

## Estudio y análisis del estado de carga y descarga de baterías de plomo-ácido usando técnicas de filtro promedio móvil

Study and analysis of the of charge and discharge state of lead-acid batteries using moving average filter techniques

Miguel Ángel Hernández Epigmenio <sup>1</sup>

Irma Martínez Carrillo <sup>2</sup>

Carlos Juárez Toledo <sup>3</sup>

Ulices Camacho Altamirano <sup>4</sup>

Universidad Autónoma del Estado de México,  
Unidad Académica Profesional Tianguistenco,  
MÉXICO

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-1683-4080 / mahernandez001@profesor.uaemex.mx

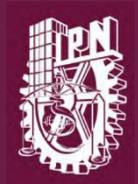
<sup>2</sup> ORCID: 0000-0002-7952-4418 / imartinezca@uaemex.mx

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0002-7440-3246 / cjuarez@uaemex.mx

<sup>4</sup> ORCID: 0000-0002-4902-6936 / ucamachoa@uaemex.mx

<https://cientifica.site>

Recibido 13/06/2025, aceptado 15/09/2025.



## Resumen

Las baterías de plomo-ácido se han convertido en los módulos de almacenamiento de energía más populares, siendo utilizadas en diferentes aplicaciones desde una simple calculadora hasta en vehículos eléctricos, robots y satélites controlados por la inteligencia artificial. Su alta capacidad de almacenamiento energético, junto con el número de ciclos de carga y descarga durante su vida útil, han respondido satisfactoriamente a los requerimientos energéticos de los dispositivos electrónicos modernos. Sin embargo, estas baterías comerciales comparten un cierto número de componentes específicos dependiendo del tipo de aplicación para las que fueron diseñadas. Esta versatilidad ha favorecido su uso frecuente, gracias a su alta eficiencia energética y prolongado tiempo de vida. Este trabajo tiene la finalidad de analizar, cuantificar y estudiar el proceso de carga y descarga de una batería de plomo-ácido en función de su señal de voltaje y corriente, durante un consumo energético en tiempo real, mediante la operación de un motor de corriente directa (DC). Además, se analiza la densidad espectral de la relación entre el consumo y el estado original de carga de la batería.

La principal contribución de este estudio es la validación experimental de la atenuación de los modos de frecuencia presentes en las señales de voltaje y corriente obtenidas, mediante la implementación de un filtro promedio móvil. Este filtro permite eliminar el ruido no deseado de las señales originales, lo que mejora la calidad de los datos y permite una evaluación más precisa del rendimiento de carga y descarga de la batería, proporcionando información cuantificable sobre su desempeño y vida útil.

**Palabras clave:** filtro, voltaje, corriente, batería, carga, descarga, energética, ruido.

2

## Abstract

The lead-acid batteries have become the most popular energy storage modules, being used in a wide range of applications, from calculators to electric vehicles, robots, and satellites controlled by artificial intelligence. Their high energy storage capacity, along with the number of charge and discharge cycles throughout their service life, has successfully met the energy demands of modern electronic devices.

However, these commercial batteries share certain specific components depending on the type of application for which they were designed. This versatility has favored their frequent use due to their high energy efficiency and extended lifespan.

The aim of this work is to analyze, quantify, and study the charging and discharging process of a lead-acid battery based on its voltage and current, under real-time energy consumption conditions through the operation of a DC motor. In addition, the spectral density of the relationship between energy consumption and the battery's original state of charge is analyzed.

The main contribution of this study is the experimental validation of the frequency mode attenuation in the voltage and current signals obtained, through the implementation of a moving average filter. This filter effectively removes unwanted noise from the original signals, enhancing data quality and allowing for a more accurate evaluation of the battery's charge and discharge performance, providing quantifiable information on its efficiency and state of health.

**Index terms:** filter, voltage, current, battery, charge, discharge, energy, noise.

## I. INTRODUCCIÓN

En la tercera década del siglo XXI, la importancia de enfrentar el cambio climático y la necesidad de educar a la sociedad hacia la transición en las tecnologías sostenibles y energías limpias se ha vuelto primordial. Uno de los sectores clave en esta transformación es el transporte, debido a su alta demanda energética y su importante contribución a la contaminación ambiental. Para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes locales, como óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y material particulado, se está promoviendo el uso de vehículos eléctricos como alternativa a los de combustión interna [1]. Convencionalmente la gran mayoría de estos vehículos utilizan baterías de plomo-ácido o de litio, debido a su alta densidad energética, larga de vida útil y buenas capacidades de carga y descarga [2]. Aunque algunos modelos híbridos aún emplean baterías de níquel-hidruro metálico, se espera que hacia 2030, casi todos los vehículos eléctricos usen tecnologías basadas en litio, incluso en versiones más avanzadas que las actuales [3]. Este crecimiento sostenido plantea desafíos importantes para el suministro de materias primas y la gestión del fin de vida útil de las baterías. Ya sea para su reutilización en aplicaciones de menor demanda (segunda vida) o para reciclaje, se requiere una planificación adecuada que incluya tecnologías de recuperación, cadenas logísticas eficientes y políticas de incentivo [4], [5].

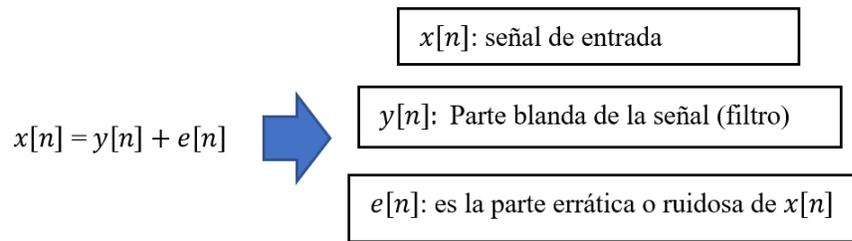
Las baterías que ya no tienen capacidad para la función original pueden ser reacondicionadas para cumplir una nueva función o segunda vida con demandas menos exigentes [6]. En general la reutilización, siempre que sea factible, será más fácil y flexible de implementar en cuanto a las condiciones de mercado, y más eficiente en cuanto a los recursos necesarios, que el reciclaje de los materiales de sus componentes.

