



Estimación y recuperación del sistema de almacenamiento de energía electroquímica aplicado en vehículos eléctricos

Estimation and recovery of the electrochemical energy storage system applied in electric vehicles

Estimativa e recuperação do sistema de armazenamento eletroquímico de energia aplicado em veículos elétricos

Jairo Edison Guasumba-Maila^I
jguasumba@tecnocuatoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

Gerson Alexander Vasco-Vega^{III}
gvasco2099@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3031-1582>

Víctor Alfonso Garay-Cisneros^{II}
vgaray@tecnocuatoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6739-9309>

Mauro Danilo Simbaña-Manopanta^{III}
mauormx10@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8501-7757>

Correspondencia: jguasumba@tecnocuatoriano.edu.ec

Ciencias de la Técnicas y Aplicadas
Artículos de investigación

***Recibido:** 16 de julio de 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 * **Publicado:** 08 de septiembre de 2021

- I. Magíster en Diseño Mecánico, Docente Investigador, Coordinador de Carrera de Mecánica y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.
- II. Magister en Educación Mención Gestión del Aprendizaje. Mediado por Tic, Docente investigador. Director de Vinculación con la sociedad, Miembro del Consejo Académico Superior ISTTE, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.
- III. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.
- IV. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano, Ecuador.

Resumen

La promoción de vehículos eléctricos requiere el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía a gran escala confiables, seguros y de bajo costo. Existe varias tecnologías en baterías y una de las más importantes la batería de polímero de litio de estado sólido se considera una de las tecnologías prometedoras a cumplir los requisitos de EV. La estimación de una batería energética contribuye a predecir el comportamiento que esta tendrá, cuando se encuentren funcionando en el vehículo eléctrico, pero sus reacciones químicas son difíciles de predecir, y estas varían en función de ciertos parámetros como: la temperatura, el uso que se le haya dado, o también puede ser el tiempo que se mantengan funcionando. Se concluye que las baterías de ion-litio se someten a cargas y descargas muy rápidas, reducirán su vida útil drásticamente, por lo que recomiendan hacer una mezcla en su funcionamiento, si se realiza una carga con pocos amperios se debe realizar una descarga con muchos amperios, con esto se obtendrá el doble de ciclos de vida de una batería, esta forma es esencial para alargar la vida útil de las baterías para nuestros vehículos eléctricos

Palabras clave: vehículo; Almacenamiento de energía; vehículo eléctrico; medio ambiente; estimación de batería.

Abstract

The promotion of electric vehicles requires the development of reliable, safe, and low-cost large-scale energy storage systems. There are several battery technologies and one of the most important, the solid-state lithium polymer battery, is considered one of the promising technologies to deliver EV requirements. The estimation of an energy battery helps to predict the behavior that it will have, when they are operating in the electric vehicle, but their chemical reactions are difficult to predict, and these vary depending on certain parameters such as: temperature, the use that is you have given, or it can also be the time that they keep running. It is concluded that lithium-ion batteries are subjected to very fast charges and discharges, they will drastically reduce their useful life, so they recommend making a mixture in their operation, if a charge with few amps is carried out, a discharge with many amps, with this you will get double the life cycles of a battery, this way is essential to extend the useful life of the batteries for our electric vehicles.

Keywords: vehicle; Energy storage; electric vehicle; environment; battery estimate.

Resumo

A promoção de veículos elétricos requer o desenvolvimento de sistemas de armazenamento de energia em grande escala confiáveis, seguros e de baixo custo. Existem várias tecnologias de bateria e uma das mais importantes, a bateria de polímero de lítio de estado sólido, é considerada uma das tecnologias promissoras a serem fornecidas. Requisitos de EV. A estimativa de uma bateria de energia ajuda a prever o comportamento que ela terá, quando estiver operando no veículo elétrico, mas suas reações químicas são difíceis de prever, e estas variam dependendo de certos parâmetros como: temperatura, o uso que é você deu, ou também pode ser o tempo que eles continuam correndo. Conclui-se que as baterias de íon-lítio estão sujeitas a cargas e descargas muito rápidas, vão reduzir drasticamente sua vida útil, por isso recomendam fazer uma mistura em seu funcionamento, se for realizada uma carga com poucos amperes, uma descarga com muitos amperes, com isso você terá o dobro da vida útil de uma bateria, desta forma é essencial para estender a vida útil das baterias dos nossos veículos elétricos.

Palavras-chave: veículo; Armazenamento de energia; veículo elétrico; meio Ambiente; estimativa da bateria..

Introducción

Desde los años 70, cuando tuvo lugar la 1ª crisis del petróleo, se comenzó a tener una inquietud acerca del futuro de dicha energía, llegando al punto de iniciar una búsqueda de nuevas fuentes de energía, más baratas y que pudieran ser obtenidas de forma más independiente. Dicha crisis, junto con los estudios realizados durante los años 80 y 90 sobre la contaminación en el planeta, especialmente el denominado “efecto invernadero”, que podría acabar con la capa de ozono de la atmósfera debido al excesivo uso de todo tipo de gases, dio pie a una nueva conciencia relativa a la investigación sobre el uso de energías renovables más favorables con el medio ambiente (Pelayo, 2013). Junto con esos estudios, otra razón que impulsó el inicio de la investigación de vehículos eléctricos ha sido el hecho de que cada vez quedan menos reservas de petróleo, lo que aumenta su precio considerablemente (Chowdhury et al., 2018)

El comportamiento medioambiental de los vehículos eléctricos está directamente relacionado con la combinación de electricidad que se utiliza durante el proceso de carga. Hoy en día, con un

aumento constante de la electricidad renovable que se está introduciendo, su uso no siempre es óptimo (Oliveira et al., 2015). Con las crecientes demandas de energía, se requieren nuevas químicas de batería más allá de la tecnología de iones de litio para hacer frente a un mayor consumo de energía y promover la electrificación del vehículo. En particular, las áreas de conocimiento relacionadas con los vehículos eléctricos han ganado importancia en todas las tecnologías de baterías examinadas, lo que refleja el impulso para producir sistemas de baterías de alta energía (Aaldering & Song, 2019).

Los vehículos eléctricos (VE) ya fueron testados antes de los propios vehículos de combustible. Sin embargo, fueron desplazados por estos últimos debido a que necesitaban un enorme tiempo de recarga para un óptimo funcionamiento y a la dificultad para almacenar grandes cantidades de energía, lo cual sigue siendo hoy en día el principal problema (Pelayo, 2013). La cadena energética que conduce a la alimentación de cualquier vehículo eléctrico, coche, autobús, furgoneta, etc., parte de la generación de energía primaria atendiendo a la estructura mixta que suponen las distintas centrales, la cual a su vez varía según los entornos geográficos de referencia (Martin y Bargallo Pernina, 2015; Pflöging, 2021).

Tabla 1 Datos de funcionamiento de vehículos eléctricos (Fierro y Siguenza, 2017)

CARACTERISTICAS	KIA SOUL	BYD E5	RENAULT KANGOO	NISSAN LEAF	RENAULT TWIZY
Tipo de Motor eléctrico	Motor eléctrico síncrono de imán permanente	Motor síncrono de imanes permanentes	Motor Eléctrico 2.4 (Síncrono reversible)	Motor síncrono de corriente eléctrica	demotor eléctrico asíncrono
Tipo de corriente	AC	AC	AC	AC	AC
Potencia máxima CV	109CV	107CV	60 CV	109CV	17 CV
Potencia máxima kW/rpm	81.4 kW/rpm	160 kW/rpm	44 kW/rpm	80 kW/rpm	13 Kw/rpm
Par máximo	285 Nm/rpm	310 Nm/rpm	226 Nm/rpm	254 Nm/rpm	57Nm/rpm
Velocidad máxima	145 km/h	130 km/h	130 km/h	150km/h	80km/h
Aceleración de 0-100 km/h	11.2 s	14 s	20,3 s	*	0 a 45 km/h en 6,1 segundo
Consumo eléctrico	21 kWh cada 100 km	*	155 Wh/km	20,4 kWh cada 100	63 Wh/km
Autonomía NEDC EPA	o212 km	220 km	170 km	117km	100km

El reemplazo de automóviles convencionales por vehículos eléctricos de batería (BEV) ofrece una oportunidad para reducir significativamente las futuras emisiones de dióxido de carbono (Gorlin et al., 2016; Bebelis et al., 2013). Los vehículos eléctricos (EV) se han desarrollado recientemente en niveles avanzados y, en particular, también se han desarrollado tecnologías de baterías. Aunque se ha avanzado en el desarrollo de la tecnología de la batería, el uso no acompaña por completo al consumo de energía (Udhaya Sankar et al., 2019)..

