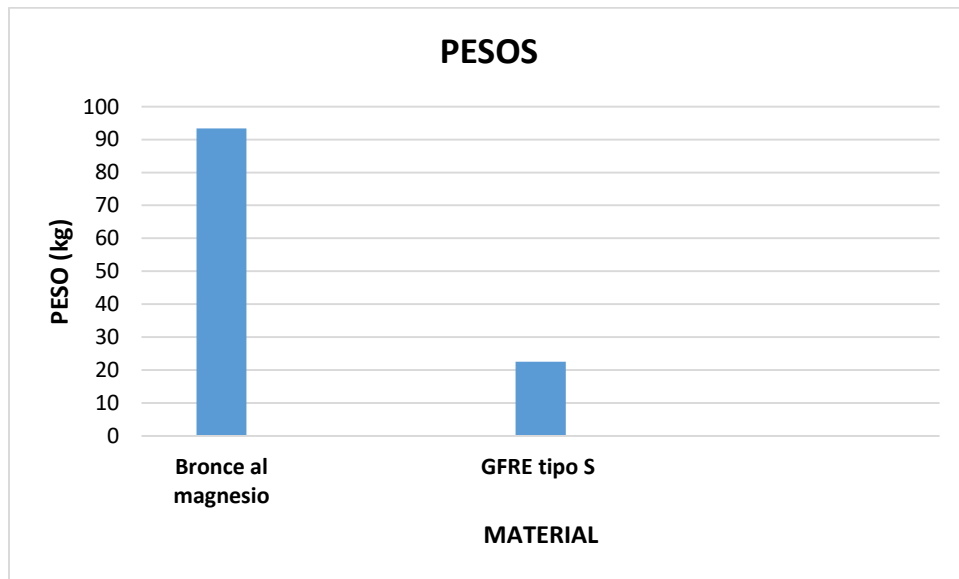


Figura 66. Comparación de los pesos de la hélice usando diferentes tipos de materiales

A través de la figura 66 se puede observar que la hélice con mayor masa es la hélice que tiene como material el bronce al manganeso que es de 93,4 kg. En cambio, la hélice que usa como material el GFRE tipo S tiene una masa de 22,5 kg. La diferencia de masa entre ambos materiales es de 70,9 kg que representa un 75,91 % de menos peso. Por lo tanto, la hélice de la embarcación de material compuesto va brindar menor resistencia al girar y va tener como consecuencia un menor uso de potencia brindada por el motor y esto va generar un menor consumo de combustible.

5.5 Evaluar económicamente del diseño de la hélice usando GFRE tipo S para una embarcación pesquera de 18 toneladas.

Para la realización de costo de la fabricación de la hélice se usó un proceso de manufactura.

Factores clave de los costes de fabricación: mano de obra, equipos, herramientas, automatización, NDT, garantía de calidad, volumen de producción, tasa de desechos, etc. [29]

Costo de fabricación:

$$\text{costo de fabricación} = \sum \text{costo recurrente} + \sum \text{costo no recurrente}$$

$$\text{costo recurrente} = \sum \text{costo de material} + \sum \text{coste laboral directo} + \sum \text{costo de energía}$$

costo no recurrente

$$= \sum \text{costo del equipo}$$

$$+ \sum \text{coste laboral indirecto}$$

$$+ \sum \text{costo de las herramientas} + \sum \text{costo de las instalaciones}$$

Costo de material

$$\text{costo de material} = \sum \text{costo de materia prima} + \sum \text{costo de material de apoyo}$$

$$\text{costo de materia prima} = \frac{\text{peso de la pieza} \times \text{precio unitario de material}}{(1 - \text{tasa de desecho de material}) \times (1 - \text{tasa de rechazo})}$$

$$\text{costo de material de apoyo} = \text{coste de materia prima} \times \left(\frac{\text{costo de material de apoyo}}{\text{coste de materia prima}} \right) \text{tasa}$$

