

REPARACIÓN DE BATERÍAS DE BEV Y PHEV

ÍNDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO	6
2. ALCANCE	8
3. INTRODUCCIÓN	9
4. METODOLOGÍA	11
4.1. VEHÍCULOS ANALIZADOS	13
4.2. REPARACIÓN MEDIANTE REEMPLAZO DE LA BATERÍA	22
4.3. REPARACIÓN MEDIANTE REEMPLAZO DE MÓDULOS	24
4.4. OPERACIONES PREVIAS DE PUESTA EN SEGURIDAD	31
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
6. CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS	37

Por Enrique Zapico Alonso, responsable del Mobility Lab de CESVIMAP.
Sandra Pérez Barrientos, responsable del área de Movilidad CASE.
Juan Carlos Hernández Primitivo, técnico de investigación del área de Movilidad CASE.
Pablo López Izquierdo, jefe de I+D de CESVIMAP.

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AC → <i>Alternating Current</i>	EV → <i>Electric Vehicle</i>
BESS → <i>Battery Energy Storage System</i>	LIN → <i>Local Interconnect Network</i>
BEV → <i>Battery Electric Vehicle</i>	MY → <i>Model Year</i>
BMS → <i>Battery Management System</i>	OCV → <i>Open Circuit Voltage</i>
CAN → <i>Controller Area Network</i>	PHEV → <i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
CRM → <i>Critical Raw Materials</i>	SOC → <i>State of Charge</i>
DC → <i>Direct Current</i>	SOH → <i>State of Health</i>
EU → <i>European Union</i>	TIM → <i>Thermal Interface Material</i>

1. RESUMEN EJECUTIVO

La reparación de baterías surge como alternativa a la sustitución completa de este componente en los EV. Esta alternativa ofrece una solución más alineada con los objetivos de la economía circular, ya que se reduce el consumo, se repara el componente alargando su vida y se reutilizan las partes.

El presente trabajo ofrece las experiencias llevadas a cabo en CESVIMAP relativas al estudio sobre la viabilidad técnica para la reparación de baterías de BEV y PHEV existentes actualmente en el mercado.

Aunque se ha podido comprobar que en la mayoría de las baterías es técnicamente viable su reparación mediante la sustitución del componente deteriorado, centrandose este estudio en la sustitución de módulos, se ha comprobado que muchos fabricantes no contemplan este proceso de reparación ni comercializan los recambios necesarios para llevar a cabo dicha reparación.

Adicionalmente, algunas de las baterías estudiadas no están fabricadas con la aptitud necesaria para su reparación, ya que algunas técnicas de fabricación impiden la apertura y desmontaje de los componentes.

También se ha estudiado el caso de reparación mediante la sustitución de la batería defectuosa por otra batería procedente de otro vehículo, es decir, la reutilización directa de una batería.

Se ha encontrado que, además de la reparación eléctrica de la batería, es necesario poder devolver a la batería reparada las condiciones de estanqueidad y conductividad térmica que tenía inicialmente, para lo cual se ha visto necesaria una evaluación exhaustiva sobre la estanqueidad de la batería en su conjunto, mediante la renovación o reemplazo de las juntas de estanqueidad, así como la reposición del material de *interface* térmica en aquellas baterías que utilizan este método como parte de su refrigeración.

Finalmente, se concluye que muchas de las dificultades que impiden la reparación de baterías irán desapareciendo con la entrada en vigor del nuevo Reglamento relativo a las pilas y baterías y sus residuos (R(UE) 2023/1542) y que surgirán nuevas oportunidades de negocio en torno al suministro de recambios recuperados de baterías fuera de uso, así como nuevos trabajos directamente relacionados con la reparación de baterías, para lo cual será necesario contar trabajadores formados en esta nueva tecnología.

Executive Summary

Battery repair emerges as an alternative to the complete replacement of this component in EVs. This alternative offers a solution more aligned with the objectives of the circular economy, as it reduces consumption, repairs the component by extending its life, and reuses parts.

This paper presents the experiences carried out at CESVIMAP regarding the study on the technical feasibility of repairing BEV and PHEV batteries currently on the market.

Although it has been found that in most batteries it is technically feasible to repair them by replacing the deteriorated component, focusing this study on module replacement, it has been found that many manufacturers do not consider this repair process nor do they market the necessary spare parts to carry out such repair.

Additionally, some of the batteries studied are not manufactured with the necessary aptitude for repair, as some manufacturing techniques prevent the opening and disassembly of the components.

The case of repair by replacing the defective battery with another battery from another vehicle, i.e., the direct reuse of a battery, has also been studied.

It has been found that, in addition to the electrical repair of the battery, it is necessary to restore the repaired battery to its original sealing and thermal conductivity conditions. This requires a thorough evaluation of the battery's overall sealing, through the renewal or replacement of the sealing gaskets, as well as the replacement of the thermal interface material in those batteries that use this method as part of their cooling system.

Finally, it is concluded that many of the difficulties that prevent battery repair will disappear with the entry into force of the new Regulation on batteries and waste batteries (R(UE) 2023/1542) and that new business opportunities will arise around the supply of recovered spare parts from out-of-use batteries, as well as new jobs directly related to battery repair, for which it will be necessary to have workers trained in this new technology.

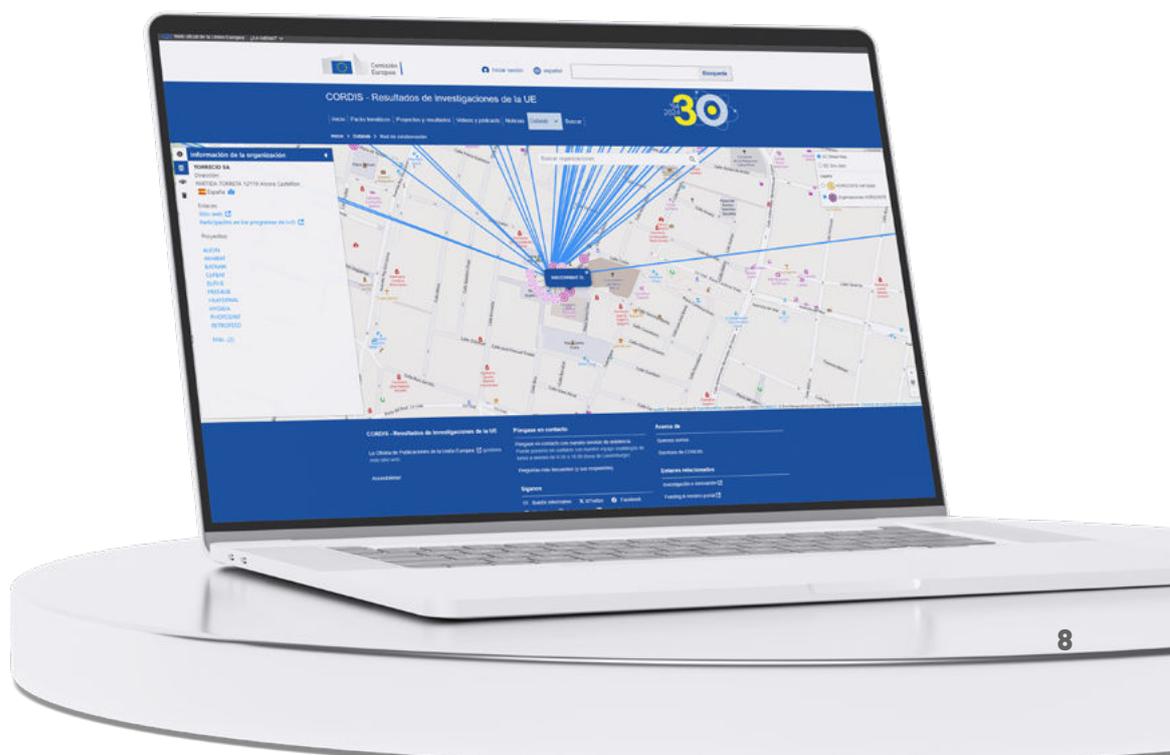
2. ALCANCE

El presente documento tiene los objetivos de describir las investigaciones realizadas por CESVIMAP en relación a los mejores procesos para la reparación de baterías de VE, evaluar las posibilidades reales, en los vehículos actuales, de llevar a cabo dichas reparaciones, identificar las buenas y malas prácticas constructivas de las baterías de cara a su reparación y ofrecer un método universal que permita al sector reparador de VE disponer de una alternativa sostenible a la sustitución de la batería, lo que redundará en un mejor aprovechamiento de las mismas, en una reducción sustancial en el coste económico de tales reparaciones y en un fomento de la descarbonización del transporte.

Aunque los objetivos principales del proyecto se centran en el reciclado de las baterías, no hay que perder de vista que el reciclado para la recuperación de los CRM debe ser la última opción dentro la economía circular de las baterías, debiendo alargarse todo lo posible el uso para el que fueron inicialmente concebidas (uso en tracción eléctrica de vehículos), y su reparación contribuye a este fin, así como su reutilización como recambio usado completo en otros vehículos.

A lo largo del documento, y en los distintos apartados, se presta atención a los temas relativos a la seguridad, indicando los límites de utilización segura de los módulos, de las baterías completas, así como otra serie de componentes de las baterías susceptibles de su reutilización para la reparación de otras baterías; en el caso de la seguridad personal, se proporcionan las indicaciones y advertencias necesarias para una correcta y segura manipulación de módulos y baterías.

Este trabajo se puede consultar íntegro en la [web oficial de la Unión Europea CORDIS](#) – Resultados de investigaciones de la UE. De acceso público.



3. INTRODUCCIÓN

Las baterías de los EV están formadas por un elevado número de celdas conectadas en serie y en paralelo para conseguir la capacidad, potencia y voltaje necesarios para hacer funcionar de manera eficiente un vehículo, proporcionándole la autonomía y potencia requerida para su uso. Adicionalmente a esas celdas, las baterías de litio-ion (independientemente de su composición química), requieren de un sistema de gestión, tanto térmica como eléctrica, que asegure su correcto y seguro funcionamiento, así como su durabilidad. De esta misión se encarga el BMS (*Battery Management System*), siendo este componente otro de los elementos que forman un *battery-pack*. A todo esto hay que añadir los correspondientes aparatos eléctricos que permitan el control de toda esa energía eléctrica, tales como contactores o relés, resistencias de precarga, conectores eléctricos, fusibles, sensores de temperatura y de corriente, etc. y todo ello debe ir encapsulado en una caja que ofrezca la suficiente resistencia y protección tanto mecánica como ante el polvo y el agua ya que, en la mayoría de los vehículos, la batería se encuentra situada en el exterior del mismo, en su zona inferior, y está expuesta a posibles impactos y a la acción del agua y el polvo de los cuales hay que protegerla.

