

**CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS  
EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA**





**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS  
EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: DIEGO STEVEN SALAZAR CALAHORRANO  
TUTOR: EDWIN MARCELO GARCÍA TORRES

Quito -Ecuador

2022

Diego Steven Salazar Calahorrano

**CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2022

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Diego Steven Salazar Calahorrano** (Y'1997 – M'10). Realizó sus estudios de nivel secundario en la Unidad Educativa Teilhard de Chardin de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la caracterización, modelación y comparación de baterías empleadas en electromovilidad en base a su carga y descarga. [dsalazarc5@est.ups.edu.ec](mailto:dsalazarc5@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Edwin Marcelo García Torres** (Y'1978 – M'10). Se graduó en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana y de Master en Gestión de Energía. Actualmente se encuentra trabajando para su doctorado en Ingeniería con la Universidad Pontificia Bolivariana. Área de interés: respuesta a la demanda, sistemas de automatización. Actualmente es miembro del Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group). Actualmente es profesor ocasional tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. [egarcia@ups.edu.ec](mailto:egarcia@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2022 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR


**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Diego Steven Salazar Calahorrano con documento de identificación N° 1726311242 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Diego Steven Salazar Calahorrano  
1726311242

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Diego Steven Salazar Calahorrano con documento de identificación N° 1726311242 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



---

Diego Steven Salazar Calahorrano

1726311242

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Edwin Marcelo García Torres con documento de identificación N° 1803087400, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS EMPLEADAS EN ELECTRO MOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA**, realizado por Diego Steven Salazar Calahorrano con documento de identificación N° 1726311242, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



Ing Edwin Marcelo García Torres, MSc  
1803087400

## ÍNDICE GENERAL

1	Introducción .....	2
	Nomenclatura .....	3
2	Marco Teórico .....	4
2.1	Vehículos eléctricos (EV).....	4
2.1.1	Vehículos Eléctrico Puros (EV) .....	4
2.1.2	Vehículos Eléctrico Híbrido (HEV) .....	4
2.1.3	Vehículos Eléctricos Híbrido Enchufable (PHEV) .....	5
2.2	Baterías Eléctricas .....	5
2.3	Baterías de ion-Litio.....	5
2.4	Baterías de Hidruro metálico de Níquel (Ni-MH) .....	6
2.5	Baterías de Plomo Ácido .....	6
2.6	Metodología de la Investigación .....	6
2.6.1	Estado de Carga de Baterías .....	6
2.6.2	Método de Conteo de Coulomb .....	7
2.6.3	Conteo de Coulomb y Modelo de Thévenin .....	7
3	Metodología .....	10
4	Análisis de resultados .....	11
4.1	Caso de Estudio .....	11
4.2	Resultados de escenario de Descarga .....	12
4.3	Resultados del Escenario de Carga .....	13
5	Conclusiones .....	15
6	Trabajos futuros .....	15
7	Referencias.....	15
7.1	Matriz de Estado del Arte .....	19
7.2	Resumen de Indicadores.....	23
8	Anexos.....	24



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración interna de elementos en un EV. ....	4
Figura 2. Configuración interna de elementos en un HEV. ....	4
Figura 3. Configuración interna de elementos en un PHEV. ....	5
Figura 4. Modelo utilizado para modelación de baterías. ....	7
Figura 5. Modelo de Thévenin modificado, usado para estimación de SOC. ....	8
Figura 6. Modelo de utilizado para encontrar la resistencia interna la batería. ....	8
Figura 7. Modelo propuesto en [36], para calcula elementos en función del SOC. ....	9
Figura 8. Comparación de curvas de SOC, obtenido en el escenario de descarga. ....	12
Figura 9 Curva de resistencia interna de las baterías , en el escenario de descarga. ....	12
Figura 10. Curva de Voltajes de las baterías, en el escenario de descarga ..... 13	13
Figura 11. Curva del erro, obtenida en el escenario de descarga ..... 13	13
Figura 12. Comparación de las curvas de SOC, obtenido en el escenario de carga. ....	14
Figura 13. Curva de resistencia interna de las baterías , en el escenario de carga ..... 14	14
Figura 14. Curva de Voltaje de la batería, en el escenario de carga ..... 14	14
Figura 15. Curva del erro, obtenida en el escenario de carga ..... 14	14
Figura 16. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte. ....	23
Figura 17. Indicador de formulación del problema - Estado del arte. ....	23
Figura 18. Indicador de solución - Estado del arte. ....	23
Figura 19. Datasheet batería de ion-Litio usada en el artículo. ....	24
Figura 20. Datasheet batería de Plomo-Acido usada en el artículo. ....	24
Figura 21. Datasheet batería de Hidruro metálico de Níquel usada en el artículo. ....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre características de baterías usadas en el artículo ..... 6	6
Tabla 2. Variables del Modelo ..... 10	10
Tabla 3 Comparación de parámetros, de baterías, en el escenario de descarga ..... 13	13
Tabla 4 Comparación de parámetros, de baterías, en el escenario de carga ..... 14	14
Tabla 5: Matriz de estado del arte. .... 19	19

# CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA

## Resumen

En el presente artículo de investigación se realiza la caracterización, modelación y comparación de tres baterías eléctricas usadas en electromovilidad: ion-Litio, Plomo Acido e Hidruro metálico de Níquel; con el fin de determinar cuál es la más eficiente, en función de los datos obtenidos en la estimación del estado de carga. Para realizar la estimación del estado de carga se realiza la modelación la batería con el modelo de circuito equivalente de Thévenin y el algoritmo de Conteo de Amperios de Coulomb para la caracterización y modelación de parámetros eléctricos, los cuales nos servirán para estimar el estado de carga de la batería. Al realiza la simulación de los parámetros eléctricos, los datos obtenidos indican que la batería más eficiente es la batería de ion-Litio, ya que es la que presenta un mejor rendimiento en el estado de carga, en comparación a las otras baterías analizadas; mientras que la batería de Plomo acido es la menos eficiente en el escenario de carga y en el escenario de descarga, presentando una descarga profunda.

**Palabras Clave:** electromovilidad, modelo de Thévenin, estado de carga (SOC), ion-Litio, plomo acido, hidruro metálico de níquel.

## Abstract

In this article, the characterization, modeling and comparison of three electric batteries used in electromobility are carried out: Lithium-ion, Lead Acid and Nickel Metal Hydride; in order to determine which is the most efficient, based on the data obtained in the estimation of the state of charge. To estimate the state of clyharge, the battery uses the Thevenin equivalent circuit model and the Coulomb Amp Counting algorithm for the characterization and modeling of electrical parameters, which will help estimate the state of charge of the battery. When performing the simulation of the electrical parameters, the data obtained indicate that the most efficient battery is the Lithium-Ion battery, since it has better performance in the state of charge, compared to the other batteries analyzed; while the lead acid battery is the least efficient, in both scenarios, charge and in the discharge, presenting a deep discharge.

**Keywords:** electromobility, lithium-ion, lead acid, nickel metal hydride, state of charge (SOC), Thevenin model.

# 1 Introducción

La contaminación es uno de los problemas más grande el mundo enfrenta actualmente, el crecimiento poblacional, el desarrollo tecnológico e industrial, y la creciente demanda de vehículos de combustión, han contribuido en el aumento de la contaminación y emisión de gases de efecto invernadero [1].

La contaminación causada por gases contaminantes, emitidos por vehículos de combustión representa el 23% del total de gases contaminantes emitidos al ambiente, estos niveles de contaminación alarmante no solo afectan al ambiente, sino también a la calidad del aire a un ritmo alarmante. Una de las soluciones que se pueden presentar para reducir la contaminación causada por estos vehículos es conducir menos o reemplazarlos por vehículos eléctricos [2], [3].

En los últimos años el uso del vehículo eléctrico es una alternativa, debido a la creciente preocupación medioambiental y el cambio climático, este tipo de vehículos se han convertido en una poderosa motivación para reducir la contaminación causada por vehículos de combustión [4].

Para el cumplimiento de los objetivos del transporte futuro y contar con una alta eficiencia y baja o nula emisión de gases de efecto emitida por vehículos de combustión, el vehículo eléctrico (EV), vehículos eléctricos híbridos plug-in o enchufables (PHEV), los vehículos híbridos (HEV), destacan por ser la mejor alternativa que se tiene en la actualidad para reducir la contaminación del aire, pero para que esto suceda el vehículo eléctrico debe ser propulsado por un sistema para almacenar energía (ESS) y una motor eléctrico [5].

La batería eléctrica, es el componente más importante en el vehiculó eléctrico ya que es la encargada de almacenar y suministrar energía para el vehículo se mueva, además es la que tiene el mayor impacto en la eficiencia de los EV, y

determinando el rango de autonomía; también es el componente más pesado del EV, y debe colocarse cuidadosamente dentro del vehículo para proporcionar estabilidad gracias a un centro de gravedad bajo [6] [7].

Debido a la importancia de la batería se han creado modelos y método para conocer y estimar la energía almacenada dentro de la batería y, de esta manera predecir el comportamiento ante diferentes eventos de carga y descarga, entender y predecir estos comportamientos permitirá gestionar la energía almacenada de manera eficientemente [8].

Para realizar la gestión energética de la batería se realiza la estimación del State of Charge (estado de carga (SOC)), el cual nos indica la energía restante dentro de la batería. El SOC también indica el rendimiento de la batería [8],[9].

Existen varios métodos y modelos que se utilizan para estimar el SOC, en [10] y [11] se presenta una estimación de SOC mediante la obtención de voltaje en circuito abierto en un modelo de Thévenin, en [12] se realiza la estimación de SOC mediante el algoritmo de Filtro de Kalman Extendido, en [13] se usa el método de Conteo de Coulomb y matemática difusa para realizar la estimación; estos métodos son ejemplos claros de la estimación de SOC, cada método es ampliamente utilizados debido a su fácil aplicación y bajo error de estimación.

