



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Escuela de Ingenierías Industriales

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis crítico de los retos en la respuesta de emergencias en vehículos eléctricos de baterías

Critical analysis of the challenges in battery electric vehicle emergency response

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Autor: Juan Pedro García Godoy

Tutor: D. Luis Rodríguez-Passolas Cantal

Cotutor: Dr. Jorge Valera Barreras

MÁLAGA, junio de 2023



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

El continuo desarrollo de la tecnología a nivel global y la preocupación por las emisiones contaminantes y de efecto invernadero, ha derivado en la creación de nuevos modos de transporte, buscando siempre la forma de realizar esto de la manera más sostenible y eficiente.

Esta constante investigación ha derivado en la introducción desde hace años en el sector del automóvil de vehículos eléctricos de baterías, que emplean energía eléctrica almacenada en una batería para alimentarse, como alternativa al vehículo de combustión interna, que hace uso de combustibles fósiles.

Pese a presentar una solución de actualidad y de futuro, también han traído consigo la aparición de nuevos riesgos y retos que no se contemplaban hasta ahora con los modelos tradicionales de combustión interna, debido a la distinta composición interna de estos nuevos vehículos y sus particularidades, derivando en otras casuísticas de incendio.

Hoy en día, los vehículos eléctricos de baterías contienen una batería de tracción de iones de litio de grandes dimensiones que lleva aparejados unos riesgos eléctricos y de incendio muy particulares.

Los servicios de emergencia se enfrentan pues a una nueva situación y necesitan adaptar sus procedimientos de actuación para vehículos de combustión a esta nueva realidad. Lamentablemente, existe una falta de formación continua, además de una serie de factores que dificultan la gestión de estas situaciones.

En particular, no siempre es sencillo identificar la tipología del vehículo, y además su composición puede ser muy variable en cuanto a tipología, tamaño, y/o ubicación de las baterías de tracción y otros elementos auxiliares de importancia en los procedimientos.

Por otro lado, la dificultad de extinción obliga a uso de mayores volúmenes de agua, y aunque podría reducirse en caso de usarse aditivos, su uso no está aún extendido y su eficacia totalmente probada. También es evidente el riesgo de reignición, y la necesidad de supervisión y cautela en las horas o días posteriores al incidente, pero solamente hay establecidas unas medidas preventivas un tanto laxas, como la recomendación de almacenar el vehículo alejado de otros una determinada distancia para evitar una posible propagación del fuego.

Todos estos restos, y otros aspectos, se analizan en suficiente detalle en este proyecto y, más allá de las necesidades de formación y promoción de nuevos procedimientos de actuación en caso de emergencia, se proponen de forma sucinta una serie de soluciones de carácter tecnológico y normativo.



Se incluyen sugerencias tecnológicas como: 1) implantación de baterías con químicas más seguras y mejoras en sistemas de detección, compartimentación y extinción del fuego a bordo, 2) sistemas de identificación inalámbricos del tipo de vehículo, y 3) sistemas de información en tiempo real que diagnostiquen y/o pronostiquen el estado del vehículo desde el punto de vista de la seguridad.

También se proponen cambios normativos, orientados a: 1) estandarización de diseño y ubicación de elementos auxiliares importantes para los procedimientos de emergencias, p.ej. los interruptores de desconexión, o la batería auxiliar y su caja de conexiones, y 2) apoyo al I+D y obligación de equipar los vehículos con las tecnologías antes mencionadas.

PALABRAS CLAVE

VEHÍCULOS, ELÉCTRICOS, BATERÍAS, RIESGOS, EMERGENCIA, SEGURIDAD, INCENDIO.

ABSTRACT AND KEY WORDS

The continuous development of technology at a global level and the concern for pollutant and greenhouse emissions has led to the creation of new modes of transportation, always looking for ways to do this in the most sustainable and efficient way.

This constant research has led to the introduction for years in the automotive sector of battery electric vehicles, which use electrical energy stored in a battery to power themselves, as an alternative to the internal combustion vehicle, which uses fossil fuels.

