

## MANTENIMIENTO CONTROLADO DE BATERÍAS DE ALTA GAMA UTILIZADAS EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA

### CONTROLLED MAINTENANCE OF HIGH-RANGE BATTERIES USED IN ELECTRIC PROPULSION SYSTEMS

Diego Fernando Gallo Tafur<sup>1</sup>, Jorge Stalin Mena Palacios<sup>2</sup>, Cristhian Javier Valverde Estévez<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE  
e – mail: <sup>1</sup>dfgallo@espe.edu.ec, <sup>2</sup>jsmena@espe.edu.ec <sup>3</sup>cjvalverde@espe.edu.ec

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 5 (10)

#### Resumen

La investigación tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de gestión de baterías de alta gama en propulsión eléctrica a partir del control y monitoreo en tiempo real de parámetros en el sistema de carga y descarga.

Se enfoca en la investigación de la variación de valores de voltaje y corriente con respecto a la capacidad nominal de una batería, de acuerdo los procesos de carga, descarga, mantenimiento o diagnóstico de la batería.

Se presenta la determinación del estado de salud SoH, con el fin de brindar un diagnóstico del estado de vida de las baterías, para ello se ahonda en cálculos y ecuaciones basadas en la corriente, temperatura y tiempo. Se utiliza el método de conteo de coulomb para la extracción de datos reales del estado de la batería.

**Palabras Clave:** Sistema de Gestión de Baterías, Estado de Carga, Estado de Salud, Fases de carga.

#### Abstract

*The main objective of the research is the design of a high-end battery management system in electric propulsion based on the control and monitoring in real time of parameters in the charging and discharging system.*

*It focuses on the investigation of the variation of voltage and current values with respect to the nominal capacity of a battery, according to the battery's charging, discharging, maintenance or diagnostic processes.*

*The determination of the state of health SoH is presented, in order to provide a diagnosis of the state of life of the batteries, for this it delves into calculations and equations based on current, temperature and time. The coulomb counting method is used for extracting actual data from the battery condition.*

**Keywords:** Battery Management System, State of Charge, State of Health, Charging phases.

# 1. Introducción

El ahorro de energía y recursos es uno de los principales y más importantes temas de investigación y desarrollo de la comunidad científica en los últimos años. Tener un control total de la energía, desde su producción hasta su entrega en los respectivos actuadores/ consumidores, es de trascendental importancia en los sistemas de propulsión eléctrica.

Las baterías forman parte de los componentes más importantes en los sistemas de propulsión eléctrica. Sus características principales como su densidad de energía, potencia y energía específica, costo y vida útil restringen sus aplicaciones prácticas. El tiempo de vida útil de una batería, así como el adecuado rendimiento de sus prestaciones, dependen también de las características de su cargador y su modo de uso [1].

Las baterías con mayor elección en los sistemas de propulsión eléctrica son las baterías de Iones de Litio, las cuales destacan de entre las demás por su alta potencia específica, alta densidad de energía, baja tasa de auto descarga y otros excelentes resultados [2]. Por lo que en el presente estudio se toma en cuenta las características de las baterías de iones de Litio, como muestra la Figura 1.

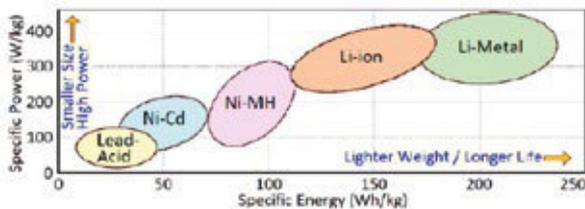


Figura 1. Energía específica vs Potencia Específica en baterías usadas en propulsión eléctrica

Un sistema de gestión de la batería se basa en el control y monitoreo de la cadena energética de la batería a través de los procesos de carga y descarga, con el fin de conseguir un uso óptimo de la energía y minimizar el riesgo de daños que afecten a la vida útil de la batería. A través del monitoreo se obtiene parámetros como el SoC, DoD y SoH [3]. El comportamiento de una batería se puede dividir en dos estados: carga o fase en la que se adquiere energía y descarga o liberación de energía. [4]

Es importante considerar que el proceso de carga no representa una simple alimentación de energía, sino que es necesario un manejo y control de voltaje y corriente suministrada, de lo contrario se puede dañar

la estructura interna de la batería y con ello reducir la vida útil de la misma [5]. La carga de una batería se puede dividir en subprocesos o fases con base al nivel de corriente y voltaje suministrado; las cuales son carga masiva, carga de absorción, carga de flotación y algunos autores han determinado una cuarta fase para cierto tipo de baterías como las de plomo ácido. [4]

La carga masiva tiene como característica principal el suministro de una corriente en su máxima capacidad de carga, esta corriente se la representa con base en la capacidad nominal de una batería expresada en amperios hora. La corriente de carga se mantendrá constante mientras el voltaje se incrementará hasta un 18.75% del voltaje nominal de la batería. Este proceso se realiza hasta obtener un 80% del SoC [6].

