

Dimensionamiento de pack de baterías de ion-litio para el accionamiento del motor eléctrico tipo Brushless

SENIOR

Ing. Cesar Colquehuanca Apaza
Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Escuela Militar de Ingeniería
La Paz, Bolivia
ccolquehuanca@doc.emi.edu.bo



Sizing of the lithium-ion battery pack to drive the Brushless electric motor

Resumen— El presente proyecto tiene como objetivo principal dimensionar un paquete de baterías de ion-litio, tipo 18650, de 3.7 V., para el accionamiento de un motor eléctrico Brushless de aplicación en motocicletas, para la búsqueda de nuevas alternativas energéticas. El dimensionado de las baterías corresponde a la potencia del motor de 800W., con una tensión de operación de 60 voltios y una capacidad de 20 Ah.

Palabras Claves— Pack, baterías, ion-litio, accionamiento, Brushless.

Abstract— The main objective of this project is to size a 3.7 V., 18650 lithium-ion battery pack to drive a Brushless electric motor for use in motorcycles, in order to search for new energy alternatives. The dimensioning of the batteries corresponds to the motor power of 800W., With an operating voltage of 69 volts and a capacity of 20 Ah.

Keywords— Pack, batteries, lithium-ion, drive, Brushless.

I. INTRODUCCIÓN

La electricidad hoy en día tiene innumerables aplicaciones, esto es debido a la facilidad con que se transforma en otras formas de energía como ser: mecánica, química, térmica y otros. Uno de los principales problemas de esta fuente, es la dificultad a la hora de su almacenamiento. Las baterías son una de las pocas formas fiables de almacenar la energía eléctrica, convirtiendo la energía eléctrica, convirtiéndola en energía química y viceversa.

El desarrollo en los últimos años de nuevas aplicaciones (vehículos eléctricos, sistemas fotovoltaicos, sistemas de alimentación ininterrumpida, y otros.) han propiciado el surgimiento y desarrollo de nuevas tecnologías de baterías, cada vez más eficientes y fiables [1].

En el presente artículo de revisión se mostrará el dimensionamiento de un pack de baterías de ion-litio de 3,7 voltios, tipo 18650, para accionar un motor eléctrico tipo Brushless, la misma que es usada en motocicletas eléctricas. El propósito del siguiente estudio consiste en mostrar la importancia que tiene el uso de las baterías de ion-litio a motores eléctricos de corriente continua.



Fig. 1. Vehículo eléctrico fabricado por la Industria Quantum Motors S.A. es la primera industria boliviana dedicada a la fabricación de automóviles eléctricos con la principal misión: “Fabricar y comercializar vehículos eficientes y seguros para mejorar los sistemas de movilidad urbana y cuidar el medio ambiente”. Fuente: <https://tuquantum.com/acerca-de-quantum/>

La energía eléctrica

Uno de los principales elementos de necesidad básica es el uso de la electricidad, este elemento es muy importante ya que conlleva el desarrollo de empresas, hospitales y otros. La electricidad tiene innumerables aplicaciones tanto domésticas como industriales, esto es debido a la facilidad con que se transforma en otras formas de energía, como ser: mecánica, química, térmica y otros.

Como bien se sabe, todo requiere de energía para el funcionamiento de las cosas, por lo tanto, se debe reflexionar sobre la importancia de este bien y como buscar otras fuentes de generación diferentes a la tradicional. De acuerdo a Leonardo de Jesús, señala que la generación de energía eléctrica está muy relacionada con el desarrollo de un país [2].

Los vehículos eléctricos

Un automóvil eléctrico es una maquina propulsado por uno o varios motores eléctricos, usando energía eléctrica almacenada normalmente en baterías recargables. Según documentos en internet, se señala que, a principios del siglo XX, surgió la popularidad de los vehículos eléctricos, esto

debido al incremento de costo de los combustibles fósiles como, gas natural, petróleo y carbón [3].