Parece lógico pensar que en un componente como es la batería de un BEV, formado por tan elevado número de elementos, exista la posibilidad de que alguno de estos componentes presente algún defecto en su funcionamiento o agote su vida útil, provocando que la batería del BEV deje de funcionar prematuramente y de cumplir la misión para la que fue concebida.

Actualmente, no todos los fabricantes de vehículos contemplan la reparación de las baterías de sus vehículos eléctricos, siendo esto una anomalía dentro del ciclo de vida tradicional de un vehículo, donde, en general, todas las piezas que lo conforman son reparables o sustituibles en condiciones de viabilidad técnica y económica, permitiendo alargar la vida de este y con ello, reducir el consumo de recursos. Y esto no es solo aplicable a las piezas que por su función en el vehículo puedan considerarse como piezas sometidas a desgaste, sino también para aquellas piezas que, en principio, deben durar tanto como el propio vehículo pero que, en ocasiones, pueden presentar un fallo prematuro que imposibilite la utilización del vehículo.

En el caso concreto de las baterías de BEV, existen ciertos condicionantes técnicos y económicos que influyen decisivamente en la viabilidad de la reparación de estas. El primero, y más importante, es la construcción y método de fabricación y ensamblado de la batería y sus componentes. El uso de soldadura, adhesivos de gran poder o el empleo de materiales de relleno pueden dificultar, e incluso impedir, no solo la reparación de la batería o la reutilización de sus componentes, sino también la segregación de materiales y componentes con vistas a su reciclado.

Otro de los condicionantes que afectará a la viabilidad de la reparación de baterías de BEV será la disponibilidad de recambios, por parte del fabricante del vehículo, para llevar a cabo dichas reparaciones. Si el fabricante no suministra los componentes individuales que conforman la batería, el mercado reparador tendrá grandes dificultades para aprovisionarse de los componentes necesarios para la reparación. No obstante, este problema puede verse solventado, en parte, con el empleo de componentes recuperados de otras baterías procedentes de vehículos o baterías que hayan llegado al final de su vida útil.

A lo largo del presente informe se describirán los procesos de trabajo que se han llevado a cabo para el desmontaje de las baterías, así como las peculiaridades de cada uno de los modelos estudiados desde un enfoque de la viabilidad de la reparación. Se ha trabajado con un total de 14 vehículos y sus baterías, tanto BEV como PHEV.

También se describirá el procedimiento universal aplicable para la reparación de baterías mediante la sustitución de los módulos defectuosos.

4. METODOLOGÍA

Cuando nos encontramos ante una batería de tracción de un BEV (también sería aplicable a una batería de un PHEV) que presenta un fallo de funcionamiento en alguna de sus celdas, las soluciones pasan por la sustitución completa de la batería por otra idéntica, ya sea nueva o usada, o bien la reparación de ésta mediante la sustitución del módulo que contiene la celda deteriorada.

El diseño de las baterías de los BEV está basado en la agrupación en serie y en paralelo de un número determinado de celdas de ion-litio (habitualmente 96 celdas en serie) hasta conseguir los valores de tensión, corriente y energía necesarios para el servicio de tracción eléctrica del vehículo y, cuando se produce un fallo prematuro de la batería, este suele estar ocasionado por el fallo de solo alguna de sus celdas, que al ir conectada en serie, interrumpiría el funcionamiento global de la batería. También podría ocurrir que una determinada celda tuviese una pérdida de rendimiento (capacidad) mucho mayor que el resto y que este hecho ocasionase una pérdida global del rendimiento de la batería del EV al impedir el sistema de gestión de la batería (BMS) que el resto de las celdas se carguen y descarguen a su capacidad completa. En la práctica, esto se traduce en una pérdida de autonomía (alcance) del EV que puede hacerlo inservible para su uso previsto.

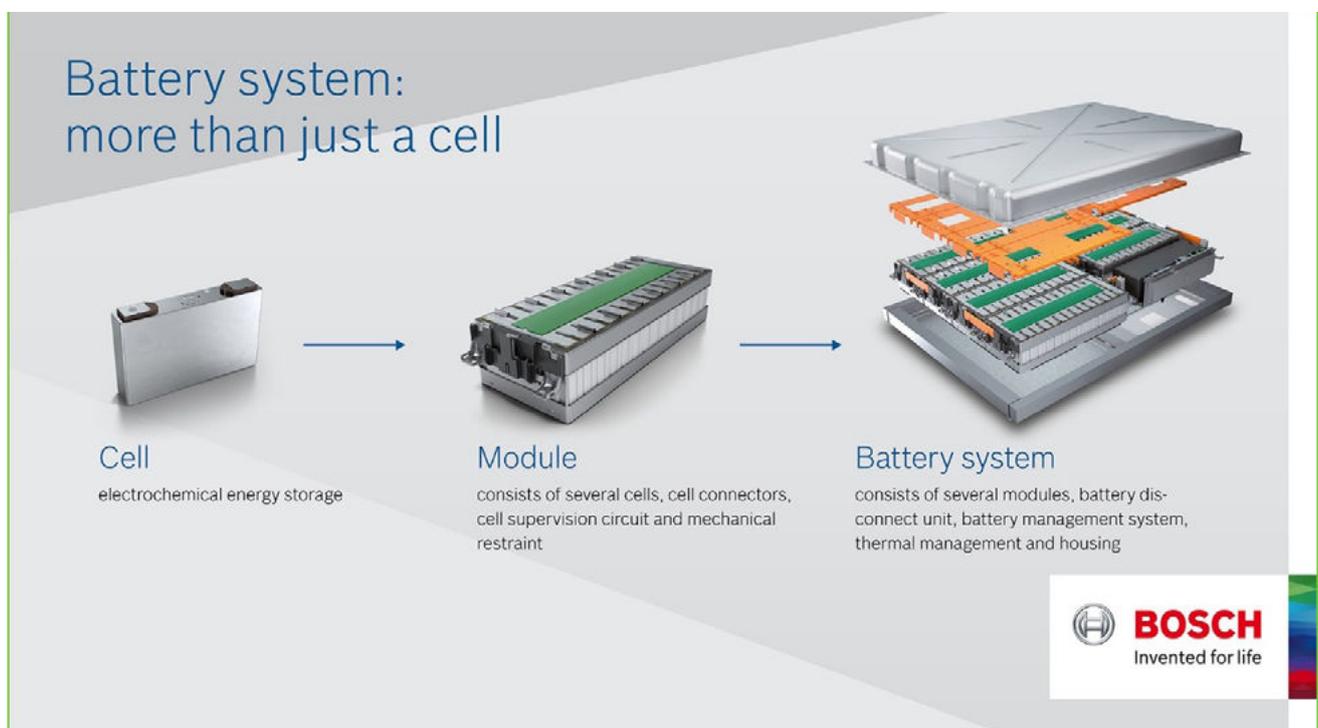


Imagen 1: Constitución de una batería de BEV. Celda, módulo y batería.
Fuente: Bosch

En el caso de optar por la reparación de esta batería, será necesario tener acceso hasta el módulo que contiene la celda deteriorada. Los procesos de reparación que se han llevado a cabo se han centrado en la sustitución del módulo que contiene la celda dañada, sin descender a la sustitución de la celda en sí misma ya que, tanto por el modo de suministro del recambio (los fabricantes que contemplan la reparación de las baterías y la sustitución de módulos no suministran celdas, sino módulos completos), como por la complejidad, e incluso imposibilidad, de tener acceso a las celdas individuales (métodos de unión entre celdas por soldadura o con adhesivos muy fuertes), se ha descartado la posibilidad de sustitución de celdas ya que esto implicaría, en la mayoría de los casos, la destrucción del módulo y la imposibilidad de volver a montarlo.

El estudio realizado sobre una amplia muestra de BEV y PHEV ha tenido como objetivo inicial, estudiar la viabilidad técnica de la apertura de la batería para lograr acceso a los módulos; en segundo lugar, valorar los métodos de unión de los módulos en el interior de la batería y si era técnicamente posible su desmontaje y extracción. Si alguno de estos dos pasos previos no era factible, se concluye que no es posible reparar esa batería mediante la sustitución de los módulos dañados

