



*Implementación de un motor eléctrico para unidades fluviales ligeras de transporte*

*Implementation of an electric motor for light river transport units*

*Implementação de um motor elétrico para unidades de transporte fluvial leve*

Johnny Marcelo Pancha-Ramos <sup>I</sup>  
[johnny.pancha@epoch.edu.ec](mailto:johnny.pancha@epoch.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-7320-2154>

Vicente Javier Romero-Hidalgo <sup>II</sup>  
[vicente.romero@alu.uclm.es](mailto:vicente.romero@alu.uclm.es)  
<https://orcid.org/0000-0003-2317-7071>

Edgar Vicente Rojas-Reinoso <sup>III</sup>  
[erojas@ups.edu.ec](mailto:erojas@ups.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-5658-3055>

**Correspondencia:** [johnny.pancha@epoch.edu.ec](mailto:johnny.pancha@epoch.edu.ec)

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

\***Recibido:** 19 de abril de 2020 \***Aceptado:** 29 de mayo de 2020 \* **Publicado:** 30 de junio de 2020

- I. Ingeniero en Mecánica Automotriz, Docente Investigador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero Automotriz, Investigador Universidad de Castilla La Mancha, Ciudad Real, España.
- III. Ingeniero en Mecánica Automotriz, Docente Investigador Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

## Resumen

El transporte en lugares fluviales es un medio importante que permite el desarrollo de las poblaciones impulsando la comunicación entre comunidades, pero su uso con motores de combustión interna provoca un impacto ambiental y daños al ecosistema por emisiones, contaminación acústica o derrame de derivados del petróleo. Esto conlleva a encontrar otras alternativas para mejorar las condiciones de operación y reducir el impacto ambiental siendo la aplicación de motores eléctricos una nueva alternativa para el transporte fluvial. En este diseño aplica dos motores de corriente continua como propulsión de una embarcación ligera amigable con el medio ambiente acoplado con un conjunto de acumuladores de energía que abastecen al sistema de propulsión. Se indica además en las características de diseño los motores aplicados y del tipo de batería usada. En este análisis se muestran los resultados obtenidos en las simulaciones y diseños de la embarcación con relación a la resistencia generada por el desplazamiento en el agua y además las condiciones del flujo aerodinámico.

**Palabras claves:** Propulsión fluvial; motor eléctrico; embarcación.

## Abstract

The fluvial transport is the way that allows the development of the communities in post of improve the communication, but its use with combustion engines causes an environmental impact and damage to the ecosystem by emissions, noise pollution or oil spill. In fact, to finding other alternatives to improve operating conditions and reduce environmental impact, the application of electric motors being a new alternative for river transport. In this design, two direct current motors will applied, such as the propulsion of an environmentally friendly light boat coupled with a set of energy accumulators that supply the propulsion system. The applied motors and the type of battery used indicate in the design characteristics. This analysis shows the results obtained in the simulations and designs of the boat in relation to the resistance generated by the displacement in the water and the aerodynamic flow conditions.

**Keywords:** River propulsion, electric motor, boat.

## Resumo

O transporte em locais fluviais é um meio importante que permite o desenvolvimento de populações que promovem a comunicação entre as comunidades, mas seu uso com motores de combustão interna causa um impacto ambiental e danifica o ecossistema devido a emissões, poluição sonora ou derramamento de óleo. Isso leva a encontrar outras alternativas para melhorar as condições operacionais e reduzir o impacto ambiental, sendo a aplicação de motores elétricos uma nova alternativa para o transporte fluvial. Neste projeto, ele aplica dois motores de corrente contínua como propulsão de um barco leve ecológico, juntamente com um conjunto de acumuladores de energia que fornecem o sistema de propulsão. Os motores aplicados e o tipo de bateria utilizada também são indicados nas características do projeto. Esta análise mostra os resultados obtidos nas simulações e projetos do barco em relação à resistência gerada pelo deslocamento na água e também às condições de fluxo aerodinâmico.

