

Reutilización de baterías de vehículos eléctricos: un enfoque bibliográfico sobre su segunda vida

Palabras clave: diagnóstico de baterías, estado de salud (SoH), aplicaciones estacionarias, segunda vida.

Keywords: battery diagnostics, state of health (SoH), stationary applications, second life.

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (134-139)
e-ISSN: 2789-4061

Reutilization of Electric Vehicle Batteries: A Bibliographic Approach to Their Second Life

DOI: <https://doi.org/10.51378/iuca.v3i3.10350>

Carlos Mario Flores Lazo

Maestro en Ingeniería de Producción
Departamento de Ciencias Energéticas y Fluidicas
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
El Salvador

cmflores@uca.edu.sv

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7584-3323>

Propósito de la investigación:

El propósito de esta investigación es explorar, a partir de fuentes bibliográficas, las metodologías, aplicaciones y desafíos relacionados con la reutilización de baterías de vehículos eléctricos, con un enfoque particular en su segunda vida. Basado en estudios clave como (Börner *et al.*, 2022; Mohammed Haram *et al.*, 2021), que destacan metodologías de diagnóstico del estado de salud (SoH) y estrategias de integración en aplicaciones de segunda vida. Asimismo, se incluye análisis relevantes de (Aguiari *et al.*, 2022) sobre desafíos operativos.

Además, se documentan casos de éxito como el proyecto SEAT Endesa (Rallo *et al.*, 2020) y el sistema piloto de BMW (Mohammed Haram *et al.*, 2021), que ilustran cómo extender el ciclo de vida de las baterías puede contribuir a la transición hacia un sector energético y de transporte sostenible. Este trabajo busca proporcionar soluciones sostenibles que maximicen la vida útil de las baterías retiradas, especialmente en aplicaciones estacionarias, y reduzcan su impacto ambiental.

Finalmente, según datos del Fondo para la Atención de Víctimas de Accidentes de Tránsito (FONAT), el parque vehicular eléctrico en El Salvador alcanzó 1,590 unidades hasta diciembre de 2024, un número que continúa en aumento. Este crecimiento refleja la necesidad de desarrollar estrategias para maximizar la vida útil de las baterías retiradas de los vehículos eléctricos, especialmente en aplicaciones estacionarias, y reducir su impacto ambiental.

Metodología:

Exploración bibliográfica:

Se realizó una exploración de artículos científicos publicados en revistas indexadas y conferencias técnicas, enfocada en identificar metodologías para el diagnóstico del estado de salud (SoH) de baterías y estrategias relacionadas con su segunda vida en aplicaciones estacionarias, recopilando información relevante y actualizada sobre este tema.

Identificación de retos técnicos y operativos:

A partir de la información obtenida, se identificaron los principales desafíos relacionados con la integración de baterías de segunda vida en sistemas estacionarios. Estos retos incluyen aspectos operativos, como la logística y los métodos de diagnóstico, y técnicos vinculados al contexto práctico de las aplicaciones.

Análisis de casos prácticos:

Se documentaron proyectos emblemáticos que implementaron baterías de segunda vida en aplicaciones estacionarias. Este análisis permitió identificar enfoques exitosos y estrategias replicables que podrían ser aplicadas en contextos similares.

Evaluación de metodologías de diagnóstico del SoH:

Se analizaron diversas técnicas descritas en la literatura para diagnosticar el estado de salud de las baterías, como el aprendizaje automático y otras herramientas computacionales. Estas metodologías fueron evaluadas por su aplicabilidad en el contexto de la reutilización de baterías.

