

PEM UNIVERSIDAD RWTH AACHEN Y HENKEL

*REPARACIÓN DE LAS BATERÍAS DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS PARA **OPTIMIZAR SU CICLO DE VIDA***

IT'S TIME TO **MOVE** BEYOND

• **DOCUMENTO TÉCNICO**



ÍNDICE

02 RESUMEN



03 INTRODUCCIÓN

– AUMENTO DE LA SOSTENIBILIDAD
DE UNA BATERÍA



06 REPARACIÓN DE BATERÍAS DE VE- HÍCULOS ELÉCTRICOS

– DESAFÍOS Y SOLUCIONES



09 ANÁLISIS GENERAL

– ¿ES VIABLE LA REPARACIÓN EN
COMPARACIÓN CON
LA SUSTITUCIÓN?



12 CONCLUSIÓN Y PRÓXIMOS PASOS



14 CRÉDITOS



RESUMEN

Los vehículos eléctricos con batería (VEB) destacan como instrumentos cruciales para abordar el cambio climático, realizando contribuciones sustanciales a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores de la movilidad y el transporte^{1,2}. Debido a la gran cantidad de energía necesaria para la producción de baterías y las consiguientes emisiones, una pregunta recurrente gira en torno a si los VEB realmente reducen las emisiones en comparación con los vehículos propulsados por motores de combustión interna y en qué condiciones³. Este documento técnico se centra en demostrar que la reparación de módulos de baterías dañados o envejecidos prematuramente, para garantizar que alcancen su vida útil esperada, ofrece ventajas tanto ambientales como económicas en comparación con la sustitución y el reciclaje completos de paquetes de baterías enteros.

Para fomentar una comprensión integral de la dinámica de costes y emisiones de CO₂ inherentes a las baterías para vehículos eléctricos, el documento comienza con una descripción general de su diseño y ciclo de vida. Además, se plantea un ejemplo de reparación de una batería mediante la introducción de un sistema de batería de referencia, basado en una batería promedio de vehículo eléctrico (VE) de módulos a paquetes, junto con estimaciones completas de costes y emisiones. Este sistema de referencia se utiliza para una comparación directa entre la reparación y la sustitución de la batería, incorporando consideraciones como la depreciación de la batería, los costes de producción, las emisiones y el proceso de reciclaje al final de la vida útil de la batería.

Los resultados de este análisis afirman que la reparación es una opción beneficiosa en muchos casos. En particular, durante el periodo de garantía, la reparación resulta la opción más eficiente desde el punto de vista económico y medioambiental. Incluso después de finalizar el periodo de garantía, la reparación sigue siendo una opción viable. Solo poco antes del final de la vida útil de la batería puede convertirse en la alternativa menos económica. Considerando la tendencia hacia una mayor integración de las celdas de batería en los elementos estructurales del vehículo, los llamados enfoques “celda a X”, que complicarán la posibilidad de reparar las baterías, los resultados de este estudio deben tenerse en cuenta durante el desarrollo de nuevos diseños de baterías que garanticen la solución más económica y respetuosa con el medio ambiente.



Reparar un paquete de baterías de un VEB promedio reemplazando módulos individuales para restaurar su funcionalidad puede ahorrar hasta un 77 % en costes y hasta un 91 % de emisiones, en comparación con la sustitución por un paquete nuevo.

INTRODUCCIÓN

AUMENTO DE LA SOSTENIBILIDAD DE LA BATERÍA

La arquitectura actualmente dominante de los paquetes de baterías en los vehículos eléctricos con batería (VEB) está estructurada en torno a un modelo de módulos a paquetes (MTP). En esta disposición, las celdas individuales, que albergan la capacidad de almacenamiento electroquímico de la batería, se agrupan en módulos. Estos módulos se organizan luego dentro del paquete de baterías, junto con componentes esenciales como el sistema de refrigeración y el sistema de gestión de baterías (BMS).⁴ Los recientes desarrollos de la industria sugieren una tendencia creciente hacia una integración más directa de las celdas de batería individuales en la estructura del vehículo (por ejemplo, arquitecturas de celda a paquete o de celda a chasis), con el objetivo de mejorar la densidad energética⁵. Sin embargo, dado que dichos diseños actualmente tienen una participación de mercado limitada, este documento toma una arquitectura MTP convencional como base para el análisis.

Si analizamos la creación de VEB desde un punto de vista medioambiental, resulta evidente que la estructura de emisiones a lo largo del ciclo de vida de un VEB es significativamente diferente a la de los vehículos de combustión interna. Las emisiones generadas por estos últimos son causadas principalmente por el uso del automóvil, debido a la combustión de combustibles fósiles. Los VEB, si bien potencialmente tienen cero emisiones durante su uso, si se utiliza electricidad proveniente de fuentes renovables, causan mayores emisiones durante la producción. La disminución de las emisiones en la producción de electricidad, y por lo tanto la disminución de las emisiones durante su uso, desplaza el foco hacia las emisiones de la fase de producción de los VEB, tal como se explora en este documento.

En general, las emisiones atribuidas a los VEB a lo largo de su ciclo de vida se pueden clasificar en tres fases principales: producción, uso y tratamiento posterior al uso.

La mayor parte de las emisiones en cada una de estas fases está vinculada a la generación de energía eléctrica. En particular, la fuente de electricidad juega un papel crucial a la hora de determinar el impacto ambiental. En muchos países, una parte sustancial de la electricidad proviene de combustibles fósiles, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).^{7,8}

Al examinar la distribución de las emisiones en etapas anteriores de los VEB en función de sus componentes, el factor más importante es la batería, que representa aproximadamente entre el 40 % y el 60 % de las emisiones.

Las fuentes de emisión que provienen de los paquetes de baterías presentan una variabilidad significativa, dependiendo de factores como la química de la celda, el formato y la tecnología empleada. En términos generales, las baterías basadas en níquel-manganeso-cobalto (NMC) tienden a manifestar un perfil de emisiones en etapas anteriores más pronunciado, particularmente atribuible a los procesos de extracción y refinado. Por el contrario, las baterías de fosfato de hierro litio (LFP) presentan una huella de producción más elevada, principalmente debido a su menor densidad energética, lo que da lugar a una mayor intensidad en los procesos de fabricación. Sin embargo, las baterías LFP se benefician de menores emisiones previas al uso.

