



ARTÍCULO TÉCNICO DE VERTIV

Principales Consideraciones para Evaluar el Uso de Baterías de Iones de Litio en las Aplicaciones Estacionarias

Las baterías de plomo-ácido han sido la opción predeterminada para la energía de respaldo en las unidades de suministro ininterrumpido de energía (UPS) que garantizan la disponibilidad de los centros de datos, los equipos de comunicaciones y los procesos industriales.

Aunque ofrecen la energía y la confiabilidad necesarias para estas aplicaciones cuando son apoyadas por prácticas adecuadas de monitoreo y mantenimiento, tradicionalmente se les ha considerado el eslabón débil de la cadena energética. Suelen necesitar un mantenimiento complejo, ser pesadas y requerir un reemplazo frecuente.

Actualmente, las baterías de iones de litio han surgido como una alternativa viable y un creciente número de usuarios está considerando usar esta tecnología en las aplicaciones de UPS en los entornos de misión crítica. Al ser uno de los principales proveedores de sistemas de infraestructura crítica, Vertiv ha colaborado con muchos clientes que usan las baterías de iones de litio para hacer frente a los principales problemas cuando deciden cambiar a esta tecnología.

Encontrará un resumen de esta información en el documento de apoyo: [Preguntas frecuentes acerca del uso de las baterías de iones de litio en aplicaciones de UPS.](#)

La Expectativa de Vida de una Batería de Iones de Litio en una Aplicación Estacionaria

Uno de los principales atractivos para hacer el cambio a las baterías de iones de litio es que la vida útil de las baterías se multiplica más allá de lo que es posible con las baterías de plomo-ácido. Sin embargo, debido a que los datos operativos en las aplicaciones de UPS son limitados, es natural que los usuarios potenciales se pregunten qué duración tienen las baterías de iones de litio.

Para dar respuesta a esta pregunta, primero es necesario comprender cómo se degradan las baterías de iones de litio bajo condiciones normales. Estas tienen dos modos de degradación completamente independientes: *la vida natural y el ciclo de vida.*

La vida natural describe cómo disminuirá la capacidad y cómo aumentará la resistencia a lo largo del tiempo. En el caso de la vida natural, la temperatura operativa de la batería es el factor más importante para determinar su duración. El calor puede acelerar la degradación y las temperaturas más frías pueden minimizar la degradación.

En cuando al ciclo de vida, el término es fácil de comprender, pero pronosticar el ciclo de vida de una batería de iones de litio no es tan sencillo como parece. Esto se debe a que las diferentes características del ciclo determinan cuán perjudicial es ese ciclo para la batería.

En la industria de los iones de litio existe una prueba de referencia, la cual consiste en descargar completamente la batería en una hora y luego cargarla completamente en una hora a temperatura ambiente (25°C / 77°F). Para los diseños de celdas de alta calidad, esta es una prueba sencilla que resultará en miles de ciclos antes de que la celda alcance el 80% de su capacidad inicial. Sin embargo, el ciclo de vida suele ser bastante sensible a los índices de carga y descarga, así como a otros factores.

La Figura 1 muestra un resumen de los principales factores que influyen en el ciclo de vida.

Parámetro del ciclo	Influencia en el ciclo de vida	Descripción
Índice de carga/descarga	Significativa	La carga o descarga de una batería a índices superiores para los que fue diseñada reducirá su ciclo de vida considerablemente.
Profundidad de la descarga	Moderada	Descargar una batería parcialmente antes de recargarla es menos perjudicial que descargarla completamente.
Temperatura	Moderada	Aunque una batería más caliente tendrá una menor resistencia y menores índices de autocalentamiento, las temperaturas operativas más frías generalmente son mejores para la vida útil. Además, muchas de las baterías de iones de litio son sensibles a la carga a temperaturas frías (normalmente por debajo del punto de congelación), pero generalmente este no es un motivo de preocupación para las aplicaciones en los centros de datos.
Ventana de estado de carga (SOC)	Leve	Cuando se utiliza una batería a una profundidad de descarga parcial, realizar un ciclo casi completo (100% de SOC) o completamente vacío (0% de SOC) es más perjudicial que especificar una ventana operativa en estados de carga parcial.