## Nomenclatura

$SOC(t)$	Estado de carga
$SOC0$	Estado de carga inicial
$SOCM$	Máxima energía de la batería
$i(t)$	Corriente de carga o descarga
$C$	Capacidad nominal de la batería
$n_c$	Rendimiento de la batería
$VEMF$	voltaje electro motriz
$n\Omega$	sobrepotencial óhmico durante cargo o descarga
$nk$	sobrepotencial cinético
$nd$	sobrepotencial para el proceso de difusión
$Vbat$	Voltaje de la batería
$Ri$	Resistencia interna
$Rd$	Resistencia de Descarga
$Rc$	Resistencia de Carga
$Z$	Impedancia de batería
$A_{SOC}$	Pendiente de voltaje $VEMF$
$EMF_{min}$	Fuerza electro motriz en el instante que $SOC$ es 0
$Voc(t)$	Voltaje interno en la batería
$Rint$	Resistencia interna de la batería
$ns$	Número de celdas de la batería.
$\beta$	Factor de corrección
$\Delta SOC$	Variación del estado de carga
$Rp$	Constante utilizada para determinar el error del estado de carga
$e$	Error
$s$	Tiempo en segundo

## 2 Marco Teórico

En esta sección se presentara la investigación bibliográfica correspondiente al artículo de investigación, además de presentara la heurística implementada en la investigación y desarrollo del modelo.

### 2.1 Vehículos eléctricos (EV)

A principios del siglo XX ya existía el vehículo eléctrico, alrededor de 1910 era común observar este tipo de vehículos circular por las calles, pero debido a sus altos costes y su baja velocidad, fueron remplazados por los vehículos de combustión. Los EV son vehículos que aprovechan la energía eléctrica almacenada en baterías para producir movimiento. La producción masiva de estos vehículos presenta a los fabricantes grandes desafíos, debido a la relativa inmadurez de las nuevas tecnologías involucradas. En los últimos años se ha mejorado la tecnología de baterías usadas en EV, la cual siempre fue el punto más débil, es por esta razón que actualmente se ha incrementado el número de vehículos eléctricos en las carreteras [4],[14].

El desarrollo de la electromovilidad ha provocado que los fabricantes de vehículos realicen grandes esfuerzos para desarrollar HEV, PHEV y EV más eficientes y con mayor de autonomía es sus baterías [15].

#### 2.1.1 Vehículos Eléctrico Puros (EV)

Los EV utilizan baterías eléctricas que proveen de energía al motor síncrono de imanes permanentes (PMSM), y de esta manera impulsar al vehículo eléctrico, este tipo de motores son usados por su alta densidad de potencia y excelente eficiencia. Actualmente se ha visto un mayor número de vehículos eléctricos circulando por las carreteras gracias a las ventajas que este vehículo ofrece, también se debe a que la autonomía en este tipo de vehículos se ha incrementado notablemente en

comparación con años anteriores. El desarrollo tecnológico y la alta competencia ha provocado que los fabricantes encuentren cada vez mejores métodos y materiales que aumenten la vida útil de las baterías y reduzcan tiempos de carga [16].

La distribución de los componentes más importantes en el EV se muestra en la figura 1.

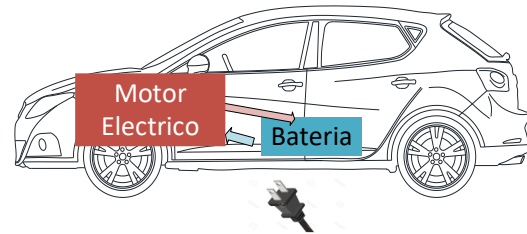


Figura 1. Configuración interna de elementos en un EV.

#### 2.1.2 Vehículos Eléctrico Híbrido (HEV)

Los HEV son aquellos que utilizan un motor de combustión, una o varias baterías eléctricas y un motor eléctrico. Este tipo de vehículo es considerado como una solución prometedora para el desarrollo de vehículos limpios a corto y medio plazo. Actualmente, existen fabricantes que están desarrollando vehículos eléctricos híbridos, como una manera de mejorar la eficiencia del sistema de transporte. Los esfuerzos actuales en la investigación de en HEV se dirigen hacia el desarrollo de un sistema de propulsión rentable y energéticamente eficiente, que aproveche de mejor manera su parte eléctrica para disminuir las emisiones de gases contaminantes emitidos al ambiente [17].

En la figura 2 se muestra la distribución de los elementos en un HEV.

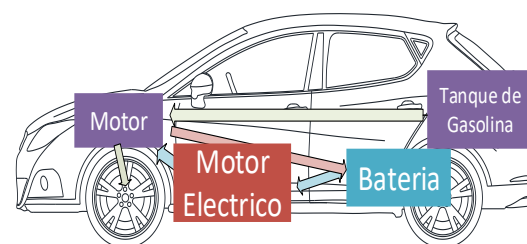


Figura 2. Configuración interna de elementos en un HEV.

### 2.1.3 Vehículos Eléctricos Híbrido Enchufable (PHEV)

El PHEV se puede percibir como un gran progreso para llegar hacia vehículos verdaderamente libres de emisiones, el PHEV mejora las ventajas de un HEV actual, ya que también incluye las mejores características de un EV, porque puede utilizar el modo de conducción totalmente eléctrico y tener una conducción libre de consumo de combustible y por ende libre de emisiones durante los primeros kilómetros de recorrido. Una de las principales diferencias entre un PHEV y un HEV es que, el PHEV puede cargar su sistema de almacenamiento de energía utilizando las salidas de la red [18].

Otra característica importante es que un PHEV tiene la transmisión eléctrica como fuente primaria de energía y tracción, además, cuando las baterías están completamente cargadas, el PHEV puede conducir únicamente utilizando la energía almacenada en ellas, durante una cierta distancia, al transcurrir esta distancia y agotarse la batería, este tipo de vehículo eléctrico cambia su modo tracción y se convierte en un HEV normal para reponer la carga de la batería mediante un generador.

La distribución de los elementos de un PHEV, se muestra a continuación en la figura 3 [18].

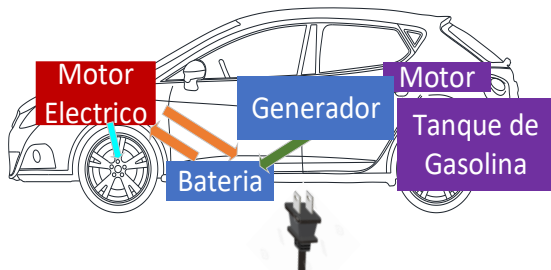


Figura 3. Configuración interna de elementos en un PHEV.

### 2.2 Baterías Eléctricas

Las baterías electroquímicas están consideradas como el más importante sistema de almacenamiento de energía en

los EVS, por lo que, la elección de la batería es de vital importancia para el rendimiento y autonomía de este tipo de vehículos [6], [7].

El almacenamiento de energía eléctrica disponible dentro de una batería dependerá en gran medida del reactivo químico masivo almacenado durante la carga. A continuación, se muestra una lista de baterías que son ampliamente utilizadas para electromovilidad son [7]:

- Ion-Litio
- Cobalto de manganeso de litio-níquel (NMC)
- Hidruro metálico de Níquel (NIMH)
- Plomo Acido.

### 2.3 Baterías de ion-Litio

Las baterías de ion-Litio son una de las mejores opciones actualmente en cuanto a almacenamiento de energía destinada para un EV, por lo que, el éxito de los EV depende de la energía almacenada en la baterías, para proporcionar el rendimiento y autonomía de forma fiable y segura a bajo coste que se requieren para utilizarlos en un EV [19].

Las baterías de ion-Litio cuenta con varias ventajas, que la ponen arriba de otras baterías usadas para electromovilidad como: Ciclos de vida prolongados, alta densidad de energía, ausencia de efecto memoria, baja tasa de auto descarga, etc [5]

Estas ventajas han hecho que este tipo de baterías sean tan populares y usadas en la actualidad, especialmente en el campo de electromovilidad, sin embargo, estas baterías necesitan protección durante sus ciclos de carga y descarga. Además, mientras el número de ciclos de carga y descarga aumente en estas baterías, la capacidad de las mismas se verá gradualmente degradada, lo que producirá accidentes en su seguridad [5], [20],[21]

Teniendo en cuenta los atributos presentados anteriores, se estima que en el futuro las baterías de ion-Litio serán

utilizadas para aplicaciones aeroespaciales y, electromovilidad, de manera más eficiente [20],[22].

Un EV puede enfrentar problemas en la baterías de ion-Litios, si existe un exceso en los límites de corriente, voltaje o potencia, ya que podría existir una fuga térmica es las celdas de la batería, debido a problemas internos [23].

## 2.4 Baterías de Hidruro metálico de Níquel (Ni-MH)

Las baterías de Ni-MH están presente en el mercado de electromovilidad desde hace quince años. Han aparecido como una de las soluciones tecnológica más prometedora, ya que son baterías de nueva generación y presentan excelentes ventajas como: una excelente relación entre potencia y peso, carga rápida, amigable con el medio ambiente, baja auto descarga, ausencia de efecto memoria. [24],[25]

Es gracias a estas características presentes en la batería de Ni-MH, que han reemplazado a las baterías de níquel cadmio (Ni-Cd), que son: menos eficientes en comparación con las nuevas tecnologías de baterías usadas para EV y sobre todo mucho más contaminantes al ser desechadas. [25]

Estas baterías reciben mayor atención gracias la capacidad de trabajar durante varios ciclos de carga y descarga, sin perder eficiencia. Actualmente existen varios HEVs que utilizan estas baterías como: Chevrolet Volt, Honda Fit EV y Renault Fluence [26],[27].

## 2.5 Baterías de Plomo Ácido

La batería de plomo ácido utiliza plomo y óxido de plomo para convertir energía química en energía eléctrica. Estas baterías son muy demandadas por los fabricantes de EV, debido a exentes características como: bajo costo, seguridad, comodidad en la construcción, rendimiento estable, alta

densidad energética, gran capacidad de almacenamiento energético [28].

La batería de plomo-ácido han obtenido un importante interés para los sistemas eléctricos, tanto en electromovilidad, como en almacenamiento de energías renovables. Los dos aspectos más importantes de estas baterías es que los materiales que las componen están ampliamente disponibles y su cuentan con una gran posibilidad de reciclaje [29].

A pesar que tienen una relación baja de energía-peso, son altamente capaces de suministrar energía al EV durante mucho tiempo, aunque tardan mucho tiempo en ser recargadas [30].

Tabla 1 Comparación entre características de baterías usadas en el artículo

Batería / Características	Ion-Litio	Plomo Acido	Ni-MH
Bajo Costo		✗	✗
Seguridad		✗	✗
Rendimiento estable	✗	✗	
Alta densidad de energía	✗		✗
Gran capacidad de almacenamiento de energía	✗		✗
Ausencia de Efecto Memoria	✗	✗	
Amigable con el medio ambiente			✗

## 2.6 Metodología de la Investigación

En esta sección se analizará a la metodología implementada en el presente artículo de investigación, para determinar el SOC en los escenarios de carga y descarga.

