

Baterías de electromovilidad para segunda vida y el reciclaje

Recomendaciones de infraestructura, equipos de seguridad, procedimientos internos y formación como pilares para una gestión segura.

Escriben: María Belén Amarilla Collares, Karolin Haupt, Pablo Caldeiro

Cuáles son los riesgos en la gestión de baterías de electromovilidad

El mercado de los vehículos eléctricos está creciendo y, con él, la cantidad de baterías de iones de litio. Los fabricantes normalmente ofrecen garantías de performance en la batería por 6-8 años o 150.000 km, aunque podrían ser utilizadas en los vehículos incluso después, aunque con menores prestaciones. Las baterías pueden ser utilizables posteriormente, en una segunda vida en otras aplicaciones con demandas menos exigentes antes de ser finalmente recicladas. Gestionar las baterías a lo largo de todo su ciclo de vida es fundamental, evitando un destino final inadecuado de la batería y sus componentes, y la extracción de grandes cantidades de materias primas críticas, que deben minimizarse para permitir una transición justa y sostenible.

El manejo y gestión de las baterías de electromovilidad introduce elementos de riesgo que no están presentes en los vehículos convencionales, principalmente por la incorporación de baterías de ion-litio de alto voltaje (AT por sus siglas - HV en idioma inglés). El manejo de AT en los vehículos –baterías en 400 V o incluso más- así como la fuga térmica –*thermalrunaway*- aparecen como los principales riesgos a contemplar para las instalaciones y personas. Los riesgos químicos también pueden aparecer, especialmente cuando se trabaja a nivel de módulo o celdas.

El vehículo eléctrico y la batería cuentan con sistemas de protección propios para evitar daños en términos generales o en sus componentes electrónicos ante una situación de manipulación o apertura, pero no siempre evitan que una persona reciba una descarga eléctrica, sufra quemaduras o se exponga a un arco eléctrico si interviene sin la formación adecuada o sin aplicar procedimientos seguros.

Un conjunto de riesgos aparecen durante la gestión de la batería completa en el vehículo, transporte, y desmontaje para su análisis o reparación. Asimismo, las baterías destinadas a segunda vida como módulos o para reciclaje, requieren su desarme y operación a nivel de módulos o celdas, introduciendo un nuevo nivel de riesgo para la infraestructura y las personas.

La evaluación de riesgos es un proceso continuo que permite identificar peligros y evaluar los riesgos asociados, con el fin de implementar medidas efectivas de seguridad en el trabajo. Las medidas pueden ser de tipo técnico como el aislamiento y el recubrimiento fijo; organizativas, como la señalización de vehículos de AT y la aplicación de protocolos; y personales, como el uso de equipos de protección individual (EPI).

Algunos países han avanzado en la elaboración de normativa obligatoria con distinto nivel de detalle, dejando en algunos casos a criterio de los gestores la elaboración de los protocolos sugeridos para la prevención y mitigación de riesgos. En este sentido, la *DGUV Information 209-093* rige en Alemania de forma obligatoria para sistemas de AT en vehículos, al igual que el Real Decreto 614/2001 en España, que en este caso engloba todo tipo de trabajo tanto para instalaciones como vehículos, con un abordaje más genérico.

Teniendo presente la experiencia de estos países que ya trabajan con sistemas de AT, es altamente recomendable para mitigar riesgos y proporcionar una gestión segura, que los operadores/gestores contemplen cuatro tipos de medidas:

- Infraestructura adecuada para evitar o contener riesgos asociados a sistemas de AT
- Herramientas y equipos de protección individual (EPI) adecuados al nivel de riesgos a enfrentar
- Establecer protocolos o procedimientos internos de seguridad, para el manejo de las baterías y sus componentes
- Brindar una formación continua acorde a todo el personal involucrado en las actividades de la empresa (almacén, transporte, operaciones), incluyendo a aquellos de servicios que pudieran ser tercerizados.

