



Facultad de Ingeniería, Industria y arquitectura

Carrera de Ingeniería Marítima

Proyecto de trabajo de titulación

Modalidad proyecto de investigación

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN DE
HÉLICES DE PASO FIJO Y DE PASO CONTROLABLE EN UN BUQUE
PESQUERO CON LA UTILIZACIÓN DE NAVCAD.


Autor:

Chica Intriago Michael Alexander

Tutor: Ing. Efrey Beethoven Alcívar Vélez

Manta – Ecuador

2024

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
	Página 1 de 1	

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería, Industria y construcción de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación, cumpliendo el total de 400 horas, bajo la modalidad de proyecto de investigación, cuyo tema del proyecto es “Estudio comparativo entre los sistemas de propulsión de hélices de paso fijo y de paso controlable en un buque pesquero con la utilización de la aplicación de HYDROCOMP”, el mismo que ha sido desarrollado de acuerdo a los lineamientos internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo CERTIFICO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde al señor Chica Intriago Michael Alexander, estudiante de la carrera de Ingeniería Marítima, período académico 2019-2024, quien se encuentra apto para la sustentación de su trabajo de titulación.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 26 de Julio del 2024.

Lo certifico,



Ing. Efrey Beethoven Alcívar Vélez, MSC.
Docente Tutor(a)

Facultad:
Ingeniería, Industria y Arquitectura

CERTIFICADO DEL AUTOR

Chica Intriago Michael Alexander, egresado de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura, de la carrera de Ingeniería Marítima, libre y voluntariamente declaro que la responsabilidad del contenido de la presente tesis titulada “ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN DE HÉLICES DE PASO FIJO Y DE PASO CONTROLABLE EN UN BUQUE PESQUERO CON LA UTILIZACIÓN DE NAVCAD.”

Nos corresponde exclusivamente y la propiedad intelectual de la misma pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Chica Intriago Michael Alexander



Firmado electrónicamente por:
EFREY BEETHOVEN
ALCIVAR VELEZ

Ing. Efrey Beethoven Alcívar Vélez

DEDICATORIA

A mi mamá Viviana Raquel Intriago Loor, por su apoyo y su amor incondicional, así como a su vez es mi fuente inspiración y fortaleza en mi día a día. A mi papá David Alexander Chica Hidalgo, por todas sus enseñanzas a lo largo de mi vida y por su fe inquebrantable en mí. Una dedicatoria muy especial a mi abuela materna Casilda Beatriz Loor cuya memoria sigue siendo una luz muy esencial que guía mis días, aunque hoy en día no estés físicamente con nosotros tu amor y sabiduría han sabido perdurar en mi corazón a lo largo del tiempo. A mis abuelos paternos Mary Hidalgo Serrano y Antonio Chica Reina, por su cariño y apoyo incondicional que me han brindado siempre y por todas sus enseñanzas. A mi tía que se apodera del título de hermana María Bolaños Loor que junto a mi hermano Juan Antonio Chica han sido mis ejemplos por seguir tanto académicamente como interpersonalmente. A mi pareja Lisbeth Ayala Chiguano por su amor comprensión y por estar conmigo en los momentos más difíciles. A mis amigos por su apoyo y por hacer de este viaje uno más llevadero con su amistad y compañerismo. Y a mi fiel compañero Cotto, quien estuvo conmigo durante toda mi carrera universitaria y ha pasado cada desvelo junto a mí brindándome su incondicional compañía y alegrando mis noches de trabajo.

MICHAEL ALEXANDER CHICA INTRIAGO

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más grandes y sinceros agradecimientos a todos y cada uno de los docentes de la carrera, Quienes con su dedicación y conocimiento han contribuido enormemente a mi formación académica. De manera especial deseo agradecer al ingeniero Israel Terán por su excelente labor como docente y por ser una fuente constante de inspiración y motivación. Al ingeniero Jonathan García, a quien agradezco profundamente por brindarme los conocimientos necesarios incluso facilitarme libros y materiales que fueron fundamentales para el desarrollo de mi tesis. Y cómo no a mi tutor el ingeniero Efrey Alcívar por su invaluable orientación paciencia y apoyo durante este proceso, su guía ha sido esencial para la culminación exitosa de mi trabajo. A la empresa PESCADEGFER quiénes fueron los encargados de proporcionarme los datos del barco, sin los cuales esta tesis no hubiera sido posible. Una vez más a mi pareja Lisbeth Ayala por su apoyo incondicional y su constante motivación, se convirtió en un pilar importante para poder culminar con este proyecto.

MICHAEL ALEXANDER CHICA INTRIAGO

RESUMEN

Este proyecto está enfocado en el análisis estadístico y numérico de los sistemas propulsores de hélice paso fijo y hélice de paso controlable, mismo análisis que surge a partir de la necesidad que enfrentan hoy en día las embarcaciones para minimizar el tiempo de la faena de pesca, así como los gastos que esto implica y reducir notoriamente los impactos ambientales. Para la realización de este proyecto he optado por usar el software denominado NavCad, ya que este cuenta con la capacidad necesaria de lograr un análisis completo de un sistema propulsor de los barcos junto con una serie de datos imprescindibles, se abordarán temas esenciales como son los materiales de las hélices, tipos de las hélices y por supuesto un análisis a profundidad del funcionamiento y características esenciales tanto de las hélices de paso fijo como las de paso controlable, para llegar así a una deducción clara y concisa de cuál y por qué sería la mejor opción hoy en día al menos para esta embarcación.

Palabras claves: Hélices, sistema de propulsión, análisis matemático, rendimiento, eficiencia, potencia, consumo de combustible, NavCad.

ABSTRACT

This project is focused on the statistical and numerical analysis of fixed-pitch propeller and controllable-pitch propeller propulsion systems, the same analysis that arises from the need that vessels face today to minimize the time of fishing work, as well as the expenses that this implies and significantly reduce environmental impacts. For the realization of this project I have chosen to use the software called NavCad, since it has the necessary capacity to achieve a complete analysis of a propulsion system of the ships along with a series of essential data, essential issues will be addressed such as the materials of the propellers, types of the propellers and of course an in-depth analysis of the operation and essential characteristics of both the fixed-pitch propellers such as controllable pitch ones, to arrive at a clear and concise deduction of which and why would be the best option today at least for this boat.

Keywords: Propellers, propulsion system, mathematical analysis, performance, efficiency, power, fuel consumption, NavCad.

ÍNDICE

CERTIFICADO DEL AUTOR.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE.....	VIII
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1. CAPÍTULO I: HÉLICES	5
1.1. TIPOS DE HÉLICES.....	5
1.1.1. <i>Hélice de paso fijo</i>	5
1.1.2. <i>Propulsor azimutal</i>	7
1.1.3. <i>Hélices cicloidales</i>	8
1.1.4. <i>Hélices de paso controlable</i>	9
1.2. MATERIALES DE LAS HÉLICES.....	10
1.2.1. <i>Propiedades generales de los materiales de la hélice</i>	10
1.2.2. <i>Propiedades específicas de los materiales de las hélices</i>	12
1.2.2.1. Latón de alta resistencia.....	12

1.2.2.2.	Bronces de aluminio	15
1.2.2.3.	Aceros inoxidables	18
1.2.2.4.	Hierro fundido	19
1.2.2.5.	Acero al carbono.....	20
1.2.2.6.	Aleaciones de titanio.....	20
1.2.2.7.	Cuadro comparativo	22
1.3.	ELECCIÓN DE MATERIAL PARA LAS HÉLICES	22
2.	CAPÍTULO II: HÉLICES DE PASO FIJO (FPP).....	24
2.1.	¿COMO FUNCIONAN?.....	24
2.2.	IMPACTOS AMBIENTALES	24
2.3.	MANTENIMIENTO	25
2.4.	VENTAJAS DE ESTE SISTEMA DE PROPULSIÓN	26
2.5.	DESVENTAJAS DE ESTE SISTEMA DE PROPULSIÓN	27
3.	CAPÍTULO III: HÉLICES DE PASO CONTROLABLE (CPP).....	28
3.1.	IMPACTOS AMBIENTALES	28
3.1.1.	<i>Impactos positivos</i>	28
3.1.2.	<i>Impactos negativos</i>	28
3.2.	PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO	29
3.2.1.	<i>Sistema hidráulico</i>	29
3.2.2.	<i>OD-BOX</i>	29
3.2.3.	<i>Ajuste del paso de la hélice</i>	30
3.3.	MANTENIMIENTO	30
3.3.1.	<i>Mantenimiento diario</i>	30
3.3.2.	<i>Mantenimiento mensual</i>	31
3.3.3.	<i>Mantenimiento trimestral</i>	31
3.3.4.	<i>Mantenimiento semestral</i>	31
3.3.5.	<i>Mantenimiento anual</i>	32

3.3.6. <i>Mantenimiento a los 5 años</i>	32
3.4. VENTAJAS DE ESTE SISTEMA DE PROPULSIÓN	32
3.5. DESVENTAJAS DE ESTE SISTEMA DE PROPULSIÓN	33
4. IV CAPÍTULO: APLICACIÓN PARA EL ANÁLISIS	
COMPARATIVO.....	34
4.1. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN	34
4.2. FUNCIONAMIENTO E INTERFAZ DE LA APLICACIÓN	35
4.3. CÁLCULOS DE LA HÉLICE DE PASO FIJO	44
4.3.1. <i>Datos y resultados del rendimiento del buque con FPP</i>	44
4.3.2. <i>Datos y resultados del análisis de propulsión del buque con FPP</i>	47
4.3.4. <i>Datos y resultados del análisis de propulsión del buque con CPP</i>	52
5. CAPÍTULO V: ANÁLISIS COMPARATIVO	55
5.1. COMPARACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE PREDICCIÓN DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PROPULSIÓN FPP Y CPP.....	55
5.1.1. <i>Análisis de eficiencia propulsiva</i>	55
5.1.2. <i>Consumo de combustible</i>	55
5.1.3. <i>Empuje de la hélice</i>	56
5.1.4. <i>Torque de la hélice</i>	57
5.1.5. <i>RPM del motor</i>	57
5.2. COMPARACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES	61
ANÉXOS.....	62
ANEXO A: TABLA DE PROPULSIÓN CON PASO DE 7 GRADOS.....	62
ANEXO B: SOLICITUD DE DATOS DEL ESTUDIANTE A LA EMPRESA.	63

ANEXO C: RESPUESTA DE LA EMPRESA AL ESTUDIANTE.....	64
GLOSARIO.....	65
BIBLIOGRAFÍAS.....	71

ÍNDICE DE FIGURA

ILUSTRACIÓN 1 HÉLICE GRANDE DE 5 PALAS PARA GRANELEROS.....	6
ILUSTRACIÓN 2 DISEÑO DE TORNILLO ALTO EQUILIBRADO DE 7 PALAS	7
ILUSTRACIÓN 3 PROPULSOR AZIMUTAL.....	8
ILUSTRACIÓN 4 PROPULSIÓN CICLOIDAL.....	9
ILUSTRACIÓN 5 HÉLICE DE PASO CONTROLABLE.....	10
ILUSTRACIÓN 6 FAMILIA DE MATERIALES PARA HÉLICES.....	11
ILUSTRACIÓN 7 DIAGRAMA DE FASES PARA ALEACIÓN DE COBRE-NÍQUEL	13
ILUSTRACIÓN 8 DIAGRAMA DE FASES PARA COBRE-ZINC	14
ILUSTRACIÓN 9 HÉLICE FABRICADA DE LATÓN	15
ILUSTRACIÓN 10 HÉLICE DE BRONCE-ALUMINIO	18
ILUSTRACIÓN 11 HÉLICES DE ACERO INOXIDABLE	19
ILUSTRACIÓN 12 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES ANTES MENCIONADOS. 22	
ILUSTRACIÓN 13 INTERFAZ DEL SOFTWARE.....	35
ILUSTRACIÓN 14 VESSEL DRAG/ADDED DRAG.....	36
ILUSTRACIÓN 15 PROPULSIVE COEFFICIENTS.....	37
ILUSTRACIÓN 16 CONDICIONES	38
ILUSTRACIÓN 17 CASCO	39
ILUSTRACIÓN 18 APÉNDICE.....	40
ILUSTRACIÓN 19 CONDICIONES AMBIENTALES.....	41
ILUSTRACIÓN 20 PROPULSIÓN	42
ILUSTRACIÓN 21 DIMENSIONAMIENTO DE LA PROPULSIÓN	43
ILUSTRACIÓN 22 OFICIO DE SOLICITUD DE DATOS.....	63
ILUSTRACIÓN 23 OFICIO DE RESPUESTA.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 DATOS DEL CASCO CON FPP	44
TABLA 2 APÉNDICE CON FPP.....	44
TABLA 3 DATOS DEL ENTORNO CON FPP	45
TABLA 4 PREDICCIÓN DE RESULTADOS DEL RENDIMIENTO CON FPP	45
TABLA 5 COEFICIENTES DE PROPULSIÓN CON FPP	47
TABLA 6 DATOS DEL CASCO CON FPP	48
TABLA 7 DATOS DEL PROPULSOR CON FPP	48
TABLA 8 PREDICCIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PROPULSIÓN CON FPP	49
TABLA 9 DATOS DEL CASCO CPP	50
TABLA 10 APÉNDICE CON CPP	51
TABLA 11 DATOS DEL ENTORNO CON CPP	51
TABLA 12 PREDICCIÓN DE RESULTADOS DEL RENDIMIENTO EN CPP.....	52
TABLA 13 COEFICIENTES DE PROPULSIÓN CON CPP	52
TABLA 14 DATOS DEL PROPULSOR CON CPP.....	53
TABLA 15 DATOS DEL CASCO CON CPP	53
TABLA 16 PREDICCIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PROPULSIÓN CON CPP.....	54
TABLA 17 PREDICCIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE PROPULSIÓN CON CPP.....	62

Introducción

El objetivo de este estudio es comparar el rendimiento de los dos tipos de hélices en un entorno de pesca en alta mar. Se evaluará la eficiencia del combustible, la maniobrabilidad y la estabilidad de ambos tipos de hélices en dicho buque. Además, se examinará el impacto que tiene la elección de hélices en el medio ambiente, en particular en la emisión de gases de efecto invernadero.

La elección de hélices en un buque pesquero es un factor crítico para su rendimiento. Es por ello por lo que se llevará a cabo un estudio comparativo de la utilización de ambas hélices en un buque pesquero de 500 toneladas en Manta, Ecuador.

Para analizar la viabilidad económica de la conversión de buques existentes con hélices de paso fijo a hélices de paso controlable, es necesario estudiar las ventajas e inconvenientes de cada uno de los dos sistemas. Para ello se abordarán dos de los aspectos fundamentales: eficiencia de los motores y eficiencia de las hélices. (Marcos Míguez González, 2008)

Las hélices de paso fijo son las más comunes y menos costosas que las hélices de paso controlable. Sin embargo, las hélices de paso controlable han demostrado ser más eficientes en términos de combustible y maniobrabilidad en condiciones de carga variables.

La ciudad de Manta, en la costa del Pacífico de Ecuador, es un importante puerto pesquero en la región. Se analizarán las hélices de paso fijo y hélices de paso controlable en los aplicativos y se evaluará su rendimiento en diferentes condiciones de carga y velocidad.

Antecedentes

Un estudio realizado por la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU) encontró que las hélices de paso variable pueden mejorar la eficiencia del combustible de un barco de pesca hasta en un 10%. El estudio también encontró que las hélices de paso variable pueden reducir los costos operativos de un barco pesquero hasta en un 5%. (ENDAL)

Así que, introduciremos estos conocimientos para mejorar la eficiencia del buque "Lucía T" y, a su vez, controlar y reducir el consumo de combustibles dañinos al medio ambiente en buques pesqueros a nivel global. Estos buques, que consumen significativamente más combustible durante las maniobras de pesca, tienen un impacto considerable. Una vez realizada la investigación adecuada y la proyección a escala en otros países, se podrá obtener valores medibles y reales que podrán aplicarse en diferentes regiones del mundo. En el futuro, estos avances contribuirán a hacer que las operaciones marítimas sean más sostenibles y ecológicas.

Justificación

Este estudio comparativo se llevará a cabo mediante la recopilación de datos de campo y la realización de simulaciones en el aplicativo antes mencionado. Se medirá la velocidad, el consumo de combustible y otros parámetros relevantes del buque equipado con hélices de paso fijo y con estos valores analizar el comportamiento del mismo cambiando su sistema propulsor, obteniendo valores cercanos a la realidad para así poder determinar qué tan fiable es hacer la mejora del sistema propulsor y si es conveniente, tanto en velocidad, consumo y maniobrabilidad.

Un estudio realizado por la Universidad de Southampton encontró que las hélices de paso variable pueden mejorar la maniobrabilidad de un barco de pesca en mares agitados. El estudio encontró que las hélices de paso variable pueden reducir el riesgo de que un barco de pesca se vuelque en mares agitados. (University Southampton, 2012)

En Manta ya hay una variedad de buques que cuentan con el sistema propulsor de hélices de paso controlable y esto ha representado una mejora en su maniobrabilidad como se ha explicado con anterioridad, por ende, este análisis busca implementar un sistema de propulsión cuyos índices de accidentes sea bajo en cualquier condición de carga y marea.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar la viabilidad técnica y operativa del cambio del sistema propulsor de hélices de paso fijo a hélices de paso controlable, con el fin de determinar los beneficios potenciales en términos de eficiencia, costos operativos y rendimiento del buque.

