APUNTS TÈCNICS DE L'INVASSAT
AT-230501

# RISCOS EN LES TASQUES QUE CAL REALITZAR SOBRE VEHICLES AMB MOTOR ELÈCTRIC, DERIVATS DE LA INCORPORACIÓ DE BATERIES DE TRACCIÓ D'IÓ LITI, I MESURES PREVENTIVES PER A COMBATRE'LS

Juan Carlos Castellanos Alba

GENERALITAT VALENCIANA

INVASSAT
Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball

APUNTS TÈCNICS DE L'INVASSAT

AT-230501

2023

# RISCOS EN LES TASQUES QUE CAL REALIZAR SOBRE VEHICLES AMB MOTOR ELÈCTRIC, DERIVATS DE LA INCORPORACIÓ DE BATERIES DE TRACCIÓ D'IÓ LITI, I MESURES PREVENTIVES PER A COMBATRE'LS

Juan Carlos Castellanos Alba

GENERALITAT VALENCIANA

INVASSAT
Institut Valencià de Seguretat i Salut en el Treball

**Títol:** *Riscos en les tasques que cal realitzar sobre vehicles amb motor elèctric, derivats de la incorporació de bateries de tracció d'ió liti, i mesures preventives per a combatre'ls*

**Autoria:** Juan Carlos Castellanos Alba
**Edició:** octubre de 2023
**Sèrie**: Apunts tècnics de l'INVASSAT
**Identificador:** AT-230501



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

**Per a citar aquest document:**
Castellanos Alba, Juan Carlos. *Riscos en les tasques que cal realitzar sobre vehicles amb motor elèctric, derivats de la incorporació de bateries de tracció d'ió liti, i mesures preventives per a combatre'ls* [en línia]. Burjassot: INVASSAT, 2023. XX p. [Consulta: dd.mm.aaaa]. Disponible en XXXX. (AT-230501)

## NOTA

L'anotació tècnica present té vocació de guia general no exhaustiva que, amb aquest caràcter, conté tots els elements principals basats en la reglamentació i el coneixement actuals recollits de diferents bases documentals. És per això que el present document té com a única finalitat l'ajuda i assessorament en la matèria tractada. L'INVASSAT no es fa responsable directe o indirecte de les inexactituds, errors o omissions que puguen haver-hi en l'abundant documentació consultada. És responsabilitat única de l'empresa, amb l'assessorament i actuació de la seua modalitat preventiva, avaluar els riscos als quals s'exposen les persones treballadores en cada escenari productiu concret, i planificar i implantar les mesures preventives o de protecció adequades i necessàries per a garantir la seua seguretat i salut.

# Contingut

**Introducció** ..... **3**
El vehicle elèctric ..... 3
Tipus de vehicles elèctrics ..... 4
Components principals dels vehicles elèctrics ..... 4
**Objectiu** ..... **6**
**Bateries de tracció** ..... **7**
Tipus de bateries ..... 7
Bateries d'ió liti ..... 9
**Principals riscos i mesures de seguretat per la presència de bateries de tracció en vehicles elèctrics** ..... **13**
Principals riscos ..... 13
Protecció davant del risc elèctric ..... 15
Protecció davant del risc d'incendi ..... 28
Protecció davant del risc químic ..... 39
**Referències normatives i tècniques** ..... **54**
Referències normatives ..... 54
Referències tècniques ..... 55



## *Resum*

Estem assistint de manera cada vegada més accelerada a un canvi tecnològic en la mobilitat que suposarà la substitució dels vehicles de combustió actuals per vehicles de tracció elèctrica. La motivació principal d'aquest canvi és contribuir a assolir els objectius europeus de zero emissions per a l'any 2050. Cal tindre en compte que el sector del transport per carretera representa aproximadament la cinquena part de les emissions totals de $CO_2$ en el conjunt de la UE.

Aquest canvi tecnològic cap a una mobilitat de tracció elèctrica requereix la utilització (cada vegada més massiva) de bateries de tracció d'alta capacitat. De moment, les bateries més utilitzades (amb una gran diferència) en els nous vehicles elèctrics són les d'ió liti. Aquestes bateries requereixen molta potència a tensions molt elevades. Com a conseqüència, la manipulació (reparació, retirada, etc.) d'aquests vehicles elèctrics comporta l'aparició de nous riscos emergents en el sector, que han de ser abordats amb criteris preventius de seguretat.

L'actual document tracta, per a la manipulació de vehicles elèctrics que incorporen bateries de tracció d'ió liti d'alta capacitat, els principals riscos als quals poden veure's exposades les persones treballadores que fan tasques de reparació, retirada o altres, sobre aquests vehicles. Els riscos principals previstos (sense perjudici que puguen haver-hi altres) són el risc elèctric, el risc d'incendi i explosió i el risc químic, deguts a les pròpies característiques elèctriques i químiques d'aquesta mena de bateries. Així mateix, per a cadascun dels riscos anteriors es proposen, sense ànim d'exhaustivitat i amb caràcter general, una sèrie de mesures preventives i de protecció que pretenen ser simplement una guia a manera de referència d'actuació que per a cada cas particular han de ser adoptades per l'empresa, amb l'assessorament de la modalitat preventiva adoptada (servei de prevenció) i amb una avaluació de riscos prèvia.

# Introducció

## El vehicle elèctric



S'entén per vehicle elèctric el que es desplaça gràcies a un motor elèctric (alimentat per electricitat). El motor elèctric converteix l'energia elèctrica que rep en energia mecànica amb nivells d'eficiència molt superiors als dels motors de combustió interna. A més de la referida eficiència, els motors elèctrics presenten alguns avantatges inqüestionables com, per exemple, menys grandària i pes que els motors de combustió i més senzillesa tècnica, però, sobretot, la contribució per a assolir els objectius europeus de zero emissions per a l'any 2050. Actualment, el transport representa aproximadament el 33 % del consum total energètic de la UE. El sector del transport per carretera representa aproximadament la cinquena part de les emissions totals de $CO_2$ en el conjunt de la UE.

El vehicle elèctric es remunta al segle XIX, de fet, va haver-hi vehicles elèctrics anteriors a l'aparició dels motors de quatre temps en què es basa l'automòbil amb motor de combustió. Entre 1832 i 1839 es va inventar el primer vehicle elèctric i en 1897 es va utilitzar el primer taxi elèctric a la ciutat de Nova York.

Tanmateix, la introducció de l'arrancada elèctrica en els motors de combustió, així com el sistema de producció en cadena de muntatge de manera massiva i barata implantat per Henry Ford des de 1908 i l'acceleració creixent en les millores dels vehicles de combustió interna, van provocar la caiguda del vehicle elèctric.

No obstant això, les necessitats creixents en matèria de sostenibilitat mediambiental fan que, a partir de 1996, el vehicle elèctric torne a ressorgir. D'aquesta manera, comença un augment constant en el llançament de nous vehicles elèctrics per part de les marques automobilístiques més importants. En el marc d'un sector com el del transport, caracteritzat per un consum elevat de combustibles fòssils i un fort impacte ambiental, la promoció del cotxe elèctric es presenta com una de les vies essencials per a aconseguir una transició energètica eficient.

En 2021 es van vendre 23.700 cotxes elèctrics a Espanya, un 38 % més que en 2020. Això representa el 3 % del mercat. Des de 2015 s'ha passat de 1.000 a 70.000 unitats de vehicles elèctrics, si bé encara el nostre país va amb retard en comparació amb Europa.

# Tipus de vehicles elèctrics

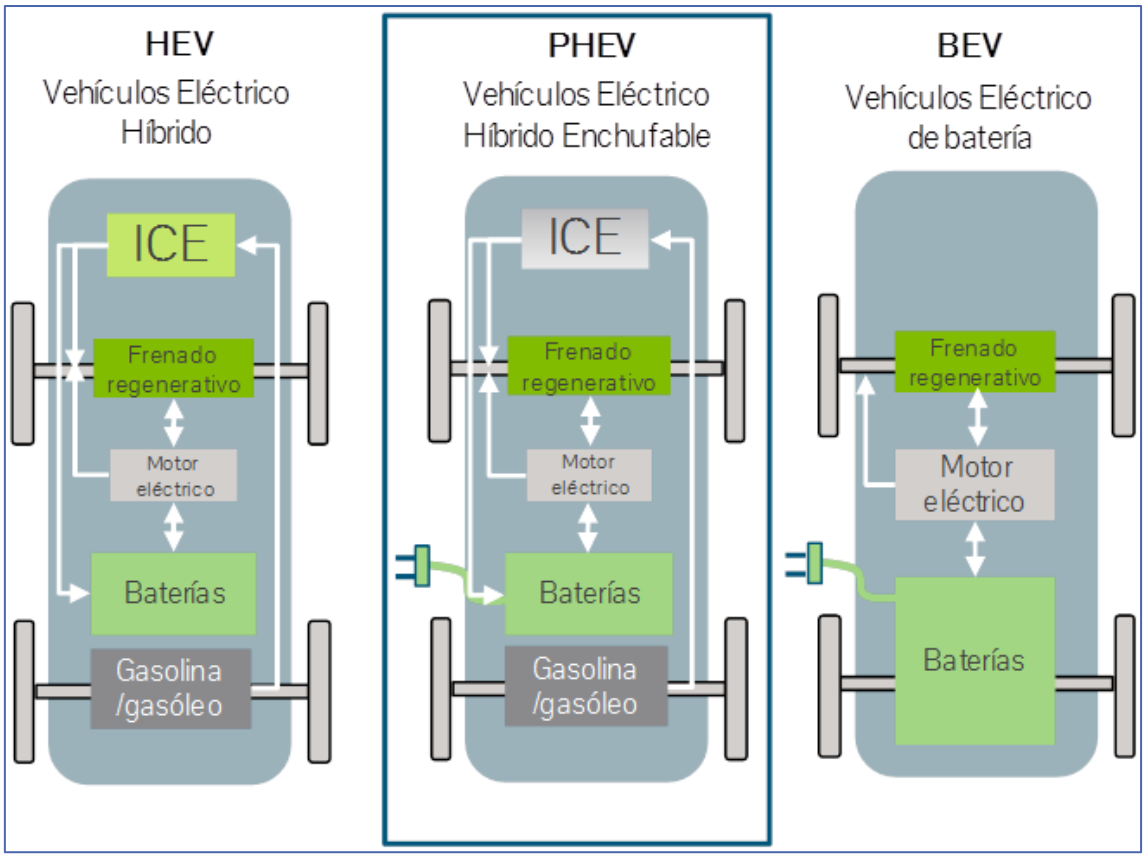
Els principals vehicles elèctrics disponibles actualment en el mercat són:

- **Vehicles híbrids no endollables (HEV)**. Tenen l'avantatge de no consumir energia quan estan parats i recuperen energia en les frenades o pendents pronunciats. No obstant això, malgrat la millora d'eficiència que suposen, el fet que la bateria principal no puga recarregar-se amb la xarxa elèctrica, és a dir, que no siga endollable, limita la seua contribució a la sostenibilitat ambiental del sector del transport perquè no permet la introducció d'energia elèctrica renovable per mitjà de la càrrega des de la xarxa elèctrica.
- **Vehicles elèctrics híbrids endollables (PHEV)**. Bàsicament, es tracta de vehicles elèctrics híbrids que, a més, poden connectar-se a la xarxa elèctrica per a la càrrega de les seues bateries principals. A diferència de l'HEV, disposa de bateries de més capacitat amb les quals s'aconsegueixen autonomies en mode elèctric que van dels 20 km als 60 km, i compta amb un motor de combustió més xicotet que serveix per a produir electricitat. El concepte de funcionament és diferent del d'un HEV, ja que el motor de tracció és l'elèctric. Aquests vehicles també es denominen "elèctrics d'autonomia estesa".
- **Vehicles elèctrics purs (100 % elèctrics) (BEV)**. Obtenen tota l'energia que necessita el motor elèctric de la xarxa de subministrament, per mitjà de la qual s'alimenta la bateria principal, d'una grandària molt superior a les bateries dels PHEV. L'autonomia dels BEV és actualment inferior a la dels vehicles convencionals de motor de combustió interna i també a la dels PHEV.

En la il·lustració 1 es pot observar d'una manera gràfica els diferents tipus de vehicles elèctrics esmentats anteriorment.

# Components principals dels vehicles elèctrics

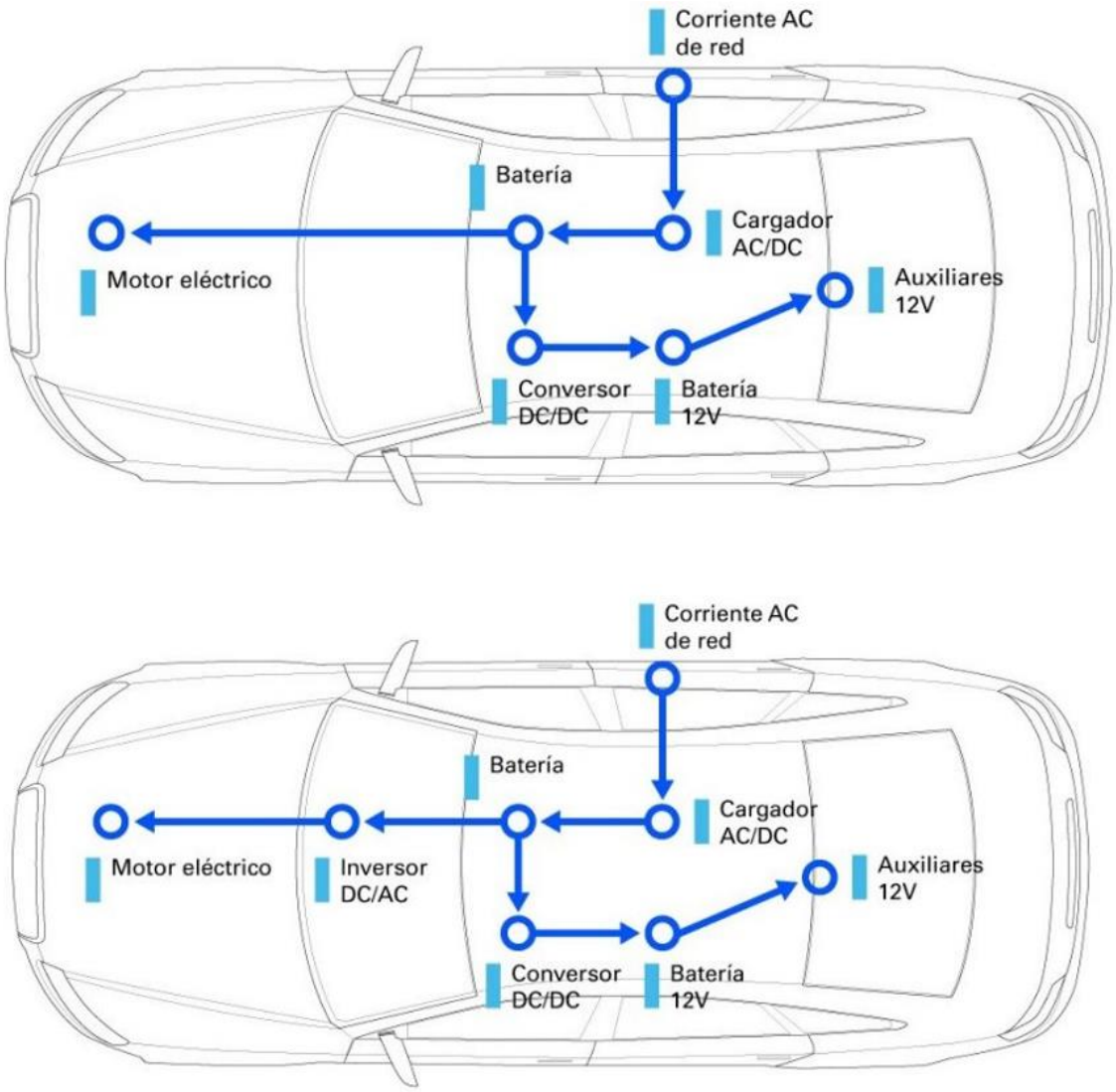
De manera molt simplificada, els vehicles elèctrics es componen bàsicament dels elements o sistemes següents:




Il·lustració 1. Tipus de vehicles elèctrics (Manual de la energía: Eficiencia energética: ¿Por qué el vehículo eléctrico?, 2023)

- **Motor elèctric**. Pot ser de corrent continu o de corrent altern. Es diferencien bàsicament per la manera d'alimentar-se. El motor de corrent continu s'alimenta directament de la bateria de tracció (principal), mentre que el motor de corrent altern requereix un inversor a l'eixida de la bateria de tracció que converteix el corrent continu en altern.
- **Bateria de tracció**. Encara que hi ha diverses classes de bateries, les més utilitzades hui en dia, de bon tros, són les d'ió liti. Aquestes emmagatzemen l'energia elèctrica cedida per la xarxa de subministrament (en el cas dels vehicles PHEV i BEV) en forma de corrent continu per a cedir-la al motor elèctric i a la bateria auxiliar.
- **Carregador**. És l'element que absorbeix l'electricitat de la xarxa elèctrica en forma de corrent altern i la transforma en el corrent continu amb què es carrega la bateria.
- **Inversor**. És necessari únicament per als vehicles que disposen d'un motor elèctric de corrent altern. És l'encarregat de transformar el corrent continu que cedeix la bateria de tracció en el corrent altern amb què s'alimenta el motor.
- **Convertidor**. És l'element que transforma l'alta tensió de corrent continu que proporciona la bateria principal en la baixa tensió de corrent continu que alimenta les

bateries auxiliars (normalment de 12/24/48 volts), que alimenten al seu torn els components elèctrics auxiliars del vehicle (enllumenat, clàxon, instrumentació, etc.).