Una vez que el voltaje a alcanzado el voltaje de absorción (18.75% del voltaje nominal) este, se mantendrá constante mientras la corriente empieza a descender hasta llegar a un 3-4% de su capacidad nominal. La fase de absorción se lleva a cabo hasta conseguir un 100% de su SoC [7].

Una vez que la carga a llegado al 100% del SoC, el voltaje cae a un 12.5% más que su voltaje nominal [7], en las baterías de litio no es recomendable trabajar con voltajes elevados ya que el riesgo de sobrecarga es elevado [8]. La corriente se mantiene constante por debajo del 4% de su capacidad nominal. Esta fase termina cuando la batería comienza su descarga [7].

En las baterías de plomo-ácido es necesario una equalización en la carga para evitar un desbalance en sus celdas internas; esto se consigue elevando su voltaje de carga y manteniendo una corriente equivalente a 0.5 amperios. [9] La equalización en este tipo de baterías ayuda a eliminar cantidades de sulfatación acumulada; además, se recomienda equalizaciones preventivas de 1 a 2 horas en lapsos de, 30-90 días [7], observe Figura 2.

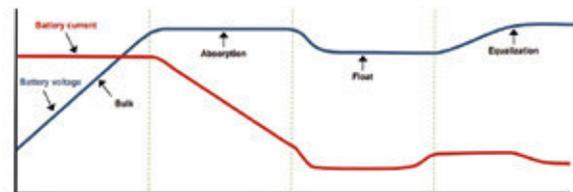


Figura 2. Curvas características de carga [9]. (Voltaje/Corriente vs tiempo)

La descarga de la batería se mide en porcentaje y se denomina profundidad de descarga o DoD por su denominación en inglés depth of discharge. El DoD y el SoC son inversamente proporcionales, es

decir, cuando el DoD es igual a 0%, se tiene un SoC del 100%. En las baterías de litio la profundidad de descarga no debe ser mayor al 80%, aunque algunos fabricantes consideran que el 15% de pérdida del SoC cuenta como un ciclo de descarga. [10]

$$DoD_{(t)} = 100\% - SoC_{(t)}$$

Donde:

$$DoD_{(t)} = \text{Profundidad de descarga}$$

$$SoC_{(t)} = \text{Estado de carga}$$

Cuando una batería se descarga, la profundidad de descarga es igual a:

$$DoD = \frac{Q_{liberada}}{Q_{nominal}} * 100\%$$

Donde:

$$DoD = \text{Profundidad de descarga}$$

$$Q_{liberada} = \text{Capacidad descargada por una cantidad de corriente.}$$

$$Q_{nominal} = \text{Capacidad nominal de la batería}$$

Existen varios métodos para la obtención del SoC, en la investigación se utiliza el denominado Coulomb Counting, el cual estima el SoC integrando la corriente suministrada o extraída de la celda durante un periodo de tiempo [11]. Este método es altamente preciso si se toma en consideración factores externos a la carga tales como temperatura, eficiencia, entre otros [12].

$$SoC = SoC_0 - \frac{1}{C_N} \int_{t_0}^t \eta_i I dt$$

Donde:

$$SoC = \text{Estado de carga}$$

$$SoC_0 = \text{Estado de carga inicial}$$

$$C_N = \text{Capacidad nominal de la batería}$$

$$\eta_i = \text{Factor de corrección de carga/ descarga}$$

$$I = \text{Corriente de carga/descarga}$$

$$t = \text{Tiempo}$$

$$t_0 = \text{Tiempo inicial}$$

Se puede aplicar un factor de corrección a la capacidad en el inicio de la prueba con base a su temperatura.

$$C = \frac{t_a}{t_s * K_t} * 100\%$$

Donde:

$$C = \text{porcentaje de capacidad a } 25\text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_a = \text{tiempo real de prueba}$$

$$t_s = \text{tiempo nominal}$$

$$K_t = \text{factor de corrección para la temperatura de celda antes de iniciar la prueba}$$

