

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Estudio de factibilidad técnico-económico de alternativas de ahorro de combustible para un buque atunero cerquero ecuatoriano

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Naval

Presentado por:

Jonathan Andrés Ordóñez Campoverde

Jonathan Hugo Delgado Peña

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2022-2023

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico primeramente a Dios por darme la capacidad y el entendimiento en cada materia cursada. También, a mi querida madre Mercy Campoverde, quién fue mi pilar fundamental en toda la carrera universitaria, sin ella no hubiera sido posible culminarla. Y finalmente, a mi familia y amigos que siempre creyeron en mí, dándome ánimos en cada momento de declive. Gracias por tanto, perdón por tan poco.

Jonathan Andrés Ordóñez Campoverde

El presente proyecto se lo dedicó primero a Dios, a la memoria de mi Sr. Padre Hugo Marcelo Delgado Vargas, a mi madre María Peña Chica, a mis hermanas, mis amigos, quienes estuvieron en cada momento a lo largo de la carrera, esto no es mío, es por ustedes y para ustedes. Gracias totales.

Jonathan Hugo Delgado Peña

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mi alma máter, ESPOL, por brindarme las mejores experiencias académicas y profesionales. A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Naval que siempre estuvieron prestos para brindarnos soluciones. Y un agradecimiento especial para el Ing. Naval Fernando Rodas Cornejo, quién me abrió las puertas al mundo laboral y nunca dudó en apoyarme al final de la carrera, un abrazo hasta el cielo.

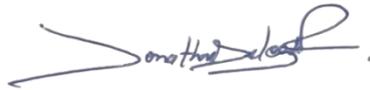
Jonathan Andrés Ordóñez Campoverde

Mis más sinceros agradecimientos, a la ESPOL
a mis profesores, al Dr. Rubén Paredes por su
guía en este proyecto.

Jonathan Hugo Delgado Peña

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jonathan Hugo Delgado Peña y Jonathan Andrés Ordóñez Campoverde, y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



Jonathan Hugo
Delgado Peña



Jonathan Andrés
Ordóñez Campoverde

EVALUADORES

David A. Plaza, MSc.
PROFESOR DE LA MATERIA

Rubén J. Paredes, PhD.
TUTOR DE LA MATERIA.

RESUMEN

En el 2021, la flota atunera española consumió 20,5 millones de galones de combustible para capturar 400 mil toneladas de pescado, siendo este valor la mitad de lo que consume la flota ecuatoriana para pescar 280 mil toneladas. En este proyecto se realizó una auditoría energética a la embarcación atunera cerquera B/P DRENNEC; de la compañía NIRSA. Se empleó la normativa española UNE 216501 que tiene como fases: preparación, visita, recopilación de información, contabilidad energética, propuesta de mejoras y generación de un informe final. Como resultado de esta auditoría se obtuvo que el motor del buque opera en condición de sobrecarga, generando así un exceso de consumo de combustible en cada faena de pesca, según el control de reportes de hidrocarburos del buque entre los años 2019 y 2022. Por ello, en este trabajo se muestra un análisis a detalle del sistema propulsivo.

Posteriormente, se generaron las curvas de potencia del conjunto motor-hélice, que a su vez se superpusieron en el mapa de consumo específico del motor actual de 3000 kW. Se determinó que el consumo de diésel del motor cuyo valor es de 174.500,00 galones considerando estas curvas y el perfil operacional del buque.

Ante esta problemática, se propusieron alternativas de soluciones en la línea propulsiva donde se evaluó el impacto de ahorro en el consumo de combustible al implementar estas modificaciones: cambio de motor principal (a uno de MAN@3060 kW), caja reductora (a una con Razón de relación: 5,75), y hélice (a una con P/D: 0,81). Se encontró que es posible obtener un ahorro de 22%, 33%, y 34%, respectivamente. Además, se evidenció una reducción del 35% en el consumo de combustible al combinar las tres soluciones planteadas previamente. Asimismo, se realizó un análisis económico considerando la implementación de estas cuatro modificaciones en el mercado local, y se identificó que es recomendable cambiar solamente la caja reductora si el armador busca una solución a corto plazo, pero, es ideal cambiar los tres componentes del sistema propulsor si se requiere una solución a largo plazo, que incluye una disminución de peso y un aumento en la eficiencia energética.

Palabras Claves: Auditoría Energética, conjunto motor-reductor-hélice, mapa de consumo específico de combustible, buques pesqueros.

ABSTRACT

In 2021, the Spanish tuna fleet consumed 20,5 million gallons of fuel to catch 400.000 tons of fish, this value being half of what the Ecuadorian fleet consumes to fish 280.000 tons. In this project, an energy audit was carried out on the tuna purse seine vessel B/P DRENNEC of the NIRSA company. The Spanish regulation UNE 216501 was used, which has as phases: preparation, visit, information gathering, energy accounting, improvement proposal and generation of a final report. As a result of this audit, it was obtained that the ship's engine operates in an overload condition thus generating excess fuel consumption in each fishing operation according to the control of the ship's hydrocarbon reports between the years 2019 and 2022. For this reason, in this work a detailed analysis of the propulsion system is shown.

Subsequently, the power curves of the engine-propeller set were generated which in turn were superimposed on the specific fuel consumption map of the current 3000 kW engine. It was determined that the diesel consumption of the engine whose value is 174,500.00 gallons considering these curves and the operational profile of the ship.

Faced with this problem, alternative solutions were proposed in the propulsion line where the impact of savings in fuel consumption was evaluated by implementing these modifications: change of main engine (to one of MAN@3060 kW), gearbox (to one with Relationship ratio: 5,75), and propeller (to one with P/D: 0,81). It was found that it is possible to obtain savings of 22%, 33%, and 34%, respectively. In addition, a 35% reduction in fuel consumption was evidenced by combining the three previously proposed solutions. Likewise, an economic analysis was carried out considering the implementation of these four modifications in the local market and it was identified that it is advisable to change only the gearbox if the shipowner seeks a short-term solution but it is ideal to change the three components of the propulsion system. propellant if a long-term solution is required including a decrease in weight and an increase in energy efficiency.

Keywords: *Energy Audit, engine-propeller assembly, specific fuel consumption map, fishing vessels.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 MARCO TEÓRICO	6
1.4.1 Eficiencia energética en el ámbito naval.....	6
1.4.2 Auditorías energéticas según Norma UNE-216501	8
1.4.3 Auditorías energéticas aplicadas al sector pesquero.....	10
1.4.4 Diferencias entre la flota española y ecuatoriana.....	11
1.4.4.1 Flota española.....	11
1.4.4.2 Flota ecuatoriana.....	12
1.4.5 El precio del combustible para el sector pesquero ecuatoriano.	14
1.4.6 Funcionamiento y consumo de combustible de Motores Diésel Marinos. ...	14
CAPÍTULO 2	17
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1 ETAPA 1: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN PARA DETERMINAR DIFERENCIAS TECNOLÓGICAS ENTRE LA FLOTA ESPAÑOLA Y ECUATORIANA.	17

2.2 ETAPA 2: METODOLOGÍA DESCRIPTIVA PARA REALIZAR UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA MEDIANTE NORMA UNE 216501	29
2.2.1 Auditoría Energética	29
2.2.2 Balance energético.....	32
2.3 ETAPA 3: METODOLOGÍA MÉTODO DEDUCTIVO PARA ELECCIÓN DE SOLUCIONES.	33
2.3.1 Análisis del sistema propulsivo y propuestas de mejoras.	33
CAPÍTULO 3	35
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	35
3.1 ÍNDICE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN LA OMI.	35
3.2 ANÁLISIS DE BALANCE ENERGÉTICO.....	36
3.3 ANÁLISIS DE SISTEMA PROPULSIVO.	38
3.4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	57
CAPITULO 4	59
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
4.1 CONCLUSIONES.....	59
4.2 RECOMENDACIONES.....	60
BIBLIOGRAFÍA	61
5. APÉNDICES	64
5.1 APÉNDICE A.....	65
5.2 APÉNDICE B.....	67
5.3 APÉNDICE C.....	68
5.4 APÉNDICE D.....	69
5.5 APÉNDICE E	75
5.6 APÉNDICE F	76
5.7 APÉNDICE G.....	76
5.8 APÉNDICE H.....	77

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
OMI	Organización Marítima Internacional
MARPOL	International Convention for Prevention of Pollution from Ships
GEI	Gases de Efecto Invernadero
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEXI	Energy Efficient Existing Ship Index
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator
SEEMP	Plan de Gestión de Eficiencia Energética del Buque
OPEX	Operating Expenses
CII	Indicador de Intensidad de Carbono Operacional
DCS	Sistema de recopilación de datos
CONAIE	Confederación de Nacionalidades Indígenas del Ecuador
ATUNEC	Asociación de Atuneros del Ecuador
TM	Toneladas Moorson

SIMBOLOGÍA

GT	Gross Tonnage
NT	Net Tonnage
Ton	Toneladas
m_{cargo}	Carga transportada en toneladas.
Knots	Nudos
V	Velocidad
kW	Kilowatts
HP	Horse Power

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema general de Auditoría Energética.....	9
Figura 1.2 Distribución de flota atunera española según eslora [m].....	11
Figura 1.3 Distribución de flota atunera española según edad [años].....	12
Figura 1.4 Distribución de flota atunera ecuatoriana según eslora [m].....	13
Figura 1.5 Distribución de flota atunera ecuatoriana según edad [años].....	13
Figura 1.6 Ciclo de combustión interna de motor diésel (ciclo de OTTO).	15
Figura 2.1 Migración y rutas hacia caladero de flota española.	18
Figura 2.2 Migración y rutas hacia caladero de flota ecuatoriana.	18
Figura 2.3 Distribución de consumo energético en flota española.	19
Figura 2.4 Fases de la operación de cerco.....	20
Figura 2.5 Partes del arte de cerco.....	20
Figura 2.6 Distribución de consumo energético en flota ecuatoriana.	21
Figura 2.7 Medidor de flujo de combustible digital.....	21
Figura 2.8 Pantalla de equipo azti-gestoil.....	22
Figura 2.9 Equipos tecnológicos empleados en ambas flotas.....	23
Figura 2.10 Mapa de consumo específico de combustible-motor SAE 972686.	24
Figura 2.11 El requisito de reducciones NOx en los niveles I, II y III. / contenido de azufre en combustible controlado fuera y dentro del ECA para motores marinos.....	24
Figura 2.12 Consumo específico de motores a lo largo de los años.	25
Figura 2.13 Peso de motores a lo largo de los años.	26
Figura 2.14 Distribución de edad entre Ecuador y España.	27
Figura 2.15 Vista frontal del buque de estudio B/P DRENNEC.....	29
Figura 2.16 Entrevista con el maquinista y electricista del buque.	31
Figura 2.17 Principio del ciclo de la eficiencia energética	33
Figura 3.1 Indicadores de eficiencia energética según la OMI.....	35

Figura 3.2 Esquema operacional de uso de equipos para faena de B/P DRENNEC. ...	37
Figura 3.3 Etapas del análisis del sistema propulsivo.....	38
Figura 3.4 Curva de resistencia empleando el método de Gómez y Holtrop.....	39
Figura 3.5 Diagrama de flujo de implementación de polinomios utilizando el lenguaje de programación Python.	40
Figura 3.6 Curvas K_t , K_q y eficiencia. (D= 3,66M, #blade= 5, P/D = 0,97; Velocity=12 knts; R: 126,420 N; DHP=3000 kW, Nmotor=650 RPM).....	41
Figura 3.7 Curva operacional del motor y hélice – Condición actual.....	43
Figura 3.8 Mapa de consumo de combustible de motor MAN-4023HP	44
Figura 3.9 Mapa de consumo adimensional	45
Figura 3.10 Mapa de consumo y curva de hélice de motor EMD 710.....	46
Figura 3.11 Perfil operacional del BP DRENNEC.	47
Figura 3.12 Mapa de consumo en condición actual del buque.	48
Figura 3.13 Curva operacional del motor y hélice.....	49
Figura 3.14 Mapa de consumo con cambio de paso de hélice a 2,96 m.....	50
Figura 3.15 Curva operacional del motor y hélice	51
Figura 3.16 Mapa de consumo con cambio de relación de reducción a 5,75:1.....	52
Figura 3.17 Curva operacional del motor y hélice	53
Figura 3.18 Mapa de consumo de combustible con motor 3060 kW @ 800 RPM.....	54
Figura 3.19 Curva operacional del motor y hélice	55
Figura 3.20 Mapa de consumo de combustible cambiando el conjunto motor-reductor-hélice.	56
Figura 3.21 Diagrama general del flujo de caja.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Diferencia de indicadores implementados por la OMI [11].	6
Tabla 1.2	Factores empleados para calcular la línea base referencial del indicador de eficiencia energética según la OMI [16].	7
Tabla 1.3	Elaboración propia datos obtenidos de PETROECUADOR [21]	14
Tabla 2.1	Resumen de diferencias tecnológicas entre Ecuador y España.	28
Tabla 2.2	Especificaciones generales de embarcación de estudio.	30
Tabla 2.3	Equipos principales que demandan mayor cantidad de combustible.	30
Tabla 2.4	Cantidad de equipos a bordo de la embarcación B/P DRENNEC.	31
Tabla 3.1	Cálculo de indicadores de la OMI.	36
Tabla 3.2	Resumen de potencia empleada por la embarcación en actividades operativas.	37
Tabla 3.3	Rango de aplicación del método de Gómez.	39
Tabla 3.4	Especificaciones técnicas de la hélice.	42
Tabla 3.5	Características de motor referencial.	43
Tabla 3.6	Consumos específicos y factor de escala.	45
Tabla 3.7	Consumo de combustible actual de la embarcación.	48
Tabla 3.8	Consumo de combustible con hélice de paso 2,96 m.	50
Tabla 3.9	Consumo de combustible con cambio de reductora 5,75.	52
Tabla 3.10	Consumo de combustible con cambio de motor 3060 KW @ 800 RPM.	54
Tabla 3.11	Consumo de combustible con cambio del conjunto motor-reductor-hélice.	56
Tabla 3.12	Resumen de soluciones propuestas.	57
Tabla 3.13	Resumen de viabilidad económica.	58

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los buques pesqueros requieren de una gran cantidad de energía proveniente, en su mayoría, de combustibles fósiles para cumplir con sus faenas de pesca. La demanda energética de cada embarcación depende del tamaño del buque, del arte de pesca utilizado, rutas de navegación y tecnología implementada en cada país. Por ejemplo, España, que captura el 20% de la pesca de atún de la Unión Europea [1], tiene una flota atunera de 97 embarcaciones donde predomina el arte de pesca de palangre. En el 2021, esta flota capturó cerca de 400 mil toneladas de pescado [2], consumiendo 20 millones de galones de combustible [3]. Esto representa que en promedio cada embarcación consumió 52 galones de diésel por cada 100 toneladas de captura. Por otro lado, Ecuador, líder de capturas de atún en el Océano Pacífico Oriental con un 43,5% de la pesca regional, posee una flota de 115 embarcaciones atuneras donde destacan el arte de pesca de cerco o 'longline' [4]. En el 2021, esta flota capturó aproximadamente 277 mil toneladas consumiendo cerca de 38 millones de galones de combustible [4]. De la misma forma, cada embarcación consumió en promedio 120 galones de combustible por cada 100 toneladas de pesca. La principal diferencia entre ambas flotas, España y Ecuador, que podría explicar esta discrepancia en el consumo de combustible es la antigüedad promedio de las embarcaciones, que es de 20 y 40 años respectivamente [5]. Por lo que, es necesario identificar las diferencias tecnológicas entre ambas flotas que contribuyen a un menor consumo de combustible por tonelada de pesca.

La Organización Marítima Internacional (OMI) promueve estrategias de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para embarcaciones mayores a 400 Toneladas de Arqueo Bruto (GT) [6]. Para alcanzar este objetivo, la OMI ha implementado diferentes medidas técnicas para cuantificar la eficiencia energética de las embarcaciones, a través de índices que pueden ser calculados en distintas etapas del ciclo de vida del proyecto del buque. El Big Zero es el objetivo de eliminar gradualmente la huella de carbono del transporte marítimo para la segunda mitad del siglo XXI, que se quiere alcanzar por medio de estos índices [7]. Primero, en la etapa de diseño se tiene el EEDI (Energy Efficiency Design Index) que relaciona las

emisiones de CO₂ en función el consumo de combustible, la capacidad de carga transportada y la velocidad de diseño del barco, teniendo como finalidad promover el uso de equipos y maquinaria menos contaminantes [8].

Para ampliar el principio del EEDI, recientemente se introdujo el EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index) que será una medida obligatoria a partir del 2023, para los países signatarios de MARPOL (International Convention for Prevention of Pollution from Ships) [9], para todos los buques existentes independientemente de su función y tamaño [10]. Este índice se combinará con un sistema de clasificación para barcos que usará al índice CII (Indicador de Intensidad de Carbono Operacional) y un sistema de recopilación de datos, para calificar el desempeño cada año usando escalas desde de A a E. En caso de que la embarcación tenga un desempeño operativo deficiente (E una vez o tres años consecutivos D) tendrá la obligación de mejorar el desempeño, que será auditada en un SEEMP (Plan de Gestión de Eficiencia Energética del Buque) [7]. Este plan de gestión proporciona una metodología para que los armadores evalúen la eficiencia de los buques por medio del EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator), considerando el consumo de combustible de un buque en servicio y cuantifiquen el impacto de cualquier cambio que se implemente en el funcionamiento del mismo [11]. A pesar de que Ecuador no ha ratificado el Anexo 6 de MARPOL [9], sería posible reducir los costos operativos de consumo de combustible a través del cumplimiento de estas regulaciones en la flota pesquera atunera.

El primer paso para el cumplimiento de estas regulaciones es establecer una línea base mediante auditorías energéticas durante maniobras de pesca y actividades diarias operacionales, antes de implementar cualquier solución energética. Por ejemplo, Martínez [12], inicialmente realizó auditorías de eficiencia energética de un buque pesquero cerquero español con un arqueo bruto de 79,6 TM (Toneladas Moorson) que navega a 10 nudos, para posteriormente evaluar distintas alternativas de cambios en su operación para disminuir el consumo de combustible. El autor logró reducir en un 2% el consumo de combustible al implementar un bulbo de proa tipo peonza, cuando la embarcación navega a 9 nudos; alcanzó a reducir hasta 0,8% al sustituir el alumbrado tradicional por tecnología LED; y un 4% en el rediseño de la hélice-serie B5-70, de paso fijo, con un perfil más hidrodinámico. Finalmente,

recomendó gestionar adecuadamente la velocidad del buque para que navegue entre 8-10 nudos, debido a su impacto en el consumo de combustible. Por otra parte, Basurko et al [13], realizaron el análisis energético de 2 barcos pesqueros españoles con arqueado bruto de 231 y 84,2 TM; que navegan entre 7-10 nudos, con diferentes artes de pesca. El primer buque emplea red de cerco, caña, y palangre; mientras el segundo utiliza redes de enmalle, y cebo vivo de caña. El primer buque operando como palangrero redujo el consumo de combustible en un 20%, luego de limitar su velocidad de navegación a 8 nudos. El segundo buque operando con cebo vivo de caña y línea, disminuyó su consumo de combustible en un 15% al limitar su velocidad de navegación a 9,5 nudos. Esta reducción obtenida representa un ahorro anual de 5,3 mil galones para el primer buque, es decir 54,5 toneladas de CO₂, y 3,7 mil galones para el segundo buque es decir 38,0 toneladas de CO₂. Ante la diversidad de los resultados obtenidos, es importante identificar las soluciones tecnológicas con mayor impacto en el consumo de combustible considerando el perfil operacional y arte de pesca representativo de la flota atunera ecuatoriana.

Por ello, el objetivo del presente proyecto es seleccionar las soluciones tecnológicas con mayor potencial para reducir el consumo de combustible de un buque atunero representativo de la flota ecuatoriana mediante la metodología de auditoría energética. Para lo cual, se pretende identificar las diferencias técnicas entre las flotas de España y Ecuador para la reducción del consumo de combustible por tonelada de pesca. Luego, mediante la metodología mencionada se efectuarán evaluaciones energéticas de un buque pesquero atunero ecuatoriano a través de recopilación de información técnica y pruebas de mar, para consecuentemente evaluar el impacto de diferentes soluciones tecnológicas en el consumo de combustible considerando el perfil operacional y arte de pesca aplicado con el fin de determinar la viabilidad económica de estas soluciones por medio del análisis OPEX. Este análisis puede servir para futuros proyectos donde se estime diseñar dispositivos o guías técnicas, indicadores de reducción de combustible.

1.1 Descripción del problema

El alto consumo de combustible en las embarcaciones atuneras junto con la incertidumbre en el precio local del diésel, son los principales desafíos para que los armadores del sector obtengan rentabilidad. Actualmente, en el país organizaciones sociales como la Confederación de Nacionalidades Indígenas del Ecuador (CONAIE) solicitaron la eliminación del subsidio para el sector atunero durante las mesas de diálogos mantenidas con representantes del gobierno, argumentando que este sector "consume piscinas de diésel" [14]. Este sector representa el 2,8% del consumo nacional anual, según algunos expertos el llevar a cabo esta medida pondría en riesgo a la industria atunera [14]. Estas variables políticas y sociales, promueven la implementación de ideas que promocionen el uso eficiente del combustible en el sector pesquero. Por otro lado, la IMO (International Maritime Organization) con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector marítimo ha impuesto medidas a países anexas en las reglas de MARPOL. Estas normas regulan la producción de las emisiones por medio de índices como el EEDI, EEXI y EEOI que buscan clasificar a las embarcaciones según su indicador de Intensidad de Carbono Operacional. Los bajos desempeños operacionales por una baja eficiencia energética de los buques pueden generar sanciones y multas que representen costos adicionales a los comúnmente llamados operacionales.

La antigüedad de los buques atuneros en el país es relativamente alta en comparación con barcos europeos o de otros sectores de la región. La edad de construcción de una flota de barcos puede relacionarse con la obsolescencia de tecnología implementada a bordo, siendo el principal responsable para que motores y equipos, por su edad y modernidad, sean importantes elementos de exceso de consumo de combustible en operaciones diarias y de mareas. De esta manera, se pretende aportar con estudios de campo para identificar áreas de sustitución tecnológicas que ayuden con la actualización de la flota.

