

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica

Investigación sobre sistemas eléctricos de propulsión para lanchas y botes

**Informe Final del Proyecto de Graduación para optar por el Grado de Bachiller
en Ingeniería Electrónica**

Acumuladores Industriales S.A

AISA

José Ross Chinchilla

San José, Noviembre del 2001

Le doy gracias a Dios y a mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado, a ellos les dedico este trabajo.

AGRADECIMIENTO

Para realizar este proyecto se contó con la participación las siguientes personas y empresas:

- Gerencia y funcionarios de la empresa AISA
- William Rojas y Juan Arrieta de la empresa Oasis Nature Tours
- Precisión Wimoca
- Dax Industrial
- Transporte Eléctrico de la CNFL
- Daniel Villalta
- Mauricio Odio Truque
- Eduardo Fonseca

A todos ellos les ofrezco un profundo y sincero reconocimiento por su colaboración.

Quisiera ofrecer un agradecimiento especial al Ingeniero Arnoldo Rojas, por su apoyo, y sus aportes para realizar este documento.

RESUMEN

En Costa Rica, los motores de combustión interna son únicos sistemas de propulsión empleados en medios acuáticos. Esta tecnología vierte gran cantidad de galones de gasolina, diesel y aceite en los ríos, lagos, y mares durante la operación y recarga de combustible. Todo esto pone en riesgo la vida marina, el equilibrio biológico del lugar y afecta directamente al ser humano, adicionalmente presentan elevados costos de combustible y mantenimiento debido a que todo el combustible debe ser importado.

Por otra parte, los sistemas de propulsión eléctrica son mucho más eficientes, no contaminan localmente el aire ni el agua, son silenciosos, pueden producir el empuje necesario para propulsar diferentes medios de transporte marítimo y reducen significativamente los costos de mantenimiento y cantidad de energía empleada.

Considerando los enormes beneficios ambientales, económicos y sociales que podría generar la utilización botes eléctricos, se realizó una investigación teórico-práctica considerando la realidad nacional, para definir la viabilidad de utilizar sistemas de propulsión eléctrica en lanchas y botes, comparado con los motores tradicionales.

Palabras claves: Botes eléctricos, propulsión eléctrica

ABSTRACT

In Costa Rica, engines of internal combustion are the only propulsion systems used in water transportation. This technology spills great quantities of gasoline, diesel and oil into rivers, lakes and oceans during operation and refills. All of these create a dangerous environment to the ocean life and human beings. In addition, these engines present high operation cost and maintenance because petroleum is imported.

On the other hand, electric propulsion systems are much more efficient, they don't pollute the water nor the air, they are silent, they have the necessary power to move different means of maritime transportation, and reduce the high percentage cost of maintenance and energy.

Considering the enormous environmental, economic, and social benefits that the use of these electrical boats could generate, a theoretic-practical investigation was done considering the national reality; all of this defines the systems viable of the use of electrical propulsion systems in boats compared with traditional boats.

Key words: electric boat, electric propulsion

INDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Descripción de la empresa | 1 |
| 1.2 Definición del problema y su importancia | 1 |
| 1.3 Objetivos | 3 |
| 1.3.1 Objetivo general | 3 |
| 1.3.2 Objetivo específicos | 3 |
| CAPÍTULO 2 | 5 |
| ANTECEDENTES | 5 |
| 2.1 Estudio del problema a resolver | 5 |
| 2.2 Requerimientos de la empresa | 7 |
| 2.3 Solución propuesta | 8 |
| CAPÍTULO 3 | 9 |
| PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO | 9 |
| CAPÍTULO 4 | 11 |
| DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO | 11 |
| CAPÍTULO 5 | 16 |
| ANÁLISIS Y RESULTADOS | 16 |
| 5.1 Explicación del sistema | 16 |
| 5.1.1 Selección de la lancha | 16 |
| 5.1.2 Selección del sistema de tracción | 20 |
| 5.1.3 Sistema de tracción original empleado | 22 |
| 5.1.4 Selección de la propela | 23 |
| 5.1.5 Conversión eléctrica | 24 |
| 5.2 Alcances y limitaciones | 28 |
| 5.2.1 Características del sistema diseñado | 28 |
| 5.2.2 Lancha de pruebas | 28 |
| 5.2.3 Análisis de costos de combustibles | 29 |
| 5.2.5 Reciclaje de baterías | 32 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 6 | 34 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 34 |
| 6.1 Conclusiones | 34 |
| 6.2 Recomendaciones | 35 |
| CAPÍTULO 7 | 37 |
| BIBLIOGRAFÍA | 37 |
| CAPÍTULO 8 | 39 |
| ANEXO 1 | 39 |
| 8.1 Resultados de las pruebas realizadas | 39 |
| ANEXO 2 | 41 |
| 8.2 Características técnicas del equipo empleado | 41 |

INDICE DE TABLAS

| | | |
|------------------|---|-----------|
| Tabla 5.1 | Certificado de navegabilidad de la lancha empleada | 19 |
| Tabla 5.2 | Características de la lancha empleada | 19 |
| Tabla 5.3 | Comparación entre motores internos y fuera de borda | 20 |
| Tabla 5.4 | Características técnicas del motor original | 23 |
| Tabla 5.5 | Características técnicas del sistema eléctrico | 28 |
| Tabla 5.6 | Comparación de consumo de combustible | 30 |
| Tabla 5.7 | Costos de energía por recarga de baterías | 30 |
| Tabla 5.8 | Costos del sistema de conversión eléctrica | 32 |
| Tabla 8.1 | Comparación de recargas de baterías | 39 |
| Tabla 8.2 | Comparación de potencia eléctrica del sistema de tracción | 39 |
| Tabla 8.3 | Características generales del sistema mejorado | 39 |
| Tabla 8.4 | Comparación de consumo de combustible de un motor de 2 tiempos | 40 |
| Tabla 8.5 | Consumo de combustible de un motor de 4 tiempos | 40 |
| Tabla 8.6 | Especificaciones del controlador Curtís | 41 |
| Tabla 8.7 | Especificaciones del controlador Dax industries | 41 |
| Tabla 8.8 | Especificaciones de las baterías Duncan | 42 |
| Tabla 8.9 | Especificaciones del motor eléctrico | 42 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 2.1 Propuesta de lancha eléctrica. | 7 |
| Figura 4.1 Motor eléctrico DC. | 11 |
| Figura 4.2 Controlador electrónico (chopper) marca Curtís. | 12 |
| Figura 4.3 Controlador electrónico para el motor CD. | 13 |
| Figura 4.4 Medidor de energía CD de las baterías. | 14 |
| Figura 4.6 GPS utilizado durante las mediciones. | 15 |
| Figura 5.1 Bote con diseño de casco de fondo plano. | 17 |
| Figura 5.2 Botes fabricados en el país. | 17 |
| Figura 5.3 Montaje de motor eléctrico interno | 20 |
| Figura 5.4 Sistema de dirección para botes con motor interno | 21 |
| Figura 5.5 Motor fuera de borda eléctrico | 21 |
| Figura 5.6 Motor de dos tiempos | 22 |
| Figura 5.7 Diseños de propelas | 24 |
| Figura 5.8 Sistema tracción del motor de CI. | 25 |
| Figura 5.9 Principales partes del motor diseñado | 27 |
| Figura 5.10 Contaminación del aire en el Río Sarapiquí | 29 |
| Figura 5.11 Bote para 30 personas | 29 |
| Figura 5.12 Comparación de costos de combustible, para diferentes motores | 31 |
| Figura 8.1 Diagrama de conexión del sistema del controlador FL3 | 42 |

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la empresa

Acumuladores Industriales SA (AISA), es una empresa 100% nacional líder en la fabricación, reconstrucción, y comercialización de baterías para uso automotor e industrial, utilizadas en montacargas, carretillas eléctricas, etc. Adicionalmente, ofrecen diferentes sistemas de rectificación para cargadores eléctricos, sistemas fotovoltaicos, y eólicos.

