

RIESGOS EN LAS TAREAS A REALIZAR SOBRE VEHÍCULOS CON MOTOR ELÉCTRICO, DERIVADOS DE LA INCORPORACIÓN DE BATERÍAS DE TRACCIÓN DE ION LITIO, Y MEDIDAS PREVENTIVAS PARA COMBATIRLOS

Juan Carlos Castellanos Alba



GENERALITAT
VALENCIANA

INVASSAT
Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

APUNTES TÉCNICOS DEL INVASSAT

AT-230502

2023

RIESGOS EN LAS TAREAS A REALIZAR SOBRE VEHÍCULOS CON MOTOR ELÉCTRICO, DERIVADOS DE LA INCORPORACIÓN DE BATERÍAS DE TRACCIÓN DE ION LITIO, Y MEDIDAS PREVENTIVAS PARA COMBATIRLOS

Juan Carlos Castellanos Alba



GENERALITAT
VALENCIANA

INVASSAT
Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

Título: *Riesgos en las tareas a realizar sobre vehículos con motor eléctrico, derivados de la incorporación de baterías de tracción de ion litio, y medidas preventivas para combatirlos*

Autoría: Juan Carlos Castellanos Alba

Edición: octubre 2023

Serie: Apuntes técnicos del INVASSAT

Identificador: AT-230502

Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball (INVASSAT)
C/ València, 32. 46100 Burjassot
www.invassat.gva.es



GENERALITAT
VALENCIANA

INVASSAT
Institut Valencià de
Seguretat i Salut en el Treball

Para citar este documento:

Castellanos Alba, Juan Carlos. *Riesgos en las tareas a realizar sobre vehículos con motor eléctrico, derivados de la incorporación de baterías de tracción de ion litio, y medidas preventivas para combatirlos* [en línea]. Burjassot: INVASSAT, 2023. XX p. [Consulta: dd.mm.aaaa]. Disponible en XXXX. (AT-230502)

NOTA

El presente apunte técnico tiene vocación de guía general no exhaustiva que, con tal carácter, contiene todos los principales elementos basados en la reglamentación y conocimiento actuales recogidos de diferentes bases documentales. Es por ello, que el presente documento tiene por tanto como única finalidad la ayuda y asesoramiento en la materia tratada. El INVASSAT no se hace responsable directo o indirecto de las inexactitudes, errores u omisiones que pudieran existir en la abundante documentación consultada. Es responsabilidad única de la empresa, con el asesoramiento y actuación de su modalidad preventiva, evaluar los riesgos a los que se exponen sus personas trabajadoras en cada escenario productivo concreto y planificar e implantar aquellas medidas preventivas o de protección adecuadas y necesarias para garantizar la seguridad y salud de aquéllas.

Contenido

Introducción	3
El vehículo eléctrico	3
Tipos de vehículos eléctricos	4
Componentes principales de los vehículos eléctricos.....	4
Objetivo	6
Baterías de tracción	7
Tipos de baterías.....	7
Baterías de ion litio	9
Principales riesgos y medidas de seguridad por la presencia de baterías de tracción en vehículos eléctricos	13
Principales riesgos.....	13
Protección frente al riesgo eléctrico	15
Protección frente al riesgo de incendio	28
Protección frente al riesgo químico	39
Referencias normativas y técnicas	55
Referencias normativas	55
Referencias técnicas	56

Resumen

Estamos asistiendo cada vez de forma más acelerada a un cambio tecnológico en la movilidad que va a suponer la continua sustitución de los vehículos de combustión actuales por vehículos de tracción eléctrica. La principal motivación para este cambio es su contribución para conseguir alcanzar los objetivos europeos de cero emisiones netas para el año 2050, habida cuenta que el sector del transporte por carretera representa aproximadamente la quinta parte de las emisiones totales de CO₂ en el conjunto de la UE.

Este cambio tecnológico hacia una movilidad de tracción eléctrica requiere de la utilización (cada vez más masiva) de baterías de tracción de alta capacidad. Por el momento, las baterías más utilizadas (con diferencia) en los nuevos vehículos eléctricos son las de ion litio. Estas baterías requieren entregar mucha potencia a tensiones muy elevadas. Como consecuencia, la manipulación (reparación, retirada, etc.) de estos vehículos eléctricos conlleva la aparición de nuevos riesgos emergentes en el sector, que deben ser abordados con criterios preventivos de seguridad.

El presente documento aborda, para la manipulación de vehículos eléctricos que incorporan baterías de tracción de ion litio de alta capacidad, los principales riesgos a los que pueden verse expuestas las personas trabajadoras que realizan tareas de reparación, retirada u otras, sobre estos vehículos. Los principales riesgos (sin perjuicio de que puedan coexistir con otros) contemplados son, el riesgo eléctrico, el riesgo de incendio y explosión y el riesgo químico debidos a las propias características eléctricas y químicas de este tipo de baterías. Asimismo, para cada uno de los riesgos anteriores se proponen, sin ánimo de exhaustividad y con carácter general, una serie de medidas preventivas y de protección que pretenden ser simplemente una guía a modo de referencia de actuación que, para cada caso particular deben ser adoptadas por la empresa, con el asesoramiento de su modalidad preventiva adoptada (servicio de prevención) y previa preceptiva evaluación de riesgos.

Introducción

El vehículo eléctrico

Se entiende por vehículo eléctrico aquél que se desplaza gracias a un motor eléctrico (alimentado por electricidad). El motor eléctrico convierte la energía eléctrica que recibe en energía mecánica, con niveles de eficiencia muy superiores a los motores de combustión interna. Además de la referida eficiencia, los motores eléctricos presentan algunas ventajas incuestionables como, por ejemplo, un menor tamaño y peso que los motores de combustión, una mayor sencillez técnica, pero, sobre todo, su contribución para conseguir alcanzar los objetivos europeos de cero emisiones netas para el año 2050. Actualmente el transporte representa aproximadamente el 33% del consumo total energético de la UE. El sector del transporte por carretera representa aproximadamente la quinta parte de las emisiones totales de CO₂ en el conjunto de la UE.

El vehículo eléctrico se remonta al siglo XIX, de hecho, existieron vehículos eléctricos anteriores a la aparición de los motores de cuatro tiempos en los que se basaba el automóvil con motor de combustión. Entre 1832 y 1839 se inventó el primer vehículo eléctrico y en 1897 se utilizó el primer taxi eléctrico en la ciudad de Nueva York.

Sin embargo, la introducción del arranque eléctrico en los motores de combustión, así como el sistema de producción en cadena de montaje de forma masiva y barata implantado por Henry Ford desde 1908 y la mayor aceleración en las mejoras de los vehículos de combustión interna provocó la caída del vehículo eléctrico.

No obstante, las crecientes necesidades en materia de sostenibilidad medioambiental hacen que, a partir de 1996 el vehículo eléctrico vuelva a resurgir de nuevo, empezando de esta manera un constante aumento en el lanzamiento de nuevos vehículos eléctricos por parte de las marcas automovilísticas más importantes. En el marco de un sector transporte caracterizado por un elevado consumo de combustibles fósiles y un fuerte impacto ambiental, la promoción del coche eléctrico se presenta como una de las vías esenciales para conseguir una eficiente transición energética.

En 2021 se vendieron 23700 coches eléctricos en España, un 38% más que en 2020. Esto representa el 3% del mercado. Desde 2015 se ha pasado de 1000 a 70000 unidades de vehículos eléctricos, si bien todavía nuestro país va retrasado en comparación con Europa.

Tipos de vehículos eléctricos

Los principales vehículos eléctricos disponibles actualmente en el mercado son:

- **Vehículos híbridos no enchufables (HEV).** Estos tienen como ventaja que no consumen energía cuando están parados y que recuperan energía en las frenadas o fuertes pendientes. No obstante, a pesar de la mejora de eficiencia que suponen, el hecho de que su batería principal no pueda recargarse de la red eléctrica, es decir, que no sea enchufable, limita su contribución a la sostenibilidad ambiental del sector transporte ya que no permite la introducción de energía eléctrica renovable por medio de su carga desde la red eléctrica.
- **Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV).** Básicamente se trata de vehículos eléctricos híbridos que, además, pueden conectarse a la red eléctrica para la carga de sus baterías principales. A diferencia del HEV, dispone de baterías de mayor capacidad con las que se consiguen autonomías en modo eléctrico que van de los 20 a los 60 km, disponiendo de un motor de combustión más pequeño y que sirve para producir electricidad. El concepto de funcionamiento es muy diferente al de un HEV, ya que el motor de tracción es el eléctrico. Estos vehículos también se denominan “eléctricos de autonomía extendida”.
- **Vehículos eléctricos puros (100% eléctricos) (BEV).** Obtienen toda la energía que necesita el motor eléctrico de la red de suministro, a través de la cual se alimenta su batería principal, de un tamaño muy superior a las baterías de los PHEV. La autonomía de los BEV es actualmente inferior a la de los vehículos convencionales de motor de combustión interna y también a la de los PHEV.

4

En la ilustración 1 se puede observar de una manera gráfica los distintos tipos de vehículos eléctricos referidos anteriormente

Componentes principales de los vehículos eléctricos

De forma muy simplificada, los vehículos eléctricos se componen básicamente de los siguientes elementos o sistemas:

- **Motor eléctrico.** Este puede ser de corriente continua o de corriente alterna. Estos se diferencian básicamente en la forma en que se alimentan. El motor de corriente

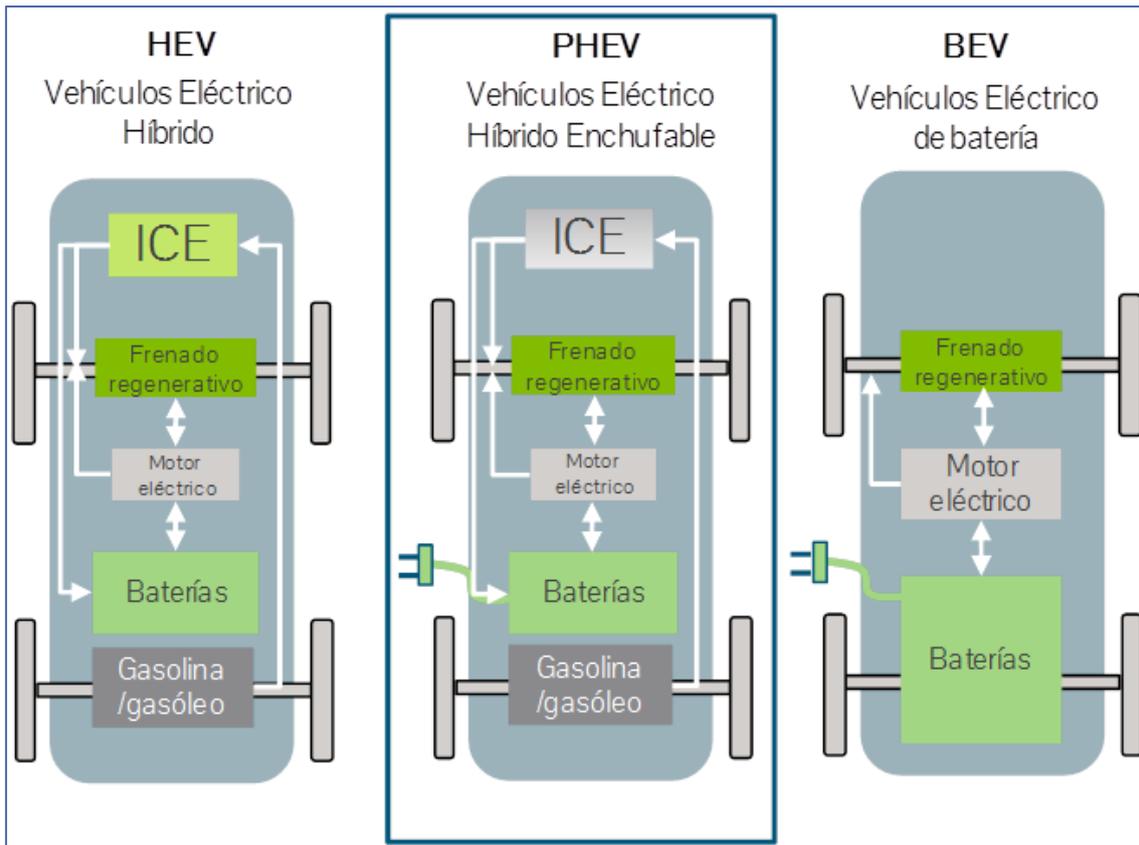


Ilustración 1. Tipos de vehículos eléctricos. (Manual de la energía: Eficiencia energética: ¿Por qué el vehículo eléctrico?, 2023)

continua se alimenta directamente de la batería de tracción (principal), mientras que el motor de corriente alterna requiere de un inversor a la salida de la batería de tracción que convierte la corriente continua en alterna.

- **Batería de tracción.** Aunque hay varios tipos diferentes de baterías, las más utilizadas hoy con diferencia son las de ion litio. Estas almacenan la energía eléctrica cedida por la red de suministro (en el caso de los vehículos PHEV y BEV) en forma de corriente continua para cederla al motor eléctrico y a la batería auxiliar.
- **Cargador.** Es el elemento que absorbe la electricidad de la red eléctrica en forma de corriente alterna y la transforma en corriente continua con la que se carga la batería.
- **Inversor.** Son necesarios únicamente para aquellos vehículos que disponen de un motor eléctrico de corriente alterna. Es el encargado de transformar la corriente continua que cede la batería de tracción en corriente alterna con la que se alimenta el motor.
- **Convertidor.** Es el elemento que transforma la alta tensión de corriente continua que proporciona la batería principal en baja tensión de corriente continua que alimenta a las baterías auxiliares (normalmente de 12/24/48 voltios) que alimentan a su vez a los

componentes eléctricos auxiliares del vehículo (alumbrado, claxon, instrumentación, etc.).

