



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Adecuación de un tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provista de baterías de Ni MH

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO AUTOMOTRIZ

Nombre del autor:
ANTHONY DAVID LUZURIAGA DELGADO

Nombre del Director:
ING. GUSTAVO ÁLVAREZ COELLO

CUENCA – ECUADOR

2018

DEDICATORIA:

Primero a Dios por brindarme esta oportunidad de culminar una etapa más de mi preparación. A mis padres, Carlos y Graciela, por brindarme siempre su apoyo en todo el transcurso de mi carrera.

Anthony Luzuriaga Delgado

AGRADECIMIENTO:

Se expresan los más sinceros agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana en especial al Ing.

Juan Diego Valladolid, miembro del grupo de Investigación en Ingeniería y Transporte (GIIT), y a los estudiantes: Jonnathan Geovanny Sibri y Jaír Andrés Saavedra, Danly Andrés Cabrera, Mateo Fernando

Domínguez, John Edwin Zhumi; por los conocimientos adquiridos y el préstamo de las baterías recuperadas de Níquel Metal Hidruro (Ni MH); las cuales sirvieron para culminar con éxito la prueba de aceleración máxima del go kart eléctrico.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
INTRODUCCIÓN	VIII
MATERIALES	2
Fuente de energía	2
Motor eléctrico	2
Componentes electrónicos	2
Estructura del go kart	2
METODOLOGÍA	3
Adecuación de las baterías	3
Diseño y construcción de piezas	3
Selección de la transmisión.....	3
Eslabones de la cadena de transmisión	3
Longitud de cadena	4
Instalación eléctrica.....	4
Método de análisis	5
Obtención de datos.....	5
RESULTADOS	5
CONCLUSIONES	5
AGRADECIMIENTOS	5
REFERENCIAS	6

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Gráfica de densidad de energía por masa y volumen	2
Fig. 2 Datos técnicos motor LEM 200-127 48V	2

Fig. 3 Disposición de los elementos (a) y ensamble final (b)..... 3

Fig. 4 Catalina y porta catalina 3

Fig. 5 Análisis estático de la placa del motor 3

Fig. 6 Distancia entre centros 4

Fig. 7 Circuito de conexión controlador SR 48400 4

Fig. 8 Resultados de capacidad de aceleración..... 5

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I. COMPONENTES ELÉCTRONICOS..... 2

TABLA II. CALIBRE DEL CABLE AWG 4

ADECUACIÓN DE UN TREN MOTRIZ DE UN GO KART DE COMBUSTIÓN INTERNA A UNA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA PROVISTA DE BATERÍAS DE Ni MH

RESUMEN

El transporte privado genera un impacto negativo en el ámbito de salud, medio ambiente y economía. Considerando que más del 90% del sector del transporte mundial depende del petróleo. Este estudio modifica el tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provisto de baterías de Ni MH; con el fin de adecuar las baterías necesarias para mover el motor eléctrico e instalar las baterías y dicho motor en el go kart. La metodología de evaluación se realiza en base a la norma SAE J1491:2006, para obtener la capacidad de aceleración; los resultados muestran una capacidad de aceleración de 0 a 50 Km/h en 4.36 ± 0.06 s.

Palabras Clave— Vehículos eléctricos, consumo de energía, batería Ni MH, tren motriz.



Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.

Director de Escuela



Ing. Gustavo Álvarez Coello

Director del trabajo de titulación



Anthony David Luzuriaga Delgado

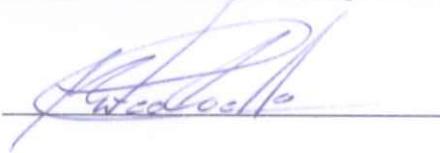
Autor

ADAPTATION OF AN INTERNAL COMBUSTION GO KART POWERTRAIN TO ELECTRIC PROPULSION POWERED BY Ni-HM BATTERIES

ABSTRACT

Considering that more than 90% of the world's transportation depends on oil, private transport generates negative impacts in the areas of health, environment and economy. This study modified the powertrain of an internal combustion go kart to electric propulsion provided with Ni-MH batteries in order to adapt the necessary batteries to move the electric motor and install both of them in the go kart. The evaluation methodology was carried out based on the SAE J1491: 2006 standard to obtain the acceleration capacity. The results showed an acceleration capacity from 0 to 50 km/h in 4.36 ± 0.06 s.

