

## Revisión del estado del arte de baterías para aplicaciones automotrices

### *(Review of the state of the art of batteries in automotive applications)*

Eduardo Cueva<sup>1</sup>, Juan Lucero<sup>1</sup>, Alex Guzmán<sup>1</sup>, Juan Rocha<sup>2</sup>, Luis Espinoza<sup>3</sup>

#### **Resumen:**

El propósito de la presente investigación es revisar el estado del arte y analizar el avance tecnológico y aplicación de las baterías en el campo automotriz, especialmente en los sistemas de electrificación de potencia de los vehículos híbridos y eléctricos. Las tecnologías aplicadas se clasificaron por los materiales utilizados en la construcción de las celdas electroquímicas, las de plomo ácido, ion litio y níquel metal hidruro fueron las escogidas. Se identificaron las características importantes entre las cuales se encuentran: la capacidad de almacenamiento, el voltaje nominal de sus celdas, entre otras. Las baterías de plomo por su costo seguirán ocupando una cuota de mercado considerable para los sistemas eléctricos convencionales del automóvil, pero por sus prestaciones estas baterías no se utilizan en los sistemas de propulsión. Las baterías de níquel metal hidruro soportan un mayor estrés de trabajo, poseen mayor densidad de energía y se utilizan en los sistemas de propulsión de los vehículos híbridos. Por la demanda de energía y potencia que requieren los vehículos eléctricos se utiliza la tecnología de ion litio.

**Palabras claves:** baterías; industria automotriz; ion litio; vehículo híbrido enchufable; vehículo eléctrico.

#### **Abstract:**

Purpose of this paper is the review of the literature and analyze the progress and application that battery technologies have made in the automotive industry, due to the implementation of electrified systems in the power train, that are used in hybrid and electric vehicles. The technologies which are used, were classified by the materials applied in the construction of the electrochemical cells, lead acid, lithium ion and nickel metal hydride were the chosen ones. It was identified the most important characteristics as the capacity, the nominal voltage of their cells, among others. Lead-acid batteries will continue to occupy a considerable market share because of their cost, but they cannot be used as propulsion batteries. Nickel-metal hydride batteries withstand higher work stress and have higher energy density, so they are mainly used in hybrid vehicles. Because of the demand for energy and power, that electric vehicles need, is used the lithium-ion technology.

**Keywords:** batteries; automotive industry; lithium ion; plug-in hybrid vehicle; electric vehicle.

---

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador ({eduardo.cueva, juan.lucero, alex.guzman} @ute.edu.ec).

<sup>2</sup> Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador (carlos.rocha@uisek.edu.ec).

<sup>3</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador (lespinoza@uteq.edu.ec).

## 1. Introducción

Una de las mayores preocupaciones en la industria automotriz, es la contaminación provocada por los motores de combustión interna (MCI) utilizados para la propulsión de los automóviles y de los efectos que esta contaminación ocasiona al ambiente, estimándose que en el año 2010 en el mundo circulaban más de 1 billón de autos (Diouf & Pode, 2015).

Ante esta problemática, se han invertido millones de dólares en la investigación tanto por parte de los fabricantes como de agencias gubernamentales y aumentar la eficiencia de los MCI, iniciando por la electrificación del tren de potencia y obteniéndose vehículos híbridos (HEV) y vehículos híbridos enchufables (PHEV), que combinan el MCI y un motor eléctrico (ME) y una batería de gran capacidad; una computadora decide en qué momento entrega potencia cada uno de los motores e incluso el ME puede funcionar como generador, recuperando la energía cinética del vehículo y almacenándola en la batería conocido como freno regenerativo, los PHEV añaden la funcionalidad que la batería se carga por la red eléctrica y funcionan en modo eléctrico por cierta cantidad de kilómetros, sin la necesidad de encender el MCI. Inclusive algunas marcas han optado por prescindir el MCI y solo usar motores eléctricos accionados por la energía acumulada en una batería o por una celda de combustible y una batería como el caso de los vehículos eléctricos (EV) y por lo cual no emiten gases contaminantes al ambiente. HEV, PHEV y EV tienen la ventaja de brindar mejores prestaciones en especial por la aceleración que poseen, originada por el torque instantáneo disponible por el ME, que ocupan. (Kim et al., 2012; Mahmoudzadeh Andwari, Pesiridis, Rajoo, Ricardo, & Esfahanian, 2017; Thackeray et al., 2012; Williamson, 2013)

