

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

*Estudio de prefactibilidad técnico-financiero basado en el análisis del ciclo de vida útil para un barco eléctrico pequeño de pesca artesanal a través de energías limpias en Costa Rica.*

*Informe de Trabajo Final de Graduación para optar por el título de Ingeniería en Mantenimiento Industrial, con el grado académico de Licenciatura.*

**REALIZADO POR:  
Carlos Andrei Calvo Cordero**

**I SEMESTRE 2022**



**Carrera evaluada y acreditada por:**

Canadian Engineering Accreditation Board

Bureau Canadien d'Accréditation des Programmes  
d'Ingénierie



**Datos personales:**

*Nombre completo: Carlos Andrei Calvo Cordero*

*Número de cédula: 304860436*

*Número de carné: 2016254133*

*Edad: 26 años*

*Números de teléfono: 70291809*

*Correos electrónicos: [andcalvo@estudiantec.cr](mailto:andcalvo@estudiantec.cr), [calvocarlos05@gmail.com](mailto:calvocarlos05@gmail.com) Dirección exacta de domicilio: Urbanización La Fundación casa 11-B, Tejarde El Guarco, Cartago, Costa Rica.*

**Datos de la Empresa:**

*Nombre: Inversiones Marítimas CEIBA S.A. Actividad Principal: Transporte marítimo*

*Dirección: Punta Morales, Puntarenas, Costa Rica*

*Contacto: Cristhian Vega Matamoros, Engineering Department*

*Teléfono: (+506) 2661 9222*

Señor

Coordinador de Práctica Ignacio Del Valle Granados

Escuela de Ingeniería Electromecánica


Yo Carlos Andrei Calvo Cordero, cédula 304860436, carné 2016254133, acepto realizar la práctica en el primer semestre del año 2022 en la empresa Inversiones Marítimas CEIBA S.A. El nombre del anteproyecto que se está presentado es “Estudio de prefactibilidad técnico-financiero, basado en el análisis del ciclo de vida útil para un barco eléctrico de pesca artesanal, a través de energías limpias en Costa Rica”, dicho anteproyecto ya fue aprobado por la empresa Inversiones Marítimas CEIBA S.A., quienes están interesados en dicho proyecto porque este se alinea con los objetivos de su plan estratégico. Para este proyecto no se solicita confidencialidad.

Nombre de Asesor Industrial: Cristhian Vega Matamoros

Firma de Asesor  
Industrial:

CRISTHIAN  
JOSE VEGA  
MATAMOROS (FIRMA)

Firmado digitalmente por CRISTHIAN JOSE VEGA MATAMOROS (FIRMA)  
Fecha: 2021.10.28  
09:58:44 -06'00'



Correo: [engineering@sailcargo.inc](mailto:engineering@sailcargo.inc)

Teléfono: +506 85743354

## **Dedicatoria**

A toda mi familia, mis padres y hermanos, especialmente a mis padres Carlos y Gidia, quienes siempre se han preocupado por darme la mejor educación y calidad de vida. Les debo todo lo que he logrado y todo lo que soy.

## **Agradecimiento**

A mi familia, a mis padres y hermanos quienes siempre me apoyaron de una u otra forma en todo mi proceso universitario.

A mis profesores quienes me transmitieron su conocimiento. Me enseñaron y motivaron para dar siempre mi mejor esfuerzo.

A mis amigos y compañeros quienes siempre me apoyaron y ayudaron a avanzar en este proceso.

Al equipo de atletismo con el cual compartí un proceso deportivo de la mano de mis estudios.

A todas las personas que de alguna u otra forma, aportaron en mi crecimiento académico y personal en esta etapa.

## Resumen

El Plan Nacional de Descarbonización proyectado del 2018 al 2050 establece que toda la industria costarricense debe descarbonizarse para lograr el nivel de emisiones más bajo posible de forma consistente con la meta climática a nivel mundial. Para lograr dicho objetivo es necesario que participen todos los tipos de industria incluyendo la industria marítima, específicamente la industria de embarcaciones pequeñas dedicadas a la pesca artesanal. Actualmente todas las embarcaciones de Costa Rica dedicadas a la pesca artesanal operan con combustibles fósiles, por lo que es necesario comenzar a indagar en distintos tipos de tecnología de sistemas de propulsión que funcionen con energías limpias.

Por ejemplo, un sistema de propulsión eléctrico.

Mediante este trabajo se realizó un estudio de prefactibilidad de un diseño de una embarcación pequeña de pesca artesanal eléctrica con paneles solares. El proyecto incluyó cuatro etapas: etapa de diseño, etapa de análisis de costo de ciclo de vida, etapa de análisis de impacto ambiental y etapa de análisis de impacto social-económico. El diseño del casco de la embarcación incluyó: sus dimensiones, geometría, material, selección de elementos del sistema de propulsión, disposición de espacios y pesos.

En el análisis de costo de ciclo de vida útil se comparó una embarcación con motor eléctrico versus una embarcación con motor de combustión, incluyendo sus costos de inversión, costos de operación, costos de mantenimiento y costos de desecho.

En el análisis ambiental se comparó el impacto ambiental en unidades de dióxido de carbono equivalente para ambos tipos de embarcación: eléctrica y de combustión.

En el análisis de impacto social-económico: se incluyó una examinación de los costos de inversión para la embarcación eléctrica, su impacto social si se llegara a implementar y

posibles alternativas para que esta tecnología pueda ser accesible a los pescadores de bajos recursos.

**Palabras clave:** embarcación, pesca artesanal, motor eléctrico, costo de ciclo de vida, impacto ambiental.



## **Abstract**

The National Decarbonization Plan projected from 2018 to 2050 establishes that the entire Costa Rican industry must be decarbonized to achieve the lowest possible level of emissions in a manner consistent with the global climate goal. To achieve this goal, it is necessary to involve all types of industry including the maritime industry, specifically the small boat industry dedicated to artisanal fishing. Currently all vessels in Costa Rica dedicated to artisanal fishing operate with fossil fuels, so it is necessary to begin to investigate different types of propulsion system technology that work with clean energy.

For example, an electric propulsion system.

Through this work, a pre-feasibility study of a design of a small electric artisanal fishing boat with solar panels was carried out. The project included four stages: design stage, life cycle cost analysis stage, environmental impact analysis stage and social-economic impact analysis stage.

The design of the hull of the boat included: its dimensions, geometry, material, selection of elements of the propulsion system, arrangement of spaces and weights.

The life cycle cost analysis compared an electric motor vessel versus a combustion engine vessel, including its investment costs, operating costs, maintenance costs and disposal costs. In the environmental analysis, the environmental impact in units of carbon dioxide equivalent for both types of boat: electric and combustion was compared.

In the social-economic impact analysis: an examination of the investment costs for the electric boat, its social impact if it were to be implemented and possible alternatives so that this technology can be accessible to low-income fishermen was included.

**Keywords:** boat, artisanal fishing, electric motor, life cycle cost, environmental impact.

## Tabla de Contenido

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 1.    | Capítulo I. Introducción .....  | 1   |
| 1.1   | Introducción .....  | 1   |
| 1.2   | Información de la empresa.....  | 2   |
| 1.3   | Misión y Visión.....  | 2   |
| 2.    | Capítulo II. Planteamiento del problema.....                            | 4   |
| 2.1   | Planteamiento del problema.....   | 4   |
| 2.2   | Justificación .....   | 5   |
| 2.3   | Establecimiento de objetivos .....                                      | 16  |
| 2.3.1 | Objetivo General.....   | 16  |
| 2.3.2 | Objetivos específicos .....   | 16  |
| 2.4   | Alcance .....   | 17  |
| 2.5   | Limitaciones.....   | 17  |
| 2.6   | Metodología .....   | 18  |
| 3.    | Capítulo III. Marco Teórico .....                                       | 19  |
| 3.1   | Marco contextual .....  | 19  |
| 3.2   | Marco conceptual.....   | 27  |
| 4.    | Capítulo IV. Diseño de la embarcación de pesca artesanal.....           | 35  |
| 4.1   | Datos de embarcaciones pequeñas existentes .....                        | 36  |
| 4.2   | Dimensiones y geometría del casco.....                                  | 38  |
| 4.3   | Materiales de construcción del casco.....                               | 41  |
| 4.4   | Análisis hidrodinámico por CFD de la embarcación .....                  | 45  |
| 4.5   | Sistema de propulsión .....   | 62  |
| 4.6   | Disposición de espacios en la embarcación .....                         | 82  |
| 4.7   | Techo de la embarcación .....   | 83  |
| 4.8   | Peso, flotabilidad y estabilidad de la embarcación .....                | 87  |
| 5.    | Capítulo V. Análisis de costo de ciclo de vida útil .....               | 93  |
| 5.1   | Costos de inversión inicial .....                                       | 94  |
| 5.2   | Costos de operación .....   | 104 |
| 5.3   | Costos de mantenimiento.....  | 109 |
| 5.4   | Costos de desincorporación .....  | 116 |
| 5.5   | Costo de ciclo de vida.....   | 121 |
| 6.    | Capítulo VI. Análisis del impacto ambiental .....                       | 124 |
| 6.1   | Análisis de impacto ambiental para embarcación con motor eléctrico..... | 125 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.2 Análisis de impacto ambiental para embarcación con motor de combustión ..... | 132 |
| 6.3 Comparativa de resultados .....  | 134 |
| 7. Capítulo VII. Análisis del impacto social-económico .....                     | 136 |
| 8. Capítulo VIII. Conclusiones y recomendaciones .....                           | 144 |
| 8.1 Conclusiones .....   | 144 |
| 8.2 Recomendaciones .....  | 145 |
| Bibliografía.....  | 146 |
| Anexos .....   | 154 |
| Anexo primero. Simbología utilizada. ....  | 154 |
| Anexo segundo. Planos de embarcación, diseño consultado. ....                    | 157 |
| Anexo tercero. Plano de embarcación, diseño elaborado. ....                      | 159 |
| Anexo cuarto. Cálculos de hélice.....  | 160 |
| Anexo quinto. Plano de armadura del techo de la embarcación. ....                | 164 |
| Anexo sexto. Cotización de materiales para construcción de casco.....            | 165 |

## Índice de Tablas

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Parámetros de motor sincrónico de imán permanente (RTH185-48).....   | 26  |
| Tabla 2. Principales dimensiones y características preliminares de la embarcación.....  | 41  |
| Tabla 3. Principales dimensiones de la embarcación. ....  | 50  |
| Tabla 4. Potencia de servicio recomendada y la potencia máxima del motor para varias<br>esloras en la flotación y desplazamientos en servicio (a media carga). .... | 65  |
| Tabla 5. Resultados de cálculo de hélice.....   | 67  |
| Tabla 6. Comparación de resultados de potencia efectiva en la hélice. ....  | 68  |
| Tabla 7. Especificaciones técnicas del motor eléctrico Torqueedo Cruise 3.0 T.....  | 71  |
| Tabla 8. Especificaciones técnicas panel solar.....   | 77  |
| Tabla 9. Especificaciones técnicas de batería de litio Power 24-3500.....   | 78  |
| Tabla 10. Especificaciones técnicas del regulador de carga solar.....   | 80  |
| Tabla 11. Especificaciones técnicas de cargador de batería de litio.....  | 82  |
| Tabla 12. Pesos de la embarcación.....  | 88  |
| Tabla 13. Materiales para la construcción del casco. ....   | 95  |
| Tabla 14. Costos de materiales para el casco de la embarcación. ....  | 98  |
| Tabla 15. Costos de materiales para el techo de la embarcación. ....  | 99  |
| Tabla 16. Costos de elementos de sistema de propulsión eléctrico.....   | 100 |
| Tabla 17. Costos de inversión de embarcación con motor eléctrico. ....  | 102 |
| Tabla 18. Costos de inversión de embarcación con motor de combustión.....   | 103 |
| Tabla 19. Especificaciones técnicas motor fuera de borda de combustión. ....  | 104 |
| Tabla 20. Costos de operación para embarcación con motor eléctrico. ....  | 106 |
| Tabla 21. Costos de operación para embarcación con motor de combustión.....   | 109 |
| Tabla 22. Plan de mantenimiento para embarcación con motor eléctrico.....   | 110 |
| Tabla 23. Costos anuales de consumibles y repuestos para embarcación de motor eléctrico.<br>.....   | 113 |
| Tabla 24. Plan de mantenimiento para embarcación con motor de combustión. ....  | 113 |
| Tabla 25. Costos anuales de consumibles y repuestos para embarcación motor de<br>combustión.....  | 115 |
| Tabla 26. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor<br>eléctrico para un período de 5 años. ....                                     | 117 |
| Tabla 27. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor de<br>combustión para un período de 5 años. ....                                 | 118 |
| Tabla 28. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor<br>eléctrico para un período de 10 años. ....                                    | 119 |
| Tabla 29. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor de<br>combustión para un período de 10 años. ....                                | 120 |
| Tabla 30. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor eléctrico para un<br>período de 5 años.....  | 122 |
| Tabla 31. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor de combustión para<br>un período de 5 años.....  | 122 |
| Tabla 32. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor eléctrico para un<br>período de 10 años.....   | 123 |
| Tabla 33. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor de combustión para   |     |

|  |     |
|--|-----|
| un período de 10 años.....   | 123 |
| Tabla 34. Análisis de ciclo productivo de embarcación de madera. ....              | 126 |
| Tabla 35. Medidas de prevención en algunas actividades de la pesca artesanal. .... | 139 |
| Tabla 36. Simbología utilizada.....  | 154 |

## Índice de Figuras

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Figura 1. Comparación de costos y emisiones de diferentes barcos durante un período de diez años. ....               | 13                                   |
| Figura 2. Clasificación de embarcaciones pesqueras por tipo de combustible según tipo de flota a nivel nacional..... | 14                                   |
| Figura 3. Concepto general de barco eléctrico. ....  | 21                                   |
| Figura 4. Dos tipos de diseño de sistema mecatrónico para embarcaciones con energía solar. ....                      | 22                                   |
| Figura 5. Sistema de energía híbrido general para embarcaciones eléctricas.....                                      | 24                                   |
| Figura 6. Componentes utilizados para convertir el barco de fibra de vidrio. ....                                    | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 7. Motor síncrono de imanes permanentes: RTH185-48. ....  | 26                                   |
| Figura 8. Artes de pesca artesanal en Costa Rica. ....   | 27                                   |
| Figura 9. Embarcaciones de pesca artesanal en Costa Rica. ....   | 28                                   |
| Figura 10. Partes de una embarcación pesquera. ....  | 28                                   |
| Figura 11. Diagrama de sistemas de potencia para dos tipos de embarcaciones: mecánica e híbrida.....                 | 31                                   |
| Figura 12. Motor eléctrico fuera de borda de Golden Motor Company acoplado a un sistema de transmisión. ....         | 34                                   |
| Figura 13. Resultados de dimensión física de eslora, según clasificación tipo de flota. ....                         | 37                                   |
| Figura 14. Distribución de valores de potencia y cantidad de motores por tipo de flota. ....                         | 38                                   |
| Figura 15. Geometría de una embarcación eficiente. ....  | 39                                   |
| Figura 16. Relaciones de coeficientes de una embarcación eficiente.....  | 40                                   |
| Figura 17. Clasificación de durabilidad natural de la madera. ....   | 43                                   |
| Figura 18. Vista isométrica del casco de la embarcación. ....  | 47                                   |
| Figura 19. Diagrama de flujo, CFD aplicado al casco de la embarcación. ....  | 48                                   |
| Figura 20. Sólido del casco importado desde AutoCAD.....   | 48                                   |
| Figura 21. Vista isométrica del dominio. ....  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 22. Dimensiones del dominio desde el plano XZ. ....   | 51                                   |
| Figura 23. Dimensiones del dominio desde el plano XY. ....   | 52                                   |
| Figura 24. Mallado del dominio. ....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 25. Regiones de fluido.....   | 54                                   |
| Figura 26. Dominio en el contexto previo a la simulación.....  | 55                                   |
| Figura 27. Residuales de la simulación. ....   | 56                                   |
| Figura 28. Valor determinado de resistencia de avance. ....  | 57                                   |
| Figura 29. Gráfico de resistencia de avance con 1500 iteraciones. ....   | 57                                   |
| Figura 30. Contorno de velocidades en plano XZ. ....   | 58                                   |
| Figura 31. Contorno de presiones en plano XZ. ....   | 58                                   |
| Figura 32. Contorno de patrón de olas en plano XY. ....  | 60                                   |
| Figura 33. Contorno de patrón de olas, vista isométrica. ....  | 60                                   |
| Figura 34. Patrón de olas de Kelvin. ....  | 61                                   |
| Figura 35. Gráfico de potencia del motor vs velocidad de la embarcación.....   | 64                                   |
| Figura 36. Hélice con diámetro y paso troquelados. ....  | 67                                   |
| Figura 37. Curva de eficiencia, motor eléctrico Nissan leaf. ....  | 69                                   |
| Figura 38. Equiparación de potencias, motor eléctrico Torquedo y motor de combustión. .                              | 70                                   |

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Figura 39. Motor eléctrico fuera de borda marca Torqeedo, modelo Cruise 3.0 T.....   | 71                                   |
| Figura 40. Diagrama de bloques del sistema de propulsión eléctrico. ....   | 74                                   |
| Figura 41. Panel Solar Flexible 130 W.....   | 76                                   |
| Figura 42. Batería de litio Power 24-3500. ....  | 78                                   |
| Figura 43. Regulador de carga solar Power24-3500. ....   | 80                                   |
| Figura 44. Interruptor para batería de litio. ....   | 81                                   |
| Figura 45. Cargador para batería de litio.....   | 81                                   |
| Figura 46. Disposición de pesos de una embarcación. ....   | 82                                   |
| Figura 47. Distribución de espacios en la embarcación. ....  | 83                                   |
| Figura 48. Diseño de techo de lona con paneles solares. ....   | 84                                   |
| Figura 49. Armadura de techo de la embarcación. ....   | 85                                   |
| Figura 50. Armadura de techo con lona de la embarcación. ....  | 86                                   |
| Figura 51. Terminal de acero inoxidable para tubo.....   | 87                                   |
| Figura 52. Estabilidad de un barco según posición de G y B.....  | 90                                   |
| Figura 53. Desglose de costos. ....  | 93                                   |
| Figura 54. Estructura del precio de los combustibles en Costa Rica....   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 55. Gráfico de emisiones de kg CO <sub>2</sub> -eq para dos tipos de embarcaciones.....   | 135                                  |
| Figura 56. Beneficiarios potenciales en el sector pesca del Programa Desarrollo Sostenible de la Pesca y Acuicultura en Costa Rica. .... | 141                                  |
| Figura 57. Plano de embarcación de madera.....   | 157                                  |
| Figura 58. Planos de cuadernas de embarcación de madera.....   | 158                                  |
| Figura 59. Plano de embarcación. ....  | 159                                  |
| Figura 60. Procedimiento para cálculo de hélice.....   | 160                                  |
| Figura 61. Diagrama de cálculos de una hélice de tres palas. ....  | 161                                  |
| Figura 62. Plano de armadura de techo de la embarcación. .   | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Figura 63. Cotización de materiales para construcción de casco. ....   | 165                                  |

# 1. Capítulo I. Introducción

## 1.1 Introducción

El presente trabajo se fundamenta en el estudio de prefactibilidad técnico-financiero basado en el análisis del ciclo de vida útil para un barco eléctrico de pesca artesanal a través de energías limpias en Costa Rica. Utilizando fuentes de energía renovables como la energía solar, el trabajo se realiza como un proyecto investigativo de estudio de prefactibilidad y diseño conceptual y busca cumplir los objetivos planteados en este documento.

Este trabajo se realiza por que Costa Rica ha comenzado a construir las bases para potenciar la descarbonización de la economía costarricense a través del Plan de Descarbonización (2018-2050). La descarbonización y resiliencia se conciben como un medio para transformar el modelo de desarrollo a uno basado en la bioeconomía, el crecimiento verde, la inclusión y la mejora de la calidad de vida de la ciudadanía (Gobierno de Costa Rica, 2018).

Costa Rica posee una enorme riqueza y un activo económico valioso en sus recursos pesqueros y el país históricamente no ha manejado apropiadamente este capital natural, el cual ha venido perdiendo valor y su potencial de contribuir a la economía del país. No obstante, si esta riqueza es manejada de manera estratégica, buscando recuperar su valor y buscando alcanzar la sostenibilidad, este recurso tiene el potencial de contribuir significativamente al sostenimiento de los medios de vida de las poblaciones pesqueras del país, generar nuevos empleos, e impulsar el desarrollo socioeconómico del sector pesquero nacional (INCOPECA, 2020).

La finalidad de este trabajo es valorar la factibilidad de barcos eléctricos para pesca artesanal en Costa Rica, analizando aspectos científicos, sociales, ambientales, legales,



financieros y contemporáneos. Además, investigar sobre las mejores alternativas de diseño de embarcaciones eléctricas que involucren positivamente todos los aspectos anteriores para cooperar con un desarrollo sostenible que beneficie las zonas costeras de Costa Rica y Latinoamérica y a nivel mundial suministrar información y datos para el crecimiento de este tipo de tecnología.

## **1.2 Información de la empresa**

El grupo de la empresa:

### **Sail Cargo Inc.**

Corporación con fines de lucro, registrada en Canadá en 2014. SAILCARGO INC. es una agencia de logística única y progresista y un grupo de expertos que utiliza prácticas de envío ambientalmente sostenibles. Entrará en estado completamente operativo cuando el buque insignia, Ceiba, entre en servicio.

### **Inversiones Marítimas Ceiba S.A.**

Representa a la goleta de carga de tres mástiles Ceiba. Está financiada por inversores que apoyan su progreso mediante la compra de acciones en esta sociedad limitada.

### **Astillero Verde**

Asociación de astilleros sin fines de lucro que ofrece talleres, aprendizajes y pasantías a la comunidad local e internacional. Establecen un alto estándar en sostenibilidad y crecimiento responsable.

## **1.3 Misión y Visión**

### **Misión**

Demostrar el valor del transporte marítimo limpio. Desarrollar un sector de transporte resiliente y descarbonizado es una de las tareas más críticas del Antropoceno. La eliminación de los combustibles fósiles del sector marítimo se puede lograr mediante el uso de tecnología

avanzada y técnicas simples. Combinamos tecnologías innovadoras y limpias con sistemas naturales fácilmente disponibles y de bajo costo para crear soluciones para una variedad de necesidades: desde apoyar a comunidades costeras vulnerables hasta mover productos básicos a escala global.

### **Visión**

Una vez se haya demostrado el valor del envío limpio, comenzará la expansión de la flota, incluidos diseños más grandes. Estos estarán determinados por las necesidades de la red, asegurando soluciones a la medida. El cambio en la política global jugará un papel clave.

## 2. Capítulo II. Planteamiento del problema

### 2.1 Planteamiento del problema

|          |   | Dato suministrado  | Referencias bibliográficas                            |
|----------|---|--|---|
| Debiera  | Existir un desarrollo inicial de la industria de barcos eléctricos de pesca artesanal en Costa Rica para cumplir con el Plan Nacional de Descarbonización proyectado del 2018 al 2050, además, cumplir con el Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública (2019-2022) y Plan Nacional de Energía 2015-2030 que involucren sus tres pilares que son desarrollo social, económico y ambiental. | Costa Rica apunta a contar con una economía descarbonizada en 2050, que haya alcanzado el nivel de emisiones más bajo posible de forma consistente con la meta climática global. El primer transbordador de coches eléctricos a batería, el Norled AS MF Ampere, entró en servicio en Sognefjord, Noruega, en 2015. Se ha estimado que compensa anualmente el uso de un millón de litros de diésel que se traducen en emisiones de 2.680 toneladas de dióxido de carbono y 37 toneladas de óxido de nitrógeno. | (Gobierno de Costa Rica, 2018), (Leung & Cheng, 2017) |
| Realidad | La industria de barcos de pesca artesanal existente en Costa Rica opera con combustibles fósiles.   | De 1834 embarcaciones pequeñas de pesca en Costa Rica, un 95 % representan las embarcaciones con un motor de combustión de gasolina y un 5% representan las embarcaciones con un motor de combustión de diésel.  | (Gómez & Piedra, 2019)                                |
| Problema | En Latinoamérica no existen estudios que evidencien el impacto económico, social y ambiental de contar con embarcaciones pesqueras artesanales eléctricas, por lo tanto ¿Es factible la tecnología de barcos eléctricos de pesca artesanal en Latinoamérica?  |  |   |

## 2.2 Justificación

Según (Leung & Cheng, 2017) la Organización Marítima Internacional (OMI) estima que las emisiones de dióxido de carbono de las embarcaciones con motor fueron iguales al 2,2% de las emisiones globales provocadas por el hombre en 2012 y espera que aumenten entre un 50% y un 250% para 2050 sino se toman más medidas. Este tipo de variables entre otras, evidencian la existencia de un problema en cuanto al tipo de embarcación que se utiliza actualmente en la pesca artesanal.

En los últimos años, la escasez de combustibles fósiles y la conciencia sobre la contaminación ambiental son dos cuestiones importantes que afectan la vida diaria de las personas y, por lo tanto, muchos países están investigando activamente y desarrollando recursos de energía renovable (Chao, Lin, & Wu, 2018). Es un desafío para la ciencia acelerar la implementación de energías renovables.

Es importante ir adaptándose a los cambios que se van dando en las fuentes de energía para vehículos, esto incluye la industria marítima ya que, las fuentes de energía como los combustibles, si bien aún tienen mucho uso, no están contempladas en un futuro a mediano y largo plazo como las más importantes, en el rumbo que está tomando la industria y tecnología mundial.

La electricidad, el gas natural, el diésel y las celdas de hidrógeno se proyectan como las fuentes de energía para el autotransporte en las próximas décadas, aunque no necesariamente todas se emplearán al mismo tiempo. De acuerdo con el Ingeniero Ricardo Cortázar, fundador de Inotran, se prevé que los autos particulares, autobuses y camiones de distribución local (es decir vehículos con poco kilometraje) utilizarán energía eléctrica. “Para los autobuses foráneos, camiones de distribución con mayor capacidad, y camiones foráneos de carga de ruta corta se ve el gas natural como fuente de energía para el transporte de

mercancía y de pasaje”. Durante su participación en el Webinar: ‘La energía del futuro para el transporte de mercancías’ organizado por la ANTP, Cortázar señaló que, para los *fulles* y camiones de larga ruta, se seguirá usando diésel como fuente de energía, pero se vislumbra que las celdas de hidrógeno las sustituyan a mediano plazo. Para acelerar la eficiencia energética, diversas marcas de camiones en Europa han comenzado a emplear paneles solares en sus unidades de producción, además de utilizar la tecnología de rastreo de las unidades para medir las emisiones contaminantes. “Para 2025, proyectamos que todas nuestras operaciones globales puedan utilizar este tipo de energías renovables”, sostiene Édgar Robles, gerente de ingeniería de Scania México (transportemx, 2021), un objetivo que debería incluir a las actividades comerciales, industriales y de turismo que se dan en las zonas costeras para lograr un desarrollo sostenible en las mismas.

En la actualidad, la contaminación global es considerada uno de los mayores problemas de la raza humana y se hace cada vez más evidente cómo afecta, de manera irreversible, la salud humana (Glas Ocean Electric, 2018). Es importante que se vayan implementando las tecnologías requeridas para reducir esta contaminación, esto incluye la contaminación producida por los barcos de motor de combustión utilizados en la pesca artesanal. La energía eléctrica y su buen uso es un bien necesario para el progreso económico y para el bienestar de la humanidad, así como uno de los pilares básicos de un desarrollo sostenible, por ello es importante, encaminar las actividades comerciales de las distintas regiones a este tipo de tecnología.

Como es el caso de *Glas Ocean Electric* (GOE) que está brindando energía limpia a las comunidades costeras a través de la integración de botes eléctricos con sistemas de energía comunitarios. Al combinar la electrificación y el almacenamiento dinámico de energía a bordo, los barcos eléctricos presentan una oportunidad para introducir más energía

renovable en las redes eléctricas y las comunidades a las que sirven. GOE ve los barcos eléctricos como un potencial 'almacenamiento de energía envuelto en un barco'. Mediante la creación de un sistema de almacenamiento dinámico a bordo, la empresa permite que los barcos eléctricos suministren energía para la reducción de picos y la energía de emergencia y como fuente de carga que acepta energía renovable intermitente cuando está disponible (*Glas Ocean Electric, 2018*). Este tipo de tecnología son las que además de beneficiar a los propietarios del activo benefician a la sociedad, en este caso a las personas de las comunidades costeras.

Además, el impacto del uso de barcos eléctricos para pesca artesanal en cuanto a la seguridad de los pescadores es ventajoso sobre los barcos convencionales. Las embarcaciones eléctricas son mucho más seguras, en comparación con las embarcaciones con motor de combustión. El uso de un motor eléctrico puede eliminar la necesidad de transportar una gran cantidad de combustible y aceite dentro de los recipientes, que pueden derramarse fácilmente y provocar un incendio (*Leung & Cheng, 2017*).

Las embarcaciones eléctricas funcionan silenciosamente, a diferencia de sus contrapartes diésel y gasolina que producen mucho ruido cuando están en uso. Dado que los motores eléctricos no necesitan un sistema de combustión, el único sonido que producen es el de un rotor giratorio, que no hace ningún ruido (*Leung & Cheng, 2017*). La condición de funcionamiento silencioso beneficia la salud de los pescadores, ya que estos pueden trabajar en un ambiente más cómodo, así como la comodidad de las personas en las costas para que el ruido no les cause molestia.

El uso de energía renovable es más favorable que el uso de otros tipos regulares de fuentes de energía, como el combustible, porque la energía renovable es limpia y sostenible en comparación con la dependencia del combustible (*S.Karthika & S.Vijay, 2017*).

El transporte marítimo emite alrededor de 961 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-eq), lo que representa el 2,8% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI). Esto es más que las emisiones totales producidas por Canadá en 2013 y se espera que este número aumente al 5% para 2050. Dependiendo del producto interno bruto (PIB) futuro y de la eficiencia socioeconómica y energética, la tasa de crecimiento podría ser más alta que este valor previsto (Manouchehrinia, Molloy, Dong, Gulliver, & Gough, 2018). A gran escala, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha publicado una estrategia que tiene como objetivo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 50% con respecto a los niveles de 2008 para 2050, mientras prosigue los esfuerzos para eliminarlas por completo (Stapleton, 2018). Reducir el uso de combustibles fósiles para el 50% de la operación de los barcos podría resultar en una reducción del 60% o más en los GEI (Glas Ocean Electric, 2018).

Las embarcaciones eléctricas reducen las emisiones atmosféricas, la contaminación del agua y el ruido irradiado bajo el agua en el espacio marino. Las reducciones que proporciona un sistema eléctrico reducen la fatiga de la tripulación y los pasajeros y se espera que reduzcan la pérdida de audición y los efectos en la salud de los operadores con el tiempo. La propulsión eléctrica reduce los ruidos irradiados bajo el agua, lo que reduce los impactos en la fauna marina local, incluido el enmascaramiento reducido de las comunicaciones por parte de los mamíferos marinos. Al incluir la caída de las emisiones de diésel, la propulsión eléctrica ofrece una oportunidad de cambio radical para el sector marino (Molloy, 2020).

Cuando los barcos pequeños, que son la corriente principal en los puertos, utilizan unidades fuera de borda eléctricos en lugar de motores fuera de borda, las emisiones de hollín y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de los gases de escape del motor se reducen significativamente, lo que se espera que tenga un gran efecto en la prevención de la contaminación del aire

(Young, Hwan, & Yeol, 2018).

En relación con el registro de este tipo de embarcaciones según el Reglamento del Registro Naval Costarricense (Registro Nacional, 1994), en el caso del sistema de propulsión de las embarcaciones no se especifica si se trata de un motor de combustión o eléctrico, el artículo 9° dicta lo siguiente: "Por su medio de propulsión los buques se denominarán: vapores, si son movidos por máquinas a vapor; motonaves si su propulsión se acciona con motores; y veleros los que utilicen el viento como medio de propulsión, aunque tengan el motor como medio auxiliar para las maniobras". El artículo 12 señala que se debe de especificar el tipo: "Tratándose del aparato motor, deberá indicarse el tipo, caballos de fuerza y marca...". Aquí se señalaría si estipo eléctrico. Para una situación común de conversión de un barco de motor de combustión a un barco eléctrico híbrido o eléctrico puro como los casos mencionados en antecedentes, el artículo 14 menciona lo siguiente: "En el caso de naves, deberán ser comunicados a los respectivos registros las siguientes situaciones: Cuando se realicen modificaciones parciales o totales en el sistema de propulsión de la nave; y.... e) Cualquier otro cambio en sus esenciales características y el aumento de valor experimentado como consecuencia". Actualmente, aunque el Reglamento del Registro Naval Costarricense no menciona barcos eléctricos de algún tipo, si se implementa un barco eléctrico en Costa Rica, especialmente la diferencia radicaría en el artículo 12, en el cual se detalla el tipo de motor y características del sistema de propulsión. Y se aplicaría el artículo 14 en los casos de conversión de sistema de propulsión, manteniendo la estructura de la nave.

El Decreto Ejecutivo No.12568-T-S-H, del 13 de mayo de 1981: Constituyó el Registro Naval Costarricense como Dependencia de la Dirección General de Transporte por Agua. Dos secciones: Registro Marítimo Administrativo y Registro Nacional de Buques detallan aspectos importantes sobre la inscripción de las embarcaciones. Del Registro



Administrativo: Dirección General de Transporte Marítimo del Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) a través de las Capitanías de Puerto. El Decreto Ejecutivo No.23178-J-MOPT, del 18 de abril de 1994, traslada al Registro de la Propiedad Mueble, (Registro Nacional, 1994). Según el artículo 49 del Reglamento de Organización del Registro Público de la Propiedad Mueble (RORPPM): “En el Registro de la Propiedad Mueble se inscribirán los buques nacionales y las motocicletas acuáticas, así como los gravámenes reales o judiciales que los afecten.” Según el artículo 50 del RORPPM: “Para efectos registrales se considerará buque todo artefacto flotante capaz de transportar personas y cosas, destinada a la navegación por agua, cualquiera que sea su clase o dimensión”. Según el Registro Nacional (1994) se toman como actos inscribibles: inscripciones por primera vez, trasposos, cambios de características, desinscripciones y reinscripciones. Según el Registro Nacional (1994), la embarcación se clasifica de acuerdo con su actividad, entre esta pesca artesanal, su certificado de matrícula consta de las siglas del puerto de registro más el número consecutivo asignado por el sistema computarizado y este es requisito de navegabilidad. La escritura o solicitud deberá indicar: eslora (largo), manga (ancho), puntal (alto), equipo de propulsión, marca, modelo, serie, potencia, material del casco, clase y nombre. Se deberá indicar lugar de procedencia: extranjero o nacional. Si son de fabricación nacional, se deberá indicar si son contruidos por cuenta propia o contruidos por un tercero. En caso de construcción por cuenta propia: Presentar solicitud de inscripción y declaración jurada en donde se indique que la fabricación del buque fue realizada por la persona constructora y solicitante, consignándose su estimación total. En caso de construcción por un tercero: Presentar la escritura pública de venta, donde se consigne que su fabricación es nacional, con la estimación total de la misma, cancelando los aranceles de inscripción y traspaso de conformidad con el valor indicado en dicha escritura, salvo los casos que cuente con valor fiscal (pesca deportiva y recreo). Sobre

el motor de la embarcación si este es importado, son requisitos: La copia de la Declaración Única Aduanera (DUA) del motor certificada por la administración aduanera o por notario público que contenga los datos del importador, estado tributario y la descripción del motor: tipo, marca, modelo, número de serie, potencia y combustible. Así como la escritura de venta, carta de venta, factura y declaración jurada. Sobre aspectos arancelarios, impuesto a la propiedad: Regulado en el Decreto Ejecutivo No 42039-JP-H-MAG-MOPT, publicado en La Gaceta No 221, del 20 de noviembre de 2019: “Reglamento a la Ley de Impuesto sobre la Propiedad de Vehículos Automotores”. Y el impuesto de la Ley de Creación del Servicio Nacional de Guardacostas, Cannon Ley 8000, del cual están exoneradas las embarcaciones dedicadas a la pesca artesanal.

En cuanto a los seguros para este tipo de embarcaciones en Costa Rica, el INS (2018) en el documento Seguro de Embarcaciones en el apartado 3.3.2 dicta lo siguiente: "En general, es posible suscribir seguros para todo tipo de embarcaciones como cargueros, pesqueros, yates, ferris, remolcadores y otros menores como botes rápidos, jet skys, para riesgos directos en sus cascos (incluyendo maquinaria, equipos y aparejos) y la eventual Responsabilidad Civil Marítima. Es condición de que los barcos en general ostenten la bandera costarricense o que cuando naveguen en aguas costarricenses, estén domiciliadas temporal o permanentemente en Costa Rica, con lo cual se entiende que dichas embarcaciones pueden contar con matrículas extranjeras, y supeditadas al control de autoridades nacionales. En este sentido, cada navío selecciona un puerto base de operaciones (la mayor parte de atraques en dicho puerto), el cual es indicado por la Capitanía de Puerto en Certificado de Navegabilidad, el cual sirve para control, en virtud de cada embarcación, debe solicitar autorización de zarpe a esa entidad. Lo anterior determina que las naves sin excepción deben operarse conforme las normas y procedimientos aplicables a las

regulaciones del país ".

Los barcos eléctricos son más económicos que los barcos convencionales con motor de combustión en los siguientes aspectos según (Leung & Cheng, 2017): Ahorro en la eliminación del subsistema mecánico, motor de combustión, almacenamiento de combustible. El más importante es la reducción de costos operativos. El mantenimiento se reduce. El combustible se convierte en energía eléctrica y el ahorro es grande.

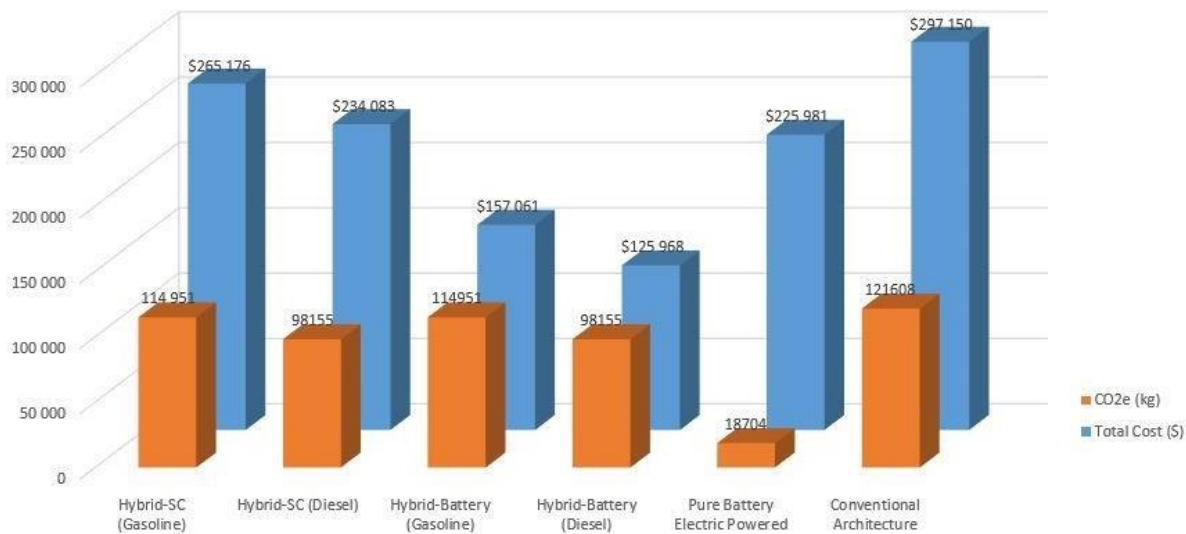
Las propulsiones eléctricas e híbridas-eléctricas se han probado en una variedad de tipos de embarcaciones durante las últimas décadas como una de las arquitecturas de tren motriz más eficientes. El potencial de ahorro de combustible de la propulsión eléctrica en comparación con la propulsión mecánica es un factor importante para la adopción de la propulsión eléctrica para muchas de estas embarcaciones. El ahorro de combustible se debe en gran parte al hecho de que muchas embarcaciones suelen tener un perfil de carga muy dinámico y rara vez operan a la potencia máxima del ICE con la mejor eficiencia energética (Manouchehrinia, Molloy, Dong, Gulliver, & Gough, 2018). Esto les da un valor agregado en el aspecto no solo ambiental si no también económico a los barcos con sistemas de propulsión eléctrica.

Los vehículos electrificados (EV), incluidos los vehículos eléctricos híbridos (HEV) y los vehículos eléctricos puros (PEV), han mostrado mejoras sustanciales de eficiencia energética, reducción de emisiones y posible ahorro de costos durante el ciclo de vida en comparación con los vehículos convencionales impulsados únicamente por motores de combustión interna (ICE). Se ha avanzado en la electrificación de embarcaciones marinas; Sin embargo, el ritmo se ha visto afectado por los diferentes requisitos operativos de cada tipo de buque, un lote de producción relativamente pequeño, una vida útil más larga o variada y las complejas optimizaciones de diseño del sistema de propulsión eléctrica y el sistema de

almacenamiento de energía (ESS) de los buques (Manouchehrinia, Molloy, Dong, Gulliver, & Gough, 2018). Una necesidad para este tipo de embarcaciones es reducir el costo inicial, el cual es una desventaja para implementar un barco eléctrico, Stapleton (2018) menciona que, para un barco piloto eléctrico a batería, la inversión inicial casi duplica el costo total del barco convencional pero actualmente existen muchos incentivos gubernamentales dirigidos a la reducción de emisiones que podrían compensar significativamente el costo de capital inicial.

Sin embargo, una embarcación pequeña como las utilizadas en la pesca artesanal no necesita un sistema muy complejo, Young, Hwan, & Yeol (2018) muestran un motor fuera de borda eléctrico, de *Golden Motor Company* de fabricación china, que tiene un precio económico y muestra un rendimiento y especificaciones razonables para el precio.

**Figura 1.** Comparación de costos y emisiones de diferentes barcos durante un período de diez años.



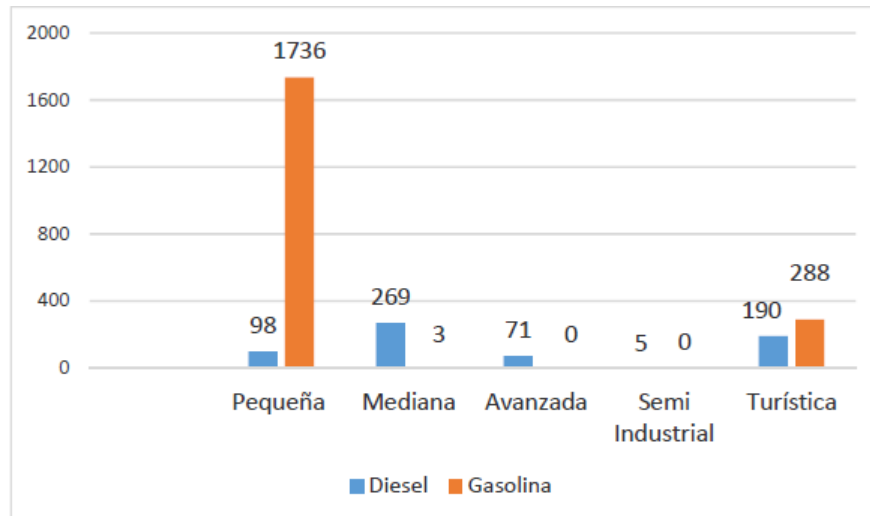
Nota: Adaptado de Emission and life-cycle cost analysis of hybrid and pure electric propulsion systems for fishing boats (2018), *Journal of Ocean Technology*.