Porcentajes de los costos de fabricación

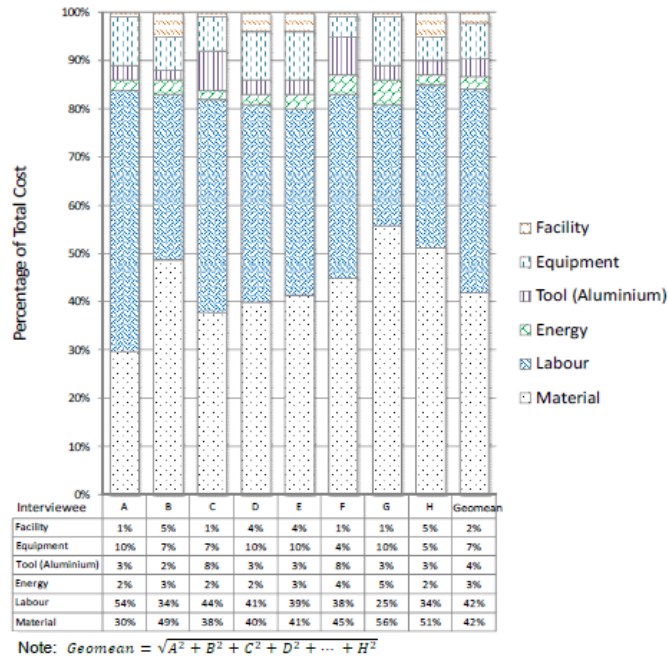


Figura 67. Desglose de los costes de fabricación de materiales compuestos de la industria

- Coste de los materiales: las materias primas y los materiales de apoyo suponen aproximadamente el 42% del coste de fabricación.
- El coste de los materiales de apoyo y el de las materias primas es del 3%.
- Los materiales de apoyo son los materiales consumibles durante la producción, que incluye principalmente materiales de embolsado al vacío, agentes desmoldantes y el disolvente.
- La tasa de desecho típica es del 15% para los materiales compuestos de carbono.
- La tasa de rechazo típica es del 5% para las piezas de composite fabricadas por laminación manual.
- Coste de la mano de obra: la mano de obra (directa e indirecta) supone alrededor del 42 por ciento del coste de fabricación.
- Coste de la energía: supone un 3% del coste total de fabricación.
- El utillaje de aluminio supone un 4% del coste total de coste total de fabricación.
- Coste de los equipos: los equipos suponen un 7% del coste total de coste de fabricación.
- Coste de las instalaciones: supone un 2% del coste total de fabricación. [29]

El costo del material = costo de material prima + costo del material de apoyo

$$\text{costo de materia prima} = \frac{\text{peso de la pieza} \times \text{precio unitario de material}}{(1 - \text{tasa de desecho de material}) \times (1 - \text{tasa de rechazo})}$$

$$\text{costo de material de apoyo} = \text{coste de material prima} \times \left(\frac{\text{costo de material de apoyo}}{\text{coste de material prima}} \right) \text{ tasa}$$

$$\text{costo de material de apoyo} = \text{costo de material de prima} \times \text{tasa}$$

Desarrollo:

El costo del material compuesto de fibra de vidrio tipo S con resina epoxi se obtuvo a través del Software CES Edupack

Costo: 82.45 soles/kg

$$\text{costo de materia prima} = \frac{22,5 \times 82,45}{(1 - 0,15) \times (1 - 0,05)}$$

$$\text{costo de materia prima} = 1855,136 \text{soles}$$

$$\text{costo de material de apoyo} = 1855,13 \times 0,03$$

$$\text{costo de material de apoyo} = 55,65 \text{soles}$$

$$\text{El costo del material} = 1855,13 + 55,65$$

$$\text{El costo del material} = 1910,78 \text{soles}$$

El costo del material prima y el costo de material de apoyo representa el 42% del costo total de la fabricación.

$$\text{costo de fabricación} = \frac{100\% \times \text{costo de material}}{42\%}$$

$$\text{costo de fabricación} = \frac{100\% \times 1910,78}{42\%}$$

$$\text{costo de fabricación} = 4549,48 \text{soles}$$

La vida útil de la hélice de material compuesto de la embarcación va aumentarse ya que este material tiene una mayor resistencia a la corrosión en comparación de otros materiales como el bronce al magnesio, por lo tanto, tendrá una vida de funcionamiento de un año y medio.