Despite presenting a current and future solution, they have also brought with them the appearance of new risks and challenges that were not contemplated until now with traditional internal combustion models, due to the different internal composition of these new vehicles and their particularities, resulting in other cases of fire.

Today, battery electric vehicles contain a large lithium-ion traction battery, which entails particular electrical and fire hazards.

Emergency services are therefore faced with a new situation and need to adapt their procedures for combustion vehicles to this new reality. Unfortunately, there is a lack of continuous training and a number of factors that make it difficult to manage these situations.

In particular, it is not always easy to identify the type of vehicle, and its composition can be very variable in terms of type, size, and/or location of traction batteries and other auxiliary elements of importance in the procedures.

On the other hand, the difficulty of extinguishing forces the use of larger volumes of water, and although it could be reduced in the case of using additives, their use is not yet widespread and their effectiveness is not yet fully proven. The risk of reignition is also evident, and the need for supervision and caution in the hours or days following the incident, but only a few somewhat lax preventive measures have been established, such as the recommendation to store the vehicle at a certain distance from others to avoid the possible spread of the fire.

All these remains, and other aspects, are analyzed in sufficient detail in this project and, beyond the need for training and promotion of new procedures for action in the event of an emergency, a series of technological and regulatory solutions are succinctly proposed.



Technological suggestions include: 1) implementation of safer battery chemistries and improvements in on-board fire detection, compartmentalization and extinguishing systems, 2) wireless vehicle type identification systems, and 3) real-time information systems that diagnose and/or prognosticate vehicle status from a safety point of view.

Regulatory changes are also proposed, aimed at: 1) standardization of design and location of auxiliary elements important for emergency procedures, e.g. disconnect switches, or the auxiliary battery and its junction box, and 2) support for R&D and obligation to equip vehicles with the aforementioned technologies.

KEY WORDS

VEHICLES, ELECTRIC, BATTERIES, RISK, EMERGENCY, SAFETY, FIRE.



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Índice

1.	Introducción	13
1.1	Motivación	13
1.2	Antecedentes	14
1.3	Visión general del contenido.....	16
2.	Exposición del problema	17
2.1	Objetivo	17
2.2	Hipótesis.....	17
2.3	Metodología	18
3.	Descripción general de los BEV	19
3.1.	Descripción general ICEV vs BEV	19
3.2	Descripción de las baterías de un BEV y sistemas de baterías.....	21
3.1.2 a)	Tipos de baterías y celdas electroquímicas.....	23
3.1.2 b)	Fuga térmica en baterías de ión-litio	28
3.3	Aparición del fuego y mecanismos activos de protección	31
3.4	Procedimientos de emergencia	39
4.	Retos en respuesta a casos de emergencia	40
4.1.	Riesgos de BEV vs ICEV.....	40
4.1.1	Variación en la casuística de incendio.....	40
4.1.2	Riesgo Eléctrico	44
4.1.3	Riesgo de incendio, gases y emisiones.....	47
4.1.4.	Riesgo de reignición y dificultad de extinción.....	48
4.1.5	Riesgos en el transporte y almacenamiento del BEV accidentado	50
4. 2	Acceso a información sobre el BEV	52
4.2.1	Métodos existentes de prevención y detección	52
4.2.2	Información accesible acerca de la batería.....	58
4.2.3	Falta de información a tiempo real de la batería.....	60
4.3	Diversidad en los BEV	61
4.3.1	Tamaños de baterías diversos.....	61
4.3.2	Diseño externo e interno y dimensiones de los BEV.....	65
4.3.3	Localización de las baterías de tracción y auxiliares y acceso.....	68
4.3.4	Dificultad a la hora de identificar los BEV	72
5	Soluciones a los retos identificados	74



5.1	Riesgos particulares en los BEV	74
5.2	Soluciones en el acceso de información	75
5.3	Soluciones respecto a la heterogeneidad de BEV	77
6.	Discusión	80
7.	Conclusión y Líneas futuras de investigación.....	82
	Bibliografía	86