**Palavras-chave:** Propulsão fluvial, motor elétrico, barco.

## **Introducción**

La aplicación de sistemas eléctricos en la propulsión de embarcaciones a gran escala ha tenido una mayor aplicación en diferentes diseños, convirtiéndose como una forma alternativa al uso de un motor de combustión interna. (Salas, M., Luco, R., & Ekdahl, H. 2013). El diseño de una embarcación ligera para el transporte de personas siendo la característica del sistema de propulsión el uso de energía almacenada para abastecer a un motor eléctrico. En el desarrollo de este documento se detallan las características que tiene el sistema de propulsión para este tipo de embarcación ligera como su desempeño en condiciones fluviales que se obtiene con la aplicación de simulación, lo que permite analizar el desempeño de este tipo de embarcaciones ligeras.

## **Emisiones contaminantes**

El cambio climático es una muestra de que se debe cambiar o buscar nuevas formas de transporte en relación con la actual, (Barbero & Tornquist2012). Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. Revista Transporte y Territorio, (6), 8-26. La generación constante y masiva de emisiones de gases causantes del conocido efecto invernadero siendo el campo de la transportación marítima un eje fundamental de estudio en relación a la emisión estos gases contaminantes (Barragán ,2008) .Se considera que la contaminación de embarcaciones se clasifica en Bióticos tales como bacterias, algas, hongos, etc.; que son contaminantes que tiene vida y que pueden causar variaciones en los ecosistemas por el desplazamiento de las

embarcaciones. (Barragán ,2008). Mientras los contaminantes Abióticos son aquellos contaminantes químicos como los hidrocarburos utilizados en motores de combustión interna generando una subdivisión sobre ecosistemas costeros siendo la de más impacto en contaminación química, eutrofización, gases de efecto invernadero. (Barragán ,2008). Los océanos se han convertido en un ente receptor de gran cantidad de contaminantes especialmente en lugares de la costa o en lugares fluviales ya que cerca de ésta existe mayor acción por parte de actividades marítimas (Muñoz, 1996). Organismos internacionales como el de Protección del Medio Marino con base direccional de la OMI, trabaja por la implementación de técnicas y operación para mejorar la eficiencia energética, nuevas tecnologías en propulsión, energías renovables y emisiones de gases de efecto invernadero (Criado-Aldeanueva, 2004).

### **Motor eléctrico**

La aplicación de un motor eléctrico para lograr la propulsión de una embarcación ligera ha optado por el uso del motor de corriente continua donde es indispensable contar con un control de velocidad en el cual se aplica un elemento encargado de variar el voltaje de alimentación hacia el motor para lograr tener el cambio en la velocidad de la embarcación e incluso tener el comando en el motor para lograr cambiar el sentido de giro del motor. (Salas, M., Luco, R., & Ekdahl, H. 2013). Además, para lograr manejabilidad y acoplar la propulsión a la embarcación es importante a través de un timón cuya gobernación tiene asistencia hidráulica para que la maneabilidad de la propulsión sea más ligera evitando el esfuerzo del timonero. Es importante considerar que la limitación de un sistema propulsado de forma alternativa es la generación o acumulación de energía se refleja en la autonomía. (Gómez, 2016). Esto limita casi exclusivamente a cascos de desplazamiento en el rango de bajas velocidades, donde la resistencia al avance es mínima. (Salas, M., Luco, R., & Ekdahl, H. 2013) Por lo tanto, la velocidad de la embarcación es directamente proporcional a la cantidad de energía que se exista como capacidad disponible. Dichas velocidades se logran alcanzar en relación con el límite de navegación de desplazamiento para ciertas embarcaciones ligeras, logrando obtener valores según el Número de Froude ( $F_n$ ) que alcanzan a  $F_n = 0,4$  (Bertram, 2011). Una de las características de una embarcación con una propulsión de un motor eléctrico es la posible falta de la densidad energética del acumulador de energía que puede estar en valores 1-1,4 MJ/kg) en relación con la de un combustible que puede