Keywords— Electric vehicles, power consumption, Ni MH battery, powertrain.



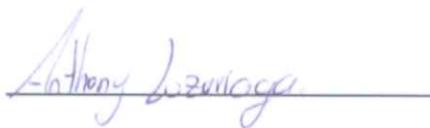
Ing. Mateo Coello Salcedo, MSc.

Faculty Director



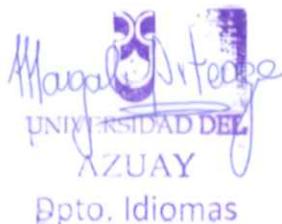
Ing. Gustavo Álvarez Coello

Thesis Director



Anthony David Luzuriaga Delgado

Author



Translated by
Ing. Paul Arpi

Trabajo de titulación.

Anthony David Luzuriaga Delgado

Septiembre, 2018

**ADECUACIÓN DE UN TREN MOTRIZ DE UN GO KART DE COMBUSTIÓN
INTERNA A UNA DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA PROVISTA DE BATERÍAS DE
Ni MH**

INTRODUCCIÓN

El transporte privado genera un impacto negativo en el ámbito de salud, medio ambiente y economía. Considerando que más del 90% del sector del transporte mundial depende del petróleo. Este estudio modifica el tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provisto de baterías de Ni MH; con el fin de adecuar las baterías necesarias para mover el motor eléctrico e instalar las baterías y dicho motor en el go kart. La metodología de evaluación se realiza en base a la norma SAE J1491:2006, para obtener la capacidad de aceleración; los resultados muestran una capacidad de aceleración de 0 a 50 Km/h en 4.36 ± 0.06 s.

Adecuación de un tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provista de baterías de Ni MH

Anthony David Luzuriaga Delgado
Facultad de Ciencia y Tecnología
Ingeniería en Mecánica Automotriz
Universidad del Azuay
anthony_luzuriaga@hotmail.com

Resumen— El transporte privado genera un impacto negativo en el ámbito de salud, medio ambiente y economía, considerando que más del 90% del sector del transporte mundial depende del petróleo. Este estudio modifica el tren motriz de un go kart de combustión interna a una de propulsión eléctrica provisto de baterías de Ni MH; con el fin de adecuar las baterías necesarias para mover el motor eléctrico e instalar las baterías y dicho motor en el go kart. La metodología de evaluación se realiza en base a la norma SAE J1491:2006, para obtener la capacidad de aceleración. Los resultados muestran una capacidad de aceleración de 0 a 50 Km/h en 4.36 ± 0.06 s.

Palabras Claves— Vehículos eléctricos, consumo de energía, batería Ni MH, tren motriz.

Abstract— Private transport generated a negative impact in the fields of health, environment and economy, since more than 90% of the world's transport sector depended on oil. This study modified the powertrain of an internal combustion go kart for electric propulsion provided by Ni MH batteries. The aim was to adapt the batteries needed to power the electric motor and install both in the go kart. The evaluation methodology was based on the SAE J1491: 2006 standard to obtain the acceleration capacity. The results showed an acceleration capacity of 0 to 50 km / h in 4.36 ± 0.06 s.

Keywords— Electric vehicle, energy consumption, Ni MH battery, powertrain.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, todas las ciudades del mundo sufren el impacto negativo que produce el transporte con el consumo de combustible, reflejando así el incremento de las emisiones contaminantes. Es por esto, que La Sociedad Española de Salud Pública (SESPAS), y las diferentes instituciones internacionales como la Unión Europea (UE) y la Organización Mundial de la Salud (OMS), están desarrollando estudios que muestran el impacto

negativo del transporte privado en ámbitos de salud, medio ambiente, economía, etc. [1].

Considerando que más del 90% del sector del transporte mundial depende del petróleo [2]. Tal es el caso, que en el Ecuador, el 84% de su consumo energético total está destinado para el transporte [3]. Por esta razón, actualmente existen nuevas propuestas de movilidad; entre ellas la propulsión eléctrica, la cual cuenta con uno o más motores, y diferentes dispositivos de almacenamiento de energía [4].

