

Interfaz Visual para Maximizar la Vida Útil de las Baterías.

Osvaldo-Sandoval Solís^a, Andrés-Calvillo Téllez^b.

^aInstituto Politécnico Nacional, CITEDI-IPN, Instituto Politécnico Nacional 1310, 22430, jsandoval@citedi.mx, Tijuana, B.C.

^bInstituto Politécnico Nacional, CITEDI-IPN, Instituto Politécnico Nacional 1310, 22430, calvillo@citedi.mx, Tijuana, B.C.

Resumen

Con el aumento de la popularidad de los vehículos híbridos y eléctricos, surge una problemática significativa relacionada con el desecho masivo de baterías. Los equipos de medición diseñados para abordar esta creciente demanda a menudo clasifican a una batería como no apta para seguir desempeñando su función. Este dilema se agrava por el hecho de que, en una batería que alberga cientos de celdas, solo algunas de ellas pueden no cumplir con los estándares requeridos. Este incumplimiento se manifiesta mediante lecturas que caen por debajo de los márgenes de calidad necesarios para garantizar un rendimiento óptimo.

El objetivo fundamental de este trabajo es abordar la problemática inherente al desempeño del estado de las baterías, centrándose en la identificación y recuperación de aquellas que presentan deficiencias. Se propone un enfoque innovador que permita sustituir selectivamente las celdas dañadas por otras que cumplan con los requisitos de calidad establecidos. El presente estudio propone una interfaz que lleva a cabo mediciones del porcentaje de vida de las baterías de forma individualizada, considerando cada celda por separado. La interfaz visual de vida útil de baterías, desarrollada como parte de este trabajo, realiza pruebas exhaustivas celda por celda. Este enfoque contribuye tanto a la eficiencia en el uso de recursos como a la sostenibilidad ambiental al minimizar el desperdicio de baterías potencialmente útiles.

Palabras clave—Batería, Carga, GUI, MATLAB, SOC.

Abstract

With the rise in popularity of hybrid and electric vehicles, a significant issue arises related to mass battery design. Measuring equipment designed to address this growing demand often classifies a battery as unfit to continue performing its function. This dilemma is compounded by the fact that, in a battery that houses hundreds of cells, only some may not meet the required standards. This non-compliance is manifested by readings that fall below the quality margins necessary to guarantee optimal performance. The fundamental objective of this work is to address the problems inherent in the performance of the state of the batteries, focusing on the identification and recovery of those that present deficiencies. An innovative approach is proposed that allows damaged cells to be selectively replaced with others that meet the established quality requirements. The present study proposes an interface that carries out measurements of

the percentage of battery life individually, considering each cell separately. The visual battery life interface, developed as part of this work, performs extensive cell-by-cell testing. This approach contributes to both resource use efficiency and environmental sustainability by minimizing the waste of potentially useful batteries.

Keywords— Battery, Charge, GUI, MATLAB, SOC.

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas de automóviles eléctricos tienen mayor demanda y aceptación por parte de la población por distintos factores, su autonomía y eficacia ha ido mejorando a través de los años debido a su nula emisión de gases contaminantes para el ambiente. Pero esta clase de automóviles no es del todo perfecta. Lo que significa que las industrias de automóviles pasaron de contaminar el aire, hacia el suelo y el agua. Las baterías en la actualidad cuentan con muchos contaminantes como lo son aceites, plomos, plásticos entre otros residuos que pueden deteriorar el ecosistema. La existencia de niveles peligrosos de ciertos elementos químicos y compuestos en el suelo constituye una forma particular de degradación conocida como contaminación [1]. El suelo con el paso del tiempo los fragmentos de roca se entremezclan con restos orgánicos: heces, organismos muertos o en descomposición, fragmentos vegetales, pequeños organismos vivos en el suelo [2], e incluso contaminantes.

Y debido a este problema las Naciones Unidas han implementado 17 objetivos de desarrollo sostenible, lo que esta obligando a las industrias, comunidades y centros de investigación en participar para la proposición de soluciones y sobre todo en reducir la contaminación en el planeta de alguna forma [3].