Objetivos específicos

- Describir los componentes de ambos sistemas propulsores y el correcto funcionamiento de estos.
- Identificar las ventajas y desventajas de la utilización de hélices de paso fijo y hélices de paso controlable en términos de operación y mantenimiento.
- Medir el consumo de combustible en hélices de paso fijo y hélices de paso controlable en el buque de 500 toneladas.

1. Capítulo I: Hélices

Las hélices son piezas mecánicas que sirven de propulsión del buque, cuentan con varias palas las cuales obtienen forma de espiral y tienen un paso tal que al momento de girar puedan realizar su función principal y así mover el buque hacia adelante o hacia atrás.

1.1. Tipos de hélices

1.1.1. Hélice de paso fijo

Esta hélice fue la pionera en términos marítimos y se han tenido dos tipos de producciones, las cuales son monobloque y las construidas; una hélice monobloque hace referencia a las hélices que son fundidas en una sola pieza y esta es la forma actual de crear hélices de paso fijo, ya que, junto con la tecnología se han podido crear moldes de toda medida y de ángulos o paso exactos en todas las palas y también ahora se logran trabajos de fundición de alta calidad, como contraparte tenemos a las hélices construidas, aquí las palas se hacen aparte y una vez se tienen todas las partes hechas se procede a unir las palas al núcleo, esto se realiza atornillándolas y así es como se evitaba en gran parte los errores en el paso de las palas, este tipo de mecanizado traía consigo problemas graves en la raíz de la pala por la cavitación.

Para las hélices de paso fijo, la elección del número de palas, a pesar de las consideraciones de holguras entre palas en la interfaz de la raíz de la pala al saliente, es en gran medida una variable independiente y normalmente se elige para dar un desajuste en el rango de vibración del casco, la superestructura y la maquinaria. Además, el número de cuchillas también es un parámetro útil para controlar las características de cavitación no deseadas. El número de palas generalmente varía de dos a siete, aunque en algunas aplicaciones navales, donde las consideraciones de ruido irradiado se vuelven

importantes, se han investigado y utilizado números de palas mayores que estos para resolver una variedad de problemas de propulsión. (Carlton, 2007)

En buques pequeños no mayores a 100 toneladas se ha podido crear hélices que disminuyan en gran medida la cavitación alargando la vida útil de las mismas y con ello el rendimiento hidrodinámico se mantiene de mejor manera. También hay que destacar que para buques mercantes se suele utilizar de 4 a 6 palas a diferencia de los buques pesqueros los cuales usan 3 palas en su mayoría.

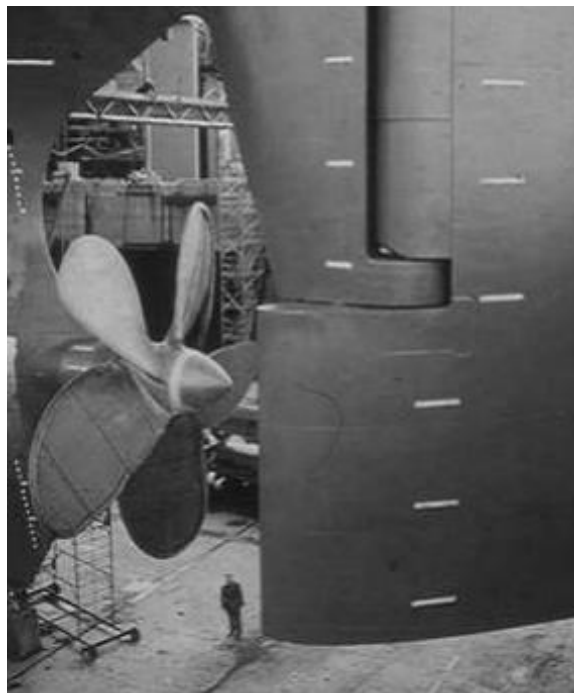


Ilustración 1 Hélice grande de 5 palas para graneleros
Obtenido de: Carlton, J (2007) Marine Propellers and Propulsion

Por otra parte, las hélices de paso fijo se adaptan mejor a buques que hacen rutas muy largas y que precisan de un propulsor con menor mantenimiento. Algunos ejemplos serían: petroleros, buques de carga general o portacontenedores. (Queren, 2019)

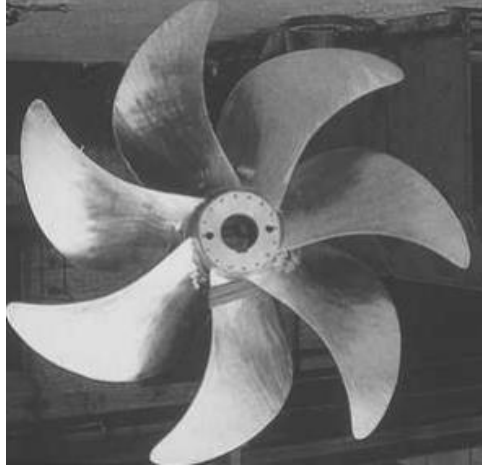


Ilustración 2 Diseño de tornillo alto equilibrado de 7 palas
Obtenido de: Carlton, J (2007) Marine Propellers and Propulsion

1.1.2. Propulsor azimutal

Estos propulsores son usados comúnmente por remolcadores y buques sísmicos u offshore, tienen una ventaja la cual es que pueden tanto girar como brindar propulsión a la embarcación ya que tienen un eje vertical el cual puede realizar la rotación, por ende, esto mejora la maniobrabilidad, dentro de este propulsor tenemos dos tipos el de tractor que es para remolcadores, el motor y el propulsor están a la misma altura así que no necesitan de ejes cardan, en cambio el propulsor de vaina que sería la segunda opción que nos brinda es cuando el motor y el propulsor no están en la misma altura así que para lograr conectarlos se precisa de ejes cardan, dos para ser más exactos uno más cercano del motor y otro cerca de la hélice se suelen usar en cruceros o rompehielos.

En la actualidad se reconocen a seis fabricantes para este tipo de propulsión, la empresa sueco-suiza ABB con el propulsor Azipod, al fabricante Rolls-Royce, a la empresa Siemens-Schottel en cooperación con Spay y a Volvo Penta. (Hernández P. L., 2018)



Ilustración 3 Propulsor Azimutal

Obtenido de: <https://www.nauticexpo.es/prod/schottel/product-22142-488859.html>

1.1.3. Hélices cicloidales

Este tipo de hélice son ubicadas de forma vertical y más que hélices adoptan la forma de paletas por lo general son de 6 u 8, estas paletas van montadas en un disco giratorio y va ubicado en forma horizontal o casi horizontal y la fuerza de empuje de este sistema depende totalmente de la velocidad con la que las paletas giran alrededor del propio eje pivote del disco al que están sujetas, por lo general se utilizan dos a la vez de tal forma que el empuje que realiza una hélice al momento de apagar la otra o disminuir su velocidad provoca que el buque pueda girar y así aumentar su maniobrabilidad de manera muy favorable, otra ventaja de este sistema es que su mantenimiento es relativamente más fácil de realizar.

El concepto del Propulsor Voith Schneider Propeller (VSP) se basa en un rotor que va alojado en el casco y tiene movimiento de rotación constante alrededor de un eje

vertical, este movimiento giratorio del rotor es realizado por medio de un mecanismo de caja reductora y engrane cónico (este último hecho firme al rotor). (Diez, 2014)



Ilustración 4 Propulsión Cicloidal

Obtenido de: http://www.fondear.org/infonautic/Barco/Motores_Helices/Cicloidal/Cicloidal.htm

1.1.4. Hélices de paso controlable

Una hélice de paso controlable se puede modificar el paso de las palas en cualquier condición ya sea de carga de velocidad o para direccionar, una ventaja significativa es que se puede llegar a tal ángulo que el paso quede negativo es decir que puede navegar al sentido contrario de avance sin necesidad de que la rotación de la hélice cambie.

Las hélices de paso variable se instalan en la actualidad en más 75% de las nuevas construcciones de buques mercantes y sigue en aumento; no obstante, hay que tener en cuenta que, en algunas aplicaciones, aumenta el uso de motores eléctricos de velocidad variable arrastrando hélices de paso fijo. (García Posada, 2002)

Algo a añadir a la introducción de este tipo de hélices es que un motor asociado a esta hélice debe proporcionar revoluciones constantes y muy altas para que este pueda girar al paso elegido y pueda constantemente estar variando el paso.



Ilustración 5 Hélice de paso controlable

Obtenido de: https://es.wikipedia.org/wiki/H%C3%A9lice_de_paso_variable

1.2. Materiales de las hélices

Los materiales con los que se realizaban las hélices se pueden dividir en tan solo aceros inoxidable o en bronce, cabe destacar que el hierro fundido que en algún momento fue la mejor opción, hoy en día se ha extinto en cuanto a la fabricación de hélices.

1.2.1. Propiedades generales de los materiales de la hélice

Está claro que para escoger un buen material para la hélice precisamos de condiciones de servicio en la que esta trabajará y la función que realiza el buque, no obstante, los materiales pueden incumplir con propiedades bases ya que siempre las hélices se verán afectadas por estos problemas, estas propiedades son, tener una alta resistencia a la erosión por cavitación, alta resistencia a la corrosión en general y por agua salina, tienen que ser muy resistente al ataque por impacto, tiene que tener unas muy buenas características en temas de reparación para que sea fácil la soldabilidad, como último punto tiene que tener buenas características de fundición.

El cobre cuenta con una resistencia excelente contra la corrosión y es un material con una buena ductilidad, capaz de alargarse hasta un 60% no obstante con eso, cuenta con una resistencia a la tracción de 215 N/mm². Para explotar al máximo las capacidades de este material podemos crear aleaciones donde tengamos excelentes resultados en cuanto a la ductilidad, resistencia, rigidez e inclusive una buena resistencia a la corrosión, una de las más populares entre aleaciones de cobre suele ser el zinc con un 45% aproximadamente.

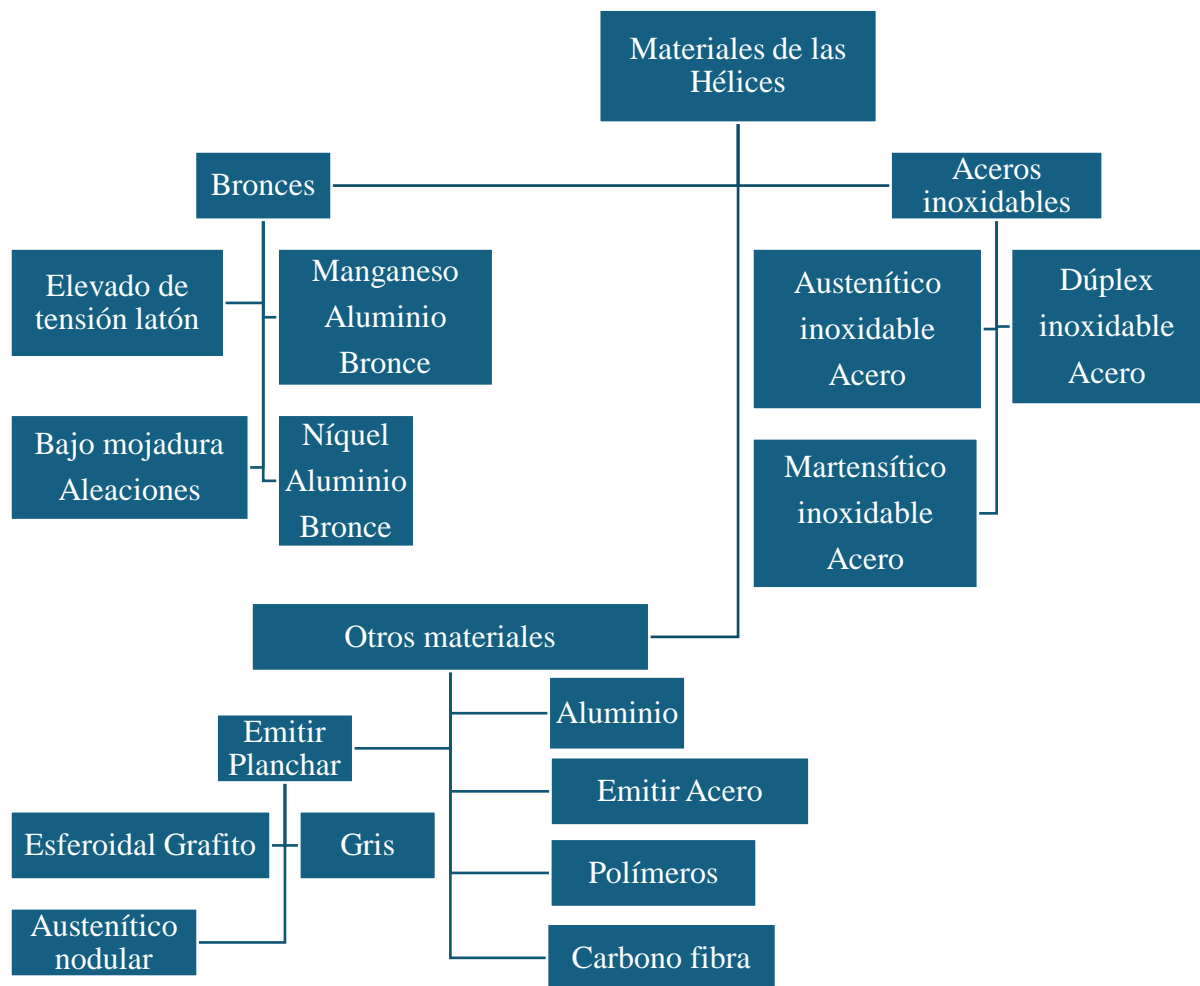


Ilustración 6 Familia de materiales para hélices

Obtenido de: Elaboración Propia

Otra muy utilizada combinación es la del cobre-níquel, el níquel es muy similar al cobre en su estructura ya que también tiene una forma cúbica no obstante, las propiedades químicas también son bastantes parecidas, así que, el material resultante de este junte es bastante tenaz, fuerte, resistente a la corrosión y dúctil.

1.2.2. Propiedades específicas de los materiales de las hélices

1.2.2.1. Latón de alta resistencia

Latón de alta resistencia, también es llamado bronce de magnesio, aunque lo correcto no sería decirlo por ese nombre ya que contiene aleaciones de cobre, zinc y latones sustituyendo al cobre en estos casos. Los latones de alta resistencia se funden con facilidad, pero se debe tener cuidado al momento de querer realizar la fundición de una hélice de gran tamaño ya que si este entra en contacto con gas hidrógeno no puede solidificarse correctamente. Para este tipo de aleaciones no tenemos una medida estándar ya que varía considerablemente dependiendo del tamaño, pero por lo general se usa alrededor del 60% de cobre y el restante se dividen entre el latón, estaño, zinc, aluminio hierro y en ocasiones está presente el níquel también.

Como un punto a resaltar es la utilización del aluminio el cual mejora bastante la resistencia a la corrosión y su porcentaje en la alineación hace referencia entre un 0.5 a el 2%, ya para caso es un poco más extremos en los que la hélice se vea envuelta en un desgaste mayor se suele aplicar hasta un 3% de aluminio para hacerlo mucho más fuerte, otro factor sumamente importante es la presencia del estaño en estas aleaciones, ya que, sin éste la hélice en sí va a llegar a corroerse de manera rápida. Los latones de alta resistencia se componen básicamente de dos fases separadas; sin embargo, cuando ocurre la deszincificación, la fase beta de la estructura se reemplaza inicialmente por cobre. Si bien la deszincificación puede ocurrir en agua de mar que fluye rápidamente, ocurre más

fácilmente en condiciones de estancamiento, particularmente donde hay grietas en el material. (Carlton, 2007)

Y esta es la razón principal por la que al menos debe existir un 0,2% de estaño en la aleación, es importante recalcar también que son muy pocas las veces en la que el estaño pasa del 0,8% y nunca supera al 1.5% ya que al llegar a estos valores suele presentar también problemas al momento de la fundición ya que el material es más suspicaz al agrietamiento.

Como dato curioso el hierro es utilizado para refinar el grano de la aleación que estamos realizando, A pesar de esto no es muy recomendable ponerlos en cantidades elevadas, quiere decir mayor al 1,2%. Siempre se suele utilizar una mezcla entre aluminio o níquel ya que este último el introducirlo solo parece que no introduce beneficios contundentes innecesarios a la alineación lo cual implica que no podemos sustituir el aluminio para poder obtener una aleación más económica.