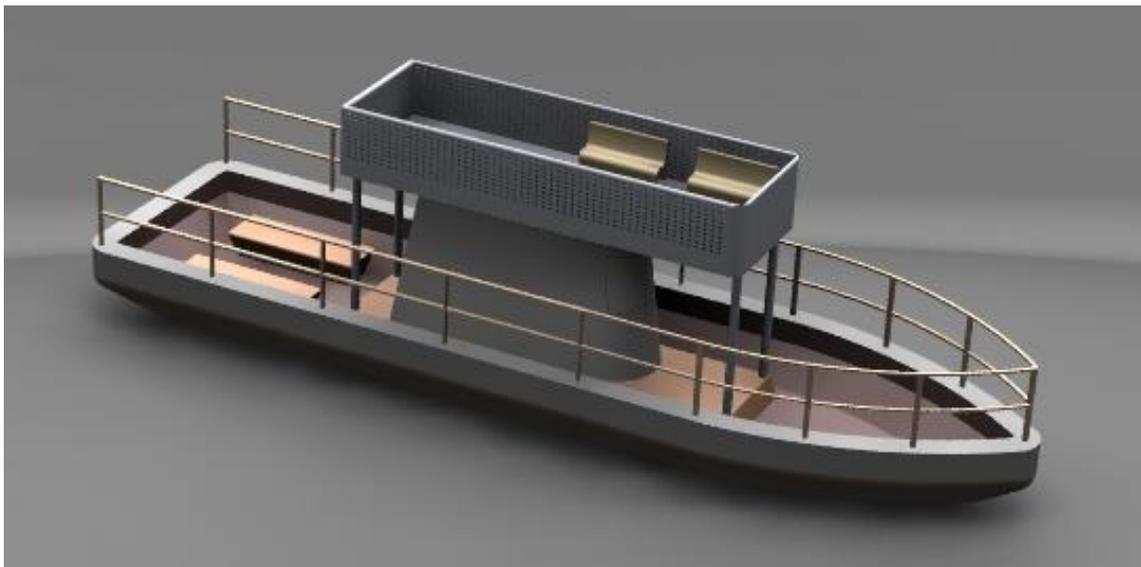
estar entre 43-47 MJ/kg, una embarcación con una movilidad alternativa de transporte. (Jara-Alvear, Pastor, García, Casafont, Araujo, Calderón, & Bonn, 2013).

## **Materiales y Métodos**

### ***Diseño preliminar***

Considerando diseños actuales de embarcaciones para el transporte marítimo ligero se opta por un prototipo que cumpla con los requerimientos para el transporte de personas. El diseño mostrado en la Figura 1, fue utilizado para simular y calcular la resistencia al agua y al aire que va a ejercer el bote, para ello se utilizó el Software Siemens NX 10.

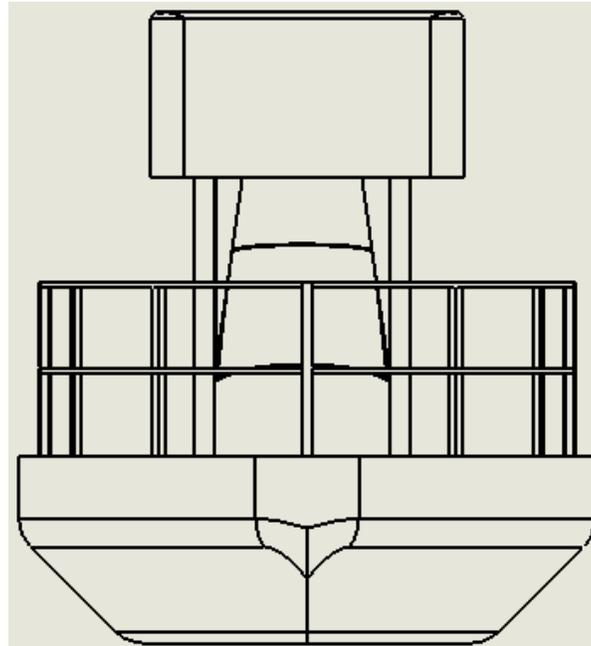
**Figura 1:** Diseño de la embarcación con propulsión alternativa



**Fuente:** Autores, 2020

En la figura 2 se muestra la vista frontal del diseño propuesto, considerando que la aplicación de la embarcación es en movilidad fluvial y en comparación a las dimensiones con otros diseños especialmente con propulsión de un motor combustión interna, se busca aprovechar los espacios libres para la ubicación de baterías.

