

Diseño y construcción de un Pack de Baterías de Litio para una Motocicleta Eléctrica con
un Motor de 5KW

Nota de Autor

Felipe Rodrigo Solís Cascante, Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Internacional SEK; Director Ingeniero Gustavo Moreno.

Cualquier correspondencia referente a este trabajo puede dirigirse a:
soliscascante@gmail.com

Declaración Juramentada

Yo, FELIPE RODRIGO SOLIS CASCANTE con número de cédula de identidad 171535218-1, declaro bajo juramento que el trabajo desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional, y que todo lo que se ha consultado tiene sus referencias bibliográficas respectivas que incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

FELIPE RODRIGO SOLIS CASCANTE

C.I.: 171535218-1

Contenido

Declaración Juramentada	2
Contenido	3
Índice de figuras	4
Índice de tablas	5
Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Comparación de vehículos eléctricos versus vehículos de Combustión interna.	9
Partes de un vehículo eléctrico	11
Tipos de baterías	12
Estructura de la batería de (li-ion) litio 18650	18
Método	21
Diseño electrónico	21
Diseño mecánico	23
Materiales	23
Kit de baterías	23
Cargador para paquete de baterías	23
Conector	24
Baterías 18650	24
Caja de batería portátil con salidas para cables.	25
Resortes para terminales	25
Construcción	26
Baterías de computadoras portátiles.	26
Proceso de selección de las celdas y su respectiva verificación de buen estado.	27
Pasos para la selección de celdas.-	27
Ubicación de la batería.	35
Experimento 1	36
Experimento 2	36
Resultados	38
Experimento 1	38
Experimento 2	38
Discusión	43
Recomendaciones	45

Conclusiones	44
Referencias	47

Índice de figuras

<i>Figure 1.</i> Variación de tamaños y diseños de baterías de ion-litio.....	15
<i>Figure 2.</i> Estructura comparativa de las baterías.....	16
<i>Figure 3.</i> Composición interna y externa de celda de litio 18650.....	19
<i>Figure 4.</i> Diagrama eléctrico del paquete de batería.....	22
<i>Figure 5.</i> Kit para la construcción de pack de baterías.....	23
<i>Figure 6.</i> Cargador de paquete de baterías de litio.....	23
<i>Figure 7.</i> Conector hembra.....	24
<i>Figure 8.</i> Celdas de ion-litio reutilizadas 18650.....	24
<i>Figure 9.</i> Caja de baterías de plástico.....	25
<i>Figure 10.</i> Resortes para mejorar conectividad entre celdas y terminales.....	25
<i>Figure 11.</i> Batería reciclada de computadora laptop.....	26
<i>Figure 12.</i> Batería reciclada de laptop.....	26
<i>Figure 13.</i> Batería reciclada de laptop abierta para la extracción de las celdas.....	27
<i>Figure 14.</i> Diagrama eléctrico quinto paso.....	28
<i>Figure 15.</i> Materiales para el desarrollo de pack de batería.....	29
<i>Figure 16.</i> Paquete de 13 celdas conectadas en serie.....	30
<i>Figure 17.</i> Instalación de resortes en la plancha inferior de zócalos.....	30
<i>Figure 18.</i> Instalación de celdas en plancha inferior.....	30
<i>Figure 19.</i> Instalación de resortes sobre terminales de las celdas.....	31
<i>Figure 20.</i> Instalación de plancha superior.....	31
<i>Figure 21.</i> Unión de terminales para conexiones en serie y paralelo.....	32
<i>Figure 22.</i> Cables de salida de la batería.....	33
<i>Figure 23.</i> Carga de las 16 celdas en dos pisos.....	33
<i>Figure 24.</i> Valor de carga completa del pack de baterías.....	34
<i>Figure 25.</i> Caja de plástico con pack de baterías.....	34
<i>Figure 26.</i> Ubicación de la caja en la motocicleta.....	35
<i>Figure 27.</i> Caja con batería y sus componentes.....	35
<i>Figure 28.</i> Motocicleta en dinamómetro.....	36
<i>Figure 29.</i> Curva de potencia en el tiempo.....	39
<i>Figure 30.</i> Curva de voltaje en el tiempo.....	40
<i>Figure 31.</i> Curva de corriente DC en el tiempo.....	40
<i>Figure 32.</i> Curva de corriente AC en el tiempo.....	41
<i>Figure 33.</i> Curva de temperatura del motor.....	41
<i>Figure 34.</i> Curva de temperatura de la batería.....	42
<i>Figure 35.</i> Curva de temperatura del controlador.....	42

Índice de tablas

Tabla 1.....	10
Tabla 2.....	17
Tabla 3.....	17
Tabla 4.....	38
Tabla 5.....	38

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo principal evaluar el comportamiento de un paquete de baterías de litio construido a partir de 18650 de 3.7 voltios mediante pruebas de laboratorio y en el dinamómetro para la búsqueda de nuevas alternativas energéticas.

El paquete de baterías se diseñó partiendo de las necesidades de alimentación para un motor de 5 KW con su respectivo controlador tomando en cuenta sus prestaciones y capacidades máximas. Estableciéndose como base un paquete de 48 voltios y una capacidad nominal de corriente de 96 amperios. Para evaluar el desempeño se realizaron dos experimentos, el primero en dinamómetro obteniendo sus capacidades máximas bajo carga de trabajo; y el segundo, en laboratorio para obtener resultados de: tiempos de carga y descarga, temperatura de componentes, voltaje, corriente y potencias.

Dentro de los resultados obtenidos en los experimentos se podrá observar la corriente AC y DC obtenida en las diferentes pruebas, además de su potencia máxima alcanzada con esta batería a pesar de que existen mejoras en cuanto a diseño estructural y mecanismos que necesitan ser realizadas.

Abstract

The main objective of this project is to evaluate the behavior of a lithium battery pack built from 18650 of 3.7 volts by laboratory tests and in the dynamometer for the search of new energy alternatives.

The battery pack was designed for the power requirements for a 5 KW motor with its respective controller taking into account its performance and maximum capacities. A 48-volt pack and a current rating of 96 amps are established as a base. To evaluate the performance, two experiments were carried out, the first on the dynamometer obtaining its maximum capacities under load; and the second, in the laboratory to obtain results of: charging and discharging times, temperature of components, voltage, current and power.

With the results obtained in the experiments, we can see the AC and DC current at the different tests, in addition to the maximum power reached with this battery, although there are improvements in terms of a structural design and mechanisms that need to be carried out.

Introducción

Durante varias décadas se ha buscado un reemplazo para los motores de combustión interna debido a su alto nivel de contaminación y bajo nivel de eficiencia; por lo cual, producir y almacenar energía se ha convertido en el foco de la investigación a nivel mundial.

Dentro de los distintos contaminantes generados por los motores de combustión interna a nivel mundial, se encuentra el PM 2.5 conocido como partículas finas, estas partículas en suspensión tienen un diámetro de hasta 2.5 micrómetros. Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la normativa de un país es de 15 microgramos por metro cúbico y en la ciudad de Quito el promedio anual está entre los 17 y 20 microgramos por metro cúbico.

Según datos de la Secretaría Metropolitana de Ambiente, entre las principales causas de contaminación de PM 2.5, está el aumento del parque automotor, aunque se registra una disminución de un 33% entre el 2004 al 2008, a partir de dicho año no existe ninguna variación significativa, es por esto que un cambio tecnológico hacia los motores eléctricos es necesario para reducir considerablemente la contaminación (Ana, 2018).

Por otro lado, la Organización Mundial para la Salud, en Ecuador la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, registró niveles más altos de contaminación de PM_{2,5} (33ug/m³). La urbe es el sitio de tránsito entre la Sierra y la Costa, por lo tanto, cientos de camiones, buses y tráiler circulan por la ciudad dejando un rastro de hollín negro que se impregna en las paredes de las casas y de los locales comerciales, provocando un alto nivel de contaminación. (Sorgato, 2016)

Tomando en cuenta los altos índices de contaminación del aire, una alternativa son los automóviles eléctricos ya que estos no tienen emisiones durante su funcionamiento, otra gran ventaja es su desempeño, esto ha llevado a un alto nivel de popularidad en los usua-

rios, ganando así espacio en el mercado ecuatoriano ya que son concebidos como autos “conservadores del planeta” por no emitir CO₂ y permitir un ahorro para el conductor por su bajo consumo de energía por kilómetro recorrido. (Universo, 2017)

Otro factor muy importante en el análisis de contaminación es la emisión de CO₂ que generan los diferentes vehículos durante su funcionamiento, para ello se va a tomar en cuenta la batería de un vehículo eléctrico, ya que está es lo más común en reemplazar durante su funcionamiento, en comparación con las emisiones de un motor de combustión interna durante su tiempo de funcionamiento.