A inicios del 2016 se inició en Ecuador la comercialización de vehículos 100% eléctricos para venta directa a usuarios en dos concesionarios locales, en otros casos se debía recurrir a procesos de importación a través de agencias a fin de acceder a este tipo de movilidad. En función de esta opción se considera 5 vehículos eléctricos, en la tabla 1 se menciona varios vehículos. Estos vehículos tipos: biplaza, sedan o todoterreno, cuentan con un motor síncrono en su mayoría y potencias de 17 a 109 CV, y desarrollan velocidades hasta de 145 km/hr (Fierro y Siguenza, 2017). En este trabajo se aprecia varias características de la estimación y recuperación del sistema de almacenamiento, además de su evolución en la aplicación de los vehículos eléctricos.

Estimación del sistema de almacenamiento en prototipos de vehículos eléctricos

Las baterías son la fuente de energía para cualquier vehículo eléctrico, a una velocidad, un voltaje mayor aumenta el rango y puede aumentar el par de torsión ascendente, sin embargo, un voltaje mayor no lo hace, se necesita una batería de tamaño compacto para instalar en el scooter. El rendimiento del motor varía con la carga aplicada, se asumió que el peso colocado en el motor es de 110 kg, siendo el total del conjunto del scooter que incorpora el motor, chasis, batería y adicionalmente el del usuario. El scooter contiene una batería de plomo-ácido de capacidad 24v, 10Ah; por lo tanto, se puede cargar de 200 a 250 Wh, funcionando a una velocidad adecuada de 15 km / h (Ganesh Murali et al., 2021). En suma, de vehículos similares un modelo impulsado por dos motores BLDC colocados en las ruedas traseras controlados independientemente por un controlador no lineal denominado Backstepping. El modelo se simuló a través del entorno Matlab/Simulink, para ello la batería se sometió a diferentes condiciones (carga y velocidad) y llegó mostrar un resultado en la tabla 2 (Chergui, Nasri y Korhan, 2020).

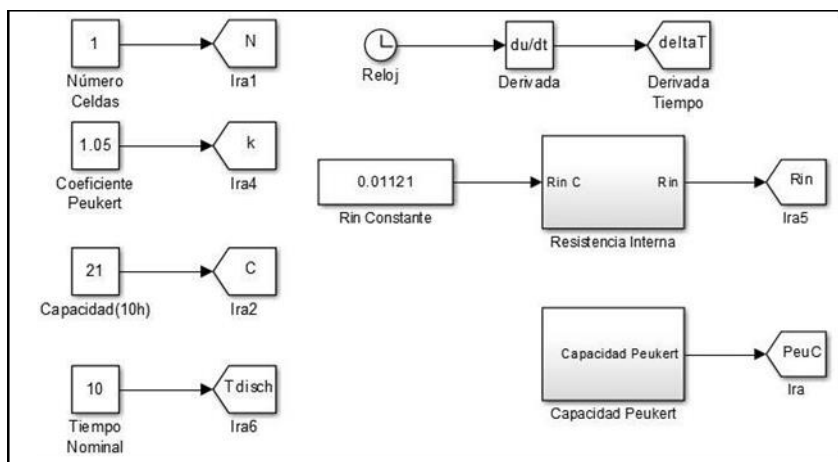
Tabla 2. Variación de la corriente de la batería, potencia de la batería y SOC, en diferentes fases de trayectoria.

Tiempo (s)	CONSUMO DE BATERIA					
	Intensidad (A)		Potencia (W)		SOC (%)	
	PI	Backstepping	PI	Backstepping	PI	Backstepping
0	0	0	0	0	50	50
1	6,72	4,31	1432	921	49,98	49,99
6	17,03	12,06	3561	2551	49,89	49,91
20,18	21,68	18,44	4454	3815	49,37	49,39
25,17	5,5	8,69	1144	1805	48,97	49

Fuente: (Chergui, Nasri y Korhan, 2020).

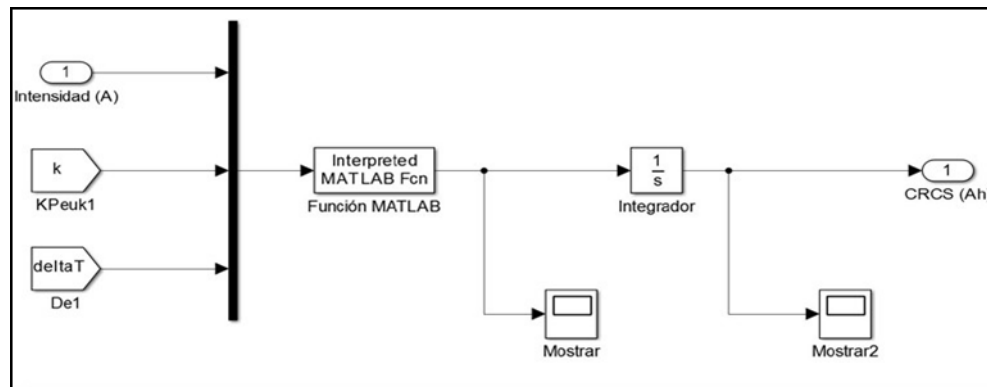
La simulación para la estimación de una batería energética contribuyó a predecir el comportamiento que esta tendrá, cuando se encuentren funcionando en el vehículo eléctrico. El modelado de la batería es un proceso complejo, sus reacciones químicas son difíciles de predecir, y estas varían en función de ciertos parámetros como: la temperatura, el uso que se le haya dado, o también puede ser el tiempo que se mantengan funcionando, pero para este proyecto se utilizará un modelo sencillo que garantiza buenos resultados. Para calcular la tensión del circuito abierto, que depende de la profundidad de descarga (DoD), y del estado de carga (SoC), siendo $SoC=1-DoD$, el bloque de configuración de las baterías que viene dado por el esquema planteado en la figura 1 (Moreno, 2015).

Figura 1. Bloque de constantes para la configuración de la batería (Moreno, 2015)



Para ingresar en Simulink, se necesita integrar el resultado en función del tiempo, como se observa en la figura 2. Para el bloque de estado de carga, se necesitó dividir la carga entre la capacidad original de la batería, una vez realizados todos los bloques, se procedió a la unión de todos ellos, teniendo en cuenta que es necesario unir la salida del estado de carga (SoC) con la entrada de tensión del circuito abierto y se tiene como resultado el porcentaje del estado de carga de la batería en cada instante del tiempo que dura la simulación (Moreno, 2015)

Figura 2. Bloque de carga (Moreno, 2015)

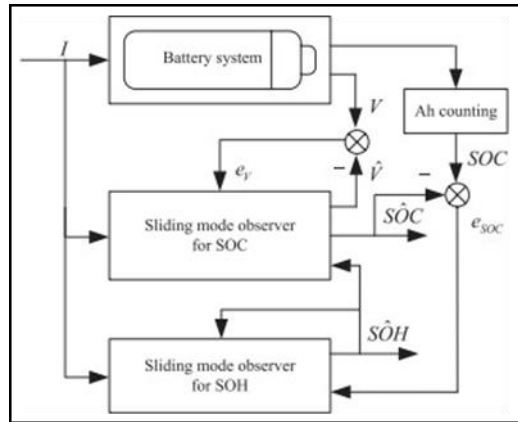


La batería del transporte eléctrico es el núcleo de la vida útil de la batería del vehículo eléctrico y la estabilidad del rendimiento, por lo cual el soporte o la caída de su rendimiento determina la calidad general del vehículo eléctrico. Los cargadores de automóviles eléctricos están afectando de manera directa la eficiencia y la vida útil de la batería. Este diseño utilizó el microordenador de un solo chip como control primordial, capacidad de control de microcontrolador confiable, el puerto de E/S y los beneficios de bajo voltaje y bajo consumo de energía. Este diseño realizó una carga rápida y pudo alimentar automáticamente el cargador del vehículo eléctrico analógico, para que el proceso sea más seguro, por lo cual se puede utilizar extensamente (Wang y Wu, 2016).

Las estimaciones del estado de carga (SOC) y del estado de salud (SOH) de la batería de iones de litio son importantes en un sistema de gestión de baterías. En este artículo, se presenta un método para la estimación conjunta de SOC y SOH basado en un observador de modo deslizante dual (DSMO) considerando el factor de desvanecimiento de la capacidad. Se construye un modelo de circuito equivalente con una red de condensadores y resistencias para representar los comportamientos dinámicos de las baterías de iones de litio. SOC y SOH no son variables

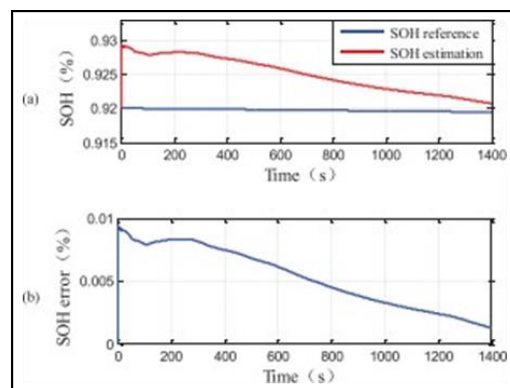
medibles y deben estimarse, por lo tanto, los observadores deben reconstruir los estados y parámetros internos del sistema. El diagrama de bloques de DSMO para la estimación conjunta de SOC y SOH se muestra en la figura 3 (Chen, Ma y Chen, 2018).