Il·lustració 2. Esquema general sobre els components d'un vehicle elèctric amb motor en corrent continu (DC) i en corrent altern (AC). (Fundación Endesa, 2023)

# Objectiu

El document present té com a objectiu central l'anàlisi i caracterització dels riscos principals als quals es poden veure exposades les persones treballadores que facen tasques, sobretot de reparació, en vehicles elèctrics que incorporen bateries de tracció d'ió liti d'alta capacitat i que

en són característics. Així mateix, dins dels objectius es troba la proposició, sense ànim d'exhaustivitat i amb caràcter general, d'una sèrie de mesures preventives i de protecció per a combatre aquests riscos, amb el benentés que cada situació particular requereix l'anàlisi i les solucions concretes que l'empresa ha de tractar amb l'ajuda de la seua modalitat preventiva (servei de prevenció).



Si bé el contingut es dirigeix principalment a les persones treballadores que fan tasques de reparació de vehicles elèctrics, moltes parts podrien fer-se extensives a una altra mena de tasques com són les de desballestament i retirada de bateries, neteja de vehicles, actuació d'equips d'emergència en accidents de circulació, etc.

# Bateries de tracció

## Tipus de bateries

Bàsicament, les bateries que s'utilitzen actualment per a la tracció dels vehicles elèctrics són de tres tipus: bateries d'ió liti, níquel-cadmi i níquel-hidrur metàl·lic.

### *Bateries d'ió liti*

El liti és el metall amb menys potencial de reducció (-3,05 volts) i, per conseqüent, és el metall que té més tendència a soltar l'electró de la seua capa externa. Per això, aquestes bateries són, de bon tros, les més utilitzades i estan formades per diverses cel·les compostes d'ànode, càtode, electròlit i separador entre elèctrodes (ànode i càtode). Les bateries actuals disposen d'un ànode de liti metàl·lic, de grafit o de coc de petroli, que té la capacitat d'albergar els ions de liti que arriben en la càrrega en forma de liti metàl·lic. L'electròlit sol ser una sal de liti dissolta en un dissolvent orgànic. Per la seua banda, els càtodes més utilitzats en aquesta mena de bateries són:

- Òxid de liti, níquel, manganés i cobalt.
- Òxid de liti, níquel, cobalt i alumini.
- Fosfat de liti i ferro.

Encara que després s'explicarà amb més deteniment, quan la bateria està carregada tot el liti es troba en l'ànode. Durant la descàrrega (quan el motor elèctric està treballant) els ions positius de liti flueixen a través de l'electròlit des de l'ànode cap al càtode (el més habitual és d'òxid de liti i cobalt). Al seu torn, els electrons flueixen de l'ànode cap al càtode, però ho fan per mitjà del circuit elèctric exterior en què es troba el motor elèctric del vehicle. En el moment en què tots els ions de liti es troben en el càtode, la bateria està totalment descarregada. La càrrega de la bateria es produeix mitjançant la xarxa de subministrament elèctric amb el carregador, la qual cosa provoca que els electrons es dirigisquen a l'ànode alhora que els ions de liti abandonen el càtode i tornen a l'ànode a través de l'electròlit.

Originàriament, els ànodes eren de liti metàl·lic perquè aquest té molta facilitat per a cedir electrons. Tanmateix, això el feia molt inestable; a més, s'oxida ràpidament en contacte amb l'aire, i en contacte amb l'aigua reacciona violentament. Per això, actualment s'estan substituint aquesta mena d'ànodes per uns altres més eficients i segurs com l'ànode de coc de petroli. A hores d'ara, s'estan investigant noves tecnologies per a aquesta mena de bateries com, per exemple, les bateries d'ió liti en estat sòlid, les de diòxid de carboni i liti i les de liti i grafé.

## *Bateries níquel-cadmi*

Es componen d'un càtode d'hidròxid de níquel i un ànode d'hidròxid de cadmi separats per una membrana porosa. L'ús d'aquesta mena de bateries s'està veient molt reduït en part a causa de l'alt cost de les matèries primeres i en part per la toxicitat que aporta el cadmi. També tenen "efecte memòria", cosa que fa que la capacitat es veja reduïda després de cada recàrrega. Així, aquesta mena de bateries es limita en la pràctica a usos aeronàutics i militars.

## *Bateries níquel-hidrur metàl·lic*

Disposen d'un ànode d'oxihidròxid de níquel (NiOOH) i un càtode que és un aliatge d'hidrur metàl·lic. Tenen fins a tres vegades més capacitat de càrrega que una bateria níquel-cadmi de la mateixa grandària i menys efecte memòria que aquestes, encara que necessiten manteniment i es deterioren per causa de les altes temperatures, alts corrents de descàrrega i sobrecàrregues.

Actualment, s'està investigant i experimentant de manera frenètica en el desenvolupament d'altra mena de bateries com, per exemple, les bateries de flux redox, bateries ZEBRA, bateries d'alumini-aire o bateries de zinc-aire.

## Bateries d'ió liti

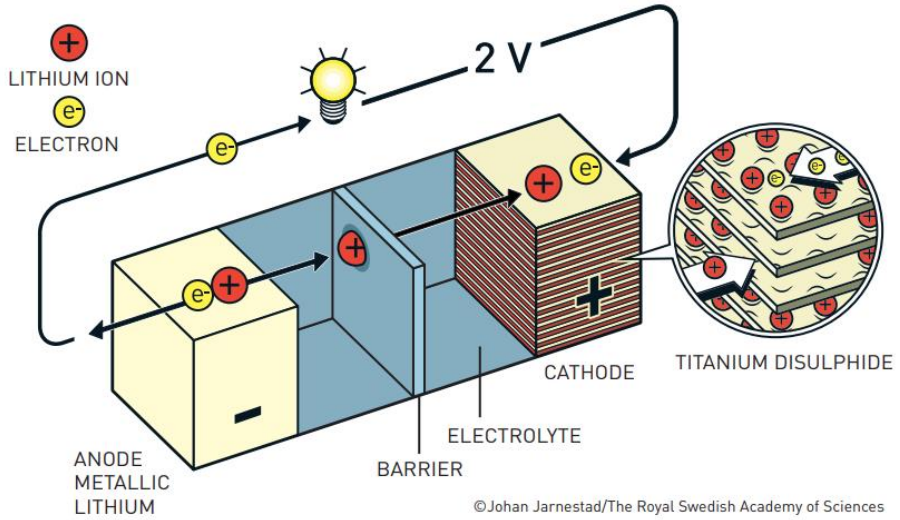


Les bateries d'ió liti van eixir al mercat en 1991 i van establir les bases del desenvolupament d'una societat digital i sense fil, per utilitzar-se en tota mena de dispositius electrònics portàtils i permetre el desenvolupament de vehicles elèctrics de més autonomia, així com la capacitat d'emmagatzemar energia elèctrica procedent de fonts renovables. L'impuls de l'electrificació de la indústria de l'automòbil ha fet que la fabricació d'aquesta mena de bateries de tracció s'haja triplicat en els últims cinc anys i que es duplique en els pròxims cinc, segons dades de BloombergNEF.

Les bateries d'ió liti es fonamenten en el flux d'ions positius de liti de l'ànode al càtode i viceversa a través de la membrana porosa que separa els dos elèctrodes (que permet el pas dels cations) gràcies a l'electròlit contingut en la cel·la. Per tant, el fonament no es basa en reaccions químiques que descomponen els elèctrodes, i l'ió liti simplement s'allotja en aquests.

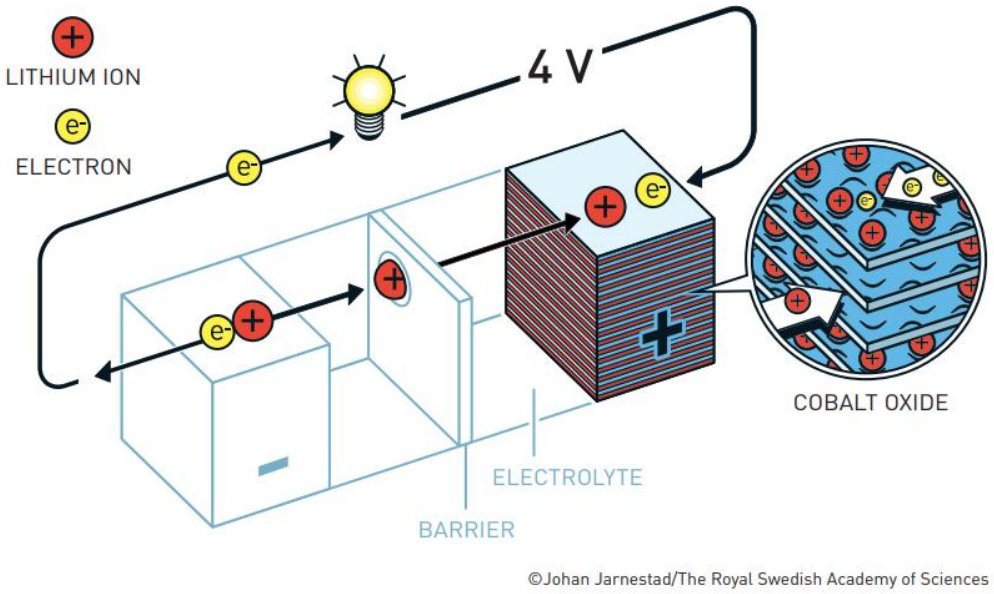
En 2019 la Reial Acadèmia de Ciències de Suècia va atorgar el Premi Nobel de química compartit als investigadors John B. Goodenough, Stanley Whittingham i Akira Yoshino per les seues investigacions en el desenvolupament de les bateries d'ions de liti que permetran el consum d'energia sostenible.

Stanley Whittingham va descobrir que el disulfur de titani ($TiS_2$) era apropiat per a formar part del càtode d'una bateria perquè deixa espais, a escala molecular, en què es poden intercalar els ions de liti. Per a l'ànode va utilitzar parcialment liti metàl·lic per la gran capacitat de cedir electrons d'aquest. L'arquitectura de la cel·la proporcionava un potencial una mica superior als dos volts. No obstant això, el liti metàl·lic genera una sèrie de problemes de seguretat importants a causa d'una gran reactivitat que pot traduir-se en explosions quan es recarrega repetidament.




Il·lustració 3. Bateria de Whittingham d'ió liti amb càtode de disulfur de titani.
Johan Jarnestad (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2019)

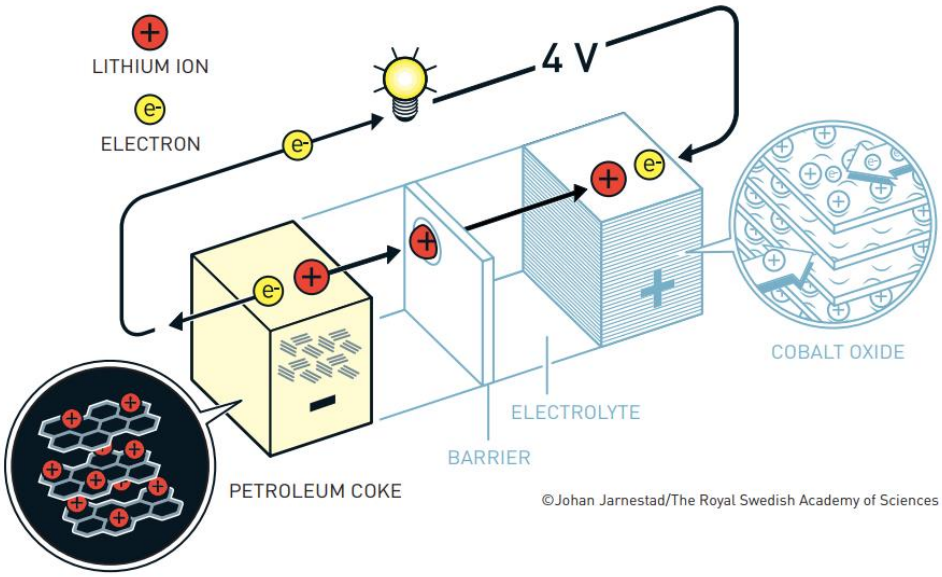
John Goodenough va substituir el càtode de disulfur de titani per un altre que en la composició utilitzara un òxid metàl·lic. Va comprovar que l'òxid de cobalt permet allotjar també molecularment els ions de liti que flueixen en l'electròlit, amb la qual cosa s'assoleixen uns potencials de la cel·la de fins a quatre volts, i així s'aconsegueixen bateries molt més potents.




Il·lustració 4. Bateria de Goodneough de ió liti amb càtode d'òxid de cobalt.
Johan Jarnestad (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2019)

Finalment, Akira Yoshino va desenvolupar la primera bateria d'ió liti comercialment viable. Per a fer-ho, va substituir el liti metàl·lic reactiu de l'ànode per coc de petroli (molt semblant al grafit, de fet, se'l sol denominar així), un material a base de carboni que, com l'òxid de cobalt del càtode, permet intercalar en la pròpia estructura molecular ions de liti. D'aquesta manera, es va aconseguir una bateria molt més lleugera i segura que podia recarregar-se centenars de vegades abans que el rendiment es deteriorara substancialment.






Il·lustració 5. Bateria de Yoshino d'ió liti amb càtode d'òxid de cobalt i ànode de coc de petroli.
Johan Jarnestad (The Royal Swedish Academy of Sciences, 2019)

Les reaccions electroquímiques que tenen lloc en les cel·les d'aquesta mena de bateries d'ió liti ($LiCoO_2$) es poden representar del mode següent:

**Procés de càrrega de la bateria**:

En el càtode: $LiCo^{3+}O_2 \longrightarrow Li_{1-x}Co^{4+}{}_xCo^{3+}{}_{1-x}O_2 + xLi^+ + xe^-$

En l'ànode: $C + xLi^+ + xe^- \longrightarrow Li_xC$

**Procés de descàrrega de la bateria**:

En el càtode: $LiCo^{3+}O_2 \longleftarrow Li_{1-x}Co^{4+}{}_xCo^{3+}{}_{1-x}O_2 + xLi^+ + xe^-$

En l'ànode: $C + xLi^+ + xe^- \longleftarrow Li_xC$

Els principals avantatges d'aquestes bateries, que han comportat un desenvolupament i ús prioritari, són:

- Elevat voltatge en cada cel·la, aproximadament de 4 volts. Això proporciona més potència i una reducció de la grandària de la bateria.
- Alta energia específica, per damunt dels 200 $Whkg^{-1}$.
- Absència de l'efecte memòria, que redueix la capacitat de la bateria per càrregues incompletes.
- Alta flux de cicles (més de 1000 cicles).
- Ampli rang de temperatures de treball: de -20ºC a 60ºC.
- Baixa autodescàrrega: inferior al 5 % per mes.