De esta forma, al analizar una de las baterías más grandes de un vehículo eléctrico produce 17.5 toneladas métricas de CO₂ de contaminación durante su construcción, y está tiene una vida útil aproximada de 8.2 años hasta su nuevo reemplazo; mientras que un vehículo de prestaciones similares emite 6.2 toneladas métricas de CO₂ anuales, a esto hay que agregarle 1.1 toneladas de la producción del combustible, dando un total de 7.3 toneladas anuales de contaminación. Por lo tanto, un vehículo con motor de combustión interna genera en 8.2 años un total de 59.86 toneladas métricas de CO₂, es decir contamina 3.42 veces más que un vehículo eléctrico. (Xataka ciencia, 2017).

Comparación de vehículos eléctricos versus vehículos de Combustión interna.

A continuación, se realizará una comparación de funcionamiento de los motores eléctrico y combustión tomando en cuenta una escala de 1-10, siendo 10 la mejor calificación posible.

Tabla 1

Vehículos eléctricos vs. Vehículos de combustión interna

	Vehículo eléctrico	Vehículo de combustión interna
Contaminación	9	5
Recarga y repostaje	3	8
Gasto de energía	9	4
Mantenimiento	9	4
Durabilidad	8	5
Costo	6	9
Ruido	9	3
Total	47	29

Nota.- En la tabla se puede observar claramente según la ponderación que el vehículo eléctrico es superior que un vehículo a combustión interna.

Contaminación. – En este aspecto los motores eléctricos tienen una gran ventaja, ya que dichos motores no generan emisiones a comparación de los innumerables tipos de elementos contaminantes que emiten los motores de combustión interna, elementos como CO₂ o todos los gases de efecto invernadero producidos por la combustión de combustibles fósiles.

Recarga y repostaje. – En esta parte, se debe considerar que los equipos eléctricos deben ser mejorados, para que un día puedan ser más viables como gran alternativa que al de combustión convencional, esto es debido a que frente a los pocos minutos que tarda una herramienta de gasolina en repostar, los eléctricos precisan de varias horas para ser cargados completamente, aunque se debe tomar en cuenta que el costo de recarga de una batería es bastante menor al de un combustible fósil.

Gasto en energía. – Otro de los beneficios de los motores eléctricos, es el ahorro evidente en comparación con el alto costo de un combustible fósil, ya que este tiene un aumento más exponencial que la electricidad.

Ruido. - Este es un punto muy favorable para los motores eléctricos, esto se debe a que no tienen ningún tipo de proceso interno por lo que el ruido disminuye notablemente, al contrario que los motores de combustión interna, que provocan contaminación acústica en zonas urbanas (Grupo CIPSA, 2018).

Partes de un vehículo eléctrico

Existen tres partes principales que se diferencian de los vehículos de combustión, estas son:

El primer elemento es el motor, el cual existe de dos tipos principales, los de corriente alterna y los de corriente directa, siendo los motores AC los más utilizados para el mercado para mayor desempeño, tanto así que Tesla los utiliza, específicamente los de tipo asincrónico.

Sistemas electrónicos, estos sistemas contienen toda la electrónica del vehículo como controladores, acelerador, etc. Una de las principales funciones que transforma la corriente DC de una batería a corriente AC para ser alimentado el motor, además en ciertos casos hacen un retorno de energía hacia la batería, enviada por un freno regenerativo.

La batería, también llamada fuente de energía provee la energía a todos los sistemas y principalmente al motor para poder moverlo, en conjunto con el motor es la dupla más importante dentro de un vehículo eléctrico para que este tenga un correcto funcionamiento.

Al adentrarse en los vehículos eléctricos se reconoce como uno de los principales componentes la batería, su importancia es tal que la autonomía y el precio del vehículo depende del tipo y tamaño de la misma. Este acumulador de energía almacena la electricidad mediante elementos electroquímicos, un proceso con pérdidas mínimas que permite un rendimiento próximo al 90%. (Electromovilidad, 2018)

Estas baterías utilizan las reacciones electro-químicas para producir una corriente eléctrica, esto es debido a que la energía química del material almacenada en la batería se convierte en energía eléctrica a través de una reacción química. Cada batería se compone de tres elementos, un cátodo, un ánodo y un electrolito para separarlas (Baterías de litio, 2014).

Al hablar de una reacción química, se puede decir que es cuando se produce un exceso de electrones en el ánodo. Éstos simplemente no pueden escapar al cátodo debido a que los dos están separados por el electrolito. Cuando la batería está conectada a un circuito, los electrodos se ejecutan a través del circuito desde el ánodo al cátodo y de esta manera la energía se puede extraer de éstos a lo largo del camino. (Baterías de litio, 2014)

Tipos de baterías

Dentro de las baterías para motores eléctricos existen varios tipos que se pueden utilizar, las mismas pueden variar de acuerdo a su composición y disposición, tomando en cuenta la capacidad que necesita cada motor en específico.

Una de las baterías más utilizadas es de plomo ácido, esta es la que tiene más tiempo de existencia y son ideales para arranque, iluminación y soporte eléctrico, pero su principal desventaja es que tiene un elevado peso, además de ser tóxicas por el plomo.

Las baterías de níquel hierro, o también llamadas ferroníquel, fueron otro invento para fuentes de energía, pero no obtuvo buenos resultados ya que estas tienen escasa eficiencia y baja potencia, además de una densidad energética similar a la de plomo ácido por lo cual no existe un progreso.

Una de las baterías que con excelentes resultados fueron las de níquel cadmio, aunque su alto costo para adquirir sus elementos llevaron a que estas pasen a ser utilizadas en aviones, helicópteros y equipos militares, tomando en cuenta que son muy eficientes en

bajas temperaturas, pero estas baterías contaban con un efecto de memoria lo cual en cada carga reducía su capacidad.

Posteriormente se dio un progreso significativo con las baterías níquel hidrurometalico, ya que estas no presentan efecto memoria y tenían mayor capacidad que las de níquel cadmio, aunque su problema fue diferente, estas requieren constante mantenimiento y se deterioran al estar expuestas a altas temperaturas.

Actualmente, la batería de Litio también denominada batería Li-Ion se ha posicionado como una de las tecnologías más usadas. Está compuesta por una pila recargable que contiene dos o más celdas donde se encuentran separados los iones de litio. Dichas baterías al funcionar en modo de descarga provoca que los iones de una y otra celda se combinen químicamente formando el elemento estable, esta combinación se produce de forma exotérmica, es decir, produce energía la cual se aprovecha. Cuando se agota la batería es porque todos los iones están en su estado fundamental y no quedan más para seguir combinándose. (Baterias de litio, 2014)

Las baterías recargables con base de litio se las encuentra en dos composiciones químicas similares: cilíndricas/tubulares de ión de litio (Li-Ion) y planas de polímero de litio (Li-Po). Ambas composiciones producen entre 3.6 y 3.7 voltios.

Una característica importante el momento de seleccionar una batería es la densidad energética que viene a ser la cantidad de energía que se puede obtener por una unidad de volumen o peso dependiendo la aplicación.

Al comparar las baterías de litio con las baterías de níquel, se pueden identificar las siguientes diferencias:

En el caso de las baterías de litio, se identifica que proporcionan más densidad energética que las baterías de níquel, dando lugar a una mayor autonomía de batería en un diseño más ligero (Baterías de litio, 2014).

Las baterías de iones de litio (Li-ion) son recargables haciendo que su uso se incremente en aparatos eléctricos, sustituyendo a su predecesor, la batería de níquel. La razón para que se de este cambio es debido a que el litio posee una mayor densidad energética “los miliamperios hora (mAh) que se puede extraer de una batería de iones de litio es de aproximadamente tres veces la cantidad que se puede extraer de una batería de níquel” (Stephen, 2018).

Las baterías de litio, tienen distintas medidas por lo que se las puede encontrar en la batería de una computadora portátil (laptop), baterías de cigarrillo electrónicos, cámaras de fotografía y video, teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, tablets, linternas, MP4. Ipod,

Las baterías de ion-litio vienen en distintas presentaciones, es decir tienen variedad de formas y tamaños, esto es debido a que son utilizadas para diferentes propósitos. A continuación, en la figura 1 se puede observar la variedad de las mismas.



Figure 1. Variación de tamaños y diseños de baterías de ion-litio. Tomado de: (Baterias de litio, 2014)

Como se había mencionado anteriormente, las baterías se diferencian por su estructura interna, esto se puede observar en la figura 2 mediante un corte en cada una de ellas.