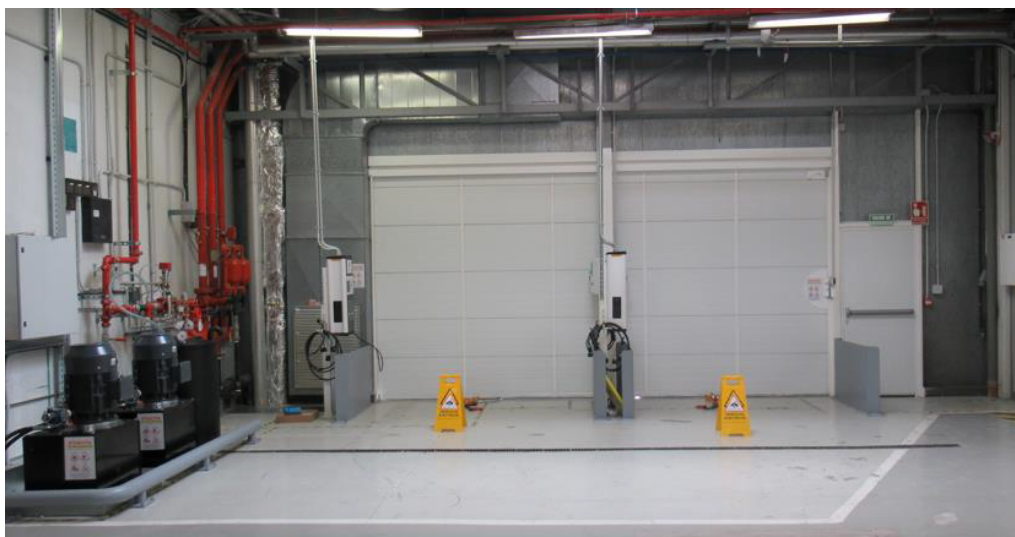
Recomendaciones para la Infraestructura

La infraestructura dedicada al almacenamiento de baterías y vehículos eléctricos debe estar diseñada específicamente para mitigar riesgos asociados a incendios, sobrecalentamientos y fallos eléctricos. Se debe evaluar el entorno del lugar de trabajo, incluyendo humedad, presencia de materiales inflamables, atmósferas explosivas o ambientes corrosivos, ya que estos factores incrementan el riesgo eléctrico.

Se sugiere la implementación de zonas diferenciadas, construidas con materiales resistentes al fuego, dotadas de ventilación adecuada y sistemas de protección contra cortocircuitos. Incluir sistemas de detección de humo y vigilancia térmica activa como cámaras termográficas para la monitorización continua de la temperatura de las estanterías exteriores, es otra medida recomendada. Se recomienda que los contenedores para carga y

descarga estén forrados con materiales ignífugos y los contenedores de cuarentena estén conectados a sistemas de alarma que alerten a los equipos de primera intervención.

Para el almacenamiento de vehículos eléctricos, se recomienda que la infraestructura se organice en islas de no más de cuatro unidades.



Es recomendado que las estaciones de carga estén equipadas con detectores de fuego, cámaras térmicas, agentes extintores (como F500), sistemas de apertura automática de puertas y extracción forzada de aire. En todos los casos, la infraestructura debe contemplar elementos de contención resistentes a impactos y ubicarse lejos de materiales inflamables, garantizando un entorno controlado y seguro.

De ser posible, tener el sector de trabajo de los vehículos en una zona que permita la rápida extracción al exterior en caso que se configure un incendio, y los medios para contenerlo, como ser una batea con salmuera.

Recomendaciones para herramientas y equipos de protección individual (EPI)

Dentro de las herramientas que se sugiere contar en los gestores, se incluyen cámaras térmicas, multímetros, llaves, destornilladores (todos ellos con aislación adecuada) y otros equipos necesarios para las operaciones que realice el gestor. Es importante destacar que los propios fabricantes tienen su set de herramientas, adecuados a los tipos de roscas y montajes, que deben ser incluidos.

En esta sección también deben incluirse elementos para el transporte que sean concebidos para aislar eléctricamente la batería de otros componentes metálicos.



En relación a los EPI, se recomienda fuertemente contar con guantes aislantes de la categoría de tensión adecuada, visores y ropa protectora contra el riesgo eléctrico.