Desde su fundación en el año 1991, AISA ha brindado soporte, mantenimiento y atención técnica a diversas empresas del país tales como: Grupo Del Monte, Uniban de CR, COOPEUTBA, Empaques Asépticos Hi-C, Grupo Yale, H.T. Purdi, CNFL, etc.

Esta empresa tiene el objetivo de buscar e implementar nuevos proyectos para satisfacer las necesidades y realidades del mercado nacional; así por ejemplo se realizó esta investigación sobre sistemas de propulsión eléctricos para lanchas y botes.

1.2 Definición del problema y su importancia

Los medios de transporte terrestres y marítimos actuales utilizan combustibles fósiles como fuente exclusiva de energía. Los derivados de petróleo generan actualmente una gran problemática, debido a la contaminación ambiental que emiten, tanto en el aire como en los medios acuáticos en el cual se emplean.

Actualmente en el sector turismo, la explotación pesquera y transporte de carga acuática, se vierte una gran cantidad de combustible y aceite en los ríos, lagos, y mares. Todo esto pone en riesgo la vida marina, el equilibrio biológico del lugar y afecta directamente al ser humano.

De acuerdo a un estudio realizado por la Liga Izaak Walton en EEUU, sólo en el estado de Michigan, se pueden derramar directa e indirectamente más de 750.000 litros de combustible en un fin de semana, este dato no se refiere al proceso de combustión, sino al derrame involuntario durante el proceso de recarga o por sistemas mal afinados, que causan que los motores de combustión interna expelan combustible sin combustión por las muflas.

El problema es agravado por la combustión incompleta de los motores fuera de borda de dos tiempos, los cuales presentan un consumo aproximado de 40 litros de la mezcla gasolina-aceite por la hora con un motor de 100HP, y entre un 25% a un 30% de ese combustible es expulsado directamente en el agua. Entre los componentes depositados en el agua, se incluyen el benceno, y el tolueno, ambos elementos carcinógenos.

La experiencia en países industrializados indica que los sistemas de propulsión eléctricos son mucho más eficientes, no contaminan localmente el aire, ni el agua, son silenciosos, pueden producir el empuje necesario para competir modestamente con los motores de gasolina, reducen los costos de mantenimiento y la cantidad de combustible requerido.

En Costa Rica se puede emplear este tipo de tecnología limpia, como una forma de impulsar nuevas políticas ecologistas en el sector turismo, lo cual facilitaría en este aspecto la promoción y el reconocimiento del país en el ámbito internacional.

A pesar que el 85% de la generación eléctrica del país es producida por medios amigables con el ambiente, y de los enormes beneficios ambientales, económicos y sociales que podría generar la utilización botes eléctricos, no solo, no existe un estudio técnico que realice una comparación entre diferentes sistemas eléctricos de propulsión, y que permita cuantificar los beneficios de emplear ésta tecnología en la realidad nacional, sino que tampoco existe una política o legislación gubernamental que fomente o estimule su uso.

Por esta razón se realizó una investigación teórico-práctica sobre las ventajas y desventajas de emplear un motor fuera de borda eléctrico puro como medio de transporte. Adicionalmente se realiza una comparación de la eficiencia, la contaminación, los costos de combustible y la inversión inicial, entre sistemas de propulsión eléctricos y sistemas de combustión interna tradicionales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar una investigación teórico-práctica y que refleje las ventajas y desventajas de emplear motores fuera de borda eléctricos puros, como medio de transporte acuático.

1.3.2 Objetivo específicos

1. Seleccionar la lancha y el lugar adecuado para realizar el proyecto.
2. Preparar y planificar las pruebas para determinar las características de funcionamiento de los motores de combustión interna (velocidad, carga máxima, etc).
3. Preparar, planificar y realizar las pruebas para medir el consumo de combustible por hora de trabajo de motores fuera de borda de dos y cuatro tiempos.
4. Investigar las características de los diferentes productos de control y propulsión eléctricos en el mercado que mejor se ajusten a los requerimientos del proyecto.
5. Realizar las pruebas para determinar las características de funcionamiento de los motores de combustión interna.
6. Diseñar el sistema de propulsión eléctrico para la lancha y sus condiciones de trabajo.

7. Diseñar, construir y montar los diferentes módulos y las piezas mecánicas necesarias para implementar el sistema concebido.
8. Realizar las primeras pruebas en condiciones de laboratorio.
9. Instalar y capacitar a las personas que realizarán las pruebas.
10. Realizar las primeras pruebas del sistema diseñado.
11. Implementar las modificaciones necesarias en el sistema original para optimizar su desempeño.
12. Determinar las características reales del sistema diseñado.
13. Medir el consumo de energía del sistema de recarga de baterías.
14. Realizar el análisis de resultados sobre las pruebas experimentales en la lancha eléctrica.
15. Presentar el informe final sobre los resultados del proyecto.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 Estudio del problema a resolver

La amplia utilización de sistemas de tracción de combustión interna en lagos y ríos del país, ha originado trastornos al equilibrio ecológico de la vida marina circundante, debido a la gran cantidad de emisiones de gases contaminantes, residuos de hidrocarburos, de emisión sónica, etc.

A pesar de que en las instituciones de gobierno, en los grupos ecologistas, empresarios, turistas y público en general, existe un conocimiento general del problema, actualmente no se vislumbra ni propone ninguna solución a corto plazo para empezar a erradicar o disminuir ese problema.

Algunos empresarios, principalmente del sector turismo ya han empezado a utilizar pequeños motores fuera de borda eléctricos en los lugares que presentan mayores problemas, sin embargo el equipo empleado no es el adecuado, y en general los sistemas utilizados no logran competir con los motores tradicionales.

En el año 2000 un grupo de estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica desarrollaron, el primer prototipo de un sistema de propulsión eléctrico para una lancha, el cual consistió en una conversión de un motor fuera de borda de combustión interna a eléctrico.

El sistema estaba compuesto por un motor eléctrico sin escobillas (brushless), un controlador electrónico, un cargador de baterías, y 4 baterías selladas, y fue probado en tres diferentes lanchas.

Entre las principales conclusiones del proyecto, destacaron los bajos costos por concepto de consumo de energía, una fuerte disminución de emisiones locales de contaminación, un bajo mantenimiento, bajos niveles de contaminación sónica, rango de uso directamente proporcional a la cantidad de energía en las baterías, posibilidades de recargas y cambios rápidos de baterías.

En esa ocasión se vislumbró la posibilidad de iniciar una industria de conversión o fabricación de motores fuera de borda eléctricos en el país.

En la investigación se señalaron algunos inconvenientes como por ejemplo:

- Poca posibilidad de adquirir en el país un producto propulsión eléctrica para botes y lanchas de mediano y gran tamaño.
- Falta de una investigación sobre el funcionamiento, las características y los beneficios de emplear botes eléctricos.
- Poca información sobre el proceso de conversión de motores fuera de borda de combustión interna a eléctricos.
- Falta de infraestructura de recarga en medios acuosos y sus riesgos potenciales de electrocutamiento.

Debido a la problemática existente por la utilización de motores fuera de borda, y considerando los beneficios que se originarían en el país mediante la utilización de lanchas eléctricas, se realizó un estudio técnico sobre la posibilidad de emplear sistemas de propulsión eléctricos para lanchas y botes (ver figura 2.1), con la finalidad de satisfacer las necesidades existentes.