En consecuencia, las baterías LFP generalmente presentan una huella de carbono general más baja por kilovatio-hora (kWh) en comparación con las baterías NMC, aunque ambas químicas comparten similitudes en sus perfiles de emisión. En la Figura 1 se ilustra un ejemplo de perfil de emisión de un paquete de baterías LFP.

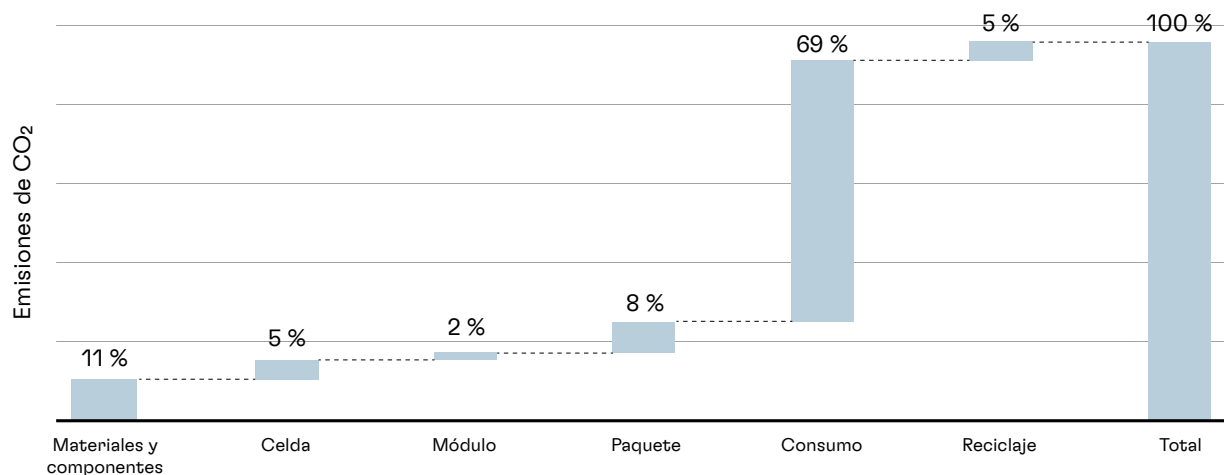


FIGURA 1: Perfil de emisión de un paquete de baterías LFP por kWh.

Además de las emisiones, los costes de los VEB actualmente son una de las principales preocupaciones tanto para los fabricantes de equipos originales (OEM) como para los consumidores. Paralelamente a la distribución observada en las emisiones de gases de efecto invernadero de los VEB, la batería constituye una parte sustancial de los costes totales. El coste de una batería asciende a aproximadamente 120 €/kWh de contenido energético del paquete. En particular, las células LFP contemporáneas, cuando se producen a escala industrial, se pueden obtener por menos de 92 €/kWh.

Dada la influencia sustancial de la batería y su producción en los costes y las emisiones generales de los vehículos eléctricos, extender su ciclo de vida y maximizar la utilización tanto del producto como de sus materiales puede generar ventajas notables para los OEM, los clientes y la sociedad en general. El objetivo general es instaurar una economía circular dentro del sector de las baterías.

En una cadena de abastecimiento lineal tradicional, los materiales se extraen de recursos naturales y se utilizan en la producción de productos consumibles.

Una vez que estos productos llegan al final de su vida útil, se desechan, lo que da lugar a una pérdida de su valor inherente y de los materiales utilizados.

El concepto de economía circular describe un cambio de paradigma hacia una cadena de valor donde se extiende al máximo la vida útil de los productos y los materiales que los componen.⁹ Esto implica la adopción de varias estrategias conocidas como las “4R”. En la Figura 2 se ilustra una cadena de abastecimiento cerrada de baterías, que abarca las estrategias 4R:

Reparación, reutilización, reparación industrial y reciclaje.

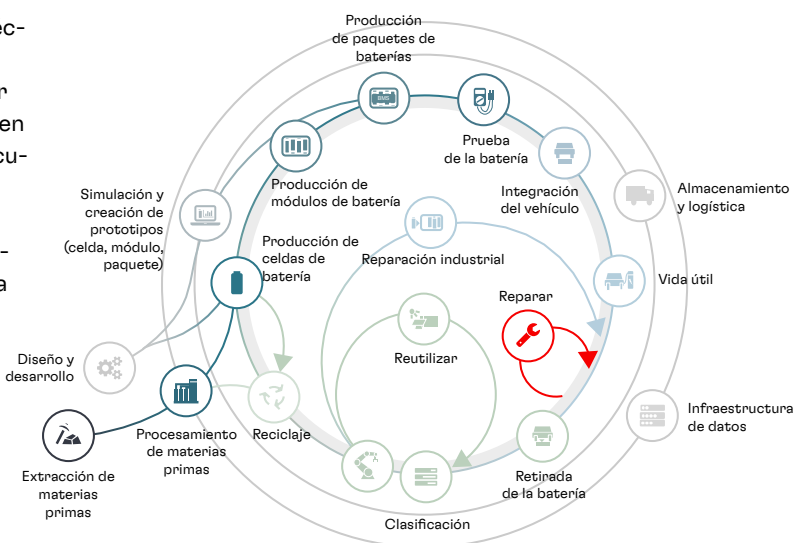


FIGURA 2: Vista esquemática sobre la economía circular para baterías.



En los párrafos siguientes se presentarán y contextualizarán estas estrategias 4R dentro del ámbito de las baterías y su ciclo de vida.

