

Tecnología de baterías para SAI monofásicos: VRLA frente a iones de litio

White Paper 266

Revisión 1

por Victor Avelar
Martin Zacho

Resumen del artículo

Los precios de las baterías de iones de litio se han reducido en los últimos años y se están convirtiendo en una opción viable para aplicaciones de SAI. Este White Paper ofrece una breve perspectiva general de las baterías de iones de litio en comparación con las baterías VRLA para aplicaciones de SAI monofásicas. Se lleva a cabo un análisis del coste total de propiedad (TCO) a 10 años, que también demuestra que dicho coste es un 53% menor para las baterías de iones de litio que las VRLA, a pesar del recargo en costes de capital que conllevan. Un análisis de sensibilidad revela los factores que repercuten en el TCO.

Introducción

Las baterías de iones de litio (Li-ion) se utilizan comercialmente desde hace más de 20 años en distintas aplicaciones¹. ¿Por qué no se han adoptado de forma general como baterías para SAI monofásicos? La respuesta radica en el hecho de que, al igual que las demás aplicaciones, no había celdas de iones de litio² disponibles que ofrecieran a los proveedores el equilibrio adecuado entre precio, densidad de energía, potencia, seguridad y fiabilidad para aplicaciones de SAI monofásicos. No obstante, los avances en los procesos químicos y las tecnologías de los iones de litio en los últimos 10 años han permitido ofrecer opciones realistas a los fabricantes de SAI. En general, estos avances han obedecido a requisitos especificados por la industria automovilística. La **Figura 1** muestra un ejemplo de una batería de iones de litio para una aplicación de SAI monofásico. El módulo de SAI mostrado es un módulo de batería de iones de litio.

Figura 1

Módulo de batería de iones de litio (en la parte inferior) para aplicaciones de SAI monofásicos (en la parte superior)



Las baterías de iones de litio ofrecen ventajas contrastadas con respecto a las VRLA (batería de plomo-ácido regulada por válvula), como:³

- La necesidad de sustituir las baterías con menor frecuencia (o quizá nunca) durante la vida útil del SAI elimina el riesgo de periodos de inactividad que plantea la sustitución de baterías
- El peso es aproximadamente tres veces menor para la misma cantidad de energía
- Hasta diez ciclos de descarga más en función del proceso químico, la tecnología, la temperatura y la profundidad de descarga
- Autodescarga (es decir, la descarga lenta de una batería cuando no se utiliza) aproximadamente cuatro veces menor
- Carga al menos cuatro veces más rápida, un factor clave en situaciones en las que se producen múltiples apagones

No obstante, las baterías de iones de litio también tienen dos inconvenientes destacados en comparación con las VRLA:

¹ <http://www.sonyenergy-devices.co.jp/en/keyword/> (última visita el 28/02/16)

² Obsérvese que el término “celda” se refiere al elemento estructural de menor tamaño de una batería. Las baterías se componen de dos o más celdas que se integran en función de aplicaciones específicas, como el uso en un SAI.

³ http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery (última visita el 28/02/16)

- Un gasto de capital (CAPEX) superior para la misma cantidad de energía debido a un mayor coste de fabricación y el coste del sistema de gestión de baterías necesario.
- Una normativa de transporte más estricta

Este White Paper ofrece una breve perspectiva general de las baterías de iones de litio en comparación con las baterías VRLA. A continuación se analiza el coste de capital, el coste de explotación y el coste total de propiedad (TCO) de estos dos tipos de baterías.

Vida útil

La duración de una batería antes de que sea necesario sustituirla es el factor realmente significativo cuando se trata de la vida útil de la batería. Sin embargo, es importante comprender los diferentes baremos que utilizan los proveedores para determinar su vida útil. Es especialmente importante la **vida de servicio**, que es el tiempo estimado de duración de una batería antes de que alcance el 80% de su capacidad de energía, la definición típica de fin de la vida útil de las baterías. La vida de servicio presupone que la batería está funcionando en condiciones “reales” en una aplicación concreta y, por lo tanto, es sumamente variable. Por el contrario, la **vida de diseño** es el tiempo de duración estimado de una batería si recibiera carga lenta durante toda su vida útil sin apagones y a una temperatura específica, normalmente 25 °C (77 °F). Las baterías VRLA tienen una vida de servicio que oscila entre 3 y 6 años, mientras que las baterías de iones de litio pueden tener una vida de servicio superior a los 10 años (que se calcula en pruebas en condiciones de uso aceleradas). Obsérvese que habrá que esperar varios años para disponer de datos sobre la vida de servicio real de las nuevas baterías de iones de litio, aunque algunas baterías de este tipo ofrecen garantías de unos 10 años como cobertura contra la falta de datos de servicio.