A tall d'exemple, s'indiquen a continuació les especificacions tècniques de la bateria d'ió liti $LiCoO_2$ de l'automòbil Tesla Roadster:

- Tensió nominal: 375 V.
- Capacitat: 141 Ah.
- Energia acumulada: 53 kW h.
- Pes: 450 kg.
- Energia específica: 117,8 $Whkg^{-1}$.
- Potència màxima: 230 kW.
- Temps de recàrrega: 3,5 hores (ràpida).
- Temps de vida: 5 anys.
- Autonomia: 350 km (mixt autopista/ciutat).

Aquestes bateries, que poden funcionar a diverses centenes de volts (cosa que en aquest camp es coneix com a *alta tensió*), encara són susceptibles de potencialitats més elevades amb el desenvolupament de materials nous per als elèctrodes (per exemple, càtodes amb base de $LiMn_2O_4$ o $LiFePO_4$), electròlit i barreres de separació d'ànodes. Així, aquests desenvolupaments permetran previsiblement en un futur, per exemple, eliminar l'electròlit inflamable que pot provocar l'incendi ocasional de les bateries i substituir-lo per electròlits sòlids compostos de materials polimèrics millorats amb altres materials conductors (com són els materials ceràmics). Efectivament, els electròlits líquids ofereixen una conductivitat excel·lent que fa que les bateries es carreguen més ràpidament i siguen més duradores. No obstant això, generen alguns problemes de seguretat com ara fuites tèrmiques, incendis i explosions.

La fuita tèrmica és un dels principals riscos relacionats amb aquesta mena de bateries i consisteix en el fet que les cel·les d'ió liti entren en un estat d'autocalfament incontrolat que desemboca en explosions i incendis.

Tots aquests potencials desenvolupaments, tanmateix, no van en la direcció de substituir les bateries d'ió liti, sinó de millorar-les.



# Principals riscos i mesures de seguretat per la presència de bateries de tracció en vehicles elèctrics

## Principals riscos

El creixement constant del mercat de vehicles elèctrics o híbrids fa que cada vegada més persones treballadores puguen estar exposades als nous riscos que generen aquesta mena de vehicles i, en concret, als que es generen per la incorporació de bateries de tracció, majoritàriament d'ió liti. Es tracta de persones treballadores dedicades a la recuperació, reparació i manteniment d'aquesta classe de vehicles, incloent-hi les que es dediquen a la retirada de vehicles en carretera o les persones treballadores de serveis d'emergència en carretera.

L'exposició a aquests nous riscos en les tasques relacionades anteriorment requereix que les persones que potencialment s'hi exposen adquirisquen coneixements addicionals sobre les tècniques i els procediments de treball amb què es poden protegir.

Els principals riscos que genera la incorporació de bateries de tracció dels vehicles elèctrics o híbrids quan es treballa amb aquests són:

### Risc elèctric

Els vehicles elèctrics i híbrids utilitzen, a més de les bateries auxiliars (de 12, 24 o 48 volts en corrent continu [cc]), bateries tractores que alimenten el motor elèctric amb tensions que segons el vehicle, la marca i el fabricant poden anar des dels 60 V (volts) fins a diversos centenars de volts en corrent continu (cc). Com a conseqüència, a més del circuit tradicional en

baixa tensió, ara el vehicle disposa d'un altre circuit en alta tensió que connecta la bateria de tracció amb el motor elèctric de tracció del vehicle. El contacte elèctric directe de persones amb elements de la instal·lació que es troben a alta tensió podria ser la causa d'un accident greu i fins i tot mortal.



Un altre dels riscos associats a la gran càrrega elèctrica acumulada en aquesta mena de bateries és un possible curtcircuit, si es tanca el circuit exterior per mitjà d'un element conductor de resistència elèctrica molt baixa (pràcticament zero). En aquesta situació, en funció de la tensió i la resistència elèctrica de cada cel·la, es poden obtindre valors d'intensitat de curtcircuit de diversos milers d'amperes. A tall d'exemple, una bateria d'aproximadament 3,7 volts de tensió de cel·la i 300 microohms de resistència de cel·la (suposant pràcticament nul·la la resistència del circuit exterior) podria generar una intensitat de curtcircuit d'aproximadament 12,3 kA. L'alliberament sobtat d'aquesta energia tan gran podria generar cremades extremadament greus a la persona exposada.

## Risc d'explosió i incendi

Les bateries d'ió liti utilitzen en l'actualitat un electròlit líquid orgànic que permet la circulació dels ions de liti d'un elèctrode a un altre. Aquests electròlits ofereixen una conductivitat iònica excel·lent, però són molt inflamables (i conseqüentment sensibles a les altes temperatures) i poden generar el que es coneix com a *fuita tèrmica*, que no és més que l'estat en què la cèl·lula d'ió liti entra en una situació d'autocalfament incontrolat. Tot això pot provocar incendis i explosions per fallades elèctriques, mecàniques o tèrmiques. És per això que moltes línies d'investigació actuals exploren la possibilitat d'utilitzar electròlits en estat sòlid amb bones propietats de rendiment electroquímic i ignífugs per a aquesta mena de bateries.

## Risc químic

Per una exposició potencial als components de l'electròlit de les bateries d'ió liti. Actualment, se sol utilitzar el fluor com a additiu dels electròlits orgànics per a millorar el rendiment de les bateries. L'addició d'aquest compost en forma d'hexafluorofosfat de liti ($LiPF_6$) permet controlar la pel·lícula de dendrites metàl·liques de liti que es forma sobre els elèctrodes de les bateries, la qual cosa allarga la vida d'aquestes i en millora el rendiment i la potència; a més, redueix la probabilitat de curtcircuits interns.

No obstant això, en cas d'explosió o d'incendi, per exemple, a causa d'un impacte d'energia elevada (com podria ser en el cas d'una situació d'accident de circulació), l'electròlit podria escapar i entrar en contacte amb el medi ambient i, per tant, amb l'oxigen de l'aire. Si aquesta situació es donara a temperatures per damunt dels 70 °C, llavors podria produir-se una combustió que generaria, entre altres potencials substàncies perilloses, àcid fluorhídric (HF). L'HF és un dels àcids més perillosos i corrosius que hi ha.



A continuació, es proposen per als riscos anteriors una sèrie de mesures de prevenció i protecció genèriques. No obstant això, cal recordar i aclarir que per a cada cas concret i particular (tipus de vehicle, operació que cal realitzar sobre aquest, entorn, etc.) han d'establir-se les mesures preventives i protectores que es deriven de l'avaluació preceptiva dels riscos que l'empresa ha de realitzar per als llocs de treball, les persones que els ocupen i les potencialment exposades. Es tracta d'un precepte legal que recull la Llei 31/1995, de prevenció de riscos laborals (LPRL), en l'article 16.

Així mateix, en la planificació de mesures preventives o de protecció que cal adoptar derivades de l'avaluació anterior, resulta fonamental disposar i tindre en compte totes les indicacions de seguretat que aporten els fabricants.

# Protecció davant del risc elèctric

## Algunes referències normatives

L'article 2 del reglament electrotècnic vigent per a baixa tensió, aprovat pel Reial decret 842/2002, de 2 d'agost, considera com a instal·lacions de baixa tensió les de tensió igual o inferior a 1.000 volts en corrent altern (ca) i igual o inferior a 1.500 volts en corrent continu (cc). Com a conseqüència, si bé en l'àmbit de les bateries de tracció per a vehicles elèctrics o híbrids sol denominar-se alta tensió a la proporcionada per aquestes quan és superior a 60 volts i inferior o igual a 1.500 volts en cc o és superior a 30 volts i inferior o igual a 1.000 volts en ca, en l'àmbit electrotècnic reglamentari la tensió que ofereixen aquestes bateries no pot considerar-se, en general, d'alta tensió (en aquest àmbit reglamentari), encara que sí que és

cert que proporcionen una tensió i una capacitat elèctrica elevades, molt perilloses en qualsevol cas.

En l'apartat 3 de l'annex I del Reial decret 614/2001, de 8 de juny, sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors davant del risc elèctric, es defineix com a instal·lació elèctrica:



> El conjunt dels materials i equips d'un lloc de treball mitjançant els quals es genera, converteix, transforma, transporta, distribueix o utilitza l'energia elèctrica; **s'hi inclouen les bateries**, els condensadors i qualsevol altre equip que emmagatzeme energia elèctrica.

Com a conseqüència, les bateries de qualsevol mena, i en particular les bateries de tracció d'ió liti i els circuits a què alimenta, disposades en els llocs de treball, han de ser considerades com una instal·lació elèctrica a l'efecte del compliment del text reglamentari anterior. És per això que han de tindre's en compte i complir-se tots els preceptes que s'hi recullen.

L'article 4, "Tècniques i procediments de treball", del Reial decret 614/2001, indica que les tècniques i els procediments emprats per a treballar en instal·lacions elèctriques (com les que incorporen els vehicles elèctrics) o en els seus voltants s'establiran segons l'avaluació dels riscos que el treball puga suposar i d'acord amb les característiques de les instal·lacions, del treball i de l'entorn en què es vagen a realitzar els treballs, així com la resta de requisits recollits en aquest article, entre els quals es troba l'apartat 2, que indica que "qualsevol treball en una instal·lació elèctrica o en el seu voltant que comporte un risc elèctric haurà d'efectuar-se sense tensió, excepte en els casos que s'indiquen en els apartats 3 i 4". Així, podran realitzar-se amb la instal·lació en tensió els treballs següents:

- Les operacions elementals, com ara connectar i desconnectar, en instal·lacions de baixa tensió (inferiors o iguals a 1.000 volts en ca i 1.500 volts en cc) amb material elèctric concebut per a la utilització immediata i sense riscos per part del públic en general. En qualsevol cas, aquestes operacions hauran de realitzar-se amb el procediment normal previst pel fabricant i amb la verificació prèvia del bon estat del material manipulat.
- Les maniobres, els mesuraments, els assajos i les verificacions la naturalesa de les quals ho exigisca, com ara l'obertura i el tancament d'interruptors o seccionadors, el mesurament d'una intensitat, la realització d'assajos d'aïllament elèctric o la comprovació de la concordança de fases.

- Els treballs en, o al voltant, d'instal·lacions les condicions d'explotació o de continuïtat del subministrament de les quals ho requerisquen.

Per això, durant qualsevol operació que s'haja de realitzar en un vehicle elèctric, la primera acció ha de ser sempre deixar-ne la instal·lació elèctrica sense tensió, separant-la del subministrament propi (bateria). L'operació per a deixar sense tensió la instal·lació elèctrica l'han de realitzar "**treballadors autoritzats**", és a dir, treballadors que han sigut autoritzats per l'empresari per a realitzar determinats treballs amb risc elèctric, sobre la base de la seua capacitat per a fer-los de manera correcta, segons els procediments establits. Un treballador autoritzat ha de rebre la formació i informació a què es refereixen els articles 18 i 19 de la Llei 31/1995, de prevenció de riscos laborals. La formació, que ha de ser teòrica i pràctica, ha d'aconseguir la finalitat perseguida, que no és una altra que capacitar per a realitzar de manera correcta i segura els treballs que es realitzaran, d'acord amb els procediments de treball que s'establisquen i als quals es refereix el Reial decret 614/2001. La condició anterior és necessària però no suficient, ja que **un treballador autoritzat ha de ser, a més, específicament i expressament autoritzat per l'empresari** per a fer el treball amb risc elèctric que siga, després de comprovar la seua capacitat per a fer-lo correctament i d'acord amb el procediment establit.



Tanmateix, la bateria continuarà entregant la tensió nominal entre les terminals pròpies, és a dir, és un element que continua estant en tensió. En aquesta situació, quan hi ha elements en tensió (terminals) de la bateria accessibles, les persones encarregades d'actuar sobre el vehicle (per exemple, en manteniment o reparació) podrien fer treballs de proximitat perquè entren en la zona de proximitat o hi puguen entrar, però sense accedir a la zona de perill, bé siga amb una part del seu cos, o bé amb les eines, els equips, els dispositius o els materials que manipula. A aquest efecte, és procedent recordar que s'entén per **zona de proximitat** l'espai limitat al voltant de la zona de perill, des de la qual un treballador pot envair accidentalment aquesta última; s'entén per **zona de perill** l'espai al voltant dels elements en tensió en el qual la presència d'un treballador desprotegit suposa el risc greu i imminent que es produïsca un arc elèctric, o un contacte directe amb l'element en tensió, tenint en compte els gestos o moviments normals que poden efectuar el treballador sense desplaçar-se.

La distància que delimita la zona de perill per a tensions inferiors o iguals a 1.000 volts és de 50 centímetres. Les distàncies que delimiten la zona de proximitat a l'element en tensió van de 70 a 300 centímetres.

Com a conseqüència, si hi haguera elements d'una instal·lació en tensió accessibles i pròxims a la zona de treball (els terminals de la mateixa bateria), els treballs que s'han de realitzar en aquestes condicions en vehicles elèctrics han de considerar-se com a treballs en proximitat. Els treballs en proximitat han de planificar-se i desenvolupar-se d'acord amb les previsions que recull l'annex V del Reial decret 614/2001.

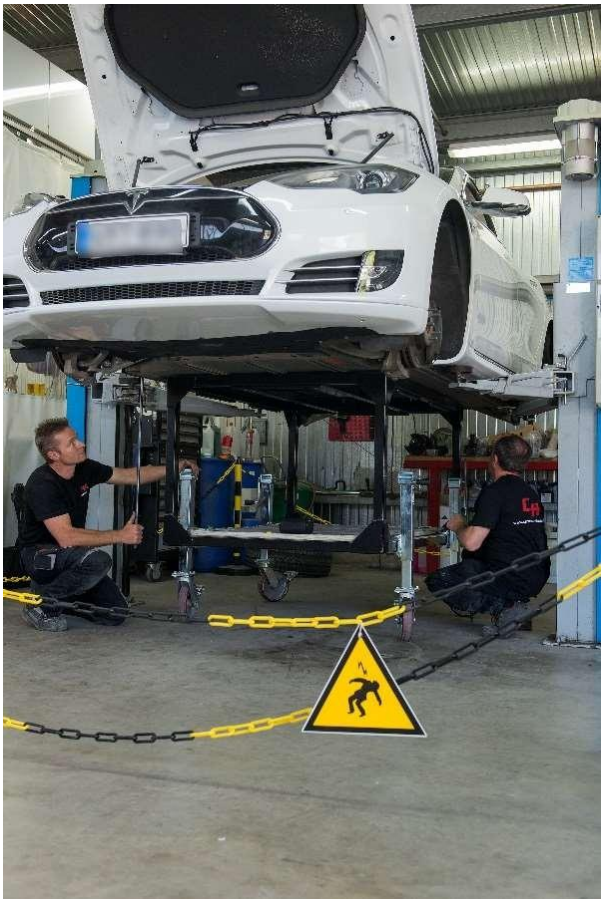


## Mesures de prevenció i protecció

A continuació es recullen, entre altres possibles, una sèrie de mesures bàsiques de prevenció i protecció del risc elèctric quan s'opera amb vehicles elèctrics o híbrids.

- A conseqüència de l'avaluació preceptiva de riscos del lloc de treball, qualsevol treball que s'haja de dur a terme sobre un vehicle elèctric o híbrid ha d'estar presidit per un **procediment de treball** clar, rigorós i sistemàtic en què s'hagen tingut en compte, **per a cada cas particular**, les previsions d'ús, manteniment i seguretat recollides en els manuals d'instruccions dels diferents fabricants. Aquesta informació resulta fonamental i s'esmenta en el Reial decret 1215/1997, de 18 de juliol, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut per a la utilització per part dels treballadors dels equips de treball.
- Les persones encarregades d'operar sobre aquests vehicles han de correspondre's amb la figura del treballador autoritzat a què es refereix el Reial decret 614/2001. En conseqüència, han de ser persones formades i informades en els termes previstos en els articles 18 i 19 de la Llei 31/1995, de prevenció de riscos laborals, per a realitzar adequadament i amb seguretat els treballs previstos; a més, amb la base d'aquesta formació i informació, han de ser autoritzats expressament per l'empresa.

- La zona d'operació sobre un vehicle elèctric o híbrid ha d'estar delimitada preferentment mitjançant abalisament de seguretat i senyalitzar-se (perill elèctric), de manera que només puguen accedir a aquesta zona les persones expressament autoritzades per l'empresa per a treballar sobre aquest vehicle. En aquesta situació, es recomana que la balisa se separe com a mínim 1 metre del vehicle. Si es tractara d'una zona senyalitzada però no abalisada, es recomana que aquesta separació siga d'almenys 3 metres.