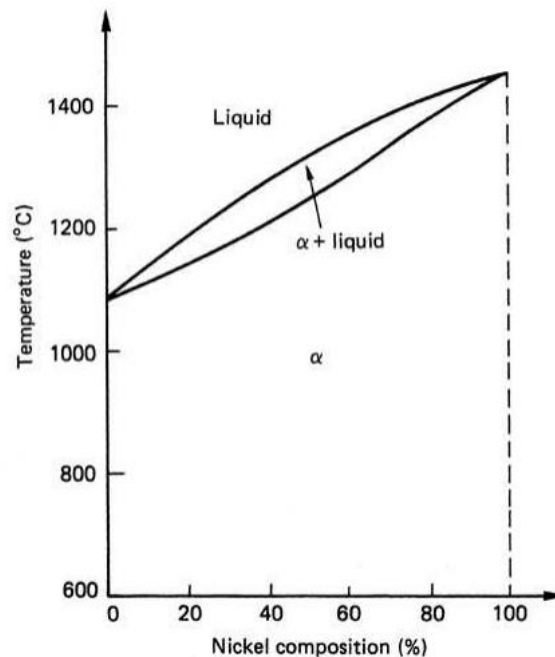


Ilustración 7 Diagrama de fases para aleación de cobre-níquel

Obtenido de: Carlton, J (2007) Marine Propellers and Propulsion

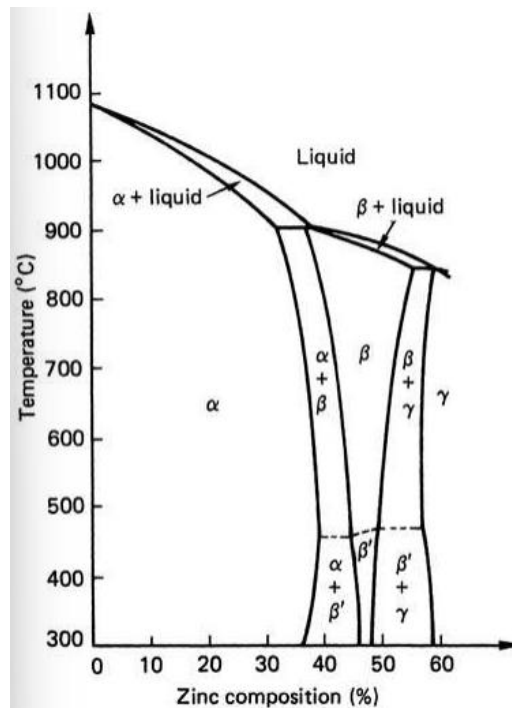


Ilustración 8 Diagrama de fases para cobre-zinc

Obtenido de: Carlton, J (2007) Marine Propellers and Propulsion

Por otro lado, si el contenido de zinc llega a puntos demasiado elevados podría causar en el producto final una malformación y dar paso así a un mayor desgaste por un agrietamiento el cual surge espontáneamente en la mayoría de los casos, debido a la corrosión por la tensión en el agua salina. Otro ejemplo bastante controversial es la utilización de base 25% de ferrita o hierro en estado puro identificado en el diagrama hierro carbono con la letra Alfa, aquí encontramos unas diferencias muy notorias en los tiempos enfriado, si nosotros mantenemos un enfriado lento las partículas de Alfa se vuelven a hacer presentes en la alineación y es una estructura un poco similar a la original, pero si lo enfriamos de una manera más rápida no vamos a poder notar la precipitación de Alfa en la mezcla o al menos no completamente, así que al menos debemos cumplir con el porcentaje debido para la creación de hélices ya antes mencionado o hasta el máximo que en estos casos suele representarse casi con el 40% aquí vamos a obtener una

tensión residual alta y una microestructura indeseable provocándonos grietas por corrosión bajo tensión. Claro está que estos niveles se pueden controlar o reducir mediante el calentamiento localizado en una superficie de la hélice de latón de alta resistencia esta es una de las ventajas que nos ofrece este tipo de material primero es un material fácil de mecanizar y que también alrededor de los 600° este ya se compone de una fase beta y se vuelve bastante blando y dúctil lo cual es muy importante el momento de realizar reparaciones.



Ilustración 9 Hélice fabricada de latón

Obtenido de: https://es.nxymarine.com/blog/brass-propeller-of-ship_bk

1.2.2.2. Bronces de aluminio

La gran mayoría de las hélices de bronce de aluminio se fabrican en base de níquel o manganeso. Encontramos 3 tipos de bronce de aluminio que serían los generales para este tipo de fundiciones:

- ❖ Bronces de aluminio con alto contenido de níquel y bajo manganeso; se caracterizan por contener más de un 4% de níquel, lo que le confiere una alta resistencia al desgaste y a la corrosión.

- ❖ Bronces de aluminio con aproximadamente un 8% de manganeso; le otorga una excelente resistencia a la cavitación y mejora su capacidad de resistencia en entornos severos, como aplicaciones marinas.
- ❖ Bronces de aluminio con bajos niveles de níquel o manganeso; estas aleaciones son adecuadas para aplicaciones donde la resistencia extrema al desgaste o la corrosión no es crítica.

Esta última es muy poco recomendada por los problemas que tiene frente a la resistencia a la corrosión y al impacto debido a sus propiedades tan bajas e ineficientes.

La aleación base entre el bronce y el aluminio consta de unos valores de 12% de manganeso, 2% de níquel 3% de hierro, y 8 por de aluminio. También sacamos a relucir que el porcentaje de Alfa para esta alineación en específico va aproximadamente del 60 al 70%.

Como se expuso anteriormente las aleaciones para la fabricación de las hélices en este apartado usan como máximo un 9% de manganeso, no obstante, al utilizar un porcentaje por encima del 10 obtenemos una gran mejora en las propiedades mecánicas del material.

Una vez fundidas en bruto, las hélices son mecanizadas y pulidas en base al resultado de su medición en bruto y las tolerancias del diseño, para lo que se emplean diferentes métodos de verificación. Por este motivo la técnica de medición utilizada en cada caso tiene vital importancia, pues de su precisión y de su alcance dependerá el que la hélice sea fabricada de acuerdo con su diseño mecánico e hidrodinámico. (CAVADA CAMINO, 2012)

Por lo general este tipo de aleaciones no tiene muchas diferencias ya que se suelen usar proporciones similares, así que sus características son casi iguales siempre, también

tienen la estructura un poco parecida a los latones de alta resistencia, estos últimos no tienen un punto crítico de temperatura donde su ductilidad se vea afectada, sin embargo, son muy susceptibles a la corrosión por la tensión que el mar presenta, un estudio demostró que el hecho por el cual el manganeso-aluminio es menos susceptible a este daño es la casi ausencia de la fase beta en su fundición gracias a los valores de manganeso que entre mayor sean estos menor es la presencia de la fase beta, pero igual tienen muchas similitudes estos dos tipos de fundiciones, así que, se recomiendan profundamente seguir las precauciones en cuanto a el alivio de la tensión una vez se haya realizado un tipo de soldadura así como se toman en los latones de alta resistencia.

Aquí se usan unos porcentajes que van del 9 al 9.5% de aluminio-níquel-hierro, pero con contenidos mayores de un 4% en lo que es el níquel podemos tener una alta resistencia a la corrosión. En BS 1400-AB2 se permite hasta un 0,05% de presencia de plomo y si a la hélice se le van a realizar trabajos de soldaduras lo recomendable es ubicar lo menos posible, es decir, este porcentaje baja al 0,03% o menos.

Un dato importante en el tema de fundición de los bronce níquel-aluminio es que cuando este llega a los 400 grados, se vuelve menos dúctil y tenaz el material, pero a los 700 grados o más esta aleación se vuelve lo suficientemente dúctil y maleable, tanto así, que si una pala se encuentra con alguna abolladura o doblada aquí es la temperatura adecuada para realizar las correcciones en el material en sí.

La resistencia a la fatiga por corrosión en el agua de mar es aproximadamente el doble que la del latón de alta resistencia y esto permite el uso de mayores tensiones de diseño y, por lo tanto, espesores de sección reducidos de las palas de la hélice. (Carlton, 2007)



Ilustración 10 Hélice de Bronce-Aluminio

Obtenido de: <http://www.ricepropulsion.com/TNLS/Bronce%20Aluminio%20VS%20Acero.htm>

1.2.2.3. Aceros inoxidables

En este apartado tenemos unas subdivisiones, los que usan 13% de cromo martensítico y los que usan 18% de cromo, ambos usan también un porcentaje del 8% de níquel y un 3% de aceros inoxidables austenítico de molibdeno. De acuerdo con estudios previos el cromo martensítico suele ser el más utilizado no obstante en la actualidad éste ha sido limitado al solo ser utilizado hélices de menor tamaño o un buen aliado en la mayoría de los componentes de hélices de paso variable o controlable.

Uno de los puntos favorables que podemos encontrar en los aceros inoxidables es la tenacidad que estos poseen haciéndolos sumamente resistente a daños por impactos directos, y también posee características para realizar una reparación mucho más rápida.

De las pocas desventajas que poseen en esta mezcla tenemos el alto riesgo de sufrir corrosión en grietas, pese a que tiene una buena resistencia al impacto una vez que se crea una pequeña grieta en la hélice esta tiende a corroerse muy rápido, si lo

comparamos con bronce de aluminio demuestra deficiencias significativas en temas como la resistencia a la fatiga por la corrosión agua salina y a la cavitación.

El acero inoxidable es muy difícil de fundir correctamente en grandes cantidades pulir y moldear con gran precisión. Eso explica por qué solo se lo utiliza cuando se pretende una determinada propiedad como antimagnéticas para los barreminas o los cazaminas o la de extrema dureza para los rompehielos. (PONCE, 2015)

Últimamente para seguir manteniendo el uso de hélices creadas con aceros inoxidables se utiliza un porcentaje aproximado del 20% en el material de cromo frente a un 5% de níquel obteniendo una microestructura en la que la fase de austenita y ferrita son casi iguales, pero dejándonos como resultado mejores propiedades mecánicas como es la mejora en la fatiga por corrosión de agua salina.



Ilustración 11 Hélices de acero inoxidable

Obtenido de: <https://www.solas.com/exec/product.php?cid=92&lg=C>

1.2.2.4. Hierro fundido

El hierro fundido hoy en día es muy poco utilizado por su baja o nula resistencia a la corrosión, convirtiendo así la vida útil de este tipo potencialmente corto, el poco uso que se le puede dar es como hélices de emergencia que los barcos suelen llevar en caso

de tener algún problema con su sistema propulsor principal. No es recomendable usar una hélice de este material, ya que, para compensar el desgaste que va a tener por la corrosión se requieren espesores mayores en las secciones lo cual la hace muy poco eficiente, otro punto negativo que encontramos aquí es lo frágil que la hélice sería por lo que a un mínimo impacto esta puede llegar a romperse.

Sin embargo, al utilizar proporciones del 20 a 22% en níquel con un 2.5% de cromo obtenemos hierro fundido austenítico, el cual tiene mejores características y compensa un poco las desventajas mencionadas anteriormente.

1.2.2.5. Acero al carbono

Este tipo de hélices están construidas íntegramente con acero al carbono de baja dureza. Esta aleación permite absorber más y mejor los golpes, ya que presentan un cierto grado de ductilidad que les permite a las palas que se deformen sin romperse. Como ventaja también encontramos su resistencia a la salinidad y su bajo peso. Por lo que refiere el precio, se encontraría por encima de las hélices de aluminio, pero por debajo de las hélices de acero inoxidable. (Zurita, 2013)

1.2.2.6. Aleaciones de titanio

Las hélices hechas a base de aleaciones de titanio son una opción muy avanzada las cuales tienen prestaciones de alto rendimiento en el ámbito marítimo, especialmente en la parte de su durabilidad y lo resistente a la corrosión que estas son. El titanio es casi un 45% más ligero de lo que es el acero reduciendo así el peso total de la hélice sin perjudicar en su eficiencia y resistencia que esta nos ofrece, cabe destacar que como la menor masa ejerce una menor inercia rotacional podemos obtener mejores respuestas en base al motor y llegando así a una eficiencia del sistema propulsor completo.

La alta resistencia a la corrosión en este material se debe a que forma una capa de óxido protector en superficie haciéndola extremadamente resistente a este daño, incluso en aguas marinas donde la corrosión es mayor, ubicando así a la aleación de titanio por encima de aleaciones usadas normalmente como el acero inoxidable y las de bronce.

Otra de las propiedades que encontramos es la durabilidad siendo así estas hélices capaces de soportar una gran cantidad de peso y tensiones sin llegar a deformarse, ya que, éstas son menos susceptibles al desgaste frente a otros tipos de materiales, logrando en este una vida útil más larga.

Ya que este tipo de hélices suele ser mucho más ligeras nos permiten realizar diseños más eficientes enfocándolo así a minimizar la resistencia al agua y aumentar el empuje este tipo de hélices pueden mantener su capacidad incluso en condiciones operativas difíciles, gracias a todas estas características óptimas podemos tener también una menor vibración y ruido mejorando así el confort y la seguridad de las personas a bordo.

La combinación de propiedades del titanio lo convierte en uno de los materiales más atractivos para una amplia gama de aplicaciones. En comparación con el aluminio, el titanio ofrece una mayor resistencia específica y la posibilidad de trabajar a temperaturas relativamente altas, hasta aproximadamente los 600°C. (Bolzoni, 2011)

No obstante, este tipo de materiales presenta desventajas significativas, principalmente debido a su elevado costo de fabricación. Este alto costo se debe a la complejidad y el gasto asociados con el proceso de extracción del material. Por esta razón, las hélices fabricadas con este material se destinan a aplicaciones muy específicas, a pesar de las ventajas que pueden ofrecer en el ámbito marítimo. Además, su fabricación es

complicada, ya que requiere técnicas especializadas, especialmente en el área de soldadura, lo que incrementa tanto los tiempos de producción como los costos asociados.

1.2.2.7. Cuadro comparativo

	<i>Material</i>	<i>Módulo de elasticidad (kgf / cm²)</i>	<i>0,15% de prueba estrés (kgf / mm²)</i>	<i>De tensión fuerza (kgf / mm²)</i>	<i>Brinell dureza número</i>	<i>Específico gravedad</i>	<i>Alargamiento (%)</i>
Aleaciones a base de cobre	Latón de alta resistencia	1.05 × 10 ⁶	19	45-60	120-165	8.25	28
	Aleaciones con alto contenido de manganeso	1,20 × 10 ⁶	30	66-72	160-210	7,45	27
	Aleaciones de níquel-aluminio	1,25 × 10 ⁶	27,5	66-71	160-190	7,6	25
Aceros inoxidables	13% de cromo	2.0 × 10 ⁶	45,5	69,5	220	7.7	20
	Austenítico	1,9 × 10 ⁶	17	50,5	130	7,9	50
	Ferrítico-austenítico	1.8 × 10 ⁶	55	80	260	7,9	18
Hierro fundido	Hierro fundido gris	1.1 × 10 ⁶	-	23,5	200	7.2	-
	SG austenítico	1.1 × 10 ⁶	-	44	150	7.3	25

Ilustración 12 Propiedades mecánicas de los materiales antes mencionados

Obtenido de: Carlton, J (2007) Marine Propellers and Propulsion

1.3. Elección de material para las hélices

La importancia de la selección de materiales para la resistencia al desgaste requiere un estudio de los detalles del desgaste al fin de determinar cuál de las propiedades convencionales del material puede resistirlo mejor. Los mejores instrumentos que se pueden emplear son los microscopios, y la fotografía si es posible. (Sampén, 2003)

Como resumen a lo antes expuesto en cuanto a materiales de hélices para la de paso fijo es muy popular el bronce de manganeso, sin embargo, el buque en cuestión tiene una de acero inoxidable lo cual es mucho mejor en la mayoría de los aspectos, por la parte de la hélice de paso controlable, tenemos como mejor opción al titanio siendo este un material excepcional pero por temas económicos es limitados a uso de embarcaciones militares o en barcos de investigaciones donde este coste no es un impedimento, por ende, en esta hélice también nos quedamos con el material de acero inoxidable, no solo por

todos sus beneficios sino por el uso que este material ya tiene en cuanto a componentes móviles.

2. Capítulo II: Hélices de paso fijo (FPP)

2.1.¿Como funcionan?

Trabajan mediante una propulsión directa, por lo que el motor genera una potencia que se convierte en empuje, y sea adelante o hacia atrás, la velocidad que estas presentan va directamente relacionado con la velocidad que el motor este generando ya que el ángulo de las palas no se podrá manipular.

Algo imprescindible en este tipo de propulsión es un motor, caja de reducción, la línea de ejes, un sistema de lubricación para el mismo, un sistema de enfriamiento tanto para el eje como para el motor, el sistema de dirección que está conformado por el timón y el sistema que lo controla. El mantenimiento es algo necesario, aunque no muy obligatorio.

El timón es un instrumento que, con la marcha del buque, permite su gobierno, constituyendo uno de los elementos básicos de cualquier maniobra. A altas velocidades relativas responde bien para alteraciones importantes de rumbo con un ángulo máximo de 35°. (Hernández Á. M., 2015)

2.2.Impactos ambientales

- ❖ **Emisiones de gases de efecto invernadero:** los motores que impulsan las hélices FPP suelen ser motores diésel o de combustibles fósiles, que emiten partículas finas, óxidos de azufre (SOx) y dióxido de carbono (CO₂). Estas emisiones causan la contaminación del aire y el cambio climático.
- ❖ **Ruido submarino:** Las hélices producen ruido submarino, que puede tener un impacto en la vida marina, especialmente en los mamíferos

marinos como las ballenas y los delfines, que dependen del sonido para comunicarse, navegar y alimentarse.