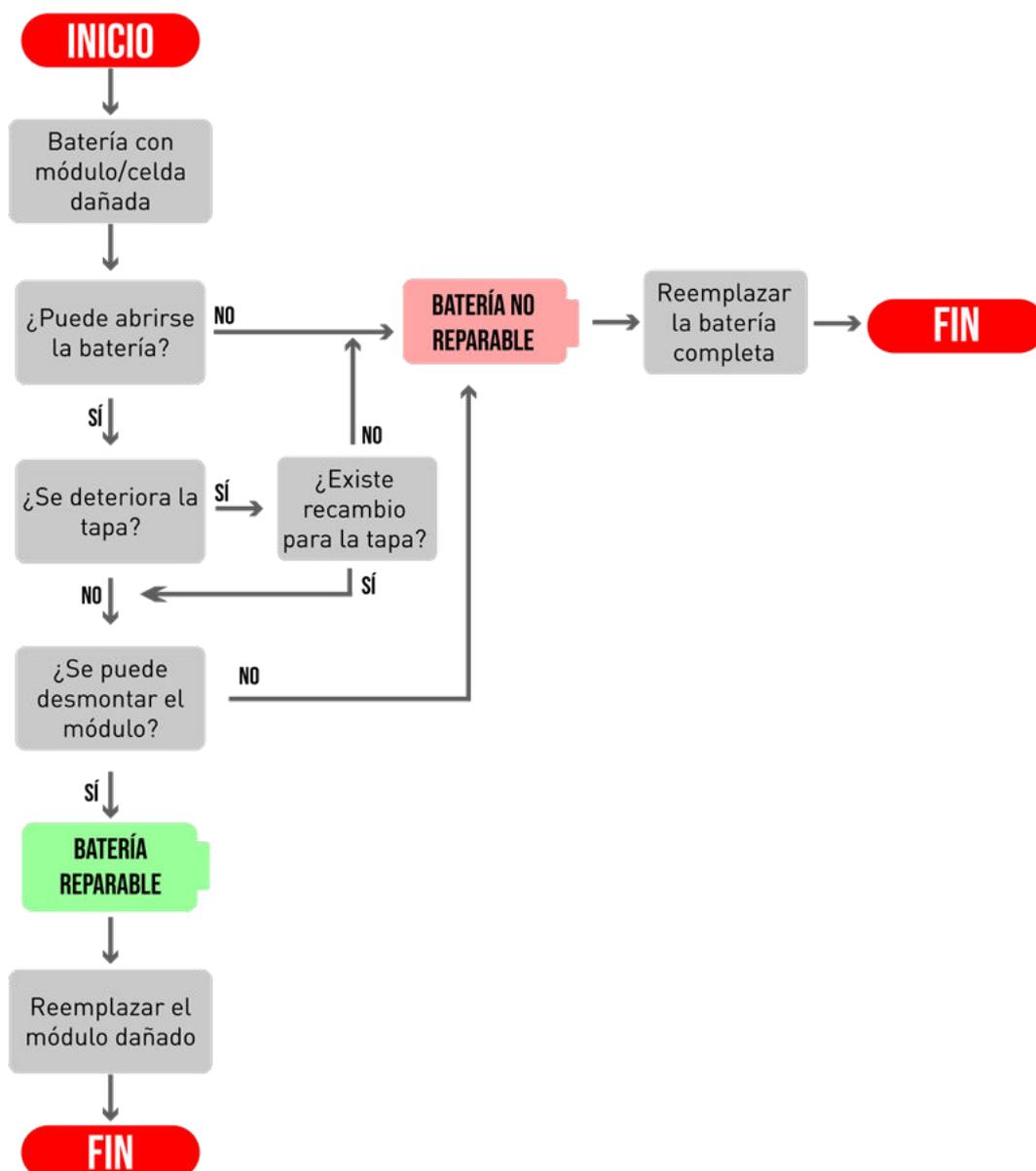


Gráfico 1: Proceso de decisión sobre la posibilidad de reparación de baterías

Desde el punto de vista de diagnóstico eléctrico, el estudio ha consistido en determinar e identificar el módulo que contiene la celda deteriorada. Para ello se ha recurrido a diversas técnicas. Unas basadas en el empleo que equipos de diagnóstico que permiten leer datos del BMS, entre ellos las tensiones individuales de cada una de las celdas. Otra técnica, que sirve tanto de diagnóstico básico como de diagnóstico complementario al anterior, es mediante el empleo de un voltímetro de precisión que permita medir la tensión en circuito abierto (OCV) de cada celda/módulo y que permita identificar la celda/módulo deteriorado mediante la comparación de la tensión de cada celda/módulo con el resto y sabiendo que la celda/módulo deteriorado será aquella que presente un nivel de tensión sensiblemente diferente al resto (generalmente inferior). Este fenómeno será más apreciable cuanto menor sea el estado de carga (SOC) de la batería.

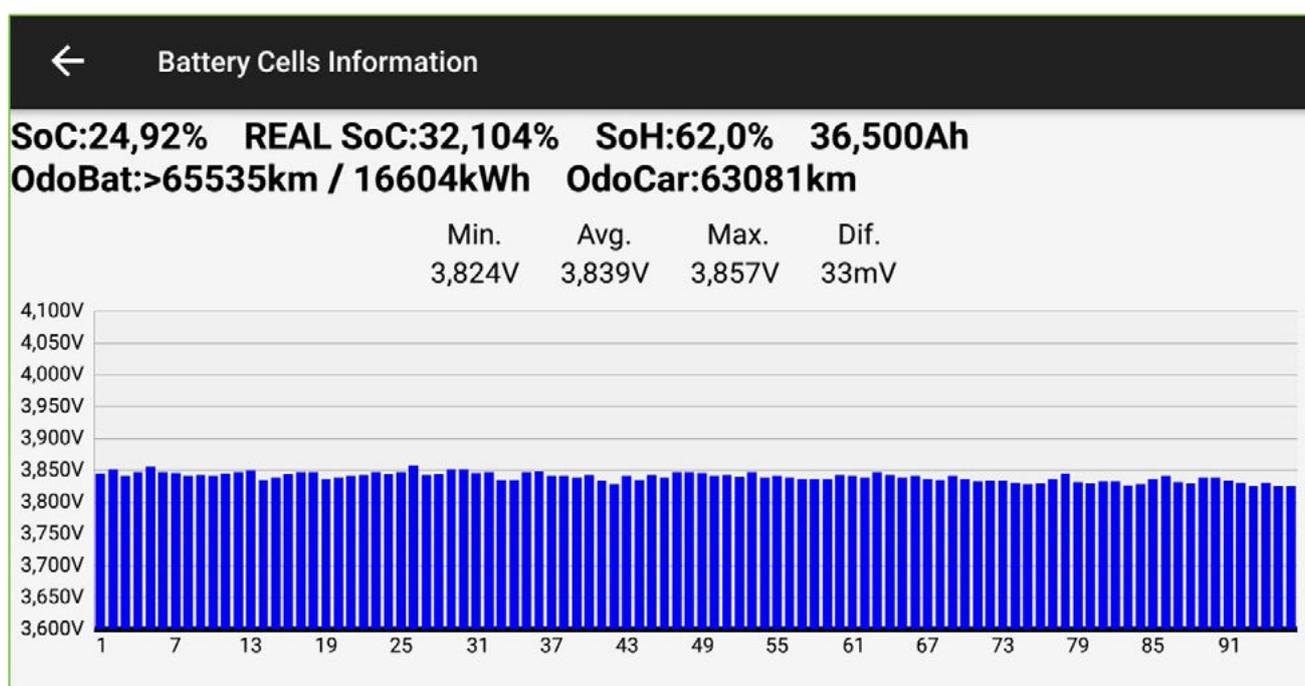


Gráfico 2: Lectura de la información sobre el nivel de tensión de cada celda en una batería de un Renault Fluence ZE mediante la aplicación "Fluence ZE Spy"

4.1 VEHÍCULOS ANALIZADOS

CESVIMAP ha llevado a cabo el análisis de un total de 14 vehículos, de distintas épocas (2011 a 2022), con distintas tecnologías (BEV y PHEV) y con baterías de diversas químicas (LMO, NCA, NMC, Li-Po), consiguiendo de este modo una amplia visión de las técnicas empleadas por los fabricantes en la construcción de las baterías, tanto desde el punto de vista mecánico y de las técnicas de unión, como de configuraciones eléctricas y de gestión de las baterías. En la siguiente tabla se presenta el resumen de los vehículos analizados, de sus baterías y de las operaciones llevadas a cabo.

En algunos casos, aunque no se ha llegado a desmontar los módulos, la operación era factible ya que eran uniones atornilladas sin adhesivos potentes.

	MARCA	MARCA (AÑO MODELO)	CAPACIDAD DE LA BATERÍA (kWh)	DESMONTAJE MANUAL	APERTURA DE LA BATERÍA	DESMONTAJE DE MÓDULOS	REPARACIÓN (SUSTITUCIÓN DE MÓDULOS)
1	Mitsubishi	Outlander PHEV (2016)	8.4	✓	✓	✗	✗
2	Hyundai	Ioniq PHEV (2016)	8.9	✓	✓	✓	✗
3	Tesla	Model S 85 (2016)	85.0	✓	✓	✓	✗
4	Renault	Zoe (2015)	40.0	✓	✓	✓	✗
5	Opel	Corsa-e (2020)	50.0	✓	✗	✗	✗
6	Renault	Fluence ZE (2011)	24.0	✓	✓	✓	✓ [Sustitución de batería]
7	Porsche	Taycan 4S (2020)	71.0	✓	✓	✓	✗
8	Hyundai	Ioniq 5 (2021)	72.6	✓	✓	✓	✓
9	Smart	EQ ForFour (2018)	17.6	✓	✓	✓	✓ [Sustitución de batería]
10	Fiat	500-e (2019)	37.3	✓	✓	✓	✗
11	BMW	i3 (2018)	40.0	✓	✓	✗	✗
12	Volkswagen	ID3 (2020)	62.0	✓	✓	✓	✗
13	Hyundai	Kona-e (2021)	64.0	✓	✓	✓	✗

Gráfico 3: Vehículos analizados

4.1.1. MITSUBISHI OUTLANDER PHEV (2016)

La reparabilidad de esta batería es totalmente viable, técnica y económicamente. Tanto la apertura de la batería como el desmontaje de los módulos se realiza con herramientas habituales y mediante uniones atornilladas. No se emplean adhesivos potentes que dificulten el desmontaje. Tampoco es necesario reponer juntas en la fase de montaje. La tapa superior no se deteriora durante el desmontaje por lo que es reutilizable. El fabricante suministra de manera individual los módulos de batería y contempla dentro de sus procesos de trabajo la reparación de la batería mediante la sustitución de componentes.



Imagen 3: Mitsubishi Outlander PHEV (MY2016): Apertura del *battery-pack*

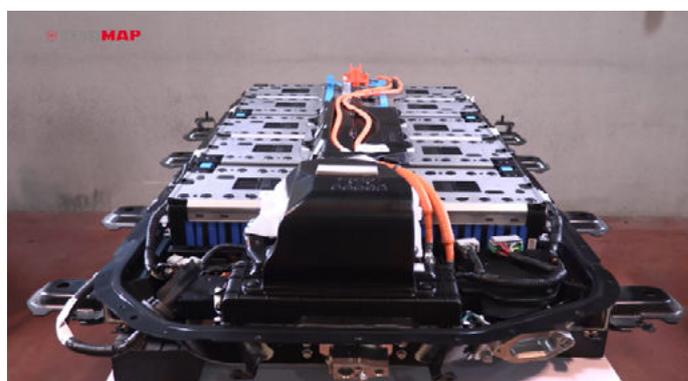


Imagen 4: Mitsubishi Outlander PHEV (MY2016): Acceso a módulos de la batería

4.1.2. HYUNDAI IONIQ PHEV (2016)

Tanto el desmontaje como la apertura de la batería de este modelo no presentaba dificultades ni impedimentos que impidiese su reparación mediante la sustitución de sus componentes. No obstante, el fabricante del vehículo no contempla para este modelo la reparación de la batería ni suministra módulos de recambio. Ante esta situación, la opción más factible sería emplear módulos recuperados de otra batería. Como se comentará más adelante, para realizar este tipo de reparaciones con módulos provenientes de otra batería es necesario haber realizado previamente una evaluación del estado de salud (SOH) de esos módulos ya que, para conseguir un funcionamiento adecuado de la batería en su conjunto, el módulo que se instale debe tener un SOH igual o superior al del resto de los módulos pues de otro modo, penalizaría el rendimiento de la batería en su conjunto.