Por ejemplo, en España se emplean go karts con propulsión eléctrica de manera recreativa. Tal es el caso, de Electric Karting Salou - Tarragona, que emplea baterías de Litio en sus vehículos con una autonomía de 8 a 60 min [5]. También, está el XtremeKart - Mallorca, que usa baterías de LIPO, la cual provee una autonomía aproximada de 6 a 45 min [6].

La iniciativa de este trabajo, nace por medio de la Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para la Investigación y Postgrados (REDU); en donde, se fomenta la investigación de nuevos sistemas de propulsión alternativos, que contribuyan a la disminución del consumo de combustibles fósiles y de las emisiones contaminantes producidas por el parque automotor ecuatoriano.

La tecnología de propulsión eléctrica en vehículos, emplea baterías para almacenar energía con diferentes configuraciones; estas tienen una variación en su costo dependiendo de la densidad de energía que puedan almacenar. Las baterías con mayor densidad energética son las más costosas, tal es el caso de las baterías de litio [7].

Los vehículos de competencia de propulsión MEP están reglamentados por la Comisión

Internacional de Karting (CIK), en distintos términos: dimensión del chasis, equipamiento de seguridad, tipo de combustible, etc. [8]. En cambio, los vehículos de competencia de propulsión eléctrica están regidos por la Formula E, en la que analiza la estructura de la suspensión, seguridad y supervivencia de las celdas, telemetría, composición de la estructura, control electrónico, entre otros [9]. Estas dos competiciones son reguladas por la Federación Internacional del Automóvil (FIA). En cambio, la Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE), desarrolla estándares para todo tipo de vehículos. En específico para coches existen estándares que permiten evaluar el desempeño. Por ejemplo: la maniobrabilidad (J266:1996), la capacidad de frenado (J299:2009), la capacidad de aceleración (J1491:2006), etc.

Este trabajo configura el tren motriz de un go kart convencional (MEP) a eléctrico con baterías de níquel metal hidruro (Ni MH), como una aplicación de movilidad eléctrica alternativa. La evaluación del nuevo tren motriz se realiza en torno a la norma SAE J1491:2006 – Capacidad de aceleración, definida como el tiempo que tarda un vehículo en alcanzar una velocidad específica partiendo del reposo.

II. MATERIALES

A. Fuente de energía

Las baterías de Ni MH son muy útiles como fuente eléctrica portátil, debido a su densidad de energía alta en comparación con las otras baterías [10]. Se puede observar en la Fig. 1 que mientras mayor sea la densidad de energía, mayor cantidad de energía se podrá almacenar; al tener estas condiciones aumenta también el peso y espacio físico de la batería.

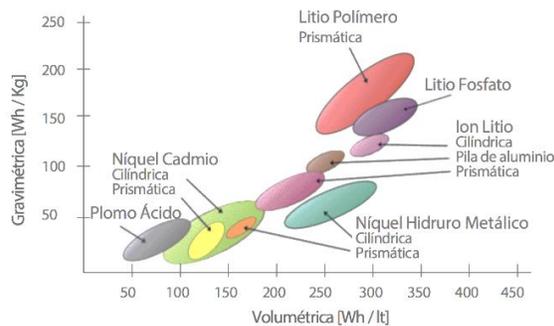


Fig. 1 Gráfica de densidad de energía por masa y volumen [11]

B. Motor eléctrico

El motor eléctrico utilizado para la propulsión del go kart, es el LEM 200-127 de 48 V de tipo escobilla, con un peso de 11 kg, una velocidad

máxima de 3098 rpm, un torque máximo de 31 Nm y una potencia máxima de 8.11 kW (10.88 HP); como se observa en la Fig. 2.