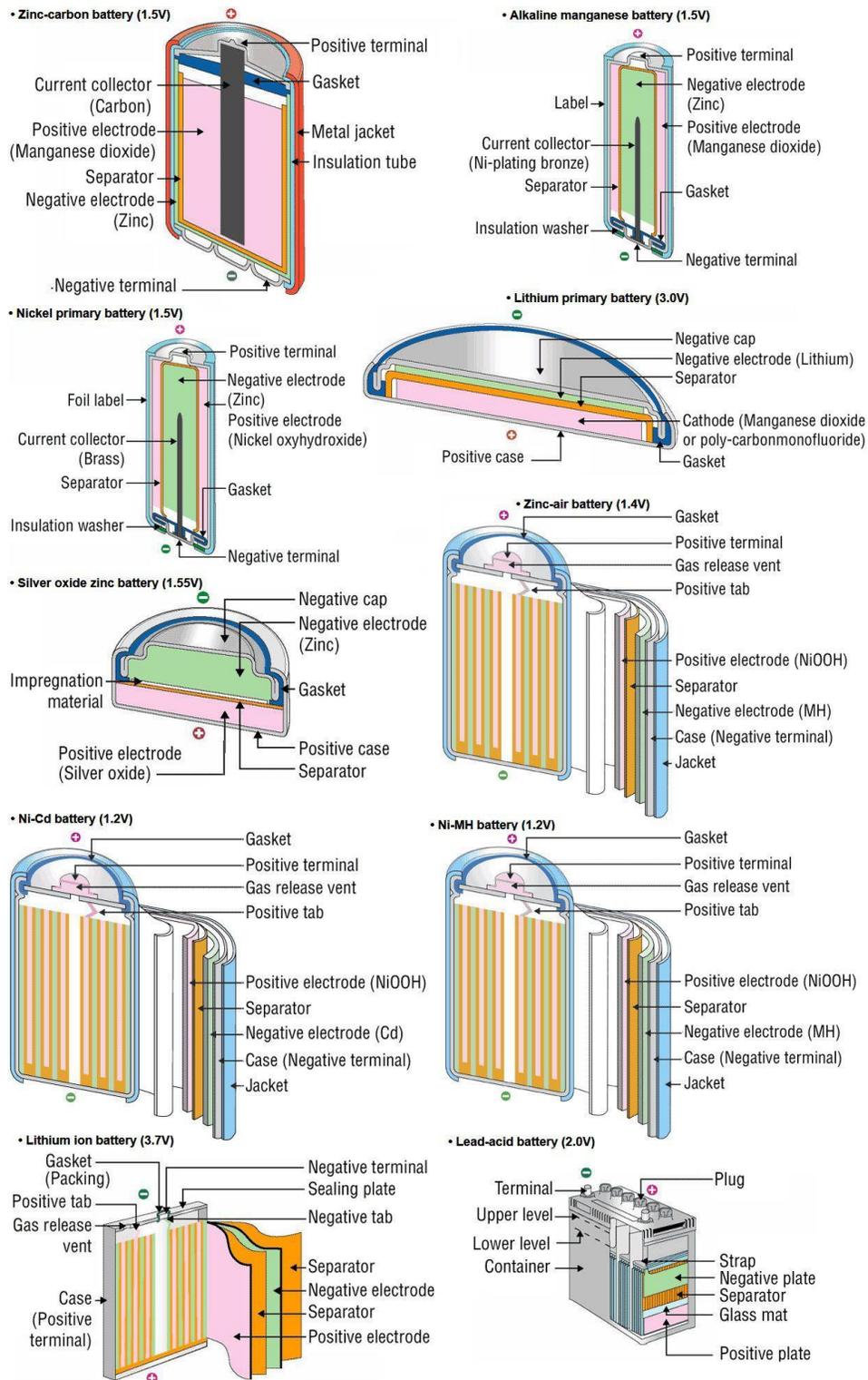


Figure 2. Estructura comparativa de las baterías. Tomado de: (Baterías de litio, 2014).

En la tabla 2 se puede identificar ejemplos de baterías con sus capacidades.

Tabla 2

Capacidad de baterías según su tamaño

Ejemplos de baterías de litio	Capacidad
Baterías pequeñas (2gr.)	Igual o menos a 100Wh
Baterías tamaño medio	>100 Wh a 160 Wh

Nota: Los tamaños de la batería influyen directamente en su capacidad de energía producida, por lo tanto, una batería más grande producirá más energía y en una batería más pequeña su capacidad será menor. Tomado de: (Baterias de Litio, 2014)

Las celdas de litio 18650 son las más comunes en el mercado con varias aplicaciones como en baterías de laptops, también tienen un alto rendimiento energético por lo cual son utilizadas por marcas reconocidas dentro del área automotriz como Tesla que utiliza este tipo de celdas para sus vehículos.

La pila 18650 lleva este nombre debido a las dimensiones de la misma, es decir, los dos primeros números (18) indican su diámetro – 18 mm, mientras que el número 650 indica que su longitud es 65 mm. Es importante recalcar que 65 mm es la longitud neta y la longitud total de la batería con protección asciende a 66.5 mm. (All Spares, 2015).

Tabla 3

Descripción técnica de una batería de ion-litio

Característica	Valor
Voltaje Nominal	3.7 [v]
Impedancia	≤ 70 [m Ω] (con PCB)
Voltaje de descarga (Apagado)	2.75 [V]
Voltaje de Carga	4.2 ± 0.02 [V]
Capacidad Máxima	1600-3450[mA]
Diámetro	18[mm]
Alto	65[mm]
Peso (aprox.)	45.5 [gr.]
Vida Útil (ciclos de carga y descarga)	500-1000

Nota: En esta tabla se puede observar las características principales de una batería de ion-litio en perfecto estado. PCB, circuito de protección electrónico. (Super Linternas, 2011)

No obstante, este tipo de baterías también presentan desventajas una de ellas es su sensibilidad ya que con frecuencia se dañan en el caso de sobrecarga o calentamiento. Para prevenir estos efectos, todos los acumuladores se encuentran equipados mediante un circuito electrónico el cual está diseñado para protegerlos durante el proceso de carga. En las baterías que contienen dicha protección se encuentran etiquetadas con una carátula que dice: "Protected", "With protective PCB", "Protection Circuit", etc. (All Spares, 2015)

Estructura de la batería de (li-ion) litio 18650

En el interior de la batería se encuentra dos electrodos de metal o de material compuesto (a base de carbono, por ejemplo), que se encuentran dentro en un líquido conductor (electrolito). Como se observa en la figura 3.



Figure 3. Composición interna y externa de celda de litio 18650. Tomado de: (Baterías de litio, 2014)

Por otra parte, es importante recalcar que estas baterías no tienen efecto memoria, pero pueden desarrollar dicho efecto. Este se produce cuando se cargan demasiadas veces las baterías estando cargadas por debajo del 10-20%, se debe tomar en cuenta que estas baterías no admiten más de 400-500 ciclos de carga y un ciclo corresponde a una carga más la descarga en el equipo.

Es sustancial identificar que el efecto memoria es un fenómeno que reduce la capacidad de las baterías con cargas incompleta. En este efecto se crean unos cristales en el interior de las baterías causada por una reacción química al calentarse, esto se debe por el mal uso o por las malas cargas (Baterías de Litio, 2014).

De esta forma, al analizar las ventajas de los vehículos eléctricos sobre sus similares a combustión y determinar los componentes de los mismos; se ha propuesto, en el presente proyecto con el objetivo general evaluar el comportamiento de un paquete de baterías de litio construido a partir de baterías 18650 de 3.7 voltios para una motocicleta eléctrica con un motor de 5KW mediante pruebas de laboratorio y dinámicas para la búsqueda de nuevas alternativas energéticas. Se ha seleccionado la opción de celdas de ion de litio 18650 por su costo y fácil adquisición en el mercado, imponiéndose como parte del proyecto el uso de celdas recicladas a partir de computadoras portátiles para obtener un doble impacto ambiental a través del desarrollo de vehículos eléctricos y un segundo uso de las celdas anteriormente mencionadas.

Por lo tanto, para conseguir el presente objetivo se realizan toman en cuenta lo siguientes objetivos:

Investigar estudios relevantes para la selección de las baterías utilizando referencias bibliográficas.

Construir un paquete de baterías de litio utilizando componentes eléctricos para la obtención de las especificaciones requeridas.

Ensamblar el paquete de baterías en una caja plástica para la protección y transporte del este.

Adquirir un cargador de celdas de litio para la implementación en el paquete de baterías.

Experimentar en la motocicleta mediante pruebas de laboratorio y dinámicas para la obtención de datos.

Establecer resultados según los datos obtenidos por los experimentos para la conclusión de sus características.