Figura 1. Resumen de los principales factores que influyen en el ciclo de vida de las baterías de iones de litio.

En las aplicaciones en centros de datos, la vida natural suele ser el principal impulsor debido a que el ciclo de las baterías no es frecuente. La excepción ocurre cuando las baterías del UPS se utilizan para soportar la gestión de la potencia en el sitio o para proporcionar servicios eléctricos a la red de distribución local. Estas aplicaciones están fuera del ámbito del presente documento. En los casos de uso convencionales, las baterías se encuentran inactivas durante la mayor parte de su vida operativa.

Para evaluar la vida natural, los fabricantes de celdas suelen almacenar las baterías a diferentes temperaturas durante largos periodos de tiempo y verificar periódicamente su capacidad restante. Elaborar un gráfico con estos datos ofrece una relación entre el tiempo, la temperatura y la capacidad restante. Después de recoger un buen número de datos, es posible ajustar los datos a una ecuación generalmente aceptada para determinar la vida natural que ha sido demostrada a lo largo de décadas de experiencia de campo en baterías de iones de litio. La Figura 2 muestra un gráfico de la vida natural de una batería de iones de litio.

Capacidad Restante de Iones de Litio

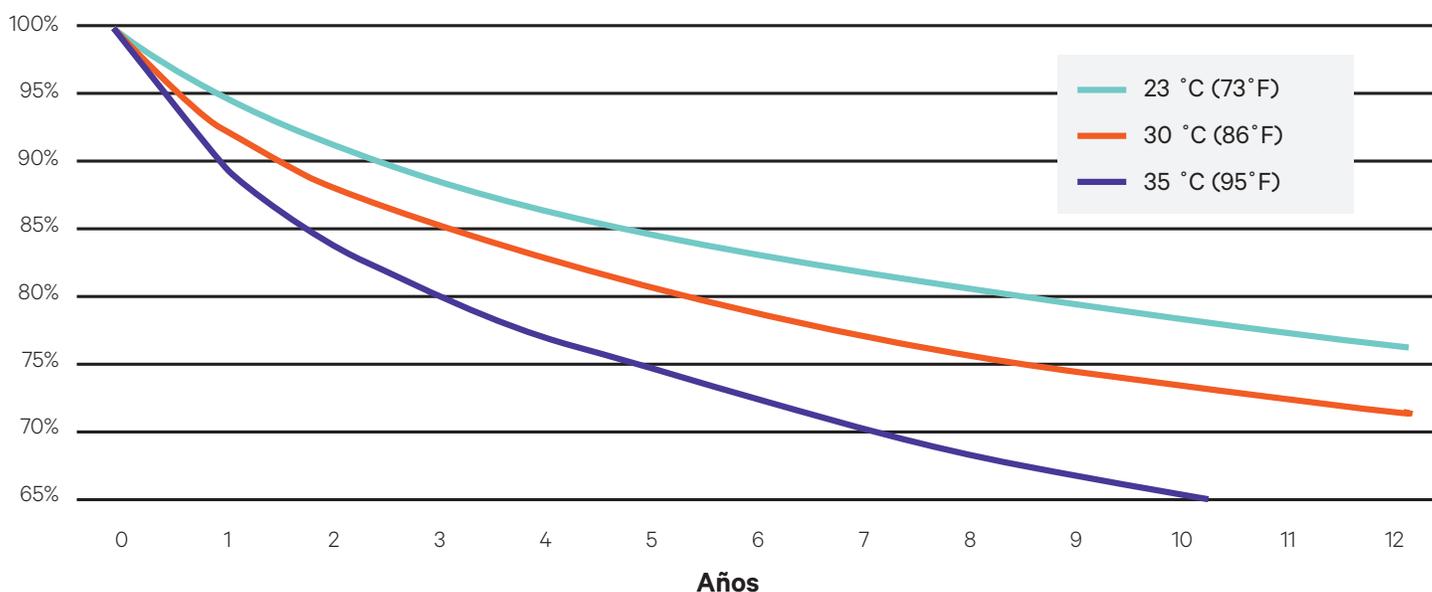


Figura 2. Gráfico de la vida natural de una batería de iones de litio.