- ❖ **Eficiencia energética:** En algunas condiciones de operación del barco, la eficiencia de una hélice FPP puede no ser la mejor, lo que puede resultar en un mayor consumo de combustible y emisiones contaminantes.
- ❖ **Contaminación por derrames de combustible:** los barcos que utilizan sistemas propulsores de hélices FPP están en riesgo de derrames de combustible, que pueden dañar los ecosistemas marinos y costeros.
- ❖ **Impacto en los fondos marinos:** las hélices pueden generar corrientes y turbulencias en aguas poco profundas que remueven sedimentos del fondo marino, lo que afecta los hábitats bentónicos.
- ❖ **Ecosistema de especies invasoras:** Los barcos pueden llevar especies invasoras a través del agua de lastre y las superficies del casco, lo que puede alterar los ecosistemas locales.
- ❖ **Eficiencia en maniobras:** Cuando se manejan en puertos y canales, las hélices FPP son menos eficientes que otros tipos de hélices (como las de paso controlable).

2.3.Mantenimiento

Realizar inspecciones periódicas es esencial para detectar cualquier anomalía que pueda comprometer la integridad de las hélices, ya que cualquier problema en estas podría afectar negativamente otras partes de la embarcación. Aunque no siempre son tan accesibles como desearíamos, la importancia de estas revisiones radica en prevenir complicaciones mayores.

Estas revisiones periódicas son necesarias incluso si tu hélice es de alta calidad y cuenta con toda una serie de capas de químicos destinados a su protección. Lo ideal sería revisar las hélices tres o cuatro veces al año, dependiendo por supuesto, del uso que se le dé a la embarcación, la calidad de las hélices y los materiales que utilicemos para su limpieza y protección. Esta revisión permitirá determinar también si las hélices han recibido algún golpe, ya sea al tocar fondo o enredarse con un cabo. Por muy pequeño que sea el golpe, puede provocar que las palas estén desniveladas o desequilibradas. Por lo tanto, además de revisar el estado de las hélices, siempre es recomendable retirarlas junto con el eje y comprobar su equilibrio y alineación. (Álvarez Blog, s.f.)

2.4.Ventajas de este sistema de propulsión

- ❖ **Simplicidad:** Las hélices de paso fijo son más simples mecánicamente que las hélices de paso controlable. Esto implica que tienen menos componentes móviles, lo que reduce la probabilidad de fallas mecánicas.
- ❖ **Costo:** Debido a su diseño simple, su fabricación y mantenimiento suelen ser más baratos.
- ❖ **Confiabilidad:** Debido a que hay menos componentes que pueden desgastarse o romperse, la simplicidad del diseño aumenta la confiabilidad.
- ❖ **Mantenimiento:** En comparación con las hélices de paso controlable, requieren menos mantenimiento, lo que puede reducir los costos operativos a largo plazo.

2.5.Desventajas de este sistema de propulsión

- ❖ **Eficiencia:** Las hélices FPP son menos eficientes en condiciones de operación variables. No pueden cambiar su ángulo de ataque para maximizar la eficiencia en diferentes velocidades y condiciones de carga.
- ❖ **Flexibilidad:** Si no puede ajustar el paso, el rendimiento puede ser deficiente en ciertas circunstancias, como durante maniobras, cambios de velocidad o variaciones en la carga del barco.
- ❖ **Rendimiento en Maniobras:** Durante maniobras complejas, las hélices de paso fijo pueden no proporcionar el mismo nivel de control y respuesta que las hélices de paso controlable, lo que puede ser una desventaja en situaciones que requieren precisión.
- ❖ **Consumo de Combustible:** En comparación con sistemas de hélices CPP, el consumo de combustible puede ser mayor debido a la menor eficiencia en condiciones variables.

3. Capítulo III: Hélices de paso controlable (CPP)

3.1. Impactos ambientales

3.1.1. Impactos positivos

- ❖ **Mejorar la eficiencia del combustible:** las hélices CPP pueden ajustarse para que funcionen mejor en una variedad de condiciones de navegación. Esto puede reducir el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones de CO₂ y otros contaminantes como NOx y SOx.
- ❖ **Reducción del ruido submarino:** Las hélices pueden ajustarse para reducir la cavitación, que es la formación de burbujas de vapor que producen ruido, lo que beneficia a la fauna marina que depende del sonido para sus actividades.
- ❖ **Mejora en maniobrabilidad:** Los sistemas CPP mejoran la maniobrabilidad, particularmente en puertos y áreas restringidas, lo que puede reducir el riesgo de accidentes, derrames de combustible y uso de remolcadores.

3.1.2. Impactos negativos

- ❖ **Complejidad y mantenimiento:** los sistemas CPP son más complejos y requieren mantenimiento más frecuente y especializado. Esto puede significar más tiempo en dique seco y mayores riesgos de fugas de aceite hidráulico, que pueden contaminar el agua, así como un mayor uso de recursos lo cual afecta de forma directa al ambiente.
- ❖ **Contaminación por lubricantes:** Las fugas de lubricantes y aceites pueden ocurrir en el sistema hidráulico de las hélices CPP, lo que puede ser perjudicial para los ecosistemas acuáticos.

- ❖ **Producción y desecho:** al momento de producir este tipo de hélices se precisan más recursos y un uso mayor de energía y al momento de desecharlos cuando han cumplido su vida útil pueden dejar residuos que de no ser tratados a tiempo y como es debido causarían un gran peligro.

3.2.Principios de funcionamiento

3.2.1. Sistema hidráulico

Un sistema hidráulico con tanque de alimentación y tanque de expansión se encarga del control del paso de la hélice mediante presión hidráulica y la lubricación del cubo de la hélice. Dos bombas de similar tamaño accionadas eléctricamente, una principal y otra de reserva se encargan de generar la presión de aceite necesario. (González Blanco, 2020)

Una vez encendidas y probadas las bombas son accionadas eléctricamente que se encuentran de forma tal que generan el paquete hidráulico de energía o más conocido como el “POWER PACK” y su ubicación suele ser por encima del tanque de aceite, por otra parte, tenemos el tanque de expansión se encuentra estratégicamente por encima de la línea de flotación.

3.2.2. OD-BOX

Es una caja diseñada para distribuir aceites en un circuito lineal hacia un circuito lineal giratorio mediante una retroalimentación. Su ubicación es delante de la caja reductora conectada al eje para poder así distribuir el aceite que permiten la rotación de las palas de la hélice.

3.2.3. Ajuste del paso de la hélice

Para ajustar el paso de la hélice, la unidad de control manda una señal eléctrica a la válvula proporcional de 4/3 para el control del ángulo mediante señal eléctrica variable. La bomba de aceite hidráulico suministra aceite a la cámara seleccionada de la OD-Box. El aceite fluye a través del tubo de aceite interno o externo, dependiendo de la configuración, al lado del pistón seleccionado del cubo. (González Blanco, 2020)

Por el otro lado del pistón tenemos aceite que es distribuido gracias a la válvula y la OD-BOX hacia el tanque, tenemos que estar consciente que hay que tener un sistema que detecte si hay variaciones en la presión del aceite y cuanto ha cambiado.

3.3.Mantenimiento

En 1969, la empresa Toyota, implanta el Mantenimiento Productivo Total (TPM). El TPM implica a todos los miembros de un equipo/empresa en las tareas de mantenimiento. Los objetivos perseguidos son:

- ❖ Cero averías.
- ❖ Cero tiempos muertos.
- ❖ Cero defectos debidos al mal estado de los equipos.
- ❖ Cero pérdidas de rendimiento. (Morocho, 2019)

Debido a que es un sistema crítico todos los fabricantes optan por recomendar que se realicen mantenimientos consecutivos para que las condiciones operativas siempre sean las mejores.

3.3.1. Mantenimiento diario

En funcionamiento

- ❖ Revisar el estado general de operación, prestando atención a cualquier ruido inusual, vibraciones o fugas.
- ❖ Evaluar las presiones de aceite en el sistema hidráulico y compararlas con los valores recomendados en el manual. (Arca, 2024)

En parado

- ❖ Revisar de forma visual los filtros.
- ❖ Power pack.
 1. Analizar la temperatura del aceite.
 2. Analizar con la varilla el nivel de aceite.

3.3.2. Mantenimiento mensual

Realizar un arranque de la bomba.

- ❖ Detener la bomba.
- ❖ Verificar si la bomba ya parada sigue en marcha.
- ❖ Comprobar si se activa la alarma por la bajada de presión.
- ❖ Regresar a la normalidad el sistema.

Corroborar que el aceite siga estando en buen estado, caso contrario realizar el cambio respectivo.

3.3.3. Mantenimiento trimestral

- ❖ Verificar en el intercambiador de calor si aun sirven los ánodos de sacrificio.
- ❖ Revisar la estanqueidad presente en la válvula de bloqueo del tubo interno.

3.3.4. Mantenimiento semestral

- ❖ Revisar las llaves de seguridad.

- ❖ Revisar las llaves de contrapresión.
- ❖ Revisar el interruptor de presión en la parte eléctrica y electrónica.
- ❖ Revisar el power pack.

3.3.5. Mantenimiento anual

- ❖ Cambiar filtro, aceites y revisar que el power pack se encuentre en buenas condiciones.
- ❖ Verificar el mando de emergencia de la hélice de paso controlable.
- ❖ Limpiar todos los estanques de aceite.
- ❖ Revisar minuciosamente toda la tubería junto con sus uniones, sellos y respectivas bridas.

3.3.6. Mantenimiento a los 5 años

- ❖ Renovar todos los sellos en el eje de la parte hidráulica.
- ❖ Cambiar todos los potenciómetros existentes en el sistema.

3.4. Ventajas de este sistema de propulsión

- ❖ **Mayor flexibilidad operativa**, debido a que se puede ajustar el paso de las hélices logrando así una optimización de la eficiencia del motor sin importar la velocidad a la que vaya el buque añadiendo su carga.
- ❖ **Optimización de combustible**, gracias a la capacidad de manipular el paso de las hélices el motor logra una eficiencia de combustible alta, más que nada cuando las condiciones operativas son variadas en cuanto a pesca o marea.
- ❖ **Máxima maniobrabilidad**, el poder hacer el cambio del paso brinda una maniobrabilidad alta, esto es muy visible y necesario en lugares estrechos

como lo son puertos o áreas donde el tráfico marítimo es mayor, ya que nos permite manipular la dirección y el control de velocidades sin necesidad de hacer cambios en el motor.

- ❖ **Los motores funcionan a buenas revoluciones**, se puede trabajar con el motor en un rango muy bueno en cuanto a revoluciones por minutos hablamos, también se cuida al motor porque no lo obligamos a realizar cambios de velocidades de golpe, reduciendo así el desgaste y estrés que las piezas del motor pueden acumular si fuera de paso fijo.
- ❖ **Reduce vibraciones y ruidos**, la capacidad que se presenta aquí de ajustar el paso de las hélices resulta en una operación mucho más suave y de esta forma evita en gran parte la vibración y el ruido que esto genera a bordo, siendo así más comfortable para la tripulación o pasajeros.
- ❖ **Vida útil de las hélices**, claramente su vida útil es superior debido a que el desgaste de esta es reducido, añadiendo que el monitoreo constante de la hélice nos indica cuando este no rinde lo mismo y se puede identificar problemas a tiempo.

3.5.Desventajas de este sistema de propulsión

- ❖ **Mayor costo inicial**, estas hélices son más caras tanto en fabricar como en conseguirlas ya que su complejidad de diseño es superior y utiliza muchos más elementos para poder realizar los ajustes de las palas.
- ❖ **Mayor complejidad y mantenimiento**, usar este sistema exige más complejidad y un mantenimiento especial y bastante frecuente, ya que, deben revisar todas las partes que componen el paso controlable tanto lo mecánico como lo hidráulico, esto aumenta también el tiempo de reparación.

- ❖ **Aumento de la carga del eje de popa**, lógicamente este sistema es más pesado que el de paso fijo por su sistema hidráulico, dejando más peso en el eje de popa, por ende, aquí se precisa un refuerzo en la estructura que sostiene el eje para que no exista problema alguno.
- ❖ **Riesgo de contaminación**, uno de los componentes principales en este tipo de hélices son los sellos que se ubican en la parte hidráulica, los mismo pueden llegar a fallar por el tiempo de uso o por algún desperfecto, esto produciría un derrame y contaminación en el mar, sin embargo, también desembocaría en un bajo rendimiento operativo.

4. IV Capítulo: Aplicación para el análisis comparativo

4.1.Descripción de la aplicación

NAVCAD es un software especializado en la industria naval ya que ofrece facilidades al momento de diseñar y analizar performance de embarcaciones o plataformas marinas. En esta aplicación podemos predecir la resistencia al avance y la potencia requerida para diferentes tipos de embarcaciones y frente a diferentes condiciones de viento y velocidades con una variedad de buques que se extiende desde los comerciales hasta el grado militar.

Es la herramienta líder de simulación de sistemas hidrodinámicos y de propulsión, que proporciona potentes cálculos de ingeniería de sistemas para el rendimiento de vehículos marinos. Se basa en un equilibrio de rendimiento basado en la física del modelo del sistema de propulsión-buque y es conocido por su predicción confiable y segura. (HYDROCOMP.INC, s.f.)

Se pueden utilizar la misma incluso para optimizar el diseño del casco y el sistema propulsor. Incluyendo aquí análisis de diferentes subdivisiones de hélices para poder llevar a cabo una evaluación de la eficiencia que esta tendría en la embarcación, la aplicación ofrece herramientas para poder introducir motores que no se encuentran en su librería, tipos de hélices e inclusive diseñar un barco a escala, añadiéndole a éste turbinas o motores eléctricos ya que también nos da un análisis de propulsión híbrida.

Nos brinda también la facilidad de poder interactuar con otras aplicaciones de la misma compañía para dar aun así una mayor efectividad en sus cálculos y también nos permite lo que viene a hacer la exportación o importación de datos adicionales.

4.2.Funcionamiento e interfaz de la aplicación

En el interfaz encontramos opciones como FILE aquí podremos guardar, importar, exportar, etc., EDIT nos permitirá editar valores que de una manera más rápida, VIEW nos sirve para visualizar las diferentes tablas o creaciones 3D, ANALYSIS es un acceso directo a los dos análisis por default que encontramos en la aplicación mismos como resistencia del buque y el sistema propulsor, LIBRARY es el lugar donde podremos crear nuestros motores, hélices, barcos, etc., TOOLS aquí veremos reflejado toda la librería que viene por defecto implementada en la aplicación de los que se mencionó en librería, HELP lugar donde podremos hacer preguntas o nos brinda un manual.

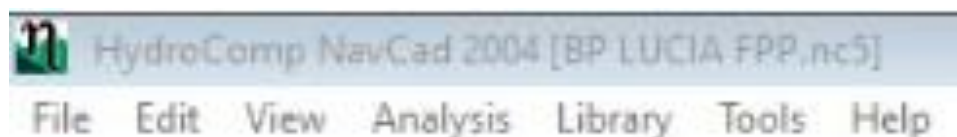


Ilustración 13 Interfaz del software
Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Una vez pasamos el interfaz de la aplicación nos encontramos con el apartado Vessel drag y added drag, mismos que hacen referencia a cálculos o datos como tipo de embarcación, vientos, mareas o canales, que permitiremos que realice la aplicación, los cálculos o datos innecesarios simplemente tendremos la opción de ubicar la palabra off dando así un mayor enfoque hacia lo que necesitamos.

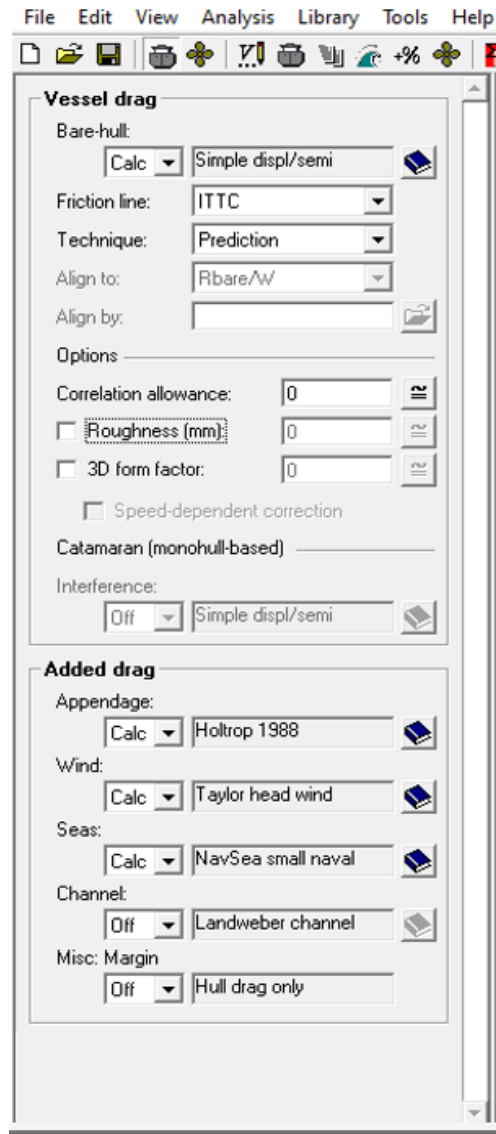


Ilustración 14 Vessel drag/Added drag

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

De la misma forma encontramos el apartado de propulsive coefficients, aquí nosotros tenemos libertad de solicitar lo que necesitamos que se analice o se calcule en cuanto a nuestro sistema propulsor.