Los requerimientos de las baterías de uso automotriz dependen de las funciones que deban cumplir en el automóvil, según la EUROBAT (Association of European Automotive and Industrial Battery Manufacturers) se clasifican a los vehículos en tres clases: la clase 1 corresponde a los vehículos convencionales, poseen una batería SLI (Start, lighting and ignition en sus siglas en inglés), cumple las funciones de arranque, iluminación e ignición, también se incluyen los vehículos que tienen sistemas Start-stop y microhíbridos, el voltaje que manejan estas baterías es de 12 V. La clase 2 corresponde a HEV, la batería es importante en esta clase de automóviles, puesto que la energía almacenada se ocupa para el funcionamiento del ME y en consecuencia propulsar al vehículo; debe soportar la carga por el freno regenerativo que disponen, estas baterías tienen un voltaje entre 48 V y 400 V, además disponen de una batería auxiliar SLI. Por último, en los vehículos de clase 3, se encuentran los PHEV y EV; en el caso de vehículos PHEV, poseen una batería que les permite una autonomía de entre 20 a 50 km en modo totalmente eléctrico; tanto PHEV como EV, deben poseer baterías que soporten el estrés de una descarga y carga al momento en que son conducidas, tienen un sistema de alto voltaje entre 250 V y 600 V y tienen una batería auxiliar SLI. Generalmente para aplicaciones en HEV se necesita alrededor de 50 celdas mientras que para PHEV y EV se necesitan de 80 celdas para formar un módulo de batería, además se necesitan componentes adicionales para que el conjunto sea lo suficientemente robusto y cumpla con la vida útil para el cual está diseñado, por tal motivo cuando las baterías tienen tal complejidad se los conoce como sistemas de baterías. (EUROBAT, ILA, ACEA, JAMA, & KAMA, s. f.; Kim et al., 2012; Lu, Han, Li, Hua, & Ouyang, 2013)

También se clasifican según los materiales utilizados en la construcción de sus componentes internos; en la industria automotriz principalmente son:

- Baterías de plomo ácido
- Baterías de níquel metal hidruro
- Baterías de ion de litio (EUROBAT et al., s. f.)

Según la aplicación, en las baterías se utilizan diferentes tipos de químicas para satisfacer las demandas de energía, esta elección depende principalmente de la

densidad de energía y de la densidad de potencia que tienen cada uno de los tipos de baterías anteriormente mencionados. (Kim et al., 2012)

## 2. Metodología

El presente trabajo considera un método de investigación bibliográfica, con el fin de poder determinar el estado de arte de las baterías usadas en la industria automotriz.

Por tal motivo se ha dividido la consulta bibliográfica de las baterías según el tipo de materiales usados en la construcción de sus elementos internos y permiten un adecuado funcionamiento, se han identificado tres grupos principales:

1. Baterías de ion de litio
2. Baterías de níquel metal hidruro
3. Baterías de plomo ácido

Una vez identificados estos grupos se procedió a plantear las preguntas de investigación:

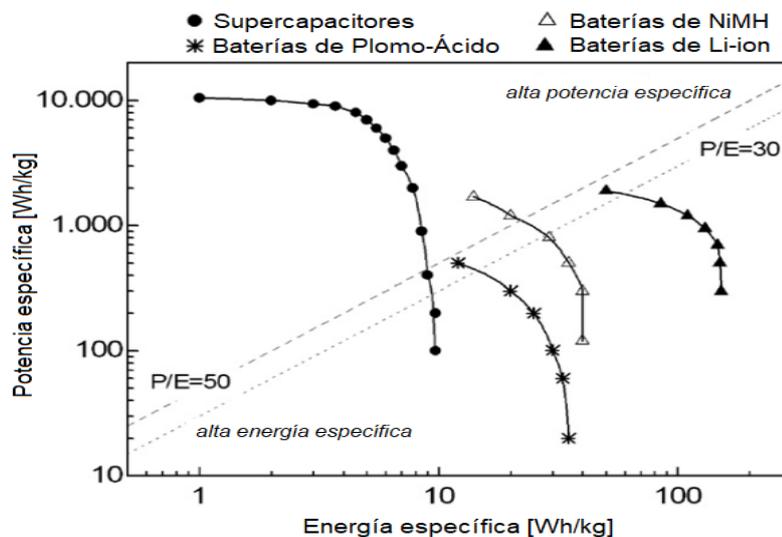
- ¿En qué sistema se ocupan?, ¿cuál es la tecnología de punta para la química utilizada en cada grupo de baterías?, ¿cuál es el promedio de capacidad de energía?, ¿cuál es el voltaje nominal que manejan los sistemas?, ¿cuál es la intensidad de descarga (C-Rate)?, ¿cuál es la intensidad de carga?, ¿cuál es la vida útil estimada (tanto en años como en número de ciclos de carga y descarga)?, ¿cuál es el costo de la batería por energía almacenada?

## 3. Resultados

A continuación se presenta un resumen del estado de arte para cada uno de los tipos de baterías escogidos.

### 3.1. Baterías de ion de litio

Las baterías de ion de litio, representan la mejor opción, para alimentar los sistemas eléctricos y electrónicos de los sistemas. Es la tecnología que ha permitido el desarrollo de los vehículos eléctricos, así como también en el campo de almacenamiento de energía renovable. Esto se debe a que poseen una mayor densidad de energía y densidad de potencia que otro tipo de baterías, como se aprecia en la *Figura 1*. (Mastragostino & Soavi, 2007)



**Figura 1.** Diagrama de Ragone, para comparar diferentes tipos de tecnologías de baterías (Mastragostino & Soavi, 2007)