Tabla 20. Evaluación de costo en un periodo de un año y medio

Material	Costo (soles)	Vida útil (año)	Costo en 1 año(s/)
Hélice de bronce al magnesio	7410	1	7410
Hélice de GFRE tipo S	4549,48	1	4549,48

Beneficio en un periodo de un año es de 2860 soles.

Este beneficio económico solo está siendo evaluado para un periodo de un año, pero tiende a aumentar ya que el material GFRE tipo S tiene una mayor resistencia a la corrosión en comparación con otros materiales metálicos.

6 CONCLUSIONES

- Para el diseño de la hélice para la embarcación de pesca artesanal de 18 ton se realizó mediante el uso de la serie de hélices B de Wageningen, porque este tipo de serie presenta una buena eficiencia y es una de las más usadas en la construcción de hélices. El dimensionamiento de la hélice fue correcto ya que el empuje que es producido de 13,47 kN es mayor que el empuje necesario para mover la embarcación pesquera que es de 10,6 k N.
- El material compuesto está conformado por un 60% de fibra de vidrio tipo S y un 40% de resina epoxi, presenta muchas ventajas mecánicas y químicas frente a otros materiales que se usan para la fabricación de hélices. Entre las principales propiedades que tiene este material, su densidad es de 2 kg/cm^3 , un buen módulo de Young, es un material anticorrosivo y tiene una durabilidad excelente en agua salada.
- A través del análisis estático en el software SolidWorks de la hélice usando los dos materiales de estudio se obtuvieron los resultados de esfuerzo, desplazamiento y factor de seguridad. La hélice de material GFRE tipo S presenta una tensión máxima de un 63 % mayor respecto al bronce al magnesio. El mayor desplazamiento está presente en la hélice de material compuesto que se ubica en el extremo superior de las palas es de 18,6 mm. La hélice con material GFRE tipo S tiene un factor de seguridad de 43,12 % mayor y un peso de 75,9 % menor respecto al bronce al magnesio.
- La hélice de material compuesto soporta una mayor tensión en comparación con la hélice de bronce magnesio, pero no supera el límite elástico, por lo tanto, no va presentar problemas de resistencia mecánica. La deformación máxima entre los dos tipos de materiales estudiados lo tiene el material GFRE tipo S, pero esta deformación no afecta en un grado importante al ángulo de ataque de la pala, por lo tanto, es aceptable el uso de este material para la fabricación de hélices marinas.
- El coste de la fabricación de la hélice de GFRE tipo S es un 38,59 % menor a una hélice de bronce. los costos más elevados son los materiales y la mano de obra.

7 RECOMENDACIONES

- Debe realizarse un modelo físico de la hélice usando el material GFRE tipo S y colocarlo en funcionamiento en una embarcación pesquera para tener información sobre el comportamiento en un estado real.
- Realizar otros análisis usando el material compuesto, pero con otros porcentajes de matriz (resina epoxi) y refuerzo (fibra de vidrio tipo S) para saber cómo es el comportamiento de este material y tener un porcentaje óptimo para la fabricación.