Figura 3. Diagrama de bloques de DSMO para estimación de SOC y SOH (Chen, Ma y Chen, 2018).



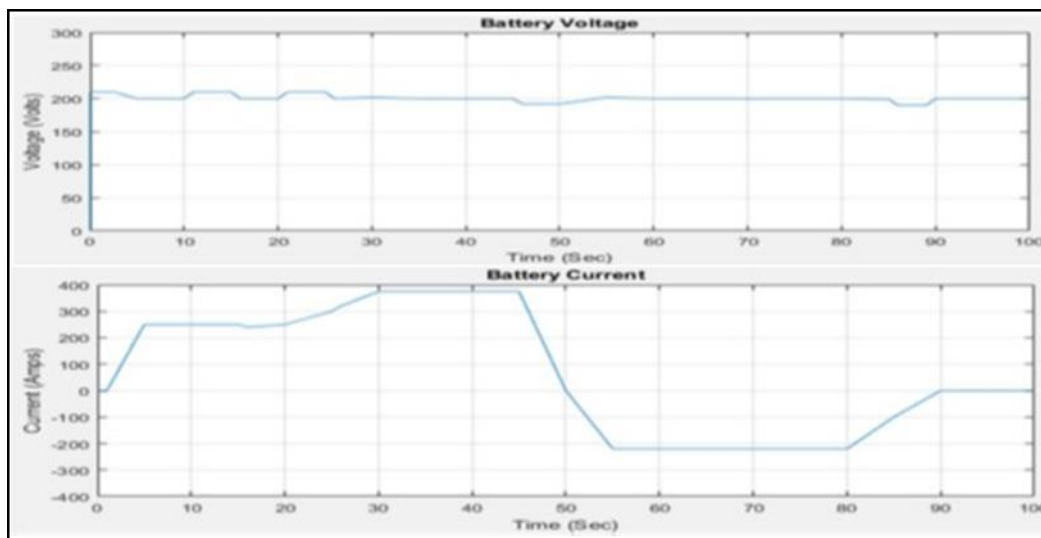
El modelo de batería propuesto y el DSMO son programados por Matlab / Simulink, debe verificar la viabilidad de la estimación conjunta de SOC y SOH basada en DSMO. Las simulaciones basadas en DSMO se llevan a cabo en el ciclo de pruebas urbanas estándar japonés JC08. El valor SOC de la batería disminuyó del 81,5% al 73,4%, el SOC estimado sigue de cerca la referencia y el error de estimación del SOC converge a 61%. Además, los resultados de la simulación de la estimación de SOH basada en DSMO se muestran en la figura 4. El error de estimación de SOH es cercano a cero, lo que significa que el DSMO propuesto tiene una alta precisión de estimación y un buen rendimiento de seguimiento (Chen, Ma y Chen, 2018).

Figura 4. Resultados de SOH estimados bajo JC08 (Chen, Ma y Chen, 2018).



En el siguiente estudio, se simuló en la plataforma MATLAB-Simulink, los componentes relevantes del sistema eléctrico, así como se identificaron las ecuaciones correspondientes para la verificación de este. El controlador de carga de la batería es una herramienta responsable de la longevidad de las baterías, su importancia radica en emplear un sistema de gestión (BMS) de batería en el diseño de BEV's de sistema eléctrico. Un BMS muestra el voltaje de la batería, la corriente, temperatura, estado de carga (SoC), medición y el equilibrio celular. El estado de carga expresa la capacidad restante de la batería que podría verse afectada por la temperatura, la tasa de descarga y duración de la batería. La relación entre la carga residual disponible y la capacidad nominal es el SoC (Abulifa et al., 2018). En la figura 5, el voltaje y la corriente de la batería está expuesta, la curva de corriente de la batería sigue al motor y las curvas de par requeridas vencen al aumento en la demanda de par, pudiendo notar el aumento de corriente de la batería (Abulifa et al., 2018).

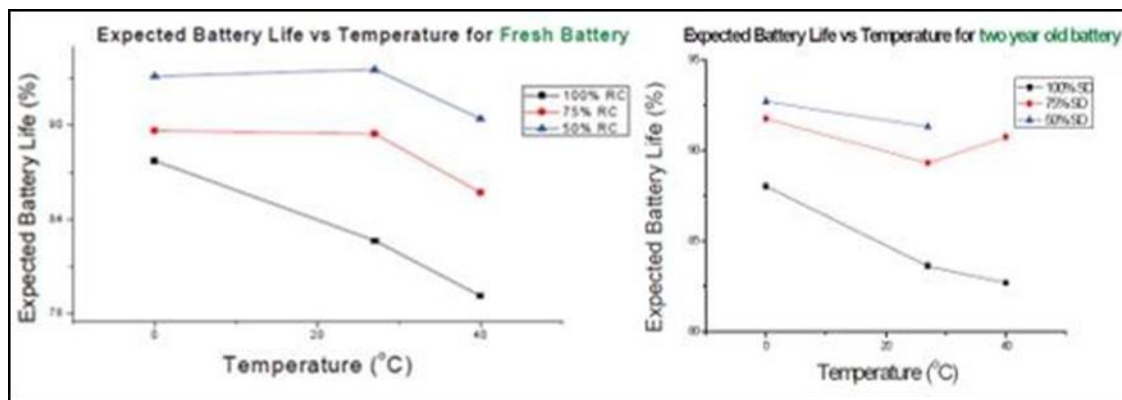
Figura 5. Resultados de voltaje y corriente (Abulifa et al., 2018).



La simulación de BMS, sistema que gestiona una batería recargable. Para vehículos eléctricos, todo el modelo y todos los demás bloques funcionales de BMS se implementan en la caja de herramientas Simulink de MATLAB. El BMS se implementó para proteger la batería y que funcione más allá de sus límites de seguridad, monitoreando su estado de carga (SoC) y su estado de salud (SoH). El FLC (Controlador de lógica Difuso) está diseñado para estimar la SoC de batería de plomo ácido, denotando que la vida útil de la batería se reduce con el aumento de

temperatura, o a su vez esta se acorte según su tiempo de uso. Con los resultados obtenidos en la figura 6, se concluye que el modelo implementado en MATLAB, tiene un sistema de gestión muy eficiente para indicar el estado de la batería SoC y SoH (Kumar, Khare y Chaturvedi, 2016).

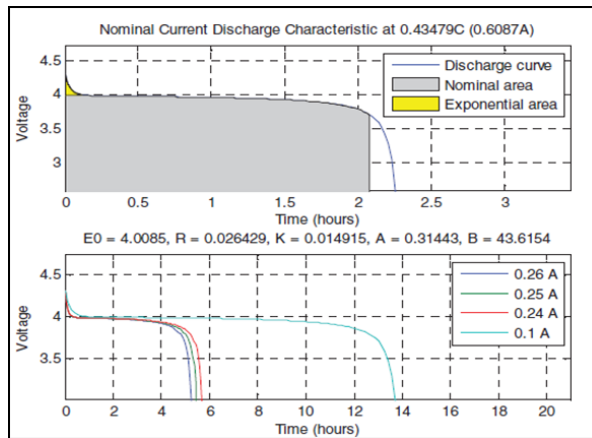
Figura 6. Vida útil de batería vs temperatura (Kumar, Khare y Chaturvedi, 2016).



El conjunto de batería que simula el comportamiento de una batería real y genera señales que llevan información sobre el estado de la batería para el controlador de carga, el alcance y configuración del solucionador requerido para los modelos correctos. El resultado práctico de la investigación es el modelo informático del dispositivo de carga de batería multifuncional destinado a la prueba virtual de los parámetros del sistema de control bajo diferentes estrategias de carga y algoritmos de control (Martyanov, Solomin y Korobotov, 2015). En el mismo sentido, el análisis de datos para Li-Ion, los análisis basados en la entrada y salida de los parámetros de descarga se procesaron en SimulinkMATLAB. Calculando la carga actual que utiliza el teléfono celular, cuando se usa para llamadas, internet en WiFi y visualización de películas es de aproximadamente 0.24A, 0.25A y 0.26 A respectivamente. El esquema se trazó en la biblioteca Simulink con una corriente de descarga cargada de 0,24 A, 0,25 A, 0,26 A y 0,1 A, respectivamente (Kurniawan et al., 2016). Además, la primera sección representa la caída de voltaje exponencial cuando la batería está completamente cargada. El ancho de esta región es de unos veinte minutos, la segunda sección representa la carga que se pudo extraer de 1.2661 Ah, en más de dos horas. Simulink proporciona un entorno para el análisis de la descarga de la batería de iones de litio como se observa en la figura 7. Las baterías de iones de litio tienen ventajas en voltaje constante, voltaje exponencial y descarga de corriente nominal, la recomendación para

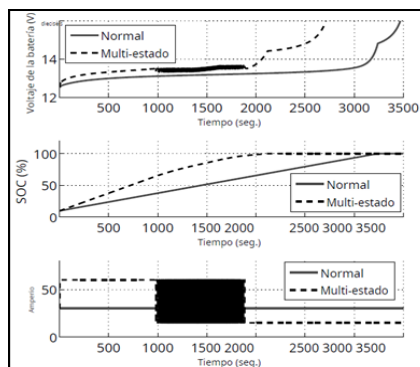
futuros estudios e investigaciones es hacer un análisis completo, no solo de descarga sino también de las características de carga (Kurniawan et al., 2016).