Además de brindar una mejor vida útil, no necesitan de mantenimiento. Estas baterías principalmente se usan en EV por su elevado costo, se considera el componente más crítico de este tipo de vehículo y se debe monitorear por un BMS (Battery Management System), por lo cual necesita de sensores como amperímetros y voltímetros, y de actuadores que integran el sistemas de refrigeración del paquete de baterías, con el fin de asegurar un proceso adecuado y garantizar que las celdas que conforman el sistema no sufran daños, mantener una temperatura óptima de funcionamiento (incluidos el proceso de carga), un voltaje de operación dentro de los límites establecidos y asegurar que el sistema entregue la energía que le es solicitada por el conductor en el momento adecuado. (Diouf & Pode, 2015; Han et al., 2014; Kim et al., 2012; Lu et al., 2013)

Las características de las baterías en cuanto a su rendimiento dependen de la combinación de los materiales utilizados en la construcción del cátodo y ánodo, en especial el voltaje nominal y el número de ciclos de carga, determinando la vida útil de la misma. En el cátodo, se utilizan LFP ( $\text{LiFePO}_4$ ),  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (LMO),  $\text{LiNixCoyMn}_{1-x-y}\text{O}_2$  (NCM),  $\text{LiNixCoyAlzO}_2$  (NCA) mientras que para el ánodo se utilizan principalmente grafito y  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (LTO). Según la combinación del ánodo y cátodo, el voltaje nominal de operación varía, las combinaciones entre NCM, NCA, NCM y LMO con grafito, LFP con grafito y LTO con LMO. En la *Tabla 1*, se indican los voltajes característicos para baterías de ion litio. (Han et al., 2014; Lu et al., 2013)

**Tabla 1.** Voltajes característicos del cátodo y ánodo para baterías de ion litio

| Material Cátodo | Material Ánodo | Voltaje (V) |
|-----------------|----------------|-------------|
| LFP             | Grafito        | 2.0 – 3.7   |
| LMO             | Grafito        | 2.5 – 4.2   |
| NCM             | Grafito        | 2.5 – 4.2   |
| NCA             | Grafito        | 2.5 – 4.2   |
| LMO             | LTO            | 1.5 – 2.7   |

Las baterías para un PHEV y un EV tienen una capacidad dimensionada de tal manera que cumplan con un objetivo en cuanto a la autonomía esperada por el conductor. Se espera que tengan la capacidad de complementar una autonomía de 482.8 – 643.7 km en el caso de EV. En el caso de PHEV se espera una autonomía en modo eléctrico de 64.4 – 128.8 km. El problema de incrementar la capacidad de la batería, es el incremento del peso y en consecuencia la autonomía del automóvil disminuye, por lo cual es necesario buscar la mejor combinación de materiales y de procesos de construcción de la batería, para asegurar mayores capacidades de densidad de energía y de potencia. (Diouf & Pode, 2015; Mahmoudzadeh Andwari et al., 2017)

La intensidad de descarga y carga para una batería de ion litio son procesos críticos para alargar su vida útil, al no controlar la temperatura en estos procesos se origina el efecto de hinchamiento en la batería, producido por la evaporación del electrolito y quedan atrapados dentro de la carcasa, reduciendo la vida útil, se debe evitar tener temperaturas superiores a 80 °C. Las baterías de ion litio se descargan con altas corrientes medidas en C-Rate, de forma continua en valores de 26C, y si poseen un electrolito de polímero en un rango de 20C a 45C, si la descarga fuese en picos, existen baterías que soportan descargas de 52C y con un electrolito de polímero entre 30C a 90C. En el caso del proceso de carga las baterías con un electrolito de polímero y algunos tipos de químicas aguantan una carga con una corriente de 1C a 2C y algunas de baterías LFP alcanzan valores de 4C. (Peña Ordóñez, 2011)

Un parámetro importante que deben cumplir los sistemas de propulsión de EV, HEV y PHEV, es la de brindar características similares a los trenes de potencia de los vehículos convencionales, incluyéndose la vida útil esperada para estos componentes. Por lo cual debe ser una meta para los fabricantes por lo menos llegar a fabricar baterías con 10 años de vida útil o 160000 km. En número de ciclos de carga y descarga de las

baterías deberían llegar a mínimo 3000 ciclos para que sean atractivas para los fabricantes. (Kim et al., 2012)

Uno de los retos para los fabricantes automotrices en el desarrollo de baterías para EV y PHEV, es la correcta estimación del estado de salud (SOH) de la batería por parte del BSM, esto permite estimar la vida útil de la misma, sin embargo, depende de muchos factores por ejemplo la degradación de los materiales usados en la fabricación de los electrodos. (Han et al., 2014)

Se espera que el crecimiento del mercado para las baterías de ion litio en el año 2020 llegue a los 119.3 billones de dólares, este crecimiento se debe a la oferta de aparatos electrónicos y de una mayor presencia en el mercado de EV y de sistemas de almacenamiento de energía y se espera ocupen el 80% de la cuota de mercado. (Kim et al., 2012)

Se estima que el costo de la batería es de 325 USD/kWh. El precio de la batería depende más del volumen de producción que del material empleado para su fabricación. (Diouf & Pode, 2015)