### 2.6.1 Estado de Carga de Baterías

La función principal en la gestión de una batería es estimar el estado de carga (SOC) de la batería. El SOC es la relación que existe entre la capacidad restante y la capacidad de batería cargada completamente. El SOC generalmente se lo representa en porcentaje.[12]

Una correcta estimación en el SOC de la batería es el aspecto más importante en un sistema de baterías, ya que es el que reflejan la calidad de la gestión del sistema [12].

Existen varios métodos para poder realizar la estimación de SOC de una batería, los más usualmente utilizados son [11], [12]:

- Método de Thévenin
- Método de Resistencia Interna
- Modelos electroquímicos

Las estimaciones del SOC presentan un gran reto para la aplicación y gestión de baterías. Una correcta estimación del SOC de un batería aumentará su vida útil, también la protegerá de sobrecargas o descargas excesivas, además permitirá una estrategia de control para poder conservar energía [8].

La precisión para poder realizar una estimación de baterías SOC es más compleja y difícil de implementar, debido a las limitaciones del modelo de batería y la presencia de parámetros no lineales, pero una correcta modelación y determinación del SOC permite tomar decisiones de control en consecuencia [8], [31].

Gracias a la correcta estimación del SOC y a la informan obtenida por el mismo se puede tener un control óptimo del sistema de baterías, y conocer las decisiones de control que afectan al sistema, acorde a las necesidades que necesita el sistema en ese momento. La expresión más común para realizar la estimación del SOC de una batería se presenta en la ecuación (1) [8], [31], [32]

$$SOC(t) = SOC(t_0) - \frac{n_c}{C} \int_0^t i(t) dt \quad (1)$$

## 2.6.2 Método de Conteo de Coulomb

El método de conteo Coulomb o método de Conteo de Amperios-hora es uno de los métodos más utilizados para estimar el SOC

en una batería debido a que este algoritmo es fácil de implementar y se lo puede aplicar a todo tipo de baterías, ya que considera la corriente de la batería en carga o descarga y la capacidad nominal. [33]

Este método presenta varios inconvenientes, como la necesidad de conocer el SOC inicial de la batería, además que el error de estimación aumenta con el tiempo, esto debido a que el error de medición de la corriente provocará que el error de la estimación del SOC sea mayor con cada iteración, por lo que se recomienda incluir un controlador proporcional para reducir este error al mínimo [33].

## 2.6.3 Conteo de Coulomb y Modelo de Thévenin

El método de conteo de Coulomb es un método que generalmente está acompañado de otro para realizar la estimación del estado de carga. En [34], se utilizó el Conteo de Coulomb junto al modelo de Thévenin. Para determinar el SOC de debe tener la tensión de en los bornes de la batería y el SOC inicial.

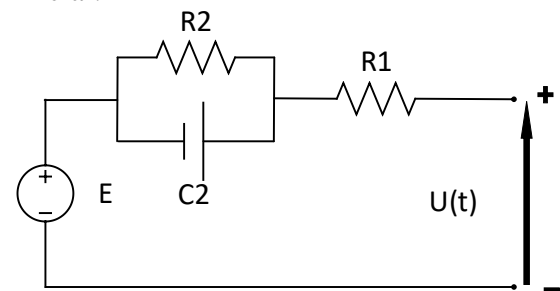


Figura 4. Modelo utilizado para modelación de baterías.

En [34] se realiza una modificación al modelo de Thévenin tradicional, como se muestra en la figura 5, para mejorar la presión de las estimación.



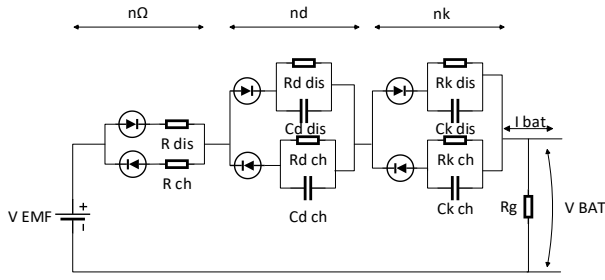


Figura 5. Modelo de Thévenin modificado, usado para estimación de SOC.

En la figura 5 se aprecia un modelo bidireccional, propuesto en [34], se observa en la figura que el modelo depende del sentido de la corriente, ya que este modelo distingue si la corriente es positiva o negativa, es decir si la batería se está en descarga o carga, obteniendo el SOC para ambos escenarios.

En este método propuesto se puede estimar el SOC gracias al  $VEMF$ , en el momento que la batería se encuentra en condiciones de carga.

También en la gráfica se observan 3 zonas: [34].

- $n\Omega$  que indica el sobrepotencial óhmico durante cargo o descarga.
- $nk$  que indica el sobrepotencial cinético
- $nd$  que indica el sobrepotencial para el proceso de difusión.

Estos sobrepotenciales pueden ser expresados como resistencias, si se asume que la temperatura es constante ( $25^\circ\text{C}$ ), de esta manera se obtiene la relación entre  $VEMF$  y el voltaje en bornes de la batería [34].

$$VEMF = Vbat + n\Omega + nd + nk \quad (2)$$

$$VEMF = Vbat + (R\Omega + Rd + Rk) \quad (3)$$

$$Z = R\Omega + Rd + Rk \quad (4)$$

Donde  $Z$  está dada en función de SOC, para determinar finalmente la relación entre  $VEMF$  y el SOC, se tiene la ecuación (5) [34].

$$SOC = \frac{VEMF - EMF}{A_{SOC}} \quad (5)$$

Otro método utilizado para la estimación del SOC es el modelo de Thévenin propuesto por [35], que considera a la batería como una fuente de voltaje ideal y una resistencia en serie, como se aprecia en la figura 6.

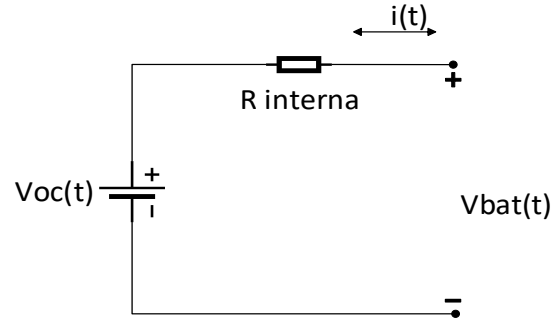


Figura 6. Modelo de utilizado para encontrar la resistencia interna la batería.

Donde se puede determinar:

$$Vbat(t) = Voc(t) + Ri * i(t) \quad (6)$$

En [35], se propone una estimación de SOC mediante el contador de Coulomb y el modelo de Thévenin, para realizar esta estimación se agrega el  $Voc(t)$  en el modelo.

$$SOC(t) \quad (7)$$

$$= SOC0 + \frac{1}{SOCm} \int_0^t \frac{i(t)}{3600} dt$$

Para calcular  $Vco$ , se establece una relación lineal con el SOC, donde el  $Vco$  en descarga se representa en la ecuación (8).

$$Voc(t) = ns * (2 + 0.148 * \beta) \quad (8)$$

$$\beta = \frac{SOC(t)}{SOCm} \quad (9)$$

En la ecuación (10) se determina el  $Vco$  en carga.

$$Voc(t) = ns * (1.926 + 0.124 * \beta) \quad (10)$$

El voltaje de la batería se calcula suponiendo que la resistencia interna es constante, lo que provoca que el error de estimación sea bastante considerable [35].

Para corregir el error de presentar elementos con valores constantes, [36] proponen la estimación de los elementos interno de la batería en función del SOC, en la figura 7 se puede observar claramente la modificación propuesta.

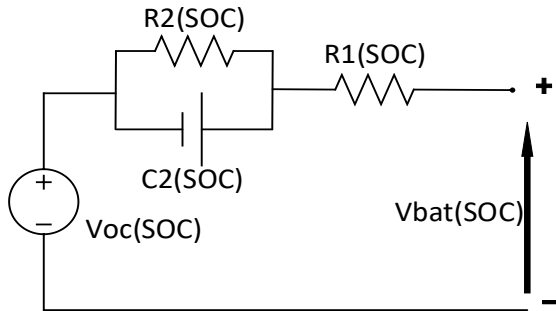


Figura 7. Modelo propuesto en [36], para calcula elementos en función del SOC.

En [36] se propone el cálculo del voltaje en los bornes de la batería mediante la caracterización de  $V_{co}$ ,  $R1$ ,  $R2$ ,  $C1$ , los cuales tienen una relación lineal con el SOC, a pesar de que para baterías de plomo ácido no se recomienda este método debido a la no linealidad de sus elementos, mientras que para baterías de iones-Litio es recomendado ya que sus elementos presentan un factor altamente lineal.

La resistencia interna de la batería puede ser calculada conociendo los valores de  $V_{oc}(t)$ ,  $V_{bat}(t)$  y  $I_{bat}(t)$ . Donde  $R$  deber ser calculada para el escenario de carga y descarga, como se muestra en la ecuación (11).

$$R_i = \frac{V_{oc}(t) - V_{bat}(t)}{I_{bat}(t)} \quad (11)$$

- **Factor de Corrección  $\beta$**

Es importante plantear un factor de corrección  $\beta$  para la correcta estimación de resistencia interna de carga y descarga, este factor permite que la resistencia estimada

sea dependiente de SOC y de la corriente. Es importante superar el factor  $\beta$  en dos, uno para descarga y otro para carga, para evitar errores de estimación [9].

El factor  $\beta$  se lo obtiene mediante la relación entre  $R_i$ , la resistencia instantánea se la obtiene mediante la ecuación (11) y  $R_c$  o  $R_d$ .

$$\beta_c = R_i/R_c \quad (12)$$

$$\beta_d = R_i/R_d \quad (13)$$

Conociendo el valor del factor de corrección  $\beta$ , es posible realizar la relación lineal entre la corriente, el SOC y la resistencia, para determina el valor estimado de la resistencia de batería, la ecuación (9) es utilizada para este fin [9].

$$\beta_c = -0.72947 * I_{bat} + 0.81 \quad (14)$$

$$\beta_d = 1.0221 * I_{bat} + 1.1087 \quad (15)$$

Se decidió limitar a  $\beta$  un valor máximo de 0.94 [37] para la batería de ion-Litio, de 0.8 [37] para la batería de Plomo Acido, y de 0.89 [38], para la batería de Hidruro metálico de níquel.