3

No obstante, algunos de los materiales que se pueden recuperar de las baterías, al final de la primera o de la segunda vida, son muy valiosos, y los grados de recuperación alcanzados con las nuevas tecnologías, cuando existe la combinación de los volúmenes suficientes de baterías usadas, los circuitos adecuados de recolección, y las políticas de incentivo adecuadas, pueden justificar la factibilidad de los emprendimientos [7]. En algunos países como China y Japón, se han establecido sistemas de incentivos cruzados entre las agencias de protección ambiental y los productores, recolectores y tratadores de las baterías usadas, en forma escalonada y transitoria, para asegurar la puesta en marcha del sistema de gestión integral de las mismas [8].

Para complementar los estudios relacionados con las baterías, se han realizado análisis de señales de sistemas con carga conectados a baterías para estudiar el comportamiento de carga en fenómenos reales, por ejemplo: ondas sísmicas, vibraciones de motores, parámetros atmosféricos o bioseñales, además, es posible encontrar aplicaciones para monitorear la actividad eléctrica y mecánica del corazón, ondas cerebrales, sonidos emitidos por la voz, entre otros [9], [10]. El Procesamiento de estas señales sirven para muchas aplicaciones, incluido análisis, síntesis, filtrado, caracterización o modelado, modulación, estimación, clasificación, supresión, ecualización, codificación y sincronización [11]. El filtro promedio móvil, desarrollado por Steven W. Smith, se utiliza para minimizar el nivel de ruido de series de datos temporales, además de actuar como un filtro de paso bajo digital, suavizando los datos numéricos de la señal en tiempo real [20]. Matemáticamente, es similar a la convolución en el procesamiento de señales, por lo que, debido a su simplicidad, se utiliza para señales codificadas en el dominio del tiempo [12], [13].

El filtro de media móvil se utiliza con frecuencia para reducir la magnitud del ruido presente en una señal [14], [15]. Este proceso de filtrado se representa algebraicamente de la siguiente manera:



Este filtro tiene diferentes aplicaciones para obtener información real de datos numéricos principalmente aplicados a ingeniería, circuitos eléctricos, finanzas, precios en la canasta básica, censos de población, estadística avanzada, etcétera [16].

En este trabajo se presenta el análisis y estudio del estado de carga y descarga en tiempo real de una batería de plomo-ácido mediante el estudio de las señales de voltaje y corriente. La finalidad es aplicar la técnica del filtrado media móvil a dichas señales, para eliminar ruido no deseado y así obtener una mejor información cuantificable y viable del estado de carga y descarga de la batería.

## II. METODOLOGÍA

En la Fig. 1 se presenta el diagrama del procedimiento propuesto para el análisis del filtrado aplicado a las señales de voltaje y corriente de la batería de plomo-ácido.

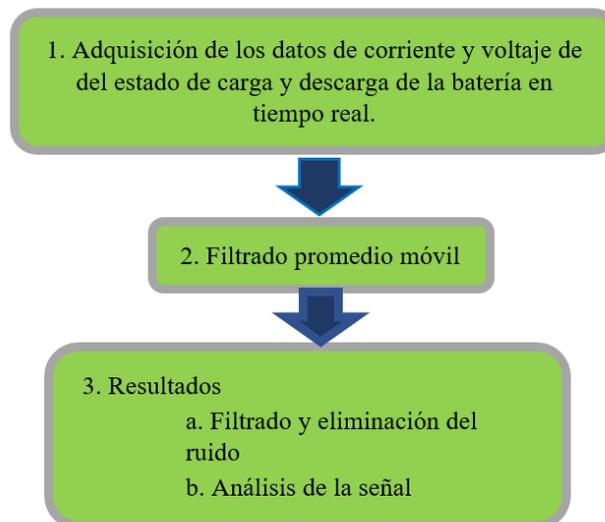


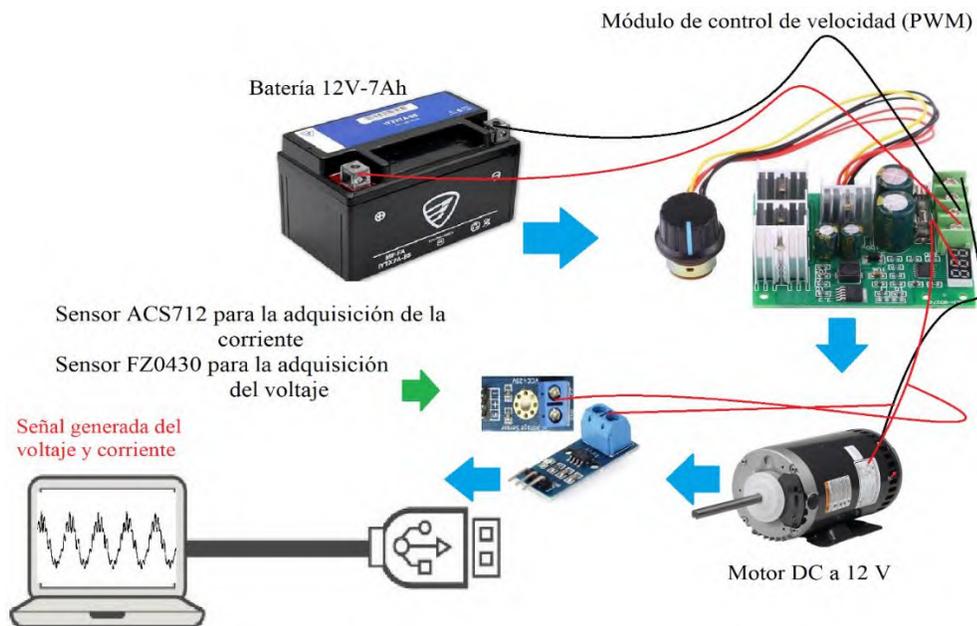
Fig. 1. Metodología de estudio.