El test de servicio determina si aún satisface los requerimientos y características de su diseño. De la misma manera, está completamente ligado a las pruebas de capacidad con base a la descarga de la batería con determinado control de corriente; esto, con el fin de observar cambios a partir de sus prestaciones nominales. [13] Los indicadores como el SoC, DoD permiten realizar un análisis de la edad de la batería, por lo que su determinación permite tomar decisiones en cuanto a su mantenimiento o criterios de reemplazo. La base para la estimación del estado de vida de la batería tiene como primer fundamento la medición de un parámetro conocido como estado de salud o SoH por su denominación en inglés "State of Health"; el cual es la representación de la capacidad real de una batería en función de su capacidad nominal, debido a que la capacidad de una celda completamente cargada disminuye de acuerdo al tiempo de uso, la degradación normal de la batería y otros factores. [14]. Si el SoH es menor al 80%, la batería debe ser reemplazada [13]

Es importante aclarar que el diagnóstico y mantenimiento de las baterías se las debe realizar por celdas dado que existen errores y fallas producto de la conexión en serie de las celdas internas en los paquetes de baterías utilizadas en sistemas de propulsión eléctrica. Una falla ISC se refiere a un cortocircuito mínimo interno o por su denominación en inglés "Internal Short Circuit" y se refiere a una falla producto del diferencial de potencial entre celdas; esta falla puede desencadenar una reacción en cadena hacia toda la batería, generar fugas de energía en forma de calor y de ser el caso, incendios. [2]

## 2. Aplicación

El sistema de gestión de mantenimiento cuenta con 3 tipos de carga según la necesidad del proceso. Se varían los valores de corriente en la fase de carga masiva para obtener un tiempo corto, medio o largo de duración de carga.

Se mantiene siempre el límite de corriente de carga, la cual equivale al 30% de la capacidad nominal de la batería. Se puede cargar con mayor tasa de carga, pero se recomienda no hacerlo para no afectar la vida útil

de la batería, como se describe en la Tabla 1. [8]

Tabla 1. Valores predeterminados en carga masiva para los tres modos de carga

Parámetro	Estado	Valor	Fin de la fase
Corriente	Constante	Carga Lenta: 0.1 C <sub>20</sub>	80% de SoC
		Carga Recomendada: 0.15C <sub>20</sub>	
		Carga Rápida: 0.2C <sub>20</sub>	
Voltaje	Ascendente	Desde	Hasta
		Valor inicial	Voltaje de absorción
Temperatura	Variable	25°C-32°C	

Tabla 2. Valores predeterminados en carga de absorción para los tres modos de carga

Parámetro	Estado	Valor	Fin de fase
Corriente	Decreciente	Hasta 0.5 Amperios	100% de SoC
Voltaje	Constante	18.25% más de su Voltaje nominal	
Temperatura	Variable	25°C-32°C	

Tabla 3. Valores predeterminados en carga de flotación para los tres modos de carga

Parámetro	Estado	Valor	Fin de la fase
Corriente	Constante	0.5 A	Aplicación de descarga en la batería
Voltaje	Constante	12.5% más de su voltaje nominal	
Temperatura	Variable	25°C-32°C	

En la fase de mantenimiento de la batería se restablecen las características de voltaje y corriente mediante 3 ciclos de funcionamiento (carga y descarga), ver Figura 3.

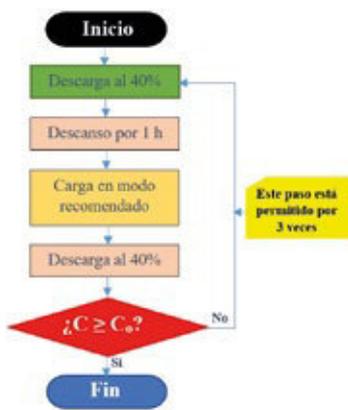


Figura 3. Ciclo mantenimiento

El diagnóstico de la vida útil se realiza mediante el cálculo del DoD y la capacidad máxima liberable con base a una descarga controlada con conteo de Coulomb.

### 3. Discusión

Al tener un control del voltaje, corriente, y temperatura con base en la constitución química de la batería en el proceso de carga, se garantiza la conservación de la vida útil y rendimiento adecuado de las prestaciones de diseño de la batería. Un cargador de corriente constante, según su valor de operación puede cargar a una batería, pero al no tomar en cuenta las fases de carga, afecta a la composición interna de la misma.

Los datos en tiempo real de voltaje y corriente permiten tener un control total del proceso de carga/ descarga en una batería, advirtiendo así de cualquier falla ya sea en su estructura interna o en el sistema de gestión.

Es necesario conocer la estructura de la batería dado que ciertos valores de voltaje y corriente son adecuados en ciertas tecnologías, pero completamente destructivos en otras; es el caso de las baterías de Ion Litio las cuales pueden cargarse de forma no recomendada con tasas de hasta 100% de su capacidad nominal, mientras que en las baterías de plomo ácido se recomienda trabajar por debajo del 20%.