- **Regulador proporcional**

El regulador proporcional se lo obtiene del error ( $e$ ) de la comparación del voltaje en los bornes de la batería y la tensión estimada de la batería, a este erro se lo multiplica por una constante  $R_p$ , obtenido como resultado la variación de SOC ( $\Delta SOC$ ) [9].

$$\Delta SOC = R_p * e \quad (16)$$

Cuando el valor de  $\Delta SOC$  es conocido, podemos obtener el valor de  $R_p$ , el inconveniente que se presenta para determinar el valor de  $R_p$  es el desconsiento del erro, el cual varia en el tiempo y se lo obtiene mediante la simulación de las baterías eléctricas [9].

Al realizar la simulación, sin contar con el regular proporcional, se obtiene datos que el error medio es de 0.28[V], para la batería de ion-Litio, 0.23[V] para la batería de Plomo Acido y de 0.13[V] para la batería de Hidruro metálico de Níquel.

Observando que el SOC de cada batería varia aproximadamente 20% cada hora, podemos encontrar el valor de  $R_p$  [9].

$$\Delta SOC = \frac{\Delta SOC}{s} = \frac{20\%}{3600[s]} \quad (17)$$

$$= 5.56 \times 10^{-5} \quad (18)$$

$$R_p = \frac{\Delta SOC}{e}$$

Utilizando la ecuación (18) se obtiene que el valor de regulador proporcional para la batería de ion-Litio es de  $1.9857 \times 10^{-4}$ , para la batería de Plomo Acido  $2.4174 \times 10^{-4}$  y para la batería de Hidruro metálico de Níquel es de  $4.2769 \times 10^{-4}$ .

### 3 Metodología

Uno de los principales problemas que presenta el determinar la eficiencia en la batería, es realizar una correcta estimación del SOC, existiendo actualmente varios modelos y método empleados para este fin.

Para realizar la estimación del SOC en la batería se utiliza el modelo de Thévenin, junto al método de Conteo de Coulomb, estos modelos son simples y fáciles de implementar en simulaciones, además cuentan con la ventaja de tener un bajo error de estimación.

En el presente artículo de investigación se realizará la caracterización, modelación y comparación de tres baterías eléctricas usadas en electromovilidad, con el fin de determinar cuál es la más eficiente, en función de los datos obtenidos en el SOC.

Para realizar la simulación del comportamiento del SOC de las baterías propuestas para este artículo, se tomaron en

cuenta las ecuaciones obtenidas en la sección 2.

Tabla 2. Variables del Modelo

Variable	Descripción	Unidad
SOC	Estado de carga	%
I_bat	Corriente de la batería	A
V_bat	Voltaje en bornes de la batería	V
Voc	Voltaje de circuito abierto	V
Vesti_bat	Voltaje estimado por el algoritmo	V
t	Tiempo	h
Bat_rend	Rendimiento de la batería	
Variable	Descripción	Unidad
C	Capacidad nominal de la batería	Ah
$\beta_c$	Factor de corrección de la resistencia en carga	
$\beta_d$	Factor de corrección de la resistencia en descarga	
R	Resistencia de interna de la batería	Ohm
e	Error absoluto de cometido en la estimación del voltaje	%
SOC_increment	Incremento del SOC en cada iteración	
Rc	Resistencia de carga	Ohm
Rd	Resistencia de carga	Ohm
Rp	Regulador proporcional	Ohm
ns	Numero de celdas de la batería	

#### Algoritmo para la Estimación de SOC de las baterías

Paso 1: inicio y Define entradas: V\_bat, I\_bat, SOC, C, Bat\_rend, ns

Paso 2: Define Salidas: SOC, Vesti\_bat, e, error, R, Rc, Rd

Paso 3: Inicialización de variables

SOC = 1  
V\_bat = 12  
I\_bat = 10  
Bat\_rend = 1  
C = 100  
SOC\_increment = 0  
Ns = 6

Paso 4: Proceso

• SOC

Para todo SOC(t) = SOC(t-1) - Bat\_rend/C \* I\_bat(t)\*Incremento\_SOC(t-1)

Si SOC(t)<0 limitar a 0

Pero si SOC>1 limitar a 1

```

Fin si
• Voltaje de cortocircuito
Vco(t) = ns*(2.1-0.1005*(1-SOC(t)))
• Cálculo de la resistencia de carga y descarga
Si I_bat(t) < 0
  β_c = -0.72947*I_bat+0.81
  si β_c > 0.94 (factor de rendimiento de cada
  batería)
    β_c = 0.94
  fin si
fin si
Rc = Vco(t)-V_bat(t)/I_bat (t)
R(t) = β_c*Rc
si I_bat(t) > 0
  β_d = 1.0221*I_bat+1.1087
  si β_d > 0.94 (factor de rendimiento de cada
  batería)
    β_d = 0.94
  fin si
fin si
Rd = Vco(t)-V_bat(t)/I_bat (t)
R(t) = β_d*Rd
• Voltaje estimado
Vesti_bat(t) = Vco(t)-R(t)*I_bat(t)
Si Vesti_bat(t) > 12.5 (voltaje en los bornes de cada
batería)
  Vesti_bat = 12.5
Fin si
• Rendimiento
Si SOC > 0.8 y además I_bat(t) < 0
  Bat_rend = -5*SOC+0.5
  Caso contrario Bat_rend = 1
Fin si
• Regulador Proporcional
e(t) = V_bat(t) - Vesti_bat(t)
Si SOC(t) > 0.8 y además e(t) > 0
  Rp = 0
  Caso contrario Rp = 1.9857x10^-4 (regulador
  proporcional de cada batería)
  Rp = 0
Fin si
Si SOC < 0.6 y además e(t) < 0
  Rp = 0
  Caso contrario
  Rp = 1.9857x10^-4 (regulador proporcional de cada
  batería)
Fin si
• Incremento de SOC
SOC_increment = Rp*e(t)
Paso 5: Fin

```

## 4 Análisis de resultados

En esta sección se analizaron los resultados obtenidos en la simulación de las baterías utilizadas en el presente artículo de investigación, tanto en el escenario de carga, como en el de descarga.

### 4.1 Caso de Estudio

Se realizará una caracterización mediante el modelo de circuito equivalente de Thévenin para modelar y simular las baterías eléctricas propuestas para la investigación, mediante la simulación de los parámetros eléctricos de la batería se determina el SOC y el tiempo de carga y descarga en las baterías.

Con los datos obtenidos en la simulación, se observará el comportamiento de las baterías al ser sometidas a pruebas de rendimientos para determinar su eficiencia en función del estado de carga y tiempos de carga y descarga de las mismas.

Con los datos y las gráficas que arrojará la simulación se realizará un análisis para determinar la eficiencia en función del estado de cargas y tiempos de carga y descarga de cada batería simulada, para determinar cuál es la mejor opción para ser utilizado en electo movilidad.

Para realizar la caracterización y simulación de baterías usadas en vehículos eléctricos, se utilizaron 3 baterías de 100 [Ah], batería de ion-litio, Plomo Acido, e Hidruro metálico de Níquel. Se utiliza información real de baterías, en los anexos 1,2 y 3 se presentan los Datasheet de cada batería. La batería de Plomo Acido tiene un voltaje de 12 [V], la batería de hidruro metálico de níquel tiene un voltaje de 12.5[V], y la batería de ion-Litio cuenta con un voltaje de 12.8 [V].

## 4.2 Resultados de escenario de Descarga

En la simulación se presentan dos escenarios para la carga y descarga de baterías eléctricas, el primer escenario se utiliza en corriente de descarga aleatoria, cabe recalcar se aplica el mismo valor de corriente a cada una de las baterías utilizadas en este artículo, las baterías se descargan hasta llegar al 64% (batería ideal), del SOC, en un tiempo de 6 horas.

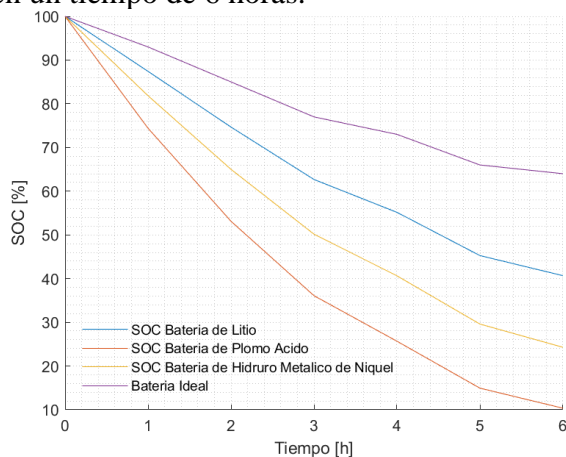


Figura 8. Comparación de curvas de SOC, obtenido en el escenario de descarga

Como se puede observar en la figura 8, la curva representa al SOC en función del tiempo, la batería de ion-Litio es la que más eficiente, ya que es la que presenta un mejor rendimiento, teniendo un SOC del 40%, mientras que la batería de hidruro metálico presenta un 24.3% de SOC, siendo la batería menos eficiente de la batería de plomo acido, ya que es la batería que cuenta con el rendimiento más bajo, llegando al 10% de SOC, mientras que, en una batería ideal presenta una SOC de 64%, ante las mismas condiciones de simulación.

En la figura 9, se aprecia que la resistencia de descarga de las baterías varía considerablemente una de la otra, resaltando la resistencia de la batería de ion-Litio, la cual es mayor que las otras baterías, aumentando considerablemente en el momento es que la batería empieza a descargarse, lo que nos indica un aumento

en las pérdidas, pero a pesar es esto, la batería de litio es la más eficiente de las tres.

Para la resistencia en las baterías de plomo acido e hidruro metálico de níquel, a pesar de tener menores valores de resistencia que la de ion-Litio, también se puede observar en las gráficas que a partir del 35% y del 50% de SOC en las baterías de plomo acido e hidruro metálico de níquel, la resistencia en las baterías empieza a incrementarse, indicando que mientras la batería se descarga las pérdidas aumentan.