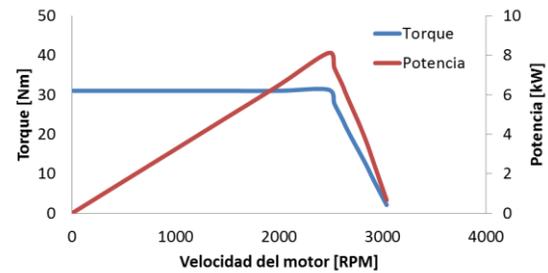


Fig. 2 Datos técnicos motor LEM 200-127 48V [12]

C. Componentes electrónicos

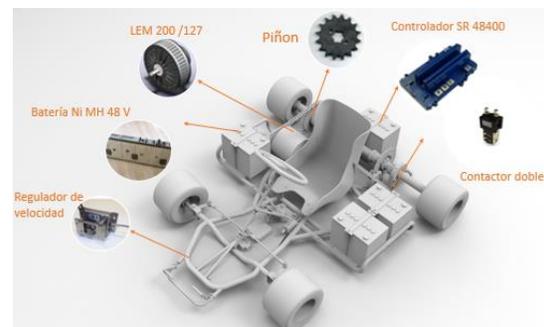
Los componentes para la implementación del sistema eléctrico en la propulsión del go kart, se muestran en la TABLA I.

TABLA I. COMPONENTES ELÉCTRICOS

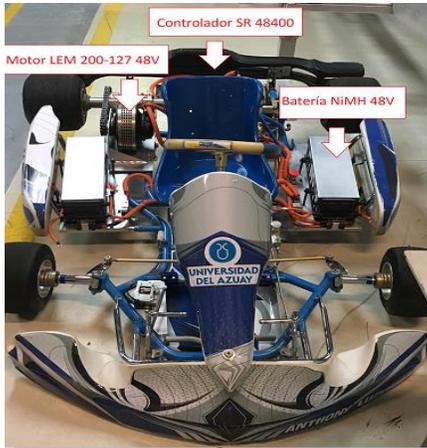
Componente	Especificaciones
Controlador SR48400	48 V a 400 A
Contactador doble	48 V a 200 A
Fusible DC	450 A
Regulador de velocidad	0-5 kΩ

D. Estructura del go kart

En esta estructura se realizaron modificaciones, tales como: la adecuación de las baterías en los laterales debidamente aislados, y la instalación de una placa de sujeción para el motor eléctrico. Estas fueron diseñadas para no comprometer la seguridad del piloto y permitir la instalación de los nuevos componentes en el chasis; como se observa en la Fig. 3.



(a)



(b)

Fig. 3 Disposición de los elementos (a) y ensamble final (b)

III. METODOLOGÍA

La metodología propuesta consiste en adecuar las baterías necesarias, diseñar y analizar la placa de sujeción del motor, realizar las instalaciones eléctricas y la prueba de aceleración máxima.

A. Adecuación de las baterías

Se utilizaron baterías de Ni MH recicladas en el mejor estado posible, éstas fueron sometidas a pruebas de carga y descarga; donde se determinarán cuáles son las celdas que mantienen el voltaje necesario para ser consideradas en buen estado, y posteriormente ser sustituidas con el fin de generar un paquete completo que será de utilidad para proporcionar energía al motor eléctrico.

Debido a que es necesario tener un voltaje constante y una corriente alta, se considera que las baterías deben ser conectadas en paralelo, con el fin de que su voltaje se mantenga y su corriente aumente para el correcto funcionamiento del mismo.

B. Diseño y construcción de piezas

Consecutivamente, se realiza la construcción de un porta catalina y soporte del motor. Para ello se utiliza la transmisión de una motocicleta que cumple con los requerimientos necesarios de la relación de transmisión. Realizando así, la construcción con los diámetros precisos y en un material de aluminio, que permita usarse de fusible en caso de generarse altos torques, permitiendo que este se rompa y no provoque daños al eje posterior del go kart; se puede evidenciar en la Fig. 4



Fig. 4 Catalina y porta catalina

Por otra parte, se realiza el análisis estático del soporte del motor mediante el software Ansys, estableciendo que su máxima deformación es de 2.406 milímetros (mm). El programa utilizado permite observar el comportamiento del soporte y las posibles decisiones de optimización. Según los resultados obtenidos, se considera que la construcción del soporte de acero debe ser de 5mm de espesor y cortadas a láser; como se observa en la Fig. 5.