**Figura 2:** Vista frontal de incidencia



Fuente: Autores, 2020

Mediante una simulación CFD (Control dinámico de fluidos), se considera las siguientes condiciones a una presión máxima que se genera al momento de navegar en las condiciones fluviales y el aire en la parte frontal del diseño, siendo esta la más crítica de la evaluación.

**Tabla 1:** Condiciones de al desplazamiento de la

	Velocidad (km/h)	Área frontal ( $m^2$ )
<b>Aire</b>	50	4.18
<b>Agua</b>	50	3.21

estudio para la resistencia embarcación.

Fuente: Autores, 2020

La Tabla 2 muestra las principales características dimensionales de la embarcación diseñada para reducir con la mayor capacidad de transporte de objetos y personas cuyo casco se ha estructurado en su fabricación con materiales compuestos debido a que el sistema de propulsión está ubicado homogéneamente en toda la cubierta permitiendo la mejor optimización de su espacio logrando obtener una estructura liviana en relación con los diseños convencionales.

**Tabla 2:** Características dimensionales de la embarcación

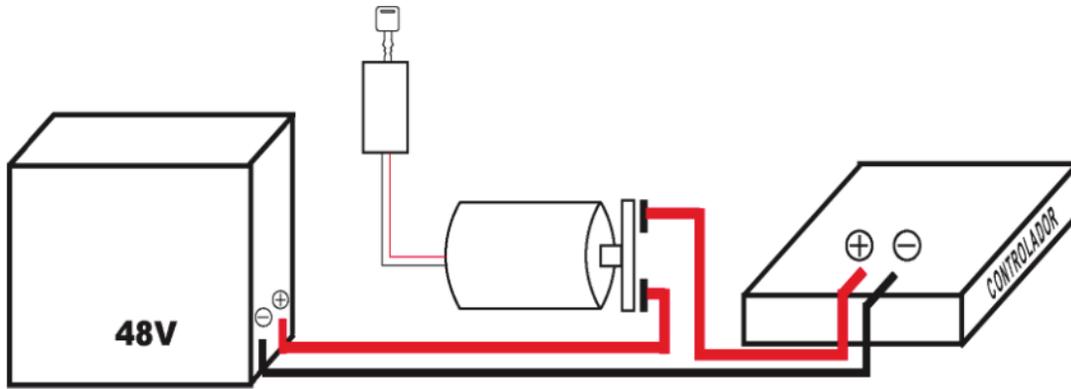
Eslora total	9,65 m
Manga	2,56 m
Puntual	2.8 m
Calado	1.2 m
Desplazamiento	4.5 t
Pasajeros	10
Tripulación	2
Velocidad media	55.38 km/h 7horas ~ 30 nudos
Velocidad máxima	83 km/h 2.5 horas ~ 45 nudos
Potencia motor	11 KW
Corriente continua	48 V
Material del casco	Compuesto
Tiempo estimado de carga	6 horas 110V ~ 4.3 horas 220V