REPARACIÓN:

La reparación implica la rectificación de productos dañados para prolongar su vida útil operativa. Esto se puede lograr mediante la sustitución de componentes defectuosos o la reparación de los dañados. En el contexto de las baterías, los escenarios de reparación a menudo surgen en el contexto de los periodos de garantía o retirada del mercado para los OEM. Actualmente, es habitual reemplazar todo el paquete de baterías. Sin embargo, abstenerse de sustituir todo el paquete de baterías en caso de fallos hace que la reparación sea una opción potencialmente rentable para extender la vida útil de una batería.¹⁰

REPARACIÓN INDUSTRIAL:

La reparación industrial implica tomar productos usados y utilizar partes individuales que aún funcionan para fabricar productos nuevos. Para que este proceso tenga éxito, es necesario desmontar el sistema, por ejemplo, un paquete de baterías, y probar los componentes individuales.¹⁰

REUTILIZACIÓN:

La reutilización implica tomar un producto usado y extender su ciclo de vida empleándolo en una aplicación diferente. La pérdida gradual de capacidad de una batería a lo largo del tiempo puede hacer que no sea adecuada para su aplicación original aunque siga siendo viable para ejemplos alternativos.^{10,11}

RECICLAJE:

El reciclaje representa la última opción para cerrar el ciclo de vida de un producto. Durante el proceso de reciclaje, el objetivo principal es recuperar materiales del producto para utilizarlos en la producción de nuevas piezas. El producto sufre una pérdida de función y estructura y se descompone en sus materiales individuales.^{10,12}

La implementación de procesos de reparación eficientes y efectivos puede aumentar significativamente la vida útil de los componentes más caros y ambientalmente más problemáticos de los vehículos eléctricos. Ofrecer esta opción a los clientes no solo crea un nuevo flujo de valor para los OEM, sino que también contribuye a reducir costes y emisiones. Este artículo se centra en la reparación de baterías defectuosas de VEB mediante la sustitución de módulos individuales. Para que esta sea una solución viable, es necesario analizar exhaustivamente varios factores que influyen en la capacidad de la batería de ser reparada, como su diseño. Es importante destacar que, después de la reparación, la normativa europea aún se aplica a la batería reparada.¹³



REPARACIÓN DE BATERÍAS DE VE

PROBLEMAS Y SOLUCIONES

Las baterías para vehículos eléctricos presentan un potencial significativo para la industria y la economía, acompañado de desafíos sustanciales relacionados con la sostenibilidad y la dependencia de recursos naturales geográficamente limitados. Reconociendo estas complejidades, existe una tendencia creciente hacia el establecimiento de normativas oficiales. Además de China, donde las normativas sobre el tratamiento de las baterías de VE al final de su vida útil están establecidas desde hace varios años y la reparación es sin duda una opción viable, la Unión Europea (UE) se está poniendo al día en los últimos tiempos. Los siguientes extractos proporcionan una descripción general de estas normativas europeas relativas a las baterías.

En 2023, el Parlamento Europeo presentó la normativa 2023/1542 relativa a las baterías, impulsada por el Pacto Verde Europeo. Este reglamento define el proceso integral de gestión de la información, el manejo, las responsabilidades y la sostenibilidad de las baterías en el mercado europeo. La reparación de las baterías de VE se aborda específicamente a través de varios artículos de la normativa.¹³ En primer lugar, en la normativa se estipula que las baterías reparadas o reemplazadas en los VE deben cumplir las mismas normas y requisitos de seguridad que las nuevas. Este cumplimiento se garantizará mediante la posibilidad de realizar controles e inspecciones no destructivos.¹³

Para facilitar la capacidad de ser reparadas de las baterías, la normativa exige que sean profesionales independientes quienes las extraigan y reemplacen en los vehículos eléctricos. Los fabricantes están obligados a proporcionar información de diagnóstico pertinente, así como información sobre reparación y mantenimiento, a cualquier inversor de forma no discriminatoria. Además, en la normativa se insta a la Comisión Europea a promover y ayudar al desarrollo de normas para técnicas de diseño y montaje que faciliten la reparación de baterías.^{13,14}

Además de las recientes normativas de la UE sobre baterías, la nueva normativa EURO 7 propuesta establece requisitos mínimos de rendimiento para las baterías de VE, que se muestran en la Figura 3. Para cumplir con estos requisitos, los fabricantes deberán garantizar que las baterías individuales que caen por debajo de estos umbrales sean reparadas o sustituidas. Reparar baterías individuales que no cumplan estos criterios puede resultar una alternativa práctica y rentable en comparación con sustituir todo el sistema de la batería.¹⁵

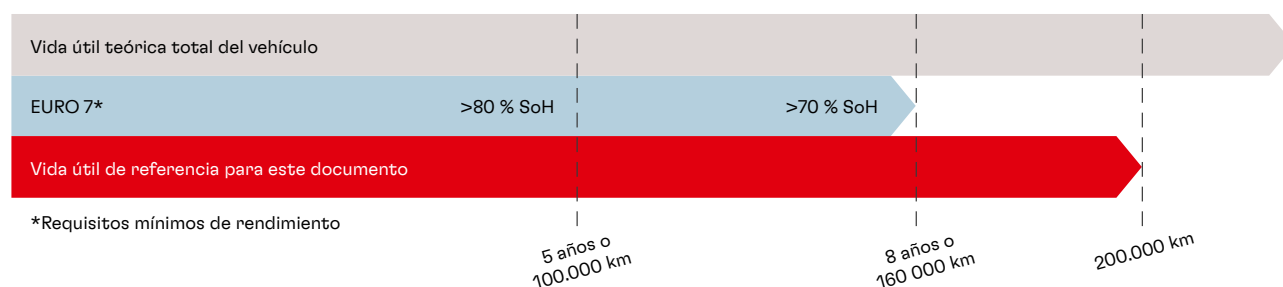


FIGURA 3: Requisitos mínimos de rendimiento para baterías de VE en la normativa EURO 7 (15) y vida útil de referencia.