### 3.2. Baterías de níquel metal hidruro

Las baterías de níquel / hidruro metálico (Ni/MH) son ampliamente utilizadas en electrónica portátil de consumo, almacenamiento de energía, estacionaria, HEV y EV, y en aplicaciones de transporte en general con inclusión de vehículos pesados y trenes. (Chang, Young, & Lien, 2017; Trapanese, Franzitta, & Viola, 2012; K.-H. Young, Cai, & Chang, 2017; K. Young, Ng, & Bendersky, 2016)

China es el país que más baterías de Ni/MH producen por tipo consumidor (> 70%) para el mundo desde el cambio de siglo, también produce baterías para aplicaciones automotrices HEV, PHEV y EV; se llegará a una producción de 3800 (Unidades por capacidad) millones de Ah (Ouchi, Young, & Moghe, 2016), para los vehículos HEV que son del tipo de alta potencia para acumulación de energía y para transporte pesado del tipo de muy alta potencia para llegar a estos niveles. (Young, Cai, & Chang, 2017)

En el diseño y construcción de la batería, se ha investigado en los materiales para el cátodo, ánodo, electrolito; por ejemplo, la compañía Deutsche Automobilgesellschaft GmbH, ha implementado una celda prismática con el electrodo negativo cubierto por hilos de politetrafluoroetileno (PTFE) y un diseño bipolar de apilado de electrodos. (Chang et al., 2017). En el área de electrodo positivo, un método de fabricación es de hidróxido de metal coprecipitado; otra alternativa es la fabricación de electrodo pegado y para complementar esto se usan varios aditivos incluyendo Celestine, además de fibra no conductora y aglutinantes de plástico. De estas aplicaciones, aquellas con aditivos y aglutinantes son particularmente útiles para mejorar el rendimiento de los electrodos positivos. En el área del electrodo negativo los materiales activos hechos de una aleación a base de TiNi de una sola fase, otra alternativa es una aleación basada en Zr, además aleaciones que contienen Mg o Zr(Ti) y LaNi; la capacidad de descarga máxima disminuyó con el aumento de la sustitución de lantano por praseodimio y lantano por magnesio. (Bernard, Goubault, & Guiader, 2008; Chang et al., 2017; Zarpelon, 2016). Además, el uso de líquido iónico para reemplazar la solución alcalina como electrolito demostró ser eficaz en la reducción de la corrosión, lo cual permite intentos de desarrollo de ánodos de alta capacidad basados en Silicio. (Bernard, Bertrand, & Simonneau, 1999; Chang, Young, & Lien, 2017)

Asimismo, las baterías de Ni/MH tienen una densidad de energía relativamente alta (Wh/l) que va entre 140 y 300 Wh/l, pero una energía específica bastante baja (Wh) en comparación con la batería de iones de litio, además, mantiene acumuladas potencias entre 2kW y 2 MW, en función de los módulos de trabajo para la aplicación en donde se usará el módulo de baterías. (Oliver, Vicente, Canals Casals, & Amante García, 2017; K.-H. Young et al., 2017)

Oliver et al. (2017), menciona que se descargan este tipo de baterías con un valor de hasta 8C, mientras que para el proceso de carga se puede llegar a valores de entre 1C a 2C. (Oliver et al., 2017; Peña Ordóñez, 2011)

De modo que la batería Ni/MH tiene una carga relativamente baja, el valor de tensión nominal por celda es de 1.2 V, con un rango de tensión entre 0.6 V a 1.5 V, y un voltaje más bajo significa que se necesitan más células Ni/MH conectadas en serie y paralelo en un paquete de baterías para conseguir una tensión de paquete predeterminada. (K.-H. Young et al., 2017). Además, existen dos tipos de baterías de Ni/MH: el tipo de consumidor pequeño (generalmente cilíndrico con una capacidad < 4 Ah) y el tipo de transporte más grande (normalmente prismático con una capacidad > 6 Ah). (Chang et al., 2017)

El parámetro de eficiencia energética es del 66% para esa batería. Parte de las capacidades de carga / descarga de alta velocidad de las baterías Ni / MH proviene del uso de electrolitos alcalinos altamente conductores (30-35% en peso de KOH).

El número de ciclos de vida para este tipo de tecnología, según Valdovinos & Otarola et al., (2008) es alrededor de  $\leq 2000$  ciclos, evidencia desde ahí a la actualidad un incremento estimado gracias a la densidad de energía, la estabilidad del ciclo en la descarga (>3000), además de otras características como la construcción robusta, la capacidad de ser cargada rápidamente también es amigable ambientalmente. (Chang et al., 2017; Valdovinos & Otárola, 2008)

En términos generales, el almacenamiento de energía es económico cuando el costo marginal de la electricidad varía más que los costos de almacenar y recuperar la energía, más el precio de la energía perdida en el proceso.