En este sentido, tanto la sociedad como las empresas de reparación de automóviles eléctricos, deben concentrar esfuerzos, para la sustitución de piezas y de esta forma, acelerar los procesos de entrega y resolver problemas con mayor rapidez. Esto ha llevado que, entre estas piezas, siendo más exactos, las baterías, son mandadas a reciclar o en el peor de los casos desechadas. Pero ¿realmente las baterías son desechables correctamente? La composición de las baterías esta dado por pequeñas celdas o un conjunto de baterías mas pequeñas. Esto significa que, dependiendo del que uso se le dé a las celdas, estas no logran deteriorarse equitativamente, si no que unas celdas sufren mucho mas que otras. Lo que ha llevado a un estudio relacionado a la carga y descarga de las baterías para autos en los talleres de reparación y mantenimiento de los automóviles eléctricos. A pesar de ser un trabajo mas arduo, este garantiza a rescatar las celdas de baterías que cuentan con mayor vida útil, con el fin de otorgarles un segundo uso.

Entonces debido a un incremento directo en la explotación requerida de los depósitos minerales para proveer los materiales necesarios para el mercado de Litio [4, 5].

Como el enfoque de los procesos de reciclado de Litio esta conducido por el valor en el mercado; el cobre y las fracciones metálicas están al corriente en su principal

mercado [3, 5], lo que hace que el reciclaje y los procesos de las baterías se encuentra cada vez más demandado, sin contar sus procesos de producción.

Generalmente, las baterías de litio están conformados de uno o múltiples celdas electroquímicas conectadas y encerradas en un armazón metálico o de plástico [4, 7, 8]. Los principales materiales y componentes de una batería son los siguientes: *Carcasa*: metal y plástico; *Cátodo*: LiCoO_2 , LiNi_x , $\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$, LiMn_2O_4 , LiNiO_2 y LiFeO_4 ; *Ánodo*: Grafito; *Cobre y láminas de aluminio*: Cobre y aluminio *electrolítico*: soluciones de LiPF_6 , LiBF_6 , LiClO_4 y LiSO_2 ; y los *separadores* son polipropileno microporoso [9, 10].

Como se conoce, una batería cuenta con muchos componentes metálicos reciclables, pero también compuestos contaminantes el cual deben ser tratados de manera adecuada para evitar su exposición al suelo y agua, causando danos irreparables al medio ambiente.

El presente artículo se compone de las siguientes secciones, la sección II mostrara un marco teórico relacionado con algunos modelos básicos de carga y descarga de las baterías para determinar su funcionamiento y utilidad. La sección III muestra el funcionamiento de un software simulador con fines demostrativos, y finalmente la sección IV se cuenta con una conclusión relacionado a este trabajo.

2. MARCO TEORICO

2.1 Modelos simples de baterías

El modelo ideal de la batería consiste en solamente una fuente de voltaje cuyos valores o perturbaciones externas e internas son desconocidas y sobre todo irrelevantes. Lo que presenta una fuente de voltaje ideal, con un voltaje de salida, como se aprecia en la Figura 1a. Este modelo es demasiado útil para fines prácticos y cuyas variaciones de voltaje y corriente son despreciables, pero para la industria de electrónica de consumo, donde se manejan voltajes mas exactos se requieren modelos con mayor precisión.

Este modelo utilizado para simplificar los cálculos, pero desafortunadamente estos cálculos lo vuelven inexactos para diseños más elaborados, por lo que se puede conducir a cálculos más minuciosos, como se aprecia en la Figura 1b. Donde se deduce que la batería cuenta una resistencia interna conectada a la fuente ideal. En este modelo, R_{int} asume ser una constante, mientras una carga está conectado a la batería. Entonces, este modelo es solo apropiado para simulaciones de circuitos donde la energía liberada de la batería supone ser infinita o el estado de carga no es tan importante [11].

Un modelo hecho sobre una fuente de voltaje ideal acompañado de una resistencia interna depende de la función del estado de carga SOC, por sus siglas en ingles *State of Charge*, como se aprecia en la Figura 1c, que a su vez es representado en (1).