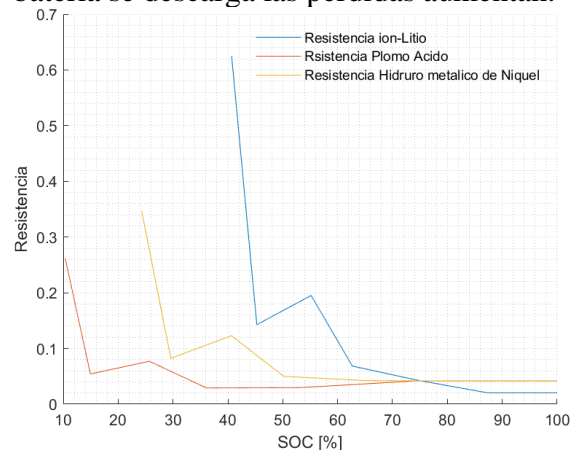


Figura 9 Curva de resistencia interna de las baterías, en el escenario de descarga

En la figura 10 se muestran los voltajes internos de descarga y el voltaje en la batería, el voltaje inicial en la batería de ion-Litio es de 12.8 voltios, descargándose un promedio de 0.3 [V], en cada hora, llegando a un valor de 11.1 [V], en el voltaje interno, el valor inicial es de 13 [V], descargándose linealmente hasta llegar a los 12.5 [V].

Para la batería de Plomo Acido el valor inicial del voltaje en los terminales de la batería es de 12 [V], descargándose un promedio de 0.3 [V], llegando a un valor de 10.8 [V], al estar completamente descargada, mientras que el voltaje interno se estimó en un valor inicial de 12.3 [V], al tener un SOC del 100%, y llegando a un valor mínimo de 11.3 [V], al estar completamente descargada.

En la batería de Hidruro metálico de Níquel, el voltaje en los terminales de la batería tiene un valor inicial de 12.5[V], llegando a un valor mínimo de 11.6 [V] al

descargase la batería, mientras que el voltaje de circuito abierto inicia en 12.8 [V], el tener el 100% de SOC y llegando a un valor mínimo de 12.34 [V], al desecarse la batería.

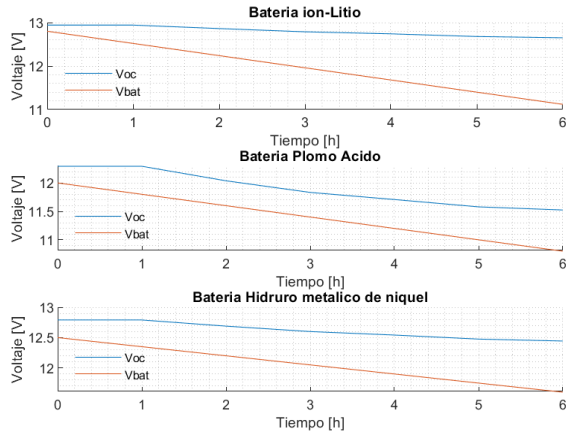


Figura 10. Curva de Voltajes de las baterías, en el escenario de descarga

En la figura 11, se muestra el error obtenido en la simulación, se puede observar que la batería de ion-Litio presenta un error inicial superior al 6%, pero mientras la simulación va avanzando el error disminuye considerablemente debido a la exactitud del método utilizado.

El error correspondiente a las baterías de Plomo Acido e Hidruro metálico de Níquel, permanece por debajo del 5% a lo largo de la simulación, lo que un gran indicador que el modelo utilizado funciona correctamente.

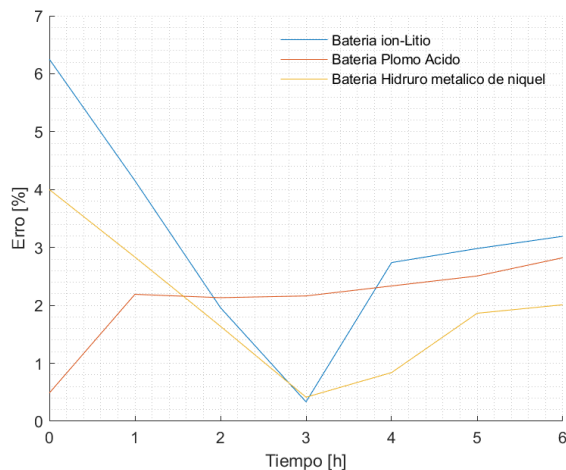


Figura 11. Curva del erro, obtenida en el escenario de descarga

Tabla 3 Comparación de parámetros, de baterías, en el escenario de descarga

	Ion-Litio	Plomo Acido	Ni-MH
SOC inicial	100,00%	100,00%	100,00%
SOC final	40,68%	10,35%	24,29%
Voc inicial	13,00 [V]	12,30 [V]	12,80 [V]
Voc final	12,65 [V]	11,52 [V]	12,44 [V]
Vbat inicial	12,80 [V]	12,00 [V]	12,50 [V]
Vbat final	11,12 [V]	10,80 [V]	11,12 [V]

### 4.3 Resultados del Escenario de Carga

Para realizar la carga de batería se utiliza una corriente constante de 12.5 [A], por un periodo de 5 horas, donde la batería se carga desde valor de SOC estimado en el escenario de descarga de cada batería, hasta llegar a un valor cercano al 100% del SOC.

En la figura 12 se pueden observar las curvas de SOC en el momento de carga, se observa que los valores iniciales parten de los datos obtenidos en la simulación de descarga.

En la figura 12 también se puede apreciar que el SOC no llega al 100% de la carga, llegando en el caso de las 3 batería al 99% como máximo, esto se debe a los valores que alcanza la resistencia interna de la batería, la cual mientras la batería esta próxima a cargarse se eleva considerablemente, esto se observa con mayor claridad en la figura 13. También se puede distinguir con claridad que la batería de ion-Litio presenta una mayor eficiencia en el momento de la carga, en comparación con las baterías de Plomo Acido e Hidruro metálico de Níquel.

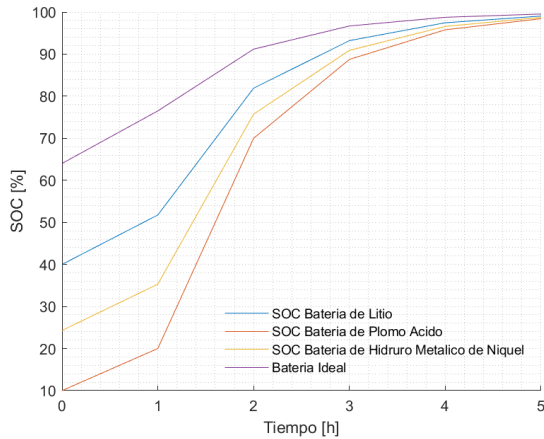


Figura 12. Comparación de las curvas de SOC, obtenido en el escenario de carga

En la figura 13 se observa que las resistencias internas de las baterías, se incrementa desde el instante en que la batería empieza a cargarse, este incremento de la resistencia de las baterías se debe a que, mientras la batería está más próxima a cargarse, las pérdidas aumentan, para llegar a los niveles nominales de voltaje. A pesar que la resistencia de carga de la batería de plomo acido es menor, es la menos eficiente al momento de presentar el escenario de carga, siendo la más eficiente la batería de ion-Litio.

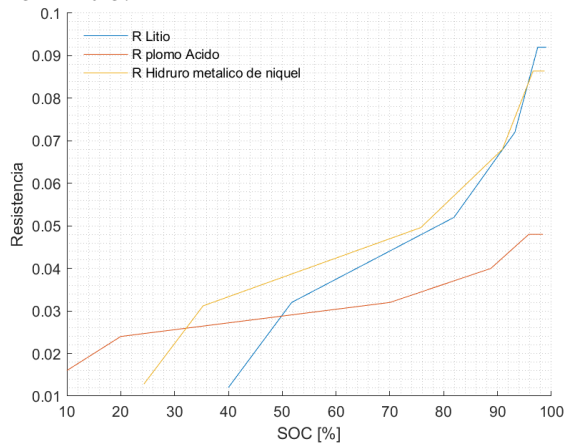


Figura 13. Curva de resistencia interna de las baterías, en el escenario de carga

En la figura 14 se puede observar que tanto los voltajes de la batería como el interno, se cargan linealmente llegando a sus valores previos a la descarga.

Para la batería de ion-Litio el voltaje de carga que alcanza es de 14.6[V] según los datos técnicos de la batería, para la batería de plomo ácido el voltaje de carga al que

llega es de 13.6[V], mientras que para la batería de hidruro metálico de niquel es de 14 [V].

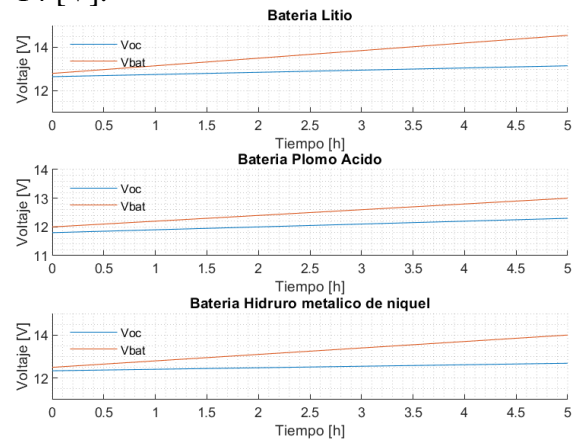


Figura 14. Curva de Voltaje de la batería, en el escenario de carga

La figura 15 muestra los errores obtenidos al simular el escenario de la carga de las baterías, se puede apreciar que el error no supera el 5% en ninguna de las baterías simuladas, lo que indica claramente que este modelo es muy preciso a la hora de estimar el SOC, y los voltajes de la batería.