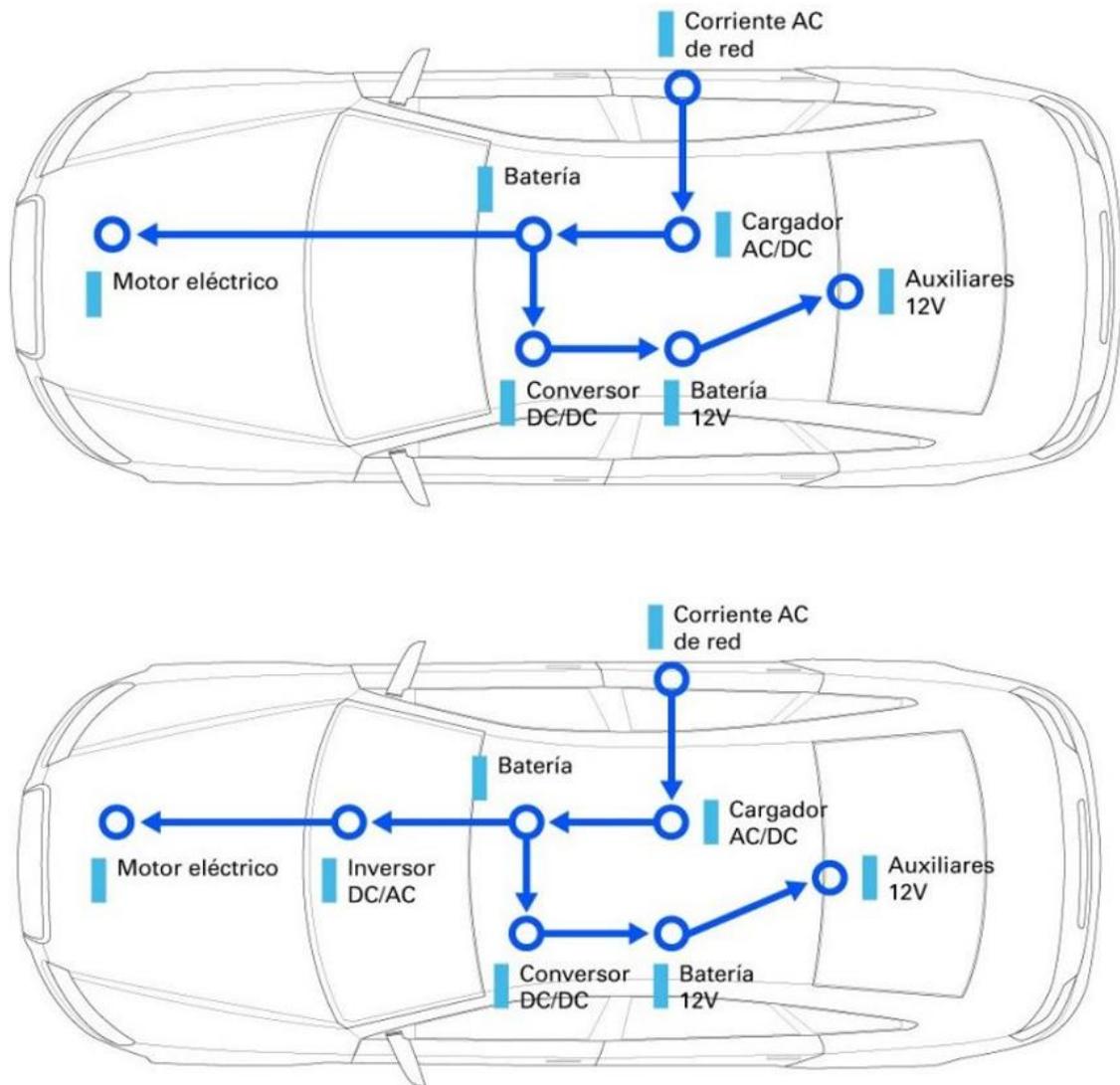


Ilustración 2. Esquema general sobre los componentes de un vehículo eléctrico con motor en corriente continua (DC) y en corriente alterna (AC). (Fundación Endesa, 2023)

Objetivo

El presente documento tiene como objetivo principal el análisis y caracterización de los principales riesgos a los que se pueden ver expuestas las personas trabajadoras que realicen tareas, sobre todo de reparación, en vehículos eléctricos que incorporan baterías de tracción

de ion litio de alta capacidad y que son característicos de estas. Asimismo, dentro de los objetivos se encuentra la proposición, sin ánimo de exhaustividad y con carácter general, de una serie de medidas preventivas y de protección para combatir dichos riesgos, en el bien entendido de que cada situación particular requiere de análisis y soluciones concretas que la empresa debe abordar con la ayuda de su modalidad preventiva (servicio de prevención).

Si bien el contenido se dirige principalmente a las personas trabajadoras que realizan tareas de reparación de vehículos eléctricos, muchas partes de este podrían hacerse extensivas a otro tipo de tareas como por ejemplo son las de desguace y retirada de baterías, limpieza de vehículos, actuación de equipos de emergencia en accidentes de circulación, etc.

Baterías de tracción

Tipos de baterías

Básicamente, las baterías que se utilizan actualmente para la tracción de los vehículos eléctricos son de tres tipos: las baterías de ion litio, níquel-cadmio y níquel-hidruro metálico.

Baterías de ion litio

El litio es el metal con el menor potencial de reducción (-3,05 voltios) y por consiguiente es el metal que más tendencia tiene a soltar el electrón de su capa externa. Por ello, estas baterías son con diferencia las más utilizadas y están formadas por varias celdas compuestas de ánodo, cátodo, electrolito y separador entre electrodos (ánodo y cátodo). Las baterías actuales disponen de un ánodo de litio metálico, de grafito o de coque de petróleo, que tiene la capacidad de albergar los iones de litio que llegan en la carga en forma de litio metálico. El electrolito suele ser una sal de litio disuelta en un disolvente orgánico. Por su parte, los cátodos más comúnmente utilizados en este tipo de baterías son:

- Óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto.
- Óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio.
- Fosfato de litio y hierro.

Aunque luego se explicará con más detenimiento, cuando la batería está cargada todo el litio está en el ánodo. Durante la descarga (cuando el motor eléctrico está trabajando) los iones positivos de litio fluyen a través del electrolito desde el ánodo hacia el cátodo (el más habitual es de óxido de litio y cobalto). A su vez, los electrones fluyen del ánodo hacia el cátodo, pero lo hacen a través del circuito eléctrico exterior en el que se encuentra el motor eléctrico del vehículo. En el momento en el que todos los iones de litio se encuentran en el cátodo la batería se encuentra totalmente descargada. La carga de la batería se produce a través de la red de suministro eléctrico utilizando el cargador, lo que provoca que los electrones se dirijan al ánodo a la vez que los iones de litio abandonan el cátodo y regresan al ánodo a través del electrolito.

Originariamente los ánodos eran de litio metal ya que este tiene una extremada facilidad para ceder electrones, sin embargo, esto mismo lo hacía muy inestable, además, se oxida rápidamente en contacto con el aire y en contacto con el agua reacciona violentamente, de ahí que actualmente se estén sustituyendo este tipo de ánodos por otros más eficientes y seguros como el ánodo de coque de petróleo. Actualmente se está investigando en nuevas tecnologías de este tipo de baterías como, por ejemplo, las baterías de ion litio en estado sólido o las de dióxido de carbono y litio y las de litio-grafeno.

Baterías níquel-cadmio

Estas se componen de un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de hidróxido de cadmio separados por una membrana porosa. El uso de este tipo de batería se está viendo muy reducido en parte debido al alto coste de las materias primas y en parte por la toxicidad que aporta el cadmio. También tienen “efecto memoria” lo que hace que su capacidad se vea reducida después de cada recarga. Así, este tipo de baterías se limita en la práctica a usos aeronáuticos y militares.

Baterías níquel-hidruro metálico

Disponen de un ánodo de oxihidróxido de níquel (NiOOH) y un cátodo que es una aleación de hidruro metálico. Estas tienen hasta tres veces más capacidad de carga que una batería níquel-cadmio del mismo tamaño y menor efecto memoria que estas, aunque requieren de

mantenimiento y se deterioran por causa de las altas temperaturas, altas corrientes de descarga y sobrecargas.

Actualmente se está investigando y experimentando de forma frenética en el desarrollo de otros tipos de batería como, por ejemplo, las baterías de flujo redox, baterías ZEBRA, baterías de aluminio-aire o baterías de zinc-aire.

Baterías de ion litio

Las baterías de ion litio aparecieron en el mercado en 1991 sentando las bases de todo el desarrollo de una sociedad digital e inalámbrica, utilizándose en todo tipo de dispositivos electrónicos portátiles y permitiendo el desarrollo de vehículos eléctricos de mayor autonomía así, como la capacidad de almacenar energía eléctrica procedente de fuentes renovables. El impulso de la electrificación de la industria del automóvil ha hecho que la fabricación de este tipo de baterías de tracción se haya triplicado en los últimos cinco años y que se duplique en los próximos cinco, según datos de BloombergNEF.

Las baterías de ion litio se fundamentan en el flujo de iones positivos de litio del ánodo al cátodo y viceversa a través de la membrana porosa que separa ambos electrodos (que permite el paso de los cationes) gracias al electrolito contenido en la celda. Por tanto, su fundamento no se basa en reacciones químicas que descomponen los electrodos, el ion litio simplemente se aloja en estos.

En 2019 la Real Academia de Ciencias de Suecia otorgó el premio Nobel de química de forma compartida a los investigadores John B. Goodenough, Stanley Whittingham y Akira Yoshino por sus investigaciones en el desarrollo de las baterías de iones de litio que permitirán el consumo de energía sostenible.

Stanley Whittingham descubrió que el disulfuro de titanio (TiS_2) era apropiado para formar parte del cátodo de una batería ya que este deja espacios, a nivel molecular, donde se pueden intercalar los iones de litio. Para el ánodo utilizó parcialmente litio metálico por su gran capacidad de ceder electrones. La arquitectura de esta celda proporcionaba un potencial algo superior a los dos voltios. Sin embargo, el litio metálico genera una serie de problemas de seguridad importantes debido a su gran reactividad que podía traducirse en explosiones cuando se recargaba repetidamente.

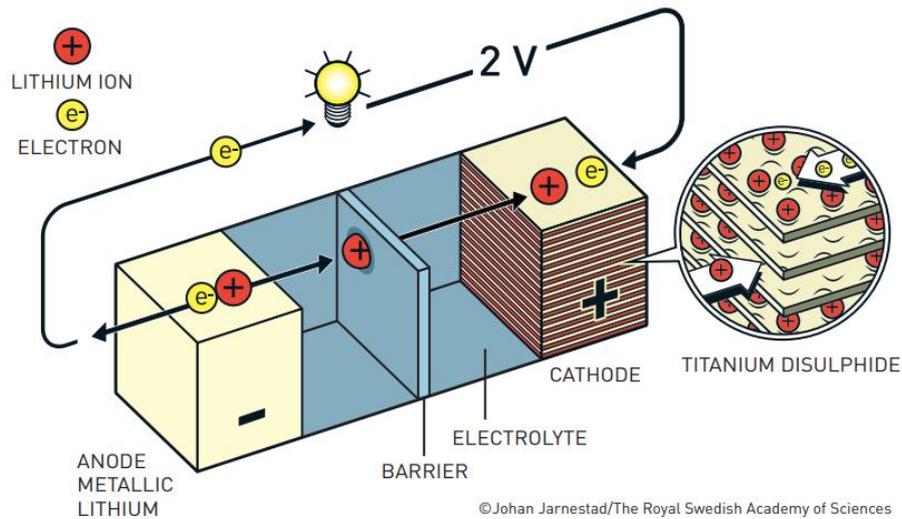


Ilustración 3. Batería de Whittingham de ion litio con cátodo de disulfuro de titanio.
Johan Jarnestad (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2019)

John Goodenough sustituyó el cátodo de disulfuro de titanio por otro que en su composición utilizara un óxido metálico. Comprobó que el óxido de cobalto permite alojar también molecularmente a los iones de litio que fluyen en el electrolito consiguiendo además potenciales de la celda de hasta cuatro voltios consiguiendo de esta forma baterías mucho más potentes

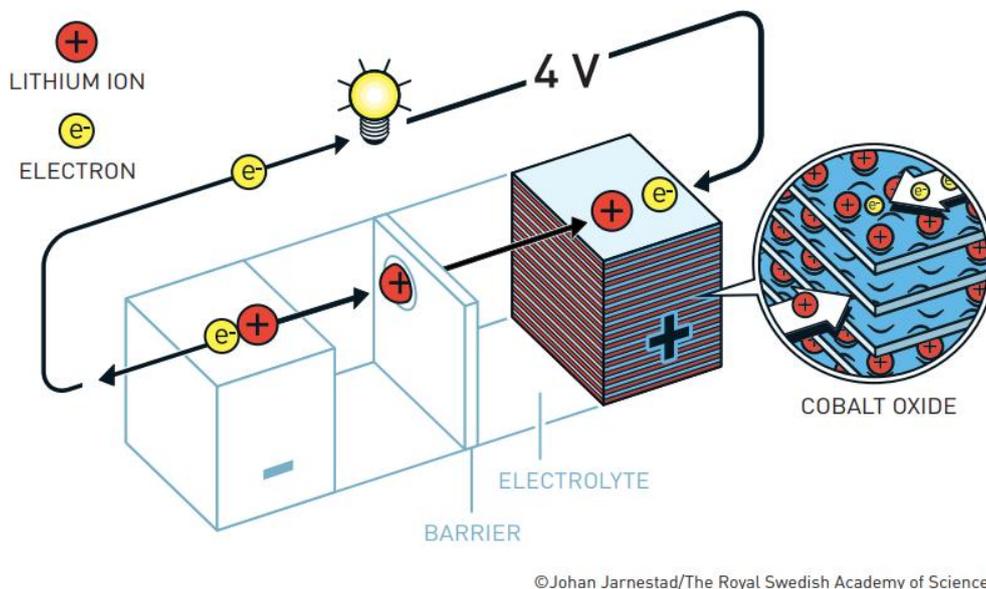


Ilustración 4. Batería de Goodneough de ion litio con cátodo de óxido de cobalto.
Johan Jarnestad (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2019)

Por último, Akira Yoshino desarrolló la primera batería de iones de litio comercialmente viable. Para ello, sustituyó el litio metal reactivo del ánodo por coque de petróleo (muy parecido al grafito, de hecho, se le suele denominar así), un material a base de carbono que, como el óxido de cobalto del cátodo, permite intercalar en su estructura molecular iones de litio. De esta manera se consiguió una batería mucho más ligera y segura que podía recargarse cientos de veces antes de que su rendimiento se deteriorara sustancialmente.

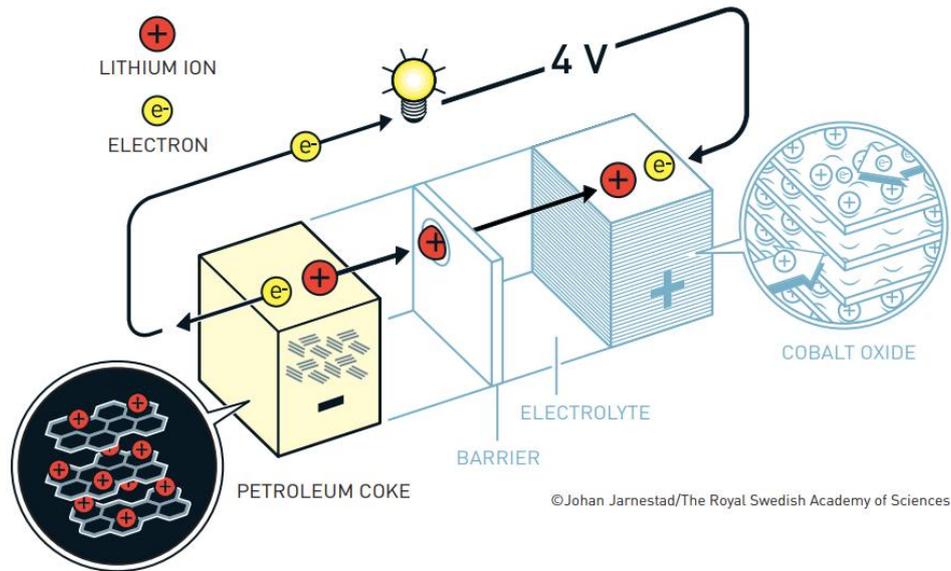
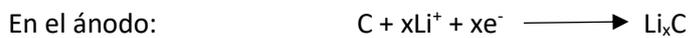


Ilustración 5. Batería de Yoshino de ion litio con cátodo de óxido de cobalto y ánodo de coque de petróleo. Johan Jarnestad (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2019)

Las reacciones electroquímicas que tienen lugar en las celdas de este tipo de baterías de ion litio (LiCoO_2) se pueden representar del siguiente modo (CSIC, 2011):

Proceso de carga de la batería:



Proceso de descarga de la batería:



Las principales ventajas de estas baterías, que han llevado a su desarrollo y uso prioritario, son:

- Elevado voltaje en cada celda, aproximadamente de 4 voltios. Lo que proporciona mayor potencia y reducción del tamaño de la batería.
- Alta energía específica, por encima de los 200 Whkg⁻¹.
- Ausencia del *efecto memoria*, que reduce la capacidad de la batería por cargas incompletas.
- Alta ciclabilidad (más de 1000 ciclos)
- Amplio rango de temperaturas de trabajo: entre -20°C a 60°C.
- Baja autodescarga: inferior al 5% por mes.

Como ejemplo, a continuación, se indican las especificaciones técnicas de la batería de ion litio LiCoO₂ del automóvil Tesla Roadster:

- Tensión nominal: 375 V.
- Capacidad: 141 Ah.
- Energía acumulada: 53Kwh.
- Peso: 450 kg.
- Energía específica: 117,8 Whkg⁻¹.
- Potencia máxima: 230 Kw.
- Tiempo de recarga: 3,5 horas (rápida)
- Tiempo de vida: 5 años.
- Autonomía: 350 km (mixto autopista/ciudad).