1.2 Justificación del problema

El consumo anual de combustible de la flota española corresponde cerca de la mitad de combustible usado por la flota ecuatoriana. Esto se debe a los diversos cambios tecnológicos y equipos empleados para lograr la optimización de rutas de navegación y reducción de velocidad, además de la antigüedad de la flota. Por otra parte, la antigüedad de los motores que cuenta la flota española, donde debido a las regulaciones impuestas de emisiones de CO₂ por la Unión Europea deben contar con certificaciones desde el Tier 1 (17 g/kW-h) al Tier 3 (3,4 g/Kw-h), indica que entre más actual sea el motor genera menor contaminación y menor consumo de combustible, por ende, se emplea una mayor tecnología para su fabricación. Por tal motivo, en el presente proyecto se pretende mediante estudios de eficiencia energética identificar esas variaciones de tecnología entre ambas flotas y determinar alternativas de soluciones tecno-económicas con la finalidad de reducir el excesivo consumo de combustible.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Seleccionar las soluciones tecnológicas con mayor potencial para reducir el consumo de combustible de un buque atunero representativo de la flota ecuatoriana mediante la metodología de auditoría energética.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las diferencias tecnológicas entre las flotas de España y Ecuador para la reducción del consumo de combustible por tonelada de pesca.
- Realizar auditorías energéticas de un buque pesquero atunero ecuatoriano a través de recopilación de información técnica y pruebas de mar.

- Evaluar el impacto de diferentes soluciones tecnológicas en el consumo de combustible considerando el perfil operacional y arte de pesca representativo de la flota atunera ecuatoriana.
- Determinar la viabilidad económica de las soluciones con mayor potencial en el mercado local por medio del análisis OPEX.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Eficiencia energética en el ámbito naval

El ahorro de energía, o aumento de la eficiencia energética, se obtiene al minimizar la cantidad de energía empleada para cumplir un determinado trabajo o actividad. En el ámbito naval, la energía requerida por las embarcaciones para llevar a cabo sus actividades operacionales puede ser cuantificada mediante el combustible que emplean para realizar dichas actividades. Entre las diversas formas para poder establecer soluciones o estudios de eficiencia energética están las auditorías energéticas y los indicadores establecidos por la OMI.

Con el fin de cuantificar la eficiencia energética de los buques, la OMI ha implementado indicadores energéticos, en donde el principal objetivo es alcanzar el Big Zero cuyo objetivo es alcanzar la eliminación paulatina de las emisiones de carbono en el transporte marítimo para la segunda mitad del siglo XXI. Estos indicadores se resumen en la siguiente Tabla 1.1:

Tabla 1.1 Diferencia de indicadores implementados por la OMI [11].

Indicador	EEDI: Energy Efficiency Design Indicator.	EEOI: Energy Efficiency Operational indicator	EEXI: Energy Efficiency Existing Ship Indicator.
Distancia empleada	Acorde a Velocidad de diseño	Registro de rutas empleadas	Acorde a Velocidad de diseño
Capacidad	Capacidad actual	Peso muerto o carga transportada	Capacidad actual-DWT
Consumo de combustible	Potencia y consumo aproximado del motor.	Consumo registrado	Potencia y consumo aproximado del motor

El EEDI se lo define como el valor de eficiencia energética sobre toneladas por millas náuticas, el cual es calculado en la etapa de diseño de la embarcación, la OMI propone la siguiente ecuación para calcular este índice [15] que tiene como finalidad fomentar la utilización de equipos y maquinaria de mayor eficiencia en las operaciones diarias del buque,

$$EEDI = a * b^{-c} \quad (1.1)$$

Donde:

- a : Depende del tipo de buque, Tabla 1.2.
- c : Depende del tipo de buque, Tabla 1.2.
- b : Es la carga transportada en toneladas.

Tabla 1.2 Factores empleados para calcular la línea base referencial del indicador de eficiencia energética según la OMI.

Tipo de buque definido en el reglamento	A	b	c
Bulk Carrier	961,79	DWT	0,477
Gas tanker	1.120,00	DWT	0,456
Tanker	1.218,00	DWT	0,201
Container Ship	174,22	DWT	0,201
General Cargo Ship	107,48	DWT	0,216
Refrigerated cargo carrier	227,01	DWT	0,244
Cruise passenger ship having non-conventional propulsion	170,84	GRT	0,21

Por otra parte, el EEOI, se lo obtiene a partir del desempeño de un buque a lo largo de su tiempo de operación, la IMO propone la ecuación 2 para cuantificar el indicador EEOI por cada viaje, la cual relaciona el consumo de combustible, respecto a la carga transportada y distancia recorrida [15].

$$\text{Indicador de eficiencia energética} = \frac{\sum_j FC_j * C_{Fj}}{m_{carga} * D} \quad (1.2)$$

Donde:

- j : Tipo de combustible.
- FC_j : Masa de combustible consumido en el viaje [kilogramos].
- C_{Fj} : Factor de conversión de masa de combustible a masa de CO₂: 3,206 [t-CO₂/t-Fuel] [17].
- m_{carga} : Carga transportada (toneladas) o trabajo realizado (TEU o pasajeros) o tonelada bruta para buques de pasaje.
- D : La distancia recorrida en millas náuticas.

Asimismo, el EEXI que es Índice de Eficiencia Energética de Barcos Existentes, el cual emplea la misma metodología de EEOI, se calcula mediante la siguiente formulación:

$$EEXI \left(\frac{g}{ton \cdot mile} \right) = \frac{CO_2 \text{ conversion factor} \times SFC \left[\frac{g}{Kw \cdot hr} \right] \times Engine \text{ power [Kw]}}{Capacity [ton] \times EEXI \text{ speed [knots]}} \quad (1.3)$$

Donde:

- $CO_2 \text{ conversion factor}$ = corresponde al combustible utilizado al determinar SFC (Grado: 3,206) [17].
- SFC = Consumo de combustible al 75 % MCR (M/E), al 50 % MCR (A/E).
- $Engine \text{ power}$ = 75% de la potencia nominal instalada (MCR).
- $Capacity$ = Peso muerto.
- $EEXI \text{ speed}$ = Velocidad del buque al 75% MCR bajo la condición de calado correspondiente a la capacidad.

1.4.2 Auditorías energéticas según Norma UNE-216501

Las auditorías energéticas son inspecciones y análisis de los flujos de energía que se realizan bajos normas específicas como la UNE 216501 [18]. Por lo general se aplican para poder buscar reducciones de consumo de energía ya sea a un edificio, casa, o un bien sin afectar la productividad en caso de que sea aplicada algún negocio o bien productivo.

La UNE 216501- Asociación Española de Normalización, tiene como enfoque describir los requisitos que debe tener una auditoria energética para que:

- Pueda ser comparable y
- Describir los puntos clave para la mejora de la eficiencia energética.
- Promover el ahorro energético.
- Evitar emisiones de gases de efecto invernadero.

Estas normas de aplicación son voluntarias en cualquier tipo de organización, la cual tiene como objetivo:

- Obtener conocimientos fiables del consumo energético y su coste asociado.
- Identificar y caracterizar los factores que afectan al consumo de energía.
- Detectar y evaluar las distintas oportunidades de ahorro y diversificación de energía y su repercusión en coste energético y de mantenimiento, así como otros beneficios y costes asociados.

Los pasos a seguir para la aplicación de las auditorías energéticas, según la norma, son los siguientes, Figura 1.1:



Figura 1.1 Esquema general de auditoria energética.

Fuente: Norma UNE-216501

1.- Preparación: Consiste en definir el alcance técnico, canales de información, programas de trabajo y planificación de campaña de medidas.

2.- Visita a instalaciones e inspección: Estado de instalaciones, análisis de los suministros energéticos, criterios de elección y utilización.

3.- Recogida de datos: Energía eléctrica, combustibles, otras fuentes de energía, proceso de producción, medición y recogida de datos.

4.- Contabilidad energética: Se realiza un balance energético de los consumos por tipos de instalaciones, en donde se registra todos los equipos que consumen energía, además de costes anuales.

5.- Propuesta de mejoras: Análisis de propuesta, desarrollo y concatenación de mejoras.

6.- Informe final: Se realiza el informe donde se constata la metodología empleada y las medidas energéticas a tomar para disminuir el consumo de energía.

1.4.3 Auditorías energéticas aplicadas al sector pesquero.

En España, la Confederación Española de Pesca [19], CEPESCA, realizó auditorías de eficiencia energética de palangreros de superficie, los cuales fueron divididos en palangreros costeros al fresco y palangreros de alta mar, donde sus principales diferencias son la distancia a sus caladeros y el tamaño. El primer grupo tiene casco de Poliéster RFV, eslora promedio mayor 40 m, autonomía de 10 a 15 días, y una distancia a caladero de unas 80 millas náuticas; mientras que el segundo grupo es de acero naval, eslora promedio de 20 m, autonomías de 3 a 4 meses, y una distancia a caldero de 150 millas náuticas. En los palangreros de alta mar, se logró reducir un 3% el ahorro de combustible mediante un rediseño del timón, un 3,3% optimizando las rutas de navegación, y un 8,7% rediseñando el bulbo de proa. Por otra parte, en los palangreros costeros al fresco, se implementaron modificaciones en el diseño de la hélice, forma de proa, y reducción de velocidades de navegación; obteniendo un ahorro en el consumo de combustible del 2%, 8% y 5%, respectivamente.

Adicionalmente, Alarcón [20], realizó un plan de eficiencia energética para un buque cerquero de 1.533 TM y velocidad de 13 nudos. En el cual mediante medidas operacionales logró reducir el consumo de combustible en un 5% realizando una optimización en la velocidad, en un 5% mediante la gestión de uso de equipos, y en 1% a través del uso óptimo del timón. Asimismo, mediante otras medidas como gestión de la energía y aditivos de combustible logró reducir en un 10% y 5%, respectivamente el consumo de combustible.

1.4.4 Diferencias entre la flota española y ecuatoriana.

Referente a las flotas atuneras de ambos países, es importante acotar que la española con 97 buques navega una distancia promedio de 2.600 millas. Mientras tanto, Ecuador con 115 atuneros se calcula una distancia promedio hacia caladeros de 2.400 millas náuticas.

1.4.4.1 Flota española

España, cuenta con una flota atunera en la cual predomina el arte de pesca de palangre, el promedio del tamaño de estas embarcaciones es alrededor de 35 metros como se observa en la Figura 1.2, donde se muestra la distribución de la flota atunera según la eslora.

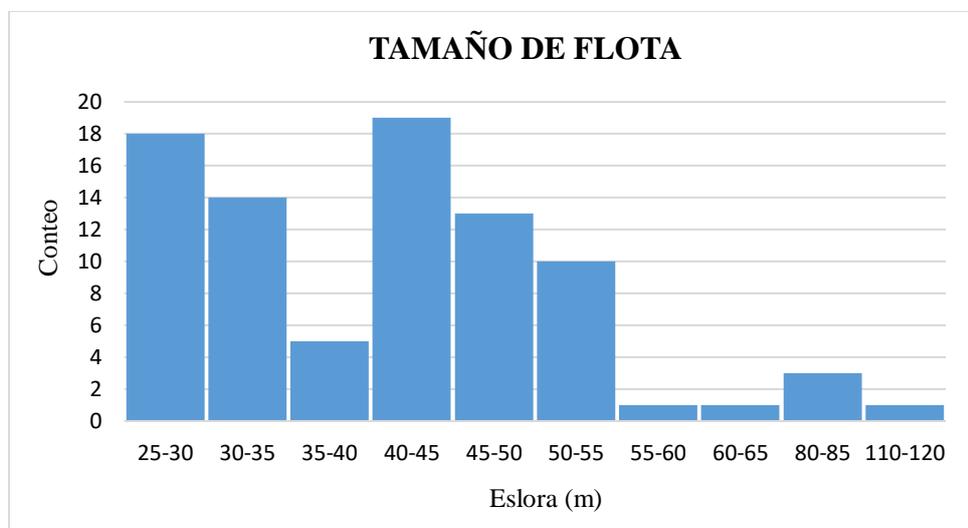


Figura 1.2 Distribución de flota atunera española según eslora [m]

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en el CIAT [2].

De igual manera, en la Figura 1.3 se muestra la distribución de edad de las embarcaciones, donde el promedio de antigüedad es aproximadamente de 20 años, considerando a esta flota relativamente joven.

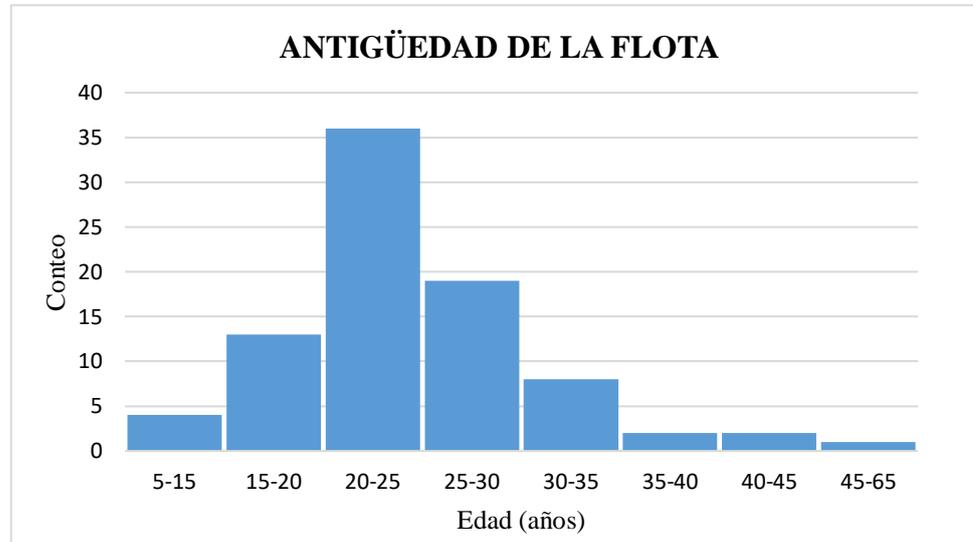


Figura 1.3 Distribución de flota atunera española según edad [años]

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en el CIAT [2].

1.4.4.2 Flota ecuatoriana

La flota atunera ecuatoriana, en donde predomina el arte de pesca de red de cerco, cuenta con embarcaciones de mayor tamaño teniendo un promedio cercano a 50 metros de eslora observado en la Figura 1.4. Además de tener una longevidad promedio de aproximadamente 40 años, Figura 1.5.

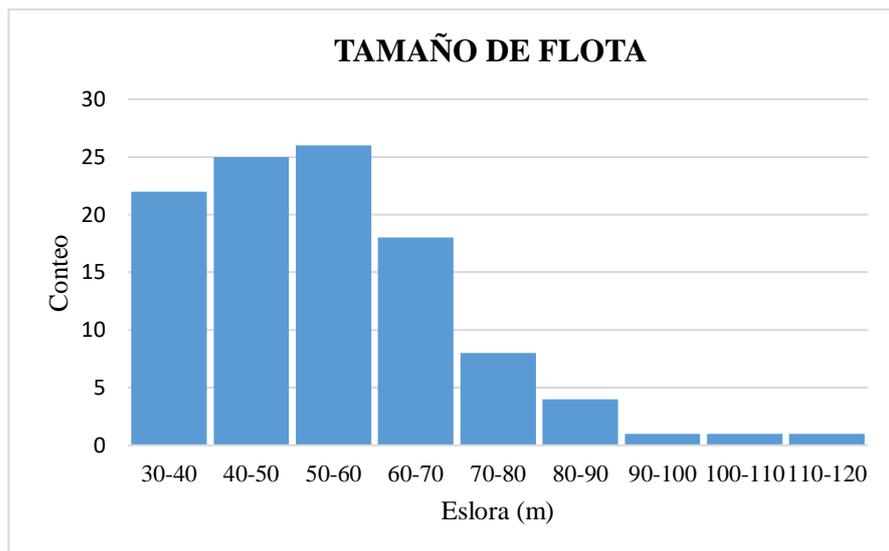


Figura 1.4 Distribución de flota atunera ecuatoriana según eslora[m].

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en el CIAT [2].

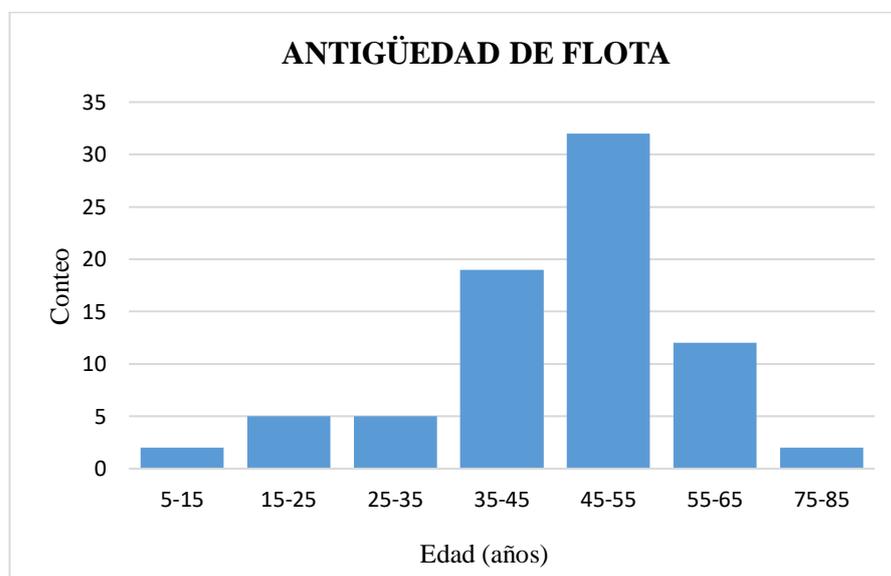


Figura 1.5 Distribución de flota atunera ecuatoriana según edad [años].

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en el CIAT [2].

De acuerdo con lo que se observa en las ilustraciones previas, las principales diferencias entre las flotas es la eslora y antigüedad. Estos pueden ser factores influyentes en el consumo de combustible debido a la diferencia tecnológica implementada en las embarcaciones, teniendo en cuenta que en dos décadas existe

evolución tecnológica aplicada en sus construcciones para alcanzar una mejora eficiencia en la reducción de su resistencia al avance y la optimización en los consumos generados por las embarcaciones.

1.4.5 El precio del combustible para el sector pesquero ecuatoriano.

En el Ecuador, el sector pesquero emplea diésel 2 en sus procesos productivos. En promedio, cada año se destina 1,6 millones de barriles de este derivado para operar las embarcaciones pesqueras de todo tipo [21]. La Tabla 1.3 muestra que, el precio de combustible para el sector atunero es de \$1,608 por galón, año 2022. El otro tipo de combustible con mayor calidad, diésel premium, es utilizado por el sector automotor.

Tabla 1.3 Elaboración propia datos obtenidos de Petroecuador [21]

SECTORES PESQUERO – ATUNERO		
Gasolina pesca artesanal	Galones	\$0,7990
Gasolina extra pesquero	Galones	\$2,370
Diésel 2 atunero (octanaje 51).	Galones	\$1,608
Diésel Premium atunero (octanaje 55).	Galones	\$1,750

1.4.6 Funcionamiento y consumo de combustible de Motores Diésel Marinos.

Hoy en día, los motores diésel de combustión interna, Figura 1.6, (ICE, por sus siglas en inglés) son los más utilizados en la mayoría de industria debido a su bajo costo operativo. En este tipo de motores, el aire es comprimido a presión constante hasta llegar a una temperatura suficientemente alta para que, al producirse la inyección del combustible, este genere una explosión en la cámara del cilindro y a su vez produzca trabajo [22].

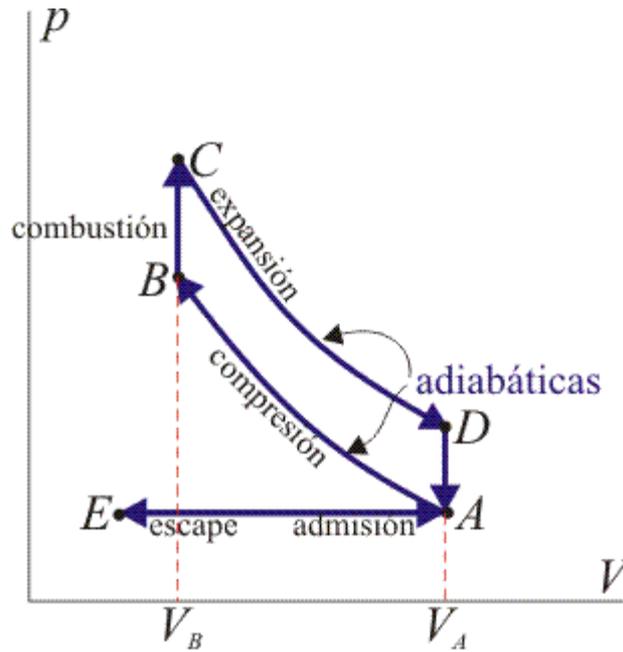


Figura 1.6 Ciclo de combustión interna de motor diésel (ciclo de Otto).

Fuente: Cengel [23] Libro de termodinámica 7ma Edición.

Según el número de revoluciones o rotación del cigüeñal, se pueden clasificar en 2 o 4 tiempos. Los primeros, se caracterizan por ser grandes y de bajas velocidades; mientras que los de cuatro tiempos se caracterizan por tener pequeñas y medianas potencias con altas velocidades de rotación y que son instalados en embarcaciones usualmente con un engranaje reductor en función de las necesidades de giro de la hélice para optimizar su rendimiento [24].

Un motor marino, que requiere de una gran inversión inicial, debe tener la capacidad de generar la suficiente potencia para alcanzar la velocidad nominal del barco, sin generar un consumo excesivo de combustible [25]. El consumo específico de combustible es utilizado para cuantificar el rendimiento energético de un motor con respecto a su potencia [26], y depende en gran medida de la velocidad de rotación del cigüeñal del motor. Por ejemplo, los ICE marinos a baja velocidad (entre 60-350 rev/min) tienen un consumo específico nominal de combustible de 170 g/kWh, los de velocidad media (entre 350-750 rev/min) poseen un consumo específico de 190 g/kWh y los de alta velocidad (>750 rev/min)

alcanzan un consumo de 200 g/kWh [27]. Así, se concluye que mientras más alta es la velocidad de rotación del cigüeñal de un motor, mayor será la demanda de consumo de combustible.