Método

Para la ejecución del proyecto se utilizará un método experimental, por lo tanto, se construirá un paquete de baterías con prestaciones necesarias para el correcto funcionamiento de una motocicleta eléctrica con un motor Golden Motor modelo HPM5000D. Realizando pruebas eléctricas para evaluar su desempeño.

Diseño electrónico

Se seleccionó las baterías 18650 ion litio debido a su fácil adquisición en el mercado ecuatoriano, y que su desempeño es adecuado para las necesidades del proyecto.

Para el diseño electrónico se analizaron las especificaciones del controlador electrónico existente en la motocicleta, el cual requiere para su funcionamiento un voltaje nominal de 48 V con un máximo de 54.6 V y un mínimo de 42.2 V determinados experimentalmente, como se verá en el apartado de resultados. El otro parámetro que se tomó en cuenta es la corriente nominal para el funcionamiento del motor de 125 amperios. Sin embargo se limitó la corriente a un 75% del valor nominal debido a limitaciones en el habitáculo de la batería y la estructura del vehículo.

Con los datos antes mencionados se realizó un cálculo, como se muestra en las ecuaciones 1 y 2, de las celdas de litio necesarias, tomando en cuenta que cada una de estas entrega máximo 6 amperios y el voltaje nominal es de 3.7 V.

Para el cálculo se utilizó la ecuación 1 y 2 como se muestra a continuación.

$$V = n_b * V_u \quad [1]$$

$$V = 13 * 3.7 = 48.1[V]$$

$$I = n_c * I_c \quad [2]$$

$$I = 16 * 6 = 96[A]$$

Dónde:

V : Voltaje total.

n_b : Número de baterías.

V_u : Voltaje unitario.

I : Corriente total.

n_c : Numero de celdas.

I_c : Corriente por celda

La conexión de la batería se basa en las leyes eléctricas, es decir, conexión en serie y paralelo para obtener el voltaje y amperaje calculado. Así, el diseño está compuesto de un total de 208 celdas de litio cada una con 3.7 V, que se encuentran conectadas en serie un total de 13 por paquete, y 16 paquetes en paralelo, como se muestra en la figura 4.

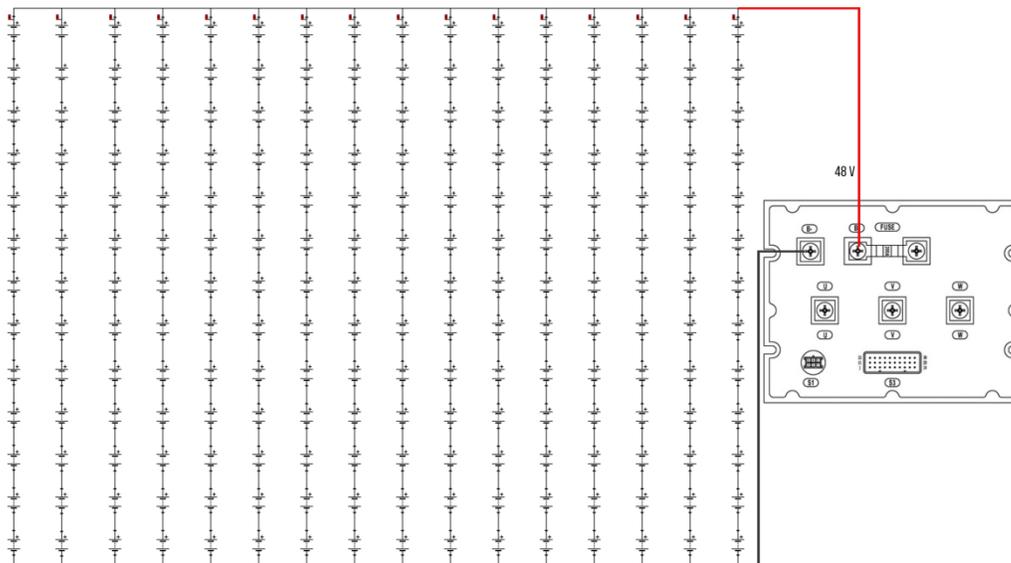


Figure 4. Diagrama eléctrico del paquete de batería.

Diseño mecánico

Materiales

Kit de baterías

Para el desarrollo del proyecto se estableció la necesidad de adquirir 4 kit de baterías para celda 18650 que se muestran en la figura 5, cada kit permite ensamblar 52 celdas.



Figure 5. Kit para la construcción de pack de baterías. Tomado de vruzend (2017)

Cargador para paquete de baterías

Se obtuvo un cargador de baterías de litio con una entrada de 110-240 V AC 50/60 Hz, de 48V que carga a 3 A con una potencia nominal de 180 W, el cual permite una carga máxima de 54.6 V, llevando a cada celda a alcanzar 4.2 V.



Figure 6. Cargador de paquete de baterías de litio. Tomado de vruzend (2017)

Conector

Es un conector hembra, compatible con el cargador de medidas estándar 5.5 x 2.1 mm.



Figure 7. Conector hembra. Tomado de vruzend (2017)

Baterías 18650

Las celdas fueron extraídas de las baterías de computadoras portátiles pasando por un proceso de selección que se mencionará posteriormente.



Figure 8. Celdas de ion-litio reutilizadas 18650.

Caja de batería portátil con salidas para cables.

Se adquirió una caja plástica diseñada para para baterías con orificios para salida de cables con el fin de facilitar la conexión hacia el controlador. Se debe tomar en cuenta que en esta caja por su forma y tamaño se utilizó una disposición de dos pisos para los 16 paquetes de celdas.



Figure 9. Caja de baterías de plástico.

Resortes para terminales

Se construyeron 416 resortes, como se aprecia en la figura 10, ya que los zócalos del kit presentan problemas de conexión con las celdas 18650 y son incapaces de mantener el contacto entre los terminales.



Figure 10. Resortes para mejorar conectividad entre celdas y terminales.

Construcción

Baterías de computadoras portátiles.

Para la selección de los paquetes de baterías de computadoras portátiles, se debe considerar que deben tener 18 mm de espesor, como se aprecia en la figura 11, ya que aquellos paquetes con menor espesor contienen celdas de batería diferentes a la 18650.



Figure 11. Batería reciclada de computadora laptop.

Se reunieron alrededor de 50 baterías, cada una de estas contiene entre 4-9 celdas 18650.



Figure 12. Batería reciclada de laptop.

Las baterías se componen de varios elementos que son: una caja de plástico, un microcontrolador, un contador y las celdas 18650 que son extraídas para el desarrollo del proyecto, el resto de partes son desechadas.



Figure 13. Batería reciclada de laptop abierta para la extracción de las celdas.

Proceso de selección de las celdas y su respectiva verificación de buen estado.

Una vez que las celdas son extraídas de las baterías de las computadoras portátiles, se debe pasar por un proceso de selección en donde se verifica su funcionamiento, ya que al ser recicladas no todas las celdas se encuentran en buen estado. De estos paquetes se obtuvieron 324 celdas en total, de las cuales se descartaron 81, es decir que el 25% al determinarse que presentaban averías o presentaban desgaste.

Pasos para la selección de celdas. -

Primer paso, se comprueba la etiqueta en el lateral de la batería 18650 de litio para confirmar sus características. El voltaje debe ser 3.7 V, y la cantidad de energía puede estar alrededor de 2000mAh (en algunos son de 3000 mAh).

Segundo paso, se encuentra las polaridades en las terminales de la batería 18650 de litio. El botón circular elevado en la parte superior es el terminal positivo y la placa plana en la base es el terminal negativo.

Tercer paso, se verifica la tensión de salida con el multímetro, instalando la barra de metal pequeña en el extremo del cable rojo del medidor en el terminal positivo de la batería, luego se instala la barra de metal en el extremo del cable negro del multímetro en el terminal negativo de la misma.

Cuarto paso, la pantalla del multímetro debería leer entre 3.6 y 3.7 voltios si está en buenas condiciones. Si la batería ha sido cargada recientemente, la lectura puede llegar hasta 4.2 voltios, pero esto disminuye a 3.7 rápidamente. Si la lectura está por debajo de los 3.5 voltios, se debe carga la batería, deja reposar por 2 horas y luego comprobar de nuevo la tensión. Si se mantiene por debajo de 3.5 voltios se debe descartar la celda.

Quinto paso, se utiliza un instrumento que carga y descarga la batería para determinar los miliamperios hora en relación a la corriente que se obtiene de la celda y el tiempo que se demora en descargar; con el resultado obtenido se hace una comparación con respecto a la etiqueta en la celda y el valor no debe variar más de un 5% caso contrario la celda debe ser desechada.

