

REVISIÓN DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS ESTADOS DE CARGA Y SALUD DE UNA BATERÍA

Alina Araceli Contreras Sillero

Tecnológico Nacional de México en Celaya
M1603053@itcelaya.edu.mx

Nimrod Vázquez Nava

Tecnológico Nacional de México en Celaya
n.vazquez@ieee.org

Claudia Verónica Hernández Gutiérrez

Tecnológico Nacional de México en Celaya
cvhg@ieee.org

Jeziel Vázquez Nava

Instituto Tecnológico Superior del Sur de Guanajuato
j.vazquez@itsur.edu.mx

Joaquín Vaquero López

Universidad Rey Juan Carlos
joaquin.vaquero@urjc.es

Resumen

Actualmente las baterías juegan un papel importante en el uso de energía eléctrica, dichos dispositivos tienen aplicaciones en pequeña y grande escala; para las aplicaciones de baja potencia (baja escala) las baterías son utilizadas en dispositivos electrónicos portátiles tales como teléfono celular, computadoras, ventiladores, etc.; para las aplicaciones de alta potencia (grande escala), éstas son usadas como reserva de energía para aplicaciones automotrices, inyección de energía a la red, entre otras.

La batería es el dispositivo más utilizado para almacenar energía por su practicidad y eficiencia que otorga al usuario. Una batería envejece en proporción

a los ciclos de carga y descarga; dichos procesos degradan las sustancias químicas que componen al dispositivo de almacenamiento; una baja carga tiene como consecuencia efectos de sulfatación y estratificación que acortan la duración de la batería, mientras que la sobrecarga provoca gases y pérdidas de agua.

Debido a que la energía almacenada en una batería es limitada se vuelve importante contar con la habilidad de determinar la capacidad disponible, el estado de carga (SOC, por sus siglas en inglés) y el estado de salud (SOH, por sus siglas en inglés) de dicho dispositivo; esto asegura que la batería tenga la energía disponible para ser utilizada. En este artículo se realiza una revisión y análisis comparativo sobre los principales métodos de estimación de SOC y SOH de las baterías en general.

Palabras Claves: AHC, carga, corriente, descarga, SOC, SOF, SOH, tensión.

Abstract

Batteries currently play a significant role in the use of electric power. Such devices have applications on a small and large scale; for low power applications (low scale) batteries are used in portable electronic devices such as cell phones, computers, fans, etc.; On the other hand, for high power applications (large scale) these sources are used as energy reserve for automotive applications, energy injection to the network, among others.

The battery is the most used device to store energy by its practicality and efficiency that it grants to the user. A battery ages in proportion to the loading and unloading cycles; Such processes degrade the chemicals that make up the storage device; a low charge results in stratification and sulphation effects that shorten battery life, while overloading causes gas and water loss.

Because power is stored in a limited battery, it is important to have the ability to determine the available capacity, the state of charge (SOC), and health status (SOH) of said device; this ensures that the battery has the power available to be used. In this paper, a review and a comparative analysis of the primary methods of estimation of SOC and SOH of general batteries is presented.

Keywords: AHC, charge, current, discharge, SOC, SOF, SOH, voltage

1. Introducción

Actualmente las diferentes áreas de investigación se han centrado en la utilización de recursos renovables para la generación y conservación de energía, sin embargo, su principal inconveniente es la intermitencia en la captación de la misma, por lo cual es necesario almacenarla en los períodos en los que no sea producida [Coleman, et al., 2008]. La batería es un dispositivo que se encarga de almacenar el excedente instantáneo de energía proveniente de fuentes intermitentes y proveerla cuando éstas son incapaces de satisfacer la demanda.

Las baterías han cobrado importancia en varias aplicaciones, como sistemas híbridos para la generación de energía, pues estos necesitan dispositivos de respaldo dónde almacenar la energía recogida; recientemente en la industria automotriz los acumuladores cumplen con la función de reducir la emisión de dióxido de carbono producido por el combustible, pues el objetivo a futuro es construir automóviles que usen energía de una batería en lugar de combustible tal como la gasolina o el diesel [Galeotti, et al., 2015].