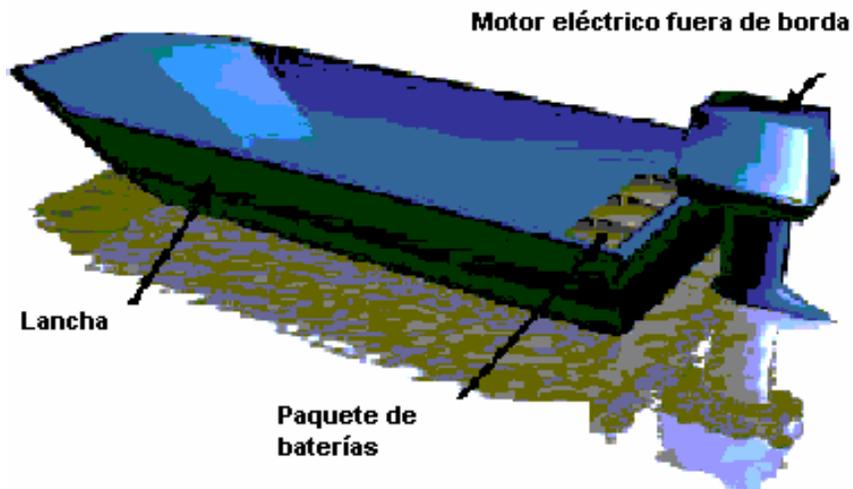


Figura 2.1 Propuesta de lancha eléctrica.

2.2 Requerimientos de la empresa

Se partió de un sistema de propulsión de lanchas y botes eléctrico puro, que tuviera la capacidad de ser empleado por embarcaciones de uso común, con las siguientes características mínimas:

1. Debe tener la potencia suficiente para transportar una lancha de ocho pasajeros a una velocidad de por lo menos 2.16 nudos (4 km/h) contra la corriente.
2. Las baterías deben proporcionar la energía de tracción suficiente para operar al menos durante una hora de trabajo normal en el río.
3. La recarga de baterías se debe realizar de forma segura, es decir fuera del medio acuoso, para evitar accidentes por electrocutamiento.
4. Se debe lograr una reducción sustancial de costos de operación del medio de transporte, principalmente por concepto de combustibles y mantenimiento.

5. Disminuir el impacto ambiental negativo en los ríos y lagos, reduciendo los niveles de contaminación equivalente a los motores de combustión interna (CI) empleados actualmente.

2.3 Solución propuesta

Se planteó la utilización de un motor fuera de borda eléctrico puro, la cual obliga al uso de un motor eléctrico, su respectivo controlador y las baterías de plomo-ácido como fuente de energía.

Las pruebas de campo se realizaron en el Río Sarapiquí, en Puerto Viejo de Sarapiquí. En este lugar se dispuso de diferentes lanchas y motores de la empresa Oasis Nature Tours, para comparar los niveles de contaminación producidos por los motores de combustión interna de dos y cuatro tiempos, además de cuantificar el consumo del combustible, del aceite y otros sistemas necesarios para el desempeño óptimo de las embarcaciones.

Para realizar el diseño se utilizó un motor de corriente directa paralelo, debido a que presentaba una menor inversión inicial y existía mayor disponibilidad en el mercado nacional.

En general se emplearon componentes estándares de vehículos eléctricos, que garantizaban la capacidad de soportar el trabajo en condiciones acuáticas.

Como fuente de energía para propulsar el vehículo, se seleccionaron las baterías de ácido-plomo de ciclo profundo, por ser los únicos acumuladores de con una razón costo beneficio actualmente aceptable.

Todo el equipo y herramientas requerido para realizar el proyecto, fue adquirido por la empresa AISA.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

A continuación se detallan las actividades necesarias para realizar el proyecto:

De acuerdo con la lancha seleccionada, las necesidades de la empresa, y la información recopilada, se hizo el diseño del sistema para realizar las pruebas de campo.

El sistema del motor fuera de borda requirió de algunas piezas mecánicas fundamentales de soporte y apoyo, de acoples del motor eléctrico y del sistema electrónico. Cualquier error o imperfección presentada durante la etapa de diseño o implementación, puede causar un consumo excesivo de energía.

Por esta razón, fue necesario una inspección minuciosa de los sistemas originales del motor fuera de borda. Algunas piezas, como la bomba del agua, fueron removidas por no tener uso dentro del nuevo sistema.

El proyecto requirió de una infraestructura de recarga para abastecer de energía las baterías. Para esto se aumentaron las medidas de seguridad, ya que es evidente la problemática de trabajar con electricidad en medios acuosos. Para disminuir el riesgo que esto presentaba, se optó por realizar recambios rápidos de baterías y recargarlas en un sitio seguro.

En el caso de emplear cargadores de baterías alimentados por corriente alterna monofásica 120VAC/220VAC 60Hz, es inevitable y altamente recomendable el empleo de interruptores de seguridad activados por fuga de corriente.

Una vez definido el diseño, se localizaron y adquirieron las diferentes partes.

Era necesario contar con dos diferentes sistemas electrónicos de control, además de diversas piezas mecánicas y baterías de ciclo profundo, las cuales en su gran mayoría se obtuvieron en el país.

Una vez reunidas todos los componentes, se procedió a realizar el montaje de los componentes electrónicos, y piezas mecánicas. Una vez ensamblado, se realizaron las primeras mediciones de energía, en donde se simularon las condiciones prácticas de río, y se verificó el buen funcionamiento del diseño. Adicionalmente se realizaron todas las correcciones para luego realizar las pruebas de campo.

Debido a la lejanía del lugar seleccionado para realizar las pruebas, fue necesario realizar una planificación muy detallada de las pruebas requeridas al igual que un itinerario de trabajo adecuado y lograr así una correcta administración de los recursos para realizar el proyecto.

Después de las primeras pruebas, fue necesario realizar algunas modificaciones en el diseño original, realizándose cambios principalmente en el acople mecánico y en la configuración del sistema electrónico, con lo cual se logró disminuir el consumo de energía, el ruido producido, para aumentar la potencia (16%) y rango de alcance del sistema.

Durante el proyecto se realizaron diferentes pruebas con los motores de combustión interna de dos y cuatro tiempos, y con el motor fuera de borda eléctrico. Mediante ellas se elaboró un análisis comparativo del consumo de energía de cada uno de los sistemas, además de los niveles de contaminación producidos por los mismos.

Dentro del cálculo de costos por combustible, se agregó el costo de reemplazo de las baterías, tomando en cuenta la vida útil de las mismas. Se realizó además una comparación de características técnicas de cada uno, de los sistemas involucrados y se señalaron sus ventajas y desventajas.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

Componentes de hardware seleccionados

Al iniciar la búsqueda del motor ideal para el sistema, se analizaron algunos motores de tracción serie empleados en montacargas eléctricos, sin embargo presentaban serias deficiencias de potencia y bajos voltajes de trabajo, adicionalmente eran demasiado voluminosos y pesados, lo cual lo hacia incompatible como motor fuera de borda.

Por esta razón se optó por emplear un motor paralelo de 5HP, con una velocidad nominal de 2200 RPM, un voltaje nominal de 36V, y una corriente de 175A.

En el sistema concebido, existió la posibilidad de emplear un motor de imanes permanentes, sistema muy utilizado en vehículos eléctricos, sin embargo a pesar de las mejores características que presentaban; como por ejemplo una mejor relación potencia-peso-volumen y una mayor eficiencia, no fue posible utilizarlo en el proyecto debido a su costo.