La descarga de una batería no se debe realizar por debajo de un 40% de su capacidad nominal, de hacerlo, se pone en riesgo la estructura interna de la misma, lo cual puede derivarse en un ISC. Como se mencionó anteriormente un ciclo de descarga depende de las especificaciones del fabricante, el voltaje de corte es el punto límite de descarga en una batería.

Para un diagnóstico preventivo es importante realizar test de servicios y mantenimientos cada 60 días, además de llevar un control de tiempo y número de ciclos de carga y descarga.

### 4. Conclusiones

- Los valores de voltaje y corriente en un sistema de gestión de batería que involucre carga y descarga, deben ser controlados en tiempo real para asegurar la eficiencia de los procesos.
- La estructura interna de las baterías genera condiciones en cuanto a los valores de voltaje, corriente, temperatura para la carga y descarga de las mismas.
- El control del tiempo en los ciclos de carga y descarga es necesario para evitar daños y

aceleración de deterioro en las baterías por sobrecarga o sobre-descarga según sea el caso.

- La vida útil de una batería es afectada por el comportamiento de los ciclos de carga y descarga, las prestaciones para las que fueron diseñadas varían de acuerdo al tiempo, composición interna y condiciones de uso.

## 5. Referencias

- [1] S. Lacroix, E. Laboure y M. Hilairet, «An Integrated Fast Battery Charger for Electric Vehicle,» IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, n° 1, pp. 1-6, 2014.
- [2] R. Xiong, W. Sun, Q. Yu y F. Sun, «Research progress, challenges and prospects of fault diagnosis on battery system of electric vehicles,» Applied Energy, n° 279, 2020.
- [3] J. Bergveld, W. Kruijt y P. Notten, Battery Management Systems, Eindhoven: SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V., 2002.
- [4] B. Buchli, D. Aschwanden y B. J., «Battery State-of-Charge Approximation for Energy Harvesting Embedded Systems,» Lecture Notes in Computer Science, n° 7772, 2013.
- [5] J. Larminie y J. Lowry, ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY EXPLAINED, vol. Segunda Edición, Hoboken: John Wiley & Sons Ltd., 2012, pp. 19-77.
- [6] MASTERVOLT, Power Book, Damen Drukkers Werkendam, 2020.
- [7] Rolls Battery Engineering, Battery user Manual, Rolls Battery Engineering, 2019.
- [8] I. Buchmann, «Battery University,» 2020. [En línea]. Available: [https://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries). [Último acceso: 11 Diciembre 2020].
- [9] Chargetek, «Battery charger basics,» 2015. [En línea]. Available: <https://chargetek.com/basic-information.html>. [Último acceso: 11 Diciembre 2020].
- [10] I. Buchmann, «Battery University,» 2020. [En línea]. Available: <https://batteryuniversity.com/>

learn/article/discharge\_methods. [Último acceso: 11 Diciembre 2020].

- [11] J. Campillo, C. G., D. Chen, E. Dahlquist, D. Dallinger, D. Danilov, N. Ghaviha, R. Khors, S. Kouro, R. Madlener, V. Marano, S. Marwitz, M. Mierau, P. Notten, C. Ozansoy, V. Krishna, S. Rivera, A. Shafiei, T. Selim y N. Zimmerman, Technologies and Applications for Smart Charging of Electric and Plug-in Hybrid Vehicles, Suiza: Springer International Publishing Switzerland, 2017.
- [12] K. Ng, C. Moo, Y. Chen y Y. Hsieh, «Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries,» Applied energy, vol. 86, n° 9, pp. 1506-1511, 2009.
- [13] Institute of Electric and Electronic Engineers, «IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) Batteries for Stationary Applications - Amendment 1: Updated VRLA Maintenance Considerations,» IEEE, pp. 1-44, 2014.
- [14] I. Kim, «A Technique for Estimating the State of Health of Lithium Batteries Through a Dual-Sliding-Mode Observer,» IEEE transactions on Power Electronics, vol. 25, n° 4, pp. 1013-1022, 2019.

## 6. Biografía



<sup>1</sup>Diego Fernando Gallo Tafur. – Egresado de la carrera de Ingeniería Automotriz (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE).



<sup>2</sup>Jorge Stalin Mena Palacios – Ingeniero Automotriz (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Msc. Gestión de la Producción (Universidad Técnica de Cotopaxi), Msc. Manufactura y Diseño Asistido por Computador (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Diplomado Superior en Autotrónica (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Docente tiempo completo (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE)



<sup>3</sup>Cristhian Javier Valverde Estévez. – Egresado de la carrera de Ingeniería Automotriz (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE). Tecnología en Electrónica Mención Automatización y Control (Instituto Universitario Rumiñahui).

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	10 Octubre 2020
Fecha aceptación	15 Diciembre 2020