Sabiendo que el torque del motor es proporcional a las revoluciones del motor, $Q_{motor} \propto RPM_{motor}$, se puede deducir que también existe relación directa entre el torque entregado y el consumo de combustible del motor. Es decir, el torque que puede entregar un motor depende de la cantidad de diésel que se inyecte por ciclo.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo los objetivos planteados en este proyecto, se desarrollarán las siguientes etapas:

- Mediante la metodología de investigación [28], que consiste en la recopilación de datos para determinar las características y diferencias tecnológicas existentes en las flotas estudiadas, se identificarán las causales de las marcadas divergencias en valores de consumo de combustible entre ambas flotas.
- Se empleó la metodología descriptiva [28], que consiste en el estudio de una embarcación representativa de la flota atunera ecuatoriana, en la cual, mediante una Auditoría Energética, se obtendrán datos del consumo de combustible en una faena de pesca y se identificarán los elementos que generen el mayor gasto de este rubro.
- Mediante el método deductivo [28], se realizó la elección de alternativas de cambios en el sistema propulsivo para obtener un ahorro de energía en un buque atunero cerquero.

2.1 Etapa 1: Metodología de investigación para determinar diferencias tecnológicas entre la flota española y ecuatoriana.

Se realizó la investigación de las principales características tecnológicas entre las flotas para poder identificar los factores que inciden en el consumo de combustible. Por lo tanto, es importante definir las distancias hacia caladeros más frecuentes por donde navega cada flota, ya que esta influirá en el consumo de combustible, y consecuentemente en la capacidad y autonomía del buque. En la Figura 2.1 y Figura 2.2, se muestran los principales caladeros de España y Ecuador, respectivamente. El promedio de distancias entre ambas flotas es de 2.600 millas para España, con estados de mar en sus rutas de 2 a 3, y 2.400 millas para Ecuador, teniendo estados de mar entre 3 y 4 en sus rutas de navegación, ver APÉNDICE A, por lo que se asume que el consumo, al menos por trayecto, no debe ser diferente [29].

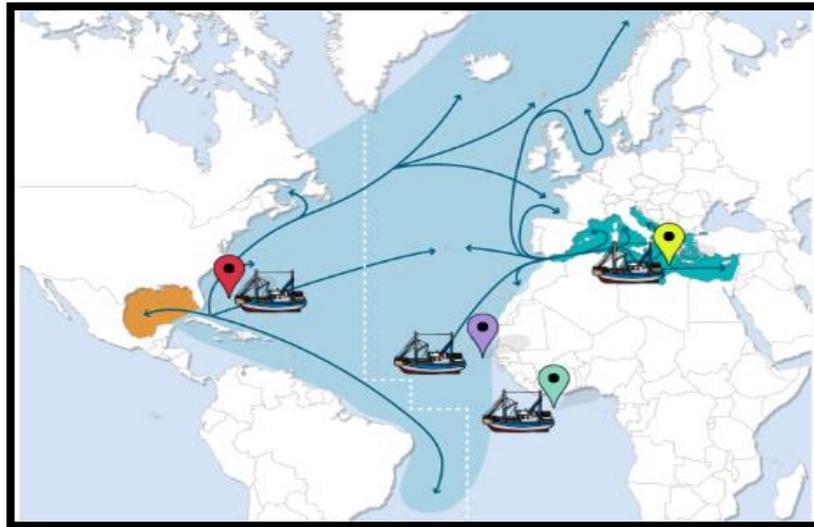


Figura 2.1 Migración y rutas hacia caladero de flota española.

Fuente: The Pew Charitable Trusts [30].

- 📍 Oeste Principal: 3.041 millas náuticas.
- 📍 Senegal: 2.033 millas náuticas.
- 📍 Océano mediterráneo: 1.172 millas náuticas.
- 📍 Costa de marfil: 4.145 millas náuticas.

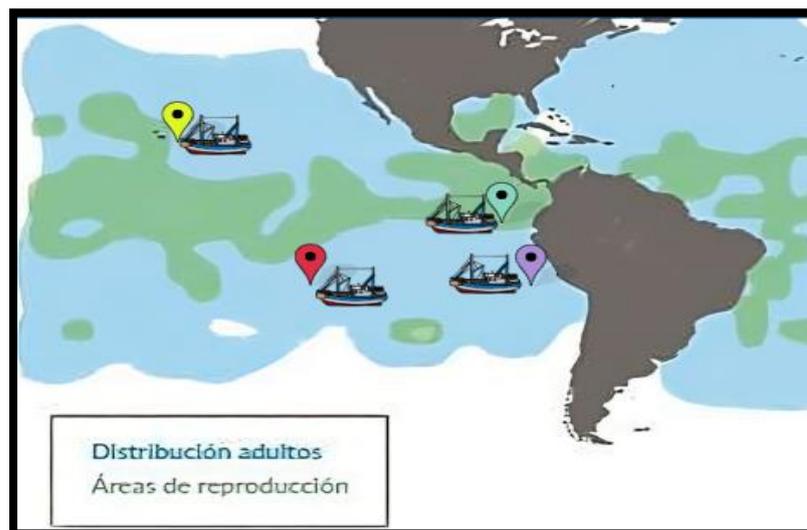


Figura 2.2 Migración y rutas hacia caladero de flota ecuatoriana.

Fuente: Planeta Atún- FECYT [31].

-  Islas Marquesas: 3.741 millas náuticas.
-  Perú: 970 millas náuticas.
-  Islas Galápagos: 485 millas náuticas.
-  Hawái: 4.450 millas náuticas.

Por otra parte, en un reporte de CEPESCA, mediante una auditoría energética, se identificó un perfil de distribución energético de los buques palangreros españoles en sus actividades operacionales, ver Figura 2.3. Aquí se identifica que un 43% de energía se emplea para llegar a los respectivos caladeros. Asimismo, este tipo de embarcaciones cuando pescan, realizan el lance de la cuerda con carnada, permaneciendo la máquina principal apagada utilizándose únicamente los equipos auxiliares eléctricos e hidráulicos para el largado y recogida de la cuerda con el cardumen capturado, por ello el 57%.

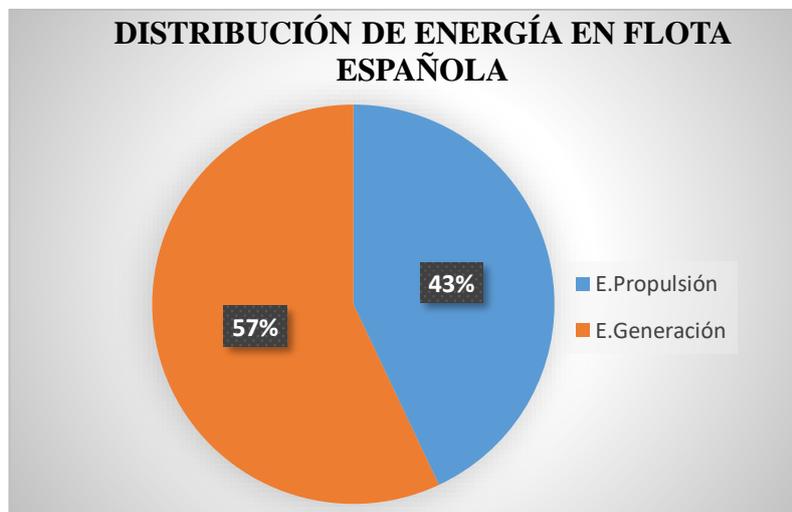


Figura 2.3 Distribución de consumo energético en flota española.

Fuente: Elaboración propia según CEPESCA [19].

Luego, mediante información levantada por los autores a 18 embarcaciones atuneras cerqueras ecuatorianas, se obtuvo una distribución de energía de los equipos para una faena, ver APÉNDICE B. Estas embarcaciones usan el arte de cerco, que consiste en rodear al cardumen mediante maniobras de giro para ‘atrapar’ al pescado con la red. En las Figura 2.4 y Figura 2.5, se puede

observar las etapas de este arte de pesca y sus principales elementos, respectivamente.

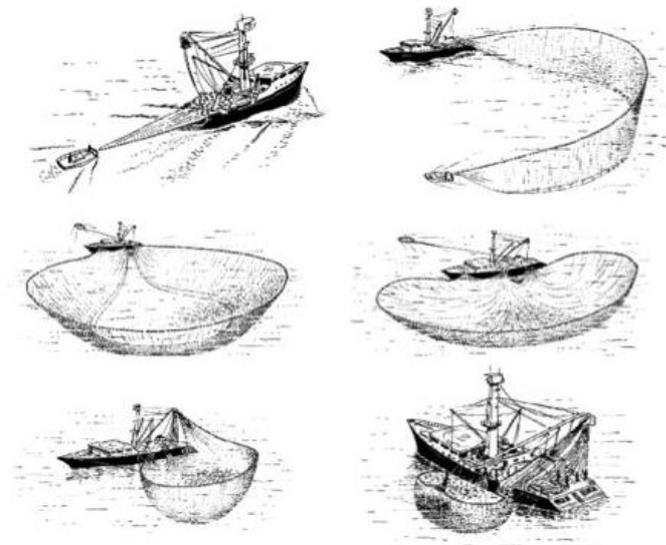


Figura 2.4 Fases de la operación de cerco.

Fuente: Planet Tuna [31].

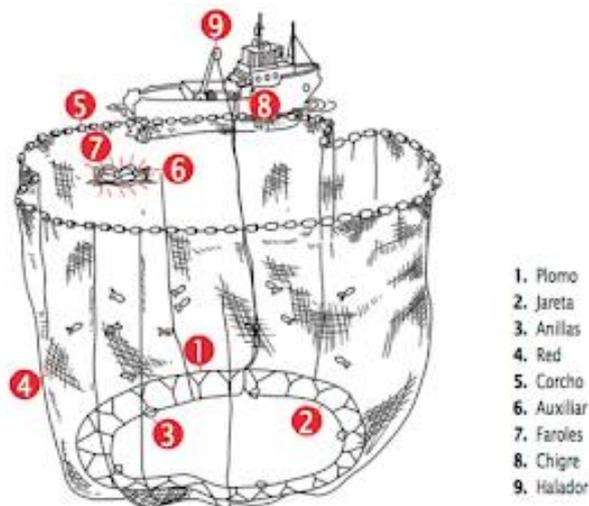


Figura 2.5 Partes del arte de cerco.

Fuente: Planet Tuna [31].

Para lograr esta captura es imprescindible el aprovechamiento de toda la potencia disponible en la maquinaria principal ya que el barco debe estar en constante movimiento, por eso en la Figura 2.6 se determinó un empleo de consumo del 70% para la propulsión.

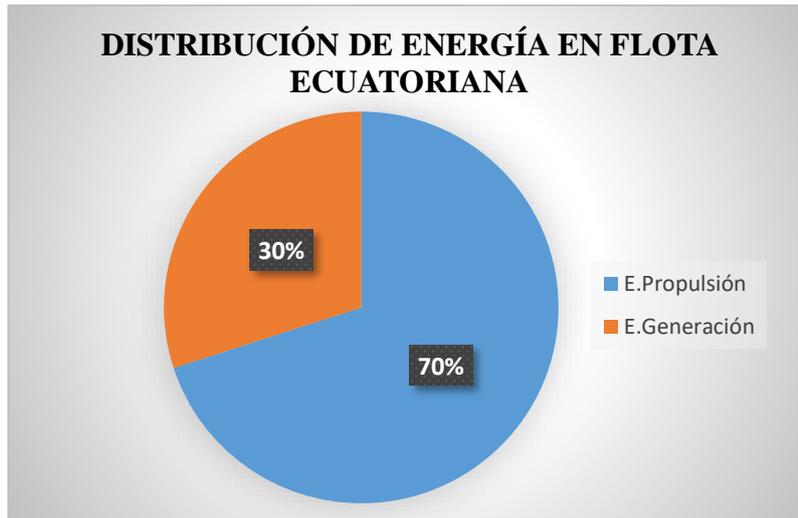


Figura 2.6 Distribución de consumo energético en flota ecuatoriana.

Fuente: Elaboración propia.

Debido al elevado consumo de combustible que requieren las embarcaciones atuneras para sus actividades operacionales, los armadores españoles han decidido contar con equipos de medición a bordo para monitorear su variación a lo largo de toda la faena. Según CEPESCA, los palangreros de superficie emplean equipos como:

- **Caudalímetro:** Instrumento de medida para el reporte de caudal, gasto volumétrico o gasto másico de un fluido, comúnmente ubicados en línea con la tubería que alimenta al motor, Figura 2.7.



Figura 2.7 Medidor de flujo de combustible digital.

Fuente: Digital center-medidores de flujo.

- **Equipo AZTI-GESTOIL:** AZTI es un centro tecnológico español comprometido con la eficiencia energética de los buques atuneros, que ha creado un equipo llamado GESTOIL, Figura 2.8, que permite controlar y optimizar el consumo de combustible en las embarcaciones, logrando hasta un 25% de ahorro en cada faena de pesca. Una de las ventajas de esta herramienta es su bajo costo y que es aplicable a todos los segmentos de la flota pesquera.



Figura 2.8 Pantalla de equipo AZTI-GESTOIL.

Fuente: Empresa AZTI.

Por otra parte, en Ecuador, de acuerdo con una muestra de 18 embarcaciones e información de bases de datos obtenida por empresas dedicadas a la inspección de condición de barcos, tales son H. RODAS Y RCD RISK CONSULTING DIV, ver APÉNDICE B, se pudo constatar que 2 embarcaciones cuentan con caudalímetros y ninguno tiene incorporado un sistema similar al equipo GESTOIL. En la Figura 2.9, se presenta un resumen del porcentaje de equipos electrónicos implementados en ambas flotas. A pesar de que los porcentajes no son altos en cuanto a uso de equipos de medición en ambos países, se debe tener presente que, por ejemplo en España, un solo equipo AZTI en un barco atunero puede aportar con un ahorro de combustible de no menos del 30% en una marea; mientras que por Ecuador, no se tiene absolutamente ninguna aplicación de este tipo de equipos en sus buques, evidenciándose la enorme diferencia de eficiencia a pesar de que el análisis es en pequeños porcentajes.

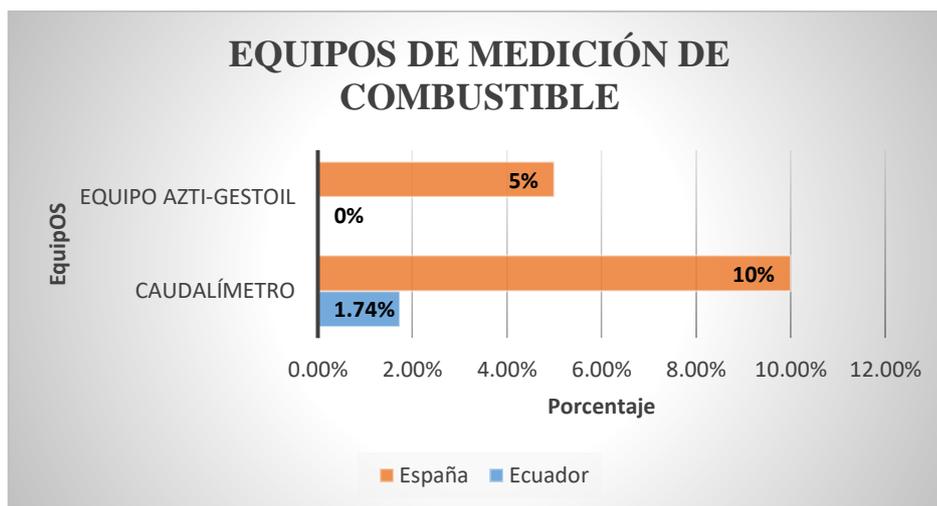


Figura 2.9 Equipos tecnológicos empleados en ambas flotas.

Fuente: Elaboración propia.

Un nuevo desafío para los fabricantes de motores empezó el 1 de enero de 2000, con la implementación del convenio de MARPOL de la OMI por medio del Anexo VI de las reglas 13 y 14 [32]. El mismo regula de manera mandatoria las emisiones de gases de Óxidos de Nitrógeno (NOx) y de Azufre (SOx) en los motores para las áreas de control de emisiones (ECA, ubicadas en su mayoría en Europa y América del Norte) mediante los Niveles 1 (Tier I, año 2000), 2 (Tier II, año 2011) y 3 (Tier III, año 2016). Para estos niveles se permite una máxima cantidad emitida de NOx de 17 g/kW-h, 14 g/kW-h y 3,4 g/kW-h respectivamente. Mientras que para el SOx de todo fueloil no debe exceder el 4,5% masa/masa, 3,5% masa/masa y 0,5% masa/masa para los respectivos niveles. Esto ha generado una evolución de alternativas de tecnología existente en la maquinaria como los agregados de catalizadores de reducción catalítica que permite utilizar menos diésel en la unidad de inyección del combustible [33]. Es importante conocer que estas regulaciones aún no son obligatorias para los países sudamericanos y mucho menos para Ecuador, esto incluye la calidad del combustible. En la Figura 2.10, se muestra un mapa de consumo específico de combustible de un motor marino, el mismo es importante para obtener el gasto de diésel a diferente velocidad del motor y a su potencia alcanzada, para ello, se necesita las curvas de operación del conjunto motor-hélice, obtenidas y explicada en el siguiente capítulo.

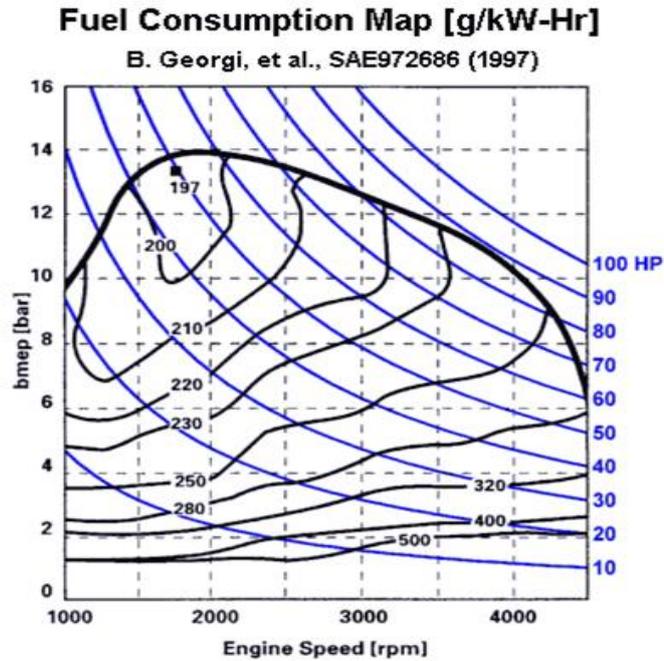


Figura 2.10 Mapa de consumo específico de combustible-Motor SAE 972686.

Fuente: Wikipedia.

En la Figura 2.11 se observa la disminución de emisiones de los diferentes óxidos mencionados, NO_x y Sox, a partir de la ejecución de estas normas.

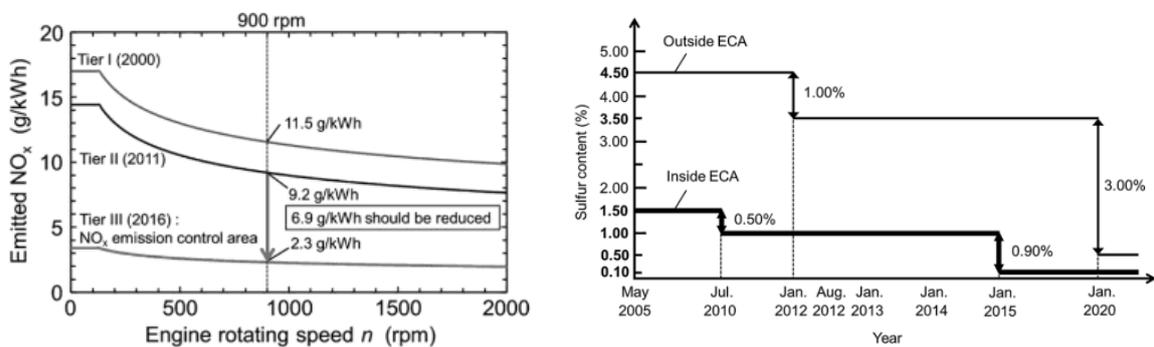


Figura 2.11 El requisito de reducciones NO_x en los Niveles I, II y III. / Contenido de azufre en combustible controlado fuera y dentro del ECA para motores marinos

Fuente: New Technologies for Emission Control in Marine Diesel Engines [34].

A continuación, Figura 2.12, se expone una comparación de consumo de combustible de varios motores marinos construidos en diferentes años y de distintas potencias. Se evidencia el consumo específico del combustible ha disminuido conformen transcurren los años.

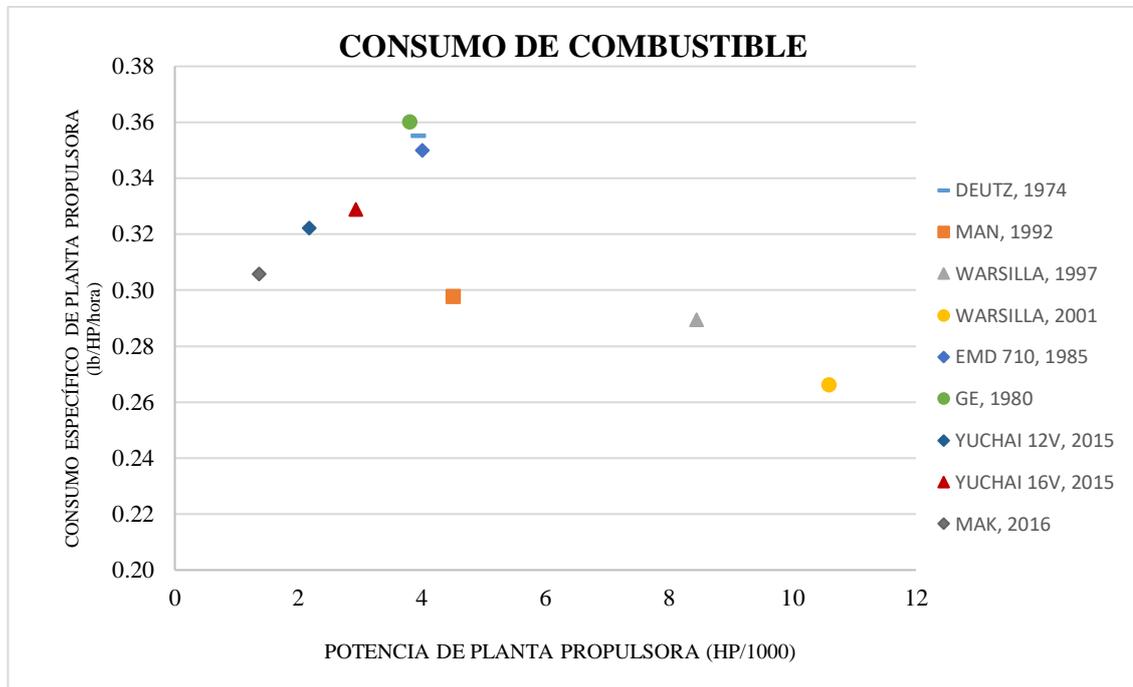


Figura 2.12 Consumo específico de motores a lo largo de los años.

