

Análisis comparativo de los diferentes tipos de baterías para vehículos eléctricos e híbridos



Colaboración

René Valdemar Rosales-Lasnibat; Josselyn de Jesús Galán-Bravo; Felipe de Jesús Pozos-Texon; Juan Antonio Pinilla-Rodríguez, Universidad Cristóbal Colón

Fecha de recepción: 31 de marzo del 2023

Fecha de aceptación: 12 de mayo del 2023

RESUMEN: El objetivo de la presente investigación es comparar el estado actual de los diferentes tipos de baterías recargables, aptos para su uso en vehículos automotores, bajo las perspectivas de energía y potencia entregadas, tiempo de carga y características físicas (peso y volumen). Se investigaron en fuentes primarias las características de las baterías empleadas en vehículos automotores de todo tipo. Esta información fue sintetizada y comparada de acuerdo a las características generales de cada tipo de batería. Los resultados se presentan organizados en una tabla comparativa, de acuerdo a su clasificación incluyendo en cada caso los datos de su energía entregada, tiempos de carga y características físicas. Resultado del análisis comparativo, se determinó para las baterías de Plomo-Ácido un uso restringido a vehículos de combustión interna, y a las baterías basadas en Níquel como candidatas a ser implementadas en vehículos híbridos y eléctricos. No obstante, son las baterías basadas en Litio las que demuestran un rendimiento superior en todos los aspectos evaluados para vehículos eléctricos e híbridos. Se concluyó que las baterías que actualmente lideran la industria por su eficacia son las de iones de Litio.

PALABRAS CLAVE: Baterías de litio, baterías de plomo-ácido, vehículos eléctricos, vehículos híbridos, batería de iones de sodio.

ABSTRACT: This study compares several types of rechargeable electrical batteries for automotive vehicles, on the basis of their current power input, charging time and physical characteristics (weight and volume). The batteries used for this study had their characteristics tested through primary sources, and in all kinds of automotive vehicles; this information was synthesized and compared, and the results were organized, in a comparative table, by category (power input, charging time and physical characteristics). This comparative analysis determined that lead-acid batteries are exclusively suited for their use in internal combustion vehicles, and nickel-based batteries are well suited for their use in electric and hybrid vehicles. However, lithium batteries show the best performance in all tested aspects for electric and hybrid vehicles. It was concluded that lithiumion batteries show the best efficiency characteristics in the industry.

KEYWORDS: Lithium batteries, lead-acid batteries, electric vehicles, hybrid vehicles, sodium-ion battery.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de almacenar energía ha dado cabida a una gama de actividades, hoy en día, características de la vida del ser humano. De entre éstas, destaca la facultad de rápido transporte, en el cual, los usos de las baterías han desempeñado un papel esencial en el desarrollo de los vehículos, permitiendo el encendido del motor de este, o bien, la posibilidad de alimentarlo continuamente, tal y como sucede con los vehículos eléctricos.

Partiendo del análisis del estado actual de las baterías recargables empleadas en vehículos automotores, y en búsqueda de optimizar la eficacia operacional de éstas, especialmente en vehículos híbridos (combustión-eléctrico) y eléctricos, la finalidad de este estudio de naturaleza descriptiva consiste en generar un comparativo que considere los aspectos de energía entregada, tiempos de carga y

características físicas (volumen y peso) de cada una de las baterías empleadas en este campo. De este modo, señalar las ventajas y desventajas de las baterías utilizadas en los tres diferentes tipos de vehículos a fin de contribuir en una compilación de los distintos tipos de baterías y su aplicación desde la perspectiva de eficiencia bajo los aspectos de potencia entregada, tiempo de carga y características físicas. Por tal motivo una de las problemáticas a las que hoy en día nos enfrentamos es identificar las características de los diferentes tipos de baterías recargables usadas en vehículos automotores. El objetivo de la presente investigación es comparar el estado actual de los diferentes tipos de baterías recargables, aptos para su uso en vehículos automotores, desde las perspectivas de energía y potencia entregadas, tiempo de carga y características físicas (peso y volumen). Así como considerar las diferentes tecnologías de batería recargable disponibles, para poder analizar sus diferencias desde las perspectivas definidas y así representar las diferencias de una manera concisa y fácil de entender.