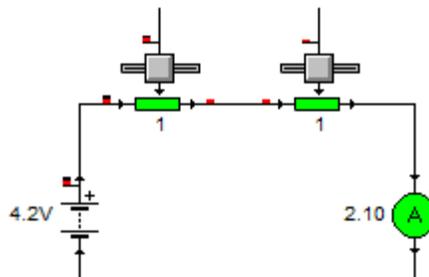


Figure 14. Diagrama eléctrico quinto paso.

También se puede utilizar una verificación manual mediante el circuito que se puede observar en la figura 14, para ello se conecta la celda de litio con una carga de 2 ohm midiendo el voltaje, la corriente y el tiempo de descarga. y de esta manera igual hacer una comparación con lo etiquetado en la celda. (Stephen, 2018).

Posteriormente, se ensambló la batería mediante el kit de conectores plásticos mencionado anteriormente, el cual fue modificado con resortes internos para mejorar la conexión con las celdas 18650.



Figure 15. Materiales para el desarrollo de pack de batería.



Figure 16. Paquete de 13 celdas conectadas en serie.

Para el ensamblaje de paquete se instaló una plancha inferior de 104 zócalos con 104 resortes previa a la instalación de cada celda, tomando en cuenta que esto permite un mejor contacto con los terminales de las celdas.



Figure 17. Instalación de resortes en la plancha inferior de zócalos.

Se selecciona las baterías de capacidades similares para ser utilizadas e instaladas en la plancha inferior de los zócalos desarrollando el primer pack de baterías. Se continúa a la instalación de celdas, se comprueba que exista una continuidad entre el terminal del zócalo y la batería

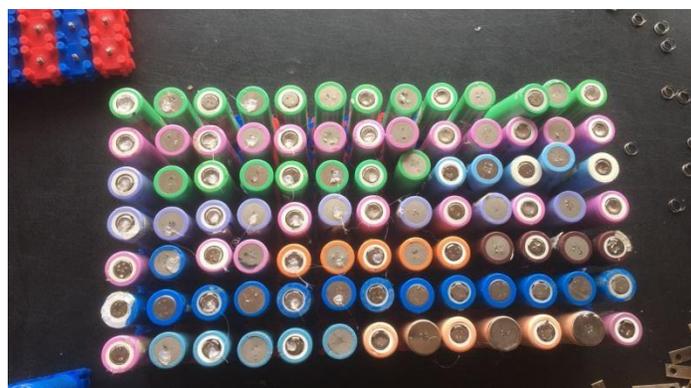


Figure 18. Instalación de celdas en plancha inferior.

Posterior a la instalación de las celdas sobre los zócalos inferiores, se pegaron con silicón los resortes sobre los terminales superiores de las celdas para evitar que se muevan al momento de la instalación de los zócalos superiores.



Figure 19. Instalación de resortes sobre terminales de las celdas.

Se instalan los zócalos superiores sobre las celdas, tomando en cuenta la serie de los zócalos superiores son opuestos a la serie de los zócalos inferiores.



Figure 20. Instalación de plancha superior.

A continuación una vez formado el pack de baterías, se instala platinas para realizar las conexiones entre las celdas. De tal manera que se obtenga una salida positiva y una salida negativa.

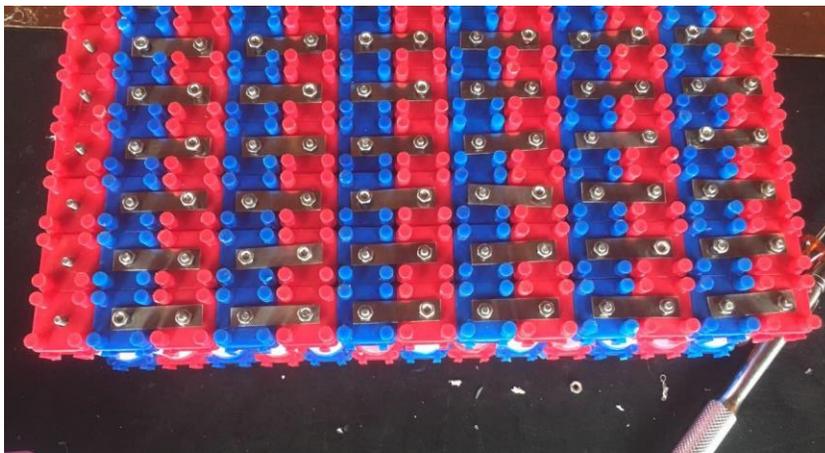


Figure 21. Unión de terminales para conexiones en serie y paralelo.

Se realiza el mismo procedimiento para el segundo pack de baterías. Una vez formadas los dos pack de baterías, se instala en total seis cables 10 en la salida negativa y seis cables 10 en la salida positiva.

Se utilizó 6 cables número 10 de 15 A, es decir un total de 90 A de capacidad.

Posterior a este procedimiento se realizó la instalación del conector de carga para los dos packs de baterías.

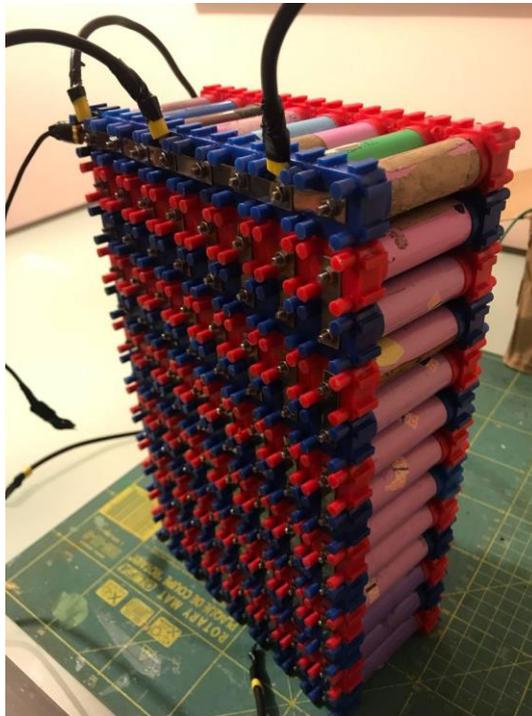


Figure 22. Cables de salida de la batería.

Una vez ensamblado y conectado los dos pisos de batería, se da una carga completa de la misma como se observa en la figura 23. Este proceso dura alrededor de dos horas dependiendo el estado de la batería.

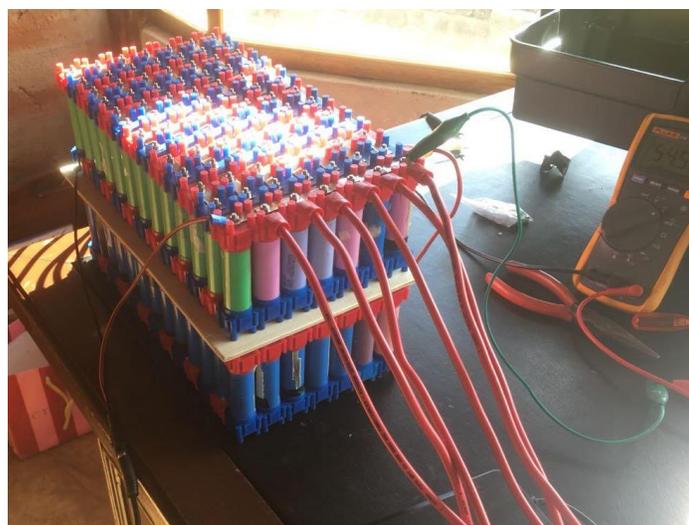


Figure 23. Carga de las 16 celdas en dos pisos.

La carga completa de la batería llega a 54.6 V de tal manera que cada celda individual alcanzaría 4.2 V.

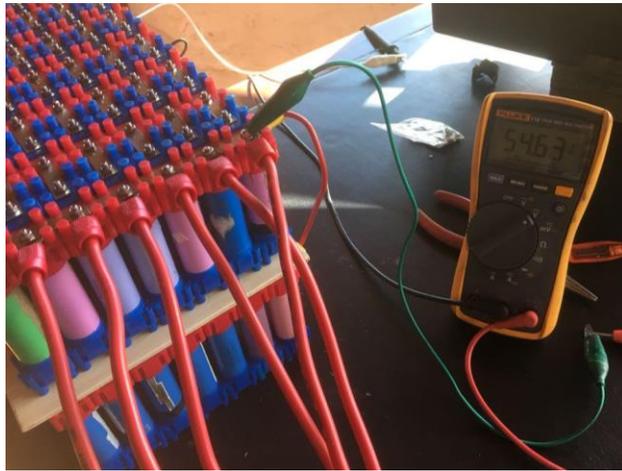


Figure 24. Valor de carga completa del pack de baterías.