Fuente: Elaboración propia

Además, la Figura 2.13 compara el peso de estos motores, factor influyente en la estabilidad y capacidad de carga de una embarcación pesquera. Nuevamente se encuentra que el peso del motor ha disminuido en los años recientes.

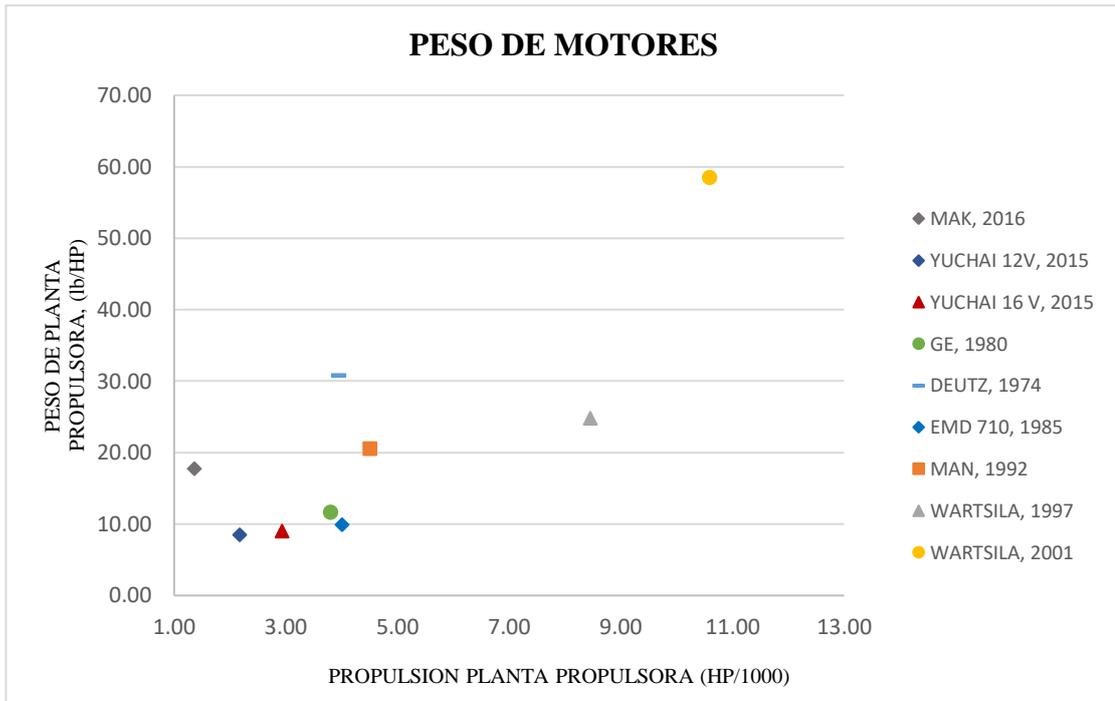


Figura 2.13 Peso de motores a lo largo de los años.

Fuente: Elaboración propia

Resumiendo, la principal causa de esta considerable diferencia de tecnología implementada en cada flota está relacionada con la antigüedad de sus embarcaciones, como se muestra en la Figura 2.14. En las dos décadas de diferencia se produjeron innovaciones en motores, generadores, equipos de control de medición, formas del barco, mantenimiento, aplicación de métodos de construcción sostenible con el medio ambiente, entre otros.

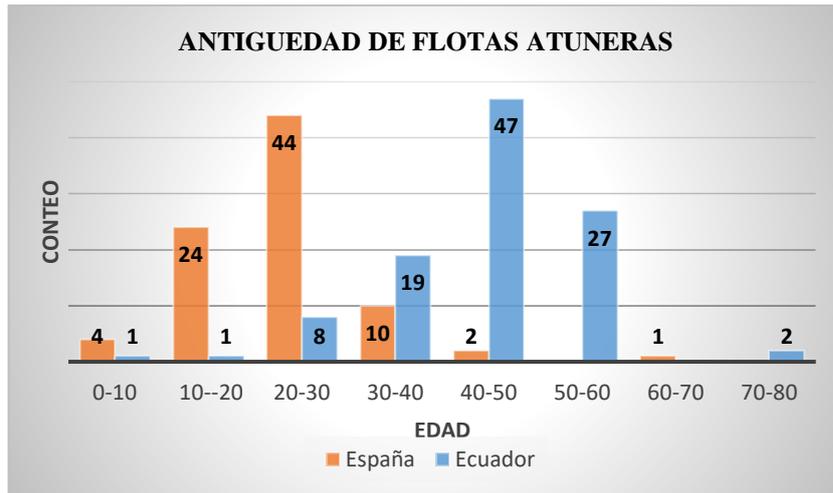


Figura 2.14 Distribución de edad entre Ecuador y España.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos en el CIAT [2]

Por último, se presenta un resumen de otras diferencias tecnológicas identificadas entre ambos países, las cuales son enumeradas en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Resumen de diferencias tecnológicas entre Ecuador y España.

Fuente: Elaboración propia.

	ESPAÑA	ECUADOR	DESCRIPCIÓN
Arte de pesca	Palangre (long line)	Cerco	El arte de pesca empleado es una de las principales representaciones al momento del consumo de combustible en las faenas de pesca.
Característica de arte de pesca	Pasivo	Activo	<u>Arte pasivo:</u> Se basa en el movimiento de la especie objetivo de la pesca hacia el arte, por lo que el consumo de combustible es menor. <u>Arte activo:</u> Se intercepta el cardumen donde la embarcación participa activamente generando un gasto mayor de combustible.
Certificaciones para la pesca sostenible	MSC (Aplicado en un 95% de la flota)	MSC (Implementado este año)	Marine Stewardship Council, MSC, es un estándar de cadena de custodia que garantiza la trazabilidad y la buena gestión por medio de equipos certificados.
Implementación de Inteligencia Artificial	Generación de mapas de zona de pesca. Probabilidad de pesca analizando sondajes de boyas. Predicción de trayectoria de la boya por 7 días [35].	Aún sin aplicación.	España, con la finalidad de mantener en constante innovación, mejorar y renovar el rendimiento de su flota pesquera, mediante la empresa Zunibal, ha presentado un proyecto con implementación de inteligencia artificial que tiene como objetivo mejorar la relación de toneladas por milla náutica.
Medidas más comunes de ahorro energético	Optimización de rutas de navegación, Velocidad de navegación, Gestoil, Variadores de frecuencia.	Variadores de Frecuencia	España con la finalidad de reducir el consumo de combustible emplea del uso de variadores de frecuencia y la implementación del sistema gestoil que permite gestionar el consumo de combustible a bordo de los buques pesqueros de una manera sencilla y económica.-

2.2 Etapa 2: Metodología descriptiva para realizar una auditoría energética mediante norma UNE 216501

2.2.1 Auditoría Energética

Se aplicó los diferentes pasos descritos en la norma UNE 216501 para realizar en una auditoría energética, a una embarcación atunera cerquera B/P DRENEC de la compañía NIRSA. Durante la inspección realizada a este buque, como se muestra en la Figura 2.15, se realizó el levantamiento de información de equipos principales y auxiliares para determinar el patrón energético e identificar los principales consumidores de energía. También se recabó información de la bitácora del maquinista para evidenciar operación y estado del sistema propulsivo.

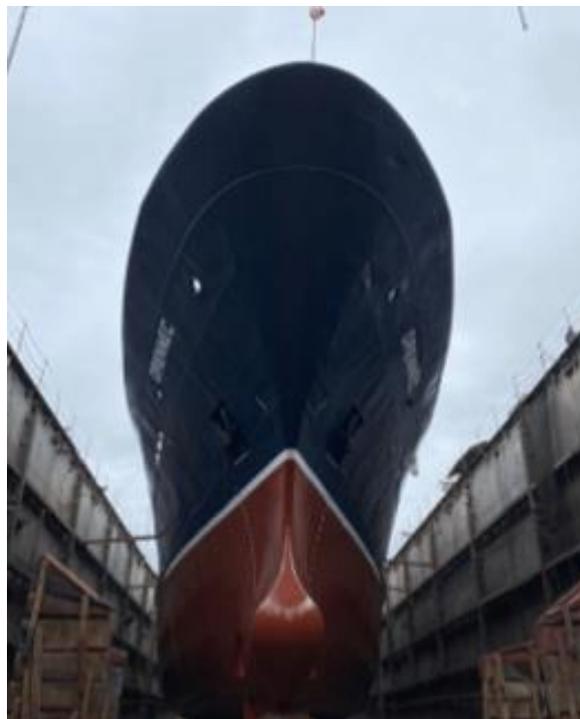


Figura 2.15 Vista frontal del buque de estudio B/P DRENEC.

Fuente: Elaboración propia en instalaciones del dique Orellana durante visita del 14/11/22.

Las características principales de la embarcación se muestran en la siguiente tabla 2.2:

Tabla 2.2 Especificaciones generales de embarcación de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Características técnicas	Descripción
Eslora [m]	80,5
Material de Casco	Acero Naval
Capacidad de bodega [ton]	1.915
Máquina principal	EMD- 4000HP@900RPM
Relación de reductor	5,09:1
Diámetro del eje [m]	0,28
Diámetro de hélice [m]	3,66

Se realizaron dos visitas técnicas a la embarcación, una en las instalaciones de NIRSA en Posorja y otra en el dique Orellana en Guayaquil. En ellas se obtuvo el registro de los equipos a bordo que se utilizan en operaciones de faena y cotidianas, los principales se describen en la Tabla 2.3 y en el APÉNDICE C, y los secundarios se encuentran en el APÉNDICE D:

Tabla 2.3 Equipos principales que demandan mayor cantidad de combustible.

Fuente: Elaboración propia.

ÁREA	EQUIPO	MARCA	POTENCIA	GAL./H (Consumo de combustible reportado por maquinista)
Sala máquina	Motor Principal	EMD	4000 HP	96,75
Sala máquina	Generador 1	CAT	520 kW	12
Sala máquina	Generador 2	CAT	405 kW	12
Sala máquina	Generador 3	CAT	480 kW	12
Sala máquina	Generador 4	CAT	405 kW	12
Sala máquina	Motor Hidráulico Principal	CAT	405 kW	7
Cubierta Superior	Panga	CAT	503 HP	7

Por otra parte, se clasificó los equipos que se encuentra a bordo de la embarcación en primario y secundarios, además de cuantificar los equipos eléctricos de la embarcación, con la finalidad de definir el perfil operativo de la embarcación, por lo que cuenta con:

Tabla 2.4 Cantidad de equipos a bordo de la embarcación B/P DRENNEC.

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación	Cantidad
Primarios	58
Secundarios	15
Eléctricos	73

Además, en el APÉNDICE E se puede observar la distribución general de los principales equipos a bordo en el B/P DRENNEC.

Por otro lado, según datos registrados en las bitácoras por parte del maquinista, Figura 2.16, el motor principal alcanzaba una velocidad máxima de 750 rpm, lo que permitía al buque alcanzar los 11,5 nudos de velocidad. Sin embargo, la velocidad rotacional nominal del motor es de 900 rpm, es decir, un 17% menos, lo que da un indicio de una sobrecarga del mismo.



Figura 2.16 Entrevista con el maquinista y electricista del buque.

Fuente: Elaboración propia durante visita del 14/11/22.

Es importante identificar las diferentes condiciones de carga de trabajo en la faena de pesca del buque para reconocer la más crítica al momento de operación junto al motor. A continuación, se presenta un listado de las condiciones de carga del B/P DRENNEC reportadas en su respectivo libreto de estabilidad:

- Salida al caladero, 100% de consumibles, artes de pesca y 0% captura, con un desplazamiento de 4.165,28 tons.
- Llegando a caladero, el 50% de consumibles y 0% de captura, con un desplazamiento de 3.788,66 tons.
- Llegada a puerto, con el 50% de consumibles y 100% de captura, con un desplazamiento de 3.340,95 tons.
- Llegada a puerto, con el 10% de consumible y 100% de captura, con un desplazamiento de 3.174,81 tons.

2.2.2 Balance energético.

En los buques pesqueros, las medidas implementadas para mejorar la eficiencia energética se centran en el uso de equipos más eficientes y el empleo de nuevas tecnologías. Por ejemplo, el balance energético consiste en clasificar los equipos que generan electricidad (generadores) y por el otro, los que consumen. Para este caso en particular, se tomará la condición más crítica de operación en la embarcación que es cuando todos los equipos electrónicos funcionan al mismo tiempo, luego se calcula la potencia que se demande en dicha condición. Si el resultado es igual o mayor de lo que producen los generadores, entonces habrá un déficit y se deben proponer mejoras con análisis minuciosos del caso en cuestión. A pesar de la falta de guías o normas oficiales de este tipo de procedimientos, existen trabajos publicados como por ejemplo el trabajo de Jorge Ruiz Canet [36], donde implementaron variadores de frecuencia para regular y controlar motores eléctricos a bordo a un buque Rox Pax. En la figura Figura 2.17, se puede observar el proceso utilizado para llegar a las diferentes propuestas de soluciones en un balance energético mediante la eficiencia energética.

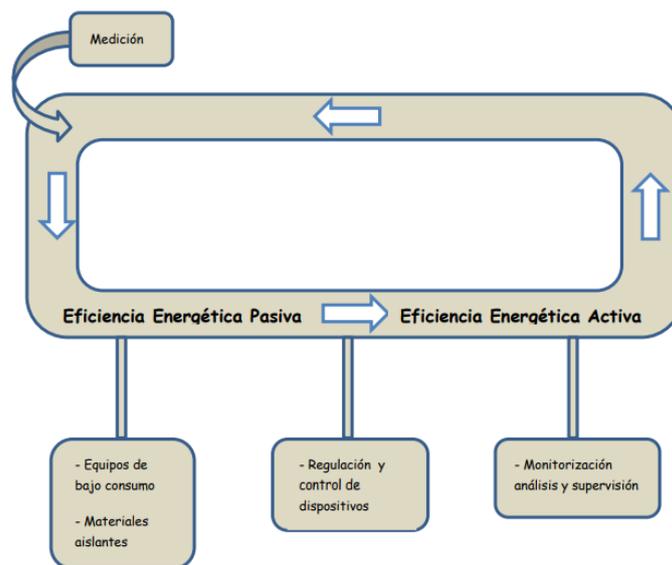


Figura 2.17 Principio del ciclo de la eficiencia energética

Fuente: Improving the Energy Efficiency of a RO-PAX ship.

2.3 Etapa 3: Metodología método deductivo para elección de soluciones.

Desde el estudio de los dos puntos de vista, eléctrico y propulsivo, en este proyecto se realizará el enfoque de análisis a detalle solo del sistema propulsivo debido a que brinda una variedad de propuestas de soluciones y es la que se proyecta con un mejor porcentaje de ahorro de combustible.

2.3.1 Análisis del sistema propulsivo y propuestas de mejoras.

De acuerdo con información recibida por parte del Ingeniero Naval Alejandro Monar, representante de NIRSA, la embarcación presenta una sobrecarga del motor y por ende un exceso consumo de combustible. Para intentar solventar este problema, se realizó un cambio de la hélice en el año 2021, consiguiendo una reducción del consumo de combustible del 30% manteniendo el límite operativo de 750 RPM. Sin embargo, los detalles técnicos de la hélice original no pudieron ser accedidos por los autores. Por ello, en este trabajo se realizará un nuevo análisis del conjunto motor-hélice y su impacto en el consumo de combustible para proponer varias soluciones de cambio y escoger la más viable desde el punto de vista técnico y económico. A continuación, se enumeran las opciones consideradas:

1. Cambio de hélice.
2. Cambio de caja reductora.
3. Cambio de motor principal.
4. Cambio del conjunto motor-reductora-hélice.

La rentabilidad económica y accesibilidad de pago de cada una de las soluciones se determina mediante el análisis OPEX, que es la suma de los costos operativos del barco en un periodo de tiempo determinado, en este caso en particular, de una marea (2 meses aprox.). Dentro de este análisis se utiliza el método de flujo de caja, que considera el valor de inversión inicial, TIR, valor de salvamento, tasa de interés, Valor Actual Neto, y el tiempo de amortización para escoger la mejor opción que requiere el armador. A continuación, se describirá cada una de ellas:

- Inversión Inicial: Es el dinero a gastar en una solución considerando ya el F.O.B. (el cargamento en puerto de salida) y el C.I.F. (el cargamento en puerto de destino).
- TIR: La tasa interna de retorno es la tasa de descuento con la que el valor actual neto se iguala a cero. [37]
- Valor de salvamento: Es el precio que se le da al equipo una vez finalizada su vida útil.
- Tasa de interés: Depende de las normativas que se rige cada país.
- Valor actual neto: Es el valor que se obtiene de ganancia una vez recuperada toda la inversión inicial.
- Tiempo de amortización: Es el tiempo para recuperar la inversión inicial.

Para mayor detalles sobre el análisis OPEX, se recomienda revisar 14 th Symposium on High-Performance Marine Vehicles [38].

Capítulo 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se presentan resultados obtenidos a través de las diferentes metodologías empleadas en los capítulos previos, los mismos son expuestos a continuación.

3.1 Índice de eficiencia energética según la OMI.

Los tipos de buques como los pesqueros, en la actualidad no forman parte de los buques que entran en las reglamentaciones del EEDI. Por lo que la OMI ha adoptado un esquema para determinar la eficiencia energética operacional de un buque en donde el principal objetivo es ser un indicador de desempeño de las embarcaciones, Figura 3.1.

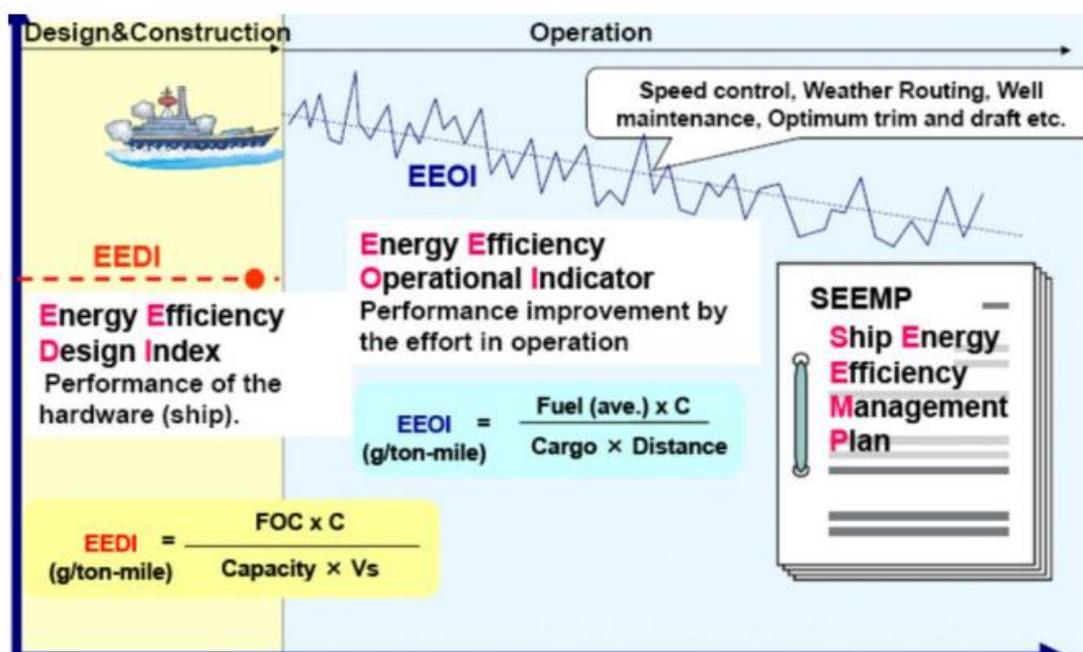


Figura 3.1 Indicadores de eficiencia energética según la OMI.

Fuente: Indicadores de Eficiencia OMI [39].

Por lo que, mediante la distancia recorrida, cantidad de tripulantes, pasajeros y consumo de combustible, se calcularon los indicadores EEOI y EEXI, tal como se indica en la siguiente Tabla 3.1. El buque de estudio BP DRENEC tiene una eslora de 80,5 m y un TRB de 1.848,75, el Buque Referencial N°1 tiene 39

m de eslora y un TRB de 432, y por último, el Buque Referencial N°2 tiene 37m de eslora y 231 de TRB:

Tabla 3.1 Cálculo de indicadores de la OMI.

Fuente: Elaboración propia.

INDICADOR	BUQUE DRENNEC	VALORES REFERENCIAL BUQUE N°1 [13]	VALORES REFERENCIAL BUQUE N°2 [13]
EEOI [toneladas de CO2/(toneladas - millas náuticas)]	7,14E-02	9,65E-03	6,81E-03
EEOI [toneladas de CO2/(persona - millas náuticas)]	8,04E-03	1,09E-03	7,66E-04
EEXI [g/ton - milla]	4,84E+04	4,10E+04	3,79E+04

Dado a que lo buques pesqueros no son considerados dentro del grupo de tipo de buques que deben cumplir con los requerimientos de la OMI, no existen actualmente valores referenciales estándar de índices de emisiones de CO2 que permitan asentar si el barco es eficientemente bueno energéticamente hablando. Sin embargo, se ha escogido dos buques pesqueros atuneros españoles, cerquero y palangrero, respectivamente; para calcular sus correspondientes índices de eficiencia, y así comparar con los índices del buque de estudio, ver Tabla 3.1. El resultado fue que los valores del B/P DRENNEC son relativamente altos respecto a los dos atuneros españoles, siendo esto un contra ya que significa que es barco ineficiente energéticamente hablando.