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Recorte de prensa de una entrevista a un bombero nacional.....	14
Ilustración 2. Recorte de prensa Diario Sur Sevilla	14
Ilustración 3. Recorte de noticia de incendio de BEVs en Hyderabad, India	15
Ilustración 4. Titular de revista exponiendo la dificultad en la extinción de estos fuegos	15
Ilustración 5. Titular de cadena televisiva acerca de nuevas prácticas destinadas a la extinción de los incendios.....	15
Ilustración 6. Cuestionario de la NTSB	16
Ilustración 7. Composición vehículo combustión interna	19
Ilustración 8. Sistema de tracción de la batería	21
Ilustración 9 Comparación de la Densidad Energética en las Células de las baterías.....	25
Ilustración 10. Comparación densidad energética por peso y tamaño	25
Ilustración 11. Parámetros baterías Ión-Litio	26
Ilustración 12. Máximos valores de densidad energética de las baterías de ión litio más usadas.	27
Ilustración 13. Cadena potencial de eventos térmicos desde el nivel celular hasta el sistema de baterías.....	28
Ilustración 14. Fases del escape térmico en una batería ión-litio.....	29
Ilustración 15. Test del Clavo	30
Ilustración 16. Abusos derivados en fuga térmica	31
Ilustración 17. Triángulo del fuego.....	32
Ilustración 18. Tetraedro del fuego.....	33
Ilustración 19. Rociador automático	34
Ilustración 20. Recorte de prensa del vandalismo en Francia	42
Ilustración 21. Causas del incendio de coches eléctricos.....	43
Ilustración 22. Capas de seguridad en las baterías	45
Ilustración 23. Paquete de batería de tracción y principio de suelo flotante.....	45
Ilustración 24. Doble fallo de aislamiento.....	46
Ilustración 25. Casos de estudio EV FireSafe.....	49
Ilustración 26. Titular artículo web acerca del hundimiento del barco	50
Ilustración 27. Almacén de baterías eléctricas Ión Litio en Teplica, Republica Checa	51
Ilustración 28. Representación entre el tamaño de las partículas de humo y polvo.....	56
Ilustración 29. Top 10 de coches eléctricos más vendidos en España durante el 2022	61
Ilustración 30. Dacia Spring 100% Eléctrico	62
Ilustración 31. Composición interna del Dacia Spring.....	62
Ilustración 32. Kia EV6 GT-Line.....	63
Ilustración 33. Distribución interna Kia EV6.....	63
Ilustración 34. Gráfico entre Kia EV6 y Dacia Spring Fuente: Elaboración Propia	64
Ilustración 35. Comparativa de las capacidades útiles entre los 10 modelos eléctricos más vendidos en España durante 2022 Fuente: Elaboración Propia	64
Ilustración 36. Dimensiones Smart Fortwo	65
Ilustración 37. Dimensiones Mini Cooper SE	66
Ilustración 38. Gráfica de las dimensiones entre ambos modelos Fuente: Elaboración Propia.	66



Ilustración 39. Composición Interna Smart Fortwo Fuente (27): Guía de emergencia Smart Fortwo	67
Ilustración 40. Composición interna Mini Cooper SE Fuente (28): Manual de Uso Mini Cooper SE	67
Ilustración 41. Composición interna Hyundai Ioniq 5 Fuente (29): Guía de emergencia Hyundai Ioniq	68
Ilustración 42. Localización del conector de alto voltaje Fuente (29): Guía de emergencia Hyundai Ioniq	69
Ilustración 43. Composición interna Hyundai Kona Fuente (30): Guía de emergencia Hyundai Kona.....	70
Ilustración 44. Ubicación del conector de alto voltaje.....	70
Ilustración 45. Tapa de servicio y conector de alto voltaje.....	71
Ilustración 46. Localización del conector de la batería de alto voltaje de los modelos estudiados Fuente: Elaboración Propia	71
Ilustración 47. Insignia Mercedes Clase A 250e	72
Ilustración 48. Nuevas señales de tráfico sobre puntos de recarga Fuente (31): Catálogo de señales de la DGT	73
Ilustración 49. ANCAP Rescue App.....	76
Ilustración 50. EuroRescue App	76
Ilustración 51. Estándar de calidad de la NCAP.....	78
Ilustración 52. Cableado de alto voltaje Opel Mokka	79
Ilustración 53. Figura resumen de la conclusión (1)	83
Ilustración 54. Figura reesumen de la conclusión (2)	84



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



1. Introducción

1.1 Motivación

Los vehículos eléctricos de baterías han entrado en el mercado automovilístico desde hace algunos años, lo que ha significado una serie de cambios dentro del sector, tanto a nivel tecnológico como económico y normativo.