Temperatura

Tanto las baterías de ácido como las de iones de litio se degradan durante su vida natural y vida útil con el aumento de la temperatura. Sin embargo, en general, la vida de servicio de las baterías de iones de litio se ve menos afectada por las altas temperaturas que la de las baterías de plomo-ácido. Muchas de las baterías de iones de litio usadas en SAI han sido diseñadas para temperaturas superiores a la media (p. ej., 40 °C/104 °F) y son capaces de alcanzar la vida de servicio especificada con esas temperaturas.

Superficie ocupada

Debido a la mayor energía específica de las baterías de iones de litio, estas son mucho más pequeñas en cuanto a superficie ocupada o volumen que las VRLA. Este ahorro de espacio es especialmente atractivo para aplicaciones con tiempos de funcionamiento prolongados con paquetes de baterías externos de iones de litio más compactos en comparación con los paquetes de baterías externos VRLA.

Peso

La mayor densidad de energía de las baterías de iones de litio también contribuye a reducir su peso en comparación con las VRLA. Esto facilita la manipulación de los paquetes de baterías externos durante la instalación o la sustitución.

Supervisión de baterías

Los sistemas de supervisión de baterías (BMS) no suelen formar parte de las soluciones de baterías VRLA para sistemas de SAI monofásicos debido a su elevado coste. No obstante, las baterías de iones de litio siempre incluyen un BMS porque estas baterías requieren un control absoluto de la carga y la descarga para evitar temperaturas poco seguras dentro de las celdas de iones de litio.

Perspectiva general de las baterías de iones de litio

Seguridad

La seguridad es una prioridad para las baterías, sobre todo si son de iones de litio. Lo más importante a tener en cuenta en aplicaciones de SAI es que los proveedores de SAI deben colaborar estrechamente con proveedores reconocidos de baterías de iones de litio para encontrar la mejor combinación de química, tecnología, integración de celdas y gestión de baterías para SAI específicos.

Por definición, todos los tipos de baterías almacenan energía química, por lo que cualquier batería, si se trata incorrectamente (p. ej. se arroja al fuego) o se sobrecarga, podría liberar materiales peligrosos o causar un incendio. Se considera que las baterías de iones de litio son más inestables debido a los casos de incendio reportados y a que su energía específica es mucho más elevada, unida a una mayor sensibilidad a las sobrecargas. Manejadas incorrectamente, las baterías de iones de litio alcanzarán el estado de "embalamiento térmico" más fácilmente ya que las celdas tienen menor resistencia y una capacidad de almacenamiento de energía más alta que las baterías de plomo-ácido.

Sin embargo, se han realizado avances notables con el paso del tiempo que han aumentado su seguridad hasta un nivel comparable al de otros tipos de baterías de uso habitual. Los cambios en los procesos químicos y las mejoras en la integración de las celdas las hacen más estables. Los procesos de fabricación se han perfeccionado y los materiales empleados son más duraderos. Los métodos de gestión de baterías se verifican y comprueban sobre el terreno para asegurar que las baterías de iones de litio no se sobrecargan ni calientan en exceso. El uso generalizado de baterías de litio en cientos de millones de dispositivos electrónicos portátiles, smartphones y vehículos eléctricos demuestra claramente que son seguras.

Como los sistemas de baterías de iones de litio son mucho más sensibles al modo en que se cargan y descargan, todos incluyen un sistema de supervisión de baterías (BMS). Este sistema se compone de microprocesadores, sensores, conmutadores y sus circuitos correspondientes. Supervisa constantemente la temperatura de la batería de las propias celdas, el nivel de carga y la velocidad de carga como protección contra cortocircuitos y sobrecargas. El sistema también es decisivo a la hora de impedir que las celdas sufran daños impidiendo que la tensión descienda excesivamente demasiado durante la descarga. El BMS proporciona al SAI y al usuario información precisa sobre el estado y la salud de la batería y el tiempo de funcionamiento disponible.

Normativa de transporte

Existen varias normativas distintas para el envío de cualquier clase de batería, incluidas las de iones de litio o VRLA. Estas normativas de envío suelen ser más estrictas para la química de iones de litio debido a las mayores densidades energéticas y la mayor volatilidad de determinados procesos químicos.