La Figura 2 muestra que el 80% de la capacidad inicial se mantiene después de unos diez años a temperaturas de 23°C (73°F) para las baterías de iones de litio probadas. Las distintas baterías de iones de litio tendrán diferentes índices de degradación. Lo importante es que el 80% de la capacidad no es un hito significativo en la vida de una batería de iones de litio ya que el índice de degradación anual se reduce a un 80% y continúa degradándose de forma predecible. La siguiente sección explicará cómo la capacidad restante y la resistencia de la batería afectan el tiempo de operación en una aplicación específica.

El Pronóstico de los Tiempos de Operación Futuros para las Baterías de Iones de Litio

Una de las preguntas más comunes de los usuarios potenciales de baterías de iones de litio se relaciona con el afecto de la antigüedad de las baterías en los tiempos de operación estimados. Esta preocupación se refleja en una pregunta común: *¿Es una batería de iones de litio propensa a fallos no previstos al final de su vida útil al igual que las baterías de plomo-ácido?*

Para dar respuesta a esta pregunta, es importante considerar el análisis anterior sobre la degradación de las baterías de iones de litio, así como el diseño de los electrodos en cada celda del sistema de baterías. La celda de una batería de iones de litio puede adaptarse a los diferentes objetivos de rendimiento establecidos por el fabricante y una de las principales ventajas y desventajas es qué tan rápido puede cargarse o descargarse la batería y cuánta cantidad de energía almacena. Los extremos de estas ventajas y desventajas se resumen en la Figura 3.

Métricas de rendimiento	Celda optimizada para la densidad de la energía	Celda optimizada para la potencia
Densidad de energía	En la actualidad, la tecnología de iones de litio puede producir densidades de energía en las celdas de hasta 600 Wh/litro, lo cual permite ocupar poco espacio, pero estas baterías no descargan su energía muy rápidamente.	Las celdas optimizadas para el rendimiento de la potencia adoptan compromisos en la densidad de energía. En casos extremos, la densidad de energía de estas celdas puede ser tan sólo la mitad de las alternativas energéticas elevadas.
Capacidad de descarga y descarga	Una celda optimizada para la densidad de energía puede tardar una hora o más para descargarse completamente a su mayor índice sostenible.	Las celdas optimizadas para la potencia pueden descargarse completamente en unos pocos minutos, sin dañar la batería.
Resistencia eléctrica	La resistencia interna de estas baterías es considerablemente menor que la de las baterías de plomo-ácido, pero es alta en comparación con la de las baterías de iones de litio. Si se cargan o descargan a su máxima velocidad, se generará más calor.	Los parámetros de diseño de los electrodos que permiten una capacidad de alta potencia también ofrecen una resistencia muy baja de las celdas, por lo que estas baterías generan menos calor, incluso durante ciclos más rápidos.
Costo relativo	Estas celdas son menos costosas de fabricar y suelen producirse en volúmenes más altos. Los informes de mercado que promueven precios más bajos en términos de \$/kWh casi siempre se refieren a las baterías de este tipo.	Los electrodos en las celdas de alta potencia son más difíciles de fabricar y tienen factores adicionales de costos en el diseño. Las baterías de alta potencia suelen ser mucho más costosas para la misma capacidad (medida en kWh).

Figura 3. Ventajas y desventajas involucradas en la optimización de las celdas de iones de litio para la potencia y la densidad.

Para una aplicación de UPS, el principal objetivo de diseño para el fabricante de baterías es ofrecer el tiempo de operación necesario al menor costo posible. Como resultado, la mayoría de soluciones de UPS en el mercado actual tienden a usar las celdas más optimizadas para la densidad de la energía y los costos, pero no suelen emplear celdas con una mayor capacidad de descargas rápidas. Esto también significa que las celdas de iones de litio no cuentan con la resistencia interna mínima posible y tienden a experimentar aumentos considerables de temperatura cuando se descargan en menos de 10 minutos.