El ciclo de carga y descarga de una batería tiene impacto en la vida de la misma ya que la sobrecarga de ésta provoca gases y pérdida de agua; por el contrario, la baja carga causa sulfatación, lo que reduce el área activa de las placas y puede incluso causar deformación en éstas.

Debido a la importancia de su papel en el funcionamiento de los sistemas que soportan, las baterías se han convertido en parte importante en la gestión de los mismos, por lo que la monitorización de su estado es relevante pues ayuda a evitar condiciones peligrosas de operación, a aumentar la vida útil de la batería, hacer eficiente su carga y descarga y prolongar su vida útil [Coleman, et al., 2008]. La caracterización de una batería se considera completa cuando se pueden medir sus 3 parámetros principales [Marchildon, et al., 2015].

Capacidad Ampere-Hora

(AHC, por sus siglas en inglés): Es la carga total que se le puede demandar a una batería completamente cargada bajo condiciones de carga definidas [Coleman, M., et al. 2008].

Estado de carga:

Se entiende como la cantidad de carga aún disponible en relación con la capacidad (AHC) de la batería. Sin embargo, la capacidad del acumulador no es del todo constante; algunos parámetros como temperatura, corriente de descarga, voltaje de corte y el estado de salud de la batería influyen en la capacidad de la misma. El estado de carga puede definirse de formas diferentes [Sauer, D. U., et al., 1999]. Tradicionalmente estado de carga (SOC) es la relación entre la diferencia de la capacidad nominal y la capacidad restante por un lado y la capacidad nominal por otro lado. El estado de carga es 1 cuando se alcanza el estado completo de carga y 0 después de una descarga completa.

$$SOC = \frac{AHC_{NOM} - Q_B}{AHC_{NOM}} \quad (1)$$

Donde:

- SOC Estado de carga de la batería
- Q_B Carga restante
- AHC_{NOM} Capacidad nominal Hora- Ampere

La capacidad práctica es siempre menor que la capacidad medida, ésta es usada comúnmente en sistemas fotovoltaicos.

Estado de salud (SOH, por sus siglas en inglés)

Se define como la razón entre la capacidad medida y la capacidad nominal. El estado de salud es 1, cuando ambas capacidades son iguales. Por definición, una batería está al final de su vida útil en un estado de salud de 0,8. [Sauer, et al., 1999]

$$SOH = \frac{AHC_{Aged}}{AHC_{Nom}} \quad (2)$$

La determinación del estado de carga de una batería no es suficiente para predecir el perfil general de la misma debido a su envejecimiento y deterioro con el paso del tiempo. La determinación del SOC no reconoce el cambio en la máxima capacidad útil de una batería; por lo tanto, se produce un error en la predicción de la potencia suministrada, éste se propaga conduciendo a errores mayores a

medida que disminuye el estado de salud; por tanto, la determinación de SOH de una batería es esencial en un sistema pues ayuda de una manera más eficaz a determinar las capacidades de energía de la batería. Adicionalmente el SOH permite establecer el régimen de carga adecuado y ayuda en la determinación de la capacidad de descarga o del perfil de potencia que queda en la batería

A lo largo de este artículo se dan a conocer los principales métodos para la determinación de estado de carga y salud de una batería en general, así mismo se realiza un análisis comparativo entre dichos métodos mencionando sus ventajas, desventajas y algunas aplicaciones de los mismos. Se pretende facilitar al usuario el conocimiento de estos métodos para que invierta la mayor parte del tiempo en la técnica que cumpla con los requerimientos de su sistema.

2. Métodos

Actualmente se han propuesto diferentes maneras para la determinación del estado de carga y el estado de salud de una batería. A continuación, se describen las principales técnicas para la estimación de dichos parámetros, así como algunas de sus aplicaciones.

Estimación por modelo eléctrico

Cada batería puede considerarse como un circuito eléctrico y los parámetros eléctricos se pueden modelar por diferentes métodos de acuerdo a la teoría de operación, todos ellos se basan en circuitos eléctricos equivalentes [Marchildon, et al., 2015].