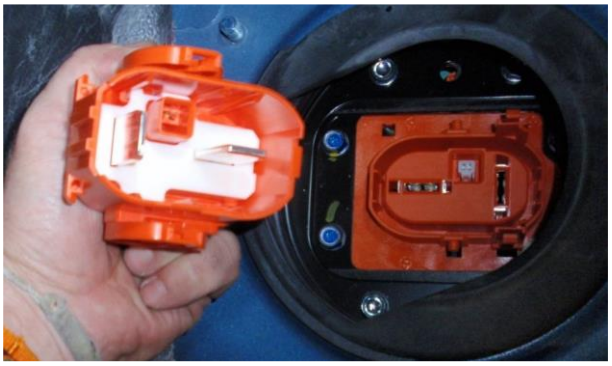
Fotografia 1. Operacions sobre un vehicle elèctric. Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS).

- Les claus d'operació remota del vehicle han de mantindre's allunyades d'aquest per a evitar qualsevol activació accidental dels sistemes elèctrics i moviments no desitjats. Les claus han d'estar confinades en un lloc amb un únic accés controlat per la persona treballadora que opera sobre el vehicle.
- Els fabricants codifiquen els circuits d'alta tensió del vehicle per colors. La majoria identifiquen els circuits o cables d'alta tensió amb el color **taronja**, però encara hi ha alguns models de vehicles en què aquests cables són blaus (cal verificar-ho amb la informació del fabricant). Aquesta identificació servirà per a la inspecció visual sobre l'estat d'aquests circuits, així com per a aïllar-los adequadament perquè les operacions mecàniques que hagen de realitzar-se no n'afecten la integritat.

Fotografia 2. Cables d'alta tensió.

Si no es procedeix a l'aïllament complet de la bateria, ha d'evitar-se qualsevol contacte amb els circuits d'alta tensió.

- El vehicle elèctric o híbrid no ha d'estar connectat al cable de càrrega.
- D'acord amb el primer principi de l'acció preventiva (*evitar els riscos*) i al que es recull en el Reial decret 614/2001, la primera operació que cal realitzar, abans de procedir a fer qualsevol treball sobre el vehicle, és la consignació elèctrica d'aquest. Es tracta d'aïllar la bateria de la resta de la instal·lació elèctrica per a deixar el vehicle, energèticament parlant, a zero. Aquest procés d'aïllament de la bateria ha de vindre recollit en les instruccions del fabricant i, per tant, resulta molt important recopilar i seguir les indicacions d'aquest en el procediment de treball. Els fabricants incorporen un interruptor de seguretat o aïllament que desconnecta la bateria del sistema elèctric del vehicle. Per tant, ha de procedir-se a retirar aquest interruptor o connector de servei.



Fotografia 3. Connector de servei. Grupo M3.

- Seguidament, s'ha de procedir a immobilitzar mecànicament els elements desconnectats i a senyalitzar que l'element no ha de ser maniobrat. S'han de consultar les instruccions del fabricant per a realitzar correctament aquestes operacions.
- Una vegada aïllada la bateria molts fabricants recomanen esperar un mínim de 10 minuts abans d'iniciar els treballs perquè, després del procés d'aïllament de la bateria, en el sistema elèctric d'alta tensió del vehicle poden haver-hi inèrcies elèctriques en determinats components elèctrics o electrònics (com per exemple condensadors) la descàrrega dels quals es precisa. En qualsevol cas, com ja s'ha indicat, ha de consultar-se la informació que aporta el fabricant sobre la descàrrega de la potencial energia emmagatzemada.
- Posteriorment, una altra vegada d'acord amb les indicacions del fabricant, ha de comprovar-se que la instal·lació d'alta tensió té una capacitat elèctrica nul·la amb la verificació de l'absència de tensió per mitjà de detectors adequats a les tensions previstes. Es recomana que aquests complisquen amb la norma UNE-EN 61243 *Treballs en tensió. Detectors de tensió. Part 3: tipus bipolar per a baixa tensió*.

- No obstant això, una vegada s'ha procedit a l'aïllament de la bateria del sistema elèctric en alta tensió del vehicle i s'ha aconseguit, segons s'ha descrit anteriorment, la consignació elèctrica, es podrien continuar verificant elements accessibles de la bateria en tensió, cosa que significaria que els treballs de reparació o manteniment que es duguen a terme sobre el vehicle poden ser considerats com a treballs en proximitat, com es va explicar. En aquesta situació, és procedent complir amb les previsions de l'annex V, "Treballs en proximitat", del Reial decret 614/2001, per a aquests treballs. D'acord amb les previsions d'aquest annex, han d'eliminar-se les zones de perill degudes als elements de la bateria en tensió. Tot això mitjançant la col·locació de pantalles, barreres, envolupants o protectors aïllants les característiques i la forma d'instal·lació dels quals garantisquen la seua eficàcia protectora. Per a fer-ho, resulta novament imprescindible acudir a les instruccions que sobre aquest tema recullen els fabricants en els manuals d'instruccions. Aquestes han de garantir una protecció mínima IP2X o IP XXB. Si, malgrat les mesures de protecció adoptades, continuen havent-hi elements en tensió les zones de perill dels quals són accessibles per a les persones treballadores, es deurà:
    - Delimitar la zona de treball respecte a les zones de perill.
    - Informar les persones treballadores implicades dels riscos que hi ha, la situació dels elements en tensió, els límits de la zona de treball i totes les precaucions i mesures de seguretat que hagen d'adoptar per a no envair la zona de perill.
    - Els treballs només podran ser realitzats per treballadors autoritzats.
- Es recomana, en qualsevol cas, per als treballs que s'han de realitzar sobre el vehicle elèctric o híbrid, la utilització d'eines aïllades segons la norma IEC 60900 (norma UNE-EN IEC 60900:2020).

Fotografia 4. Exemple de ferramenta aïllant. DERANCOURT.

Del que s'ha exposat fins ara, s'infereix que no ha de treballar-se, amb caràcter general, amb el sistema elèctric del vehicle en tensió. Aquest supòsit sols es desenvoluparia en el cas que no hi haja tècnicament una altra possibilitat, però sempre que siga segur fer el treball. Aquesta situació podria donar-se, per exemple, en tasques de reparació d'un vehicle que ha patit danys per col·lisió en els quals no haja sigut possible per cap mitjà aïllar la instal·lació elèctrica en alta

tensió i descarregar l'energia emmagatzemada en el sistema. **En aquestes situacions resulta totalment imprescindible consultar les instruccions del fabricant** per a saber quines mesures de control han d'establir-se (i desenvolupar-se) abans d'iniciar qualsevol treball de reparació. Resulta important en aquest cas procedir a una revisió visual prèvia a la cerca de signes de dany en els components elèctrics d'alta tensió o en el cablejat (generalment de color taronja).



En les situacions anteriors es considera que es fan treballs en tensió i, per tant, han de seguir-se escrupolosament les indicacions que recull l'annex III, "Treballs en tensió", del Reial decret 614/2001, entre les quals es destaquen:

- Els treballs en tensió només poden ser realitzats per **treballadors qualificats**, és a dir, treballadors autoritzats (amb els mateixos requisits vistos anteriorment), que a més posseeixen coneixements especialitzats en matèria d'instal·lacions elèctriques per la seua formació acreditada, professional o universitària, o a la seua experiència certificada de dos o més anys.
- Se seguirà un procediment prèviament estudiat.
- El mètode de treball emprat i els equips i materials utilitzats hauran d'assegurar la protecció de les persones treballadores.
- Entre els equips i materials esmentats es troben:
    - Accessoris aïllants (pantalles, cobertes, baines, etc.) per al recobriment de parts actives o masses.
    - Estris aïllants o aïllats (eines, pinces, puntes de prova, etc.).
    - Perxes aïllants, en cas de resultar necessàries.
    - Dispositius aïllants o aïllats (banquetes, catifes, mantes, plataformes de treball, etc.).
    - Els equips de protecció individual davant de riscos elèctrics (guants, ulleres, calçat, etc.) que es tractaran més endavant.
- En qualsevol cas, els equips i materials per a la realització de treballs en tensió s'ajustaran a la normativa específica que siga aplicable.

Amb independència de tot el que s'ha indicat anteriorment, a continuació es recullen una sèrie de **mesures preventives de caràcter bàsic** que convindria recollir de mode transversal en els diferents procediments de treball com, entre altres possibles:

- No assumir mai que el vehicle elèctric o híbrid no té tensió per estar en silenci.

- No tocar ni obrir cap circuit d'alta tensió de color taronja ni cap component d'alta tensió sense la utilització dels equips preceptius de protecció individual.
- Les persones operadores no han de portar objectes metàl·lics personals en les mans, les monyiques o el coll (polseres, anells, cadenes, etc.), ni portar cap objecte metàl·lic al damunt mentre treballen. Prèviament a l'execució de qualsevol treball ha de verificar-se aquesta circumstància.
- La roba de treball hauria de ser preferentment incombustible o ignífuga.
- Les operacions de llavada a pressió tenen el potencial de danyar els components elèctrics i circuits d'alta tensió. Per això, han de consultar-se les instruccions dels fabricants dels vehicles de manera prèvia a la realització d'aquesta mena d'operacions en qualsevol part davall de la carrosseria, incloent-hi el compartiment on s'allotja el motor.
- Les bateries d'ió liti són sensibles a la temperatura. Els fabricants informen dels límits de temperatura en els quals han d'operar. Aquesta informació ha de tindre's en compte a l'hora de realitzar operacions que puguen suposar depassar aquests límits, com per exemple en operacions de pintura en cabines en les quals poden superar-se aquestes temperatures.

En el cas particular d'assistència **en carretera per accident o incident en un vehicle d'aquestes característiques**, haurien de considerar-se les mesures de protecció següents, entre altres possibles, en els procediments dels treballs d'assistència i retirada:

- Resulta imprescindible tindre accés a fonts de confiança d'informació del fabricant per a cada tipus específic de vehicle, per exemple, per mitjà de dades mòbils utilitzades pels serveis d'emergències i retirada de vehicles o per referències prèvies d'informació del fabricant.
- S'ha d'aïllar el sistema de bateria d'alta tensió sempre que siga possible i segur fer-ho. A vegades, l'actuació dels coixins de seguretat del vehicle porta associada la desconnexió automàtica del sistema elèctric. És per això que resulta fonamental comptar amb la informació del fabricant per a conéixer quins dispositius hi ha en el vehicle en qüestió per a aïllar-lo elèctricament. Si finalment no es pot fer aquest aïllament, hauran de tindre's en compte les indicacions del fabricant per a la manipulació segura del vehicle, la qual cosa implicarà la utilització dels corresponents i recomanats equips de protecció individual.

- En la mesura del que siga possible, s'han de revisar visualment els vehicles per a detectar danys en els components elèctrics d'alta tensió (senyalitzats pel color taronja) i seguir, en aquesta situació, el que preveuen els fabricants. Hauria d'establir-se la possibilitat que la bateria estiga danyada perquè en aquesta situació podran concórrer altres riscos potencials com el químic o el d'incendi que caldria considerar. Un curtcircuit podria ser la font d'ignició en cas de vessament de combustible en un vehicle híbrid. També podrien generar-se fuites tèrmiques descontrolades en la bateria que provocaren explosions i incendis.
- En la retirada del vehicle la clau d'activació ha de retirar-se a una distància adequada. A més, si fora el cas, la bateria estàndard (12/24 volts) hauria de desconnectar-se per a evitar que el vehicle s'active o arranque.
- Com a norma general, s'hauria d'evitar remolcar aquesta mena de vehicles, tret que s'estiga completament segur que és possible fer-ho, ja que els voltatges perillosos poden ser generats pel moviment de les rodes motrius. Es recomana una altra vegada revisar les indicacions dels fabricants en aquesta situació.

Sempre que es facen treballs en tensió, o al voltant d'elements en tensió quan hi ha risc de contacte amb aquests, deuran utilitzar-se **equips de protecció individual** tenint en compte:

- La gestió de la utilització d'equips de protecció individual (EPI) en el centre de treball ha d'estar presidida pel compliment de les obligacions que imposa el Reial decret 773/1997, de 30 de maig, sobre disposicions mínimes de seguretat i salut relatives a la utilització pels treballadors d'equips de protecció individual.
- La previsió de la utilització d'equips de protecció individual ha de ser una conseqüència de l'avaluació preceptiva de riscos dels llocs de treball amb vehicles elèctrics o híbrids per a cada persona i situació concreta. La utilització d'aquests ha de recollir-se en els procediments de treball pertinents que han d'elaborar-se quan es treballa en tensió o en proximitat.

No obstant això, com a norma general ha de considerar-se o recórrer-se, almenys, a la utilització dels equips de protecció següents:

- **Guants aïllants de l'electricitat**. Fabricats amb elastòmers o material plàstic, utilitzats per a la protecció contra els perills elèctrics. A vegades s'utilitzen guants compostos o llargs compostos (que arriben fins a les axil·les), fabricats amb una protecció mecànica incorporada. Actualment, només hi ha guants compostos disponibles per a les classes

00, 0 i 1. Així mateix, només es disposen guants compostos llargs per a les classes 1, 2 i 3. La tensió màxima recomanada per a cada classe de guants és:

| Classe | Color | Tensió alterna eficaç (Vef) | Tensió contínua (V) |
|---|---|---|---|
| **00** | Beix | 500 | 750 |
| **0** | Roig | 1.000 | 1.500 |
| **1** | Blanc | 7.500 | 11.250 |
| **2** | Groc | 17.000 | 25.500 |
| **3** | Verd | 26.500 | 39.750 |
| **4** | Taronja | 36.000 | 54.000 |

Amb caràcter general, per al cas que ens ocupa serà suficient amb la utilització de guants de la classe 00 o 0. No obstant això, haurà d'estudiar-se en cada cas concret, en funció de la tensió de contacte.

Alguns guants poden tindre, a més, característiques de resistència especials:

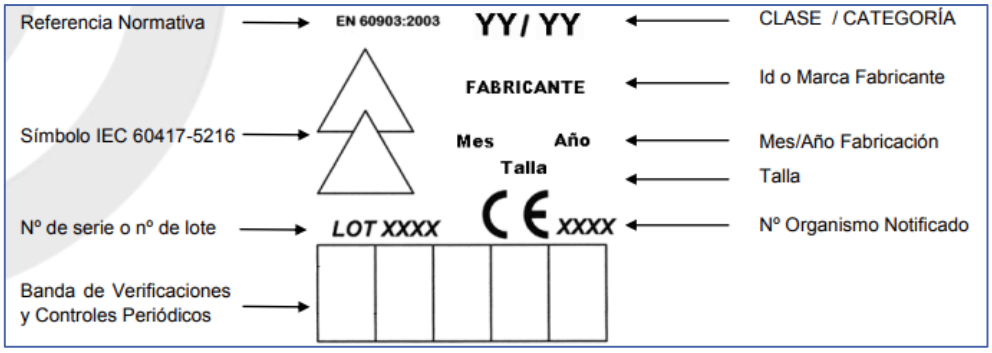
| Categoria | Resistència |
|---|---|
| **A** | Àcid |
| **H** | Oli |
| **Z** | Ozó |
| **R** | Àcid, oli i ozó |
| **C** | A molt baixes temperatures |
| Nota 1. La categoria R combina les característiques de les categories A, H i Z.<br>Nota 2. Totes les categories de combinacions poden ser utilitzades. | |

En el cas que el risc de contacte elèctric coexistira amb el risc d'exposició química podria estudiar-se la possibilitat d'utilitzar guants aïllants amb característiques de resistència especials o bé utilitzar guants de protecció química (es veuran més endavant) per damunt dels guants aïllants. En aquest últim cas han de tindre's en

compte les previsions de l'apartat E.4, "Precaucions d'ús", de l'annex E de la norma UNE-EN 60903:2005. Aquesta decisió haurà de ser presa tenint en compte els resultats de l'avaluació de riscos corresponent, l'assessorament del servei de prevenció (modalitat preventiva adoptada per l'empresa) i la informació que sobre aquest tema puga aportar l'empresa proveïdora dels equips.

En el marcatge dels guants ha d'aparéixer la informació següent:

- Símbol d'apropiat per als treballs en tensió: doble triangle.
- Número de la norma europea immediatament contigu al símbol amb l'any de publicació (EN 60903:2005).
- Nom, marca registrada o identificació del fabricant.
- Talla.
- Categoria, si escau.
- Classe.
- Número de sèrie o número de lot.
- Més i any de fabricació.