Imagen 5: Hyundai Ioniq PHEV (MY2016):
Apertura de semi-batería delantera



Imagen 6: Hyundai Ioniq PHEV (MY2016):
Desmontaje módulo semi-batería trasera

4.1.3. TESLA MODEL S 85 (2015)

Por diseño, esta batería sólo está concebida para su sustitución completa, no permitiendo su reparación mediante la sustitución de los módulos de manera individual. El fabricante no suministra ni la tapa superior, que es necesario destruir para la apertura, ni los módulos de batería. Como consecuencia de esto ni la batería es reparable ni sus módulos se pueden emplear para reparar otra batería. Sólo sería posible emplear estos módulos para otros usos distintos de su empleo en un automóvil. Sí que tendrían utilidad como elementos para construir sistemas de almacenamiento de energía (BESS) o, directamente, para su reciclado.



Imagen 7: Tesla Model S 85 (MY2015):
Desmontaje de la batería del vehículo



Imagen 8: Tesla Model S 85 (MY2015):
Disposición de los módulos

4.1.4. RENAULT ZOE (2015)

Tanto el desmontaje como la apertura de la batería de este modelo no presenta dificultades que impidiesen su reparación mediante la sustitución de sus componentes. No obstante, el fabricante del vehículo no contempla, para este modelo, la reparación de la batería ni suministra módulos de recambio. Ante esta situación, la opción más factible sería emplear módulos recuperados de otra batería.



Imagen 9: Renault ZOE (MY2015):
Desmontaje del módulo



Imagen 10: Renault ZOE (MY2015):
Disposición de los módulos

4.1.5. OPEL CORSA-E (2020)

Tanto el desmontaje, como la apertura de la batería de este modelo no presenta dificultades que impidiesen su reparación mediante la sustitución de sus componentes. No obstante, el fabricante del vehículo no contempla, para este modelo, la reparación de la batería ni suministra módulos de recambio. Ante esta situación, la opción más factible sería emplear módulos recuperados de otra batería.

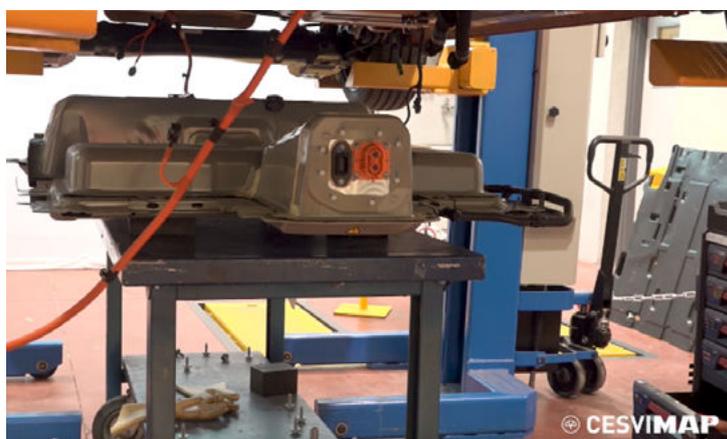


Imagen 11: Opel Corsa-E (MY2020):
Desmontaje de la batería del vehículo

4.1.6. RENAULT FLUENCE ZE (2011)

Tanto el desmontaje, como la apertura de la batería de este modelo no presenta dificultades que impidiesen su reparación mediante la sustitución de sus componentes. No obstante, el fabricante del vehículo no contempla, para este modelo, la reparación de la batería ni suministra módulos de recambio. Ante esta situación, la opción más factible sería emplear módulos recuperados de otra batería.

Debido a que cada módulo sólo contiene 2 grupos de celdas en serie (configuración 2s2p), el número de módulos es muy elevado y debido a su disposición, el acceso a un módulo individual para su sustitución puede implicar un elevado número de horas de trabajo.



Imagen 12: Renault Fluence ZE (MY2011):
Disposición de los módulos



Imagen 13: Renault Fluence ZE (MY2011):
Desmontaje de módulo

4.1.7. PORSCHE TAYCAN 4S (2020)

El diseño de esta batería favorece su reparación gracias a que el fabricante la ha concebido con esa predisposición a la reparación. Aunque el desmontaje de la tapa superior puede provocar su inutilización, el fabricante suministra recambio de dicha tapa para aquellas reparaciones que requieran la apertura de la batería. Asimismo, también suministra los módulos de batería y dispone de equipos específicos para realizar el equilibrado de los nuevos módulos antes de su instalación.

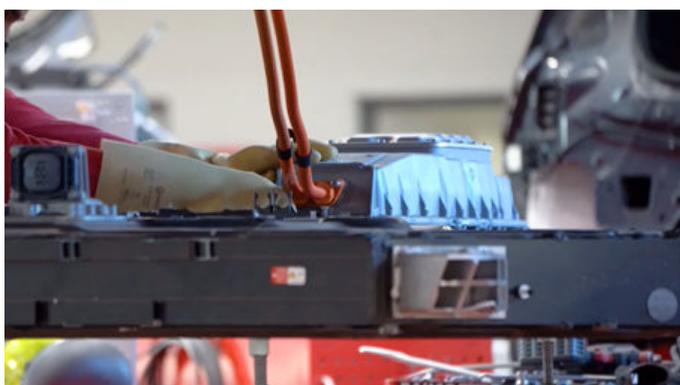


Imagen 14: Porsche Taycan 4S (MY2020):
Desconexión de los cables de entrada de la batería



Imagen 15: Porsche Taycan 4S (MY2020):
Disposición de los módulos

4.1.8. HYUNDAI IONIQ 5 (2021)

El diseño de esta batería favorece su reparación gracias a que el fabricante la ha concebido con esa predisposición a la reparación. Suministra los módulos de batería y dispone de equipos específicos para hacer el equilibrado de los nuevos módulos antes de su instalación.



Imagen 16: Hyundai Ioniq 5 (MY2021):
Desmontaje de la batería del vehículo



Imagen 17: Hyundai Ioniq 5 (MY2021):
Apertura de la batería

4.1.9. SMART EQ FORFOUR (2018)

Tanto el desmontaje como la apertura de la batería de este modelo no presentaba dificultades que impidiesen su reparación mediante la sustitución de sus componentes. No obstante, el fabricante del vehículo no contempla, para este modelo, la reparación de la batería ni suministra módulos de recambio. Ante esta situación, la opción más factible sería emplear módulos recuperados de otra batería.

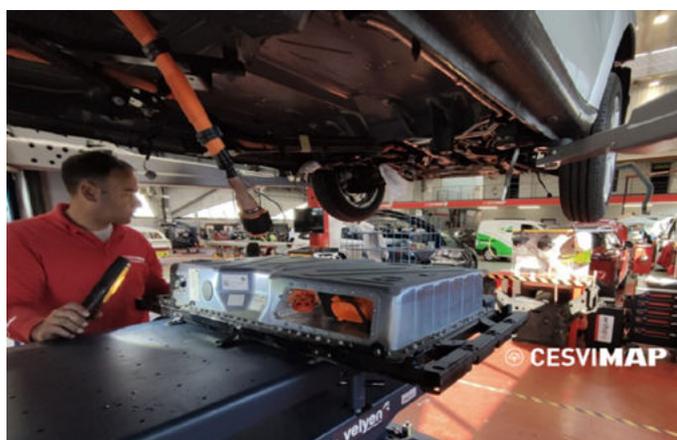


Imagen 18: Smart EQ Forfour (MY2018):
Desmontaje de la batería del vehículo



Imagen 19: Smart EQ Forfour (MY2018):
Disposición de los módulos

4.1.10. FIAT 500-E (2019)

Tanto el desmontaje como la apertura de la batería de este modelo no presenta dificultades que impidiesen su reparación mediante la sustitución de sus componentes. No obstante, el fabricante del vehículo no contempla, para este modelo, la reparación de la batería ni suministra módulos de recambio. Ante esta situación, la opción más factible sería emplear módulos recuperados de otra batería.

La necesidad de tener que voltear la batería para poder realizar el desmontaje mecánico de sus módulos introduce una complejidad adicional al proceso de desmontaje, tanto de forma manual como en una posible línea de desmontaje semi-automatizado.

El empleo de tornillos auto-perforantes, aunque agiliza el montaje en fábrica eliminando varias operaciones de mecanizado, puede establecer limitaciones si se requiere su desmontaje posterior y es necesario reemplazar dichos tornillos por otros que consigan el mismo nivel de apriete y proporcionen, junto a la junta de estanqueidad, el necesario aislamiento y protección frente al agua y al polvo.



Imagen 20: Fiat 500-e (MY2019):
Desmontaje de la batería del vehículo

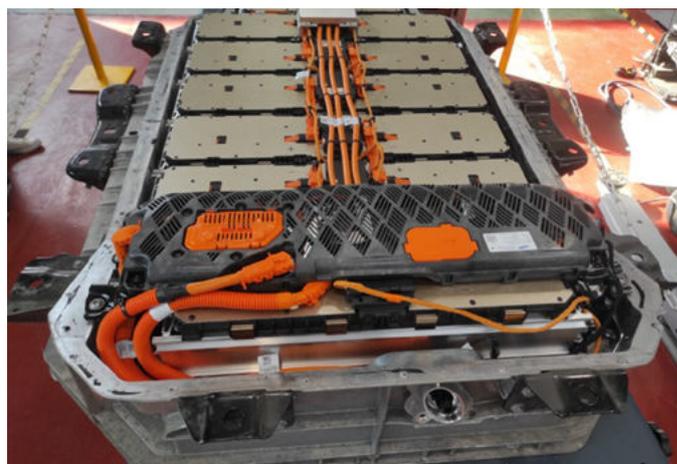


Imagen 21: Fiat 500-e (MY2019):
Disposición de los módulos

4.1.11. BMW i3 (2018)

La reparabilidad de esta batería es totalmente viable, técnica y económicamente. Tanto la apertura de la batería como el desmontaje de los módulos se realiza con herramientas habituales y mediante uniones atornilladas. No se emplean adhesivos potentes que dificulten el desmontaje. Tampoco es necesario reponer juntas en la fase de montaje. La tapa superior no se deteriora durante el desmontaje por lo que es reutilizable. El fabricante suministra de manera individual los módulos de batería y contempla dentro de sus procesos de trabajo la reparación de la batería mediante la sustitución de componentes.