El uso de estos vehículos eléctricos es una opción para combatir el problema de la contaminación ambiental en el mundo donde vivimos hoy. En países como Suiza, Alemania, Francia, España e Italia, existe una red de energía solar llamada "Park & Charge", se utiliza estaciones públicas para cargar los vehículos eléctricos [4].

Uno de los medios de transporte más usados y con un precio reducido en su adquisición, son las motocicletas eléctricas; hoy en día existen bastantes productoras y comercializadoras de este vehículo, un ejemplo más cercano es la Industria Quantum Motors S.A. en la ciudad de Cochabamba-Bolivia. Esta industria fabrica y comercializa vehículos eléctricos como ser: coches, motos, bicicletas eléctricas, y otros, ver figura 1.

Máquinas eléctricas

Una máquina eléctrica es un dispositivo que puede convertir energía mecánica en energía eléctrica o energía eléctrica en energía mecánica. Cuando este dispositivo se utiliza para convertir energía mecánica en energía eléctrica se denomina generador, y cuando convierte energía eléctrica en energía mecánica se llama motor. Casi todos los motores y generadores útiles convierten la energía de una a otra forma a través de la acción de campos magnéticos [5].



Fig. 2. Motor eléctrico DC. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1quina_el%C3%A9ctrica

El motor Brushless

El Motor Brushless tiene una construcción similar a la de cualquier motor, cuenta con un estator, un rotor y una carcasa. El estator contiene varias bobinas por cada devanado de fase, distribuidas en ranuras alrededor de él [6]. El rotor está formado por uno o varios imanes permanentes con la intención de generar el campo magnético del rotor. La carcasa cumple con el objetivo de proteger contra el medio ambiente y la corrosión al motor, además, sobre la carcasa se montan los soportes del eje del rotor, dispositivos de medición de velocidad y demás elementos que brindan una correcta instalación del motor en la figura 3, se muestran los componentes del motor Brushless [7].

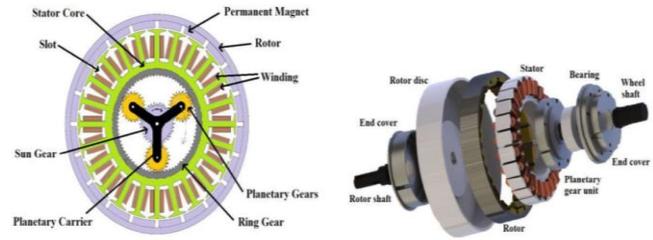


Fig. 3. Diagrama esquemático del motor Brushless.

Potencia mecánica de accionamiento

La definición en cualquier libro de física, señala que la potencia mecánica es la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo.

$$P = \frac{W}{t} = F v \quad (1)$$

Donde:

$P = potencia (W)$

$W = trabajo (J)$

$t = tiempo (s)$

$F = fuerza (N)$

$v = velocidad \left(\frac{m}{s}\right)$

Considerando sistemas mecánicos más complejos con elementos rotativos alrededor de un eje fijo y donde el momento de inercia permanece constante, la potencia mecánica puede relacionarse con el par motor y la velocidad angular. De acuerdo con la mecánica clásica, el trabajo realizado sobre el cuerpo en rotación, es igual a la variación de su energía cinética de rotación, por lo que la potencia desarrollada por el par o momento de fuerza es:

$$P = \frac{dW_{eje}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} I_{eje} \omega^2 \right) = M \omega \quad (2)$$

Donde:

$I_{eje} = momento de inercia segun el eje de giro (kg m^2)$

$\omega = velocidad angular del eje \left(\frac{rad}{s^2}\right)$

$M = par motor aplicado en el eje (N m)$

Baterías de ion-litio

Las baterías son una de las pocas formas fiables de almacenar la energía eléctrica, convirtiendo la energía eléctrica, en energía química y viceversa. De esta manera podemos disponer de energía eléctrica cuando deseamos sin depender de la red [8].

La batería o acumulador es un dispositivo electroquímico capaz de acumular energía en forma química y transformarla en energía eléctrica [9].