Al analizar los tiempos de operación de una batería de iones de litio en una aplicación de UPS, es importante comprender las características de las celdas utilizadas ya que el final de descarga puede ocurrir cuando la batería alcanza el voltaje mínimo, la temperatura máxima o el agotamiento de la energía debido a sus limitaciones de capacidad. En muchos casos, la condición que causa el final de descarga es diferente a cargas diferentes.

Pronosticar un tiempo de operación diez años en el futuro agrega otro nivel de dificultad. Contrariamente a la creencia popular, la capacidad restante de la batería a medida que esta se vuelve antigua podría no ser lo que limita el tiempo de operación, especialmente en cargas elevadas. Además de perder la capacidad, las baterías de iones de litio también experimentan aumentos en su resistencia interna a lo largo de su vida y esto lleva a considerables caídas de tensión y un mayor autocalentamiento que cuando eran nuevas. Como resultado, el fabricante de las baterías debe conocer no solo cómo disminuye la capacidad, sino también cómo aumenta la resistencia de acuerdo con el historial operativo de la batería y el número de años de servicio.

Aunque el análisis del tiempo de operación de las baterías de iones de litio puede ser difícil de comprender, los usuarios no suelen enfrentarse al riesgo de que la batería ofrezca repentinamente la mitad del tiempo de operación esperado o prometido según las especificaciones. De acuerdo con las prácticas recomendadas por el IEEE para las baterías VRLA (1188), las baterías de plomo-ácido deben reemplazarse cuando alcanzan el 80% de su capacidad original. Esto se debe a que la capacidad restante disminuye muy rápidamente después de ese punto. El modo de fallos no ocurre con la tecnología de iones de litio, la cual tiende a disminuir de forma gradual y predecible.

La Seguridad de las Baterías de Iones de Litio

Las baterías de iones de litio tienen pocas condiciones conocidas que pueden llevar a la inflamación o la liberación de gases si la presión interna es demasiado elevada. El sistema de gestión de baterías (BMS) tiene el objetivo de conocer estas condiciones de riesgo y su control.

Para cualquier producto con importancia en términos de seguridad, las buenas prácticas de integración de los sistemas comienzan con comprender la probabilidad y la gravedad de cada modo de fallo potencial. En el caso de las baterías de iones de litio, las condiciones de abuso más riesgosas generalmente son la sobrecarga, el sobrecalentamiento y el cortocircuito de las celdas de las baterías. Cada una de estas condiciones puede provocar que el electrolito de una batería de iones de litio se descomponga en gases o, en casos extremos, se incendie.

Aunque algunos fabricantes de baterías hacen afirmaciones sobre la seguridad de sus baterías con base en la sustancia química utilizada en el cátodo o el ánodo, los fallos en las baterías de iones de litio casi siempre comienzan en el electrolito y prácticamente todas las celdas disponibles en el mercado utilizan un electrolito inflamable. Esto no quiere decir que la sustancia química del cátodo y el ánodo no afecten la seguridad de las baterías. Los diversos materiales pueden provocar diferencias considerables en la intensidad de un fallo, pero no sería correcto sugerir que cualquier celda de iones de litio sea inmune a los riesgos de condiciones operativas abusivas.

Para caracterizar la respuesta de cualquier diseño de celda a condiciones operativas abusivas, la industria de baterías de iones de litio ha desarrollado una serie de pruebas con el fin de evaluar los riesgos de seguridad. La más conocida es la prueba de penetración con clavo. El objetivo de la prueba con clavo no es evaluar los efectos de los daños físicos en una celda. El clavo es insertado a través de todos los electrodos porque esto inmediatamente provoca un cortocircuito en toda la celda. La descarga de energía resultante es extremadamente rápida y lleva a que el clavo se caliente tanto que inflamará el electrolito de una celda mal diseñada.