El gráfico de la figura 1 muestra una comparación de los costos totales (incluidos costos de inversión y costos operativos) para distintos tipos de sistema de propulsión para un barco específico utilizado para pesca de langosta. En el gráfico 1 se presentan los siguientes sistemas de izquierda a derecha: barco eléctrico-híbrido con sistema de almacenamiento de

energía con *supercapacitor* y generador gasolina, barco eléctrico- híbrido con sistema de almacenamiento de energía con *supercapacitor* y generador diésel, barco eléctrico-híbrido con sistema de almacenamiento de energía con batería y generador gasolina, barco eléctrico-híbrido con sistema de almacenamiento de energía con batería y generador diésel, barco eléctrico con sistema de almacenamiento de energía con batería y barco convencional de motor de combustión. Las variables que se midieron fueron: costos totales (de inversión y operativos) y kilogramos de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) producidos por la embarcación. El barco convencional muestra la mayor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq y los mayores costos totales, el barco eléctrico puro con sistema de almacenamiento de energía con batería muestra la menor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> y el barco eléctrico híbrido con sistema de batería y generador diésel muestra la menor cantidad de costos totales. Es evidente que los barcos eléctricos-híbridos y barcos eléctricos a un largoplazo son más rentables que los barcos convencionales con motor de combustión. Y estos pueden servir para reducir el impacto ambiental de la actividad pesquera y obtener mayores utilidades del activo al ahorrar miles de litros de combustible y costos operativos.

**Figura 2.**

*Clasificación de embarcaciones pesqueras por tipo de combustible según tipo de flota a nivel nacional.*



Nota: Datos de INCOPESCA

El gráfico de la figura 2, muestra la cantidad de barcos pesqueros pequeños en Costa Rica, se observa que el porcentaje de embarcaciones de tipo eléctricas es nulo, de las 1834 embarcaciones pequeñas de pesca, 1736 (un 95 %) representan las embarcaciones con un motor de combustión de gasolina y 98 (un 5%) representan las embarcaciones con un motor de combustión de diésel. Esto evidencia la existencia de un vacío en la tecnología de barcos eléctricos de pesca artesanal en Costa Rica ¿Por qué aún no se han implementado?

Según Manouchehrinia, Molloy, Dong, Gulliver, & Gough (2018) los sistemas de tren motriz eléctrico de batería pura ofrecen ventajas únicas sobre otras arquitecturas como mayor eficiencia energética, menores niveles de ruido y mayor confiabilidad. Factores como el alto costo de capital, la necesidad de mecanismos adecuados de enfriamiento de la batería, las estaciones de carga rápida voluminosas, costosas y el alto costo de expandir la infraestructura de red eléctrica existente, en algunos casos, han limitado la adopción generalizada de este diseño. Sin embargo, el número de embarcaciones eléctricas de batería está aumentando rápidamente. El primer transbordador de coches eléctricos a batería, el Norled AS MF Ampere, entró en servicio en Sognefjord, Noruega, en 2015. Se ha estimado que compensa

anualmente el uso de un millón de litros de diésel, que se traducen en emisiones de 2.680 toneladas de dióxido de carbono y 37 toneladas de óxido de nitrógeno.

## **2.3 Establecimiento de objetivos**

### **2.3.1 Objetivo General**

Desarrollar un estudio de prefactibilidad de un barco eléctrico pequeño de pesca artesanal a través del análisis del ciclo de vida útil en Inversiones Marítimas CEIBA S.A., evidenciando el impacto económico, social y ambiental según lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo, Plan Nacional de Energía y el Plan Nacional de Descarbonización.

### **2.3.2 Objetivos específicos**

1. Diseñar un barco pesquero artesanal eléctrico a través de energías limpias y con base en el manual ahorro de combustible de pequeñas embarcaciones pesqueras de la FAO.

Indicador de logro: Diseños electromecánicos.

2. Comparar a través de un análisis del ciclo de vida útil los costos de diseño, operación, mantenimiento y descarte entre un barco de combustión interna vs eléctrico. Indicador de logro: Estudio comparativo.

3. Determinar el impacto ambiental en unidades de dióxido de carbono equivalente durante todo su ciclo de vida útil del barco pesquero eléctrico en comparación con el barco de combustible fósil.

Indicador de logro: Muestra de cálculo del dióxido de carbono equivalente.

4. Calcular el impacto económico, social y ambiental del barco eléctrico, que permita la valoración para la toma de decisiones de una eventual construcción de un prototipo. Indicador de logro: Presupuesto de construcción, análisis de rentabilidad para el estudio comparativo y beneficios ambientales obtenidos.

## **2.4 Alcance**

El alcance de este proyecto es exploratorio y busca examinar la prefactibilidad de la tecnología de barcos eléctricos de pesca artesanal en Costa Rica, a nivel mundial tiene como valor suministrar toda la información posible sobre el tema, para que se puedan realizar investigaciones más específicas, que aporten al desarrollo de esta tecnología en la industria de pesca artesanal.

## **2.5 Limitaciones**

En Costa Rica actualmente no existe ningún tipo de barco eléctrico que tenga como uso la pesca artesanal, ni se ha desarrollado ningún prototipo, por lo que los datos para poder desarrollar este proyecto deben ser recopilados de estudios y diseños realizados en otros países. Al ser un estudio de una nueva tecnología, la prefactibilidad de dicho proyecto puede verse cuestionada a la hora de contemplar todo tipo de requerimientos y procesos legales para las compras y contratos, la construcción, la puesta en marcha y operación del proyecto.



## 2.6 Metodología

| Objetivo  | Actividades por realizar   | Fuente de información  | Análisis de datos con criterios estadísticos   | Resultados esperados  |
|---|--|--|--|---|
| Diseñar un barco pesquero artesanal eléctrico a través de energías limpias y con base en el manual ahorro de combustible de pequeñas embarcaciones pesqueras de la FAO.                         | Cálculo y determinación de las dimensiones y geometría del barco. Características, parámetros y localización de los elementos del barco. Simulación por dinámica de fluidos computacional (CFD) del comportamiento en la interacción casco-fluido. | Estudios, tesis, artículos científicos, informes, normativas y manuales.                   | Uso del modelado en software para determinar el diseño y parámetros óptimos. Interpretación de los resultados. | Diseños electromecánicos de los elementos del sistema del barco. Análisis de resultados de la simulación por CFD.     |
| Comparar a través de un análisis del ciclo de vida útil los costos de diseño, operación, mantenimiento y descarte entre un barco de combustión interna vs eléctrico.                            | Recopilación de datos teóricos de referencias bibliográficas y organizaciones mundiales. Cálculo de los costos de diseño, de operación, de mantenimiento y descarte.   | Estudios, tesis, artículos científicos, informes, planes y proyectos estatales.            | Uso del análisis del ciclo de vida útil. Interpretación del resultado.   | Estudio comparativo entre barco de combustión interna vs barco eléctrico  |
| Determinar el impacto ambiental en unidades de dióxido de carbono equivalente durante todo su ciclo de vida útil del barco pesquero eléctrico en comparación con el barco de combustible fósil. | Recopilación de datos teóricos de referencias bibliográficas y organizaciones mundiales. Cálculo de la cantidad de dióxido de carbono emitida por un barco eléctrico y un barco de combustible fósil.  | Estudios, tesis, artículos científicos, informes, planes y proyectos estatales.            | Uso de parámetros, datos y técnicas de cálculo de la literatura. Interpretación de resultados.                 | Muestra de cálculo del dióxido de carbono equivalente.  |
| Calcular el impacto económico, social y ambiental del barco eléctrico, que permita la valoración para la toma de decisiones de una eventual construcción de un prototipo.                       | Recopilación de datos teóricos de referencias bibliográficas y organizaciones mundiales. Cálculo del impacto económico, social y ambiental del barco eléctrico.  | Estudios, tesis, artículos científicos, catálogos, informes, planes y proyectos estatales. | Uso de parámetros, datos y técnicas de cálculo de la literatura. Interpretación de resultados.                 | Presupuesto de construcción, análisis de rentabilidad para el estudio comparativo y beneficios ambientales obtenidos. |

Nota: Elaboración propia, 2022.

### 3. Capítulo III. Marco Teórico

#### 3.1 Marco contextual

En los últimos años, los investigadores han estado tratando de encontrar los métodos alternativos de transporte que no deben crear ninguna contaminación y, por lo tanto, no afectar el ecosistema de la Tierra (Kumar, Panigrahi, & Paramguru, 2018). La conservación y protección del medio marino son valores que suelen mencionar los navegantes. Si bien las características de los motores eléctricos coinciden con estos valores, pocos navegantes han optado por el momento por el modo de propulsión eléctrica. El primer barco eléctrico fue inventado en 1881 por el químico parisino Gustave Touré. Un siglo después, el uso del motor eléctrico sigue siendo marginal. Su vecina termal ha sido favorecida por el público y los constructores. Pero las reservas de petróleo se están agotando, la preservación de nuestro medio ambiente se ha convertido en el principal problema del siglo pasado y el precio de los combustibles fósiles está aumentando. Es necesario el diseño de nuevos modos de propulsión (Hemdana, Dallagi, Bouaicha, Zaoui, & Nejim, 2018). La propulsión eléctrica independientemente en el tipo de embarcaciones en la cual sea empleada ha ido superando desafíos, tal y como lo menciona *Journal of Ocean Technology* (2018): el tamaño y el peso de la embarcación no son un desafío para la propulsión eléctrica porque el motor eléctrico de alto par proporciona suficiente potencia para impulsar una hélice mucho más grande capaz de mover cargas extremadamente pesadas. Un ejemplo es el de una empresa que opera barcasas de dragado en pozos de grava tierra adentro en Alemania. El propietario de la cantera, Kaspar Weiss, especificó el sistema eléctrico de emisión cero para sus dragas para proporcionar una solución ecológica altamente eficiente para proteger el agua subterránea local y mantener el aire limpio. Las barcasas de 44 metros, que transportan

cargas de hasta 120 toneladas métricas, funcionan con sistemas de alto voltaje *Torqueedo Deep Blue*. Los barcos se mueventípicamente entre 500 y 600 metros a una velocidad de aproximadamente 3 nudos, abren sustrampillas, luego regresan y enchufan los cargadores, entre una y diez veces al día. El propietario también ha instalado motores fuera de borda *Torqueedo* en embarcaciones empujadoras que se utilizan en la eliminación de subproductos de residuos. El ejemplo anterior evidencia que, sin importar la función de la embarcación, la tecnología de propulsión eléctrica puede ser adaptada para distintos tipos de actividades entre ellas la pesca artesanal.

### **Diseños**

Actualmente, la industria del vehículo eléctrico se puede clasificar en tres categorías principales: vehículos eléctricos puros (PEV), donde la propulsión de los vehículos se logra solo con motor eléctrico alimentado por la energía de la batería, vehículos eléctricos híbridos (HEV), donde la propulsión de los vehículos se logra con un motor de combustión interna convencional (ICE) y con batería y vehículo eléctrico de pila de combustible (FCEVs), donde la propulsión del vehículo se consigue combinando oxígeno e hidrógeno para generar electricidad (Neacsu, Stanciu, Risnoveanu, Matei, & Nicolescu, 2017). La clasificación anterior de vehículos eléctricos incluye las embarcaciones. En este trabajo se analizan los barcos eléctricos puros y barcos eléctricos híbridos.

En los últimos años han surgido varios diseños de embarcaciones eléctricas que difieren en algunos aspectos.

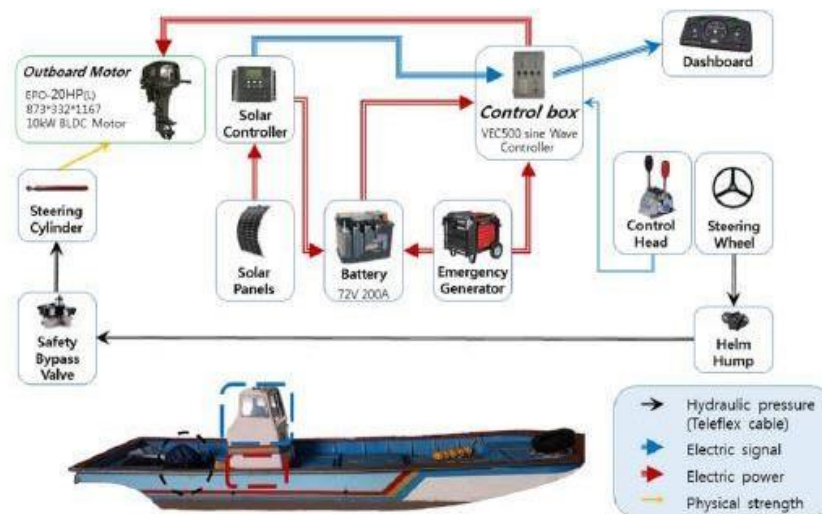
#### **Barco eléctrico puro con fuente de energía solar**

Este barco de propulsión eléctrica está equipado con una celda solar y un dispositivo de almacenamiento de energía (batería) en lugar del sistema de accionamiento del motor, utilizado como sistema de propulsión, y acciona el motor utilizando la energía eléctrica

cargada en la batería a partir de la luz solar. El movimiento se obtiene haciendo girar la hélice a través de un dispositivo de transmisión de potencia, como un eje de transmisión y un engranaje cónico. Considerando el hecho de que la eficiencia de generación de energía solar es ligeramente baja, alrededor del 10 al 15%, y la reducción de la eficiencia del panel solar es rápida. En particular, considerando la velocidad de reducción de la eficiencia de los paneles solares frente a un entorno marino pobre, en lugar de depender completamente de la luz solar, resulta económico concebir un sistema de propulsión eléctrica que aplique dispositivos de almacenamiento de energía (baterías) y generadores de emergencia (BMC, *Battery Monitoring Controller*), etc. (Young, Hwan, & Yeol, 2018). Un diagrama conceptual general de este buque de propulsión eléctrica se muestra en la figura 3.

**Figura 3.**

*Concepto general de barco eléctrico.*



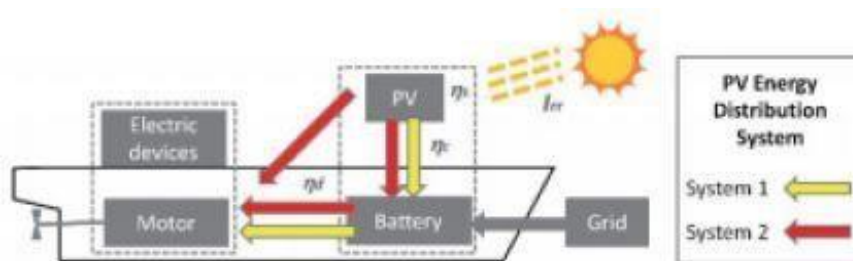
Nota: Performance Evaluation of 20 HP Outboard Motor in Consideration of Driving System Applied to Electric-Propulsion Boat (2018), IEEE. J. Ocean Eng. Technol.

### Barco eléctrico que utiliza energía solar con un sistema fotovoltaico distribuido independiente

Un sistema de este tipo puede contribuir a este tipo de tecnología tal y como señala Chao, Lin, & Wu (2018): Comparando dos posibles sistemas mecatrónicos para ser usados en un barco solar, en la figura 4: el sistema 1 siempre usa energía solar para cargar las baterías mientras que el sistema 2 puede alimentar directamente la energía solar al sistema de energía mientras el barco está en funcionamiento. El diseño inicial del barco eléctrico se basa principalmente en la energía de la red para recargar el sistema de batería mientras se agacha en el puerto. Es simple, pero tiene menos indexación de energía verde. Sin pérdida de energía debida a la carga / recarga, el sistema 2 utiliza la energía solar como fuente eléctrica primaria y el tamaño del sistema de batería se puede reducir. Así es exactamente como un sistema fotovoltaico distribuido puede contribuir a este tipo de aplicación.

**Figura 4.**

*Dos tipos de diseño de sistema mecatrónico para embarcaciones con energía solar.*



Nota: Solar-powered boat design using standalone distributed PV system (2018), IEEE.

### Barco eléctrico híbrido de energía eólica-celda-solar

Los diferentes tipos de sistemas de energía híbridos para barcos tienen características específicas. La elección del sistema depende de una variedad de factores, como el medio acuático, las condiciones de navegación, la economía, costos, etc. (Gao, Zhang, Shen, & Wang, 2017).

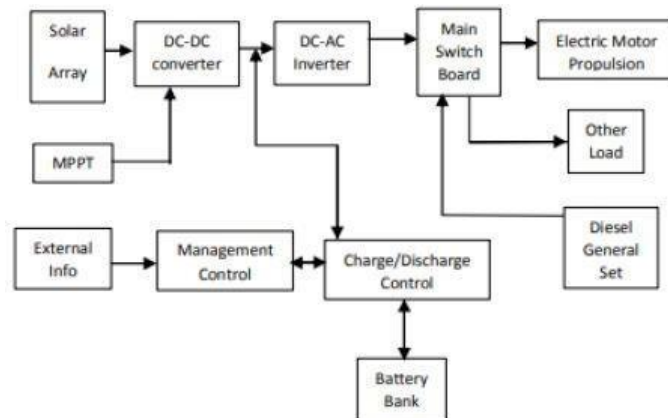
Al diseñar un sistema de propulsión marino mecánico tradicional, el enfoque del 'espectro de potencia' se utiliza comúnmente para acceder a la potencia de propulsión y determinar el tamaño del motor de los buques marinos. Sin embargo, la adición de un sistema de almacenamiento de energía de los buques (ESS) de batería considerable y la gestión óptima de la energía en un sistema de tren motriz eléctrico híbrido han cambiado el enfoque de diseño necesario y exigen consideración en la 'serie temporal' del consumo de energía. Esto se debe a que la energía producida por el ICE puede almacenarse en el ESS y utilizarse en un momento diferente. Los datos de series de tiempo de potencia y demandas de energía permiten desarrollar una gestión y un control de potencia óptimos mediante la optimización global del uso de energía durante el viaje completo mediante programación dinámica (DP). Esta es la base y una de las principales ventajas de la tecnología de propulsión eléctrica híbrida (Manouchehrinia, Molloy, Dong, Gulliver, & Gough, 2018).

Obaid, A.K.Hamid, & Ghenai (2019) presentan un diseño de energía de barco eléctrico híbrido de energía eólica-celda-solar con sistema punto de máxima potencia (MPPT). El diagrama de bloques de la figura 5 muestra un ejemplo de sistema de energía híbrido general que se puede utilizar para operar botes eléctricos. El sistema involucra energía renovable, componentes de almacenamiento, sistema de gestión, sistema de propulsión y otras cargas conectadas como la iluminación. Se agregan bloques de circuitos adicionales como convertidor elevador de CC, inversor de CA y bloque MPPT.

Un sistema MPPT consta de un convertidor dc-dc, un bloque de software y sensores para mediciones de voltaje y corriente. Los algoritmos MPPT optimizan la eficiencia para que sea muy alta (Obaid, Hamid, & Ghenai, 2018). La fuente de energía renovable utilizada en ese ejemplo es la energía solar que carga el banco de baterías. El sistema de gestión de la batería es responsable de mantener el suministro continuo para el funcionamiento de la propulsión

del motor eléctrico, así como otras cargas. Ese sistema utiliza valores medidos para determinar la necesidad de cambiar entre las fuentes de energía del sistema híbrido a lo largo del día, independientemente de los cambios en las condiciones climáticas (Camara, Payman, & Dakyo, 2016).

**Figura 5.**  
*Sistema de energía híbrido general para embarcaciones eléctricas.*

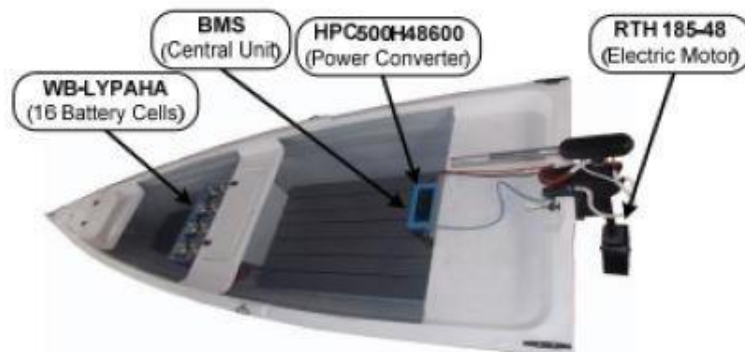


Nota: Energy Management based on Frequency Approach in an Electrical Hybrid Boat (2016), IEEE.

### **Conversión de un barco de fibra de vidrio a un barco eléctrico**

La conversión de un barco de fibra de vidrio implica agregar un motor eléctrico, agregar un controlador de potencia y agregar un paquete de baterías equipado con un sistema de gestión de baterías (BMS) (Neacsu, Stanciu, Risnoveanu, Matei, & Nicolescu, 2017). En la figura 6 se muestra la posición de los componentes utilizados para convertir el bote de fibra de vidrio en un bote de fibra de vidrio completamente eléctrico.

**Figura 6.**  
Componentes utilizados para convertir el barco de fibra de vidrio



Nota: A step forward towards e-mobility adoption: VW beetle and fiberglass boat converted into EVs (2017), IEEE.

Motor eléctrico seleccionado: El componente principal del sistema de propulsión naval es el motor eléctrico. Los requisitos del motor eléctrico son: alta eficiencia energética, alto par, alta relación potencia / volumen, alta relación potencia / peso, alta densidad de potencia con pérdidas reducidas, económico y resistente al agua. La hélice se fija sobre un cubo formando un cilindro sobre el que se monta un inducido ferromagnético, formando el yugo del rotor del motor eléctrico. Los imanes permanentes (que se colocan con polaridades alternas) y el yugo del rotor están cubiertos con una capa de resina (que se utiliza contra la corrosión por agua). El estator está hecho de una armadura ferromagnética que se fija en el manto de la hélice. En la superficie interior del manto de la hélice se fijan las bobinas de devanados polifásicos. Las bobinas están incrustadas en una resina impermeable y están aisladas del entrehierro por un material no metálico (Neacsu, Stanciu, Risnoveanu, Matei, & Nicolescu, 2017). El motor síncrono de imanes permanentes utilizado es “RTH 185-48” el cual se muestra en la figura 7 con sus principales parámetros mostrados en la tabla 1.



**Figura 7.**

*Motor síncrono de imanes permanentes: RTH185-48.*



Nota: A step forward towards e-mobility adoption: VW beetle and fiberglass boat converted into EVs (2017), IEEE.

Tabla 1. Parámetros de motor síncrono de imán permanente (RTH185-48).

|  |      |
|--|------|
| Potencia nominal (W)                   | 2500 |
| Voltaje nominal (V)                    | 48   |
| Número de pares polares                | 8    |
| Resistencia línea a línea (mΩ)         | 80,6 |
| Inductancia línea a línea (mH)         | 44,2 |
| Corriente nominal rms (A)              | 44,6 |
| Corriente máxima rms (A)               | 90   |
| Fuerza de empuje nominal (N)           | 110  |
| Inercia del motor (kg.m <sup>2</sup> ) | 0,1  |
| Velocidad nominal (rpm)                | 3500 |
| Peso (kg)                              | 11   |
| Clase de aislamiento                   | F    |
| Clase de protección                    | IP68 |

Nota: Adaptada de A step forward towards e-mobility adoption: VW beetle and fiberglass boat converted into EVs (2017), IEEE.

### 3.2 Marco conceptual

**Actividad pesquera:** Serie de actos relacionados con la pesca científica, comercial, deportiva o de acuicultura, así como los procesos de aprovechamiento, extracción, transporte, comercialización e industrialización y la protección de los recursos acuáticos pesqueros (Poder Legislativo CR, 2005).

**Pesca artesanal:** Actividad de pesca realizada en forma artesanal por personas físicas, con uso de embarcación, en las aguas continentales o en la zona costera y con una autonomía para faenar, hasta un máximo de cinco millas náuticas del litoral que se realiza con propósitos comerciales (Poder Legislativo CR, 2005). Según FAO (2016) las artes de pesca artesanal más utilizadas en Costa Rica son red trasmallo, línea o cuerda de mano y palangre línea.

**Figura 8.**

*Artes de pesca artesanal en Costa Rica.*



Nota: FAO.

**Embarcaciones pesqueras:** El término "embarcaciones pesqueras" comprende los objetos móviles flotantes de cualquier tipo y tamaño que, en aguas dulces, salobres o marinas, se utilizan para la captura, transporte, desembarque, conservación o elaboración de pescado, mariscos u otros animales acuáticos (excepto las ballenas), o de residuos y plantas. Se

incluyen también las embarcaciones que realizan funciones relacionadas con la pesca, como abastecimiento, protección, prestación de ayuda, investigación o instrucción (FAO, 1986).

Según FAO (2016), las embarcaciones de pesca artesanal en Costa Rica se pueden clasificar en bote, panga, lancha y barco.

**Figura 9.**

*Embarcaciones de pesca artesanal en Costa Rica.*

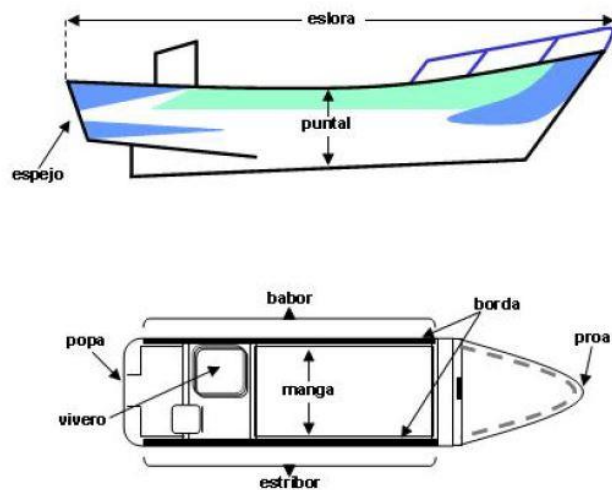


Nota: FAO.

**Principales dimensiones y denominaciones de una embarcación:** la figura 10 muestra las principales partes y sus nombres para una embarcación pequeña.

**Figura 10.**

*Partes de una embarcación pesquera.*



Nota: Descripción de las embarcaciones pesqueras de la costa ecuatoriana (2012).

Según Castro (2012):

Babor: Parte de la embarcación situada al lado izquierdo de la línea imaginaria que pasa por el centro del buque, mirando de popa a proa.

Borda: Es la parte alta del costado comprendida entre la cubierta y la tabla que forma su parte superior.

Casco: Es el envoltorio impermeable de la nave o conjunto de madera, hierro, material diverso que cierra todo el barco.

Eslora: Es la longitud del buque medida en el plano longitudinal de proa a popa. Existe la eslora máxima, la eslora entre perpendiculares y la eslora en flotación.

Espejo: Pieza de la parte trasera que cubre la popa de la embarcación.

Estribor: Parte de la embarcación situada a la derecha de la línea imaginaria que pasa por el centro del buque, mirando de popa a proa.

Manga: Es el ancho del buque medido en el plano de la cuaderna maestra.

Popa: Es la parte posterior de una embarcación que culmina en el espejo.

Proa: Es la parte anterior de una embarcación que culmina en la roda.

Puntal: Es la altura o distancia vertical de una embarcación medida sobre la perpendicular media, entre la cara superior de la quilla y la parte inferior de la cubierta principal, a la altura de la manga máxima.

Quilla: Pieza principal de la estructura situada en la parte inferior del buque, en sentido longitudinal que corre de proa a popa, sirviendo de ligazón entre las cuadernas.

Vivero: Compartimiento con o sin aislamiento situado hacia la popa de los botes de fibra de vidrio usado como bodega para la conservación de la carnada y captura.

Desplazamiento: El desplazamiento de un buque es el peso total del mismo. Según el principio de Arquímedes, el peso de un cuerpo flotante es igual al peso del volumen del

líquido desplazado por el mismo. El desplazamiento vendrá expresado generalmente en toneladas métricas o kilogramos (Teoría del Buque).

Según (Teoría del Buque) se considera desplazamiento para cuatro estados de carga:

Desplazamiento en rosca: es el peso total de la embarcación al salir del astillero, sin combustible, sin agua, sin provisiones; es cuando tiene un calado mínimo.

Desplazamiento en lastre: es el peso total sin carga, pero contiene combustible, agua y provisiones.

Desplazamiento a media carga: es el peso total conteniendo carga, pero no ha llegado a su calado máximo.

Desplazamiento a máxima carga: es el peso total cuando llega a su máximo calado o sea que está cargado a su máxima capacidad de peso.

Sistema de propulsión: Actualmente, la propulsión de una embarcación se puede lograr con motores diésel, motores de gasolina, motores eléctricos o vela de viento. Teniendo en cuenta el impacto ambiental durante el transporte que se considera crítico, se prefieren las soluciones basadas en motores eléctricos (Neacsu, Stanciu, Risnoveanu, Matei, & Nicolescu, 2017).

Los tipos de sistemas de propulsión de barcos eléctricos se pueden clasificar en dos grupos: sistemas de propulsión eléctricos híbridos y sistemas de propulsión completamente eléctricos. La propulsión eléctrica puede utilizar fuentes de energía renovables locales, incluidos paneles fotovoltaicos, pilas de combustible, supercondensadores y baterías (Hemdana, Dallagi, Bouaicha, Zaoui, & Nejim, 2018). Los sistemas de fuentes múltiples se utilizan para reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero en aplicaciones de transporte (Camara, Payman, & Dakyo, 2016), para el caso de los sistemas de barcos eléctricos híbridos.

Tal y como menciona Gomez & Mejía (2020) un sistema de propulsión eléctrica

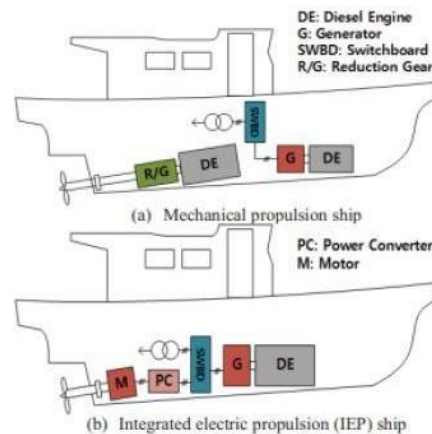
de un barco eléctrico se compone principalmente de:

- Un sistema de almacenamiento.
- Convertidores de potencia.
- Uno o más motores eléctricos.
- Un sistema de generación de energía eléctrica.
- Sistemas de transmisión.
- Una o más hélices.

Para aprovechar la propulsión eléctrica, varios tipos de buques grandes, a saber, cruceros, rompehielos, barcos de perforación y buques de guerra, se han diseñado generalmente con el sistema de propulsión eléctrica integrada (IEP) en las últimas décadas (Son, Lee, & Sul, 2018). El sistema IEP puede ser en corriente continua (CC) o en corriente alterna (CA) y es un sistema híbrido. Los sistemas de potencia de los buques de propulsión mecánica y eléctrica se muestran en la figura 11 respectivamente. Se observa que para el caso de la embarcación con sistema IEP únicamente utiliza un motor de diésel, por el otro lado la propulsión mecánica utiliza dos motores de diésel.

**Figura 11.**

*Diagrama de sistemas de potencia para dos tipos de embarcaciones: mecánica e híbrida.*



Nota: CC Power System for Fishing Boat (2018), IEEE.

Resistencia al avance: La resistencia al avance de un buque se puede considerar, como la fuerza que opone el fluido al movimiento y, se denomina resistencia total. La resistencia está asociada con la potencia y el consumo de combustible a las distintas velocidades de navegación, por ello interesa conocerla con exactitud. También permite definir y rediseñar las dimensiones y formas de la carena que consigan que la potencia necesaria para la navegación sea mínima, por motivos económicos en cuanto al ahorro de combustible y emisiones contaminantes (Boudesseul, 2017).

La resistencia total de un barco moviéndose en una superficie de aguas tranquilas tiene un número de componentes, es decir, resistencia por olas, resistencia friccional, resistencia por remolinos, resistencia por el aire, y, resistencia por apéndices (Garrido, 1998).

Resistencia por formación de olas: es la fuerza que se opone al movimiento del buque. Cuando un buque navega en una superficie libre agua-aire, la variación de presiones sobre el cuerpo genera olas que acompañan al buque en su movimiento. Las olas modifican el campo de presiones sobre el buque. En algunas zonas aumenta la presión sobre la que había sin olas y en otras disminuye, por lo que, al integrarlas, el resultado no es nulo, sino que aparece una fuerza que se opone al movimiento (Baquero, 2013).

Resistencia friccional: Es causado por la fricción que se genera entre el casco y el agua, esta fricción es la adhesión de las moléculas del agua sobre la superficie del casco causando cizalle y arrastre de partículas de agua, generando una capa límite alrededor del casco (Huenante, 2018).

Resistencia por remolinos: En la resistencia por remolinos, cuando el flujo es quebrantado un volumen de agua es formado en el cual las partículas de agua se revuelven en remolinos. La energía de este movimiento es desperdiciada y puede ser tratado como un incremento en

resistencia (Garrido, 1998).

Resistencia al aire: es la resistencia al avance debido al flujo del aire sobre la estructura del buque. Cuanto mayor sea la obra muerta del buque, mayor será el efecto de ésta. Este parámetro en la resistencia total no es muy notable, su valor se encuentra en torno al 8% (Baquero, 2013), (Holtrop, 1984).

Motores eléctricos: el motor eléctrico es un dispositivo que convierte la energía eléctrica en energía mecánica de rotación por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor (Cepeda & García, 2021).

Según Torquedo (2022) los motores eléctricos se pueden clasificar según cinco criterios:

- Comportamiento ante la frecuencia: motores asíncronos y motores síncronos.
- La generación del campo alterno (conmutación): motores conmutados mecánicamente y motores conmutados electrónicamente.
- La excitación del campo magnético: motores inducidos electromagnéticamente y motor de inducción de imanes permanentes.
- El diseño: motor de rotor interno, motor con rotor de disco y motor de rotor exterior.
- La dirección del campo magnético con respecto al eje de giro: motores de flujo radial y motores de flujo transversal.

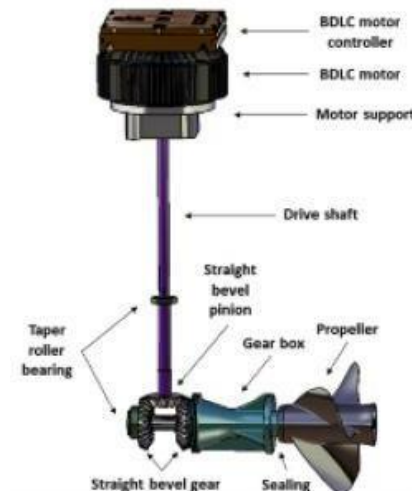
Motores fuera de borda: Las máquinas fuera de borda se utilizan principalmente para dispositivos de propulsión como barcos pequeños, y significan un motor de conducción que está montado independientemente en la popa fuera del casco, y se clasifican en gran medida en un motor fuera de borda impulsado por un motor de combustión y un motor fuera de borda de propulsión eléctrica (Young, Hwan, & Yeol, 2018).



La figura 12 es un diagrama esquemático que muestra la apariencia general de una unidad fuera de borda eléctrica y se divide en gran medida en un cabezal de potencia (parte superior), una sección media (parte central) y una parte de unidad inferior (parte inferior). El motor y el controlador BLDC (corriente continua sin escobillas) están montados en la parte superior. La parte central está equipada con un eje de transmisión que transmite la potencia del motor BLDC, y una cuna está instalada en la parte trasera para ser montada en el barco. A diferencia de la carcasa superior, la carcasa central está hecha principalmente de aleación de aluminio que es un metal liviano y tiene resistencia a la corrosión porque la corrosión se produce debido al contacto con el nivel del mar. La parte inferior contiene un dispositivo de propulsión que convierte la fuerza de rotación generada por el motor en propulsión. En el caso de un motor fuera de borda eléctrico, en particular, un dispositivo de engranaje de precisión (dispositivo de engranaje de reducción de bisel) y un eje de hélice, que son dispositivos para ajustar hacia adelante y hacia atrás, están instalados en la unidad inferior (Young, Hwan, & Yeol, 2018).

**Figura 12.**

*Motor eléctrico fuera de borda de Golden Motor Company acoplado a un sistema de transmisión.*



Nota: Performance Evaluation of 20 HP Outboard Motor in Consideration of Driving System Applied to Electric-Propulsion Boat (2018), J. Ocean Eng. Technol.

Ciclo de vida: Según (Capa, 2019) el ciclo de vida es el conjunto de etapas consecutivas de un equipo, está dividido en tres partes:

- Fase preparatoria, incluye concepto, diseño, fabricación, montaje y puesta en servicio.
- Fase de explotación, incluye operación y mantenimiento.
- Fase de desmontaje.

Evaluación de impacto ambiental: Procedimiento científico-técnico que permite identificar y predecir los efectos que ejercerá sobre el ambiente una acción o un proyecto específico realizado por el ser humano. Incluye los efectos específicos al sitio del proyecto y a sus áreas de influencia; su evaluación global, las alternativas de mayor beneficio ambiental, un programa de control y minimización de los efectos negativos, un programa de monitoreo, un programa de recuperación, así como la garantía de un cumplimiento ambiental (Poder Legislativo CR, 2005).

#### **4. Capítulo IV. Diseño de la embarcación de pesca artesanal**

El diseño de un barco eléctrico consta de varias etapas: Las etapas se dividen en diseño conceptual, diseño preliminar, diseño contractual al diseño detallado. El diseño del barco también se divide en varias partes principales, a saber: diseño básico, diseño del casco, diseño del equipamiento del casco, equipamiento de la maquinaria, equipamiento eléctrico y varios (Aliffrananda, Safaruddin, Supomo, & Regitasyali, 2020). En general la diferencia entre un barco eléctrico y un barco convencional radica en su sistema de propulsión.

Para el diseño de la embarcación se consideró una serie de distintos manuales y documentos emitidos por la FAO, sobre la construcción de embarcaciones, así como libros y documentos sobre los parámetros a tomar en cuenta en el diseño de una embarcación para que esta cumpla de forma eficiente con las propiedades de un buque. El proceso de diseño

incluyó los siguientes aspectos:

- Recopilación de datos: datos de embarcaciones similares de la base de datos de INCOPECA, para poder obtener posibles características iniciales de la embarcación.
- Diseño del casco: dimensiones y geometría del casco.
- Materiales de construcción: listado de los materiales más adecuados para la embarcación.
- Análisis hidrodinámico por CFD del casco de la embarcación.
- Sistema de propulsión: selección del motor adecuado, cálculo de hélice.
- Elementos del sistema de propulsión: determinación de los elementos necesarios para el tipo de sistema de propulsión.
- Disposición del espacio de la embarcación.
- Estructura de techo de la embarcación.
- Cálculo de pesos: incluye todos los equipos y elementos de la embarcación.

#### **4.1 Datos de embarcaciones pequeñas existentes**

##### Tonelaje

Según Gómez & Piedra (2019) en Costa Rica existen 1834 embarcaciones pequeñas registradas legalmente. Para los tipos de embarcación pequeña, los valores de tonelaje bruto varían desde los 300 kg hasta los 4540 kg, con un promedio de 2013 kg; para el caso de tonelaje neto los valores varían entre 200 kg hasta los 2180 kg, con un promedio de 916,3 kg.

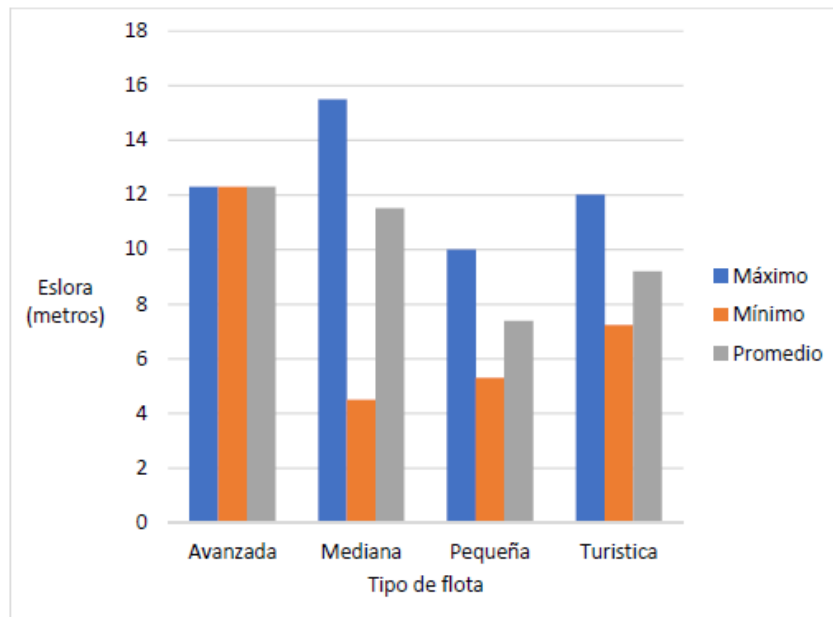
##### Dimensiones de los cascos

En la figura 13 se muestra que, para las embarcaciones pequeñas consultadas, la medida de la eslora es de 5,3 m mínimo y 10 m máximo. Además, otras medidas que no se

muestran en el gráfico, pero fueron recopiladas con la medida de la manga y la medida del puntal. La manga varía desde los 1,3 m hasta los 3 m y el puntal varía desde 0,56 m hasta 2,25 m.

**Figura 13.**

*Resultados de dimensión física de eslora, según clasificación tipo de flota.*



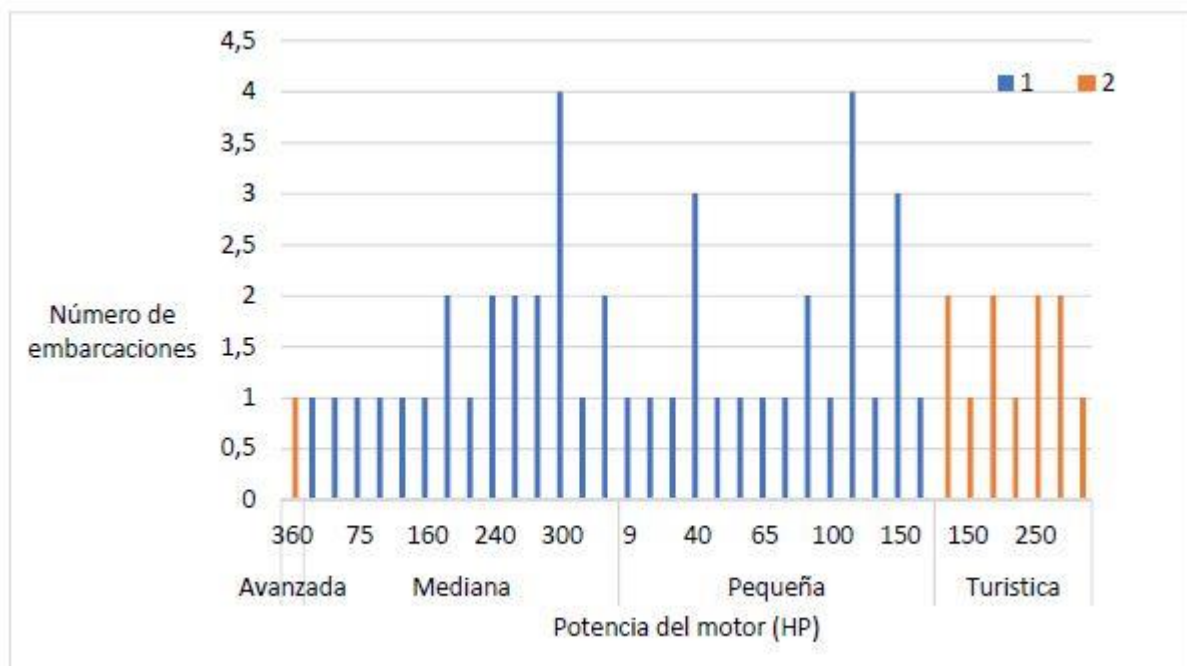
Fuente: Datos de INCOPECA.

