

## Medidor de la Capacidad y Estado de Salud de las Baterías de lomo-ácido.

Rosmari Vera Escurra <sup>a</sup>, Gustavo R. Detke <sup>a</sup>, Ricardo A. Korpys <sup>a</sup>, Lucas E. Horianski <sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: [rosmarivera\\_22@hotmail.com](mailto:rosmarivera_22@hotmail.com), [gdetke@gmail.com](mailto:gdetke@gmail.com), [korpys@fio.unam.edu.ar](mailto:korpys@fio.unam.edu.ar),  
[lucas.horianski@fio.unam.edu.ar](mailto:lucas.horianski@fio.unam.edu.ar)

### Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de un prototipo funcional destinado a estimar la capacidad y la vida útil restante de baterías de plomo-ácido, ampliamente utilizadas para el almacenamiento de energía en múltiples aplicaciones. Con el transcurso del tiempo y el uso, estas baterías sufren un deterioro progresivo e irreversible en su capacidad de almacenamiento, lo que compromete su rendimiento. Por ello, resulta fundamental contar con herramientas que permitan conocer cuánta energía útil puede suministrar una batería en condiciones específicas.

El dispositivo propuesto permite estimar los parámetros clave conocidos como Estado de Carga (State of Charge, SoC) y Estado de Salud (State of Health, SoH), mediante la medición de corriente, tensión y temperatura. Para ello, se emplea el circuito integrado DS2438 (Smart Battery Monitor), que proporciona la información necesaria con precisión. Los datos obtenidos son visualizados en un display alfanumérico, mientras que la interacción del usuario con el sistema se realiza mediante un teclado matricial. La gestión de todos los periféricos y cálculos necesarios está a cargo de un microcontrolador Arduino Mega 2560. El sistema incorpora además una carga variable, que permite configurar el valor de corriente deseado para el ensayo.

*Palabras Clave* – Almacenamiento, Batería, Carga, Energía, Estado, Medición, Plomo – ácido, Salud, SoC, SoH.

### 1 Introducción

Las baterías de plomo-ácido representan una de las tecnologías más antiguas y consolidadas en el almacenamiento electroquímico de energía. Desde su invención por Gaston Planté en 1859, han sido ampliamente utilizadas en múltiples sectores debido a su bajo costo, fiabilidad y capacidad para suministrar altas corrientes instantáneas. Su versatilidad les ha permitido permanecer vigentes frente al avance de nuevas tecnologías, ocupando un rol central en aplicaciones como el arranque de vehículos, sistemas de respaldo energético (UPS), almacenamiento en energías renovables y equipos industriales.

El funcionamiento de estas baterías se basa en reacciones de oxidación-reducción reversibles entre plomo (Pb), dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como electrolito. A través de estos procesos, la batería convierte energía química en energía eléctrica (descarga) y almacena en forma de energía química la energía eléctrica (carga) de manera eficiente.

Estos ciclos de carga y descarga no son completamente reversibles, existe una degradación que afecta al desempeño de la batería y limita su vida útil. En las aplicaciones con baterías interesa conocer la energía disponible, para ello hay dos parámetros claves: el estado de carga y el estado de salud. El primero nos proporciona una relación directa con la energía química almacenada en un momento y bajo condiciones determinadas y el segundo cuánto de su capacidad de almacenamiento original está disponible.

La determinación precisa del Estado de Carga y del Estado de Salud de una batería de plomo-ácido es fundamental para su correcta gestión, especialmente en aplicaciones críticas como sistemas de respaldo energético, vehículos eléctricos y microrredes.

En el presente trabajo se busca un método para estimar estos parámetros y así disponer de una herramienta que ayude a la toma de decisiones con respecto al mantenimiento y reemplazo de las baterías.

## 2 Desarrollo

### 2.1 Funcionamiento de las baterías de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido convierten energía química en energía eléctrica a través de reacciones electroquímicas reversibles entre plomo (Pb), dióxido de plomo (PbO<sub>2</sub>) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Durante la descarga, el electrodo negativo se oxida y el positivo se reduce, generando sulfato de plomo (PbSO<sub>4</sub>) y agua. Este proceso disminuye la concentración de ácido sulfúrico y, por tanto, la tensión de la batería. Al aplicar una corriente externa durante la carga, se revierte esta reacción, regenerando los reactivos originales. Sin embargo, este ciclo no es completamente reversible y con el tiempo se observa una degradación progresiva que afecta su capacidad y vida útil.