Para representar las características eléctricas de las baterías se usan distintos modelos eléctricos: El modelo más simple consta de una fuente de voltaje ideal en serie con una resistencia interna, sin embargo éste modelo no tiene en cuenta el estado de carga de la batería. Otro modelo se basa en una tensión de circuito abierto en serie con resistencia y en paralelo con circuitos RC paralelos con la llamada impedancia Wartburg [Coleman, et al. 2008]. La identificación de todos los parámetros de este modelo se basa en una técnica bastante complicada llamada impedancia espectroscópica [Tremblay, et al., 2007].

Por otro lado, el modelo dinámico de la batería de la figura 1 considera el deterioro y el efecto de la temperatura. Se puede apreciar que este modelo se compone de una serie de resistencias y arreglos RC que representan distintas tensiones y/o impedancias internas del dispositivo de almacenamiento.

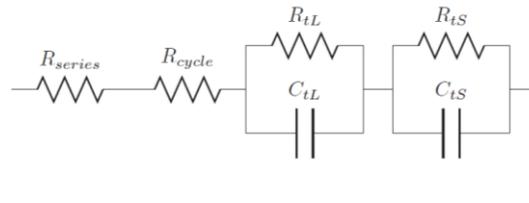


Figura 1 Modelo dinámico de la batería.

En la figura 1 R_{Series} representa la tensión de caída instantánea, R_{Cycle} representa una resistencia cíclica y R_{tL} , C_{tL} , R_{tS} , C_{tS} representan impedancias transitorias larga y corta respectivamente.

Los componentes RC en paralelo son convenientes para tomar en cuenta las pérdidas en la batería. Cabe mencionar que de acuerdo al valor de la carga en la batería, los valores de componentes de la figura 1 van cambiando [Purwadi, et al., 2014].

Los diferentes modelos eléctricos comparten una importante característica y es que hay una gran cantidad de simuladores que pueden realizar un análisis detallado de estos (de los más conocidos son Matlab, PowerSim, etc.), lo cual es una ventaja sobre otros modelos. Sin embargo, tener distintos modelos (uno para cada tipo de batería) representa un problema de estandarización; adicionalmente el modelado de cada uno de los parámetros del circuito eléctrico requiere de conocimientos electroquímicos y matemáticos, agregando cierto grado de complejidad en comparación con otras técnicas, lo cual es una desventaja para el uso de ésta [Piller, et al., 2001].

Técnica por Resistencia Interna

Las técnicas de impedancia han sido utilizadas para investigar la dinámica de las baterías, así como para determinar su estado de carga (SOC) y de salud

(SOH). La impedancia es denotada como un parámetro eléctrico, también llamada resistencia interna, (cuyo significado depende de la técnica de medición) ésta es definida como la función de transferencia entre la diferencia de potencial y la corriente, que usualmente es una cantidad compleja y se mide usando un analizador de respuesta de frecuencia [Huet, 1998].

La resistencia interna varía con el estado de carga de la batería y los cambios más grandes son notados en baterías de níquel. En la figura 2 se observa la resistencia interna de una batería de níquel-metal cuando está descargada, durante la carga y a plena carga después de un período de reposo de 4 horas. Los niveles de resistencia son más altos en estado bajo de carga e inmediatamente después de cargar. Contrariamente a la creencia popular, el mejor rendimiento de la batería no se logra inmediatamente después de una carga completa, sino después de un período de descanso de unas pocas horas. Durante la descarga, la resistencia interna de la batería disminuye, alcanza el punto más bajo a la mitad de carga y empieza a subir de nuevo (línea punteada).

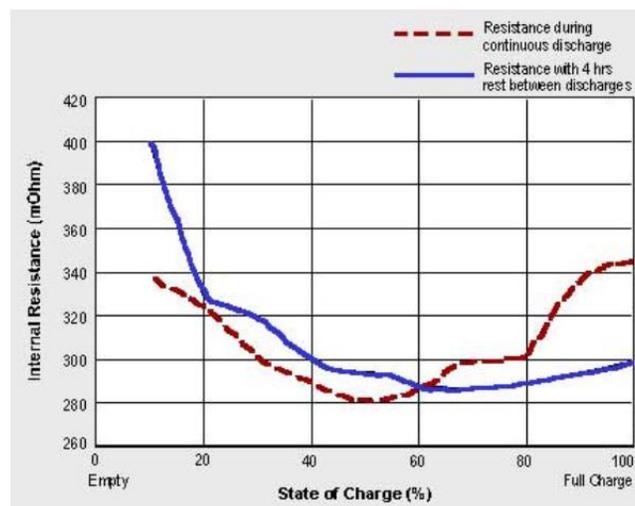


Figura 2 Resistencia interna de una batería de níquel-metal.