Finalmente, el almacenamiento de energía está en un rango 0.5 MWh - 50 MWh en las baterías Ni / MH, y el costo estimado es de 200 - 400 USD/kWh, es en la actualidad una desventaja para la aplicación en vehículos. (Valdovinos & Otárola, 2008)

### 3.3. Baterías de plomo ácido

Las baterías tradicionales de plomo ácido están diseñadas específicamente para un desempeño óptimo en las aplicaciones con gran capacidad de potencia o gran cantidad de energía, pero no en los dos. (Endemaño Ventura, 2016)

Existen baterías de arranque, comúnmente usadas en los sistemas de arranque de los motores de combustión interna porque suministran alta intensidad por un tiempo limitado, especialmente en bajas temperaturas. Están diseñadas para resistir profundidades de descarga no mayores del 10% - 20%. ((CONAMA), GmbH, & impresores, s. f.; B. C. International., 2017; R. B. GmbH, s. f.)

También existen baterías de ciclo profundo o de tracción. Estas se hallan en los botes y en sistemas de iluminación. Este tipo de batería entrega una menor y estable potencia por un período mayor en comparación con la batería de arranque. Están diseñadas para soportar un elevado número de ciclos profundos de carga y descarga. (B. C. International., 2017; C. N. d. M. A. (CONAMA) and D. G. f. T. Z. G. GmbH, s. f.)

Finalmente, existen las baterías estacionarias o de reserva. Estas baterías son diseñadas para aplicaciones en las cuales están constantemente, son cargadas para compensar la pérdida de capacidad de la autodescarga y también para soportar descargas profundas esporádicas. (C. N. d. M. A. (CONAMA) and D. G. f. T. Z. G. GmbH, s. f.)

Las baterías de plomo también cumplen una función de protección del sistema eléctrico, ya que absorben los picos de elevación de voltaje del sistema eléctrico, de esta manera se protege a otros componentes sensibles del sistema. (R. B. GmbH, s. f.). Estas baterías no son usadas ampliamente en los vehículos eléctricos. Sin embargo, debido al gran número de vehículos, significa que es una tecnología barata y accesible, por lo cual en el futuro pueden servir para acondicionar y educar al público en los atributos de los vehículos eléctricos a baterías. (Kalhammer, Kopf, Swan, Roan, & Walsh, 2007)

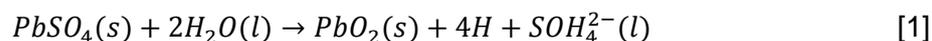
Los tipos de tecnología utilizados en las baterías de plomo-ácido son varios: plomo-ácido; plomo-ácido avanzada; plomo-ácido regulada por válvula (VRLA); sistema híbrido de batería plomo-ácido/capacitor electroquímico; baterías plomo-carbón. (Endemaño Ventura, 2016)

Las aleaciones de las rejillas se clasifican en plomo - antimonio (PbSb), plomo - calcio (Pba) y plomo - calcio - plata (PbCaAg). Esta última aleación es conocida como calcio - plata y se utiliza en la industria automotriz ya que permite tener mayor resistencia a las altas temperaturas del compartimiento del motor y a la vez tener una rejilla más fina. (R. B. GmbH, s. f.)

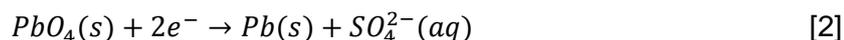
Todos los diseños de baterías de plomo contienen la misma electrónica básica: el electrodo positivo se compone de dióxido de plomo ( $PbO_2$ ); el electrodo negativo se compone de plomo metálico (Pb). El material en ambas placas es altamente poroso para maximizar el área de superficie. El electrolito es una solución de ácido sulfúrico con una concentración aproximada del 37% respecto al peso de la batería está totalmente cargada. (Endemaño Ventura, 2016)

Las reacciones químicas que se producen durante el proceso de carga son las siguientes: (Bañeres Sorinas, 2003; I. Cowie., 2017; M. Olmo, 2009)

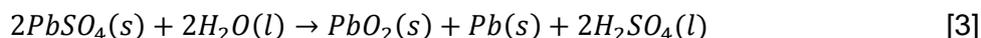
En la ecuación 1 se aprecia la reacción del cátodo (+):



En la ecuación 2 se aprecia la reacción del ánodo (-):



En la ecuación 3 se aprecia la reacción global de carga:



Existen 2 tecnologías de almacenamiento de energía mediante baterías de plomo - ácido: plomo - ácido carbón y plomo - ácido avanzada. La tecnología de plomo - ácido carbón usa un enfoque fundamental totalmente diferente a las baterías plomo - ácido, cada una incluye el carbón de una forma o de otra para mejorar las características de potencia de la batería y para mejorar los efectos de los estados de carga parciales. Las baterías plomo - ácido avanzadas son las baterías convencionales de plomo - ácido reguladas por válvula (VRLA) con tecnologías dirigidas a mejorar los defectos de los productos anteriores de plomo - ácido mediante cambios paulatinos en la tecnología. Otros sistemas de baterías de plomo - ácido avanzadas incorporan diferentes configuraciones de electrolitos sólidos y electrodos, mientras que otras incorporan la tecnología del capacitor como parte del diseño del electrodo del ánodo. (Endemaño Ventura, 2016)

Las baterías de plomo - ácido carbón tienen altos índices de carga y descarga sin una afectación notoria en la vida útil, permitiéndoles suministrar altos índices de corriente comparables con otras tecnologías de baterías como las de níquel metal hidruro y de iones de litio. (Endemaño Ventura, 2016)

Las baterías de plomo almacenan el doble de energía del que fue necesario para construir las: 500 - 700 ciclos de carga. En comparación las baterías de litio pueden llegar a 10 veces: 1000 - 6000 ciclos de carga. En el futuro el uso de las baterías de plomo será muy limitado. (Council, 2007; Shwartz, 2013)

La capacidad de carga de las baterías de plomo ácido varía según el tamaño de las placas de cada batería. Estas tienen una capacidad de carga de entre 36 y 200 Ah. (R. B. GmbH, s. f.)