A pesar de que la normativa depende del país, una buena guía para conocer las restricciones y las obligaciones para el transporte aéreo es la "Dangerous Good Regulation" (DGR)⁴ de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), que recoge las obligaciones vigentes en cuanto a tamaño, peso y cantidad. El transporte de baterías de iones de litio se divide en materiales peligrosos que no pertenecen a la Clase 9 y materiales peligrosos de la Clase 9⁵. La no pertenencia a la Clase 9 consiste en el transporte de pequeñas cantidades y poco volumen, mientras que la Clase 9 conlleva el transporte de baterías de gran volumen y tamaño. Se describe

⁴ <http://www.iata.org/publications/dgr/Pages/index.aspx> (última visita el 19/01/2016)

⁵ http://batteryuniversity.com/learn/article/shipping_lithium_based_batteries_by_air (última visita el 26/02/2016)

el etiquetado, embalaje y cualquier requisito de manipulación particular para cada clase.

Cabe recordar que todas las baterías, sea cual sea su tipo, están sujetas a ciertos requisitos y restricciones. Por ejemplo, las baterías transportadas dentro de otros equipos normalmente deben estar desconectadas. Aunque todo esto puede parecer oneroso para los usuarios finales o distribuidores, suele ser el fabricante del sistema quien asume la carga y la responsabilidad de garantizar su cumplimiento procurado que el diseño, certificación, etiquetado, la documentación de usuario y el embalaje sean los correctos.

Posibilidad de reciclaje

El gobierno de EE. UU. no considera las baterías de iones de litio como materiales peligrosos y, por lo tanto, pueden desecharse en vertederos con seguridad. Las baterías de iones de litio no contienen mercurio, plomo, cadmio ni ningún otro material considerado peligroso.

Las baterías de iones de litio y las baterías VRLA son reciclables; sin embargo, actualmente en muchas zonas del mundo es mucho más fácil reciclar las baterías de plomo-ácido que las baterías de iones de litio de gran formato usadas en SAI y vehículos eléctricos.

Existen muchas empresas de reciclaje que aceptan baterías de iones de litio más pequeñas. Sin embargo, en el momento de redactar este White Paper, la mayoría de baterías de formato más pequeño solo se recogen y se destruyen o incineran posteriormente para recuperar parte de los materiales usados en su producción. La mayoría del material termina en los vertederos. Desde un punto de vista estrictamente económico, reciclar las baterías de iones de litio para recuperar una cantidad muy pequeña de litio metálico y otros metales más comunes, aunque menos valiosos (aluminio, níquel, etc.), no compensa. Se investiga actualmente con vistas a mejorar la vertiente económica del reciclaje y los gobiernos están empezando a fomentar, incentivar o imponer directamente que las baterías sean recogidas y recicladas correctamente.

Usar el coste total de propiedad (TCO) como baremo en ciertas inversiones en IT, como el mantenimiento de SAI gana cada vez más terreno. En el caso de las baterías de iones de litio, ciertas tecnologías y procesos químicos de celdas de energía presentan un TCO favorable durante un periodo de 10 años, que suele ser la vida útil habitual de un SAI antes de que deba sustituirse, en comparación con las baterías VRLA.

Supuestos

La **Tabla 1** contiene una lista de atributos de baterías relevantes para este análisis del TCO.

Atributo de la batería	VRLA	Iones de litio
Proceso químico	Plomo-ácido	NMC
Capacidad de potencia nominal	1,5 kVA	1,5 kVA
Autonomía a 25 °C (77 °F)	22 minutos	19 minutos
Vida de servicio de la batería a 25 °C (77 °F)	4 años	10 años

Análisis económico

Tabla 1

Atributos de baterías utilizados en el análisis del TCO

La **Tabla 2** contiene una lista de los supuestos utilizados en este análisis.

Tabla 2

Supuestos del análisis TCO

Supuesto	VRLA	Iones de litio
Carga del SAI	900 W	900 W
Vida de servicio del SAI	10 años	10 años
Temperatura de funcionamiento	25 °C (77 °F)	25 °C (77 °F)
Años en los que se renuevan las baterías durante la vida del SAI	Años 4 y 8	No se requiere
Precio del paquete de baterías externo para el tiempo de funcionamiento requerido	730 \$*	1.200 \$
Coste de sustitución de las baterías internas y externas para el tiempo de funcionamiento requerido	840 \$ / sustitución	-
Coste de mano de obra de la sustitución de las baterías	200 \$ / sustitución	No se requiere
Coste de capital ⁶	0%	0%

*Este solo es el precio del paquete de baterías externas del SAI VRLA necesario para proporcionar el tiempo de funcionamiento necesario. Este cálculo no tiene en cuenta el gasto de capital del paquete de baterías internas del SAI VRLA.