La resistencia interna proporciona información valiosa sobre una batería, como indicaciones de lectura altas al final de su vida útil (SOH). Esto es especialmente cierto con los sistemas basados en níquel [Battery University, 2017], [Coleman, et al., 2008].

La prueba de resistencia interna consiste en aplicar una carga breve a la batería y medir los cambios de voltaje y corriente para determinar su resistencia interna; ésta aumentará con la edad debido a la degradación química del material activo, a medida que aumenta la resistencia en el acumulador disminuye el SOC. Cabe hacer mención que esta técnica no considera los cambios de temperatura, por lo cual las lecturas de corriente y voltaje se ven afectadas si dichos parámetros suelen variar constantemente [Piller, et al., 2001].

Prueba de Descarga Completa

El modelo de descarga es usado por muchos fabricantes, pues es la prueba de calidad que se realiza a una nueva batería para determinar su capacidad AHC nominal. Este tipo de prueba implica aplicar una descarga a la batería cuando se encuentra completamente cargada y medir la carga entregada, ésta se compara con la obtenida de una prueba de descarga completa cuando la batería era nueva [Coleman, et al., 2008].

La batería es descargada usando su índice de corriente (CR, por sus siglas en inglés) mientras que el voltaje de la batería se mide durante las 'n' horas requeridas para realizar la prueba. Si la tensión de la batería, al final de la prueba, es más alta que la mínima especificada, entonces se reconoce que la batería tiene la clasificación CR. Las especificaciones más elaboradas incluirán varios gráficos según diferentes clasificaciones CR.

Las estimaciones de SOC se realizan comparando con el gráfico suministrado por el fabricante. Aunque esto parece sencillo y directo, hay tres dificultades en el uso de este método: la primera es que los gráficos proporcionados por el fabricante muestran el voltaje bajo una carga específica; se requiere hacer extrapolaciones si la carga real es diferente de la proporcionada por la hoja de datos. La segunda es que los gráficos no proporcionan información sobre el voltaje de la batería sin carga. Finalmente, este modelo no considera el SOH de las baterías.

Esta técnica normalmente incluye una recarga consecutiva, la cual es demasiado lenta para ser considerada en la mayoría de las aplicaciones, además durante la prueba la función del sistema es interrumpida [Marchildon, et al. 2015].

Método de 2 Pulsos

Los parámetros tales como AHC, SOC y SOH de una batería están relacionados con la caída de tensión después de cada pulso de descarga de corriente. El primer pulso resetea a la batería de su historia anterior y el segundo establece parámetros que tienen una relación directa con el estado de carga y salud de ésta.

El método consta de tres pasos (figura 3).

- Se comienza con una batería de historia desconocida, la cual debe estar en circuito abierto, la duración mínima de éste dependerá del perfil de carga de la batería y de los pulsos de corriente.
- Un pulso conocido de corriente de carga se aplica a la batería durante 10 s, aunque puede ser tan corto como 3 s, pero los estudios anteriores demuestran que uno de 10 s da resultados consistentes [Coleman, et al. 2008]. La tensión ΔV_1 en el transcurso del primer pulso decae, después de que el pulso es eliminado el voltaje se recupera durante otros 10 s a V_{MAX}
- Un segundo pulso idéntico al primero se aplica, ΔV_2 decae de la misma manera que ΔV_1 recuperándose y dando como resultado V_{MIN} .

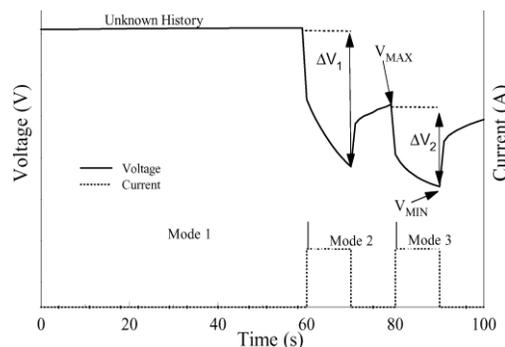


Figura 3 Gráfica para el método de 2 pulsos.