**Fuente:** Autores, 2020

### Adaptación sistema eléctrico

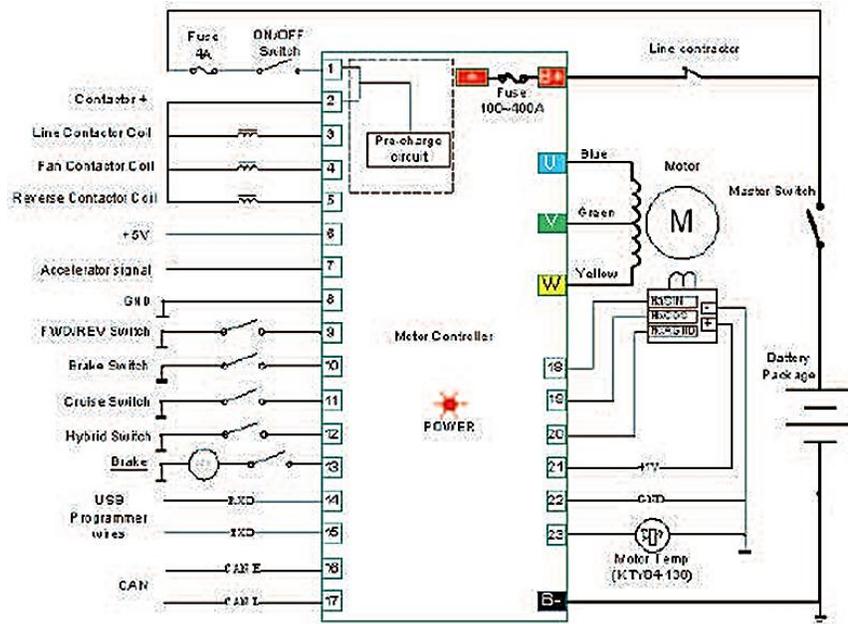
El sistema eléctrico de la propulsión de la embarcación ligera diseñada utiliza dos circuitos de control de 48 voltios de corriente continua, como se ve en el esquema de la Figura 3, como propulsión de le embarcación utiliza una fuente de energía tipo acumulador que abastece a todos los circuitos de comando y un controlador electrónico para la gestión de cada motor como se observa en la Figura 4, el cual es alimentado mediante un relé de alta capacidad de corriente.

Figura 3: Circuito de control de la propulsión



Fuente: Autores, 2020

Figura 4: Diagrama de conexión controlador



Fuente: Autores, 2020

### Batería fosfato de litio li3po4

La batería para utilizar debe abastecer al sistema eléctrico con una tensión salida de 48 voltios de corriente continua y un consumo de 17,37 amperio; respecto al diseño y la aplicación fluvial a la que se requiere llevar esta embarcación es necesario un acumulador de una mayor de una

capacidad disponible con un material activo formado por fosfato de litio como se ve en la Figura 5 con las características de 314 voltios de corriente continua y una capacidad disponible de 125 amperios hora.

**Figura 5:** Bateria Li3PO4



**Fuente:** Autores, 2020

El acumulador que se usa para abastecer de energía al sistema eléctrico de propulsión como se mencionó anteriormente es de fosfato de litio, las características eléctricas y de diseño se presentan en la Tabla 3. Esta generación de baterías tiene aplicación en vehículos.

**Tabla 3:** Características baterías Li3PO4

Artículo	Datos de la tecnología	Observación
Voltaje nominal	313.2V	
Gama del voltaje	261V~365.4V	
Capacidad clasificada	100Ah	
Energía total	31.3KWh	
Tipo de la célula	NCM	
Poder continuo de la descarga	30KW	
Tempereros de trabajo. Gama	-10°C~45°C	
Tarifa de la auto descarga	el 5%	30days, 25°C, el SOC100%
Nivel de la protección	IP67	
Peso	330kg	5 personas

**Fuente:** Autores, 2020

## Motor

En el diseño del sistema de propulsión se usa un motor de corriente continua continúa sin escobillas BL-DC, este tipo de motores con potencia de 10 o 20 KW son usados en este tipo de embarcaciones. Las características de motor seleccionado se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Características motor BLDC

Especificaciones	Tipo/unidad
Motor	BLDC
Potencia máxima de entrada	11.575 KW a 3304RPM
Potencia máxima de salida	10.012 KW a 3304 RPM
Par máximo	28.94 Nm. a 3304 RPM
Eficiencia	86.5 %
Refrigeración	Por aire
Peso	17kg
Voltaje	48V
Rpm	3000-6000
Diámetro	206 mm
Longitud	170 mm