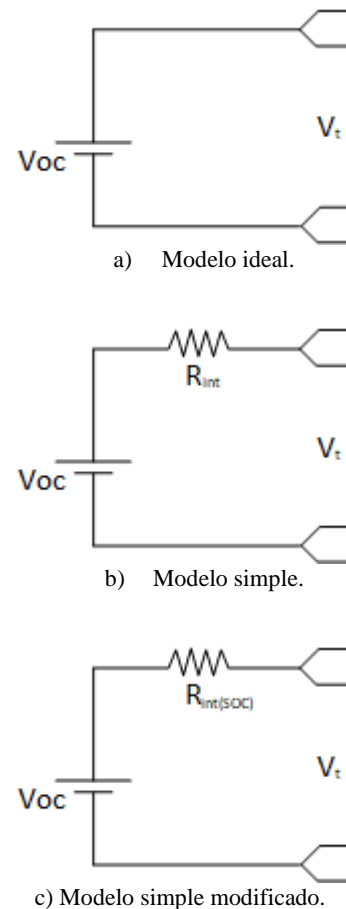
$$R_{int} = \frac{R_0}{S^k} \quad [1]$$

donde S y R_0 son el estado de carga y resistencia inicial de la batería. R_0 es calculado cuando la batería está cargada completamente, con la ecuación dada en (2).

$$S = 1 - \frac{Ah}{C_{10}} \quad [2]$$

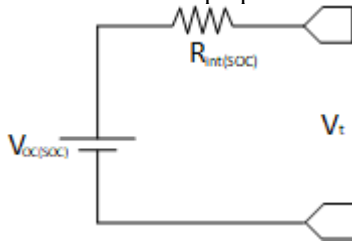
En la ecuación 2, C_{10} representa la capacidad de la batería a 10 horas, cuya unidad son amper-hora. A y h son la corriente y el tiempo de descarga. En donde los cambios de S representan 0 cuando la batería esta descargada y 1 cuando se está cargada. Y k es un coeficiente constante que especifica las curvas y esta es otorgado por el fabricante. Este modelo ha sido aplicado por fábricas de baterías para monitorear su comportamiento.

Figura 1. Representaciones de batería. Fuente: elaboración propia.



Existe otro modelo más preciso, como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Modelo de batería simple modificado 2. Fuente: elaboración propia.



Este modelo se usa como una fuente de voltaje ideal que se encuentra conectado a una resistencia en serie, donde el voltaje y resistencia interna son relacionadas al estado de carga (SOC), considerado como un circuito abierto y descrito en (3).

$$V_t = V_{oc}(SOC) - I \cdot R_{int}(SOC) \quad [3]$$

donde $V_{oc}=f(SOC)$ es el voltaje sin carga de la batería y $R_{int}=f(SOC)$ como los ciclos de carga y descarga, que están expresados en (4) y (5):

$$V_{oc} = V_o - A \cdot D \quad [4]$$

$$R_{int} = R_0 - B \cdot D \quad [5]$$

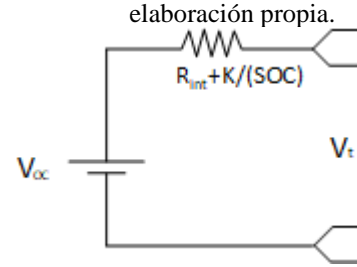
donde V_o es una fuente de voltaje en circuito abierto (representando la batería con carga completa), D es el estado de carga, R_{int} es la resistencia interna, cuando la batería se encuentra completamente cargada. A y B son constantes obtenidas por experimentación [12]. Este modelo es aplicado en sistemas inversores de fase con la finalidad de generar un voltaje alterno a voltaje DC para satisfacer una carga de AC, como se vería en un motor de inducción [13].