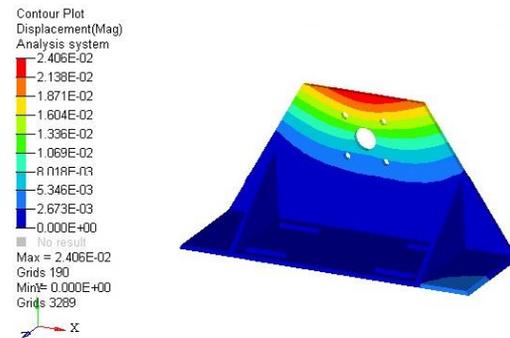


Fig. 5 Análisis estático de la placa del motor

C. Selección de la transmisión

Se necesita identificar la transmisión requerida para propulsar el go kart, por tanto, se selecciona un piñón conductor, una catalina de 36 dientes y un paso de 428mm respectivamente, la cadena de un paso de 428 mm y longitud 128 mm. La selección se realizó por medio de las ecuaciones (1) y (2) de la relación de transmisión, que se calcula según el número de dientes y la longitud de cadena necesaria.

1) Eslabones de la cadena de transmisión

En este punto, se conoce la cantidad de eslabones que lleva la cadena, que va a transmitir el movimiento, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento; para esto, se utiliza la ecuación (1) [13] y los datos proporcionados anteriormente, el resultado entregado es de 77 eslabones.

N = número de eslabones
 C = distancia entre centros
 P = paso de la cadena

$$N = \frac{2c}{p} + \frac{z1+z2}{2} + \left(\frac{z2-z1}{2\pi}\right)^2 * \frac{p}{c} \quad (1)$$

La distancia (C) es obtenida desde el centro del piñón conductor al centro del piñón conducido; como se observa en el Fig. 6.

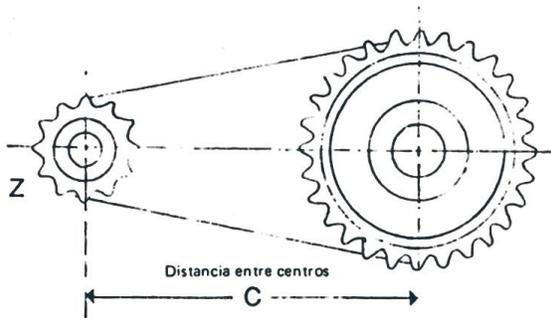


Fig. 6 Distancia entre centros [13]

2) Longitud de la cadena

Con el fin de obtener la longitud de la cadena de transmisión, se relaciona el número de eslabones de la ecuación (1) y el paso de la cadena, que para este caso es de 12.7mm para cadenas con paso 428. Con dichos datos se utiliza la ecuación (2) [13] para la obtención de la longitud de cadena. Obteniendo como resultado final: 97.79 cm.

$$Lp = N * p \quad (2)$$

D. Instalación eléctrica

La parte fundamental de la instalación eléctrica es utilizar la energía almacenada en las baterías de Ni MH, para propulsar el motor eléctrico, para esto se realiza la conexión según el circuito mostrado en el Fig.7

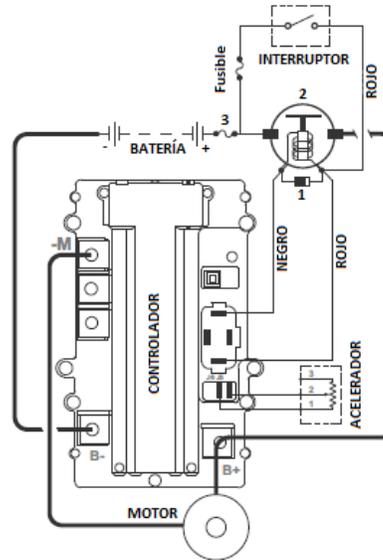


Fig. 7 Circuito de conexión controlador SR 48400

Para la instalación, es necesario conocer el calibre de cable conductor que va desde la batería hacia el controlador y a su vez al motor; para esto, es ineludible conocer datos importantes tales como corriente pico, porcentaje de pérdida y la longitud necesaria. A continuación se muestra en la ecuación (3) [14] a utilizarse para corriente continua (DC) y el cálculo calibre necesario según la “American Wire Gauge” (AWG).