El voltaje teórico nominal de una única celda es definido en 2.1 V. El voltaje nominal final depende de la cantidad de celdas conectadas en serie. Las baterías producidas

industrialmente y disponibles en el mercado, poseen un voltaje nominal de 12 V. Además, para aplicaciones que requieren 24 V, se conectan 2 baterías de 12 V en serie. (J. M. Bertran, 2017; R. B. GmbH, s. f.; Westgeest, 2016)

La capacidad nominal de una batería de plomo - ácido es una medida de la cantidad de energía que almacena una batería nueva, ya que por el uso su capacidad disminuye debido a la cantidad de material activo que posee y de la densidad del electrolito. (R. B. GmbH, s. f.)

Además, los valores típicos de voltaje y de capacidad varían según los distintos tipos de celda de plomo ácido y las características del uso, los valores promedio de voltaje se encuentran entre 1.9 – 2.15 V, la densidad de energía para baterías SLI es de 70 Wh/l y una energía específica de 35 Wh/kg. (S. Bardo, 2017)

La corriente de arranque en frío es la medida de la capacidad de arranque de estas baterías, ya que representan un drenaje de corriente en frío. En estas baterías la intensidad de descarga dependerá del tamaño de la batería debido a que la capacidad de descarga es directamente proporcional al área de contacto entre el material de plomo y el electrolito. El espacio entre las placas y el material del separador afecta la velocidad del proceso químico y en consecuencia también determinan los amperes del arranque en frío. (R. B. GmbH, s. f.)

Todas las baterías con ácido descargan, al ser usadas como también al ser almacenadas. Las reacciones químicas siguen ocurriendo como si fuese un circuito eléctrico interno. Este fenómeno se debe a las impurezas presentes en esta clase de batería. Un ejemplo de esto es el antimonio que, en baterías de tecnología antigua, se usa para endurecer las rejillas de plomo. Actualmente el antimonio ha sido remplazado por calcio, disminuyendo la tasa de autodescarga a menos del 0,1% por día. (R. B. GmbH, s. f.)

Existen otros factores que influyen en la tasa de autodescarga de las baterías: la temperatura, la edad de la batería y la humedad. Cuanto mayor sean estas, mayor será la tasa de autodescarga de las baterías de esta combinación química. También, la sulfatación de las placas internas tendrá un efecto en la intensidad de descarga, ya que disminuirá la capacidad de transformar el plomo durante la reacción química.

La intensidad de carga de las baterías de plomo-ácido es del 10% de la capacidad nominal de la batería. Por ejemplo, si una batería tiene una capacidad de 45Ah, esta deberá ser cargada con una intensidad de 4.5 A. (R. B. GmbH, s. f.)

Existe otro método para realizar la carga vía tensión constante. En este método la corriente inicial no podrá ser mayor a 25 A y la tensión debe ser de 14.4 V. (R. B. GmbH, s. f.)

Las baterías de plomo - ácido carbón soportan más de 1600 ciclos de descargas profundas antes de presentar fallos. (Endemaño Ventura, 2016)

Las baterías de plomo - ácido avanzado, solo soportan alrededor de 300 a 500 ciclos de descarga profunda. (Endemaño Ventura, 2016). La vida útil estimada para una batería de plomo - calcio es 1.4 veces mayor que la de una batería de plomo convencional. La vida útil de las baterías de plomo – calcio - plata es 3 veces mayor que las baterías convencionales. (R. B. GmbH, s. f.)

La vida útil de cada tipo de batería de plomo – ácido, varía según la aplicación para la cual fue diseñada, baterías comunes de aplicación SLI tienen una expectativa de vida en años de entre 5 – 7 años, en ciclos de carga y descarga es de 200 y 700 ciclos. Sin embargo, con el uso de nuevas tecnologías se alcanzan 1500 ciclos. (Bañeres Sorinas, 2003; S. Bardo, 2017)

El costo de la batería de plomo ácido es menor respecto a otros tipos de baterías, en promedio unos 50 USD/kWh. (Council, 2007). Los costos de las baterías de plomo son bajos debido a que casi el 100% de las baterías son recicladas, se utilizan procesos totalmente automatizados en su fabricación, y la predicción correcta del tiempo de vida, para optimizar el diseño de las baterías. (Westgeest, 2016)

#### 4. Conclusiones y recomendaciones

Finalizado el desarrollo del presente artículo de revisión, se ha constado la importancia que tienen cada vez más los sistemas electrificados en el automóvil. La entrega de la energía eléctrica para este tipo de sistemas es un aspecto crítico por lo cual la selección de la tecnología de baterías es fundamental.