### A. Adquisición de los datos de corriente y voltaje

En esta sección se describe y analiza el procedimiento de levantamiento de los datos numéricos correspondientes a la corriente y al voltaje. Para ello, se pone en funcionamiento un motor de corriente directa (DC) conectado a la batería, cuya velocidad es regulada manualmente mediante un potenciómetro controlado por modulación por ancho de pulso (PWM), operando en tres condiciones: baja, media y alta velocidad, una vez adquiridos los datos a través de los sensores, estos se transforman al dominio de la frecuencia con el fin de facilitar su procesamiento y análisis (véase Fig. 2), las especificaciones de la batería de plomo-ácido utilizada se presentan a continuación (véase Tabla 1).

**TABLA 1.** ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BATERÍA DE PLOMO-ÁCIDO.

Marca	Italika
Voltaje	12 V
Corriente	7Ah
Composición de las celdas de batería	Plomo – Ácido
Peso	1 kilogramo



**Fig. 2.** Adquisición de los datos (señales) de corriente y voltaje.

El sensor ACS712 se emplea para la medición de corriente, mientras que el sensor FZ0430 se utiliza para la medición de voltaje, ambos dispositivos se conectan al motor de corriente directa (DC) con el propósito de registrar el consumo de voltaje y corriente durante su operación, una vez que el (PWM) se regula a través de un potenciómetro, este mismo se alimenta con una batería de 12 V y 7Ah (véase Fig. 2). Para la validación del método propuesto se consideran una

rutina de prueba de 100 milisegundos regulando a diferentes velocidades con un total de 100 lecturas de datos recaudados por cada rutina. Los datos numéricos de las señales generadas de (voltaje y corriente) se transforman al dominio de la frecuencia, y se procesan en MATLAB mediante la aplicación de un filtro de media móvil, Este procedimiento permite obtener una cuantificación más precisa del proceso de carga y descarga de la batería durante la puesta en marcha del motor, así como una estimación más exacta de cantidad de energía.

Los motores de DC durante su funcionamiento tienen factores de rendimiento en base a su consumo energético cuando están conectados a una fuente de voltaje directa (CD) o batería, estos generan señales durante el periodo de carga y descarga de voltaje y corriente, estas señales contienen ruido de alta frecuencia respecto a su velocidad y aceleración del motor, por lo que al implementar un filtrado adecuado como el de este trabajo es beneficioso para reducir los errores causados por el ruido y garantizar la vida útil del motor, su eficiencia y la vida útil de la batería.

### B. Filtrado promedio móvil

El filtro promedio móvil se utiliza comúnmente con datos de series temporales para suavizar las fluctuaciones a corto plazo y destacar tendencias o ciclos a largo plazo, muy conocido en el ámbito del procesamiento digital de señales [13], [14]. Funciona promediando un número predefinido de puntos de la señal de entrada dentro de una ventana de tiempo para producir un punto en la señal de salida, así mismo puede considerarse como una ventana de tiempo que se mueve a lo largo de la señal de entrada, realizando un promedio local y puede utilizarse eficazmente para reducir el ruido no correlacionado en las señales de los sensores inerciales, se muestra en la Fig. 3, la representación básica del filtro promedio móvil de diferente orden "P" según su promedio de suavizado en función al ruido que contiene una señal [15].

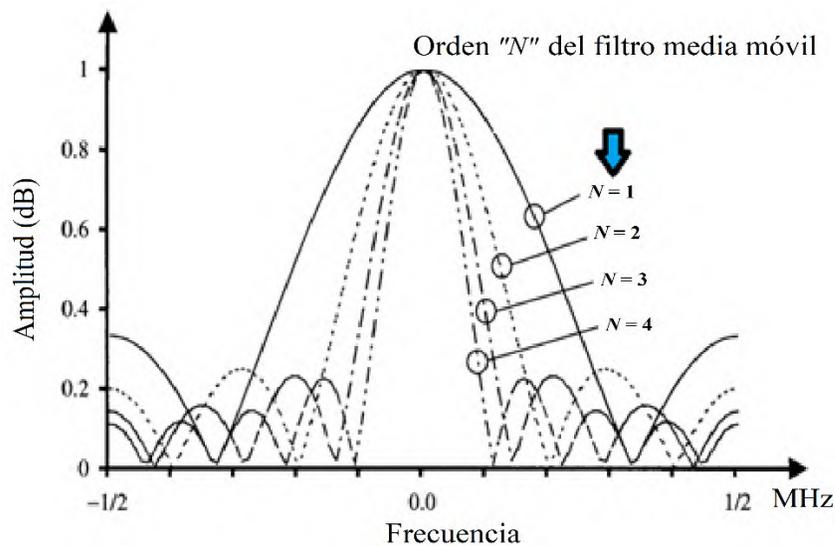


Fig. 3. Comportamiento básico de un filtro de media móvil de diferente orden "N" [16].

La función del filtro de media móvil se puede expresar mediante una serie de números y un subconjunto de tamaño fijo. El primer elemento de la media móvil se obtiene tomando el promedio del subconjunto fijo inicial de la serie numérica. Luego, el subconjunto se modifica mediante un desplazamiento hacia adelante; es decir, excluyendo el primer número de la serie e incluyendo el siguiente valor del subconjunto como se muestra básicamente en la Fig. 4.