Tipos de baterías empleadas en vehículos automotores
Los tipos de baterías mayormente empleadas en los vehículos automotores se dividen en tres tipos de acuerdo con su composición química.

Baterías de Plomo-Ácido: Este tipo de baterías secundarias son las más baratas del mercado y siguen constituyendo una gran parte de este. Son ampliamente usadas en pequeños vehículos de tracción y en la industria. Contienen electrodos hechos de plomo y óxido de plomo, así como un ácido fuerte como electrolito. Producen el voltaje de celda más alto de las baterías acuosas comerciales, resultando en una buena capacidad de potencia. Su construcción es simple y existe disponibilidad de técnicas para su reciclaje. A comparación de tecnologías más actuales, este tipo de batería posee apariencia más robusta y menor rendimiento en sus ciclos de carga, así como energía y potencia específicas. Entre sus modos de falla están la degradación de la placa positiva, corrosión de la rejilla positiva y la sulfatación irreversible del electrodo negativo. Esto puede ser mitigado con la implementación de mejoras en su resistencia corrosiva y mediante el control de la microestructura de la rejilla. Sin embargo, continúan significando una restricción a su implementación en vehículos híbridos [1,4,7].

Baterías basadas en Níquel: De entre este grupo existen dos principales tipos de baterías de tecnología basada en Níquel:

- **Baterías de Níquel-Cadmio:** Son las baterías secundarias más populares y pueden trabajar a bajas temperaturas. Emplean oxihidróxido de Níquel como cátodo, Cadmio metálico como ánodo y un electrolito alcalino como el hidróxido de potasio. Son económicas, requieren poco mantenimiento y poseen una larga vida de servicio. Su pequeño tamaño y alta capacidad de des-

carga la hacen fácilmente portable. Poseen una longevida capacidad de ciclos de carga y el doble de energía específica que una batería de Plomo-Ácido. Sin embargo, sus ventas han decaído un 6% por año entre 2002 y 2012, pues se han visto reemplazadas dado a que estas baterías se calientan excesivamente y el Cadmio es extremadamente tóxico. Actualmente, una nueva combinación de celdas de Níquel-Cadmio ha sido desarrollada para proporcionar un mejor rendimiento en su posible uso en carros eléctricos tras estudios probados en diversas condiciones ambientales [1,4,7].

- **Baterías de Níquel-Hidruro metálico:** Este tipo de batería está reemplazando la de Níquel-Cadmio, debido a que es más amigable con el medio ambiente, resultando en un incremento en sus ventas de 5% por año entre 2002 y 2012. Fueron en principio, específicamente diseñadas para aplicaciones espaciales, sin embargo, hoy en día son utilizadas en vehículos eléctricos e híbridos. Emplean electrodos hechos de hidruro de metal e hidróxido de Níquel, así como un electrolito alcalino. Poseen una alta densidad de energía y carga rápida, así como tamaño que las hace fácilmente portables. La exposición a altas temperaturas y su almacenamiento extendido bajo carga son factores que afectan su vida [1,4,7].

Baterías de Iones de Litio:

Estas baterías han estado en comercialización por 25 años. Tiene menor auto descarga que otro tipo de baterías y requiere sólo una carga regular y poco mantenimiento. Actualmente, este tipo de batería es la más adecuada para emplear en vehículos eléctricos porque poseen alta liberación de energía, además de que son más pequeñas que el resto de baterías, debido a que el Litio es un metal de naturaleza liviana. Sin embargo, también es susceptible a sobrecalentarse y hacer cortocircuito o explotar, por lo que en las celdas no se usa metal de Litio, sino componentes de este. De la misma forma, dado que es un elemento raro en la Tierra su manufactura es costosa (40% por encima de la producción de baterías basadas en Níquel), por lo que la implementación de su producción a gran escala es una respuesta para abaratarlas. Todas las baterías basadas en Litio comparten las características de poseer excelentes ciclos de vida, altas energía y potencia específicas, así como su distintiva ligereza que las hacen ideales para aplicaciones en las que el tamaño es un requerimiento importante [1,5,7,8,9].