Además, se utilizan otras pruebas para estudiar los efectos de otros tipos de fallos y cuando se completan todas las pruebas de abuso a nivel celular, el integrador de sistemas puede determinar los límites operativos que garantizan una operación segura del sistema.

El objetivo principal del sistema de gestión de baterías es implementar controles que mantengan las baterías dentro de un rango operativo seguro. Esto incluye la medición continua de los voltajes de las celdas, las temperaturas del sistema y la corriente de las baterías, así como otros parámetros.

Cuando el sistema de gestión de baterías detecta que la batería está cerca de uno de sus límites operativos, se alerta al dispositivo de alimentación conectado, como un UPS. Si el UPS no reacciona de forma adecuada para mantener la batería dentro de sus límites operativos permitidos, el sistema de gestión de baterías puede desconectar la batería del cargador o de la carga para mantener la seguridad. La funcionalidad y la eficacia del sistema de gestión de baterías también son verificadas por las pruebas necesarias, en cumplimiento con la certificación UL o CE del sistema de baterías.

Debido a que el sistema de gestión de baterías juega un papel tan importante en la seguridad de un sistema de baterías de iones de litio, la redundancia en el sistema de gestión de baterías es una consideración importante en el diseño. Por ejemplo, muchos de los diseños de sistemas de gestión de baterías cuentan con un circuito de hardware que desconectará la batería si se presenta un fallo del software en el procesador del sistema de gestión de baterías. Los principales valores del sensor también suelen medirse de múltiples formas y se comparan para confirmar la confiabilidad de las mediciones. Por último, los requisitos de la norma UL1973 para utilizar las baterías de iones de litio en una aplicación de UPS necesitan un análisis del diseño del sistema de gestión de baterías a nivel de seguridad funcional. Un análisis de seguridad funcional es un medio sistemático para garantizar que un sistema de control se comporte según lo previsto y los principios han sido aplicados en la industria de la aviación por más de 20 años. Aunque estos métodos para garantizar la seguridad son relativamente nuevos para los equipos de centros de datos, no hay ninguna duda de que los diseños certificados de los sistemas de gestión de baterías han sido construidos sobre una base sólida de confiabilidad.

Algunos umbrales operativos en el sistema de gestión de baterías también toman en cuenta algo más que la seguridad. Un buen ejemplo es el límite de temperatura de las baterías en las aplicaciones de UPS. En general, los sistemas de gestión de baterías en aplicaciones de centros de datos tienen un límite de temperatura muy por debajo del nivel necesario para garantizar la seguridad debido a que las consideraciones relacionadas con la vida útil también están implicadas en la configuración de dicho umbral. Por lo tanto, si un sistema de gestión de baterías desconecta una batería no significa necesariamente que la seguridad estaba en duda.

Aunque un sistema de gestión de baterías bien diseñado ofrece un alto grado de confianza en relación con la seguridad de las baterías de iones de litio, una batería en presencia de fuego es un riesgo significativo de que no puede controlar. Resulta imposible garantizar que un gabinete de baterías de iones de litio nunca estará en un edificio que se incendie por razones no relacionadas con la batería. Esta realidad ha impulsado recientemente la ampliación de los códigos de incendio relacionados con las baterías de iones de litio.

El Impacto los Códigos de Incendio en la Implementación de Baterías de Iones de Litio

Específicamente, la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) de los Estados Unidos ha venido impulsando nuevas regulaciones que gradualmente están siendo adoptadas en varias jurisdicciones. Aunque estas iniciativas son dignas de encomio por su intención de velar por la seguridad y eliminar las soluciones menos sólidas del mercado, las versiones iniciales aún presentan problemas.

Las nuevas normas contra incendios de la NFPA parecen estar basadas en el supuesto de que los incendios de las baterías de iones de litio son inevitables y muestran escaso conocimiento de los medios con que cuentan los fabricantes de baterías para desarrollar baterías de iones de litio resistentes a las condiciones operativas abusivas.