### Potencia de los motores

En la figura 14 se muestran los valores de potencia de los motores para los distintos tipos de embarcación. Para el caso de las embarcaciones pequeñas, los valores de potencia varían entre los 9 hp hasta los 150 hp, con un promedio de 78,81 hp. Todos los motores de las embarcaciones consultadas son motores de combustión de gasolina, en su mayoría. Es importante señalar que en este proyecto se seleccionará un motor de tipo eléctrico para el sistema de propulsión de la embarcación.

**Figura 14.**

*Distribución de valores de potencia y cantidad de motores por tipo de flota.*



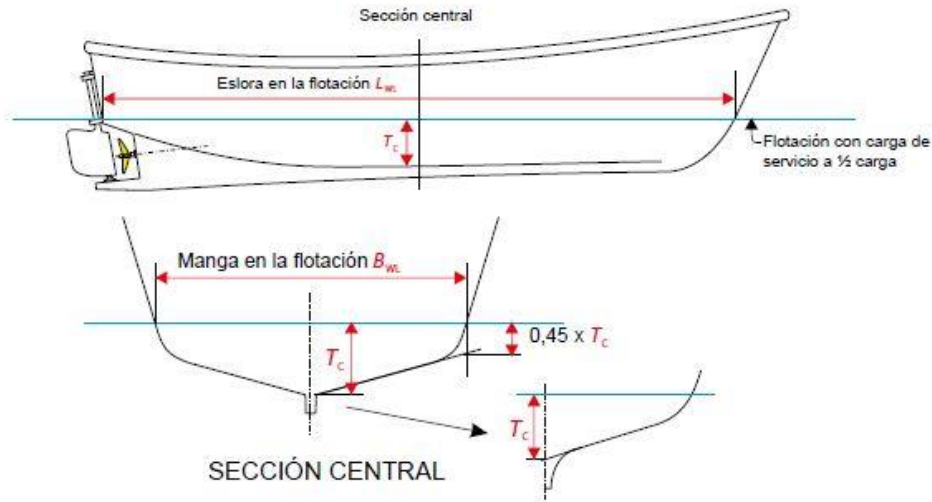
Fuente: Datos de INCOPECA.

## 4.2 Dimensiones y geometría del casco

Una embarcación debe tener ciertas cualidades para ser funcional, eficiente y segura. La geometría y dimensiones determinan en gran parte estas cualidades, las cuales son: flotabilidad, estabilidad, resistencia, propulsor, maniobrabilidad y comportamiento en la mar. A estas cualidades se pueden añadir las que afectan a la economía del buque: velocidad, autonomía, habitabilidad, peso muerto, capacidad de carga y descarga, así como automatización, y las que afectan a la seguridad del buque: resistencia estructural, compartimentado y servicios de seguridad, de acuerdo con las reglamentaciones nacionales e internacionales (Olivella, 1994). Según FAO (2015) la geometría de una embarcación eficiente desde el punto de vista energético es de una forma como se muestra en la figura 15.

Figura 15.

Geometría de una embarcación eficiente.



Nota: FAO.

Se cumplen las siguientes relaciones para las dimensiones de una embarcación energéticamente eficiente:

$$\text{Coeficiente de la sección central: } C_M = 0,72 \quad (1)$$

$$\text{Coeficiente prismático: } C_p = 0,58 \quad (2)$$

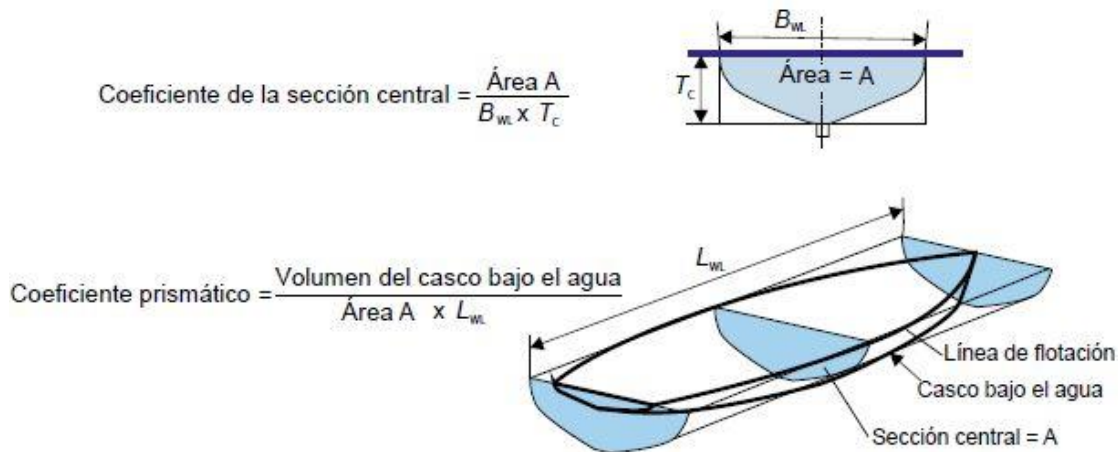
$$\frac{L_{WL}}{\text{Desplazamiento}^{\frac{1}{3}}} = 4,75 \quad (3)$$

$$\frac{L_{WL}}{B_{WL}} = 2,7 - 3,4 \text{ para embarcaciones con eslora inferior a } L_{WL} = 12 \text{ m} \quad (4)$$

$$T_c = \frac{2,4 \times \text{desplazamiento}}{L_{WL} \times B_{WL}} \quad (5)$$

**Figura 16.**

*Relaciones de coeficientes de una embarcación eficiente.*



Nota: FAO.

En la figura 16 se muestra la relación del coeficiente de la sección central y la relación del coeficiente prismático de la embarcación.

Los conceptos de eslora de flotación y manga de flotación de la figura 14 se refieren a las dimensiones de eslora y manga en la línea de flotación cuando la embarcación se encuentra cargada a la mitad de su capacidad.

Para determinar la geometría y dimensiones del casco de la embarcación se consultó un documento de la FAO de diseño de embarcaciones pesqueras de madera el cual incluye varios diseños que varían en su eslora total. Se realizó el diseño de la embarcación basado en los planos que se muestran en el anexo 2. La tabla 2 muestra las principales medidas y características de esta embarcación. La velocidad en el mar se mide en nudos: 1 nudo = 1 milla náutica (nm) por hora = 1 852 m por hora

Tabla 2. Principales dimensiones y características preliminares de la embarcación.

|                                  |      |
|----------------------------------|------|
| Eslora Total (m)                 | 6,3  |
| Manga Total (m)                  | 1,85 |
| Puntal (m)                       | 0,72 |
| Volumen (m <sup>3</sup> )        | 8,4  |
| Peso en vacío (kg)               | 490  |
| Carga (kg)                       | 350  |
| Peso cargado (kg)                | 840  |
| Motor recomendado (hp)           | 5-8  |
| Velocidad en servicio<br>(nudos) | 6    |

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel.

#### 4.3 Materiales de construcción del casco

Entre los principales materiales que se utilizan para la construcción de embarcaciones pequeñas están la madera, la fibra de vidrio conocida como PRFV y el acero.

Una embarcación puede estar construida de madera, plástico reforzado con fibra (FRP), aleación de aluminio o acero o combinaciones de dichos materiales (The Marine Safety Agency, 1997).

La madera sigue siendo el material más comúnmente utilizado en la construcción de embarcaciones de menos de 15 m de eslora. En los países desarrollados y en algunos países en desarrollo se emplea cada vez la fibra de vidrio y el poliéster, pero en África, Asia y el Pacífico más del 90 por ciento de las pequeñas embarcaciones pesqueras se construyen con madera. La ventaja en cuanto a costos de este material respecto a otros sigue siendo suficiente para garantizar durante mucho tiempo su primacía como elemento fundamental de la construcción de embarcaciones de los países en desarrollo (FAO, 2004).

En muchas zonas del mundo es cada vez más complicado encontrar el tipo de madera



necesario para construir un bote de madera de buena calidad. Por lo tanto, muchos astilleros de este tipo de barcos están empezando a utilizar el plástico reforzado con fibra de vidrio. El plástico reforzado con fibra de vidrio, o PRFV, es un compuesto de varios materiales (principalmente fibras de vidrio y resina) dispuestos en capas alternas, que se endurece hasta formar un laminado sólido. A efectos de comparación, las fibras de madera de un árbol se mantienen unidas debido a su adhesivo natural, la lignina. De la misma manera, las capas de material de fibra de vidrio del PRFV se adhieren entre ellas con resina de poliéster. Tanto en los árboles como en el laminado de plástico reforzado con fibra de vidrio, las fibras confieren resistencia a la estructura, a la vez que la lignina y la resina mantienen las fibras unidas, creando rigidez y distribuyendo la carga entre ellas. Si se monta correctamente, el laminado puede ser a la misma vez fuerte y rígido, así como tener buena resistencia a la fatiga y a los efectos del agua (FAO, 2011).

El acero como material para la construcción de barcos es fuerte y fácil de trabajar. Las juntas soldadas se consideran de igual resistencia a la materia básica, siempre que los soldadores dispongan de suficiente destreza y práctica para lograr estructuras estancas. Es también fácil reparar, cortando y soldando material nuevo, haciendo uso de las facilidades disponibles en todo lugar. El acero es incombustible y de larga duración, siempre que se mantenga una adecuada protección contra la oxidación (FAO, 1985).

Generalmente, no se considera ventajosa la construcción en acero de barcos de eslora menor de 12 m, debido a su peso, ni tampoco en las menores de 15 m cuando operan en condiciones tropicales marinas, a causa del elevado grado de corrosión que actúa sobre la fina plancha de acero utilizada (FAO, 1985).

El material seleccionado para esta embarcación es la madera debido a costos y facilidades de construcción. La madera para la construcción de buques debe ser adecuada

para el entorno marino en el que se navegará. Esta madera se clasifica en distintas clases en función de su durabilidad, que va de la 1 a la 4 según los años que aguanta sin dañarse (Borrás, 2019).

**Figura 17.**

*Clasificación de durabilidad natural de la madera.*

|                |  |  |   |
|----------------|--|--|---|
| <b>Clase 1</b> | <b>Muy durables (vida útil estimada en más de 30 años)</b>   |  |   |
|                | Ciprés del sur<br>Curupay<br>Guayacán<br>Mora colorada   | Quebracho colorado<br>Quina colorada<br>Urunday<br>Urundel   |   |
| <b>Clase 2</b> | <b>Durables (vida útil estimada entre 10 y 30 años)</b>  |  |   |
|                | Algarrobo<br>Anchico colorado<br>Calden<br>Cancharana  | Coihue<br>Lapacho<br>Roble pellín  |   |
| <b>Clase 3</b> | <b>Poco durables (Vida útil estimada entre 5 y 10 años)</b>  |  |   |
|                | Azota caballo<br>Caroba<br>Cedro<br>Espina corona<br>Eucalipto saligna/grandis<br>Grapia o Ibirá peré<br>Guaraniná<br>Guatambú blanco<br>Guayaibí<br>Guayaibí amarillo<br>Incienso<br>Laurel | Lenga<br>Loro blanco<br>Mmarmelero o Ibirá puitai<br>Nogal criollo<br>Palo amarillo<br>Palo blanco<br>Palo rosa<br>Paraíso<br>Pehuén (Pino de Neuquén)<br>Persiguero<br>Peteribí<br>Pino chileno | Pino del cerro<br>Pino resinoso nacional: (elioti y tae-da)<br>Pino spruce<br>Quebracho blanco<br>Raulí<br>Roble del país, palo trébol o Cerejeira<br>Tipa blanca<br>Virapitá<br>Viraró |
| <b>Clase 4</b> | <b>Muy poco durables (Vida útil estimada menor de 5 años)</b>  |  |   |
|                | Álamo<br>Carne de vaca<br>Kiri   | Pino Brasil o Paraná o Misionero   | Sauce<br>Zapallo caspi  |

Nota: (IRAM 9600, 1998).

Hay distintos factores que hay que tener en cuenta a la hora de construir un buque con algún tipo de madera. Por ejemplo, la madera para partes estructurales debe estar libre de defectos que puedan afectar a la resistencia y durabilidad, o la madera utilizada para la entabladura del casco debe cortarse teniendo en cuenta el alabeo, contracción e hinchazón en

la condición según montaje. Además, la madera que se corta para la entablatura del casco se debe serrar de través con un ángulo de los anillos anulares al corte del borde inferior de 45 grados para la construcción de forro sencillo a tope. Finalmente, en todos los casos el contenido de humedad de la madera debe estar dentro de los límites requeridos por el método de unir las piezas y teniendo en cuenta la estabilidad dimensional de la estructura (Borrás, 2019).

#### Selección de tipo de madera para la embarcación

FAO (2004) clasifica la madera en dos tipos: tipo A y tipo B. La madera tipo A tiene un peso medio entre  $650 \text{ kg/m}^3$  y  $750 \text{ kg/m}^3$  una vez secada al aire. Esta madera es más pesada que el tipo B. Sus ventajas son: tiene un mejor sostén para los elementos de unión como clavos y pernos, esto influye en la resistencia y además esta madera es más resistente a la pudrición. Las maderas de tipo A más conocidas son las de roble, iroko, kapur, afrormosia, bilinga, gurjun y teka.

La madera tipo B es más liviana y tiene un peso entre  $500 \text{ kg/m}^3$  y  $600 \text{ kg/m}^3$  después de secada al aire. Su cualidad más importante además de su peso liviano es su escaso movimiento en servicio, lo que impide que se hinche o encoja con la variación de la humedad. Las más comunes son caoba, pino de Oregón y sequoia rojo europeo.

Para este proyecto se seleccionó el proceso de construcción de lanchas endueladas de (FAO, 2004), en dicho tipo de construcción se necesita tanto tipo de madera A como tipo de madera B. El tipo A se utiliza para partes de la embarcación que son difíciles de cambiar y necesitan más resistencia a la pudrición, estas son la quilla, las cuadernas y las costillas. El tipo B se utiliza principalmente para el forro y la cubierta. El tipo A seleccionado es roble y el tipo B seleccionado es pino de Oregón.

#### 4.4 Análisis hidrodinámico por CFD de la embarcación

La resistencia hidrodinámica de un buque puede ser dada a través de diferentes componentes y estados que en suma pueden representar modelos tóricos y empíricos que pueden llegar a predecir la potencia necesaria mínima para vencer la resistencia total máxima a las condiciones óptimas de carga. La potencia exigida por la propela del barco a través del agua depende de: la resistencia ofrecida por el agua y el aire, la eficiencia de la unidad propulsora adoptada, y, la interacción entre éstos (Garrido, 1998).

La resistencia al avance de un barco se compone fundamentalmente de dos partes, una debida a la viscosidad del fluido que, al contacto con la superficie exterior de la obra viva, genera una fuerza que opone al movimiento y otra que es debida a la gravedad y que se conoce con el nombre de resistencia por formación de olas (García, 2015).

Según Bartrons (2014) la resistencia que ofrece un casco al avanzar por el agua puede desglosarse en dos componentes, según el enfoque de Froude:

- Resistencia de fricción: Es la suma de todas las componentes longitudinales de los esfuerzos cortantes actuando sobre la superficie del casco. Es debido a la viscosidad.
- Resistencia residual: Es la suma de las presiones desarrolladas por el empuje del agua durante el avance. Es debido a la presión de origen viscoso (forma del casco) y la formación de olas.

En estudios de resistencia hidrodinámicas de los buques se acostumbra a agrupar a la resistencia por olas, formas, remolinos y por aire en un solo componente llamado resistencia residual (Garrido, 1998).

Así que la resistencia total es dada por:  $R_t = R_r + R_f$  (6)

Donde:

$R_t = \text{resistencia total (N)}$

$R_r = \text{resistencia residual (N)}$

$R_f = \text{resistencia friccional (N)}$

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una poderosa herramienta numérica que se está utilizando ampliamente para simular muchos procesos en la industria alimentaria. El progreso reciente en la eficacia informática, junto con la reducción de los costos de los paquetes de software CFD, ha hecho avanzar a la CFD como una técnica viable para brindar soluciones de diseño efectivas y eficientes (Norton, 2006).

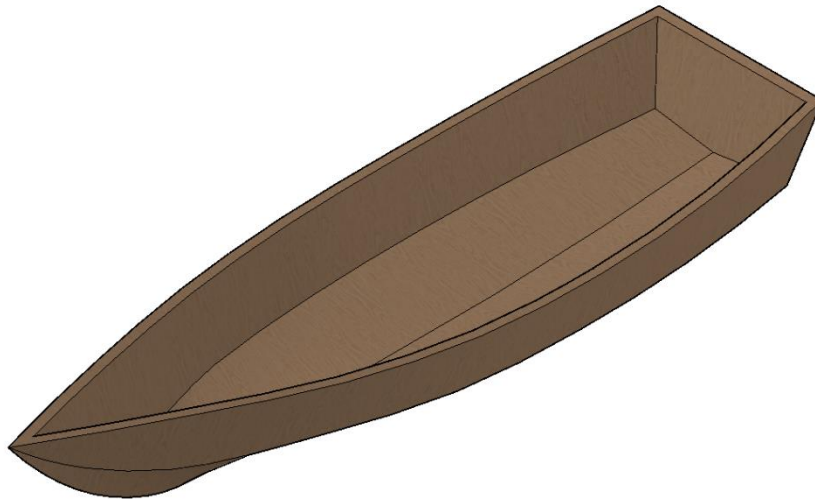
La mayoría de los regímenes de los fluidos en la naturaleza son turbulentos, también los más comunes son de fases múltiples, tales como la lluvia, la sedimentación, la evaporación, etc. hasta dar con el presente caso, la flotabilidad. En CFD, un flujo con fases múltiples puede definirse como una clase de material identificable que tiene una respuesta particular a la hora de interactuar con su entorno. Por ejemplo, partículas sólidas de diferentes tamaños, pero del mismo material pueden tratarse como fases diferentes ya que su comportamiento dinámico será diferente en el campo de flujo. El problema que se plantea consta de un dominio en el que se identifican dos materiales. Estos son el agua y el aire, que lo convierte en un modelo de dos fases, líquido-gas, de superficie libre. Actualmente, existen 2 enfoques para el cálculo numérico de varios fluidos: El enfoque Euler-Lagrange y el enfoque Euler-Euler. En este último se introduce el concepto de fracción de volumen de fase, marcada por una función de seguimiento continua en el espacio y tiempo (Bartrons, 2014).

Para el análisis hidrodinámico por CFD del casco de la embarcación se utilizó el

software AutoCAD con licencia suministrada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica. AutoCAD se utilizó para realizar los planos de la embarcación y el diseño 3D del casco, basado en el diseño que se muestra en el anexo 2, tomado de (FAO, 2004). Se utilizó el *Software Ansys* para realizar el análisis CFD, importando el sólido realizado en AutoCAD. Se adquirió el *Software Ansys* de estudiante de forma gratuita. En la figura 18 se muestra la vista isométrica del diseño generado del casco desnudo de la embarcación. En el anexo 3 se muestra el plano del diseño de la embarcación.

**Figura 18.**

*Vista isométrica del casco de la embarcación.*



Fuente: Autodesk AutoCAD 2021.

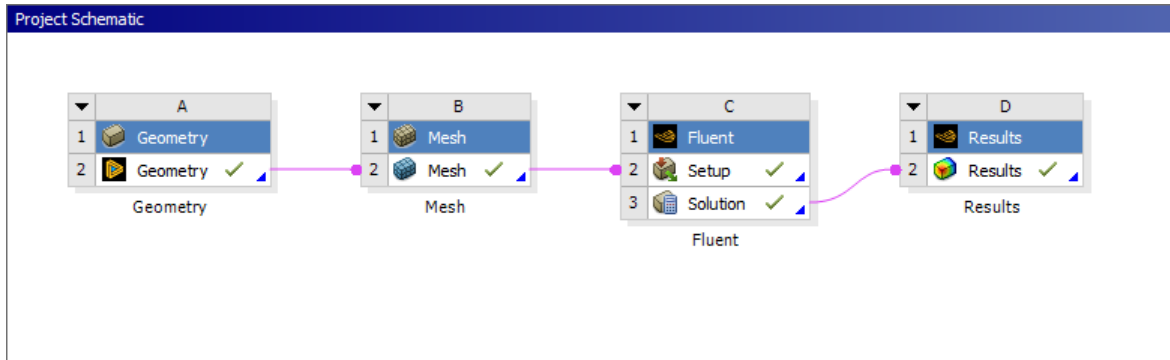
## **Proceso para realizar simulación**

### Geometría

Para lograr la simulación mediante el *Software Ansys* se requiere de una serie de pasos. En la figura 19 se observa el diagrama de flujo seguido. Lo primero es importar la geometría del casco. Se importó el sólido realizado en AutoCAD a la geometría de *Ansys*, en la figura 20 se observa el sólido importado.

**Figura 19.**

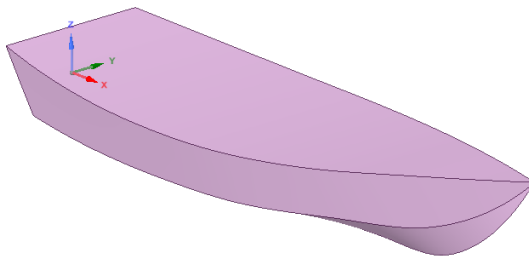
*Diagrama de flujo, CFD aplicado al casco de la embarcación.*



Nota: Ansys 2022 R1, student versión.

**Figura 20.**

*Sólido del casco importado desde AutoCAD.*



Nota: Ansys 2022 R1, student versión.

## Dominio

Se creó un dominio de cálculo en forma de paralelepípedo alrededor de la embarcación para simular las condiciones de flujo abierto, las dimensiones recomendadas del dominio se basan en los siguientes criterios según un estudio hidrodinámico realizado por Bartrons (2014):

- Profundidad del agua respecto la línea de flotación de diseño: poco más de  $0.5 Lwl$ .  
El aumento de la profundidad del agua incrementaría mucho el dominio de cálculo forzando un tiempo de cálculo demasiado costoso e irrelevante. Se definió una profundidad del agua de 3 m, tomando como origen la línea de flotación de la embarcación.
- En cuanto a la región de aire: poco menos de  $0.5 Lwl$ , 3.1 m por encima de la línea de flotación de diseño, suficiente para que el espacio entre la superficie libre y el límite superior del dominio no cause aceleraciones no deseadas debido al efecto de la obstrucción entre límites. Se definió una región de aire de 2,5 m de altura, tomando como origen la línea de flotación de la embarcación.
- El dominio debe ser lo más ancho posible en la medida que no interfiera en la formación de la estela y que su proximidad no se convierta en un obstáculo a la hora de resolver cerca de esta zona.
- Un flujo turbulento en aguas abiertas creará un perfil de velocidades específico si el dominio tiene la longitud suficiente. Esta longitud requerida para cualquiera de estos perfiles demandaría demasiado tiempo de cálculo. La longitud final escogida no trata de conseguir este efecto, si no capturar gran parte de la estela generada y gran parte del perfil de velocidades, ya que es crucial para la coherencia de la solución y para la resistencia al avance.



Es importante señalar que al tener disponible el software versión estudiante es posible que se reduzcan dichas dimensiones ya que a la hora de realizar el mallado la cantidad de elementos en esta versión tiene un límite, el cual es 500 000 elementos. El casco ha sido sustraído del dominio para que de esta manera el conjunto dominio-casco represente un único cuerpo para la simulación. Por simplicidad se utiliza únicamente la mitad del casco y para los resultados finales, el valor de resistencia de avance se multiplica por dos. En la tabla 3 se muestran las principales dimensiones de la embarcación ya definidas según el sólido diseñado, además las dimensiones con la embarcación en flotación. Según (Oortmerssen, 1971), para un cálculo aproximado de la superficie mojada de la embarcación se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = 3,223 * \nabla^{\frac{2}{3}} + 0,5402 * L_{WL} * \nabla^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

Donde:

$S = \text{área de superficie mojada (m}^2\text{)}$

$\nabla = \text{Volumen desplazado (m}^3\text{)}$

$L_{WL} = \text{eslora en flotación (m)}$

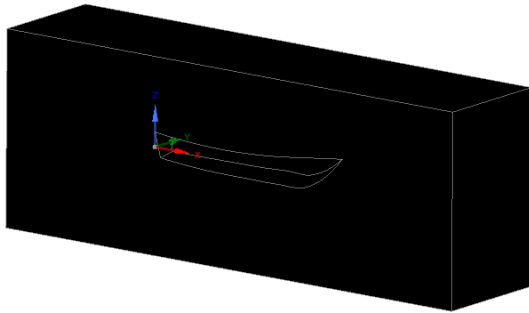
Tabla 3. Principales dimensiones de la embarcación.  
Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel.

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| Eslora total (m)                    | 6,3  |
| Manga (m)                           | 1,81 |
| Puntal máximo (m)                   | 1,03 |
| Eslora en flotación (m)             | 5,7  |
| Calado (m)                          | 0,4  |
| Superficie mojada (m <sup>2</sup> ) | 5,7  |

En la figura 21 se muestra el dominio realizado con el casco de la embarcación impreso en el mismo. En las figuras 22 y 23 se muestran las dimensiones del dominio.

**Figura 21.**

*Vista isométrica del dominio*

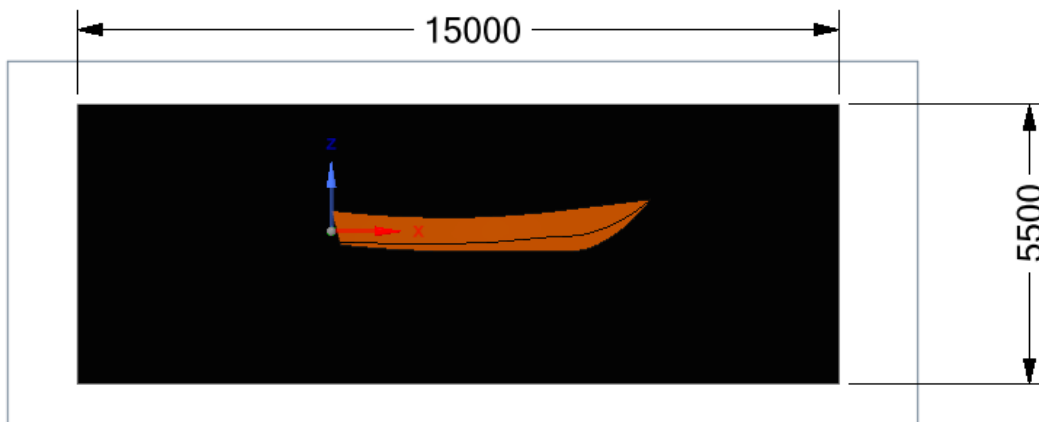


**Ansys**  
2022 R1  
STUDENT

Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

**Figura 22.**

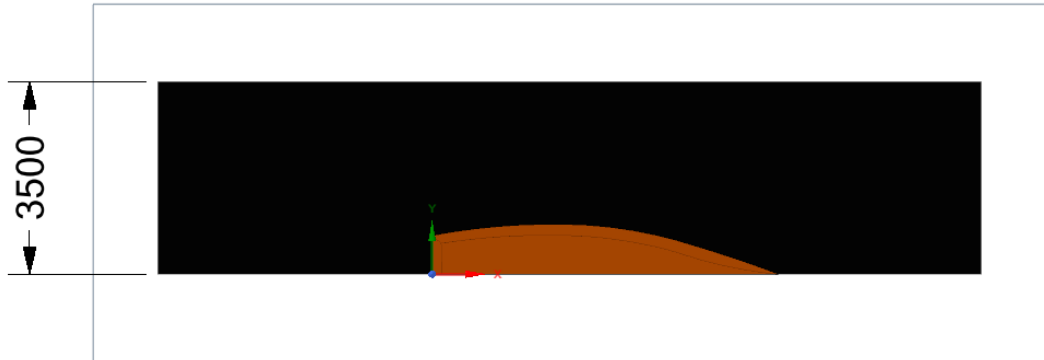
*Dimensiones del dominio desde el plano XZ.*



Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

**Figura 23.**

*Dimensiones del dominio desde el plano XY.*



Nota: Ansys 2022 R1, student version.

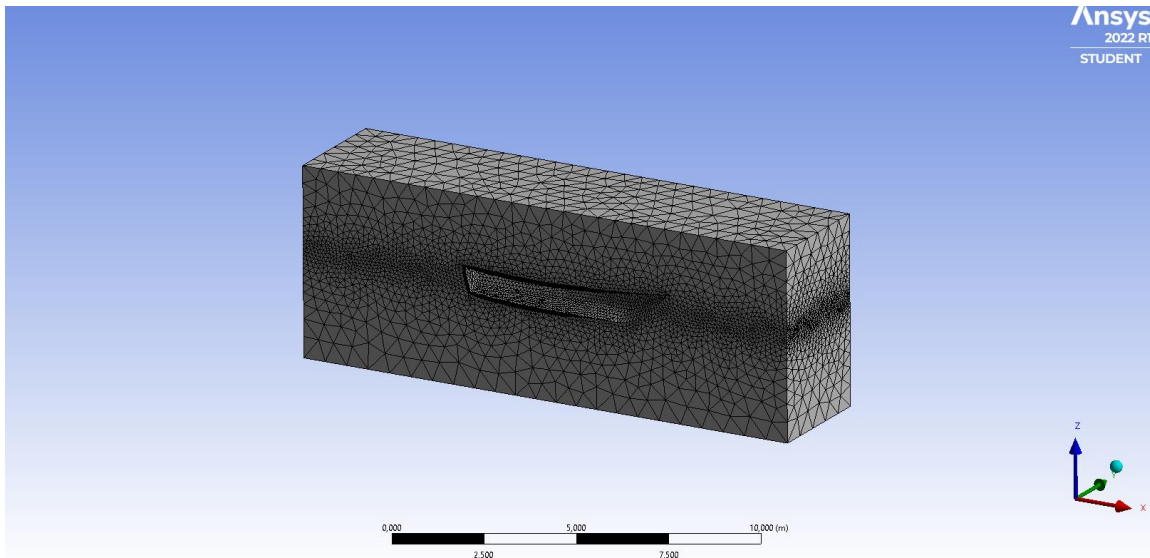
### Mallado

Básicamente una malla es la representación discretizada de la geometría en cuestión. Ésta designa los elementos en los que el comportamiento del flujo se va resolviendo. Producir una buena malla es crucial ya que afecta a tres aspectos básicos de una simulación: estimación y rapidez en la convergencia (o por lo contrario divergencia), coste del tiempo de cálculo de la CPU y memoria requerida y precisión en los resultados (Bartrons, 2014).

En la figura 24 se muestra el mallado generado del dominio. Se observa como el tamaño de los elementos disminuye conforme se acercan al casco, esto aumenta la precisión de la simulación en la región alrededor del casco, la cual es la que más interesa.

**Figura 24.**

*Mallado del dominio.*



Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

### Ejecución de simulación

Una vez realizado el mallado se procedió la siguiente serie de parámetros para realizar la simulación.

- Tipos de fluidos, agua y aire para este caso.
- Modelo de multifase de volumen de fluido, fase primaria aire y fase secundaria agua.
- Modelo de turbulencia k-epsilon.
- Condiciones de frontera: en este parámetro se determinaron los valores de velocidad y profundidad para el agua y el aire, tanto para la entrada como para la salida del dominio. La velocidad se definió según la ecuación 8 de (FAO, 2015), donde este valor representa la velocidad de servicio ideal para ahorro energético. Esta velocidad de servicio corresponde a condiciones medias de servicio de viento y olas y algunas incrustaciones en el casco. En condiciones atmosféricas estables y con un casco limpio bajo el agua, la embarcación navegará a mayor velocidad. Considerando una

eslora de flotación de 5,7 m el valor de velocidad calculado fue de 5,01 nudos equivalente a 2,58 m/s.

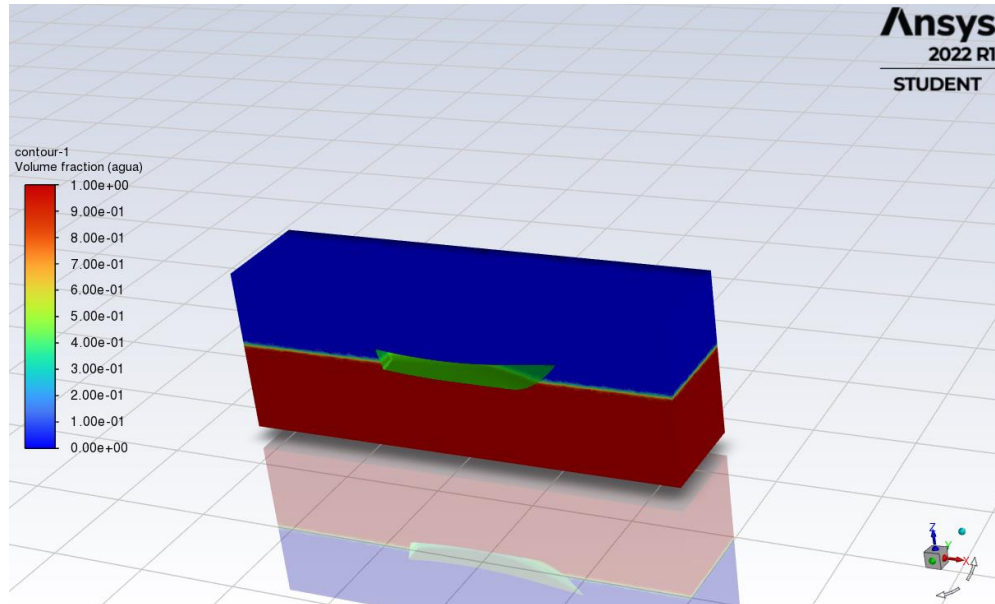
$$V = 2,1 * \sqrt{L_{WL}} \quad (8)$$

- Variables para monitorear: para este caso se graficó y calculó la fuerza de arrastre o resistencia de avance en el casco en la dirección X en la cual se mueve la embarcación.

En la figura 25 se visualiza la región correspondiente a cada fluido, en este caso el azul es la región del aire y el rojo la región del agua, su interfase se da en la línea de flotación del casco.

**Figura 24.**

*Regiones de fluido.*



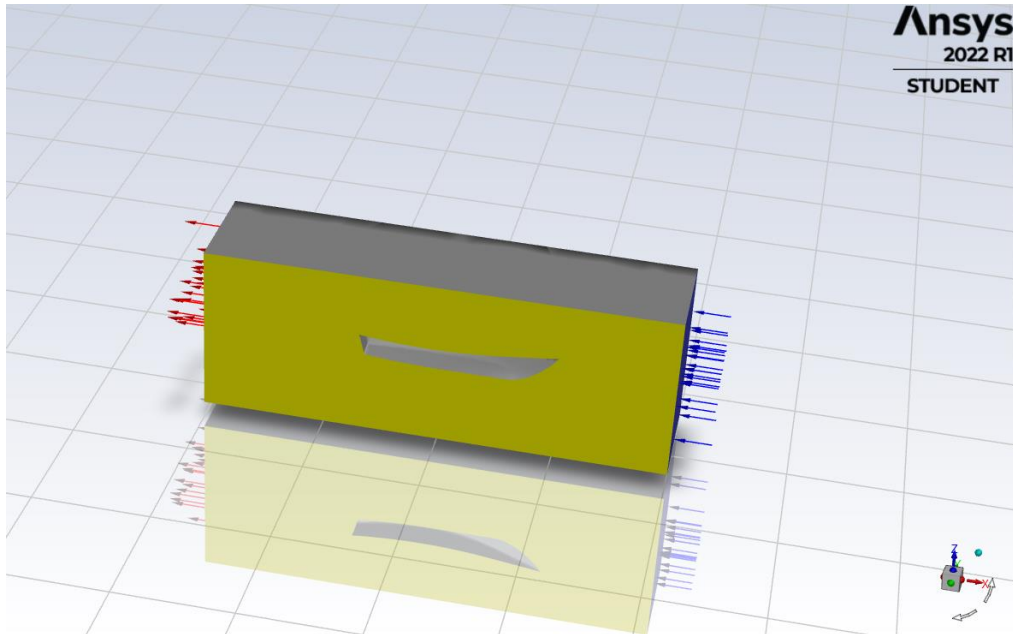
Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

En la figura 26 se muestra el dominio, con la entrada y salida de los fluidos y el plano

de simetría en el contexto previo a la simulación.

**Figura 25.**

*Dominio en el contexto previo a la simulación.*



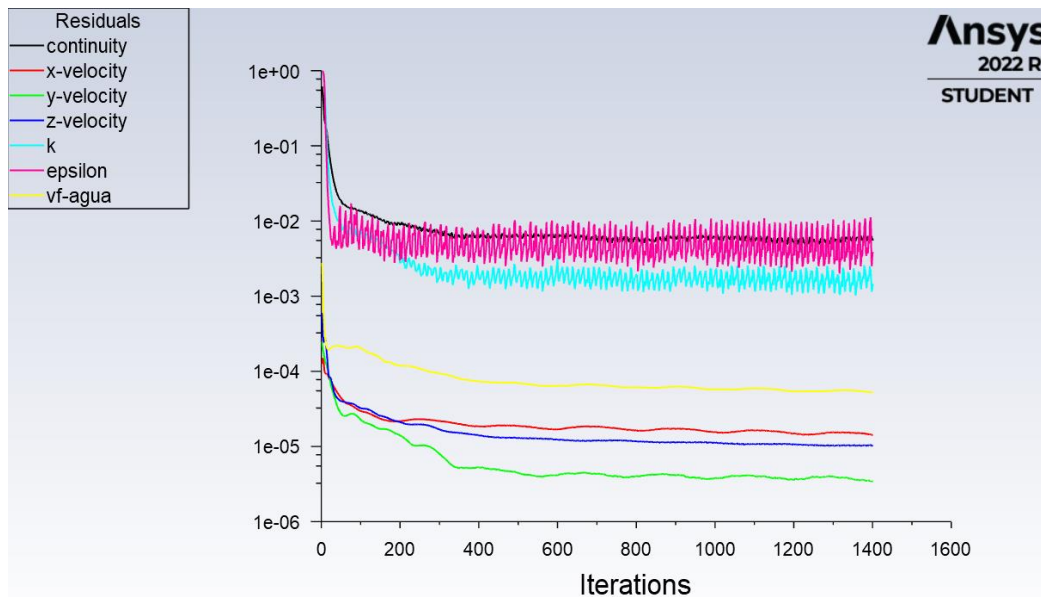
Fuente: *Ansys 2022 R1, student version.*

### Convergencia de la simulación

El criterio estándar de convergencia utilizado por el *Software Ansys* se aplica cuando los residuales van decreciendo en cada iteración hasta llegar a valores lo más cercanos posibles del orden de  $10^{-3}$  aceptado por la mayoría de los problemas. Para el presente proyecto se observó que los residuales presentaron decrecimiento hasta llegar una estabilidad y valores aceptables. En la figura 27 se puede observar que la mayoría de los residuales tienen valores incluso menores al orden de  $10^{-3}$  y los demás valores que son cercanos y aunque no llegan al orden de  $10^{-3}$ , presentan un comportamiento estable después de las 1400 iteraciones que se establecieron para la simulación.

**Figura 26.**

*Residuales de la simulación.*



Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

## Resultados

La resistencia de avance determinada con la simulación se muestra en la figura 28, como se observa el valor determinado fue 195, 42901 N. Para calcular la resistencia de avance completa en el casco, se multiplica este valor por dos, ya que como se mencionó anteriormente por cuestiones de simplicidad se trabajó con la mitad del casco. La resistencia total de avance de la embarcación es de 390,85802 N. En la figura 29 se muestra el gráfico de resistencia de avance luego de 1400 iteraciones.

**Figura 27.**

Valor determinado de resistencia de avance.

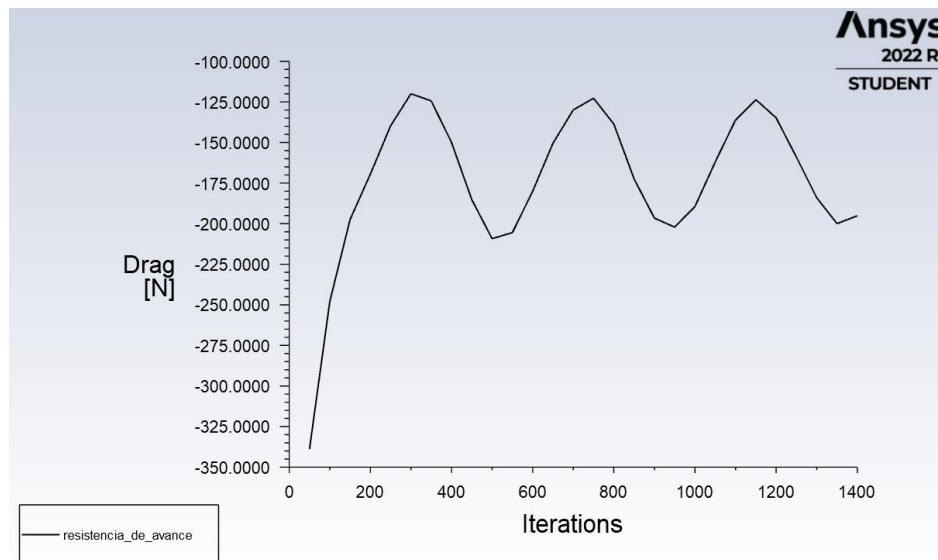
```
Calculation complete.
```

| Drag | [N]        |
|------|------------|
| hull | -195.42901 |

Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

**Figura 28.**

Gráfico de resistencia de avance con 1500 iteraciones.



Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

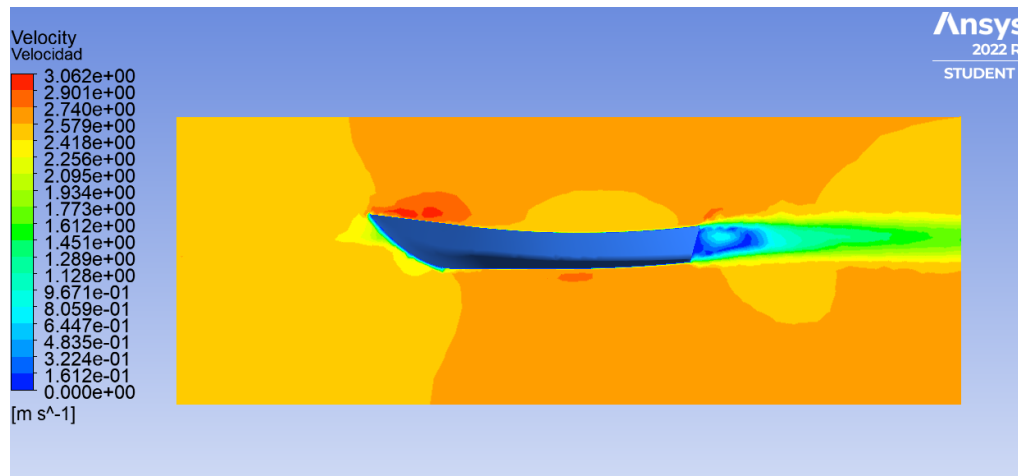
En la figura 30 se muestra el contorno de velocidad en el plano XZ, se observa el gradiente de velocidades alrededor del casco que va desde los valores de cero hasta alcanzar los valores del flujo libre. Alrededor del casco la velocidad es cero debido al rozamiento y se desarrolla una capa límite alrededor de su superficie. En el flujo libre no hay gradiente de



velocidades ya que se establecieron los esfuerzos cortantes de cero para no afectar el cálculo de las fuerzas involucradas en la resistencia de avance del casco.