Estas baterías, que pueden funcionar a varias centenas de voltios (lo que en este campo se conoce como *alta tensión*), todavía son susceptibles de mayores potencialidades con el desarrollo de nuevos materiales para los electrodos (por ejemplo, cátodos con base de LiMn₂O₄ o Li FePO₄), electrolito y barreras de separación de ánodos. Así, estos desarrollos permitirán previsiblemente en un futuro, por ejemplo, eliminar el electrolito inflamable que puede provocar el incendio ocasional de las baterías, sustituyéndolo por electrolitos sólidos compuestos de materiales poliméricos mejorados con otros materiales conductores (como por ejemplo materiales cerámicos). Efectivamente, los electrolitos líquidos ofrecen una excelente conductividad que hace que las baterías se carguen más rápidamente y sean más duraderas. Sin embargo, generan algunos problemas de seguridad como fugas térmicas, incendios y explosiones.

La fuga térmica es uno de los principales riesgos relacionados con este tipo de baterías y consiste en que las celdas de ion litio entran en un estado de autocalentamiento incontrolado que desemboca en explosiones e incendios.

Todos estos potenciales desarrollos, sin embargo, no van en la dirección de sustituir a las baterías de ion litio sino de mejorarlas.

Principales riesgos y medidas de seguridad por la presencia de baterías de tracción en vehículos eléctricos

Principales riesgos

El constante crecimiento del mercado de vehículos eléctricos o híbridos está haciendo que cada vez más personas trabajadoras puedan estar expuestas a los nuevos riesgos que generan este tipo de vehículos y, en concreto, a los generados por la incorporación en los mismos de baterías de tracción, mayoritariamente de ion litio. Se trata de personas trabajadoras dedicadas a la recuperación, reparación y mantenimiento de este tipo de vehículos, incluyendo aquellas dedicadas a la retirada de vehículos en carretera o también personas trabajadoras de servicios de emergencia en carretera.

La exposición a estos nuevos riesgos en las tareas relacionadas anteriormente requiere que las personas, potencialmente expuestas a los mismos, adquieran conocimientos adicionales sobre técnicas y procedimientos de trabajo que les capacite para protegerse de aquéllos.

Los principales riesgos que genera la incorporación de baterías de tracción de los vehículos eléctricos o híbridos cuando se trabaja con estos son:

Riesgo eléctrico

Los vehículos eléctricos e híbridos utilizan, además de las baterías auxiliares (de 12, 24 o 48 voltios en corriente continua (cc)), baterías tractoras que alimentan al motor eléctrico con

tensiones que, según el vehículo, marca y fabricante puede ir desde los 60 V (voltios) hasta varios cientos de voltios en corriente continua (cc). Como consecuencia, además del tradicional circuito en baja tensión, ahora el vehículo dispone de otro circuito en *alta tensión* que conecta la batería de tracción con el motor eléctrico de tracción del vehículo. El contacto eléctrico directo de personas con elementos de la instalación que se encuentran a alta tensión podría ser causa de un accidente grave e incluso mortal.

Otro de los riesgos asociados a la gran carga eléctrica acumulada en este tipo de baterías es el debido a un posible cortocircuito, si se cierra el circuito exterior a través de un elemento conductor de resistencia eléctrica muy baja (prácticamente cero). En esta situación, en función de la tensión y resistencia eléctrica de cada celda, se pueden obtener valores de intensidad de cortocircuito de varios miles de amperios. A modo de ejemplo simple, una batería de aproximadamente 3,7 voltios de tensión de celda y 300 microohmios de resistencia de celda (suponiendo prácticamente nula la resistencia del circuito exterior) podría generar una intensidad de cortocircuito de aproximadamente 12,3 KA. La liberación súbita de esta gran energía podría generar quemaduras extremadamente graves a la persona expuesta.

Riesgo de explosión e incendio

Las baterías de ion litio utilizan en la actualidad un electrolito líquido orgánico que permite la circulación de los iones de litio de un electrodo a otro. Estos electrolitos ofrecen una excelente conductividad iónica, pero son muy inflamables (y por tanto sensibles a las altas temperaturas) y pueden generar lo que se conoce como *fuga térmica* que no es más que un estado en el que la célula de ion litio entra en una situación de autocalentamiento incontrolado. Todo ello puede provocar incendios y explosiones por fallos eléctricos, mecánicos o térmicos. Es por esto, que muchas líneas de investigación actuales exploran la posibilidad de utilizar electrolitos en estado sólido con buenas propiedades de rendimiento electroquímico e ignífugos, para este tipo de baterías.

Riesgo químico

Por una potencial exposición a los componentes del electrolito de las baterías de ion litio. Actualmente se suele utilizar el flúor como aditivo a los electrolitos orgánicos para mejorar el rendimiento de estas baterías. La adición de este compuesto en forma de hexafluorofosfato de litio (LiPF₆) permite controlar la película de dendritas metálicas de litio que se forma sobre los

electrodos de la batería, lo que alarga la vida de éstas y mejora su rendimiento y potencia reduciendo, además, la probabilidad de cortocircuitos internos.

No obstante, en caso de explosión o de incendio, por ejemplo, debido a un impacto de alta energía (como podría en el caso de una situación de accidente de circulación), el electrolito podría escapar y entrar en contacto con el medio ambiente y por tanto con el oxígeno del aire. Si esta situación se diera a temperaturas por encima de los 70°C entonces podría producirse una combustión que generaría, entre otras muchas potenciales sustancias peligrosas, ácido fluorhídrico (HF). El HF es uno de los ácidos más peligrosos y corrosivos que existen.

15

A continuación, se proponen para los riesgos anteriores una serie de medidas de prevención y protección genéricas. No obstante, procede recordar y aclarar que para cada caso concreto y particular (tipo de vehículo, operación a realizar sobre el mismo, entorno, etc.) deben establecerse las medidas preventivas y protectoras que se deriven de la preceptiva evaluación de los riesgos que la empresa debe realizar para los puestos de trabajo y personas que los ocupen, potencialmente expuestas a los mismos. Se trata de un precepto legal que recoge la [Ley 31/1995](#), de prevención de riesgos laborales (LPRL) en su [artículo 16](#).

Asimismo, en la planificación de medidas preventivas o de protección a adoptar derivadas de la evaluación anterior, resulta fundamental disponer y tener en cuenta todas las indicaciones de seguridad que aporten los propios fabricantes.

Protección frente al riesgo eléctrico

Algunas referencias normativas

El artículo 2 del vigente reglamento electrotécnico para baja tensión, aprobado por el [Real Decreto 842/2002](#), de 2 de agosto, considera instalaciones de baja tensión, aquéllas de tensión igual o inferior a 1.000 voltios en corriente alterna (ca) e igual o inferior a 1.500 voltios en corriente continua (cc). Como consecuencia, si bien en el ámbito de las baterías de tracción para vehículos eléctricos o híbridos suele denominarse *alta tensión* a la proporcionada por éstas cuando esta es superior a 60 voltios e inferior o igual a 1.500 voltios en cc o es superior a

30 voltios e inferior o igual a 1.000 voltios en ca, en el ámbito electrotécnico reglamentario la tensión que ofrecen estas baterías no puede considerarse, en general, de alta tensión (en dicho ámbito reglamentario), aunque sí es cierto que proporcionan una *tensión alta* y alta capacidad eléctrica, muy peligrosa en cualquier caso.

En el [apartado 3 del anexo I del Real Decreto 614/2001](#), de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico, se define *Instalación eléctrica* como:

El conjunto de los materiales y equipos de un lugar de trabajo mediante los que se genera, convierte, transforma, transporta, distribuye o utiliza la energía eléctrica; **se incluyen las baterías**, los condensadores y cualquier otro equipo que almacene energía eléctrica.

Como consecuencia, las baterías de cualquier tipo y, en particular las baterías de tracción de ion litio, así como los circuitos a los que alimenta, dispuestas en los lugares de trabajo, deben ser consideradas como una instalación eléctrica a los efectos del cumplimiento del texto reglamentario anterior. Es por ello que deben tenerse en cuenta y cumplirse todos los preceptos que se recogen en él.

El [artículo 4](#) (“Técnicas y procedimientos de trabajo”) del referido Real Decreto 614/2001 indica que las técnicas y procedimientos empleados para trabajar en instalaciones eléctricas (como la que incorporan los vehículos eléctricos), o en sus proximidades, se establecerán teniendo en consideración la evaluación de los riesgos que el trabajo pueda suponer, habida cuenta de las características de las instalaciones, del propio trabajo y del entorno en el que vaya a realizarse, así como el resto de requisitos recogidos en dicho artículo, entre los que se encuentra el apartado 2, que indica que “todo trabajo en una instalación eléctrica, o en su proximidad, que conlleve un riesgo eléctrico deberá efectuarse sin tensión, salvo en los casos que se indican en los apartados 3 y 4”. Así, podrán realizarse con la instalación en tensión los siguientes trabajos:

- Las operaciones elementales, tales como por ejemplo conectar y desconectar, en instalaciones de baja tensión (inferiores o iguales a 1.000 voltios en ca y 1.500 voltios en cc) con material eléctrico concebido para su utilización inmediata y sin riesgos por parte del público en general. En cualquier caso, estas operaciones deberán realizarse por el procedimiento normal previsto por el fabricante y previa verificación del buen estado del material manipulado.

- Las maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones cuya naturaleza lo exija, tales como por ejemplo la apertura y cierre de interruptores o seccionadores, la medición de una intensidad, la realización de ensayos de aislamiento eléctrico, o la comprobación de la concordancia de fases.
- Los trabajos en, o en proximidad de instalaciones cuyas condiciones de explotación o de continuidad del suministro lo requieran.

Por ello, durante cualquier operación a realizar en un vehículo eléctrico, la primera acción debe ser siempre dejar la instalación eléctrica del mismo sin tensión, separándola de su suministro (batería). La operación para dejar sin tensión la instalación eléctrica la deben realizar “**trabajadores autorizados**”, es decir, trabajadores que han sido autorizados por el empresario para realizar determinados trabajos con riesgo eléctrico, en base a su capacidad para hacerlos de forma correcta, según los procedimientos establecidos. Un trabajador autorizado debe recibir la formación e información a la que se refieren los [artículos 18 y 19 de la Ley 31/1995](#), de prevención de riesgos laborales. La formación, que debe ser teórica y práctica, debe conseguir el fin perseguido que no es otro que capacitarle para realizar de forma correcta y segura los trabajos que vaya a realizar, teniendo en cuenta, además, los procedimientos de trabajo que se establezcan y a los que se refiere el [Real Decreto 614/2001](#). La condición anterior es necesaria pero no suficiente ya que **un trabajador autorizado debe ser, además, específica y expresamente autorizado por el empresario** para hacer el trabajo con riesgo eléctrico del que se trate, tras comprobar su capacidad para hacerlo correctamente, de acuerdo con el procedimiento establecido.

No obstante lo anterior, la batería seguirá entregando su tensión nominal entre sus terminales, es decir, es un elemento que sigue estando en tensión. En esta situación, cuando existen elementos en tensión (terminales) de la batería accesibles, las personas encargadas de actuar sobre el vehículo (por ejemplo, en mantenimiento o reparación) podrían realizar trabajos en proximidad porque entren en la zona de proximidad o puedan entrar en la misma, sin entrar en la zona de peligro, bien sea con una parte de su cuerpo, o con las herramientas, equipos, dispositivos o materiales que manipula. A estos efectos, procede recordar que se entiende por **zona de proximidad** el espacio limitado alrededor de la zona de peligro, desde la que un trabajador puede invadir accidentalmente esta última, y se entiende por **zona de peligro** el espacio alrededor de los elementos en tensión en el que la presencia de un trabajador desprotegido supone un riesgo grave e inminente de que se produzca un arco

eléctrico, o un contacto directo con el elemento en tensión, teniendo en cuenta los gestos o movimientos normales que puede efectuar el trabajador sin desplazarse.

La distancia que delimita la zona de peligro para tensiones inferiores o iguales a 1.000 voltios es de 50 centímetros. Las distancias que delimitan la zona de proximidad al elemento en tensión van de 70 a 300 centímetros.

Como consecuencia, si hubiera elementos de una instalación en tensión accesibles y próximos a la zona de trabajo (los terminales de la propia batería), los trabajos a realizar en dichas condiciones en vehículos eléctricos deben considerarse como trabajos en proximidad. Los trabajos en proximidad deben planificarse y procedimentarse siguiendo las previsiones que recoge el [anexo V del referido Real Decreto 614/2001](#).

Medidas de prevención y protección

A continuación se recogen, entre otras posibles, una serie de medidas básicas de prevención y protección frente al riesgo eléctrico cuando se opera con vehículos eléctricos o híbridos.

- Como consecuencia de la preceptiva evaluación de riesgos del puesto de trabajo, cualquier trabajo a llevar a cabo sobre un vehículo eléctrico o híbrido debe estar presidido por un **procedimiento de trabajo** claro, riguroso y sistemático en el que se hayan tenido en cuenta, **para cada caso particular**, las previsiones de uso, mantenimiento y seguridad recogidas en los manuales de instrucciones de los diferentes fabricantes. Esta información resulta crucial y se apela a ella en el propio [Real Decreto 1215/1997](#), de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Las personas encargadas de operar sobre estos vehículos deben corresponderse con la figura del *trabajador autorizado* a la que se refiere el [Real Decreto 614/2001](#). Como consecuencia deben ser personas formadas e informadas en los términos previstos en los [artículos 18 y 19 de la Ley 31/1995](#), de prevención de riesgos laborales, para realizar adecuadamente y con seguridad los trabajos previstos pero, además, tomando como base dicha formación e información, deben ser expresamente autorizados por la empresa.

- La zona de operación sobre un vehículo eléctrico o híbrido debe estar delimitada, preferentemente mediante balizamiento de seguridad y señalizarse (peligro eléctrico), de manera que solo puedan acceder a dicha zona las personas expresamente autorizadas por la empresa encargadas de trabajar sobre dicho vehículo. En esta situación, se recomienda que la baliza se separe como mínimo 1 metro del vehículo. Si se tratara de una zona señalizada pero no balizada se recomienda que dicha separación fuera de al menos 3 metros.



19

Fotografía 1. Operaciones sobre un vehículo eléctrico. [Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles \(INRS\)](#).

- Las llaves de operación remota del vehículo deben mantenerse alejadas de este para evitar cualquier activación accidental de los sistemas eléctricos e incluso movimientos no deseados. Las llaves deben estar confinadas en un lugar con único acceso controlado por la persona trabajadora que opera sobre el vehículo.
- Los fabricantes codifican los circuitos de alta tensión del vehículo por colores. La mayoría de ellos identifican los circuitos o cables de alta tensión por el **color naranja**, aunque todavía hay algunos modelos de vehículos en los que dichos cables son azules (verificar con la información del fabricante). Esta identificación servirá para la inspección visual sobre el estado de estos circuitos, así como para aislarlos adecuadamente para que las operaciones mecánicas que deban realizarse no



Fotografía 2. Cables de alta tensión.

afecten su integridad. En tanto no se proceda al aislamiento completo de la batería, debe evitarse cualquier contacto con estos circuitos de alta tensión.

- El vehículo eléctrico o híbrido no debe estar conectado al cable de carga.

- Con arreglo al primer principio de la acción preventiva (*Evitar los riesgos*) y a lo recogido por el [Real Decreto 614/2001](#), la primera operación a realizar, antes de proceder a realizar cualquier trabajo sobre el vehículo, es la consignación eléctrica del mismo.



Fotografía 3. Conector de servicio. [Grupo m3](#).