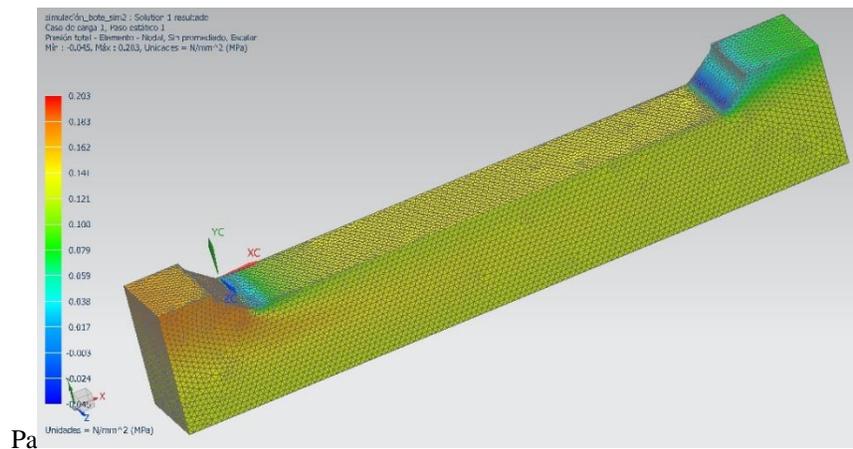
Fuente: Autores, 2020

## Resultados

### Resistencia al agua

Solucionando el sistema propuesto se halla la presión máxima que se va a ejercer en la parte que se sumerge del bote.

**Figura 6:** Presión del Agua a 203.01

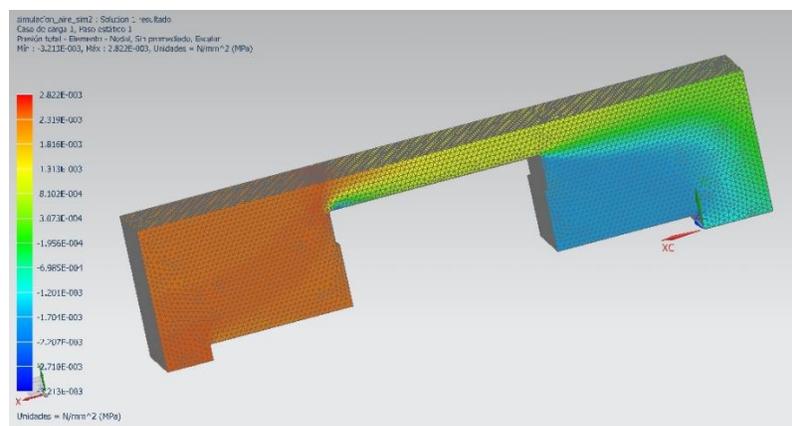


**Fuente:** Autores, 2020

### Resistencia al aire

De igual manera y con las condiciones establecidas, se procede a calcular la presión máxima que ejerce el aire en el área frontal del bote sin sumergir.

**Figura 7:** Presión del Aire a 21.9 Pa



**Fuente:** Autores, 2020

Con los valores de presión hallados se procede a calcular la fuerza que ejerce el aire y el agua sobre el bote para que se movilice a la velocidad descrita anteriormente.

$$P_{agua} = \frac{F_{agua}}{A} \quad (1)$$

$$F = P_{agua} * A$$

$$F_{agua} = 203.01 Pa * 3.21 m^2$$

$$F_{agua} = 651.66 N \quad (1)$$

La fuerza que ejerce el agua sobre el bote es de 651.66 Newtons.

$$P_{aire} = \frac{F_{aire}}{A} \quad (2)$$

$$F_{aire} = P_{aire} * A$$

$$F_{aire} = 21.9 Pa * 4.18 m^2$$

$$F_{aire} = 91.54 N \quad (2)$$

La fuerza que ejerce el aire sobre el bote es de 91.54 Newtons.

Con estos dos valores podemos calcular la fuerza total que necesita superar el motor eléctrico para poder llevar a cabo el arrastre del prototipo.

$$F_{Total} = F_{agua} + F_{aire} \quad (3)$$

$$F_{Total} = 651.66 N. + 91.54 N.$$

$$F_{Total} = 743,20 N \quad (3)$$

Con este resultado podemos concluir que el motor eléctrico es capaz de arrastrar la panga diseñada.

Formula de velocidad promedio.