Posteriormente, se instalan las celdas en una caja plástica diseñada para baterías. El material de dicha caja es plástico debido a su alta resistencia e impermeabilidad para proteger el paquete de baterías con todo su sistema. Dentro de la caja, las celdas se encuentran ubicadas en dos pisos de 8 paquetes cada una, como se muestra en la figura 25.



Figure 25. Caja de plástico con pack de baterías.

Ubicación de la batería.

La motocicleta que se eligió para el desarrollo del proyecto es un modelo Tundra GXR200 previamente acondicionada para un sistema de propulsión eléctrica. Para ubicar la caja de batería se seleccionó un espacio de fácil acceso y que no influya en el desempeño, dicho lugar se estableció en la parte posterior sobre la parrilla.



Figure 26. Ubicación de la caja en la motocicleta.

Se seleccionó una caja para contener el paquete de baterías y todos sus componentes para protegerlos de condiciones externas, al ser un prototipo no se tomó en consideración normativas para uso en exteriores. Una de las principales características de la caja es permitir el ingreso y salida de cables para conexión lo que facilita las pruebas experimentales.



Figure 27. Caja con batería y sus componentes.

Experimento 1

Para el primer experimento se ubicó la motocicleta en un dinamómetro de rueda con sus respectivas fijaciones, de tal manera para que esta no se mueva de manera axial y poder obtener resultados en movimiento.

Posterior a la sujeción de la motocicleta se ubicaron todos los sistemas de medición, estos son: multímetro para el voltaje de la batería, amperímetro de pinza para la corriente en DC y amperímetro de pinza para la corriente en AC en una de las fases del motor trifásico.

Una vez ubicados todos los sensores se procedió a acelerar el motor eléctrico a máxima potencia obteniendo las lecturas de los instrumentos



Figure 28. Motocicleta en dinamómetro

Experimento 2

El segundo experimento se realizó en laboratorio para medir los parámetros de tiempo de carga, descarga, consumo de corriente DC, AC, voltaje y temperatura de los principales componentes. A partir de estos datos se podrá calcular la potencia entregada

por el prototipo de baterías, dicha prueba fue realizada sin carga, es decir, desconectando el motor eléctrico de la cadena de transmisión.

Resultados

Experimento 1

Tabla 4

Resultados de experimento en dinamómetro

Tiempo de funcionamiento	Voltaje máximo	Voltaje mínimo	Amperaje DC max	Amperaje AC max
30 segundos	54.17	42.2	18.2	99.2
Aprox.				

Experimento 2

Tabla 5

Resultados de experimento en laboratorio

Minuto	Voltaje	Amperaje DC	Amperaje AC	Temperatura Motor	Temperatura batería	Temperatura Controlador	Potencia
0	54.17	0	0	25	27	24	0
2	47.1	8.1	15.5	29.8	25.7	24.8	381.51
4	46.2	7.8	14.5	32.7	25.7	25.3	360.36
6	45.8	7.6	14.7	36.4	26.2	24.9	348.08
8	45.7	7.3	14.2	39.8	24.9	24.9	333.61
10	45.5	7.3	14.1	42.7	26.4	25.3	332.15
12	45.2	7.2	14.0	44.8	27.2	25.3	325.44
14	44.7	7.3	14.1	47.1	25.6	25.4	326.31

16	44.4	8.9	12.8	49.2	26.0	25.9	395.16
18	43.9	9	14.1	51	26.9	26.3	395.10
20	43.2	9	14.4	52.1	28	26.1	388.80
22	42.3	8.7	14.5	52.7	27.7	25.9	368.01

El cargador de 48 voltios provee 3 amperios a todo el paquete de baterías, es importante tomar en cuenta que el cargador se desactiva automáticamente cuando se alcanzan los 54.6 V de carga.

Durante la prueba de laboratorio, experimento 2, tomo aproximadamente 23 minutos en descargarse hasta que el controlador llegue a su límite inferior de funcionamiento, todo esto se realiza a trabajo constante desde la carga completa hasta los 42.2 V. Conforme la batería comienza a descargarse, la mayor potencia se consigue a los 44 V aproximadamente.

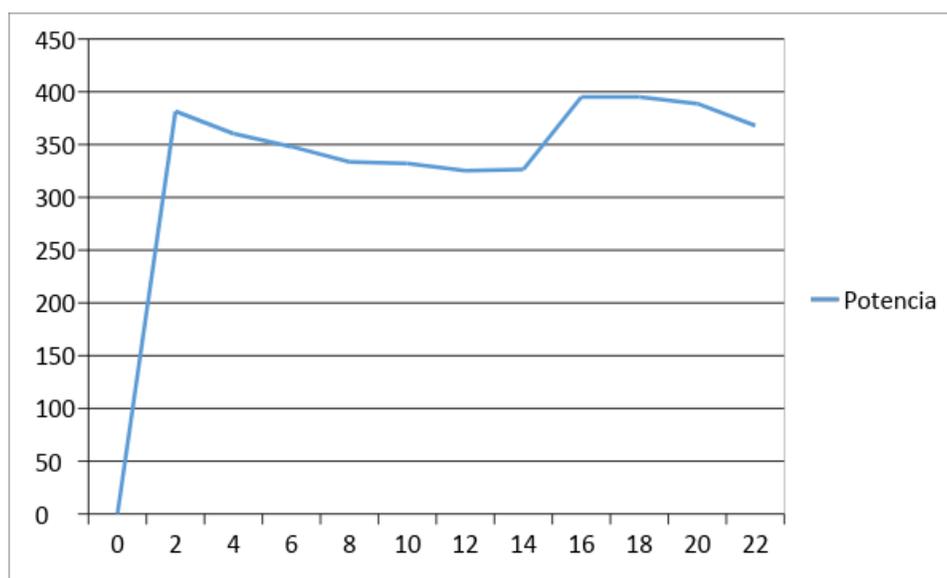


Figure 29. Curva de potencia en el tiempo.

En la figura 30 se puede observar como es el comportamiento de descarga en el tiempo de la prueba, en el primer instante se puede notar la caída de voltaje significativa hasta 47 V lo cual puede producirse porque las celdas al ser recicladas no están al máximo de su capacidad.

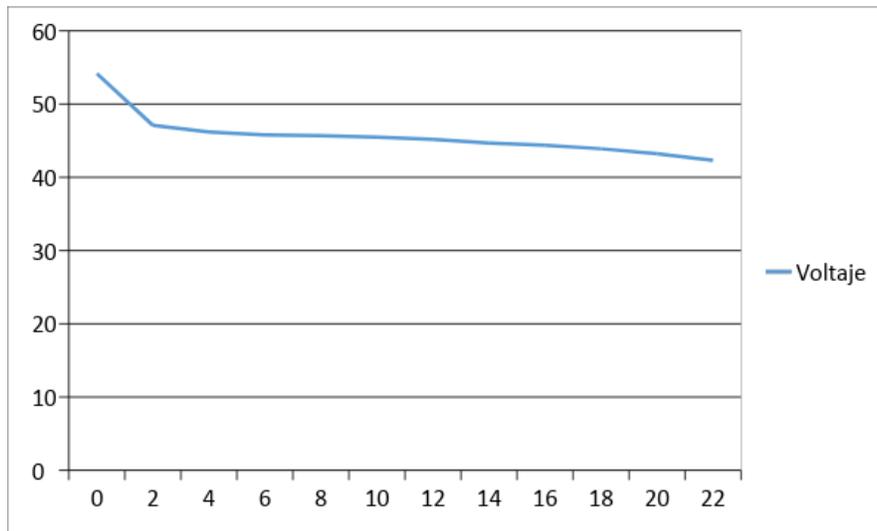


Figure 30. Curva de voltaje en el tiempo

En la figura 31 se puede observar la cantidad de corriente directa que sale de la batería con un valor máximo de 9 amperios.

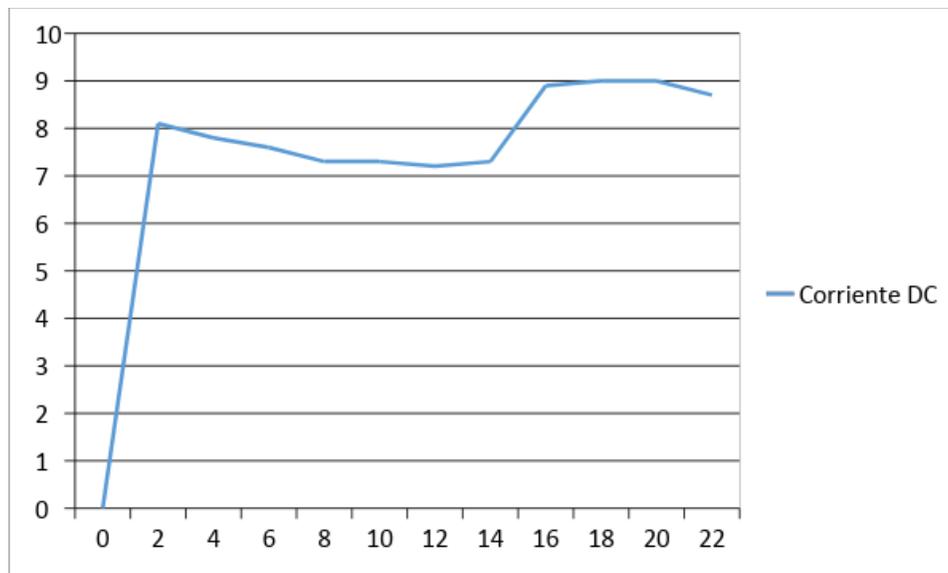


Figure 31. Curva de corriente DC en el tiempo.