Por esto, este proyecto puede ser un punto de partida para que se realicen nuevas enmiendas y normativas que regulen a este tipo de embarcaciones en el país, y así dar paso a implementaciones tecnológicas para que se realice una pesca más sustentable, pero sobre todo más ecológica para el medio ambiente.

3.2 Análisis de Balance energético

Para verificar como se encuentra el perfil energético del buque, se procede a realizar el balance energético considerando el voltaje de trabajo en la

embarcación. Mediante el patrón operacional, ver Figura 3.2, a considerar (el más crítico) se obtuvo la potencia (kW) requerida para realizar las actividades de faena y cotidianas, ver Tabla 3.2.



Figura 3.2 Esquema operacional de uso de equipos para faena de B/P DRENNEC.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2 Resumen de potencia empleada por la embarcación en actividades operativas.

Fuente: Elaboración propia.

Amperaje Total	3.155,22
Tipo de corriente	AC
Numero de fase	3
Factor de potencia	0,83
Voltios	380
Resultado en KW	1.723,65

El B/P DRENNEC cuenta con 4 generadores que al operar en serie generan un total de 1810 KW de potencia, el cual, ante los 1723,65 que requieren todos los equipos eléctricos al operar al mismo tiempo, se encuentra con una holgura del 5%. Por lo tanto, se considera que no hay una necesidad urgente de análisis

en esta sección, por lo cual, se toma el camino de estudio del sistema propulsivo.

3.3 Análisis de sistema propulsivo.

En vista de que el sistema de propulsión es el mayor consumidor de combustible en el buque según las bitácoras y versiones del maquinista, entonces se procede con su análisis, el mismo que tiene sus etapas según el diagrama de la Figura 3.3.

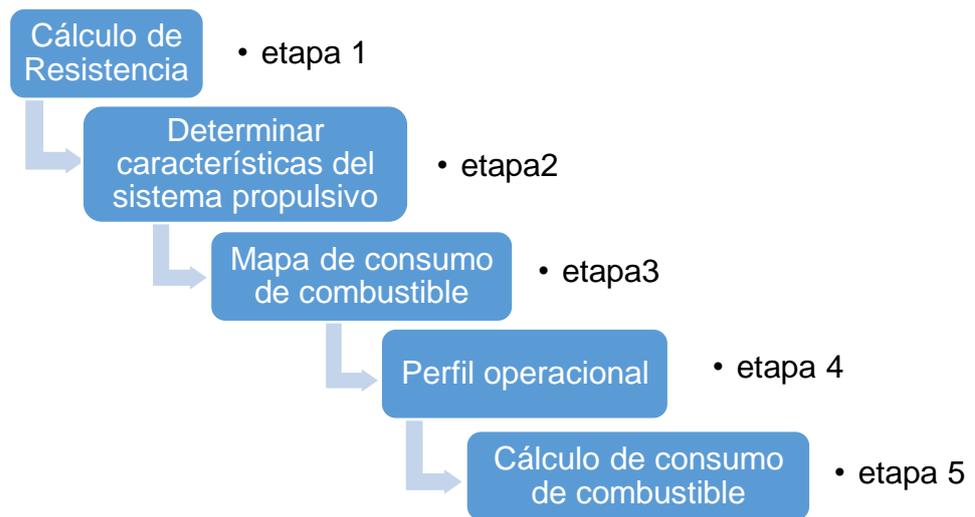


Figura 3.3 Etapas del análisis del sistema propulsivo.

Fuente: Elaboración propia.

Primero, es importante determinar la curva de resistencia del buque junto con un rango de velocidades en la condición de carga más crítica, APÉNDICE F, en este caso la de llegada al puerto (10% consumibles, 100% carga). La misma se obtuvo a través del software EFICPROP [40], en el que se describe las propiedades hidrostáticas a la embarcación usando un archivo txt, ver APÉNDICE G. El método utilizado en este software para estimar la fuerza de resistencia al avance en un rango de velocidades es el clásico método de Holtrop [41], mostrado en color gris en la Figura 3.4. Este método no fue desarrollado para buques pesqueros con bulbo, por tal razón se consideró el método de Gómez [42], curva azul, que utiliza regresiones obtenidas de buques pesqueros con bulbos con un rango de aplicabilidad mostrado en la Tabla 3.3. Considerando la diferencia entre ambas curvas, se modificó la primera incluyendo un factor de seguridad del 40%, mostrada como la curva naranja.

Debido a que el método de Holtrop es considerado como confiable y el factor de seguridad busca incluir el efecto del bulbo en buques pesqueros, se utilizará esta última curva en las secciones posteriores.

Tabla 3.3 Rango de aplicación del método de Gómez.

Fuente: Elaboración propia

	Rango de aplicación	B/P DRENNEC
Lpp	25-80 m	71,21 m
Fn	0,25-0,40	0,39 (13 nudos)
CbB/Lpp	0,095-0,165	0,10

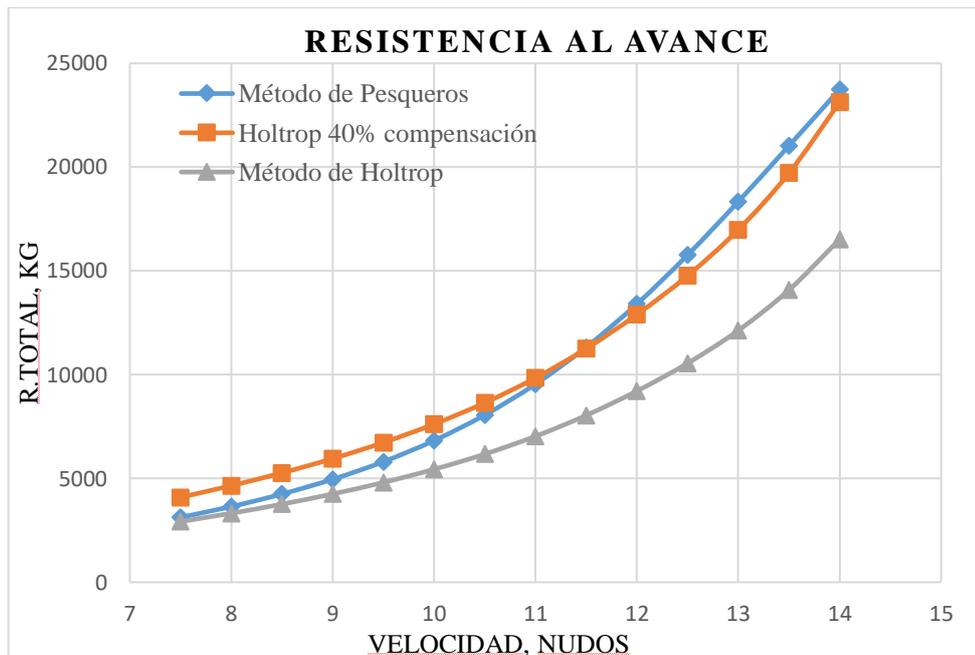


Figura 3.4 Curva de resistencia empleando el Método de Gómez y Holtrop.

Fuente: Elaboración Propia.

Para continuar con este análisis del conjunto motor-hélice, es necesario determinar las características de la hélice, por lo que en este trabajo se utilizaron los polinomios K_t y K_q de la serie B de Wageningen [43], (3.1) y (3.2). Para ello se implementó un código mediante el lenguaje de programación Python, y su diagrama de flujo se presenta en la Figura 3.5.

$$K_T = \sum_{t=1}^n C_S^T, t, u, v * J^S * \left(\frac{P}{D}\right)^t * \left(\frac{A_e}{A_o}\right)^u * z^v \quad (3.1)$$

$$K_Q = \sum_{t=1}^n C_S^Q, t, u, v * J^S * \left(\frac{P}{D}\right)^t * \left(\frac{A_e}{A_o}\right)^u * z^v \quad (3.2)$$

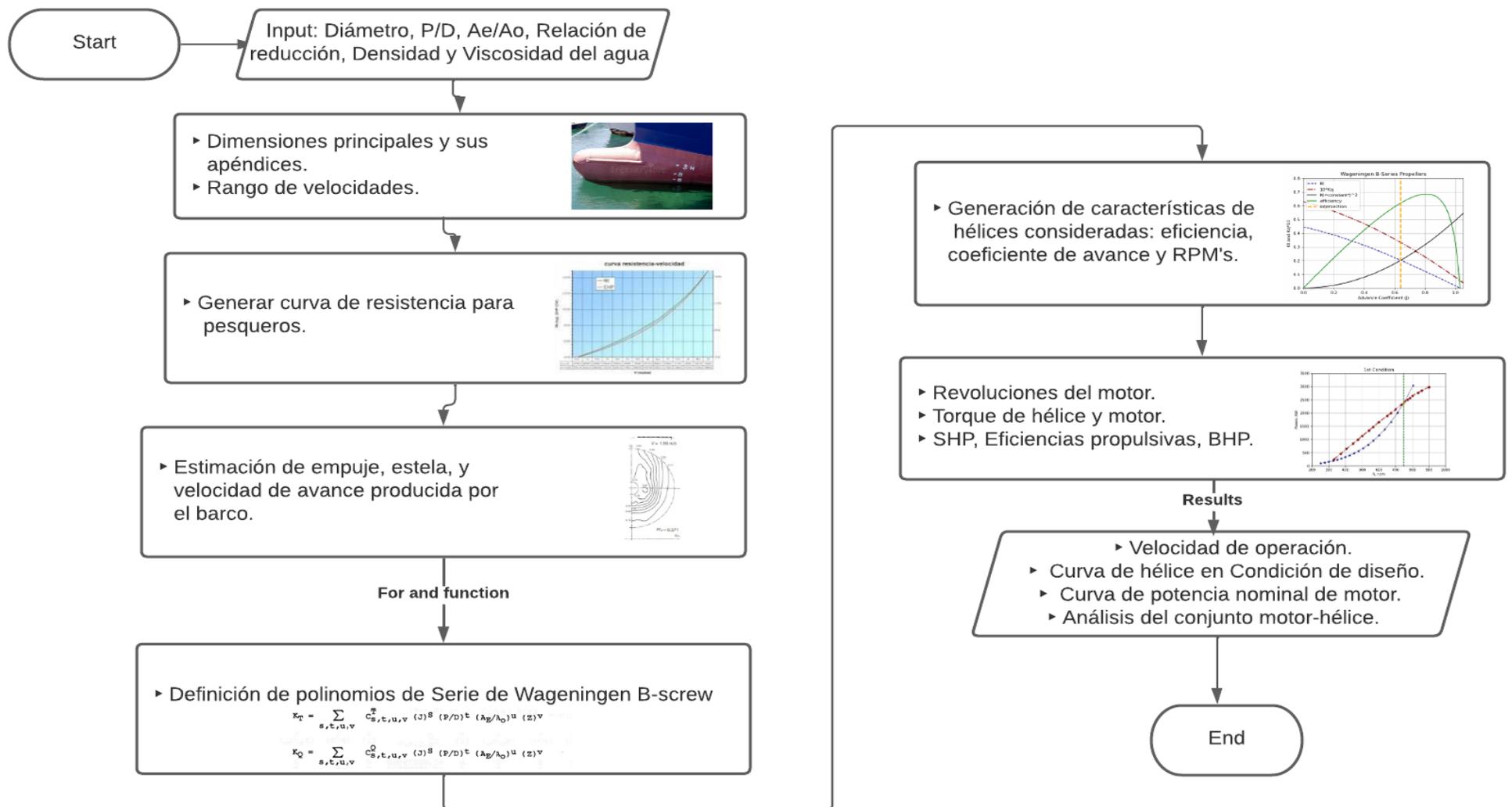


Figura 3.5 Diagrama de flujo de implementación de polinomios utilizando el lenguaje de programación Python.

Fuente: Elaboración propia

Los datos de entrada de este código son las dimensiones principales del barco, la condición de carga, la curva de resistencia, las dimensiones principales de la hélice; para estimar el factor de estela, de empuje, velocidad de avance, curvas K_t y K_q , y el coeficiente de avance operativo. Como resultados, se obtendrá la curva característica de la hélice en aguas abiertas operando en condición de diseño.

Por ejemplo, una implementación de este código se lo puede observar en la Figura 3.6, donde las características de la hélice actualmente instalada en el B/P DRENNEC se muestran en la Tabla 3.4.

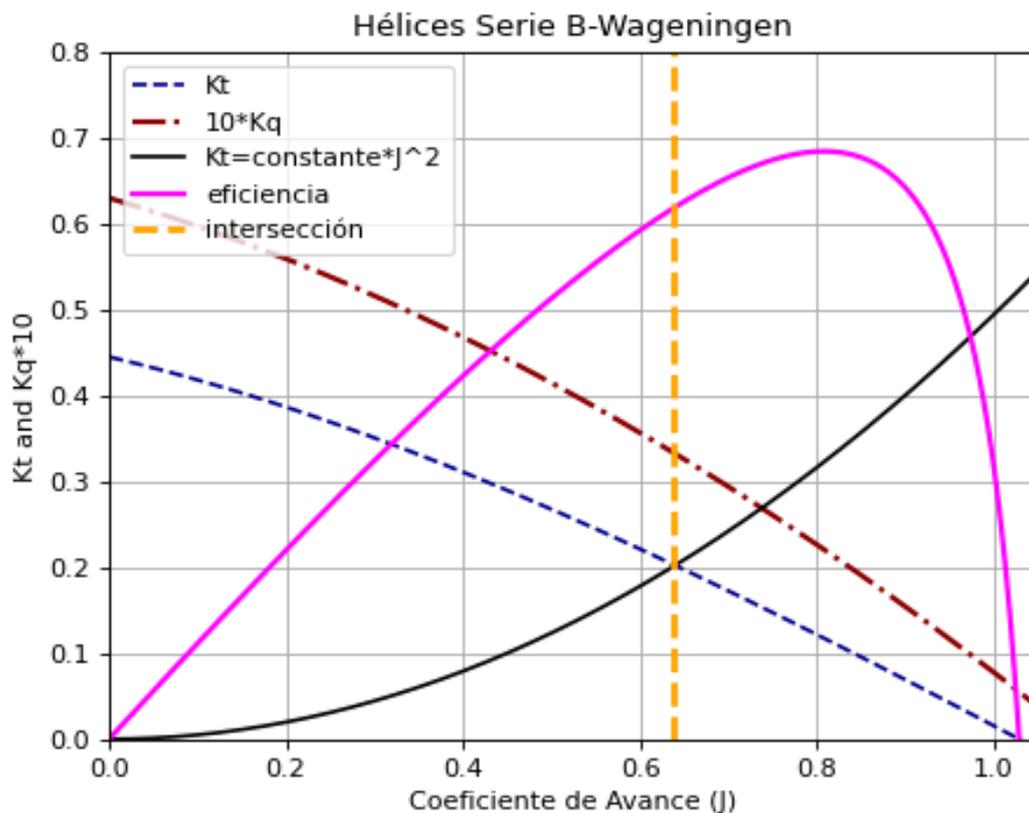


Figura 3.6 Curvas K_t , K_q y eficiencia. ($D= 3,66\text{m}$, $\#\text{Blade}= 5$, $P/D = 0,97$; $\text{velocity}=12$ knts; $R: 126,420 \text{ N}$; $\text{DHP}=3000 \text{ KW}$, $N_{\text{motor}}=650 \text{ rpm}$).

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4 Especificaciones técnicas de la hélice.

Fuente: Elaboración propia con datos facilitados por representante de la compañía.

Diámetro Hélice	3.660 mm
Material De la Hélice	CuAl10 Ni
Z	5
Giro	CCW
Diámetro del Eje	11"
Material del Eje	Acero 1045
# Líneas de Ejes	1

En las curvas de la Figura 3.6, se obtiene que el coeficiente de avance operativo (J) es de 0,64, mediante la intersección de la curva Kt estándar y la curva basada en el empuje requerido por la embarcación para alcanzar la velocidad analizada. Este valor depende del empuje requerido por la embarcación, en este caso singular el coeficiente es de 0,64. A partir de este valor, se puede estimar la eficiencia de la hélice que en este caso es del 62% y que la hélice debe girar 2,08 revoluciones por segundo para alcanzar los 12 nudos de velocidad. Posteriormente, se obtiene la curva de potencia requerida por la hélice repitiendo este proceso para cada velocidad de navegación.

En la Figura 3.7, se puede observar la curva de potencia del motor y de potencia requerida por la hélice. La primera curva se obtuvo a partir del manual de instalación del motor EMD 710 [44], y la curva de la hélice se la obtiene mediante los cálculos propulsivos que incluyen las rpm's y torque de motor-hélice, potencia entregada al eje, eficiencias propulsivas y por último, la potencia al volante del motor, ver fórmulas en APÉNDICE H.

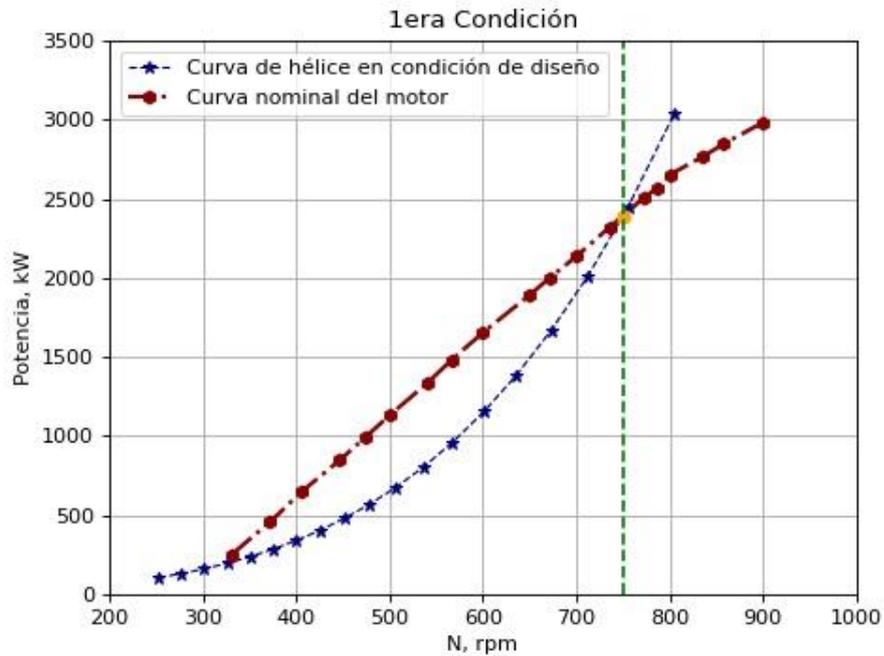


Figura 3.7 Curva operacional del motor y hélice – Condición actual

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se debe obtener el mapa de consumo del motor instalado en el B/P DRENNEC, para que junto con su perfil operacional, Figura 3.11, se pueda estimar su consumo de combustible. Sin embargo, debido a la falta de información y la antigüedad del motor EMD 710, no se pudo conseguir este mapa, por ende, se lo aproximó usando el mapa mostrado en la Figura 3.8, que pertenece a un motor de similares características, descrito en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Características de motor referencial.

Fuente: Diseño de embarcación híbrida-Geertsma et al [45].

Marca	MAN-16V	EMD 710
Año de construcción	1992	1985
Potencia	3.000 KW	2.983 KW
RPM	1.200 RPM	900 RPM

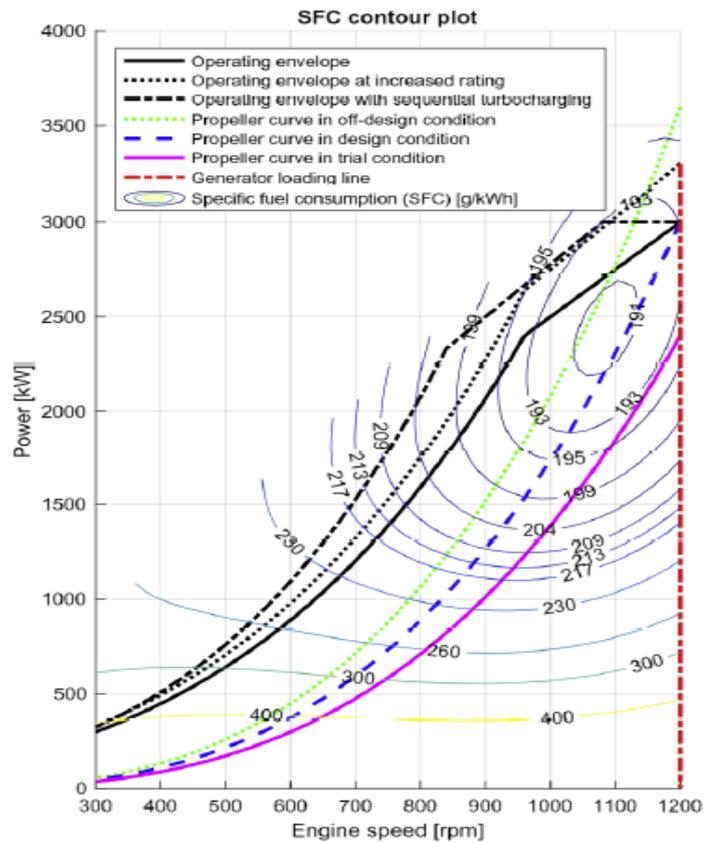


Figura 3.8 Mapa de consumo de combustible de motor MAN-4023HP

Fuente: Diseño de embarcación híbrida-Geertsma et al [45].

Para aproximar el mapa de consumo específico del motor EMD 710, instalado en el B/P DRENNEC, se realizaron los siguientes pasos:

- Digitalización y adimensionamiento de los ejes de Revoluciones del motor y Potencia considerando los valores nominales, Figura 3.9.