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (4)$$

$$v \int_{t_0}^{t_1} dt = \int_{x_0}^{x_1} dx$$

$$v(t_1 - t_0) = x_1 - x_0$$

$$v(6.5 - 0) = 100 - 0$$

$$v = \frac{100 \text{ m}}{6.5 \text{ s}}$$

$$v = 15.385 \text{ m/s}$$

$$v = 55.38 \text{ Km/h} \quad (4)$$

**Tabla 5:** Velocidades y aceleración individual

	<b>Velocidad máxima en eficiencia</b>	<b>Velocidad máxima alcanzada</b>	<b>Aceleracion máxima</b>
<b>Estimación</b>	55.38 Km/h	83 Km/h	1.153 m/s <sup>2</sup>
<b>Tiempo</b>	6.5s	20s	20s

Fuente: Autores, 2020

**Tabla 6:** Autonomía de duración batería

<b>Tiempo</b>	<b>6 horas</b>	<b>7.5horas</b>
<b>Velocidad máxima promedio (km/h)</b>	<b>73</b>	<b>75</b>

Fuente: Autores, 2020

Aparecerán con un texto de una secuencia lógica, y si se dan en tablas, gráficos, etc., no deberán repetirse en él los mismos datos. Se procurará resaltar las observaciones más importantes, describiendo sin interpretar ni hacer juicios de valor, las efectuadas sobre el material y métodos empleados.

Las imágenes, tablas, esquemas o gráficos se situarán preferentemente como se indica en el apartado anterior. En caso de que precisen mayor tamaño para ser visibles, se facilitarán aparte colocando solamente los pies en el lugar deseado

Las ecuaciones se expresarán dejando líneas de separación entre el texto anterior y el posterior. Si van numeradas, dar el número al final de la línea y cuidar la numeración consecutiva. Si superan la longitud de línea se facilitarán aparte colocando solamente el número en el lugar deseado, tal como se indica en el apartado anterior.

## **Conclusiones**

El proyecto de estudio demuestra una mejora para la vialidad de las estructuras de las embarcaciones, ya que permite a más de la reducción de emisiones ambientales y económicas, una ayuda para el camuflaje del desarrollo de la embarcación debido a que este sistema es prácticamente silencioso.

El diseño estructural permite colocar el 80% del sistema de abastecimiento de energía en la parte superior de la embarcación, permitiendo así en su cubierta tener un mayor espacio de almacenamiento y mejorando la distribución de cargas a lo largo de la misma, estableciendo un mejor comportamiento dinámico y aerodinámico.

Esta iniciativa de reemplazo de los motores de combustión por motores eléctricos impulsa el desarrollo y ayuda del sistema ecológico, debido a que existen las nuevas centrales de generación eléctrica como son las hídricas, eólicas y centrales fotovoltaicas que permitirán el abastecimiento de dichas unidades.

Para solventar la capacidad de energía de dichas embarcaciones se necesita un costo más bajo que el de uso de combustibles fósiles a mas que se podría implementar de manera puntual una central fotovoltaica para el abastecimiento en lugares recónditos como se tiene en zonas protegidas permitiendo que la inversión final del costo de uso de las embarcaciones ligeras para transporte fluvial sea óptima.

El peso de la estructura de soporte de los motores eléctricos con respecto a los de combustión fuera de borda permite utilizar materiales compuestos, aligerando el peso de la embarcación y permitiendo un mayor desempeño en la autonomía de navegación.

Los componentes eléctricos, electrónicos y alimentación energética (batería) cuentan con protección ip67 para daños por corrosión y humidificación, permitiendo una mayor durabilidad y menor gasto en costos de mantenimiento en general con respecto a un sistema de accionamiento por motor fuera de borda.

Se consideraría una mayor profundización de dicha investigación para poder generar una mejor resolución de datos para poder obtener un modelo más específico y óptimo dependiendo las diferentes zonas de vigilancia y transporte fluvial; debido a que este sistema puede adaptar un sistema de auto recarga mediante condiciones de celdas fotovoltaicas y de flujo de aire, mejorando así el tiempo de carga y la durabilidad de la embarcación