Este amperaje indica la corriente alterna que llega al motor de la motocicleta, en este caso se obtuvo un pico máximo de 15 amperios.

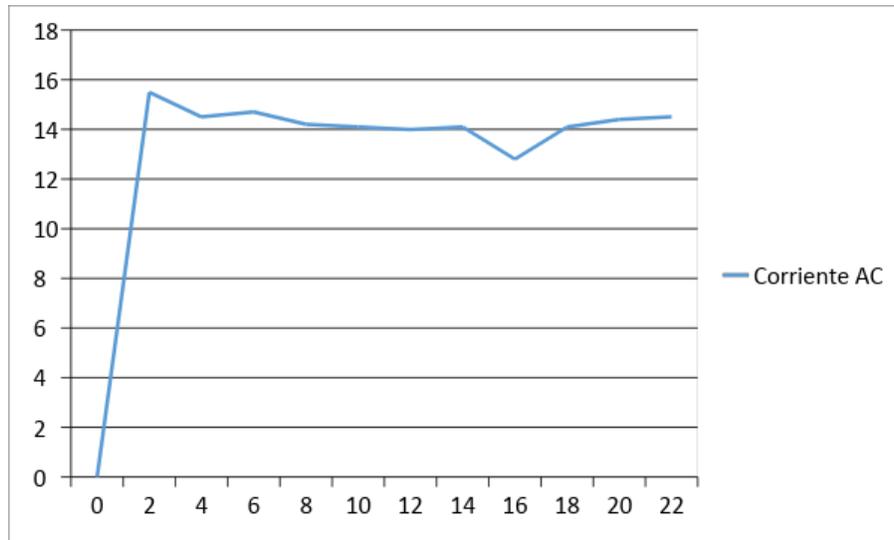


Figure 32. Curva de corriente AC en el tiempo

El motor presenta temperaturas altas por la cantidad de energía que recibe, en la figura 33 se puede observar una temperatura máxima de 52.7 grados centígrados al final de la prueba. Al ser una prueba estática en laboratorio no se tiene un flujo de aire que permita disminuir esta temperatura, se esperaría un mejor desempeño térmico en pruebas de ruta.

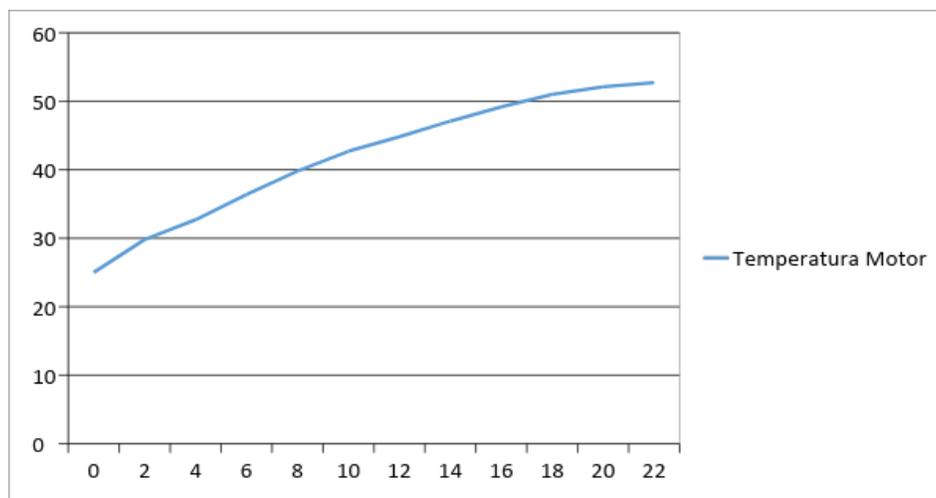


Figure 33. Curva de temperatura del motor.

Como se puede observar en la figura 34 la batería no sufre grandes cambios de temperatura durante el experimento, siendo la mayor variación de 25 a 28 grados centígrados.

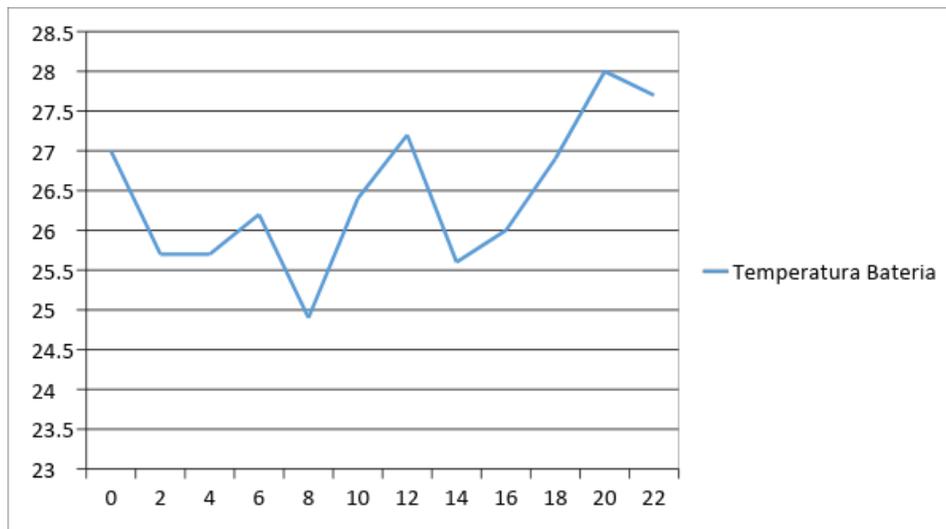


Figure 34. Curva de temperatura de la batería.

El controlador tiene una capacidad máxima de 300 amperios por lo tanto en el la figura 35 se puede observar que los 9 amperios no altera su temperatura de manera significativa, siendo su máxima temperatura solo 2.3 grados superior a la de inicio del experimento

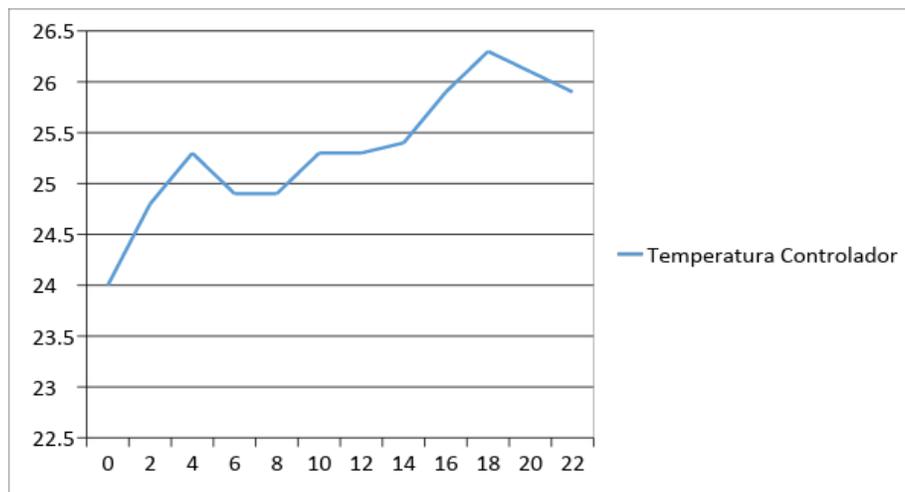


Figure 35. Curva de temperatura del controlador.

Discusión

Los resultados del paquete de batería de litio construida, en las dos pruebas no son los esperados esto puede tener varias razones, pero la principal podría ser la falta de capacidad por el uso de baterías recicladas de laptops, además la mezcla de celdas de diferentes marcas y capacidades no permite tener una corriente equitativa en todas las configuraciones serie.