Resultados:

Identificación de retos técnicos y operativos

La reutilización de baterías de vehículos eléctricos enfrenta múltiples retos técnicos y operativos que limitan su adopción masiva. Uno de los principales desafíos en la logística asociada con la recolección, transporte y almacenamiento de las baterías retiradas, debido a su peso, sensibilidad y riesgos asociados, como la documentan, Figura 1. (Aziz *et al.*, 2015; Börner *et al.*, 2022). Estas limitaciones se agravan en regiones donde la infraestructura para manejar grandes volúmenes de baterías aún es incipiente o inexistente, lo que incrementa tanto los costos operativos como los riesgos ambientales. Además, la falta de estandarización entre baterías de diferentes fabricantes dificulta su integración en aplicaciones estacionarias, ya que las configuraciones y requisitos de los sistemas no siempre son compatibles, como se resalta en (Rallo *et al.*, 2020). Esta incompatibilidad no solo complica el desarrollo de sistemas eficientes, sino que también reduce las posibilidades de crear soluciones escalables que puedan implementarse a nivel industrial. Por último, la implementación de modelos precisos para diagnosticar el estado de salud (SoH) de las baterías sigue siendo un reto crucial para determinar su viabilidad en aplicaciones de segunda vida, según (Fazeli *et al.*, 2021; Mohammed Haram *et al.*, 2021). Sin métodos de diagnóstico fiables, existe un mayor riesgo de fallas en las baterías reutilizables, lo que pone en duda su confiabilidad para usos prolongados.

Carlos Mario Flores Lazo

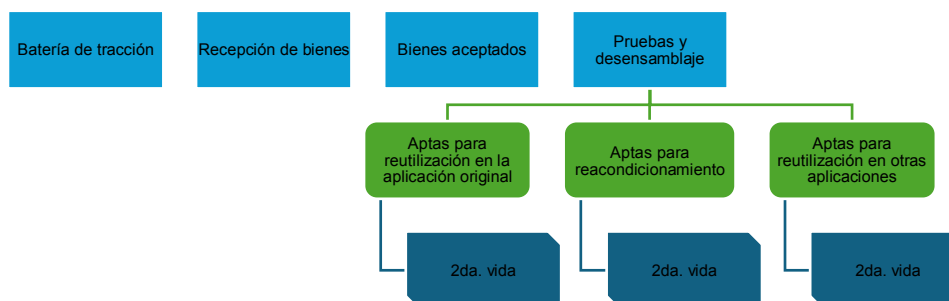
Reutilización de
baterías de vehículos
eléctricos: un enfoque
bibliográfico sobre su
segunda vida

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (134-139)
e-ISSN: 2789-4061

Figura 1

Carlos Mario Flores Lazo

El proceso de determinación de la segunda vida



Nota. Traducido y adaptado de (Börner *et al.*, 2022).

Análisis de casos prácticos

El análisis de casos prácticos revela proyectos exitosos que ejemplifican la reutilización efectiva de baterías de segunda vida. Por ejemplo, el proyecto SEAT Endesa, detallado por (Doménech y Heleno, 2019; Rallo *et al.*, 2020), implementó baterías en sistemas estacionarios para estabilizar redes eléctricas, logrando un ahorro energético significativo. Este proyecto también demostró cómo las baterías de segunda vida pueden actuar como un amortiguador para las fluctuaciones de la demanda de energía, beneficiando la estabilidad del sistema eléctrico. Asimismo, el sistema piloto de BMW destacó en la reutilización de baterías en aplicaciones de almacenamiento residencial, aunque enfrentó desafíos relacionados con la compatibilidad y el manejo térmico (Mohammed Haram *et al.*, 2021; Catton *et al.*, 2017). Dichos desafíos evidencian la necesidad de desarrollar sistemas de gestión de baterías (BMS) adaptativos que puedan operar con múltiples tipos de celdas y arquitecturas. Por otro lado, estudios en China han mostrado el impacto positivo de la reutilización de baterías en microrredes urbanas, demostrando beneficios tanto de sostenibilidad como en la reducción de costos operativos, según (Martínez-Laserna *et al.*, 2018; Toosi y Merabet, 2023). Estos casos prácticos subrayan la importancia de la colaboración entre la industria y las instituciones de investigación para superar los retos técnicos y optimizar los beneficios económicos y ambientales.