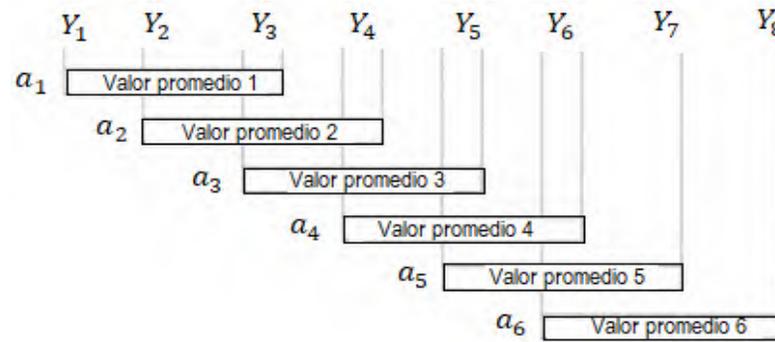


Fig. 4. Principio numérico del filtro de media móvil [17].

Así mismo en los sistemas dinámicos el ruido en una señal puede ocurrir en cualquier lugar, esta limitación dificulta que cualquier método de filtrado minimice el error entre la señal filtrada y la señal original [16], ya que el ruido es el conjunto de datos, señal, imagen o información en general que puede causar estragos en los sistemas de control funcionales dinámicos en tiempo real, algunos puntos en donde se puede generar son:

- El sensor, transductor o actuador con el que interactúa la señal.
- Malas prácticas de cableado, en el canal o en la interfaz de medición y sensor, y entre cada etapa.
- La mala interpretación de una señal, en el método de análisis y modelización.
- Efectos de la contaminación en productos electrónicos.
- Cables largos que captan radiofrecuencia o proximidad a otros equipos eléctricos.

7

Matemáticamente un filtro medio móvil es un tipo de convolución y se considera un ejemplo de filtro paso bajo comúnmente utilizado en el procesamiento de señales [15]. Al utilizarse con datos no temporales, los filtros de media móvil eliminan componentes de alta frecuencia sin ninguna conexión específica con el tiempo. La ecuación básica del filtro media móvil está dada por:

$$\gamma[n] = \frac{1}{M_1 + M_2 + 1} \sum_{K=-M_1}^{M-1} x[n + k] = \frac{1}{M_1 + M_2 + 1} (x[n + M_1] + x[n + M_1 - 1] + \dots + x[n] + x[n - 1] + \dots + x[n + M_2]) \quad (1)$$

Donde:

$\gamma[n]$ : es la señal de salida filtrada.

$x[n]$ : es la señal de entrada.

$M$ : número de puntos utilizados en el filtrado.

En determinados métodos de procesamiento y análisis de datos comúnmente se introducen algún ruido, perturbación o modificación colateral, aunque pueda suponer el coste de obtener otros beneficios. Este ruido varía según el sistema de estudio y puede ocurrir debido a diferentes efectos, como ruido térmico, ruido de disparo y calidad de fabricación [16]. El filtro media móvil en el procesamiento de señales digitales suaviza las fluctuaciones de alta frecuencia en los datos o eliminar tendencias periódicas de una frecuencia específica de los datos. El filtro opera promediando una cantidad de puntos de la señal de entrada para producir cada punto de la señal de salida [17]. Se muestra en la Fig. 5 la variación y desempeño del filtro de media móvil según su media y respecto a su frecuencia.

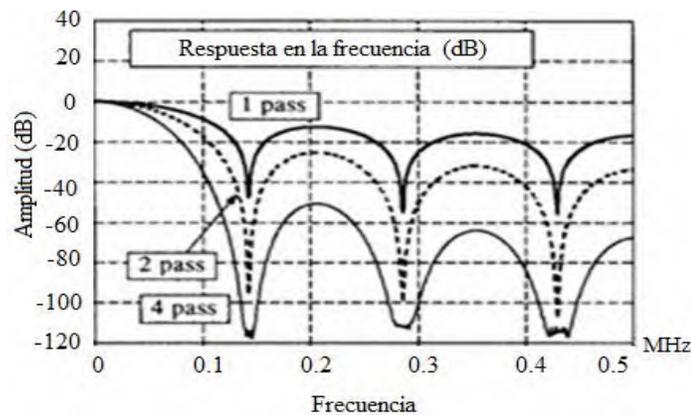


Fig. 5. Desempeño del filtro promedio móvil en el dominio de la frecuencia [16], [17].

Se fundamenta teóricamente que  $x[n]$  es la señal de entrada y  $y[n]$  es la respuesta de salida resultante. Por ejemplo, si  $N = 3$ , el filtro de media móvil en el punto 3 viene dado por la entrada/salida y queda expresado de la siguiente manera:

$$y[n] = \frac{1}{3}(x[n] + x[n - 1] + x[n - 2]) \quad (2)$$

8

Seguidamente el "punto  $N$ " refiere el número de valores de entrada utilizados al calcular la salida del filtro. El filtro se conoce como filtro de promedio móvil, porque calculamos el siguiente valor y  $[n - 1]$  de la salida, moviendo el intervalo de tiempo sobre el cual se calcula la salida del filtro. El filtrado utiliza los valores de la señal original para calcular el promedio, sin embargo, de acuerdo con estos valores el filtrado no se debe ver afectado con respecto a la señal original, el único inconveniente es que la señal filtrada se retrasa ligeramente [16]. Este filtro se implementa como una función de filtro de un solo punto que recibe un valor sin filtrar y devuelve su versión filtrada.