8 BIOGRAFÍA

- [1] R. H. Zurita, "El Sistema de Propulsivo del Buque:Las Hélices Marinas y el Fenómeno de la Cavitación," Universitat Politècnica de Catalunya , Brcelona , 2013.
- [2] T. Stoye, "Propeller Design and Propulsion Concepts for Ship Operation in Off-Design Conditions," Flensburger Schiffbau-Gesellschaft, Flensburg, 2011.
- [3] M. W.Yehia, "Practical Considerations for Marine Propeller Sizing," Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport – All Rights Reserved., Port Said, 2013.
- [4] d. A. R. B. C. M. R. D. Harsha Vardhan, "A Review On Materials Used For Marine Propellers," *Science Direct*, vol. 18, no. 7, pp. 4482-4490, 2019.
- [5] J.Dulce, "Consideraciones de diseño para la reduccion de la vibracion en lineas de ejes de grandes buques", Cartagena: Universidad Politècnica de Cartagena.
- [6] S. R. y. D. Reddy, "Design, Fabrication and Analysis of Composite Marine Propeller," *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, vol. 3, pp. 238-245, 2015.
- [7] Y.-J. L. y. C.-S. H. Ching-Chieh Lin, "Optimization and experiment of composite marine propellers," *Composite Structures*, vol. 89, pp. 206-215, 2009.
- [8] J. H. J. H. P. Z. H. H. M.-C. S. y. B.-J. C. Hyoungsuk Lee1, "A Design Concept of Composite Marine Propeller for Long Stroke Slow Speed Main Engine," *Fifth International Symposium on Marine Propulsors*, vol. 17, 2017.
- [9] E. Lekuona, "Memoria Final Proyecto Helico," IDEC, 2008.
- [10] D. Yebra, "Estudio y diseño de una hélice para el yate Viudes 45," Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2018.
- [11] P. Náutico, "Panorama Náutico.com," [Online]. Available: <https://www.panoramanautico.com/helice-de-paso-controlable-de-cinco-palas-man-alpha/>. [Accessed 4 2021].

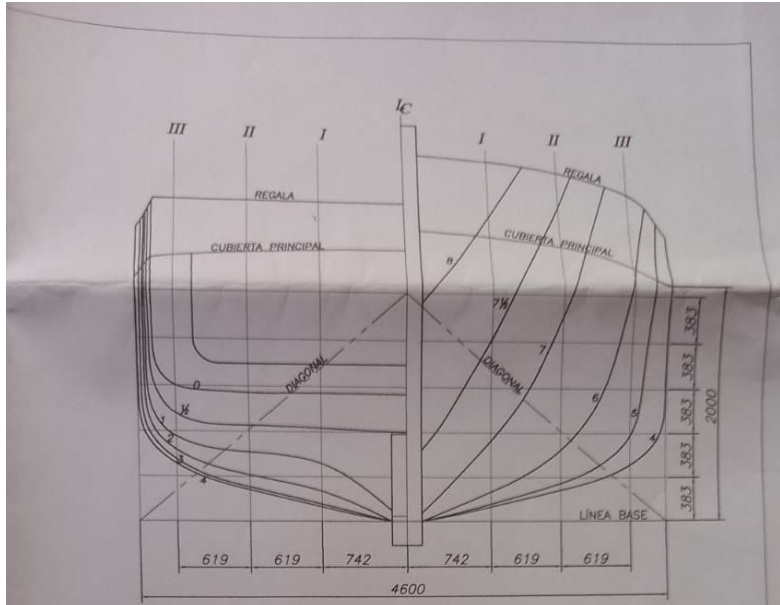
- [12] L. E. Fernández, "Dimensionamiento de una helice para un buque tanque (7860 kW) utilizando la serie B de Wageningen calculada por expresiones polinomicas y calculo dimensional," Universidad de Cantabria, Cantabria, 2013.
- [13] E. V. Lewis, Principles of Naval Architecture, Jersey: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [14] J. A. R. VINCES, "MODELO DE SIMULACION PARA SELECCION DE LA HELICE MARINA DE UNA EMBARCACION PESQUERA ARTESANAL," PIURA, 2020.
- [15] K. B. Y. a. W. Y. Hau, "Fundamentals of Marine Propeller Analysis," *Journal of Applied Sciences*, vol. 14, no. 1078-1082, 2014.
- [16] J. Carlton, MARINE PROPELLERS AND PROPULSION, Elsevier Science, 2011.
- [17] I. F. Claramunt, "Estudio métodos de prediccion de resitencia al avance," Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunya , 2018.
- [18] theNavalArch, "the Naval Arch," [Online]. Available: <https://thenavalarch.com/how-to-use-empirical-formulas-to-estimate-the-resistance-of-a-ship/>. [Accessed 2021].
- [19] C. R. d. Mesas, "DISEÑO Y ESTUDIO DE CÁMARA DE MÁQUINAS: ATUNERO CONGELADOR AL CERCO," UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, BARCELONA, 2014.
- [20] Á. L. DOPICO, "BUQUE TANQUE VOLGA-DON MAX DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS Y QUIMIQUERO TIPO II," UNIVERSIDAD DA CORUÑA, LA CORUÑA, 2015.
- [21] J. H. C. SANDOVAL, "ANTEPROYECTO DE EMBARCACIÓN PARA SERVICIOS DE PRÁCTICOS," Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, 2015.
- [22] J. A. M. Majó, "Estudio Constitutivo de Materiales Compuestos Laminados Sometidos a Cargas Ciclicas," Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2003.
- [23] R. R. A. y. W. J. Wright, Ciencia e ingeniería de materiales, CENGAGE Learning, 2017.
- [24] B. N. a. L. C. YueWu, "Mechanical Performance and Parameter Sensitivity Analysis of 3D Braided Composites Joints," *Hindawi*, vol. 2014, p. 9, 2014.
- [25] Y. K. Boris Mahltig, Inorganic and Composite Fibers: Production, Properties, and Applications, Woodhead Publishing, 2018.