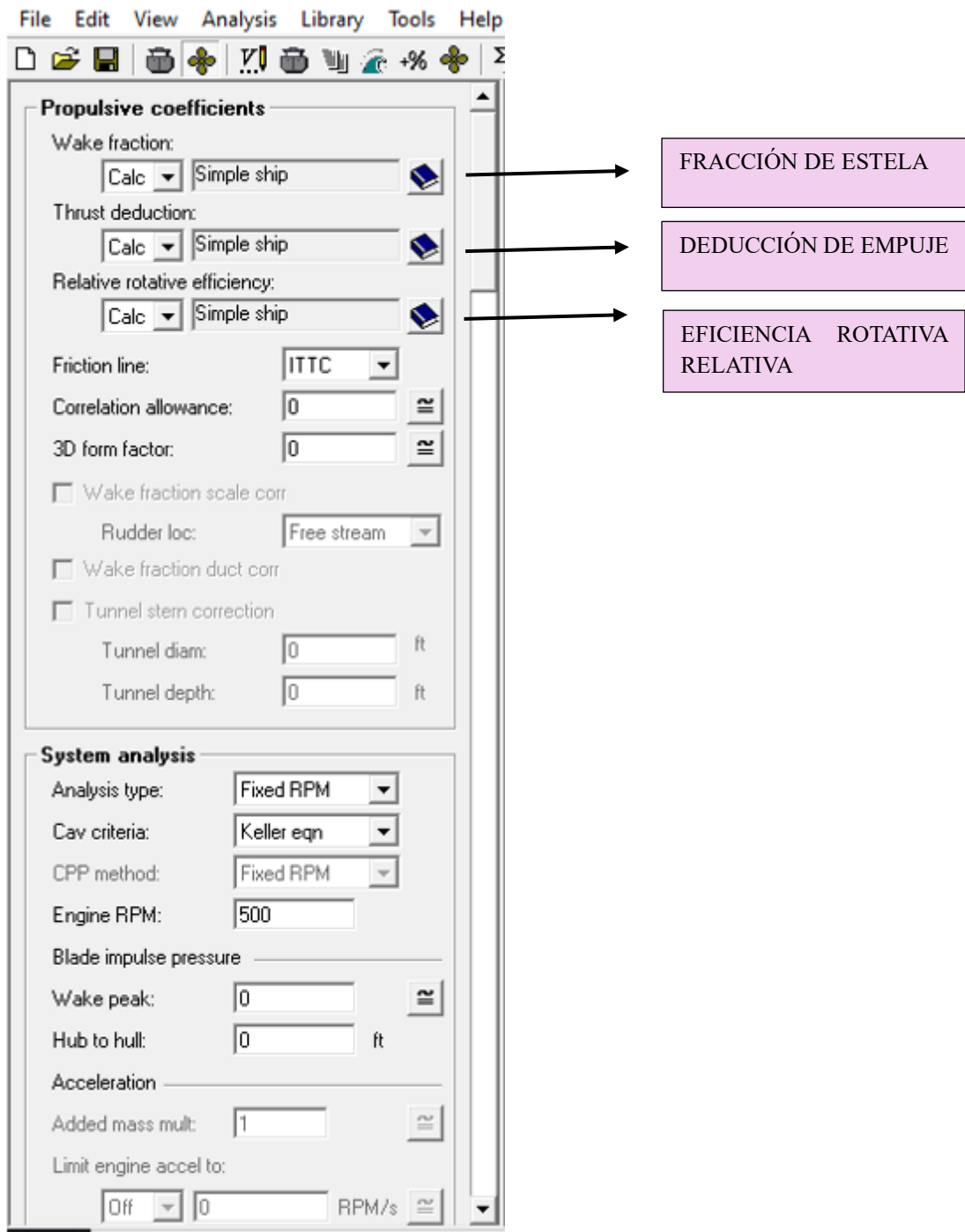


Ilustración 15 Propulsive coefficients
Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Al momento de empezar a ubicar los datos correspondientes para los cálculos debemos ubicar la densidad y la viscosidad del fluido donde nuestro buque va a operar, el caso de estudio es un buque pesquero de agua salada, por ende, solo ubicamos la opción de STD salt y esta nos dará automáticamente esas respuestas, seguido de esto como se aprecia en la imagen hay que ubicar las velocidades de crucero de diseño y la máxima.

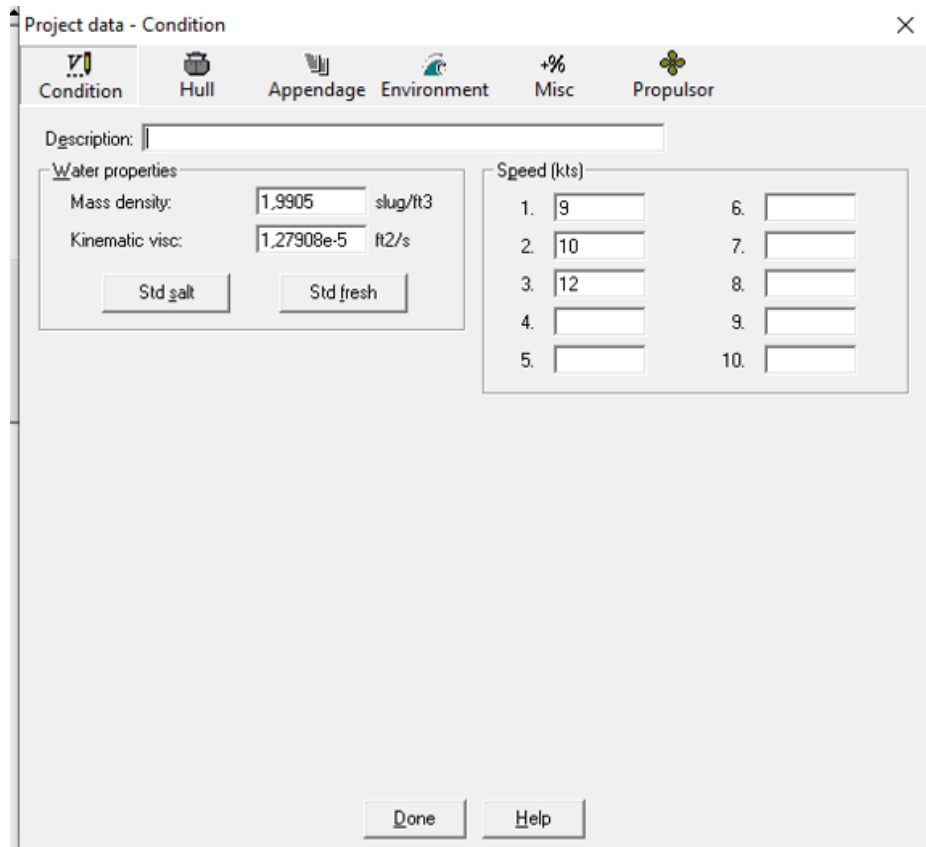


Ilustración 16 Condiciones

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

En este siguiente apartado ubicamos las medidas del buque tales como distancia entre perpendiculares, distancia de proa al punto de medición de la línea de flotación la cual tomaremos el mismo valor de las perpendiculares, manga máxima en el punto de la línea de flotación, calado, etc. Es muy importante ser exactos con las medidas, ya que, es

de aquí donde se tomarán la mayor parte si no es que todos los datos para el cálculo de la resistencia del buque.

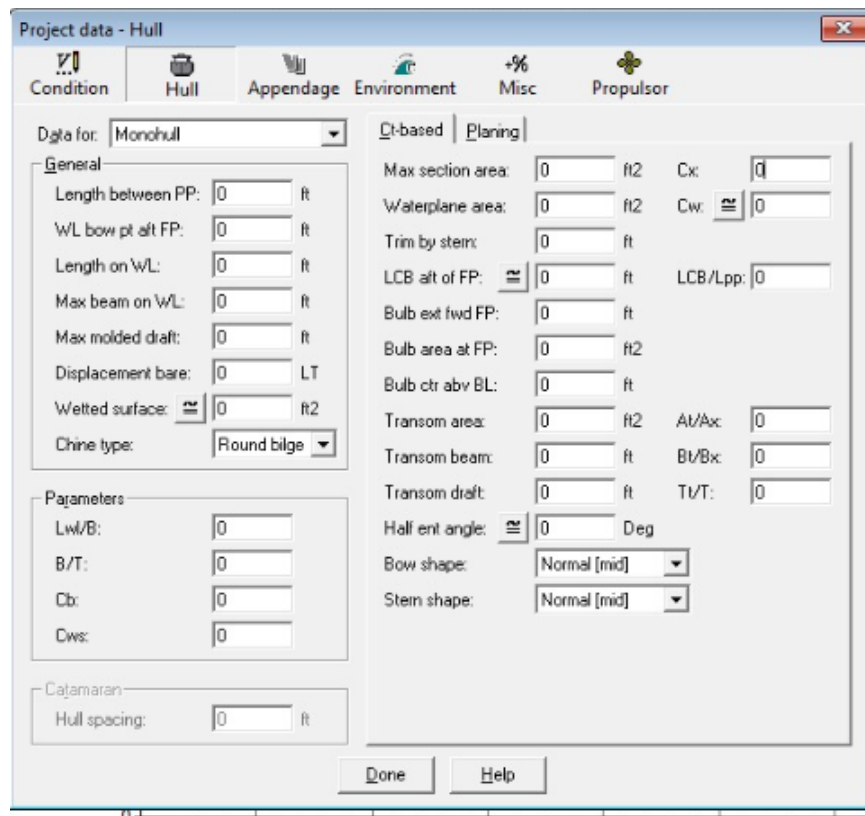


Ilustración 17 Casco

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Lo primordial aquí es ubicarnos en el tipo de buque que vamos a estudiar y el método que vamos a aplicar, por ende, Holtrop set es nuestra mejor opción, cabe recalcar que el nombre es otorgado por J. Holtrop y G.G.J. Mennen creadores del conjunto de fórmulas que usa la aplicación para el desarrollo matemático.

El método de Holtrop y Mennen es posiblemente el método más popular para estimar la resistencia y la potencia de los buques de desplazamiento. Se basa en el análisis de regresión de una amplia gama de pruebas de modelos y datos de ensayos que le confieren una amplia aplicabilidad. El método de Holtrop calcula una resistencia total

dimensional que se desglosa en varios componentes: resistencia por fricción, resistencia de los apéndices, resistencia de las olas, resistencia debida a la proa bulbosa cerca de la superficie del agua, resistencia a la presión debida a la popa sumergida, resistencia de correlación entre el modelo y el buque y resistencia del aire. (Birk, 2019)

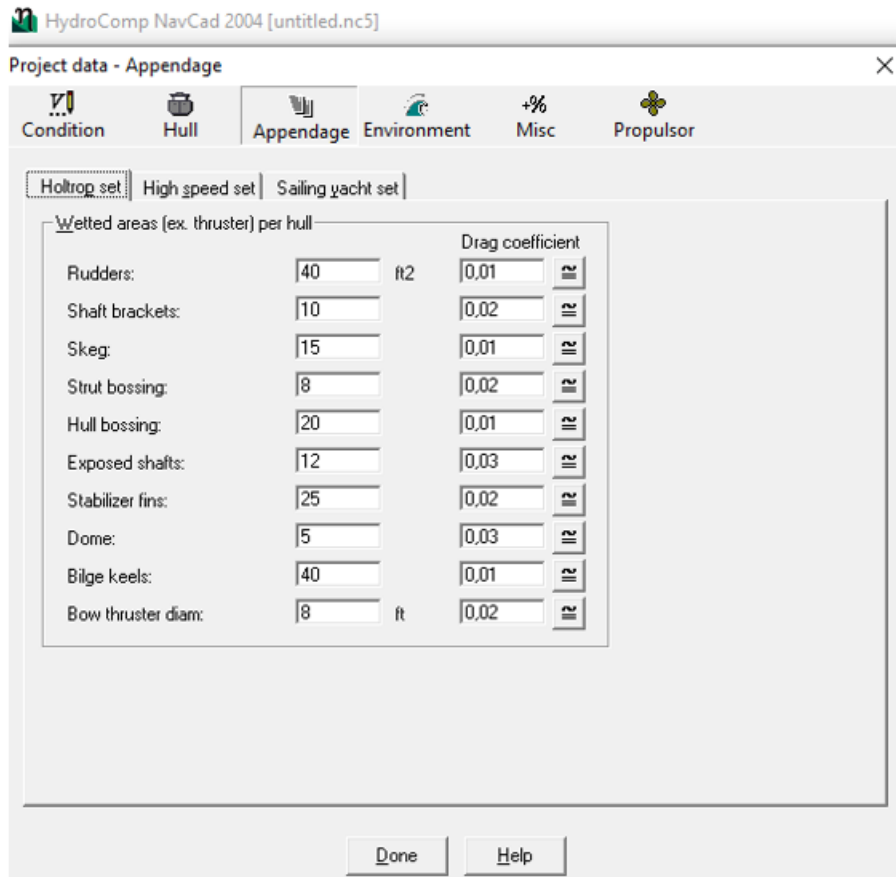


Ilustración 18 Apéndice

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Por consiguiente, tenemos ENVIRONMENT, que hace alusión las características climatológicas haciendo énfasis en el viento solicitando datos como la velocidad, el ángulo en el que golpea al barco, La ubicación del viento que obviamente es libre, altura promedio de las olas, Medida de la superestructura, entre otras características que ayudarán posteriormente al cálculo en distintas condiciones de viento y marea.

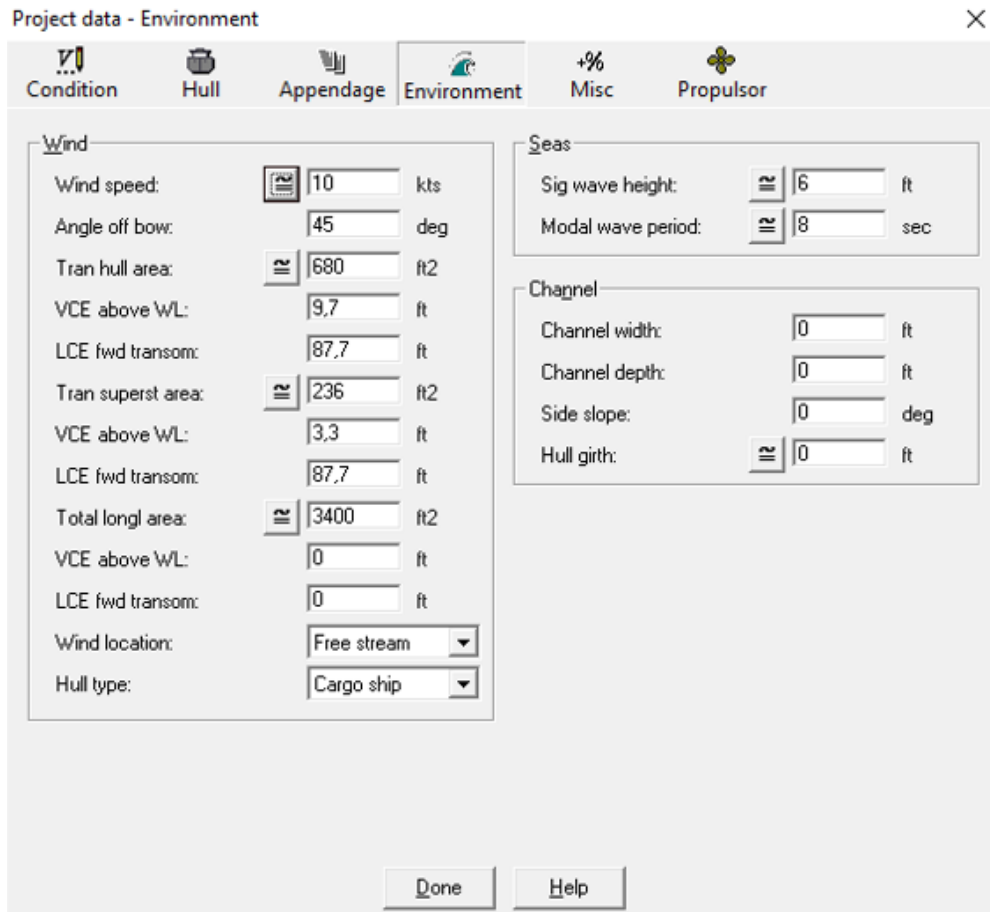


Ilustración 19 Condiciones ambientales

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

El último apartado y no menos importante viene a ser PROPULSOR dónde debemos ubicar las características generales de la hélice, sin embargo, nosotros debemos crear previamente una hélice con las características más definidas, qué le encontramos en el apartado profile, podemos crear tanto hélices FPP como se CPP, También aquí tenemos que ubicar el motor de nuestra embarcación mismo que si no se encuentra en la librería de la aplicación deberíamos crearlo previamente, aquí también tenemos valores como la rugosidad de la pala, el KT y KQ multipler pero para estos valores la aplicación nos da la facilidad de usar los estándares para el tipo de embarcación a la cual estamos haciendo el estudio.