Se trata de aislar la batería del

resto de la instalación eléctrica, dejando el vehículo, energéticamente hablando, a cero. Este proceso de aislamiento de la batería debe venir recogido en las instrucciones del fabricante y por tanto resulta muy importante recoger y seguir las indicaciones de este en el procedimiento de trabajo. Los fabricantes incorporan un interruptor de seguridad o aislamiento que desconecta la batería del sistema eléctrico del vehículo. Debe procederse pues a retirar dicho interruptor o conector de servicio.

- Seguidamente se debe proceder a inmovilizar mecánicamente los elementos desconectados y a su señalización de que el elemento no debe ser maniobrado. Debe consultarse las instrucciones del fabricante para realizar correctamente estas operaciones, de acuerdo con aquéllas.
- Una vez aislada la batería muchos fabricantes recomiendan esperar un mínimo de 10 minutos antes de dar comienzo a los trabajos ya que, tras el proceso de aislamiento de la batería, en el sistema eléctrico de alta tensión del vehículo pueden existir inercias eléctricas en determinados componentes eléctricos o electrónicos (como por ejemplo condensadores) cuya descarga se precisa. En cualquier caso, como ya se ha indicado, debe consultarse la información que aporta el fabricante sobre la descarga de la potencial energía almacenada.
- Posteriormente, otra vez teniendo en cuenta las indicaciones del fabricante, debe comprobarse que la instalación de alta tensión tiene una capacidad eléctrica nula verificando la ausencia de tensión por medio de detectores adecuados a las tensiones previstas. Se recomienda que estos cumplan con la norma UNE-EN 61243 (*Trabajos en tensión. Detectores de tensión. Parte 3: Tipo bipolar para baja tensión*).

- No obstante, una vez se ha procedido al aislamiento de la batería del sistema eléctrico en alta tensión del vehículo consiguiendo, según se ha descrito anteriormente, su consignación eléctrica, podrían seguir verificándose elementos de la batería en tensión accesibles, lo que significaría que los trabajos de reparación o mantenimiento que se llevaran a cabo sobre el vehículo pueden ser considerados como *trabajos en proximidad* tal y como se explicó. En esta situación, procede cumplir con las previsiones del [anexo V \(“Trabajos en proximidad”\) del Real Decreto 614/2001](#), para dichos trabajos. Siguiendo las previsiones de dicho anexo V deben eliminarse las zonas de peligro debidas a dichos elementos de la batería en tensión. Todo ello mediante la colocación de pantallas, barreras, envolventes o protectores aislantes cuyas características y forma de instalación garanticen su eficacia protectora. Para ello, resulta de nuevo imprescindible acudir a las instrucciones que al respecto recojan los fabricantes en sus manuales de instrucciones. Estas protecciones deben garantizar una protección mínima IP2X o IP XXB. Sí, a pesar de las medidas de protección adoptadas, siguen existiendo elementos en tensión cuyas zonas de peligro son accesibles para las personas trabajadoras, se deberá:
 - Delimitar la zona de trabajo respecto a las zonas de peligro.
 - Informar a las personas trabajadoras implicadas de los riesgos existentes, la situación de los elementos en tensión, los límites de la zona de trabajo y cuantas precauciones y medidas de seguridad deban adoptar para no invadir la zona de peligro.
 - Los trabajos solo podrán ser realizados por *trabajadores autorizados*.
- Se recomienda, en cualquier caso, para los trabajos a realizar sobre el vehículo eléctrico o híbrido, la utilización de herramientas aisladas conformes a la norma IEC 60900 (norma UNE-EN IEC 60900: 2020).



Fotografía 4. Ejemplo de herramienta aislante. [DERANCOURT](#).

De lo expuesto hasta ahora se infiere que no debe trabajarse, con carácter general, con el sistema eléctrico del vehículo en tensión. Este supuesto solo cabría en el caso de que no exista técnicamente otra posibilidad, pero siempre que sea seguro realizar el trabajo. Esta situación podría darse, por ejemplo, en tareas de reparación de un vehículo que ha sufrido daños por

colisión en las que no haya sido posible por ningún medio aislar la instalación eléctrica en alta tensión y descargar la energía almacenada en el sistema. **En estas situaciones resulta del todo imprescindible consultar las instrucciones del fabricante** para saber qué medidas de control deben establecerse (y procedimentarse) antes de iniciar cualquier trabajo de reparación. Importante resulta en este caso proceder a una revisión visual previa en busca de signos de daño en los componentes eléctricos de alta tensión o en el cableado (generalmente de color naranja).

En las situaciones anteriores se considera que se realizan trabajos en tensión y por tanto deben seguirse escrupulosamente las indicaciones que recoge el [anexo III, “Trabajos en tensión”, del Real Decreto 614/2001](#), entre las que se destacan:

- Los trabajos en tensión solo pueden ser realizados por **trabajadores cualificados**, es decir, *trabajadores autorizados* (con los mismos requisitos vistos anteriormente para estos) que además poseen conocimientos especializados en materia de instalaciones eléctricas, debido a su formación acreditada, profesional o universitaria, o a su experiencia certificada de dos o más años.
- Se seguirá un procedimiento previamente estudiado.
- El método de trabajo empleado y los equipos y materiales utilizados deberán asegurar la protección de las personas trabajadoras.
- Entre los equipos y materiales citados se encuentran:
 - accesorios aislantes (pantallas, cubiertas, vainas, etc.) para el recubrimiento de partes activas o masas;
 - útiles aislantes o aislados (herramientas, pinzas, puntas de prueba, etc.);
 - pértigas aislantes, en caso de resultar necesarias;
 - dispositivos aislantes o aislados (banquetas, alfombras, mantas, plataformas de trabajo, etc.);
 - los equipos de protección individual frente a riesgos eléctricos (guantes, gafas, calzado, etc.), de los que se tratará más adelante.
- En cualquier caso, los equipos y materiales para la realización de trabajos en tensión se ajustarán a la normativa específica que le sea de aplicación.

Con independencia de todo lo indicado anteriormente, a continuación, se recogen una serie de **medidas preventivas de carácter básico** que convendría recoger de modo transversal en los distintos procedimientos de trabajo como, entre otras posibles:

- No asumir nunca que el vehículo eléctrico o híbrido no tiene tensión por estar en silencio.
- No tocar ni abrir ningún circuito de alta tensión de color naranja ni ningún componente de alta tensión sin la utilización de los preceptivos equipos de protección individual.
- Las personas operadoras no deben portar objetos metálicos personales en sus manos, muñecas o cuello (pulseras, anillos, cadenas, etc.), ni portar ningún objeto metálico encima mientras se trabaje. Previamente a la ejecución de cualquier trabajo debe verificarse esta circunstancia.
- La ropa de trabajo debería ser preferentemente incombustible o ignífuga.
- Las operaciones de lavado a presión tienen el potencial de dañar los componentes eléctricos y circuitos de alta tensión. Por ello, deben consultarse las instrucciones de los fabricantes de los vehículos de forma previa a la realización de este tipo de operaciones en cualquier parte debajo de la carrocería, incluido el compartimento donde se aloja el motor.
- Las baterías de ion litio son sensibles a la temperatura. Los fabricantes informan de los límites de temperatura en los que deben operar. Esta información debe tenerse en cuenta a la hora de realizar operaciones que puedan suponer rebasar dichos límites, como por ejemplo en operaciones de pintura en cabinas en las que pueden superarse estas temperaturas.

En el caso particular de **asistencia en carretera por accidente o incidente en un vehículo de estas características**, deberían considerarse las siguientes medidas de protección, entre otras posibles, en los procedimientos de dichos trabajos de asistencia y retirada:

- Resulta imprescindible tener acceso a fuentes confiables de información del fabricante para cada tipo específico de vehículo, por ejemplo, a través de datos móviles utilizados por los servicios de emergencias y retirada del vehículo o por referencias previas de información del fabricante.
- Se debe aislar el sistema de batería de alta tensión, siempre que sea posible y seguro hacerlo. En ocasiones, la actuación de los airbags del vehículo lleva asociada la desconexión automática del sistema eléctrico. Es por ello que resulta fundamental contar con la información del fabricante para conocer qué dispositivos existen en el vehículo en cuestión para aislarlo eléctricamente. Si finalmente no puede procederse a dicho aislamiento deberán tenerse en cuenta las indicaciones del fabricante para la

segura manipulación del vehículo, lo que implicará la utilización de los correspondientes y recomendados equipos de protección individual.

- En la medida en que se pueda se deben revisar visualmente los vehículos para detectar daños en los componentes eléctricos de alta tensión (señalizados por el color naranja) y seguir, en esta situación, lo previsto por los fabricantes. Debería establecerse la posibilidad de que la batería esté dañada ya que, en esta situación podrán concurrir otros riesgos potenciales como el químico o el de incendio que habría que considerar. Un cortocircuito podría ser la fuente de ignición en caso de derrame de combustible en un vehículo híbrido. También podrían generarse fugas térmicas descontroladas en la batería que provocara explosiones e incendios.
- En la retirada del vehículo la llave de activación de este debe retirarse a una distancia adecuada. Además, si fuera el caso, la batería estándar (12/24voltios) debería desconectarse para evitar que el vehículo se active o arranque.
- Como norma general se debería evitar remolcar este tipo de vehículos, a menos que se esté completamente seguro de que es posible hacerlo ya que los voltajes peligrosos pueden ser generados por el movimiento de las ruedas motrices. Se recomienda otra vez revisar las indicaciones de los fabricantes en esta situación.

Siempre que se realicen trabajos en tensión o en proximidad de elementos en tensión cuando hay riesgo de contacto con ellos deberá utilizarse **equipos de protección individual**, teniendo en cuenta:

- La gestión de la utilización de equipos de protección individual (EPI) en el centro de trabajo debe estar presidida por el cumplimiento de las obligaciones que impone el [Real Decreto 773/1997](#), de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- La previsión de la utilización de equipos de protección individual debe ser una consecuencia de la preceptiva evaluación de riesgos de los puestos de trabajo con vehículos eléctricos o híbridos, para cada persona y situación concreta. La utilización de estos debe recogerse en los pertinentes procedimientos de trabajo que deben elaborarse cuando se trabaja en tensión o en proximidad.

No obstante lo dicho, como norma general debe considerarse o recurrirse, al menos, a la utilización de los siguientes equipos de protección:

- **Guantes aislantes de la electricidad.** Fabricados con elastómeros o material plástico, utilizados para la protección contra los peligros eléctricos. En ocasiones se utilizan guantes compuestos o largos compuestos (que llegan hasta las axilas), fabricados con una protección mecánica incorporada. Actualmente, sólo hay guantes compuestos disponibles para las clases 00, 0 y 1. Asimismo, solo se disponen guantes compuestos largos para las clases 1, 2 y 3. La tensión máxima recomendada para cada clase de guantes es:

Clase	Color	Tensión alterna eficaz (Vef)	Tensión continua (V)
00	Beige	500	750
0	Rojo	1000	1500
1	Blanco	7500	11250
2	Amarillo	17000	25500
3	Verde	26500	39750
4	Naranja	36000	54000

Con carácter general, para el caso que nos ocupa será suficiente con la utilización de guantes de la clase 00 o 0. No obstante, deberá estudiarse en cada caso concreto, en función de la tensión de contacto.

Algunos guantes pueden tener, además, características de resistencia especiales:

Categoría	Resistencia
A	Ácido
H	Aceite
Z	Ozono
R	Ácido, aceite y ozono
C	A muy bajas temperaturas

Nota 1. La categoría R combina las características de las categorías A, H y Z.
Nota 2. Todas las categorías de combinaciones pueden ser utilizadas.

En el caso de que el riesgo de contacto eléctrico coexistiera con el riesgo de exposición química podría estudiarse la posibilidad de utilizar guantes aislantes con características de resistencia especiales o bien utilizar guantes de protección química (se verán más adelante) por encima de los guantes aislantes. En este último caso deben tenerse en cuenta las previsiones del apartado E.4 (“Precauciones de uso”) del anexo E de la norma UNE-EN 60903:2005. Esta decisión deberá ser tomada teniendo en cuenta los resultados de la correspondiente evaluación de riesgos, el asesoramiento del servicio de prevención (modalidad preventiva adoptada por la empresa) y la información que al respecto pueda aportar la empresa proveedora de los equipos.

En el mercado de los guantes debe aparecer la siguiente información:

- símbolo de apropiado para los trabajos en tensión: doble triángulo;
- número de la norma europea inmediatamente contiguo al símbolo con el año de publicación (EN 60903:2005);
- nombre, marca registrada o identificación del fabricante;
- talla;
- categoría, si procede;
- clase;
- número de serie o número de lote;
- mes y año de fabricación.

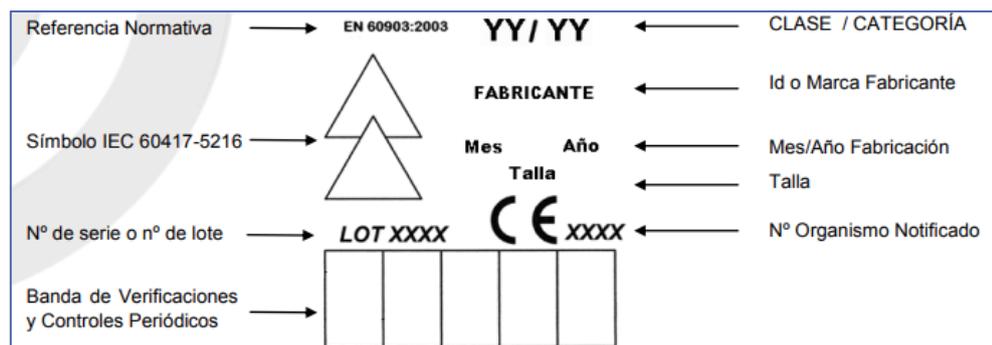


Ilustración 6. Marcado de los guantes aislantes de electricidad. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Madrid), 2014)

Los guantes compuestos, además, vendrán marcados por el símbolo mecánico de un martillo, contiguo al doble triángulo.

Se recomienda consultar la norma UNE-EN 60903:2005 y, muy concretamente, su anexo D “Guía para la selección de la clase de guantes en función de la tensión nominal de una red” y su anexo E “Recomendaciones para la utilización”.

- **Pantalla facial.** Para la protección contra el arco eléctrico producido por un cortocircuito y contra materiales fundidos y sólidos candentes procedentes del mismo. La pantalla facial debe cumplir los requisitos de la norma UNE EN 166:2002, tanto en lo que se refiere al ocular como a la montura. La norma anterior contempla el marcado del ocular y de la montura por separado, salvo el caso en el que la pantalla facial forme una unidad indisociable, en cuyo caso habrá un único marcado sobre la montura.

27

En el marcado (o marcados), además de la identificación del fabricante y el número de la norma, se recogen los diferentes símbolos de los campos de uso entre los que debe aparecer, al menos, el símbolo **8** de solidez al arco eléctrico de cortocircuito.

- **Calzado aislante de la electricidad.** Protege a la persona usuaria contra el choque eléctrico impidiendo el paso de una corriente peligrosa por el cuerpo a través de los pies. Tal y como recoge la norma UNE-EN 50321-1:2018, el calzado aislante de la electricidad se clasifica, en función de su uso o de la proximidad a instalaciones eléctricas de una tensión nominal definida, en las siguientes clases:

Clase	Color	Tensión alterna eficaz (Vef)	Tensión continua (V)
00	Beige	500	750
0	Rojo	1000	1500
1	Blanco	7500	11250
2	Amarillo	17000	25500
3	Verde	26500	---
4	Naranja	36000	---

Con carácter general, para el caso que nos ocupa será suficiente con la utilización de calzado aislante de la clase 00 o 0. No obstante, deberá estudiarse en cada caso concreto.

El calzado aislante de la electricidad debe estar marcado, en primer lugar, conforme a las normas UNE-EN ISO 20345:2022, UNE-EN ISO 20346:2022 y UNE-EN ISO 20347:2022, pero además debe portar el marcado que recoge la norma UNE-EN 50321-1:2018 con la siguiente información:

- símbolo de adecuado para trabajo en tensión: doble triángulo;
- número de la norma EN 50321;
- clase eléctrica;
- tensión de corriente de ensayo *ca* (corriente alterna) o *ca* (corriente alterna) / *cc* (corriente continua).