En la Figura 3 existe otro modelo desarrollado basado en el teorema de Thévenin. Este se circuito se expresa con un voltaje de circuito abierto y una resistencia interna con características no lineales por K/SOC , anexada en (6).

$$V_t = V_{oc} - \left(R_{int} + \frac{k}{SOC} \right) I \quad [6]$$

donde V_t es la terminal de voltaje de la batería, V_{oc} es un voltaje en el circuito sin carga, R_{int} es la resistencia interna de la batera, K es una constante de polarización, e I es la corriente de descarga. Este modelo representa al comportamiento de las baterías de ácido de plomo para sistemas de tracción [12]

Figura 3. Modelo de batería simple modificado 3. Fuente: elaboración propia.



3. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

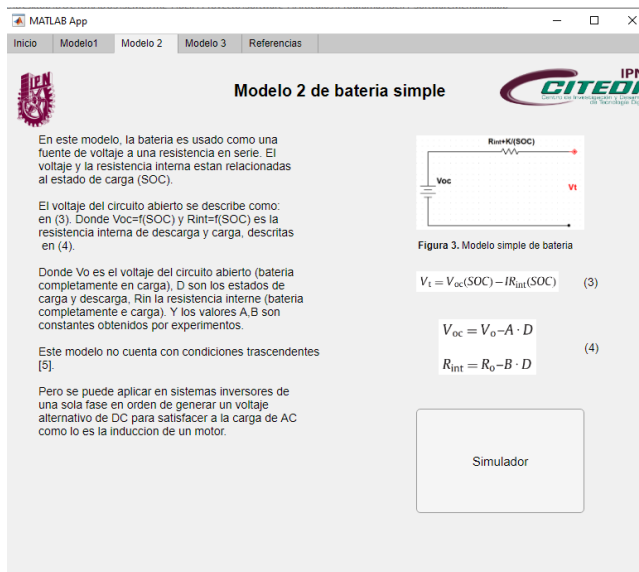
En la presente sección muestra los resultados obtenidos de una interfaz gráfica de usuario desarrollado para explicar el comportamiento de las baterías. El Software se compone de pestaña en la zona superior que avisa al usuario en que sección se encuentra. El programa también cuenta con una pestaña de inicio introductorio, los modelos del comportamiento de una batería, el cual cuenta con texto didáctico explicando el fenómeno, sus respectivas ecuaciones y un botón el cual te dirigirá a la ventana del simulador, y finalizando, la última pestaña contará con un breve listado de referencias.

En la Figura 4a se muestra una interfaz de la primera pestaña que detalla el primer modelo para representar una batería, con su respectiva ecuación, circuito y botón. La Figura 4b explica el segundo modelo en donde se toma el voltaje sin carga, la resistencia interna en función del estado de carga y descarga de la batería, que se estima con las constantes A , B y D . Y finalmente en la Figura 4c muestra el tercer modelo donde cuenta con más variables y precisión.

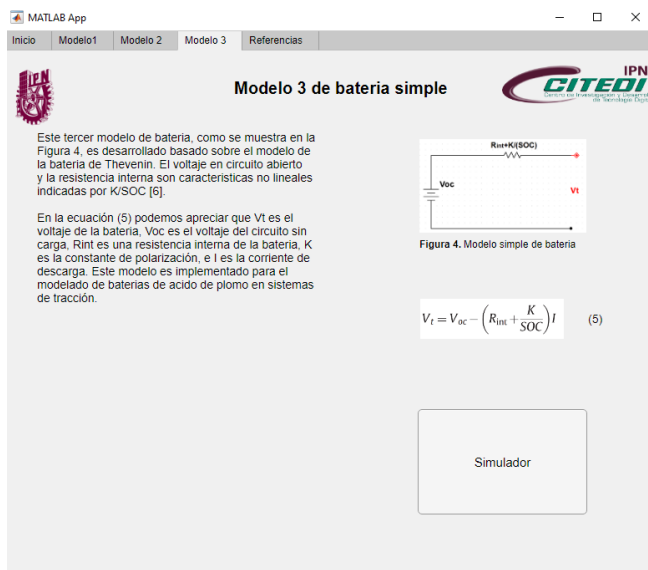
Figura 4. Interfaz visual para maximizar la vida útil de las baterías. Fuente: elaboración propia.



a) modelo de batería simple.