Il·lustració 6. Marcatge dels guants aïllants d'electricitat (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Madrid), 2014)

Els guants compostos, a més, vindran marcats pel símbol mecànic d'un martell, contigu al doble triangle.

Es recomana consultar la norma UNE-EN 60903:2005 i, concretament, l'annex D "Guia per a la selecció de la classe de guants en funció de la tensió nominal d'una xarxa" i l'annex E "Recomanacions per a la utilització".

- **Pantalla facial**. Per a la protecció contra l'arc elèctric produït per un curtcircuit i contra materials fosos i sòlids candents procedents d'aquest. La pantalla facial ha de complir els requisits de la norma UNE-EN 166:2002, tant pel que fa a l'ocular com a la muntura.

La norma anterior preveu el marcatge de l'ocular i de la muntura per separat, excepte en el cas en què la pantalla facial forme una unitat indissociable; en aquest cas hi haurà un marcatge únic sobre la muntura.

En el marcatge (o marcatges), a més de la identificació del fabricant i el número de la norma, es recullen els diferents símbols dels camps d'ús entre els quals ha d'aparéixer, almenys, el símbol ***8*** de solidesa en l'arc elèctric de curtcircuit.



- **Calçat aïllant de l'electricitat**. Protegeix la persona usuària contra el xoc elèctric i impedeix el pas d'un corrent perillós pel cos a través dels peus. Tal com recull la norma UNE-EN 50321-1:2018, el calçat aïllant de l'electricitat es classifica, en funció del seu ús o de la proximitat a instal·lacions elèctriques d'una tensió nominal definida, en les classes següents:

| Classe | Color | Tensió alterna eficaç (Vef) | Tensió contínua (V) |
|---|---|---|---|
| **00** | Beix | 500 | 750 |
| **0** | Roig | 1.000 | 1.500 |
| **1** | Blanc | 7.500 | 11.250 |
| **2** | Groc | 17.000 | 25.500 |
| **3** | Verd | 26.500 | --- |
| **4** | Taronja | 36.000 | --- |

Amb caràcter general, per al cas que ens ocupa serà suficient amb la utilització de calçat aïllant de la classe 00 o 0. No obstant això, haurà d'estudiar-se en cada cas concret.

El calçat aïllant de l'electricitat ha d'estar marcat, en primer lloc, d'acord amb les normes UNE-EN ISO 20345:2022, UNE-EN ISO 20346:2022 i UNE-EN ISO 20347:2022, però també ha de portar el marcatge que recull la norma UNE-EN 50321-1:2018 amb la informació següent:

- Símbol d'adequat per al treball en tensió: doble triangle.
- Número de la norma EN 50321.
- Classe elèctrica.

- Tensió de corrent d'assaig ca (corrent altern) o ca (corrent altern) / cc (corrent continu).

A més, cada unitat de calçat aïllant de l'electricitat ha d'estar proveïda d'una banda o espai destinada a anotar la data de posada en servei, la data de verificació o la data de cada inspecció periòdica. S'ha de col·locar prop del símbol IEC.



Finalment, si s'usa un codi de colors, el símbol consistent en el doble triangle ha de tindre la correspondència de color recollida en la taula anterior.

# Protecció davant del risc d'incendi

## L'origen del risc: la fuita tèrmica

La fuita tèrmica d'una bateria d'ió liti té lloc quan en alguna cel·la s'aconsegueixen temperatures elevades a causa d'una fallada energètica. En aquesta situació de fallada, la velocitat d'autocalfament de la cel·la es torna més elevada que la velocitat a què pot dissipar calor als voltants, per la qual cosa la temperatura augmenta exponencialment (equació d'Arrhenius), es perd l'estabilitat tèrmica i es produeix la fuita tèrmica. Quan la temperatura interna de la cel·la és prou alta perquè s'inflame l'electròlit, que és un líquid orgànic, el material d'òxid del càtode es descompon i allibera oxigen. Per tant, en la cel·la danyada coexisteixen ara el combustible (electròlit orgànic líquid) i l'oxigen (dels òxids en el càtode), i s'inicia un foc que pot generar el seu propi oxigen, cosa que el fa extremadament difícil d'extingir.

Aquestes fallades poden ser degudes a (Mikolajczak, Kahn, White, & Long, 2011):

- **Abús tèrmic**. El sotmetiment a calfament extern és una de les formes més directes de superar l'estabilitat tèrmica de la cel·la. L'exposició a altes temperatures (per exemple, per flames, exposició a gasos de combustió calentes d'un incendi pròxim, emmagatzematge exposat a la radiació solar o el contacte amb cèl·lules adjacents que pateixen reaccions tèrmiques fora de control, entre altres) induirà fàcilment la fuita tèrmica en aquesta cel·la. La fallada en una cel·la causarà una fuita tèrmica en les cel·les veïnes, per la qual cosa es propagarà la reacció tèrmica fora de control a través

de tot el paquet de bateries. Les bateries d'ions de liti utilitzades en els vehicles elèctrics estan formades per centenars o fins i tot milers de cel·les individuals. Si una sola cel·la se sobrecalfa, s'incendia o fins i tot explota, la propagació de la calor a les cel·les adjacents pot portar ràpidament a una situació catastròfica.

- **Abús mecànic**. L'abús mecànic pot ser el generador d'un curtcircuit intern entre els elèctrodes, la qual cosa pot portar a un calfament cel·lular localitzat que es propaga a tota la cel·la i inicia la fuita tèrmica. L'abús mecànic pot ser greu i provocar una fallada immediata o pot ser lleu i crear un defecte que genere de forma diferida una posterior fallada.
- **Abús elèctric**:
    - Sobrecàrrega. La sobrecàrrega pot convertir-se en la causa d'una degradació tant de l'ànode com del càtode. En l'ànode pot provocar un recobriment, en comptes que el liti s'intercale en aquest. El liti depositat pot créixer amb el temps i formar dendrites que perforen el separador de la cel·la i així generar curtcircuits interns que serien l'origen de la fuita tèrmica. En el càtode la sobrecàrrega pot causar una eliminació excessiva de liti de les estructures materials d'aquest, cosa que podria generar una reacció exotèrmica que podria portar a la fuita tèrmica. Una sobrecàrrega severa pot conduir a una fuita tèrmica immediata de la cel·la; per contra, la sobrecàrrega lleu repetida pot no ser causa d'una fallada durant un període prolongat, però eventualment podria ser l'origen d'una fuita tèrmica. Les sobrecàrregues poden donar-se tant per un sobrevoltatge com per una càrrega amb corrents excessius.
    - Curtcircuit extern. La descàrrega d'alta velocitat provocada per un curtcircuit extern pot causar un calfament resistent dins de les cel·les (en punts d'alta impedància). Aquest calfament podria excedir el límit d'estabilitat tèrmica i generar una fuita tèrmica.
    - Descàrrega excessiva. La simple descàrrega excessiva d'una cel·la d'ió liti a 0 volts no ha de causar una reacció tèrmica fora de control per si mateixa. No obstant això, sí que pot generar danys interns en els elèctrodes i col·lectors de corrent (per exemple, la dissolució del col·lector de coure de l'ànode) i pot produir un recobriment de liti si la cel·la es recarrega repetidament a conseqüència de descàrregues repetides en excés per a finalment produir una fuita tèrmica. Normalment, els vehicles elèctrics incorporen sistemes

electrònics de gestió i protecció de bateries que eviten que la bateria puga estar repetidament sobredescarregada.

- **Disseny electroquímic de cel·la deficient**. A vegades, l'envelliment de la cel·la pot ser causat per la degradació inesperada d'algun component (algun elèctrode, el separador d'elèctrodes o l'electròlit) que pot provocar fallades tèrmiques fora de control.
- **Fallades internes relacionades amb defectes de fabricació**. Com a norma, la immensa majoria de bateries d'ió liti estan dissenyades de manera robusta i no tenen problemes de disseny obvis. No obstant això, hi ha defectes que podrien ocórrer durant la fabricació i que podrien ser origen de fuites tèrmiques. Per exemple, pot haver-hi defectes en les matèries primeres de les cel·les, en els recobriments d'elèctrodes, en contaminants introduïts durant el procés d'acoblament i components mal col·locats, mal aplicats o danyats (materials estranys en la bateria, elements solts de components, danys en elèctrodes, rebaves en les llengüetes dels elèctrodes, etc.).



Les mesures preventives per a evitar la fuita tèrmica en aquesta mena de bateries han d'orientar-se a evitar les causes de fallada anteriors.

## Energia emmagatzemada en la bateria

El contingut energètic emmagatzemat en una cel·la d'ió liti és la suma de l'energia elèctrica i l'energia química emmagatzemades. L'energia elèctrica emmagatzemada la podríem assimilar a la seua capacitat nominal mesurada en Ah. L'energia química no és fàcil de mesurar, però es pot fer una aproximació si es consideren les calors de combustió dels diferents components inflamables que la componen i la quantitat d'aquests:

- **Electròlit**. Com a mescla de carbonats orgànics com el carbonat d'etilé o el carbonat de dietil, entre altres possibles. Aquests dissolvents orgànics contenen ió liti solvatat procedent de sals de liti; la més utilitzada és l'hexafluorofosfat de liti ($LiPF_6$). A més, els fabricants solen incloure una sèrie d'additius que milloren les característiques de rendiment. La mescla de carboni litiat (ànode) i l'electròlit orgànic no és termodinàmicament estable, i es produeix una reacció exotèrmica el resultat de la qual és la formació d'una capa passivant en la superfície de carboni (interfase electròlit-sòlid, SEI) i la formació d'alguns gasos que resulten de la descomposició de l'electròlit (per exemple, gas etilé i propilé, xicotetes quantitats d'hidrogen, oxigen, nitrogen, monòxid de carboni, metà o diòxid de carboni, depenent dels dissolvents

utilitzats). Una cel·la tipus podria tindre al voltant de 10 grams d'electròlit (dada molt orientativa).

- **Separador d'elèctrodes**. Solen utilitzar-se de polietilé, polipropilé o una mescla d'aquests. Una cel·la tipus podria tindre al voltant d'1,5 grams d'aquest material (dada molt orientativa).



Per a tindre una idea aproximada de la quantitat d'energia que pot emmagatzemar una cel·la tipus completament carregada, aquesta pot oscil·lar entre 25 i 40 kJ (quilojoules).

## Etapes de desenvolupament de la fallada

Una vegada ocorreguda la fallada elèctrica en una bateria d'ió liti, aquesta es desenvoluparia posteriorment en les etapes següents:

- **Emissió de gasos**. Es produeix abans de la fuita tèrmica, durant el venteig inicial de la cel·la de la bateria (desgasificació), augmenta quan es produeix la fuita tèrmica i continua després. Aquests gasos podrien ser l'origen d'una explosió si s'acumulen dins de les cel·les de la bateria.
- **Fum**. Quan augmenta la temperatura en la cel·la es comencen a descompondre els materials que la conformen i es produeix un fum (partícules en descomposició) que s'arrossega pel corrent tèrmic generat. El fum pot aparéixer abans de l'emissió de gasos si la fallada de la bateria està originada per calor externa.
- **Foc**. Amb les altes temperatures generades i la coexistència amb gasos potencialment inflamables el desenvolupament d'un incendi és inevitable, més encara si la fuita tèrmica no es controla i es propaga a totes les cel·les adjacents, cosa que, com ja s'ha dit, també genera un increment exponencial de la temperatura.

Una vegada generat l'incendi, l'acció passa per una extinció eficaç i sobretot per la limitació (contenció) d'aquest, per la qual cosa queden arrere les mesures preventives. Les conseqüències d'aquesta mena d'incendi són:

- L'alliberament de gasos tòxics (HF, CO, $CO_2$, $POF_3$, etc.).
- L'alliberament d'una gran quantitat de calor (s'aconsegueixen temperatures molt elevades que fins i tot poden superar els 1000 $^{o}$C).
- L'evolució possible i l'avançament del front del foc.
- El risc d'explosió.

## Prevenció del risc d'incendi

D'acord amb els principis de l'acció preventiva que recull l'actual Llei 31/1995, de prevenció de riscos laborals, les primeres mesures que han d'adoptar-se són les que tenen com a objectiu evitar els riscos, és a dir, les que tenen com a objectiu previndre, en aquest cas, el risc d'incendi. És per això que l'empresa, amb l'assessorament de la seua modalitat preventiva, ha de planificar i adoptar una sèrie d'actuacions que, per al cas concret del risc d'incendi per l'ús o manipulació de vehicles elèctrics que utilitzen bateries de tracció d'ió liti, tinguen com a objectiu evitar el desenvolupament de fuites tèrmiques en aquesta mena de bateries. Per a fer-ho, ha de pensar-se en mesures que eviten les principals causes generadores d'aquestes com, entre altres:

- La utilització de bateries d'ió liti amb electròlit en estat sòlid evitaria la fuita tèrmica. No obstant això, la implementació d'aquesta mena d'electròlits sòlids encara està en fase de recerca i desenvolupament i, per tant, en la situació actual no podem considerar aquesta possibilitat com una mesura preventiva real.
- Evitar l'exposició dels vehicles elèctrics i les seues bateries a focus externs de calor o a ambients amb temperatures elevades (els fabricants informen dels límits de temperatura en què han d'operar les bateries), com podria ser el cas d'algunes cabines de pintura. Com a norma general es considera que a partir de 70 ºC en una cel·la podria iniciar-se la generació d'una fuita tèrmica. Han de reservar-se espais específics per a la ubicació i el treball en aquests vehicles, preferentment ben ventilats, en els quals es garantisca un ambient tèrmic adequat. Per a l'emmagatzematge de bateries ha de seleccionar-se un lloc fresc i sec, ha d'evitar-se que hi incidisca la llum solar directa. El contacte del liti amb l'aigua genera una reacció exotèrmica amb formació de substàncies tòxiques i hidrogen inflamable.
- Treballar amb el vehicle amb l'aïllament previ de la bateria d'alta tensió. Aquesta mesura ja va ser prevista quan es va tractar el risc elèctric.
- Evitar l'abús mecànic sobre les bateries (colps, perforacions, etc.) durant la manipulació, per la qual cosa haurà de fer-se amb els mitjans materials i equips de manipulació adequats (i així també actuem sobre el risc d'origen ergonòmic). No respectar aquesta condició pot comportar curtcircuits interns en les cèl·lules que conformen la bateria i el posterior desenvolupament d'una fuita tèrmica fora de

control que propicie l'incendi o fins i tot l'explosió de la bateria. En el cas d'emmagatzematge ha de verificar-se també aquesta condició; han d'emmagatzemar-se de manera que se'n garantisca la protecció davant d'impactes, caigudes i danys mecànics en general.



En circulació, la majoria dels vehicles elèctrics o híbrids disposen de la seua bateria en la part inferior de l'habitacle (per estadística, el lloc menys propens per als xocs) i en una gàbia de seguretat reforçada. Així i tot, en un accident de trànsit important, en el qual la bateria puga patir un fort colp o una perforació i amb això un curtcircuit intern, els sistemes de seguretat del vehicle permeten tallar el circuit d'alimentació d'alta tensió (aïllament de la bateria d'alta tensió) per a evitar que l'incendi es propague amb rapidesa. Segons el fabricant, aquests sistemes poden actuar quan es desplega algun coixí de seguretat, es detecta la bolcada del vehicle o fins i tot quan, una vegada parat, un altre vehicle xoca contra aquest. No obstant això, es recomana sempre que, amb independència de la desconnexió automàtica, es procedisca, sempre que siga possible, a la desconnexió manual prevista pels fabricants (han de seguir-se escrupolosament les indicacions i recomanacions d'aquests).

Les bateries danyades o defectuoses han de retirar-se immediatament de la zona de producció o emmagatzematge general per a ser emmagatzemades temporalment en un lloc adequat (fresc i ventilat), que no interferisca amb les vies i eixides d'evacuació, aïllat i allunyat d'altres materials combustibles o inflamables.