- [26] A. MATERIALS, "AZO MATERIALS," [Online]. Available: <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=769>. [Accessed JUNIO 2021].
- [27] H. A.Rasheed, Strengthening Design of Reinforced Concrete with FRP, Boca Raton: Engineering & Technology, Physical Sciences, 2014.
- [28] IDEC, "MEMORIA FINAL PROYECTO HELICO," 2008.
- [29] W. MA, "COST MODELLING FOR MANUFACTURING OF AEROSPACE COMPOSITES," CRANFIELD UNIVERSITY , CRANFIELD, 2011.
- [30] FAO, "Ahorro de combustible en pequeñas embarcaciones," Grimstad,NORUEGA , 2015.

9 ANEXOS

➤ Dimensiones de la embarcación pesquera de 18 ton





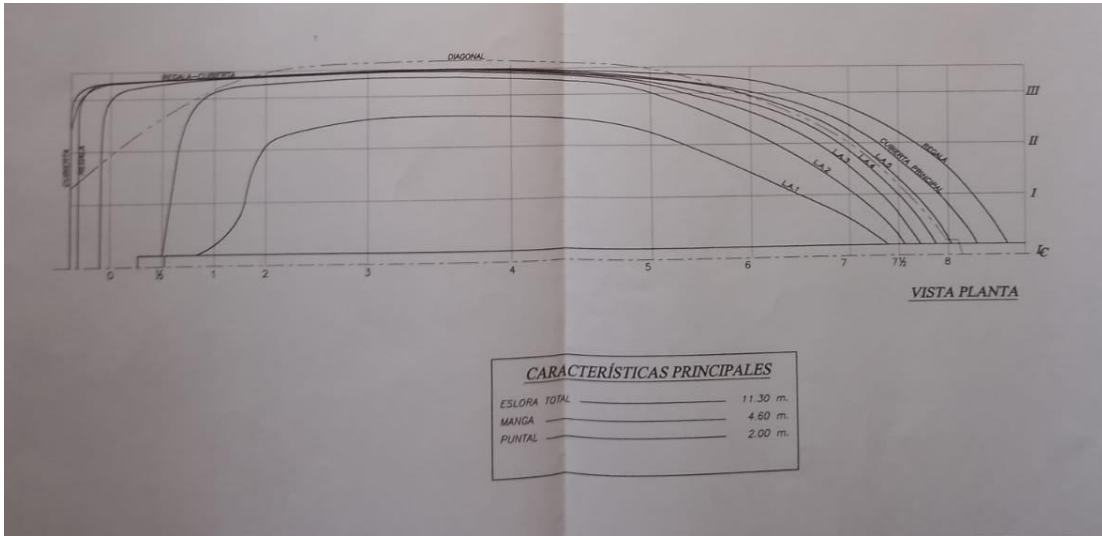
VISTA TRANSVERSAL

[Signature]
 Victor Nilo Acosta Pastor
 Ingeniero Naval
 CIP 40676

TABLA DE PUNTOS DE LAS ESTACIONES

EST.	MEDIAS MANGAS DESDE CRUJIA (mm)							ALTURAS DESDE LA LINEA BASE (mm)					EST.	
	REG.	CUB. CASCO	P.A. 5	P.A. 4	P.A. 3	P.A. 2	P.A. 1	REGA	CUB. CASCO	ALFE.	LONG. I	LONG. II		LONG. III
0	2476	2476	2476	2466	2248	---	---	3345	1686	1203	1311	1374	1376	0
1/2	2508	2508	2508	2501	2455	155	---	3276	1722	116	95	921	1096	1/2
1	2535	2035	2535	2525	2514	2341	275	3223	1757	100	100	864	1	
2	2556	2056	2556	2551	2542	2442	1601	3184	1408	100	100	728	2	
3	2691	2194	2591	2587	2584	2516	1927	3119	1808	100	100	631	3	
4	2702	2300	2612	2619	2616	2555	2053	3063	2000	0	142	308	576	4
5	2533	2208	2458	2416	2377	2273	1722	3190	1854	0	179	439	892	5
6	2434	2182	2222	2113	1994	1722	1161	3399	1821	0	303	740	2490	6
7	2046	1801	1632	1450	1235	907	512	3645	1734	85	832	2084	---	7
7 1/2	1698	1321	1058	835	573	270	---	3756	1705	734	1857	3389	---	7 1/2
8	1208	699	228	---	---	---	---	3859	1656	2205	3263	---	---	8

NOMBRE DEL ARMADOR :	E/P "ALEJANDRIA 2"	
WALTER VILCHEZ IMAN	PLANO :	
	LINEAS DE FORMA	
MATRICULA :	NUMERO DE PLANO :	REVISION :
	PT-LF-03-2018	01
REVISADO POR :	HOJAS DE	N° PROJ :
ING. V. ACOSTA	01 DE 01	PROY-0338
	FECHA :	ESCALA :
	DICIEMBRE-2018	1 : 40