Las baterías de ion litio, son las más avanzadas en cuanto a densidad de energía y potencia específica, determinados por el material con el cual se construyen sus cátodos (LFP, LMO, NCM, NCA) y ánodos (LTO y grafito), se obtienen celdas con voltajes característicos que van desde 1.5 V hasta los 3.7 V; limitadas por su costo más elevado en su construcción 325 USD/kWh promedio. Estas baterías permiten actualmente la comercialización de vehículos híbridos enchufables y vehículos eléctricos. Los vehículos que utilizan estas baterías logran una autonomía promedio de 500 km, se espera que lleguen a los 650 km, por lo cual podrían competir con vehículos con un MCI. Al cargarse con altos C-Rates el tiempo de recarga se disminuye cada vez más por lo cual también es un punto atractivo, de modo que se consiguen altos porcentajes de recarga de las baterías en minutos. La vida útil se consigue con un paquete de baterías controlado por un BMS, puede llegar a los 10 años o 160000 km, ventajas que hacen que consumidores, ciudades y países las prefieran para un futuro más amigable con el ambiente.

Las baterías de níquel metal hidruro son parte de la evolución en cuanto a las baterías para su uso en aplicaciones de vehículos, con inclusión desde el punto de vista promedio de la capacidad de energía, potencia, posiblemente el costo que no es competitivo con respecto a las de lones de litio. Soportan el esfuerzo sufrido por las cargas y descargas al utilizarse en este tipo de vehículos con una eficiencia del 66%. El voltaje de la celda característica es de 0.6 V hasta 1.5V, la densidad de energía de esta tecnología es de 140 hasta 300 Wh/l., la vida útil puede ser de 3000 ciclos y según la aplicación el costo puede variar entre 200 y 400 USD/kWh, esto siempre que se permita su uso en vehículos como PHEV y EV por sus limitaciones y principalmente aplicada HEV.

Las baterías de plomo ácido son las más utilizadas, debido a su bajo precio, alta tasa de reciclaje y sus características acordes con las necesidades de vehículos que no hagan uso extensivo de la electricidad como fuente directa de energía para su propulsión ya que su baja densidad de almacenamiento energética y gran peso la excluyen para ser usadas extensivamente por estas tecnologías. El voltaje de una celda que tenga esta tecnología varía entre 1.9 a 2.15 V, con densidades de energía que llegan a los 70 Wh/l y energía específica de 35 Wh/kg. Se continúa con la investigación de nuevos materiales para los elementos internos de estas baterías que permitan aumentar su vida útil, existen baterías que llegan a los 1600 ciclos de trabajo. Al tener un alto índice de reciclaje, el costo de estas baterías oscila entre 50 USD/kWh.

Esta revisión ayuda a identificar las barreras para la comercialización de vehículos híbridos, híbridos enchufables y eléctricos en el parque automotor ecuatoriano, así como también proyectar las necesidades en cuanto a instalaciones para el reciclaje de los materiales utilizados en las baterías de uso automotriz una vez que cumplan con su vida útil.

#### Bibliografía

- B. C. International. (2017). About Batteries &gt; What is a lead battery? Recuperado 17 de octubre de 2017, a partir de <http://aboutbatteries.batteryCouncil.org/What-is-a-lead-battery>
- Bañeres Sorinas, M. (2003). Estudio de alternativas en el reciclaje de baterías de plomo fuera de uso. Recuperado a partir de <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3095>