**Figura 29.**

*Contorno de velocidades en plano XZ.*

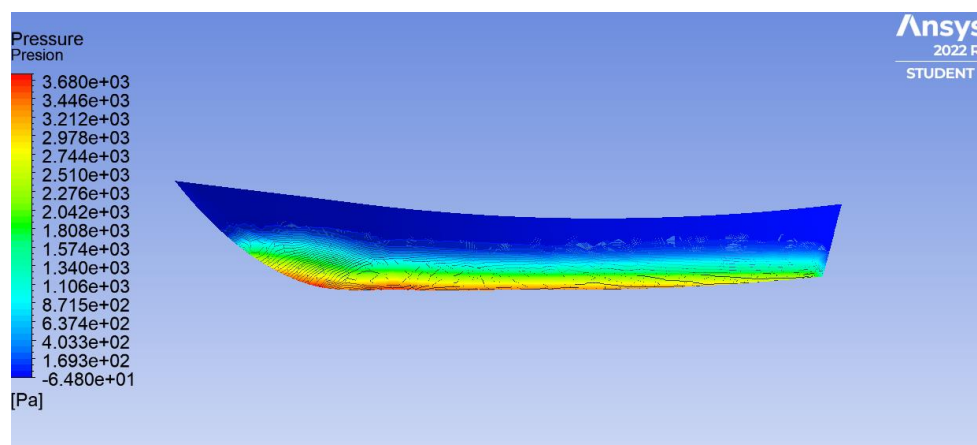


Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

En la figura 31 se muestra el contorno de presión para el casco, se observa que la zona del fondo del casco es la que soporta más presión debido a que es la zona que está más profundo bajo el agua.

**Figura 30.**

*Contorno de presiones en plano XZ.*



Nota: Ansys 2022 R1, *student version*.

En las figuras 32 y 33 se muestra el patrón de olas formado debido al avance de la embarcación, se observa que se presenta la forma esperada de un patrón de olas de Kelvin.

El número de Froude basado en la profundidad resulta crítico en la determinación de las características de las olas en aguas poco profundas, al igual que el número de Froude basado en la eslora lo es en aguas profundas. El valor crítico de  $F_{nh}$  es uno. Los valores inferiores a uno se llaman subcríticos y los superiores a uno, supercríticos. Para valores subcríticos de  $F_{nh}$  y para valores del número de Froude inferiores a 0,9, se observa el patrón de olas de Kelvin clásico (Herreros & Souto, 2001). Considerando la ecuación 9 del número de Froude basado en la profundidad, se determinó un  $F_{nh}$  de 0,48 para una velocidad de 2,58 m/s y una profundidad de 3 m, como se estableció en la simulación.

$$F_{nh} = \frac{V}{\sqrt{g * h}} \quad (9)$$

Donde:

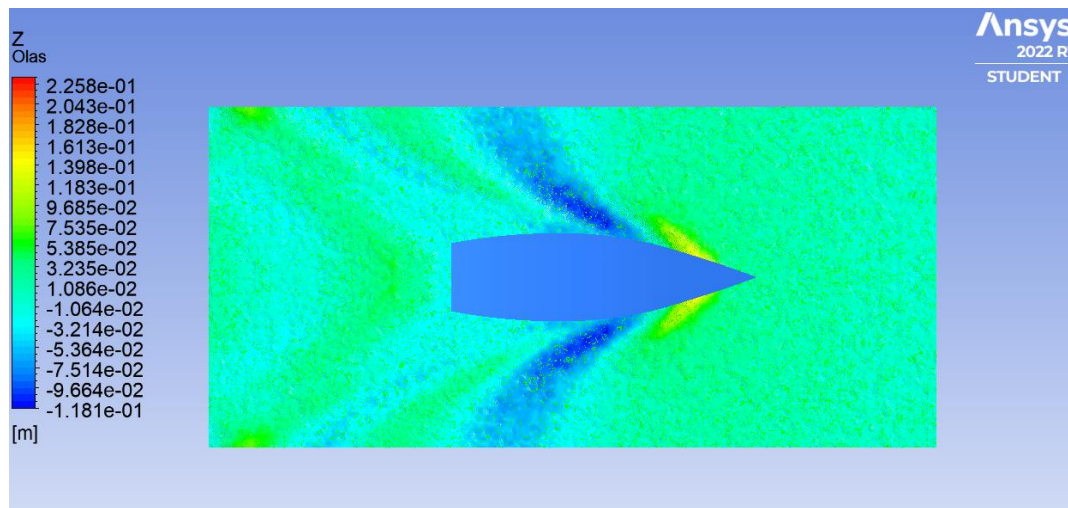
$F_{nh}$  = número de Froude basado en la profundidad

$V$  = velocidad de la embarcación  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$g$  = fuerza de gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

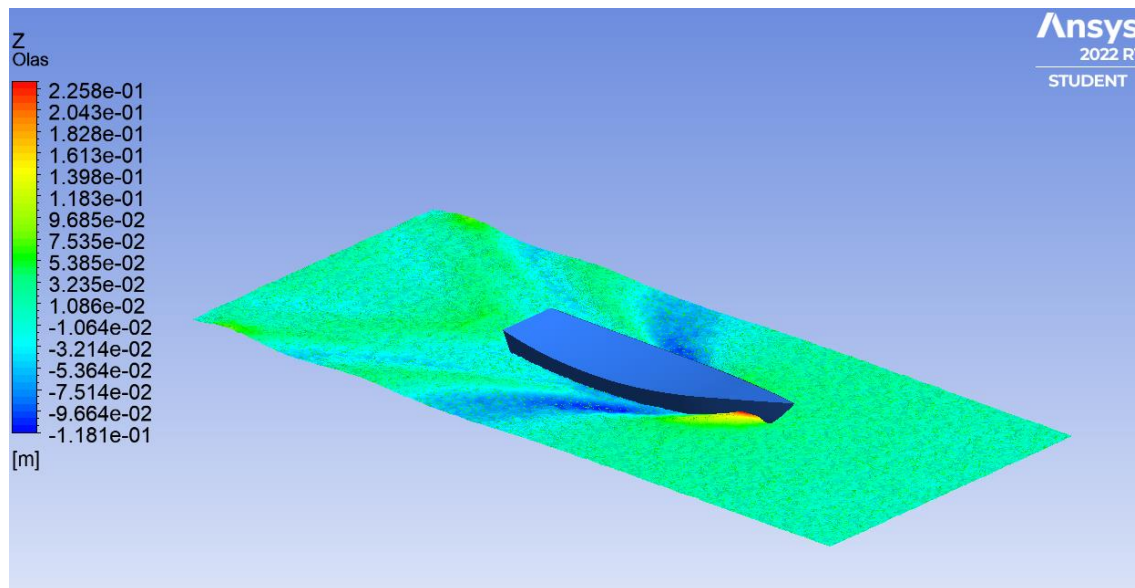
$h$  = profundidad del agua (m)

**Figura 31.**  
*Contorno de patrón de olas en plano XY.*



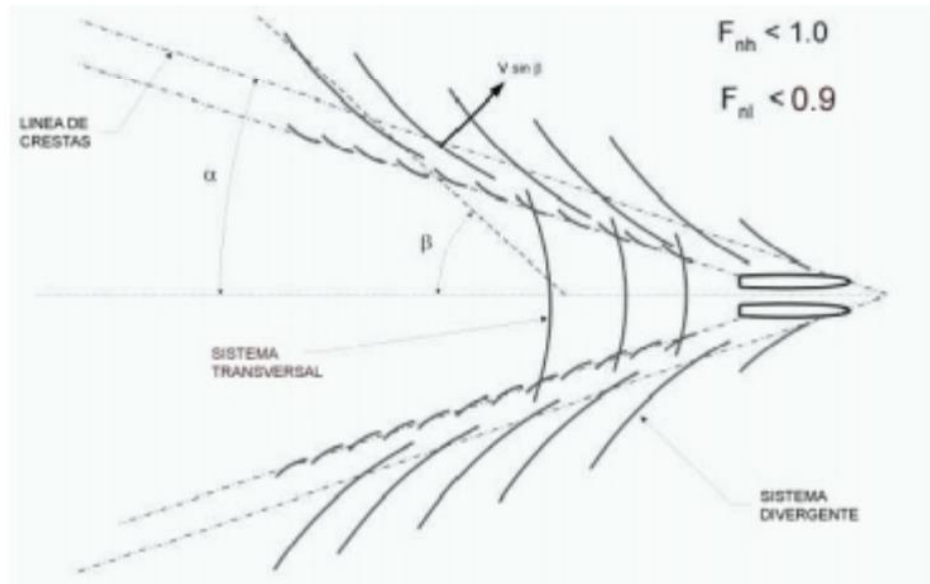
Nota: Ansys 2022 R1, student version.

**Figura 32.**  
*Contorno de patrón de olas, vista isométrica.*



Nota: Ansys 2022 R1, student version.

**Figura 33.**  
Patrón de olas de Kelvin.



Nota: Google imágenes.

### Cálculo de potencia requerida en la hélice con datos de simulación

Según (Guldhammer & Harvald, 1974) la potencia efectiva para una embarcación está dada por la siguiente ecuación:

$$P_E = R_T * V \quad (10)$$

Donde:

$P_E$  = potencia efectiva en la hélice (W)

$R_T$  = resistencia total de avance de la embarcación (N)

$V$  = velocidad de la embarcación  $\left(\frac{m}{s}\right)$

Considerando una resistencia total de avance de determinada de 390,85802 N y una velocidad de la embarcación de 2,58 m/s, la potencia efectiva en la hélice es de 1008,4 W.

#### **4.5 Sistema de propulsión**

El sistema de propulsión seleccionado para esta embarcación es de tipo eléctrico. Según los datos de la tabla 2 obtenidos de (FAO, 2004) para esta embarcación se recomienda un motor con una potencia que esté en el rango de 5 hp a 8 hp.

Para estimar la potencia y verificar si este rango de potencia es el adecuado se realizó un análisis hidrodinámico por CFD, en el cual se determinó la resistencia de avance y la potencia requerida en la hélice la cual resultó en 1008,4 W. Además, se realizó el método del manual de ahorro de combustible en pequeñas embarcaciones pesqueras de la FAO en el cual se considera la selección del motor de la forma más eficiente posible para ahorro de energía y combustible.

##### Estimación de potencia del motor, método del manual de la FAO

En ocasiones la selección del motor para una embarcación pesquera no se realiza adecuadamente. La selección de un motor se basa a menudo en razones absurdas. La velocidad del motor confiere una cierta posición social y, a la hora de cambiar el motor, la mayoría de los pescadores prefieren instalar un motor más grande en sus embarcaciones y navegar un poco más rápido que los demás. Existe una clara tendencia a incrementar la potencia de los motores de las embarcaciones pesqueras. Los motores que se usan en la actualidad son mucho más grandes que los usados cuando empezó la motorización. El gasto originado por unos motores más grandes puede justificarse por un incremento en el precio del pescado y un combustible más barato (FAO, 2015).

Para esta embarcación se seleccionó un motor tipo fuera de borda. Los motores fuera de borda son usados en pequeñas embarcaciones de pesca artesanal, con potencias reducidas y normalmente poco espacio disponible a bordo (IDAE, 2009).

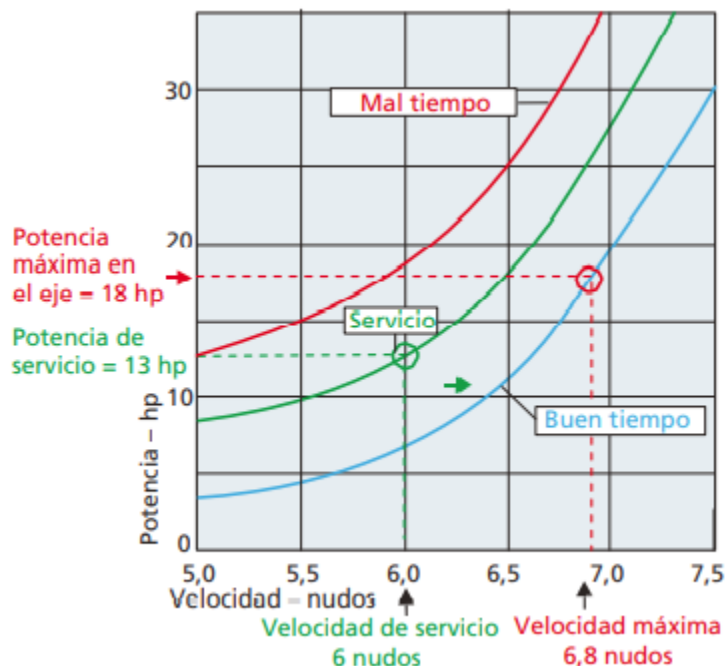
Según FAO (2015) la potencia del motor de una embarcación que opera a la velocidad en desplazamiento depende de muchos factores:

- Eslora en la flotación, la cual es la longitud del buque medida en la línea de flotación.
- Peso de la embarcación con desplazamiento en servicio a plena carga: el desplazamiento en servicio es el peso de la embarcación con una carga media, normalmente una bodega de pescado medio llena, expresado en toneladas.
- Condiciones atmosféricas: en condiciones de mar en calma y sin viento será necesario utilizar menos potencia que en mar encrespada y fuertes vientos. El motor de la embarcación debe ser lo suficientemente potente para permitir el gobierno y poder avanzar a una velocidad reducida con mar encrespada.
- Condiciones de servicio: la condición atmosférica promedio se da entre la de mar en calma y la de mar encrespada. Además, es posible que existan algunas incrustaciones en el casco bajo agua. La embarcación debería poder mantener la velocidad de servicio en condiciones atmosféricas promedio.

La figura 35 muestra un ejemplo de la potencia necesaria del motor en distintas condiciones atmosféricas, buen tiempo, mal tiempo y condición de servicio la cual es una condición promedio entre buen y mal tiempo. La potencia necesaria para lograr una velocidad determinada cambia según las condiciones atmosféricas.

**Figura 34.**

*Gráfico de potencia del motor vs velocidad de la embarcación.*



Nota: FAO

Margen de potencia declarada del motor: la potencia declarada del motor se indica en el folleto informativo del motor. La potencia declarada debería ser para un funcionamiento continuo, ya que es la potencia que puede producir el motor durante muchos días sin sufrir una sobrecarga. En los trópicos, donde existe un nivel alto de temperatura y humedad, el motor producirá aproximadamente un 6 % menos de potencia que la indicada. A fin de impedir la sobrecarga del motor, es necesario disponer de un margen de potencia que sea superior a la potencia de servicio. Dicho margen de potencia se estima en un 40 % de la potencia de servicio (FAO, 2015).

En la tabla 4 se muestran los valores de la potencia de servicio recomendada y la potencia máxima del motor para varias esloras en la flotación y desplazamientos en servicio.

La eslora en la flotación de la embarcación de este proyecto se determinó en la sección 4.4, se obtuvo una eslora en flotación de 5,7 m.

Tabla 4. Potencia de servicio recomendada y la potencia máxima del motor para varias esloras en la flotación y desplazamientos en servicio (a media carga).

| Eslora en la flotación $L_{wl}$ |      | Desplazamiento en servicio | Potencia de servicio | Potencia declarada continua en el eje | Velocidad de servicio | Velocidad máxima |
|---------------------------------|------|----------------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------|
| m                               | ft   | t                          | hp                   | hp                                    | nudos                 | nudos            |
| 5                               | 16,4 | 0,5                        | 2                    | 3                                     | 4,7                   | 5,4              |
|                                 |      | 1,0                        | 2,5                  | 4                                     |                       |                  |
|                                 |      | 1,5                        | 3                    | 5                                     |                       |                  |
| 6                               | 19,5 | 1                          | 3                    | 5                                     | 5,1                   | 5,9              |
|                                 |      | 2                          | 5                    | 7                                     |                       |                  |
|                                 |      | 3                          | 6                    | 8                                     |                       |                  |
| 7                               | 23   | 2                          | 6                    | 8                                     | 5,6                   | 6,3              |
|                                 |      | 3                          | 7                    | 10                                    |                       |                  |
|                                 |      | 4                          | 8,5                  | 12                                    |                       |                  |
|                                 |      | 5                          | 10                   | 14                                    |                       |                  |
| 8                               | 26   | 3                          | 9                    | 13                                    | 6,0                   | 6,8              |
|                                 |      | 4                          | 10                   | 14                                    |                       |                  |
|                                 |      | 5                          | 13                   | 18                                    |                       |                  |
|                                 |      | 6                          | 15                   | 21                                    |                       |                  |
| 9                               | 30   | 4                          | 13                   | 18                                    | 6,3                   | 7,2              |
|                                 |      | 6                          | 16                   | 22                                    |                       |                  |
|                                 |      | 8                          | 18                   | 25                                    |                       |                  |
|                                 |      | 10                         | 21                   | 29                                    |                       |                  |
| 10                              | 33   | 6                          | 18                   | 25                                    | 6,6                   | 7,6              |
|                                 |      | 8                          | 21                   | 29                                    |                       |                  |
|                                 |      | 10                         | 24                   | 34                                    |                       |                  |
|                                 |      | 12                         | 27                   | 38                                    |                       |                  |
| 12                              | 39   | 10                         | 32                   | 45                                    | 7,3                   | 8,3              |
|                                 |      | 15                         | 40                   | 56                                    |                       |                  |
|                                 |      | 20                         | 47                   | 66                                    |                       |                  |
|                                 |      | 25                         | 56                   | 78                                    |                       |                  |
| 14                              | 46   | 15                         | 49                   | 69                                    | 7,9                   | 9,0              |
|                                 |      | 20                         | 59                   | 83                                    |                       |                  |
|                                 |      | 30                         | 75                   | 105                                   |                       |                  |
|                                 |      | 40                         | 91                   | 127                                   |                       |                  |
| 16                              | 52   | 20                         | 72                   | 101                                   | 8,4                   | 9,6              |
|                                 |      | 30                         | 92                   | 129                                   |                       |                  |
|                                 |      | 40                         | 107                  | 150                                   |                       |                  |
|                                 |      | 50                         | 124                  | 174                                   |                       |                  |

Nota: FAO.

Considerando una eslora en flotación de la embarcación de 5,7 m según la tabla 4, aproximando a una eslora en flotación de 6 m con un desplazamiento en servicio de 1 tonelada: la potencia de servicio es de 3 hp y la potencia declarada continua en el eje (potencia del motor) es de 5 hp, aplicando el margen de potencia declarada del motor.



Este valor está dentro del rango de potencia del motor recomendada en la tabla 2, por lo tanto, la potencia del motor de la embarcación es aproximadamente de 5 hp. Según la tabla 4 con un motor de 5 hp la embarcación tendrá una velocidad de servicio de 5,1 nudos y una velocidad máxima de 5,9 nudos.

#### Cálculo de hélice, método del manual de la FAO

La hélice se diseña con respecto a la potencia de servicio y la velocidad de servicio. Se supone que el rendimiento de la hélice es de un 50 % aproximadamente (FAO, 2015).

Selección de número de palas: La mayoría de las hélices utilizadas en embarcaciones pesqueras con una velocidad de servicio inferior a 10 nudos son de tres palas, ya que es la solución más económica. Una hélice de cuatro palas se usa cuando existe un problema de vibración en el casco causado por la hélice o cuando la embarcación se usa para la pesca de arrastre que provoca una elevada carga en la hélice, lo que podría causar cavitación (daños en la superficie de los extremos de las palas de la hélice) (FAO, 2015).

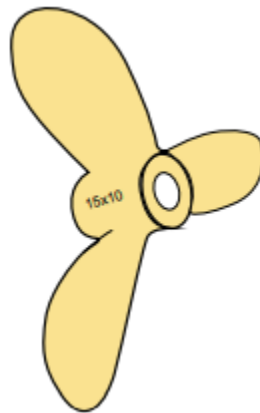
Selección de la relación del área de las palas: la relación del área de las palas es:

$$\frac{\text{Área de las palas vista tal como se muestra}}{\text{Área de un círculo con el mismo diámetro que la hélice}} \quad (11)$$

En el caso de embarcaciones pesqueras que no se usan para la pesca de arrastre, la relación del área de las palas está entre 0,30 y 0,50. Los arrastreros usan una relación del área de las palas a partir de 0,50 y, por consiguiente, evitan el problema de la cavitación (FAO, 2015). El diámetro y el paso de la hélice se presentan normalmente en pulgadas y estas medidas a menudo se troquelan en la hélice. En la figura 36 se muestra un ejemplo de una hélice de diámetro de la hélice = 15 in y paso de la hélice = 10 in.

**Figura 35.**

*Hélice con diámetro y paso troquelados.*



Nota: FAO

El cálculo de la hélice se realizó con un método expuesto en el manual de ahorro de combustible en pequeñas embarcaciones costeras de la FAO, el procedimiento se detalla en el anexo 4. Para el procedimiento de cálculos se utilizaron los datos determinados en las secciones anteriores, considerando una velocidad de servicio de 5,1 nudos, según datos de tabla 4.

Tabla 5. Resultados de cálculo de hélice.

|  |        |
|--|--------|
| Potencia de servicio en el eje (hp)          | 3      |
| Revoluciones del eje de la hélice (rpm)      | 1100   |
| Velocidad de servicio (nudos)                | 5,1    |
| Factor estela                                | 0,1    |
| Velocidad del agua en la hélice (nudos)      | 4,59   |
| Bp   | 42,21  |
| d  | 252    |
| Rendimiento de hélice (%)                    | 55     |
| Relación paso/diámetro                       | 0,67   |
| Diámetro de hélice determinado (in)          | 12     |
| Paso de hélice determinado (in)              | 9      |
| Potencia efectiva en el eje de la hélice (W) | 1230,4 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

En la tabla 6 se muestra una comparación del cálculo de la potencia efectiva en la hélice por simulación y por la teoría.

Tabla 6. Comparación de resultados de potencia efectiva en la hélice.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel.

| Potencia efectiva en la hélice (W) |  |
|------------------------------------|--|
| Cálculo por simulación             | Cálculo por método de manual de la FAO |
| 1008,4                             | 1230,4                                 |

### Selección del motor

Los motores eléctricos son capaces de alcanzar la misma potencia de propulsión que los de combustión con una potencia en el eje considerablemente menor ya que pueden propulsar las hélices con más eficiencia debido su excelente curva del par motor. Esta cualidad permite a los motores eléctricos accionar hélices de gran tamaño, eficaces y de paso largo de manera mucho más eficiente que los motores de combustión (Torquedo, 2022).

En un motor eléctrico, la eficiencia se define como la relación entre energía eléctrica que absorbe de las baterías, y la energía mecánica obtenida, mientras que para un motor a combustión se define como la relación entre la energía química contenida en el combustible, y la energía mecánica obtenida. Considerando lo anterior, se tiene que el rendimiento energético de los motores eléctricos es sumamente superior al existente en los motores a combustión. Mientras en los motores eléctricos la eficiencia tiene una media de 90%, alcanzando incluso el 95% según algunos fabricantes, para los motores a combustión la cifra no supera el 25% para motores de gasolina, ni el 30% para motores diésel (Montoya, 2020).

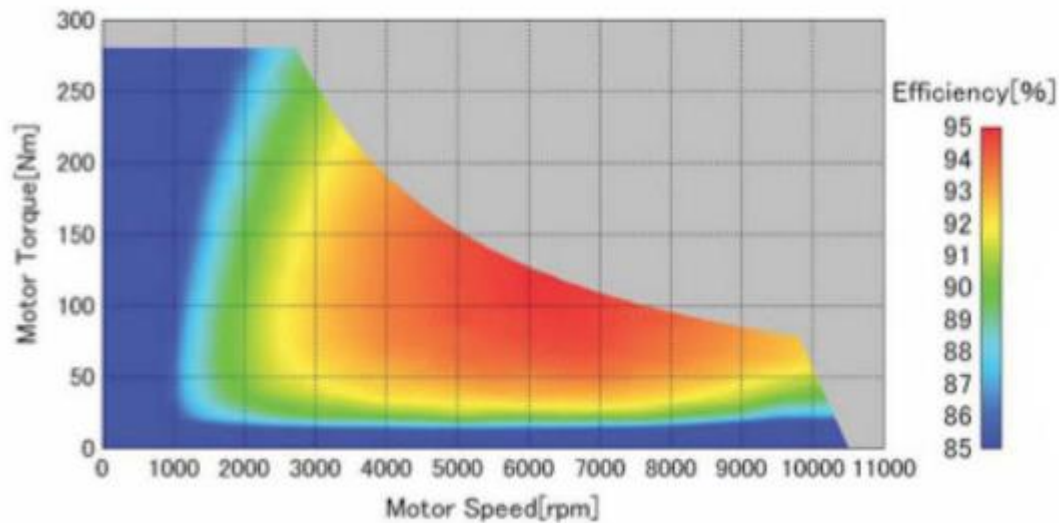
Mientras en los motores eléctricos las pérdidas se dan principalmente el efecto Joule presente en sus distintas piezas, en un motor a combustión las pérdidas son múltiples, por un

lado, se tiene que el calor producido por la misma combustión no se aprovecha de buena manera, y eso hay que sumarle que en este tipo de motor existen muchas más piezas móviles, cuyo roce produce una pérdida extra. Así, las pérdidas en el motor de combustión son mucho mayores, lo cual lo vuelve menos eficiente (Asociación Gremial de Vehículos Eléctricos de Chile, 2020).

En la figura 37 se muestra la curva característica del motor de un vehículo eléctrico Nissan Leaf, con la eficiencia que presenta en cada punto. Esta curva es utilizada como referencia para mostrar la eficiencia de un motor eléctrico.

**Figura 36.**

*Curva de eficiencia, motor eléctrico Nissan leaf.*



Nota: Asociación Gremial de Vehículos Eléctricos de Chile, 2020.

Se puede observar la alta eficiencia que posee un motor eléctrico sea cual sea el par motor y las revoluciones a las que este se encuentre, presentando en todo momento una eficiencia igual o superior al 85 %.

Según Torqueado (2022) un motor eléctrico con la calificación “equiparable a 6 CV” ofrece la misma potencia de propulsión que un motor de combustión de 6 CV, aunque su

potencia en el eje y potencia de entrada sean inferiores. Tal y como se observa en la figura 38 un motor eléctrico de 4 CV ofrece una potencia de propulsión equiparable a la que ofrece un motor de combustión de 6 CV.

**Figura 37.**

*Equiparación de potencias, motor eléctrico Torqeedo y motor de combustión.*



Nota: Torqeedo.

Tomando en cuenta los cálculos de la tabla 6 para esta embarcación se seleccionó un motor eléctrico fuera de borda Torqeedo con una potencia equiparable de 6 CV. Con  $1 \text{ CV} = 0,986 \text{ hp}$ :  $6 \text{ CV} = 5,916 \text{ hp}$ . En la tabla 7 se muestran sus especificaciones técnicas. Se observa que la potencia de propulsión es decir la potencia efectiva en la hélice para este motor es de 1530 W, un valor mayor al de los cálculos realizados, sin embargo, la selección de este motor se justifica tomando en cuenta que es recomendable que el motor trabaje a su máxima capacidad el menor tiempo posible, esto para que el gasto de energía sea lo menor posible. Se podrá obtener una velocidad de entre 5 nudos y 5,1 nudos con el motor trabajando a una menor capacidad, esto garantizará una duración mayor de la energía de la batería.

**Figura 38.**

Motor eléctrico fuera de borda marca *Torqueedo*, modelo *Cruise 3.0 T*.



Nota: Torqueedo.

Tabla 7. Especificaciones técnicas del motor eléctrico *Torqueedo Cruise 3.0 T*.

|  |   |
|--|---|
| Potencia de entrada (W)  | 3000  |
| Potencia de propulsión (W)   | 1530  |
| Fuerabordas de gasolina comparables<br>(potencia de propulsión (CV)) | 6   |
| Fuerabordas de gasolina comparables<br>(empuje (CV))                 | 8   |
| Máxima eficiencia global (%)   | 51  |
| Empuje estático en (lbs)*  | 142   |
| Voltaje nominal (V)  | 24  |
| Peso Total (kg)  | 20.2  |
| Longitud del eje (cm)  | 75.5  |
| Hélice estándar  | B 12 x 10,5 WDR   |
| Velocidad máxima de la hélice a<br>plena carga (rpm)                 | 1100  |
| Mando  | Mando popero /Palanca de<br>acelerador                                      |
| Dirección  | 360° bloqueable<br>Manualmente con<br>protección contra el<br>encallamiento |
| Dispositivo basculante   | Manualmente con<br>protección contra el<br>encallamiento                    |
| Dispositivo de ajuste<br>Avance/retroceso continuo                   | Manual, 4-pasos<br>Si   |

Nota: Torqueedo.

### Elementos del sistema de propulsión eléctrico

Mejorar la eficiencia de los trenes motrices de los barcos es crucial para fabricar barcos con propulsión eléctrica, tecnología factible. Cuando se diseña un barco de combustión allí no hay tantas limitaciones de energía como en un bote con motor eléctrico. Por lo tanto, las predicciones de requisitos de potencia consideran altas ineficiencias en algunas etapas del sistema, lo que resulta en poder sobre el dimensionamiento. Así, existen oportunidades para lograr diseños más eficientes, considerando la reducción de los requerimientos energéticos, sin resultar en pérdidas considerables en el rendimiento del barco (Gomez & Mejía, 2020).

Una de las mejores maneras de aprovechar la energía del sol es convertir la luz solar en energía eléctrica y utilizarla para otras tareas o almacenarla en baterías para que pueda ser utilizada en el momento del requerimiento. La energía de la luz del sol se convierte en energía eléctrica usando un dispositivo llamado células fotovoltaicas (PV). Estas células fotovoltaicas están formadas por varios semiconductores principalmente germanio (Ge), arsénico (As), Galio (Ga), Cadmio (Cd), etc. Cuando las células fotovoltaicas están expuestas a la luz solar se crean cargas a partir de electrones libres y agujeros que son carga negativa y positiva, por lo que se desarrolla una diferencia de potencial y cuando el circuito eléctrico está conectado a esta diferencia de potencial, la corriente eléctrica fluye a través del circuito (Akhilesh Kumar Dewangan, 2018).

La embarcación de este proyecto utiliza la energía solar como una fuente de energía renovable que aportará energía al sistema de propulsión del barco. Este sistema de propulsión eléctrica incluye paneles solares, controlador de carga solar, banco de baterías con sistema de gestión de la batería, cargador de baterías, cables conectores entre elementos y motor eléctrico fuera de borda el cual incluye: ordenador de a bordo que proporciona información

sobre los datos de rendimiento más importantes, sistema de transmisión y la hélice.

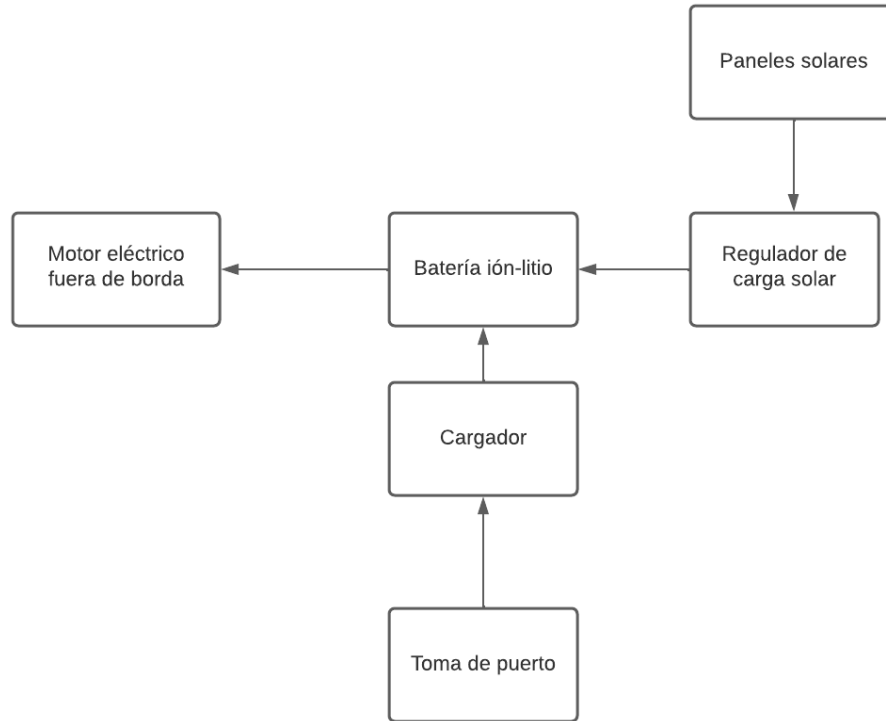
Los paneles solares se utilizan para absorber la energía solar y convertirla en energía eléctrica. La energía eléctrica se almacena en el banco de baterías que se utiliza para proporcionar energía a todas las partes eléctricas de la embarcación. El controlador de carga solar dispone de MPPT integrado que maximiza el rendimiento energético de los paneles solares durante la carga a las baterías. La batería incluye un sistema de gestión de batería con protección integrada contra sobrecarga, cortocircuito, descarga profunda, inversión de polaridad, sobrecalentamiento e inmersión. El cargador de batería suministra energía a las baterías en los puntos de carga existentes en el puerto. La pantalla del ordenador a bordo del motor fuera de borda proporciona información sobre los datos de rendimiento más importantes. El control electrónico de potencia del motor se encarga de controlar la potencia de entrada del motor de acuerdo con la velocidad requerida del motor. El motor se utiliza para convertir la potencia eléctrica en potencia mecánica. El sistema de transmisión es el medio entre el motor y la hélice. El sistema de transmisión se utiliza para transmitir la potencia mecánica del motor a la hélice.

En la figura 40 se muestra un diagrama de bloques del sistema de propulsión eléctrico de la embarcación.



**Figura 39.**

*Diagrama de bloques del sistema de propulsión eléctrico.*



Nota: Elaboración propia.

### Paneles solares

De todas las fuentes energéticas, la energía solar es el recurso explotable más grande. Las estimaciones indican que la energía solar provee más energía a la tierra en una hora que todas las otras fuentes energéticas usadas por el ser humano durante todo un año (Lewis, 2006). El área disponible para los paneles solares de la embarcación será de aproximadamente 7,7 m<sup>2</sup>. Se seleccionó un panel solar del fabricante Solbian de tipo flexible con una potencia de 130 W.

Las placas solares flexibles es un nuevo tipo de módulo solar que se caracteriza principalmente por la falta de marco de aluminio y del cristal en comparación con los clásicos

paneles fotovoltaicos. Permiten un grado de flexibilidad con lo cual son muy usados en las cubiertas curvadas de barcos y caravanas donde es muy complicado usar otro tipo de panel (Damia Solar, 2015).

Según Damia Solar (2015) entre las ventajas de los paneles solares flexibles están: tienen un peso mucho menor que los paneles convencionales, gracias a su superficie plástica, se pueden flexionar para adaptarse a los tejados de autocaravanas o de viviendas de formas curvadas, tienen facilidad de montaje no es necesario poner tornillos, dado su bajo peso se puede fijar en la cubierta mediante un adhesivo fuerte, con lo cual no hace falta agujerear la carcasa de la caravana o del barco y estos paneles están totalmente impermeabilizados incluso contra la salada agua del mar.

El hecho de que estos paneles se puedan adaptar a superficies curvadas otorga la posibilidad de realizar un diseño curvado de la estructura del techo de la embarcación lo que aumentaría el área para producción de energía solar.

Según AutoSolar (2022) el panel solar flexible es un panel que puede ser utilizado en campings, caravanas o barcos y cuenta con una eficiencia de más del 20,40 %.

Según Planas (2021) se define la eficiencia de los paneles fotovoltaicos como la proporción de la cantidad de energía solar que se convierte en energía eléctrica a través de la energía fotovoltaica. Actualmente, la eficiencia promedio de conversión de paneles fotovoltaicos se sitúa entre un 16 % -17 %. Los paneles solares con valores superiores al 19% se consideran paneles de alta eficiencia.

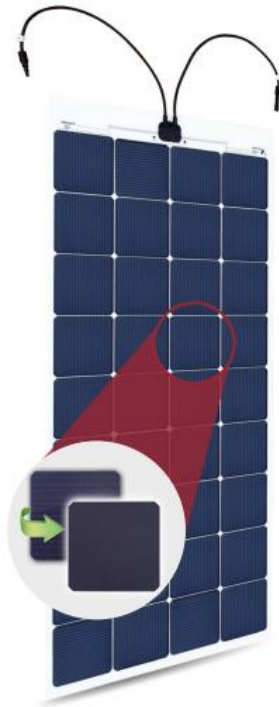
Según el Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional, (2013) el promedio anual de luz solar para toda la Región del Pacífico es de aproximadamente 5,6 horas al día. Considerando este dato y tomando en cuenta el área disponible y las dimensiones del panel solar, se dispondrá de un total de 8 paneles solares de este tipo. El área

disponible del techo incluso tiene capacidad para 10 paneles, sin embarco se dejó libre el área restante para cumplir con lo siguiente: según MOPT (2021) para las embarcaciones en caso de contar con toldilla o techo, deberá estar rotulado con la matrícula y la bandera de Costa Rica (para vista aérea). La potencia diaria producto de la energía solar con 130 W producidos por cada panel estaría dada de la siguiente forma:

$$\text{Potencia diaria por energía solar} = 130 \text{ W} * 8 * 5,6 \text{ h} = 5824 \text{ Wh} \quad (12)$$

En la figura 41 se muestra el panel solar seleccionado y en la tabla 8 sus especificaciones técnicas.

**Figura 40.**  
*Panel Solar Flexible 130 W.*



Nota: SOLBIAN, 2022.

Tabla 8. Especificaciones técnicas panel solar.

|                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| Potencia del Panel Solar (W)         | 130                           |
| Tipo de Célula del Panel Solar       | Monocristalino                |
| Rigidez del Panel Solar              | Flexible                      |
| Dimensiones del Panel Solar (mm)     | 754 x 1016 x 2                |
| Tensión Máxima Potencia (V)          | 15,1                          |
| Corriente en Cortocircuito ISC (A)   | 9,2                           |
| Amperios Máximos de Salida IMP (A)   | 8,6                           |
| Tensión en Circuito Abierto (V)      | 17,7                          |
| Eficiencia (%)                       | 23                            |
| Peso del Panel Solar (kg)            | 1,8                           |
| STC (Condiciones de prueba estándar) | 1000 W/m <sup>2</sup> , 25 °C |

Nota: AutoSolar.

### Batería

Las baterías a base de litio son actualmente la mejor opción para generar la energía necesaria para los motores eléctricos: almacenan mucha mayor cantidad de energía que las otras baterías, pueden trabajar con corrientes elevadas (una ventaja muy decisiva para los motores eléctricos), no pierden capacidad y proporcionan energía eléctrica de forma fiable (Torquedo, 2022).

En la tabla 9 se muestran las principales especificaciones técnicas del tipo de batería seleccionado para el sistema de almacenamiento de energía de la embarcación. La figura 42 muestra la batería seleccionada.

Tabla 9. Especificaciones técnicas de batería de litio *Power 24-3500*.

|  |   |
|--|---|
| <b>Características generales</b>                             |   |
| Capacidad (Wh)   | 3507  |
| Tensión nominal (V)  | 25,2  |
| Carga nominal (Ah)   | 139,2   |
| Régimen de descarga máxima (A)                               | 180   |
| Régimen de descarga máxima a la tensión nominal (W)          | 4660  |
| Peso (kg)  | 25,3  |
| Dimensiones: longitud x altura x anchura (mm)                | 577,5 x 218,5 x 253,5   |
| Volumen (L)  | 32  |
| Composición química  | Li NMC  |
| <b>Características de vida útil</b>                          |   |
| Ciclos de vida útil de la batería                            | 800 ciclos para una profundidad de descarga del 100% a 25 °C            |
| Pérdida de capacidad de carga anual                          | Por envejecimiento de aprox. el 4 % a una temperatura ambiente de 25 °C |
| <b>Consignas de manipulación</b>                             |   |
| Período normal de almacenamiento en estado de carga del 50 % | 1 año   |
| Grado de protección  | IP67  |

Fuente: Torqeedo.

**Figura 41.**

*Batería de litio Power 24-3500.*



Nota: Torqeedo.

La duración de la batería es la relación entre la capacidad de la batería y la potencia necesaria para alimentar el motor.

$$\text{Duración de batería} = \frac{\text{Capacidad batería}}{\text{Potencia entrada motor}} = \frac{3507 \text{ Wh}}{3000 \text{ W}} = 1,17 \text{ h} \quad (13)$$

Según (Torquedo, 2022) la batería tiene una duración de 1,17 horas con el motor trabajando a toda máquina. A velocidades más reducidas y controladas la batería incluso puede durar un día completo.

Según (Gómez & Piedra, 2019) en un análisis de datos de tiempos promedios de la faena de pesca, el promedio de uso de un motor de una embarcación pequeña es de 20,1 horas en cada salida con 3,75 salidas por semana. Considerando los 5824 Wh diarios producidos por la energía solar, mediante esta energía se puede recargar la batería por 1,7 ocasiones aproximadamente, con el motor trabajando a toda máquina. Tomando en cuenta que difícilmente el motor estará trabajando a toda máquina durante un lapso tan prolongado y que a velocidades controladas y reducidas la batería con una sola carga puede durar incluso un día completo lo que aproximadamente dura una faena de pesca, para este diseño se contará únicamente con una batería de litio.

#### Regulador de carga solar

Este regulador permite recargar de forma segura la batería de litio *Power 24-3500* con energía de solar proveniente de paneles solares. Incorpora la tecnología MPPT que optimiza el rendimiento de los paneles solares en cada recarga.

**Figura 42.**

*Regulador de carga solar Power24-3500.*



Nota: Torqueado.

Tabla 10. Especificaciones técnicas del regulador de carga solar.

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Corriente nominal del panel (A)                                | 8                           |
| Voltaje mínimo del panel para cargar (V)                       | 7                           |
| Voltaje mínimo de la batería para la operación (V)             | 21                          |
| Voltaje de circuito abierto del panel máximo absoluto, Voc (V) | 31 V en STC; 28,5 V en NOCT |
| Voltaje nominal de la batería (V)                              | 25,9                        |
| Potencia máxima recomendada del panel, panel de 8 A (W)        | 210                         |
| Eficiencia eléctrica (%)                                       | 96-98                       |
| Peso (g)   | 490                         |
| Dimensiones (mm)   | 180 x 82 x 56               |
| Largo de cable (m)   | 1                           |

Nota: Torqueado.

### Interruptor y cargador para batería

En la figura 44 se muestra el interruptor de encendido y apagado para la batería de litio. El cargador se utiliza para suministrar energía a la batería en un punto de recarga en el puerto. Este tipo de cargador es de carga rápida, con capacidad de cargar la batería completamente en menos de 2,5 horas con un voltaje de 230 V y menos de 5 horas con un voltaje de 110 V. En la figura 45 se muestra el cargador y en la tabla 11 sus especificaciones

técnicas.