Figura 7. Característica de descarga a la corriente nominal (Kurniawan et al., 2016).



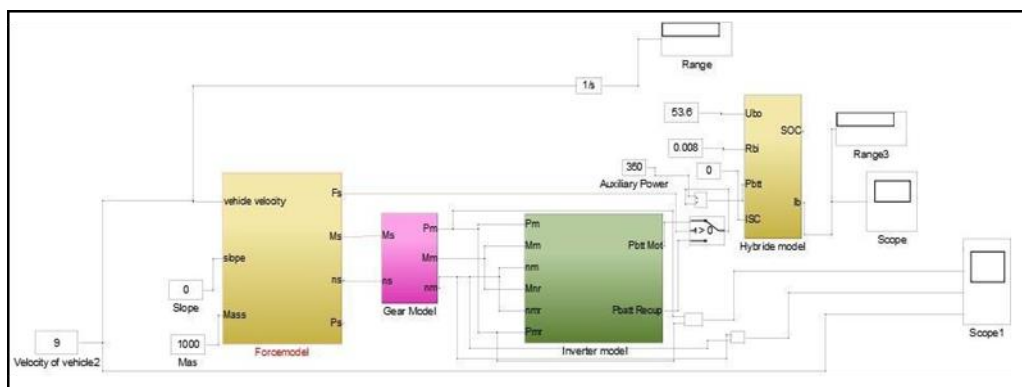
En el mismo sentido se discute el estado de carga de la batería de iones de litio modelada por Matlab / Simulink. El diseño y la simulación de la batería de iones de litio de carga multiestado basada en el paquete de opciones con las que trabaja el software se muestra en la figura 8, en donde la característica del modelo de batería es de 12 voltios y 30 Ah. El estado de carga (SOC) se mide y se aplica para evaluar la característica de carga / descarga de la batería. Los múltiples estados de carga aplicados para llenar la capacidad de la batería se evalúan con el fin de lograr una alta eficiencia. Los resultados de la simulación de carga en el nivel de batería voltaje, SOC, corriente de carga normal y carga multiestado con $V_{th} = 11,5V$ y $V_{th} = 12,5V$ se pueden apreciar en la figura 9 (Poonsuk y Pongyupinpanich, 2017).

Figura 8. Carga en el nivel de batería voltaje, SOC y corriente de carga (Poonsuk y Pongyupinpanich, 2017).



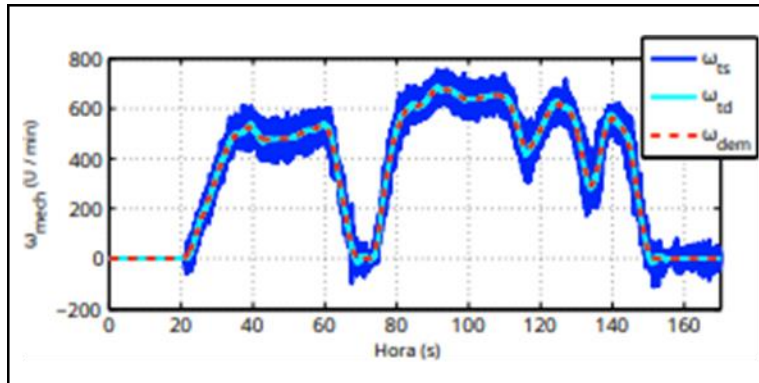
El siguiente artículo realiza la simulación de una batería ZEBRA mediante el entorno MATLAB/Simulink. El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un procedimiento operativo estándar para el diseño, simulación y análisis de baterías para Vehículos Eléctricos Híbridos. El modelo consta de una fuente de voltaje ideal (EO) y una resistencia en serie interna equivalente constante (ESR), así mismo puede aumentar la vida útil de la batería en un 15%, lo que a su vez tiene un gran impacto en el costo de mantenimiento de los vehículos eléctricos. El modelo de batería Zebra propuesto en la figura 9, se puede analizar en el futuro en el modo térmico para reducir la temperatura, lo que mejora aún más el rendimiento (VimalRaj et al., 2019).

Figura 9. Modelo simulink de sistema híbrido (VimalRaj et al., 2019).



Se analiza un modelo empírico de envejecimiento para una celda de óxido de litio y manganeso, que se basa en mediciones de envejecimiento. Al principio, se comparan los dos modelos PMSM diferentes en cuanto a precisión y tiempo de cálculo, posteriormente los resultados del modelo de batería para el envejecimiento del calendario se comparan con el envejecimiento medido, al final se mostraron los resultados generales del modelo para el tren motriz. Los modelos PMSM se implementaron y probaron utilizando una parte del ciclo de certificación de emisiones de motocicletas armonizado en todo el mundo (WMTC), que se redujo para adaptarse a la potencia del scooter. En la figura 10, la velocidad de rotación resultante ω_{mech} se visualiza, la línea punteada roja muestra la demanda de velocidad y la línea continua la velocidad alcanzada ω_t cuando se usa el modelo sin inversor destinado a un horizonte de simulación largo (Rechkemmer, Zhang y Sawodny, 2017).

Figura 10. Velocidad ω_{mech} resultante (Rechkemmer, Zhang y Sawodny, 2017).



Uno de los desafíos que enfrentan las baterías de iones de litio es la degradación. La predicción precisa de la vida útil restante de la batería es esencial para que el sistema de gestión de la batería garantice un funcionamiento confiable y un mantenimiento oportuno, y también es fundamental para las aplicaciones de la batería de segunda vida. Después de presentar los mecanismos de degradación, este documento proporciona una revisión completa y oportuna de enfoques híbridos, basados en modelos y basados en datos para el pronóstico de la vida útil de la batería (Hu et al., 2020)

Prueba de autonomía de las baterías

Los vehículos eléctricos presentan ventajas indiscutibles frente a los vehículos de combustión interna especialmente en el tema ambiental, sin embargo, todas estas ventajas se ven opacadas por la autonomía que puede brindar la batería del vehículo eléctrico, el combustible de un vehículo convencional se lo puede cargar en cuestión de minutos, pero la energía de las baterías requiere algunas horas para que puedan estar en óptimas condiciones de funcionamiento (Colomer Ferrándiz, Saiz Gabaldón y Colomer Font, 2016). Para la prueba de la autonomía de la batería se utiliza la siguiente ecuación, donde: $C_{bateria}$ = capacidad de la batería; $C_{promedio}$ =capacidad promedio; $v_{promedio}$ =velocidad promedio

$$Autonomia = \frac{C_{bateria} * v_{promedio}}{C_{promedio}}$$

Esta ecuación sirve para encontrar la autonomía del vehículo mediante cálculos, se tiene que comprobar dicha autonomía en diferentes ciclos de conducción, esto debido a que en estos se encontraran con pendientes y los distintos tipos de carreteras, la vida útil de las baterías es aún un problema, ya que no pueden otorgarle un sistema de recarga, ni de protección a las baterías, es por ello por lo que se vuelve primordial el uso adecuado de las baterías en cuanto a un modelo de conducción adecuado para otorgar una autonomía aceptable.

El sistema de almacenamiento de energía es el sistema más importante, ya que cumple funciones como manejar y determinar el flujo de energía, es por ello por lo que la batería de los motores eléctricos es el principal tema de estudio, y el constante avance por mejorar autonomía y brindar más capacidad de almacenaje (Sharma, Panwar y Tripathi, 2020). Hoy en día tenemos en nuestros medios diversos tipos de baterías clasificadas entre baterías primarias, secundarias y supercondensadores, las cuales funcionan a través de un electrolito, que se encarga de permitir el desplazamiento de electrones a través de reacciones químicas, hoy existen muchos almacenadores de energía (Sharma, Panwar y Tripathi, 2020). Es por ello que para su análisis no solo se enfoca en componentes individuales de la batería o solo su comportamiento en sus terminales, para obtener un resultado diferente e íntegro se requiere modelar el flujo de energía absorbido y entregado por la batería, es decir se necesita el modelo eléctrico dinámico, para no solo analizar el comportamiento eléctrico y térmico en sus ciclos de descarga y carga, sino también se puede generar una configuración la cual permita con su modelo analizar distintos vehículos eléctricos e híbridos, el mismo modelo ayudara a la creación al desarrollo de un nuevo vehículo eléctrico el cual podrá evitar estudios de autonomía y menorar tiempos de análisis individuales, por el hecho de ya poseer un modelo de configuración adecuada (Benabdelaziz y Maaroufi, 2017).