- Evitar l'abús elèctric per sobrecàrrega o descàrrega excessiva. Actualment, tots els vehicles elèctrics incorporen un sistema electrònic de gestió de bateries (BMS). Es tracta d'un sistema de maquinari i programari que controla i gestiona el rendiment de la bateria, per a garantir-ne el control del funcionament dins dels marges de seguretat. Un BMS pot evitar la sobrecàrrega i la sobredescàrrega potencialment generadores de fuites tèrmiques. També controla la càrrega restant de la bateria, la seua temperatura i estat, si hi ha connexions soltes o curtcircuits interns. Quan el BMS detecta condicions insegures interromp el funcionament de la bateria. Aquests sistemes, actualment incorporats en tots els models de vehicles, impedeixen la càrrega real de la bateria al 100 % i la descàrrega real al 0 %.

**En el procés de càrrega de la bateria han d'observar-se i seguir-se escrupolosament les instruccions dels fabricants.**

- Ha d'evitar-se la descàrrega d'alta velocitat provocada per un curtcircuit extern perquè, com s'ha indicat anteriorment, pot causar un calfament resistiu dins de les cel·les (en punts d'alta impedància) que podria excedir el límit d'estabilitat tèrmica i generar una fuita tèrmica. Per a fer-ho, han de seguir-se les recomanacions i mesures preventives recollides sobre el risc elèctric per a aquesta situació concreta.



## Extinció i contenció de l'incendi. Mesures de protecció

Si, malgrat les mesures preventives adoptades, s'origina un incendi en què intervenen les bateries d'ió liti de gran capacitat, ja només queda l'aplicació de mesures de protecció i contenció de l'incendi.

Les mesures de protecció es dirigeixen bàsicament a la detecció de l'incendi, l'extinció i sobretot a limitar-ne els efectes, per a evitar la propagació i els danys a les persones i béns.

Una vegada s'inicia el mecanisme de fuita tèrmica i es produeixen les reaccions en cadena associades, es produeix l'alliberament d'una gran energia calorífica, així com de gasos tòxics i inflamables. L'evolució natural del desenvolupament d'aquest esdeveniment és la generació d'un incendi d'alta temperatura, i també es poden produir explosions i reignicions successives. Sembla haver-hi un consens ampli en la bibliografia consultada sobre la gran dificultat d'extinció d'aquesta mena d'incendis (Euralarm, 2022; Mikolajczak, Kahn, White i Long, 2011). Així mateix, actualment no sembla haver-hi consens científic i tècnic sobre quina és la millor resposta davant d'un esdeveniment de fuita tèrmica i el desenvolupament posterior d'un incendi en aquesta mena de bateries.

El que sí que sembla clar és que l'extinció d'un incendi en una bateria d'ió liti d'alta capacitat requereix molta més aigua aplicada durant molt més temps que en un incendi típic que poguera donar-se en un taller de reparació i manteniment o en vehicles de motor de combustió, a causa dels potencials processos de reignició.

Fins a tal punt és així, que alguns documents tècnics estudiats (Terlouw, 2019) recullen que l'única opció disponible que ha demostrat ser efectiva per a extingir un incendi en un vehicle elèctric provocat per una bateria és submergir-la completament en aigua. No obstant això, com a norma, aquesta opció difícilment serà viable en la majoria dels casos, sobretot quan aquests vehicles es troben en espais tancats. Actualment, no sembla haver-hi mètodes efectius i contrastats d'extinció en espais tancats.



La informació procedent de fonts públiques disponibles realitzades fins a la data no permet una avaluació exhaustiva per a establir si els sistemes tradicionals de ruixadors automàtics a base d'aigua, els sistemes d'aigua nebulitzada o algun altre sistema de supressió a base d'aigua serien els més eficients per a la protecció de les cel·les o bateries d'ions de liti emmagatzemades o disposades en vehicles elèctrics, tenint en compte la presència d'alta tensió en aquestes. No obstant això, diverses fonts, inclosa l'Administració Federal d'Aviació (FAA) i la Marina dels Estats Units, recomanen l'ús d'aigua com a agent de refredament i extinció (Mikolajczak, Kahn, White, & Long, 2011).

L'Associació Nacional de Protecció contra Incendis (NFPA) revisa recurrentment la norma NFPA 88A 2019. Aquesta norma té el propòsit de proporcionar estàndards mínims de protecció contra incendis per a les instal·lacions d'estacionament de vehicles. Un dels canvis que s'està estudiant per a la NFPA és precisament augmentar la quantitat d'aigua que es necessita per a una instal·lació automàtica d'extinció mitjançant ruixadors en un aparcament, cosa que podria fer-se extensiva (almenys com a referència) a qualsevol espai tancat en què hi haja un risc potencial d'incendi d'aquesta mena de bateries disposades en vehicles elèctrics o emmagatzemades. De la mateixa manera, la norma NFPA 13, per a la instal·lació de sistemes de ruixadors, actualment tampoc proporciona

## Mire aquests vídeos...

Televisión Canaria (4 d'agost de 2022). *Los riesgos que conlleva apagar el fuego de un vehículo eléctrico* [Vídeo]. Youtube. https://youtu.be/z78JKlQyE4E?si=SZHug1tEkNxEdlh

VIXX (30 d'abril de 2022). *An Electric Bus Caught Fire After Battery Explosion in Paris* [Vídeo]. Youtube. https://youtu.be/5r-yN8SugWM?si=8RaNpoLwbk6uY5nL

Feuerwehr der Stadt Landeck (17 d'octubre de 2917). *Brand eines Elektrofahrzeuges nach Unfall*. [Vídeo]. Facebook. https://fb.watch/nrO4Hlq0A2/

recomanacions específiques per a la classificació de productes (o estratègies de protecció contra incendis) per a cel·les d'ions de liti o bateries completes que contenen aquestes cel·les.

En el cas que l'incendi no es produïra en la bateria, sinó en altres parts del vehicle o del local en què es troba aquest, els sistemes d'extinció (automàtica o manual) convencionals disposats segons la normativa industrial d'aplicació podrien servir per a extingir aquests incendis i evitar que afectaren les bateries que hi haja (i impedir fuites tèrmiques potencials per exposició a la calor de l'incendi). Es tracta en aquest cas de la disposició d'extintors portàtils, boques d'incendi equipades i fins i tot sistemes de detecció i extinció automàtics (per exemple, mitjançant ruixadors), segons siga el cas i el que dispose la reglamentació vigent.



Amb tots els condicionants exposats en els paràgrafs anteriors, es poden proposar i recomanar algunes mesures de protecció que enumerem a continuació.

## *Mesures de protecció passiva*

- Disposició de llocs específics per al treball amb vehicles elèctrics, preferentment en places individuals. Aquests espais haurien de tindre la capacitat de no propagar l'incendi (per resistència tèrmica estructural, sectorització, ignifugació d'elements estructurals i separadors o per l'allunyament de materials combustibles i inflamables i altres vehicles). En aquests llocs han de garantir-se temperatures per sota dels límits indicats pels fabricants, per a evitar fuites tèrmiques potencials en les cel·les de les bateries. A més, ha d'estudiar-se la ubicació d'aquests llocs perquè no hi haja interferències amb vies i eixides d'evacuació de les persones treballadores a l'hora d'aplicar els protocols d'evacuació recollits en les mesures d'emergència o d'autoprotecció del centre de treball.
- La mateixa consideració caldria fer quan, encara que siga temporalment, hagen d'emmagatzemar-se bateries d'ió liti de gran capacitat, és a dir, han de disposar-se llocs específics condicionats per a aquesta mena d'emmagatzematge, si pot ser amb separació física entre bateries o ben separades per una distància convenient perquè l'incendi en una d'aquestes no afecte la resta de bateries pròximes. Han de tindre's molt en compte les recomanacions que sobre l'emmagatzematge facen els fabricants.

## *Mesures de protecció activa*



- El desenvolupament d'una fallada elèctrica en una o diverses cel·les d'una bateria comporta —abans, durant i després de la fuita tèrmica—, l'emissió de gasos i fums (per descomposició dels elements que la componen). Aquesta circumstància ha de ser aprofitada per a dur a terme una detecció precoç que permeta actuar als serveis d'emergència i extinció de manera més ràpida i eficaç. Una primera forma de detecció precoç la poden proporcionar els sistemes electrònics de gestió de bateries (BMS) que incorporen els vehicles.

  No obstant això, es recomana la disposició d'un sistema adequat de detecció i alarma que detecte l'incendi en l'etapa més primerenca possible perquè puguen donar-se els senyals i les indicacions necessaris. El sistema ha d'incorporar un equip de control i indicació (ECI) que reba els senyals dels detectors involucrats (si és el cas, també polsadors manuals d'alarma), i que indique la localització exacta del perill i qualsevol condició d'alarma d'incendi mitjançant senyals acústics i visuals. Aquests sistemes han de complir els requisits previstos en la reglamentació industrial vigent i, molt concretament, el que es preveu en l'apartat 1 de la secció 1*a* de l'annex I del Reial decret 513/2017, pel qual s'aprova el reglament d'instal·lacions de protecció contra incendis.

  Una opció adequada, sense descartar altres possibilitats, podria ser la utilització de detectors de fum puntuals i multisensors. Es tracta d'un dels sistemes més utilitzats. Cada vegada són més comuns els detectors multisensorials que combinen la detecció òptica de fum i la detecció de calor. En algunes variants, també detecten alguns gasos com el monòxid de carboni (CO). La interconnexió intel·ligent d'aquests senyals ofereix una detecció més fiable. No obstant això, a l'hora de triar el sistema més adequat han d'estudiar-se també els condicionants propis del lloc de treball i les característiques d'aquests.

- En cas de produir-se un conat d'incendi que puga afectar les bateries d'ió liti d'alta capacitat dels vehicles elèctrics situats en el lloc, poden utilitzar-se els mitjans d'extinció disposats en el centre de treball (reglamentaris) per a sufocar aquest conat, en la manera i amb els equips de protecció individual que es tinga previst utilitzar en el document de mesures d'emergència o d'autoprotecció. Una vegada sufocat el conat d'incendi, una mesura preventiva recomanable seria comprovar mitjançant una

cambra termogràfica que no hi ha hagut calfament de la bateria o les bateries exposades. Un calfament d'aquestes, encara que siga puntual, podria ser el germen d'una fuita tèrmica.

En cas de no poder sufocar-se el conat amb els mitjans d'extinció presents, ha de seguir-se el protocol previst en el document de mesures d'emergència o autoprotecció, cosa que comporta evacuar immediatament tot el personal i avisar els serveis externs d'extinció per a informar amb precisió de la situació.

- Quan l'origen de l'incendi és una fuita tèrmica en una bateria, **l'extinció d'aquest es dificulta moltíssim**, per la qual cosa no es recomana la intervenció de cap persona treballadora. En aquest cas, s'hauria d'avisar els serveis d'extinció externs perquè procedisquen a la seua extinció i contenció, perquè només aquests disposen dels mitjans humans i tècnics adequats (referents a la capacitat d'aportació d'aigua abundant per mitjà d'autobombes) i equips de protecció personal (roba de protecció i equips de respiració autònoma) que permeten una extinció segura.

Fotografía 5. Cámara termográfica. HT Instruments.

L'extinció d'un incendi en una bateria no acaba amb la sufocació de les flames; mentre queden zones calentes hi haurà la possibilitat de desenvolupament de fuites tèrmiques que tornarien a reactivar l'incendi. És per això que els serveis d'emergència han de procedir a la refrigeració posterior fins i tot durant moltes hores.

- Resulta imperatiu en aquests llocs gestionar el control dels gasos tòxics i fum generats en l'incendi. Així, han de preveure's sistemes adequats a cada cas per al control de fums i calor. Aquests sistemes poden extraure els gasos calents generats a l'inici d'un incendi i crear àrees lliures de fum per sota de capes de fum flotant, cosa que afavoreix les condicions d'evacuació i facilita les labors d'extinció dels equips d'emergència. Amb l'ajuda d'empreses especialitzades es projectarà i adoptarà el sistema més adequat al cas particular, dins de les possibilitats que ofereix l'apartat 13

de la secció 1a de l'annex I del Reial decret 513/2017, pel qual s'aprova el reglament d'instal·lacions de protecció contra incendis. En qualsevol cas, l'objectiu és evitar l'exposició de les persones treballadores presents en el centre de treball a aquests fums i gasos tòxics, afavorir l'evacuació segura d'aquestes, així com permetre als equips d'emergència el control i extinció de manera segura.



# Protecció davant del risc químic

## Origen del risc químic

En aquest apartat només es tractarà el risc químic des del punt de vista de la seguretat, per exposició aguda i contacte puntual amb les substàncies químiques presents en les cel·les o que es puguen generar i escapar amb motiu de fallades, incendis o explosions. En qualsevol cas, correspondria a la modalitat preventiva adoptada per l'empresa valorar una exposició potencial des del punt de vista higiènic.

L'exposició potencial al risc químic de les persones treballadores en tallers de reparació de vehicles híbrids o elèctrics o per manipulació de bateries de tracció d'ió liti dependrà tant de la química de la bateria com de la situació concreta de les tasques requerides en cada cas. Així, en l'avaluació preceptiva d'aquest risc haurà de distingir-se entre les situacions en què no és previsible l'exposició a aquest risc (per exemple, en tasques de reparació de parts mecàniques del vehicle en les quals no s'intervé sobre la bateria i aquesta està aparentment en bon estat) i altres en què sí que pot ser previsible aquesta exposició (com per exemple en la reparació de vehicles accidentats amb bateries defectuoses o en tasques de retirada de bateries per fi de la seua vida útil).

Una química típica en aquesta mena de bateries es conformaria per càtodes de diòxid de liti cobalt (entre altres possibles òxids metàl·lics), ànodes de grafit, electròlit constituït per un dissolvent (carbonats orgànics) com el carbonat d'etilé o el carbonat de dietil, i una sal conductora com l'hexafluorofosfat de liti ($LiPF_6$), al qual s'afig també un additiu per a millorar el rendiment, i un separador porós d'elèctrodes normalment de polietilé, polipropilé o una mescla d'aquests.

L'exposició pot ocórrer per fuites i esguitades de l'electròlit en la manipulació de la bateria quan aquesta està danyada o ha perdut la seua estanquitat. Si l'electròlit reacciona amb la humitat o l'aigua pot formar fluorur d'hidrogen o àcid fluorhídric (HF). Aquesta substància és altament corrosiva a causa dels protons ($H^+$) i altament tòxica a causa dels ions fluorur ($F^-$).

D'altra banda, si per qualsevol fallada com les que s'ha indicat la temperatura en alguna part de la bateria supera el límit establit pel fabricant (60-70 ºC) l'electròlit pot començar a evaporar-se, augmentar la pressió en les cel·les i arribar a provocar una fallada mecànica en l'interior de la bateria. La calor generada en aquesta situació augmenta encara més la velocitat de les reaccions exotèrmiques produïdes, cosa que provoca més augment de la temperatura i desencadena una fuita tèrmica amb efecte dòmino. En aquesta situació poden generar-se fuites d'electròlit (líquides i gasoses), incendis i explosions successives.

En l'emissió de gasos i fums prèvia a la fuita tèrmica s'allibera fluorur d'hidrogen o àcid fluorhídric (que pot formar-se amb la humitat ambient o a conseqüència del posterior incendi) i altres compostos de descomposició (de la resta de components de la cel·la).

Una vegada iniciat l'incendi, també es generen diversos productes de combustió com són monòxid i diòxid de carboni (CO i $CO_2$), fluorur d'hidrogen o àcid fluorhídric (HF), clorur d'hidrogen o àcid clorhídric (HCl), formaldehid, fluorur de fosforil ($POF_3$, precursor de l'HF), benzé, estiré…, en funció de la química de la bateria. En qualsevol cas, es tracta de compostos químics extremadament perillosos com veurem a continuació.

Les **característiques de perillositat per a la salut** d'algunes de les substàncies que podrien estar presents, sense ànim d'exhaustivitat, són:

- Hexafluorofosfat de liti ($LiPF_6$):
    - Toxicitat aguda (oral) de categoria 3 (H301).
    - Corrosió o irritació cutània de categoria 1 (H314).
    - Lesions oculars greus o irritació ocular de categoria 1 (H318).
    - Toxicitat específica en determinats òrgans (per exposicions repetides) de categoria 1 (H372).

- Fluorur d'hidrogen o àcid fluorhídric (HF)
    - Toxicitat aguda per inhalació de categoria 2 (H330).
    - Toxicitat aguda cutània de categoria 1 (H310).
    - Toxicitat aguda oral de categoria 2 (H300).
    - Corrosió o irritació cutània de categoria 1a (H314).