**Figura 43.**

*Interruptor para batería de litio.*



Nota: Torqeedo.

**Figura 44.**

*Cargador para batería de litio.*



Nota: Torqeedo.



Tabla 11. Especificaciones técnicas de cargador de batería de litio.

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Voltaje de entrada CA (V)                   | 100- 240 a 50 Hz - 60 Hz |
| Potencia máxima de entrada (W)              | 1700                     |
| Corriente de entrada de CA (A)              | 15 máx.                  |
| Corriente de salida (A)                     | 60 máx.                  |
| Voltaje de salida CC (V)                    | 29,05                    |
| Eficiencia                                  | mayor 90 % a 230 V       |
| Clase de protección IP                      | IP65                     |
| Rango de temperatura de funcionamiento (°C) | 0 a 45                   |
| Dimensiones (mm)                            | 316 x 220 x 94,2         |
| Peso (kg)                                   | 6,2                      |

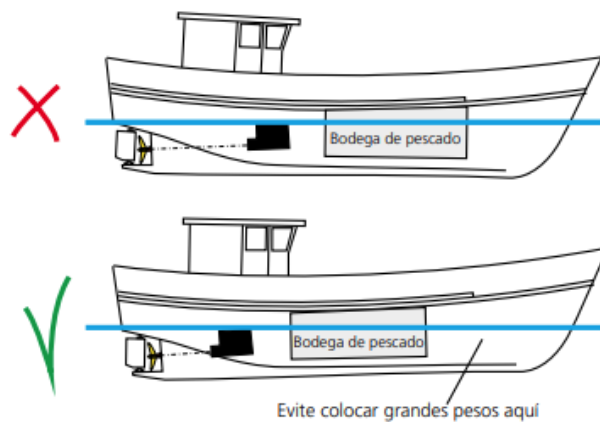
Nota: Torqueado.

#### 4.6 Disposición de espacios en la embarcación

En este apartado se definen de forma representativa los espacios dispuestos a cada elemento en la embarcación. Tal y como menciona (FAO, 2015) si la bodega de pescado se ubica a proa, la embarcación adoptará un asiento de proa que producirá un incremento en la resistencia y podrá ser peligroso con mal tiempo, debido a la dificultad en el gobierno y un bajo francobordo de proa. Es recomendable evitar colocar grandes pesos cerca de la proa.

**Figura 45.**

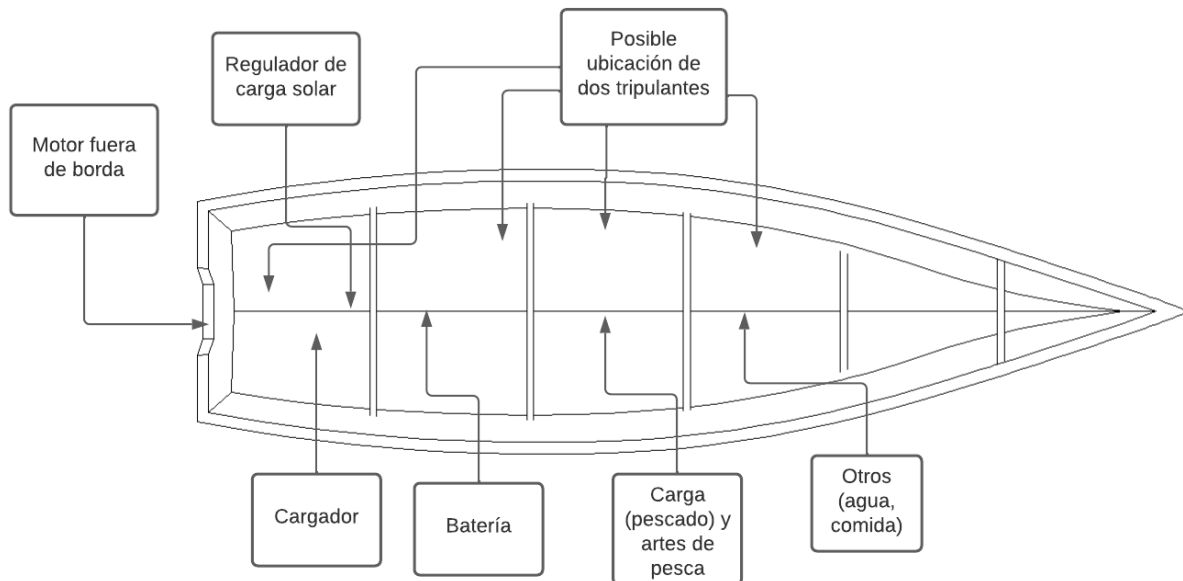
*Disposición de pesos de una embarcación.*



Fuente: FAO, 2015.

En la figura 47 se muestra de forma representativa la distribución de cada elemento en la embarcación, estos son el motor fuera de borda, la batería, cargador, regulador de carga solar, carga de pescado, artes de pesca para realizar el trabajo, agua potable para consumo, comida, además tomando en cuenta dos personas en la embarcación. La posible ubicación de los tripulantes son las zonas donde idealmente se pueden ubicar las dos personas a bordo.

**Figura 46.**  
*Distribución de espacios en la embarcación.*



Nota: Elaboración propia.

#### 4.7 Techo de la embarcación

El techo que cubre la embarcación además de proteger a la tripulación del sol y la lluvia tiene la función de ser utilizado como estructura para colocar los paneles solares. Considerando que la embarcación de este proyecto es una embarcación pequeña destinada a pesca artesanal es importante optimizar la selección de todos los elementos en función de su peso para que la capacidad de carga de pescado no se vea tan reducida. Se consultaron varios

diseños y tipos de estructura, siendo la más funcional y práctica una estructura como la que se aprecia en la figura 48. La estructura de la armadura se muestra en la figura 49, los planos correspondientes se muestran en el anexo 5. La parte superior de dicha estructura estaría cubierta de una lona en la cual se ubicarían los paneles solares flexibles, en la figura 50 se visualiza la estructura de la armadura con la lona colocada.

**Figura 47.**

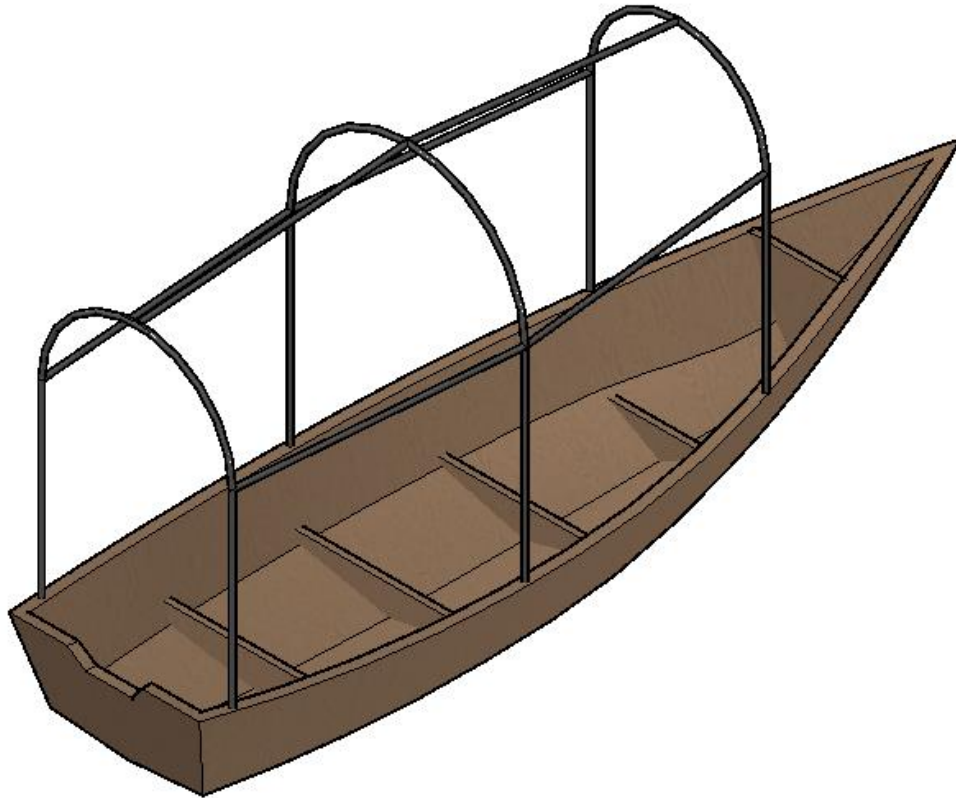
*Diseño de techo de lona con paneles solares.*



Fuente: SOLBIAN, 2022.

**Figura 48.**

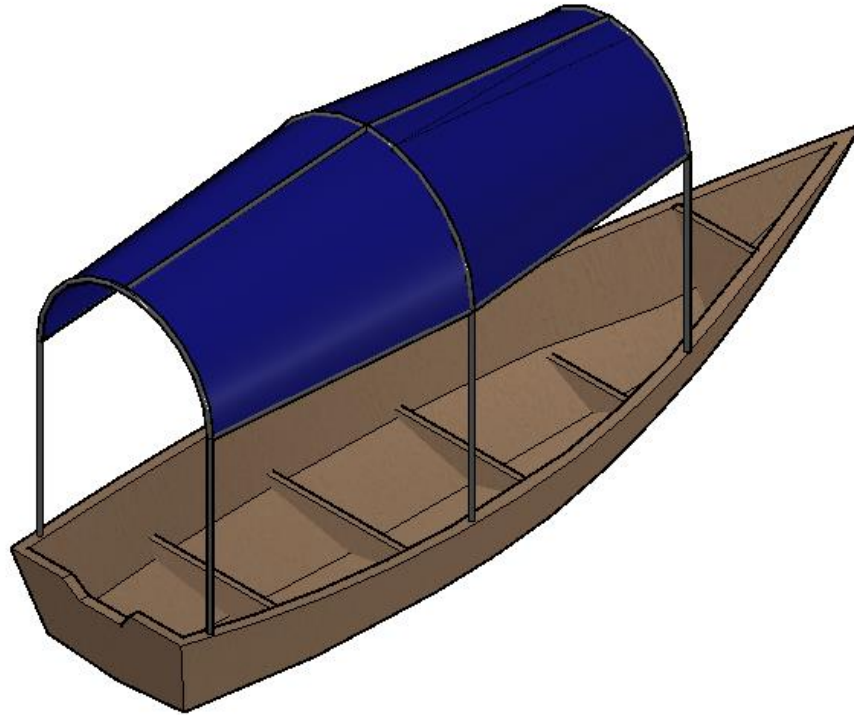
*Armadura de techo de la embarcación.*



Nota: Autodesk AutoCAD, 2021.

**Figura 49.**

*Armadura de techo con lona de la embarcación.*



Fuente: Autodesk AutoCAD 2021

Para la armadura del techo se seleccionó tubo estructural de aluminio de 25 mm de diámetro y 2 mm de espesor. Para sujetar toda la estructura del techo en la embarcación se seleccionaron terminales de acero inoxidable para tubo de 25 mm de diámetro, en la figura 51 se muestra una terminal de este tipo.

**Figura 50.**

*Terminal de acero inoxidable para tubo.*



Nota: DHNAUTICA, 2022.

#### **4.8 Peso, flotabilidad y estabilidad de la embarcación**

##### Peso

El peso estimado en vacío de la embarcación según los datos de la tabla 2 es de 490 kg. La carga máxima que puede soportar esta embarcación es de 350 kg. En la tabla 12 se muestra una estimación de todos los pesos. Se puede observar que el peso máximo dispuesto para carga de pescado es de 93,3 kg. En una entrevista a un pescador experimentado que labora en la empresa Sail Cargo, se le consultó sobre la carga de pescado o producto que ellos suelen capturar en una faena, él mencionó que es muy variado y depende de la época, podía capturar desde 25 kg hasta 100 kg, esto para una embarcación pequeña como la de este pescador que tiene aproximadamente 5 m de eslora, por lo que el dato de capacidad de pescado de la embarcación de este proyecto se encuentra dentro de los parámetros reales de embarcaciones pequeñas. También, es importante señalar que algunos pescadores de embarcaciones pequeñas suelen trabajar de manera solitaria, si se asume de esta forma la

capacidad de pescado aumentaría a 173,3 kg.

Consideraciones para cálculo de pesos:

- Se asumen cargas y pesos para una faena de un día completo de pesca.
- Pesos de elementos según sus especificaciones de la sección 4.5.
- Diseño de embarcación para dos personas con un peso promedio de 80 kg cada una, tomando en cuenta la guía de cálculo de pesos de (FAO, 2015).
- Se estima un consumo de agua dulce de 4 litros por día por persona.
- Se estiman por día el consumo de 5 comidas por persona de 500 g de promedio de peso por cada ración.
- Para la estructura del techo se consideran las dimensiones del plano de armadura del anexo 5 y un peso de 0,390 kg/m según (F.Marques da Silva SA, 2017).
- Para la lona se considera un peso de 500 g /m<sup>2</sup> tomado de (Covermatic, 2022).

Tabla 12. Pesos de la embarcación.

| Rubro   | Peso (kg) |
|---|-----------|
| Embarcación   | 490       |
| Estructura de techo                                   | 8,04      |
| Lona de techo   | 5,5       |
| Dos tripulantes                                       | 160       |
| Motor fuera de borda                                  | 20,2      |
| Batería   | 25,3      |
| Cargador de batería                                   | 6,2       |
| Regulador de carga solar                              | 0,5       |
| Paneles solares                                       | 18        |
| Agua dulce para consumo de dos personas para 24 horas | 8         |
| Comida para dos personas para 24 horas                | 5         |
| Carga de pescado                                      | 93,3      |
| Total   | 840       |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Flotabilidad y estabilidad

Un fluido ejerce una fuerza hacia arriba sobre un cuerpo sumergido en él. Esta fuerza que tiende a levantar el cuerpo se llama fuerza de flotación. La fuerza de flotación se debe al aumento de la presión en un fluido con profundidad (Cengel & Cimbala, 2018). Según el principio de Arquímedes la fuerza de flotación que actúa sobre un cuerpo sumergido en un fluido es igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo y actúa hacia arriba pasando por el centroide del volumen desplazado. Según (Cengel & Cimbala, 2018) La fuerza boyante se determina con la siguiente ecuación:

$$F_B = \rho_f * g * V_{sum} = W \quad (14)$$

Donde:

$F_B =$  Fuerza de flotación (N)

$\rho_f =$  densidad del fluido donde se sumerge el cuerpo  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$g =$  Fuerza de gravedad  $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

$V_{sum} =$  Volumen del cuerpo que se encuentra sumergido en el fluido ( $m^3$ )

$W =$  Peso del cuerpo (N)

Considerando una masa total máxima de la embarcación de 840 kg, según la ecuación 14 la fuerza de flotación es igual al peso por lo que la fuerza de flotación para la embarcación es de 8240.4 N.

Para un cuerpo sumergido o flotante en equilibrio estático, el peso y la fuerza de flotación que actúan sobre él se equilibran entre sí y, de manera inherente, esos cuerpos son estables en la dirección vertical. Si un cuerpo flotante se asciende o desciende mediante una fuerza vertical, el cuerpo regresará a su posición original tan pronto como se elimine el efecto externo. Por lo tanto, un cuerpo flotante posee estabilidad vertical (Cengel & Cimbala, 2018).

El nivel de estabilidad que debe lograr un buque nuevo debe depender de su eslora,

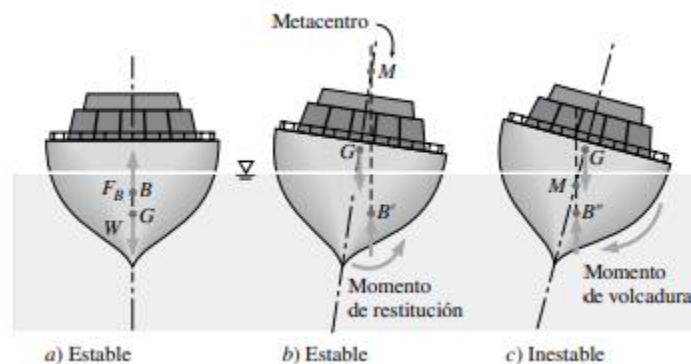


el número máximo de personas que se permite transportar, si se va a transportar carga y el área de operación (The Marine Safety Agency, 1997).

Para la estabilidad rotacional de los cuerpos flotantes, si el cuerpo tiene fondo pesado y, por lo tanto, el centro de gravedad  $G$ , está directamente abajo del centro de flotación  $B$ , el cuerpo siempre es estable. Sin embargo, un cuerpo flotante puede ser estable incluso si  $G$  está arriba de  $B$ , pero se producirá una perturbación rotacional. Según (Cengel & Cimbala, 2018) una medida de la estabilidad para los cuerpos flotantes es la altura metacéntrica  $GM$ , la cual es la distancia entre el centro de gravedad  $G$ , y el metacentro  $M$  (el punto de intersección de las líneas de acción de la fuerza de flotación antes y después de la rotación). El metacentro se puede considerar como un punto fijo para la mayor parte de las formas de los cascos, para ángulos pequeños de rotación, hasta de más o menos  $20^\circ$ . Los valores típicos de altura metacéntrica son de 0.3 a 0.7 m para cruceros, 0.9 a 1.5 m para veleros, 0.6 a 0.9 m para buques de carga, y 0.75 a 1.3 m para buques de guerra. Un cuerpo flotante es estable si el punto  $M$  está arriba del  $G$  y, por consiguiente,  $GM$  es positiva, e inestable si el punto  $M$  está debajo del  $G$  y, en consecuencia,  $GM$  es negativa.

**Figura 51.**

*Estabilidad de un barco según posición de  $G$  y  $B$ .*



Fuente: Cengel & Cimbala, 2018.

Según una norma inglesa para embarcaciones pequeñas: Un buque de menos de 15 metros de eslora que transporte carga, o una combinación de pasajeros y carga, que no pese más de 1000 kg y que no esté equipado con un dispositivo de elevación debe estar sujeto a una evaluación simplificada de estabilidad y no está obligado a ser provisto de un folleto de información de estabilidad aprobado. La autoridad certificadora debe evaluar y aceptar la estabilidad del buque (The Marine Safety Agency, 1997).

Parámetros para tomar en cuenta para cálculos de estabilidad según la norma (The Marine Safety Agency, 1997):

El peso del buque en rosca, el centro de gravedad vertical (KG) y el centro de gravedad longitudinal (LCG) de un buque monocasco deberían determinarse a partir de los resultados de un experimento de inclinación.

- El peso del buque en rosca debería incrementarse en un margen de crecimiento, que debería ser el 5 % del peso del buque en rosca colocado en el LCG del buque en rosca y el centro vertical de la cubierta de intemperie en el centro del buque o en el KG del buque en rosca, el que sea mayor. (El margen de peso ligero no debe utilizarse en la práctica para aumentar el peso muerto máximo de la carga).
- Se deben producir curvas de estabilidad estática (curvas GZ) para:
  - (a) Salida cargada, 100% consumibles;
  - (b) Llegada cargada, 10% de consumibles;
  - (c) Condiciones de servicio previstas; y
  - (d) Condiciones que involucran aparatos elevadores (cuando sea apropiado).

Además, se debe proporcionar información de estabilidad simplificada en forma de curva de KG máximo, incluido un ejemplo práctico para ilustrar su uso.

- Las curvas de estabilidad estática para las condiciones de carga deberían cumplir los siguientes criterios:

El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva GZ) no debería ser inferior a 0,055 metros radianes hasta un ángulo de eslora de  $30^\circ$  y no inferior a 0,09 metros - radianes hasta un ángulo de escora de  $40^\circ$  o el ángulo de inundación descendente si este ángulo es menor; y el área bajo la curva GZ entre los ángulos de escora de  $30^\circ$  y  $40^\circ$  o entre  $30^\circ$  y el ángulo de inundación descendente si éste es inferior a  $40^\circ$ , no debería ser inferior a 0,03 metro-radianes. El brazo adrizante (GZ) debería estar al menos a 0,20 metros con un ángulo de eslora igual o superior a  $30^\circ$ . El GZ máximo debería producirse con un ángulo de eslora no inferior a  $25^\circ$ . Después de corregir los efectos de la superficie libre, la altura metacéntrica inicial (GM) no debería ser inferior a 0,35 metros.

Para este proyecto no se realizó un estudio de estabilidad ya que la embarcación se basó en un diseño tomado de (FAO, 2004) y se asume que este tipo de diseños al ser expuestos por organizaciones reconocidas como la FAO ya tienen aprobación previa en cuanto a pruebas de estabilidad y flotabilidad.

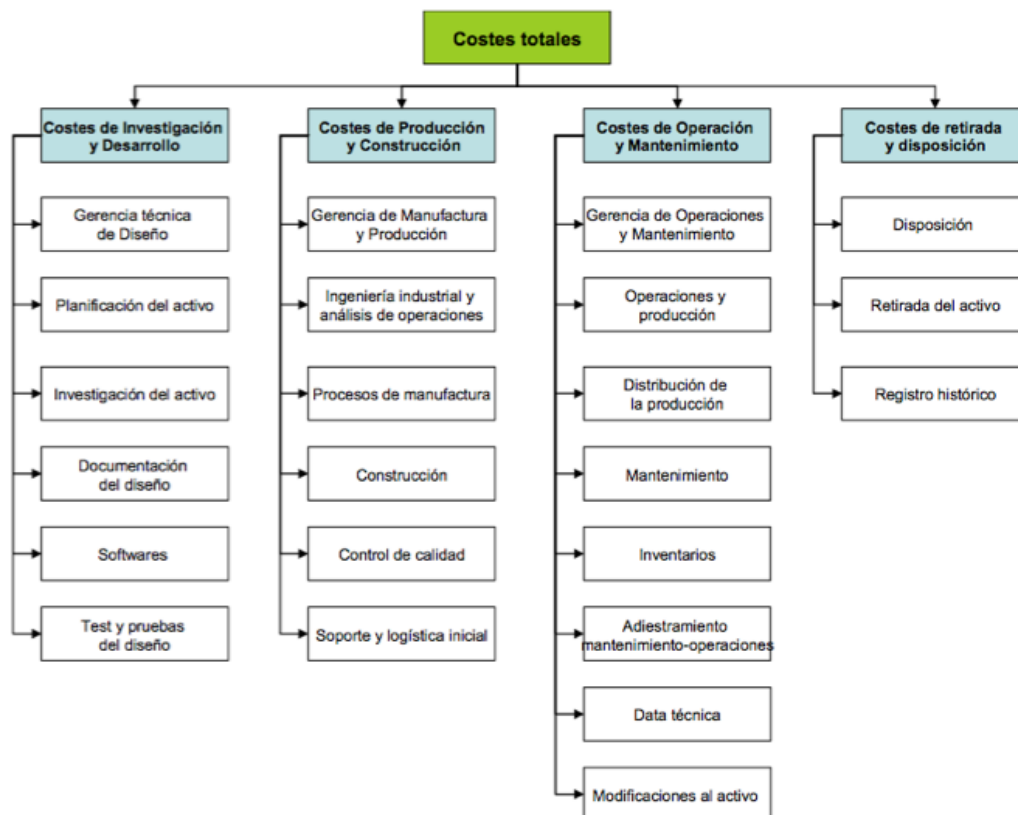
## 5. Capítulo V. Análisis de costo de ciclo de vida útil

El análisis de costo de ciclo de vida (ACCV) es una metodología desarrollada para evaluar como varían los costos de un activo en su ciclo de vida útil (Parra, 2021). (L. Alting, 1993) distingue 6 fases en el ciclo de vida de un activo: reconocimiento de la necesidad, desarrollo del diseño, producción, distribución, utilización y desincorporación.

El total de los costos se pueden descomponer en diferentes categorías tal y como se observa en la figura 53: costos de investigación y desarrollo inicial, costos de producción y construcción, costos de operación y mantenimiento y costos de retirada y disposición.

**Figura 52.**

*Desglose de costos.*



Fuente: Fabrycky & Blanchard, 1991.

En este proyecto se realizó el ACCV para comparar dos tipos de embarcación: barco de motor eléctrico de pesca artesanal contra un barco de motor de combustión de pesca artesanal. En el proceso de estimación de costos se puede llegar a dar la falta de precisión debido a que el proyecto está en fase de inicial de desarrollo y diseño conceptual.

Durante las fases iniciales de desarrollo y diseño conceptual, los datos disponibles son limitados y los análisis de costos dependen normalmente de modelos paramétricos, el nivel de precisión de los datos en esta etapa es entre el 20 y el 50% (Creese & Moore, 1990).

Woodhouse (1991) plantea que para poder diseñar un sistema productivo eficiente y competitivo en el ámbito industrial actual, es necesario evaluar y cuantificar de forma detallada el impacto económico del factor fiabilidad a lo largo del ciclo de vida de un activo industrial. La cuantificación del factor confiabilidad permite, en primer lugar, predecir la forma en que los procesos de producción pueden perder su continuidad operacional debido a eventos de fallos imprevistos (comportamiento de la frecuencia de fallos); y, en segundo lugar, analizar y evaluar el impacto económico (costos) que ocasionan los fallos a la seguridad, el ambiente, las operaciones y la producción. El análisis se realizó para un periodo de 5 años y para un periodo de 10 años tomando en cuenta la vida útil y garantía de los distintos elementos de los tipos de la embarcación.

## **5.1 Costos de inversión inicial**

### Costos de inversión inicial embarcación con motor eléctrico

Entre los costos de inversión inicial del proyecto están: diseño, materiales, mano de obra para construcción, motor eléctrico fuera de borda, batería, cargador de batería, regulador de carga solar, paneles solares, inspección, certificado de navegación y seguro.

Para los materiales para el casco se tomó en cuenta el documento de (FAO, 2004), en el cual se detallan los materiales necesarios para construir una embarcación como la que se

muestra en los planos del anexo 2, los cuales fueron la base para el diseño de este proyecto. Los costos relacionados a esta etapa están vinculados con las fases iniciales de desarrollo del sistema (visualización del proyecto, ingeniería básica, conceptual y de detalles). Además, los costos asociados con: actividades de manufactura (fabricación, ensamble y pruebas), facilidades de producción, operaciones de producción, control de calidad y costos iniciales de soporte y logística (repuestos para el proceso de manufactura, pruebas y equipos de soporte de producción) (Parra, 2021).

En primera instancia se realizó la lista de materiales necesarios para la construcción del casco de la embarcación. Los materiales se muestran en la tabla 13, datos recopilados de (FAO, 2004).

Tabla 13. Materiales para la construcción del casco.

| <b>Madera Tipo A Roble</b>  |           |
|---|-----------|
| Dimensiones (mm)  | Largo (m) |
| 25 x 150  | 9         |
| 38 x 150  | 39        |
| 38 x 200  | 18        |
| 50 x 150  | 22        |
| 75 x 150  | 4         |
| 100 x 250   | 1,4       |
| Total, en m <sup>3</sup>  | 0,65      |
| <b>Madera Tipo B Pino de Oregón</b>   |           |
| Dimensiones (mm)  | Largo (m) |
| 20 x 150  | 76        |
| 25 x 150  | 70        |
| 25 x 200  | 41        |
| Total, en m <sup>3</sup>  | 0,7       |
| <b>Pernos de cabeza hexagonal, galvanizado por inmersión en baño caliente, con tuerca</b> |           |
| Dimensiones (mm)  | Cantidad  |
| 5/16 x 3-1/2  | 45        |
| 5/16 x 4  | 19        |
| 5/16 x 5  | 16        |
| 5/16 x 5-1/2  | 11        |

|   |                 |
|---|-----------------|
| 5/16 x 6  | 2               |
| 5/16 x 7  | 12              |
| 3/8 x 3-1/2   | 2               |
| 3/8 x 4   | 2               |
| 3/8 x 5   | 4               |
| 3/8 x 7   | 1               |
| <b>Arandelas, tamaño grande, redonda o cuadrada, galvanizada por inmersión en baño caliente</b>             |                 |
| Tipo de perno   | Cantidad        |
| Para perno 5/16   | 140             |
| Para perno 3/8  | 18              |
| <b>Clavos galvanizados por inmersión en baño caliente, clavos para lanchas o clavos redondos de alambre</b> |                 |
| Dimensiones (mm)  | Cantidad        |
| 4 x 50  | 8 kg            |
| 5 x 75  | 0,5 kg          |
| 5 x 100   | 0,5 kg          |
| <b>Elemento</b>   | <b>Cantidad</b> |
| <b>Compuesto bitumástico</b>  | 5 kg            |
| <b>Cedazo de nylon, 1 m de ancho</b>  | 1 m             |
| <b>Algodón de calafateo de 8 capas</b>  | 5 kg            |
| <b>Masilla</b>  | 1 kg            |
| <b>Sellador para madera</b>   | 5 L             |
| <b>Pintura</b>  | 6,5 L           |
| <b>Pintura antiincrustante</b>  | 1,5 L           |
| <b>Diluyente de pintura</b>   | 2 L             |

Nota: FAO, 2004.

En este proyecto se realizó el cálculo final de todos los costos en dólares, esto para darle más valor y vigencia al informe considerando que es una información que puede ser útil a nivel mundial y lo impredecible de la economía costarricense la cual depende del precio del dólar. Para efectos de conversión de colones a dólares en los casos necesarios se consideró el tipo de cambio a la fecha del 3 de junio del 2022.

En la tabla 14 se muestran los costos de los materiales para el casco, para la estimación de estos precios se consideró lo siguiente:

Para el cálculo del precio de la madera tipo A (roble) y tipo B (pino), se consultó el listado de precios de maderas de la Oficina Nacional Forestal donde el precio para cada tipo de madera aserrada viene dado en colones por pulgada maderera tica (pmt). En madera aserrada 1 m<sup>3</sup> equivale a 462 pmt. Según los datos de la tabla 13, se tienen 0,65 m<sup>3</sup> de madera de roble, estos son equivalentes a 300,3 pmt de madera aserrada. Para la madera de pino se tienen 0,7 m<sup>3</sup> que son equivalentes a 323,4 pmt. Según Oficina Nacional Forestal (2021) la madera aserrada de roble coral seleccionada tiene un precio de 450 colones por pmt y la madera aserrada de pino tiene un precio de 395 colones por pmt. En dólares los precios serían los siguientes: \$ 0,66 por pmt para la madera aserrada de roble coral y \$ 0,58 por pmt para la madera aserrada de pino. El cálculo total se muestra en la tabla 14.

Los precios de los pernos, arandelas y galvanizado de clavos se obtuvieron de una cotización de Industrias H7 (2022). La cotización incluye los precios de los pernos y arandelas galvanizados y el repaso de rosca de los pernos galvanizados y el galvanizado de los clavos. En el anexo 6 se muestra la cotización en colones, para los cálculos se realizó la conversión respectiva. Los precios de los clavos sin galvanizar se obtuvieron de EPA (2022).

Los precios de los siguientes materiales: compuesto bitumástico, cedazo de nylon, masilla para madera, sellador de madera, barniz grado marino y diluyente se obtuvieron de EPA (2022). El precio del hilo de algodón de calafateo se obtuvo de la consulta de una tienda local en Costa Rica. El precio de la pintura antiincrustante se obtuvo de Sherwin Williams (2022).



Tabla 14. Costos de materiales para el casco de la embarcación.

| Materiales para casco                          |             |          |
|--|-------------|----------|
| Material                                       | Costo       |          |
| Madera Roble coral                             | \$ 197,30   |          |
| Total, en pmt = 300,3                          |             |          |
| Madera Pino                                    | \$ 186,50   |          |
| Total, en pmt = 323,4                          |             |          |
| 45 pernos 5/16 x 3-1/2 con tuerca              | \$ 496,90   |          |
| 19 pernos 5/16 x 4 con tuerca                  |             |          |
| 16 pernos 5/16 x 5 con tuerca                  |             |          |
| 11 pernos 5/16 x 5-1/2 con tuerca              |             |          |
| 2 pernos 5/16 x 6 con tuerca                   |             |          |
| 12 pernos 5/16 x 7 con tuerca                  |             |          |
| 2 pernos 3/8 x 3-1/2 con tuerca                |             |          |
| 2 pernos 3/8 x 4 con tuerca                    |             |          |
| 4 pernos 3/8 x 5 con tuerca                    |             |          |
| 1 pernos 3/8 x 7 con tuerca                    |             |          |
| 140 arandelas para pernos de 5/16              |             |          |
| 18 arandelas para pernos de 3/8                |             |          |
| Galvanizado de clavos                          |             |          |
| Repaso de roscas                               |             |          |
| 8 kg de clavos de 4 x 50                       |             | \$ 19,86 |
| 0,5 kg de clavos de 5 x 75                     |             | \$ 2,86  |
| 0,5 kg de clavos de 5 x 100                    | \$ 2,86     |          |
| 5 kg de compuesto bitumástico                  | \$ 43,07    |          |
| Cedazo de nylon, 1 m de ancho x 1 m de largo   | \$ 3,26     |          |
| 5 kg de hilo de algodón de calafaeo de 8 capas | \$ 4,71     |          |
| 1 kg de masilla                                | \$ 20,08    |          |
| 5 L de sellador de madera                      | \$ 33,73    |          |
| 6,5 L de barniz, grado marino                  | \$ 103,57   |          |
| 1,5 L de pintura antiincrustante               | \$ 87,59    |          |
| 2 L de diluyente                               | \$ 7,87     |          |
| Total  | \$ 1.210,14 |          |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

En la tabla 15 se muestran los costos de los materiales para el techo de la embarcación. El precio de la tubería estructural de aluminio se obtuvo de Matriplas Group (2022), el valor que se muestra en la tabla 15 contempla los costos de envíos y tarifas de importación las cuales según la empresa FacilCompras (2020) para manufactura metálica la tarifa de importación es de 14,13 %. Para la lona las dimensiones tienen que ser 2,8 m de ancho x 4,1 m de largo, además tener características especiales como resistencia al sol y ser impermeable, el precio de una lona con las especificaciones anteriores se consultó de AMB IDEAS (2022). La cotización de las terminales se obtuvo de (DHNAUTICA, 2022), con los costos de envío e impuestos ya contemplados.

Tabla 15. Costos de materiales para el techo de la embarcación.

| Materiales para techo      |           |
|----------------------------|-----------|
| Material                   | Costo     |
| Tubo de aluminio           | \$ 183,46 |
| Lona                       | \$ 219,00 |
| Terminales para estructura | \$ 80,45  |
| Total                      | \$ 482,91 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

En la tabla 16 se muestran costos de los elementos del sistema de propulsión eléctrico obtenidos de EcoGanicO (2022), distribuidor de Torqeedo en Costa Rica. Los costos contemplan tarifas de importación: envío, 13 % de impuesto de venta de valor agregado (IVA) y 1 % de ley de emergencia nacional sobre el valor aduanero de las mercancías importadas según el Ministerio de Hacienda Costa Rica (2021). El motor eléctrico fuera de borda, la batería, el interruptor de la batería, el cargador de la batería y el regulador de carga solar seleccionados en la sección 4.5, todos los elementos son de la casa Torqeedo, y se traen desde Estados Unidos. Los costos de envío dependen de la naturaleza del producto. Para el

motor eléctrico fuera de borda el costo de envío es de 25 %, los impuestos son 13 % del IVA y 1 % de ley de emergencia nacional. De acuerdo con EcoGanicO (2022) los costos de envío de los demás elementos: batería, interruptor, cargador y regulador, son del 25 %, para estos elementos no aplica el IVA por estar exonerados como repuestos asociados al transporte eléctrico, pero si aplica el 1 % de ley de emergencia nacional.

Tabla 16. Costos de elementos de sistema de propulsión eléctrico.

| Rubro                          | Costo    | Tarifa de importación (%) | Costo total |
|--------------------------------|----------|---------------------------|-------------|
| Motor eléctrico fuera de borda | \$ 4.298 | 39                        | \$ 5.974,22 |
| Batería de litio               | \$ 2.999 | 26                        | \$ 3.778,74 |
| Interruptor para batería       | \$ 99    | 26                        | \$ 124,74   |
| Cargador de batería            | \$ 1.999 | 26                        | \$ 2.518,74 |
| Regulador de carga solar       | \$ 499   | 26                        | \$ 628,74   |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

En la tabla 17 se muestran todos los costos de inversión para la embarcación de motor eléctrico fuera de borda. Para los costos de diseño se consideró el trabajo de 3 semanas (15 días laborales) de un dibujante de ingeniería y de un ingeniero grado licenciatura. Según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2022) el salario mínimo mensual para un dibujante de ingeniería es de  $\text{¢}367.058,75$  equivalente a \$ 536,63 y el salario mínimo mensual para un ingeniero grado licenciatura es de  $\text{¢}696.873,72$  equivalente a \$ 1018,54. Considerando 15 días laborales de 20 días laborales con los que cuenta el mes, los cálculos se muestran en la tabla 17. Los costos de materiales del casco son los resultados de la tabla 14. Para los costos de construcción del casco, según SAILCARGO INC. (2022) la construcción de una embarcación de este tipo tiene una duración de aproximadamente 6 semanas (30 días laborales) empleando dos personas. Para el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2022) el salario mínimo diario para un carpintero es de  $\text{¢}12.139,07$  equivalente a \$ 17,71.

Considerando 30 días laborales de dos carpinteros, el cálculo se muestra en la tabla 17. Los costos de materiales del techo son los resultados de la tabla 15. Para los costos de construcción del techo, se consideró el trabajo de un soldador por una semana (5 días laborales). Según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2022) el salario mínimo diario para un soldador de soldaduras especiales (material aluminio) es de ¢14.205,13 equivalente a \$ 20,72. Considerando 5 días laborales, el cálculo se muestra en la tabla 17. Los costos de los elementos del sistema de propulsión eléctrico son los resultados de la tabla 16. El costo de los paneles solares se obtuvo de SOLBIAN (2022), considerando costos de envío e impuestos. En los costos de instalación de elementos se contempla la instalación del techo en la embarcación, la lona y paneles solares y la instalación y ajuste de los elementos del sistema de propulsión eléctrico. Para ello se consideró el trabajo por una semana (5 días laborales) de un electromecánico. Según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2022) el salario mínimo de un electromecánico es de ¢14.205,13 equivalente a \$ 20,72. Considerando 5 días laborales, el cálculo se muestra en la tabla 17. La inspección de las embarcaciones en Costa Rica es realizada por la Dirección de Navegación y Seguridad del Ministerio de Obras Públicas y Transportes y es requisito para la certificación de navegabilidad ya sea por primera vez o renovación. Según el Sistema Costarricense de Información Jurídica (2000) la Ley N.º 8000, artículo 31, inciso a), declara la exoneración del pago de este canon para las embarcaciones dedicadas a la pesca artesanal. Para la inscripción de la embarcación, toda embarcación que se inscriba en el Registro Naval, dependiente del Ministerio de Justicia, deberá pagar, como requisito de inscripción, un derecho a favor del Servicio. De acuerdo con el Sistema Costarricense de Información Jurídica (2000) la ley N°8000, artículo 33, inciso a), declara la exoneración del pago del canon por los derechos de inscripción en el Registro Naval a las embarcaciones dedicadas a la pesca artesanal. Por lo tanto, los costos de

inspección e inscripción son nulos. Para el costo del seguro de este tipo de embarcación se realizó la cotización con el Instituto Nacional de Seguros considerando el valor de la embarcación como la suma de todos los costos de inversión hasta el momento.

Tabla 17. Costos de inversión de embarcación con motor eléctrico.

| Rubro  | Costo        |
|--|--------------|
| Diseño                                       | \$ 1.166,38  |
| Materiales de casco                          | \$ 1.210,14  |
| Construcción de casco                        | \$ 1.062,60  |
| Materiales de techo                          | \$ 482,91    |
| Construcción de techo                        | \$ 103,60    |
| Motor eléctrico fuera de borda               | \$ 5.974,22  |
| Batería                                      | \$ 3.778,74  |
| Interruptor para batería                     | \$ 124,74    |
| Cargador de batería                          | \$ 2.518,74  |
| Regulador de carga solar                     | \$ 628,74    |
| Paneles Solares                              | \$ 6.393,42  |
| Mano de obra de instalación de elementos     | \$ 103,60    |
| Inspección para certificado de navegabilidad | \$ -         |
| Inscripción                                  | \$ -         |
| Seguro                                       | \$ 935,88    |
| Total  | \$ 24.483,71 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

#### Costos de inversión inicial embarcación con motor de combustión

En la tabla 18 se muestran los costos de inversión para la embarcación con motor de combustión. Los rubros de diseño, materiales de casco y techo y su construcción presentan los mismos costos que para la embarcación con motor eléctrico ya que se está comparando el mismo diseño. La única diferencia es el sistema de propulsión el cual en este caso es únicamente un motor fuera de borda de combustión. Tal y como se expuso en la sección 4.5, según (Torquedo, 2022) la potencia del motor fuera de borda eléctrico seleccionado es equiparable a un motor fuera de borda de combustión de 6 CV, con  $1 \text{ CV} = 0,986 \text{ hp}$ ;  $6 \text{ CV}$

= 5,916 hp. Por lo tanto, se estimó el costo de un motor de combustión de 6 hp, el costo se obtuvo de (Suzuki, 2022). En los costos de instalación de elementos se contempla la instalación del techo en la embarcación y el motor fuera de borda de combustión. Para ello se consideró el trabajo por dos días de un electromecánico. Según el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (2022) el salario mínimo de un electromecánico es de ¢14.205,13 equivalente a \$ 20,72. Considerando 2 días laborales, el cálculo se muestra en la tabla 18. En la tabla 19 se muestran las especificaciones técnicas principales del motor fuera de borda de combustión cotizado.

Tabla 18. Costos de inversión de embarcación con motor de combustión.

| Rubro                                    | Costo       |
|--|-------------|
| Diseño                                   | \$ 1.166,38 |
| Materiales de casco                      | \$ 1.210,14 |
| Construcción de casco                    | \$ 1.062,60 |
| Materiales de techo                      | \$ 482,91   |
| Construcción de techo                    | \$ 103,60   |
| Motor de combustión fuera de borda       | \$ 2.100,00 |
| Mano de obra de instalación de elementos | \$ 41,44    |
| Inspección                               | \$ -        |
| Certificado de navegabilidad             | \$ -        |
| Seguro                                   | \$ 251,38   |
| Total                                    | \$ 6.418,45 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Tabla 19. Especificaciones técnicas motor fuera de borda de combustión.

|   |                 |
|---|-----------------|
| Sistema de arranque                         | Manual          |
| Tipo de motor                               | 4 tiempos       |
| Dirección                                   | Maneral         |
| Potencia (hp)                               | 6               |
| Sistema de combustible                      | Carburador      |
| Cabeza de motor                             | OHC, 2 válvulas |
| Cilindros                                   | 1               |
| Peso (kg)                                   | 25              |
| Longitud del eje (cm)                       | 50,8            |
| Desplazamiento de pistón (cm <sup>3</sup> ) | 138             |
| Capacidad del <i>carter</i> de aceite (L)   | 0,7             |
| Capacidad de depósito de combustible (L)    | 1               |
| Combustible recomendado                     | RON91/AKI87     |

Nota: Suzuki, 2022.

## 5.2 Costos de operación

Los costes en esta etapa afectan especialmente a los usuarios que utilizan el activo desarrollado y están asociados a costes de: operación, energía, insumos y materia prima, mantenimiento preventivo y correctivo, *overhaul*, diseño y modificaciones de ingeniería, logística de repuestos, adiestramiento y cualquier otro coste que se genere a lo largo de ciclo de vida del activo (Fabrycky & Blanchard, 1991).