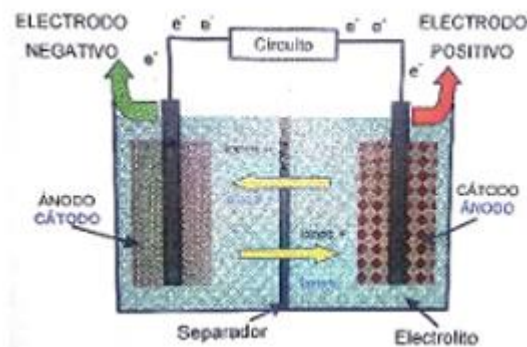


Figura 1: Esquema interno de una batería.

### 2.2 Parámetros eléctricos y estado de salud

El rendimiento de estas baterías se caracteriza mediante parámetros eléctricos como tensión nominal, impedancia interna y capacidad nominal. El Estado de Carga (SoC) representa el porcentaje de energía disponible, mientras que el Estado de Salud (SoH) indica cuánta capacidad útil resta respecto a su valor original. Estos parámetros permiten determinar el grado de envejecimiento y predecir el rendimiento futuro de la batería.

### 2.3 Técnicas de estimación del SoC y SoH

Los métodos clásicos incluyen la medición de la tensión en circuito abierto, el conteo de carga (Coulomb counting) y la medición de la densidad del electrolito. Sin embargo, presentan limitaciones de precisión o aplicabilidad. Por ello, se ha adoptado un enfoque basado en mediciones dinámicas usando sensores integrados, complementado con modelos eléctricos y algoritmos de estimación

embebidos. Este enfoque permite una evaluación más precisa del estado de la batería, incluso en baterías selladas tipo VRLA.

#### 2.4 Arquitectura del sistema propuesto

El prototipo desarrollado se compone de cuatro bloques funcionales: adquisición de datos; procesamiento y estimación; interfaz de usuario; y carga electrónica de ensayo. Para la adquisición de datos se emplea el circuito integrado DS2438 de Maxim Integrated [6], que permite censar voltaje, corriente y temperatura en forma precisa. Este dispositivo se comunica mediante el protocolo 1-Wire con un microcontrolador ATmega2560 (Arduino Mega) [5], encargado de procesar los datos y ejecutar las estimaciones de SoC y SoH.

El sistema cuenta con una interfaz de usuario compuesta por un display LCD alfanumérico 16x2 y un teclado matricial 4x4 que permite la interacción. Asimismo, se dispone de una carga variable para configurar diferentes condiciones de ensayo, posibilitando así mediciones controladas y representativas.

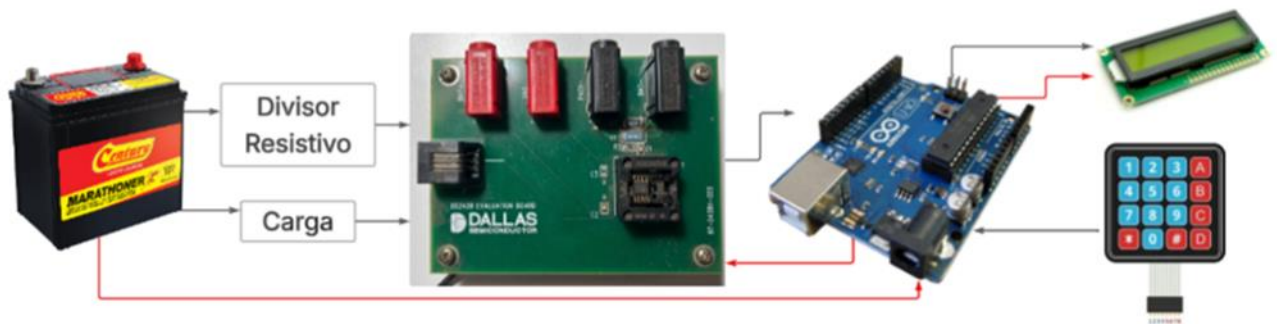


Figura 2: Diagrama del sistema propuesto.

#### 2.5 Integración del DS2438 y el microcontrolador

El DS2438 se conecta al microcontrolador a través de una línea de datos 1-Wire y es alimentado externamente junto con una resistencia de censado para la medición de corriente. La información es leída mediante comandos definidos del protocolo y almacenada en registros internos del DS2438. La capacidad acumulada es evaluada mediante los acumuladores internos del circuito, y los valores se ajustan mediante calibración de offset. La programación en el ATmega2560 permite controlar la comunicación, decodificar las mediciones y presentarlas en el display.

#### 2.6 Pruebas preliminares y validación

Se realizaron pruebas experimentales con una fuente de laboratorio regulable, observando que el sistema fue capaz de medir temperatura, tensión y corriente de manera satisfactoria. En una primera etapa, se verificó la comunicación y el funcionamiento del DS2438 de forma aislada. Posteriormente se integraron el display y el teclado matricial, logrando una interfaz operativa.