Imagen 22: BMW i3 (MY2018):
Battery-pack abierto

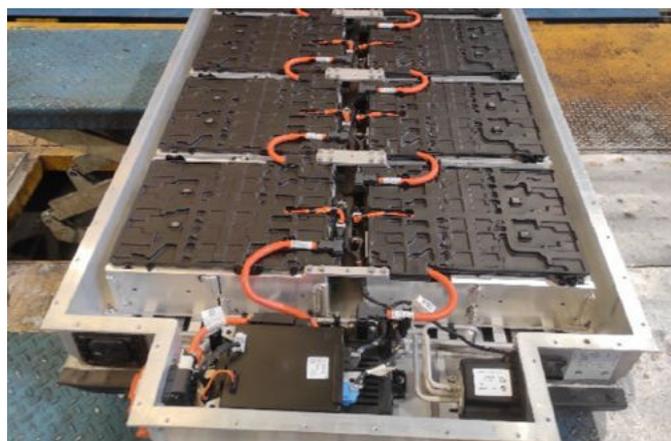


Imagen 23: BMW i3 (MY2018):
Disposición de los módulos

4.1.12. VOLKSWAGEN ID3 (2020)

El diseño de esta batería favorece su reparación gracias a que el fabricante la ha concebido con esa predisposición a la reparación. Asimismo, también suministra los módulos de batería y dispone de equipos específicos para realizar el equilibrado de los nuevos módulos antes de su instalación.



Imagen 24: Volkswagen ID3 (MY2020):
Desmontaje de la batería del vehículo



Imagen 25: Volkswagen ID3 (MY2020):
Apertura de la batería

4.1.13. HYUNDAI KONA-E (2021)

El diseño de esta batería favorece la reparación de la misma gracias a que el fabricante la ha concebido con esa predisposición a la reparación. Suministra los módulos de batería y dispone de equipos específicos para hacer el equilibrado de los nuevos módulos antes de su instalación.



Imagen 26: Hyundai Kona-e (MY2021):
Desmontaje de la batería



Imagen 27: Hyundai Kona-e (MY2021):
Batería desmontada



Imagen 28: Hyundai Kona-e (MY2021):
Disposición de los módulos

4.1.14. MERCEDES-BENZ A-CLASS 250E (2020)

Por diseño, esta batería sólo está concebida para su sustitución completa, no permitiendo la reparación de esta mediante la sustitución de los módulos de manera individual. El fabricante no suministra como recambio los módulos de batería. Como consecuencia de esto, ni la batería es reparable ni sus módulos se pueden emplear para reparar otra batería.



Imagen 29: Mercedes-Benz A-Class
250e (MY2020):
Apertura de la batería



Imagen 30: Mercedes-Benz A-Class
250e (MY2020):
Disposición de los módulos



Imagen 31: Mercedes-Benz A-Class
250e (MY2020):
Adhesivo entre módulos

4.2. REPARACIÓN MEDIANTE REEMPLAZO DE LA BATERÍA

Una de las formas tradicionales de economía circular en el sector del automóvil consiste en la reutilización directa de piezas obtenidas de vehículos al final de su vida útil para la reparación de otros vehículos. De esta manera, se obtiene el máximo beneficio con la mínima inversión en tiempo de adecuación y se alarga la vida de las piezas precisamente para el fin para el cual fueron diseñadas.

El requisito que se suele exigir a este tipo de piezas reutilizadas es que su estado de funcionamiento sea, al menos, igual o mejor que el de la pieza que se pretende sustituir.

En el caso concreto de una batería de BEV, las causas que pueden motivar la sustitución completa pueden ser un accidente, una avería fatal, una avería menor, pero para la cual el fabricante del vehículo no ofrezca una posibilidad de reparación mediante sustitución parcial únicamente del componente deteriorado, o la necesidad de reposición por agotamiento.

Lógicamente, el simple desmontaje y montaje de una batería, ya sea en el mismo vehículo o entre vehículos no supone ninguna dificultad técnica. El objetivo que se ha buscado con esta investigación es conocer las dificultades o impedimentos adicionales que puede presentar esta operación.

Como consecuencia de las redes de comunicaciones existentes en los vehículos (CAN-BUS, LIN ...) la introducción o sustitución de un componente electrónico dentro de dichas redes suele requerir de algún tipo de codificación, alta en la red, configuración, etc.

También puede ocurrir que el fabricante del vehículo, mediante *software*, pueda impedir que una batería, instalada originalmente en un vehículo, pueda ser instalada posteriormente en otro vehículo. Los motivos para esta forma de actuar pueden ser diversos y más o menos legítimos: asegurar la trazabilidad de las baterías y su correspondencia unívoca con un determinado vehículo, poner trabas funcionales que dificulten la reutilización de baterías obtenidas de manera no legítima (robo), tener un control total sobre las baterías, incluso después de su venta...

Gracias a la disponibilidad de varias unidades idénticas de vehículos eléctricos del mismo modelo, procedentes del centro de tratamiento de vehículos fuera de uso de CESVIMAP, CESVIrecambios, se ha podido llevar a cabo la experiencia con dos modelos diferentes. A continuación, se detalla el trabajo realizado y los resultados obtenidos.

4.2.1. RENAULT FLUENCE ZE (2011)

Este modelo de Renault presenta la particularidad de que, en algunos mercados (Israel, Dinamarca) existía la posibilidad de realizar el intercambio de batería de manera rápida en unas estaciones de intercambio robotizadas. Esta tecnología de intercambio se denominaba “*QuickDrop*”.

Gracias a esta característica de diseño, la sustitución de baterías completas en el Renault Fluence ZE no presenta ninguna dificultad y no requiere de operaciones adicionales de configuración o codificación de la nueva batería.

Como se ha descrito anteriormente, para el desmontaje de la batería a sustituir sólo es necesario retirar las 4 uniones atornilladas que fijan la batería al vehículo y descender ésta. No es necesario realizar la desconexión de los conectores eléctricos ya que se desconectan y conectan de manera simultánea al desmontaje y montaje de la propia batería. Tampoco es necesaria la desconexión y posterior conexión del sistema de refrigeración de la batería, ya que este se realiza mediante aire refrigerado exteriormente y la batería tan solo dispone de los conductos necesarios para canalizar dicho flujo de aire refrigerado.

Para el correcto desmontaje y montaje de los cuatro puntos de unión de la batería es necesario el empleo de un útil específico del fabricante que permite, de manera simultánea, desatornillar la unión y comprimir los muelles que la mantienen en tensión.



Imagen 32: Útil específico para desmontaje de baterías del Renault Fluence ZE (MS 1971) con sistema *QuickDrop*



Imagen 33: Conectores rápidos y orificios de centrado de la batería

4.2.2. SMART EQ FORFOUR (2018)

El proceso para el reemplazo de la batería de modelo Smart EQ ForFour (2018) se ha llevado a cabo siguiendo los pasos descritos anteriormente, vaciando previamente el circuito de refrigeración, desconectando las conexiones eléctricas de potencia y de control y desmontando las uniones atornilladas que fijan la batería a la carrocería del vehículo. Se ha sustituido de manera conjunta con el bastidor que soporta la batería.

La batería que se ha montado era procedente de otro modelo de idénticas características que había sufrido un accidente y había sido declarado pérdida total por motivos económicos, pero en el que su batería no presentaba daños y era perfectamente reutilizable.

Después de la instalación de la batería usada no fue necesario realizar ninguna operación de codificación o configuración para que el vehículo funcionase con la batería reutilizada.

4.3. REPARACIÓN MEDIANTE REEMPLAZO DE MÓDULOS

Una batería de BEV o PHEV está formada por la conexión en serie de un elevado número de celdas que, a su vez, se agrupan en módulos. Dado que todas las celdas trabajan desde un principio de manera conjunta, sometidas a las mismas exigencias de funcionamiento, a los mismos ciclos de cargas y descargas y a las mismas condiciones ambientales, lo habitual es que vayan sufriendo una degradación semejante y vayan perdiendo de una manera equilibrada su capacidad y su potencia.

Pero también puede ocurrir que alguna de las celdas sufra una degradación acelerada o un fallo de funcionamiento, provocados por un defecto de fabricación o por una refrigeración deficiente debido a la posición concreta que ocupa esa celda en el conjunto de la batería. En esas circunstancias, la degradación o deterioro de una sola de las celdas ocasionaría, bien una pérdida de prestaciones de toda la batería en conjunto, bien la interrupción de funcionamiento de toda la batería.

Debido al estricto control de los valores de tensión que se debe tener con las baterías de ion-litio, de lo que se encarga el BMS durante las cargas y descargas de cada celda, aquella que haya perdido de manera acelerada su capacidad llegará antes a su valor de tensión de carga máxima o a su valor de tensión de descarga mínima. En ese momento, el BMS deberá interrumpir la carga o descarga de la batería completa, impidiendo que el resto de las celdas, que disponen aún de suficiente capacidad, continúen cargándose o descargándose, traduciéndose esto en que la batería, por culpa de una sola celda, en la práctica ha perdido una parte importante de su capacidad y, por ello, de la autonomía de distancia que tendrá el vehículo.

Ante esta situación, las alternativas pasan por la sustitución de la batería completa o por la sustitución del módulo que contiene la celda deteriorada.

Tal y como se ha descrito en el apartado anterior, existen muchas baterías en las que técnicamente es posible realizar la sustitución de un solo módulo de batería. Para ello es necesario que la batería esté construida de tal modo que sea posible su apertura y cierre posterior en condiciones de seguridad, así como de tener disponibles módulos para realizar dicha sustitución.

En la siguiente experiencia realizada en CESVIMAP se ha procedido a la sustitución de uno de los módulos de una batería de un vehículo Hyundai Ioniq 5 que presentaba un defecto que, como consecuencia, impedía el funcionamiento de la batería en su conjunto y, por tanto, impedía el funcionamiento del vehículo.



Imagen 34: Desmontaje del módulo defectuoso



Imagen 35: Reposición de la pasta conductora del calor



Imagen 36: Reinstalación del módulo de reemplazo

4.3.1. PROCESO GENERAL DE REPARACIÓN MEDIANTE REEMPLAZO DE MÓDULOS

A partir de la experiencia adquirida en el desmontaje de baterías, su apertura, el desmontaje de sus módulos y los procesos de comprobación y reparación de baterías mediante la sustitución de módulos, es posible establecer un procedimiento universal aplicable a cualquier batería que sea posible reparar (ver Gráfico 1: Proceso de decisión sobre posibilidad de reparación de baterías).