### Costos de operación para embarcación con motor eléctrico

En la tabla 20 se muestran los costos de operación mensuales y anuales para la embarcación con motor eléctrico.

Según Gómez & Piedra (2019) el promedio de número de salidas a la semana para una embarcación pequeña es de 3,75. Considerando 4 salidas por semana, para 2 tripulantes que consumen todos los productos de la canasta básica alimentaria: lácteos, carne de res, carne de cerdo, carne de pollo, embutidos, pescado, leguminosas, hortalizas, frutas,

tubérculos y raíces, pan y galletas, cereales y otros, azúcar, huevos, grasas, otros alimentos y bebidas no alcohólicas. Contemplando los precios actuales de los productos de la canasta básica por zona rural obtenidos de INEC (2022), el costo total mensual de la canasta básica alimentaria es de ₡ 46.478 equivalente a \$ 67,74. Por lo tanto, para 16 días considerando 4 salidas por semana el costo total mensual es de \$ 36,13. Para el costo anual se consideró el incremento mensual de un 1,5 % del costo total de la canasta básica. El cálculo de los costos de alimentación se muestra en la tabla 20. Para el costo del agua dulce se consideró un consumo de 4 litros por persona, con un precio de actual de \$ 1,04 de agua embotellada de un litro, el cálculo se muestra en la tabla 20.

Actualmente en Costa Rica no hay disponibles centros de carga para embarcaciones con motor eléctrico. Para efectos de este proyecto se tomó en cuenta el servicio eléctrico que ofrece el Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico (INCOP), el cual según ARESEP (2022) tiene una tarifa promedio de \$ 0,97 por kWh. Se consideró la batería seleccionada de 3,507 kWh y la carga de la batería en puerto de una vez por cada faena de pesca, considerando 4 faenas de pesca por semana el cálculo se muestra en la tabla 20. Los costos de mantenimiento se detallan en la sección 5.3.



Tabla 20. Costos de operación para embarcación con motor eléctrico.

| Rubro                        | Costo    |             |
|------------------------------|----------|-------------|
|                              | Mensual  | Anual       |
| Alimentación                 | \$ 36,13 | \$ 471,18   |
| Agua dulce                   | \$ 8,32  | \$ 99,84    |
| Energía eléctrica en puerto  | \$ 54,43 | \$ 653,14   |
| Mantenimiento                | \$ -     | \$ 334,30   |
| Seguro                       | \$ -     | \$ 935,88   |
| Certificado de navegabilidad | \$ -     | \$ -        |
| Total                        |          | \$ 2.494,34 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

#### Costos de operación embarcación con motor de combustión

En la tabla 21 se muestran los costos de operación mensuales y anuales para la embarcación con motor de combustión.

En promedio, un motor de gasolina de cuatro tiempos afinado quemará alrededor de 0,50 libras de combustible por hora por cada unidad de potencia. Esta cifra no tiene en cuenta la resistencia del barco, las condiciones del mar o las pérdidas de eficiencia a través de transmisiones y rodamientos (BOATING, 2022). Con 0,5 libras de combustible equivalente a 0.226796 kg de combustible, considerando para el motor fuera de borda analizado una gasolina RON 91 con una densidad de 735,28 kg/m<sup>3</sup> según Refinadora Costarricense de Petróleo (2015); el consumo de combustible es de 0,0003084 m<sup>3</sup> por hora por cada unidad de potencia, equivalente a 0,3084 litros por hora por cada unidad de potencia. En este caso para el motor de combustión de 6 hp, el consumo de combustible es de 1,8504 litros por hora.

Según *Boat Fuel Economy* para un motor fuera de borda Suzuki de 4 tiempos con una potencia de 6 hp, el consumo de combustible es de aproximadamente 2 litros por hora a 5500 rpm. Para estimar el consumo de combustible mensual y anual de la embarcación se utilizó

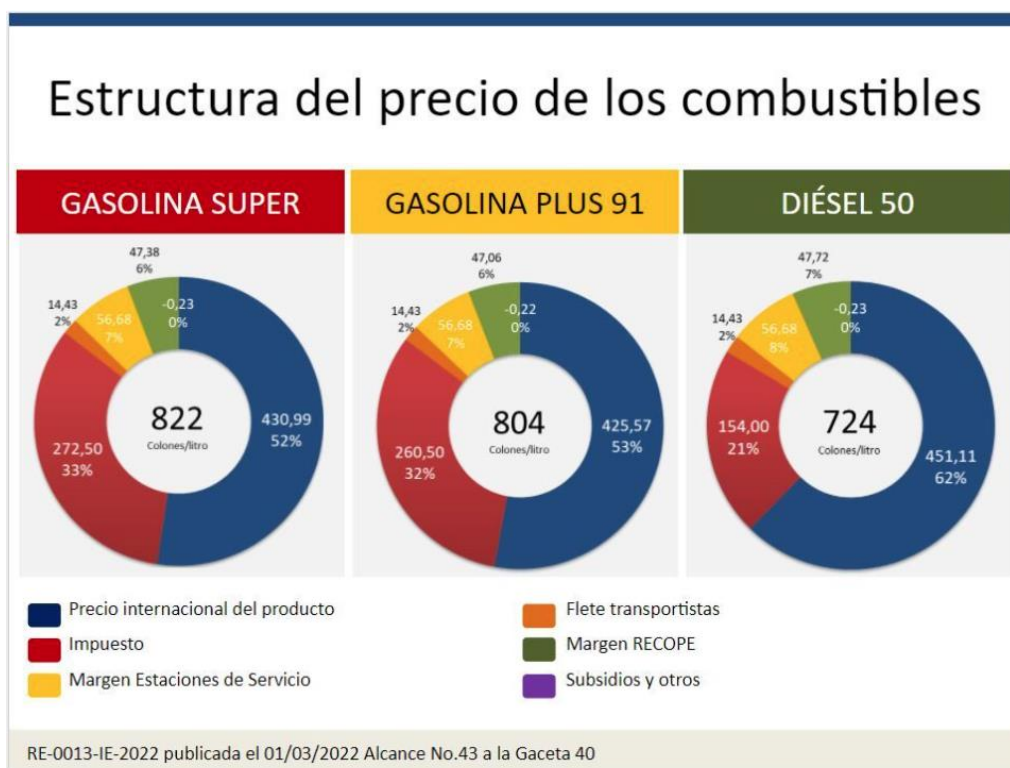
el dato de 2 litros por hora a 5500 rpm.

Para el precio del combustible para embarcaciones dedicadas a la pesca artesanal según INCOPECA (2002) la Ley N.º 7384, del 16 de marzo de 1994, publicada en La Gaceta N.º 62 del 29 de marzo de 1994, Ley de Creación del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA), en su artículo 45 establece que: El sector pesquero adquirirá de Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) el combustible (gasolina y diésel), para la actividad de pesca no deportiva a un precio competitivo con el precio internacional basado en el costo promedio de importación del mes anterior y considerando el costo C.I.F. (costo, seguro y flete) refinaría, así como los costos de distribución por oleoducto y distribución en planteles, de tal forma que el precio sea F.O.B. (libre a bordo), plantel.

Según la figura 54, considerando la exoneración del precio de combustible para pesca artesanal, el precio total final del combustible contemplaría los porcentajes del precio internacional del producto, el margen RECOPE y subsidios y otros (aplicado a sector pesquero). El costo es de 474,41 colones por litro para el caso de gasolina PLUS 91 (RON 91) equivalente a un precio de \$ 0,69 por litro.

**Figura 54.**

*Estructura del precio de los combustibles en Costa Rica.*



Nota: (Refinadora Costarricense de Petróleo, 2022)

Considerando, según (Gómez & Piedra, 2019) un promedio de 20,1 horas de funcionamiento del motor por cada faena de pesca con, con 4 faenas por semana, el consumo mensual de combustible es de 643,2 litros y el consumo anual es de 7718,4 litros de combustible. Con un precio de \$ 0,69 por litro de combustible, el cálculo del costo de combustible se muestra en la tabla 21. Los costos de mantenimiento se detallan en la sección 5.3.

Tabla 21. Costos de operación para embarcación con motor de combustión.

| Rubro                        | Costo     |             |
|------------------------------|-----------|-------------|
|                              | Mensual   | Anual       |
| Alimentación                 | \$ 36,13  | \$ 471,18   |
| Agua dulce                   | \$ 8,32   | \$ 99,84    |
| Combustible                  | \$ 443,81 | \$ 5.325,70 |
| Mantenimiento                | \$ -      | \$ 2.482,30 |
| Seguro                       | \$ -      | \$ 251,38   |
| Certificado de navegabilidad | \$ -      | \$ -        |
| Total                        |           | \$ 8.630,39 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

### 5.3 Costos de mantenimiento

Según la norma UNE-EN 133306-2011, el mantenimiento se define como “la combinación de acciones técnicas, de administración y de gestión durante el ciclo de vida de un equipo o instalación, destinadas a conservarlos o devolverlo a un estado en el cual puede desarrollar una función requerida” (Capa, 2019).

De acuerdo a Capa (2019) es muy importante aplicar un correcto plan de mantenimiento a cualquier tipo de buque ya que el medio en el que trabajan es especialmente agresivo. El presupuesto invertido por armadores suele ser elevado pues un correcto mantenimiento a la larga sólo aporta beneficios. Entre los beneficios cabe destacar:

- Reducción de costes en reparaciones.
- Alargamiento de la vida del buque.
- Aumento de la productividad de los equipos y sistemas.
- Reducción de riesgos de averías.

Actualmente los principales tipos de mantenimiento que se aplican a las embarcaciones son mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y mantenimiento predictivo.

Para efecto de los costos de mantenimiento únicamente se tomarán en cuenta los costos de mantenimiento preventivo y predictivo ya que según Dhillon (2002) para la estimación de los costos de mantenimiento correctivo es necesario conocer el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR), datos que no están disponibles.

#### Costos de mantenimiento embarcación con motor eléctrico

Para los costos de mantenimiento de la embarcación con motor eléctrico se tomaron en cuenta los costos por servicio y los costos por los materiales consumibles y repuestos.

En la tabla 22 se muestra un plan de mantenimiento básico con tareas definidas según recomendaciones de Torquedo (2022) para el sistema de propulsión eléctrico y según Capa (2019) para la estructura de la embarcación.

Tabla 22. Plan de mantenimiento para embarcación con motor eléctrico.

| Descripción de la tarea   | Periodicidad | Tiempo estimado (h) | Forma de realizarlo |
|---|--------------|---------------------|---------------------|
| Inspección visual del casco                                       | Semanal      | 0,17                | Independiente       |
| Inspección visual de techo y paneles solares                      | Semanal      | 0,17                | Independiente       |
| Limpieza de casco, parte externa e interna                        | Quincenal    | 2                   | Independiente       |
| Limpieza de paneles solares                                       | Trimestral   | 1                   | Independiente       |
| Pintado de la embarcación con barniz grado marino                 | Anual        | 10                  | Independiente       |
| Aplicación de pintura antiincrustante en parte inferior del casco | Anual        | 5                   | Independiente       |

|  |                    |      |               |
|--|--------------------|------|---------------|
| Inspección visual general del sistema de propulsión eléctrico                    | Semanal            | 0,17 | Independiente |
| Inspección visual hélice   | Trimestral         | 0,17 | Independiente |
| Inspección visual y lubricación de árbol de transmisión del motor                | 5 años o 700 horas | 0,5  | Taller        |
| Inspección visual de cables conectores y puertos de datos del motor              | Anual              | 0,17 | Independiente |
| Inspección visual cable de batería   | Anual              | 0,17 | Independiente |
| Inspección visual conector de corriente de alta intensidad                       | Anual              | 0,17 | Independiente |
| Aplicar grasa para bornes a conexiones   | 5 años o 700 horas | 0,4  | Independiente |
| Sustitución de pasador cilíndrico del motor                                      | 5 años o 700 horas | 1    | Taller        |
| Sustitución de las juntas tóricas y del retenedor del motor                      | 5 años o 700 horas | 1    | Taller        |
| Sustitución de ánodo de sacrificio   | Anual              | 1    | Taller        |
| Aplicar spray de contactos a la batería  | Semestral          | 0,17 | Independiente |
| Comprobar que el sensor de detección de agua no tenga grasa, aceite, ni suciedad | Semestral          | 0,17 | Independiente |
| Aplicar aceite de contactos al sistema bus de la batería                         | Anual              | 0,17 | Independiente |
| Comprobar estanqueidad de la batería   | 8 años             | 1    | Taller        |
| Comprobar el estado de las celdas  | 8 años             | 1    | Taller        |
| Comprobar la seguridad del sistema y el contenido de la memoria de errores       | 8 años             | 1    | Taller        |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Los tiempos estimados para cada tarea de mantenimiento se consultaron con trabajadores de la empresa Sail Cargo INC., se tuvo un visto bueno, sin embargo, ellos tienen conocimiento y experiencia en equipos de mayor escala por lo que puede existir cierta

incertidumbre en esta estimación. A partir de los tiempos estimados que se muestran en la tabla 22, se calculó el total de horas destinadas al servicio de mantenimiento durante un año, el resultado fue de 16 horas. Para este cálculo se tomaron en cuenta únicamente las tareas de mantenimiento que se realizan en el taller. Para las tareas de mantenimiento con una periodicidad de 5 años o 700 horas de operación se consideró el dato de 20,1 horas de operación del motor en cada salida de la embarcación, con 4 salidas semanales las 700 horas de operación se cumplen aproximadamente a los 2 meses por lo cual estas tareas se realizarían 6 veces por año. Considerando el salario mínimo diario de  $\text{¢}14.205,13$  equivalente a \$ 20,72 para un electromecánico, el costo total por servicio de mantenimiento es de \$ 41,44. Las tareas de mantenimiento con una periodicidad de 8 años se consideraron para el análisis de costo de ciclo de vida de 10 años, para el año 8 considerando las tres tareas respectivas de la tabla 22, con un tiempo de 3 horas en total por servicio de mantenimiento, para un salario mínimo diario de  $\text{¢}14.205,13$  equivalente a \$ 20,72 para un electromecánico, el costo total por servicio de mantenimiento es de \$ 7,77.

En este plan de mantenimiento se consideró dividir las tareas de mantenimiento en dos tipos: realizadas en un taller por un técnico electromecánico y realizadas de forma independiente por los mismos pescadores. En la tabla 23 se muestran los costos de los repuestos necesarios para aplicar el mantenimiento básico de la embarcación con motor eléctrico. Los costos de cada repuesto y material se obtuvieron de Torquedo, EPA (2022) y Sherwin Williams (2022).

Tabla 23. Costos anuales de consumibles y repuestos para embarcación de motor eléctrico.

| Rubro                           | Cantidad | Costo     |
|---------------------------------|----------|-----------|
| Barniz grado marino             | 6,5 L    | \$ 103,61 |
| Diluyente                       | 2 L      | \$ 7,87   |
| Pintura antiincrustante         | 1,5 L    | \$ 87,71  |
| Juntas tóricas                  | 6        | \$ 0,32   |
| Retenedor                       | 6        | \$ 17,12  |
| Grasa                           | 14 onzas | \$ 5,95   |
| Pasador cilíndrico              | 6        | \$ 26,00  |
| Ánodo de sacrificio             | 1        | \$ 34,99  |
| Spray para contactos eléctricos | 590 mL   | \$ 9,29   |
| Total                           |          | \$ 292,86 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

#### Costos de mantenimiento embarcación con motor de combustión

Para los costos de mantenimiento de la embarcación con motor de combustión se tomaron en cuenta los costos por servicio y los costos por los materiales consumibles y repuestos.

En la tabla 24 se muestra un plan de mantenimiento básico con tareas definidas según recomendaciones de (Motores Marinos Suzuki, 2022) y (OSPESCA, 2012) para el motor fuera de borda de combustión y según (Capa, 2019) para la estructura de la embarcación.

Tabla 24. Plan de mantenimiento para embarcación con motor de combustión.

| Descripción de la tarea                    | Periodicidad | Tiempo estimado (h) | Forma de realizarlo |
|--|--------------|---------------------|---------------------|
| Inspección visual del casco                | Semanal      | 0,17                | Independiente       |
| Inspección visual de techo                 | Semanal      | 0,17                | Independiente       |
| Limpieza de casco, parte externa e interna | Quincenal    | 2                   | Independiente       |



|  |   |      |               |
|--|---|------|---------------|
| Pintado de la embarcación con barniz grado marino  | Anual   | 3    | Independiente |
| Aplicación de pintura antiincrustante en parte inferior del casco                                | Anual   | 10   | Independiente |
| Inspección visual general del sistema de propulsión de combustión                                | Semanal   | 0,17 | Independiente |
| Inspección visual hélice   | Trimestral  | 0,17 | Independiente |
| Inspección del sistema carburante  | 100 horas o semestral                                   | 0,5  | Taller        |
| Limpieza de sistema carburante   | 200 horas o anual                                       | 1    | Taller        |
| Comprobar nivel de aceite y nivel de suciedad antes de arrancar el motor                         | Diaria  | 0,17 | Independiente |
| Cambio de aceite de motor  | Primeras 20 horas luego cada 100 horas o de forma anual | 0,5  | Taller        |
| Cambio de aceite de transmisión  | Semestral   | 0,5  | Taller        |
| Cambio de juntas de la transmisión y tapón drenaje de aceite                                     | Semestral   | 1    | Taller        |
| Cambio de filtro de aceite motor   | Primeras 20 horas luego cada 100 horas o de forma anual | 0,25 | Taller        |
| Comprobar que el agua de refrigeración salga por orificio piloto de inspección sin obstrucciones | Semanal   | 0,17 | Independiente |
| Limpieza de circuito de agua de refrigeración  | 50 horas o trimestral                                   | 0,5  | Taller        |
| Sustitución de ánodo de sacrificio   | Anual   | 1    | Taller        |
| Lavado del motor con producto desengrasante  | Anual   | 1    | Taller        |
| Ajuste de velocidad en vacío   | 100 horas o semestral                                   | 1    | Taller        |
| Ajuste de carburador   | 100 horas o semestral                                   | 1    | Taller        |
| Aprete de pernos y tuercas   | 100 horas o semestral                                   | 0,25 | Independiente |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Al igual que se hizo con el plan de mantenimiento para la embarcación con motor eléctrico los tiempos estimados se consultaron y verificaron con trabajadores de la empresa Sail Cargo INC. A partir de los tiempos estimados para cada tarea de mantenimiento que se muestran en la tabla 24, se calculó el total de horas destinadas al servicio de mantenimiento durante un año, el resultado fue de 191,5 horas. Para este cálculo se tomaron en cuenta únicamente las tareas de mantenimiento que se realizan en el taller. Considerando el salario mínimo diario de ¢14.205,13 para un electromecánico equivalente a \$ 20,72, el costo total por servicio de mantenimiento es de \$ 496. Para los cálculos totales al año por cada tarea de mantenimiento se consideró el dato de 20,1 horas de operación del motor en cada salida de la embarcación, con 4 salidas semanales durante 12 meses. En la tabla 25 se muestran los costos de los repuestos necesarios para aplicar el mantenimiento básico de la embarcación con motor de combustión. Los costos de cada repuesto y material se obtuvieron de EPA (2022), Sherwin Williams (2022), Desertcart (2022), Ubuy Co. (2022), eBay Inc. (2022) y Repamar (2022).

Tabla 25. Costos anuales de consumibles y repuestos para embarcación motor de combustión.

| Rubro   | Cantidad | Costo       |
|---|----------|-------------|
| Barniz grado marino                           | 6,5 L    | \$ 103,61   |
| Diluyente                                     | 2 L      | \$ 7,87     |
| Pintura antiincrustante                       | 1,5 L    | \$ 87,71    |
| Aceite para motor                             | 27,3 L   | \$ 626,02   |
| Filtro de aceite                              | 39       | \$ 961,41   |
| Aceite para transmisión                       | 946 mL   | \$ 54,84    |
| Juntas y tapón drenaje de aceite, transmisión | 1        | \$ 36,79    |
| Pasador y chaveta                             | 2        | \$ 61,36    |
| Ánodo de sacrificio                           | 1        | \$ 39,24    |
| Desengrasante                                 | 1 galón  | \$ 7,45     |
| Total   |          | \$ 1.986,30 |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

#### **5.4 Costos de desincorporación**

Los costes de esta etapa se relacionan específicamente con actividades de conversión de materiales y manejo de recursos energéticos, estas actividades generan desperdicios que son liberados al ambiente. El consumo de energía, la polución del aire y el manejo de los desperdicios en la actualidad son temas de interés mundial y son el centro de debates públicos de tal forma que, en el futuro, los sistemas de producción para poder ser competitivos deberán desarrollar procesos y tecnologías de manufactura que sean ambientalmente limpias (Weule, 1993).

Para el cálculo del valor de desincorporación o desecho de la embarcación considerando 5 años y 10 años se utilizó el método contable, el cual según la Universidad ESAN (2021) considera la suma de todos los valores contables (también llamados "valores libro") de cada uno de los activos. También toma en cuenta la inversión en el activo, el número de años de depreciación y el número de años ya depreciados al momento de iniciar el cálculo. Este método usualmente tiene resultados conservadores, por lo que es mejor orientarlo a nivel de perfil o de factibilidad.

Según el Sistema Costarricense de Información Jurídica (1988) en el Reglamento a Ley del Impuesto sobre la Renta para una lancha el porcentaje anual de depreciación es del 10 % y los años de vida útil estimados son 10 años. Utilizando un porcentaje inicial de depreciación de 10 % se calculó la depreciación mediante el método de depreciación de línea recta para un periodo de 5 años y para un período de 10 años. Se estableció un período de 5 años tomando en cuenta la garantía y el período en el cual el mantenimiento es el mínimo posible esto para los motores fuera de borda, los cuales son los elementos principales del sistema de propulsión para cada tipo de embarcación. Y además se realizó el análisis en un período de 10 años tomando en cuenta la vida útil de la lancha. Se utilizó el costo de inversión

como costo inicial del activo. En las tablas 26, 27, 28 y 29 se muestran los cálculos de depreciación para la embarcación con motor eléctrico y con motor de combustión para los períodos de 5 años y 10 años.

Tabla 26. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor eléctrico para un período de 5 años.

| Costo inicial                  | \$ 24.483,71       |                        |              |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
| Porcentaje de depreciación (%) | 10                 |                        |              |
| Vida útil (años)               | 5                  |                        |              |
| Depreciación anual             | \$ 2.448,37        |                        |              |
| Cuadro de depreciación         |                    |                        |              |
| Fin de año                     | Depreciación anual | Depreciación acumulada | Valor libros |
| 0                              |                    | \$ -                   | \$ 24.483,71 |
| 1                              | \$ 2.448,37        | \$ 2.448,37            | \$ 22.035,34 |
| 2                              | \$ 2.448,37        | \$ 4.896,74            | \$ 19.586,97 |
| 3                              | \$ 2.448,37        | \$ 7.345,11            | \$ 17.138,60 |
| 4                              | \$ 2.448,37        | \$ 9.793,49            | \$ 14.690,23 |
| 5                              | \$ 2.448,37        | \$ 12.241,86           | \$ 12.241,86 |
|                                |                    |                        |              |
| Valor de desecho               | \$ 12.241,86       |                        |              |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Tabla 27. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor de combustión para un período de 5 años.

| Costo inicial                  | \$ 6.418,45        |                        |              |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
| Porcentaje de depreciación (%) | 10                 |                        |              |
| Vida útil (años)               | 5                  |                        |              |
| Depreciación anual             | \$ 641,85          |                        |              |
| <b>Cuadro de depreciación</b>  |                    |                        |              |
| Fin de año                     | Depreciación anual | Depreciación acumulada | Valor libros |
| 0                              |                    | \$ -                   | \$ 6.418,45  |
| 1                              | \$ 641,85          | \$ 641,85              | \$ 5.776,61  |
| 2                              | \$ 641,85          | \$ 1.283,69            | \$ 5.134,76  |
| 3                              | \$ 641,85          | \$ 1.925,54            | \$ 4.492,92  |
| 4                              | \$ 641,85          | \$ 2.567,38            | \$ 3.851,07  |
| 5                              | \$ 641,85          | \$ 3.209,23            | \$ 3.209,23  |
| <b>Valor de desecho</b>        |                    |                        |              |
| Valor de desecho               | \$ 3.209,23        |                        |              |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Tabla 28. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor eléctrico para un período de 10 años.

| Costo inicial                  | \$ 24.483,71       |                        |              |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
| Porcentaje de depreciación (%) | 10                 |                        |              |
| Vida útil (años)               | 10                 |                        |              |
| Depreciación anual             | \$ 2.448,37        |                        |              |
| <b>Cuadro de depreciación</b>  |                    |                        |              |
| Fin de año                     | Depreciación anual | Depreciación acumulada | Valor libros |
| 0                              |                    | \$ -                   | \$ 24.483,71 |
| 1                              | \$ 2.448,37        | \$ 2.448,37            | \$ 22.035,34 |
| 2                              | \$ 2.448,37        | \$ 4.896,74            | \$ 19.586,97 |
| 3                              | \$ 2.448,37        | \$ 7.345,11            | \$ 17.138,60 |
| 4                              | \$ 2.448,37        | \$ 9.793,49            | \$ 14.690,23 |
| 5                              | \$ 2.448,37        | \$ 12.241,86           | \$ 12.241,86 |
| 6                              | \$ 2.448,37        | \$ 14.690,23           | \$ 9.793,49  |
| 7                              | \$ 2.448,37        | \$ 17.138,60           | \$ 7.345,11  |
| 8                              | \$ 2.448,37        | \$ 19.586,97           | \$ 4.896,74  |
| 9                              | \$ 2.448,37        | \$ 22.035,34           | \$ 2.448,37  |
| 10                             | \$ 2.448,37        | \$ 24.483,71           | \$ 0,00      |
| <b>Valor de desecho</b>        |                    |                        |              |
| Valor de desecho               | \$ 0,00            |                        |              |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Tabla 29. Cálculo de depreciación y valor de desecho para la embarcación con motor de combustión para un período de 10 años.

| Costo inicial                  | \$ 6.418,45        |                        |              |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|--------------|
| Porcentaje de depreciación (%) | 10                 |                        |              |
| Vida útil (años)               | 5                  |                        |              |
| Depreciación anual             | \$ 641,85          |                        |              |
| <b>Cuadro de depreciación</b>  |                    |                        |              |
| Fin de año                     | Depreciación anual | Depreciación acumulada | Valor libros |
| 0                              |                    | \$ -                   | \$ 6.418,45  |
| 1                              | \$ 641,85          | \$ 641,85              | \$ 5.776,61  |
| 2                              | \$ 641,85          | \$ 1.283,69            | \$ 5.134,76  |
| 3                              | \$ 641,85          | \$ 1.925,54            | \$ 4.492,92  |
| 4                              | \$ 641,85          | \$ 2.567,38            | \$ 3.851,07  |
| 5                              | \$ 641,85          | \$ 3.209,23            | \$ 3.209,23  |
| 6                              | \$ 641,85          | \$ 3.851,07            | \$ 2.567,38  |
| 7                              | \$ 641,85          | \$ 4.492,92            | \$ 1.925,54  |
| 8                              | \$ 641,85          | \$ 5.134,76            | \$ 1.283,69  |
| 9                              | \$ 641,85          | \$ 5.776,61            | \$ 641,85    |
| 10                             | \$ 641,85          | \$ 6.418,45            | \$ 0,00      |
| <b>Valor de desecho</b>        |                    |                        |              |
| Valor de desecho               | \$ 0,00            |                        |              |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

## 5.5 Costo de ciclo de vida

En las tablas 30, 31 32 y 33 se muestra el resultado del costo de ciclo de vida para la embarcación con motor eléctrico y la embarcación con motor de combustión. El cálculo del costo de ciclo de vida se realizó mediante el indicador de valor actual neto (VAN), utilizando una tasa de descuento de 10% sugerida por SAILCARGO INC. (2022). El flujo se realizó en dos escenarios: para un período de 5 años y para un período de 10 años en los cuales se asumen los costos de operación y mantenimiento como constantes durante estos años. El costo de ciclo de vida es mayor para la embarcación con motor de combustión ya que sus costos operativos son muy elevados en relación con los costos operativos de la embarcación con motor eléctrico. Esto a pesar de que los costos de inversión inicial son mucho mayores para la embarcación con motor eléctrico. Este análisis de costo ciclo de vida es relativamente básico tomando en cuenta que se partió de cero, sin datos disponibles, esto al ser un proyecto que está en fase de desarrollo inicial y diseño conceptual.



Tabla 30. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor eléctrico para un período de 5 años.

| Año                                 | 0         | 1         | 2        | 3        | 4        | 5         |
|-------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| <b>+ Inversión</b>                  |           |           |          |          |          |           |
| <b>Costos iniciales</b>             | \$ 24.484 |           |          |          |          |           |
| <b>+ Operación</b>                  |           |           |          |          |          |           |
| <b>Costos de operación</b>          |           | \$ 2.160  | \$ 2.160 | \$ 2.160 | \$ 2.160 | \$ 2.160  |
| <b>Costos de mantenimiento</b>      |           | \$ 334    | \$ 334   | \$ 334   | \$ 334   | \$ 334    |
| <b>+ Depreciación</b>               |           |           |          |          |          |           |
| <b>Valor de desecho</b>             |           |           |          |          |          | \$ 12.242 |
| <b>Flujo Neto de Efectivo (FNE)</b> | \$ 24.484 | \$ 2.494  | \$ 2.494 | \$ 2.494 | \$ 2.494 | \$ -9.748 |
| <b>Valor presente (VP)</b>          |           | \$ 2.268  | \$ 2.061 | \$ 1.874 | \$ 1.704 | \$ -6.052 |
| <b>VAN (Costo de ciclo de vida)</b> |           | \$ 26.338 |          |          |          |           |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

Tabla 31. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor de combustión para un período de 5 años.

| Año                                 | 0        | 1         | 2        | 3        | 4        | 5        |
|-------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>+ Inversión</b>                  |          |           |          |          |          |          |
| <b>Costos iniciales</b>             | \$ 6.418 |           |          |          |          |          |
| <b>+ Operación</b>                  |          |           |          |          |          |          |
| <b>Costos de operación</b>          |          | \$ 6.148  | \$ 6.148 | \$ 6.148 | \$ 6.148 | \$ 6.148 |
| <b>Costos de mantenimiento</b>      |          | \$ 2.482  | \$ 2.482 | \$ 2.482 | \$ 2.482 | \$ 2.482 |
| <b>+ Depreciación</b>               |          |           |          |          |          |          |
| <b>Valor de desecho</b>             |          |           |          |          |          | \$ 3.209 |
| <b>Flujo Neto de Efectivo (FNE)</b> | \$ 6.418 | \$ 8.630  | \$ 8.630 | \$ 8.630 | \$ 8.630 | \$ 5.421 |
| <b>Valor presente (VP)</b>          |          | \$ 7.846  | \$ 7.133 | \$ 6.484 | \$ 5.895 | \$ 3.366 |
| <b>VAN (Costo de ciclo de vida)</b> |          | \$ 37.142 |          |          |          |          |

Tabla 32. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor eléctrico para un período de 10 años.

| Año                                 | 0                                   | 1        | 2       | 3       | 4       | 5        | 6       | 7       | 8       | 9       | 10       |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|
| <b>+ Inversión</b>                  |                                     |          |         |         |         |          |         |         |         |         |          |
| Costos iniciales                    | \$ 24.484                           |          |         |         |         |          |         |         |         |         |          |
| <b>+ Operación</b>                  |                                     |          |         |         |         |          |         |         |         |         |          |
| Costos de operación                 |                                     | \$ 2.160 | \$2.160 | \$2.160 | \$2.160 | \$ 2.160 | \$2.160 | \$2.160 | \$2.160 | \$2.160 | \$ 2.160 |
| Costos mantenimiento                |                                     | \$ 334   | \$ 334  | \$ 334  | \$ 334  | \$ 334   | \$ 334  | \$ 334  | \$ 342  | \$ 334  | \$ 334   |
| <b>+ Depreciación</b>               |                                     |          |         |         |         |          |         |         |         |         |          |
| Valor de desecho                    |                                     |          |         |         |         |          |         |         |         |         | \$ -     |
| <b>Flujo Neto de Efectivo (FNE)</b> | \$ 24.484                           | \$ 2.494 | \$2.494 | \$2.494 | \$2.494 | \$ 2.494 | \$2.494 | \$2.494 | \$2.502 | \$2.494 | \$ 2.494 |
|                                     | Valor presente (VP)                 | \$ 2.268 | \$2.061 | \$1.874 | \$1.704 | \$ 1.549 | \$1.408 | \$1.280 | \$1.167 | \$1.058 | \$ 962   |
|                                     | <b>VAN (Costo de ciclo de vida)</b> | \$39.814 |         |         |         |          |         |         |         |         |          |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel

Tabla 33. Flujos de costos de efectivo para la embarcación con motor de combustión para un período de 10 años.

| Año                                 | 0                                   | 1        | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      |
|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>+ Inversión</b>                  |                                     |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Costos iniciales                    | \$ 6.418                            |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>+ Operación</b>                  |                                     |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Costos de operación                 |                                     | \$ 6.148 | \$6.148 | \$6.148 | \$6.148 | \$6.148 | \$6.148 | \$6.148 | \$6.148 | \$6.148 | \$6.148 |
| Costos mantenimiento                |                                     | \$ 2.482 | \$2.482 | \$2.482 | \$2.482 | \$2.482 | \$2.482 | \$2.482 | \$2.482 | \$2.482 | \$2.482 |
| <b>+ Depreciación</b>               |                                     |          |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Valor de desecho                    |                                     |          |         |         |         |         |         |         |         |         | \$ -    |
| <b>Flujo Neto de Efectivo (FNE)</b> | \$ 6.418                            | \$ 8.630 | \$8.630 | \$8.630 | \$8.630 | \$8.630 | \$8.630 | \$8.630 | \$8.630 | \$8.630 | \$8.630 |
|                                     | Valor presente (VP)                 | \$ 7.846 | \$7.133 | \$6.484 | \$5.895 | \$5.359 | \$4.872 | \$4.429 | \$4.026 | \$3.660 | \$3.327 |
|                                     | <b>VAN (Costo de ciclo de vida)</b> | \$59.448 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

## 6. Capítulo VI. Análisis del impacto ambiental

Se entiende como impacto ambiental o impacto antrópico o antropogénico sobre el medio ambiente al “efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente”. Se considera impacto cuando hay al menos tres tipos de contaminación: del agua, del aire y del suelo. (Dell’Olmo, 2019).

La determinación del impacto ambiental se puede realizar mediante un análisis de ciclo de vida (ACV), el cual incluye todas las etapas, desde la extracción de materias primas, la producción, distribución, uso (incluidos el amarre, mantenimiento y navegación) hasta el final de su vida útil. De esta manera se pueden observar las etapas que provocan un mayor impacto.

El ACV es una herramienta que se puede emplear para evaluar las cargas de tipo ambiental asociadas a un producto teniendo en cuenta su ciclo completo. Es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Por lo tanto, para una determinada actividad, el problema no solo queda circunscrito al proceso industrial, sino que también es necesario establecer cuál es la parte proporcional de contaminación de todas las actividades previas y posteriores que el producto en cuestión origina (Universidad de Vigo, 2013).

El ACV es una metodología estandarizada que permite evaluar los impactos ambientales de un producto. Es quizá el método más frecuente para la evaluación ambiental de los mismos. Organizaciones marítimas y astilleros usan esta metodología desde hace una década para evaluar el impacto ambiental de los buques y de los procesos (Castillo, 2015).

### **6.1 Análisis de impacto ambiental para embarcación con motor eléctrico**

Para analizar el impacto ambiental producido por la embarcación con motor eléctrico, es conveniente determinar el impacto ambiental asociado con cada elemento y material de la embarcación.

De los materiales que generalmente se construyen las embarcaciones, la madera es el que menor impacto ambiental genera. Sin embargo, su impacto ambiental no pasa desapercibido, en la tabla 30 se muestra un análisis de entradas y salidas del ciclo productivo para la construcción de una embarcación de madera. El cuadro fue tomado de un análisis de impacto ambiental para la construcción de muebles de madera, el proceso productivo para una embarcación es muy similar, comprende las mismas etapas, únicamente cambian las entradas de algunos materiales y levemente algunos procesos.

Tabla 34. Análisis de ciclo productivo de embarcación de madera.

| <b>Entrada</b>  | <b>Proceso</b>                     | <b>Salida</b>                          | <b>Aspecto ambiental</b>   |
|---|------------------------------------|--|--|
| Madera  | Predimensionado (sierra circular)  | Corteza, aserrín, material particulado | Generación de residuos sólidos, emisión de ruido, emisiones atmosféricas |
| Madera  | Planeado                           | Viruta                                 | Emisión de ruido, consumo de energía                                     |
| Madera  | Cepillado y regruesado             | Viruta                                 | Consumo de energía   |
| Madera  | Fresado, moldurado y replantillado | Viruta, aserrín                        | Emisión de ruido   |
| Madera  | Taladrado y escopleado             | Viruta, aserrín                        | Emisión de ruido   |
| Piezas de madera  | Espigado y mechonado               | Viruta, aserrín                        | Emisiones atmosféricas, consumo de energía                               |
| Piezas de madera  | Curvado, torneado, tallado         | Aserrín                                | Emisión de ruido, consumo de energía                                     |
| Piezas de madera  | Lijado                             | Polvo                                  | Emisiones atmosféricas   |
| Piezas de madera, tuercas, pernos, clavos, masilla, sellador, compuesto bitumástico | Ensamble                           | Pieza armada                           | No genera aspecto ambiental significativo                                |
| Embarcación   | Acabado                            | Polvo, lijas                           | Generación de residuos sólidos, material particulado                     |
| Embarcación, barniz, pinturas   | Barnizado y pintado                | Envases                                | Emisiones de gases, generación de residuos peligrosos                    |

Nota: Adaptado y modificado de Asprilla (2014).

Tomando en cuenta los aspectos ambientales del análisis de la tabla 30, según (Asprilla, 2014) en un proceso productivo de una estructura de madera, las acciones de proceso que generan más impacto al ambiente son lijado, acabado, barnizado, pintado y mantenimiento. Además, los factores ambientales que se ven más afectados por los impactos que generan las acciones del ciclo de vida son: atmosférico, consumo energético, vertederos

de residuos, vertederos de residuos peligrosos, agua y suelo.

Resulta fundamental tomar las medidas necesarias para reducir el impacto ambiental del proceso productivo de una estructura de madera, una embarcación en este caso. Para ello se pueden considerar las siguientes medidas:

- Elección de materiales de calidad para optimizar su consumo y uso.
- Utilización de equipos modernos para optimizar la utilización de las maderas y sus residuos.
- Gestión adecuada de envases de barnices, pinturas y otros residuos peligrosos a utilizar, así como utilizar una herramienta de aplicación de estos productos que optimice su consumo y desperdicio.
- Realizar los procesos productivos que consuman energía idealmente en base a un modelo de gestión de energía.
- Utilizar el equipo de seguridad adecuado para cada proceso.

#### Casco de madera

Para determinar el impacto ambiental en kg CO<sub>2</sub>-eq del casco de madera, se utilizó el dato de un estudio de ACV de construcción de embarcaciones pesqueras en el cual según (Paras, 2021) la embarcación pesquera de madera deja 0.211 kg CO<sub>2</sub>-eq/ kg en un enfoque de la cuna a la puerta (desde la extracción de materia prima para la manufactura hasta su descarte). Considerando el dato de la tabla 2 de un peso en vacío de la embarcación de 490 kg, el impacto ambiental de la embarcación de madera es de 103,39 kg CO<sub>2</sub>-eq.

$$I_{casco\_madera} = 490 \text{ kg} * 0,211 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} = 103,39 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (15)$$

#### Batería de litio

Con respecto a la batería según un ACV de sistemas de propulsión marítima realizado

por (Ellingsen, 2020) para una batería de litio las emisiones de la cuna a la puerta equivalen a un factor de emisión de 15,7 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg. Para el proceso de descarte y reciclaje de la batería según (Ellingsen, 2020) hay varios procesos de reciclaje industrial que compiten entre sí para las baterías de iones de litio, y los procesos suelen ser una combinación de separación mecánica, tratamiento pirometalúrgico y tratamiento hidrometalúrgico. Para una batería que se elimina a través de un proceso combinado de tratamiento pirometalúrgico e hidrometalúrgico se asume el factor de emisión 0,9 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg.

La batería de ion litio seleccionada en este proyecto tiene un peso de 25,3 kg, dato de la tabla 9. El impacto ambiental total de la batería es de 419,98 kg CO<sub>2</sub>-eq considerando su ciclo de vida y reciclaje y estaría dado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 I_{batería} &= 25,3 \text{ kg} * 15,7 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} + 25,3 \text{ kg} * 0,9 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} \\
 &= 419,98 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (16)
 \end{aligned}$$

### Armadura de aluminio

Según Reynaers Aluminium (2022) el aluminio utilizado en Europa tiene actualmente un promedio de 8,6 kg CO<sub>2</sub>-eq / kg de aluminio. La mayor parte de este CO<sub>2</sub> es atribuible a la fuente de electricidad. Al usar "electricidad verde", la huella puede bajar a 4 kg CO<sub>2</sub>-eq. Esto es lo que se conoce como "aluminio de bajo carbono". La mayor parte del aluminio de bajo carbono hoy en día se fabrica con electricidad de plantas hidroeléctricas.

Para efectos de determinar el impacto ambiental producido por la tubería de aluminio de la estructura del techo de la embarcación se utilizó el dato de 8,6 kg CO<sub>2</sub>-eq / kg de aluminio, considerando que dicho material fue cotizado de una empresa extranjera. Según la tabla 12 el peso total del aluminio para la armadura del techo es de 8,04 kg. El impacto ambiental total del aluminio es de 69,14 kg CO<sub>2</sub>-eq.

$$I_{aluminio\_techo} = 8,04 \text{ kg} * 8,6 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} = 69,14 \text{ kg CO}_2 eq \quad (17)$$

### Motor eléctrico

El motor fuera de borda eléctrico seleccionado es un motor eléctrico de corriente alterna de imanes permanentes. Ellingsen (2020) informa la emisión de producción de tres tipos diferentes de motores de imanes permanentes basados en la producción de motores tanto en Suecia como en Estados Unidos. Los factores de emisión para los motores producidos en Suecia estuvieron en el rango de 6,5-6,7 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg, mientras que los motores producidos en los Estados Unidos oscilaron ligeramente más alto, 7,4-7,8 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg. La mayor emisión de producción de los motores producidos en los Estados Unidos proviene de la electricidad más intensiva en carbono. Los valores mencionados anteriormente se obtuvieron para motores eléctricos de corriente directa de imán permanente para vehículos de pasajeros eléctricos, es probable que los valores derivados sean similares para el motor de imán permanente de corriente alterna debido a la similitud de los materiales. También es probable que los valores se escalen bien con el tamaño. Por lo tanto, se asumió el promedio de valores informados, resultando 7,1 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg, para el motor de corriente alterna de imanes permanentes para las embarcaciones eléctricas. Para el desecho del motor eléctrico se asumió el factor de emisión de 0,7 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg informado por *Bureau of International Recycling (BIR)* (2008).