- Carbonat de dietil ($C_6H_{10}O_3$):
    - Líquid inflamable de categoria 3 (H226).

- Classificació del carbonat d'etilé ($C_3H_4O_3$):
    - Toxicitat aguda oral de categoria 4 (H302).
    - Lesions oculars greus o irritació ocular de categoria 2 (H319).
    - Toxicitat específica en determinats òrgans (exposicions repetides) de categoria 2 (H373).

- Benzé:
    - Líquid inflamable de categoria 2 (H225).
    - Corrosió o irritació cutànies de categoria 2 (H315).

- Lesions oculars greus o irritació ocular de categoria 2 (H319).
- Mutagenicitat en cèl·lules germinals de categoria 1B (H340).
- Carcinogenicitat de categoria 1A (H350).
- Toxicitat específica en determinats òrgans (exposicions repetides) de categoria 1 (H372).
- Perill per aspiració de categoria 1 (H304).

- Monòxid de carboni (CO):
  - Gas inflamable de categoria 1 (H220).
  - Toxicitat aguda per inhalació de categoria 3 (H331).
  - Toxicitat per a la reproducció categories 1A i 1B (H360D, pot danyar al fetus).
  - Toxicitat específica en determinats òrgans (exposicions repetides) de categoria 1 (H372).

El que s'ha exposat mostra, a tall d'exemple i sense ànim d'exhaustivitat, la perillositat d'algunes de les substàncies a què podrien veure's exposades les persones treballadores. No obstant això, com ja s'ha indicat, en funció de la química de la bateria també podrien veure's exposades a substàncies amb característiques perilloses per a la salut, així com a la mescla d'aquestes (amb possibles efectes sinèrgics i additius).

La gestió del risc químic ha d'estar presidida, com no pot ser d'una altra manera, pel compliment de les obligacions que imposa el Reial decret 374/2001, de 6 d'abril, sobre la

protecció de la salut i la seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb els agents químics durant el treball.

Com davant de qualsevol risc al qual puguen estar exposades les persones treballadores, ha de procedir-se prèviament a l'avaluació preceptiva de riscos del lloc de treball concret i de les persones que l'ocupen. Aquesta tasca ha de ser duta a terme pel servei de prevenció de l'empresa (modalitat preventiva adoptada). Les mesures preventives i de protecció que es planifiquen per a evitar o reduir i controlar el risc han de ser conseqüència de l'avaluació anterior i hauran de tindre en compte, entre altres, la informació que sobre aquest tema faciliten les empreses fabricants.



L'avaluació del risc no pot tindre caràcter genèric, més aviat al contrari, ha d'adaptar-se tant a les circumstàncies concretes del lloc de treball (tipus de tasca, vehicle, entorn, etc.) en els diferents escenaris d'exposició potencial, com a les persones treballadores.

Les mesures que han d'adoptar-se per a combatre aquest risc d'origen químic seran tant preventives com de protecció. Moltes de les mesures preventives i de protecció recomanades per als riscos tractats anteriorment podrien ser igualment adequades i aplicables per al risc químic, com ara la utilització de bateries d'ió liti amb electròlit en estat sòlid, evitar l'exposició dels vehicles elèctrics i les seues bateries a focus de calor externa o a ambients amb temperatures elevades, reservar espais específics i adequats per a la ubicació i el treball en aquests vehicles, etc., així com qualsevol mesura que tinga com a objectiu evitar l'inici de fuites tèrmiques o causar dany mecànic a les bateries. No obstant això, amb caràcter més específic, a continuació es proposen una sèrie de mesures preventives i de protecció davant del risc químic.

## Prevenció del risc químic

Algunes de les mesures preventives que han d'adoptar-se són:

- Com un dels escenaris d'exposició al risc químic esdevé de l'exposició a la gran quantitat de fums i gasos de combustió que es generen en l'incendi provocat per les bateries en cas de fuita tèrmica, les mesures preventives que s'han d'adoptar en aquest cas són les mateixes que les que s'han indicat quan es va tractar el risc d'incendi per a evitar les fuites tèrmiques. A aquestes ens remetem.

- En el cas d'incendi en una bateria d'ió liti d'un vehicle, l'actuació sobre aquest hauria de deixar-se en mans dels serveis d'emergència externs. Aquests serveis tenen la capacitat i els mitjans (humans i tècnics) adequats per a extingir i contindre l'incendi de manera eficaç i segura. En aquest cas, ha de procedir-se a l'evacuació immediata de les persones presents en el centre de treball a un lloc segur i prou allunyat per a evitar que s'exposen als fums i els gasos de combustió generats, i avisar els serveis d'emergències i extinció exteriors.
- En qualsevol cas, el document de mesures d'emergències (previstes en l'article 20 de la LPRL) o, si és el cas, el pla d'autoprotecció, ha de preveure en els protocols d'actuació i implantació aquest escenari concret d'incendi.
- Una mesura preventiva recomanada és la comprovació visual de l'estat de la bateria per a veure si pot presentar defectes importants o una falta d'estanquitat que propiciara la fuita potencial d'electròlit tant en forma líquida com en forma de vapor. En aquests casos, es recomana seguir escrupolosament les recomanacions i instruccions de les empreses fabricants sobre com actuar en aquest tema.
- Una altra bona recomanació és la utilització de cambres termogràfiques per a controlar i detectar possibles punts calents en les bateries. També en aquest cas es recomana seguir escrupolosament les recomanacions i instruccions de les empreses fabricants sobre aquest tema, en cas que es detectara aquesta circumstància. Com ja s'ha indicat, aquest calfament local pot generar l'evaporació de l'electròlit i la seua fuita a l'exterior per venteig o fins i tot en forma d'explosió.
- Altres mesures preventives, a què es refereixen els articles 18 i 19 de la LPRL, són la formació i informació preventiva, en concret sobre el risc químic, que s'ha de proveir a les persones treballadores en els termes previstos en aquests articles. La formació i informació ha d'incloure, a més, els protocols d'actuació, instruccions o procediments de treball que s'establisquen; la informació que aporten les empreses fabricants dels vehicles o bateries; si és el cas, el mode d'utilització, neteja, emmagatzemament i manteniment dels equips de protecció individual, així com les actuacions en cas de situacions d'emergència. La formació i informació ha de capacitar les persones treballadores per a combatre eficaçment l'exposició al risc químic en cada potencial escenari.

## Protecció davant del risc químic

En principi podríem descartar per a les persones treballadores i presents en el centre de treball l'escenari d'exposició a causa dels fums i gasos de combustió generats per l'incendi d'una bateria d'ió liti, escenari que ja s'ha tractat en l'apartat anterior i que hauria de ser competència dels serveis d'emergència i extinció exteriors. Com ja s'ha deixat clar, es recomana que les persones treballadores i presents en el centre de treball no actuen en tasques d'extinció d'incendis d'aquesta mena de bateries i siguen evacuades de manera immediata. No obstant això, si fora previsible durant l'evacuació una potencial exposició d'aquestes persones als fums i gasos de combustió, es faria necessària la utilització dels equips de protecció individuals corresponents.

El servei de prevenció o modalitat preventiva adoptada per l'empresa ha d'identificar altres escenaris en què les persones treballadores puguen estar exposades a l'electròlit de la bateria o, si és el cas, als gasos de descomposició dels materials que componen les cel·les en situacions prèvies a les fuites tèrmiques. Haurà d'identificar-se en quines situacions pot potencialment donar-se aquesta exposició (per exemple, en la manipulació de bateries defectuoses o que han perdut l'estanquitat) i establir, per a cadascuna, les mesures de protecció adequades, entre les quals es destaquen:

- La utilització d'equips de protecció individual, entre els quals es trobarien, amb avaluació prèvia del risc, els següents:
    - **Guants de protecció química**. Destinats a ser utilitzats per la persona usuària, proporcionen una barrera protectora davant de les substàncies químiques potencialment perilloses per a la salut presents en l'electròlit de la bateria. En cas que l'avaluació de riscos del lloc pose de manifest la necessitat de la seua utilització, han de triar-se els més adequats, d'acord amb les previsions de la norma UNE-EN ISO 374-1:2016/A1 2018, els requisits generals de la norma UNE-EN ISO 21420:2020 i les indicacions de l'empresa subministradora.

      Una característica important dels guants de protecció és la permeació, procés fisicoquímic mitjançant el qual el producte químic es mou a través del material del guant a escala molecular. Implica l'absorció en la part externa del material, la difusió a través d'aquest i la desorció en fase vapor de la superfície interna. Una vegada arriba a aquest punt, el producte químic podria ja entrar en contacte amb la pell. El temps després del qual es detecta l'inici d'un procés de

permeació, mesurat en minuts, és el que caracteritzarà la resistència d'un material davant d'un determinat producte químic i es denomina *temps de pas normalitzat*, traducció del terme emprat en anglés *Normalized Breakthrough Time* (NBT), i que és el moment en què la taxa de permeació aconsegueix la taxa de permeació normalitzada, 1 µg/cm² per minut. El temps de pas normalitzat es determina sobre la base d'un assaig descrit en la norma EN 16523-1, segons la qual se li assigna al material una classificació per a un producte químic determinat. Els nivells van de l'1 fins al 6, en ordre creixent de resistència, com es recull en la taula següent:

| NBT (min) | Nivell de rendiment de permeació |
|---|---|
| **> 10** | 1 |
| **> 30** | 2 |
| **> 60** | 3 |
| **> 120** | 4 |
| **> 240** | 5 |
| **> 480** | 6 |

Segons el rendiment de permeació, els guants de protecció química es classifiquen en tres tipus, A, B o C:

- Els **guants tipus A** tindran almenys un rendiment de permeació de nivell 2 respecte a un mínim de sis substàncies d'assaig de les enumerades en la taula següent.
- Els **guants tipus B** tindran almenys un rendiment de permeació de nivell 2 respecte a un mínim de tres substàncies d'assaig de les enumerades en la taula següent.
- Els **guants tipus C** tindran un rendiment de permeació d'almenys nivell 1 respecte a un mínim d'una substància problemàtica de les enumerades en la taula següent.

| Codi | Producte químic |
|---|---|
| **A** | Metanol |
| **B** | Acetona |
| **C** | Acetonitril |
| **D** | Diclorometà |
| **E** | Sulfur de carboni |
| **F** | Tolué |
| **G** | Dietilamina |
| **H** | Tetrahidrofurà |
| **I** | Acetat d'etil |
| **J** | n-Heptà |
| **K** | Hidròxid sòdic 40 % |
| **L** | Àcid sulfúric 96 % |
| **M** | Àcid nítric 65 % |
| **N** | Àcid acètic 99 % |
| **O** | Hidròxid amònic 25 % |
| **P** | Peròxid d'hidrogen 30 % |
| **S** | Àcid hidrofluorhídric 40 % |
| **T** | Formaldehid 37 % |

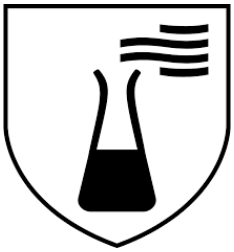
Serà el resultat de l'avaluació preceptiva del risc el que determinarà quina classe de guants s'han d'utilitzar en cada cas concret. En aquesta decisió, l'empresa ha d'assessorar-se per mitjà del servei de prevenció propi i de l'empresa subministradora de l'equip.

En relació amb el marcatge, com que segons el Reglament (UE) 2016/425 els guants de protecció química són considerats com a categoria III, aquests hauran de portar el marcatge CE seguit dels quatre dígits que identifiquen l'organisme notificat que haja participat en el procediment de producció d'aquests, d'acord amb el reglament esmentat.

CE **YYYY**

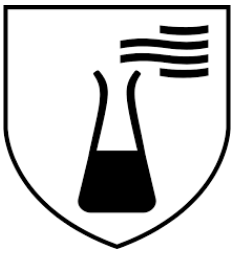
També apareixerà el marcatge normatiu segons el tipus de guants:

ISO 374-1 / Tipus A



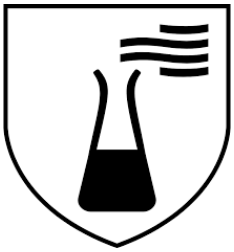
QWERTY

ISO 374-1 / Tipus B



UIO

ISO 374-1 / Tipus C



A més, ha de col·locar-se el pictograma "consultar el fullet informatiu".

El fabricant ha de subministrar el fullet informatiu acompanyat a cada parell de guants amb el contingut mínim exigit per la norma UNE-EN ISO 21420:2020, que comprén, entre altres, la informació sobre el fabricant, les talles disponibles, els pictogrames de risc, la referència a les normes aplicables, les condicions d'ús i manteniment, etc.

A més, la norma de requisits específics UNE-EN ISO 374-1:2016/A1:2018 requereix que se subministre informació particular sobre les substàncies químiques assajades i els nivells de prestació obtinguts en els assajos de permeació. El fullet ha de contindre, a més, una sèrie d'advertiments per a alertar l'usuari sobre qüestions que cal considerar en l'ús dels guants, com ara les diferències entre les condicions en què es realitzen els assajos i les del lloc de treball pel que fa al tipus de contacte amb els productes; les verificacions que s'han de realitzar abans d'usar un guant químic; els aspectes de l'ús que poden afectar les característiques inicials del guant, etc.

Finalment, cal aclarir que no s'ha de confondre el temps de pas amb el temps d'ús. El temps de pas és una mesura de la resistència a la permeació en condicions de contacte directe i continu, condicions molt estrictes, que poden diferir bastant de les condicions d'ús. No hi ha una mesura objectiva del temps total d'ús o el nombre de vegades que pot usar-se un guant. Ha d'estimar-se i establir-se en funció del tipus de tasca i de les característiques del guant mentre no apareguen signes de deterioració. Si això ocorreguera, han de rebutjar-se immediatament.

- **Pantalles de protecció facial**. Per a la protecció contra potencials esguitades facials de l'electròlit present en les cel·les de la bateria. La pantalla facial ha de complir els requisits de la norma UNE-EN 166:2002, tant pel que fa a l'ocular com a la muntura. La norma anterior preveu el marcatge de l'ocular i de la muntura per separat, excepte en el cas en què la pantalla facial forma una unitat indissociable; en aquest cas hi haurà un únic marcatge sobre la muntura. En el marcatge (o marcatges), a més de la identificació del fabricant i el número de la norma, es recullen els diferents símbols dels camps d'ús, entre els quals ha d'aparéixer (en el marcatge de la muntura), almenys el símbol *3* sobre esguitades líquides. No obstant això, si coexistiren el risc per curtcircuit extern en borns de la bateria i el risc químic, en el camp d'ús de la pantalla hauria d'aparéixer també (en el marcatge de l'ocular) el símbol *8* de solidesa en l'arc elèctric de curtcircuit.
- **Roba de protecció química**. Per a la protecció davant del contacte potencial amb la pell de productes químics perillosos per a la salut. La roba de protecció química ha de complir els requisits generals de la norma UNE-EN ISO 13688:2013+A1:2021. Per al cas que ens ocupa, en principi podria optar-se per un vestit tipus 3 (Institut National de

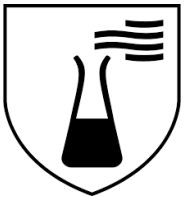
Recherche et de Sécurité (França), 2021) contra líquids en forma de doll o tipus PB (3) de protecció parcial de parts del cos, si bé serà el resultat de l'avaluació de riscos el que determine, si és el cas, el tipus d'equip que s'ha d'utilitzar. Aquesta mena de vestits han de complir la norma UNE-EN 14605:2005+A1:2009. Els exemples de vestits de tipus 3 poden ser: granotes d'una peça o vestits de dues peces, amb caputxa o sense, amb mitjos o sobrebotes o sense, amb guants o sense. Alguns exemples de protecció parcial tipus PB (3) són: bates de laboratori, jaquetes, pantalons, davantals, maneguins, caputxes (sense subministrament d'aire), etc.

Com sempre, en l'elecció de la roba de protecció més adequada ha de tindre's en compte el resultat de l'avaluació de riscos específica, així com l'assessorament del servei de prevenció (modalitat preventiva adoptada per l'empresa) i de l'empresa subministradora de l'equip.