Algunas variantes de baterías basadas en Litio se presentan a continuación:

- **Baterías de Litio-Polímero:** Casi idénticas a las baterías de iones de Litio, pero, a diferencia de éstas, poseen un electrolito polimérico que es inflamable y a la vez actúa como separador. Su fabricación es costosa y poseen una mayor razón de costo-energía que las de iones de Litio. Actualmente ya son empleadas en algunos vehículos eléctricos [4].

- **Baterías de Litio-Aire:** Están usualmente compuestas por Litio metálico como ánodo, un separador sólido y oxígeno en el cátodo para inducir un flujo de corriente, el cual, se disipa a través del electrólito. Esto permite tener una densidad de energía superior comparada con otras baterías. Resulta una opción atractiva para el transporte dado a su alta capacidad de almacenamiento de energía [3,10,11].

- **Baterías de Litio-Azufre:** Requieren de altas cantidades de carbón eléctrico conductivo, debido a que el azufre es un aislante eléctrico. Son apropiadas candidatas para vehículos híbridos e híbridos enchufables, así como vehículos eléctricos [10,12,13].

Otras Baterías: • **Baterías de Zinc-Aire:** Son construidas con un electrodo de zinc y un electrodo de aire, usa hidróxido de potasio como electrólito. La característica principal de esta batería es que el oxígeno del exterior puede ser usado como cátodo, y el ánodo puede ser reemplazado por cartuchos hechos de Zinc. Han sido probadas para su posible uso en vehículos eléctricos, son ligeras y con alta densidad de energía, aún se encuentran en desarrollo [4,6].

- **Baterías de iones de Potasio:** Se producen a bajo costo debido a la abundancia de Potasio en la Tierra, estructura estable y carga rápida. Sin embargo, presentan problemas como pobre disipación de calor, que puede ser mayormente resuelto con la implementación de nanopartículas y nanoestructuras [7].

- **Baterías de iones de Sodio:** Son de bajo costo debido a la abundancia de Sodio. Han sido consideradas como análogas a las baterías de iones de Litio. Son candidatas atractivas para aplicaciones a gran escala, a pesar de sus retos a resolver como su capacidad específica y número de ciclos [3,14].

- **Baterías de Magnesio:** Resultan atractivas para su implementación en almacenamiento de energía a gran escala, ya que proveen excelente seguridad, gran capacidad volumétrica y bajos costos debido a la abundancia natural de este elemento [3,15].

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología utilizada es descriptiva comparativa, la información se obtuvo de artículos científicos para poder analizar y realizar la tabla comparativa de las diferentes baterías existentes en el mercado.

A continuación, se presenta la información necesaria para comprender los diferentes tipos de baterías recargables bajo las perspectivas de energía entregada, tiempo de carga y sus características físicas (volumen y peso).

Principio básico de una batería recargable La energía química, producto de la capacidad y voltaje que almacena una batería, es primeramente determinada por la celda química -elemento principal de una batería- y los materiales del electrodo. La máxima energía eléctrica que los materiales activos del electrodo pueden liberar