S = calibre del cable
 I = corriente pico = 420 A
 Porcentaje de pérdida en cobre al 1%: 0.48
 L = longitud = 1 m

$$S = \left(2 * (L) * \left(\frac{I}{56 * (\% \text{ pérdida})} \right) \right) \quad (3)$$

TABLA II. CALIBRE DEL CABLE AWG

AWG	mm ²
18	0.75
17	1.0
16	1.5
14	2.5
12	4.0
10	6.0
8	10
6	16
4	25
2	35
1	50
1/0	55
2/0	70
3/0	95

[14]

En efecto, se escoge con seguridad el calibre del cable conductor para todo el circuito según el dato obtenido de la ecuación (3), en este caso es de 31.25 mm² que corresponde al calibre 2 AWG, sin embargo, es necesario realizar un sobre dimensionamiento por cuestiones de seguridad de los componentes y cable; por lo tanto, se designa para la instalación un calibre 1 AWG para garantizar el correcto funcionamiento.

E. Método de análisis

Para ejecutar la prueba de capacidad de aceleración, se utiliza como base dentro de la metodología la norma SAE J1491:2006, para la obtención de dicha prueba, que consta específicamente en calcular el tiempo que tarda el vehículo en partir desde el reposo hasta una velocidad final en repetidas ocasiones.

F. Obtención de datos

Para la obtención de datos según las necesidades de pista y velocidad del go kart eléctrico, se realizó en una pista existente en la ciudad de Cuenca – Ecuador, que cumpla con las condiciones ideales para realizar la prueba; también, se instrumentó de un Sistema de Posición Global (GPS), que entregó datos instantáneos de velocidad inicial, velocidad final y tiempo para el cálculo de la capacidad de aceleración.

IV. RESULTADOS

Los resultados de las pruebas de ida y regreso, se realizaron en una pista plana y de asfalto, la misma que tiene una distancia total de 40 m y se alcanzó una velocidad de 50.05 ± 0.001 Km/h.

Los tiempos totales de recorrido en la prueba variaron según el número de vueltas en las que se realizó el mismo, por lo que con una muestra de 5 recorridos en cada caso se ha analizado los tiempos totales y se ha obtenido un promedio e intervalo de confianza del 95%.

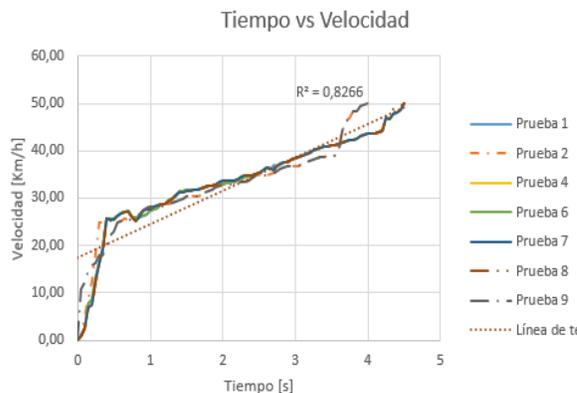


Fig. 8 Resultados de capacidad de aceleración

Se observa en la Fig. 8, que la capacidad de aceleración alcanzada de 0 a 50 Km/h es de 4.36 ± 0.06 s; validando finalmente los resultados de las pruebas por medio de una línea de tendencia con R²= 0.8266, lo que significa que existe una fuerte relación entre el tiempo y la velocidad, esta línea de tendencia permite predecir valores futuros con un alto grado de certeza.

V. CONCLUSIONES

En este documento se propone la aplicación de un sistema alternativo de movilidad y que contribuya a la disminución de las emisiones contaminantes, utilizándose un go kart para dicha aplicación. Inicialmente, se analizó a las baterías que permitirían propulsar al go kart eléctrico, sin embargo, en el transcurso de las pruebas se observó que el comportamiento de las baterías de Ni MH provocaba una disminución considerable de su voltaje y corriente en un tiempo menor a los 6 minutos, pero esto se pudo contrarrestar utilizando otras celdas de la misma química, permitiendo culminar las pruebas planteadas. También, es visible la necesidad de trabajar con un controlador de baterías o un BMS, que ayudaría a sincronizar cada una de las celdas y obtener mejores resultados de funcionamiento para dicha aplicación.