Gasto de capital

El gasto inicial en baterías; en el año 0 incluye los costes de materiales de las baterías y los costes de instalación. En la **Tabla 3** se desglosan los gastos de capital para ambas soluciones de baterías.

Tabla 3

Desglose de los gastos de capital

Gasto de capital	VRLA	Iones de litio	Cambio porcentual
Costes de los materiales de la batería	730 \$	1.200 \$	Gasto de capital un 64% superior con iones de litio que con VRLA
Coste de la instalación	200 \$	200 \$	Mismo gasto de capital
TOTAL	930 \$	1.400 \$	Gasto de capital un 51% superior con iones de litio que con VRLA

Gasto de explotación

Los gastos de explotación de las baterías empiezan en el año 1 y continúan hasta el año 10. Para los sistemas SAI monofásicos, el factor más importante para los gas-

⁶ El coste de capital es una tasa de retorno sobre el dinero y se usa en el análisis de flujo de efectivo para determinar el valor actual de los flujos de efectivo futuros a varios años. A medida que el coste de capital aumenta, el TCO disminuye (p. ej., 20% del coste de capital). El TCO máximo se calcula cuando el coste de capital es 0%. Para simplificar el análisis de este artículo, se asume un coste de capital del 0%.

tos de explotación es el coste de renovación de las baterías. En la **Tabla 4** se desglosan los gastos de explotación para ambas soluciones de baterías. Obsérvese que en una aplicación como Data Centers de IT/Edge distribuidos, con diversas oficinas remotas, la sustitución de baterías puede costar entre 200 y 250 \$. Normalmente, este tipo de oficinas no tiene personal de servicio. Por lo tanto, a menudo se contrata a un proveedor de servicios gestionados, que se ocupa de obtener baterías de sustitución, desplazarse a las instalaciones, sustituir las baterías y reciclar las baterías agotadas. Incluso si esta actividad se realiza internamente, puede preverse un coste total de unos 200 \$ por sustitución

Tabla 4

Desglose de gastos de explotación

Gasto de explotación	VRLA	Iones de litio	Cambio porcentual
Coste de sustitución de baterías en el año 4	840 \$	0 \$	Gasto de explotación un 100% inferior con iones de litio que con VRLA
Sustitución de baterías Costes de mano de obra en el año 4	200 \$	0 \$	Gasto de explotación un 100% inferior con iones de litio que con VRLA
Coste de sustitución de baterías en el año 8	840 \$	0 \$	Gasto de explotación un 100% inferior con iones de litio que con VRLA
Sustitución de baterías Costes de mano de obra en el año 8	200 \$	0 \$	Gasto de explotación un 100% inferior con iones de litio que con VRLA
TOTAL	2.080 \$	0 \$	Gasto de explotación un 100% inferior con iones de litio que con VRLA

TCO

El TCO a 10 años tiene en cuenta los gastos de capital y explotación anteriores. La solución de baterías de iones de litio tiene un TCO a 10 años un 53% menor que la solución VRLA. En la **Tabla 5** se desglosa el TCO para ambas soluciones de baterías.

Tabla 5

Desglose del TCO

TCO	VRLA	Iones de litio	Cambio porcentual
Gasto de capital	930 \$	1.400 \$	Gasto de capital un 51% superior con iones de litio que con VRLA
Gasto de explotación	2.080 \$	0 \$	Gasto de explotación un 100% inferior con iones de litio que con VRLA
TOTAL	3.010 \$	1.400 \$	TCO un 53% inferior con iones de litio que con VRLA

Análisis de sensibilidad

Efectuamos una modificación independiente de varios factores de coste para evaluar la variabilidad y la magnitud del cambio que ejercen sobre el TCO. Por ejemplo,

modificamos la vida de servicio de las baterías VRLA de 3 a 7 años, lo que provocó cambios en los ahorros en TCO de entre un 29% (sustitución de 1 batería VRLA) y un 65% (sustitución de 3 baterías VRLA).

Los dos factores más importantes para el ciclo de sustitución de las baterías VRLA son la temperatura y los ciclos de carga-descarga.