El motor eléctrico seleccionado en este proyecto tiene un peso de 20,2 kg, dato de la tabla 7. El impacto ambiental total del motor eléctrico es de 157,56 kg CO<sub>2</sub>-eq considerando su ciclo de vida y reciclaje y estaría dado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} I_{motor\_eléctrico} &= 20,2 \text{ kg} * 7,1 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} + 20,2 \text{ kg} * 0,7 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} \\ &= 157,56 \text{ kg CO}_2 eq \quad (18) \end{aligned}$$



### Cargador de batería y regulador de carga solar

Para los demás elementos eléctricos de la embarcación como lo son el regulador de carga solar y el cargador de batería no se obtuvieron datos específicos, sin embargo, se asumió un factor de emisión de 4,4 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg considerando los factores de emisión que establece Ellingsen (2020) para un inversor y convertidor de un sistema de propulsión eléctrico, los cuales igualmente son elementos eléctricos. Para el desecho de estos elementos según Ellingsen (2020) el proceso tiene un factor de emisión de 0,3 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg. El proceso incluye la descontaminación manual y el tratamiento mecánico (trituradora) de las piezas restantes.

El cargador de batería seleccionado en este proyecto tiene un peso de 6,2 kg, dato de la tabla 11. El impacto ambiental total del cargador de batería es de 29,14 kg CO<sub>2</sub>-eq considerando su ciclo de vida y desecho y estaría dado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{cargador\_batería}} &= 6,2 \text{ kg} * 4,4 \text{ kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{kg}} + 6,2 \text{ kg} * 0,3 \text{ kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{kg}} \\
 &= 29,14 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (19)
 \end{aligned}$$

El regulador de carga solar seleccionado en este proyecto tiene un peso de 0,49 kg, dato de la tabla 10. El impacto ambiental total del regulador de carga solar es de 29,14 kg CO<sub>2</sub>-eq considerando su ciclo de vida y desecho y estaría dado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{regulador\_solar}} &= 0,49 \text{ kg} * 4,4 \text{ kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{kg}} + 0,49 \text{ kg} * 0,3 \text{ kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{kg}} \\
 &= 2,3 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (20)
 \end{aligned}$$

### Fase de Operación

#### Paneles solares

Según (PROCOEN, 2022) suponiendo que la eficiencia de los paneles no disminuye

con el tiempo (que lo hacen) y una vida útil de 30 años, su huella de carbono es de 0.065 kg CO<sub>2</sub>-eq / kWh. Considerando 30 años, y una producción a partir de energía solar de 5,824 kWh diarios (dato determinado en la sección 4.5), el impacto ambiental total asociado a los paneles solares es de 4145,23 kg CO<sub>2</sub>-eq, esto durante los 30 años de vida útil. Para efectos de análisis se determinó el impacto ambiental anual asociado a los paneles solares, el cual es de 138,17 kg CO<sub>2</sub>-eq.

$$\begin{aligned}
 I_{\text{anual\_paneles\_solares}} &= 5,824 \text{ kWh} * 0,065 \text{ kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{kWh}} * 365 \\
 &= 138,17 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (21)
 \end{aligned}$$

### Energía eléctrica

Según (Instituto Meteorológico Nacional, 2021) en su última edición del informe sobre factores de emisión de gases de efecto invernadero, el factor emisión en el sector electricidad en Costa Rica es de 0,0282 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh, dato del año 2020. Considerando un consumo de energía en puerto de 3,507 kWh por día, 4 veces por semana (según lo establecido en la sección 5.2), el consumo anual es de 673,34 kWh. El impacto ambiental anual asociado al consumo de energía eléctrica es de 18,99 kg CO<sub>2</sub>-eq.

$$\begin{aligned}
 I_{\text{anual\_energía\_eléctrica}} &= 673,34 \text{ kWh} * 0,0282 \text{ kg CO}_2 \frac{\text{eq}}{\text{kWh}} = \\
 &= 18,99 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (22)
 \end{aligned}$$

### **Impacto ambiental total de embarcación con motor eléctrico**

Considerando un período de 5 años el impacto ambiental total de la embarcación eléctrica estaría dado de la siguiente manera:

*I*<sub>embarcación\_eléctrica</sub>

$$\begin{aligned}
 &= I_{\text{casco\_madera}} + I_{\text{batería}} + I_{\text{aluminio\_techo}} + I_{\text{motor\_eléctrico}} \\
 &+ I_{\text{cargador\_batería}} + I_{\text{regulador\_solar}} + 5 * I_{\text{anual\_paneles\_solares}} + 5 \\
 &* I_{\text{anual\_energía\_eléctrica}} \\
 &= 103,39 \text{ kg CO2 eq} + 419,98 \text{ kg CO2 eq} + 69,14 \text{ kg CO2 eq} \\
 &+ 157,56 \text{ kg CO2 eq} + 29,14 \text{ kg CO2 eq} + 2,3 \text{ kg CO2 eq} + 5 \\
 &* 138,17 \text{ kg CO2 eq} + 5 * 18,99 \text{ kg CO2 eq} \\
 &= 1567,31 \text{ kg CO2 eq} \quad (23)
 \end{aligned}$$

## 6.2 Análisis de impacto ambiental para embarcación con motor de combustión

De igual manera que se hizo con la embarcación con motor eléctrico para determinar el impacto ambiental producido por la embarcación con motor de combustión, es conveniente determinar el impacto ambiental asociado con cada elemento y material de la embarcación.

Para el casco y la armadura de techo como se trata del mismo diseño estructural de la embarcación el impacto ambiental es el mismo. La diferencia radica en el tipo motor claramente y en la fase operativa.

### Motor de combustión

Con respecto al impacto ambiental para un motor de combustión no se encontró información específica sobre motores de combustión marinos. Según un dato determinado de (Ellingsen, 2020), con resultados de motores de combustión utilizados en automóviles de pasajeros el factor emisión de un motor de combustión es de 3,3 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg. Se consideró que los factores de emisión para los motores de vehículos de pasajeros también son representativos para los motores de combustión marinos utilizados en barcos porque los

materiales estructurales más importantes en los motores de 4 tiempos son los mismos: hierro fundido, aleaciones y aceros estructurales, y aluminio. Aleaciones (donde los tres elementos principales utilizados en las aleaciones metálicas son el hierro, el aluminio y el carbono). Es importante señalar que las emisiones del ciclo de vida de los sistemas de propulsión basados en la combustión se deben casi en su totalidad a la combustión de combustibles, mientras que la producción de los componentes del sistema de propulsión tiene contribuciones marginales a las emisiones totales del ciclo de vida. Un motor de combustión se compone principalmente de varias aleaciones de metales, por lo que el material utilizado en el motor y sus componentes se pueden reciclar. Asumiendo que el proceso de eliminación es un proceso de fusión, para el desecho del motor de combustión se asumió el factor de emisión de 0,7 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg informado por (Bureau of International Recycling (BIR), 2008).

$$\begin{aligned}
 I_{motor\_combustión} &= 25 \text{ kg} * 3,3 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} + 25 \text{ kg} * 0,7 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{kg} \\
 &= 100 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (24)
 \end{aligned}$$

### Fase de operación

#### Gasolina

Según (Instituto Meteorológico Nacional, 2021) el factor emisión en el sector energía producido por la gasolina en Costa Rica es de 2,231 kg CO<sub>2</sub>-eq/L. Considerando un consumo de gasolina de 7718,4 litros por año (según lo establecido en la sección 5.2), el impacto ambiental anual asociado al consumo de gasolina es de 17219,75 kg CO<sub>2</sub>-eq.

$$I_{anual\_gasolina} = 7718,4 \text{ L} * 2,231 \text{ kg CO}_2 \frac{eq}{L} = 17219,75 \text{ kg CO}_2 \text{ eq} \quad (25)$$

### **Impacto ambiental total de embarcación con motor de combustión**

Considerando un período de 5 años el impacto ambiental total de la embarcación con motor de combustión estaría dado de la siguiente manera:

$I_{embarcación\_combustión}$

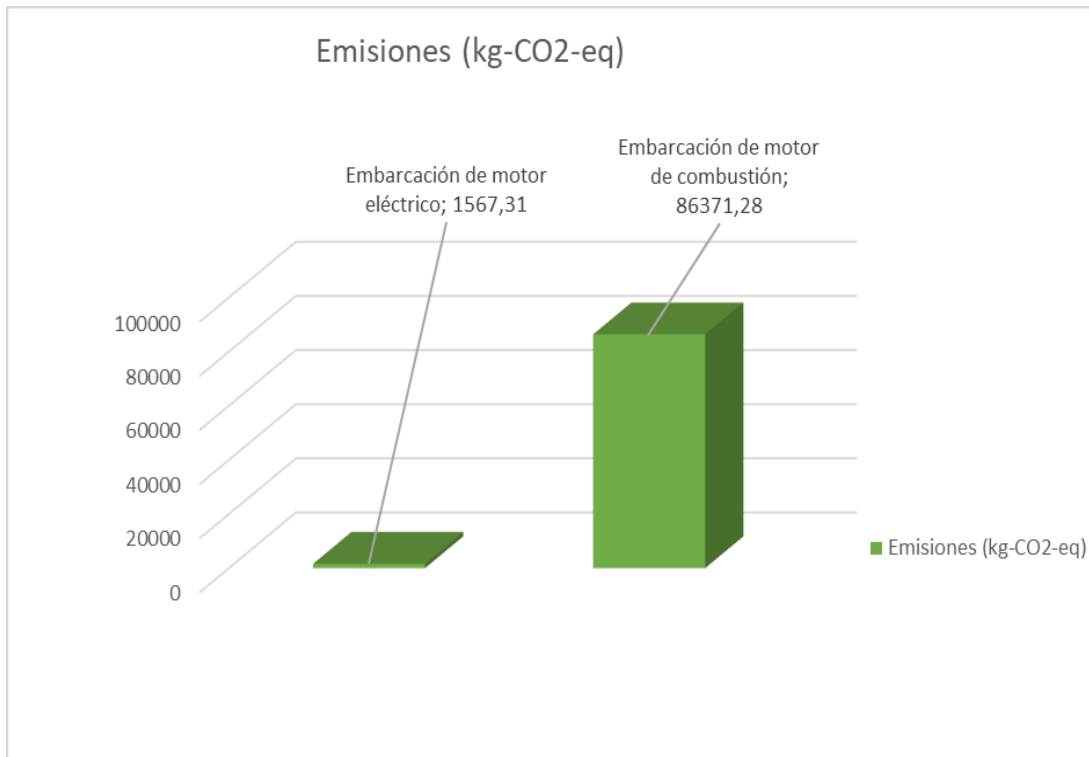
$$\begin{aligned}
 &= I_{casco\_madera} + I_{aluminio\_techo} + I_{motor\_combustión} + 5 * I_{anual\_gasolina} \\
 &= 103,39 \text{ kg CO2 eq} + 69,14 \text{ kg CO2 eq} + 100 \text{ kg CO2 eq} + 5 \\
 &* 17219,75 \text{ kg CO2 eq} = 86371,28 \text{ kg CO2 eq} \quad (26)
 \end{aligned}$$

### 6.3 Comparativa de resultados

En el gráfico de la figura 55 se muestran los resultados de las emisiones producidas por las embarcaciones de motor eléctrico y de motor de combustión durante su ciclo de vida, considerando un análisis de 5 años. Tal y como se observa en el gráfico la embarcación de motor de combustión produce una cantidad mucho mayor de kg CO<sub>2</sub>-eq. En la fase inicial para la construcción de cada embarcación, la manufactura de la embarcación con motor eléctrico provoca una mayor cantidad de kg CO<sub>2</sub>-eq, es decir desde el punto de vista de manufactura el impacto ambiental es mayor cuando se construye una embarcación de motor eléctrico, sin embargo, al igual que en el análisis de costo de ciclo de vida la gran diferencia radica en la fase operativa, es en este punto donde se aprecia el valor de una embarcación con motor eléctrico. Por ello es tan importante analizar y tomar en cuenta todas las fases de ciclo de vida para el estudio de un proyecto.

**Figura 53.**

*Gráfico de emisiones de kg CO2-eq para dos tipos de embarcaciones.*



Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

## 7. Capítulo VII. Análisis del impacto social-económico

Según la FAO (2016) la pesca artesanal es una actividad productiva con la cual muchas personas de las zonas costeras ven en el mar la oportunidad de sacar adelante a sus familias y desarrollarse a partir de esta actividad. En lo que respecta a la pesca artesanal en América Latina se encuentran más de 2 millones de pescadores con un nivel de producción mayor a 2,5 millones de toneladas de producto y valores de producción de aproximadamente 3000 millones de dólares.

En Costa Rica para el año 2011 el INEC contabilizó 6353 pescadores artesanales legales en el país, de ellos un 62 % se encontraban en Puntarenas, un 25 % en Guanacaste y un 13 % en el resto del país. Sin embargo, según la FAO (2016) OSPESCA señala que para el 2012 existían 14 800 pescadores artesanales en el país, incluyendo pescadores ilegales los cuales muchos de ellos tienen dificultad para acceder a licencias.

La dificultad al obtener licencias muchas veces radica en el incumplimiento de especificaciones técnicas de las embarcaciones.

Las actividades del sector pesquero artesanal van más allá de la captura de peces y mariscos, también hay actividades que se realizan antes y después de la captura. Todas las actividades son elementos esenciales en el proceso de pesca.

En las actividades antes y después de la captura participan todos los miembros de la comunidad: mujeres, hombres, niños con intereses y necesidades diferentes y con labores directa o indirectamente relacionadas con la pesca o recolección (FAO, 2016).

Actividades previas a la captura:

- El mantenimiento de las embarcaciones y sus motores.
- La vigilancia de los equipos.

- La elaboración y la limpieza de los artes y equipos de pesca.
- La preparación de carnadas y equipo para realizar las labores de pesca y recolección.

Actividades posteriores a la captura:

- El registro de las capturas.
- La distribución, almacenaje y procesamiento de los productos.
- Emplear estrategias que permitan garantizar la seguridad del producto de consumo, para evitar la transmisión de enfermedades.
- La venta de los recursos pesqueros.

En las comunidades costeras en las cuales existe una cantidad considerable de pescadores artesanales es necesario que dicho grupo de pescadores esté bien organizado para que la comunidad se beneficie por igual y se tenga un manejo responsable y sostenible de los recursos en la pesca y la extracción de moluscos. Según la FAO (2016) un manejo responsable y sostenible significa utilizar, conservar y mejorar los recursos de la comunidad a fin de mantener los procesos ecológicos de los que depende la vida y poder incrementar, ahora y en el futuro, la calidad total de la vida.

Los objetivos de desarrollo sostenible son metas que se proponen los diferentes países.

Según la FAO (2016) dentro de los objetivos de desarrollo sostenible están:

Objetivo N°8: Trabajo decente y crecimiento económico: promover un trabajo que se desarrolle de forma plena y productiva en condiciones que permitan un empleo decente en un período que finaliza en el 2030.

Objetivo N°14: Vida marina: implementar medidas que permitan un ordenamiento y protección de los recursos, de forma sostenible con la vida de las personas que viven en las



costas y de los ecosistemas marinos y costeros.

Una forma práctica de aplicar los principios de desarrollo sostenible y manejo responsable de recursos es implementando un Enfoque Ecosistémico de la Pesca (EPP) el cual según Gummy., Soto., & Morales (2014) es una forma de ver la actividad pesquera y extracción de moluscos y busca que se dé un mantenimiento de los ecosistemas marinos-costeros para la preservación de distintas especies y su diversidad de la mano de un mejoramiento del bienestar humano y la equidad que permita satisfacer la necesidad de alimentos y beneficios económicos de las sociedades y personas.

Según la OIT (1999) un trabajo se puede considerar decente cuando:

- Es un trabajo productivo en condiciones de libertad, equidad y seguridad.
- Tiene posibilidad de organización y participación.
- Permite ejercer derechos laborales con igualdad de género, solidaridad y dignidad humana.

Al igual que todos los trabajadores, los trabajadores del sector pesquero tienen derecho a periodos de descanso adecuados, garantías y derechos laborales, condiciones y equipos que le permitan mantener seguridad a bordo de la embarcación y un salario justo ya sea por número de capturas, por viaje, por jornada o por su función.

Con respecto a la seguridad laboral en la tabla 31 se muestran algunas medidas preventivas para evitar accidentes en la práctica de la pesca artesanal.

Tabla 35. Medidas de prevención en algunas actividades de la pesca artesanal.

| Tipo de actividad  | Medidas de prevención   |
|--|---|
| Traslado de motor, tanque de combustible, productos de la pesca, movilizar embarcación, etc. | Al cargar motores con un peso pequeño, se debe utilizar cojinetes en el hombro y colocar un protector en la hélice del motor.             |
|  | Cuando se cargan objetos pesados es recomendable evitar caminar sobre superficies lisas, mojadas o con aceite.                            |
| Trasladar la embarcación al sitio de pesca.  | Revisar que la embarcación no tenga agujeros antes de trasladarse al sitio de pesca.  |
|  | Cargar la embarcación de acuerdo con la capacidad y distribuir las personas adecuadamente para balancear el peso.                         |
|  | Utilizar chalecos salvavidas o neumáticos inflados para cualquier emergencia.   |
|  | No confiarse demasiado en la experiencia o destreza que se tenga.   |
| Durante el proceso de pesca  | Estas actividades deben ser realizadas por adultos.   |
|  | Llevar y consumir suficiente agua potable durante la jornada de trabajo.  |
|  | En la medida lo posible utilizar vestimenta adecuada como: camisas de manga larga y sombreros para evitar quemadas por exposición al sol. |
| Extracción de moluscos   | Para tirar la atarraya es conveniente colocarse en el lugar de la embarcación donde se pueda mantener el equilibrio.                      |
|  | Utilizar vestimenta adecuada y protección de manos y pies durante la extracción.  |
|  | Buscar métodos alternativos de protección para evitar las picaduras de los mosquitos, a fin de evitar el consumo de puros y demás.        |
|  | Estas actividades por ningún motivo deben ser realizadas por niños ya que los riesgos son aún mayores.                                    |

Nota: OIT, 2007.

Los pescadores tienen derecho a un seguro de salud que les brinde servicios de farmacia y laboratorio, asistencia médica general especializada y quirúrgica, prestaciones sociales y subsidios en dinero. Según (Caja Costarricense del Seguro Social, 2014) para junio

del 2014 existían 5285 trabajadores legales del sector pesca que contaban con seguro de salud mediante diversas vías: convenios especiales con asociaciones o cooperativas, asegurados por cuenta propia, asegurados por medio de instituciones autónomas y asegurados por medio de empresa privada. En cuanto a cotizaciones para pensión, según estadísticas de la Caja Costarricense de Seguro Social para mayo del 2015 había una cantidad de 4781 personas del sector pesquero cotizando por una pensión.

La mejor forma de afrontar la problemática económica y social en las costas es garantizarles a las personas en este caso del sector pesquero artesanal un trabajo digno que cumpla con los objetivos del desarrollo sostenible. Este proyecto es una propuesta que busca cumplir esos objetivos en el sector pesquero mediante la construcción de una embarcación pequeña de pesca artesanal que garantice a los pescadores: funcionabilidad, confiabilidad, seguridad, rentabilidad y además una reducción del impacto ambiental.

En Costa Rica existe un programa denominado “Desarrollo Sostenible de la Pesca y Acuicultura en Costa Rica”, este está bajo la coordinación de INCOPECA.

El Programa busca incrementar la contribución de los recursos marinos del país a la economía nacional y regional mediante el fortalecimiento de la capacidad institucional y la gobernanza del sector pesquero, la generación de valor agregado mediante la mejora de infraestructura clave y de la comercialización, y el abordaje de los aspectos sociales y ambientales para una distribución equitativa y sostenible de los beneficios derivados de la actividad. Con prioridad a las pesquerías con el mayor potencial de crecimiento económico y generación de empleo para el país, tales como el atún, así como la evaluación de stock y planes de manejo para especies de corvina, pargo, robalo, camarón blanco, grandes pelágicos y langosta, entre otros, que son fundamentales para los medios de vida de las comunidades del Pacífico y el Caribe, dedicadas a la pesca artesanal en pequeña escala, mediana escala y

avanzada (INCOPECA, 2020). En los cuadros de la figura 56 se muestran los beneficiarios potenciales de este programa para el sector pesquero.

**Figura 54.**

*Beneficiarios potenciales en el sector pesca del Programa Desarrollo Sostenible de la Pesca y Acuicultura en Costa Rica.*

| <b>Flota Pesquera Nacional</b> |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Tipo de Flota</b>           | <b>Número de Beneficiarios</b> |
| Pequeña Escala                 | 3928                           |
| Mediana Escala                 | 1088                           |
| Avanzada                       | 345                            |
| Semiindustrial Sardinero       | 15                             |
| Deportiva                      | 366                            |
| Turística                      | 888                            |
| <b>TOTAL</b>                   | <b>6630</b>                    |

| <b>Comercialización y Procesamiento</b> |                                |
|---|--------------------------------|
| <b>Tipo de Flota</b>                    | <b>Número de Beneficiarios</b> |
| Transportistas                          | 1764                           |
| Centros de acopio                       | 156                            |
| Plantas de proceso                      | 430                            |
| Pescaderías                             | 1840                           |
| <b>TOTAL</b>                            | <b>4190</b>                    |

Nota: INCOPECA, 2020.

En la figura 56 se muestra que el número de beneficiarios para el sector pesquero artesanal a pequeña escala es de 3928 más la cantidad de beneficiarios en comercialización y procesamiento del producto. El desarrollo sostenible de la pesca artesanal a pequeña escala en las comunidades costeras es un punto en común que tienen tanto el Programa antes descrito como el proyecto del presente documento. Considerando esto se pueden hacer asumir los mismos beneficiarios potenciales si en un futuro se implementan sistemas de propulsión eléctricos en las embarcaciones pequeñas de pesca artesanal.

El proyecto de una embarcación pequeña eléctrica de pesca artesanal puede trabajarse en conjunto con el Programa Desarrollo Sostenible de la Pesca y Acuicultura en Costa Rica para lograr potencialización de este.

Sin embargo, implementar una nueva tecnología nunca es sencillo. A pesar de que el costo de ciclo de vida desarrollado en el capítulo 5 muestra una factibilidad a favor de la embarcación tipo eléctrico, los costos de inversión de ésta siguen siendo muy elevados, más aun, considerando que el sector de pescadores artesanales es un sector limitado económicamente.

Por ello es necesario encontrar alternativas para lograr que esta tecnología sea más accesible al sector pesquero artesanal. Una opción puede ser un modelo de negocio que aplica ASOBO, una *start-up* holandesa en Mbita, un pequeño pueblo de pescadores en Kenia. Motores eléctricos de la casa Torqeedo se alquilan a los pescadores locales por una tarifa mensual que incluye financiación, formación, mantenimiento y un servicio de carga de baterías con energía solar.

La problemática en Mbita es evidente, la pesca excesiva es una de las razones del estado alarmante del lago. Otra es la contaminación masiva. Las granjas y las alcantarillas abiertas contribuyen al problema al descargar productos químicos en el lago. Pero los 30.000 barcos pesqueros también son un factor. A medida que cruzan el lago, sus ruidosos motores fuera de borda de dos tiempos de 10 a 15 hp emiten contaminantes y CO<sub>2</sub>. Las reparaciones y los trabajos de mantenimiento se suelen realizar en la playa y, con frecuencia, el aceite sin filtrar se filtra al agua. Como resultado, no solo envenenan a los peces, sino que también se ponen en peligro a sí mismos. Después de todo, el lago Victoria es la principal fuente de agua potable en las regiones costeras (Torqeedo, 2020).

Esta es precisamente la situación que ASOBO quiere cambiar. La firma con sede en

Mbita creada en 2019 por Laurens Friso y Wolfgang Gregor, junto con *Persistent Energy*, un creador de empresas quiere persuadir a tantos pescadores como sea posible para que cambien a motores eléctricos de alta tecnología. Es más fácil decirlo que hacerlo en un país donde el salario bruto mensual promedio es de poco menos de 500 €. Entonces desarrollaron un innovador modelo de arrendamiento en el que ASOBO compra motores *Cruise 4.0 T* con una potencia de propulsión equivalente a un motor fuera de borda de 9.9 hp y los alquila a los pescadores. ASOBO también capacita al pescador y su tripulación sobre cómo operar el nuevo motor eléctrico de manera eficiente, carga las baterías *Torqueado Power 24-3500* de 3,5 kWh y brinda servicio de respaldo en caso de que algo salga mal. Cada mañana, cuando los pescadores venden su pesca en la playa, un empleado de ASOBO recoge las baterías en su bicicleta de trabajo eléctrica y las lleva a una estación de energía solar no muy lejos. A última hora de la tarde, antes de que los barcos zarpen de nuevo, las baterías vuelven a estar a bordo (Torqueado, 2020). La tarifa de alquiler de los motores eléctricos es un 20-25% menos que el gasto mensual de operar un motor fuera de borda de gasolina.

Esta iniciativa puede ser aplicable en Costa Rica, considerando las limitaciones económicas de los pescadores artesanales para adquirir la tecnología de propulsión eléctrica por sus propios medios.

## 8. Capítulo VIII. Conclusiones y recomendaciones

### 8.1 Conclusiones

1. Se diseñó una embarcación pequeña de pesca artesanal con motor eléctrico a través de energías limpias, con base en manuales e informes de la FAO y los *Softwares Ansys* y *AutoCAD* para la selección de los elementos del sistema de propulsión eléctrico y la generación del diseño electromecánico.
2. Se comparó a través de un análisis del costo de ciclo de vida útil los costos de diseño, operación, mantenimiento y descarte entre un barco con motor de combustión interna vs un barco con motor eléctrico, obteniendo para un escenario de un período de 5 años: \$ 26.338 de costo de ciclo de vida para el barco con motor eléctrico y \$ 37.142 para el barco con motor de combustión interna y para un escenario de un período de 10 años: \$ 39.814 de costo de ciclo de vida para el barco con motor eléctrico y \$ 59.448 para el barco con motor de combustión interna.
3. Se determinó el impacto ambiental en unidades de dióxido de carbono equivalente durante todo su ciclo de vida útil el cual se consideró un período de 5 años, del barco con motor eléctrico en comparación con el barco con motor de combustión, obteniendo  $1567,31 \text{ kg } CO_2 \text{ eq}$  para el barco con motor eléctrico y  $86371,28 \text{ kg } CO_2 \text{ eq}$  para el motor con motor de combustión.
4. Se calculó el impacto económico, social y ambiental del barco eléctrico, permitiendo una valoración para la toma de decisiones de una eventual construcción de un prototipo, obteniendo un costo de inversión inicial de \$ 24.484 para la construcción del barco con motor eléctrico.

## **8.2 Recomendaciones**

Si una embarcación usada se encuentra en buen estado se puede considerar un cambio de sistema de propulsión y la realización de las modificaciones necesarias para lograr electrificarla, en lugar de construirla desde cero, esto reduciría los costos de inversión y reutilizaría las embarcaciones ya existentes.

Capacitarse adecuadamente antes de comenzar a utilizar el sistema de propulsión eléctrico, solicitar toda la información y guía posible por parte de los fabricantes.

Realizar los planes de mantenimiento tal y como lo indica el fabricante e incluso especificar según experiencias y datos de equipos y sistemas ya existentes, además realizar una base de datos que permita el análisis de los mismos y de esta forma trabajar en una mejora continua de la gestión de mantenimiento de los activos.



## Bibliografía

- Akhilesh Kumar Dewangan, I. P. (2018). *Development of Energy Efficient and Aquatic Friendly Solar Electric Boat*. Obtenido de <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9008454>
- Aliffrananda, M. H., Safaruddin, A. R., Supomo, H., & Regitasyali, S. (2020). *Design of laminated bamboo fishing boat with local cultural heritage using electric motor to support fishing tourism in Pasuruan, East Java*. Recuperado el 03 de 11 de 2021, de iopscience: <https://iopscience-iop-org.ezproxy.itcr.ac.cr/article/10.1088/1757-899X/1052/1/012032/pdf>
- AMB IDEAS. (2022). Toldos, Lonas, Manteados y Cubiertas. Recuperado el 22 de 03 de 2022, de AMB IDEAS: [https://ambideas.com/promociones/lonas-y-toldos/?gclid=CjwKCAjwxOCRBhA8EiwA0X8hi6QmRn\\_VILfHtmOL02ELZNHw\\_Quo4HWcVhFtH4qje2Lnrrnu831DNRoCUpMQAvD\\_BwE](https://ambideas.com/promociones/lonas-y-toldos/?gclid=CjwKCAjwxOCRBhA8EiwA0X8hi6QmRn_VILfHtmOL02ELZNHw_Quo4HWcVhFtH4qje2Lnrrnu831DNRoCUpMQAvD_BwE)
- ARESEP. (2022). INCOP servicios portuarios. Recuperado el 25 de 03 de 2022, de AUTORIDAD REGULADORA DE LOS SERVICIOS PÚBLICOS: <https://aresep.go.cr/puertos/tarifas/1787-tarifas-incop-784-rcr-2012-et-108-2012-correccion-de-error-material>
- Asociación Gremial de Vehículos Eléctricos de Chile. (2020). *Eléctricos vs combustión*. Recuperado el 03 de 03 de 2022, de PORTAL MOVILIDAD: <https://portalmovilidad.com/motores-electricos-vs-a-combustion-quien-gana-nuevo-informe-de-amech-compara-los-puntos-mas-importantes/#:~:text=Mientras%20en%20los%20motores%20el%C3%A9ctricos,est%20a%20gran%20diferencia%20es%20simple>.
- Asprilla, D. (2014). *Análisis de los impactos ambientales que produce una empresa de muebles*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada .
- AutoCAD. (2021).
- AutoSolar. (2022). Paneles Solares. Recuperado el 21 de 02 de 2022, de AutoSolar: <https://autosolar.es/paneles-solares/paneles-solares-para-barcos>
- Baquero, A. (2013). *Resistencia al Avance del Buque*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Bartrons, J. (2014). *Estudio hidrodinámico por cfd del casco de una lancha motora*. Barcelona, España.
- Boat Fuel Economy. (s.f.). Consumo de combustible del barco. Recuperado el 29 de 03 de 2022, de Boat Fuel Economy: [https://www.boat-fuel-economy.com/consumo-fuera-de-borda-suzuki#google\\_vignette](https://www.boat-fuel-economy.com/consumo-fuera-de-borda-suzuki#google_vignette)
- BOATING. (2022). *Calculating Boat Fuel Consumption*. Recuperado el 29 de 03 de 2022, de BOATING: <https://www.boatingmag.com/calculating-fuel-consumption/>
- Borrás, M. (2019). *Construcción de embarcaciones de madera*. Panamá, República de Panamá: Universidad Tecnológica de Panamá.
- Boudesseul, J. F. (2017). *Análisis hidrodinámico y de estabilidad de un buque petrolero*. Bilbao, España.
- Bureau of International Recycling (BIR). (2008). *Report on the Environmental Benefits of Recycling*. Londres, Inglaterra.
- Caja Costarricense del Seguro Social. (2014). *Estadísticas de Patronos, trabajadores y salarios*. San José.
- Camara, M., Payman, A., & Dakyo, B. (2016). *Energy Management based on Frequency*

- Approach in*. Recuperado el 08 de 02 de 2022, de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7841420>
- Capa, Y. (2019). Plan de mantenimiento del barco pesquero "ciudad de cartagena. Cartagena, Colombia.
- Castillo, F. D. (2015). Desarrollo sostenible de la construcción naval: dinámica evolutiva y eco-innovación en el sector de reparaciones europeo. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Castro, R. (2012). Descripciones de las embarcaciones pesqueras de la costa ecuatoriana. Ecuador.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2018). Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Cepeda, M., & García, C. (2021). Diseño de adaptación de un motor eléctrico fuera de borda alimentado por energía solar fotovoltaica para una embarcación de 16 ft de eslora. Duitama, Colombia: Universidad Antonio Nariño.
- Chao, R.-M., Lin, H.-K., & Wu, C.-H. (2018). *Solar-Powered Boat Design Using Standalone Distributed PV System*. Recuperado el 11 de 02 de 2022, de <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8394259>
- Covermatic. (2022). Náutica: Lona cobertura vinílica. Recuperado el 15 de 03 de 2022, de Covermatic: <https://www.covermatic.com.ar/nautica/>
- Creese, & Moore. (1990). *Cost modeling for concurrent engineering*.
- Damia Solar. (2015). Ventajas y inconvenientes de las placas solares flexibles. Recuperado el 03 de 03 de 2022, de Damia Solar: [https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/ventajas-inconvenientes-paneles-solares-flexibles\\_1](https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/ventajas-inconvenientes-paneles-solares-flexibles_1)
- Dell'Olmo. (2019). Análisis del impacto ambiental del reciclaje de las embarcaciones construidas en fibra de vidrio. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Desertcart. (2022). *Suzuki ECSTAR V7000 10W-40 Marine 4-Stroke Engine Oil, 1 Gal (990C0-01E30-GLN)*. Recuperado el 30 de 03 de 2022, de desertcart.cr: <https://www.desertcart.cr/products/81221338-suzuki-ecstar-v-7000-10-w-40-marine-4-stroke-engine-oil-1-gal-990-c-0-01-e-30-gln>
- Dhillon. (2002). *Engineering Maintenance a modren approach*. Recuperado el 25 de 03 de 2022, de [http://site.iugaza.edu.ps/sabdelall/files/2010/02/Engineering\\_Maintenance\\_a\\_modern\\_approach.pdf](http://site.iugaza.edu.ps/sabdelall/files/2010/02/Engineering_Maintenance_a_modern_approach.pdf)
- DHNAUTICA. (2022). Centro de Instrumentos, Accesorios, Publicaciones y Especialidades Náuticas. Recuperado el 15 de 03 de 2022, de DHNAUTICA: <https://www.depositohidrografico.com/b2c/producto/I90866160/1/terminal-toldo-capota-completo-inox>
- eBay Inc. (2022). Filtro de aceite Suzuki 16510-05240 (juego de 3) 1 9/16" X 1 11/16" Barco Marina. Recuperado el 30 de 03 de 2022, de ebay: <https://www.ebay.com/itm/194942936945?epid=702295676&hash=item2d63812771:g:4TcAAOSw2LBgmYIs>
- EcoGanicO. (2022). Recuperado el 23 de 03 de 2022, de EcoGanicO: <http://ecoganico.com/>
- Ellingsen, L. A.-W. (2020). *Life cycle assessment of express boat propulsion systems*. Noruega: Norwegian Centres of Expertise .

- EPA. (2022). Productos. Recuperado el 18 de 03 de 2022, de Ferretería EPA: <https://cr.epaenlinea.com/>
- F.Marques da Silva SA. (2017). Tubo redondo de aluminio. Recuperado el 15 de 03 de 2022, de FMS: [https://www.fms.pt/es/aluminio/tubos/tubo\\_redondo\\_aluminio.html](https://www.fms.pt/es/aluminio/tubos/tubo_redondo_aluminio.html)
- Fabrycky, & Blanchard. (1991). *Life Cycle Costing and Economic Analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- FacilCompras. (2020). Tabla de impuestos aduanales actuales. Recuperado el 22 de 03 de 2022, de FacilCompras.
- FAO. (1985). Embarcaciones pesqueras de acero pequeñas . Roma, Italia.
- FAO. (1986). Definición y clasificación de las embarcaciones pesqueras. Roma.
- FAO. (2004). Diseño de embarcaciones pesqueras: 2 Lanchas de fondo en "V" endueladas y de madera contrachapada. Roma, Italia.
- FAO. (2011). Construcción de embarcaciones pesqueras: 4 Construcción de una embarcación sin cubierta de plástico reforzado con fibra de vidrio. Roma, 2011.
- FAO. (2015). Ahorro de combustible en pequeñas embarcaciones pesqueras. Roma, Italia.
- FAO. (2016). La Pesca Artesanal: El caso de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Gao, D., Zhang, W., Shen, A., & Wang, Y. (2017). *Parameter Design and Energy Control of the Power Train in a Hybrid Electric Boat*. Recuperado el 09 de 02 de 2022, de MDPI: <https://www.mdpi.com/1996-1073/10/7/1028>
- García, D. (2015). Estimación y comparación de la resistencia al avance de formas de buques de pesca con pantoque redondeado mediante diferentes métodos numéricos. Cartagema, España: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.
- Garrido, J. (1998). Resistencia Hidrodinámica de los Buques. Panamá.
- Glas Ocean Electric. (2018). Electric boats using clean energy. *Journal of Ocean Technology*, 1.
- GOBIERNO DE COSTA RICA. (2018). Dirección de Cambio Climático. Recuperado el 07 de 02 de 2022, de <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/02/PLAN.pdf>
- Gómez, L., & Piedra, C. (2019). Contratación de servicios profesionales para determinar metodología de calculo de consumo de combustible en actividades de pesca a flota pesquera nacional no deportiva. Costa Rica.
- Gomez, S., & Mejía, R. (2020). *An Interactive Tool For Propeller Selection According to Electric Motor Exploration: An Electric Boat Design Case Study*. Recuperado el 11 de 10 de 2021, de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9161467>
- Guldhammer, & Harvald. (1974). *Determination of ship resistance*.
- Gummy., Á., Soto., D., & Morales., R. (2014). Capacitación , concientización, control de las regulaciones establecidas, organización, mejoramiento canales de comercialización, investigación, monitoreo de los resultados, financiamiento, coordinación interinstitucional. Roma, Italia: FAO.
- Hemdana, I., Dallagi, H., Bouaicha, H., Zaoui, C., & Nejim, S. (2018). *Hybrid electrical power supply for an electric propelled boat*. Obtenido de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8379876>
- Herreros, M., & Souto, A. (2001). La influencia de los fenómenos "wake wash" y "squat" en el diseño de buques rápidos: límites aceptables y métodos de predicción. Cádiz, España.
- Holtrop, J. (1984). *A statistical re-analysis of resistance andpropulsion data*. Países Bajos:

- International Ship Building Progress.
- Huenante, W. (2018). Estudio experimental de resistencia al avance en barcazas menores . Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.
- IDAE. (2009). Ahorro y Eficiencia Energética en Buques de Pesca. España.
- INCOPESCA. (2002). Reglamento para la regulación y control del uso eficiente del combustible destinado a la Flota pesquera Nacional no Deportiva en aguas jurisdiccionales o fuera de ellas. Recuperado el 29 de 03 de 2022, de Sistema Costarricense de Información Jurídica: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=47925](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=47925)
- INCOPESCA. (Enero de 2020). *INCOPESCA*. Recuperado el 07 de 02 de 2022, de [https://incopesca.go.cr/programas/prog\\_desarrollo\\_sostenible/salvaguuardas\\_proyecto\\_desarrollo\\_sostenible/01-marco\\_gestion\\_ambiental\\_y\\_social\\_enero\\_2020\\_final.pdf](https://incopesca.go.cr/programas/prog_desarrollo_sostenible/salvaguuardas_proyecto_desarrollo_sostenible/01-marco_gestion_ambiental_y_social_enero_2020_final.pdf)
- INDUSTRIAS H7. (2022). Galvanizado por inmersión en caliente. Recuperado el 23 de 03 de 2022, de Industrias H7: <http://industriash7.com/industriash7/Galvanizado.html>
- INEC. (2022). Costo canasta básica alimentaria. Recuperado el 25 de 03 de 2022, de Instituto Nacional de Estadística y Censos: <https://www.inec.cr/economia/costo-canasta-basica-alimentaria>
- INS. (2018). Seguro de embarcaciones. Costa Rica: Grupo INS.
- Instituto Meteorológico Nacional. (2021). Factores de emisión de gases de efecto invernadero. Costa Rica.
- IRAM. (15 de 10 de 1998). IRAM 9600. Preservación de maderas. Argentina.
- Journal of Ocean Technology. (2018). Recent Deployments. *Journal of Ocean Technology*.
- Kumar, A., Panigrahi, I., & Paramguru, R. (2018). *Development of Energy Efficient and Aquatic friendly Solar Electric Boat*. Recuperado el 11 de 10 de 2021, de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9008454>
- L. Alting. (1993). *Life-cycle design of products: a new opportunity for manufacturing enterprises. In Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*. New York: Wiley.
- Leung, C. P., & Cheng, K. W. (2017). *Zero Emission Solar-Powered Boat Development*. Recuperado el 08 de 02 de 2022, de <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8277736>
- Lewis. (2006). *Powering the planet: Chemical challenges in solar energy*. Recuperado el 21 de 02 de 2022, de Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America: <https://www.pnas.org/content/103/43/15729>
- Manouchehrinia, B., Molloy, S., Dong, Z., Gulliver, A., & Gough, C. (2018). *Emission and life-cycle cost analysis of hybrid and pure electric propulsion systems for fishing boats*. Recuperado el 01 de 10 de 2021, de [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Dk4laXAW0S8J:https://www.thejot.net/index.php%3Fpage\\_id%3D73%26jot\\_download\\_article%3D957+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Dk4laXAW0S8J:https://www.thejot.net/index.php%3Fpage_id%3D73%26jot_download_article%3D957+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr)
- Matriplas Group. (2022). Tubo redondo 25x1000 aluminio. Recuperado el 21 de 03 de 2022, de MASTIL-BOOM: <https://mastil-boom.es/es/diametro-25mm/154-tubo-diametro-25x1000-aluminio.html>
- Ministerio de Hacienda Costa Rica. (2021). Instructivo calculo de la obligación tributaria

- para la importación y exportación de. Recuperado el 22 de 03 de 2022, de Ministerio de Hacienda Costa Rica:  
[https://www.hacienda.go.cr/docs/6154a8f059915\\_INS%20CALCULO%20OB%20TRIBUTARIA%20MAYO%202021.pdf](https://www.hacienda.go.cr/docs/6154a8f059915_INS%20CALCULO%20OB%20TRIBUTARIA%20MAYO%202021.pdf)
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (2022). Lista de salarios mínimos del sector privado. Recuperado el 23 de 03 de 2022, de Ministerio de Trabajo y Seguridad Social: [https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista\\_salarios\\_2022.pdf](https://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2022.pdf)
- Ministerio del Ambiente y Energía, Instituto Meteorológico Nacional. (2013). Series de Brillo Solar en Costa Rica. Recuperado el 22 de 02 de 2022, de imn: <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/20909/Series+de+Brillo+Solar+en+Costa+Rica>
- Molloy, S. (2020). Electric boat Alutasi. *Journal of Ocean Technology*, 78-79.
- Montoya, A. (05 de Junio de 2020). *Electricidad La revista energética de Chile*. Recuperado el 03 de 03 de 2022, de INFORME: motores eléctricos v/s combustión: <https://www.revistaei.cl/2020/06/05/informe-motores-electricos-vs-combustion/#>
- MOPT. (2021). Inspección de embarcaciones. Recuperado el 21 de 03 de 2022, de Ministerio de Obras Públicas y Transporte: [https://www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/inicio!/ut/p/z1/pVVRc6IwEP4rvviYYQkhgUfaqrWIZ0\\_rVXm5CUmg6ShYpM5Nf\\_0F9aaWszRzx4MDy367n1--XZzEWThJwXc657UuC74yz8uE\\_hzjf8C9JRCP3KEL0fcIZrMB9gAT53GfAJ9cETjJKR6G4wFEV6OHIPDBu75mR3xHQgd-Hrlt\\_IhOryAK49gfTsALpvQr\\_A8ncRJR1Jv6](https://www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/inicio!/ut/p/z1/pVVRc6IwEP4rvviYYQkhgUfaqrWIZ0_rVXm5CUmg6ShYpM5Nf_0F9aaWszRzx4MDy367n1--XZzEWThJwXc657UuC74yz8uE_hzjf8C9JRCP3KEL0fcIZrMB9gAT53GfAJ9cETjJKR6G4wFEV6OHIPDBu75mR3xHQgd-Hrlt_IhOryAK49gfTsALpvQr_A8ncRJR1Jv6)
- Motores Marinos Suzuki. (2022). Puntos de revisión para motores de 4 tiempos. Recuperado el 30 de 03 de 2022, de motoresmarinos.suzuki: <https://motoresmarinos.suzuki.com.mx/puntos-de-revision>
- Neacsu, M., Stanciu, V., Risnoveanu, G., Matei, S., & Nicolescu, C. (2017). *A step forward towards e-mobility adoption: VW beetle and fiberglass boat converted into EVs*. Recuperado el 08 de 02 de 2022, de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8242098>
- Norton, T. (2006). *Computational fluid dynamics (CFD) – an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: A review*. Dubín, Irlanda: Elsevier.
- Obaid, W., A.K.Hamid, & Ghenai, C. (2019). *Wind-Fuel-Cell-Solar Hybrid Electric Boat Power Design with MPPT System*. Recuperado el 09 de 02 de 2022, de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8880330>
- Obaid, W., Hamid, A.-K., & Ghenai, C. (2018). *Hybrid Power System Design for Electric Boat with Solar Irradiance Forecasting*. Recuperado el 09 de 02 de 2022, de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8702854&tag=1>
- Oficina Nacional Forestal. (2021). Tabla de precios de referencia para madera. Recuperado el 21 de 03 de 2022, de OFN: <https://onfcr.org/cuadro-de-precios>
- OIT. (1999). Memoria del director general . Ginebra.
- OIT. (2007). Módulo: Prevención de las actividades peligrosas en la pesca. El Salvador.
- Olivella, J. (1994). Teoría del buque: Flotabilidad y estabilidad. Barcelona, España: Universidad Politécnica Cataluña.
- Oortmerssen, G. V. (1971). *A power prediction method and its application to small ships*.