Además, cada unidad de calzado aislante de la electricidad debe estar provista de una banda o espacio destinado a anotar la fecha de puesta en servicio, la fecha de verificación o la fecha de cada inspección periódica. Esto se debe colocar cerca del símbolo IEC.

Por último, si se usa un código de colores, el símbolo consistente en el doble triángulo debe tener la correspondencia de color recogido en la tabla anterior.

Protección frente al riesgo de incendio

El origen del riesgo: la fuga térmica

La fuga térmica de una batería ion litio tiene lugar cuando en alguna celda se alcanzan temperaturas elevadas debido a un fallo energético. En esta situación de fallo, la velocidad de autocalentamiento de la celda se vuelve mayor que la velocidad a la que puede disipar calor a los alrededores con lo que la temperatura aumenta exponencialmente (ecuación de Arrhenius), se pierde la estabilidad térmica y se produce la fuga térmica. Cuando la temperatura interna de la celda es lo suficientemente alta como para que se inflame el electrolito, que es un líquido orgánico, el material de óxido del cátodo se descompone y libera oxígeno. Por lo tanto, en la celda dañada coexisten ahora el combustible (electrolito orgánico líquido) y oxígeno (de los óxidos en el cátodo) iniciando un fuego que puede generar su propio oxígeno, haciéndolo extremadamente difícil de extinguir.

Estos fallos pueden ser debidos a (Mikolajczak, Kahn, White, & Long, 2011):

- **Abuso térmico.** El sometimiento a calentamiento externo es una de las formas más directas de superar la estabilidad térmica de la celda. La exposición a altas temperaturas (por ejemplo, por llamas, exposición a gases de combustión calientes de un incendio próximo, almacenamiento expuesto a la radiación solar o el contacto con células adyacentes que sufren reacciones térmicas fuera de control, entre otros) inducirá fácilmente la fuga térmica en esa celda. El fallo en una celda causará fuga térmica en las celdas vecinas propagándose la reacción térmica fuera de control a través de todo el paquete de baterías. Las baterías de iones de litio utilizadas en los vehículos eléctricos están formadas por cientos o incluso miles de celdas individuales. Si una sola celda se sobrecalienta, se incendia o incluso explota, la propagación del calor a las celdas adyacentes puede llevar rápidamente a una situación catastrófica
- **Abuso mecánico.** El abuso mecánico puede ser el generador de un cortocircuito interno entre los electrodos de ésta, lo que puede llevar a un calentamiento celular localizado que se propaga a toda la celda e inicia la fuga térmica. El abuso mecánico puede ser grave y provocar un fallo inmediato o puede ser leve y crear un defecto que genere de forma diferida un posterior fallo.
- **Abuso eléctrico:**
 - Sobrecarga. La sobrecarga puede convertirse en la causa de una degradación tanto del ánodo como del cátodo. En el ánodo puede provocar un recubrimiento en lugar de que el litio se intercale en el mismo. Este litio depositado puede crecer con el tiempo y formar dendritas que perforan el separador de la celda y generar cortocircuitos internos que serían origen de la fuga térmica. En el cátodo la sobrecarga puede causar una eliminación excesiva de litio de las estructuras materiales de aquél, lo que podría generar una reacción exotérmica que podría llevar a la fuga térmica. Una sobrecarga severa puede conducir a una fuga térmica inmediata de la celda, por el contrario, la sobrecarga leve repetida puede no ser causa de un fallo durante un período prolongado, pero eventualmente podría ser origen de una fuga térmica. Las sobrecargas pueden darse tanto por un sobrevoltaje como por una carga con corrientes excesivas.
 - Cortocircuito externo. La descarga de alta velocidad provocada por un cortocircuito externo puede causar un calentamiento resistivo dentro de las

celdas (en puntos de alta impedancia). Dicho calentamiento podría exceder el límite de estabilidad térmica y generar una fuga térmica.

- Descarga excesiva. La simple descarga excesiva de una celda de ion litio a 0 voltios no debe causar una reacción térmica fuera de control por sí misma, sin embargo, sí que puede generar daños internos en los electrodos y colectores de corriente (como, por ejemplo, la disolución del colector de cobre del ánodo) y puede producir un recubrimiento de litio si la celda se recarga repetidamente como consecuencia de repetidas descargas en exceso para, finalmente producir una fuga térmica. Normalmente los vehículos eléctricos incorporan sistemas electrónicos de gestión y protección de baterías que evitan que la batería pueda ser repetidamente sobre descargada.
- **Diseño electroquímico de celda deficiente.** En ocasiones, el envejecimiento de la celda puede ser causado por una degradación inesperada de algún componente (algún electrodo, el separador de electrodos o el electrolito) que puede provocar fallos térmicos fuera de control.
- **Fallos internos relacionados con defectos de fabricación.** Como norma, la inmensa mayoría de baterías ion litio están diseñadas de manera robusta y no tienen problemas de diseño obvios. Sin embargo, existen defectos que podrían ocurrir durante la fabricación y que podrían ser origen de fugas térmicas. Por ejemplo, puede haber defectos en las materias primas de las celdas, en los recubrimientos de electrodos, contaminantes introducidos durante el proceso de ensamblaje y componentes mal colocados, mal aplicados o dañados (materiales extraños a la batería, elementos sueltos de componentes, daños en electrodos, rebabas en las lengüetas de los electrodos, etc.).

Las medidas preventivas para evitar la fuga térmica en este tipo de baterías deben orientarse a evitar las causas de fallo anteriores.

Energía almacenada en la batería

El contenido energético almacenado en una celda de ion litio es la suma de la energía eléctrica y la energía química almacenadas. La energía eléctrica almacenada bien la podríamos asimilar a su capacidad nominal medida en Ah. La energía química no es fácil de medir, pero se puede hacer una aproximación considerando los calores de combustión de los diferentes componentes inflamables que la componen y la cantidad de estos:

- **Electrolito.** Como mezcla de carbonatos orgánicos como el carbonato de etileno o carbonato de dietilo, entre otros posibles. Estos disolventes orgánicos contienen iones litio solvatados procedentes de sales de litio; la más comúnmente utilizada es el hexafluorofosfato de litio (LiPF₆). Además, los fabricantes suelen incluir una serie de aditivos que mejoran las características de rendimiento. La mezcla de carbono litiado (ánodo) y el electrolito orgánico no es termodinámicamente estable, produciéndose una reacción exotérmica cuyo resultado es la formación de una capa pasivante en la superficie de carbono (interfase electrolito-sólido, SEI) y la formación de algunos gases que resultan de la descomposición del electrolito (como por ejemplo gas etileno y propileno, pequeñas cantidades de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, monóxido de carbono, metano o dióxido de carbono, dependiendo de los disolventes utilizados). Una celda tipo podría tener alrededor de 10 gramos de electrolito (dato muy orientativo).
- **Separador de electrodos.** Suelen utilizarse de polietileno, polipropileno o una mezcla de estos. Una celda tipo podría tener alrededor de 1,5 gramos de este material (dato muy orientativo).

Para tener una idea aproximada de la cantidad de energía que puede almacenar una celda tipo completamente cargada, esta puede oscilar entre 25 y 40 KJ (quilojulios).

Etapas de desarrollo del fallo

Ocurrido un fallo eléctrico en una batería de ion litio, este se desarrollaría posteriormente en las siguientes etapas:

- **Emisión de gases.** Se produce antes de la fuga térmica, durante el venteo inicial de la celda de la batería (desgasificación), aumenta cuando se produce la fuga térmica, y continúa después. Estos gases podrían ser el origen de una explosión si se acumulan dentro de las celdas de la batería.
- **Humo.** Al aumentar la temperatura en la celda se empiezan a descomponer los materiales que la conforman produciéndose humo (partículas en descomposición) que se arrastra por la corriente térmica generada. El humo puede aparecer antes de la emisión de gases si el fallo de la batería es originado por calor externo.
- **Fuego.** Con las altas temperaturas generadas coexistiendo con gases potencialmente inflamables el desarrollo de un incendio es inevitable, máxime si la fuga térmica no se

controla y se propaga a todas las celdas adyacentes (lo que, además, como ya se ha dicho, genera un incremento exponencial de la temperatura).

Generado el incendio la acción pasa por una eficaz extinción y sobre todo limitación (contención) de este, dejando atrás las medidas preventivas. Las consecuencias de este tipo de incendio son:

32

- la liberación de gases tóxicos (HF, CO, CO₂, POF₃, etc.);
- la liberación de una gran cantidad de calor (se alcanzan temperaturas muy elevadas que incluso pueden superar los 1000°C);
- la posible evolución y avance del frente de fuego;
- el riesgo de explosión.

Prevención del riesgo de incendio

Siguiendo los principios de la acción preventiva que recoge nuestra vigente [Ley 31/1995](#), de prevención de riesgos laborales, las primeras medidas que deben adoptarse son aquellas que tienen como objetivo evitar los riesgos, es decir, aquellas que tienen como objetivo prevenir, en este caso, el riesgo de incendio. Por ello la empresa, con el asesoramiento de su modalidad preventiva, debe planificar y adoptar una serie de actuaciones que, para el caso concreto del riesgo de incendio debido al uso o manipulación de vehículos eléctricos que utilizan baterías de tracción de ion litio, tengan como objetivo evitar el desarrollo de fugas térmicas en este tipo de baterías. Para ello, debe pensarse en medidas que eviten las principales causas generadoras de estas como, entre otras posibles:

- La utilización de baterías de ion litio con electrolito en estado sólido evitaría la fuga térmica. No obstante, todavía la implementación de este tipo de electrolitos sólidos está en fase de investigación y desarrollo y, por tanto, en la situación actual no podemos considerar esta posibilidad como una medida preventiva real.
- Evitar la exposición de los vehículos eléctricos y sus baterías a focos de calor externo o a ambientes con temperaturas elevadas (los fabricantes informan de los límites de temperatura en los que deben operar las baterías) como podría ser el caso de ciertas cabinas de pintura. Como norma general se considera que a partir de 70°C en una celda podría iniciarse la generación de una fuga térmica. Deben de reservarse espacios específicos para la ubicación y trabajo en estos vehículos, preferentemente bien ventilados, en los que se garantice un ambiente térmico adecuado. Para el

almacenamiento de baterías debe seleccionarse un lugar fresco y seco, debe evitarse que incidan sobre ellas la luz solar directa. El contacto del litio con agua genera una reacción exotérmica con formación de sustancias tóxicas e hidrógeno inflamable.

- Trabajar con el vehículo habiendo procedido previamente al aislamiento de la batería de alta tensión. Esta medida ya fue contemplada cuando se trató el riesgo eléctrico.
- Evitar el abuso mecánico sobre las baterías (golpes, perforaciones, etc.) en su manipulación, por lo que esta debe hacerse con los medios materiales y equipos de manipulación adecuados (además, actuamos así también sobre el riesgo de origen ergonómico). No respetar esta condición puede llevar a cortocircuitos internos en las células que conforman la batería y el posterior desarrollo de una fuga térmica fuera de control que propiciara el incendio o incluso la explosión de la batería. En el caso de almacenamiento debe verificarse también esta condición; deben almacenarse de manera que se garantice su protección frente a impactos, caídas y daños mecánicos en general.

33

En circulación, la mayoría de los vehículos eléctricos o híbridos disponen su batería en la parte inferior del habitáculo (por estadística, el lugar menos propenso a choques) y en una jaula de seguridad reforzada. Aún así, en un accidente de tráfico importante, en el que la batería pueda sufrir un fuerte golpe o una perforación y con ello un cortocircuito interno, los sistemas de seguridad del vehículo permiten cortar el circuito de alimentación de alta tensión (aislamiento de la batería de alta tensión) para evitar que el incendio se propague con rapidez. Dependiendo del fabricante estos sistemas pueden actuar cuando se despliega algún airbag, se detecta el vuelco del vehículo o incluso cuando, estando parado, otro vehículo choca contra él. No obstante, se recomienda siempre que, con independencia de la desconexión automática, se proceda, siempre que sea posible, a la desconexión manual prevista por los fabricantes (deben seguirse escrupulosamente las indicaciones y recomendaciones de estos).

Las baterías dañadas o defectuosas deben retirarse inmediatamente de la zona de producción o almacenamiento general para ser almacenadas temporalmente en un lugar adecuado (fresco y ventilado), que no interfiera con las vías y salidas de evacuación, aislado y alejado de otros materiales combustibles o inflamables.

- Evitar el abuso eléctrico por sobrecarga o descarga excesiva. Actualmente todos los vehículos eléctricos incorporan un sistema electrónico de gestión de baterías (BMS). Se trata de un sistema de hardware y software que controla y gestiona el rendimiento de

la batería, garantizando el control de su funcionamiento dentro de los márgenes de seguridad. Un BMS puede evitar la sobrecarga y la sobredescarga potencialmente generadoras de fugas térmicas. También controla la carga restante de la batería, su temperatura y estado, si hay conexiones sueltas o cortocircuitos internos. Cuando el BMS detecta condiciones inseguras interrumpe el funcionamiento de la batería. Estos sistemas, actualmente incorporados en todos los modelos de vehículos, impiden la carga real de la batería al 100% y su descarga real al 0%.

En el proceso de carga de la batería deben observarse y seguirse escrupulosamente las instrucciones de los fabricantes.

- Debe evitarse la descarga de alta velocidad provocada por un cortocircuito externo ya que como ya se ha indicado anteriormente esta puede causar un calentamiento resistivo dentro de las celdas (en puntos de alta impedancia) que podría exceder el límite de estabilidad térmica y generar una fuga térmica. Para ello, deben seguirse las recomendaciones y medidas preventivas recogidas frente al riesgo eléctrico para esta situación concreta.

Extinción y contención del incendio. Medidas de protección

Cuando a pesar de las medidas preventivas adoptadas se origina un incendio en el que intervienen este tipo de baterías de ion litio de gran capacidad, ya solo cabe la planificación de medidas de protección y contención del incendio.

Las medidas de protección se dirigen básicamente a la detección del incendio, la extinción y sobre todo a limitar sus efectos, evitando su propagación y daños a las personas y bienes.

Una vez se inicia el mecanismo de fuga térmica y se producen las reacciones en cadena asociadas, se produce la liberación de una gran energía calorífica, así como de gases tóxicos e inflamables. La evolución natural del desarrollo de este evento es la generación de un incendio de alta temperatura, pudiendo producirse también explosiones y sucesivas reigniciones.

Parece haber un gran consenso en la bibliografía consultada sobre la gran dificultad de extinción de este tipo de incendios (Euralarm, 2022; Mikolajczak, Kahn, White, & Long, 2011). Asimismo, actualmente no parece haber consenso científico y técnico sobre cuál es la mejor respuesta ante un evento de fuga térmica y posterior desarrollo de un incendio en este tipo de baterías.

Lo que sí que parece claro es que la extinción de un incendio en una batería de ion litio de alta capacidad requiere mucha más agua aplicada durante mucho más tiempo que en un incendio típico que pudiera darse en un taller de reparación y mantenimiento o en vehículos de motor de combustión, debido a los potenciales procesos de reignición.

Hasta tal punto es así, que algunos documentos técnicos estudiados (Terlouw, 2019) recogen que la única opción disponible que ha demostrado ser efectiva para extinguir un incendio en un vehículo eléctrico provocado por una batería, es sumergirla completamente en agua. Sin embargo, como norma, esta opción difícilmente será viable en la mayoría de los casos, máxime cuando estos vehículos se encuentren en espacios cerrados. Actualmente no parecen existir métodos efectivos y contrastados de extinción en espacios cerrados.