b) Interfaz del modelo de batería simple

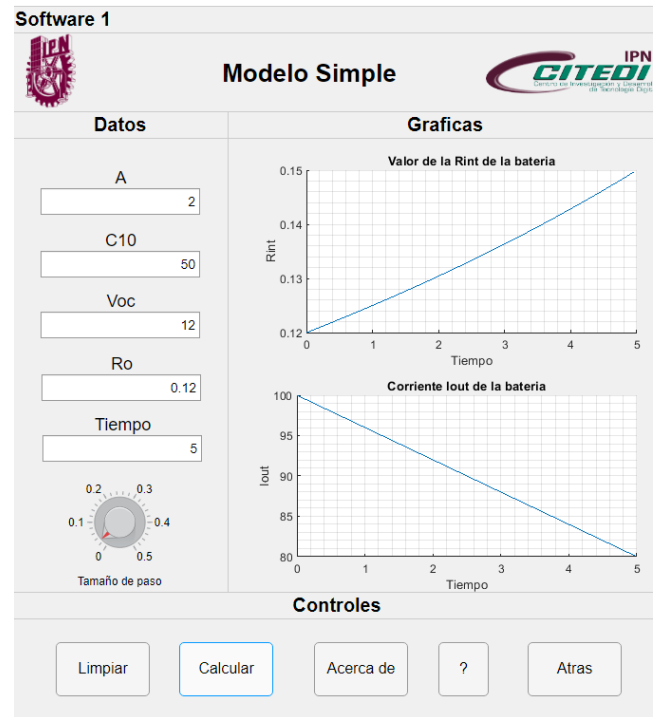


c) Interfaz del modelo de batería modificado.

En la interfaz que se muestra en la Figura 4a se presiona el botón *Simulador*, y este dirigirá al usuario a una ventana mostrada en la Figura 5. El simulador requiere ser alimentado con información por el usuario, como lo son la corriente de carga y descarga donde se le otorgó el valor de 2, la capacidad de la batería a 10 horas con 50 amperes, el voltaje en circuito abierto de 12 voltios y la resistencia interna sin carga de 0.12 ohm. Y este también cuenta con un radial para marcar el tamaño de paso de la simulación. El simulador cuenta con los siguientes botones: *limpiar* para borrar los datos en los campos de textos; *calcular* para realizar los cálculos necesarios y mostrarlos en la gráfica; *Acerca de* que muestra una ventana de dialogo de información sobre el desarrollador; *botón de ayuda*, que abre una ventana de dialogo con los pasos para la utilización del programa y el botón *Atrás* cuya función es regresar al usuario a la ventana principal. Al realizar la

simulación de la interfaz de la Figura 5, se aprecia que el valor de la resistencia interna asciende conforme pasa el tiempo, lo que significa que existe una estrangulación en el flujo de corriente sobre el circuito que otorga la batería, demostrando el fenómeno de descarga de la batería, y en el grafico inferior de la interfaz se muestra que la corriente de salida va en descenso. Esto significa que existe una relación entre el tiempo y que la batería se queda sin carga.

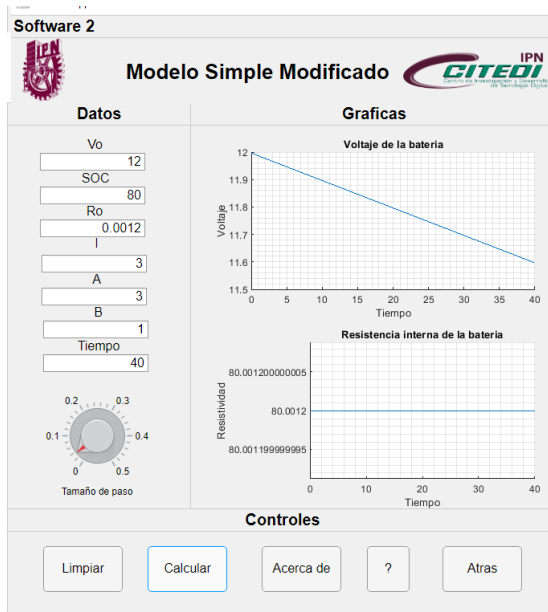
Figura 5. Interfaz del primer modelo de batería. Fuente: elaboración propia.