## 2.7 Imagen del prototipo

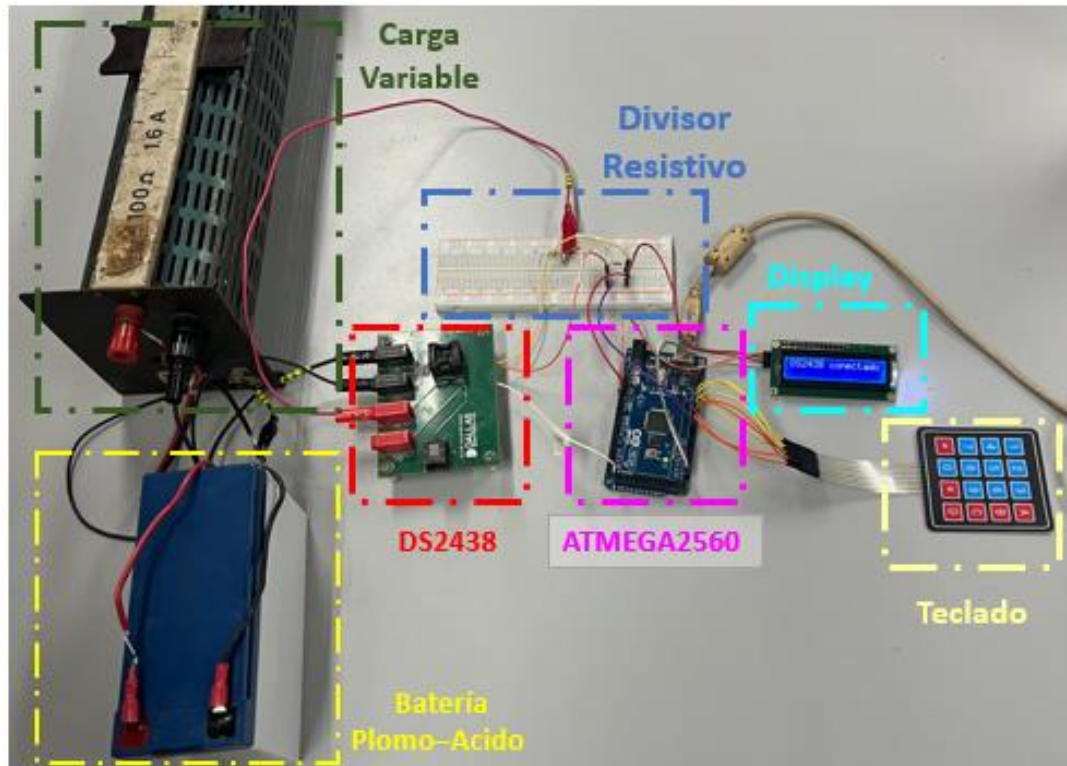


Figura 3: Prototipo del proyecto.

### 3 Conclusiones y discusiones

El proyecto se encuentra actualmente en estado de ajuste del prototipo, a pesar de esto, podemos concluir que el uso de circuitos integrados especializados, en este caso el DS2438, facilitan la tarea de sensado y cálculo de parámetros. Los protocolos de comunicación estandarizados entre dispositivo y el desarrollo de librerías para su uso facilitan mucho a la hora de realizar ajustes y pruebas sobre el prototipo, a pesar de ello el conocimiento sobre estos protocolos es indispensable a la hora de detectar fallas.

Contar con un entorno de desarrollo como el de Arduino agiliza la prueba y corrección del código.

En la etapa de desarrollo del prototipo, los periféricos se pueden usar como herramientas para comunicarnos con el microcontrolador directamente.

#### 4 Referencias

- [1] Guembe Zabaleta, J. *Cálculo del estado de carga en baterías de plomo-ácido: diseño y validación experimental*. Trabajo Fin de Grado, Universidad Pública de Navarra, España, 2016.
- [2] *Baterías de Plomo-Ácido – Documento técnico*. Disponible en: [https://www.olaje.com/documentos/baterias\\_plomo.pdf](https://www.olaje.com/documentos/baterias_plomo.pdf).
- [3] LinkedIn. “¿Cómo medir el estado de salud de una batería de plomo-ácido?” Disponible en: <https://www.linkedin.com/advice/0/how-can-you-estimate-lifespan-lead-acid-battery-ptqec>
- [4] H. A. Kiehne, *Battery Technology Handbook*, 2nd ed. New York, NY, USA: Marcel Dekker, 2003. ISBN: 0-8247-4249-4.
- [5] Atmega640/1280/1281/2560/2561 Datasheet, Rev. 2549Q–AVR–02/2014, Microchip Technology Inc., San Jose, CA, USA, 2014. [Online]. Available: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561\\_datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf).
- [6] DS2438: Smart Battery Monitor Data Sheet, Rev. 2, Analog Devices Inc., Dallas, TX, USA, July 12, 2005. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS2438.pdf>.