Para una mejor perspectiva, considere el desarrollo de las baterías de iones de litio en el mercado automotriz, uno de los primeros en adoptar la tecnología. Hace más de una década, la industria automotriz ha definido una serie de pruebas de seguridad para las baterías de iones de litio y ha establecido claros criterios Satisfactorios/No satisfactorios. Al momento de establecer las pruebas, muchos diseños de baterías lucharon por ser satisfactorios, pero la existencia de requisitos estables ha llevado a que cada fabricante de baterías cumpla con estos o abandone el mercado.

Actualmente, las aplicaciones de baterías estacionarias se benefician de los desarrollos en seguridad ya impulsados por la industria automotriz. Al mismo tiempo, es necesario reconocer que aún existen diseños de baterías de iones de litio en el mercado que no pasan las pruebas de seguridad más rigurosas.

El mayor reto con la evolución de normas contra incendios para baterías estacionarias, especialmente en EE. UU., es que algunas de las pruebas requieren que el fabricante de baterías aplique los medios que sean necesarios para inflamar una batería, independientemente de qué tan extremas puedan ser esas condiciones. En la mayoría de los casos, es muy difícil empezar un incendio sin desactivar primero el sistema de gestión de baterías.

Sería razonable esperar que las celdas con una mayor tolerancia al abuso o los sistemas con un mejor sistema de gestión de baterías fuesen recompensados por su mejor rendimiento en términos de seguridad, pero las pruebas de incendios especificadas inicialmente para las aplicaciones estacionarias no consideran la probabilidad de que un incendio realmente comience en una aplicación real. Estas solo necesitan que comience un incendio por cualquier medio necesario para observar el grado en que se propaga el fuego resultante. Si un fabricante no puede demostrar mediante una prueba contra incendios UL9540A a gran escala que el diseño de su sistema evita la propagación de un incendio, cada gabinete de baterías deberá instalarse con tres pies de espacio libre en todos los lados, lo cual anula los beneficios de espacio de ese producto de iones de litio en relación con las baterías de plomo-ácido.

Aunque los requisitos de códigos de incendio continúan en fase de maduración, es técnicamente factible desarrollar sistemas con celdas de iones de litio que evitarán la propagación de un incendio fuera de su gabinete de baterías y estas soluciones serán recompensadas con las ventajas de espacio en comparación con las que deben instalarse con tres pies de separación. A lo largo del tiempo, las normativas podrían estabilizarse y las soluciones de mejor rendimiento probablemente ganarán cuota de mercado.

El Monitoreo de las Baterías de Iones de Litio

El sistema de gestión de baterías en un sistema de baterías de iones de litio monitorea continuamente numerosos parámetros operativos para garantizar la seguridad. Debido a que todos estos datos operativos son almacenados en la memoria del sistema de gestión de baterías, para el fabricante del sistema de gestión de baterías es relativamente sencillo poner los datos a disposición de sistemas externos a través de una conexión IP Modbus o algún protocolo de adquisición de datos similar. Esta es una de las principales ventajas de las baterías de iones de litio con respecto a los sistemas de plomo-ácido, donde cualquier sistema de monitoreo debe contar con sensores instalados.

A la hora de decidir qué parámetros de la batería se supervisarán externamente, se debe tener cuidado de no registrar todo lo que el sistema de gestión de baterías pone a disposición porque podría perderse información valiosa en cantidades excesivas de datos.

Tome por ejemplo los voltajes de las celdas de la batería. En sistemas de baterías de voltajes mayores, normalmente existen más de 100 grupos de celdas para los cuales el sistema de gestión de baterías tiene una medición del voltaje, pero los valores individuales son mucho menos importantes que la consistencia entre todos estos valores. En algunos casos, el sistema de gestión de baterías proporcionará los voltajes mínimos y máximos de las celdas en todo el sistema, y la diferencia entre estos dos extremos puede proporcionar una mejor indicación de la condición de las baterías.

No existen normas actuales que rijan cuáles datos del sistema de gestión de baterías son puestos a disposición de un sistema de monitoreo externo. Así que es imposible definir una estrategia de monitoreo que funcione en cada caso. En general, los datos de temperatura son significativos y los datos recogidos durante un evento de descarga o recarga son mucho más valiosos para evaluar el estado de las baterías que los datos operativos cuando el sistema se encuentra inactivo.