Por lo mencionado anteriormente, es el elemento idóneo para un equipo en movimiento, la misma que se puede almacenar y trasladar esta energía eléctrica y ser esa fuente que origine tal movimiento.

Ciclo de vida de una batería de ion-litio

El ciclo de vida de una batería está en gran medida influenciada por la velocidad a la que se carga y descarga. Cuanto más rápidas sean las cargas y descargas más sufrirá la batería y como consecuencia más corta será su vida [10].

Dimensionado del pack de baterías de ion-litio

El dimensionado del pack de baterías se inicia con la necesidad de alimentación para un motor de 1500W, con una tensión de operación de 72 voltios y una capacidad de almacenamiento de energía de 20 Ah.

Conexiones de las baterías de ion-litio

Las baterías se pueden dimensionar en serie, paralelo o su combinación, si es serie se suma las tensiones y la corriente es constante, y si es en paralelo se suman las corrientes manteniéndose el voltaje constante [11].

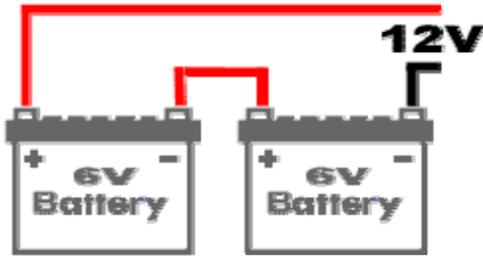


Fig. 4. Baterías conectadas en serie. Fuente: <http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/160.pdf>

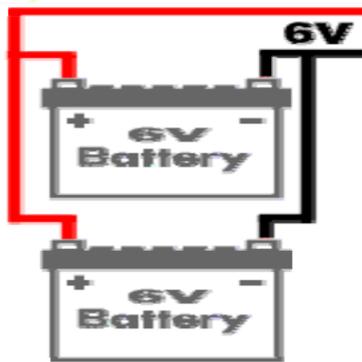


Fig. 5. Baterías conectadas en paralelo. Fuente: <http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/160.pdf>

• Conexión en serie:

$$V_{eq-s} = V_{b1} + V_{b2} + V_{b3} + \dots + V_{bn} \quad (3)$$

$$I_{eq-s} = I_{b1} = I_{b2} = I_{b3} = \dots = I_{bn} \quad (4)$$

$$C_{eq-s} = C_{b1} = C_{b2} = C_{b3} = \dots = C_{bn} \quad (5)$$

Donde:

V_{eq-s} = voltaje equivalente en serie (V)

V_{bn} = voltaje en la batería "n" (V)

I_{eq-s} = corriente equivalente en serie (A)

I_{bn} = corriente en la batería "n" (A)

C_{eq-s} = capacidad equivalente en serie (Ah)

C_{bn} = capacidad en la batería "n" (Ah)

• Conexión en paralelo:

$$V_{eq-p} = V_{b1} = V_{b2} = V_{b3} = \dots = V_{bn} \quad (6)$$

$$I_{eq-p} = I_{b1} + I_{b2} + I_{b3} + \dots + I_{bn} \quad (7)$$

$$C_{eq-s} = C_{b1} + C_{b2} + C_{b3} + \dots + C_{bn} \quad (8)$$

Donde:

V_{eq-p} = voltaje equivalente en paralelo (V)

I_{eq-p} = corriente equivalente en paralelo (A)

C_{eq-p} = capacidad equivalente en paralelo (Ah)

Como resultado final, la conexión serie se empleará para la alimentación de voltaje al motor eléctrico y la conexión en paralelo proporcionará la corriente necesaria para la interacción del campo magnético en el motor.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el logro del objetivo planteado en el presente documento se revisaron bastante información tanto de experiencias de profesionales en el área como de libros especializados. Además de realizar búsquedas directas en internet y artículos específicos al tema.