Recuperación de energía de baterías

Se denomina ciclo de vida de la batería a la descarga completa y luego de recarga completa. El rango de vida de una batería esta aproximadamente entre los 2000 y 8000 ciclos y en promedio el tiempo de vida de una batería esta aproximadamente en el rango de 18 meses a 36 meses. Al llegar a su vida útil estas no mueren, sino que su eficiencia columbia se va deteriorando considerablemente es decir la carga de la batería a descargarse más rápido y su capacidad de recarga disminuye por completo. La carga repetida debilita a la batería, así como el calentamiento

repetido, con la finalidad de reducir los efectos adversos producidos por la carga repetida se recomienda utilizar cargadores baterías establecidos por el fabricante, como referencia se tiene la figura 11(Guambo Daquilema, 2019).

Las baterías, son consideradas como las baterías recargables, las cuales permiten un almacenamiento, y un sistema de carga y descarga para mejorar el rendimiento de un vehículo eléctrico, en la tabla 3 se aprecia las reacciones de energía electroquímicas (Park, 2012).

Figura 11. Ciclo de vida de la batería (Guambo Daquilema, 2019)

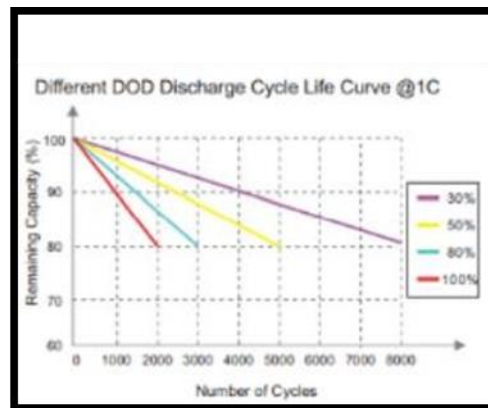


Tabla 3 Baterías Secundarias (Sharma, Panwar y Tripathi, 2020)

Baterías secundarias	Material del cátodo	Material del ánodo	Electrolito / reacción	Voltaje nominal (V)	Capacidad práctica (W · h / kg)
Plomo-ácido	PbO ₂	Pb	H ₂ SO ₄ solución acuosa $Pb + SO_4^{2-} \leftrightarrow PbSO_4 + 2e^-$ (ánodo) $PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \leftrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$ (cátodo) $PbO_2 + 2PbSO_4 + Pb \leftrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$ (reacción total)	2	30-50
Níquel Cadmio	NiOOH	Cd	Solución acuosa de KOH $Cd + 2OH^- \leftrightarrow Cd(OH)_2 + 2e^-$ (ánodo) $2NiOOH + 2H_2O + 2e^- \leftrightarrow 2Ni(OH)_2 + 2OH^-$ (cátodo) $2NiOOH + Cd + 2H_2O \leftrightarrow Ni(OH)_2 + Cd(OH)_2$ (reacción total)	1.2	50
Hidruro de níquel-metal	NiOOH	Aleación de hidrógeno adsorbido	Solución acuosa de KOH $H_2 + 2OH^- \leftrightarrow 2H_2O + 2e^-$ (ánodo) $2NiOOH + 2H_2O + 2e^- \leftrightarrow 2Ni(OH)_2 + 2OH^-$ (cátodo) $2NiOOH + H_2 \leftrightarrow 2Ni(OH)_2$ (total reacción)	1.2	100

Iones de litio	LiCoO ₂	C + Li / Li	Electrolito orgánico con sal de litio $\text{Li}(\text{C}) \leftrightarrow \text{Li}(1-x)\text{C} + x\text{Li}^{++} + x\text{e}^{-}$ - (ánodo) $x\text{Li}^{++} + x\text{e}^{-} + \text{Li}(1-x)\text{CoO}_2 \leftrightarrow \text{LiCoO}_2$ 2 (cátodo) $\text{Li}(\text{C}) + \text{Li}(1-x)\text{CoO}_2 \leftrightarrow \text{LiCoO}_2$ (reacción total)	3.6	150-200
Litio-azufre	S	Li	Electrolito líquido $\text{Li}_2\text{S}_8 + 2\text{e}^{-} + 2\text{Li}^{+} \leftrightarrow 2\text{Li}_2\text{S}_4$ $\text{Li}_2\text{S}_4 + 2\text{e}^{-} + 2\text{Li}^{+} \leftrightarrow 2\text{Li}_2\text{S}_2$ $\text{Li}_2\text{S}_2 + 2\text{e}^{-} + 2\text{Li}^{+} \leftrightarrow 2\text{Li}_2\text{S}$	2.15	2600-2800
Litio-aire	LiCoO ₂	C	Electrolito líquido o en gel $2\text{Li} + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{Li}_2\text{O}_2$ $4\text{Li} + 6\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \leftrightarrow 4(\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O})$	3.1	3620-5200

Es por ello por lo que al analizar el vehículo eléctrico con baterías de Plomo-ácido, como Li-ion obtuvimos una eficiencia de ambos tipos de baterías muy semejante, pero las pruebas y ciclos de conducción realizados otorgó mejores resultados y más aceptables con las baterías de Li-ion, por muchos factores como por ejemplo peso que es un factor muy importante en un tren de potencia de motor eléctrico, así como la eficiencia de sistema que permite entregar la potencia y torque sin pérdidas, y la eficiencia del sistema de almacenamiento, que nos otorga mayor autonomía, mejorando nuestros ciclos de conducción, como se puede observar en la tabla 4. Según Soares Dos Santos et al., (2020) se pudo demostrar que “en las aplicaciones de dos bancos de baterías, en momentos en los que se necesitaban picos de velocidad superiores a 78,5 km / h, el vehículo con la arquitectura propuesta no podía cumplir con la solicitud”, de la misma manera al analizar la temperatura de funcionamiento encontramos que las baterías de plomo-ácido trabajan con temperaturas más bajas que las de Li-ion, lo mismo que no se presenta como un inconveniente puesto que tienen rangos de temperatura de trabajo diferentes y esto no se presenta como una falla o inconveniente (Soares Dos Santos et al., 2020), de esta forma se rompen barreras para la comercialización de los vehículos eléctricos, híbridos o enchufables en el parque automotor ecuatoriano puesto que después de todo el análisis se observa de manera global que los avances continuos en baterías está superando a los sistemas de los MCI (Cueva Sánchez et al., 2018).

Tabla 4: Comparación de los parámetros de los modelos propuestos (Soares Dos Santos et al., 2020)

Tipo de arquitectura de simulado	Eficiencia del motor (%)	Eficiencia desde el banco de pilas (%)	Peso del vehículo (Kg)	Peso del banco de pilas (Kg)
Plomo ácido Pb	82	77	1,583	275
Ion litio (Li- ion)	82	88	1,372	64
MCI	22	-	1,467	-

El desarrollo de baterías mejoradas de litio y azufre, nuestro trabajo se centra en la comprensión mecánica de los procesos que ocurren dentro de la batería. En particular, estudiamos el mecanismo del proceso de carga y obtenemos información resuelta espacialmente sobre los intermedios en solución y en fase sólida en dos ubicaciones de una batería Li₂S-Li en funcionamiento: el cátodo y el separador. Utilizando los datos generados, identificamos un mecanismo de carga en un electrolito estándar basado en DOL-DME, que es consistente tanto con el primer proceso de carga como con los posteriores (Gorlin et al., 2016).

Existe una solución al cambiar su arquitectura para acoplar la batería con un supercondensador para tener un ciclo de batería de alta velocidad y una mejor capacidad. Un supercondensador proporciona más energía a la batería en caso de que se necesite más energía. En este diseño y arquitectura, el supercondensador y la batería se consideran unidades diferentes y, desde el punto de vista de la ingeniería eléctrica, se considera un sistema híbrido (Udhaya Sankar et al., 2019).

Uno de los problemas clave es el consumo de energía no monótono acompañado de cambios frecuentes durante el proceso de descarga de la batería. Una solución práctica es acoplar la batería con un supercondensador, que es básicamente una celda electroquímica con una arquitectura similar, pero con una capacidad de velocidad más alta y mejor ciclabilidad. En este diseño, el supercondensador puede proporcionar el exceso de energía requerida mientras la batería no lo hace. Además de la batería y el supercondensador como unidades individuales, el diseño de la arquitectura del sistema híbrido correspondiente desde el punto de vista de la ingeniería eléctrica es de suma importancia (Kouchachvili et al., 2018).