En la Fig. 6 se representa una señal con ruido a) y su aplicación de filtrado b), se observa que se eliminó gran cantidad del ruido (información no deseada).

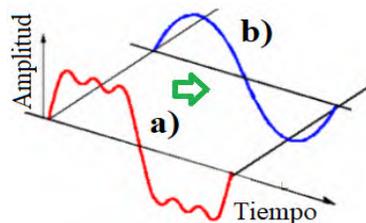


Fig. 6. Representación de una señal con ruido con su respectivo filtrado media móvil [21].

### C. Resultados

Los resultados obtenidos se dividen en dos secciones, la primera muestra la técnica de filtrado media móvil de las señales de voltaje y corriente de descarga de la batería en el dominio de la frecuencia. La segunda sección describe el análisis de las señales originales y su respectivo filtrado mediante un método numérico. Para demostrar la precisión de

la técnica, se pone en funcionamiento el motor DC a diferentes velocidades para y realizar un estudio numérico de la frecuencia en base a sus diferentes velocidades del motor conectado a una batería cargada a 12 voltios, de esta forma se valida el estado de carga y descarga de la batería, así como su rendimiento.

El orden del filtrado "N" para la señal de voltaje y corriente que se muestran en esta sección hacen referencia a los trabajos [9], [10], [20], donde se realiza un análisis de la reconstrucción de señales de ritmo cardiaco, el análisis frecuencial de la velocidad de un motor trifásico y la implementación de un filtro digital en tiempo real para detección de una onda R, así mismo se valida experimentalmente que los filtrados de menor orden N, tienen mejor desempeño y rendimiento en el dominio de la frecuencia.

### 1) Filtrado y eliminación de ruido

Se muestra en la Fig. 7 en color rojo la señal del voltaje en tiempo real que parte de 12 volts, posterior a ello hay un cambio de voltaje consumido en la batería conforme transcurre el tiempo cuando el motor DC está puesto en marcha, dicha señal se ve afectada por información no deseada (ruido), la cual presenta posiciones inestables dentro de la señal real, esto se debe a que existen componentes internos del sistema e inclusive de los circuitos y componentes que están conectados durante el funcionamiento. En la Fig. 7 se muestran los resultados de diferentes filtrados de la señal de voltaje en el dominio de la frecuencia usando orden 1, 2, 3 y 4 respecto a los datos (véase Tabla 2).

TABLA 2. CONCENTRADO NUMÉRICO DE LOS DIFERENTES FILTRADOS DE ORDEN 1, 2, 3 Y 4.

x[n]	12	11.5	11.3	11.2	11.1	10.5	10	9.5
N=1	11.9	11.4	11.4	11.1	11.2	10.6	10.1	9.6
N=2	11.9	11.5	11.1	11	11.4	10.3	10.2	9.5
N=3	11.8	11.2	11	11	11.1	10	10.1	9.4
N=4	11.9	11.7	11.2	11.3	11.5	10.4	10.2	9.5

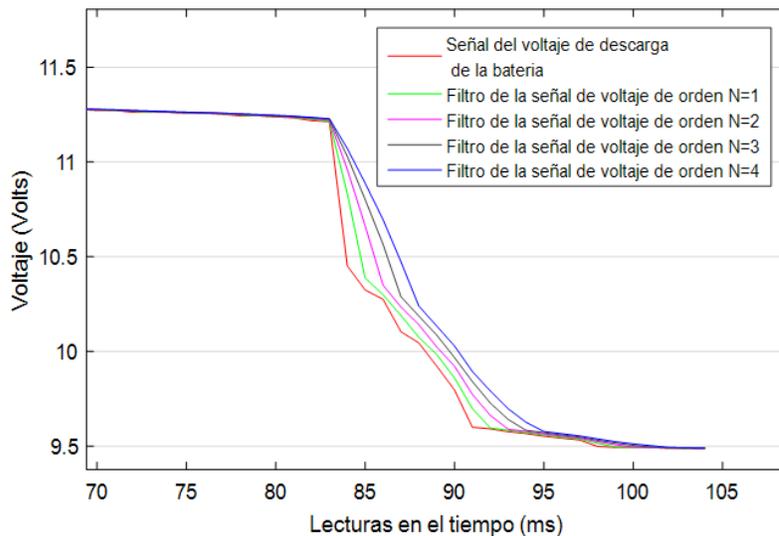


Fig. 7. Señal del comportamiento del voltaje en tiempo real y sus filtros de orden N.

En la Fig. 8 se elige el filtro de orden  $N=3$ , el cual se denota en color negro, este filtro tiene mejor rendimiento de filtrado y elimina una gran cantidad de ruido no deseado lo que hace que la señal numérica sea más pura respecto a la señal original en color rojo. La señal numérica filtrada se calculó utilizando las ecuaciones 1 y 2 y dura un tiempo de 100 ms (S).

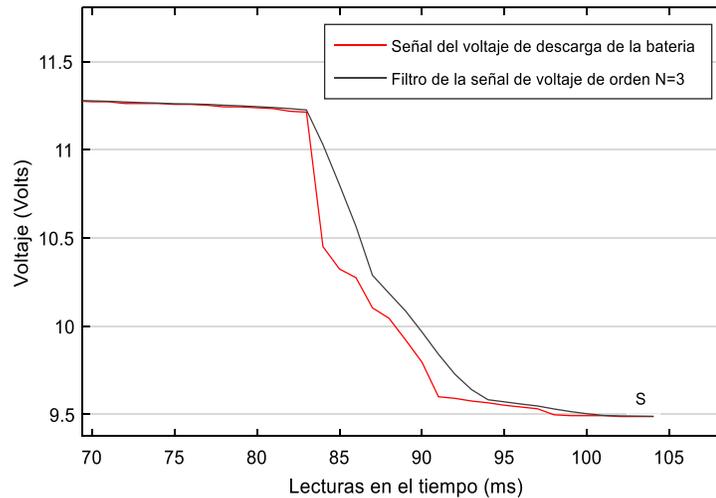


Fig. 8. Señal del comportamiento del voltaje en tiempo real y su filtrado media móvil de orden  $N = 3$ .