Dado que las baterías de los EV suelen ir instaladas en la zona inferior del vehículo y en el exterior, hay que asegurar que, una vez reparada, mantiene la protección contra el agua y el polvo que tenía originalmente y que en condiciones normales de circulación y uso no va a entrar agua en el interior que pueda provocar una avería o un incidente mayor.

A continuación, se muestra el diagrama resumen del proceso:



Gráfico 4: Diagrama del proceso de reparación de baterías por sustitución de módulos

1 Identificar el módulo defectuoso

El primer paso a dar ante la sospecha del deterioro acelerado de una de las celdas de la batería, bien por una pérdida de autonomía significativa, bien por un fallo evidente de la batería, es proceder a la lectura de parámetros y defectos existentes en el BMS con un equipo de diagnóstico.

Todos los equipos de diagnóstico, ya sean los oficiales del fabricante o universales multimarca, proporcionan los valores de tensión de cada celda individual. La celda deteriorada presentará un valor de tensión significativamente inferior al resto de las celdas. Siempre que sea posible, esta medida debe realizarse con un estado de carga (SOC) de la batería lo más bajo posible (SOC < 10%) ya que en esas condiciones los desequilibrios de tensiones entre celdas son más apreciables.

2 Poner el vehículo en modo seguro

Esta operación, que se describirá con mayor detalle en un apartado posterior, básicamente consiste en eliminar la alta tensión en los circuitos del vehículo para poder hacer una intervención segura. Cada vehículo dispone de un procedimiento para realizar esta puesta en modo seguro que habrá que consultar y seguir. El objetivo final es conseguir que la batería de alta tensión no proporcione corriente.

3 Desmontar la batería del vehículo

Aunque cada vehículo y cada batería dispone de un sistema de montaje específico, en general, todas las baterías de EV se encuentran situadas en la zona inferior del vehículo y se encuentran unidas a la carrocería mediante tornillos. Adicionalmente, dispondrán de conectores de alta tensión por donde entra y sale la corriente de la batería, y otros conectores para señales de control y datos. Si, además, la batería dispone de algún sistema de refrigeración activo, bien por líquido refrigerante o por gas refrigerante, también tendrá las correspondientes tomas de entrada y salida de fluido. No hay que olvidar tampoco las conexiones equipotenciales de tierra.

Para un desmontaje seguro de la batería de un EV es necesario disponer de un sistema de elevación del vehículo que permita, en todo momento, el acceso total a los puntos de unión de la batería al chasis. Los elevadores de 2 columnas con 4 apoyos en los largueros del vehículo, o directamente elevando por las 4 ruedas son los más indicados para estas operaciones.

Dado el tamaño y peso de la mayoría de las baterías de EV, será conveniente disponer de una mesa elevadora específica para la manipulación de baterías. Esto es tanto o más importante a la hora de instalar nuevamente la batería en el vehículo, ya que este tipo de mesas elevadoras permiten realizar un posicionamiento preciso de la batería durante su elevación.

El primer paso, después de la puesta en seguridad, es vaciar el circuito de refrigeración si éste es de fluido (líquido o gas refrigerante). Es conveniente vaciar completamente de líquido el circuito de refrigeración interno de la batería, especialmente si tiene tubos que discurren por entre los módulos de la batería y, durante el desmontaje pudiese existir algún derrame en la zona de los módulos. Una manera eficaz de vaciar completamente el circuito de refrigeración líquido es insuflando aire a presión por uno de los extremos del circuito y recogiendo el fluido refrigerante por el otro orificio.

4 Abrir la batería

Para la apertura de la batería será necesario retirar todos los tornillos que perimetran la tapa y, en algunas baterías, cortar la junta de estanqueidad que existe entre la tapa y la caja de la batería. Hay que tener especial cuidado en no deformar la tapa ya que, si esto sucede, durante el montaje posterior, no podremos asegurar la necesaria estanqueidad del conjunto de la batería. Si el fabricante suministra la tapa como recambio, durante el proceso de desmontaje puede que sea necesario deformarla, cortarla o destruirla.

5 Medir la tensión en circuito abierto de cada módulo

Si no ha sido posible determinar el voltaje de cada una de las celdas mediante la lectura con el equipo de diagnóstico, será necesario realizar esta medida de manera directa mediante un voltímetro. Para poder medir la tensión en circuito abierto (OCV) de cada módulo, y también por motivos de seguridad, es conveniente reducir la tensión máxima a la que se deberá trabajar. La estrategia correcta para ello es ir dividiendo la tensión de la batería en mitades en sucesivos pasos hasta lograr que la máxima tensión a la que trabajemos sea inferior a la tensión de seguridad (inferior a 60 V según el Reglamento CEPE/ONU nº 100 para no considerarla alta tensión).

Este valor de tensión es importante ya que deberemos emplearlo en una fase posterior como tensión de consigna a la que debemos cargar/descargar el nuevo módulo a instalar.

Aunque se habla de la tensión de celda, a nivel práctico, lo que se puede medir es la tensión de los módulos, ya que no siempre es posible acceder a los terminales de los electrodos de cada celda.

Esta medida de tensiones nos servirá también para identificar físicamente el módulo que contiene la celda deteriorada. Esta identificación de los módulos puede suponer un problema ya que no existe forma normalizada de numerar las celdas ni los módulos dentro de una batería. Será necesario disponer de información del fabricante del vehículo respecto a la numeración de los módulos, así como del número de celdas en serie que contiene cada módulo. Una regla (no universal) es considerar que el módulo nº 1 es el que va conectado directamente al borne positivo de la batería.

6 Desmontar el módulo defectuoso

Si la batería es reparable, el desmontaje del módulo no tiene por qué suponer un problema. Será necesario desconectarle eléctricamente del módulo anterior y del módulo posterior y desmontar los tornillos que lo sujetan a la caja. En baterías con sistemas de refrigeración por fluido (gas refrigerante o líquido), es habitual que el circuito de refrigeración esté situado como un disipador de calor en la zona inferior y, para favorecer la transmisión de calor entre el módulo y el disipador de calor, se aplique una pasta conductora de calor. Esta pasta puede ejercer también una función de adhesivo, por lo que el desmontaje del módulo puede presentar alguna dificultad. También podemos encontrarnos cinta adhesiva de doble cara como método de fijación adicional.

7 Cargar/descargar el nuevo módulo hasta la tensión en circuito abierto de los otros módulos

El módulo que se vaya a instalar como reemplazo del módulo deteriorado debe igualarse en voltaje al resto de módulos de la batería. La razón de esta operación de igualación de tensiones es para evitar que cuando se realice la conexión eléctrica de todos los módulos exista un flujo de corriente eléctrica entre ellos sin conexión exterior de carga alguna.

Para el equilibrado de la tensión se empleará algún equipo que permita la carga/descarga del módulo hasta la tensión de consigna. Es necesario un equipo con una buena precisión de medida ya que los desequilibrios admisibles entre módulos o celdas de una batería son del orden de milivoltios. En caso contrario, el BMS podría detectar y clasificar ese desequilibrio como un fallo de la batería.

8 Instalar el nuevo módulo en la posición del módulo defectuoso

La instalación del nuevo módulo, una vez equilibrado su voltaje con el resto, se debe realizar en orden inverso al desmontaje. Si la batería incorpora pasta conductora del calor debajo de cada módulo, será necesario reponerla para asegurar la correcta transmisión del calor desde el módulo nuevo hacia el disipador de calor.

9 Comprobar el aislamiento eléctrico de los buses de CC

Antes de proceder a cerrar la batería, es conveniente realizar una comprobación de aislamiento para verificar que durante el proceso de desmontaje y montaje no se ha producido pérdida de aislamiento. La forma habitual de llevar a cabo esta comprobación es empleando un medidor de aislamiento o megaóhmetro, comprobando el valor del aislamiento entre los buses de corriente continua de la batería y la carcasa o chasis. Las comprobaciones se deben realizar con valores de voltaje iguales o superiores a los de la batería.

La conveniencia de esta operación antes de montar la batería en el vehículo viene determinada porque, en caso de haberse producido una pérdida de aislamiento, el sistema de vigilancia del EV lo detectará y pondrá fuera de servicio el sistema de alta tensión, obligándonos a volver a desmontar la batería del vehículo y a su nueva apertura para la corrección del fallo.

10 Cerrar la batería

Durante el cierre de la batería, montando nuevamente la tapa, habrá que prestar especial atención al estado de las juntas de estanqueidad. Puede ser necesario renovar dichas juntas para asegurar el correcto nivel de protección frente al agua y el polvo. Si la junta no es preformada, se deberá renovar la junta con un producto formador de juntas de características equivalentes al que originalmente traía la batería.

Otro aspecto para valorar será si se requiere de la sustitución de los tornillos por otros nuevos o de otro tipo. Esto es especialmente importante en aquellas baterías en las que se emplean tornillos autorroscantes en su fabricación. Y este montaje deberá hacerse siempre respetando los pares de apriete indicados por el fabricante.

11 Comprobar la estanqueidad de la batería

Aunque se haya verificado el estado de la junta de estanqueidad de la tapa, o se haya renovado, es conveniente realizar algún tipo de comprobación del nivel de estanqueidad de la caja de la batería. Esta comprobación puede ser realizada con presión o con vacío. La elección de una u otra técnica dependerá de la existencia y funcionamiento de la válvula de seguridad. Para la detección exacta del punto de fuga, suele recurrirse a insuflar algún tipo de gas inerte (helio, por ejemplo) y emplear un detector de ese tipo de gas recorriendo la periferia de la junta y otros posibles puntos por los que se hay podido perder la estanqueidad.

12 Reinstalar la batería en el vehículo

La instalación de la batería en el vehículo sólo requiere de seguir en orden inverso los pasos dados para su desmontaje. Es importante dar los pares de apriete indicados por el fabricante, sin olvidar las uniones de equipotencialidad de la batería al chasis.

Si la batería disponía de sistema de refrigeración por fluido, será necesario realizar el rellenado y purgado del circuito o la carga de gas refrigerante.

13 Restaurar la alta tensión en el vehículo

Siguiendo los pasos dados para la puesta en seguridad, pero en orden inverso, se restituirá la alta tensión en el vehículo.

14 Comprobar la batería en el vehículo

La comprobación final de la correcta reparación se realizará controlando el funcionamiento de la batería ya instalada en el vehículo. Esta comprobación debería pasar por una lectura de posibles códigos de defecto existentes, el borrado de estos, el control de los parámetros de funcionamiento, una prueba de circulación y una prueba de carga, a ser posible, tanto en corriente alterna como en corriente continua a alta potencia, si el vehículo dispone de esta opción.