A partir de estos análisis de sensibilidad, los factores que tienen un mayor impacto en la comparación del TCO entre los sistemas de iones de litio y VRLA son:

- Vida de servicio de la batería VRLA
- Vida de servicio del SAI

Cabe señalar que, aunque cada uno de estos factores por sí solo puede provocar un cambio significativo en el TCO entre ambas soluciones de baterías, una combinación de algunos de estos factores puede determinar la decisión de adoptar una o la otra. En particular, la vida de servicio de las baterías VRLA, al ser más corta que en las de iones de litio, se convierte en un factor importante en combinación con la vida de servicio del SAI. Por ejemplo, una vida de servicio de una batería VRLA de 4 años en combinación con una vida del SAI de 8 años solo requiere una única renovación de baterías. No obstante, un incremento de tan solo 2 años de la vida del SAI requiere dos renovaciones de baterías VRLA, un cambio significativo en el TCO a favor de las baterías de iones de litio.

Los gastos de explotación calculados con este modelo se basan en el paquete de baterías externas adicionales que deberá usarse en un SAI VRLA para alcanzar el tiempo de funcionamiento por defecto que ofrece un paquete de baterías de iones de litio a efectos comparativos. Si el tiempo de funcionamiento estándar del SAI VRLA de referencia (5 minutos) se compara con el tiempo de funcionamiento estándar del SAI de iones de litio (19 minutos), el TCO favorecería al SAI VRLA.

Conclusión

Cabe concluir que los precios de las baterías de iones de litio seguirán bajando, que se lanzarán al mercado nuevos procesos químicos y tecnologías y que se efectuarán mejoras en los existentes. A tenor de este contexto y el análisis presentado en este White Paper, los sistemas de baterías de iones de litio para aplicaciones de SAI de Data Centers (y aplicaciones de SAI en general) ofrecen ventajas convincentes. Aunque algunas soluciones de iones de litio tienen precios demasiado elevados para justificar el cambio si se utiliza VRLA, existen algunas que presentan un TCO a 10 años favorable.

Acerca de los autores

Victor Avelar es Director y Analista de Investigación Senior en el Data Center Science Center de Schneider Electric. Es responsable del diseño de Data Centers y la investigación de operaciones, y asesora a clientes sobre prácticas de evaluación de riesgos y diseño para optimizar la disponibilidad y la eficiencia de sus entornos de Data Centers. Víctor posee una licenciatura en Ingeniería Mecánica por el Instituto Politécnico Rensselaer y un máster en Administración y Gestión de Empresas por el Babson College. Es miembro de AFCOM.

Martin Zacho es Ingeniero Senior en Tecnologías de Almacenamiento de Energía en Schneider Electric, Secure Power, IT Business. Es licenciado en Informática por la Universidad del Sur de Dinamarca. Empezó a trabajar en Schneider Electric (entonces American Power Conversion) en el año 2000 en el área de pilas de combustible de hidrógeno. Tres años más tarde pasó a control de firmware y programación de FPGA para la gama de productos Symmetra. Se ha dedicado a todos los aspectos de las tecnologías de almacenamiento de energía desde 2008, con especial énfasis en SAI trifásicos de gran tamaño. Sus principales tecnologías de interés han sido las baterías de plomo-ácido, los ultracondensadores, los volantes de inercia y varias tecnologías basadas en el litio. Es miembro del Comité de Estandarización Danés sobre el almacenamiento de energía.



 [Distintos tipos de sistemas SAI](#)
White Paper n.º 1

 [Battery Technology for Data Centers and Network Rooms:
Lead-Acid Battery Options](#)
White Paper n.º 30

 [Battery Technology for Data Centers and Network Rooms:
VRLA Reliability and Safety](#)
White Paper n.º 39

 [Lead Acid Battery Lifecycle: Terms and Definitions](#)
White Paper n.º 230

 [FAQs for Using Lithium-ion Batteries with a UPS](#)
White Paper n.º 231

 [Accede a todos
los White Papers](#)
whitepapers.apc.com

 [Lithium-ion vs. VRLA Battery Comparison Calculator](#)
TradeOff Tool 19

 [Accede a todas las
TradeOff Tools™](#)
tools.apc.com

Contacto

Para enviar comentarios y observaciones acerca del contenido de este White Paper:

Data Center Science Center
dcsc@schneider-electric.com

Si eres cliente y tienes dudas concretas sobre tu proyecto de Data Center:

Ponte en contacto con tu representante de Schneider Electric en
www.apc.com/support/contact/index.cfm