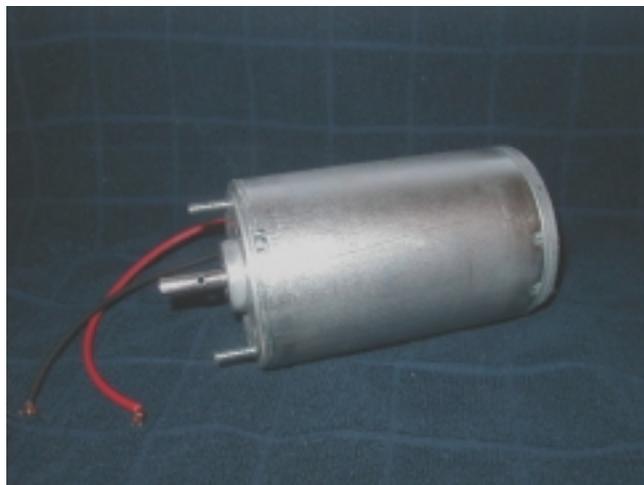


Figura 4.1 Motor eléctrico DC.

Para regular la velocidad del motor, variando voltaje y corriente, se utilizó convertidor eléctrico CD-CD (chopper), el cual opera con modulación de ancho de pulso.

Inicialmente se realizaron las pruebas con un convertidor de la marca Curtis (ver figura 4.2), que presentaba un rango de trabajo entre los 24V-36V, además tenía una capacidad para gobernar una corriente de 175 A por espacios muy cortos de tiempo, sin embargo el motor con carga, trabajaba con una corriente nominal de 130 A, por lo que excedía el tiempo operación recomendado por el fabricante (ver anexo 2). Por esta razón se optó por cambiar el diseño original, a otro de 48V, con lo cual se logró disminuir la corriente a 56A y ampliar el rango del sistema.



Figura 4.2 Controlador electrónico (chopper) marca Curtís.

Al aumentar el voltaje de trabajo, fue necesario sustituir el controlador electrónico, por otro con mayor voltaje y corriente de operación, por esta razón se seleccionó un controlador de Dax Industries de 48V y 400A. Tal como se muestra en la Figura 4.3.



Figura 4.3 Controlador electrónico para el motor CD.

Las baterías de ciclo profundo seleccionadas son de la marca Duncan, modelo SP90-12, de 12V nominales y una carga de 80Ah, y según las especificaciones del fabricante soportan, 600 ciclos de carga y descarga antes de finalizar su vida útil. Esto no se pudo determinar en este estudio y será objeto de investigación adicional.

Durante las pruebas realizadas se descargaron estas baterías cíclicamente hasta un 70% de su carga total.

El proyecto utilizó el principio de recambio o sustitución de baterías, en vez de recargas directas en la embarcación ya que existían algunos inconvenientes de seguridad principalmente para colocar una infraestructura de recarga permanente.

Para realizar la recarga de las baterías, se utilizó un cargador de 220VAC y 15A, el cual fue colocado distante del lugar de pruebas, en donde no existiera peligro por electrocutamiento.

Para cuantificar la energía consumida por las baterías durante las recargas, se utilizó un medidor energía eléctrica comercial programable marca ABB. Para medir el consumo de energía del motor en Ah, y a la vez conocer el grado de descarga en las baterías se utilizó un medidor de energía CD (E meter, que se muestra en la figura 4.4).

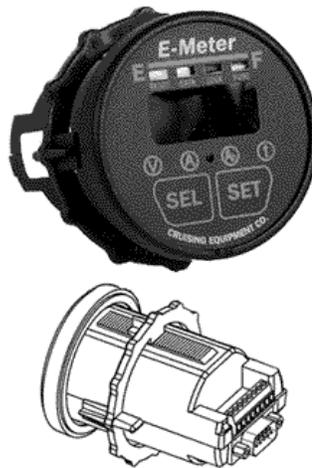


Figura 4.4 Medidor de energía CD de las baterías.

Para realizar las conexiones entre las baterías, el controlador y el motor se utilizó cable automotriz número 2 AWG, para evitar el efecto piel, además se emplearon los conectores Andersson. (ver figura 4.5).



Figura 4.5 Conectores Andersson.

Durante el proceso de pruebas en el Río Sarapiquí, se utilizó un sistema posicionamiento global GPS (global position system) de 12 canales, marca Etrex (ver figura 4.6) para calcular la velocidad, la distancia y el tiempo transcurrido de la lancha.

Este sistema utiliza la telemetría con por lo menos tres satélites geoestacionarios para obtener ubicación del punto donde se accione el instrumento, adicionalmente se emplearon las funciones de odómetro, velocímetro, cronómetro y altímetro que este sistema ofrece.



Figura 4.6 GPS utilizado durante las mediciones.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y RESULTADOS

5.1 Explicación del sistema

Al realizar el diseño de un sistema de tracción para una lancha eléctrica, fue necesario considerar diferentes factores tales como la función de transporte a desempeñar, la comodidad y el costo.

La velocidad máxima que alcanzó el vehículo estuvo determinada por gran cantidad de factores correlacionados, por ejemplo el diseño del casco, el peso, la relación de transformación entre motor-propela, la potencia del motor, la línea de flotación. Adicionalmente la energía y potencia máxima que podía entregar las baterías.

A continuación se describen los diferentes factores que se consideraron al realizar el diseño del sistema eléctrico y la selección de la lancha para las pruebas.

5.1.1 Selección de la lancha

La eficiencia energética de los barcos y lanchas aumenta si la línea de flotación es pequeña, logrando así una reducción significativa del desplazamiento de agua que causa el casco cuando el vehículo se desplaza.

En forma general, entre mayor sea la línea de flotación y el área frontal efectiva presente la embarcación sea mayor, se requiere más trabajo para moverla. Adicionalmente a una mayor velocidad se obliga desplazar un mayor volumen de líquido por unidad de tiempo, creando una mayor turbulencia, y que al final requiere más energía (ver figura 5.1).

Por lo tanto el tipo de casco que se requería para propulsión eléctrica, debía ser idealmente largo y angosto como una canoa, ya que así permitiría un menor movimiento del agua hacia los lados y la turbulencia que deja atrás, sería menor.



Figura 5.1 Bote con diseño de casco de fondo plano.

La mayoría de las lanchas utilizadas en Costa Rica, fueron diseñadas pensando en la comodidad y confort dentro de la nave, por lo tanto poseen una plataforma más ancha y más estable (Ver figura 5.2). Por esta razón se enfrentó el problema de que no existan embarcaciones con las características ideales para una conversión eléctrica.



Figura 5.2 Botes fabricados en el país.

Por lo tanto se eligió una lancha que pudiera trabajar a baja velocidad, con fondo plano y con quilla pequeña.

Una vez elegida la lancha, fue necesario distribuir el peso en la embarcación de tal forma que el fondo del barco permaneciera lo más paralelo posible con la superficie del agua, y lograr con ello disminuir el arrastre del agua cuando se desplaza.

Otro punto importante considerado al realizar el diseño, fue la relación potencia-peso del motor y del bote, ya que a mayor potencia y menor peso, el barco se movía más rápidamente. Por esta razón se utilizó una embarcación de fibra de vidrio, y se trató de eliminar todo el peso innecesario del barco.

El nivel y la altura de la línea de flotación del barco fue un punto muy importante a considerar, ya que para un peso dado, y una potencia específica, entre más largo sea el casco, menor será la línea de flotación y el desplazamiento se hará con menor costo energético.

Un aspecto necesario de considerar, fue la capacidad de carga de la lancha, ya que era necesario considerar el peso adicional del paquete de baterías.

Como medida de seguridad contra la lluvia, se consideró la necesidad de mantener el techo en la embarcación.

En las Tablas 5.1 y 5.2 se muestran las características de la lancha seleccionada para realizar las pruebas.