Una vez obtenidos los valores de I , V_{MAX} y Δv_2 , estos pueden ser interpretados para la obtención del estado de la batería, como se muestra a continuación:

- Paso 1.- El voltaje de equilibrio V_{EMF} es deducido de V_{MAX} y la hoja de datos del fabricante.

- Paso 2.- El SOC de la batería es deducido de V_{EMF} y de la hoja de datos del fabricante.
- Paso 3.- El C_R es deducido de Δv_2
- Paso 4.- El AHC se obtiene del paso 1.
- Paso 5.- El SOH está dado por el paso 3

La relación entre los parámetros obtenidos por medio de la gráfica mostrada en la figura 3 y los parámetros de estimación SOC y SOH, pueden expresarse de la siguiente manera:

$$SOC = \frac{V_{M\acute{a}x} + \beta - EMF_{Min}}{\sigma} \quad (3)$$

$$SOH = \frac{AHC_{Aged}}{AHC_{Nom}} \quad (4)$$

Donde:

σ Pendiente entre el % SOC y el voltaje en la batería.

β "Offset" que el voltaje de equilibrio puede tener.

β y σ dependen del tipo de batería, pero de manera general la relación se mantiene [Colleman, et al. 2008].

Un aspecto importante de la técnica de 2 pulsos es que se puede realizar en menos de 5 minutos una vez que la batería haya sido caracterizada. Hay que tener en cuenta que para esto se requieren de pruebas preliminares donde es posible utilizar otras técnicas tales como el conteo de Coloumb, descarga completa, etc. con el fin de obtener los coeficientes β y σ por lo que se requiere más tiempo para dicho proceso [Marchildon, et al., 2015], [Coleman, et al., 2008].

Conteo de Coulomb

Computadoras, equipos médicos y otros dispositivos portátiles utilizan el conteo de Coulomb para estimar el estado de carga de una batería, midiendo la corriente de entrada y salida. El voltaje y la resistencia interna de una batería son dos parámetros que se pueden obtener fácilmente y por lo tanto son convenientes para la estimación de SOC, sin embargo, estos no sólo cambian irregularmente

con la profundidad de descarga (DOD, por sus siglas en inglés), la velocidad (carga / descarga) y la temperatura ambiente, sino que también dependen en gran medida del estado de salud (SOH) de las baterías [Battery University, 2017].

El método de conteo de Coulomb calcula la capacidad restante acumulando la carga transferida dentro o fuera de la batería.

En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo para la estimación de SOC. Inicialmente se recuperan los datos históricos de la batería (SOC, SOH); para una batería nueva, se suponen al 100%.

La estimación se inicia probando el voltaje en circuito abierto con el fin de verificar que la batería no se encuentre por debajo del voltaje de corte establecido por el fabricante.