Los procesos que empleaban una combinación de procesamiento mecánico y pasos hidro y pirometalúrgicos parecían capaces de obtener materiales adecuados para la (re) fabricación de baterías de iones de litio. Por otro lado, los procesos que se basan en pasos pirometalúrgicos son robustos, pero solo capaces de recuperar componentes metálicos (Velázquez-Martínez et al., 2019).

Los nuevos sistemas electroquímicos basados en baterías para la recuperación de litio se han considerado métodos prometedores de recuperación de litio, aunque no se han considerado para aplicaciones de agua de mar debido a la concentración extremadamente baja de Li^+ . acá se mira la capacidad de capturar Li^+ en un período de tiempo sustancialmente corto en comparación con los procesos convencionales a una velocidad al menos 3 veces más rápida que la de los procesos de adsorción, y nuestro enfoque no requirió productos químicos ácidos o tóxicos a diferencia de otras tecnologías de recuperación. Además, mediante el funcionamiento consecutivo del sistema, se obtuvo una solución de recuperación de litio que contenía 190 mM de Li^+ con solo un pequeño consumo de energía (3,07 Wh gLi^{-1}), y la pureza de Li^+ se incrementó al 99,0% (Kim et al., 2019).

El aumento de las prestaciones electroquímicas debido al texturizado láser de los materiales de almacenamiento de energía está probado actualmente a escala de laboratorio. Se presentará el procesamiento láser de componentes de electrodos, a saber, colectores de corriente, ánodos y cátodos. Se generaron diferentes tipos de arquitecturas de electrodos, como agujeros, rejillas y líneas; se ilustra su impacto en el rendimiento de la batería. El aumento del rendimiento de la batería se activa al controlar la cinética de difusión de iones de litio en electrodos porosos llenos de electrolito líquido (Pfleger, 2021).

Métodos de recuperación de energía

Estimación de la batería SOC para un vehículo eléctrico híbrido usando el método de recuento de Culombio. En la actualidad los vehículos eléctricos poseen la aceptación de un gran número de transportistas y peatones como una tecnología prometedora para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero los cuales son muy perjudiciales para el medio ambiente, los vehículos eléctricos de encuentran como principales pioneros para desarrollar un sistema de transporte autónomo. Actualmente la principal tecnología de almacenamiento de energía que se utilizan en vehículo eléctricos son las baterías de iones de litio, el avance de la tecnología ha

permitido aumentar la autonomía y prestaciones de estas baterías. Para poder evaluar las prestaciones que nos brinda los vehículos eléctricos es necesario disponer de modelos que realizan simulaciones reales tanto de las baterías como del mismo vehículo eléctrico. La autonomía que puede brindar un vehículo eléctrico es considerada como el punto clave, tanto para el desarrollo como para la comercialización de estos. La autonomía que pueda brindar las baterías está relacionada con la cantidad de energía almacenada y la energía restante que dispone la batería, que es el estado de carga (SOC). Los vehículos eléctricos requieren una fuente de alimentación a bordo, el cual suministre la energía al motor y este pueda proporcionar movimiento al vehículo. Las baterías electroquímicas han venido realizando ese papel, actualmente estas baterías están sujetas a un rendimiento en termino de volumen de energía y masa. Una carga y descarga inadecuada producirán una caída en el rendimiento de la batería, reduciendo considerablemente su vida útil y el correcto funcionamiento de esta, el SOC indica cómo mejorar una batería, su confiabilidad, extender su vida útil y optimizar la estrategia de distribución de energía de los vehículos (Zine et al., 2018).

El método de integración de corriente (método de columbio), se basa en el número de amperios-hora dentro y fuera de la batería del vehículo eléctrico. La precisión del método depende del sensor de corriente, la eficiencia coulombica debe ser reflejada en el método de recuento de columbio dependiendo de la carga y descarga de la batería. Para La determinación del estado de carga se requiere el conocimiento del estado de carga inicial, la estimación de la batería pro este método se define de la siguiente manera (Zine et al., 2018). Mientras el estado de carga inicial sea conocido el método de recuento de culombios se vuelve bastante exacto, pero, si no se tiene el estado de carga inicial el método se vuelve menos preciso. Además, la eficiencia coulombica que nos ofrece la batería depende mucho de las condiciones de funcionamiento como la temperatura, la corriente, etc. El método de recuento de culombio es utilizado ampliamente debido a su simplicidad y efectividad ya que fue probado en varios experimentos en baterías de ion-litio (Zine et al., 2018).

Método experimental. La batería utilizada para este estudio es una batería AGM Plomo-acido con voltaje nominal de 12V y una capacidad de 100Ah.

Tabla 5: Características de la batería

parámetro	valor
Fabricante	VISION
Modelo	6FM100E-X
Capacidad nominal	100Ah
Voltaje nominal	12V
Cargando/ descargando	Tensión de corte (13,8/10,8 V)
Corriente de carga recomendada (0.25C)	25 A
Corriente de descarga máxima	(tiempo corto<5s)900A
Vida de diseño	10 años
Temperatura de funcionamiento (carga/descarga)	-10C° -60C°/ -20C° -60C°
Material de la carcasa	ABS
Peso	29 Kg

Proceso de carga y descarga, Se realiza la carga de la batería con una fuente de energía estable, esta fuente se regula a 14 voltios y a unos 5,5 A y se mide respectivamente el voltaje y la corriente utilizando un multímetro y un sensor de pasillo cada 10 minutos hasta que la batería este completamente cargada. Al momento de desconectar la batería, debe estar en 13,92V y 0,89A, esta prueba se lo realiza durante 5 días lo que equivale a 91 080 segundos o 23.5 horas, la resistencia variable es conectada a la batería a una temperatura ambiente, la resistencia se regula a 10 Amperios en el proceso de descarga y el valor de esta resistencia no varía durante este proceso. Además, el voltaje y corriente de la batería se miden cada 5 minutos, luego de 10 horas con 17 minutos la tensión de corte alcanza 10.8 V, al llegar a este valor se procede a desconectar la resistencia, figura 12 (Zine et al., 2018; Cueva et al., 2018).

Figura 12. Banco de Pruebas (Zine et al., 2018).



En el análisis de los factores que intervienen en el desgaste y estimación de las baterías de ion-litio, para conocer las variables externas y de estado interna con el que se pudo estudiar el comportamiento de las celdas que componen una batería de ion-litio. Continuando con la parte del modelado teórico, se tomó en cuenta fórmulas que permitieron calcular las variables de las baterías que afectan a los parámetros eléctricos y térmicos de las celdas, como se observa en la figura 13, con la ayuda del programa Matlab Simulink (Pico, Pazmiño y Ponce, 2021).

Figura 13. Cálculo de carga y descarga (Pico, Pazmiño y Ponce, 2021)

$$E = f(SoC) = E_0 - k \cdot Q_{MAX} \cdot \left(\frac{100}{SoC} - 1 \right) + A \cdot e^{-B Q_{MAX} \left(1 - \frac{SoC}{100} \right)}$$

$$R_{pol. \text{ descarga}} = f(SoC) = k \cdot \frac{100}{SoC}$$

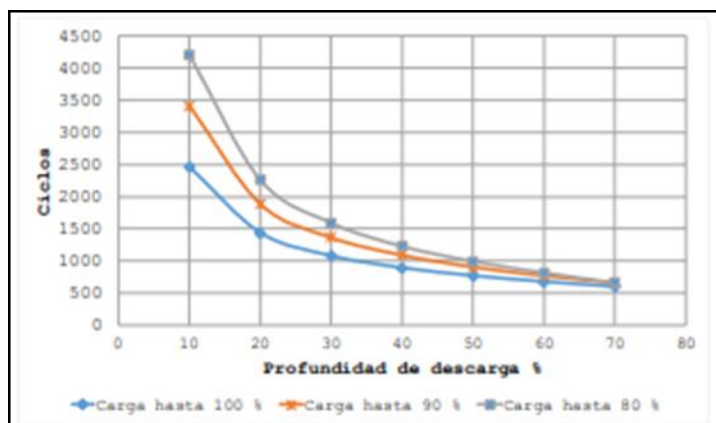
$$R_{pol. \text{ carga}} = f(SoC) = k \cdot \frac{100}{1.1 - \frac{SoC}{100}}$$

$$U = E - (R_{OHM} + R_{pol})^i$$

De estas fórmulas se especifica que (i) representan la corriente de la batería, (E) la tensión en los bornes, (E₀) la tensión del circuito abierto, (K) es la constante de resistencia, (Q_{MAX}) es la máxima capacidad de la batería, (A) es la tensión exponencial, (B) es la capacidad exponencial y el (SoC) es el estado de carga. También se toma en cuenta fórmulas para la representación calorífica en el simulado de batería (Pico, Pazmiño y Ponce, 2021). Se especifica que (H) es el calor que se genera y (T) es la temperatura de las celdas, éstas dos se las considera uniformes. La conexión de las celdas se puede dar en serie o en paralelo dependiendo los resultados que se necesite obtener de las baterías, para este estudio se utilizó la conexión en serie, luego se