- Culemborg, Países Bajos: International Shipbuilding Progress.
- OSPESCA. (2012). Guía general para el mantenimiento de motores fuera de borda para la pesca artesanal. San Salvador, El Salvador.
- Paras. (2021). *Carbon Footprint and Associated Environmental Impacts in Construction of Fishing Vessels: A Preliminary Study*. India: Fishery Technology.
- Parra, C. (2021). Técnicas de Análisis de Coste de Ciclo de Vida, utilizadas para justificar la aplicación de Herramientas de Optimización de Mantenimiento, propuestas por la Industria 4.0. Caso de estudio: Sector Oil and Gas. Recuperado el 14 de 03 de 2022, de predictiva21: <https://predictiva21.com/tecnicas-analisis-coste-ciclo-vida/>
- Planas, O. (2021). Eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos. Recuperado el 03 de 03 de 2022, de ENERGÍA SOLAR: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/eficiencia-solar>
- Poder Legislativo CR. (2005). Ley de Pesca y Acuicultura, Ley N° 8436. Recuperado el 10 de 02 de 2022, de Sistema Costarricense de Información Jurídica: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=54688](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=54688)
- PROCOEN. (2022). Paneles solares, ¿son la mejor solución para mi empresa? Recuperado el 04 de 04 de 2022, de Proyectos de Conservación de Energía: <https://procoen.com/paneles-solares/#:~:text=Los%20factores%20de%20emisi%C3%B3n%20de,la%20secretar%C3%ADa%20nacional%20de%20energ%C3%ADa.&text=Un%20proyecto%20solar%20en%20Panam%C3%A1,rojo%20ambiental%C2%BB%20de%204%20a%C3%B1os>.
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2015). Gasolina RON 91. Recuperado el 29 de 03 de 2022, de RECOPE: <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2013/07/Estadistica-de-Especificaciones-Gasolina-Regular-1.pdf>
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2022). Estructura de Precios de los Combustibles. Recuperado el 29 de 03 de 2022, de <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/estructura-de-precios/>: <https://www.recope.go.cr/productos/precios-nacionales/estructura-de-precios/>
- Registro Nacional. (1994). Registro de Bienes Muebles, Inscripción de embarcaciones. Recuperado el 08 de 10 de 2021, de <https://www.rnpdigital.com/Embarcaciones.pdf>.
- Registro Nacional. (1994). Reglamento del registro naval costarricense. Recuperado el 10 de 10 de 2021, de Sistema Costarricense de Información Jurídica: [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=16447&nValor3=17593&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=16447&nValor3=17593&strTipM=TC)
- Repamar. (2022). Catálogo de piezas de recambio y mantenimiento para motores fueraborda Suzuki Marine. Recuperado el 30 de 03 de 2022, de Repamar.es: <https://repamar.es/146-repuestos-suzuki-marine-fueraborda>
- Reynaers Aluminium. (2022). Nuestro compromiso para reducir al máximo la huella de carbono. Recuperado el 04 de 04 de 2022, de Reynaers Aluminium: <https://www.reynaers.es/es-ES/nuestro-compromiso-para-reducir-al-maximo-la-huella-de-carbono>
- S.Karthika, & S.Vijay. (2017). *Zeta Converter Driving a PMSM for Electric Boat using Solar PV Array*. Recuperado el 02 de 10 de 2021, de <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Q-4Dv->

- OaDrQJ:<https://www.ijarbest.com/conference/spcl24/1090+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr>
- SAILCARGO INC. (2022). Recuperado el 23 de 03 de 2022, de SAILCARGO INC.:  
<https://www.sailcargo.inc/>
- Sherwin Williams. (2022). Puntos de venta – Costa Rica. Recuperado el 24 de 03 de 2022, de Sherwin Williams: <https://www.sherwinca.com/puntos-venta-cr/>
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (1988). Métodos y porcentajes de depreciación. Recuperado el 31 de 03 de 2022, de Sistema Costarricense de Información Jurídica:  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=7241&nValor3=95599&nValor5=211987&strTipM=FA](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=7241&nValor3=95599&nValor5=211987&strTipM=FA)
- Sistema Costarricense de Información Jurídica. (2000). Ley de Creación del Servicio Nacional de Guardacostas. Recuperado el 23 de 03 de 2022, de Sistema Costarricense de Información Jurídica:  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param2=NRTC&nValor1=1&nValor2=47634&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param2=NRTC&nValor1=1&nValor2=47634&strTipM=TC)
- SOLBIAN. (2022). Paneles solares flexibles. Recuperado el 10 de 03 de 2022, de SOLBIAN: <https://www.solbian.eu/it/32-serie-sxx>
- Son, Y.-k., Lee, S.-Y., & Sul, S.-K. (2018). *DC Power System for Fishing Boat*. Recuperado el 12 de 10 de 2021, de IEEE: <https://ieeexplore-ieee-org.ezproxy.itcr.ac.cr/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8707631>
- Stapleton, R. (2018). *Switching from Diesel to Electric: A Pilot Boat Concept*. Recuperado el 03 de 10 de 2021, de  
[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:g7IT9CxaIMcJ:https://www.thejot.net/index.php%3Fpage\\_id%3D73%26jot\\_download\\_article%3D952+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:g7IT9CxaIMcJ:https://www.thejot.net/index.php%3Fpage_id%3D73%26jot_download_article%3D952+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=cr)
- Suzuki. (2022). Motores marinos. Recuperado el 24 de 03 de 2022, de Suzuki:  
<https://motos-suzuki.com/producto/df-6/>
- Teoría del Buque. (s.f.). Teoría del Buque, Estabilidad. Recuperado el 11 de 02 de 2022, de academia.edu.
- The Marine Safety Agency. (1997). *The safety of small workboats & pilot boats - a code of practice*. Recuperado el 14 de 02 de 2022, de Knovel: [https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSSWPBAC7/cid:kt00BDHMAB/viewerType:khtml//root\\_slug:4-construction-and-structural-strength/url\\_slug:construction-structural?b-q=boats&b-toc-cid=kpSSWPBAC7&b-toc-title=Safety%20of%20Sma](https://app-knovel-com.ezproxy.itcr.ac.cr/web/view/khtml/show.v/rcid:kpSSWPBAC7/cid:kt00BDHMAB/viewerType:khtml//root_slug:4-construction-and-structural-strength/url_slug:construction-structural?b-q=boats&b-toc-cid=kpSSWPBAC7&b-toc-title=Safety%20of%20Sma)
- Torqueedo. (27 de Agosto de 2020). *Torqueedo*. Obtenido de A shining example:  
<https://www.torqueedo.com/en/news-and-press/blog/blog-2020-8-26.html>
- Torqueedo. (2022). Motores eléctricos. Recuperado el 03 de 03 de 2022, de Torqueedo:  
<https://www.torqueedo.com/es/t/%C3%A9cnica-y-medio-ambiente/electric-motors.html>
- Torqueedo. (2022). Movilidad eléctrica en el agua. Recuperado el 14 de 02 de 2022, de Torqueedo: [https://media.torqueedo.com/catalogs/2022-torqueedo-catalog\\_ES.pdf](https://media.torqueedo.com/catalogs/2022-torqueedo-catalog_ES.pdf)
- transportemx. (2021). ¿Se acerca el final del diésel? Si es así ¿existe un plan B para el autotransporte? Recuperado el 29 de 01 de 2022, de  
<https://search.proquest.com/blogs-podcasts-webs-ites/se-acerca-el-final-del-diéselsi->

- Ubuy Co. (2022). *Suzuki Marine 990A0-01E81-01Q ECSTAR Hypoid Gear Oil SAE 90*. Recuperado el 30 de 03 de 2022, de ubuy.cr:  
<https://www.ubuy.cr/en/product/QMDTJP4-suzuki-marine-990a0-01e81-01q-ecstar-hypoid-gear-oil-sae-90>
- Universidad de Vigo. (2013). Informe de resultados del ACV del proceso. España.
- Universidad ESAN. (2021). ¿Cómo se calcula el valor de desecho de un proyecto? Recuperado el 31 de 03 de 2022, de Conexión ESAN:  
<https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/como-se-calcula-el-valor-de-desecho-de-un-proyecto>
- Watson, D. (1998). *Practical ship design*. Escocia: Elsevier Ocean Eng. Book series.
- Weule. (1993). *Life cycle analysis a strategic element for future products and manufacturing technologies*. Recuperado el 31 de 03 de 2022, de ScienceDirect:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0007850607624202>
- Woodhouse. (1991). Turning engineers into businessmen. *14th National Maintenance Conference*. London.
- Young, B., Hwan, K., & Yeol, K. (2018). *Performance Evaluation of 20 HP Outboard Motor in Consideration of Driving System Applied to Electric-Propulsion Boat*. Recuperado el 04 de 10 de 2021, de  
<https://www.joet.org/journal/view.php?doi=10.26748/KSOE.2018.32.6.518>



## Anexos

### Anexo primero. Simbología utilizada.

Tabla 36. Simbología utilizada.

|           |   |
|-----------|---|
| INCOPESCA | Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura                            |
| OMI       | Organización Marítima Internacional                                       |
| ANTP      | Asociación Nacional de Transporte Privado (México)                        |
| GOE       | <i>Glas Ocean Electric</i>  |
| CO2       | Dióxido de carbono  |
| CO2-eq    | Dióxido de carbono equivalente  |
| GEI       | Gases de efecto invernadero   |
| PIB       | Producto interno bruto  |
| MOPT      | Ministerio de Obras Públicas y Transporte                                 |
| RORPPM    | Reglamento de Organización del Registro Público de la Propiedad Mueble    |
| DUA       | Declaración Única Aduanera  |
| INS       | Instituto Nacional de Seguros   |
| ICE       | Motor de combustión interna   |
| EV        | Vehículo eléctrico  |
| HEV       | Vehículo eléctrico híbrido  |
| PEV       | Vehículo eléctrico puro   |
| ESS       | Sistema de almacenamiento de energía                                      |
| FAO       | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura |
| CFD       | Dinámica de fluidos computacional   |
| FCEVs     | Vehículo eléctrico de pila de combustible                                 |
| BMC       | Controlador de monitoreo de batería                                       |
| IEEE      | Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos                         |
| DP        | Programación dinámica   |
| MPPT      | Sistema punto de máxima potencia  |
| CC, DC    | Corriente continua, corriente directa                                     |
| CA        | Corriente alterna   |
| BMS       | Sistema de gestión de batería   |
| IEP       | Sistema de propulsión eléctrica integrada                                 |
| BLDC      | Corriente continua sin escobillas   |
| C_M       | Coficiente de la sección central  |
| C_p       | Coficiente prismático   |
| L_WL      | Eslora en flotación   |

|                |   |
|----------------|---|
| B_WL           | Manga en flotación  |
| T_c            | Calado  |
| PRFV           | Plástico reforzado con fibra de vidrio                                |
| FRP            | Plástico reforzado con fibra  |
| IRAM           | Instituto Argentino de Normalización y Certificación                  |
| R_t            | Resistencia total de avance   |
| R_r            | Resistencia residual  |
| R_f            | Resistencia friccional  |
| S              | Área de superficie mojada   |
|                | Volumen desplazado  |
| V              | Velocidad de la embarcación   |
| Fnh            | Número de Froude basado en la profundidad                             |
| g              | Fuerza de gravedad  |
| h              | Profundidad del agua  |
| P_E            | Potencia efectiva en la hélice  |
| IDAE           | Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (España)     |
| P_V            | Células fotovoltaicas   |
| F_B            | Fuerza de flotación   |
| $\rho_f$       | Densidad del fluido   |
| V_sum          | Volumen del cuerpo sumergido  |
| W              | Peso del cuerpo   |
| GM             | Altura metacéntrica   |
| KG             | Centro de gravedad vertical   |
| LCG            | Centro de gravedad longitudinal                                       |
| GZ             | Curva de estabilidad estática   |
| ACCV           | Análisis del costo de ciclo de vida                                   |
| IVA            | Impuesto sobre el valor agregado                                      |
| INEC           | Instituto Nacional de Estadística y Censos                            |
| INCOP          | Instituto Costarricense de Puertos del Pacífico                       |
| ARESEP         | Autoridad Reguladora de Servicios Públicos                            |
| RECOPE         | Refinadora Costarricense de Petróleo                                  |
| C.I.F.         | Costo, seguro y flete   |
| F.O.B.         | Libre a bordo   |
| UNE            | Una Norma Española  |
| MTBF           | Tiempo medio entre fallas   |
| MTTR           | Tiempo medio de reparación  |
| OSPESCA        | Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano |
| ACV            | Análisis de ciclo de vida   |
| I_casco_madera | Impacto ambiental del casco de madera                                 |
| I_batería      | Impacto ambiental de la batería                                       |

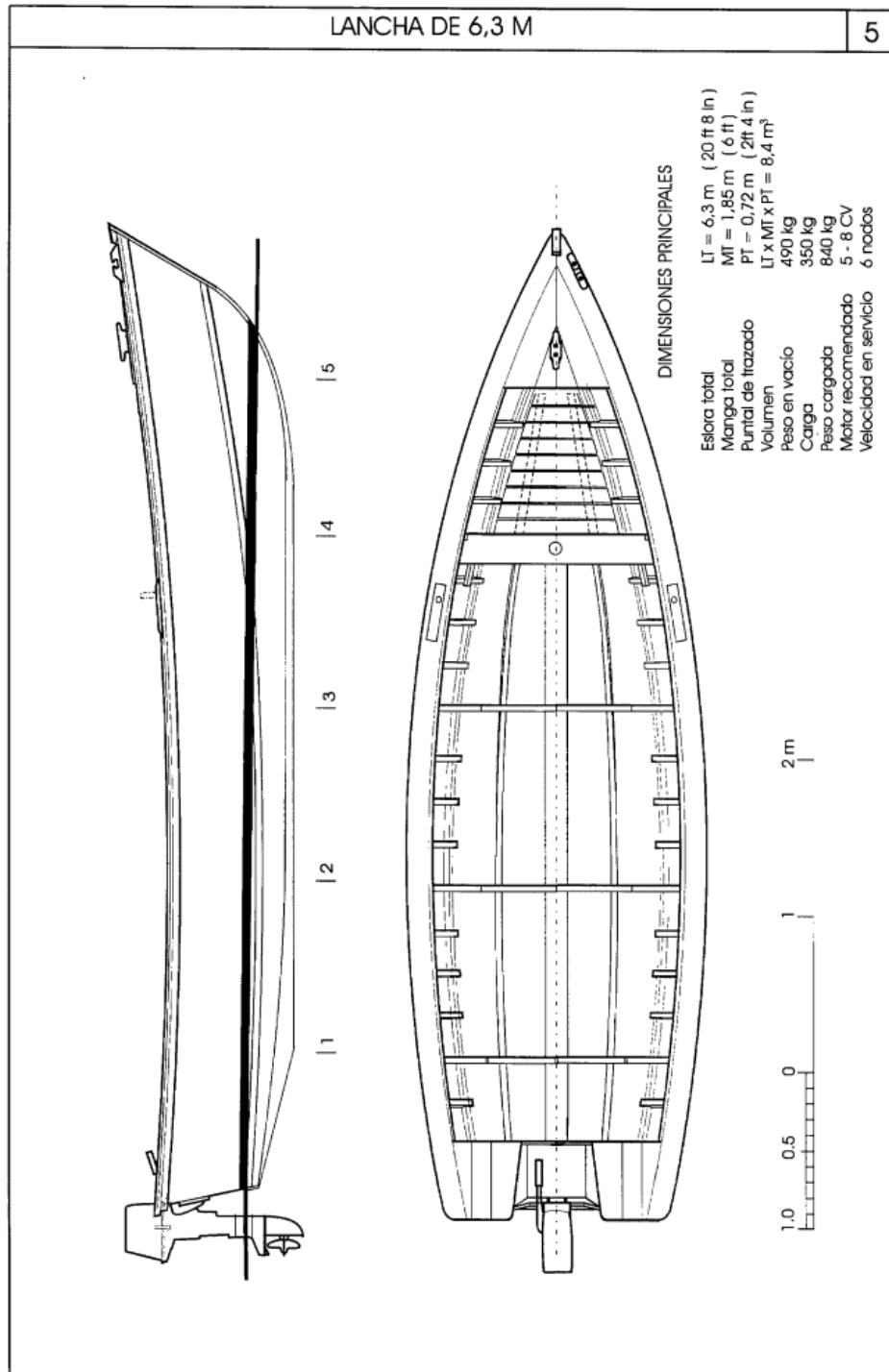
|                           |  |
|---------------------------|--|
| I_aluminio_techo          | Impacto ambiental de la armadura de aluminio             |
| I_motor_eléctrico         | Impacto ambiental del motor eléctrico                    |
| I_cargador_batería        | Impacto ambiental del cargador de batería                |
| I_regulador_solar         | Impacto ambiental del regulador solar                    |
| I_anual_paneles_solares   | Impacto ambiental anual de paneles solares               |
| I_anual_energía_eléctrica | Impacto ambiental anual de energía eléctrica             |
| I_embarcación_eléctrica   | Impacto ambiental de embarcación con motor eléctrico     |
| I_motor_combustión        | Impacto ambiental de motor de combustión                 |
| I_anual_gasolina          | Impacto ambiental anual de la gasolina                   |
| I_embarcación_combustión  | Impacto ambiental de embarcación con motor de combustión |
| EPP                       | Enfoque Sistémico de la Pesca                            |
| OIT                       | Organización Internacional del Trabajo                   |

Nota: Elaboración propia en Microsoft Excel.

## Anexo segundo. Planos de embarcación, diseño consultado.

Figura 55.

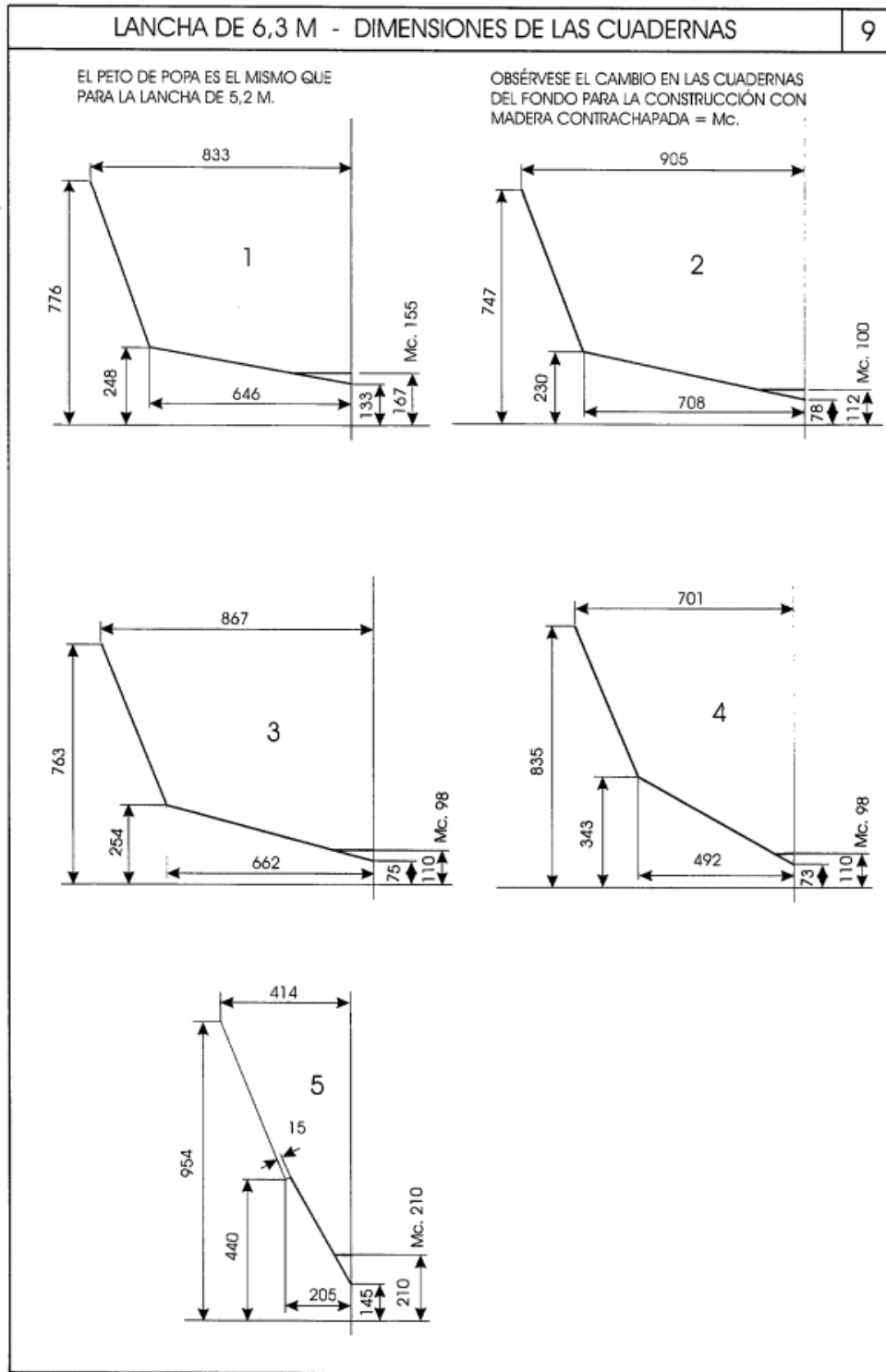
Plano de embarcación de madera.



Fuente: FAO, 2004.

Figura 56.

Planos de cuadernas de embarcación de madera.

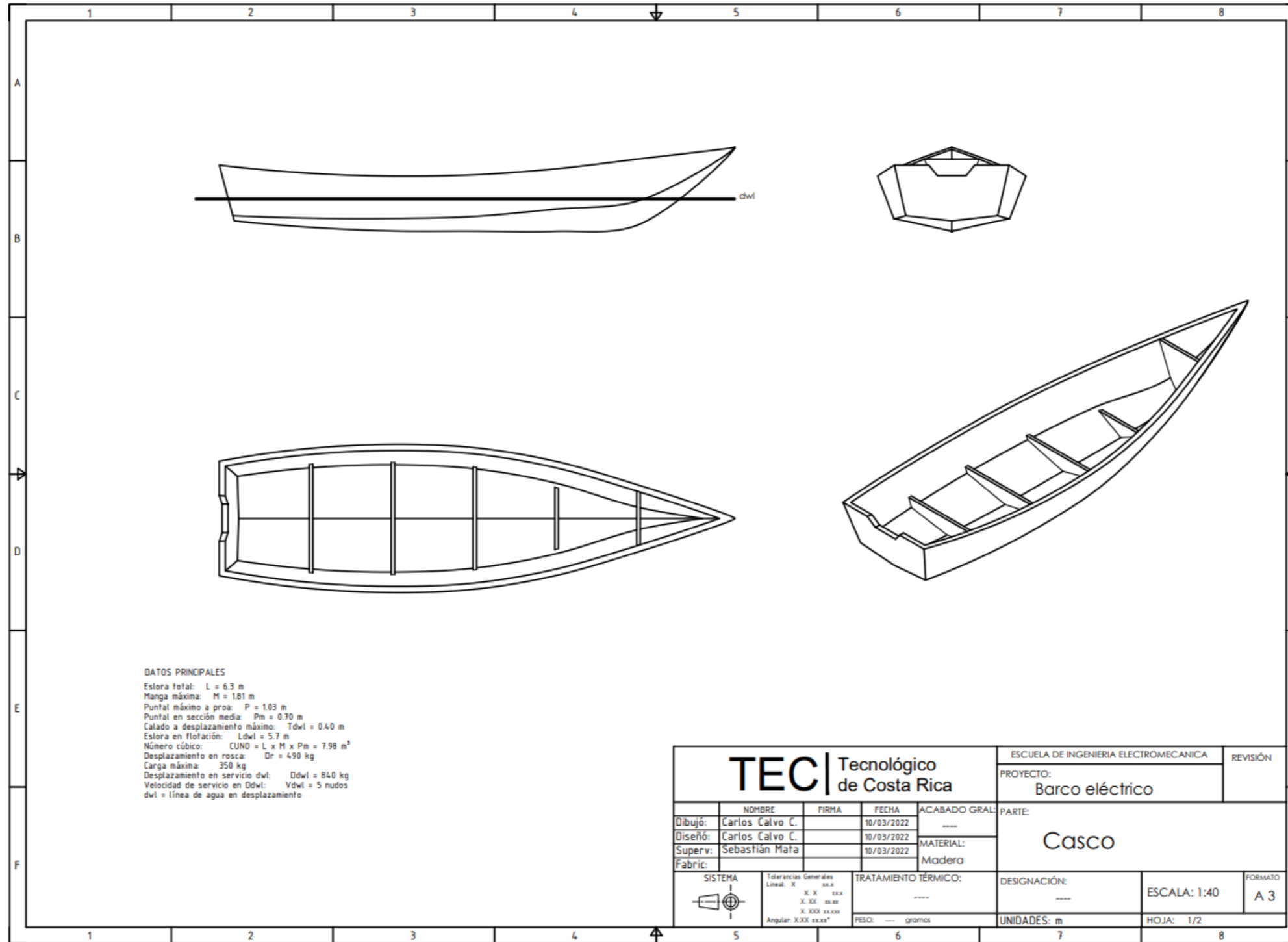


Nota: FAO, 2004.

Anexo tercero. Plano de embarcación, diseño elaborado.

Figura 57.

Plano de embarcación.



Nota: Autodesk, AutoCAD 2021.

### Anexo cuarto. Cálculos de hélice.

**Figura 58.**

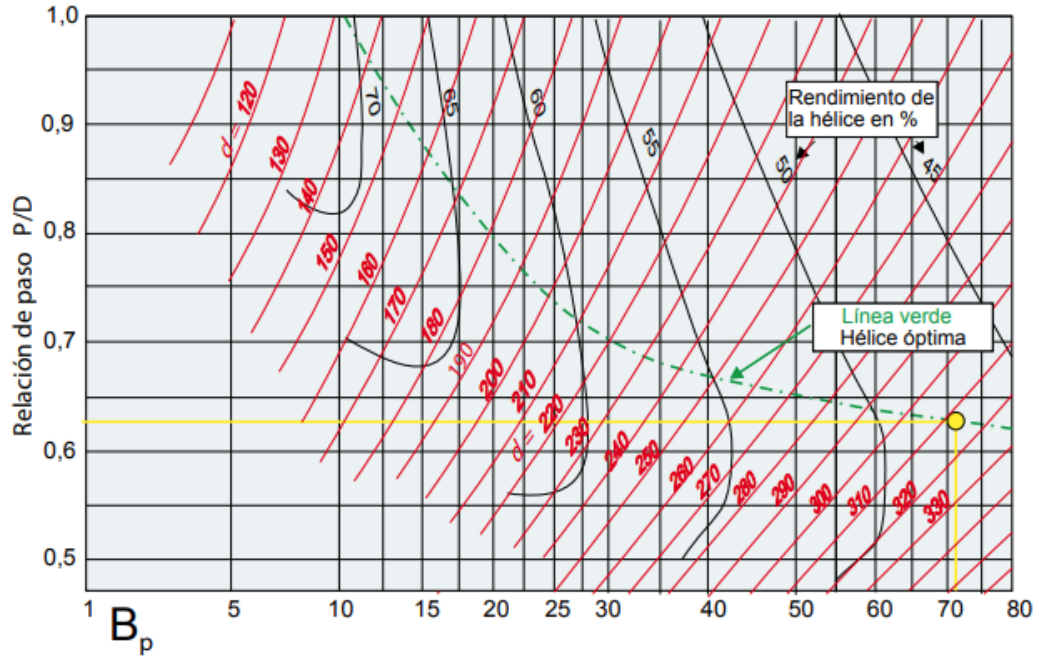
*Procedimiento para cálculo de hélice.*

|   |  |                  |
|---|--|------------------|
| ① | Potencia de servicio en el eje                             | hp               |
| ② | Raíz cuadrada de la potencia en el eje                     | ① <sup>0.5</sup> |
| ③ | Revoluciones de servicio del motor                         | rpm              |
| ④ | Relación de reducción de la caja de engranajes             |                  |
| ⑤ | Revoluciones del eje de la hélice                          | ③/④ rpm          |
| ⑥ | Velocidad de servicio de la embarcación                    | nudos            |
| ⑦ | Factor estela  |                  |
| ⑧ | Velocidad del agua en la hélice<br>(1-⑦) x ⑥               | nudos            |
| ⑨ | (Velocidad del agua en la hélice) <sup>2.5</sup>           | ⑧ <sup>2.5</sup> |
| ⑩ | $B_p = \frac{② \times ⑤}{⑨}$                               |                  |
| ⑪ | Con $B_p$ , extraiga <b>d</b> del diagrama                 | <b>d</b>         |
| ⑫ | Rendimiento de la hélice del diagrama                      | %                |
| ⑬ | Relación paso/diámetro del diagrama                        | P/D              |
| ⑭ | Diámetro de la hélice $D = \frac{⑧ \times ⑪ \times 12}{⑤}$ | pulgadas         |
| ⑮ | Paso de la hélice $P = ⑬ \times ⑭$                         | pulgadas         |
| ⑯ | $P \times D = ⑭ \times ⑮$                                  |                  |
| ⑰ | Nuevo diámetro seleccionado, $D_{new}$                     | pulgadas         |
| ⑱ | $P \times D / D_{new} = ⑯ / ⑰$                             |                  |
| ⑲ | Nuevo paso seleccionado, $P_{new}$                         | pulgadas         |
| ⑳ | Potencia efectiva en la hélice                             | ① x ⑫ hp         |

Nota: FAO, 2015.

**Figura 59.**

*Diagrama de cálculos de una hélice de tres palas.*



$$B_p = \frac{\text{rpm de hélice} \times \sqrt{\text{hp en hélice}}}{\text{velocidad del agua en hélice}^{2.5}}$$

$$\text{Diámetro de hélice: } D = \frac{\text{Velocidad del agua en hélice} \times d \times 12}{\text{rpm de hélice}} \text{ (pulgadas)}$$

$$\text{Paso de hélice: } P = \text{Relación de paso} \times \text{diámetro de hélice} \text{ (pulgadas)}$$

Nota: FAO, 2015.



Procedimiento de cálculos

Siguiendo el procedimiento de la figura xx:

1. Potencia de servicio en el eje, determinada según tabla 4:

$$Potencia\ de\ servicio = 3\ hp$$

2. Raíz cuadrada de la potencia en el eje  $= \sqrt{3} = 1,7321$

3. Revoluciones de servicio del motor.

4. Relación de reducción de la caja de engranajes.

5. Revoluciones del eje de la hélice  $= 1100\ rpm$

Nota: el valor de revoluciones del eje de la hélice se obtuvo del fabricante *Torqueado*, no es necesario conocer las revoluciones de servicio del motor ni la relación de reducción de la caja de engranajes.

6. Velocidad de servicio de la embarcación  $= 5,1\ nudos$

Se asume un factor estela de la hélice de 0,1.

7. Factor estela  $= 0,1$

8. Velocidad del agua en la hélice  $= (1 - 0,1) * 5,1 = 4,59\ nudos$

9. Velocidad del agua en la hélice<sup>2,5</sup>  $= 4,59^{2,5} = 45,1369$

10.  $B_p = \frac{1,7321 * 1100}{45,1369} = 42,2118$

11. Con  $B_p = 42,2118$  del diagrama de la figura xx,  $d = 252$ , para una hélice óptima.

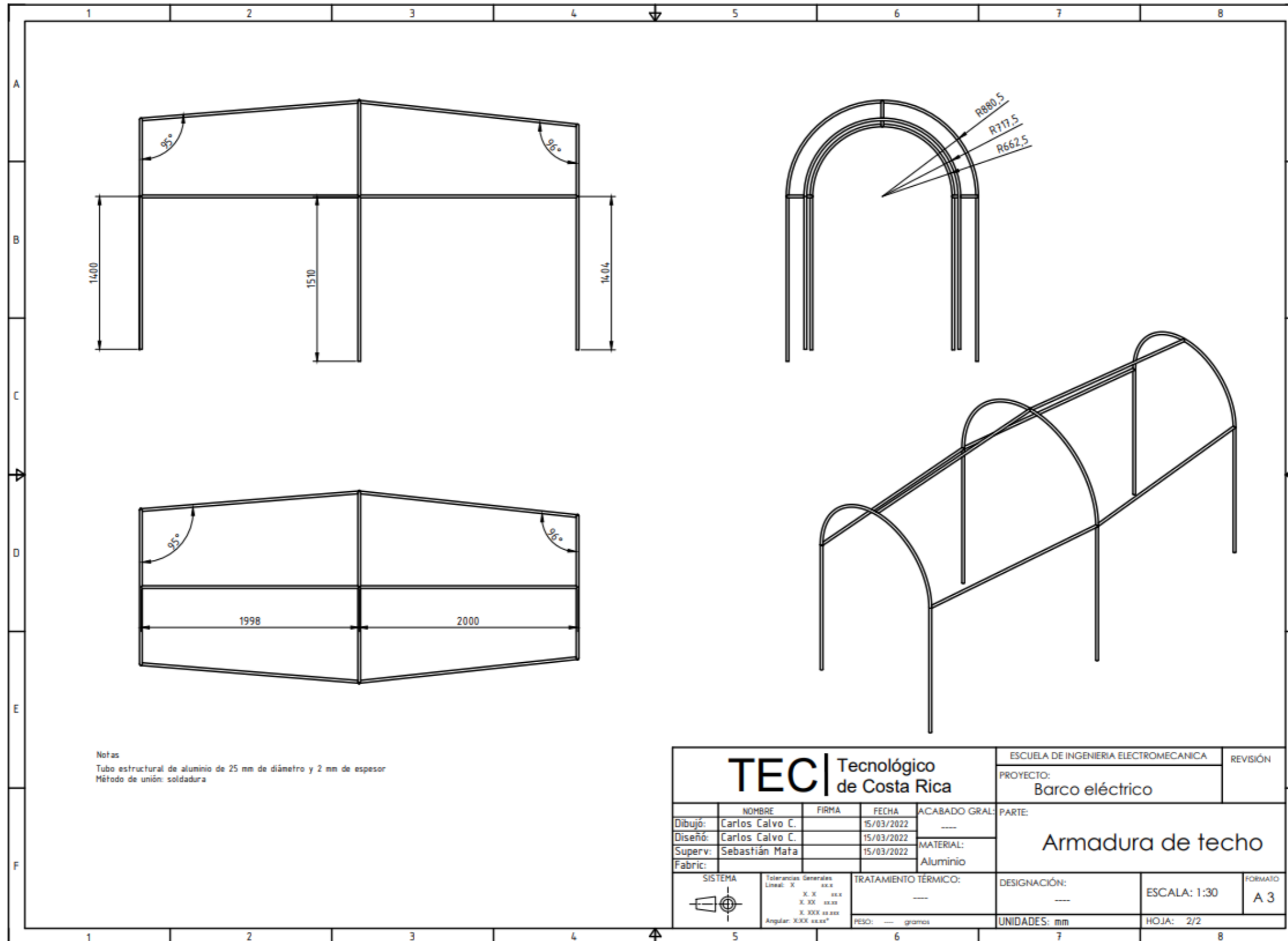
12. Con  $B_p = 42,2118$  del diagrama de la figura xx, rendimiento de la hélice  $= 55\ %$ .

13. Con  $B_p = 42,2118$  del diagrama de la figura xx, relación  
paso/diámetro = 0,67.
14. Diámetro de la hélice =  $\frac{4,59 \cdot 252 \cdot 12}{1100} = 12,6183 \text{ in}$
15. Paso de la hélice =  $0,67 * 12,6183 = 8,4543 \text{ in}$
16. Paso x diámetro =  $12,6183 * 8,4543 = 106,6789$
17. Nuevo diámetro seleccionado =  $12 \text{ in}$
18. Paso x diámetro/ nuevo diámetro seleccionado =  $\frac{106,6789}{12} = 8,8899$
19. Nuevo paso seleccionado =  $9 \text{ in}$
20. Potencia efectiva en la hélice =  $3 * 0,55 = 1,65 \text{ hp}$
- Con  $1 \text{ hp} = 745,7 \text{ W}$ : Potencia efectiva en la hélice =  $1230,4 \text{ W}$

Anexo quinto. Plano de armadura del techo de la embarcación.

Figura 62.

Plano de armadura de techo de la embarcación.




Nota: Autodesk, AutoCAD 2021.

## Anexo sexto. Cotización de materiales para construcción de casco.

Figura 60.

Cotización de materiales para construcción de casco.



**INDUSTRIAS H7 S.R.L**  
Cédula Jurídica No. 3-102-058643-14

200m sur del Walmart, San Sebastián • [industriash7@grupoh7.com](mailto:industriash7@grupoh7.com)  
[www.industriash7.com](http://www.industriash7.com) • (506) 2227-7743

**Cotización N°**  
**03113-22**

Herreajes para Energía | Soportes para Telecomunicaciones | Estructuras Metálicas | Galvanizado en Caliente

| Cliente              |       | Contacto |                      | Fecha         |
|----------------------|-------|----------|----------------------|---------------|
| Carlos Calvo Cordero |       |          |                      | 23/marzo/2022 |
| Teléfono             | Email | Moneda   | Forma de Pago        |               |
| 7029-1809            |       | COLONES  | Contado (NO Cheques) |               |

Atendiendo su amable solicitud, le enviamos la cotización de los siguientes materiales:

| Item  | Cantidad  | Descripción  | Precio unit. | Total              |
|---|---|--|--------------|--------------------|
| 1   | 45  | Tornillo hexagonal Gr2 5/16" x 3-1/2" electrolítico                    | ¢708,00      | 31.860,00          |
| 2   | 19  | Tornillo hexagonal Gr2 5/16" x 4" electrolítico                        | ¢768,00      | 14.592,00          |
| 3   | 16  | Tornillo hexagonal Gr2 5/16" x 5" electrolítico                        | ¢822,00      | 13.152,00          |
| 4   | 11  | Tornillo hexagonal Gr2 5/16" x 5-1/2" electrolítico                    | ¢834,00      | 9.174,00           |
| 5   | 2   | Tornillo hexagonal Gr2 5/16" x 6" electrolítico                        | ¢896,00      | 1.792,00           |
| 6   | 12  | Tornillo hexagonal Gr2 5/16" x 7" electrolítico                        | ¢958,00      | 11.496,00          |
| 7   | 2   | Tornillo hexagonal Gr2 3/8" x 3-1/2" electrolítico                     | ¢788,00      | 1.576,00           |
| 8   | 2   | Tornillo hexagonal Gr2 3/8" x 4" electrolítico                         | ¢822,00      | 1.644,00           |
| 9   | 4   | Tornillo hexagonal Gr2 3/8" x 5" electrolítico                         | ¢1.094,00    | 4.376,00           |
| 10  | 1   | Tornillo hexagonal Gr2 3/8" x 7" electrolítico                         | ¢982,00      | 982,00             |
| 11  | 140   | Arandelas de 5/16" electrolítico                                       | ¢509,00      | 71.260,00          |
| 12  | 18  | Arandelas de 3/8" electrolítico  | ¢513,00      | 9.234,00           |
| 13  | 9   | Kilos de galva de clavos (8kg de 4x50, 0,5kg de 5x75 y 0,5kg de 5x100) | ¢5.000,00    | 45.000,00          |
| 14  | 105   | Repaso de roscas de tuercas de 5/16"                                   | ¢780,00      | 81.900,00          |
| 15  | 9   | Repaso de roscas de tuercas de 3/8"                                    | ¢350,00      | 3.150,00           |
| <b>Ver Notas y Aclaraciones</b>   |   |  |              | 0,00               |
| Validez de oferta:  | 2 días hábiles  | Descuento 0%   | 0,00         |                    |
| Tiempo de entrega:  | 1,5 semanas   | Sub-Total  | 301.188,00   |                    |
| Lugar de entrega:   | <input type="checkbox"/> Bodegas de H7-CEMESA <input checked="" type="checkbox"/> Bodegas del Cliente | 13% IVA  | ¢39.154,44   |                    |
| <b>Las cantidades y tiempos de entrega pueden variar a la hora de formalizar la orden de compra</b> |   |  | <b>TOTAL</b> | <b>¢340.342,44</b> |





Atentamente, Ing. Diego Valerio

**Notas:**

- 1- Galvanizado en caliente bajo la norma ASTM 153
- 2- No incluye costo de clavos, solo el galvanizado de los mismos.


**Aclaraciones para servicios de galvanizado:**


- 1- Los precios cotizados pueden variar a la hora de recibir el material y confirmar tanto las cantidades finales como el peso real de las piezas.
- 2- Las piezas **NO deben presentar**: pinturas o esmaltes, aceites, óxido excesivo, escorias de soldaduras.
- 3- Algunas condiciones del material que nos envíen, pueden generar **gastos extra** que no están contemplados en la cotización. Tales como: limpieza de pinturas o esmaltes, fabricación de huecos de ventilación, fabricación de puntos de soporte para izaje, limpieza de escorias, etc. **Tales trabajos serán sumados al costo final.**

| Cuentas Bancarias COLONES   |   | WhatsApp   |
|---|---|--|
| <br>Cuenta Banco Nacional #: 100-01-107-000188-5<br>(IBAN: CR13015110710010001881) | <br><b>8706-7777</b> | <br><b>2227-7743</b><br>Lunes a Jueves de 7am a 5pm<br>Viernes de 7am a 3pm |
| <br>Cuenta Banco de Costa Rica #: 001-247188-4<br>(IBAN: CR04015201001024718845)   |   |  |

¿Quiere conocer más sobre el galvanizado en caliente?

Visitenos en [www.cemesacr.com](http://www.cemesacr.com)





Nota: Industrias H7, 2022.