En la Fig. 9, observa en color rojo la señal ahora del comportamiento de la corriente en tiempo real, inicialmente la batería cuenta con de 7 amperios en estado de reposo, puesto a ello hay un consumo excesivo de corriente por parte del motor cuando está puesto en marcha, por ende la batería se descarga más rápido debido al tipo de motor, A continuación, se muestra en la Fig. 9 los resultados de diferentes filtrados media móvil de la señal de la corriente en el dominio de la frecuencia de orden 1, 2, 3 y 4, en relación a los datos (véase Tabla 3).

TABLA 3. CONCENTRADO NUMÉRICO DE LOS DIFERENTES FILTRADOS DE ORDEN 1, 2, 3 Y 4.

$x[n]$	7	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3
N=1	5.5	5.1	5.6	5	4.3	4.1	3.6	3.1
N=2	4.5	4.2	4.5	4.1	4.4	3.9	3.5	3.2
N=3	3.5	3.8	3.9	4	4	3.6	3.3	2.8
N=4	3.9	3.9	3.7	4.1	4.1	3.4	3.3	2.9

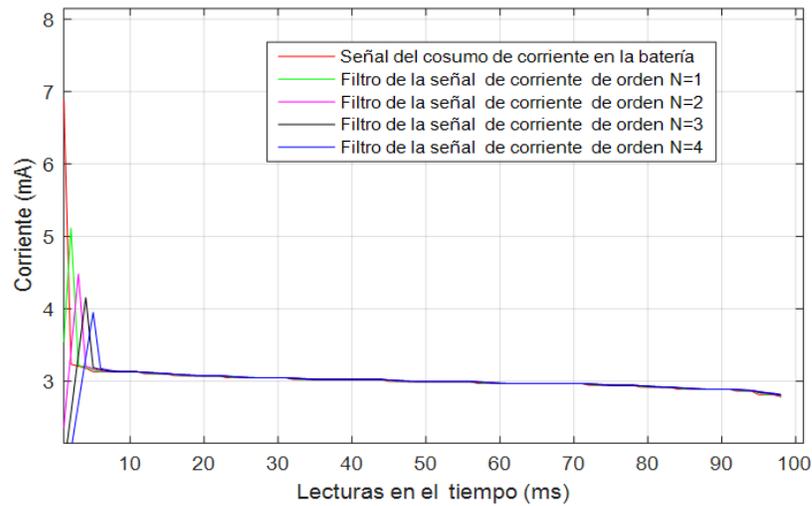


Fig. 9. Señal del comportamiento de la corriente en tiempo real y sus filtros de orden  $N$ .

Se muestra en la Fig. 10, el filtro media móvil de orden  $N=3$ , el cual se denota en color negro, tiene mejor rendimiento de filtrado como en el filtrado del voltaje de la Fig.8, se elimina el ruido no deseado respecto a la señal original en color rojo.

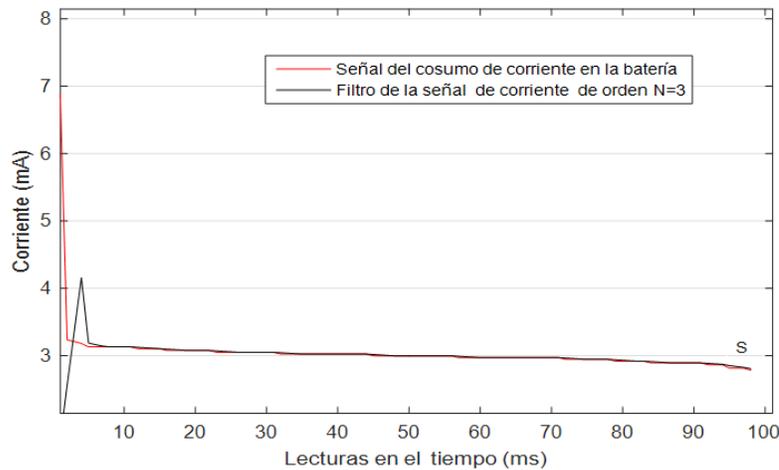


Fig. 10. Señal del comportamiento de la corriente en tiempo real y su filtrado media móvil de orden  $N = 3$ .

## 2) Análisis de la señal

Para analizar el rendimiento (señal- ruido) de las señales originales y su filtro media móvil, se utiliza un (periodograma), este ayuda a calcular y medir la densidad espectral de potencia (PSD o  $\hat{P}(f)$ ). Así mismo, se estima el

espectro de potencia del perigráfico de una sinusoidal de dos canales relacionando las potencias espectrales tanto de la señal como del ruido total, donde se representa matemáticamente por medio de la siguiente ecuación: [18], [19].

$$\hat{P}(f) = \frac{\Delta t}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi f \Delta t n} \right|^2, \frac{1}{2\Delta t} < f \leq 1/2\Delta t \quad (3)$$

Donde una señal/ruido  $x_n$ , en muestras por unidad de tiempo, el perigráfico se define como  $fs$ . Para  $\Delta t$  es el intervalo de muestras. Para un cruce unilateral, los valores en todas las frecuencias excepto 0 y Nyquist,  $1/2 \Delta t$ , se multiplican por 2 para que se conserve la potencia total de las señales. Así mismo se muestra en las Fig. 11 y Fig. 12 se muestran las densidades espectrales, las cuales cuantifican el ruido total de la señal real marcada en rojo, y la señal filtrada mediante filtro promedio móvil marcado en color negro tanto para la señal de voltaje como para la de corriente.