En concreto, la presencia de sistemas de baterías electroquímicas a tensiones elevadas, entre 300 y 1000V, implica la aparición una serie de nuevos riesgos en comparación con los vehículos de combustión que deben ser manejados con cautela. Además, al ser un mercado todavía en fase de maduración, incorpora continuamente en los vehículos avances tecnológicos con el objeto de mejorar el rendimiento, aumentar la autonomía, reducir el consumo de los sistemas auxiliares, acortar los tiempos de recarga, bajar costes, etc. Esto se traduce en una gran variedad de diseños según el fabricante, modelo y año de fabricación del vehículo.

Esto se traduce en una serie de nuevos retos en el ámbito de la seguridad que afectan no sólo a los usuarios, pero también a los servicios de respuesta a emergencias. De hecho, existen numerosos ejemplos en los medios de comunicación al respecto de la incertidumbre existente a la hora de manejar situaciones de emergencia con vehículos eléctricos de baterías.

Existen evidencia de que la posibilidad de salvar la vida a alguien en caso de accidente de circulación está relacionada con los tiempos de intervención, y es cuestión de unos pocos minutos. Por tanto, cualquier mejora en las tareas de los servicios de emergencia que lleve implícito una reducción de sus tiempos de actuación en BEV puede potencialmente salvar vidas. De forma análoga, cualquier retraso tendría la consecuencia contraria, y es posible que esto suceda si no prestamos atención a los nuevos retos que presentan los BEV para los procedimientos de servicios de emergencia.

Este proyecto busca realizar un análisis crítico de los nuevos riesgos y dificultades que engloban los vehículos eléctricos de baterías en contraste con los vehículos de combustión, identificando líneas de trabajo para solucionar el problema en un futuro.

1.2 Antecedentes

A nivel nacional, los cuerpos de policía y bomberos ya han manifestado en diversas ocasiones la falta de conocimientos y formación requerida para hacer frente a estos nuevos desafíos que presentan los vehículos eléctricos (SoyMotor.Com, n.d.).

ENTREVISTA SOYMOTOR.COM

El bombero que alerta sobre los incendios de coches eléctricos: "No tenemos ni los conocimientos ni los materiales"

- "Lo único que podemos hacer es echar agua y eso implica una media de gasto de unos 10.000 litros"
- "Creo que deberían prohibir las estaciones de carga en lugares cerrados"

Ilustración 1. Recorte de prensa de una entrevista a un bombero nacional

Este tema no solo atañe a los servicios de emergencia nacional, sino que también hay una fuerte escasez de conocimientos a nivel de usuario, los propios dueños de los vehículos desconocen la forma de actuar ante los incendios de coches eléctricos y sus repercusiones, que afectan a las vidas de los ocupantes del vehículo como a aquellos elementos próximos al mismo durante la duración del fuego [2].

PROVINCIA

Arde un coche eléctrico en un garaje en Pilas

- El fuego ha calcinado por completo el vehículo y ha afectado a otros dos coches y una moto

Ilustración 2. Recorte de prensa Diario Sur Sevilla

A nivel internacional también encontramos ejemplos en los medios de comunicación como muestra la ilustración 3 [3], [4], [5].

Home > Auto > News > Three Cars Burnt Down As Electric Vehicle Catches Fire In A Parking Lot

Three cars burnt down as electric vehicle catches fire in a parking lot

By: HT Auto Desk | Updated on: 22 Jan 2023, 12:42 PM

Ilustración 3. Recorte de noticia de incendio de BEVs en Hyderabad, India

A su vez, en la literatura científica es un tema que se aborda con especial interés, y que aún no se considera solucionado. Por ejemplo, varios artículos que buscan soluciones a dicha problemática (Ilustraciones 4 y 5).