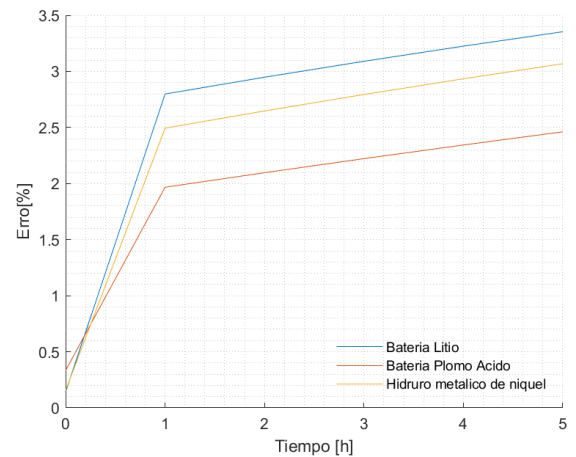


Figura 15. Curva del erro, obtenida en el escenario de carga

Tabla 4 Comparación de parámetros, de baterías, en el escenario de carga

	Ion-Litio	Plomo Acido	Ni-MH
SOC inicial	40,68%	10,35%	24,29%
SOC final	99,05%	98,42%	98,73%
Voc inicial	12,65 [V]	11,52 [V]	12,44 [V]
Voc final	13,15 [V]	12,30 [V]	12,70 [V]
Vbat inicial	12,80 [V]	12,00 [V]	12,5 [V]
Vbat final	14,50 [V]	13,00 [V]	14,00 [V]

## 5 Conclusiones

Se recomienda utilizar el modelo de Thévenin, junto al método de Conteo de Amperios de Coulomb, ya que, a pesar de ser modelos sencillos de implementar en simulaciones, la estimación del SOC es precisa y presenta un bajo error de estimación, además los parámetros eléctricos de la batería, obtenidos por estos métodos son precisos y confiables para su implementación.

Mediante el análisis de los datos obtenidos en la simulación, se determinó que la batería de ion-Litio presenta una mayor eficiencia con respecto a la batería de plomo e hidruro, ya que el SOC, ya que en el escenario de carga llega al 99%, al terminar la carga y el escenario de descarga llega al 40%, mientras que la batería de Plomo Acido es la menos eficiente, llegando, en el escenario de carga a la 98% SOC, mientras que el SOC en el escenario de descarga es del 10%, presentando una profunda, al ser sometido a las mismas condiciones de simulación.

La estimación de SOC en baterías está en constante evolución, ya que una correcta estimación del estado de carga, presenta una mejorar sustancial en la eficiencia y en las estrategias de gestión energética en los sistemas que las ocupan, sin embargo, actualmente aún no existe una metodología o modelo eficaz, práctico y sencillo de implementar, para realizar la estimación del SOC, por ellos los investigadores de todo el mundo siguen sus refuerzos para conseguir este fin.

## 6 Trabajos futuros

Se recomienda continuar con un estudio y análisis de utilización de segunda vida útil y reciclaje de baterías eléctricas utilizadas en electromovilidad, para respaldos energéticos en sistemas de base de datos.

## 7 Referencias

- [1] B. R. Subrahmanyam, A. Gautam Singh, i P. Tiwari, «Air purification system for street level air pollution and roadside air pollution», *2018 Int. Conf. Comput. Power Commun. Technol. GUCON 2018*, núm. X, p. 518-522, 2019, doi: 10.1109/GUCON.2018.8674934.
- [2] V. S. Harilakshmi i P. A. J. Rani, «Intelligent vehicle counter - A road to sustainable development and pollution prevention (P2)», *2016 Int. Conf. Energy Effic. Technol. Sustain. ICEETS 2016*, p. 877-880, 2016, doi: 10.1109/ICEETS.2016.7583871.
- [3] H. Ribberink i E. Entchev, «Electric vehicles - A “one-size-fits-all” solution for emission reduction from transportation?», *2013 World Electr. Veh. Symp. Exhib. EVS 2014*, p. 1-7, 2014, doi: 10.1109/EVS.2013.6914837.
- [4] V. V.Sreedhar, «PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES WITH FULL PERFORMANCE», *IEEE Conf. Electr. Hybrid Veh.*, 2006.
- [5] B. Jiang, Y. Liu, X. Huang, i R. R. R. Prakash, «A New Battery Active Balancing Method with Supercapacitor Considering Regeneration Process», *IECON Proc. (Industrial Electron. Conf.)*, vol. 2020-Octob, p. 2364-2369, 2020, doi: 10.1109/IECON43393.2020.9254839.
- [6] M. Brandl *et al.*, «Batteries and battery management systems for electric vehicles», *Proc. -Design, Autom. Test Eur. DATE*, p. 971-976, 2012, doi: 10.1109/date.2012.6176637.
- [7] D. Ranawat i M. P. R. Prasad, «A Review on Electric Vehicles with perspective of Battery Management



- System», *3rd Int. Conf. Electr. Electron. Commun. Comput. Technol. Optim. Tech. ICEECOT 2018*, núm. December, p. 1539-1544, 2018, doi: 10.1109/ICEECOT43722.2018.9001321.
- [8] M. I. Wahyuddin, P. S. Priambodo, i H. Sudiby, «State of Charge (SoC) Analysis and Modeling Battery Discharging Parameters», *Proc. - 2018 4th Int. Conf. Sci. Technol. ICST 2018*, p. 2-6, 2018, doi: 10.1109/ICSTC.2018.8528631.
- [9] J. G. Zabaleta, I. San Martín, J. Pascual, i P. Miqueleiz, «Cálculo del estado de carga en baterías de plomo-ácido: diseño y validación experimental», p. 71, 2016.
- [10] Susanna, B. R. Dewangga, O. Wahyungoro, i A. I. Cahyadi, «Comparison of simple battery model and thevenin battery model for SOC estimation based on OCV method», *2019 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2019*, p. 738-743, 2019, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938495.
- [11] Y. Song, M. Park, M. Seo, i S. W. Kim, «Improved SOC estimation of lithium-ion batteries with novel SOC-OCV curve estimation method using equivalent circuit model», *2019 4th Int. Conf. Smart Sustain. Technol. Split. 2019*, 2019, doi: 10.23919/SpliTech.2019.8783149.
- [12] L. Haoran, L. Liangdong, Z. Xiaoyin, i S. Mingxuan, «Lithium Battery SOC Estimation Based on Extended Kalman Filtering Algorithm», *2018 IEEE 4th Int. Conf. Control Sci. Syst. Eng. ICCSSE 2018*, p. 231-235, 2018, doi: 10.1109/CCSSE.2018.8724766.
- [13] D. Saji, P. S. Babu, i K. Ilango, «SoC Estimation of Lithium Ion Battery Using Combined Coulomb Counting and Fuzzy Logic Method», *2019 4th IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron. Information, Commun. Technol. RTEICT 2019 - Proc.*, p. 948-952, 2019, doi: 10.1109/RTEICT46194.2019.9016956.
- [14] A. R. Ruddle, A. Galarza, B. Sedano, I. Unanue, I. Ibarra, i L. Low, «Safety and failure analysis of electrical powertrain for fully electric vehicles and the development of a prognostic health monitoring system», *IET Conf. Publ.*, vol. 2013, núm. 621 CP, p. 1-6, 2013, doi: 10.1049/cp.2013.1911.
- [15] B. Egardt, N. Murgovski, M. Pourabdollah, i L. J. Mardh, «Electromobility Studies Based on Convex Optimization», *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 34, núm. 2, p. 32-49, 2014.
- [16] A. Kiselev i A. Kuznetsov, «Motor drive control of a full-electric vehicle using generalized predictive control algorithm», *2014 IEEE Int. Electr. Veh. Conf. IEVC 2014*, núm. 1, 2014, doi: 10.1109/IEVC.2014.7056151.
- [17] A. Saleki, S. Rezazade, i M. Changizian, «Analysis and simulation of hybrid electric vehicles for sedan vehicle», *2017 25th Iran. Conf. Electr. Eng. ICEE 2017*, p. 1412-1416, 2017, doi: 10.1109/IranianCEE.2017.7985263.
- [18] M. F. M. Sabri, K. A. Danapalasingam, i M. F. Rahmat, «A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, p. 1433-1442, gen. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.09.036.
- [19] G. Giordano, V. Klass, M. Behm, G. Lindbergh, i J. Sjöberg, «Model-based lithium-ion battery resistance

- estimation from electric vehicle operating data», *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, núm. 5, p. 3720-3728, 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2796723.
- [20] M. A. Hannan, M. M. Hoque, A. Hussain, Y. Yusof, i P. J. Ker, «State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations», *IEEE Access*, vol. 6, p. 19362-19378, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2817655.
- [21] X. Han, Z. Wang, i Z. Wei, «A novel approach for health management online-monitoring of lithium-ion batteries based on model-data fusion», *Appl. Energy*, vol. 302, p. 117511, nov. 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.117511.
- [22] M. Armand and J.-M. Tarascon, «Building better batteries», *Nature*, vol. 451, núm. 1, p. 652-657, 2008.
- [23] N. Shafiei, M. Ordonez, M. Craciun, C. Botting, i M. Edington, «Burst Mode Elimination in High-Power LLC Resonant Battery Charger for Electric Vehicles», *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 31, núm. 2, p. 1173-1188, 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2420573.
- [24] M. Lahsini, Y. Ben Belgacem, C. Khaldi, i J. Lamloumi, «Kinetics and corrosion properties of the LaY<sub>2</sub>Ni<sub>9</sub> alloy used as anode for nickel-metal hydride batteries», *2018 9th Int. Renew. Energy Congr. IREC 2018*, núm. Irec, p. 1-5, 2018, doi: 10.1109/IREC.2018.8362489.
- [25] W. Zayani, S. Azizi, K. S. El-Nasser, I. O. Ali, i H. Mathlouthi, «Structural and electrochemical characterization of new co-doped spinel ferrite nanomaterial used as negative electrode in Ni/MH battery», *2018 9th Int. Renew. Energy Congr. IREC 2018*, núm. Irec, p. 1-5, 2018, doi: 10.1109/IREC.2018.8362576.
- [26] J. P. Ortiz, J. D. Valladolid, C. L. Garcia, G. Novillo, i F. Berrezueta, «Analysis of machine learning techniques for the intelligent diagnosis of Ni-MH battery cells», *2018 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2018*, núm. Ropec, p. 1-6, 2019, doi: 10.1109/ROPEC.2018.8661446.
- [27] M. Soltani, Y. Ben Belgacem, A. J. Telmoudi, i A. Chaari, «Parameter identification and state of health evaluation for Nickel-Metal Hydride batteries based on an improved clustering algorithm», *2018 5th Int. Conf. Control. Decis. Inf. Technol. CoDIT 2018*, p. 128-133, 2018, doi: 10.1109/CoDIT.2018.8394782.
- [28] S. A. U. A. Madusanka, D. M. O. R. Mahadiulwewa, S. P. A. A. J. Samarakoon, K. A. H. Sandeepanie, i R. M. T. Damayanthi, «Improving the Performance of Lead Acid Batteries using Nano-Technology», *MERCon 2019 - Proceedings, 5th Int. Multidiscip. Moratuwa Eng. Res. Conf.*, p. 589-593, 2019, doi: 10.1109/MERCon.2019.8818890.
- [29] M. Caruso *et al.*, «Nanostructured lead acid battery for electric vehicles applications», *2017 Int. Conf. Electr. Electron. Technol. Automot.*, 2017, doi: 10.23919/EETA.2017.7993216.
- [30] A. Burke, Z. Liu, i H. Zhao, «Present and future applications of supercapacitors in electric and hybrid vehicles», *2014 IEEE Int. Electr. Veh. Conf. IEVC 2014*, p. 1-5, 2014, doi: 10.1109/IEVC.2014.7056094.
- [31] D. M. Rosewater, D. A. Copp, T. A. Nguyen, R. H. Byrne, i S. Santoso, «Battery Energy Storage Models for Optimal Control», *IEEE Access*, vol. 7, p. 178357-178391, 2019, doi:

- 10.1109/ACCESS.2019.2957698.
- [32] X. L. Liu, Z. M. Cheng, F. Y. Yi, i T. Y. Qiu, «SOC calculation method based on extended Kalman filter of power battery for electric vehicle», *Proc. 2017 12th Int. Conf. Intell. Syst. Knowl. Eng. ISKE 2017*, vol. 2018-Janua, p. 1-4, 2017, doi: 10.1109/ISKE.2017.8258840.
- [33] L. Guo, C. Hu, i G. Li, «The SOC estimation of battery based on the method of improved Ampere-hour and Kalman filter», *Proc. 2015 10th IEEE Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA 2015*, núm. 5, p. 1458-1460, 2015, doi: 10.1109/ICIEA.2015.7334337.
- [34] M. Coleman, C. K. Lee, C. Zhu, i W. G. Hurley, «State-of-charge determination from EMF voltage estimation: Using impedance, terminal voltage, and current for lead-acid and lithium-ion batteries», *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 54, núm. 5, p. 2550-2557, 2007, doi: 10.1109/TIE.2007.899926.
- [35] J. B. Jim, «An Estimation Method of State of Charge and Lifetime for Lead-Acid Batteries in Smart Grid», p. 564-569, 2015.
- [36] I. Bin Jafar, A. Zaman, i M. Rahman, «Performance Stud dy of Lead-Acid Batter ry in a Solar Car under Differe ent Traffic and Weather r Conditions», p. 21-24.
- [37] G. Soares Dos Santos, F. Jose Grandinetti, R. Augusto Rocha Alves, i W. De Queiroz Lamas, «Design and simulation of an energy storage system with batteries lead acid and lithium-ion for an electric vehicle: Battery vs. conduction cycle efficiency analysis», *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 18, núm. 8, p. 1345-1352, 2020, doi: 10.1109/TLA.2020.9111669.
- [38] W. Wang *et al.*, «The electrochemical characteristics of

AB4-type rare earth–Mg–Ni-based superlattice structure hydrogen storage alloys for nickel metal hydride battery», *J. Magnes. Alloy.*, vol. 9, núm. 6, p. 2039-2048, 2021, doi: 10.1016/j.jma.2020.12.009.

## 7.1 Matriz de Estado del Arte

Tabla 5: Matriz de estado del arte.

CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA																					
ÍTEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIÓN DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Contaminación ambiental	Vehículos eléctricos	Circuitos eléctricos	Baterías Eléctricas	Eficiencia	Estado de carga	Caracterización de baterías Eléctricas	Modelación de baterías Eléctricas	Estimación del estado de carga	Caracterización de parámetros eléctricos de baterías	Eficiencia de baterías eléctricas	Método de Resistencia Interna	Algoritmo de filtro de Kalman	Modelo de Voltaje de circuito abierto	Matemática difusa	Conteo de Amperios de Coulomb	Modelo de Thévenin	Caracterización, Modelación de baterías usadas en
1	2018	Air purification system for street level air pollution and roadside air pollution	5	☒	☒		☒														
2	2016	Intelligent vehicle counter - A road to sustainable development and pollution prevention (P2)	8	☒	☒		☒														
3	2013	Electric vehicles - A 'one-size-fits-all' solution for emission reduction from transportation?	18	☒	☒		☒														
4	2006	Plug-In Hybrid Electric Vehicles with Full Performance	30	☒	☒		☒														
5	2020	A New Battery Active Balancing Method with Supercapacitor Considering Regeneration Process	2		☒	☒	☒	☒		☒		☒		☒						☒	
6	2012	Batteries and battery management systems for electric vehicles	126		☒	☒	☒	☒	☒			☒		☒							
7	2018	A Review on Electric Vehicles with perspective of Battery Management System	7		☒	☒	☒	☒	☒			☒	☒							☒	
8	2018	State of Charge (SoC) Analysis and Modeling Battery Discharging Parameters	17			☒	☒		☒	☒		☒	☒	☒	☒					☒	☒
9	2016	Cálculo del estado de carga en baterías de plomo-ácido: diseño y validación experimental	1			☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒			☒		☒	☒	
10	2019	Comparison of simple battery model and thevenin battery model for SOC estimation based on OCV method	5		☒	☒	☒		☒	☒		☒	☒	☒			☒			☒	☒
11	2019	Improved SOC estimation of lithium-ion batteries with novel SOC-OCV curve estimation method using equivalent circuit model	14		☒	☒	☒		☒	☒		☒	☒	☒			☒			☒	☒
12	2018	Lithium Battery SOC Estimation Based on Extended Kalman Filtering Algorithm	10		☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒	☒				☒		☒	
13	2019	SoC Estimation of Lithium Ion Battery Using Combined Coulomb Counting and Fuzzy Logic Method	13		☒	☒		☒	☒			☒	☒					☒	☒	☒	☒

**CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA**

ÍTEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIÓN DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Contaminación ambiental	Vehículos eléctricos	Circuitos eléctricos	Baterías Eléctricas	Eficiencia	Estado de carga	Caracterización de baterías Eléctricas	Modelación de baterías Eléctricas	Estimación del estado de carga	Caracterización de parámetros eléctricos de baterías	Eficiencia de baterías eléctricas	Método de Resistencia Interna	Algoritmo de filtro de Kalman	Modelo de Voltaje de circuito abierto	Matemática difusa	Conteo de Amperios de Coulomb	Modelo de Thévenin	Caracterización, Modelación de baterías usadas en electromovilidad
14	2013	Safety and failure analysis of electrical powertrain for fully electric vehicles and the development of a prognostic health monitoring system	8		☒		☒	☒	☒				☒				☒				☒
15	2014	Electromobility Studies Based on Convex Optimization	89		☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒						☒
16	2014	Motor drive control of a full-electric vehicle using generalized predictive control algorithm	4		☒	☒		☒	☒	☒		☒	☒		☒					☒	☒
17	2017	Analysis and simulation of hybrid electric vehicles for sedan vehicle	19		☒		☒	☒				☒									
18	2016	A review on hybrid electric vehicles architecture and energy management strategies	326		☒		☒	☒		☒	☒	☒									☒
19	2018	Model-based lithium-ion battery resistance estimation from electric vehicle operating data	48		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒				☒			☒	☒
20	2018	State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations	339	☒	☒		☒			☒				☒				☒			☒
21	2021	A novel approach for health management online-monitoring of lithium-ion batteries based on model-data fusion	3		☒		☒	☒		☒	☒	☒			☒						☒
22	2012	Building better batteries	14027		☒		☒	☒		☒		☒									☒
23	2016	Burst Mode Elimination in High-Power LLC Resonant Battery Charger for Electric Vehicles	77		☒	☒	☒		☒	☒	☒		☒		☒					☒	☒
24	2018	Kinetics and corrosion properties of the LaY2Ni9 alloy used as anode for nickel-metal hydride batteries	1		☒		☒	☒		☒	☒										☒

**CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA**

ÍTEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIÓN DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Contaminación ambiental	Vehículos eléctricos	Circuitos eléctricos	Baterías Eléctricas	Eficiencia	Estado de carga	Caracterización de baterías Eléctricas	Modelación de baterías Eléctricas	Estimación del estado de carga	Caracterización de parámetros eléctricos de baterías	Eficiencia de baterías eléctricas	Método de Resistencia Interna	Algoritmo de filtro de Kalman	Modelo de Voltaje de circuito abierto	Matemática difusa	Conteo de Amperios de Coulomb	Modelo de Thévenin	Caracterización, Modelación de baterías usadas en electromovilidad	
25	2018	Structural and electrochemical characterization of new co-doped spinel ferrite nanomaterial used as negative electrode in Ni/MH battery	10		☒		☒		☒													
26	2018	Analysis of machine learning techniques for the intelligent diagnosis of Ni-MH battery cells	4		☒	☒	☒	☒	☒			☒			☒							☒
27	2018	Parameter identification and state of health evaluation for Nickel-Metal Hydride batteries based on an improved clustering algorithm	3			☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒				☒			☒	☒	
28	2019	Improving the Performance of Lead Acid Batteries using Nano-Technology	1			☒	☒	☒	☒	☒	•	☒	☒				☒			☒	☒	
29	2017	Nanostructured lead acid battery for electric vehicles applications	12			☒	☒	☒			☒										☒	
30	2014	Present and future applications of supercapacitors in electric and hybrid vehicles	48		☒	☒	☒		☒		•		☒		☒						☒	
31	2019	Battery Energy Storage Models for Optimal Control	39		☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒		☒					☒	
32	2017	SOC calculation method based on extended Kalman filter of power battery for electric vehicle	28		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒						☒	
33	2015	The SOC estimation of battery based on the method of improved Ampere-hour and Kalman filter	13			☒	☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒						☒	
34	2007	State-of-charge determination from EMF voltage estimation: Using impedance, terminal voltage, and current for lead-acid and lithium-ion batteries	357		☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒		☒						☒	☒	
35	2015	An Estimation Method of State of Charge and Lifetime for Lead-Acid Batteries in Smart Grid	5			☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒				☒	☒	☒	☒	