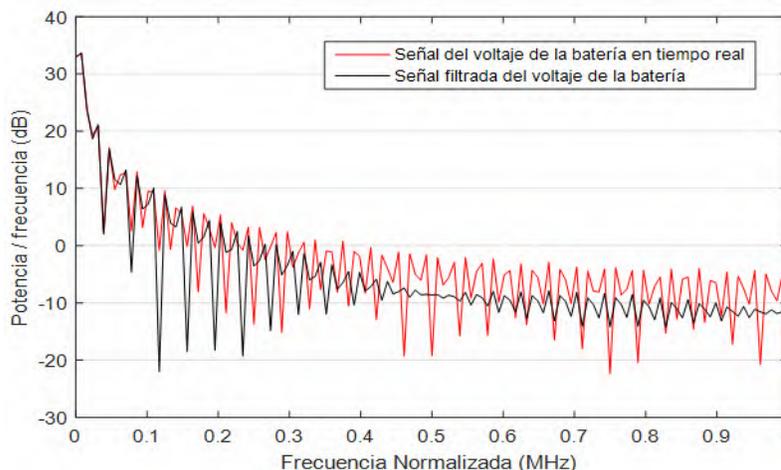


Fig. 11. Densidad espectral total de ruido de la señal original y la señal filtrada (voltaje).

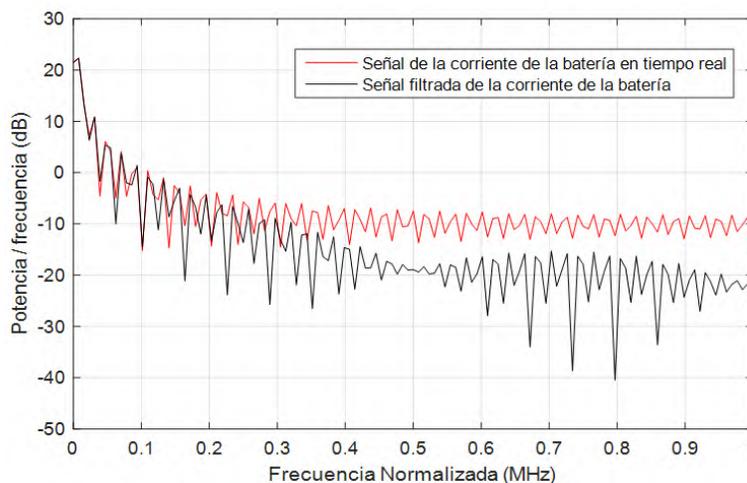


Fig. 12. Densidad espectral total de ruido de la señal original y la señal filtrada (corriente).

### III. CONCLUSIONES

En el presente artículo se analiza e implementa un filtro media móvil a dos señales de (voltaje y corriente) de una batería, mientras está conectada a un motor DC, el cual está puesto en marcha, esto ocasiona que haya pérdida de energía en la batería. Los resultados que se obtuvieron muestran la efectividad del método para reducir el ruido de alta frecuencia que originan las señales mientras hay un consumo energético de voltaje y corriente.

El filtrado de media móvil para señales con ruido, es una herramienta sofisticada para la ingeniería en electrificación automotriz y la investigación, puesto que en muchas investigaciones, se tiene la necesidad de conocer la eficiencia, monitoreo, desempeño y rendimiento de una batería durante su funcionamiento, cabe mencionar que el estudio e interés de este trabajo, surge como apoyo para tener una mejor información cuantificable de la estimación de los estados de carga y descarga en las baterías.

Las estimaciones de carga y descarga de una batería, son problemas de rendimiento de energía hoy en día, sin embargo, las señales ruidosas que se generan en tiempo real son un problema común de las técnicas actuales, por ello que se aplica una técnica de filtrado a las señales originales de voltaje y corriente mostradas. El procedimiento se examina analizando las características de filtrado de la señal de orden  $N$ , en las Figuras. 8 y 10 se muestra y se elige el filtrado de orden  $N = 3$  por su mejor desempeño, al mostrar cómo se eliminó gran cantidad de ruido para obtener la señal más pura y mejor cuantificada. Las densidades espectrales mostradas en las Figuras 11 y 12 muestran información más cuantificable del total de energía de la corriente y voltajes antes y después de ser filtradas, esto ayuda a validar los rendimientos de carga y descarga de la batería.

13

Hoy en día en la manufactura de autos eléctricos, el método actual puede aplicarse para garantizar y monitorear los estados de carga de sus baterías, así como su eficiencia energética y durabilidad cuando están en óptimas condiciones. En trabajos futuros se podría trabajar con el análisis en otros tipos de baterías, como los son Litio, gel, AGM, níquel y así mismo validar como converge el método de filtrado en el comportamiento de sus estimaciones de carga en tiempo real. También se puede diseñar y adaptar físicamente un filtro al circuito por medio de capacitores, adaptar un relevador electromecánico o de estado sólido para accionar el motor DC, posteriormente analizar su funcionamiento y efectividad con la implementación de nuevos métodos de filtrado y así mejorar aún más la información de carga y descarga de las baterías y validar su ciclo de vida.

#### **CRedit** (*Contributor Roles Taxonomy*)

**Contribuciones de los autores:** Conceptualización: MAHE; Metodología: MAHE y CJT; Software: MAHE y UCA; Investigación: MAHE, IMC, CJT, UCA; Redacción y preparación del borrador original: MAHE y IMC; Redacción, revisión y edición: MAHE, CJT y UCA; Supervisión: IMC; Análisis formal: MAHE y CJT; Administración del proyecto: IMC; Adquisición de fondos: no se aplica (sin financiamiento externo).