OBSTÁCULOS PARA LA REPARACIÓN DE BATERÍAS DE VE:

La reparación satisfactoria de las baterías de VE se enfrenta a los desafíos principales relacionados con el diseño de las baterías, la diversa gama de diseños y la falta de instrucciones de reparación. Los pasos clave del proceso que son críticos para realizar reparaciones rentables incluyen el diagnóstico, el desmontaje, la reparación y el reensamblaje. Debido a la gran variedad de diseños de baterías, la automatización de estos procesos es casi inexistente. Las tecnologías de unión empleadas durante el montaje inicial de la batería dificultan la retirada no destructiva de los componentes. Para acceder y reemplazar componentes dentro del paquete de baterías, se debe abrir la tapa del paquete, lo que provoca la destrucción del sellado de este. Por lo tanto, se debe instalar una junta nueva para garantizar el sellado antes de que el paquete de baterías reparado esté listo para su uso posterior.¹⁶

En los ejemplos de reparación, uno de los componentes críticos es el módulo de batería. Normalmente, para facilitar la gestión adecuada de la temperatura, el espacio entre el módulo de batería y la placa de refrigeración se rellena con un material termoconductor, comúnmente conocido como “pasta de disipación térmica” para baterías MTP. Las propiedades adhesivas de estos materiales pueden complicar la retirada de los módulos individuales.

Después de extraer el módulo que falta, es necesario limpiar cualquier residuo de pasta de disipación térmica. Posteriormente, para la instalación del nuevo módulo, se deberá aplicar una nueva capa de pasta de disipación térmica para garantizar la gestión del calor original del módulo. Estos pasos son parte integral del proceso de reparación y contribuyen a la complejidad general de los escenarios de reparación del módulo de batería.¹⁶

Teniendo en cuenta los desafíos que plantean los obstáculos mencionados anteriormente, existe una necesidad urgente de desarrollar procesos y materiales que garanticen una reparación rentable y respetuosa con el medio ambiente de las baterías de VE. Dos materiales cruciales necesarios para este propósito son la junta de la carcasa de la batería, responsable del sellado de la tapa del paquete de baterías, y la pasta de disipación térmica, utilizada entre el módulo de batería y la placa de refrigeración para facilitar la gestión adecuada de la temperatura. Los procesos correspondientes de desmontaje y montaje de componentes también exigen esfuerzos de desarrollo específicos para agilizar y optimizar los procedimientos de reparación.



HENKEL ES PIONERA EN SOLUCIONES DE REPARACIÓN ESPECÍFICAS PARA VE

Henkel facilita la reparación de módulos de batería proporcionando dos soluciones clave diseñadas para abordar los principales obstáculos encontrados durante el proceso de reparación. Cuando se diagnostica que una batería tiene un módulo que falla y se retira del vehículo, el proceso de reparación se inicia con la descarga del paquete. Posteriormente se abre el paquete, permitiendo acceder al módulo defectuoso para su retirada. Antes de instalar un nuevo módulo, es necesario preparar la placa de refrigeración en la que se coloca. Esto implica la eliminación completa de la pasta de disipación térmica antigua.

Se aplica una nueva pasta de disipación térmica a la placa de refrigeración limpia. Después de posicionar el nuevo módulo en la placa de refrigeración, se puede montar la tapa. Antes, se debe preparar la tapa y la carcasa retirando la junta vieja y limpiando los bordes de la unión. Si la junta original es un tipo de junta de curado in situ, el producto de reparación puede servir como una junta nueva y se aplica entre la tapa y la carcasa.

La longitud depende del diseño de la batería y normalmente varía entre seis y ocho metros. Con la nueva junta colocada se puede volver a montar la carcasa. Se realizan inspecciones y pruebas finales antes de concluir el proceso de reparación, lo que permite reinstalar la batería en su aplicación. El proceso se describe visualmente con un producto Henkel en la Figura 4.

A partir de las conclusiones obtenidas en el primer capítulo y reconociendo la importancia de alargar el ciclo de vida de las baterías para cumplir con la normativa europea, se justifica un análisis más profundo de los beneficios reales de aplicar las estrategias 4R en el ámbito de las baterías. La reparación de baterías, en particular, tiene el potencial de ser un proceso efectivo si se establecen las condiciones necesarias. En el siguiente capítulo se presentará y calculará un ejemplo de reparación para evaluar su impacto económico y medioambiental en el ciclo de vida de la batería.



FIGURA 4: Especificaciones y aplicación de la pasta de disipación térmica LOCTITE TFX 3010.

ANÁLISIS DEL ESCENARIO

¿ES VIABLE LA REPARACIÓN EN COMPARACIÓN CON LA SUSTITUCIÓN?

Para profundizar en un análisis más exhaustivo de los costes y emisiones asociados a las baterías, se presenta un examen detallado de las emisiones de GEI del ciclo de vida y los costes del ciclo de vida de un paquete de baterías ilustrativo. Este paquete específico sirve como referencia a lo largo de este capítulo, facilitando una evaluación comparativa de las posibles reducciones de costes y emisiones mediante la implementación de estrategias de reparación. Las especificaciones se derivarán del paquete de baterías europeo promedio, que se muestra en la Figura 5.

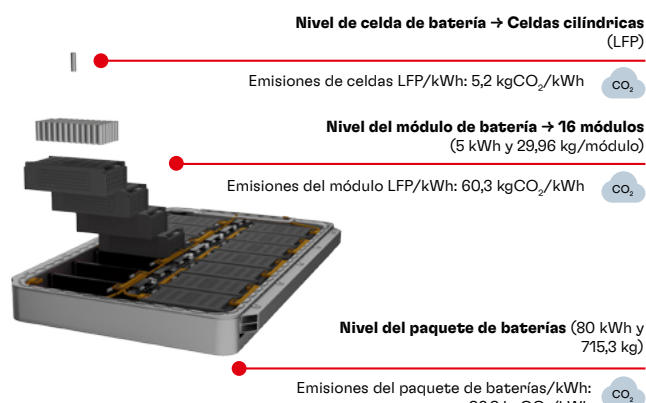


FIGURA 5: Emisiones de GEI para producción y materiales a nivel de celda, módulo y paquete. Es esencial tener en cuenta que estos valores pueden presentar variaciones considerables en función de la lista de materiales de cada batería, así como de factores como el suministro de material y la ubicación de la producción.