## Referencias

1. Barbero, J. A., & Tornquist, R. R. (2012). Transporte y cambio climático: hacia un desarrollo sostenible y de bajo carbono. *Revista Transporte y Territorio*, (6), 8-26.
2. Bertram, V. (2011). *Practical ship hydrodynamics*. Elsevier.
3. Barragán Casanova, C. (2008). Estudio del impacto ambiental del tráfico marítimo Barcelona-Baleares.
4. Criado-Aldeanueva, F. (2004). Distribución y circulación de masas de agua en el Golfo de Cádiz. Variabilidad inducida por el forzamiento meteorológico. Universidad de Málaga, Servicio de Publicaciones.
5. Gómez, L. S. (2016). Pilas de combustible y sistemas de almacenamiento o generación de hidrógeno para propulsión de aeronaves no tripuladas (UAVs) eléctricas de gran autonomía.
6. Jara-Alvear, J., Pastor, H., Garcia, J., Casafont, M., Araujo, E., Calderón, E., & Bonn, A. (2013). Embarcaciones solares, una evolución al transporte marino en las islas Galápagos, Ecuador. In 1st International congress and scientific expo ISEREE (pp. 1-8).
7. Muñoz, J. M. B. (1996). Las infraestructuras portuarias en Andalucía: balance del período autonómico. *Revista de Estudios Regionales*, 1, 241-255.
8. Salas, M., Luco, R., & Ekdahl, H. (2013). Energía solar para propulsión de embarcaciones fluviales. EUT Edizioni Università di Trieste.

## Reference

1. Barbero, J. A., & Tornquist, R. R. (2012). Transport and climate change: towards sustainable and low carbon development. *Transport and Territory Magazine*, (6), 8-26.
2. Bertram, V. (2011). *Practical ship hydrodynamics*. Elsevier.
3. Barragán Casanova, C. (2008). Study of the environmental impact of Barcelona-Balearic sea traffic.
4. Criado-Aldeanueva, F. (2004). Distribution and circulation of water bodies in the Gulf of Cádiz. Variability induced by meteorological forcing. University of Malaga, Publications Service.

5. Gómez, L. S. (2016). Fuel cells and hydrogen storage or generation systems for the propulsion of long-range electric unmanned aircraft (UAVs).
6. Jara-Alvear, J., Pastor, H., Garcia, J., Casafont, M., Araujo, E., Calderón, E., & Bonn, A. (2013). Solar boats, an evolution to marine transport in the Galapagos Islands, Ecuador. In 1st International congress and scientific expo ISEREE (pp. 1-8).
7. Muñoz, J. M. B. (1996). Port infrastructures in Andalusia: balance of the autonomous period. *Regional Studies Magazine*, 1, 241-255.
8. Salas, M., Luco, R., & Ekdahl, H. (2013). Solar energy for the propulsion of river boats. EUT Edizioni Università di Trieste.

## Referências

1. Barbero, J. A., & Tornquist, R. R. (2012). Transportes e mudanças climáticas: rumo ao desenvolvimento sustentável e com baixo carbono. *Revista Transporte e Território*, (6), 8-26.
2. Bertram, V. (2011). *Hidrodinâmica prática de navios*. Elsevier.
3. Barragán Casanova, C. (2008). *Estudo do impacto ambiental do tráfego marítimo de Barcelona-Baleares*.
4. Criado-Aldeanueva, F. (2004). *Distribuição e circulação de massas de água no Golfo de Cádiz. Variabilidade induzida por forçamento meteorológico*. Universidade de Málaga, Serviço de Publicações.
5. Gómez, L. S. (2016). Células de combustível e sistemas de armazenamento ou geração de hidrogênio para a propulsão de aeronaves elétricas não tripuladas (UAVs) de longo alcance.
6. Jara-Alvear, J., Pastor, H., Garcia, J., Casafont, M., Araújo, E., Calderón, E., e Bonn, A. (2013). Barcos solares, uma evolução para o transporte marítimo nas Ilhas Galápagos, Equador. No 1º congresso internacional e exposição científica ISEREE (pp. 1-8).
7. Muñoz, J.M. B. (1996). Infraestruturas portuárias na Andalusia: balanço do período autônomo. *Revista Regional de Estudos*, 1, 241-255.
8. Salas, M., Luco, R. e Ekdahl, H. (2013). Energia solar para propulsão de barcos fluviais. EUT Edizioni Università di Trieste.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).