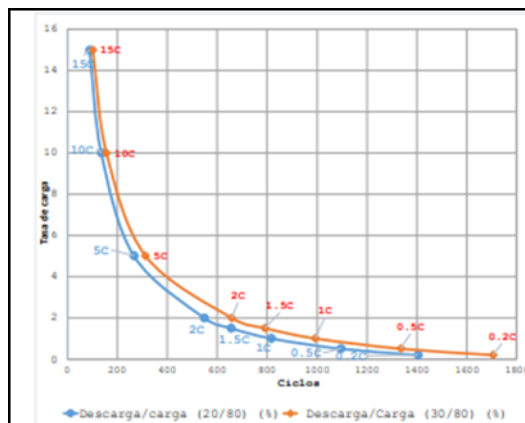
procedió a realizar las simulaciones en Matlab- Simulink, partiendo como base los datos especificados de 15 celdas con una conexión en serie y una intensidad de 55 Ah, que son con las que cuenta la batería utilizada para el estudio. La primera parte consistió en simular el desgaste prematuro de la batería teniendo en cuenta las diferentes profundidades de descargas con lo que se obtuvieron los resultados expresados en la figura 14 (Pico, Pazmiño y Ponce, 2021).

Figura 14. Ciclos vs profundidad de descarga (Pico, Pazmiño y Ponce, 2021).



Las tres curvas tienen la siguiente descripción: curva celeste (100%), curva naranja (90%) y la curva gris (80%), sometiendo cada una a diferentes profundidades de descarga. Con esto se pudo deducir que con una carga de 90% y una descarga de 80% se pudo lograr 3408 ciclos. En otro caso podemos observar que cuando se carga 90% y se descarga un 20% se llegan a tener 662 ciclos. Estos análisis permitieron deducir que, cuando la batería se carga a un límite menor de su capacidad máxima, se obtendrá un mayor número de ciclos teniendo una vida más prolongada. Las curvas obtenidas en la figura 15, muestran que las baterías de ion-litio con la carga y descarga del (80%) al (30%), representada por la curva naranja, presentan un mayor número de ciclos, obteniendo así mayor duración que la curva celeste representada por un (80%) a (20%) (Ortega y Gomez, 2019)

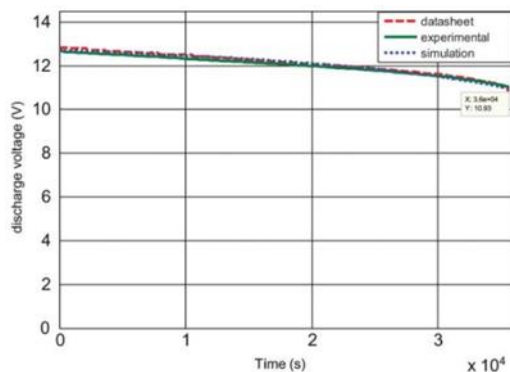
Figura 15. Barrido de carga a diferentes "C" (Pico, Pazmiño y Ponce, 2021).



Con los resultados obtenidos se demostró que cuando las pilas secundarias de ion-litio se someten a cargas y descargas muy rápidas, reducirán su vida útil drásticamente, por lo que recomiendan hacer una mezcla en su funcionamiento, si se realiza una carga con pocos amperios se debe realizar una descarga con muchos amperios, con esto se obtendrá el doble de ciclos de vida de una batería que si se realizara una carga y descarga con altas corrientes. También se confirmó que cuando las baterías funcionan a una temperatura bajo 0°C , los ciclos de vida también disminuyen en gran cantidad, así como también sucede en el caso de trabajar a altas temperaturas, concluyendo así que las baterías de ion-litio deben evitar ciclos de carga y descarga a temperaturas muy bajas o altas para poder prolongar su vida útil (Pico, Pazmiño y Ponce, 2021). En la figura 16 se presente el voltaje de descarga en función del tiempo, si esta simulación se compara con la hoja de datos podemos ver que varían ligeramente, esta variación puede darse por la impresión al extraer los parámetros del modelo de la batería. Al transcurrir las 10 horas el voltaje de descarga se encuentra en 10.8 V y esto de lo denomina voltaje de corte, el 10.8 V no corresponde a la descarga completa pero este valor es adecuado para el estado de carga mínimo que se lo puede representar con casi el 20% (SOC=20%). El análisis de la gráfica 1-1 da a conocer que la descarga experimental se ajusta a la simulación, al final se apreciar que la tención de 10.8 voltios se alcanza luego de 10 horas con 17 minutos, esto indica que la capacidad de la batería varía según los parámetros en la cual la batería esté funcionando, parámetros como la temperatura, modo de carga, corriente de descarga etc. Además, el voltaje brindado por el fabricante están relacionadas con condiciones de funcionamiento ideales (Zine et al., 2018). Para realizar la simulación se tomaron en cuenta las siguientes condiciones: $SOC_0 = 100\%$; $V_{disint} = 12.6\text{ V}$; $V_{disend} = 10.8\text{ V}$; $T_{dissum} = 36000\text{ s}$

El voltaje de carga en función del tiempo, el valor de 12.6 voltios se mantiene tanto para la simulación y para la hoja de datos, esto se da por el estado de carga inicial que es del 20%, el voltaje de carga aumenta rápidamente hasta llegar a estabilizarse en 13.8 voltios hay varios rangos en donde se existen cambios notorios. La fase de carga depende de varios factores como lo son la temperatura ambiental, voltaje y corriente de carga, modo de carga, etc. Para evitar sobrecarga la batería, el voltaje que suministra el cargador es cortado al verificar que la corriente es igual a 0.85 Amperios correspondiente a un tiempo de 20 horas (Zine et al., 2018).

Figura 16. Voltaje de descarga en función del tiempo (Zine et al., 2018)



Conclusiones y recomendaciones

En este artículo presentamos las aplicaciones, las prestaciones electroquímicas debido a los materiales de almacenamiento de energía esto pasa por varios componentes como los electrodos, colectores de corriente, ánodos y cátodos, que influyen directamente en el rendimiento de la batería, sin perder de vista el electrolito líquido de nuestros vehículos eléctricos.

Las baterías de iones de litio son actualmente uno de los dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica más importantes, que alimentan los vehículos eléctricos y algunas más que son requeridas para su optimización. La conexión de las celdas se puede dar en serie o en paralelo dependiendo los resultados que se necesite obtener de las baterías, se aplica gran variedad de modelos y simulaciones en Matlab- Simulink, con el fin de estimar la vida útil y simularse el desgaste prematuro de la batería.

Se estableció que cuando las pilas secundarias de ion-litio se someten a cargas y descargas muy rápidas, reducirán su vida útil drásticamente, por lo que recomiendan hacer una mezcla en su

funcionamiento, si se realiza una carga con pocos amperios se debe realizar una descarga con muchos amperios, con esto se obtendrá el doble de ciclos de vida de una batería que si se realizara una carga y descarga con altas corrientes. De forma general esto es esencial para alargar la vida útil de las baterías para nuestros vehículos eléctricos.

Referencias

1. Aaldering, L. J., & Song, C. H. (2019). Tracing the technological development trajectory in post-lithium-ion battery technologies: A patent-based approach. *Journal of Cleaner Production*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118343>
2. Bebelis, S., Bouzek, K., Cornell, A., Ferreira, M. G. S., Kelsall, G. H., Lopicque, F., Ponce de León, C., Rodrigo, M. A., & Walsh, F. C. (2013). Highlights during the development of electrochemical engineering. *Chemical Engineering Research and Design*, 91(10), 1998–2020. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.08.029>
3. Gorlin, Y., Patel, M. U. M., Freiberg, A., He, Q., Piana, M., Tromp, M., & Gasteiger, H. A. (2016). Understanding the Charging Mechanism of Lithium-Sulfur Batteries Using Spatially Resolved Operando X-Ray Absorption Spectroscopy. *Journal of The Electrochemical Society*, 163(6), A930–A939. <https://doi.org/10.1149/2.0631606jes>
4. Hu, X., Xu, L., Lin, X., & Pecht, M. (2020). Battery Lifetime Prognostics. In *Joule* (Vol. 4, Issue 2, pp. 310–346). <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.11.018>
5. Kim, S., Joo, H., Moon, T., Kim, S. H., & Yoon, J. (2019). Rapid and selective lithium recovery from desalination brine using an electrochemical system. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 21(4), 667–676. <https://doi.org/10.1039/c8em00498f>
6. Kouchachvili, L., Yaïci, W., & Entchev, E. (2018). Hybrid battery/supercapacitor energy storage system for the electric vehicles. In *Journal of Power Sources* (Vol. 374, pp. 237–248). <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.11.040>
7. Oliveira, L., Rangaraju, S., Messagie, M., & Van Mierlo, J. (2015). Increasing the environmental potential of electric vehicles and renewable energies with grid attached