En la Figura 6 se muestra la segunda interfaz, esta requiere más parámetros en comparación del primer simulador, el usuario necesita introducir los valores del *voltaje inicial* el cual se le otorgo un valor de 12 volt, el *estado de carga* de la batería (SOC) con valor de 80, la *resistencia interna* sin carga en la batería con 0.012 ohm, una *corriente* de 3 amperes las constantes *A* y *B* con valores de 3 y 1 y un tiempo de simulación de 40 segundos.

Este modelo muestra una reducción en la diferencia de potencial, mientras la resistencia interna se mantiene constante. Entonces se aprecia una relación entre la carga y el voltaje de la batería.

Figura 6. Interfaz del segundo modelo de batería. Fuente: elaboración propia.

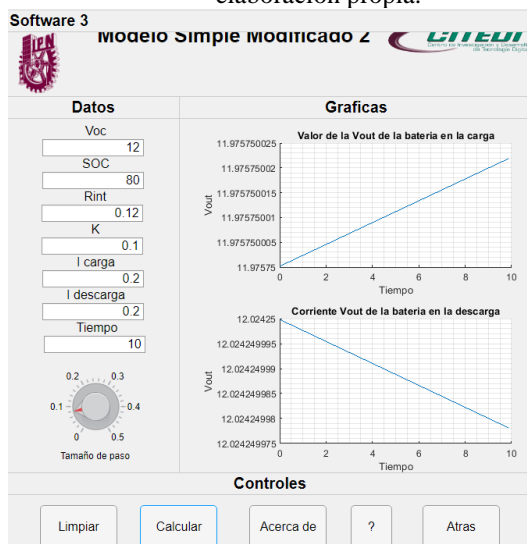


En el tercer modelo se diseñó una interfaz gráfica con los siguientes parámetros: voltaje inicial sin carga de 12 voltios, un estado de carga del 80%, una resistencia interna de 0.12 ohm, una constante K de 0.1, y una corriente de carga y descarga de 0.2 amperes, y finalmente un tiempo de simulación de 10 segundos.

Esta simulación muestra el valor de la resistencia interna en relación al voltaje que cuenta la batería. En la grafica superior se muestra un aumento de voltaje cuando la batería se encuentra en la fase de carga, y este se reduce en su fase de descarga, como se aprecia en el grafico inferior.

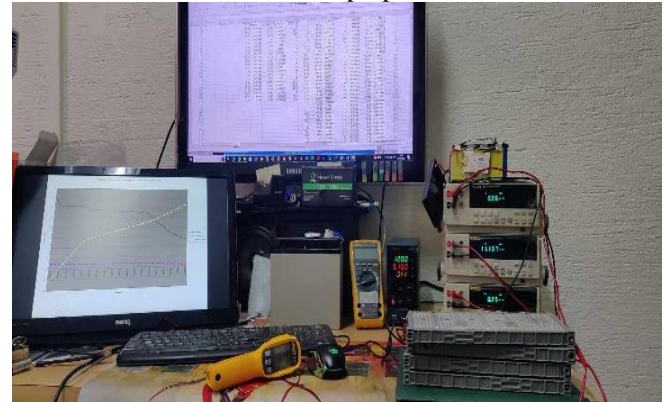
Este modelo toma la diferencia de potencial para realizar un control sobre la resistencia interna y corriente que suministra la batería.

Figura 7. Interfaz del tercer modelo de batería. Fuente: elaboración propia.



Y así se desarrolló un software el cual explica a detalle distintos modelos para simular una batería.

Figura 8. Prueba y medición de batería. Fuente: elaboración propia.



4. CONCLUSIONES

En conclusión, este trabajo se enfoca en abordar los desafíos asociados a la pérdida de capacidad de carga de las baterías. Se propuso un enfoque innovador centrado en la identificación y recuperación de celdas; separando aquellas, que no cubren rigurosamente los rangos de capacidad, requeridos para realizar esfuerzos de carga extremos y que se pueden catalogar como no viables; sin embargo pueden ser aptas para una aplicación, donde la capacidad de trabajo requiera de otra dinámica de aplicación como por ejemplo, realizarían un excelente desempeño como respaldo de fuentes de poder, o para sustituir las baterías agotadas de algunas lámparas denominadas solares.