La información procedente de fuentes públicas disponibles realizadas hasta la fecha no permite una evaluación exhaustiva de si los sistemas tradicionales de rociadores automáticos a base de agua, los sistemas de agua nebulizada o algún otro sistema de supresión a base de agua serían los más eficientes para la protección de las celdas o baterías de iones de litio almacenadas o dispuestas en vehículos eléctricos, habida cuenta de la presencia de alta tensión en las mismas. Sin embargo, varias fuentes, incluida la FAA (Federal Aviation Administration) y la Marina de los Estados Unidos, recomiendan el uso de agua como agente de enfriamiento y extinción (Mikolajczak, Kahn, White, & Long, 2011).

La Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) revisa recurrentemente la norma NFPA 88A 2019. Esta norma tiene el propósito de proporcionar estándares mínimos de protección contra incendios para las instalaciones de estacionamiento de vehículos. Uno de los cambios que se está estudiando por la NFPA es precisamente aumentar la cantidad de agua que se necesita para una instalación automática de extinción por rociadores en un

Mire estos vídeos...

Televisión Canaria. (4 de agosto de 2022). *Los riesgos que conlleva apagar el fuego de un vehículo eléctrico.*

[Vídeo]. Youtube.

https://youtu.be/z78JKIQyE4E?si=SZHu_g1tEkNxEdlh

VIXX. (30 de abril de 2022). *An Electric Bus Caught Fire After Battery Explosion in Paris.* [Vídeo]. Youtube.

<https://youtu.be/5r-yN8SugWM?si=8RaNp0Lwbk6uY5nL>

Feuerwehr der Stadt Landeck. (17 de octubre de 2017). *Brand eines Elektrofahrzeuges nach Unfall.* [Vídeo]. Facebook.

<https://fb.watch/nrO4Hlq0A2/>

aparcamiento, lo que podría hacerse extensivo (al menos como referencia) a cualquier espacio cerrado en el que exista un riesgo potencial de incendio de este tipo de baterías dispuestas en vehículos eléctricos o almacenadas. De la misma forma, la norma NFPA 13, para la instalación de sistemas de rociadores, actualmente tampoco proporciona recomendaciones específicas para la clasificación de productos (o estrategias de protección contra incendios) para celdas de iones de litio o baterías completas que contienen dichas celdas.

En el caso de que el incendio no se produjera en la batería, sino que se produjera en otras partes del vehículo o del local en el que se encuentra este, los sistemas de extinción (automática o manual) convencionales dispuestos según la normativa industrial de aplicación podrían servir para extinguir estos incendios y evitar que afectaran a las baterías allí existentes (y evitar potenciales fugas térmicas por exposición al calor del incendio). Se trata en este caso de la disposición de extintores portátiles, bocas de incendio equipadas e incluso sistemas de detección y extinción automáticos (por ejemplo, mediante rociadores), según sea el caso y disponga la reglamentación vigente.

Con todos los condicionantes expuestos en los párrafos anteriores, se pueden proponer y recomendar algunas medidas de protección que enumeramos a continuación.

Medidas de protección pasiva

- Disposición de lugares específicos para el trabajo con vehículos eléctricos, preferentemente en plazas individuales. Estos espacios deberían tener la capacidad de no propagar el incendio (por resistencia térmica estructural, sectorización, ignifugación de elementos estructurales y separadores o por alejamiento de materiales combustibles e inflamables y de otros vehículos). En estos lugares deben garantizarse temperaturas por debajo de los límites indicados por los fabricantes, para evitar potenciales fugas térmicas en las celdas de las baterías. Además, debe estudiarse la ubicación de estos lugares para que no existan interferencias con vías y salidas de evacuación de las personas trabajadoras a la hora de aplicar los protocolos de evacuación recogidos en las medidas de emergencia o de autoprotección del centro de trabajo.
- Igual consideración habría que hacer cuando, aunque sea temporalmente, deban almacenarse baterías de ion litio de gran capacidad, es decir, deben disponerse lugares específicos acondicionados para este tipo de almacenamiento, a ser posible con

separación física entre baterías o bien separadas por una distancia conveniente para que el incendio en una de ellas no afecte al resto de baterías cercanas. Deben tenerse muy en cuenta las recomendaciones que al respecto del almacenamiento hagan los fabricantes.

Medidas de protección activa

- El desarrollo de un fallo eléctrico en una o varias celdas de una batería conlleva antes, durante y posteriormente a la fuga térmica, la emisión de gases y humos (por descomposición de los elementos que la componen). Esta circunstancia debe ser aprovechada para llevar a cabo una detección precoz que permita actuar más rápida y eficazmente a los servicios de emergencia y extinción. Una primera forma de detección precoz la pueden proporcionar los sistemas electrónicos de gestión de baterías (BMS) que incorporan los vehículos.

No obstante, se recomienda la disposición de un sistema adecuado de detección y alarma que detecte el incendio en la etapa más temprana posible para que puedan darse las señales e indicaciones necesarias. El sistema debe incorporar un equipo de control e indicación (ECI) que reciba las señales de los detectores involucrados (y, en su caso pulsadores manuales de alarma), indiquen la localización exacta del peligro y cualquier condición de alarma de incendio mediante señales acústicas y visuales. Estos sistemas deben cumplir los requisitos previstos en la reglamentación industrial vigente y, muy concretamente, lo previsto en el apartado 1 de la [sección 1ª del anexo I del Real Decreto 513/2017](#), por el que se aprueba el reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

Una opción adecuada, sin descartar otras posibilidades, podría ser la utilización de detectores de humo puntuales y multisensores. Se trata de uno de los sistemas más comúnmente utilizados. Cada vez son más comunes los detectores multisensoriales que combinan la detección óptica de humo y la detección de calor. En algunas variantes, también detectan algunos gases como el monóxido de carbono (CO). La interconexión inteligente de estas señales ofrece una detección más fiable. No obstante, a la hora de elegir el sistema más adecuado deben estudiarse también los condicionantes propios del lugar de trabajo y sus características.

- En caso de producirse un conato de incendio que pueda afectar a la o las baterías de ion litio de alta capacidad de los vehículos eléctricos ubicados en el lugar, pueden utilizarse los medios de extinción dispuestos en el centro de trabajo (reglamentarios) para sofocar dicho conato, en la manera y con los equipos de protección individual que



Fotografía 5. Cámara termográfica. [HT Instruments](#).

se tenga previsto utilizar en el documento de medidas de emergencias o de autoprotección. Sofocado el conato de incendio, una medida preventiva recomendable sería la comprobación mediante cámara termográfica de que no ha habido calentamiento de la batería o baterías expuestas. Un calentamiento de estas, aunque sea puntual, podría ser el germen de una fuga térmica.

En caso de no poder sofocarse el conato con los medios de extinción presentes, debe seguirse el protocolo

previsto en el documento de medidas de emergencia o autoprotección, lo que pasa por evacuar de inmediato a todo el personal y dar aviso a los servicios externos de extinción informando con precisión de la situación.

- Cuando el origen del incendio es una fuga térmica en una batería, **la extinción del mismo se complica y dificulta muchísimo**, por lo que no se recomienda la intervención de ninguna persona trabajadora. En este caso, se debería dar aviso a los servicios de extinción externos para que procedan a su extinción y contención ya que solo estos disponen de medios humanos y técnicos adecuados (en lo referente a la capacidad de aporte de agua abundante por medio de autobombas) y equipos de protección personal (ropa de protección y equipos de respiración autónoma) que permiten una extinción segura.

La extinción de un incendio en una batería no termina con la sofocación de las llamas; mientras queden zonas calientes existirá la posibilidad de desarrollo de fugas térmicas en estas que volverían a reactivar el incendio. Es por ello que los servicios de

emergencia deben proceder a la refrigeración posterior de la misma incluso durante muchas horas.

- Resulta imperativo en estos lugares gestionar el control de los gases tóxicos y humo generados en el incendio. Así deben preverse sistemas adecuados a cada caso para el control de humos y calor. Estos sistemas pueden extraer los gases calientes generados al inicio de un incendio y crear áreas libres de humo por debajo de capas de humo flotante, favoreciendo así las condiciones de evacuación y facilitando las labores de extinción de los equipos de emergencia. Con la ayuda de empresas especializadas se proyectará y adoptará el sistema más adecuado al caso particular, dentro de las posibilidades que ofrece el apartado 13 de la [sección 1ª del anexo I del Real Decreto 513/2017](#), por el que se aprueba el reglamento de instalaciones de protección contra incendios. En cualquier caso, el objetivo es evitar la exposición de las personas trabajadoras presentes en el centro de trabajo a dichos humos y gases tóxicos, favorecer la evacuación segura de estas, así como permitir a los equipos de emergencia el control y extinción de manera segura.

Protección frente al riesgo químico

Origen del riesgo químico

En este apartado solo se va a tratar el riesgo químico desde el punto de vista de la seguridad, por exposición aguda y contacto puntual con las sustancias químicas presentes en las celdas o que se puedan generar y fugar de éstas con motivo de fallos, incendios o explosiones. En cualquier caso, correspondería a la modalidad preventiva adoptada por empresa valorar una potencial exposición desde el punto de vista higiénico.

La potencial exposición al riesgo químico de las personas trabajadoras en talleres de reparación de vehículos híbridos o eléctricos o por manipulación de baterías de tracción de ion litio va a depender tanto de la química de la propia batería como de la situación concreta de las tareas requeridas en cada caso. Así, en la preceptiva evaluación de este riesgo deberá distinguirse entre aquellas situaciones en las que no es previsible la exposición a este riesgo (por ejemplo, en tareas de reparación de partes mecánicas del vehículo en las que no se

interviene sobre la batería y esta está aparentemente en buen estado), con otras en las que sí puede ser previsible dicha exposición (como por ejemplo en la reparación de vehículos accidentados con baterías defectuosas o bien en tareas de retirada de baterías por fin de su vida útil).

Una química típica en este tipo de baterías se conformaría por cátodos de dióxido de litio cobalto (entre otros posibles óxidos metálicos), ánodos de grafito, electrolito constituido por un disolvente (carbonatos orgánicos) como el carbonato de etileno o carbonato de dietilo, y una sal conductora como hexafluorofosfato de litio (LiPF₆), al que se añade también un aditivo para mejora del rendimiento, y un separador poroso de electrodos normalmente de polietileno, polipropileno o una mezcla de estos.

40

La exposición puede ocurrir por fugas y salpicaduras del propio electrolito en la manipulación de la batería cuando esta está dañada o ha perdido su estanqueidad. Si el electrolito reacciona con la humedad o el agua puede formar fluoruro de hidrógeno o ácido fluorhídrico (HF). Esta sustancia es altamente corrosiva debido a los protones (H⁺) y altamente tóxica debido a los iones fluoruro (F⁻).

Por otro lado, si por cualquier fallo de los ya indicados la temperatura en alguna parte de la batería supera el límite establecido por el fabricante (60-70°C) el electrolito puede empezar a evaporarse, aumentando la presión en las celdas y llegando a provocar un fallo mecánico en el interior de la batería. El calor generado en esta situación aumenta todavía más la velocidad de las reacciones exotérmicas producidas, lo que a su vez provoca un mayor aumento de la temperatura desencadenando una fuga térmica con efecto dominó. En esta situación pueden generarse fugas de electrolito (líquidas y gaseosas), incendios y explosiones sucesivas.

En la emisión de gases y humos previa a la fuga térmica se libera fluoruro de hidrógeno o ácido fluorhídrico (que puede formarse con la humedad ambiente o como consecuencia del posterior incendio) y otros compuestos de descomposición (del resto de componentes de la celda).

Iniciado el incendio, además se generan diversos productos de combustión como monóxido y dióxido de carbono (CO y CO₂), fluoruro de hidrógeno o ácido fluorhídrico (HF), cloruro de hidrógeno o ácido clorhídrico (HCl), formaldehído, fluoruro de fosforilo (POF₃, precursor de HF), benceno, estireno..., en función de la química de la batería. En cualquier caso, se trata de compuestos químicos extremadamente peligrosos como veremos a continuación.

Las **características de peligrosidad para la salud** de algunas de las sustancias que podrían estar presentes, sin ánimo de exhaustividad, son:

- Hexafluorofosfato de litio (LiPF_6):
 - Toxicidad aguda (oral) de categoría 3 (H301).
 - Corrosión o irritación cutánea de categoría 1 (H314).
 - Lesiones oculares graves o irritación ocular de categoría 1 (H318).
 - Toxicidad específica en determinados órganos (por exposiciones repetidas) de categoría 1 (H372).



- Fluoruro de hidrógeno o ácido fluorhídrico (HF)
 - Toxicidad aguda por inhalación de categoría 2 (H330).
 - Toxicidad aguda cutánea de categoría 1 (H310).
 - Toxicidad aguda oral de categoría 2 (H300).
 - Corrosión o irritación cutánea de categoría 1ª (H314).



- Carbonato de dietilo ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_3$):
 - Líquido inflamable de categoría 3 (H226).



- Clasificación del carbonato de etileno ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$):
 - Toxicidad aguda oral de categoría 4 (H302).

- Lesiones oculares graves o irritación ocular de categoría 2 (H319).
- Toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas) de categoría 2 (H373).



- **Benceno:**

- Líquido inflamable de categoría 2 (H225).
- Corrosión o irritación cutáneas de categoría 2 (H315).
- Lesiones oculares graves o irritación ocular de categoría 2 (H319).
- Mutagenicidad en células germinales de categoría 1B (H340).
- Carcinogenicidad de categoría 1A (H350).
- Toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas) de categoría 1 (H372).
- Peligro por aspiración de categoría 1 (H304).



- **Monóxido de carbono (CO):**

- Gas inflamable de categoría 1 (H220).
- Toxicidad aguda por inhalación de categoría 3 (H331).
- Toxicidad para la reproducción categorías 1ª y 1B (H360D, puede dañar al feto).
- Toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas) de categoría 1 (H372).



Lo anterior muestra, a modo de ejemplo y sin ánimo de exhaustividad, la peligrosidad de algunas de las sustancias a las que podrían verse expuestas las personas trabajadoras. Sin embargo, como ya se ha indicado, en función de la química de la batería podrían verse expuestas a más sustancias con características peligrosas para la salud, así como a la mezcla de estas (con posibles efectos sinérgicos y aditivos).

La gestión del riesgo químico debe estar presidida, como no puede ser de otra forma, por el cumplimiento de las obligaciones que impone el [Real Decreto 374/2001](#), de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.

Como ante cualquier riesgo al que puedan estar expuestas las personas trabajadoras, debe procederse previamente a la preceptiva evaluación de riesgos del puesto de trabajo concreto y de las personas que lo ocupan. Esta tarea debe ser llevada a cabo por el servicio de prevención de la empresa (modalidad preventiva adoptada). Las medidas preventivas y de protección que se planifiquen para evitar o reducir y controlar el riesgo deben ser una consecuencia de la evaluación anterior y deberán tener en cuenta, entre otras posibles, la información que al respecto faciliten las empresas fabricantes.

La evaluación del riesgo no puede tener carácter genérico, más bien al contrario, debe adaptarse tanto a las circunstancias concretas del puesto de trabajo (tipo de tarea, vehículo, entorno, etc.) en sus diferentes escenarios de potencial exposición, como a las personas trabajadoras.

Las medidas que deben adoptarse para combatir este riesgo de origen químico serán tanto preventivas como de protección. Muchas de las medidas preventivas y de protección recomendadas para los riesgos tratados anteriormente podrían ser igualmente adecuadas y aplicables para el riesgo químico, tales como, por ejemplo, la utilización de baterías de ion litio con electrolito en estado sólido, evitar la exposición de los vehículos eléctricos y sus baterías a focos de calor externo o a ambientes con temperaturas elevadas, reservar espacios específicos

y adecuados para la ubicación y trabajo en estos vehículos, etc., así como, en general cualquier medida que tenga como objetivo evitar el inicio de fugas térmicas o causar daño mecánico a las baterías. No obstante, con carácter más específico, a continuación se proponen una serie de medidas preventivas y de protección frente al riesgo químico.