Para la elaboración del artículo de revisión se hace uso del método documental bibliográfico, por lo tanto, se extraerá toda la información necesaria para mostrar la importancia que tiene el uso de las baterías de litio a motores eléctricos de corriente continua que permitirá la tracción a una motocicleta eléctrica, modelo ZM-01, con una potencia del motor de 800 W, la misma que es ofertada por la Industria Quantum Motors S.A., de la ciudad de Cochabamba, Bolivia.

Procedimiento

Para el desarrollo de la presente investigación se definieron las siguientes actividades, esto teniendo claro el objetivo del dimensionamiento de un pack de baterías de ion litio para un motor eléctrico de corriente continua en aplicación a una motocicleta.

Equipos y componentes

Los equipos a ser considerados para la investigación son los siguientes: Multímetro digital, cargador de pared AC100-240w 47-63Hz.

Motor eléctrico DC

Potencia: 800 W

Voltaje: 60 V

Baterías de ion-litio (Ver Anexo)

Modelo: 18650

Capacidad: 2600 mAh

Voltaje nominal: 3.7V

Química: Li-ion

Dimensiones: 65mm(Largo) x 18,4mm(Diámetro)

Peso: 47 gramos

Características de conexión

La característica de la conexión de las baterías se la realizara en serie y paralelo esto en función a la capacidad y tensión que se requiera.

• Serie: La tensión del conjunto aumentará considerando que cada elemento posee una tensión nominal de 3,7V. La capacidad de la asociación no se verá incrementada al añadir baterías en serie.

• Paralelo: En este caso, será la capacidad la que se verá incrementada de forma proporcional al número de baterías añadidas; con la característica de un voltaje constante.

• Packs: La construcción de un pack de baterías se la realiza combinando baterías en serie y paralelo para obtener la capacidad y tensión deseada.

Consideraciones previas con respecto a la batería

Toda batería posee una tensión nominal de 3,7V. La tensión a carga completa es de 4,2V. Es muy importante que la tensión de descarga no baje de los 3,0V; tampoco deben superarse los 4,2V durante la carga, ya que en tal caso se dañaría la batería. En el caso de asociaciones en serie, la tensión mínima de descarga será proporcional al número de baterías.

Diagramas de conexión en serie:

Se requiere un voltaje de 60 V.

V. nominal de una celda = 3.75 V.

Calculando la cantidad de baterías en serie se tiene:

$$n = \frac{V_{requerido}}{V_{batería}} = \frac{60}{3,7} = 16,22 \approx 16$$

Por lo tanto, se requieren 16 baterías conectadas en serie, ver figura 6.

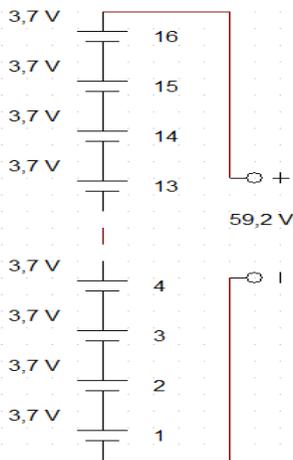


Fig. 6. Conexión de baterías en serie. Fuente: Elaboración propia

Diagramas de conexión en paralelo:

Como el motor eléctrico requiere una potencia de 800 W, con un voltaje de 60 V, se tiene:

$$P = VI \tag{9}$$

$$I = \frac{P}{V} = \frac{800 W}{60 V} = 13,33 (A)$$

Donde:

P = potencia (W)

V= tensión (V)

I = corriente (A)

Según la hoja de características de la batería, señala que la batería puede tener una capacidad de 2,6 Ah.

Calculando la cantidad de baterías en paralelo se tiene:

$$n = \frac{I_{requerido}}{I_{batería}} = \frac{13,33 A}{2,6 A} = 5,13 \approx 6$$

Por lo tanto, se requieren 6 baterías conectadas en paralelo, ver figura 7.