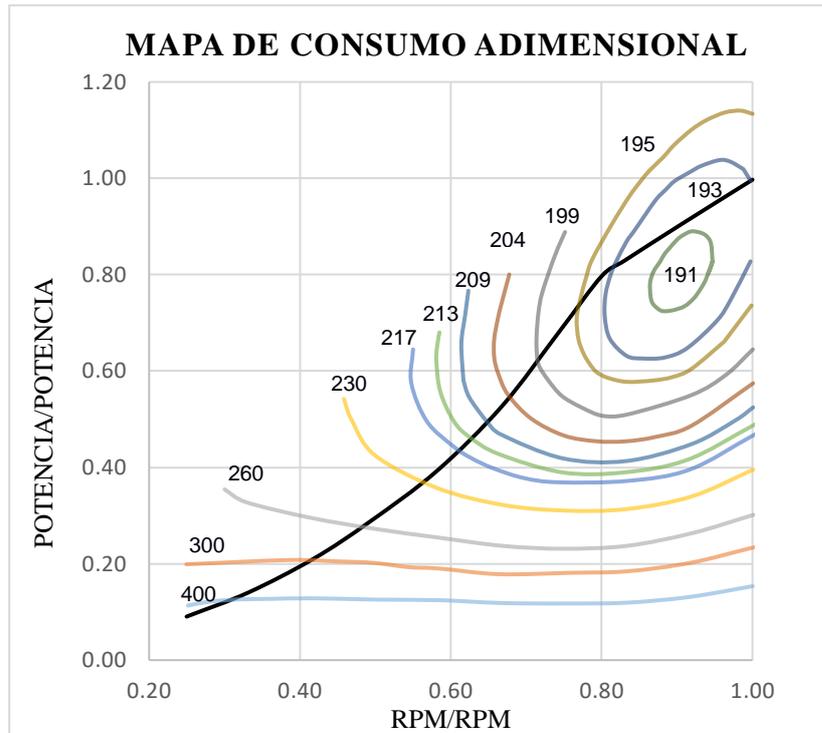


Figura 3.9 Mapa de consumo adimensional

Fuente: Elaboración propia.

- Luego se estimó un factor de escala, que será aplicado a las curvas de consumo específico constante, usando los consumos específicos nominales de ambos motores en la línea de sobre operación, Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Consumos específicos y factor de escala.

Fuente: Elaboración propia.

Motor	MAN-16V	EMD 710
Consumo específico	202 g/kW-h	228,3 g/kW-h
Factor de escala	1,13	

- Finalmente se usaron la potencia y revoluciones nominales, y el factor de escala para aproximar el mapa de consumo para el motor EMD- 710, instalado en el DRENNEC, Figura 3.10.

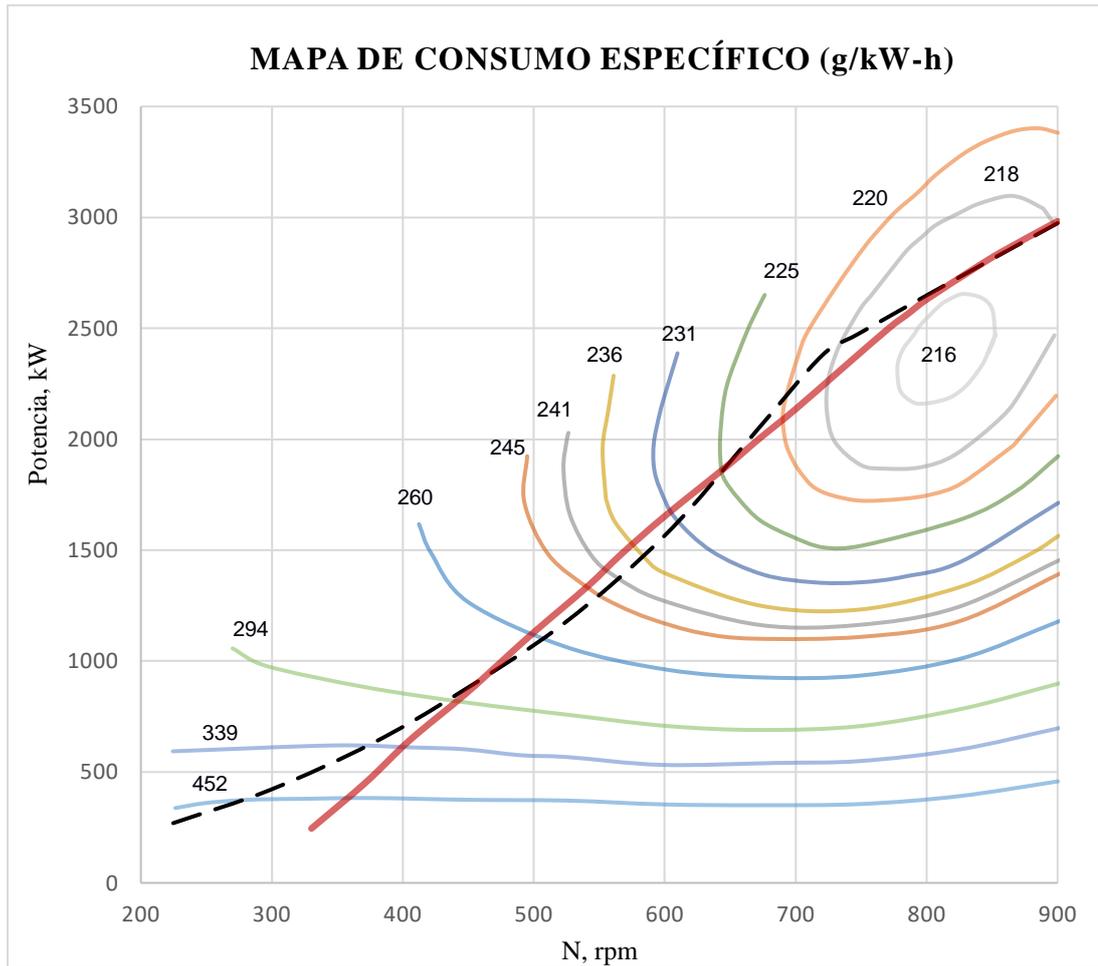


Figura 3.10 Mapa de consumo y curva de hélice de motor EMD 710.

Fuente: Elaboración propia.

Ahora, el perfil operacional del buque de la última faena es determinado con la información recopilada de la bitácora. En el mismo constan registros de 71 días donde se reporta cada 6 horas las revoluciones por minuto del motor principal. Con esta información se generó un histograma con las frecuencias en horas de diferentes rangos de RPM's mostrado en la Figura 3.11.

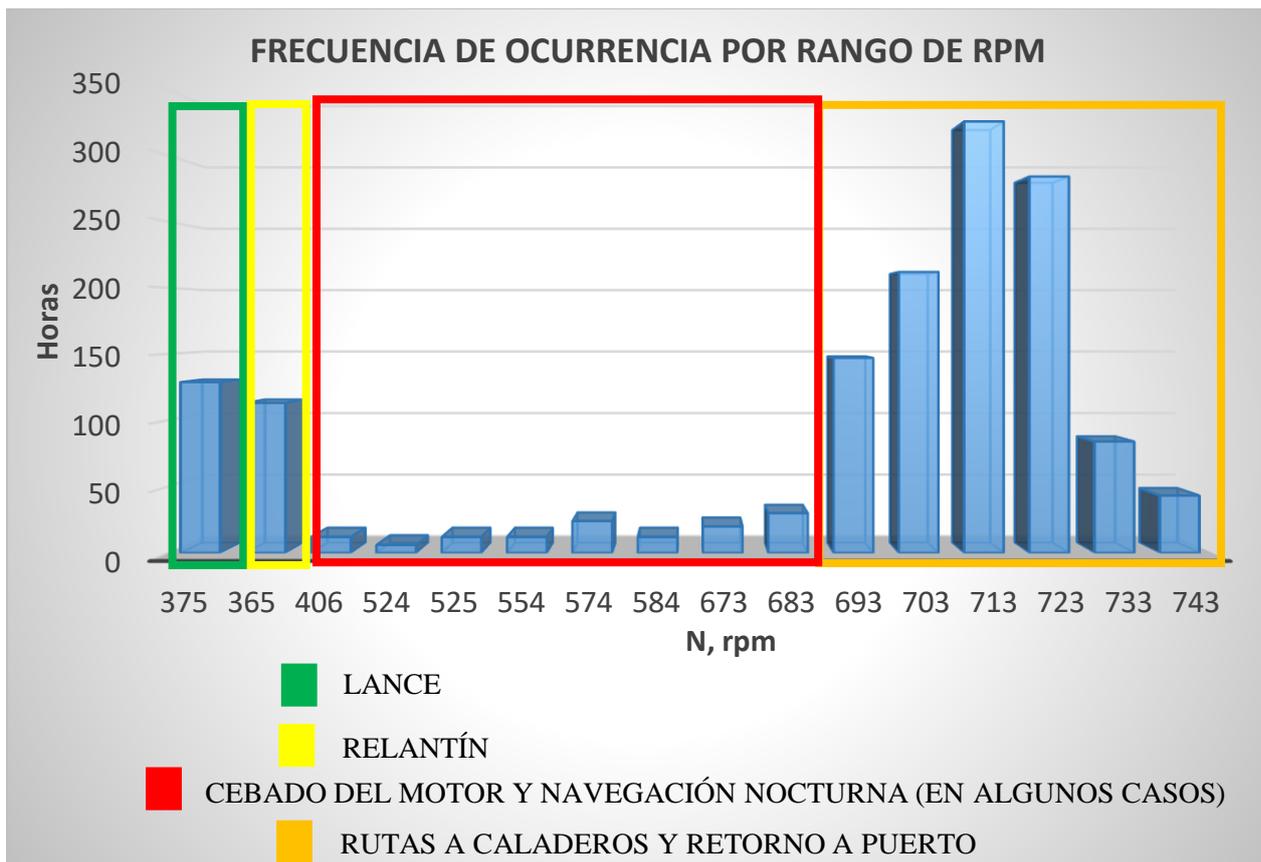


Figura 3.11 Perfil operacional del BP DRENNEC.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, una vez obtenida la gráfica de operación del motor y la potencia requerida por la hélice, Figura 3.7. Para estimar el consumo de combustible del motor en galones es necesario superponer esas curvas al mapa de consumo del motor EMD 710, y combinarlas con el perfil operacional mostrado anteriormente, Figura 3.12.

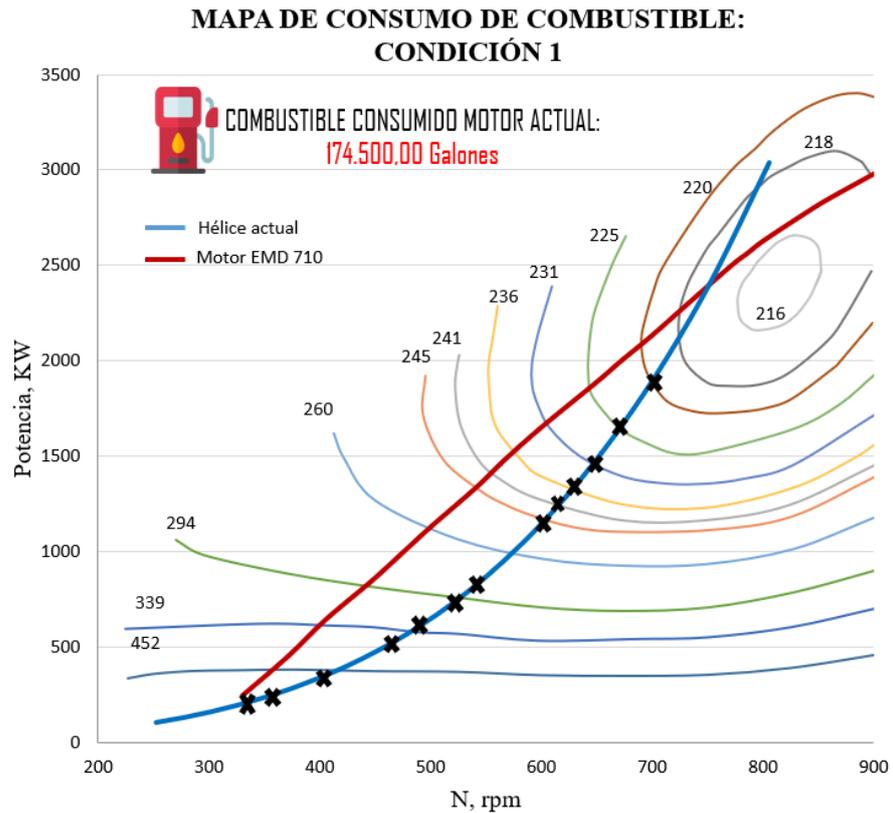


Figura 3.12 Mapa de consumo en condición actual del buque.

Fuente: Elaboración propia.

Se obtiene que, para la condición actual, es decir, sin ningún cambio de la línea de propulsión, el consumo de combustible resultante es de 174.500,00 galones, Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Consumo de combustible actual de la embarcación.

Fuente: Elaboración propia.

Condición 1 - actual	
Diámetro (m)	3,66
<u>Paso (m) - P/D</u>	<u>3.55 – 0.97</u>
Ae/Ao	0,71
<u>Razón de reducción</u>	<u>5.09:1</u>
Velocidad Máxima	13,5 nudos
Consumo de combustible (gal)	174.500,00

Ahora, conociendo el consumo de combustible actual del barco por parte del motor, y el proceso de obtención de este rubro, se procede a presentar las propuestas de solución ya mencionadas en el capítulo previo.

- **Alternativa 1: Cambio de hélice**

En esta alternativa se consideró cambiar la hélice propulsora a una con una razón P/D de 0,81 para alcanzar las RPM nominales del motor principal, y así aprovechar toda la potencia disponible en el mismo.

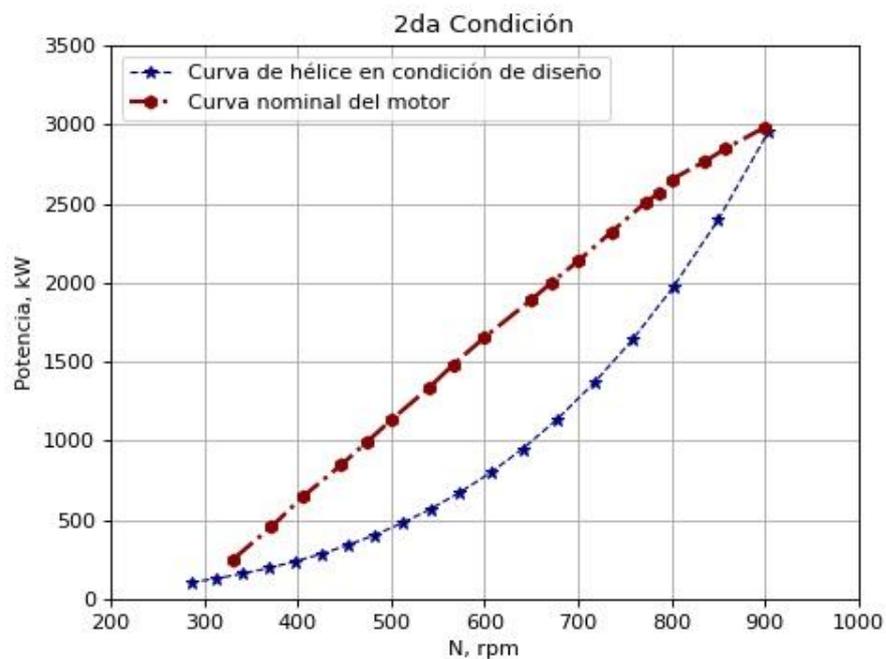


Figura 3.13 Curva operacional del motor y hélice.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el mismo proceso ya mostrado para el caso actual, se obtuvieron las curvas de potencia del motor y la hélice, Figura 3.13. Luego, se las superpone en el mapa de consumo, Figura 3.14.

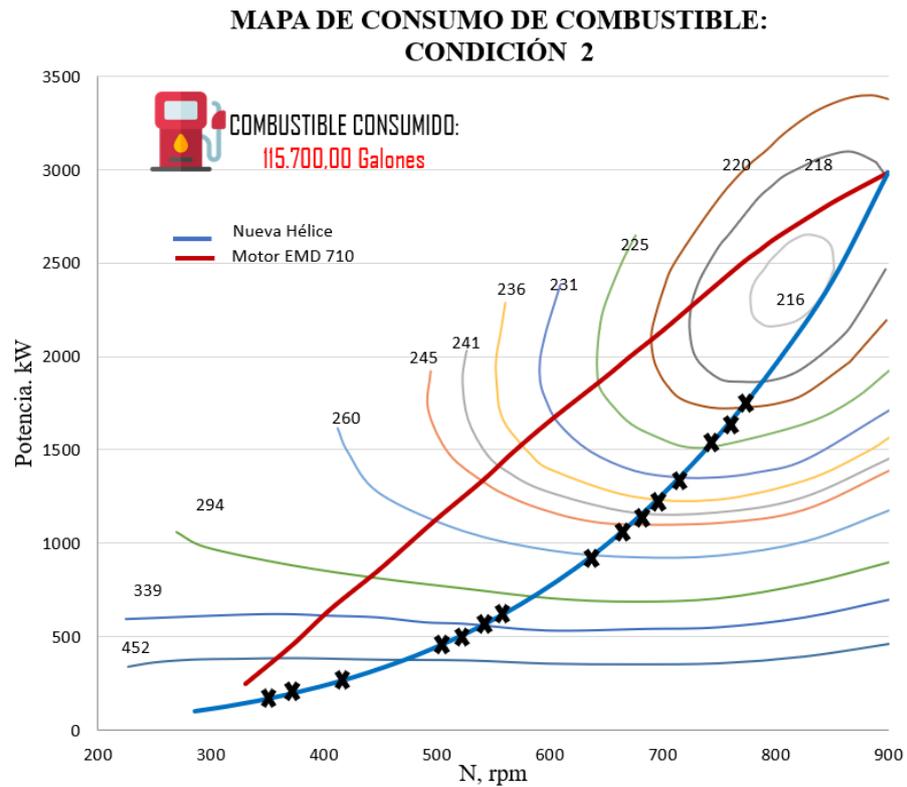


Figura 3.14 Mapa de consumo con cambio de paso de hélice a 2,96 m.

Fuente: Elaboración propia.

Así, mediante el perfil de operación, se obtiene el consumo proyectado de combustible del motor para esta solución, Tabla 3.8, que es de 115.700,00 galones.

Tabla 3.8 Consumo de combustible con hélice de paso 2,96 m.

Fuente: Elaboración propia.

Condición 2	
Diámetro – Ae/Ao	3,66 m - 0,7
<u>P/D anterior → P/D nuevo</u>	<u>0,97 → 0,81</u>
<u>Paso anterior → Paso nuevo</u>	<u>3,55 m → 2,96 m</u>
Cavitación %	< 2.5%
Velocidad Máxima	14 nudos
Consumo de combustible (gal)	115.700,00

- **Alternativa 2: Cambio de reductora**

Para esta alternativa de solución, se cambió la relación de la caja reductora, es decir, pasar de una relación de 5,091 a 5,75. Esta relación permite aprovechar el 100% de la potencia del motor actualmente instalado en el B/P DRENNEC, además de ser una reductora con bastante demanda en el mercado local.

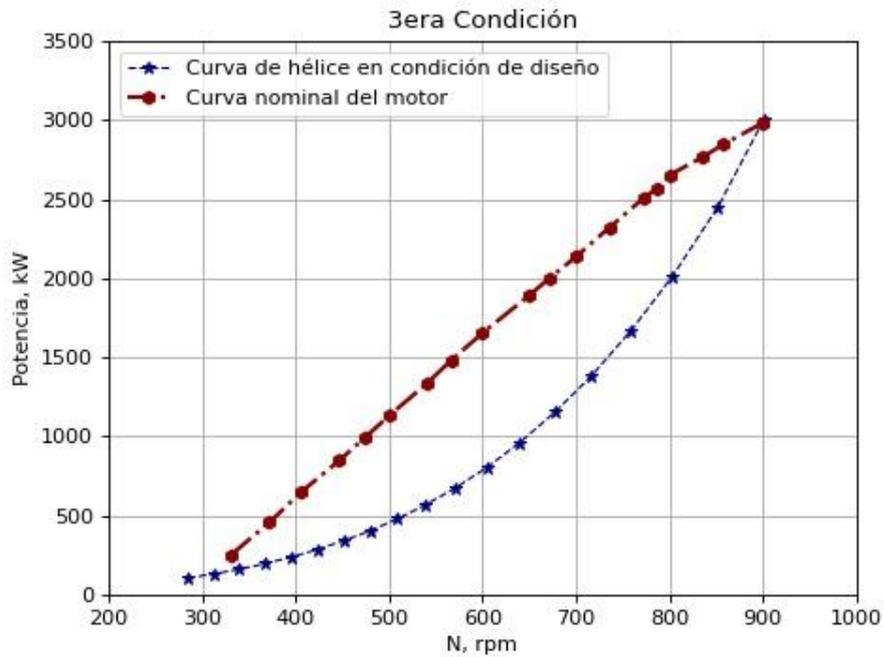


Figura 3.15 Curva operacional del motor y hélice

Fuente: Elaboración propia.

Una vez más, se obtienen las curvas de potencia por medio del programa de Python, Figura 3.15, y se las sobrepone en el mapa de consumo respectivo, Figura 3.16.