depende del cambio de energía liberada en la reacción química involucrada [1]. A diferencia de las baterías primarias, que sólo pueden ser usadas una vez, las baterías secundarias pueden ser cargadas y volverse a usar [2]. Su proceso de recarga es llevado a cabo por un dispositivo externo (cargador de batería) a la batería, que está basado en el proceso inverso de la reacción oxido-reducción entre los materiales anódico y catódico. Cada celda está compuesta por un electrodo positivo (cátodo), un electrodo negativo (ánodo), los cuales se encuentran físicamente aislados por un separador o membrana porosa, e inmersos en un electrólito. Éste último es en principio un conductor iónico y aislante eléctrico, lo que permite la oxido-reducción en cada uno de los electrodos; además de que afecta el rendimiento de una celda recargable, incluyendo aspectos de reversibilidad, eficiencia de Coulomb, velocidad de carga, seguridad, rango de temperatura de operación y ciclo de vida. Para muchos dispositivos electrónicos, una sola celda puede satisfacer los requerimientos de energía y potencia. Sin embargo, en aplicaciones a mayor escala, como vehículos eléctricos y estaciones EES (Electrical Energy Storage), se necesitan muchas celdas integradas eléctricamente en módulos, que son compactadas en una batería para satisfacer las necesidades de potencia y energía [3].

Uso de las baterías recargables en los vehículos automotores

A comparación de las baterías de plomo que se utilizan en vehículos de combustión interna, las baterías recargables empleadas en vehículos eléctricos e híbridos cuentan con una gama extensa de propósitos a diferencia de los de combustión interna, tales como: suministrar continuamente corriente para alimentar al motor eléctrico por un largo periodo de tiempo. Mientras que, para un motor de combustión interna, el propósito principal de la batería, conocida generalmente como batería de encendido es realizar una chispa y pulso eléctrico para poder encender el motor del vehículo. Por otra parte, en vehículos híbridos se cuenta con la presencia tanto de una batería de encendido, como de una batería de alto voltaje (high-voltage battery). La batería de encendido permite encender el motor del vehículo y activar unos contactores para hacer funcionar la batería de alto voltaje y que esta, a su vez, pueda encender el motor del vehículo. El sistema de alto voltaje puede ser utilizado para encender algunos accesorios de este tipo de vehículo, los cuales son alimentados por la batería de encendido [4].

Retos tecnológicos para las baterías en vehículos eléctricos La introducción de vehículos eléctricos marca un hito en la industria automotriz. La frecuencia de su mantenimiento es menor que la de un vehículo de combustión interna, dado que un motor eléctrico es más simple que uno de combustión. Sin embargo, la adopción de los mismos presenta una serie de obstáculos, los cuales giran en torno a la batería, que hoy en día no puede pro-

porcionar al vehículo eléctrico la misma autonomía que la de uno de combustión interna. Actualmente, la batería de un vehículo eléctrico otorga una media de 150 km, alcanzando los 120 km/h y soportando cerca de 2000 ciclos de recarga (aproximadamente 5 años). Además, representa aproximadamente un 40% del peso neto y un 50% del precio final del vehículo. De esta forma, los principales retos tecnológicos a enfrentar son el tiempo de vida de la batería y su necesidad de una infraestructura de recarga específica, estaciones de recarga distribuidas homogéneamente a lo largo del mundo. De este mismo modo, desempeña un papel fundamental la búsqueda de una batería cuya energía, tiempos de carga y características físicas proporcionen una mejor eficiencia funcional, traducida en una mayor asequibilidad a vehículos eléctricos, así como la posible introducción de esta batería a cualquier tipo de vehículo [5].

Energía y potencia entregadas por las baterías recargables

El propósito de una batería es almacenar energía. Esta energía es medida en Watt-hora y depende del voltaje de la batería y de la carga almacenada que puede soportar, siendo esto último el parámetro más crucial [6,16]. La cantidad de potencia que se puede obtener por kilogramo de batería es conocida como potencia específica y se mide en Watt/kilogramo (W/kg) [6].