Con esta batería de litio se logró tener mejores resultados que en el experimento anterior realizado por Andrés Valencia usando la misma motocicleta y componentes eléctricos, ya que al tener una batería portable más compacta con capacidad de mover la motocicleta es un avance notable, además de que en esta batería se utiliza celdas recicladas dándole un valor extra y un nuevo uso a celdas que ya se consideran desechadas y así no producir más contaminación. (Valencia, 2018)

Durante el experimento 1 se observa que el tiempo de duración de la batería en óptimas condiciones es muy corto, lo cual complica la obtención de resultados, aunque de los datos obtenidos se puede observar claramente la potencia obtenida por el motor la cual está bajo el máximo de capacidad del mismo, esto quiere decir que la capacidad de la batería debería ser mejorada para mejores resultados.

El experimento 2 permitió ver la potencia requerida para mover el motor sin ningún tipo de carga, esto nos sirve para tener una comparación de cuanto se necesita para mover la motocicleta y tomar en cuenta para proyectos futuros, inclusive saber las temperaturas que puede resistir el motor es un dato importante ya que este es uno de los componentes importantes de la motocicleta.

Dentro de la construcción de la batería es importante el kit de baterías ya que esto nos permite tener un arreglo ajustable a las necesidades de la capacidad de carga del

vehículo y así también ubicarla en varios lugares, es importante tomar en cuenta la caja donde se va a transportar la batería para que no afecte en el balance.

Para mejor conexión entre los zócalos y las celdas 18650 se podría diseñar un sistema con resortes de la altura hasta el borde del zócalo y baja fuerza de empuje para mantener la celda dentro del zócalo y al mismo tiempo nunca se pierde la conexión con los terminales y así también con las vibraciones del camino y la motocicleta no tener inconvenientes.

Conclusiones

Al observar el experimento 1, se determinó un amperaje máximo de 18.2 amperios en corriente directa, el resultado no fue el esperado ya que al ser baterías recicladas no se encuentran en su máxima capacidad, esto también puede deberse a que las baterías son una mezcla de distintas marcas y capacidades.

La potencia máxima que se obtuvo fue casi de 900W, de los 5000W que puede entregar el motor, es decir, que hace falta una mayor capacidad de las celdas para aumentar y mejorar su rendimiento.

Durante el experimento 2, la potencia más alta se obtuvo a los 44 V decayendo posteriormente, esto puede deberse a que el controlador detecta la caída de tensión pero obtiene mayor corriente de las baterías.

La temperatura del controlador tiene una variación mínima durante toda la prueba, esto se debe que durante las pruebas solo se consume un porcentaje menor al 9% de su capacidad total.

La temperatura de la batería en la prueba estática tiene muy poca variación ya que la corriente que se dirige al controlador está muy por debajo a la capacidad máxima de la batería por lo tanto esta no aumenta significativamente.

La temperatura del motor se eleva constantemente durante el proceso de la prueba, esto se debe a que está diseñado para trabajar con el movimiento de la motocicleta de tal manera que las aletas disipen el calor con el flujo de aire generado por el movimiento de la motocicleta.

La potencia en el experimento 2 es de 396 watts, presentando niveles inferiores a la capacidad máxima del motor, esto se debe a que las lecturas de corriente AC y DC, en la prueba dos no son altas y sin resistencia del sistema de transmisión no requiere alta potencia para girar el motor.

La construcción del paquete de baterías fue realizado satisfactoriamente ya el kit de baterías facilita el trabajo y ayuda a que las conexiones eléctricas sean sencillas de realizar y seguras, tomando en cuenta la adición de los resortes.

El cargador para la batería que se obtuvo funciona correctamente ya que los 3 amperios de carga son los ideales para no causar daños en la batería ni los componentes de la misma.

Recomendaciones

Por medio de los resultados obtenidos, se observa la necesidad de una mayor cantidad de arreglos en paralelo proporcionando la potencia necesaria para el correcto funcionamiento de la motocicleta. Esto quiere decir, que se requieren 400 celdas de litio para alcanzar una corriente de 192[A].

El piñón del motor, necesitaría una mejor sujeción y un correcto alineamiento con la parte de la catalina, esto puede hacerse por medio de un C clip y un buje de tope. Sin embargo, esta característica no fue mejorada debido a que no fue considerada como parte del alcance de este proyecto.

La relación de transmisión que se encuentra en la motocicleta, se debería reducir para mejor facilitar el movimiento ya que esta motocicleta no cuenta con una caja de cambios.

Se recomienda reducir el peso de la motocicleta y eliminar accesorios que no son necesarios, como el doble sistema de freno delantero, la manilla del embrague y un marco más liviano con anclaje para las baterías con una disposición de maleteros.

Mecánicamente se recomienda reparar todos los rodamientos, el freno delantero, el eje posterior, el sistema de transferencia de la catalina a la rueda; lo que permitiría un mejor uso de la potencia eléctrica entregada por la batería prototipo.

Ubicar en una mejor posición el controlador de tal manera que no estorbe al usuario y la sujeción de los cables se encuentren alejados de partes metálicas de la motocicleta evitando cortocircuitos.

En el sistema de la cadena de la motocicleta se debe instalar un templador para disminuir la resistencia al movimiento. Adicionalmente, se recomienda que la sujeción del motor de la motocicleta sea con pernos perdidos, para evitar una avería ya que la cadena se encuentra cerca de los pernos.

En cuanto a las celdas recicladas, se podría obtener mejores resultados pasando por un proceso selectivo más riguroso como determinar la marca comercial con mayor capacidad y agrupándolas de tal manera que tengas las mismas capacidades en cuanto a corriente, además se debería tomar en cuenta que todas deberían tener un mínimo de 3000 miliamperios hora para mayor autonomía.

Fabricar una caja para portar la batería puede ayudar mucho en cuanto a capacidades de carga y mejor ubicación de esta en la motocicleta, esta podría ser ubicada en los laterales de la parte posterior dividiendo el peso en dos para no afectar el balance.

Referencias

- Super Linternas*. (2011). Retrieved Mayo 2018, from <https://www.superlinternas.com/bater%C3%ADas-y-cargadores/bater%C3%ADas-18650-3-7v-li-ion-recargables/>
- El Diario.ec*. (2012, septiembre). Retrieved Mayo 2018, from <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/243795-la-vida-util-de-los-carros/>
- Baterias de litio*. (2014, Junio 5). Retrieved Mayo 2018, from <http://bateriasdelitio.net/?p=6>
- Baterias de Litio*. (2014, Junio). Retrieved Mayor 2018, from Baterias de Litio: <http://bateriasdelitio.net/?p=80>
- All Spares*. (2015, Octubre). Retrieved 2018, from All Spares: <https://all-spares.com/es/articles-and-video/what-does-18650-battery-mean.html>
- vruzend*. (2017). Retrieved 2018, from <https://vruzend.com/>
- Xataka ciencia*. (2017, Diciembre). Retrieved Mayo 2018, from Xatakaciencia: <https://www.xatakaciencia.com/medio-ambiente/construir-una-bateria-tesla-es-tan-contaminante-como-el-coche-de-gasolina>
- Ecolkem*. (2018). Retrieved 2018, from Ecolkem: <http://www.ecolkem.com/Pretratamiento-Fosfatos-de-Hierro-y-Zinc>
- Grupo CIPSA*. (2018). Retrieved 2018, from GrupoCIPSA: <https://www.cipsa.com.mx/17/noticias/%C2%BFcuales-son-las-ventajas-de-un-motor-electrico-a-uno-de-gasolina/>
- Todini Chemicals*. (2018). Retrieved 2018, from <https://www.todini.com/es/productos-quimicos/cobalto/oxido-cobalto>

Ana, G. (2018, mayo). *Aumento en el parque automotor pesa mas en la contaminacion.*

Retrieved from El Comercio:

<http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/aumento-del-parque-automotor-pesa.html>

Association, A. P. (2011). *Manual de Publicación de APA* (6 ed.). Washington.

Celi, S. (2018). Unidad de Titulación. *UISEK*, 1-3.

Celi, S., & Cañadas, D. (2018). Articulos con varios autores. *UISEK*, 1(3), 1-3.

Electromovilidad. (2018, Mayo 15). *Electromovilidad*. Retrieved from

<http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>

Mariela, T. E. (2018). *Lifeder*. Retrieved 2018, from Lifeder:

<https://www.lifeder.com/oxido-manganeso/>

Sorgato, V. (2016, Junio 10). *EL Comercio*. Retrieved from

<http://www.elcomercio.com/tendencias/ciudades-ecuador-polucion-enfermedades-contaminacion.html>

Stephen, B. (2018). *Techlandia*. Retrieved 2018, from Techlandia:

https://techlandia.com/probar-bateria-18650-litio-como_157628/

Universo, E. (2017, Junio 30). *El Universo*. Retrieved from

<https://www.eluniverso.com/tendencias/2017/06/30/nota/6255364/mas-100-autos-electricos-circulan-ecuador>