En el cuadro que se presenta a continuación se sugieren los EPI esenciales y complementarios para la colocación y retirada de puesta a tierra de sistemas de alta o baja tensión.

Tabla N°1 - EPI para trabajo con AT y BT, principal y complementario

	Equipo principal	Equipamiento complementario
EPI AT para colocación y retirada de puesta a tierra		Ropa de trabajo adecuada y diseñada para el riesgo eléctrico
	Guantes aislantes para alta tensión	
	Guantes de protección contra riesgos mecánicos	Calzado de trabajo
	Guantes de protección contra el arco eléctrico	
	Pantalla facial inactiva/gafas adecuadas al arco eléctrico	
	Arnés o cinturón de seguridad, si procede	
	Casco de seguridad aislante con barboquejo	
EPI BT para colocación y retirada de puesta a tierra		Ropa de trabajo adecuada y diseñada para el riesgo eléctrico
	Guantes aislantes para trabajos en baja tensión	
	Guantes de protección contra riesgos mecánicos	Calzado de trabajo
	Guantes de protección contra el arco eléctrico	
	Pantalla facial inactiva/gafas adecuadas al arco eléctrico	
	Arnés o cinturón de seguridad, si procede	
	Casco de seguridad aislante con barboquejo	

Fuente: Elaboración propia conforme a la guía técnica del Real Decreto 614/2001

Recomendaciones en protocolos o procedimientos internos de seguridad

En forma complementaria a la infraestructura, herramientas y equipos de protección, los protocolos para manipulación, control de temperatura, y planes en caso de incendio o fuga térmica son fundamentales para poder actuar en forma segura. En este sentido, la regulación alemana DGUV 209-093 proporciona un marco para la formación del personal que trabaja en vehículos equipados con sistemas de HV, incluyendo instrucciones sobre cómo organizar un trabajo seguro basándose en la evaluación de riesgos. Asimismo, determina la formación específica necesaria para el personal involucrado.

Se deben realizar evaluaciones de riesgos e implementar medidas de seguridad; asegurar que sólo personal debidamente cualificado trabaje en los sistemas AT y elaborar instrucciones claras para las tareas relacionadas con sistemas HV, estableciendo

estructuras y procesos organizativos adecuados. Así, tanto la regulación alemana DGUV 209-093 como el

Real Decreto 614/2001, establecen cinco reglas básicas de seguridad para garantizar que los sistemas y equipos no estén en estado de no tensión antes y durante todo el tiempo que duren los trabajos. En pocas palabras, los trabajos en el sistema de AT no podrán iniciarse hasta que se hayan tomado las medidas de protección contra descargas eléctricas, cortocircuitos y arcos de falla.



Tabla N°2 - Reglas básicas de seguridad sugeridas por la reglamentación DGUV 209-093 y el RD 614/2001

Regla de Seguridad	¿Qué hacer?	Ejemplos de Medidas de Seguridad
1. Desconectar completamente	- Apagar el encendido - Retirar enchufe de servicio o desconectar interruptor principal de batería - Retirar fusibles - Activar dispositivo de desconexión (línea piloto/interlock) - Desconectar batería 12 V - Desconectar de red fija (ej. enchufe de carga) - Seguir procedimiento de diagnóstico	- Dispositivo de aislamiento (desconectador de servicio, enchufe de mantenimiento, etc.) - Contactos de ruptura anticipada (línea piloto) - Desconexión automática al abrir cubiertas (incluida la del motor) - Comprobador de estado sin tensión
2. Asegurar contra la reconexión	- Retirar llave de encendido - Prevenir acceso no autorizado - Asegurar enchufe/interruptor con candado o cubierta - Seguir normas internas y del fabricante	- Enchufe y toma en cables - Interconexiones seguras Plug & Socket / Interlock o línea piloto con tolerancia a fallas - Contactos de ruptura anticipada para evitar arcos
3. Verificar la ausencia de tensión	- Usar comprobador adecuado (bipolar, no multímetro) - Verificar antes de trabajar - Tener en cuenta posibles cargas residuales	- Cubiertas solo removibles con herramientas - Tiempo mínimo de apertura mayor al de descarga - Confirmación de estado no activo
4. Realizar puesta a tierra y cortocircuito (solo si aplica)	- En vehículos aislados, no se aplica puesta a tierra - No se deben cortocircuitar acumuladores químicos - Evitar cortocircuito por riesgo de daño/explosión - Seguir instrucciones del fabricante	- Dispositivo de parada de emergencia - Descarga de energía residual - Monitorización del aislamiento - Sistema eléctrico aislado - Conexión equipotencial - Señalización HV
5. Proteger contra partes activas adyacentes	- Aislar completamente antes de trabajar - Si se trabaja con partes activas, cubrir partes expuestas no involucradas - Desactivar medidas en orden inverso - Retirar herramientas y asegurar el área tras finalizar	- Pantallas aislantes para partes activas - Procedimiento inverso para reactivación - Control del entorno de trabajo