La tendencia actual en cuanto al tamaño de las baterías probablemente conducirá a una capacidad promedio de paquete de baterías VEB en el mercado europeo de aproximadamente 80 kWh distribuidos en 16 módulos¹⁷. Dado su notable

cuota de mercado del 66 % en el mercado chino de baterías en ese mismo año, la química LFP se perfila como la predominante para los futuros VEB18. En consecuencia, se define el paquete de baterías de referencia con las especificaciones y se analizan las emisiones de gases de efecto invernadero y los costes del ciclo de vida, abarcando el suministro de materiales, la producción de celdas, la producción de módulos, la producción de paquetes, el uso y el reciclaje. Este análisis exhaustivo sienta las bases para una comparación detallada entre la reparación y la sustitución, un tema que se aborda con más profundidad más adelante en este artículo.

Los resultados, con valores relativos y absolutos, se presentan en la Tabla 1. Esta presentación facilita una comprensión sutil de la estructura de costes y emisiones de los VEB.

Paso del ciclo de vida	Coste (€)	Emisiones (kgCO ₂ e)	Porcentaje del coste total	Porcentaje de emisiones totales
Celda LFP	7600	4176	65	16
Módulo LFP	800	651	7	2
Paquete LFP	2000	2117	17	8
Consumo	/	18 575	/	69
Reciclaje LFP	1360	1307	11	5
Total	11 760	26 827	100	100

TABLA 1: Costes y emisiones totales del paquete de baterías de referencia (6). Los resultados se basan en una productividad de 200.000 km, un consumo eléctrico de 20 kWh/100 km, pérdidas de carga adicionales que dan lugar a un uso total de 42 800 kWh durante la vida útil, 300 g de CO₂e/kWh de electricidad y emisiones de reciclaje según Van Hoof et al., 2023. (19) Las suposiciones de costes se realizan según los precios del mercado y cálculos internos que dan como resultado unos costes de reciclaje de 17 €/kWh por paquete LFP.

Este documento técnico se centra en instancias de fallo o bajo rendimiento que se producen en módulos individuales o múltiples. Si bien es poco probable que se produzca un mal funcionamiento de un automóvil debido a uno de estos fallos de batería para el cliente individual, a mayor escala será un suceso común para los talleres de reparación y los OEM²⁰. Las consideraciones críticas sobre la reparación giran principalmente en torno a aspectos económicos y medioambientales, suponiendo que la capacidad de las baterías de ser reparadas ya esté garantizada. Los costes asociados a la reparación abarcan el desmontaje y montaje de los componentes del paquete, la incorporación de nuevos módulos integrados y la utilización de productos específicos para la reparación, como LOCTITE TFX 3010 y LOCTITE ESB 5100.

Luego estos costes se comparan con la sustitución de todo el paquete de baterías. Se supone que la estructura de costes en el momento del fallo del módulo y su posible reparación es consistente con los capítulos anteriores de este documento.

Las emisiones asociadas al proceso de reparación siguen una estructura similar. Si bien la demanda de energía durante el desmontaje y montaje manual es insignificante, las emisiones de reparación se cuantifican considerando las emisiones de los productos y módulos de reparación. Estas emisiones se comparan posteriormente con las que se producen si se sustituye un paquete de baterías completo. En la Figura 6 se muestran los ahorros de costes y de emisiones entre la reparación y la sustitución para dos ejemplos reparaciones dentro y fuera del periodo de garantía.