Tabla 5.1 Certificado de navegabilidad de la lancha empleada

| | |
|---------------------|---------------------------|
| Matricula | L-1896 |
| Clase | Pasajeros |
| Puerto de matrícula | San José |
| Nombre | Sarapiquí II |
| Construido | Puerto Viejo Sarapiquí |
| Armador | Juan Ramón Arrieta Flores |
| Tomo | 3 |
| Folio | 0 |
| Asiento | 62548 |
| Material Casco | Fibra de Vidrio |
| Año construcción | 1997 |

Tabla 5.2 Características de la lancha empleada

| | |
|----------------|----------|
| Eslora | 4.71m |
| Manga | 1.42m |
| Puntal | 0.4m |
| Peso de lancha | 489.89kg |
| Peso de carga | 317.51kg |
| Marca de Motor | YAMAHA |
| Modelo | E25A |
| Serie | 50017130 |
| Potencia | 25 Hp |
| Combustible | Gasolina |

Esta información fue tomada de la tarjeta de circulación número 1896

5.1.2 Selección del sistema de tracción

Existen dos opciones para colocar el sistema de tracción: fuera de borda o interno.

El sistema de tracción eléctrico interno presentaba algunas inconvenientes en comparación con el sistema tradicional fuera de borda, a continuación se consideran las principales diferencias entre ambos sistemas.

Tabla 5.3 Comparación entre motores internos y fuera de borda

| Sistema | Ventajas | Desventajas |
|----------------|---|---|
| Fuera de borda | Puede ser inclinado fácilmente Fácil de maniobrar Fácil instalación Fácil mantenimiento | Mayores pérdidas por desacoples y piñones |
| Interno | No requiere equipos protegidos contra la intemperie Sistema directo desde motor y propela Menores pérdidas por fricción | Instalación más compleja Presenta mayor peso Requiere un sistema de timón externo adicional Presenta inconvenientes para maniobrar |



Figura 5.3 Montaje de motor eléctrico interno



Figura 5.4 Sistema de dirección para botes con motor interno



Figura 5.5 Motor fuera de borda eléctrico

5.1.3 Sistema de tracción original empleado

El motor fuera de borda original de la lancha que se utilizó para realizar las pruebas, era de la marca Johnson, de dos tiempos y 65HP de potencia (ver Figura 5.6), en la Tabla 5.4 se muestran las características técnicas de ese sistema.



Figura 5.6 Motor de dos tiempos

Tabla 5.4 Características técnicas del motor original

| Aspecto | Característica |
|--|---|
| Potencia | 60 HP |
| Altura recomendada del espejo de popa | 57.2cm |
| Peso | 115kg |
| Tipo de motor | Barrido en bucle 3 cilindros en línea |
| Diámetros X carrera | 8.09 X 5.95 cm |
| Cilindrada | 920c.c |
| Método de inclinación | Inclinación y elevación manuales |
| Potencia al eje de la hélice | 49KW a 5000RPM |
| Régimen de trabajo del motor a pleno gas | 4500-5000 |
| Relación de engranajes /palanca cambio | 12:29 (0.41) |
| Alternador | 100W A/C, 5A |
| Control de dirección | Timón remoto |
| Encendido electrónico CD | Si |
| Interruptor de parada de emergencia | Si |
| Hélice estándar/ Selección de pasos | 35.56 cm X 43.18 cm (Aluminio) 22.86 cm X 58.42 cm (Aluminio) 27.94 cm X 76.2 cm (Acero inoxidable) |

5.1.4 Selección de la propela

Una propela liviana y con buen diseño puede aumentar o disminuir la eficacia del sistema, y desarrollar hasta 50% más desplazamiento con la misma potencia, utilizando menos energía de las baterías. Por esta razón se utilizó una propela de aluminio con 35.56 cm de diámetro externo, logrando el mejor desempeño del sistema.

El diseño de las aspas proporciona un alto empuje, reduciendo al mínimo las pérdidas por turbulencia

En el mercado existen diferentes opciones para mejorar desempeño del motor (Ver figura 5.7), para ello existen diferentes, tamaños, materiales, y número de aspas, de acuerdo con las necesidades.



Figura 5.7 Diseños de propelas

5.1.5 Conversión eléctrica

Para realizar la conversión del motor original a un sistema eléctrico, fue necesario retirar el motor de gasolina y los soportes que lo unían a la carcasa de aluminio. Adicionalmente se eliminó la tapa de plástico y el aro de metal que sostiene al mismo con el resto del cuerpo del motor.

También fue necesario realizar un análisis detallado del funcionamiento normal del sistema original. La velocidad del motor de combustión interna (MCI) a pleno gas, es de aproximadamente 5000 RPM.

La potencia del motor es transferida directamente a la propela por medio de dos ejes y tres piñones diferentes. De esta forma, se utiliza un eje vertical para alcanzar la parte inferior del cuerpo del motor (la pata). La energía mecánica es redireccionada luego por medio de una pequeña caja de piñones lubricada con aceite y especialmente diseñada para funcionar a grandes velocidades, así el eje de la propela queda en posición horizontal y con ella la transmisión de energía.



Figura 5.8 Sistema tracción del motor de CI.

La caja de transmisión tiene una relación de 2,41:1. Todo el sistema de transmisión, incluyendo el sistema de marchas fue revisado minuciosamente y fue utilizado como base para realizar el diseño del sistema para el motor eléctrico.

Adicionalmente se diseñó y construyó una base metálica para colocar el motor eléctrico de 5HP y 2200 RPM en posición vertical, por lo que fue alineado y unido al eje principal del motor por medio de un acople flexible. De esta forma se logró una velocidad nominal de 912 RPM en la propela.

Originalmente se pensaba utilizar un cambio de polaridad de la tensión del motor para realizar los cambios en el sentido de giro de la propela, sin embargo el sistema original de tracción del motor fuera de borda, fue diseñado para girar únicamente al giro a favor de las manecillas del reloj, por esta razón fue necesario mantener el mismo sentido de rotación al realizar la conversión.

En el motor original no existía ningún sistema electrónico, solamente un arrancador CD, y un alternador de 100W, adicionalmente se requería una bomba de agua para enfriar el sistema. Este es un elemento innecesario para el sistema eléctrico, por lo tanto fue retirado del eje.

El combustible del motor fuera de borda era almacenado en un depósito que era transportado en el bote, y que era recargado directamente en el muelle, sin embargo con el sistema eléctrico no era necesario, y su espacio fue ocupado por cuatro baterías de ciclo profundo de 80Ah que almacenan la energía para el nuevo motor.

En la lancha original se utilizaba un control a distancia del motor fuera de borda, y aunque por comodidad durante las pruebas no fue activado, es compatible 100% con la conversión realizada.

Para regular la velocidad del motor eléctrico se utilizó un convertidor CD-CD con modulación por ancho de pulso (PWM), el cual funciona con una alta eficiencia. Este controlador limita la corriente del motor logrando de esta forma un mejor aprovechamiento de la energía en las baterías.

El controlador electrónico fue colocado directamente junto al motor eléctrico en la parte superior del sistema, y quedó integrarlo en la carcasa del motor fuera de borda como un sistema completo de tracción eléctrica.

El potenciómetro que suministra el control de velocidad al controlador electrónico, el medidor de descarga (Ah), y las baterías fueron colocadas dentro del mismo sistema.

A continuación se muestran y enumeran las diferentes partes del diseño realizado (ver figura 5.9).

1. Carcasa del motor fuera de borda de combustión interna, que es parte de un motor Johnson de 65 HP.
2. Soporte y motor eléctrico de 36V nominales, 175 A nominal, 5HP.
3. Controlador electrónico PWM de 400A y 48V.
4. Paquete de baterías de ácido plomo de ciclo profundo para uso marino (48V, 80Ah, y descargas de un 70%).
5. Caja de transmisión lubricada con aceite, compuesta por tres piñones y palanca manual de tres posiciones (cambios de adelanto, retroceso y neutro).
6. Propela y eje vertical.
7. Acople flexible entre el motor eléctrico y eje principal.