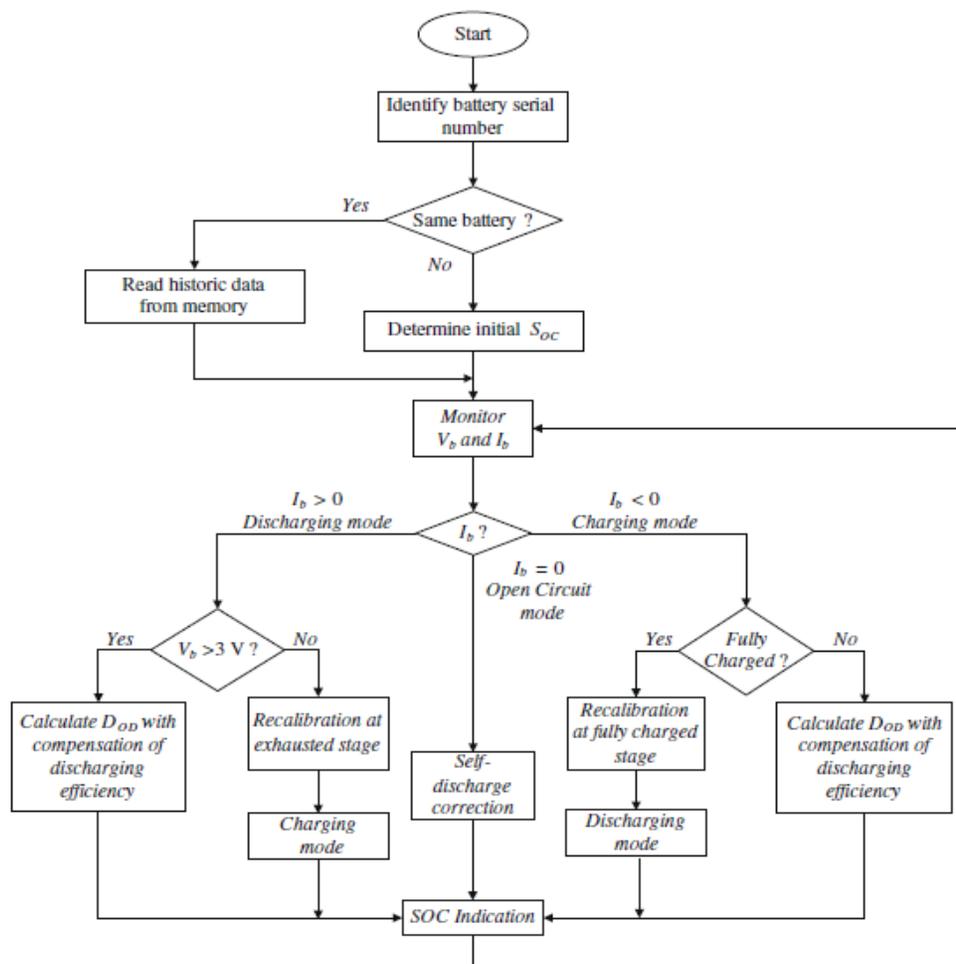


Figura 4 Diagrama de flujo del método de estimación de conteo de Coulomb mejorado.

El proceso de estimación se basa en el control de la tensión (V_B) y corriente (I_B) de la batería; su modo de funcionamiento puede ser conocido de acuerdo a la cantidad y dirección de la corriente. Cuando la batería está en circuito abierto con corriente cero, se realiza una compensación de auto descarga para la realización de una corrección de los estados iniciales de carga y salud de la batería.

Se dice que cuando el voltaje V_B sea menor al voltaje de corte (especificado en la hoja del fabricante) durante la descarga, la batería ya no puede ser usada y se debe recargar. Por otro lado, la batería está completamente cargada si V_B alcanza el límite superior especificado en la hoja de datos e $I_B=0$.

Así mismo el SOH y SOC son calculados con:

$$SOC_{(t)} = SOH_{(t)} - DoD_{(t)} \quad (5)$$

$$SOH = \frac{Q_{Máx}}{Q_{Rated}} \quad (6)$$

Donde:

$DoD_{(t)}$: Profundidad de descarga

$Q_{Máx}$: Carga Máxima

Q_{Rated} : Carga Nominal

Al final del ciclo de carga se obtiene un nuevo SOH, acumulando la suma de la carga total puesta en la batería.

Si bien ésta es una solución elegante a un problema retador, las pérdidas presentadas en el proceso reducen la energía total entregada y lo que está disponible al final es siempre menor de lo que se tenía en un inicio. A pesar de esto, la técnica del conteo de Coulomb funciona bien, especialmente con baterías de Li-ion que ofrecen alta eficiencia colombina y baja auto-descarga. [Ng, et al., 2009].

Técnica de Voltaje en Circuito Abierto

Medir el estado de carga por voltaje es simple, pero puede ser impreciso porque los materiales de las celdas y la temperatura se ven afectados. El error más evidente del estado de carga basado en voltaje se produce al alterar una batería

con una carga o descarga. La agitación resultante distorsiona el voltaje y ya no representa una referencia SOC correcta. Para obtener lecturas precisas, la batería necesita descansar en el estado de circuito abierto durante al menos cuatro horas; aunque los fabricantes de baterías recomiendan 24 horas para el ácido de plomo. Esto hace que el método SOC basado en voltaje sea poco práctico para una batería en servicio activo [Battery University, 2017].