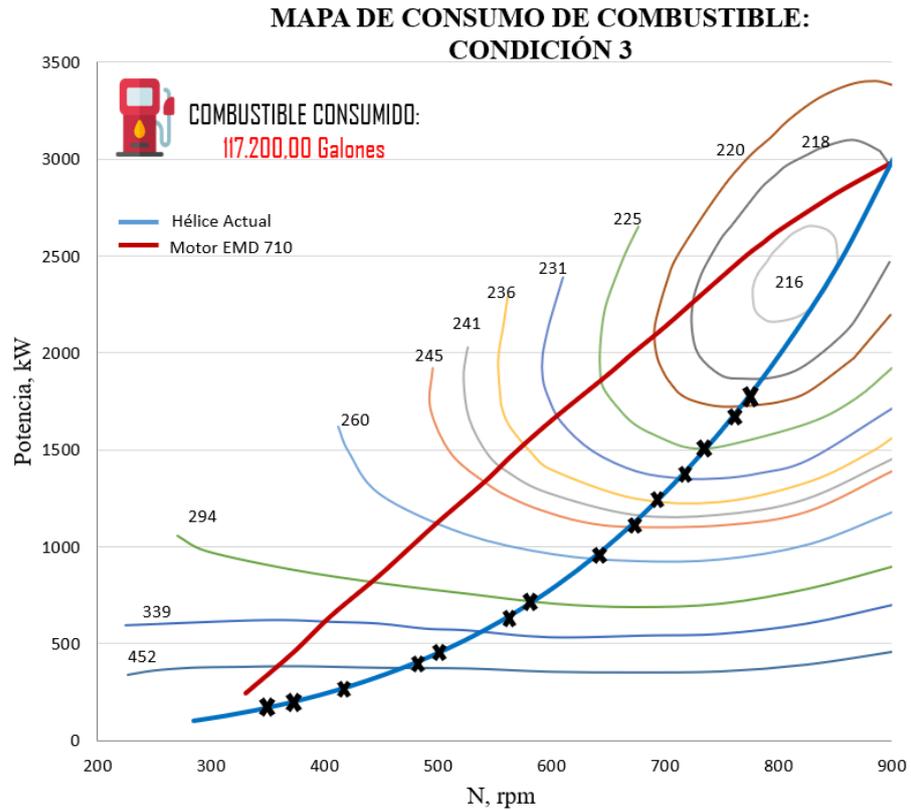


Figura 3.16 Mapa de consumo con cambio de relación de reducción a 5,75:1.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, el consumo de combustible obtenido en esta solución es de 117.200,00 galones de diésel, Tabla 3.9.

Tabla 3.9 Consumo de combustible con cambio de reductora 5,75.

Fuente: Elaboración propia.

Condición 3	
Diámetro – Ae/Ao	3,66 m - 0,7
P/D - Paso	0,97 - 3,55 m
<u>Reducción anterior →</u> <u>Reducción nueva</u>	<u>5,09:1 → 5,75:1</u>
Cavitación %	< 2.5%
Velocidad Máxima	13,8 nudos
Consumo de combustible (gal)	117.200,00

- **Alternativa 3: Cambio de motor principal**

Otra alternativa es el cambio de motor, por lo que se propone pasar de una potencia de 3.000 kW a 3.060 kW y de 900 RPM a 800 RPM, alcanzando una velocidad máxima de 13,5 nudos, es decir, la misma que se obtenía con el motor anterior, por ello, no habría problemas respecto a los tiempos de faena.

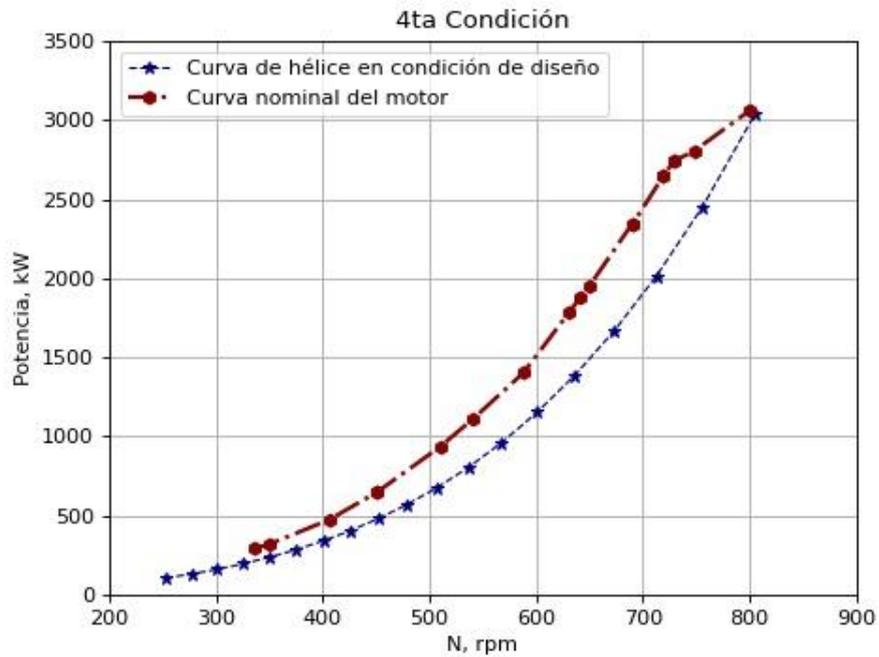
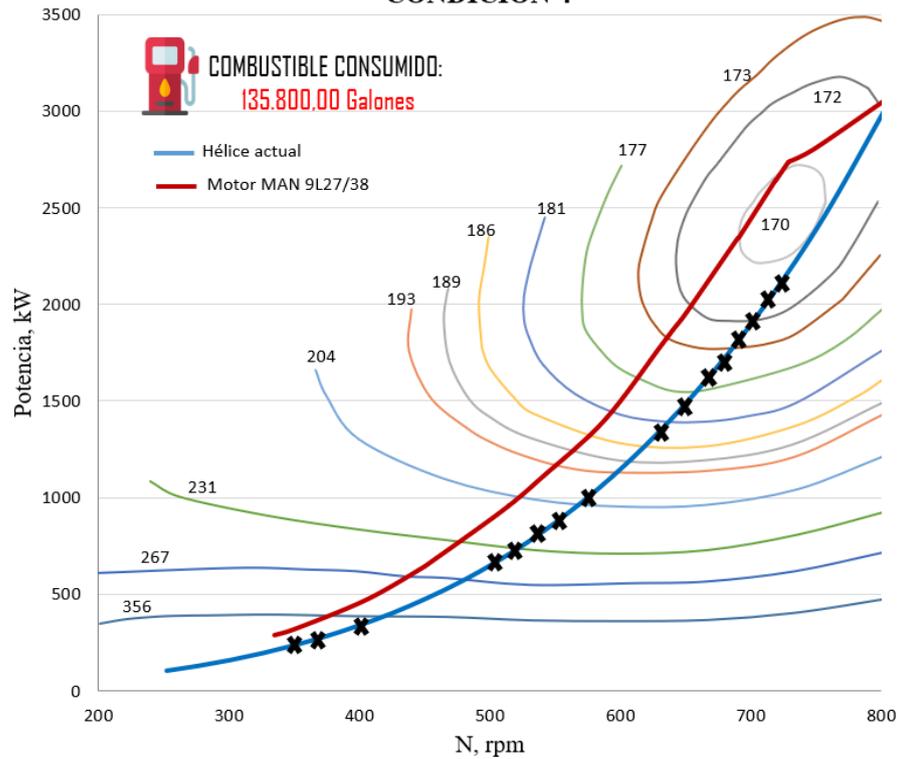


Figura 3.17 Curva operacional del motor y hélice

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, se obtuvieron las curvas de potencia del conjunto motor-hélice, Figura 3.17, para luego transferirlas hacia el mapa de consumo de combustible, Figura 3.18.

**MAPA DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE:
CONDICIÓN 4**



**Figura 3.18 Mapa de consumo de combustible con motor 3060 KW @
800 RPM.**

Fuente: Elaboración propia.

Así, en la Tabla 3.10, el valor resultante del consumo de combustible fue de 135.800,00 galones.

**Tabla 3.10 Consumo de combustible con cambio de motor 3060 KW
@ 800 RPM.**

Fuente: Elaboración propia.

Condición 4	
Diámetro – Ae/Ao	3,66 m - 0,7
P/D – Paso	0,97 - 3,55 m
<u>Motor anterior → Motor nuevo</u>	<u>EMD 710 → MAN 9L27/38</u>
<u>Potencia anterior → Potencia nueva</u>	<u>3000 kW @ 900 RPM → 3060 kW @ 800 RPM</u>
Cavitación % - Velocidad Máxima	< 5% - 13,5 nudos
Consumo de combustible (gal)	135.800,00

- **Alternativa 4: Cambio del conjunto motor-reductora-hélice**

Como última propuesta de solución se tiene el cambio de todo el componente del sistema propulsivo: de un motor de 3.000 kW a uno de 3.060 kW, de una relación de reducción de 5,091 a una de 5,75, y de una hélice con P/D de 0,97 a otra de 0,90.

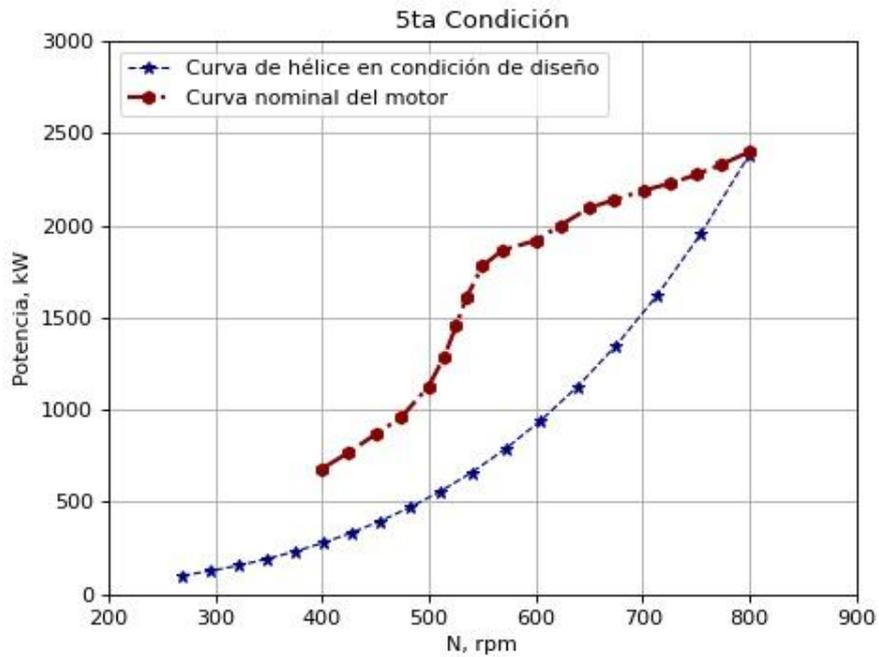


Figura 3.19 Curva operacional del motor y hélice

Fuente: Elaboración propia.

Como en todas las soluciones, primero se obtiene las curvas de potencia del motor y de la hélice con el programa de Python, ver Figura 3.19. Después, estas curvas se superponen en el mapa de consumo específico de combustible, ver Figura 3.20.

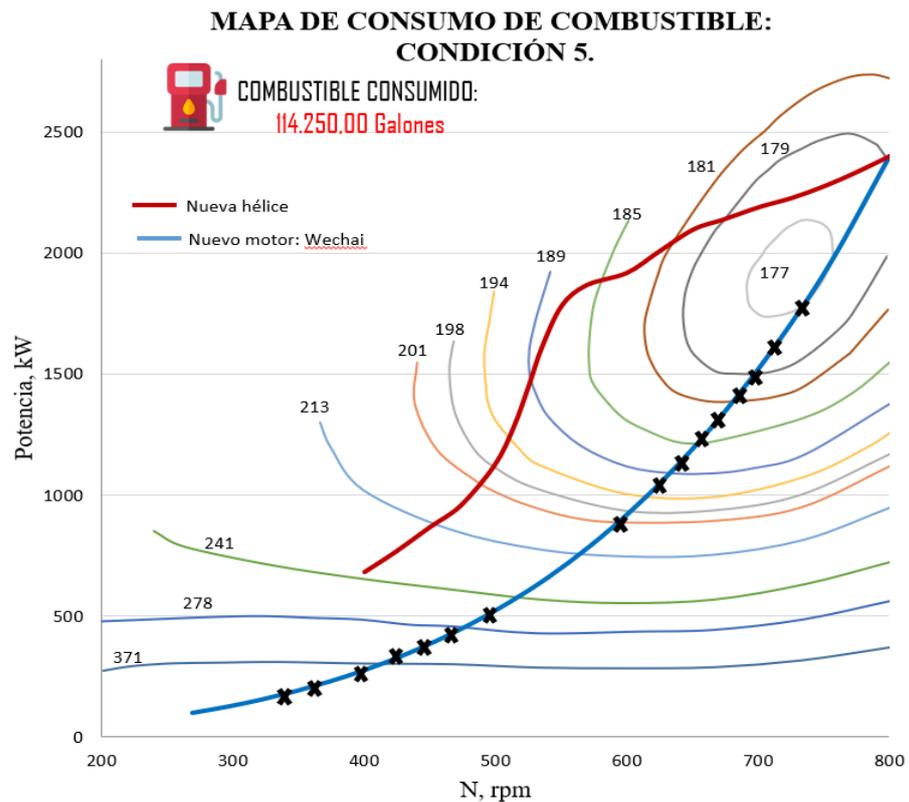


Figura 3.20 Mapa de consumo de combustible cambiando el conjunto motor-reductor-hélice.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calcula, junto al perfil operacional, el consumo de combustible, que este caso es 114.250,00 galones, Tabla 3.11.

Tabla 3.11 Consumo de combustible con cambio del conjunto motor-reductor-hélice.

Fuente: Elaboración propia.

Condición 5	
Diámetro – Ae/Ao	3,95 m – 0,8
<u>P/D anterior → P/D nuevo.</u>	<u>0,97 → 0,90</u>
<u>Reducción anterior → Reducción nueva</u>	<u>5,09:1 → 5,75:1</u>
Velocidad Máxima – Cavitación %	13,5 nudos- <5%
<u>Motor anterior → Motor nuevo</u>	<u>EMD 710 → WEICHAH 6WH</u>
<u>Potencia anterior → Potencia nueva</u>	<u>3000 KW @ 900 RPM → 2400 KW @800 RPM</u>
Consumo de combustible (gal)	114.250,00

Por lo tanto, a través de los resultados obtenidos de consumo de combustible en cada solución propuesta. A continuación, Tabla 3.12, se presenta el porcentaje de ahorro que obtendrá el armador por cada opción.

Tabla 3.12 Resumen de soluciones propuestas.

Fuente: Elaboración propia.

Descripción	Combustible Consumido(Gal)	% Ahorro
<u>Caso actual</u>	<u>174.500,00</u>	----
Cambio Hélice P/D: 0,81	115.700,00	34%
Cambio Reductora Ratio: 5,75:1	117.200,00	33%
Cambio Motor Man 9L27/38	135.800,00	22%
Cambio Motor Weichai 6WH – Cambio Hélice P/D: 0,88- Cambio reductora 5,75:1	114.250,00	35%

3.4 Análisis de costos.

Mediante el método de flujo de caja, que considera el valor de inversión inicial, tiempo de pago y el valor actual neto, los cuales se los distribuye en la Figura 3.21, se determinaron los costos que asumirá el armador al implementar las diversas soluciones. Además, se considera el periodo estimado a recuperar la inversión inicial, para así escoger la solución de mayor rentabilidad en términos económicos y de tiempo.

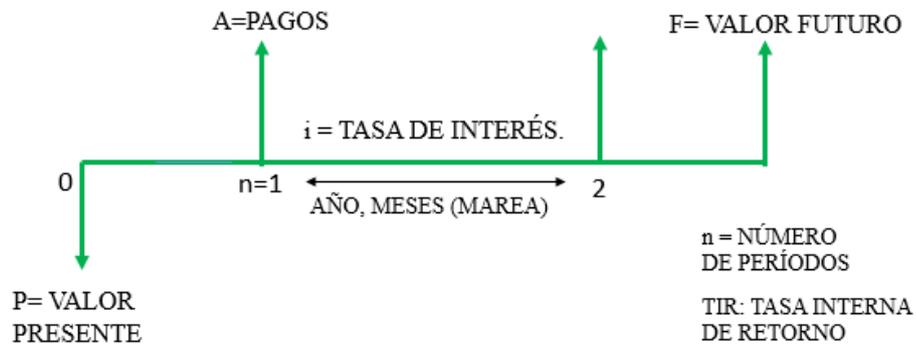


Figura 3.21 Diagrama general del flujo de caja.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13 Resumen de viabilidad económica.

Fuente: Elaboración propia.

VIABILIDAD ECONÓMICA DE SOLUCIONES							
i	DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN INICIAL	TIR	VALOR DE SALVAMENTO	TASA DE INTERÉS	VAN	TIEMPO DE PAGO
1	Cambio Hélice P/D: 0,81	\$ 475.000,00	43%	---	13%	\$ 90.000,00	2 Mareas.
2	Cambio Reductora Ratio: 5,75:1	\$ 462.000,00	43%	---	13%	\$ 35.000,00	1 Marea.
3	Cambio Motor Man 9L27/38	\$ 313.000,00	13%	\$ 500.000,00	13%	\$ 24.000,00	10 Años.
4	Cambio Motor Weichai 6WH – Cambio Hélice P/D: 0,88- Cambio de reductora 5,75:1	\$ 485.000,00	11%	\$ 1'000.000,00	10%	\$ 130.000,00	7 Años.

• 1 marea: 2 Meses

De acuerdo con la Tabla 3.13, la opción que representa más rentabilidad para el armador a un corto plazo es la opción 2 debido a su corto tiempo de pago (1 Marea) y a su alto TIR (43%) respecto a su valor de inversión inicial. Sin embargo, para una solución a largo plazo, se recomienda escoger la opción 4 debido a que su tiempo de pago no es relativamente alto considerando que es un cambio total del sistema propulsivo, y que beneficiaría para la eficiencia energética de la flota ecuatoriana, incluso ayudaría protegiendo al medio ambiente con la disminución de emisiones de gases tóxicos con la instalación de nuevos equipos que muy seguramente implementarán tecnología avanzada.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 CONCLUSIONES.

- Se identificó que la distribución energética y el consumo de combustible de ambas flotas depende principalmente del arte de pesca y la tecnología implementada. También, se evidenció que el excesivo consumo de combustible en la flota ecuatoriana, respecto a la española, se debe principalmente a las normativas obligatorias que rige la Unión Europea en sus países asociados.
- Se implementó la auditoria energética a un buque pesquero cerquero ecuatoriano BP DRENNEC donde se encontró que su motor principal estaba funcionando con sobrecarga. Estas auditorías energéticas en el ámbito naval, permiten dar seguimiento al desempeño energético de un buque y recomendar soluciones de acuerdo con las necesidades operativas de cada embarcación.
- Entre las 04 soluciones propuestas, la primera (cambió de hélice a un P/D de 0,81) representó un 34% de ahorro de combustible, la segunda (cambio de reductora a una razón de 5,75) un 33%, la tercera (cambio de motor a MAN@3060 kW) un 22%, y la última (cambio del conjunto motor-reductora-hélice) un 35%, por lo que genera un ahorro potencial de inversión en cada faena de pesca, por lo tanto, optar por estas soluciones es optar por el futuro económico de la flota atunera ecuatoriana.
- De acuerdo con la nave auditada, B/P Drennec, donde el principal problema es su sistema propulsivo, la solución con mayor impacto de rentabilidad a corto plazo es cambiar la caja reductora a un tiempo de una 01 marea (02 meses), y la de a largo plazo es el cambio total del sistema propulsivo a un tiempo de amortización de 7 años.

4.2 RECOMENDACIONES.

- Contar con información actualizada a bordo para un mejor desarrollo al momento de una auditoría energética.
- Realizar un análisis a detalle del sistema propulsivo para evitar pérdidas económicas y de tiempo, con el fin de disminuir la ineficiencia de la flota ecuatoriana pesquera.
- Colocar medidores de flujo en los diferentes grupos electrógenos para tener una información actualizada del consumo de combustible de cada embarcación.
- Con la finalidad de mejorar la eficiencia energética en las embarcaciones se recomienda analizar las formas del buque para reducir su resistencia al avance.
- Realizar pruebas de mar para medir el consumo de combustible, torque requerido por la hélice a diferentes RPM's, y asegurarse de la correcta instalación de los principales equipos a bordo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. y. A. Ministerio de Agricultura, «Informe anual de flota pesquera española,» *Informe anual de flota pesquera española*, pp. 4-15, 2021.
- [2] CIAT, «Registro Regional de Buques,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.iattc.org/es-ES>. [Último acceso: 20 octubre 2022].
- [3] p. y. a. Ministerio de agricultura, «informe anual de la actividad de la flota pesquera española,» España , 2020.
- [4] LIDERES, «La flota pesquera ecuatoriana,» *Revista Lideres*, vol. I, 2018.
- [5] M. Pacheco, «La flota ecuatoriana tiene más de 650 embarcaciones,» *Lideres*, vol. I, 2018.
- [6] A. Tokuslu, «Energy efficiency of passenger ship in turkey,» Turquía, 2020.
- [7] HIPER'22, «The Decarbonizing Quest For Future Bulk Carriers,» Italia, 2022.
- [8] K. Prill, «Calculation of Operational Indicator EEOI for Ships Designed to Other Purpose Than Transport Based on A Research – Training Vessel,» Sciéndo, Polonia , 2018.
- [9] MARPOL, «International Conventional for the Prevention of Pollution from Ships,» 2011. [En línea]. Available: International Conventional for the Prevention of Pollution from Ships.
- [10] D. Lukacevic, «EEDI/EEXI/CII the New Normal,» LinkedIn, 2021.
- [11] IMO, «Energy efficiency measures,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.imo.org>.
- [12] A. M. Megia, «Plan de eficiencia energética,» España, 2014.
- [13] O. C. Basurko, «Energy performance of fishing vessels and potential savings,» Spain, 2013.
- [14] E. Diario, «ATUNEROS ALERTAN DE QUE SIN SUBSIDIOS QUEBRARÍAN,» *EL DIARIO*, 2022.
- [15] IMO, «GUIDELINES FOR CALCULATION OF REFERENCE LINES FOR USE WITH THE ENERGY EFFICIENCY DESIGN INDEX (EEDI),» MEPC 65/12, Londres, 2013.
- [16] T. LONGVA, «CO2 emissions from ships,» Det Norske Veritas, Norway, 2014.