Tiempos de carga de las baterías recargables

El proceso de carga y descarga de una celda en una batería involucra el flujo de electrones entre el cátodo y ánodo, y la aplicación de energía eléctrica externa. Esto permite almacenar las cargas. Cuando el voltaje aplicado es mayor que el de la batería, la corriente fluye en el interior de la celda; mientras que, al descargarse, la corriente fluye al exterior de ésta. La eficiencia energética es la razón de energía eléctrica que una batería puede proveer a la cantidad de energía eléctrica requerida para regresarla a su estado antes de la descarga. Puede variar en gran medida dependiendo del uso que se le dé a la batería. Cuando una batería es cargada y descargada de forma rápida, esta eficiencia decrece, aunque ninguna batería tiene eficiencia perfecta [2].

El número de ciclos de carga de una batería depende de su tipo y el uso que se le dé. Ésta es una especificación importante, pues se ve reflejado en el tiempo de vida de la batería y a su vez es un factor que repercute en los costos de los vehículos eléctricos. La mayoría de las baterías no pueden pasar largos periodos sin ser recargadas, por lo que al no usarse comienzan un proceso de auto descarga. Otros factores como la exposición a altas temperaturas influyen en este proceso [6].

Características físicas de las baterías recargables (peso y volumen)

Las celdas de las baterías pueden ser fabricadas de diferentes materiales y formas, principalmente cilíndricas y rectangulares, suministrando distintos pesos y tama-

ños. El peso es un factor importante en las baterías ya que permite conocer la energía específica de la misma (Wh/Kg). Ésta es la cantidad de energía eléctrica que puede ser almacenada por cada kilogramo de la batería. La densidad de energía (Wh/m³) es la cantidad de energía eléctrica almacenada por metro cúbico de batería, permitiendo estimar el volumen requerido para la misma [6].

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran las características que permiten facilitar la comparación entre los tres grupos de baterías empleadas en todo tipo de vehículos automotores y las variaciones existentes en cada una de las divisiones. Se expresan características que influyen en las cualidades físicas sujetas de comparación como la energía específica, con la cual se puede estimar el peso; así como la densidad de carga, permitiendo calcular el volumen. También son comprendidos factores que describen el proceso de descarga de la batería como los ciclos que ésta es capaz de tolerar antes de ver afectado su rendimiento, y el tiempo aproximado que tarda en cargar. Y para finalizar se considera la potencia específica que cada batería puede proporcionar.

Tabla 1. Características de baterías recargables según su tipo.

Tipo de batería	Tipo de vehículo en el que se emplean	Energía específica (Wh/kg)	Densidad de energía (Wh/m ³)	Ciclos de carga	Tiempo de carga(hr)	Potencia específica (W/kg)
Plomo-Ácido	Combustión interna	20-35	54-95	800*	8**	250
Níquel-Cadmio	Eléctricos	40-55	70-90	1200*	1***	125
Níquel-Hidruro metálico	Eléctricos, híbridos	65	150	1000*	1***	200
iones de Litio	Eléctricos	140	250-620	>1000	2-3****	300-1500
Litio-Polímero	Eléctricos	130-200	300	>1000	1	<10,000
Litio-Aire	Eléctricos	13,000	250	1200	N/A	N/A
Litio-Azufre	Eléctricos, híbridos	2600	35	1500	N/A	N/A
Zinc-Aire	Eléctricos	230	270	>2000	N/A	105
iones de Sodio	Eléctricos	400	N/A	1000	N/A	N/A
Magnesio	Eléctricos	700	N/A	2500	N/A	3400

Fuente: Elaboración propia.

*Capacidad al 80%.

**Pero puede cargar 90% de su totalidad en 1 hora.

***Carga rápida al 60% en 20 minutos.

****Puede llegar al 80% en menos de una hora.

CONCLUSIONES

El desarrollo de esta investigación conllevó la recopilación localizada en libros y publicaciones técnicas acerca de baterías en general, y con enfoque en las empleadas en vehículos automotores, enfatizando en vehículos híbridos y eléctricos. Adicionalmente fue necesario recurrir a literatura actual como artículos de divulgación científica para poder obtener un panorama más profundo. No obstante, a pesar de la abundante información sobre el tema en general, aún es insuficiente sobre todo en aspectos específicos, sobre todo de aquellas baterías que aún están en desarrollo o cuyo rendimiento aún se encuentra en fases de prueba para su implementación. De las características evaluadas como influyentes en el rendimiento que otorga una batería, y en su posible implementación en vehículos eléctricos o híbridos, se reconoce que cada tipo de batería tiene sus propiedades sobresalientes y deficiencias. De