➤ **Calculo del peso de la embarcación pesquera**

La estimación del peso de la embarcación "pesquera sin carga se realiza en base al número "CUNO". [30]

$$\text{cuno} = \text{eslora} * \text{manga} * \text{puntal}$$

$$\text{cuno} = 11,3 * 4,6 * 2 = 103,96 \text{ m}^3$$

Peso de la embarcación

$$\text{peso} = k * \text{CUNO}$$

Para las embarcaciones de madera la constante k es igual a 0.13

$$\text{peso} = 13,51 \text{ ton}$$

PESO DE LA EMBARCACION PESQUERA CON CARGA			
Desplazamiento en rosca (embarcación sin carga)			13 514 kg
Peso de la tripulación	6 tripulantes	1 tripulante = 80 kg	480 kg
Peso de agua dulce	400 galones	1l = 1 kg	1512 kg
Peso de combustible	800 galones	1l = 0,85 kg	2570,4
Peso de la carga			18 000
Peso del motor ,caja de transmisión y otros			3500
TOTAL			39,577 ton

➤ **Resultados del análisis de simulación de flujo a través del software SolidWorks**

Tabla de resultados del análisis Flow Simulation a través del software solidworks

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m ³]	997,54	997,58
Pressure [Pa]	-94526,10	253670,61
Temperature [K]	293,14	293,27
Temperature (Fluid) [K]	293,14	293,27
Velocity [m/s]	0,010	23,247
Velocity (X) [m/s]	-23,005	23,005
Velocity (Y) [m/s]	-23,005	23,005
Velocity (Z) [m/s]	-6,417	7,763
Velocity RRF [m/s]	0	24,287
Velocity RRF (X) [m/s]	-23,815	23,812
Velocity RRF (Y) [m/s]	-23,811	23,815
Velocity RRF (Z) [m/s]	-6,417	7,763
Vorticity [1/s]	4,32e-06	1084,79
Relative Pressure [Pa]	-195851,10	152345,61
Shear Stress [Pa]	0	1289,74
Bottleneck Number []	3,6405494e-17	1,0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m ² /K]	0	0
ShortCut Number []	3,1362153e-17	1,0000000
Surface Heat Flux [W/m ²]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m ²]	-6,732e+09	1,246e+09


Acoustic Power [W/m ³]	0	1,888e-08
Acoustic Power Level [dB]	0	42,76

➤ **Información del mallado para el análisis estático de la hélice usando material GFRE tipo S**