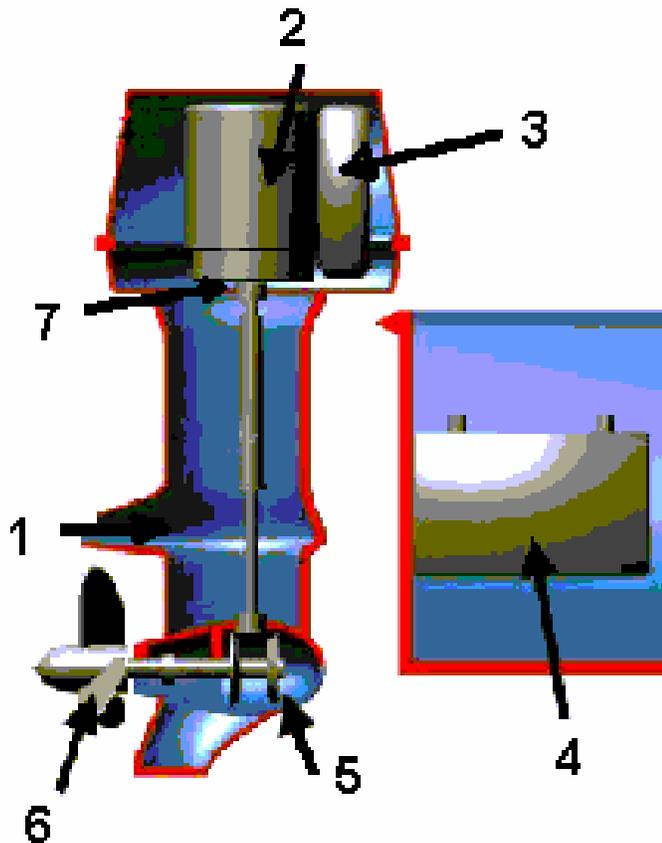


Figura 5.9 Principales partes del motor diseñado

5.2 Alcances y limitaciones

5.2.1 Características del sistema diseñado

En la tabla 5.5 se muestran las características técnicas y de desempeño finales del sistema de tracción eléctrico diseñado.

Tabla 5.5 Características técnicas del sistema eléctrico

| ITEM | Característica |
|-------------------------------------|---|
| Dimensiones de la lancha utilizada | 4,71x1,42x0.4m y 489.89kg |
| Capacidad de carga de la lancha | 200 kg |
| Propela utilizada | Johnson 34.56 mcm de diámetro |
| Motor original | Motor Johnson 65HP, dos tiempos |
| Tecnología utilizada | Motor y controlador CD, con escobillas |
| Voltaje utilizado | 48V |
| Baterías empleadas | DUNCAN, ciclo profundo 70% descarga, 80Ah |
| Potencia del motor eléctrico | 5 HP |
| Revoluciones máximas del motor | 2200 RPM |
| Relación de velocidad de la propela | 2.41: 1 |
| Corriente nominal del sistema | 80 A |
| Sistema de recarga | Cambio de baterías, cargador externo |
| Consumo de energía por recarga | 4.36 KWh cargador |
| Velocidad máxima | 6 km/h |
| Distancia por recarga | 6 km |
| Tiempo de carga en baterías | 1 hora continua |

5.2.2 Lancha de pruebas

La mayoría de las embarcaciones utilizadas en los ríos y lagos han sido diseñadas y laboradas por artesanos en Costa Rica, y tienen por lo tanto en la mayoría de los casos grandes defectos de diseño en los cascos, lo que obliga a la utilización de grandes motores, altos consumos de combustible y por lo tanto elevados niveles de contaminación (ver figura 5.10).



Figura 5.10 Contaminación del aire en el Río Sarapiquí

Por ejemplo en Puerto Viejo de Sarapiquí, existen más de 30 embarcaciones, destinadas al transporte y tienen el fondo plano, superando los 5 m de largo, y 2 m de ancho, con capacidades superiores a 15 personas, y utilizan motores de dos y cuatro tiempos con potencias entre los 65 HP y 100HP (ver figura 5.11).



Figura 5.11 Bote para 30 personas

5.2.3 Análisis de costos de combustibles

Para realizar el análisis comparativo de costos de energía entre los sistemas eléctricos y de combustión interna, los diferentes sistemas se sometieron bajo las mismas condiciones de prueba.

Las pruebas se diseñaron considerando las características que presentó el motor fuera de borda eléctrico, por lo tanto se realizaron pruebas separadas con los diferentes motores de CI, por espacios de una hora continua de uso, a velocidades constantes de 10.7km/h río abajo y 6.1km/h río arriba, en la misma lancha.

Se midió estadísticamente el consumo de combustible, en los motores de dos y cuatro tiempos, para obtener el mejor resultado; para tomar la medición de tiempo y espacio se empleó un GPS (ver anexo 2).

Tabla 5.6 Comparación de consumo de combustible

| Tipo de motor | Dos tiempos | Cuatro tiempos |
|---------------------------------|--|-----------------------|
| Consumo de combustible por hora | 20 litros de gasolina 1 cuarto de aceite | 10 litros de gasolina |
| Costo de combustible y aceite | ¢ 3562 gasolina ¢ 1200 aceite | ¢ 1800 |
| Total de costos por hora | ¢ 4762 | ¢ 1800 |

Tal como se observa en la tabla 5.7, el sistema diseñado utiliza cuatro baterías de 12 V de ciclo profundo que mantienen la carga por aproximadamente una hora de uso constante.

Tabla 5.7 Costos de energía por recarga de baterías

| | |
|--|--|
| Características de la baterías DUNCAN modelo SP90-12 | 12V, ciclo profundo, 80Ah, 70% de descarga |
| Costo por batería | ¢ 38.500 |
| Número de baterías utilizadas | 4 unidades |
| Tiempo de descarga | 1 hora |
| Precio del paquete completo de baterías | ¢ 154.000 |
| Costos de depreciación por recarga | ¢ 356.66 |
| Consumo de energía por recarga | 4.36 KWh |
| Costos de energía por recarga completa | ¢ 157.68 |
| Costo total de energía por hora de uso | ¢ 414.34 |
| Recorrido total en una hora | 8km |

Para realizar el cálculo del costo de combustible se utilizó la tarifa industrial T3 de la CNFL, de ¢36.1/ KWh.

En la figura 5.12 se muestra comparación gráfica de los costos combustibles para una hora de operación de diferentes tipos de tecnologías de motores fuera de borda. De acuerdo a las pruebas realizadas, los motores de dos tiempos son los que presentan mayores costos de operación por hora, superando 2.6 veces los costos de combustible un motor de cuatro tiempos, mientras que este a su vez consume cuatro veces más por concepto de combustible que un motor eléctrico.