Prevención del riesgo químico

Algunas de las medidas preventivas que deben adoptarse son:

- Como quiera que uno de los escenarios de exposición al riesgo químico deviene de la exposición a la gran cantidad de humos y gases de combustión que se generan en el incendio provocado por las baterías en caso de fuga térmica, las medidas preventivas a adoptar en este caso son las mismas que las ya indicadas cuando se trató el riesgo de incendio, para evitar las fugas térmicas. A ellas nos remitimos.
- En el caso de incendio en una batería de ion litio de un vehículo, la actuación sobre el mismo debería dejarse en manos de los servicios de emergencia externos. Estos servicios tienen la capacidad y los medios (humanos y técnicos) adecuados para extinguir y contener el incendio de manera eficaz y segura. En este caso debe procederse a la inmediata evacuación de las personas presentes en el centro de trabajo hacia un lugar seguro y suficientemente alejado para evitar la exposición de estas a los humos y gases de combustión generados, y dar aviso a los servicios de emergencias y extinción exteriores.
- En cualquier caso, el documento de medidas de emergencias (previstas en el [artículo 20 de la LPRL](#)) o, en su caso, el plan de autoprotección, debe contemplar dentro de sus protocolos de actuación e implantación, este escenario concreto de incendio.
- Una medida preventiva recomendada es la comprobación visual del estado de la batería para ver si esta puede presentar defectos importantes o falta de estanqueidad que propiciara la potencial fuga de electrolito tanto en forma líquida como en forma de vapor. En estos casos se recomienda seguir escrupulosamente las recomendaciones e instrucciones de las empresas fabricantes sobre cómo actuar al respecto.
- Otra buena recomendación es la utilización de cámaras termográficas para controlar y detectar posibles puntos calientes en las baterías. También en este caso se recomienda seguir escrupulosamente las recomendaciones e instrucciones de las empresas fabricantes al respecto, en caso de que se detectara dicha circunstancia.

Como ya se ha indicado, este calentamiento local puede generar la evaporación del electrolito y su fuga al exterior por venteo o incluso en forma de explosión.

- Otras de las medidas preventivas, a las que se refieren los [artículos 18 y 19 de la LPRL](#), son la formación e información preventiva, en concreto sobre el riesgo químico, con que debe proveerse a las personas trabajadoras en los términos previstos en dichos artículos. La formación e información debe incluir, además, los protocolos de actuación, instrucciones o procedimientos de trabajo que se establezcan, la información que aporten las empresas fabricantes de los vehículos o baterías, en su caso, el modo de utilizar, limpiar, guardar y mantener los equipos de protección individual, así como las actuaciones en caso de situaciones de emergencia. La formación e información debe capacitar a las personas trabajadoras para combatir eficazmente su exposición al riesgo químico en cada potencial escenario

Protección frente al riesgo químico

En principio podríamos descartar para las personas trabajadoras y presentes en el centro de trabajo, el escenario de exposición debido a los humos y gases de combustión generados por el incendio de una batería de ion litio, escenario sobre el que ya se ha tratado en el apartado anterior y que debería competir a los servicios de emergencia y extinción exterior. Como ya se ha dejado claro, se recomienda que las personas trabajadoras y presentes en el centro de trabajo no actúen en tareas de extinción de incendios de este tipo de baterías y sean evacuadas con la mayor inmediatez posible. No obstante, si fuera previsible durante la evacuación una potencial exposición de estas personas a los humos y gases de combustión, se haría necesaria la previsión de la utilización de los correspondientes equipos de protección individual.

El servicio de prevención o modalidad preventiva adoptada por la empresa debe identificar otros escenarios en los que las personas trabajadoras puedan estar expuestas al electrolito de la batería o, en su caso, a los gases de descomposición de los materiales que componen las celdas en situaciones previas a fugas térmicas. Deberá identificarse en qué situaciones puede potencialmente darse esta exposición (por ejemplo, en la manipulación de baterías defectuosas o que han perdido la estanqueidad) y establecer, para cada una de ellas, las medidas de protección adecuadas, entre las que destacan:

- La utilización de equipos de protección individual, entre los que se encontrarían, previa evaluación del riesgo, los siguientes:
 - **Guantes de protección química.** Destinados a ser utilizados por la persona usuaria, proporcionan una barrera protectora frente a las sustancias químicas potencialmente peligrosas para la salud presentes en el electrolito de la batería. En caso de que la evaluación de riesgos del puesto ponga de manifiesto la necesidad de su utilización, deben elegirse los más adecuados, teniendo en cuenta específicamente las previsiones de la norma UNE-EN ISO 374-1:2016 +A1 2018, los requisitos generales de la norma UNE-EN ISO 21420:2020 y las indicaciones de la empresa suministradora.

Una característica importante de los guantes de protección es la permeación, como proceso físico-químico mediante el cual el producto químico se mueve a través del material del guante a nivel molecular. Implica absorción en la parte externa del material, difusión a través de él y desorción en fase vapor, de su superficie interna. Llegado a este punto, el producto químico podría ya entrar en contacto con la piel. El tiempo tras el cual se detecta el inicio de un proceso de permeación, medido en minutos, es lo que va a caracterizar la resistencia de un material frente a un determinado producto químico y se denomina *Tiempo de Paso Normalizado*, traducción del término empleado en inglés Normalized Breakthrough Time (NBT) (momento en el cual la tasa de permeación alcanza la tasa de permeación normalizada, 1 µg/cm² por minuto). El tiempo de paso normalizado se determina en base a un ensayo descrito en la norma EN 16523-1, según la cual se le asigna al material una clasificación para un producto químico determinado. Los niveles van desde 1 hasta 6, en orden creciente de resistencia, tal y como se recoge en la siguiente tabla:

NBT (min)	Nivel de rendimiento de permeación
>10	1
>30	2
>60	3
>120	4

>240	5
>480	6

Según su rendimiento de permeación, los guantes de protección química se clasifican en tres tipos: A, B o C:

- Los **guantes tipo A** tendrán al menos un rendimiento de permeación de nivel 2 con respecto a un mínimo de seis sustancias de ensayo de las enumeradas en la siguiente tabla.
- Los **guantes tipo B** tendrán al menos un rendimiento de permeación de nivel 2 con respecto a un mínimo de tres sustancias de ensayo de las enumeradas en la siguiente tabla.
- Los **guantes tipo C** tendrán un rendimiento de permeación de al menos nivel 1 con respecto a un mínimo de una sustancia problema de las enumeradas en la siguiente tabla.

Código	Producto químico
A	Metanol
B	Acetona
C	Acetonitrilo
D	Diclorometano
E	Sulfuro de carbono
F	Tolueno
G	Dietilamina
H	Tetrahidrofurano
I	Acetato de etilo
J	n-Heptano
K	Hidróxido sódico 40%
L	Ácido sulfúrico 96%
M	Ácido nítrico 65%
N	Ácido acético 99%

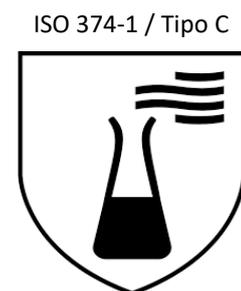
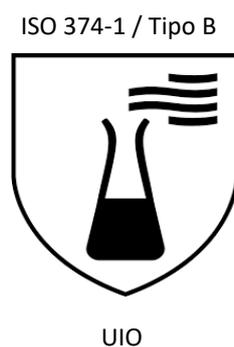
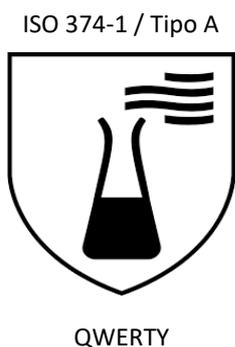
O	Hidróxido amónico 25%
P	Peróxido de hidrógeno 30%
S	Ácido hidrofúorhídrico 40%
T	Formaldehído 37%

Será el resultado de la preceptiva evaluación del riesgo el que determinará qué tipo de guante deber ser utilizado en cada caso concreto. En esta decisión, la empresa debe asesorarse a través de su servicio de prevención y de la empresa suministradora del equipo.

Con relación al marcado, como quiera que según el [Reglamento \(UE\) 2016/425](#) los guantes de protección química son considerados como de categoría III, estos deberán portar el marcado CE seguido de los cuatro dígitos que identifican al organismo notificado que haya participado en el procedimiento de conformidad de los mismos, conforme al referido reglamento



También aparecerá el marcado normativo según el tipo de guantes:



Además, debe colocarse el pictograma *Consultar el folleto informativo*



El fabricante debe suministrar el folleto informativo acompañando a cada par de guantes con el contenido mínimo exigido por la norma UNE-EN ISO 21420:2020, que comprende, entre otra, información sobre el fabricante, tallas disponibles, pictogramas de riesgo, referencia a las normas aplicables, condiciones de uso y mantenimiento, etc.

Además, la norma de requisitos específicos UNE-EN ISO 374-1:2016 +A1 2018, requiere que se suministre información particular sobre las sustancias químicas ensayadas y niveles de prestación obtenidos en los ensayos de permeación. El folleto debe contener, además, una serie de advertencias para alertar al usuario sobre cuestiones a considerar en el uso de los guantes, tales como las diferencias entre las condiciones en las que se realizan los ensayos y las del lugar de trabajo respecto al tipo de contacto con los productos, verificaciones a realizar antes de usar un guante químico, aspectos del uso que pueden afectar a las prestaciones iniciales del guante, etc.

Por último, procede aclarar que no se debe confundir tiempo de paso, con tiempo de uso. El tiempo de paso es una medida de la resistencia a la permeación en condiciones de contacto directo y continuo, condiciones muy estrictas, que pueden diferir bastante de las condiciones de uso. No existe una medida objetiva del tiempo total de uso o número de veces que puede usarse un guante. Debe estimarse y establecerse en función del tipo de tarea y las características del guante mientras no aparezcan signos de deterioro. Si esto ocurriera, deben desecharse inmediatamente.

- **Pantallas de protección facial.** Para la protección contra potenciales salpicaduras faciales del electrolito presente en las celdas de la batería. La pantalla facial debe cumplir los requisitos de la norma UNE EN 166:2002, tanto en lo que se refiere al ocular como a la montura. La norma anterior contempla el marcado del ocular y de la

montura por separado, salvo el caso en el que la pantalla facial forme una unidad indisociable, en cuyo caso habrá un único marcado sobre la montura. En el mercado (o mercados), además de la identificación del fabricante y el número de la norma, se recogen los diferentes símbolos de los campos de uso entre los que debe aparecer (en el mercado de la montura), al menos, el símbolo 3 frente a salpicaduras líquidas. No obstante, si coexistieran el riesgo por cortocircuito externo en bornes de la batería y el riesgo químico, en el campo de uso de la pantalla debería aparecer también (en el mercado del ocular) el símbolo 8 de solidez al arco eléctrico de cortocircuito.

- **Ropa de protección química.** Para la protección frente al potencial contacto con la piel de productos químicos peligrosos para la salud. La ropa de protección química debe cumplir los requisitos generales de la norma UNE-EN ISO 13688:2013+A1:2021. Para el caso que nos ocupa, en principio podría optarse por un traje tipo 3 (Institut National de Recherche et de Sécurité (Francia), 2021) contra líquidos en forma de chorro o tipo PB (3) de protección parcial de partes del cuerpo, si bien será el resultado de la evaluación de riesgos el que determine el tipo de equipo a utilizar, en su caso. Este tipo de trajes deben cumplir la norma UNE-EN 14605:2005+A1:2009. Ejemplos de trajes de tipo 3 son, monos de una pieza o trajes de dos piezas, con o sin capuz, con o sin calcetines o cubrebotas, con o sin guantes. Algunos ejemplos de protección parcial tipo PB (3) son, batas de laboratorio, chaquetas, pantalones, mandiles, manguitos, capuces (sin suministro de aire), etc.

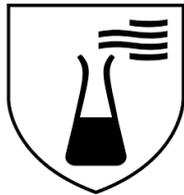
Como siempre, en la elección de la ropa de protección más adecuada debe tenerse en cuenta el resultado de la evaluación de riesgos específica, así como el asesoramiento del servicio de prevención (modalidad preventiva adoptada por la empresa) y de la empresa suministradora del equipo.

El mercado del traje de protección química debe incluir el marcado reglamentario ([Reglamento \(UE\) 2016/425](#)) consistente en la marca CE seguido de cuatro dígitos que identifican al organismo de notificación que ha participado en el proceso de conformidad del epi (ya que se trata de un equipo de protección individual de categoría III) y el marcado específico recogido en la norma UNE-EN ISO 13688:2013+A1:2021 (general) y la norma UNE-EN 14605:2005+A1:2009 (específica). Así, la ropa de protección química deberá incorporar de forma clara, visible y duradera, al menos la siguiente información:

- el nombre, marca comercial u otras formas de identificación del fabricante;

- el tipo de la ropa de protección, tipo 3 o tipo PB (3);
- norma EN 14605:2005+A1:2009;
- el año de fabricación, y también el mes de fabricación si el tiempo máximo previsto de almacenamiento de la ropa es menor que 24 meses; esta información se puede marcar sobre cada una de las unidades de embalaje comercial en lugar de marcarse sobre cada unidad de ropa;
- el número de tipo, de identificación o modelo dado por el fabricante;
- el intervalo de tallas;
- el pictograma de protección contra productos químicos;
- para ropa reutilizable, pictogramas de conservación. Para ropa de uso limitado, una frase de advertencia: *No reutilizar*.

UNE-EN 14605:2005+A1:2009



Tipo de traje (núm.)

- **Protección respiratoria.** El servicio de prevención de la empresa debe identificar en la evaluación de riesgos aquellos escenarios en los que puede darse una potencial exposición laboral por la vía inhalatoria a las sustancias peligrosas que puedan encontrarse en el ambiente de trabajo. Para estos escenarios de potencial exposición, por ejemplo en situaciones previsibles en las que se pudiera estar incubando una futura fuga térmica por defectos o deterioros en la batería (con emisión de gases de descomposición) o en situaciones en las que, con motivo del incendio generado en una batería, se procediera a la evacuación del personal y este pudiera quedar expuesto a los humos y gases de combustión (aunque debe pensarse siempre en evitar esta situación eligiendo adecuadamente las vías y salidas de evacuación), debe dotarse a las personas trabajadoras expuestas del correspondiente equipo de protección respiratoria.

El equipo de protección respiratoria se compone de un adaptador facial con filtro o filtros. Por lo general, el adaptador facial consistirá en una máscara o en una media máscara. Importante resulta recordar que muchas de las sustancias a las que la persona trabajadora podría estar expuestas, tal y como se ha indicado anteriormente, pueden causar lesiones oculares graves o irritación ocular por lo que, en caso de utilizarse una media máscara como adaptador facial, debería preverse la utilización simultánea de gafas de montura integral de protección ocular frente a gases y vapores.

No obstante, en este caso debe garantizarse la compatibilidad de uso simultáneo entre la media más cara y el protector ocular.

Los filtros pueden ofrecer protección frente a:

- partículas;
- gases/vapores;
- partículas, gases y vapores (filtros combinados).

Los filtros de partículas se dividen en las siguientes clases:

- clase 1: Filtros de baja eficacia;
- clase 2: Filtros de media eficacia;
- Clase 3: Filtros de alta eficacia.

Por su parte, los filtros para gases y vapores se dividen en las siguientes clases:

- clase 1: Filtros de baja capacidad;
- clase 2: Filtros de media capacidad;
- clase 3: Filtros de alta capacidad.

El resultado de la evaluación de riesgos, junto con el asesoramiento del servicio de prevención y la información que puedan aportar las empresas suministradoras será determinante a la hora de decidir cuál es el equipo de protección respiratoria más adecuado en cada escenario o situación concreta. En la siguiente tabla se recogen los distintos tipos de filtros existentes, clases, colores distintivos y uso y particularidades.