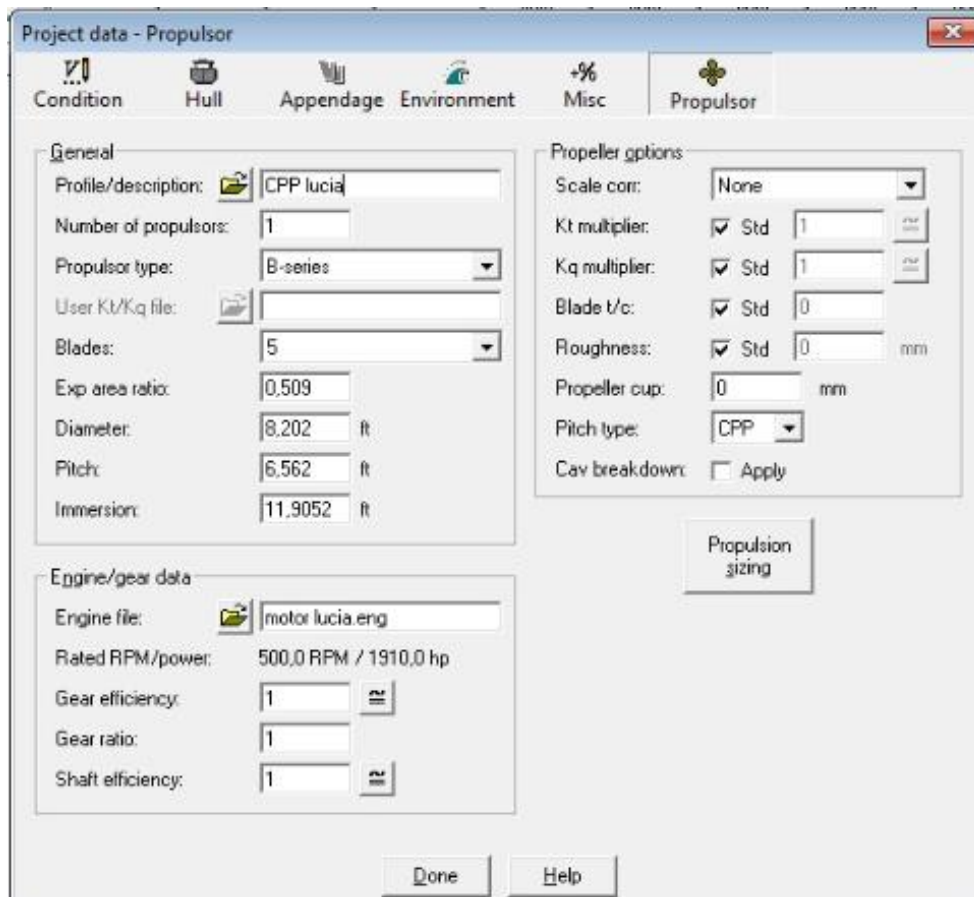


Ilustración 20 Propulsión

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Como se puede observar en la imagen anterior encontramos un botón cuya finalidad es ampliar aún más los datos de la hélice, en este apartado no solo nos solicita saber el diámetro el paso y los valores que se van a calcular de propulsión, sino que además nos brinda la opción de ubicar la velocidad de diseño del barco las cargas y RPM de diseño y las referencias de la misma, si nosotros no deseamos usar los datos aproximados que nos brinda la aplicación ubicamos la palabra **keep** y damos los valores exactos que tenemos si no hacemos uso del botón **size**.

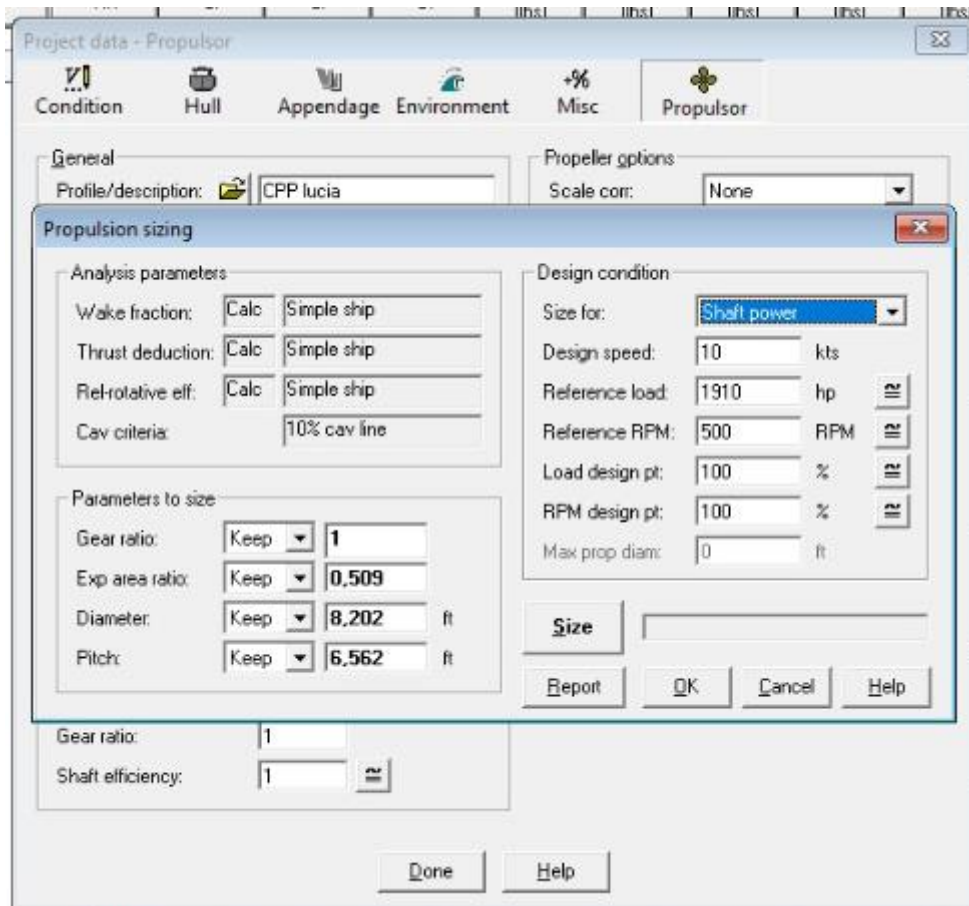


Ilustración 21 Dimensionamiento de la propulsión
 Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

4.3. Cálculos de la hélice de paso fijo

4.3.1. Datos y resultados del rendimiento del buque con FPP.

Hull data				
General:			Ct-based:	
Length between PP	150,550	[ft]	Max section area	300,000 [ft2]
WL bow pt aft FP	150,550	[ft]	Waterplane área	0,000 [ft2]
Length on WL	150,550	[ft]	Trim by Stern	1,500 [ft]
Max beam on WL	35,100	[ft]	LCB aft of FP	75,000 [ft]
Max molded draft	19,390	[ft]	Bulb ext fwd FP	10,000 [ft]
Displacement bare	1904,10	[LT]	Bulb area at FP	50,000 [ft2]
Wetted Surface	6500,000	[ft2]	Bulb ctr above BL	5,000 [ft]
Chine type	Round bilge		Transom área	100,000 [ft2]
			Transom beam	20,000 [ft]
Parameters:			Transom draft	15,000 [ft]
Lwl/B	4,2892		Half ent angle	20,000 [deg]
B/T	1,8102		Bow shape	V-shape [flat]
Cb	0,65		Stern shape	U-shape [vert]
Cws	2,0528			
			Cx	0,4408
			Cw	0,8516
			LCB/Lpp	0,4982
			At/Ax	0,3333
			Bt/Bx	0,5698
			Tt/T	0,7736

Tabla 1 Datos del casco con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Appendages				
Wetted areas (ex. thruster):			[Drag coefficient]	
Rudders	40,000	[ft2]	[0,010]	
Shaft brackets	10,000	[ft2]	[0,020]	
Skeg	15,000	[ft2]	[0,010]	
Strut bossing	8,000	[ft2]	[0,020]	
Hull bossing	20,000	[ft2]	[0,010]	
Exposed shafts	12,000	[ft2]	[0,030]	
Stablizer fins	25,000	[ft2]	[0,020]	
Dome	5,000	[ft2]	[0,030]	
Bilge keel	40,000	[ft2]	[0,010]	
Bow thruster diam	8,000	[ft]	[0,020]	
Parameters:	Holtrop 1988			

Tabla 2 Apéndice con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Environment data					
Wind:			Seas:		
Wind speed	10,00	[kts]	Sig. wave height	6,000	[ft]
Angle off bow	45,000	[deg]	Modal wave period	8	[sec]
Tran hull área	680,000	[ft2]			
VCE above WL	9,700	[ft2]	Channel:		
Tran superst area	236,000	[ft2]	Channel width	0,000	[ft]
VCE above WL	3,300	[ft]	Channel Depth	0,000	[ft]
Total Longl area	3400,000	[ft2]	Side slope	0,000	[deg]
VCE above WL	0,000	[ft]	Wetted hull girth	0,000	[ft]
Wind speed	Free stream				
Arrangement	Cargo ship				

Tabla 3 Datos del entorno con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Prediction results							
Vel [kts]	Fn	Rn	Cf	[Cform]	[Cw]	Cr	Ct
9,00	0,218	1,79e+8	0,00191 9	0,00000 0	0,00000 0	0,01189 4	0,013813
10,00	0,243	1,99e+8	0,00189 1	0,00000 0	0,00000 0	0,01309 6	0,014987
12,00	0,291	2,38e+8	0,00184 4	0,00000 0	0,00000 0	0,01538 4	0,017228
Vel [kts]	Rw/W	Rr/W	Rbare/W	Rw [lbs]	Rr [lbs]	Rbare [lbs]	PEbare [hp]
9,00	0,00000	0,00416	0,00483	0	17755	20618	569
10,00	0,00000	0,00566	0,00648	0	24134	27619	848
12,00	0,00000	0,00957	0,01072	0	40824	45718	1684
Vel [kts]	Rapp [lbs]	Rwind [lbs]	Rseas [lbs]	Rchan [lbs]	Rmisc [lbs]	Rtotal [lbs]	PEtotal [hp]
9,00	1848	763	0	0	0	23229	642
10,00	2282	877	0	0	0	30777	944
12,00	3285	1129	0	0	0	50132	1846

Tabla 4 Predicción de resultados del rendimiento con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Los valores mostrados en la Tabla 4 hace referencia cuando el buque está a 9, 10 y 12 nudos siendo esta la explicación de cada punto analizado por el software:

- ❖ El número de Froude, indica la relación entre la velocidad del buque y la velocidad de las olas generadas.
- ❖ El número de Reynolds, es el flujo turbulento alrededor del casco y la hélice.
- ❖ El coeficiente de fricción mide la resistencia friccional entre el casco y el agua.
- ❖ La resistencia residual representa la resistencia no friccional, inducida por olas.
- ❖ La resistencia total efectuada es la suma de todas las resistencias.
- ❖ La resistencia residual como fracción del peso es la proporción del peso del barco frente a la resistencia residual.
- ❖ La resistencia del casco desnudo es la resistencia del casco sin apéndices.
- ❖ La resistencia residual, son fuerzas no friccionales sobre el buque.
- ❖ Resistencia del casco involucra la resistencia del casco desnudo y otras resistencias asociadas a este.
- ❖ Potencia efectiva del casco desnudo es la potencia necesaria para superar la resistencia del casco desnudo.
- ❖ La resistencia adicional son fuerzas adicionales, es decir, los apéndices.
- ❖ Resistencia que ofrece el viento al buque.
- ❖ Resistencia total es la suma de todas las resistencias antes mencionadas.
- ❖ La potencia efectiva total requerida, es la potencia necesaria para superar la resistencia total.

Se puede evaluar las resistencias totales con las diferentes contribuciones que hay en el buque a diferentes velocidades lo cual es esencial para optimizar el diseño del casco mejorando así la eficiencia general.

Otro cálculo muy común que podemos obtener mediante la Tabla 4 es la optimización del consumo de combustible al momento de analizar la potencia efectiva total y la resistencia total.

También podremos calcular el impacto y estado del mar, de la misma forma el diseño del casco y la eficiencia operacional de éste conociendo la potencia efectiva y las resistencias a diferentes velocidades.

4.3.2. Datos y resultados del análisis de propulsión del buque con FPP.

Propulsive coefficients			
Wake fract:	Simple ship		
Fn(Lwl)	0...0,4	0,22	
Fn-high	0...0,4	0,29	
Cvol(Lwl)	4,15...11,26	3,71	Limit
Thrust ded:	Simple ship		
Fn(Lwl)	0...0,4	0,22	
Fn-high	0...0,4	0,29	
Cvol(Lwl)	4,15...11,26	3,71	Limit
Rel rot eff:	Simple ship		
Fn(Lwl)	0...0,4	0,22	
Fn-high	0...0,4	0,29	
Cvol(Lwl)	4,15...11,26	3,71	Limit

Tabla 5 Coeficientes de propulsión con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

El número de Froude, cuyo número es adimensional y relaciona la velocidad del buque con la línea de flotación, es utilizado comúnmente para calcular el flujo alrededor del casco del barco.

El número de Froude alto, se lo aplica para realizar los estudios del barco a altas velocidades, de la misma forma ayuda a entender cómo cambian los distintos coeficientes dependiendo la velocidad.

El coeficiente volumétrico basado en la longitud de la línea de flotación es utilizado para la forma y el volumen del casco.

Hull data					
General:			Ct-based:		
Length between PP	150,550	[ft]	Max section area	300,000	[ft2]
WL bow pt aft FP	150,550	[ft]	Waterplane area	0,000	[ft2]
Length on WL	150,550	[ft]	Trim by stern	1,500	[ft]
Max beam on WL	35,100	[ft]	LCB aft of FP	75,000	[ft]
Max molded draft	19,390	[ft]	Bulb ext fwd FP	10,000	[ft]
Displacement bare	1904,10	[LT]	Bulb area at FP	50,000	[ft2]
Wetted Surface	6500,00	[ft2]	Bulb ctr above BL	5,000	[ft]
Chine type	Round bilge		Transom área	100,000	[ft2]
			Transom beam	20,000	[ft]
			Transom draft	15,000	[ft]
			Half ent angle	20,000	[deg]
Parameters:			Bow shape	V-shape [flat]	
Lwl/B	4,2892		Stern shape	U-shape [vert]	
B/T	1,8102				
Cb	0,65				
Cws	2,0528				

Tabla 6 Datos del casco con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Estos valores son los mismos que se aplicó en Tabla 1 Datos del casco con FPP, ya que son datos compartidos porque estos se mantienen sin variación alguna.

Propulsor data				
Description	HELICE Lucia			
Series	B-series		Scale corr	B-series
Blades	5		Kt mult	[std] 1,000
Exp area ratio	1,000		Kq mult	[std] 1,000
Diameter	8,20	[ft]	Blade T/C	[std] 0,000
Pitch	6,56	[ft]	Roughness	[std] 0,0
Pitch type	FPP		Cav breakdown	[Apply]
			Propeller cup	300,0
	Engine data			
Engine file	MAN Lucia.eng	1910 HP, 500 RPM, 9 cilindros	Gear ratio	1,000
Gear efficiency	1		Shaft efficiency	1,000

Tabla 7 Datos del propulsor con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Prediction results							
Vel [kts]	Rtotal [lbs]	WakeFr	ThrDed	RelRot	EngRP M	PropRP M	Pitch [ft]
9,00	23229	0,2800	0,2397	1,0000	500,0	500,0	6.562
10,00	30777	0,2800	0,2397	1,0000	500,0	500,0	6.562
12,00	50132	0,2800	0,2397	1,0000	500,0	500,0	6.562
Vel [kts]	PropRn	J	Kt	Kq	PropEff	HullEff	OPC
9,00	4,29e+7	0,1600	6,2311	1,2030	0,1319	1,0560	0,1393
10,00	4,29e+7	0,1778	6,2856	1,2324	0,1443	1,0560	0,1524
12,00	4,30e+7	0,2134	6,3836	1,2897	0,1681	1,0560	0,1775
Vel [kts]	Thr/prop [lbs]	DelThr [lbs]	PropTorq [ft-lb]	PD/prop [hp]	PS/prop [hp]	PB/prop [hp]	PBtotal [hp]
9,00	3897991	2963747	6172697	587639	587639	587639	587639
10,00	3932081	2989668	6323304	601977	601977	601977	601977
12,00	3993402	3036291	6617451	629980	629980	629980	629980
Vel [kts]	Fuel/eng [gph]	Sigma	MinP/D	TipSpd [fps]	%Cav	Press [psi]	MinEAR
9,00	75	23,88	0,502	214,7	56,4	22,2	2,1476
10,00	82	19,34	0,513	214,7	56,4	22,2	2,1472
12,00	90	13,43	0,534	214,7	56,4	22,2	2,1464

Tabla 8 Predicción de resultados del análisis de propulsión con FPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Gracias al conjunto de datos que nos ofrece esta tabla podemos evaluar la eficiencia de la hélice calculando la eficiencia de esta y comparándola con la eficiencia del casco a diferentes velocidades como se ha venido trabajando.