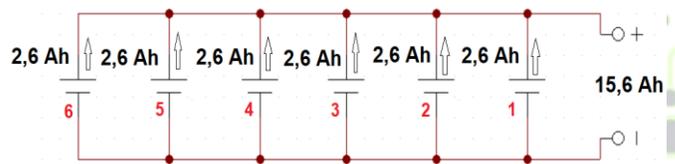


Fig. 7. Conexión de baterías en paralelo. Fuente: Elaboración propia

Calculando la capacidad de almacenamiento en las baterías.

De la hoja de características de la batería se obtiene el valor de la capacidad, la misma que es 2600 mAh.

Considerando 6 baterías en paralelo se tiene, C = 6*2600mAh = 15600 mAh = 15,6 Ah

Por lo tanto, la energía almacenada será = C*V=15,6 Ah*59,2 V = 923,52Wh.

El valor determinado, señala que se puede utilizar 923,52 W por un periodo de 1 hora. Donde este valor si logra cubrir la demanda mínima de potencia del motor.

Pack o conexión de baterías en serie y paralelo

Finalmente, la capacidad de almacenamiento de energía del pack de baterías es de 923,52 Wh.

La configuración de las baterías es: 16 elementos en serie y 6 baterías en paralelo, formado un total de 96 baterías.

Tiempo de carga:

Como la intensidad máxima de carga recomendada por el fabricante es 2,6 A, el tiempo de recarga sería:

$$C=6*2600mAh = 15600 mAh = 15,6 Ah$$

15,6Ah/ 2,6 A = 6 h, es decir, se cargaría completamente con una intensidad de 2,6 A durante 6 horas.

III. RESULTADOS

En la figura 8, se muestra la conexión mixta serie-paralelo del pack de baterías. La misma conexión está conformada por seis grupos de baterías en paralelo generando la capacidad necesaria para el motor, y cada grupo está conformado por 16 baterías en serie, la misma que permitirá aumentar el voltaje al de requerimiento.

Resultados determinados en el pack de baterías

Motor eléctrico DC

Potencia: 800 W

Voltaje de requerimiento: 60 V

Modelo de batería: 18650

Voltaje de pack: 59,2, V

Capacidad de pack: 15,6 Ah

Capacidad de almacenamiento del pack: 923,52 Wh.

Peso del pack de baterías: 4512 gramos.

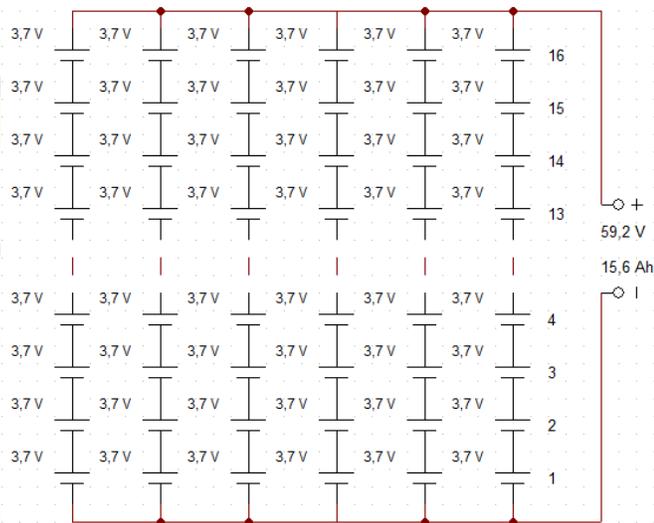


Fig. 8. Pack o conexión mixta de baterías. Fuente: Elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

Se logró dimensionar el pack de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica que suministra a un motor eléctrico, tipo Brushless, la misma posee las siguientes características:

- El dimensionado del pack de baterías fue exitoso, ya que el mismo usa 96 baterías, tipo 18650, conectadas en forma mixta proporcionando el voltaje y corriente necesaria para accionar el motor eléctrico.
- El peso total de la batería, es de 4512 gramos o lo que es lo mismo 4,5 kilogramos.
- Se obtuvo una capacidad de almacenamiento de energía de 923,52Wh.