4.3.2. REQUISITOS DE LOS MÓDULOS DE REEMPLAZO

En la experiencia llevada a cabo relativa a la reparación de la batería de un vehículo Hyundai Ioniq 5 mediante la sustitución de uno de sus módulos, se ha indicado que se trataba de un vehículo nuevo, cuya batería no había experimentado aún la lógica degradación debida al uso, por lo que se puede estimar que su SOH era muy cercano al 100 %.

Por otro lado, el módulo empleado para su reparación también era un módulo nuevo, con un SOH del 100 %.

Los fabricantes que contemplan la reparación de sus baterías mediante sustitución de módulos, y que además suministran como recambio módulos de batería, suministran siempre módulos nuevos, con un SOH del 100 %. De este modo, se aseguran de que la introducción de un nuevo módulo en serie con otros módulos que presentaran un SOH siempre inferior al 100 %, no penalice el rendimiento y prestaciones globales de la batería reparada.

Este debe ser el criterio técnico para aplicar cuando se repare una batería mediante la sustitución de un módulo: *“El módulo de reemplazo debe tener un SOH mayor o igual que el resto de los módulos.”*

Cuando empleamos módulos nuevos, suministrados como recambio por el fabricante del vehículo, siempre se cumplirá esta condición. Pero si empleamos módulos procedentes de otras baterías que han quedado fuera de uso, de modo que se favorezca una economía circular y un aprovechamiento completo de los recursos, también deberemos asegurarnos de que el criterio técnico anterior se cumple.

Ante esta situación, se hace necesario realizar una evaluación del SOH de las baterías o los módulos que se pretendan recuperar de vehículos y baterías fuera de uso.

Para esta evaluación del estado de los módulos y baterías existen diversas alternativas y posibilidades dependiendo del vehículo, de su estado y de la propia batería. A continuación, se describen estas opciones:

A Se tiene acceso a la lectura del BMS del vehículo (antes de desmontar la batería)

Si se pretende recuperar la batería de un vehículo al final de su vida útil, por ejemplo, debido a un accidente con pérdida total, y es posible el acceso mediante un equipo de diagnóstico a los datos que mantiene el BMS, deberemos extraer dicha información, entre la cual puede venir de manera explícita el SOH de la batería. También será posible extraer los kilómetros recorridos con esa batería, la cantidad de energía (kWh) cargada y descargada por la batería, el número de recargas realizadas y su tipo (lenta, semi-rápida, rápida), la fecha de fabricación... Con toda esta información también es posible establecer un criterio sobre el SOH de la batería.

Afortunadamente, en los BEV que en un futuro próximo se comercialicen en la UE, el valor normalizado del SOH será un dato que deberá registrarse en el BMS y que deberá ser accesible para las personas con intereses legítimos sobre la batería. Así se recoge en el Art. 14 del Reglamento (UE) 2023/1542 y también se contempla dentro de los requisitos aplicables a las baterías de BEV y PHEV en la futura norma EURO 7 cuando se refiere al estado de energía certificado (SOCE).

B No existe o no es accesible la información sobre el SOH en el BMS

Si se desea conocer el SOH de una batería, o de uno de sus módulos, de manera directa, será necesario someter a ese módulo a una medida de su capacidad remanente. El método más sencillo de medida directa, aunque implica un importante consumo de tiempo y energía, consiste en cargar y descargar completamente el módulo y medir la cantidad de energía eléctrica que ha sido capaz de suministrar desde el 100 % de estado de carga (SOC) hasta el 0 % del SOC. Para poder realizar este ensayo es imprescindible conocer los valores de tensión máxima y mínima que permite ese módulo ya que en las baterías de litio-ion sobrepasar los valores máximo y o mínimo de voltaje puede suponer el deterioro irreversible de las celdas.

Si tampoco conocemos el valor del SOH de los módulos de la batería que pretendemos reparar, será necesario realizar un ensayo similar con uno de los módulos que se encuentre en buen estado y determinar, bajo las mismas condiciones, cuál es su SOH.

4.4 OPERACIONES PREVIAS DE PUESTA EN SEGURIDAD

En cualquier vehículo que disponga de baterías de alta tensión es necesario realizar una serie de operaciones previas a la intervención sobre los componentes de alta tensión como es el caso de la batería. Aunque la regla general es evitar trabajar en zonas bajo tensión, en el caso de la batería y su reparación es imposible cumplir este requisito y lo único que se puede hacer es reducir el riesgo lo máximo posible.

Las operaciones de puesta en seguridad de un sistema eléctrico son comunes a toda instalación o máquina que presente riesgo eléctrico. El trabajo eléctrico no debe comenzar hasta que se hayan tomado las medidas de protección contra descargas eléctricas, cortocircuitos y arcos eléctricos.

Estas medidas de prevención se conocen como **"Las 5 reglas de oro"**:

1. Desconectar.
2. Prevenir cualquier posible reconexión.
3. Verificar la ausencia de tensión.
4. Poner a tierra y en cortocircuito.
5. Proteger frente a elementos próximos en tensión, en su caso, y establecer una señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo.

Estas cinco reglas para un trabajo seguro son vitales. Las reglas generalmente se deben observar en el orden establecido. Las cinco reglas de seguridad son genéricas para todos los sistemas de energía eléctrica, independientemente del nivel de voltaje.

4.4.1. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL FRENTE AL RIESGO ELÉCTRICO

En tanto no se verifique la ausencia de tensión en las zonas activas, el operario debe emplear una serie de equipos de protección individual (EPI) específicos para el riesgo eléctrico. A continuación, se indican los equipos de protección individual que, dependiendo de la operación a realizar, deben emplearse.

- **Protección de contacto a través de la cabeza** (EN 50365:2002)
- **Protección facial y ocular** (EN 50365:2001)
- **Ropa de protección contra choques eléctricos** (EN 50286:1999)
- **Protección en manos y brazos** (EN 60903:2003)
- **Herramientas aisladas eléctricamente** (IEC 60900)



Imagen 37: Herramienta aislada eléctricamente IEC 60900

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis realizado en una amplia muestra de BEV y baterías existentes en el mercado, se pueden extraer dos resultados principales:

- La mayoría de las baterías de los BEV y PHEV del mercado son técnicamente reparables mediante la sustitución de módulos.
- Muchos fabricantes no contemplan este tipo de reparaciones ni suministran los recambios necesarios para llevarlas a cabo.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos en las experiencias realizadas:

	MARCA	MODELO (AÑO)	CAPACIDAD DE LA BATERÍA (kWh)	¿PERMITE EL FABRICANTE REPARAR LA BATERÍA?	¿SUMINISTRA EL FABRICANTE MÓDULOS DE BATERÍA COMO RECAMBIO?	¿ES POSIBLE REPARAR LA BATERÍA CON MÓDULOS RECUPERADOS?
1	Mitsubishi	Outlander PHEV (2016)	8.4	SÍ	SÍ	SÍ
2	Hyundai	Ioniq PHEV (2016)	8.9	NO	NO	SÍ
3	Tesla	Model S 85 (2016)	85.0	NO	NO	NO
4	Renault	Zoe (2015)	40.0	NO	NO	SÍ
5	Opel	Corsa-e (2020)	50.0	NO	NO	SÍ
6	Renault	Fluence ZE (2011)	24.0	NO	NO	SÍ
7	Porsche	Taycan 4S (2020)	71.0	SÍ	SÍ	SÍ
8	Hyundai	Ioniq 5 (2021)	72.6	SÍ	SÍ	SÍ
9	Smart	EQ ForFour (2018)	17.6	NO	NO	SÍ
10	Fiat	500-e (2019)	37.3	NO	NO	SÍ
11	BMW	i3 (2018)	40.0	SÍ	SÍ	SÍ
12	Volkswagen	ID3 (2020)	62.0	SÍ	SÍ	SÍ
13	Hyundai	Kona-e (2021)	64.0	SÍ	SÍ	SÍ
14	Mercedes-Benz	A-Class 250e (2020)	15.6	NO	NO	NO

Gráfico 5: Resultados sobre la reparación de baterías

Las limitaciones técnicas encontradas para poder llevar a cabo la reparación de una batería mediante la sustitución del módulo que contiene la celda dañada vienen determinadas por los métodos empleados para el montaje en fábrica de éstas. Determinadas técnicas de unión de las piezas hacen inviable el desmontaje posterior sin deterioro permanente de las mismas. Esto implica que tampoco sería posible recuperar componentes de otras baterías para emplearlos en reparaciones. Sirva como ejemplo el caso estudiado del Tesla Model S, donde para retirar la tapa es necesaria su destrucción, pero el fabricante no suministra este elemento como recambio.

En casi ninguno de los casos estudiados es posible la sustitución de celdas individuales ya que, bien su conexión eléctrica, bien su montaje mecánico para conformar el módulo, impiden su separación (soldadura entre celdas, adhesivos no desmontables). Como caso excepcional se encontrarían los módulos de baterías del Mitsubishi Outlander PHEV en los cuales es posible separa las celdas que los constituyen al ser todo uniones amovibles (atornilladas).

Respecto a la sustitución completa de una batería por otra procedente de otro vehículo, en las experiencias realizadas, se ha podido hacer sin ningún tipo de contratiempo ni ha sido necesaria ninguna operación adicional, más allá del desmontaje y montaje. No obstante, dependiendo del modelo de vehículo, en caso de realizar un intercambio de baterías, puede ser necesario llevar a cabo una configuración de adaptación de la batería instalada para que su electrónica de control (BMS) pueda comunicarse adecuadamente con el resto de la red del vehículo.

Un aspecto que se ha encontrado como crucial en la reparación de las baterías por sustitución de módulos ha sido cómo devolver las condiciones de estanqueidad a la batería una vez abierta y cómo poder comprobarlo para asegurar que la batería reparada mantiene las condiciones de seguridad requeridas para su utilización. En el caso de los fabricantes que sí contemplan la reparación de la batería (Hyundai, por ejemplo), disponen de los equipos necesarios para realizar las comprobaciones, de procesos de trabajo definidos y de criterios de aceptación/rechazo.

Otro aspecto importante, especialmente en aquellas baterías que disponen de un sistema de refrigeración activa, es la reposición de la pasta térmica conductora del calor. Si el fabricante no suministra este producto como recambio, será necesario encontrar una pasta equivalente, con propiedades, tanto de conducción térmica, de relleno como de adherencia, similares a la pasta original.