También podemos analizar el consumo de combustible y la eficiencia energética a diferentes velocidades.

Otro cálculo más sería el impacto de la cavitación en la hélice usando los valores de Sigma y el porcentaje de cavitación.

Podemos evaluar el empuje y el par de la hélice a diferentes velocidades para así asegurarnos que nuestra hélice está generando el suficiente empuje para las necesidades que el buque y sin pasar los límites del motor.

En resumen esta tabla nos ofrece una visión más detallada de lo que viene hacer el rendimiento tanto de la hélice y del buque a diferentes velocidades permitiéndonos a nosotros ajustar y optimizar mejor la eficiencia para reducir costos operativos y consumos excesivos.

4.3.3. Datos y resultados del rendimiento del buque con CPP.

Hull data					
General:			Ct-based:		
Length between PP	150,550	[ft]	Max section area	300,000	[ft2]
WL bow pt aft FP	150,550	[ft]	Waterplane area	0,000	[ft2]
Length on WL	150,550	[ft]	Trim by Stern	1,500	[ft]
Max beam on WL	35,100	[ft]	LCB aft of FP	75,000	[ft]
Max molded draft	19,390	[ft]	Bulb ext fwd FP	10,000	[ft]
Displacement bare	1904,10	[LT]	Bulb area at FP	50,000	[ft2]
Wetted surface	6500,000	[ft2]	Bulb ctr above BL	5,000	[ft]
Chine type	Round bilge		Transom área	100,000	[ft2]
			Transom beam	20,000	[ft]
			Transom draft	15,000	[ft]
			Half ent angle	20,000	[deg]
Lwl/B	4,2892		Bow shape	V-shape [flat]	
B/T	1,8102		Stern shape	U-shape [vert]	
Cb	0,65				
Cws	2,0528				
			Cx	0,4408	
			Cw	0,8516	
			LCB/Lpp	0,4982	
			At/Ax	0,3333	
			Bt/Bx	0,5698	
			Tt/T	0,7736	

Tabla 9 Datos del casco CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Appendages				
Wetted areas (ex. thruster):			[Drag coefficient]	
Rudders	40,000	[ft²]	[0,010]	
Shaft brackets	10,000	[ft²]	[0,020]	
Skeg	15,000	[ft²]	[0,010]	
Strut bossing	8,000	[ft²]	[0,020]	
Hull bossing	20,000	[ft²]	[0,010]	
Exposed shafts	12,000	[ft²]	[0,030]	
Stablizer fins	25,000	[ft²]	[0,020]	
Dome	5,000	[ft²]	[0,030]	
Bilge keel	40,000	[ft²]	[0,010]	
Bow thruster diam	8,000	[ft]	[0,020]	
Parameters:	Holtrop 1988			

Tabla 10 Apéndice con CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Environment data					
Wind:			Seas:		
Wind speed	10,00	[kts]	Sig. wave height	6,000	[ft]
Angle off bow	45,000	[deg]	Modal wave period	8	[sec]
Tran hull area	680,000	[ft²]			
VCE above WL	9,700	[ft²]	Channel:		
Tran superst area	236,000	[ft²]	Channel width	0,000	[ft]
VCE above WL	3,300	[ft]	Channel Depth	0,000	[ft]
Total Longl area	3400,000	[ft²]	Side slope	0,000	[deg]
VCE above WL	0,000	[ft]	Wetted hull girth	0,000	[ft]
Wind speed	Free stream				
Arrangement	Cargo ship				

Tabla 11 Datos del entorno con CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Prediction results							
Vel [kts]	Fn	Rn	Cf	[Cform]	[Cw]	Cr	Ct
11,00	0,267	2,19e+8	0,001866	0,000000	0,000000	0,014258	0,016124
12,00	0,291	2,38e+8	0,001844	0,000000	0,000000	0,015384	0,017228
14,00	0,340	2,78e+8	0,001806	0,000000	0,000000	0,017546	0,019352
Vel [kts]	Rw/W	Rr/W	Rbare/W	Rw [lbs]	Rr [lbs]	Rbare [lbs]	PEbare [hp]
11,00	0,00000	0,00745	0,00843	0	31793	35954	1214
12,00	0,00000	0,00957	0,01072	0	40824	45718	1684
14,00	0,00000	0,01486	0,01639	0	63376	69900	3003
Vel [kts]	Rapp [lbs]	Rwind [lbs]	Rseas [lbs]	Rchan [lbs]	Rmisc [lbs]	Rtotal [lbs]	PEtotal [hp]
11,00	2761	999	0	0	0	39713	1341
12,00	3285	1129	0	0	0	50132	1846
14,00	4472	1412	1233	0	0	77017	3309

Tabla 12 Predicción de resultados del rendimiento en CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Esta tabla usa los mismos cálculos y llega al mismo análisis que la Tabla 4 Predicción de resultados del rendimiento con FPP, cambiando únicamente los valores de velocidad debido a la hélice CPP que utilizamos.

4.3.4. Datos y resultados del análisis de propulsión del buque con CPP

Wake fract:	Simple ship			
Fn(Lwl)	0...0,4	0,27		
Fn-high	0...0,4	0,34		
Cvol(Lwl)	4,15...11,26	3,71	Limit	
Thrust ded:	Simple ship			
Fn(Lwl)	0...0,4	0,27		
Fn-high	0...0,4	0,34		
Cvol(Lwl)	4,15...11,26	3,71	Limit	
Rel rot eff:	Simple ship			
Fn(Lwl)	0...0,4	0,27		
Fn-high	0...0,4	0,34		
Cvol(Lwl)	4,15...11,26	3,71	Limit	

Tabla 13 Coeficientes de propulsión con CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Propulsor data					
Description	CPP LUCIA				
Series	B-series		Scale corr	None	
Blades	5		Kt mult	[std] 1,000	
Exp area ratio	0,509		Kq mult	[std] 1,000	
Diameter	8,202	[ft]	Blade T/C	[std] 0,000	
Pitch	3,692	[ft]	Roughness	[std] 0,0	[mm]
Pitch type	CPP		Cav breakdown	[Off]	
			Propeller cup	0,0	[mm]
Engine data					
Engine file	motor lucia.eng		Gear ratio	1,000	
Gear efficiency	1		Shaft efficiency	1,000	

Tabla 14 Datos del propulsor con CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Hull data					
General:			Ct-based:		
Length between PP	150,550	[ft]	Max section area	300,000	[ft2]
WL bow pt aft FP	150,550	[ft]	Waterplane area	0,000	[ft2]
Length on WL	150,550	[ft]	Trim by Stern	1,500	[ft]
Max beam on WL	35,100	[ft]	LCB aft of FP	75,000	[ft]
Max molded draft	19,390	[ft]	Bulb ext fwd FP	10,000	[ft]
Displacement bare	1904,10	[LT]	Bulb area at FP	50,000	[ft2]
Wetted surface	6500,000	[ft2]	Bulb ctr above BL	5,000	[ft]
Chine type	Round bilge		Transom área	100,000	[ft2]
			Transom beam	20,000	[ft]
			Transom draft	15,000	[ft]
Parameters:			Half ent angle	20,000	[deg]
Lwl/B	4,2892		Bow shape	V-shape [flat]	
B/T	1,8102		Stern shape	U-shape [vert]	
Cb	0,65				
Cws	2,0528				

Tabla 15 Datos del casco con CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Aquí volvimos a usar datos ya expresados con anterioridad, tal explicación se encuentre al pie de la Tabla 1 Datos del casco con FPP.

Prediction results							
Vel [kts]	Rtotal [lbs]	WakeFr	ThrDed	RelRot	EngRP M	PropRP M	Pitch [ft]
11,00	39713	0,2800	0,2397	1,0000	418,6	418,6	3,692
12,00	50132	0,2800	0,2397	1,0000	466,8	466,8	3,692
14,00	77017	0,2800	0,2397	1,0000	500	500	3,692
Vel [kts]	PropRn	J	Kt	Kq	PropEff	HullEff	OPC
11,00	1,83e+7	0,2336	0,1191	0,0120	0,3677	1,0560	0,3883
12,00	2,04e+7	0,2285	0,1209	0,0121	0,3621	1,0560	0,3823
14,00	2,50e+7	0,2183	0,1246	0,0124	0,3502	1,0560	0,3699
Vel [kts]	Thr/prop [lbs]	DelThr [lbs]	PropTorq [ft-lb]	PD/prop [hp]	PS/prop [hp]	PB/prop [hp]	PBtotal [hp]
11,00	52223	39706	43308	3452	3452	3452	3452
12,00	65948	50142	54335	4830	4830	4830	4830
14,00	101319	77036	82434	8949	8949	8949	8949
Vel [kts]	Fuel/eng [gph]	Sigma	MinP/D	TipSpd [fps]	%Cav	Press [psi]	MinEAR
11,00	46.69	15,99	0,416	179,8	13,4	13,5	0,5790
12,00	50.94	13,43	0,414	200,5	25,1	17,0	0,7191
14,00	59.433	9,87	0,411	244,8	71,4	26,2	1,0779

Tabla 16 Predicción de resultados del análisis de propulsión con CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Esta tabla usa los mismos cálculos y llega al mismo análisis que la Tabla 8 Predicción de resultados del análisis de propulsión con FPP, cambiando únicamente los valores de velocidad, tipo de hélice, paso de la hélice, cavitación y una variación más amplia de la RPM y HP del motor.

5. Capítulo V: Análisis comparativo

5.1. Comparación de los datos obtenidos de predicción de resultados de análisis de propulsión FPP y CPP

Tendremos en cuenta los valores que la aplicación nos ha brindado de Tabla 8 Predicción de resultados del análisis de propulsión con FPP y la Tabla 16 Predicción de resultados del análisis de propulsión con CPP; de entrada la CPP lleva la ventaja de ir 2 nudos por encima de su contraparte.

5.1.1. Análisis de eficiencia propulsiva

CPP

- ❖ Velocidad 11 kt: 0.3677
- ❖ Velocidad 12 kt: 0.3621
- ❖ Velocidad 14 kt: 0.3502

FPP

- ❖ Velocidad 9 kt: 0.1319
- ❖ Velocidad 10 kt: 0.1443
- ❖ Velocidad 12 kt: 0.1681

En resumen de este análisis nos damos cuenta de que las hélices CPP son significativamente más eficientes frente a las FPP en todas las velocidades comparadas.

5.1.2. Consumo de combustible

CPP

- ❖ Velocidad 11 kt: 46.69 gph
- ❖ Velocidad 12 kt: 50.94 gph

- ❖ Velocidad 14 kt: 59.433 gph

FPP

- ❖ Velocidad 9 kt: 75 gph
- ❖ Velocidad 10 kt: 82 gph
- ❖ Velocidad 12 kt: 90 gph

Gracias a los datos mostrados en las tablas podemos darnos cuenta de que el consumo de las hélices CPP es mucho menor comparado con la FPP siendo está un poco más eco amigable y reduciendo el costo operativo.

5.1.3. Empuje de la hélice

CPP

- ❖ Velocidad 11 kt: 52223 lbs
- ❖ Velocidad 12 kt: 65948 lbs
- ❖ Velocidad 14 kt: 101319 lbs

FPP

- ❖ Velocidad 9 kt: 3897991 lbs
- ❖ Velocidad 10 kt: 392081 lb
- ❖ Velocidad 12 kt: 3993402 lb

Como podemos observar las hélices FPP proporcionan mucho más empuje en todas sus velocidades frente a las CPP pero esto se debe a las diferencias en el diseño de la hélice y no necesariamente en la eficiencia.

5.1.4. Torque de la hélice

CPP

- ❖ Velocidad 11 kt: 43308 ft/lb
- ❖ Velocidad 12 kt: 54335 ft/lb
- ❖ Velocidad 14 kt: 82434 ft/lb

FPP

- ❖ Velocidad 9 kt: 6172697 ft/lb
- ❖ Velocidad 10 kt: 6323304 ft/lb
- ❖ Velocidad 12 kt: 6617451 ft/lb

Aquí hemos demostrado cómo claramente las hélices CPP por su capacidad de movilidad de palas necesita llegar a un punto en específico de RPM para comenzar a operar de la manera más adecuada en cambio las hélices FPP apenas enciendes el motor y este genera RPM la transforma en empuje y torque directo.

5.1.5. RPM del motor

CPP

- ❖ Velocidad 11 kt: 418.6 RPM
- ❖ Velocidad 12 kt: 466.8 RPM
- ❖ Velocidad 14 kt: 570.1 RPM

FPP

- ❖ Velocidad 9 kt: 500 RPM
- ❖ Velocidad 10 kt: 500 RPM
- ❖ Velocidad 12 kt: 500 RPM

Tal y como era de esperarse las hélices CPP brindan una mayor protección y vida útil del motor ya que éstas realizan acondicionamiento entre el paso de la hélice y las revoluciones a las que va el motor mientras que en la FPP estos cambios suelen ser de manera brusca acortando así la vida del motor y ocasionando una pérdida parasitaria mayor.

Como conclusión a esto tenemos que las hélices CPP a primera vista son una mejor opción en términos de eficiencia y consumo de combustible. Con su capacidad de mover las palas a los ángulos que sean necesarios podemos incrementar o disminuir el empuje de la hélice.

5.2.Comparación de los impactos ambientales

Por un lado tenemos hélices de paso fijo mismas que en vez de beneficios tiene impactos muy negativos, mismos que son emisiones de gases de efecto invernadero, ruido submarino, eficiencia energética deficiente e incluso puede llevar especies invasoras.

Como segunda opción tenemos las hélices de paso controlable han mejorado a su antecesor, sacando así impactos positivos en cuanto a la reducción del ruido submarino, la mejora de maniobrabilidad para el tema entrar a puertos o canales y una eficiencia de combustible muy notoria reduciendo así emisiones de CO₂ y otros contaminantes como NO_x y Sox.

Sin embargo, para este tipo de hélices CPP primeramente la producción en masa genera más uso de recursos y un uso mayor de energía, apenas cumplen su ciclo de vida y es muy probable que dejen residuos altamente peligrosos, otro de los aspectos negativos se podría decir que es su complejidad estructural y mantenimiento seguido como es de conocimiento público este tipo de hélices necesita un sistema hidráulico dentro del eje por ende necesita una mayor atención en el área de mantenimiento como se mencionó

con anterioridad, de algo que sí no se pudo salvar de su antecesor es del riesgo de contaminación por lubricantes y aquí en cualquier instancia puede haber una falla en la línea de ejes y puede ocasionar un derrame.

CONCLUSIONES

- ❖ En base al análisis del funcionamiento de ambas hélices se puede observar las diferencias notorias que estas traen en su línea de eje, teniendo la FPP un eje macizo mientras que la CPP tiene un eje hueco mismo que lleva por dentro un sistema hidráulico que controla aceite a presión para ejecutar el paso de la hélice, cabe destacar que este control se ejecuta electrónicamente.
- ❖ En base a los datos de la embarcación e identificando las ventajas y desventajas que tienen las dos hélices en cuestión concluyo que las hélices de paso controlable en este caso puntual nos favorecerían en términos de rendimiento, maniobrabilidad, velocidad y nos facilita el arte de pesca logrando un mayor capital a un bajo costo operativo, dado que los impactos negativos que esta trae no son debido a su diseño, más bien son producto de errores humanos porque suelen reducir costos en el mantenimiento, evitando el mantenimiento mensual y trimestral siendo estos los más importante para llevar un control y evitar así posibles fallas o derrames.
- ❖ Utilizando el software NavCad medimos el consumo de combustible en ambas hélices y el resultado de esto lo podemos observar en el apartado de “Consumo de combustible” mismo que nos deja saber que la mejor opción es la hélice CPP gracias a la autonomía que esta desempeña y su facilidad para cambiar el paso de las palas.

RECOMENDACIONES

Se sugiere a la empresa pesquera considerar el cambio de FPP a CPP En dicha embarcación para mejorar y aumentar la faena de pesca. La capacidad de ajustar el paso de la hélice en tiempo real permitirá un rendimiento óptimo del motor, así se obtendría una mayor velocidad y maniobrabilidad, especialmente en condiciones de pesca difícil. Este cambio no solo maximizará la eficiencia operativa, sino que también prolongará la vida útil del motor y va a reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

Integrar el software NavCad al sílabo para mejorar el aprendizaje de los estudiantes de ingeniería marítima, ya que este software es utilizado en grandes astilleros a nivel mundial, y permitirá a los estudiantes comprender mejor las ventajas y el funcionamiento de las hélices. La familiarización con esta tecnología avanzará las habilidades prácticas y teóricas, preparándolos para enfrentar los desafíos de la industria marítima moderna.

ANÉXOS

Anexo A: Tabla de propulsión con paso de 7 grados.