De acuerdo a estudios similares realizados en otros países se evidencia que el uso de baterías para vehículos eléctricos genera buenos resultados, tal como señala la siguiente investigación:

“El polímero de litio es la mejor opción para un vehículo eléctrico de competición pues posee en conjunto unas excelentes características. Aunque la característica que ha definido a esta batería como las más adecuada para la competición, es su extraordinaria capacidad de descarga, muy superior a cualquier otro tipo de química” [12].

APÉNDICES



Motocicleta modelo YADEA ZM-01; Batería de 60V y 20 Ah; con un tiempo de carga estimado de 7 h. Fuente: <https://tuquantum.com/motos-electricas/>

Description and Model

- 2.1 Description Cell (lithium-ion rechargeable cell)
2.2 Model ICR18650-26F

Nominal Specifications

Item	Specification
3.1 Nominal Capacity	2600mAh (0.2C, 2.75V discharge)
3.2 Charging Voltage	4.2 ± 0.05 V
3.3 Nominal Voltage	3.7V
3.4 Charging Method	CC-CV (constant voltage with limited current)
3.5 Charging Current	Standard charge : 1300mA Rapid charge : 2600mA
3.6 Charging Time	Standard charge : 3hours Rapid charge : 2.5hours
3.7 Max. Charge Current	2600mA
3.8 Max. Discharge Current	5200mA
3.9 Discharge Cut-off Voltage	2.75V
3.10 Cell Weight	47.0g max
3.11 Cell Dimension	Diameter(max.) : Φ 18.40 mm Height(max.) : 65.00 mm
3.12 Operating Temperature	Charge: 0 to 45°C Discharge: -20 to 60°C
3.13 Storage Temperature	1 year: -20~25°C (1*) 3 months: -20~45°C (1*) 1 month: -20~60°C (1*)

Note (1): If the cell is kept as ex-factory status (50% of charge), the capacity recovery rate is more than 80%.

Specification of product for Lithium-ion Rechargeable Cell
Model: ICR18650-26F

Fuente: <https://docs.rs-online.com/3f21/0900766b816d9301.pdf>

REFERENCIAS

- [1] Juan Carlos Viera. Pérez. “Carga rápida de baterías de ni-cd y ni-mh de media y gran capacidad. Análisis, síntesis y comparación de nuevos métodos”. Tesis doctoral, Universidad de Oviedo, 2003
- [2] Ramos-Gutiérrez, Leonardo de Jesús, and Manuel Montenegro-Fragoso. "La generación de energía eléctrica en México." *Tecnología y ciencias del agua* 3.4 (2012): 197-211.
- [3] Wikipedia. (4 de enero de 2018). Wikipedia. Obtenido de 8 de enero de 2018, de [Automóvil Eléctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico), de: https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico
- [4] Valencia Rodríguez, Andrés Javier. "Análisis del comportamiento de un motor eléctrico, adaptado a una motocicleta, bajo características de torque, potencia y velocidad." (2018).
- [5] Chapman, Stephen J. *Máquinas eléctricas*. 2000.
- [6] Tze-Yee Ho, W.-C. C.-H.-S. (2014). The Design of Motor Drive with Speed Control for an Electric Bicycle . IEEE, 4.
- [7] Ishak, A. A. (2009). Finite Element Modeling and Analysis of External Rotor Brushless DC Motor for Electric Bicycle. IEEE, 4.
- [8] Peña Ordoñez, Carlos. *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. BS thesis. 2011: 16-105
- [9] Valdiviezo Salas, Paulo Daniel. "Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP." (2014).
- [10] <http://www.miliamperios.com/> “Como y que factores afectan a la vida de las baterías de litio” en noviembre 2010
- [11] SANTOS, ERICK WAGHETTI, and RICARDO SEIJI MATSUMOTO. "DIBB–Dimensionador de banco de baterías." *Curitiba* (2010): 1-50.
- [12] Peña Ordoñez, Carlos. *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. BS thesis. 2011: 100-105

Fecha de Envío del Artículo: 21/01/2020

Fecha de Recepción de artículo: 21/01/2020