La curva de descarga de una batería depende de su química. Mientras que el SOC basado en voltaje funciona razonablemente bien para una de plomo-ácido, para las de níquel y litio el método de voltaje es impráctico.

Cuando se mide la SOC mediante voltaje de circuito, el voltaje de la batería debe ser "flotante" sin carga. Sin embargo, para aplicaciones automotrices las cargas parásitas para las funciones de limpieza ponen la batería en una condición de voltaje de circuito casi cerrado (CCV, por sus siglas en inglés).

A pesar de las imprecisiones, la mayoría de las mediciones SOC dependen, en parte o completamente, del voltaje debido a la simplicidad. El SOC basado en voltaje es popular en sillas de ruedas, patinetas y coches de golf. Algunos sistemas de gestión de baterías (BMS por sus siglas en inglés) innovadores usan los períodos de descanso para ajustar las lecturas SOC como parte de una función de "aprendizaje".

La medición de voltaje de circuito abierto suele combinarse con otras técnicas para asegurar una indicación continua de SOC, en tal combinación, la medición de voltaje de circuito abierto puede utilizarse para ajustar las otras técnicas. Finalmente, el desgaste químico que se produce en la batería debido a la carga y descarga de la misma, tales como la concentración de ácido y las estratificaciones ácidas pueden generar resultados inexactos [Battery University, 2017].

3. Resultados

Análisis Comparativo de Métodos

Para el análisis entre los diferentes métodos de estimación se toman en cuenta los siguientes criterios: complejidad, exactitud y monitoreo. En la tabla 1 se muestra la comparación entre cada una de las técnicas anteriormente descritas.

Tabla 1 Comparación de Métodos de estimación de estados de una batería.

Método de Estimación	Ventajas	Desventajas	Parámetros Obtenidos	Monitoreo	Aplicaciones
Modelo Eléctrico	*Cuenta con varias plataformas de software para su simulación. *Suelen dar una buena aproximación.	*Problemas de estandarización *Requiere de conocimientos electroquímicos y eléctricos para la extracción de los parámetros	SOC, SOH	N/A (Sim.)	Aplicaciones de diseño eléctrico y software
Impedancia Interna	*Fácil implementación	*Carece de exactitud pues considera parámetros que varían con la temperatura.	SOH, SOC	Fuera de línea	Baterías comerciales
Descarga Completa	*Método Estándar elegido por los fabricantes comerciales por su sencilla aplicación.	, *Demanda mucho tiempo. *Son necesarias extrapolaciones si la carga difiere a las consideradas por el fabricante.	SOH	Fuera de línea	Baterías comerciales.
Métodos 2 Pulsos	*Una vez encontrados los coeficientes es rápido de implementar. *Resultados consistentes	*Requiere de tiempo, así como de apoyo de otras técnicas de estimación para encontrar los coeficientes.	SOC, SOH	Fuera de línea	Banco de baterías
Conteo de Coulomb	*Implementación Sencilla *Alta Eficiencia Colombiana.a potencia media	*Es sensible a desbalances de carga, temperatura y pérdidas internas.	SOC, SOH	En línea	Computadoras, equipos médicos, elementos portátiles.
Técnica de voltaje en circuito abierto	*Fácil Implementación	*Solo funciona en circuito abierto y después de un tiempo de reposo. *Interrupción de las funciones del sistema.	SOC	Fuera de línea	Aplicaciones domésticas

4. Discusión

Para poder considerar que un método es mejor que otro, es importante conocer la aplicación del mismo, pues las técnicas más sencillas, aunque carezcan de exactitud, poseen la ventaja de su facilidad y pueden ser útiles para aplicaciones sencillas donde el usuario sólo requiera un estimado de los estados de carga y salud; por el contrario, no podemos tener el mismo criterio en aplicaciones fotovoltaicas o en micro redes donde las baterías juegan un papel crítico, pues se

usan como almacenadores de energía, cuando se carece de ésta, en esos casos se aprecia la exactitud y el monitoreo incluso cuando el método sea complejo.

Sin embargo, la técnica más utilizada actualmente es el conteo de Coulomb pues es el método más directo, transparente y cuyos resultados son satisfactorios a pesar de sus desventajas [Battery University,2017].