Además, algunos modelos de sistemas de gestión de baterías proporcionan una variable del estado (SOH), la cual es la evaluación general del sistema de control durante la vida útil de las baterías. Sin embargo, no confíe demasiado en el valor del SOH sin saber cómo se calcula porque las diferentes soluciones de sistemas de gestión de baterías en el mercado tienen diferencias considerables en la sofisticación del algoritmo usado para calcular dicho valor.

Finalmente, la mejor manera de monitorear un sistema de baterías de iones de litio en un centro de datos depende también de qué tan bien integrado esté el sistema de gestión de baterías con el controlador del UPS. Existen ventajas operativas de un mayor intercambio de los datos operativos entre estos dos controladores y, en los casos en que se ha logrado una mayor integración, es posible monitorear los datos principales de las baterías por medio de la interfaz de monitoreo de datos del UPS.

La instalación, el Mantenimiento y la Eliminación

Algunos sistemas de baterías de iones de litio se envían casi ensamblados en su mayoría, mientras que otros requieren de un montaje en el sitio. La compra de un sistema empaquetado puede significar ahorros en costos de instalación y tiempo.

Los módulos de baterías deberían llegar probados de fábrica, pero podrían no contar con el mismo estado de carga cuando se entregan. Una de las buenas prácticas es dar tiempo para que el sistema de gestión de baterías pueda balancear el voltaje de todas las celdas antes de comenzar las pruebas funcionales. Además, asegúrese de que las baterías se encuentren instaladas a una temperatura ambiente estable para que sean térmicamente compatibles según lo medido por el sistema de gestión de baterías antes de ejecutar un ciclo de carga o descarga de prueba.

En general, la frecuencia del mantenimiento es menor para las baterías de iones de litio que para las baterías de plomo-ácido, ya que las capacidades de monitoreo remoto del sistema de gestión de baterías permiten un mantenimiento y un reemplazo basados en las condiciones. La degradación es también más predecible, lo cual minimiza el riesgo de una caída repentina de la capacidad.

Además, las terminales de un módulo de baterías de iones de litio no están sujetas a distorsiones como es el caso de las terminales de las baterías de plomo-ácido, así que no es necesario reajustar las conexiones constantemente. El integrador de baterías de iones de litio que elija debería ofrecer protocolos de mantenimiento específicos con base en el diseño del sistema.

Las baterías de iones de litio son reciclables y los costos de reciclaje aumentan principalmente por el proceso de desmontaje necesario para extraer las celdas de la construcción general. Los procesos de reciclaje son cada vez más eficaces en la extracción de los materiales valiosos de una batería de iones de litio, lo cual mejora el potencial de ganancias del reciclaje. Esto podría reducir los costos en los próximos años.

Aunque es imposible predecir los costos futuros, el reciclaje de las baterías de iones de litio madurará aún más cuando la actual generación de baterías de iones de litio llegue al final de su vida útil y siga beneficiándose de la escala y la experiencia de la industria automotriz.

Haciendo el Cambio a las Baterías de Iones de Litio

Las baterías de iones de litio han alcanzado una etapa de madurez y pueden considerarse como un reemplazo viable para las baterías de plomo-ácido en las aplicaciones de UPS. A pesar de la falta de datos operativos, las pruebas de vida natural indican que las baterías de iones de litio pueden ofrecer una vida significativamente más prolongada que las baterías de plomo-ácido sin un mayor riesgo de fallos cuando las capacidades caen por debajo del 80%. Además de garantizar la seguridad, los sistemas de gestión de baterías de iones de litio pueden ayudar a maximizar la vida útil de la batería y minimizar los periodos de inactividad al permitir un monitoreo continuo que soporta el mantenimiento basado en las condiciones. Un integrador experimentado puede ayudarle a evaluar el costo total de propiedad de las baterías de iones de litio frente a las baterías de plomo-ácido para una aplicación particular.