- [17] M. K. I. MSc. Katarzyna Prill, «Calculation of operational indicator EEOI for ship designed to other purpose than transport based on research training vessel,» *SCIENDO*, 2018.
- [18] J. M. G. Sanchez, «LA NORMA UNE 216501- REQUISITOS DE LA AUDITORIA ENERGÉTICAS,» EOI, ESPAÑA, 2010.
- [19] CEPESCA, «Auditoría Energética de Palangreros de Superficie,» España, 2018.
- [20] D. A. Martinez, «Propuesta de medidas de eficiencia energetica para la flota cerquera industrial,» Chile, 2018.
- [21] PETROECUADOR, «INFORME DE PRECIO DE VENTA,» ECUADOR, 2022.
- [22] D. J. R. Marín, *Programa de curvas de propulsión.*, 2022.
- [23] Y. A. Cengel, Termodinámica, México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2012.
- [24] K. D. M. Samanez, «Marine and Naval Engineering.,» 02 10 2020. [En línea].
- [25] Centramar, *Motor marino Diésel: Características, tipos y funcionamiento.*, Leganés, Madrid: Centramar.
- [26] R. Martinez, *EL CONSUMO ESPECÍFICO DEL MOTOR*, 2012.
- [27] N. Zamiatina, «Comparative Overview of Marine Fuel Quality on Diesel Engine Operation,» ELSEVIER, Klaipeda, Lithuania, 2016.
- [28] M. d. i. educativa, «Guevara Albán et al.,» Saberes de conocimiento., 2020.
- [29] T. Náuticos, *Escala de Douglas- Estado de mar.*, 2022.
- [30] PEW, *La historia del atún rojo del Atlántico*, The Pew Charitable Trusts, 2017.
- [31] P. tuna, *¿Cuál es el ciclo de vida del atún de aleta amarilla y cuáles son sus rutas de migración?*, 2018.
- [32] P. N. Argentina, «Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, (MARPOL 73/78),» Argentina, 2011.
- [33] Cumminis, *Solución IMO nivel III de cummins*, USA and CANADA, 2023.
- [34] T. K. Massaki Okubo, «New technologies for emission control in Marine diesel engine,» ELSEIVIER, United Kingdom, 2020.
- [35] Zunibal, *Inteligencia marina*, España, 2022.
- [36] J. R. Canet, «MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGETICA,» UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, España, 2013.

- [37] J. R. F. d. I. Cigoña, *Tasa interna de retorno*, 2021.
- [38] H. 22, 14 th Symposium on High-Performance Marine Vehicles, Cortona: Volker Bertram, 2022.
- [39] OMI, *La eficiencia y sus indicadores*, 2018.
- [40] J. R. M. I., *Programa de curvas de propulsión*, 2022.
- [41] J.HOLTROP, *Resistencia al avance de buques*, 1984.
- [42] A. G. Gómez, «Predicción de potencia y optimización del bulbo de proa en buques pesqueros.,» *XXX Sesiones técnicas de ingeniería naval*, pp. 1-10, 1990.
- [43] D. R. P. M.M. Bernitsas, «KT, KQ and efficiency curves for the wageningen B-series propellers,» The university of michigan, 1981.
- [44] E. TURBO, *Curvas de consumo fueloil*, 1990.
- [45] R. G. e. al., «Design and control of hybrid and propulsion,» 2016.
- [46] C. Serrano, «Mayor eficiencia energética de buques,» *Lideres*, 2022.
- [47] «Auren,» 09 03 2022. [En línea]. Available: <https://auren.com/mx/blog/opex-y-capex-claves-en-la-gestion-financiera-de-los-negocios/>. [Último acceso: 04 11 2022].
- [48] A. F. Muerza, «Sello MSC, el certificado del pescado sostenible,» *Consumer-Eroski*, 2017.
- [49] I. P. IP, «última tecnología para “revolucionar” la pesca del atún,» *Revista IP*, 2022.
- [50] FAO, «medidas para el uso eficiente de combustible,» [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/x0487s/x0487s05.htm>. [Último acceso: 10 Diciembre 2022].
- [51] J. R. M. L. y. A. V. Motornyí., «motor diesel de combustión interna,» de *Maquinaria Marítima I*, Guayaquil-Ecuador, 2016, p. 50.
- [52] OMI, *La eficiencia energética y sus indicadores*, 2018.
- [53] O. C. Basurko, «Energy performance of fishing vessels and potential savings,» *ELSEVIER*, vol. 1, nº 1, p. 11, 2013.

5. APÉNDICES

5.1 APÉNDICE A

ESTADOS DE MAR

Escala Douglas - Estado del mar

Grado	Denominación	Altura metros	Descripción	Equivalencia Escala Beaufort	Aspecto
0	Calma	0	La mar está como un espejo.	0	
1	Rizada	0-0,2	Mar rizada con pequeñas crestas sin espuma	1-2	
2	Marejadilla	0,2-0,5	Pequeñas ondas cuyas crestas empiezan a romper	3	
3	Marejada	0,5-1,25	Olas pequeñas que rompen. Se forman frecuentes borreguillos.	4	

4	Fuerte Marejada	1,25-2,5	Olas moderadas de forma alargada. Se forman muchos borreguillos.	5	
5	Gruesa	2,5-4	Se forman grandes olas con crestas de espuma blanca por todas partes	6	
6	Muy Gruesa	4-6	La mar empieza a amontonarse y la espuma blanca de las crestas es impulsada por el viento.	7	
7	Arbolada	6-9	Olas altas. Densas bandas de espuma en la dirección del viento y la mar empieza a romper. El agua pulverizada dificulta la visibilidad.	8-9	
8	Montañosa	9-14	Olas muy altas con crestas largas y rompientes. La espuma va en grandes masas en la dirección del viento y la superficie del mar aparece casi blanca. Las olas rompen brusca y pesadamente. Escasa visibilidad.	10-11	

5.2 APÉNDICE B

EMBARCACIONES INSPECCIONADAS

i	Embarcación	Tipo de pesca	Equipo de medición	Sistema de pesca
1	Chiara	Red de cerco	S/E	Hidráulico
2	Adriana	Red de cerco	caudalímetro	Hidráulico
3	Bartolo	Red de cerco	S/E	Hidráulico
4	Doña roge	Red de cerco	S/E	Hidráulico
5	Wakaba 3	Red de cerco	caudalímetro	Hidráulico
6	Wakaba 8	Red de cerco	caudalímetro	Hidráulico
7	Panchito	Red de cerco	S/E	Hidráulico
8	Fiorella	Red de cerco	S/E	Hidráulico
9	Rossana	Red de cerco	S/E	Hidráulico
10	North Queen	Red de cerco	S/E	Hidráulico
11	Doménica	Red de cerco	S/E	Hidráulico
12	Claudia	Red de cerco	S/E	Hidráulico
13	Rocío	Red de cerco	S/E	Hidráulico
14	Alessia	Red de cerco	S/E	Hidráulico
15	Don Antonio	Red de cerco	S/E	Hidráulico
16	María Fátima	Red de cerco	S/E	Hidráulico
17	Balbina	Red de cerco	S/E	Hidráulico
18	Aidra del mar	Red de cerco	S/E	Hidráulico

5.3 APÉNDICE C

EQUIPOS CONSUMIDORES DE COMBUSTIBLE

i	UBICACIÓN	EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	POTENCIA	VOLTAJE (V)	RPM	AMPERAJE (A)	GAL./H
1	SALA MÁQUINA	MOTOR PRIN. [HP]	EMD	L16-710-G7A	88-L1-1040	4000	-	900	-	96,75
2	SALA MÁQUINA	GENERADOR 1 [KW]	CAT	3412	81Z13483	520	380	1600	984	12
3	SALA MÁQUINA	GENERADOR 2 [KW]	CAT	3412	41200211	405	380	1500	768	12
4	SALA MÁQUINA	GENERADOR 3 [KW]	CAT	3408	81Z17541	480	440	1800	787,3	12
5	SALA MÁQUINA	GENERADOR 4 [KW]	CAT	3412	41200211	405	380	1500	768	12
6	SALA MÁQUINA	MOTOR HIDRÁ. PRIN. [HP]	CAT	3412	7BL00304		-	1800	-	7
7	CUBIERTA SUPERIOR	PANGA [HP]	CAT	3412	60MO3066	503	-	1800	-	7

5.4 APÉNDICE D

EQUIPOS ELÉCTRICOS

i	ÁREA	EQUIPO	MARCA	MODELO	SERIE	POTENCIA (HP)	VOLTAJE (V)	RPM	AMPERAJE (A)
1	PROPULSIÓN	MOTOR THRUSTER PROA	PLEUGER	WV	110-300	300	380	1500	421
2	HIDRÁULICO	MOTOR HIDRÁULICO EMERGENCIA	ALFA LAVAL	S/N	S/N	300	380	1500	421
3	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°1	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	3500	14
4	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°2	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	3500	14
5	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°3	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	3500	14
6	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°4	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	3500	14
7	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°5	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	3500	14
8	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°6	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	3500	14
9	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°7	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	3500	14
10	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°8	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
11	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°9	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18

12	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°10	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
13	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°11	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
14	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°12	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
15	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°13	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
16	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°14	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
17	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°15	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
18	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°16	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
19	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°17	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
20	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°18	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
21	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°19	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
22	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°20	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
23	TÚNEL DE FRÍO	MOTOR CIRCULACIÓN N°21	SIEMENS	S/N	S/N	13	380	3500	18
24	SALA MÁQUINA	BOMBA CONDENSO N°1	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	S/I	14
25	SALA MÁQUINA	BOMBA CONDENSO N°2	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	S/I	14
26	SALA MÁQUINA	BOMBA CONDENSO N°3	SIEMENS	S/N	S/N	50	380	S/I	70

27	SALA MÁQUINA	BOMBA ACHIQUE SENT. N°1	SIEMENS	S/N	S/N	10	380	S/I	14
28	SALA MÁQUINA	BOMBA ACHIQUE SENT. N°2	SIEMENS	S/N	S/N	15	380	S/I	21
29	SALA MÁQUINA	BOMBA CONTRAINCEN. N°1	SIEMENS	S/N	S/N	20	380	S/I	28
30	SALA MÁQUINA	BOMBA CONTRAINCENDIO N°2	SIEMENS	S/N	S/N	20	380	S/I	28
31	SALA MÁQUINA	BOMBA ENFRIAMIENTO GENERADOR N°1,3,4, hidráulico, aceite reductora	SIEMENS	S/N	S/N	15	380	S/I	21
32	SALA MÁQUINA	BOMBA ENFRIAMIENTO GENERADORES	SIEMENS	S/N	S/N	15	380	S/I	21
33	SALA MÁQUINA	BOMBA ENFRIAMIENTO CABEZA COMPRESORES N°1	SIEMENS	S/N	S/N	2	380	S/I	3
34	SALA MÁQUINA	BOMBA ENFRIAMIENTO CABEZA COMPRESORES N°2	SIEMENS	S/N	S/N	2	380	S/I	3
35	SALA MÁQUINA	BOMBA ENFRIAMIENTO MAQUINA PRINCIPAL N°1	SIEMENS	S/N	S/N	50	380	S/I	70
36	SALA MÁQUINA	BOMBA ENFRIAMIENTO	SIEMENS	S/N	S/N	50	380	S/I	70

		MAQUINA PRINCIPAL N°2							
37	SALA MÁQUINA	BOMBA EVAPORADORA	SIEMENS	S/N	S/N	3	380	S/I	4
38	SALA MÁQUINA	BOMBA AGUA DULCE (HIDROFORO)	SIEMENS	S/N	S/N	3	380	S/I	4
39	SALA MÁQUINA	BOMBA LUBRICACIÓN MOTOR PRINCIPAL	SIEMENS	S/N	S/N	1	380	S/I	1
40	SALA MÁQUINA	BOMBA LUBRICACIÓN DE REDUCTORA	SIEMENS	S/N	S/N	15	380	S/I	21
41	SALA MÁQUINA	BOMBA ACEITE (PARA SACAR ACEITE 15 W40 AUXILIARES GEN.)	SIEMENS	S/N	S/N	0,50	380	S/I	1
42	SALA MÁQUINA	PURIFICADORA DE COMBUSTIBLE N°1	ALFA LAVAL	104	4254512	10	380	S/I	14
43	SALA MÁQUINA	PURIFICADORA DE COMBUSTIBLE N°2	ALFA LAVAL	104	4271049	10	380	S/I	14
44	SALA MÁQUINA	TRASIEGO DE COMBUSTIBLE N°1	NO VISIBLE	S/N	S/N	10	380	S/I	14
45	SALA MÁQUINA	TRASIEGO DE COMBUSTIBLE N°2	NO VISIBLE	S/N	S/N	15	380	S/I	21
46	SALA COMPRESORES	COMPRESOR FRÍO N°1	MYCOM	N6WBHE- BB	639015	120,69	380	1486	173
47	SALA COMPRESORES	COMPRESOR FRÍO N°2	MYCOM	N6WBHE- BB	609312	120,69	380	1486	173
48	SALA COMPRESORES	COMPRESOR FRÍO N°3	MYCOM	160MUD-VX	S/N	150	380	1486	200
49	SALA COMPRESORES	COMPRESOR FRÍO N°4	MYCOM	160VD	S/N	150	380	1486	200

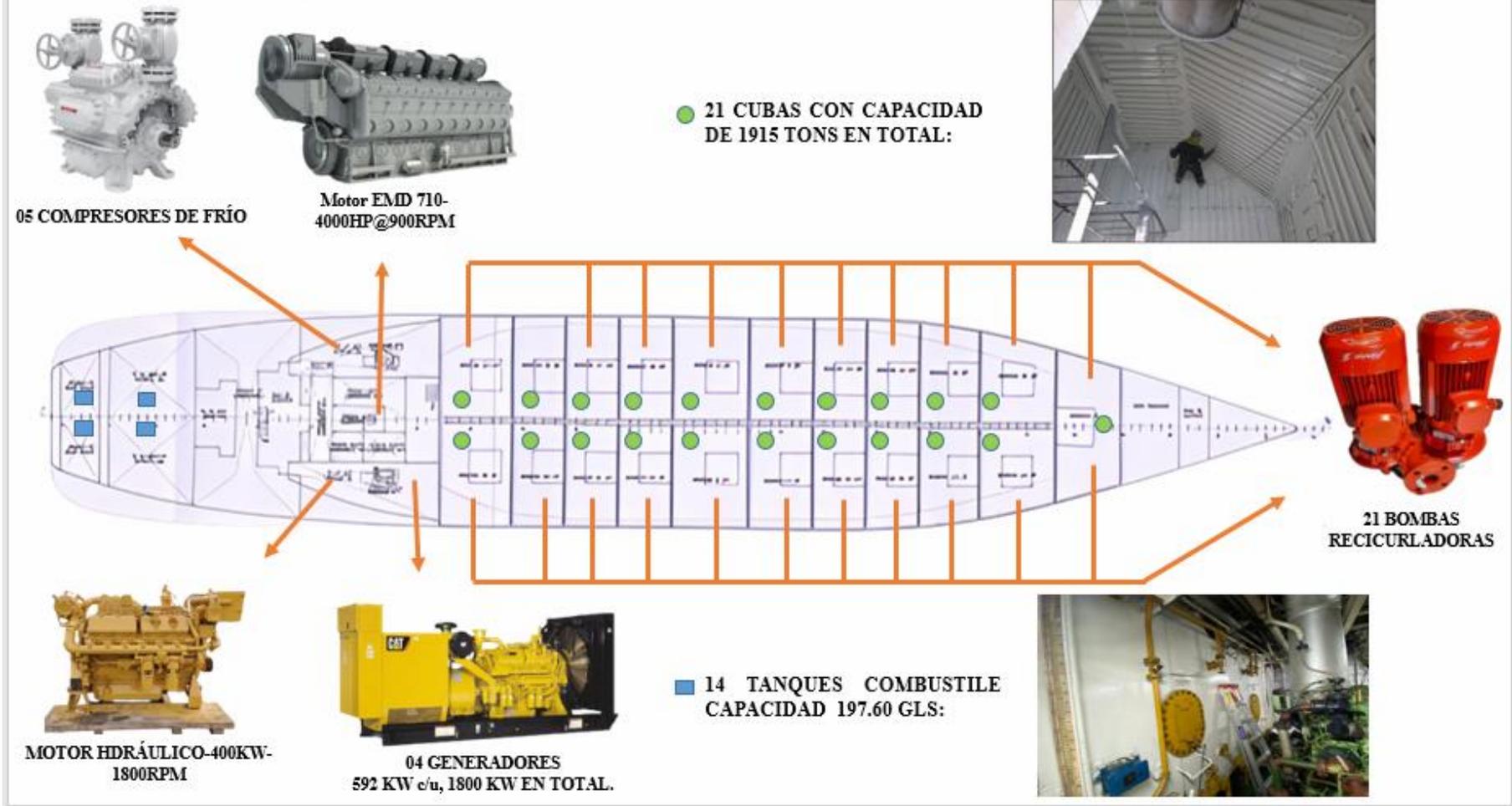
50	SALA COMPRESORES	COMPRESOR FRÍO N°5	VILTER	VMC-4516	66133	300	380	1485	415
51	SALA MÁQUINA	BOMBA WITT N°1 (BOMBAS AMONIACO)	S/N	S/N	S/N	7,5	380	S/I	10
52	SALA MÁQUINA	BOMBA WITT N°2 (BOMBAS AMONIACO)	S/N	S/N	S/N	7,5	380	S/I	10
53	SALA MÁQUINA	BOMBA WITT N°3 (BOMBAS AMONIACO)	S/N	S/N	S/N	7,5	380	S/I	10
54	SALA MÁQUINA	MOTOR PARA CINTA TRANSPORTADORA N°1	S/N	S/N	S/N	25	380	S/I	35
55	SALA MÁQUINA	MOTOR PARA CINTA TRANSPORTADORA N°2	S/N	S/N	S/N	15	380	S/I	21
56	SALA MÁQUINA	MOTOR PARA CINTA TRANSPORTADORA N°3	S/N	S/N	S/N	15	380	S/I	21
57	SERVO	MOTOR SERVOMOTOR N°1	FRYDEMBO	HS	122C	10	380	S/I	14
58	SERVO	MOTOR SERVOMOTOR N°2	S/N	S/N	S/N	10	380	S/I	14
59	PARQUE PESCA	BOMBA ACHIQUE CUBIERTA	S/N	S/N	S/N	10	380	S/I	14
60	SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE N°1	QUINSI	S/N	S/N	15	380	1773	21
61	SALA COMPRESORES	COMPRESOR DE AIRE N°2	ITZA	I-1000	B-14324L16	20	380	1773	28
62	SALA COMPRESORES	MOTOR EXTRACTOR CUARTO COMPRESORES	S/N	S/N	S/N	5	380	S/I	7

63	SALA MÁQUINA	MOTOR EXTRACTOR CUARTO MÁQUINAS	S/N	S/N	S/I	10	380	S/I	14
64	SALA COMPRESORES	MOTOR VENTILADOR CUARTO COMPRESORES	S/N	S/N	S/I	5	380	S/I	7
65	SALA MÁQUINA	MOTOR VENTILADOR CUARTO MÁQUINAS Nº1	S/N	S/N	S/I	5	380	S/I	7
66	SALA MÁQUINA	MOTOR VENTILADOR CUARTO MÁQUINAS Nº2	S/N	S/N	S/I	5	380	S/I	7
67	CUBIERTA SUPERIOR	MOTOR GRÚA DE PROA	S/N	S/N	S/I	40	380	S/I	55
68	COCINA	MOTOR EXTRACTOR COCINA	S/N	S/N	S/I	5	380	S/I	7
69	SALA MÁQUINA	MOTOR UNIDAD A/A Nº1	S/N	S/N	S/I	10	380	S/I	14
70	SALA MÁQUINA	MOTOR UNIDAD A/A Nº2	S/N	S/N	S/I	3	380	S/I	4
71	PIQUE DE PROA	MOTOR IONPACK	S/N	S/N	S/I	1	380	S/I	1
72	SALA MÁQUINA	BOMBA SEPARADOR DE SENTINA	S/N	S/N	S/I	1	380	S/I	1
73	SALA MÁQUINA	MOTOR DE BOWER	S/N	S/N	S/I	2	380	S/I	3

5.5 APÉNDICE E

DISTRIBUCIÓN GENERAL DE PRINCIPALES EQUIPOS A BORDO.

ESQUEMA GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS



5.6 APÉNDICE F

CONDICIÓN DE CARGA MÁS CRÍTICA PARA EL B/P DRENNEC

BP DRENNEC	10% CONSUMIBLE & 100% PESCA	CONDICIÓN 4
------------	-----------------------------	-------------

CONDICION LLEGADA - 2

CONDICION # 4		KM [m]=		Fb [m]	
DESP [Tons.]=	3174,810	5,920		3,210	
KG [mts.]=	5,707	Calado[m]=	5,640		

ANGULO	KN [m]	GZ [m]	FS	AREA (30°)	FS	AREA (40°)
0	0,000	0,000	1	0,000	1	0,000
10	1,035	0,044	3	0,132	4	0,176
20	2,095	0,143	3	0,429	2	0,286
30	3,135	0,281	1	0,281	4	1,126
40	4,120	0,452			1	0,452
50	4,910	0,538				
60	5,450	0,508				
			SUMA	0,843	SUMA	2,039
			AREA 30°	0,055	AREA 40°	0,119
			DIFER.		0,063	

5.7 APÉNDICE G

DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS

DRENNEC T: 6.12 m	TIULO: HIDROSTÁTICAS
NIRSA	ARMADOR
DIC/2022	FECHA
2	1: Diseño 2=ANAL
1	IEMBARC (1PESQ, 2BARC,3PLAN, 4MISC)
73.78 12.8 6.12	L,B,T
3342.72 1257.94	VOL,SMOJ
0.567 0.62 0.88 0.77	CB,CP,CM,CWL
7.16	LCB (%L)
0,1.32	ATransom,ABulbTransv
1	IPOPA
1.26	HB (Vertical position of centroid of bulb)
6.12 6.12	TForw,TAft
29	iE (degrees)
1,13.22	UK2,SAPEN
.94	EFICEJE
3.47	Himmersprop
0	IGUA
5,14,0.5	Vi,Vf,DVel
3.66 0.76 0.7 5 1	DIAM,PSDM,AEAO,ZPROP,NPROPL
11 120	IOPORT,MODEL

5.8 APÉNDICE H

FÓRMULAS PARA CÁLCULOS PROPULSIVOS

$$RPS_{hélice} = \frac{V_a [m/s]}{D_{hélice} [m] * J}$$

$$RPM_{hélice} = RPS_{hélice} * 60s$$

$$RPM_{motor} = RPM_{hélice} * gear$$

$$Q_{eje} [Nm] = K_Q * \rho \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * RPS_{hélice}^2 * D_{hélice}^5 [m]$$

$$Q_{motor} [Nm] = \frac{Q_{eje} [Nm]}{gear}$$

$$P [hp] = \frac{Q_{motor} [Nm]}{746} * RPM_{motor} * \frac{2\pi}{60s}$$