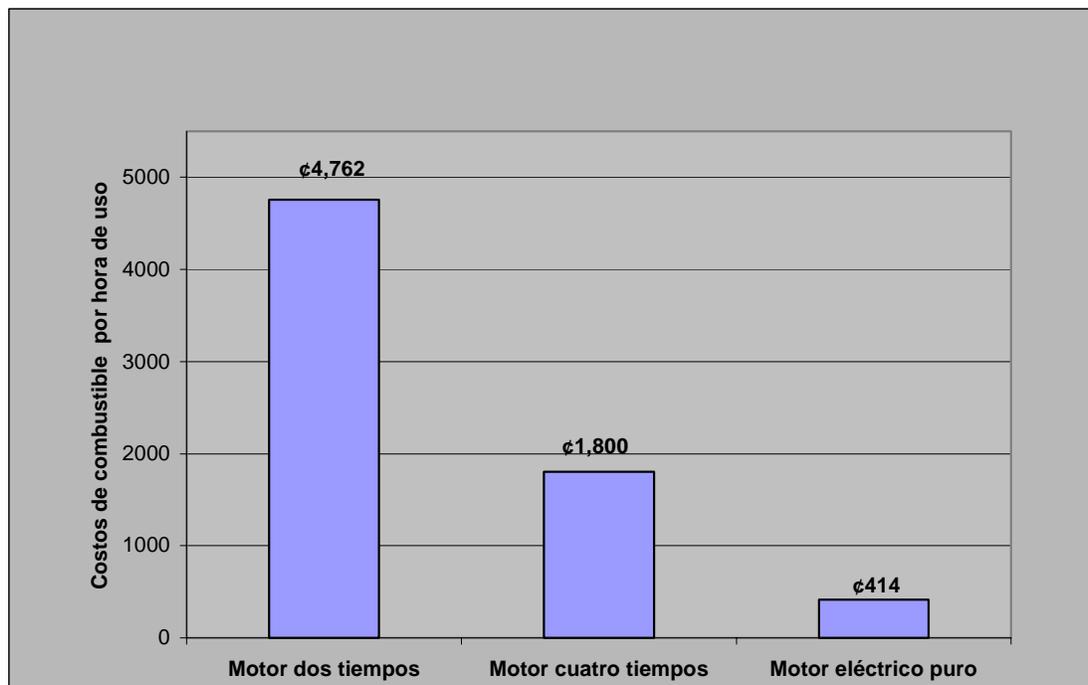


Figura 5.12 Comparación de costos de combustible, para diferentes motores

5.2.4 Inversión de un sistema eléctrico

De acuerdo a la investigación realizada, la mayoría de los componentes necesarios para realizar conversiones de motores fuera de borda deben ser importados, debido a que en la actualidad no se fabrican en Costa Rica.

En la tabla 5.8 se muestran los componentes necesarios para realizar una conversión eléctrica.

Tabla 5.8 Costos del sistema de conversión eléctrica

| Equipo | Característica | Precio FOB (\$) |
|-------------------------|---|-----------------|
| Motor eléctrico | Entre 5HP, 175A, y 48V | 600 |
| Controlador electrónico | PWM, 48V, 275A | 400 |
| Cargador de baterías | 120VAC, 15A | 600 |
| Set de baterías | Ciclo profundo, 4 unidades de 12V, 80Ah | 460 |
| Contactores | 24V- 48V | 100 |
| Conectores Andersson | 600V, 300A | 50 |
| Medidor de energía | 48V, medidor Ah y kWh | 300 |
| | TOTAL | 2510 |

En la tabla 5.9 se realizó una comparación de precios entre diferentes sistemas de tracción para botes.

Tabla 5.9 Comparación de precios sistemas de tracción

| Tecnología de Motor fuera de borda | Característica | Precio |
|------------------------------------|----------------------------|---------|
| Cuatro tiempos | 65HP, Yamaha | \$ 8000 |
| Dos tiempos | 65HP, Johnson | \$ 5526 |
| Eléctrico (Costa Rica) | 48V, 6HP, baterías de 80Ah | \$ 2510 |
| Eléctrico (EEUU) | 48V, 4HP, sin baterías | \$ 4400 |

5.2.5 Reciclaje de baterías

Una vez demostrada la viabilidad económica de utilizar motores fuera de borda eléctricos, es importante aclarar lo relativo a la deposición de las baterías de ácido y plomo en el país.

De acuerdo con la investigación realizada, en Costa Rica no existe ninguna planta para el tratamiento y reciclaje de los desechos de las baterías de uso automotriz e industrial.

Sin embargo diferentes empresas comercializadoras se encargan de recolectar aproximadamente 84 toneladas mensuales de desechos de baterías para reciclaje, las cuales son exportadas en su gran mayoría a una planta en El Salvador.

Adicionalmente desde hace un año, la empresa AISA exporta 21 toneladas mensuales a la planta de reciclaje Fundición del Centro del Grupo Duncan ubicada en el estado de Miranda en Venezuela. En ambos lugares el nivel de reutilización alcanza el 88%.

Un aspecto fundamental del proceso de reciclaje de baterías, y que garantiza bajos niveles de contaminación en el medio ambiente, obedece a que las empresas que exportan los desechos reciben buenos dividendos por ello y por lo tanto seguirán activas.

A continuación se describe en forma general el proceso de reciclaje:

- El ácido es separado del agua, se retiran los residuos producido por las placas
- El ácido es tratado y reutilizado.
- El plomo empleado en las placas, uniones y bornes de plomo son reciclados para ser reutilizados en baterías y otros artículos.
- El plástico de las cajas y tapas es molido y reutilizado en baterías y otros artículos.
- El 10% que no se recicla está compuesta por los separadores (empleados para separar las placas de plomo) y los residuos del ácido.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De acuerdo al diseño desarrollado, los motores fuera de borda eléctricos presentan grandes ventajas en comparación a los motores de combustión interna, por ejemplo:

- Bajos costos por consumo de energía electricidad.
- Bajo mantenimiento.
- Contaminación local nula.
- Buen desempeño a baja velocidad.
- Recambio de baterías rápidos.
- Inversión inicial relativamente baja.
- Es propulsado por energía generada en el país.
- Posibilidad de crear una industria en el país.
- En el país existe suficiente capacidad para brindar mantenimiento técnico a sistemas de propulsión eléctrica.
- Se puede aumentar limitadamente la cantidad de baterías de tracción eléctrica en la lancha, y aumentar el rango de acuerdo a diferentes necesidades.
- El sistema de propulsión eléctrica presentó algunos inconvenientes en relación motores de dos y cuatro tiempos de gasolina.

- Actualmente existe poca posibilidad de conseguir repuestos y baterías de tracción eléctrica en el país..
- En forma general, es difícil lograr la potencia, autonomía y versatilidad de los motores tradicionales.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda la utilización de motores Brushless o trifásicos para el diseño de motores fuera de borda eléctricos más eficientes, ya que requieren menor mantenimiento, permiten ser enfriados más fácilmente, sin embargo requieren una mayor inversión para el motor y el controlador electrónico.

Durante la investigación se determinó que la mayoría de las lanchas en el país presentan una alta ineficiencia energética en sus cascos, por lo que se pierde gran cantidad de energía aumentando enormemente los costos de combustible y requiriendo motores mucho más grandes. Por esto se recomienda desarrollar e implementar nuevos diseños eficientes de lanchas y botes para ser utilizados con sistemas eléctricos.

La mayoría de las lanchas presentan una gran superficie en el techo que puede ser utilizada para colocar paneles solares para propulsar y recargar las baterías, sin embargo deben ser muy livianas y duros, para soportar golpes debido a las ramas de los árboles en las orillas de los ríos. Sin embargo los costos y la seguridad en el país lo prohíben.

De acuerdo al sistema que se requiera implementar, se puede utilizar una pequeña y liviana planta de generación eléctrica para recargar las baterías, y lograr extender la autonomía del sistema de bajo voltaje y alta corriente para tener menos problemas con la seguridad por electrocutamiento.

Para futuros proyectos se podrían diseñar y construir sistemas electrónicos en el país, por ejemplo los controladores, cargadores de baterías, medidores de energía, etc. Para próximas investigaciones se recomienda la utilización de otras configuraciones de propulsión, como por ejemplo: motores eléctricos dentro de borda, y también módulos motor-controlador fuera de borda con transmisión directa, para ser sumergido en el agua.

Existe la posibilidad continuar la investigación de sistemas de propulsión eléctrica, mediante el apoyo de más instituciones públicas y privadas en Costa Rica.