Fuente: Elaboración propia con base en la Reglamentación DGUV 209-093.

Nota: Mientras que las tres primeras reglas son obligatorias en todos los trabajos con sistemas HV, la aplicación de las dos últimas dependerá del contexto específico.

¿Cuándo podemos asumir que no estamos ante riesgos por descarga eléctrica en sistemas de AT? Cuando el contacto con piezas bajo tensión no es peligroso, cumpliéndose una de las siguientes condiciones en las partes expuestas:

- La tensión máxima es de AC 25 V o DC 60 V para frecuencias de hasta 500 Hz y cumple los requisitos para SELV (tensión extra baja de seguridad) o PELV (tensión extra baja de protección) especificados en HD 60364-4-41.
- Para tensiones con frecuencias de hasta 500 Hz sobre AC 25 V o DC 60 V, la corriente generada no excede de AC 3 mA efectivos o DC 12 mA debido a una resistencia no inductiva de 2 kΩ.
- La energía de descarga no supera los 350 mJ.

No obstante, existe un riesgo si los valores mencionados se respetan en funcionamiento normal, pero se superan en caso de que se produzca un fallo o avería. Además, deben tenerse en cuenta todos los riesgos de arco eléctrico provocado por un acumulador, y el riesgo de alta energía de descarga generada por un condensador.

Recomendaciones de Capacitación del personal

Es esencial que quienes trabajan en sistemas de AT estén calificados tanto física como técnicamente. La normativa DGUV 209-093 establece las cualificaciones que debe poseer el personal, las cuales varían según el tipo de actividad. Se distinguen cuatro niveles de cualificación, que van desde una sensibilización básica hasta el trabajo con componentes de alto voltaje (AT) bajo tensión.

La sensibilización es obligatoria incluso para el personal que únicamente opera el vehículo. Esto incluye la conducción en pruebas, tareas de limpieza o la manipulación de accesorios del vehículo.

Las actividades generales en el vehículo que no implican tensión eléctrica requieren al menos dos unidades de formación. En estas se sensibiliza especialmente sobre los peligros asociados a los sistemas HV.

Las personas calificadas están capacitadas para trabajar en sistemas HV. Para ello se requiere una formación electrotécnica. Dependiendo de los conocimientos previos del empleado, la formación abarca entre 16 unidades prácticas y hasta 100 horas teóricas. La cualificación debe acreditarse mediante un examen final y actualizarse periódicamente mediante cursos de formación. Los contenidos principales incluyen conocimientos básicos

de electrotecnia, medidas de protección, primeros auxilios, responsabilidades técnicas y de supervisión, así como el uso seguro de sistemas HV en vehículos.

El nivel más alto de cualificación incluye el trabajo con componentes HV bajo tensión, que conlleva un riesgo significativo. Estas actividades solo pueden ser realizadas por personas mayores de 18 años, sin limitaciones de salud, que hayan aprobado el examen de cualificación técnica y cuenten con una formación en primeros auxilios, incluida la reanimación cardiopulmonar. Además, se requiere al menos un año de experiencia profesional en el área eléctrica. Para este tipo de trabajos también se exige la presencia de al menos otra persona calificada.