- energy storage. *World Electric Vehicle Journal*, 7(3), 459–467.
<https://doi.org/10.3390/wevj7030459>
8. Park, J. K. (2012). Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries. In *Principles and Applications of Lithium Secondary Batteries*.
<https://doi.org/10.1002/9783527650408>
 9. Pflöging, W. (2021). Recent progress in laser texturing of battery materials: A review of tuning electrochemical performances, related material development, and prospects for large-scale manufacturing. In *International Journal of Extreme Manufacturing* (Vol. 3, Issue 1). <https://doi.org/10.1088/2631-7990/abca84>
 10. Udhaya Sankar, G., Ganesa Moorthy, C., & RajKumar, G. (2019). Smart Storage Systems for Electric Vehicles—A Review. In *Smart Science* (Vol. 7, Issue 1, pp. 1–15).
<https://doi.org/10.1080/23080477.2018.1531612>
 11. Velázquez-Martínez, O., Valio, J., Santasalo-Aarnio, A., Reuter, M., & Serna-Guerrero, R. (2019). A critical review of lithium-ion battery recycling processes from a circular economy perspective. In *Batteries* (Vol. 5, Issue 4).
<https://doi.org/10.3390/batteries5040068>
 12. PELAYO, C., 2013. ESTUDIO SOBRE INSTALACIÓN, MONTAJE Y FUNCIONAMIENTO DE UN CODIFICADOR PARA DETERMINAR POSICIÓN Y VELOCIDAD DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO [en línea]. S.l.: Universidad de Almería.
 13. MARTIN, H. y BARGALLO PERNINA, R., 2015. El Vehículo Eléctrico Y La Eficiencia. , no. February, pp. 11-14.
 14. FIERRO, P. y SIGUENZA, A., 2017. MODELADO Y SIMULACIÓN NUMÉRICO-MATEMÁTICO DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO PARA UN VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR [en línea]. S.l.: Universidad Politécnica Salesiana.
 15. GANESH MURALI, J., AJITH, S., JOHNSON STEPHENRAJ, P., SANJAY, R. y SARAN, KUMUR, S.T., Design and Development of a Motorized. *InTechOpen* [en línea], 2021. vol. 25, no. 6, pp. 617-626.

16. CHERGUI, H., NASRI, A. y KORHAN, K., NON-LINEAR BACKSTEPPING SPEED CONTROL FOR ASIAN ELECTRIC SCOOTER USES H. [en línea], 2020. vol. 0, no. 1112-9867.
17. MORENO, A., Simulación y validación de un modelo de vehículo eléctrico para futuras aplicaciones en el ámbito militar. Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar [en línea], 2015. vol. 0, pp. 2014-2015.
18. WANG, L. y WU, X., The simulation of design electric vehicle charging circuit. [en línea], 2016. no. Amitp, pp. 415-417.
19. CHEN, Y., MA, Y. y CHEN, H., State of charge and state of health estimation for lithium-ion battery through dual sliding mode observer based on AMESim-Simulink co-simulation. Journal of Renewable and Sustainable Energy [en línea], 2018. vol. 10, no. 3. ISSN 19417012. DOI 10.1063/1.5012602.
20. ABULIFA, A.A., RAJA AHMAD, R.K., CHE SOH, A., RADZI, M.A.M. y HASSAN, M.K., Modelling and simulation of battery electric vehicle by using MATLAB-Simulink. IEEE Student Conference on Research and Development: Inspiring Technology for Humanity, SCORED 2017 - Proceedings [en línea], 2018, Janua, pp. 383-387. DOI 10.1109/SCORED.2017.8305360.
21. KUMAR, B., KHARE, N. y CHATURVEDI, P.K., Advanced battery management system using MATLAB/Simulink. INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings) [en línea], 2016. pp. 1-6. ISSN 02750473. DOI 10.1109/INTLEC.2015.7572447.
22. MARTYANOV, A.S., SOLOMIN, E. V. y KOROBATOV, D. V., Development of control algorithms in MATLAB/Simulink. Procedia Engineering [en línea], 2015. vol. 129, pp. 922-926. ISSN 18777058. DOI 10.1016/j.proeng.2015.12.135.
23. KURNIAWAN, E., RAHMAT, B., MULYANA, T. y ALHILMAN, J., Data analysis of Li-Ion and lead acid batteries discharge parameters with Simulink-MATLAB. 2016 4th International Conference on Information and Communication Technology, ICoICT 2016 [en línea], 2016. vol. 5, no. 2, pp. 0-4. DOI 10.1109/ICoICT.2016.7571959.
24. POONSUK, J. y PONGYUPINPANICH, S., Design and estimation of state-charging applied for lithium-ion battery based on Matlab-Simulink. 2016 Management and

- Innovation Technology International Conference, MITiCON 2016 [en línea], 2017. pp. MIT176- MIT179. DOI 10.1109/MITICON.2016.8025222.
25. VIMALRAJ, S., SURESH KUMAR, G., THOMAS, S. y KANNAN, N., MATLAB/SIMULINK based simulations on state of charge on battery for electrical vehicles. *Journal of Green Engineering* [en línea], 2019. vol. 9, no. 2, pp. 255-269.
26. RECHKEMMER, S.K., ZHANG, W. y SAWODNY, O., Modeling of a Permanent Magnet Synchronous Motor of an E-Scooter for Simulation with Battery Aging Model. *IFAC- PapersOnLine* [en línea], 2017. vol. 50, no. 1, pp. 4769-4774. ISSN 24058963. DOI 10.1016/j.ifacol.2017.08.956.
27. COLOMER FERRÁNDIZ, J.V., SAIZ GABALDÓN, M.A. y COLOMER FONT, O., 2016. La utilización de flota de vehículos eléctricos para la Unidad de Hospitalización Domiciliara del Hospital de Alcoy. S.l.: s.n., [En línea], 2016, (España), DOI 10.4995/cit2016.2016.4260.
28. SHARMA, S., PANWAR, A.K. y TRIPATHI, M.M. Storage technologies for electric vehicles. S.l.: s.n. [En Línea], 2020, (India). DOI 10.1016/j.jtte.2020.04.004
29. BENABDELAZIZ, K. y MAAROUFI, M. Battery dynamic energy model for use in electric vehicle simulation. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 30, pp. 19496- 19503. 2017 (Marruecos). ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2017.05.165.
30. DAQUILEMA GUAMBO, Geovanny Marcelo. Dimensionamiento de la fuente de acumulación de energía mediante la determinación de la eficiencia energética del ion-litio cubierto con gel para alcanzar 2500 km en un vehículo solar de competencia. (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, (Ecuador) 2019. pp 32-34
31. SOARES DOS SANTOS, G., JOSE GRANDINETTI, F., AUGUSTO ROCHA ALVES, R. y DE QUEIROZ LAMAS, W. 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 Latin America Transactions*, vol. 18, no. 8, pp. 1345-1352. [En Línea], 2020 (Brasil). ISSN 15480992. DOI 10.1109/TLA.2020.9111669.
32. CUEVA SÁNCHEZ, E.J., LUCERO, J., GUZMAN, A., ROCHA, J. y ESPINOZA, L. Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices. *Enfoque UTE*,

- vol. 9, no. 1, pp. 166-176. [En Línea], 2018 (Ecuador). ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/enfoqueute.v9n1.202.
33. ZINE, B., MAROUANI, K., BECHERIF, M. y YAHMEDI, S., 2018. Estimation of Battery Soc for Hybrid Electric Vehicle using Coulomb Counting Method. International Journal of Emerging Electric Power Systems, vol. 19, no. 2. ISSN 1553779X. DOI 10.1515/ijeeps- 2017-0181.
34. MARTÍN MORENO, J.A., 2013. Herramienta de simulación de vehículos eléctricos [en línea]. S.l.: Universidad Carlos III de Madrid.
35. ORTEGA, J. y GÓMEZ, A. Sistema de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico. Economía industrial, no. 411, pp. 35-44., 2019 (España). DOI: 10.1007/978-3-030-50633-9_3
36. CHOWDHURY, N., HOSSAIN, C.A., LONGO, M. y YAÏCI, W., 2018. Optimization of solar energy system for the electric vehicle at university campus in Dhaka, Bangladesh. Energies, vol. 11, no. 9. [En Línea], 2018 (Bangladesh). ISSN 19961073. DOI 10.3390/en11092433.