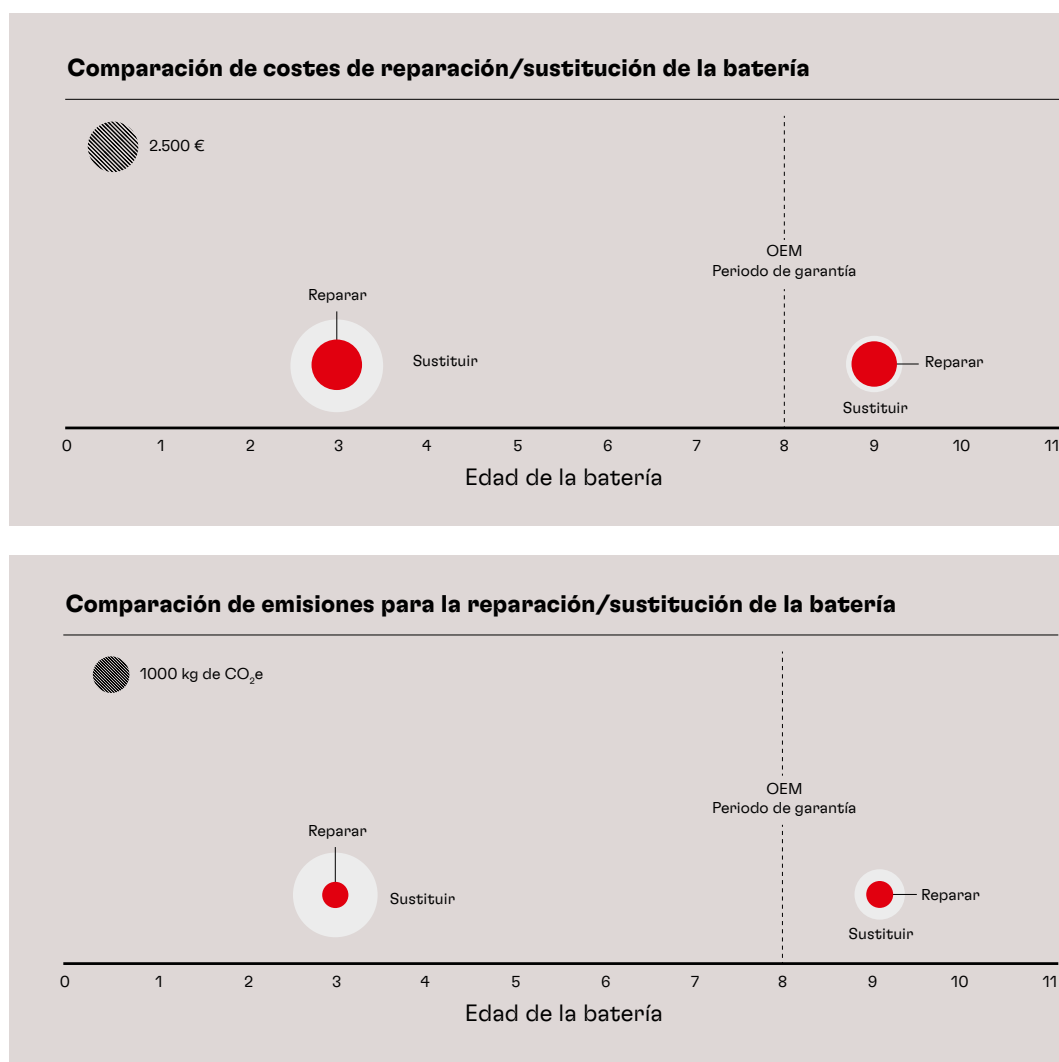
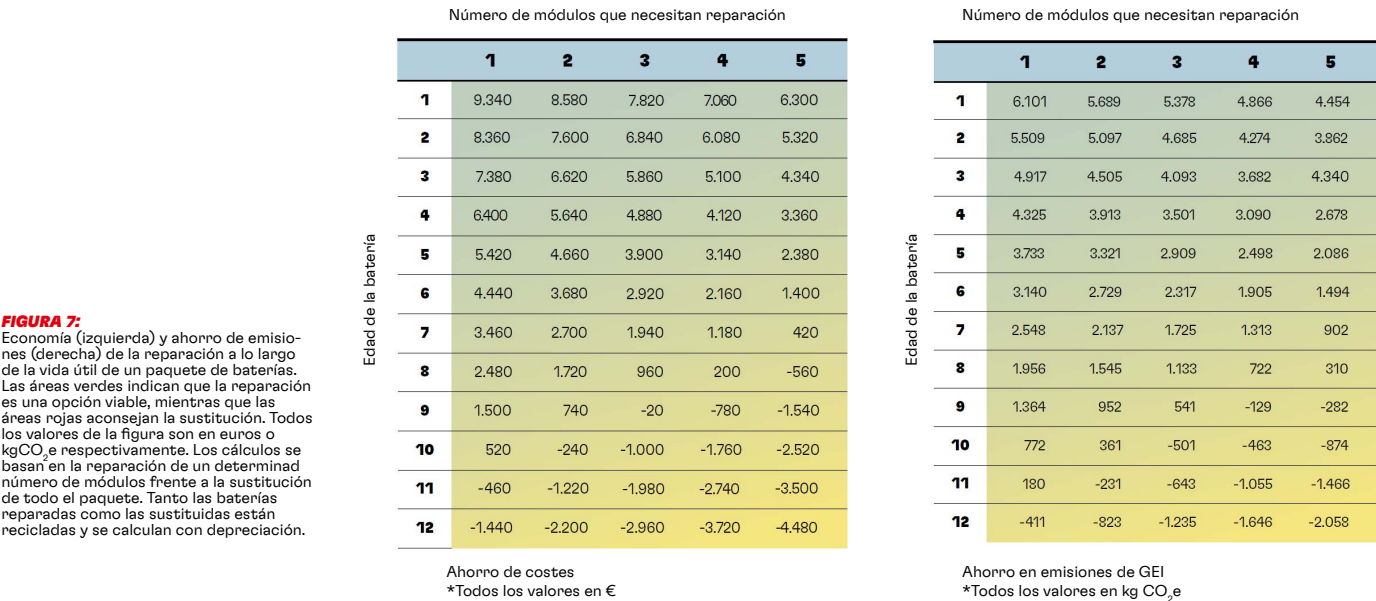


FIGURA 6: Ejemplo de ahorro mediante la reparación de una batería de VE en comparación con la sustitución en dos momentos diferentes durante la vida útil de la batería: después de 3 años: ahorro de costes: 7.380 €; ahorro de emisiones: 4.917 kgCO₂e; después de 9 años: ahorro de costes: 1.500 €; ahorro de emisiones: 1.394 kgCO₂e



En la Figura 7, se ilustran con una estructura matricial los resultados de los cálculos y supuestos analizados en los capítulos anteriores. Un aspecto esencial de estos cálculos es el tiempo de depreciación predeterminado para un paquete de baterías nuevo, establecido en 12 años y 200.000 km (la vida útil de las baterías de 12 años es una estimación. Esto podría variar al alza o la baja, afectando de manera similar la economía de la reparación. Esto significa que la reparación es la opción económica a largo plazo, si se supone que la vida útil de la batería es mayor). Optimización del ciclo de vida de la batería de VE mediante la reparación de la batería en este caso. Cabe destacar que los módulos nuevos para reparaciones no tienen un periodo de depreciación; se utilizan únicamente para cumplir con la vida útil prevista de doce años. En consecuencia, las cifras siguientes presentan el ahorro en costes y emisiones en función del momento de la reparación y la cantidad de módulos que requieren atención.



Las cifras muestran el umbral de depreciación de la batería más allá del cual la reparación se vuelve económica y medioambientalmente insostenible. Además, estas representaciones ilustran el número potencial de módulos que podrían repararse de forma viable en un ámbito que sea ventajoso tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. En particular, la capacidad de configuración de esta matriz permite realizar ajustes en función de distintos períodos de depreciación, lo que influye en la viabilidad de la reparación en periodos más largos o más cortos. Elegir la reparación en lugar de la sustitución de los módulos de batería ofrece claras ventajas, impulsadas por la utilización optimizada de la vida útil diseñada de la batería. Aunque el paquete de baterías original, con módulos reparados individualmente, requiere un reciclaje completo al final de su vida útil, este método presenta demandas de reciclaje adicionales y una vida útil más corta para los paquetes de baterías sustituidos, lo que da lugar a beneficios notables para la reparación.

El análisis revela que la reparación sigue siendo económica y medioambientalmente beneficiosa para las baterías MTP casi hasta que concluye su vida útil de doce años. En un

escenario en el que un módulo defectuoso requiere atención después de cinco años, optar por la reparación supone un ahorro de costes de más de 5.000 € y reduce las emisiones en más de 3,5 toneladas de CO₂.