El estudio y experiencias realizadas se han centrado en la reparación de baterías mediante la sustitución de un módulo que presentaba un defecto, bien por problemas de fabricación, bien por agotamiento prematuro. Pero en la vida de una batería de BEV se pueden producir otros problemas derivados del propio uso del vehículo.

Algunos de los problemas que nos podemos encontrar durante la vida de una batería son aquellos relacionados con los posibles accidentes que pueda sufrir el BEV o su batería. Debido a su posición en el vehículo, la batería se encuentra expuesta a golpes e impactos contra objetos provenientes del exterior que pueden causar daños (estéticos o funcionales) en la envolvente de la batería. La situación actual, en muchos fabricantes de vehículos, es que no suministran como recambios partes de la batería. Como consecuencia, ante cualquier daño en dicha envolvente, la única solución ofrecida por los fabricantes es la sustitución completa de la batería. Aparte del importante desembolso económico que esto supone para el propietario o para la compañía aseguradora del vehículo, se produce un desperdicio muy importante al destinar al reciclado una batería que, electroquímicamente, se encuentra aún en condiciones de prestar el servicio para el que fue diseñada.

Otro tanto puede ocurrir, por ejemplo, con los conectores eléctricos externos. Estos componentes también se encuentran expuestos a posibles accidentes por causa externa. En caso de la rotura de su carcasa plástica, la única solución que ofrecen los fabricantes de automóviles consiste en la sustitución de la batería completa ya que no contemplan el suministro como recambio de estos componentes cuando es perfectamente viable su desmontaje (mecánico y eléctrico) y su sustitución por uno nuevo.

Además de componentes estáticos de las baterías como los mencionados anteriormente, existen otros elementos susceptibles de fallo por desgaste o avería. Nos referimos a los relés que permiten la conexión y desconexión de la batería con el exterior. Estos componentes electromecánicos, durante su funcionamiento ordinario, se ven sometidos a desgaste, tanto de su parte mecánica, como consecuencia de los movimientos repetitivos, como en su parte eléctrica, como consecuencia del establecimiento e interrupción de corriente que va degradando poco a poco sus contactos debido a la electroerosión que producen las chispas que, inevitablemente, se ocasionan en estas maniobras.

Por tanto, los relés de conexión de la batería serían otros de los elementos susceptibles de sustitución por relés recuperados de otra batería. No obstante, en el caso concreto de los relés hay que evitar la reutilización de estos si proceden de un vehículo accidentado en que se hayan activado los sistemas de retención suplementarios (*airbags* y/o pretensores).

El sistema de control de las baterías de los BEV gestiona la desconexión de la batería en caso de accidente para evitar la existencia de tensión en el vehículo accidentado. La forma más sencilla consiste en la apertura de los relés de conexión. El problema reside en que estos relés están pensados para establecer o interrumpir la corriente desde la batería hacia el inversor con el vehículo parado y sin solicitud de potencia, es decir, están diseñados para que, en funcionamiento normal, sólo manejen pequeñas corrientes durante las maniobras de cierre y apertura. En una situación de accidente, el vehículo estará en movimiento y, por tanto, con una solicitud de potencia que implicará que los relés tengan que interrumpir una corriente muy importante, ocasionando un potente arco eléctrico que deteriorará o, incluso, llegará a fundir los contactos de los relés. Esto puede verse acrecentado si el conductor, en el momento del accidente está realizando una frenada de emergencia, con la consecuente recuperación de energía hacia la batería (frenada regenerativa). Por todo lo anterior, los relés solo deben reutilizarse si se tiene la certeza de que el vehículo del que provienen no ha sufrido un accidente con despliegue de los *airbags*.

Haciendo una enumeración de los componentes susceptibles de reutilización que pueden ser obtenidos de una batería de BEV, tendríamos los siguientes:

- Tapa superior de la batería
- Caja contenedora de la batería
- Relés de conexión (sólo de vehículos no accidentados)
- Sensores de corriente
- Resistencias de precarga
- Condensadores de filtrado
- Conectores eléctricos
- Circuitos de refrigeración
- Módulos electrónicos de equilibrado de celdas
- *Battery Management System* (BMS)
- Y, en general, todos aquellos que vayan montados mediante uniones amovibles o mediante soldadura blanda (estaño-plomo)

Para aquellos vehículos y fabricantes que actualmente no suministran partes de las baterías como recambios, se abre una interesante oportunidad de negocio para los centros de tratamiento de vehículos fuera de uso y para los gestores de baterías, pudiendo volver a poner en el mercado esos componentes para los que el fabricante no dispone de suministro, contribuyendo de este modo a alargar la vida de las baterías, facilitando su reparación en vez de su sustitución, reduciendo el consumo de recursos escasos y reduciendo el desperdicio que supone el reciclado de una batería cuando aún puede seguir utilizándose.

Finalmente, hay que considerar en qué circunstancias será técnica, económica y contractualmente viable la reparación de una batería. A este respecto hay que considerar las condiciones en las que el fabricante de vehículos ofrece la garantía sobre sus baterías. Más allá de la legislación sobre la garantía de bienes de consumo duradero que rige en la UE (Directiva (UE) 2019/771), los fabricantes de VE suelen ofrecer una garantía comercial cuya duración se extiende más allá de los años requeridos por la garantía legal, siendo habitual encontrarse extensiones de garantía de carácter comercial que llegan hasta los 8 años o 160.000 km, asegurando un rendimiento de la batería de, al menos, el 70 % respecto a su rendimiento inicial.

Los requisitos que suelen establecer los fabricantes para poder ejercer el derecho a dicha garantía suelen estar ligados a realizar los mantenimientos y reparaciones del vehículo, incluida su batería, en la red oficial de concesionarios, siguiendo estrictamente los métodos de reparación preconizados y empleando exclusivamente recambios originales.

En el caso de fabricantes que no contemplan la posibilidad de reparación de las baterías, realizar una reparación mediante sustitución del componente defectuoso por otro idéntico recuperado de otra batería fuera de uso, tal y como se ha desarrollado en el presente estudio, invalidaría la extensión de garantía comercial, siendo esto una importante dificultad a la hora de ser un método válido y aceptado por el mercado.

Hoy en día, el método propuesto de reparación por sustitución de componentes por otros recuperados sólo sería plenamente aceptado en vehículos cuya garantía, tanto legal como comercial, haya expirado.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

A continuación, se resumen las conclusiones a las que se pueden llegar después de los trabajos realizados orientados a evaluar la posibilidad de reparación de baterías de EV.

- La reparación de baterías de BEV sólo es viable técnicamente en los casos en los que sea posible la apertura de la batería y el desmontaje de los módulos (u otros componentes a sustituir) y que, además, sea posible su posterior montaje de modo que se restituya a su estado original con las suficientes garantías de funcionamiento y seguridad. Esto implica que no se empleen en fabricación determinados métodos de unión (soldadura, adhesivos fuertes...) de modo que se favorezca la reparación, la segregación de componentes y el reciclado de las baterías con un coste de mano de obra asumible.
- Aún existen muchos fabricantes de BEV que no contemplan la posibilidad de reparación de sus baterías, ni suministran los recambios necesarios para esas reparaciones, ni tampoco tienen previstos métodos de trabajo adecuados para garantizar la correcta reparación de sus baterías.
- La alternativa a la falta de suministro de recambios por parte de los fabricantes pasa por el empleo de piezas recuperadas de otras baterías pertenecientes a vehículos que han llegado a fin de su vida útil.
- En aquellas baterías en las que es técnicamente posible su apertura y cierre seguro, la decisión sobre la reparación depende únicamente de la política de comercialización de recambios del fabricante del vehículo en un determinado mercado o país. De este modo, nos podemos encontrar con que, el mismo vehículo y la misma batería es reparable en un país pero no lo es en otro a discrecionalidad del fabricante o importador.
- En el caso de reparación por sustitución de módulos, los módulos a instalar deben disponer de un SOH igual o superior al resto de módulos de la batería. Esto conlleva la necesidad de conocer tanto el SOH de los módulos de la batería a reparar como el SOH de los módulos de la batería donante, así como de métodos efectivos y normalizados de determinación del parámetro SOH.

- La reparación de baterías en condiciones de seguridad implica, no sólo la disponibilidad de recambios, sino también la adecuada formación del personal que realice estos trabajos, tanto en procedimientos de seguridad en el trabajo que cumplan la legislación vigente de cada país al respecto (riesgos en trabajos eléctricos), como en las tecnologías de las baterías.
- En algunas reparaciones, ya sea por sustitución de módulos o por reutilización de baterías completas procedentes de otro vehículo, puede ser necesaria la reconfiguración a nivel de *software* de algunos componentes electrónicos de control de esas baterías (BMS) para que puedan funcionar de manera adecuada en el vehículo reparado.
- Tan importante como devolver con una reparación la funcionalidad eléctrica a la batería es asegurar que, después de la intervención, se restituyen al estado original la estanqueidad de la batería y la adecuada conductividad térmica para la refrigeración de los módulos. Esto implica la sustitución o reposición de la junta que genera la estanqueidad en la tapa de la batería, así como la reposición del material de interface térmica (TIM). Conviene disponer de métodos de comprobación de la estanqueidad para asegurar que la reparación se ha realizado de manera correcta.

Se prevé que muchas de las dificultades o impedimentos que nos hemos encontrado en los trabajos realizados vayan desapareciendo durante los próximos años, principalmente ocasionado por la entrada en vigor del nuevo Reglamento (UE) 2023/1542 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de julio de 2023, relativo a las pilas y baterías y sus residuos y por el que se modifican la Directiva 2008/98/CE y el Reglamento (UE) 2019/1020 y se deroga la Directiva 2006/66/CE.

Gracias a la entrada en vigor de este reglamento, se prevé que las baterías sean fácilmente desmontables y que el fabricante proporcione instrucciones precisas para que los operadores independientes, de forma no discriminatoria, tengan acceso a la información necesaria para el desmontaje y reparación en condiciones de seguridad.

Asimismo, se prevé que el acceso a la información sobre el estado de salud de las baterías sea de fácil acceso, con lo que será sencillo determinar el estado de una batería y sus componentes, así como su aptitud para la remanufactura, una segunda vida o el reciclado.

Todos estos cambios normativos promoverán una mayor tasa de reparación frente a la sustitución, la generación de un nuevo mercado de suministro de componentes de baterías para su reutilización, así como la aparición de nuevas oportunidades de trabajo en el sector reparación de vehículos que compensen de alguna manera la disminución de tareas de mantenimiento y reparación que los BEV están trayendo a los talleres de reparación de vehículos.