**CARACTERIZACIÓN, MODELACIÓN Y COMPARACIÓN DE BATERÍAS EMPLEADAS EN ELECTROMOVILIDAD EN BASE A SU CARGA Y DESCARGA**

ÍTEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA				RESTRICCIÓN DEL PROBLEMA			PROPUESTA PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA		
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Contaminación ambiental	Vehículos eléctricos	Circuitos eléctricos	Baterías Eléctricas	Eficiencia	Estado de carga	Caracterización de baterías Eléctricas	Modelación de baterías Eléctricas	Estimación del estado de carga	Caracterización de parámetros eléctricos de baterías	Eficiencia de baterías eléctricas	Método de Resistencia Interna	Algoritmo de filtro de Kalman	Modelo de Voltaje de circuito abierto	Matemática difusa	Conteo de Amperios de Coulomb	Modelo de Thévenin	Caracterización, Modelación de baterías usadas en electromovilidad
36	2016	Performance Study of Lead-Acid Battery in a Solar Car under Different Traffic and Weather Conditions	6	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒		☒	☒							☒	☒
37	2020	Design and simulation of an energy storage system with batteries lead acid and lithium-ion for an electric vehicle: Battery vs. conduction cycle efficiency analysis	5		☒		☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒								☒
38	2021	The electrochemical characteristics of AB4-type rare earth-Mg-Ni-based superlattice structure hydrogen storage alloys for nickel metal hydride battery	3		☒		☒	☒	☒	☒	☒		☒								☒
			Cantidad	6	31	22	35	26	29	20	23	26	21	20	5	7	6	5	3	16	28

## 7.2 Resumen de Indicadores

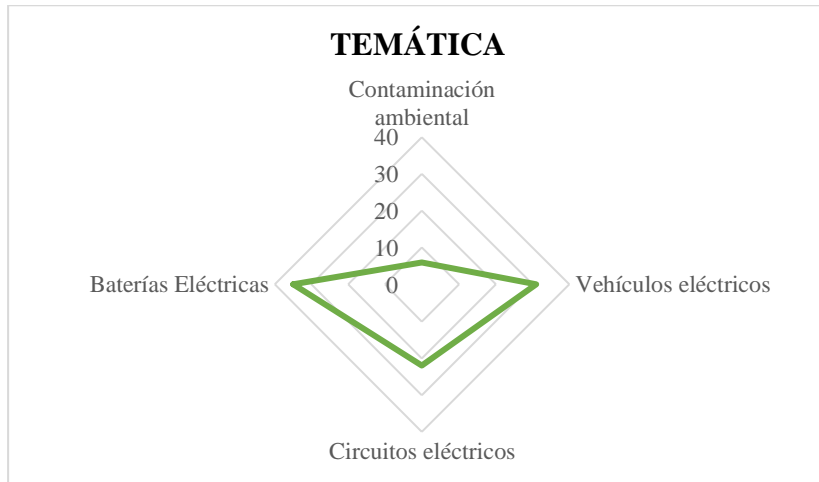


Figura 16. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

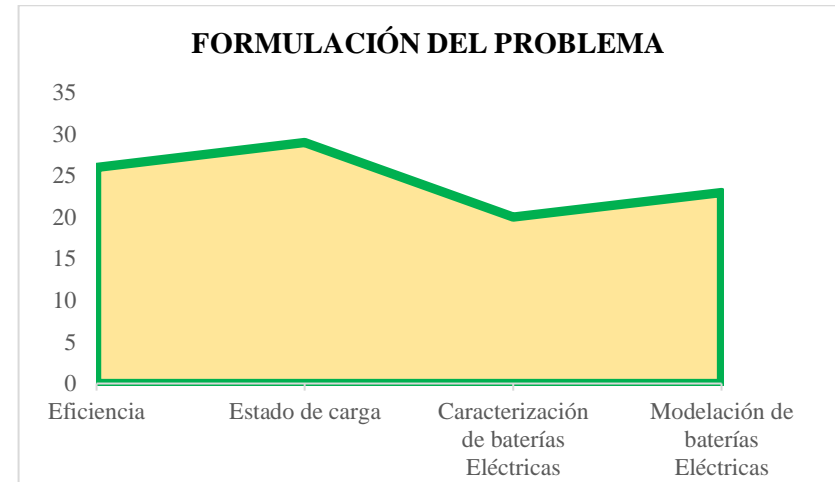


Figura 17. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

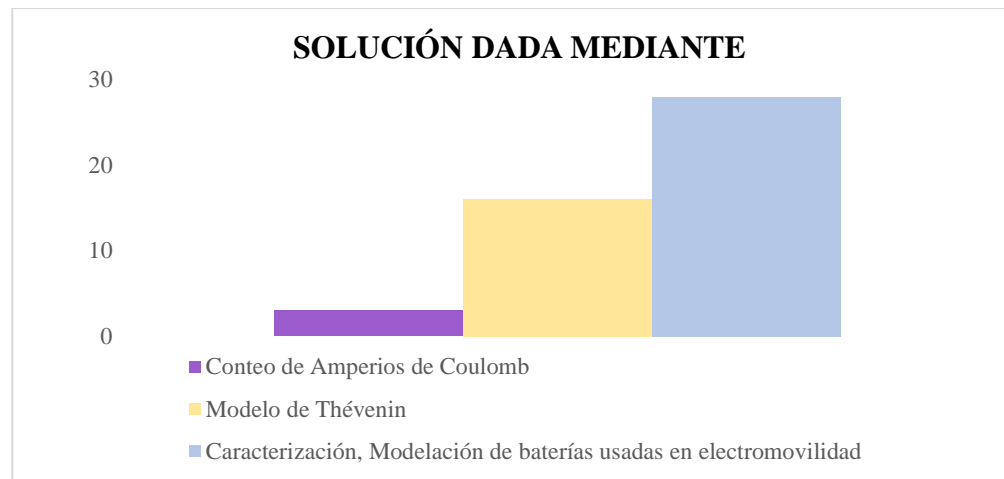


Figura 18. Indicador de solución - Estado del arte.



## 8 Anexos

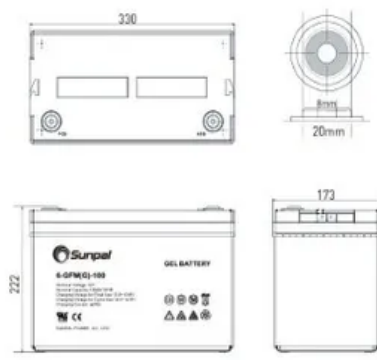
- **Anexo 1**  
Batería de ion-Litio

General Specifications		
Electrical Characteristics	Nominal Voltage	12.8V
	Nominal Capacity	100Ah@0.2C
	Energy	1280Wh
	Internal Resistance	45mΩ
	Cycle Life	>2000 Cycles @ 0.2C Charge/Discharge at 100%DOD, End of Life 70% Capacity.
	Months Self Discharge	≤3.5% per month at 25°C
Standard Charge	Charge Voltage	14.6±0.2V
	Charge Mode (CC/CV)	At 0°C~45°C temperature, charged to 14.6V at a constant current of 0.2C5A, and then, changed continuously with constant voltage of 14.6V until the current was not more than 0.02C5A.
	Charger Current	20A
	Max.Charge Current	50A
Standard Discharge	Discharge Current	20A
	Max. Continuous Current	100A
	Max.Pulse Current	200A(<3S)
	Discharge Cut-off Voltage	10.0V
Environmental	Charge Temperature	0°C to 45°C(32°F to 113°F) @60±25% Relative Humidity
	Discharge Temperature	-20°C to 60°C(-4°F to 140°F) @60±25% Relative Humidity
	Storage Temperature	0°C to 45°C(32°F to 113°F) @60±25% Relative Humidity
	Water Dust Resistance	IP55
Mechanical	Cell & Method	IFR32700 N60, 4S17P
	Plastic Case	ABS
	Dimension(L*W*H*TH)	328*172*215*220mm
	Weight	Approx. 13.1Kg
	Terminal	M8

Figura 19. Datasheet batería de ion-Litio usada en el artículo

- **Anexo 2**  
Batería de Plomo Acido

Specification	
Rated Voltage	12V
Numbers of cells	6 Cells
Capacity	100Ah@10 hr.-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	28.5kg
Internal Resistance	Approx. 6mΩ
Terminal	F1 / F2
Max. Discharge Current	1500A(5s)
Short Circuit Current	5000A
Max. Charging Current	25A
Reference Capacity	C10 100.0AH
	C3 74.6AH
	C1 56.8AH
Design Life	10-15 years
Float Charging Voltage	13.6 V-13.8 V @ 25°C
	Temperature Compensation: -20mV/°C/Cell
Cycle Use Voltage	14.4 V-14.9 V @ 25°C
	Temperature Compensation: -30mV/°C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C-60°C
	Charge: 0°C-50°C
	Storage: -20°C-60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Self Discharge	Less than 3% at 25°C per month
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



Length	330±2mm (13.8 inches)
Width	173±1mm (6.8 inches)
Height	217±1mm (8.9 inches)
Total Height	222±1mm (8.7 inches)

Figura 20. Datasheet batería de Plomo-Acido usada en el artículo

- **Anexo 3**  
Batería de Hidruro Metálico de Níquel

Las características dadas en este datasheet son aplicables para una batería de 100 [Ah]

Especificación	
Especificaciones de la batería del GEL 12V 200AH	
Tensión Nominal	12V 12V
Capacidad Nominal (10HR)	200Ah
Dimensiones	(L * W * H) 522*240*218mm
De la capacidad	200 0AH/10.0A (20hr 1,80 V/celda 25 C/77 °F)  186 0AH/18.6A (10hr 1,80 V/celda 25 C/77 °F)  160 0AH/32.0A (5hr 1,75 V/celda 25 C/77 °F)  139 2AH/46.4A (3hr 1,75 V/celda 25 C/77 °F)  110 0AH/110.0A (1hr 1,60 V/celda 25 C/77 °F)
Rango de temperatura de funcionamiento	Aprobación de la gestión: ~ 55-20 °C (4 ~ 131 °F)  Carga: 0 40 40 °C (32 104 °F)  Almacenamiento: 50 50-20 °C (-4 122 °F)
Uso de ciclo	Corriente de carga inicial inferior a 20.0A. Tensión de  14,4 V ~ 15,0 V a 25 C(77 F) Temperatura -Coeficiente de 30mV/ C
Capacidad de afectados por la temperatura	40 °( 104 °F) 103%  25 °C ( 77 °F) 100%  0 °C ( 32 °F) 86%
Contenedor de Material	ABS
Max. Corriente de descarga	1800A(5S)

Figura 21. Datasheet batería de Hidruro metálico de Níquel usada en el artículo