En la adquisición de los parámetros de calidad de las baterías, la interfaz realiza la adquisición de métricas del porcentaje de vida útil de las baterías, de forma individualizada, considerando métricas individuales de cada celda por separado, demuestra ser una estrategia efectiva. Además, se destaca la importancia de mantener las baterías en condiciones de óptimas al descargarlas a una velocidad específica y segura de 0,2 C. Este enfoque contribuye a preservar su vida útil y rendimiento, especialmente al evitar esfuerzos que puedan incrementar su temperatura, situación que puede disminuir su vida útil, al degradar y agotar los materiales que componen la batería.

La batería se distingue por su duración y resistencia ante condiciones agresivas, siempre y cuando se someta a pruebas a un ritmo moderado, como el de 0,2 C. Se subraya la influencia directa de la velocidad de carga y descarga en el porcentaje de vida útil de la batería, destacando que tasas más lentas de descarga contribuyen a mantener su eficiencia a lo largo del tiempo. La rapidez controlada de carga y descarga resulta crucial para mantener la batería en una zona segura durante las pruebas, evitando así una degradación acelerada de sus componentes.

En resumen, el presente estudio proporciona valiosas directrices para el mantenimiento y prolongación de la vida

útil de las baterías, especialmente las de LiFePO₄, enfocándose en prácticas de prueba seguras y moderadas que preservan su integridad y rendimiento a largo plazo, un ejemplo que encuadra en una economía circular influyendo en el cambio hacia la sostenibilidad y la reutilización.

5. REFERENCIAS

- [1] E. Galán Huertos, A. Romero Baena, “Contaminación de suelos por metales pesados”, MACLA, Revista de la Sociedad Española, Vol. 10, pp.48-60, España, 2008.
- [2] S.M. Silvia Arroyave & F.J. Correa Restrepo. “Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidad de regulación económica”, Semestre Económico, Vol. 12, no 23, pp. 13-34, Medellín, España, 2009.
- [3] Cepal, N. U. (2018). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe.
- [4] O. Velazquez-Martinez; J. Valio; *et al*, “A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective”, MDPI, Batteries 2019, Vol.5, No. 4, 5 de Noviembre de 2019.
- [5] S. Earle; K. Panchuck, “Physical Geology” 2nd ed.; BC Campus: Victoria, BC, Canada, 2019.
- [6] U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2018; Unites States Geological Survey: Reston, VA, USA, 2018.
- [7] T.Georgi-Marchlers, *et al*, “Development of a recycling process for Li-ion batteries”, ELSERVIER, Journal of Power Sources, Vol.207, pp.173-182, 1 de Junio de 2012.
- [8] J. Xu, H.R. Thomas, R.W. Francis, *et al*, “A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries”, ELSERVIER, Journal of Power Source, Vol. 177, No. 2, pp. 512-527, 1 de Marzo de 2008.
- [9] J.M. Tarascon & M. Armand, “Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. Nature”, Nature, Vol. 414, No. 6861, pp. 359-367, 15 de Noviembre de 2001.
- [10] D. Linden & B.T. Reddy, “Handbook of Batteries”, McGrawHill, 4ta ed., NY, USA, 2011.
- [11] M. Dur, A. Cruden & G. Sinclair, “Dynamic model of a lead-acid battery for use in a domestic fuel cell system”, ELSERVIER, Journal of Power Sources, Vol. 161, No. 2, pp.1400-1411, 27 de Octubre de 2006.
- [12] S.M. Mousavi & M. Nikdel, “Various battery models for various simulation studies and applications”, ELSERVIER, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 32, pp.477-485, Abril de 2014.
- [13] H.L. Chan, “A new battery model for used with battery energy storage system and electric vehicle power system”, 2000 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting Conference, Vol. 1, pp. 470-475, Singapore, 2000.