Partiendo de supuestos realistas, la reparación resulta ser la opción más sensata desde el punto de vista financiero y medioambiental, especialmente dentro de los periodos de garantía establecidos en las normativas europeas y especificados por los fabricantes de equipos originales (OEM). La reparación demuestra ser más pragmática que la sustitución directa de la batería, en particular para reparaciones de módulos individuales.

” Durante el primer 80 % de la vida útil de un paquete de batería, la reparación es casi exclusivamente la opción más económica y ecológica en comparación con la sustitución de la batería.

CONCLUSIÓN Y PRÓXIMOS PASOS

Sobre la base de los hallazgos obtenidos de la investigación presentada en este documento técnico, la reparación de baterías de VE se perfila como un elemento clave en el desarrollo de una economía circular eficiente para los sistemas de baterías. La posible reducción del impacto medioambiental, lograda mediante la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la utilización prudente de los recursos, junto con la creación de nuevas fuentes de ingresos, hace de la reparación de baterías una perspectiva interesante para las diversas partes interesadas a lo largo de la cadena de valor de las baterías. En números, la reparación de un paquete de baterías de un VEB promedio reemplazando módulos individuales para restaurar su funcionalidad puede ahorrar hasta un 77 % en costes y hasta un 91 % de emisiones en comparación con la sustitución por un paquete nuevo. Como se describe en el Capítulo 4, la reparación de baterías defectuosas individuales, en particular a nivel de módulo, es predominantemente viable para los OEM durante los periodos de garantía, pero también es una opción beneficiosa en muchos casos para los propietarios una vez finalizado el periodo de garantía.

Sin embargo, para realizar reparaciones que sean económica y ambientalmente sensatas, es necesario abordar los desafíos clave que se describen en el Capítulo 3. Fundamentalmente, la facilidad de reparación de las baterías depende del diseño y los materiales utilizados en su construcción, lo que requiere productos y procesos que faciliten un desmontaje y un montaje rápidos sin comprometer la integridad del sistema. Los pasos críticos en el proceso de reparación, como se ilustra, incluyen la apertura del paquete de batería, la extracción del módulo de batería con la retirada de la pasta de disipación térmica antigua, la aplicación de una nueva capa de pasta de disipación térmica, la instalación de una nueva junta para la tapa de la batería y el cierre posterior del paquete de batería.

Este estudio argumenta convincentemente a favor de la reparación de paquetes de baterías y demuestra que, en la mayoría de los escenarios, representa una estrategia beneficiosa desde el punto de vista económico y medioambiental. La reparación no solo prolonga la vida útil de la batería, sino

que también garantiza el cumplimiento de los requisitos de la garantía, contribuyendo así positivamente a la sostenibilidad de los vehículos eléctricos.

Los resultados subrayan la importancia de integrar consideraciones sobre la capacidad de las baterías de ser reparadas en el desarrollo de nuevas generaciones, influyendo de forma significativa en su diseño. Es fundamental evaluar cuidadosamente aspectos como las posibles limitaciones a la capacidad de ser reparadas asociadas a la implementación de arquitecturas celda a x (CTX). En última instancia, el estudio aboga por elegir el compromiso más económico y ambientalmente sostenible a lo largo de todo el ciclo de vida de un paquete de baterías, situando la reparación en el primer lugar de las consideraciones.





LOCTITE

La seguridad en la carretera va de la mano con la seguridad para el trabajador. Al conseguir, utilizando materiales avanzados, que nuestras soluciones sean más seguras creamos valor que va más allá.

Nuestra pasta de disipación térmica LOCTITE TFX 3010 ofrece los más altos estándares de primeros equipos. Es un producto sin silicona, de fácil aplicación y de manipulación más segura, con una clasificación de riesgo inferior a la de los productos que los clientes utilizan para esta aplicación.

CRÉDITOS

PEM | UNIVERSIDAD RWTH AACHEN

La Cátedra de Ingeniería de Producción de Componentes de Electromovilidad (PEM) de la Universidad RWTH Aachen fue fundada en 2014 por el profesor Achim Kampker y lleva muchos años activa en el campo de la tecnología de producción de baterías de ion litio. La PEM cubre todos los aspectos del desarrollo, la producción y el reciclaje de celdas y sistemas de baterías. Gracias a numerosos proyectos industriales con empresas de todas las etapas de la cadena de valor y a su participación destacada en prestigiosos proyectos de investigación, la PEM ofrece una amplia experiencia.

WWW.PEM.RWTH-AACHEN.DE

HENKEL ADHESIVE TECHNOLOGIES

Con una sólida trayectoria de más de 145 años, Henkel está a la vanguardia en la reinención y mejora de la vida cotidiana. Hoy y para las generaciones venideras. A través de las marcas y tecnologías innovadoras y sostenibles de Henkel, en todos sus equipos alrededor del mundo.

Henkel ocupa posiciones de liderazgo en el sector de los adhesivos industriales con una cartera de adhesivos, selladores y recubrimientos de altas prestaciones.

WWW.HENKEL-ADHESIVES.COM

AUTORES

PEM | UNIVERSIDAD RWTH AACHEN:

Prof. Dr. ing. **Achim Kampker**

Profesor universitario y fundador de la cátedra

Prof. Dr. ing. Dipl. ing. empresarial **Heiner Hans Heimes**

Profesor universitario y miembro de la Dirección del Instituto

Moritz Frieges, M. Sc.

Ingeniero jefe de sistemas de propulsión: economía circular y materiales

Domenic Klohs, M. Sc.

Líder de grupo en tecnología de baterías y ciclo de vida

Valentin Mussehl, M. Sc.

Investigador asociado en tecnología de baterías y ciclo de vida

Lucca Groß, M. Sc.