entre éstas, destacan por sus cualidades superiores, las baterías basadas en Litio, las cuales lideran la industria. Éstas son las más aptas para uso en vehículos eléctricos e híbridos debido a su gran potencia y liberación de energía, su ligereza y proceso de carga con tiempos eficientes para el usuario, aspectos importantes, pero aún por mejorar en los vehículos eléctricos.

Finalmente, cabe recalcar que, de manera complementaria, sería valioso hacer pruebas de funcionamiento en las baterías existentes y las próximas a desarrollar. Adicionalmente, existen otros factores que afectan el rendimiento de una batería y varían entre cada tipo, y que pudieran ser abordados de manera similar en un trabajo futuro. Así mismo, se señala la importancia de la investigación y el desarrollo innovador de distintos tipos de separadores, electrólitos sólidos que pueden llegar a actuar como separadores, y la implementación de cátodos de diferentes materiales; todo lo anterior influyendo en el rendimiento de la batería.

BIBLIOGRAFÍA

[1] M. Palacín y A. De Guilbert, «Why do batteries fail?», *Science*, vol. CCCLI, pp. 1-8, 2016.

[2] Technical Marketing Staff of Gates Energy Products, Inc., *Rechargeable Batteries Applications Handbook*, Massachusetts: Newnes, 1998.

[3] Z. Z. S. S. Zhang, *Rechargeable Batteries: Materials, Technologies and New Trends*, Springer, Cham, 2015.

[4] J. Erjavec, *Hybrid, Electric & Fuel-Cell Vehicles*, New York: Delmar, Cengage Learning, 2013.

[5] A. Conde, J. Coulter y U. Ibusuki, «Battery global value chain and its technological challenges for electric vehicle mobility», *RAI Revista de Administração e Inovação*, n° 14, pp. 333-338, 2017.

[6] J. Larminie y J. Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained*, West Sussex: Wiley, 2012.

[7] R. Boddula, Inamuddin, R. Pothu y A. Asiri, *Rechargeable Batteries*, Hoboken: Wiley, 2020.

[8] M. Lowe, S. Tokouka, T. Trigg y G. Gereffi, «Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles: The U.S. Value Chain», *Globalization*, Carolina del Norte, 2010.

[9] M. Hannan, M. Hoque y Y. Yosuf, «State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations», *Access*, vol. VI, pp. 1-17, 2018.

[10] A. Franco, *Rechargeable Lithium Batteries*, Cambridge: Woodhead Publishing, 2015.

[11] A. Doble, J. DiCarlo y K. Abraham, «Non-aqueous Lithium-Air Batteries with an Advanced Cathode Structure», *The proceedings of the 41st Power Sources Conference, Philadelphia, PA June 2004*, pp. 1-4, 2004.

[12] H. Han, S. Niu, Y. Zhao, T. Tan y Y. Zhang, «TiO₂/Porous Carbon Composite-Decorated Separators for Lithium/Sulfur Battery», *Nanoscale Research Letters*, pp. 1-9, 2019.

[13] X. Yan, H. Zhang, M. Huang, M. Qu y Z. Wei, «Self-Formed Protection Layer on a³D Lithium Metal Anode for Ultrastable Lithium-Sulfur Batteries», *CHEMSUSCHEM*, pp. 1-9, 2019.

[14] A. Raya, «¿Adiós al litio? Nueva batería de sodio es tan buena como las que usamos pero más barata», *El Español*, 1 junio 2020.

[15] D. Linden y T. Reddy, *Handbook of Batteries*, McGraw-Hill, 1995.

[16] M. Root, *The Tab Battery Book*, USA: McGraw Hill, 2011.