Propulsion results CPP							
Vel [kts]	Rtotal [lbs]	WakeFr	ThrDed	RelRot	EngRP M	PropRP M	Pitch [ft]
11,00	39713	0,2800	0,2397	1,0000	279,5	279,5	7,000
12,00	50132	0,2800	0,2397	1,0000	312,3	312,3	7,000
14,00	77017	0,2800	0,2397	1,0000	382,9	382,9	7,000
Vel [kts]	PropRn	J	Kt	Kq	PropEff	HullEff	OPC
11,00	1,23e+7	0,3499	0,2672	0,0358	0,4156	1,0560	0,4389
12,00	1,38e+7	0,3415	0,2702	0,0361	0,4071	1,0560	0,4298
14,00	1,68e+7	0,3251	0,2761	0,0366	0,3899	1,0560	0,4118
Vel [kts]	Thr/prop [lbs]	DelThr [lbs]	PropTorq [ft-lb]	PD/prop [hp]	PS/prop [hp]	PB/prop [hp]	PBtotal [hp]
11,00	52206	39694	57376	3053	3053	3053	3053
12,00	65957	50149	72244	4296	4296	4296	4296
14,00	101262	76992	110199	8033	8033	8033	8033
Vel [kts]	Fuel/eng [gph]	Sigma	MinP/D	TipSpd [fps]	%Cav	Press [psi]	MinEA R
11,00	14	15,99	0,623	120,0	24,8	13,5	0,7105
12,00	16	13,43	0,619	134,1	38,2	17,0	0,8841
14,00	9.87	9,87	0,612	164,4	85,7	26,1	1,3293

Tabla 17 Predicción de resultados del análisis de propulsión con CPP

Obtenido de: HydroComp NavCad 2004

Anexo B: Solicitud de datos del estudiante a la empresa.

Manta, 29 de Mayo 2024

Señores
Grupo DEGFER
Ciudad. -

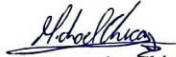
De nuestras consideraciones:


Michael Alexander Chica Intriago con cédula de identidad de 1315966299 y Denisse Lisbeth Ayala Chiguano con cédula de identidad de 172310754-4, nos dirigimos a ustedes en calidad de estudiantes universitarios del noveno semestre de la carrera Ingeniería Marítima perteneciente a la facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura, para solicitar formalmente los datos de embarcaciones pertenecientes a la empresa.

Estos datos son necesarios para llevar a cabo las tesis de grado, mismas que se centrarán en el "ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN DE HÉLICES DE PASO FIJO Y DE PASO CONTROLABLE EN UN BUQUE PESQUERO CON LA UTILIZACIÓN DE NavCad" y "ANÁLISIS DINÁMICO Y VELOCIDAD CRÍTICA DEL SISTEMA DE EJES DE PROPULSIÓN DE BARCOS".

Agradecemos de antemano su ayuda con este requerimiento, ya que, todos los datos serán fundamentales para mi investigación.

Por su gentil atención reitero mis sentimientos de aprecio y consideración.


Michael Alexander Chica Intriago
C.I. 131596629-9


Denisse Lisbeth Ayala Chiguano
C.I. 172310754-4

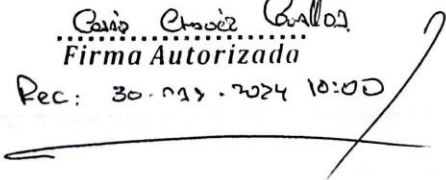
GRUPO DEGFER Cia. Ltda.
Cesar Cruz Gallo
.....
Firma Autorizada
Rec: 30.05.2024 10:00


Ilustración 22 Oficio de solicitud de datos

Obtenido de: Elaboración propia

Anexo C: Respuesta de la empresa al estudiante.



Manta, lunes 10 de junio del 2024

Señores,
Michael Alexander Chica Intriago y Denisse Lisbeth Ayala Chiguano
Estudiantes de Ingeniería Marítima
Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura
Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
De mis consideraciones:

En respuesta a su solicitud presentada el 29 de mayo de 2024, en la cual solicitaron datos técnicos de las embarcaciones en cuestión para el desarrollo de sus tesis de grado tituladas "ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN DE HÉLICES DE PASO FIJO Y DE PASO CONTROLABLE EN UN BUQUE PESQUERO CON LA UTILIZACIÓN DE NavCad" y "ANÁLISIS DINÁMICO Y VELOCIDAD CRÍTICA DEL SISTEMA DE EJES DE PROPULSIÓN DE BARCOS", nos complace informarles que hemos considerado su solicitud y hemos decidido facilitarles los datos necesarios para su investigación.

Agradecemos su interés en el estudio de nuestras embarcaciones y estamos a su disposición para cualquier consulta adicional que pueda surgir durante el desarrollo de su tesis.

Quedamos atentos a su respuesta con los datos necesarios para proceder con el envío de la información.

Sin otro particular, le enviamos un cordial saludo.

Atentamente,
Ing. Cesar Chavez Cevallos.
Jefe de Logística.
Grupo DEGFER
Km 5 ½ en la Vía Manta – Rocafuerte.
Móvil +593 99943507
Correo cchavez@degfer.com.ec

GRUPO DEGFER Cia. Ltda.
Cesar Chavez Cevallos
Firma Autorizada

GRUPO DEGFER CIA LTDA.
Km 5 ½ en la vía Manta – Rocafuerte diagonal a Cementerio Parque de los Recuerdos.
Teléfonos: 053701725-053701726
RUC: 1391791488001

Ilustración 23 Oficio de respuesta

Obtenido de: Elaboración propia

GLOSARIO

<p style="text-align: center;">%</p> <p>%Cav Porcentaje de cavitación. 46</p> <p style="text-align: center;">[</p> <p>[Cform] Coeficiente de forma. (Forma del casco) 42</p> <p>[Cw] Coeficiente de ola. 42</p> <p style="text-align: center;">A</p> <p>Angle off bow Ángulo de la dirección del viento y la proa del barco. 42</p> <p>Arrangement Disposición del barco. 42</p> <p style="text-align: center;">B</p> <p>B/T Es la relación entre la manga y el calado. 41</p> <p>Bilge keel A. mojada en ft² de la superficie de las quillas de balance en contacto con el agua. 41</p> <p>Blade T/C</p>	<p style="text-align: right;">Espesor/cuerda de la pala..... 45</p> <p>Blades Número de palas. 45</p> <p>Bow shape Forma frontal del buque..... 41</p> <p>Bow thruster diam Diámetro del propulsor en ft²..... 41</p> <p>Bulb area at FP Área del bulbo en la perpendicular frontal. 41</p> <p>Bulb ctr above BL Centro del bulbo por encima de la línea base..... 41</p> <p>Bulb ext fwd FP Extensión del bulbo hacia delante desde la perpendicular frontal. 41</p> <p style="text-align: center;">C</p> <p>Cav breakdown Desgaste de cavitación. 45</p> <p>Cb Coeficiente de bloque..... 41</p> <p>Cf Coeficiente de fricción..... 42</p> <p style="text-align: center;">Ch</p> <p>Chine type</p>
--	--

Tipo de quilla.	41
C	
Cr	
Coeficiente de resistencia residual.....	42
Ct	
Coeficiente de resistencia total.	42
Cvol(Lwl)	
Coeficiente volumétrico.	44
Cws	
Coeficiente de superficie mojada.	41
D	
DelThr [lbs]	
Diferencia de empuje en libras.	46
Description	
Descripción del propulsor.	45
Diameter	
Diámetro de la hélice.	45
Displacement bare	
Es igual al desplazamiento del casco desnudo en LT.....	41
Dome	
A. mojada en ft2 de la superficie de la cúpulas en contacto con el agua.....	41
E	
EngRPM	
Revoluciones por minutos del motor. ...	46
Exp area ratio	
Relación de área expandida.	45

Exposed shafts	
A. mojada en ft2 de la superficie de los ejes de la hélice expuestos al agua.	
Coeficiente de arrastre	
Resistencia generada por los ejes expuestos.	41
F	
Fn	
Número de Froude.....	42
Fn-high	
Número de Froude alto.	44
Fuel/eng [gph]	
Consumo de combustible.....	46
G	
Gear efficiency	
Eficiencia del engranaje.	45
Gear ratio	
Relación del engranaje.....	45
H	
Half ent angle	
Ángulo de entrada medio, en grados.....	41
Hull bossing	
A. mojada en ft2 de la superficie de los refuerzos del casco en contacto con el agua. Coeficiente de arrastre	
Resistencia generada por los refuerzos en el casco.....	41
HullEff	

Eficiencia del casco.	46	Calado Max	41
J		Max section area	
J		Área de la sección max transversal del	
Coeficiente de avance.....	46	casco en ft2.	41
K		MinEAR	
Kq mult		Relación mínima de área efectiva.....	46
Coeficiente de torque.....	45	MinP/D	
Kt mult		Relación mínima de paso a diámetro. ...	46
Coeficiente de empuje.	45	Modal wave period	
L		Período de tiempo que la ola demora en	
LCB aft of FP		golpear al buque.....	48
Centro de boyancia hacia atrás de la		O	
perpendicular frontal.	41	OPC	
Length between PP		Consumo de energía.....	46
Es la longitud entre perpendiculares, es		P	
decir, la distancia de popa a través de		Parameters	
la línea de flotación.	41	Parámetros.....	41
Length on WL		PB/prop [hp]	
Es la medida de la línea de flotación.....	41	Potencia de freno.....	46
Lwl/B		PBtotal [hp]	
Relaciones entre las longitudes de línea		Potencia total de freno.	46
de flotación y manga.....	41	PD/prop [hp]	
M		Potencia deducida de la hélice.....	46
Max beam on WL		PEbare [hp]	
Este valor es la manga máxima que hay en		Potencia efectiva del casco desnudo en	
la línea de flotación.	41	HP.	42
Max molded draft		PEtotal [hp]	
		Potencia efectiva total requeridas.	42

Pitch	Rotación relativa.....	46
Paso de la hélice.		45
Pitch type	Rmisc [lbs]	Resistencias de las misceláneas.....
Tipo de hélice.....		42
Press [psi]	Rn	Número de Raynorlds.
Presión en lb*in2.....		42
PropEff	Roughness	Rugosidad.
Eficiencia de la hélice.....		45
Propeller cup	Rr [lbs]	Resistencia residual.
Curvatura.....		45
PropRn	Rr/W	Resistencia residual como fracción del
Número de Reynolds de la hélice.		peso.....
PropRPM	Rseas [lbs]	Resistencia que ofrecen las olas.
Revoluciones por minuto de la hélice. ..		42
PropTorq [ft-lb]	Rtotal [lbs]	Resistencia total.....
Torque de la hélice.		46
PS/prop [hp]		Suma total de todas las resistencias
Potencia de ejes.....		mencionadas.
		42
		R
Rapp [lbs]	Rudders	Área mojada del timón y el coeficiente de
Resistencia adicional por los apéndices.		arrastre.
.....		41
	Rw [lbs]	Resistencia de ola.
		42
Rbare [lbs]	Rwind [lbs]	Resistencia que ofrece el viento.
Resistencia del casco en libras.....		42
Rbare/W		S
Resistencia del casco desnudo.		
		Series
Rchan [lbs]		Serie de la hélice.
Resistencia a un canal.		45
RelRot	Shaft brackets	

Área mojada en ft2 de la superficie de los soportes del eje, coeficiente de arrastre	41	Área proyectada longitudinalmente al viento.....	42
Shaft efficiency		Tran hull área	
Eficiencia del eje.....	45	Área proyectada del casco transversalmente al viento.....	42
Sig. wave height		Tran superst area	
Altura de la ola.....	48	Área proyectada de la superestructura transversalmente del viento.....	42
Sigma		Transom área	
Factor de carga.....	46	Área del espejo de popa en ft2.	41
Stablizer fins		Transom draft	
A. mojada en ft2 de la superficie de las aletas estabilizadoras en contacto con el agua. Coeficiente de arrastre por las aletas estabilizadoras.....	41	Calado del espejo de popa.....	41
Stern shape		Trim by Stern	
Forma posterior del buque.....	41	Ajuste del calado por popa.....	41
Strut bossing			
Área mojada en ft2 de la superficie de los refuerzos de los soportes del eje en contacto con el agua.	41		
		V	
		VCE above WL	
		Distancia vertical desde la línea de flotación hasta el centro de presión de dicha sección.....	42
		Vel	
		Velocidad del barco en nudos.....	42
		W	
Thr/prop [lbs]		WakeFr	
Empuje de la hélice en libras.....	46	Factor de estela.....	46
ThrDed		Waterplane área	
Empuje deducido en libras.....	46	Área del plano de flotación en ft2.	41
TipSpd [fps]		Wetted Surface	
Velocidad en la punta de la hélice.	46	Superficie mojada del casco en ft2.	41
Total Longl area			

Wind

Viento. **42**

Wind speed

Velocidad del viento..... **42**

WL bow pt aft FP

Es una medida de proa hasta un punto de
medición en la línea de flotación.**41**

BIBLIOGRAFÍAS

- Álvarez Blog. (s.f.). *EL MANTENIMIENTO DE LAS HÉLICES*. Obtenido de Álvarez, Blog, Náutica, Material: <https://www.a-alvarez.com/blog/nautica/material-nautica/el-mantenimiento-de-las-helices>
- Arca, A. E. (Enero de 2024). *Protocolo de mantenimiento de hélices de paso variable marca MAN para embarcaciones pesqueras aplicado por la empresa Katsura E.I.R.L.* Obtenido de Universidad tecnológica del Perú, Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Naval: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/9390/A.Castillo_Trabajo_de_Suficiencia_Profesional_Titulo_Profesional_2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Birk, L. (Abril de 2019). Método de Holtrop y Mennen. *ResearchGate*.
- Bolzoni, L. (2011). *Diseño y Procesado de Aleaciones de Titanio mediante Técnicas Pulvimetalúrgicas Avanzadas*. Obtenido de UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID : https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:q46U-dpDgrAJ:scholar.google.com/+aleaciones+de+titanio+en+helices&hl=es&as_sdt=0,5
- Carlton, J. (2007). *Marine Propellers and Propulsion* (2nd ed.). Oxford: Elsevier.
- CAVADA CAMINO, J. (09 de Julio de 2012). *Del estudio de aplicaciones del láser en la medición y verificación de hélices de propulsión naval*. Obtenido de Portal de la : <https://portalcientifico.uned.es/documentos/5ebf1f112999524bdf7a1b5c>
- Diez, F. M. (Julio de 2014). *PROPULSION CICLOIDAL*. Obtenido de Universidade da Coruña:

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/19935/Mendizabal_Diez_Fernando_TFM_2014.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y

ENDAL, A. (s.f.). *NTNU: Norwegian University of Science and Technology*. Obtenido de FUEL SAVING POTENTIAL IN NORWEGIAN FISHERIES: http://prep.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/1980/B/1980_B14.pdf

García Posada, S. (2002). *Universitat Politècnica de Catalunya*. Obtenido de Barcelonatech: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/25510?show=full>

González Blanco, J. Á. (2020). *ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA HÉLICE DE PASO VARIABLE*.

Hernández, Á. M. (Febrero de 2015). *Hélices y timones de maniobra*. Obtenido de Universidad de La Laguna: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1237/Helices+y+timones+de+maniobra.pdf?sequence=1>

Hernández, P. L. (Julio de 2018). *Funcionamiento y control de los propulsores azimutales del buque VB-Canarias*. Obtenido de Universidad de La Laguna: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/9585/Funcionamiento+y+control+de+los+propulsores+azimutales+del+buque+VB-Canarias.pdf?sequence=1>

HYDROCOMP.INC. (s.f.). *NavCad*. Obtenido de <https://www.hydrocompinc.com/solutions/navcad/>

Marcos Míguez González, V. D. (Julio de 2008). *Mejoras energéticas para barcos de pesca: Proyecto peixe verde actividad del grupo integrado de ingeniería*. Obtenido de Grupo Integrado de Ingeniería, Universidade da Coruña:

<https://gii.udc.es/img/gii/files/Mejoras%20Energ%C3%A9ticas%20para%20Barcos%20de%20Pesca-Proyecto%20Peixe%20Verd.pdf>

Morocho, Y. A. (Abril de 2019). *PLAN DE MANTENIMIENTO DEL BARCO PESQUERO "CIUDAD DE CARTAGENA"*. Obtenido de UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA:
<https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/6241ae12-10d5-42d9-9fe0-e4e79c8319d1/content>

PONCE, J. A. (Septiembre de 2015). *SISTEMAS DE PROPULSIÓN Y CLASIFICACIÓN DE BUQUES*. Obtenido de UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA, ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA, SECCION DE NAUTICA, MAQUINAS Y RADIOELECTRONICA NAVAL.:
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1240/SISTEMAS+DE+PROPULSION+Y+CLASIFICACION+DE+BUQUES.pdf?sequence=1>

Queren, E. G. (Septiembre de 2019). *Maniobrabilidad en buques equipados con paso fijo y paso variable*. Obtenido de Universidad de La Laguna, ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA, Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/22493>

Sampén, L. (Diciembre de 2003). *Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste*. Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos: <https://www.redalyc.org/pdf/816/81660211.pdf>.

University Southampton. (2012). *Maritime research*. Inglaterra: Southampton Marine and maritime Institute.

Zurita, R. H. (Noviembre de 2013). *El sistema propulsivo del buque: Las hélices marinas y el fenómeno de la cavitación*. Obtenido de UPC Universidad Politécnica de Catalunya:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20293/TFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>