Investigador asociado en tecnología de baterías y ciclo de vida

Henkel:

David Cazorla

Responsable global de reparación y mantenimiento de vehículos

Micheal Hajj

Responsable global de ingeniería de aplicaciones, reparación y mantenimiento de vehículos

Sören Brockmann

Responsable global del mercado de posventa de electromovilidad, reparación y mantenimiento de vehículos

Dra. Katherine Zhang

Responsable global de ingeniería de aplicaciones en electromovilidad, reparación y mantenimiento de vehículos

Frank Wingerter

Gerente global de desarrollo de negocio, reparación y mantenimiento de vehículos



REFERENCIAS

1. Deutsche Umwelthilfe, "What is the environmental impact of electric cars?: Factsheet," Sustainability, 2023.
2. Kampker, A. y Heimes, H. H., "Elektromobilität," Springer Berlin Heidelberg, Berlín, Heidelberg, 2024, 724 págs.
3. Heimes, H. H., Kampker, A., Offermanns, C., Vienenkötter, J., Frank, M., Robben, T., Klohs, D., Cattani, N. S., Lackner, N., Christen, N., Kreisköther, K., Deutschens, C., Kreisköther, K. y Fluchs, S., "Elektromobilität als Schlüsseltechnologie der Mobilitätswende," Elektromobilität, A. Kampker y H. H. Heimes, eds., Springer Berlin Heidelberg, Berlín, Heidelberg, 2024, págs. 39–62.
4. Prof. Dr. ing. Dipl. ing. empresarial Heiner Hans Heimes, Benjamin Dorn, M., Daniel Neb, M., Henning Clever, M. S., Artur Scheibe, M. S., Dr. Sarah Michaelis y Jörg Schütrumpf, "Produktionsprozess eines Batteriemoduls und Batteriepacks," 2023.
5. Achim Kampker, Heiner Heimes, Benjamin Dorn, Christian Offermanns, Moritz Friege, Sarah Wennemar, Daniel Neb, Niklas Kissler, Marcel Drescher, Jonas Gorsch, Benedikt Späth, Nikolaus Lackner, Wolfgang Bernhart, Jan-Philipp Hasenberg, Tim Hotz, D. G., Konstantin Knoche, Iskender Demir y Timur Achmadeev, "Battery Monitor 2023: The value chain between economy and ecology," 2023, 36 pp.
6. PEM Universidad RWTH Aachen, "PEM Internal Calculations".
7. Degen, F., Winter, M., Bendig, D. y Tübke, J., "Energy consumption of current and future production of lithium-ion and post lithium-ion battery cells", Nat Energy, V. 8, N.º 11, 2023, págs. 1284–1295.
8. Degen, F. y Schütte, M., "Life cycle assessment of the energy consumption and GHG emissions of state-of-the-art automotive battery cell production", Journal of Cleaner Production, V. 330, 2022, p. 129798.
9. Ellen MacArthur Foundation, "What is a circular economy?," <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>.
10. Ellen MacArthur Foundation, "The technical cycle of the butterfly diagram", 2022, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/the-technical-cycle-of-the-butterfly-diagram>.
11. Heimes, H. H., Kampker, A., Offermanns, C., Vienenkötter, J., Maltoni, F., Cattani, N. S., Christen, N. y Kreisköther, K., "Potenziale von Second-Use-Anwendungen für Lithium-Ionen-Batterien," Elektromobilität, A. Kampker y H. H. Heimes, eds., Springer Berlin Heidelberg, Berlín, Heidelberg, 2024.
12. Heimes, H. H., Kampker, A., Offermanns, C., Vienenkötter, J., Maltoni, F., Cattani, N. S., Christen, N. y Kreisköther, K., "Recycling von Lithium-Ionen-Batterien", Elektromobilität, A. Kampker y H. H. Heimes, eds., Springer Berlin Heidelberg, Berlín, Heidelberg, 2024, págs. 687–704.
13. Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, «Normativa (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo del 12 de julio de 2023 relativa a las baterías y a los residuos de baterías, que modifica la Directiva 2008/98/CE y la Normativa (UE) 2019/1020 y deroga la Directiva 2006/66/CE: relativa a las baterías y los residuos de baterías, que modifica la Directiva 2008/98/CE y la Normativa (UE) 2019/1020 y deroga la Directiva 2006/66/CE», 2023.
14. Battery Pass consortium, "Battery Passport Content Guidance: Achieving compliance with the EU Battery Regulation and increasing sustainability and circularity," 2023.
15. Comisión Europea, "Proposal for a regulation of the european parliament and of the council: on type-approval of motor vehicles and engines and of systems, components and separate technical units intended for such vehicles, with respect to their emissions and battery durability (Euro 7) and repealing Regulations (EC) No 715/2007 and (EC) No 595/2009", 2023.
16. Klohs, D., Offermanns, C., Heimes, H. y Kampker, A., "Automated Battery Disassembly—Examination of the Product- and Process-Related Challenges for Automotive Traction Batteries", Recycling, V. 8, N.º 6, 2023, p. 89.
17. PEM Universidad RWTH Aachen, «base de datos de baterías».
18. Sybil Pan, Zihao Li y Yiwen Ju, "LFP batteries extend dominance over NCM batteries in China," 2023, <https://www.fastmarkets.com/insights/lfp-batteries-extend-dominance-over-ncm-batteries-china/>.
19. van Hoof, G., Robertz, B., and Verrecht, B., "Towards Sustainable Battery Recycling: A Carbon Footprint Comparison between Pyrometallurgical and Hydrometallurgical Battery Recycling Flowsheets," Metals, V. 13, No. 12, 2023, p. 1915.
20. Kampker, A., Heimes, H. H., Offermanns, C., Frank, M., Klohs, D., and Nguyen, K., "Prediction of Battery Return Volumes for 3R: Remanufacturing, Reuse, and Recycling," Energies, V. 16, No. 19, 2023, p. 6873.

Henkel Ibérica S. A.

C/Bilbao n.º 72 - 84
08005 Barcelona
España

next.henkel-adhesives.com/es

Departamento técnico

Tel. 93 290 49 05
tecnico.industria@henkel.com

Atención al cliente

Tel. 93 290 44 86
cs.industria@henkel.com

Salvo que se indique lo contrario, todas las marcas utilizadas en este documento son marcas comerciales y/o marcas comerciales registradas de Henkel y/o sus filiales en EE.
© 2025 Henkel AG & Co. KGaA. Todos los derechos reservados



Henkel Adhesive Technologies



next.henkel-adhesives.com/es