Evaluación de metodologías de diagnóstico del SoH

La evaluación de metodologías de diagnóstico del SoH incluye enfoques avanzados que ofrecen resultados prometedores. Los modelos matemáticos, como los filtros de Kalman, son valorados por su precisión, aunque requieren una capacidad computacional considerable, como señalan (Bremer *et al.*, 2016; Wu *et al.*, 2022). Estos modelos, sin embargo, presentan limitaciones cuando se aplican a baterías con ciclos de uso diverso, lo que puede afectar la precisión en la predicción del SoH. Por otro lado, los algoritmos de aprendizaje automático permiten identificar patrones de degradación, pero su implementación depende de la disponibilidad de grandes conjuntos de datos (Dullau *et al.*, 2023; Mohammed Haram *et al.*, 2021). A pesar de sus ventajas, estas herramientas requieren una infraestructura computacional robusta y acceso continuo a datos confiables, lo que limita su aplicación en entornos con menos recursos. Finalmente, las pruebas electroquímicas in situ destacan por su alta precisión, aunque presentan mayores costos y limitaciones en su aplicación masiva, según

Reutilización de
baterías de vehículos
eléctricos: un enfoque
bibliográfico sobre su
segunda vida

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (134-139)
e-ISSN: 2789-4061

(Mohseni *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2021). Este enfoque resulta especialmente útil en entornos controlados, pero su dependencia de equipos especializados dificulta su implementación a gran escala. Estas metodologías reflejan la complejidad de establecer un estándar universal para evaluar el SoH, lo que subraya la necesidad de continuar investigando en este campo.

Conclusiones:

La reutilización de baterías de vehículos eléctricos enfrenta importantes retos logísticos relacionados con su recolección, transporte y almacenamiento, lo que incrementa significativamente los costos operativos. A esto se suma la falta de estandarización entre diferentes modelos de baterías, que dificulta su integración en sistemas estacionarios y limita el desarrollo de soluciones escalables y aplicables a nivel industrial. Aunque estos desafíos representan barreras significativas, el diagnóstico confiable del estado de salud de las baterías sigue siendo un elemento crucial para determinar su viabilidad en aplicaciones de segunda vida.

A pesar de estas limitaciones, existen casos exitosos que demuestran el potencial de las baterías de segunda vida en la transición hacia la sostenibilidad energética. Algunos proyectos han logrado estabilizar redes eléctricas, optimizar el rendimiento del almacenamiento residencial y reducir costos en microrredes urbanas. Estos ejemplos destacan cómo la innovación tecnológica, junto con una sólida colaboración entre la industria y la investigación, puede maximizar el valor de las baterías reutilizadas y superar obstáculos operativos.

Por otro lado, las metodologías actuales para diagnosticar el estado de salud de las baterías han mostrado avances significativos, pero todavía enfrentan limitaciones prácticas. Mientras que los modelos matemáticos ofrecen alta precisión, requieren recursos computacionales avanzados que no siempre están disponibles. Las herramientas basadas en aprendizaje automático muestran gran potencial, pero su efectividad depende de la calidad y disponibilidad de datos confiables. Estos puntos subrayan la necesidad de desarrollar tecnologías más accesibles, eficientes y asequibles, que permitan evaluar con precisión el estado de salud de las baterías en diversos contextos prácticos.

Referencias

- Aguiari, D., Chou, K. S., Tse, R. y Pau, G. (8-11 de enero de 2022). *Monitoring Electric Vehicles on The Go*. 2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, Nevada, Estados Unidos de América. <https://doi.org/10.1109/CCNC49033.2022.9700713>
- Aziz, M., Oda, T. y Kashiwagi, T. (2015). Extended Utilization of Electric Vehicles and their Re-used Batteries to Support the Building Energy Management System. *Energy Procedia*, 75, 1938-1943. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.226>
- Bremer, I., Ruecker, F. y Sauer, D. U. (1-4 de junio de 2016). *Investigation of li-ion battery state of health detection in electric vehicles - a comparison of simulation results and field measurement*. 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), Busan, Corea del Sur. <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2016.7512915>

Carlos Mario Flores Lazo

Reutilización de
baterías de vehículos
eléctricos: un enfoque
bibliográfico sobre su
segunda vida

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (134-139)
e-ISSN: 2789-4061

Carlos Mario Flores Lazo

Reutilización de
baterías de vehículos
eléctricos: un enfoque
bibliográfico sobre su
segunda vida