Tipo	Clase	Color	Uso/particularidades
A	1,2 ó 3	Marrón	Gases y vapores orgánicos de punto de ebullición > 65°C
AX		Marrón	Gases y vapores orgánicos de punto de ebullición ≤ 65°C. No reutilizable
B	1, 2 ó 3	Gris	Gases y vapores inorgánicos
E	1, 2 ó 3	Amarillo	Dióxido de azufre y otros gases ácidos
K	1, 2 ó 3	Verde	Amoniaco y sus derivados
P	1, 2 ó 3	Blanco	Partículas
SX		Violeta	Gases específicos. Debe figurar el nombre de los productos químicos y sus concentraciones máximas frente a los que el filtro ofrece protección
NO-P3		Azul Blanco	Óxidos de nitrógeno. No reutilizable
Hg-P3		Rojo Blanco	Vapores de mercurio. Duración máxima 50 horas

- Según la norma UNE-EN 14387:2022, los filtros deben marcarse con la siguiente información:
 - Nombre, marca registrada u otros medios de identificación del fabricante.
 - Marca de identificación del tipo.

- El marcado reglamentario (Reglamento (UE) 2016/425) consistente en la marca CE seguido de cuatro dígitos que identifican al organismo de notificación que ha participado en el proceso de conformidad del epi (ya que se trata de un equipo de protección individual de categoría III).
- El número y la fecha de la norma.
- Tipo, clase, código de color y particularidades.
- En los filtros frente a partículas *NR* o *R*, según su uso se limite a un solo turno de trabajo o sea reutilizable.
- La frase *Ver información del fabricante*.
- Al menos, año de expiración de la vida útil.
- Condiciones de almacenamiento.

En la bibliografía consultada (Institut national de recherche et de sécurité (Francia), 2021) se recomienda la utilización de cartuchos filtrantes de tipo ABEK (frente a gases y vapores orgánicos de punto de ebullición > 65°C, gases y vapores inorgánicos, dióxido de azufre y otros gases ácidos y amoníaco y sus derivados), sin embargo, debería valorarse en cada caso concreto la necesidad de protección frente a la exposición de potenciales partículas presentes en los humos de combustión. En cualquier caso, tomando como base el resultado de la preceptiva evaluación de riesgos, debe establecerse asimismo la clase de protección (1, 2 o 3) a exigir para cada uno de los tipos anteriores.

A modo de ejemplo ilustrativo (no puede servir de referencia), tomando el caso de que se utilizara una media máscara combinada conforme a la norma UNE-EN 405:2002 + A1:2010, el código de designación de los tipos y clases podría adoptar como ejemplo la siguiente forma: FFABE3K2P3 (protección ABE de clase3, K de clase 2 y frente a partículas de clase 3). La norma anterior recoge toda la información que debe suministrar el fabricante destacando, sin ánimo de exhaustividad, lo siguiente:

- qué tipo de filtros deben utilizarse con qué tipo de media máscara filtrante con válvula;
- aplicaciones y limitaciones de uso.
- comprobaciones antes del uso;
- colocación y ajuste;
- utilización, limpieza y desinfección, si es aplicable;
- mantenimiento;
- almacenamiento;
- significado de símbolos y pictogramas.

Debe avisar también sobre ciertos problemas que potencialmente puedan producirse como, por ejemplo, el ajuste de la media máscara filtrante, especificando el método de comprobación antes de su uso, indicando que es poco probable que se alcancen los requisitos de fugas si existe vello facial en la zona de ajuste.

Es muy importante el correcto ajuste de la máscara o media máscara a la cara de la persona usuaria para asegurar la eficacia del equipo.

- Disposición de duchas y lavajos conformes a la serie de normas UNE EN 15154, sobre duchas de seguridad. Las duchas y lavajos deben disponerse en zonas próximas a los puestos de trabajo con potencial exposición al riesgo químico (a menos de 10 metros de estos), deben ser fácilmente accesibles (no debe estar obstaculizado su acceso) y debe estar señalizada su ubicación. No obstante, conviene explorar la posibilidad e idoneidad de utilización de soluciones de descontaminación específica que se encuentran en el mercado, muy especialmente aquellas que actúan y neutralizan la exposiciones cutáneas y oculares al ácido fluorhídrico. En caso de accidente por exposición química deben preverse en el documento de medidas de emergencia, las medidas concretas de actuación en materia de primeros auxilios para estas situaciones.
- Los derrames de electrolitos no deben pasar a la red de alcantarillado ya que en este caso se produciría un vertido tóxico. Se recomienda la disposición en el centro de trabajo de material inerte en cantidad suficiente (arena, vermiculita, etc.) para la adsorción de derrames y posterior gestión de estos de manera segura con arreglo a la normativa de residuos tóxicos y peligrosos vigente.

Referencias normativas y técnicas

Referencias normativas

España. (1995). Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales. *Boletín Oficial del Estado*, 10.11.1995(núm. 269). Recuperado el 27 de diciembre de 2022, de <https://www.boe.es/eli/es/l/1995/11/08/31/con>

55

España. Ministerio de Ciencia y Tecnología. (2002). Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. *Boletín Oficial del Estado*, 18.09.2002(núm. 224). Recuperado el 9 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842/con>

España. Ministerio de Economía, Industria y Competitividad. (s.f.). Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios. *Boletín Oficial del Estado*, 12.06.2017(núm. 139). Recuperado el 9 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/05/22/513/con>

España. Ministerio de la Presidencia. (1997). Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 07.08.1997(núm. 188). Recuperado el 9 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/07/18/1215/con>

España. Ministerio de la Presidencia. (1997). Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. *Boletín Oficial del Estado*, 12.06.1997(núm. 140). Recuperado el 9 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/05/30/773/con>

España. Ministerio de la Presidencia. (2001). Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. *Boletín Oficial del Estado*, 01.05.2001(núm. 104). Recuperado el 9 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/04/06/374/con>

España. Ministerio de la Presidencia. (2001). Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 21.06.2001(núm. 148). Recuperado el 6 de junio de 2023, de <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/06/08/614/con>

España. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). *Pilas y acumuladores: tipos de baterías para vehículos eléctricos*. Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico:

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/pilas-y-acumuladores/baterias-vehiculos-electricos-2022.html>

Unión Europea. (2008). Reglamento (CE) n o 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008 , sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE... *Diario Oficial de la Unión Europea*, 31.12.2008(L 353). Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj>

Unión Europea. (2016). Reglamento (UE) 2016/425 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2016, relativo a los equipos de protección individual y por el que se deroga la Directiva 89/686/CEE del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 31.03.2016(L 81). Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <http://data.europa.eu/eli/reg/2016/425/oj>

Referencias técnicas

Amarilla Álvarez, J. (2011). *Baterías recargables de litio para vehículos eléctricos*. Recuperado el 15 de junio de 2023, de Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid (COIIM): <http://www.coiim.es/rrii/descargas/jornadasyconferencias/ve2011/jmamarilla.pdf>

Asociación Española de Normalización y Certificación. (1998). *UNE-EN 136:1998+AC:2004. Equipos de protección respiratoria. Máscaras completas. Requisitos, ensayos, marcado*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2002). *UNE-EN 166:2002. Protección individual de los ojos. Especificaciones*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2002). *UNE-EN 405:2002+A1:2010. Equipos de protección respiratoria. Medias máscaras filtrantes con válvulas para la protección contra gases o contra gases y partículas. Requisitos, ensayos, marcado*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2005). *UNE-EN 60903:2005. Trabajos en tensión. Guantes de material aislante*. Madrid: AENOR.

Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *UNE-EN 15154-1:2007. Duchas de seguridad. Parte 1: Duchas para el cuerpo conectadas a la red de agua utilizadas en laboratorios*. Madrid: AENOR.

- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *UNE-EN 15154-2:2007. Duchas de seguridad. Parte 2: Lavaojos conectados a la red de agua*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2009). *UNE-EN 14605:2005+A1:2009. Ropa de protección contra productos químicos líquidos. Requisitos de prestaciones para la ropa con uniones herméticas a los líquidos (tipo 3) o con uniones herméticas a las pulverizaciones (tipo 4), incluyendo las prendas que...* Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). *UNE-EN 15154-3:2010. Duchas de seguridad. Parte 3: Duchas para el cuerpo no conectadas a la red de agua*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). *UNE-EN 15154-4:2010. Duchas de seguridad. Parte 4: Lavaojos no conectados a la red de agua*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2010). *UNE-EN 61111:2010. Trabajos en tensión. Alfombras eléctricas aislantes*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2013). *UNE-EN 13688:2013+A1:2021. Ropa de protección. Requisitos generales*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2015). *UNE-EN 62485-3:2015. Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2016). *UNE-EN 374-1:2016+A1:2018. Guantes de protección contra los productos químicos y los microorganismos. Parte 1: Terminología y requisitos de prestaciones para riesgos químicos*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2018). *UNE-EN 50321:2018. Trabajos en tensión. Calzado de protección eléctrica. Parte 1: Calzado y cubrebotas aislantes*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2020). *UNE-EN 469:2020. Ropa de protección para bomberos. Requisitos de prestaciones para la ropa de protección en la lucha contra incendios*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2021). *UNE-EN 15154-5:2021. Duchas de seguridad. Parte 5: Duchas de agua verticales para el cuerpo utilizadas en otros lugares que no sean laboratorios*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2021). *UNE-EN 15154-6:2021. Duchas de seguridad. Parte 6: Duchas de chorro múltiple para el cuerpo conectadas a la red de agua utilizadas en otros lugares que no sean laboratorios*. Madrid: AENOR.

- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). *UNE-EN 14387:2022. Equipos de protección respiratoria. Filtros para gases y filtros combinados. Requisitos, ensayos, marcado*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). *UNE-EN 20345:2022. Equipo de protección individual. Calzado de seguridad*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). *UNE-EN 20346:2022. Equipo de protección individual. Calzado de protección*. Madrid: AENOR.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2022). *UNE-EN 20347:2022. Equipo de protección individual. Calzado de trabajo*. Madrid: AENOR.
- DNV GL. (2019). *Maritime Battery Safety Joint Development : technical reference for Li-ion battery explosion risk and fire suppression*. Høvik (Noruega): DNV GL. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <https://www.dnv.com/maritime/publications/Technical-Reference-for-Li-ion-Battery-Explosion-Risk-and-Fire-Suppression-report-download.html>
- EPI's para manipulación segura de vehículos eléctricos e híbridos*. (3 de julio de 2020). Recuperado el 15 de junio de 2023, de CZ Revista técnica de Centro Zaragoza: <https://revistacentrozaragoza.com/epis-para-manipulacion-segura-de-vehiculos-electricos-e-hibridos/>
- Euralarm. (2022). *Guía sobre soluciones integradas de protección contra incendios para baterías de iones de litio*. Zug (Suiza): Euralarm. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <https://www.euralarm.org/asset/A9CA06A9-DA80-4B53-8F147535E8A94E17/>
- Fundación Endesa. (2023). *La eMobility y los coches eléctricos*. Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de Fundación Endesa: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educacion/recursos/emobility-coches-electricos>
- García, G. (25 de octubre de 2019). Las baterías de iones de litio, premio Nobel de Química 2019. *Híbridos y Eléctricos*. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de https://www.hibridosyelectricos.com/coches/baterias-iones-litio-premio-nobel-quimica-2019_30714_102.html
- Health and Safety Executive (Reino Unido). (s.f.). *Electric and hybrid vehicles*. Recuperado el 9 de junio de 2023, de Health and Safety Executive: <https://www.hse.gov.uk/mvr/topics/electric-hybrid.htm>
- Held, M., Tuchschnid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L., . . . Nachev, L. (2022). Thermal runaway and fire of electric vehicle lithium-ion battery and contamination of infrastructure

facility. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 165(112474).

doi:<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112474>

Institut de Seguretat Pública de Catalunya. (2013). *Riscos en incendis de vehicles de nova generació*.

Mollet del Vallès: ISPC. Recuperado el 12 de junio de 2023, de

<http://hdl.handle.net/2072/211805>

Institut national de recherche et de sécurité (Francia). (2021). *Garages automobiles et poids lourds:*

prévenir les risques électriques liés aux véhicules électriques et hybrides. Recuperado el 12 de junio de 2023, de INRS Santé et sécurité au travail:

<https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-6423/ed6423.pdf>

Institut National de Recherche et de Sécurité (Francia). (2021). *Les batteries au lithium : connaître et*

prévenir les risques. París: INRS. Recuperado el 9 de junio de 2023, de

<https://www.inrs.fr/dms/inrs/CataloguePapier/ED/TI-ED-6407/ed6407.pdf>

Instituto IMDEA Materiales. (19 de octubre de 2022). *Electrolitos de estado sólido, una solución a los*

problemas de seguridad de las baterías de ion de litio. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de Instituto IMDEA Materiales: <https://materiales.imdea.org/electrolitos-de-estado-solido-una-solucion-a-los-problemas-de-seguridad-de-las-baterias-de-ion-de-litio/>

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Madrid). (junio de 2014). *Guantes aislantes de la electricidad*. Obtenido de INSST - Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo:

<https://www.insst.es/documents/94886/354649/Guantesaislantes-electricidad.pdf/21e01562-df26-46bb-b997-8b988111e442>

Jaraba Clemente, J. (21 de noviembre de 2019). Coches eléctricos e híbridos: Prevención de los nuevos riesgos laborales. *Prevenidos : el blog de la seguridad y salud en el trabajo*. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de QuirónPrevención:

<https://www.quironprevencion.com/blogs/es/prevenidos/coches-electricos-hibridos-prevencion-nuevos-riesgos-labora>

Knauf Industries. (16 de agosto de 2021). *Componentes EPP en la fabricación de baterías para coches*

eléctricos: aplicaciones y beneficios. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de Knauf

Industries Automotive: <https://knaufautomotive.com/es/componentes-epp-en-la-fabricacion-de-baterias-para-coches-electricos/>

Manual de la energía: Eficiencia energética: ¿Por qué el vehículo eléctrico? (2023). Recuperado el 21 de

septiembre de 2023, de Energía y sociedad: <https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/>

- Mikolajczak, C., Kahn, M., White, K., & Long, R. T. (2011). *Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment*. Quincy (Massachusetts): Fire Protection Research Foundation. Recuperado el 12 de junio de 2023, de <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Hazardous-materials/rflithiumionbatterieshazard.ashx>
- Murias Andrade, D. (21 de febrero de 2022). El reto de apagar el fuego en un coche eléctrico: desde la tecnología para evitar incendios hasta la pericia de los bomberos. *Motorpasión*. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/apagar-fuego-coche-electrico-bomberos>
- Orús, A. (13 de septiembre de 2023). El mercado de los coches eléctricos en el mundo : datos estadísticos. *Statista*. Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de <https://es.statista.com/temas/8643/el-mercado-de-los-coches-electricos-en-el-mundo/>
- Snyder, M. (2023). *Sistemas de baterías de litio (LIB) : riesgos y prevención de accidentes*. Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de Dekra: <https://www.dekra.es/es/sistemas-baterias-litio-riesgos-prevencion-accidentes/>
- Terlouw, K. (2019). *The fire safety of car parks : focussing on structural damage*. Delft: TU Delft. Recuperado el 9 de junio de 2023, de <http://resolver.tudelft.nl/uuid:eef3e542-c2f9-4e2a-ae21-eae8fff1732a>
- Texas. Division of Workers' Compensation. (julio de 2020). *Hoja informativa de seguridad para las baterías de vehículos*. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de Texas Department of Insurance: <https://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresources/spfsvehiclebat.pdf>
- The Royal Swedish Academy of Sciences. (9 de October de 2019). *The Nobel Prize in Chemistry 2019*. Recuperado el 25 de septiembre de 2023, de The Nobel Prize: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/press-release/>
- VdS Schadenverhütung. (2019). *Lithium Batteries*. Cologne: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV). Recuperado el 21 de septiembre de 2023, de <https://shop.vds.de/download/vds-3103en>

INVASSAT

Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball

www.invassat.gva.es

secretaria.invassat@gva.es



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Conselleria de Educació,
Universidades y Empleo