Los contenidos de la formación deben comprender un mínimo de 24 unidades, de las cuales al menos 16 deben ser prácticas. Esta formación debe ser validada mediante examen y renovarse periódicamente. Los temas principales incluyen procedimientos de trabajo seguro con sistemas bajo tensión, así como características específicas y riesgos asociados a los acumuladores de energía HV.

Los siguientes bloques temáticos resumen los contenidos clave que deben dominar las personas plenamente cualificadas para realizar intervenciones seguras y profesionales en sistemas de alto voltaje.

Tabla N°3 - Contenidos clave de cualificación para trabajos en sistemas de AT según norma DGUV 209-093

Área temática resumida	Contenidos principales
Fundamentos técnicos y electrotecnia	Principios eléctricos (tensión, corriente, resistencia, potencia), componentes (motores, baterías, semiconductores), esquemas eléctricos, mediciones (voltaje, resistencia, continuidad), lectura e interpretación de planos
Seguridad eléctrica y primeros auxilios	Riesgos eléctricos para el cuerpo humano, medidas de protección contra descargas y arcos eléctricos, primeros auxilios específicos, procedimientos ante accidentes eléctricos, uso de equipos de protección (EPI)
Normativas y responsabilidad profesional	Legislación internacional y nacional (UNECE R100, DGUV, TRBS), normas técnicas (DIN, ISO, VDE), evaluación de riesgos, documentación de pruebas, responsabilidad de personal técnico y directivo
Aplicación práctica en sistemas HV	Diseño y funcionamiento de sistemas HV (eléctricos, híbridos, celdas de combustible), trabajo con componentes en vehículos (baterías, inversores, convertidores, motores), procedimientos de desconexión, identificación de componentes, prácticas de medición y diagnóstico
Trabajo bajo tensión	Procedimientos seguros para trabajar con sistemas HV energizados, uso de herramientas y equipos de medición, sustitución de celdas/componentes, formación específica, condiciones de acceso (edad, salud, experiencia), peligros específicos (químicos, térmicos, eléctricos)

Fuente: Elaboración propia con base en la Reglamentación DGUV 209-093.

En el caso de Alemania, la adopción de la normativa es obligatoria por parte de las empresas vinculadas a electromovilidad y la gestión de baterías; otros países han optado por dar lineamientos a las empresas para que establezcan sus propios programas de formación. Debe agregarse que normalmente los propios fabricantes obligan a la formación del personal en los talleres de importadores y su red interna.

En cualquier caso, es recomendable contar con normativa e instituciones que puedan brindar la formación y certificar a los operarios, y que eventualmente existan reválidas con cursos brindados por los propios fabricantes.

Consideraciones especiales en el desguace, reutilización o reciclaje

Hay que tener en cuenta los riesgos eléctricos que presenta el vehículo de alta tensión cuando se desguaza/reutiliza/recicla. Los sistemas de alta tensión (AT) en vehículos pueden identificarse mediante ciertos elementos visuales clave, como cables de color naranja, señales de advertencia específicas, y baterías con voltajes superiores a los convencionales de 12, 24 o 42 voltios. Estos indicadores permiten reconocer la presencia de un sistema AT incluso cuando no es evidente externamente.

Los componentes AT pueden representar un riesgo significativo si están dañados, existiendo la posibilidad de que se produzcan arcos eléctricos o descargas, lo que representa un peligro para la seguridad de quienes manipulan el vehículo.

Por este motivo, antes de realizar cualquier desmontaje o manipulación, el sistema AT debe ser puesto en estado sin tensión de manera segura. Esta tarea debe ser realizada por una persona calificada (FHV) y conforme a las instrucciones del fabricante del vehículo para evitar cualquier tipo de incidente eléctrico.

Una vez aislado el sistema, los componentes AT, incluidos los dispositivos de almacenamiento de energía como baterías o supercondensadores, deben ser retirados y gestionados de acuerdo con las directrices establecidas, garantizando una eliminación o reciclaje seguros y respetuosos con el medio ambiente.