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (134-139)
e-ISSN: 2789-4061

- Börner, M. F., Frieges, M. H., Späth, B., Spütz, K., Heimes, H. H., Sauer, D. U. y Li, W. (2022, 19 de octubre). Challenges of second-life concepts for retired electric vehicle batteries. *Cell Reports Physical Science*, 3(10), 101095. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.101095>
- Catton, J., Walker, S. B., McInnis, P., Fowler, M., Fraser, R., Young, S. B. y Gaffney, B. (14-17 de agosto de 2017). *Comparative safety risk and the use of repurposed EV batteries for stationary energy storage*. 2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), Oshawa, Ontario, Canadá. <https://doi.org/10.1109/SEGE.2017.8052799>
- Doménech, C. B. y Heleno, M. (23-27 de junio de 2019). *Estimating the Value of Second Life Batteries for Residential Prosumers*. 2019 IEEE Milan PowerTech, Milán, Italia. <https://doi.org/10.1109/PTC.2019.8810647>
- Dullau, M., Scholz, T., Kremzow-Tennie, S., Pautzke, F. y Schmuelling, B. (6-9 de junio de 2023). *In-Situ State of Health Analysis and Simulation of Electric Vehicle Battery Packs Using Conventional Charging Infrastructure*. 2023 6th International Conference on Electrical Engineering and Green Energy (CEEGE), Grimstad, Noruega. <https://doi.org/10.1109/CEEGE58447.2023.10246474>
- Fazeli, A., Stadie, M., Kerner, M., Poplavskaya, K., Nagaoka, H., Kapeller, J., Kathan, J., Burger, A. y Jomrich, f.. (22-31 de octubre de 2021). *A Techno-economic Investigation for the Application of Second-Life Electric Vehicle Batteries for Behind-The-Meter Services*. 2021 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Toronto, Ontario, Canadá. <https://doi.org/10.1109/EPEC52095.2021.9621638>
- Martínez-Laserna, E., Gandiaga, I., Sarasketa-Zabala, E., Badedá, J., Stroe, D.-I., Swierczynski, M. y Goikoetxea, A. (2018). Battery second life: Hype, hope or reality? A critical review of the state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 701-718. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.035>
- Mohammed Haram, M. H. S., Lee, J. W., Ramasamy, G., Ngu, E. E., Thiagarajah, S. P. y Lee, Y. H. (2021). Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges. *Alexandria Engineering Journal*, 60(5), 4517-4536. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.03.021>
- Mohseni, P., Husev, O., Vinnikov, D., Strzelecki, R., Romero-Cadaval, E. y Tokarski, I. (2023, 23 de marzo). Battery Technologies in Electric Vehicles: Improvements in Electric Battery Packs. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 17(4), 55-65. <https://doi.org/10.1109/MIE.2023.3252265>
- Rallo, H., Canals Casals, L., De La Torre, D., Reinhardt, R., Marchante, C. y Amante, B. (2020, 1 de noviembre). Lithium-ion battery 2nd life used as a stationary energy storage system: Ageing and economic analysis in two real cases. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122584. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122584>
- Toosi, H. E. y Merabet, A. (2023, 15 de noviembre). Impact of intra-hourly scheduling on state of health of battery for electric vehicle integration in smart residential microgrid. *Journal of Energy Storage*, 72(A), 108215. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108215>

- Wang, Z., Feng, G., Zhen, D., Gu, F. y Ball, A. (2021). A review on online state of charge and state of health estimation for lithium-ion batteries in electric vehicles. *Energy Reports*, 7, 5141-5161. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.113>
- Wu, J., Fang, L., Dong, G. y Lin, M. (2022, 28 de diciembre). State of health estimation for lithium-ion batteries in real-world electric vehicles. *Science China Technological Sciences*, 66, 47-56. <https://doi.org/10.1007/s11431-022-2220-y>

Carlos Mario Flores Lazo

Reutilización de
baterías de vehículos
eléctricos: un enfoque
bibliográfico sobre su
segunda vida

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (134-139)
e-ISSN: 2789-4061