En la instalación de las baterías y el motor eléctrico, se adicionaron materiales para la sujeción de cada uno de los elementos, teniendo en cuenta que la masa de cada uno de los materiales utilizados, influye en la suma del peso total de go kart; por tanto, el resultado final de la masa en vacío es de 90 Kg, sumado a esto la masa del piloto: 70 Kg; obteniendo una masa total de 160 Kg. Con estos datos, se concluye que es necesario realizar un análisis de disminución de peso en zonas que no se ven afectadas por fuerzas externas; en este caso, el soporte del motor que tiene una masa de 11 Kg, puede ser considerado para el procediendo antes mencionado, por ende mejorar los resultados en el rendimiento del go kart.

Los resultados obtenidos en las pruebas de ida y regreso, revelan una capacidad de aceleración de 0 a 50 Km/h en un tiempo de 4.36 ± 0.06 s. Basándose para la prueba en la norma SAE J1491:2006. Definiendo así, que el go kart eléctrico, cumple con los requerimientos necesarios, sin perder su función de movilizarse al superar las fuerzas que se interponen para su movimiento.

VI. AGRADECIMIENTOS

Se expresan los más sinceros agradecimientos a la Universidad Politécnica Salesiana en especial al Ing. Juan Diego Valladolid, miembro del grupo de Investigación en Ingeniería y Transporte (GIIT), y a los estudiantes: Jonnathan

Geovanny Sibri y Jaír Andrés Saavedra, Danly Andrés Cabrera, Mateo Fernando Domínguez, John Edwin Zhumi; por los conocimientos adquiridos y el préstamo de las baterías recuperadas de Níquel Metal Hidruro (NiMH); las cuales sirvieron para culminar con éxito la prueba de aceleración máxima del go kart eléctrico.

asd, 2014.

- [14] HMsistemas, “Calculadora de sección de HMsistemas,” *19 Octubre*, 2017. [Online]. Available: http://www.hmsistemas.es/shop/catalog/calculadora_seccion.php. [Accessed: 18-Oct-2017].

VII. REFERENCIAS

- [1] F. Ballester and R. Peiró, “Transporte, medio ambiente y salud. Informe SESPAS 2008,” *Gac. Sanit.*, vol. 22, no. Supl 1, pp. 53–64, 2008.
- [2] J. Martínez, F. Montoya, M. Montoya, and F. Manzano, “Electric vehicles in Spain: An overview of charging systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. November, pp. 970–983, 2017.
- [3] Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, “Matriz energética del Ecuador,” pp. 1–32, 2013.
- [4] I. A. Sanz, “Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía europea,” 2015.
- [5] Electric Karting Salou, “- INSTALACIONES,” 2018. [Online]. Available: http://www.electrickartingsalou.com/index.php?arxiu=fitxa_document&id=19040. [Accessed: 31-Jul-2018].
- [6] XtremKart, “Karts Eléctricos,” 2018. [Online]. Available: <http://www.xtrekarmallorca.com/es/karts-eléctricos>. [Accessed: 31-Jul-2018].
- [7] C. A. G. SANTACRUZ, “Análisis Técnico De Los Diferentes Tipos De Baterías Comercialmente Disponibles Para Su Integración En El Proyecto De Una Microrred Aislada,” 2015.
- [8] Federacion Internacional del Automóvil, “Technical regulations,” 2015.
- [9] F. S. Technical Department, “FIA Formula E Championship Technical Regulations Règlement Technique du Championnat de Formule E de la FIA,” pp. 1–56, 2017.
- [10] L. Ouyang, J. Huang, H. Wang, J. Liu, and M. Zhu, “Progress of hydrogen storage alloys for Ni-MH rechargeable power batteries in electric vehicles: A review,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 200, pp. 164–178, 2017.
- [11] E. Sepúlveda, “Baterías: la siguiente revolución de la energía | Phineal,” *Phineal*, 2017. [Online]. Available: <http://phineal.com/es/baterias-la-siguiente-revolucion-de-la-energia/>. [Accessed: 18-Jul-2018].
- [12] Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Automotriz ERGON, “Capacidad de aceleración,” 2015.
- [13] A. González and C. Cáceres, “Diseño e implementación de un sistema de recuperación de energía cinética del freno en un Go kart,” vol. m