**Financiamiento:** Los autores declaran no haber recibido financiamiento externo.

**Declaración de disponibilidad de datos:** Los datos se encuentran en el artículo.

**Conflicto de interés:** Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

## REFERENCIAS

- [1] A. Kwade, J. Diekmann. *Recycling of Lithium-Ion Batteries. The LithoRec Way*, 1ª ed., Springer, 2018, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70572-9>
- [2] J. P. Zagorodny. *Gestión integral de las baterías fuera de uso de vehículos eléctricos en el marco de una estrategia de economía circular, serie Medio Ambiente y Desarrollo*, n° 173 (LC/TS.2023/36), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/32b22cd4-cea7-4bda-bbd0-6f29309d0cb1/content>
- [3] G. Zubi, R. Dufo-López, M. Carvalho, G. Pasaoglu, "The lithium-ion battery: State of the art and Renewable and Sustainable" *Energy Reviews*, vol.89, pp. 292-308. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.002>
- [4] D.Steward, A. Mayyas, "Economics and challenges of Lio-ion battery recycling from end-of-life vehicles", *Procedia Manufacturing*, vol.33, pp. 272-279, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.033>
- [5] W. Chen, J. Liang, Z. Yang, G. Li, "A review of Lithium-Ion Battery electric vehicle application and beyond" *Energy Procedia*, vol.158, pp. 4353-4368,2019. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.783>
- [6] R. Gopalakrishnan, D. S. Vidhya, P. Bharath, P. Kaviyan, P. Sivaselvam, "Battery State Estimation and Control System for Mobile Charging Station for Electric Vehicles," *2023 International Conference on Sustainable Computing and Data Communication Systems IEEE*, Erode, India, pp. 985-989, 2023. <https://doi.org/10.1109/ICSCDS56580.2023.10104624>
- [7] V. S. Geetha Lakshmi, M. D. Rani and K. Bhavana, "AI-Improved Battery-Powered Automobile Battery Diagnostics," *2024 7th International Conference on Circuit Power and Computing Technologies IEEE*, Kollam, India, pp. 1500-1505, 2024. <https://doi.org/10.1109/ICCPCT61902.2024.10673152>
- [8] T. Horiba. "Lithium-ion battery Systems", *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 6, pp. 939-950, 2014. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2319832>
- [9] M. Hernández, C. Juárez, I. Martínez, "Reconstruction of the heart rate signal using the dominant frequencies", *2021 International Conference on Mechatronics, IEEE International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)*, Cuernavaca México, pp. 165-171. 2021. <https://doi.org/10.1109/ICMEAE55138.2021.00033>
- [10] M. Hernández, C. Juárez, I. Martínez, "Análisis frecuencial de la velocidad de un motor trifásico usando filtro promedio móvil", *Revista Oficial de la Federación Global de Profesiones A.C.* (ISSN 2594-2298), 2023.
- [11] F. Santamaría, C. Cortés, F. Román, "Uso de la Transformada de Ondeletas (Wavelet Transform) en la Reducción de Ruidos en las Señales de Campo Eléctrico producidas por Rayos", Vol. 23, no. 1, pp. 65-78, Bogotá – Colombia, 2012. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100008>
- [12] L. Ballesteros, M. Dora, "Aplicación de la transformada wavelet discreta en el filtrado de señales bioeléctricas Umbral Científico", *Universidad Manuela Beltrán Bogotá, Colombia*, vol.5, pp. 92-98, diciembre, 2004. ISSN: 1692-3375, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400512>
- [13] C. Klipec, E. Bruce, "Reducción del ruido eléctrico en circuitos de instrumentos", *IEEE Trans Ind. Gen*, vol. 2, marzo-abril 1967.
- [14] A. Oppenheim, R. Schafer y J. Back, *Discrete-Time Signal Processing*. Nueva Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [15] A. Rojas, M. Cortés, M. Forero, "Aproximación polinómica local e intersección de intervalos de confianza para eliminar el ruido de las mediciones del campo eléctrico de los rayos", *DYNA*, vol.85, no. 205, pp.264-273, 2018. doi: <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.64151>
- [16] J. Bartman, A. Palczak, "Distorsión de tensión y corriente generada por un CNC", *Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*, *IEEE*, 2017. <https://doi.org/10.1109/PAEE.2017.8008981>
- [17] H. Miguel, J. Carlos, M. Irma, "Análisis de temperatura de una cámara de envejecimiento utilizando un filtro promedio móvil", *IEEE 2020 International Conference on Mechatronics, Electronics and Automotive Engineering (ICMEAE)*, Cuernavaca, México, pp. 122-126, 2020. <https://doi.org/10.1109/ICMEAE51770.2020.00028>
- [18] S. Fulop, K. Fitz, "Algoritmos para calcular el espectrograma de frecuencia instantánea (reassignada) corregido en el tiempo, con aplicaciones", *Journal of the Acoustical Society of América*, vol. 119, pp. 360-371, enero 2006.
- [19] A. François, P. Flandrin. "Mejora de la legibilidad de las representaciones de tiempo, frecuencia y escala de tiempo mediante el método de reasignación", *IEEE Transactions on Signal Processing*. Vol. 43, pp. 1068-1089, mayo 1995.
- [20] B. González, V. Cárdenas, J. Nieto-Camacho. "Implementación de un filtro digital en tiempo real para detección de la onda R", *Tecno Lógicas*, 2015, vol. 18, no. 34, pp. 75-86.
- [21] F. Garay, J. Díaz, U. Piscocoya, P. Echevarría, "Método para la reducción de ruido en señales electrocardiográficas usando la transformada wavelet", *TECNIA*, vol.35, no. 1, pp. 13-25, 2025. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v35i1.2322>