5. Conclusiones

En aplicaciones donde se utilizan baterías es importante conocer el estado de las mismas, para asegurar que la energía requerida por el sistema se encuentra disponible. A lo largo de este documento se realizó una revisión de las técnicas existentes para el cálculo del estado de carga y del estado de salud de la misma.

La determinación del SOC de una batería no es suficiente para determinar su estado, pues éste no reconoce el cambio en la máxima capacidad útil del acumulador; por lo tanto, se produce un error en la predicción de la potencia suministrada, este error se propaga conduciendo a otros mayores a medida que disminuye el estado de salud, de ahí la importancia de la obtención del mismo. La estimación del SOH de una batería es esencial pues ayuda de una manera más eficaz a determinar las capacidades de energía de la batería. Adicionalmente el SOH permite establecer el régimen de carga adecuado y ayuda en la determinación de la capacidad de descarga o del perfil de potencia que queda en la batería.

Entre los métodos descritos, el de conteo de Coulomb es la técnica que presenta mayores prestaciones, debido a que es funcional para todo tipo de baterías; el cálculo es bastante eficiente en media potencia a pesar de factores cambiantes tales como la temperatura y la impedancia, permite conocer el estado de la batería en todo momento incluso cuando está en funcionamiento, es de fácil aplicación y de bajo costo, sin contar que este método puede ser complementado por métodos que le permitan “re-calibrarse” en alguno de sus estados .

Con base en el análisis comparativo realizado se concluye que la selección de la mejor técnica para estimar el SOC y SOH de una batería depende la aplicación donde éste se requiera y de los parámetros a considerar de la misma.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Battery University, Battery University: 2017: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge_
- [2] Coleman, M., Hurley, W. G., & Lee, C. K., An improved battery characterization method using a two-pulse load test. *IEEE Transactions on energy conversion*, 23(2), pp. 708-713, 2008.
- [3] Ehret, C., Piller, S., Schroer, W., & Jossen, A., State-of-charge determination for lead-acid batteries in PV-applications. In *Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Glasgow (Vol. 2486, pp. 2489, 2000.*
- [4] Galeotti, M., Giammanco, C., Cinà, L., Cordiner, S., & Di Carlo, A., Synthetic methods for the evaluation of the State of Health (SOH) of nickel-metal hydride (NiMH) batteries. *Energy Conversion and Management*, 92, pp. 1-9, 2015.
- [5] Huet, F., A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries. *Journal of power sources*, 70(1), pp. 59-69, 1998.
- [6] Leksono, E., Haq, I. N., Iqbal, M., Soelami, F. N., & Merthayasa, I. G. N. (2013, November). State of charge (SoC) estimation on LiFePO 4 battery module using Coulomb counting methods with modified Peukert. In *Rural Information & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology (rICT & ICeV-T), 2013 Joint International Conference on IEEE*, pp. 1-4, 2013.
- [7] Marchildon, J., Doumbia, M. L., & Agbossou, K., SOC and SOH characterisation of lead acid batteries. In *Industrial Electronics Society, IECON 2015-41st Annual Conference of the IEEE*, pp. 001442-001446, 2015.
- [8] Ng, K. S., Moo, C. S., Chen, Y. P., & Hsieh, Y. C., Enhanced coulomb counting method for estimating state-of-charge and state-of-health of lithium-ion batteries. *Applied energy*, 86(9), pp. 1506-1511, 2009.

- [9] Piller, S., Perrin, M., & Jossen, A., Methods for state-of-charge determination and their applications. *Journal of power sources*, 96(1), pp. 113-120, 2001.
- [10] Purwadi, A., Rizqiawan, A., Kevin, A., & Heryana, N., State of Charge estimation method for lithium battery using combination of Coulomb Counting and Adaptive System with considering the effect of temperature. In *Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE), 2014 International Conference on IEEE*, pp. 91-95. 2014.
- [11] Sauer, D. U., Bopp, G., Jossen, A., Garche, J., Rothert, M., & Wollny, M., State of Charge—What do we really speak about. In *The 21st international telecommunications energy conference*, pp. 6-9, 1999.
- [12] Tremblay, O., Dessaint, L. A., & Dekkiche, A. I., A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles. In *Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE*, pp. 284-289, 2007.