El marcatge del vestit de protecció química ha d'incloure el marcatge reglamentari (Reglament (UE) 2016/425), que consisteix en la marca CE seguida de quatre dígits que identifiquen l'organisme de notificació que ha participat en el procés de producció de l'EPI (ja que es tracta d'un equip de protecció individual de categoria III) i el marcatge específic recollit en la norma UNE-EN ISO 13688:2013+A1:2021 (general) i la norma UNE-EN 14605:2005+A1:2009 (específica). Així, la roba de protecció química haurà d'incorporar de manera clara, visible i duradora, almenys la informació següent:

- El nom, la marca comercial o altres formes d'identificació del fabricant.
- El tipus de roba de protecció, tipus 3 o tipus PB (3).
- La norma EN 14605:2005+A1:2009.
- L'any de fabricació, i el mes de fabricació si el temps màxim previst d'emmagatzematge de la roba és de menys de 24 mesos. Aquesta informació es pot marcar sobre cadascuna de les unitats d'embalatge comercial en comptes de marcar-se sobre cada unitat de roba.
- El número del tipus, de la identificació o del model donat pel fabricant.
- L'interval de les talles.
- El pictograma de protecció contra productes químics.
- Per a roba reutilitzable, pictogrames de conservació. Per a roba d'ús limitat, una frase d'advertiment: "no reutilitzar".

UNE-EN 14605:2005+A1:2009



Tipus de vestit (núm.)



- **Protecció respiratòria**. El servei de prevenció de l'empresa ha d'identificar en l'avaluació de riscos els escenaris en què es pot donar una exposició laboral potencial per la via inhalatòria a les substàncies perilloses que puguen trobar-se en l'ambient de treball. Per a aquests escenaris d'exposició potencial, per exemple en situacions previsibles en què es puga estar incubant una fuita tèrmica futura per defectes o deterioracions en la bateria (amb emissió de gasos de descomposició) o en situacions en les quals, amb motiu de l'incendi generat en una bateria, es procedira a l'evacuació del personal i aquest poguera quedar exposat als fums i gasos de combustió (encara que s'ha de procurar evitar aquesta situació amb la tria adequada de les vies i eixides d'evacuació), s'ha de dotar les persones treballadores exposades de l'equip de protecció respiratòria corresponent.

  L'equip de protecció respiratòria es compon d'un adaptador facial amb un filtre o diversos. En general, l'adaptador facial consistirà en una màscara o en una mitja màscara. Resulta important recordar que moltes de les substàncies a les quals la persona treballadora podria estar exposada, tal com s'ha indicat anteriorment, poden causar lesions oculars greus o irritació ocular; és per això que, en cas d'utilitzar-se una mitja màscara com a adaptador facial, hauria de preveure's la utilització simultània d'ulleres de muntura integral de protecció ocular davant de gasos i vapors. No obstant això, en aquest cas ha de garantir-se la compatibilitat d'ús simultani entre la mitja màscara i el protector ocular.

  Els filtres poden oferir protecció davant de:

  - Partícules.
  - Gasos/vapors.
  - Partícules, gasos i vapors (filtres combinats).

  Els filtres de partícules es divideixen en les classes següents:

  - Classe 1: filtres d'eficàcia baixa.
  - Classe 2: filtres d'eficàcia mitjana.
  - Classe 3: filtres d'eficàcia alta.

  Per la seua banda, els filtres per a gasos i vapors es divideixen en les classes següents:

  - Classe 1: filtres de baixa capacitat.

- Classe 2: filtres de mitja capacitat.
- Classe 3: filtres d'alta capacitat.

El resultat de l'avaluació de riscos, juntament amb l'assessorament del servei de prevenció i la informació que puguen aportar les empreses subministradores serà determinant a l'hora de decidir quin és l'equip de protecció respiratòria més adequat en cada escenari o situació concreta. En la taula següent es recullen els diferents tipus de filtres existents, classes, colors distintius, usos i particularitats.



| Tipus | Classe | Color | Use/particularitats |
|---|---|---|---|
| **A** | 1,2 o 3 | Marró | Gasos i vapors orgànics de punt d'ebullició > 65 °C |
| **AX** | | Marró | Gasos i vapors orgànics de punt d'ebullició ≤ 65 °C. No reutilitzable |
| **B** | 1, 2 o 3 | Gris | Gasos i vapors inorgànics |
| **E** | 1, 2 o 3 | Groc | Diòxid de sofre i altres gasos àcids |
| **K** | 1, 2 o 3 | Verd | Amoníac i els seus derivats |
| **P** | 1, 2 o 3 | Blanc | Partícules |
| **SX** | | Violeta | Gasos específics. Ha de figurar el nom dels productes químics i les concentracions màximes davant de les quals el filtre ofereix protecció |
| **NO-P3** | | Blau<br>Blanc | Òxids de nitrogen. No reutilitzable |
| **Hg-P3** | | Roig<br>Blanc | Vapors de mercuri. Duració màxima 50 hores |

- Segons la norma UNE-EN 14387:2022, els filtres han de marcar-se amb la informació següent:
  - Nom, marca registrada o altres mitjans d'identificació del fabricant. Marca d'identificació del tipus.
  - El marcatge reglamentari (Reglament (UE) 2016/425) consistent en la marca CE seguida de quatre dígits que identifiquen l'organisme de notificació que ha participat en el procés de producció de l'EPI (ja que es tracta d'un equip de protecció individual de categoria III).
  - El número i la data de la norma.
  - Tipus, classe, codi de color i particularitats.
  - En els filtres de partícules *NR* o *R*, segons el seu ús es limite a un sol torn de treball o siga reutilitzable.
  - La frase "veure informació del fabricant".
  - Almenys, l'any d'expiració de la vida útil.
  - Condicions d'emmagatzematge.

En la bibliografia consultada (Institut national de recherche et de sécurité (França), 2021) es recomana la utilització de cartutxos filtrants de tipus ABEK (davant de gasos i vapors orgànics de punt d'ebullició > 65 °C, gasos i vapors inorgànics, diòxid de sofre i altres gasos àcids i amoníac i els seus derivats). No obstant això, hauria de valorar-se

en cada cas concret la necessitat de protecció davant de l'exposició de partícules potencials presents en els fums de combustió. En qualsevol cas, amb la base del resultat de l'avaluació preceptiva de riscos, ha d'establir-se la classe de protecció (1, 2 o 3) que s'ha d'exigir per a cadascun dels tipus anteriors.

A tall d'exemple il·lustratiu (no pot servir de referència), amb el cas que s'utilitzara una mitja màscara combinada segons la norma UNE-EN 405:2002 + A1:2010, el codi de designació dels tipus i classes podria adoptar com a exemple la forma següent: FFABE3K2P3 (protecció ABE de classe 3, K de classe 2 i davant de partícules de classe 3). La norma anterior recull tota la informació que ha de subministrar el fabricant i destaca, sense ànim d'exhaustivitat, el següent:

- Quin tipus de filtres han d'utilitzar-se amb quina classe de mitja màscara filtrant amb vàlvula.
- Aplicacions i limitacions d'ús.
- Comprovacions abans de l'ús.
- Col·locació i ajust.
- Utilització, neteja i desinfecció, si és aplicable.
- Manteniment.
- Emmagatzematge.
- Significat de símbols i pictogrames.

Ha d'avisar també sobre uns els problemes que potencialment puguen produir-se com, per exemple, l'ajust de la mitja màscara filtrant, especificar el mètode de comprovació abans del seu ús, i indicar que és poc probable que s'aconseguisquen els requisits de fuites si hi ha borrissol facial en la zona d'ajust.

És molt important l'ajust correcte de la màscara o mitja màscara a la cara de la persona usuària per a assegurar l'eficàcia de l'equip.

- Disposició de dutxes i rentaülls d'acord amb la sèrie de normes UNE-EN 15154 sobre dutxes de seguretat. Les dutxes i rentaülls han de disposar-se en zones pròximes als llocs de treball amb exposició potencial al risc químic (a menys de 10 metres d'aquests), han de ser fàcilment accessibles (no han d'obstaculitzar el seu accés) i s'ha de senyalitzar la ubicació. No obstant això, convé explorar la possibilitat i idoneïtat d'utilització de solucions de descontaminació específica que es troben en el mercat, molt especialment les que actuen i neutralitzen exposicions cutànies i oculars a l'àcid fluorhídric. En cas d'accident per exposició química han de preveure's en el document de mesures d'emergència les mesures concretes d'actuació en matèria de primers auxilis per a aquestes situacions.
- Els vessaments d'electròlits no han de passar a la xarxa de clavegueram perquè en aquest cas es produiria un abocament tòxic. Es recomana la disposició en el centre de treball de material inert a bastament (arena, vermiculita, etc.) per a l'absorció de vessaments i la gestió posterior d'aquests de manera segura segons la normativa de residus tòxics i perillosos vigent.

# Referències normatives i tècniques

## Referències normatives



Espanya. (1995). Llei 31/1995, de 8 de novembre, de prevenció de riscos laborals. *Boletín Oficial del Estado, 10.11.1995 (núm. 269)*. Recuperat el 27 de desembre de 2022, https://www.boe.es/eli/es/l/1995/11/08/31/con

Espanya. Ministeri de Ciència i Tecnologia. (2002). Reial decret 842/2002, de 2 d'agost, pel qual s'aprova el Reglament electrotècnic per a baixa tensió. *Boletín Oficial del Estado, 18.09.2002 (núm. 224)*. Recuperat el 9 de juny de 2023, https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/08/02/842/con

Espanya. Ministeri d'Economia, Indústria i Competitivitat. (s.f.). Reial decret 513/2017, de 22 de maig, pel qual s'aprova el Reglament d'instal·lacions de protecció contra incendis. *Boletín Oficial del Estado, 12.06.2017 (núm. 139)*. Recuperat el 9 de juny de 2023, https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/05/22/513/con

Espanya. Ministeri de la Presidència. (1997). Reial decret 1215/1997, de 18 de juliol, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut per a la utilització pels treballadors dels equips de treball. *Boletín Oficial del Estado, 07.08.1997 (núm. 188)*. Recuperat el 9 de juny de 2023, https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/07/18/1215/con

Espanya. Ministeri de la Presidència. (1997). Reial decret 773/1997, de 30 de maig, sobre disposicions mínimes de seguretat i salut relatives a la utilització pels treballadors d'equips de protecció individual. *Boletín Oficial del Estado, 12.06.1997 (núm. 140)*. Recuperat el 9 de juny de 2023, https://www.boe.es/eli/es/rd/1997/05/30/773/con

Espanya. Ministeri de la Presidència. (2001). Reial decret 374/2001, de 6 d'abril, sobre la protecció de la salut i seguretat dels treballadors contra els riscos relacionats amb els agents químics durant el treball. *Boletín Oficial del Estado, 01.05.2001 (núm. 104)*. Recuperat el 9 de juny de 2023, https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/04/06/374/con

Espanya. Ministeri de la Presidència. (2001). Reial decret 614/2001, de 8 de juny, sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat dels treballadors davant del risc elèctric. *Boletín Oficial del Estado, 21.06.2001 (núm. 148)*. Recuperat el 6 de juny de 2023, https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/06/08/614/con

Espanya. Ministeri per a la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic. (2022). *Piles i acumuladors: tipus de bateries per a vehicles elèctrics*. Recuperat el 21 de setembre de 2023, de Ministeri per a la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-

ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/pilas-y-acumuladores/baterias-vehiculos-electricos-2022.html

Unió Europea. (2008). Reglament (CE) núm. 1272/2008, del Parlament Europeu i del Consell, de 16 de desembre de 2008, sobre classificació, etiquetatge i envasament de substàncies i mescles, pel qual es modifiquen i deroguen les Directives 67/548/CEE i 1999/45/CE... *Diari Oficial de la Unió Europea, 31.12.2008 (L 353)*. Recuperat el 8 de setembre de 2023, http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj

Unió Europea. (2016). Reglament (UE) 2016/425, del Parlament Europeu i del Consell, de 9 de març de 2016, relatiu als equips de protecció individual, pel qual es deroga la Directiva 89/686/CEE del Consell. *Diari Oficial de la Unió Europea, 31.03.2016(L 81)*. Recuperat el 8 de setembre de 2023, http://data.europa.eu/eli/reg/2016/425/oj



# Referències tècniques

Amarilla Álvarez, J. (2011). *Baterías recargables de litio para vehículos eléctricos.* Recuperat el 15 de juny 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. Recuperat el 8 de setembre de 2023, 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 juliol de 2020). Recuperat el 15 de juny 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 (Suïssa): Euralarm. Recuperat el 8 de setembre de 2023, https://www.euralarm.org/asset/a9ca06a9-da80-4b53-8f147535e8a94e17/

Fundación Endesa. (2023). *La eMobility y los coches eléctricos.* Recuperat el 21 de setembre de 2023, de Fundación Endesa: https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/emobility-coches-electricos

García, G. (25 d'octubre de 2019). Las baterías de iones de litio, premio Nobel de Química 2019. *Híbridos y Eléctricos*. Recuperat el 8 de setembre de 2023, https://www.hibridosyelectricos.com/coches/baterias-iones-litio-premio-nobel-quimica-2019_30714_102.html

Health and Safety Executive (el Regne Unit). (s.f.). *Electric and hybrid vehicles*. Recuperat el 9 de juny de 2023, de Health and Safety Executive: https://www.hse.gov.uk/mvr/topics/electric-hybrid.htm

Held, M., Tuchschmid, M., Zennegg, M., Figi, R., Schreiner, C., Mellert, L., . . . Nachef, 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. Recuperat el 12 de juny de 2023, http://hdl.handle.net/2072/211805

Institut national de recherche et de sécurité (França). (2021). *Garages automobiles et poids lourds: prévenir les risques électriques liés aux véhicules électriques et hybrides.* Recuperat el 12 de juny de 2023, d'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 (França). (2021). *Les batteries au lithium : connaître et prévenir les risques.* París: INRS. Recuperat el 9 de juny de 2023, 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*. Recuperat el 8 de setembre de 2023, 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). (juny de 2014). *Guantes aislantes de la electricidad.* Obtingut d'INSST - Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo: https://www.insst.es/documents/94886/354649/guantesaislantes-electricidad.pdf/21e01562-df26-46bb-b997-8b988111e442

Jaraba Clemente, J. (21 de novembre de 2019). Coches eléctricos e híbridos: Prevención de los nuevos riesgos laborales. *Prevenidos: el blog de la seguridad y salud en el trabajo.* Recuperat el 8 de setembre de 2023, de QuirónPrevención: https://www.quironprevencion.com/blogs/es/prevenidos/coches-electricos-hibridos-prevencion-nuevos-riesgos-labora

Knauf Industries. (16 d'agost de 2021). *Componentes EPP en la fabricación de baterías para coches eléctricos: aplicaciones y beneficios*. Recuperat el 8 de setembre 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). Recuperat el 21 de setembre de 2023, Energía y sociedad: https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/4-1-por-que-el-vehiculo-electrico/

Mikolajczak, C., Kahn, M., White, K., i Long, R. T. (2011). *Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment.* Quincy (Massachusetts): Fire Protection Research Foundation. Recuperat el 12 de juny de 2023, https://www.nfpa.org/-/media/files/news-and-research/fire-statistics-and-reports/hazardous-materials/rflithiumionbatterieshazard.ashx

Murias Andrade, D. (21 de febrer 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*. Recuperat el 8 de setembre de 2023, https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/apagar-fuego-coche-electrico-bomberos

Orús, A. (13 de setembre de 2023). El mercado de los coches eléctricos en el mundo: datos estadísticos. *Statista*. Recuperat el 21 de setembre de 2023, 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.* Recuperat el 21 de setembre 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. Recuperat el 9 de juny de 2023, http://resolver.tudelft.nl/uuid:eef3e542-c2f9-4e2a-ae21-eae8fff1732a

Texas. Division of Workers' Compensation. (juliol de 2020). *Hoja informativa de seguridad para las baterias de vehículos.* Recuperat el 8 de setembre de 2023, de Texas Department of Insurance: https://www.tdi.texas.gov/pubs/videoresourcessp/spfsvehiclebat.pdf

The Royal Swedish Academy of Sciences. (9 d'October de 2019). *The Nobel Prize in Chemistry 2019*. Recuperat el 25 de setembre de 2023, de The Nobel Prize: https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/press-release/

VdS Schadenverhütung. (2019). *Lithium Batteries.* Colònia: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV). Recuperat el 21 de setembre de 2023, 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 d'Educació, Universitats i Ocupació