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	13,6134 mm
Tamaño mínimo del elemento	2,72268 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Número total de nodos	260599
Número total de elementos	172229
Cociente máximo de aspecto	96,971
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97,9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0029
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

➤ **Información del modelo**


Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p data-bbox="396 365 509 390">MatrizC2</p> 	<p data-bbox="745 457 824 483">Sólido</p>	<p data-bbox="984 396 1305 516">Masa:22.5078 kg Volumen:0.0112563 m³ Densidad:1,999.58 kg/m³ Peso:220.576 N</p>

➤ **Información del mallado del análisis estático de la hélice usando como material el bronce al magnesio**

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	13,6134 mm
Tamaño mínimo del elemento	2,72268 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

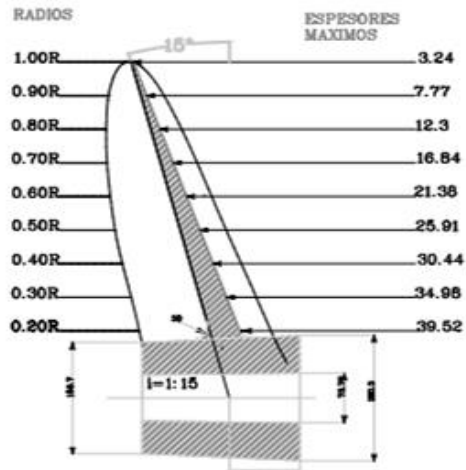
Número total de nodos	260599
Número total de elementos	172229
Cociente máximo de aspecto	96,971
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	97,9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0029
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

➤ **Información de modelo**

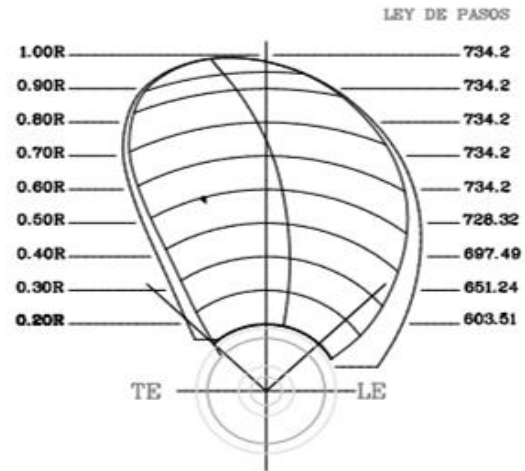
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas
<p data-bbox="396 365 509 390">MatrizC2</p> 	<p data-bbox="745 457 824 483">Sólido</p>	<p data-bbox="984 396 1305 516">Masa:93.4073 kg Volumen:0.0112563 m³ Densidad:8,298.24 kg/m³ Peso:915.392 N</p>

➤ Plano de la hélice para la embarcación pesquera de 18 ton

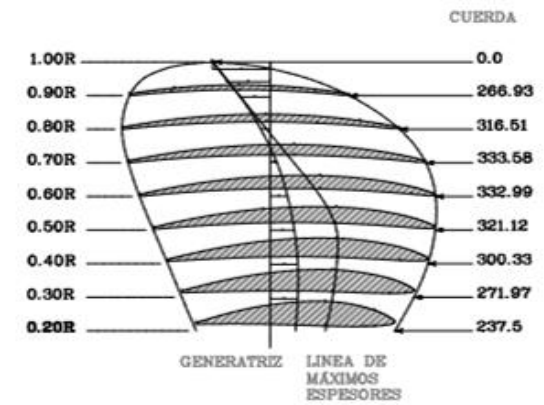
PERFIL LATERAL



PERFIL FRONTAL



SECCIONES CILÍNDRICAS



DATOS:

TIPO DE HÉLICE	SERIE B
NÚMERO DE PALAS	4
DIAMETRO	1.07 m
PASO	0.73
LANZAMIENTO	15
RELACION AE/AO	0.55

USAT

ESCUELA:

MECANICA ELECTRICAW

DIBUJADO POR:

W.IPANAQUE FLORES

ESCALA:

1 :25

DIB. N°

01

Active
Ve a Co