CAPÍTULO 7

BIBLIOGRAFÍA

1. " Tarifas de energía eléctrica "

www.cnfl.co.cr

2. " Diseño de botes eléctricos "

www.qis.net/~jmgraham/boatspd.htm

3. " Fabricante de motores fuera de borda eléctricos "

www.electriclaunch.com/tech_rt.html

4. " Fabricante de botes eléctricos "

www.duffyboats.com

5. " Fabricante de motores fuera de borda eléctricos "

www.rayeo.com

6. " Fabricante de motores fuera de borda de combustión interna "

www.johnsonoutboards.com

7. " Asociación de Americana de Botes Eléctricos "

www.electricboat.com

8. " Fabricante de baterías de ciclo profundo "

www.duncan.com.ve

9. " Fabricante de componentes electrónicos para vehículos eléctricos "

www.curtisinstrum.com

10. " Venta de componentes electrónicos y motores para vehículos eléctricos "

www.wilde-evolutions.com

11. " Fabricante de componentes electrónicos para vehículos eléctricos "

www.daxcontrol.com

CAPÍTULO 8

ANEXO 1

8.1 Resultados de las pruebas realizadas

Tabla 8.1 Comparación de recargas de baterías

| ITEM | Recarga #1 | Recarga #2 | Recarga #3 | Recarga #4 | Recarga #5 |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Cantidad de baterías | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Voltaje total DC (V) | 48 | 48 | 36 | 48 | 48 |
| Corriente de carga máxima (A) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Tiempo de carga (h) | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Consumo de energía (KWh) | 4.40 | 4.20 | 3.5 | 4.4 | 4.40 |

Tabla 8.2 Comparación de potencia eléctrica del sistema de tracción

| Consumo de energía | En marcha | En neutro |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| Con el sistema original (KW) | 1.292 | 1.102 |
| Con el sistema modificado (KW) | 1.068 | 0995 |
| Eficiencia (%) | 17.33 | 8.81 |

Las pruebas fueron realizadas con el controlador sistema de 48V

Tabla 8.3 Características generales del sistema mejorado

| Característica | Rio arriba | Rio abajo |
|-------------------|------------|-----------|
| Imínima | 17A | 10A |
| Imáxima | 57A | 56A |
| Inominal | 52A | 51 |
| Iprom | 30A | 25 |
| Veloc máxima | 6,5km/h | 11,8km/h |
| Vel nominal | 6,1km/h | 10,7 km/h |
| Velocidad del rio | 3,5km/h | 3.4 km/h |

Tiempo máximo de uso con carga máxima 1 hora, el recorrido total fue de 7km con el sistema de 48V

Tabla 8.4 Comparación de consumo de combustible de un motor de 2 tiempos

| Característica | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 |
|------------------------|-------------|----------|-------------|
| Tiempo de recorrido | 63 min | 57 min | 64 in |
| Distancia recorrida | 7.02 km | 6.8 km | 7.2 |
| Consumo de combustible | 18.4 litros | 18.1 | 23.5 litros |

En promedio de requiere 20 litros de combustible en el motor de dos tiempos para realizar el recorrido del motor fuera de borda diseñado.

Tabla 8.5 Consumo de combustible de un motor de 4 tiempos

| Característica | Prueba 1 | Prueba 2 | Prueba 3 |
|------------------------|------------|----------|----------|
| Tiempo de recorrido | 65 min | 67 min | 57 min |
| Distancia recorrida | 7.1 km | 7.3 km | 7.1 |
| Consumo de combustible | 8.9 litros | 9.7 | 9.5 |

En promedio de requiere 10 litros de combustible en el motor de cuatro tiempos para realizar el recorrido del motor fuera de borda diseñado.

ANEXO 2

8.2 Características técnicas del equipo empleado

Tabla 8.6 Especificaciones del controlador Curtís

| ITEM | Característica |
|-----------------------------|------------------|
| Modelo | 1204-1 |
| Entrada de voltaje nominal | 24-36V |
| Corriente de funcionamiento | Menos de 20mA |
| Entrada de potenciómetro | 5K Ω |
| Peso | 1.8 kg |
| Dimensiones | 146mmx170mmx70mm |
| Corriente máxima (2min) | 175A |
| Corriente máxima (5min) | 100A |
| Corriente máxima (1hora) | 75A |
| Consumo de voltaje @100A | 0.50 |
| Voltaje mínimo | 16V |
| Semiconductores empleados | MOSFETS |

Tabla 8.7 Especificaciones del controlador Dax industries

| ITEM | Característica |
|----------------------------|------------------|
| Modelo | FL3B Drive |
| Entrada de voltaje nominal | 24-48V |
| | |
| Entrada de potenciómetro | 10 K Ω |
| Peso | 1.82 kg |
| Dimensiones | 203mmx134mmx86mm |
| Corriente máxima (2min) | 400A |
| Protección térmica | 87-95C |
| Semiconductores empleados | MOSFETS |

La figura 8.1 muestra el diagrama de conexión del sistema de potencia del controlador FL3.

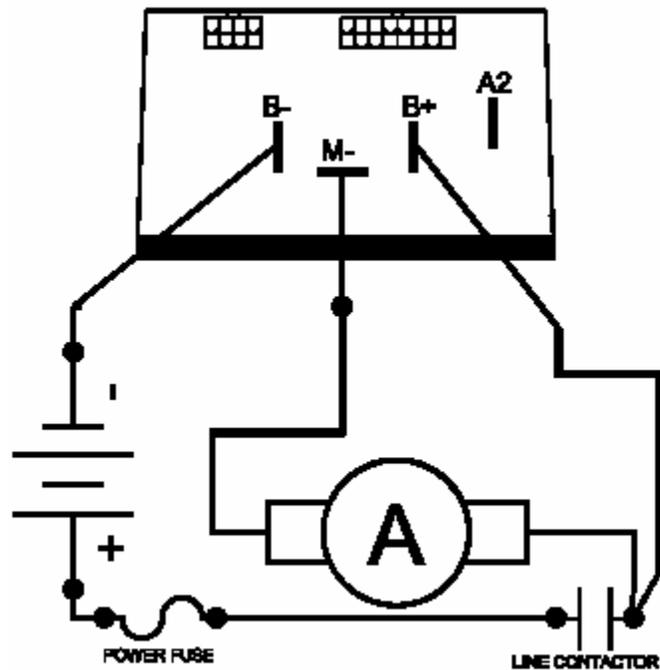


Figura 8.1 Diagrama de conexión del sistema del controlador FL3

Tabla 8.8 Especificaciones de las baterías Duncan

| ITEM | Característica |
|----------------------------|----------------|
| Modelo | SP90-12 |
| Voltaje nominal | 12V |
| Capacidad de energía | 80Ah |
| Nivel de descarga | 70% |
| Ciclos de carga y descarga | 600 |
| Tecnología | AGM |
| Peso | 35Kg |
| Cantidad utilizada | 4 unidades |

Tabla 8.9 Especificaciones del motor eléctrico

| ITEM | Característica |
|-------------------|----------------|
| Modelo | EV |
| Tipo de motor | DC Paralelo |
| Rotor | Bobinado |
| Potencia nominal | 5HP |
| Velocidad nominal | 2200 RPM |
| Voltaje nominal | 36V |
| Corriente nominal | 175A |
| Número de polos | 4 |
| Eficiencia | 70% |
| Peso | 30Kg |

Tabla 8.10 Especificaciones del E-Meter

| ITEM | Característica |
|--------------------|----------------|
| Modelo | E-Meter |
| Rango de Voltaje | 12-24V |
| Rango de corriente | 0-500A |
| Alimentación | 9.5-40V |
| Shunt requerido | 50-150mA |
| Peso | 227g |
| Diámetro | 50mm |
| Largo | 80mm |

Tabla 8.11 Especificaciones del GPS

| ITEM | Característica |
|---------------------|---|
| Modelo | Etrex |
| Alimentación | 3V |
| Tipo de baterías | AA |
| Número de canales | 12 |
| Precisión | 10m |
| Peso | 227g |
| Parámetros que mide | Velocidad, tiempo, distancia, dirección |