- Bernard, P., Bertrand, F., & Simonneau, O. (1999). Paste type nickel electrode containing a cobalt compound and at least one other element. Google Patents. Recuperado a partir de <http://www.google.sr/patents/US5993995>
- Bernard, P., Goubault, L., & Guiader, O. (2008). Positive electrode for an electrochemical generator with an alkaline electrolyte. *Google Patents*.
- Bertran, J. M. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*. Barcelona, España.
- C. N. d. M. A. (CONAMA) and D. G. f. T. Z. G. GmbH. (s. f.). Guía Técnica sobre el manejo de baterías de plomo ácido usadas. Proyecto CONAMA / GTZ , 85. Recuperado a partir de [http://www.sinia.cl/1292/articles-47018\\_recurso\\_1.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-47018_recurso_1.pdf)
- Chang, S., Young, K.-H., & Lien, Y.-L. (2017). Reviews of European Patents on Nickel/Metal Hydride Batteries. *Batteries*, 3(3), 25.
- Council, W. E. (2007). Transport Technologies and policy Scenarios to 2050. *World Energy Council (World Ener)*. London, United Kingdom.
- Cowie, I. (2017). All About Batteries, Part 3: Lead-Acid Batteries | EE Times. 2014. Recuperado a partir de [https://www.eetimes.com/author.asp?section\\_id=36&doc\\_id=1320644](https://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1320644)
- Diouf, B., & Pode, R. (2015). Potential of lithium-ion batteries in renewable energy. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.058>
- Endemaño Ventura, L. (2016). Análisis global de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. Recuperado a partir de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/48651>
- EUROBAT, ILA, ACEA, JAMA, & KAMA. (s. f.). A Review of Battery Technologies for Automotive Applications. Recuperado a partir de [https://eurobat.org/sites/default/files/rev\\_of\\_battery\\_executive\\_web\\_1.pdf](https://eurobat.org/sites/default/files/rev_of_battery_executive_web_1.pdf)
- Han, X., Ouyang, M., Lu, L., Li, J., Zheng, Y., & Li, Z. (2014). A comparative study of commercial lithium ion battery cycle life in electrical vehicle: Aging mechanism identification. *Journal of Power Sources*, 251, 38-54.
- Kalhammer, F. R., Kopf, B. M., Swan, D. H., Roan, V. P., & Walsh, M. P. (2007). Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology Report of the ARB Independent Expert Panel 2007. Sacramento. Recuperado a partir de [https://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev\\_panel\\_report.pdf](https://www.arb.ca.gov/msprog/zevprog/zevreview/zev_panel_report.pdf)
- Kim, T. H., Park, J. S., Chang, S. K., Choi, S., Ryu, J. H., & Song, H. K. (2012). The current move of lithium ion batteries towards the next phase. *Advanced Energy Materials*. <https://doi.org/10.1002/aenm.201200028>
- Lu, L., Han, X., Li, J., Hua, J., & Ouyang, M. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 226, 272-288. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.10.060>
- M. Olmo, R. N. (2009). Lead-Acid Baterías. Recuperado 17 de octubre de 2017, a partir de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/electric/leadacid.html>
- Mahmoudzadeh Andwari, A., Pesiridis, A., Rajoo, S., Ricardo, M.-B., & Esfahanian, V. (2017). A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 414-430.
- Mastragostino, M., & Soavi, F. (2007). Strategies for high-performance supercapacitors for HEV. *Journal of Power Sources*, 174, 89-93. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.06.009>
- Oliver, C., Vicente, L., Canals Casals, L., & Amante García, B. (2017). *Informe de modelos de reutilización de baterías*.
- Ouchi, T., Young, K.-H., & Moghe, D. (2016). Reviews on the Japanese patent applications regarding nickel/metal hydride batteries. *Batteries*, 2(3), 21.
- Peña Ordóñez, C. (2011, mayo). Estudio de baterías para vehículos eléctricos. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado a partir de <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11805#preview>
- R. B. GmbH. (s. f.). Manual de baterías Bosch. (Robert Bosch GmbH, Ed.).

- S. Bardo. (2017). Anexos. Recuperado a partir de [http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9360/Anexos\\_Sebastin\\_Bardo.pdf;jsessionid=24442231A2DB2018BC2E9B1F67492137?sequence=2](http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/9360/Anexos_Sebastin_Bardo.pdf;jsessionid=24442231A2DB2018BC2E9B1F67492137?sequence=2)
- Shwartz, M. (2013). *Stanford scientists calculate the carbon footprint of grid-scale battery technologies*. Stanford.
- Thackeray, M. M., Wolverton, C., Isaacs, E. D., Liu, J., Lu, W., Qin, Y., Amine, K. (2012). Electrical energy storage for transportation—approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 5(7), 7854. <https://doi.org/10.1039/c2ee21892e>
- Trapanese, M., Franzitta, V., & Viola, A. (2012). Description of hysteresis of Nickel Metal Hydride Battery. En *IECON 2012-38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 967-970). IEEE.
- Valdovinos, F., & Otárola, R. (2008). *Almacenamiento de energía: Desarrollos tecnológicos y costos*. Trabajo de investigación de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Católica de Chile.
- Westgeest, A. (2016). Battery Technology for Vehicle Applications. Eurobat. Recuperado a partir de [https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/GROW/automotive/Library/GEAR\\_2030/Working\\_Group\\_1\\_-\\_Adaptation\\_of\\_the\\_EU\\_value\\_chain/Project\\_Team\\_2\\_-\\_Zero-emission\\_vehicles/2016-06-13-2nd\\_meeting\\_of\\_PT\\_2/GEAR\\_2030\\_-\\_battery\\_tech\\_for\\_emobility\\_EUROBAT\\_13June2016](https://circabc.europa.eu/webdav/CircaBC/GROW/automotive/Library/GEAR_2030/Working_Group_1_-_Adaptation_of_the_EU_value_chain/Project_Team_2_-_Zero-emission_vehicles/2016-06-13-2nd_meeting_of_PT_2/GEAR_2030_-_battery_tech_for_emobility_EUROBAT_13June2016).
- Williamson, S. S. (2013). *Energy Management Strategies for Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7711-2>
- Young, K.-H., Cai, X., & Chang, S. (2017). Reviews on Chinese Patents Regarding the Nickel/Metal Hydride Battery. *Batteries*, 3(3), 24.
- Young, K., Ng, K. Y., & Bendersky, L. A. (2016). A technical report of the robust affordable next generation energy storage system-BASF program. *Batteries*, 2(1), 2.
- Zarpelon, L. M. C. (2016). *Estudo das características eletroquímicas e microestruturais de eletrodos de hidreto metálico à base de LaNi com adições de elementos de liga*. Universidade de São Paulo.