Tabla N°4 - Riesgo y precaución ante desguace, reutilización o reciclaje

Riesgo	Precaución
Choque eléctrico y arco de falla (en sistemas HV)	- Seguir especificaciones del fabricante. - Verificar si hay componentes HV antes de realizar trabajos no eléctricos; si los hay, desactivar el sistema HV. - Solo personal calificado o supervisado debe trabajar en sistemas HV. - Marcar vehículos con componentes HV (p. ej. señal W08). - Marcar el estado de conmutación de los componentes HV según DGUV 209-093. - Marcar el área de trabajo durante tareas eléctricas.
Riesgos de tensión	- Inspección visual para detectar defectos visibles. - Trabajos solo con el sistema HV desactivado y aplicando las 5 reglas de seguridad (las tres primeras siempre, las otras dos según el caso). - Usar comprobadores de tensión bipolares según DIN EN 61243-3 (VDE 0682-401).
Protección contra componentes adyacentes activos	- Cubrir componentes vivos cercanos con cubiertas según DIN EN 61112 (VDE 0682-511).
Arco electrónico / falla térmica	- Seleccionar EPP adecuado contra arco de falla térmica siguiendo DGUV 203-077.
Riesgo de incendio y deflagración por mal manejo	- Manejo y almacenamiento de baterías de ion de litio según especificaciones del fabricante y normas de protección contra incendios. - Área de aparcamiento segura para vehículos accidentados con condición de batería incierta.

Fuente: Elaboración propia con base en la Reglamentación DGUV 209-093

Conclusiones

Contar con protocolos claros y bien estructurados es fundamental para garantizar un entorno de trabajo seguro en la gestión de baterías de ion litio de alto voltaje, tanto en su aplicación para segunda vida como en procesos de reciclaje. Estos protocolos no solo

ayudan a prevenir riesgos eléctricos, químicos y térmicos asociados al manejo de estas tecnologías, sino que también promueven prácticas responsables y sostenibles en un sector en pleno crecimiento.

La existencia de guías o lineamientos —sean estos de carácter obligatorio u opcional— permite establecer un marco común de referencia para trabajadores, empresas e instituciones. Su adopción temprana y progresiva fortalece la seguridad operativa y facilita la transición hacia un modelo de economía circular basado en la electromovilidad.

La experiencia internacional demuestra que contar con protocolos no es solo una buena práctica, sino una necesidad operativa y estratégica para asegurar una gestión adecuada del creciente volumen de baterías de litio que acompaña el desarrollo de la electromovilidad.

Notas y Referencias

- Esta nota se basó en el análisis de normativa y protocolos de seguridad ya aplicados en países que gestionan baterías de litio, ya sea dándoles una segunda vida o mediante el reciclaje (DGUV Information 209-093 (obligatoria en Alemania) Real Decreto 614/2001 (España) Directriz ECE R100 (aplicable en la Unión Europea)). El contenido surge de las presentaciones de expertos técnicos en el marco de tres jornadas del Intercambio Tecnológico sobre Segunda Vida y Reciclaje de Baterías, una iniciativa del programa REIF junto al Ministerio de Ambiente, el Ministerio de Industria, Energía y Minería, y UTE, con el objetivo de fortalecer capacidades nacionales y avanzar hacia una gestión más segura y sostenible de estas tecnologías.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2020). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la protección frente al riesgo eléctrico (Guía técnica GT.115.1.20).
Disponible en: <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/guia-tecnica-para-la-evaluacion-y-prevencion-de-los-riesgos-relacionados-con-la-proteccion-frente-al-riesgo-electrico>
- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). (2021, diciembre). Sicherer Umgang mit Raubtieren (Aus der Arbeit des IFA Nr. 0427) [PDF]. DGUV Information 209-093, Training for work on vehicles with high voltage systems.
Disponible en: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/4727>
- United Nations Economic Commission for Europe. (2015). Regulation No. 100 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE): Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to specific requirements for the electric power train (2015/505). Publications Office of the European Union.
Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:42021X2190&from=FR#d1e32-66-1>

- TÜV SÜD. (s. f.). UN ECE R100 Standard Regulation. Recuperado el 25 de junio de 2025.
<https://www.tuvsud.com/en-us/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/automotive-testing-solutions/battery-testing/un-ece-r100>
- Las imágenes fueron cedidas por Idiada, correspondiendo a sus talleres.