HOME

CHEMISTRY NEWS

What Makes Electric Vehicle Fires So Difficult To Extinguish?

TOPICS: American Chemical Society Battery Technology Energy Popular Transportation

Ilustración 4. Titular de revista exponiendo la dificultad en la extinción de estos fuegos



Oklahoma City Fire Department tries new technology to battle electric car fires

Ilustración 5. Titular de cadena televisiva acerca de nuevas prácticas destinadas a la extinción de los incendios

A estos datos se suma un estudio realizado por la NTSB, “*National Transportation Safety Board*”, donde se muestra como el 50% de los departamentos de bomberos no se encuentra preparados para combatir incendios de estos vehículos de baterías.

Este estudio analizó el método de actuación frente a este tipo de incendios en 32 departamentos diferentes en el 2018 mediante una serie de preguntas en un cuestionario (Ilustración 6) [6]:

Q1: What are the post-crash/fire protocols currently in place for hybrid electric/electric vehicles?

- Answered: 32
- Skipped: 0

vehicles?

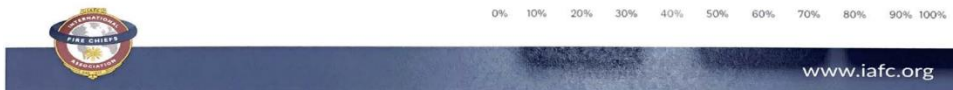
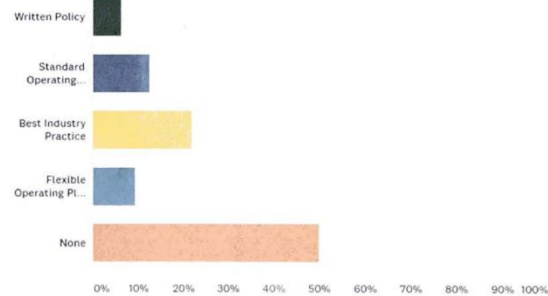


Ilustración 6. Cuestionario de la NTSB

En este cuestionario se puede observar como la mitad de estos departamentos seleccionó la opción de "Sin Protocolo". El 6,25% opera bajo políticas escritas, el 12,5% bajo "protocolo operativo organizado" y el resto se divide entre las mejores prácticas de acuerdo a la industria y planes de operaciones flexibles.

1.3 Visión general del contenido

Los contenidos de este proyecto se organizan de la siguiente manera:

Sección 1: Introducción. Expone la motivación para la realización del análisis crítico, la situación actual de la cuestión a abordar y se presentan algunos antecedentes exponiendo la necesidad de investigación al respecto.

Sección 2: Exposición del problema. Introduce el tema a abordar durante la realización de proyecto (objetivo), así como los pasos a seguir (metodología) y las suposiciones de base para iniciar una investigación (hipótesis).

Sección 3: Descripción general de los vehículos eléctricos de baterías en el contexto de la seguridad. Se compara la composición de los vehículos eléctricos de baterías y de combustión. Se describe en mayor detalle los sistemas de baterías, los tipos de celdas electroquímicas, y el fenómeno de fuga térmica. Se introduce la teoría del fuego a través el concepto del triángulo y el tetraedro del fuego, y se resumen los métodos de extinción. Se resumen algunos métodos estandarizados de ensayo de baterías.

Sección 4: Retos en respuesta en caso de emergencia. Enfoca los principales desafíos resultantes de la entrada en el mercado automovilístico de los vehículos eléctricos, sus particularidades a nivel de composición y seguridad y las carencias que presenta en materia de detección, actuación, distribución interna y seguridad.

Sección 5: Soluciones propuestas a los retos. Se presentan una serie de soluciones para cada uno de los retos identificados durante la realización del proyecto, mediante ejemplos y planteamiento de los problemas existentes. No pretende ser un compendio exhaustivo de soluciones, si no abordar las líneas principales de trabajo.

Sección 6: Discusión. Incluye un breve resumen de los problemas presentes y retos que se han encontrado y se ofrece una aportación resumida de las soluciones propuestas anteriormente.

Sección 7: Conclusión y futuras líneas de investigación. Resume los resultados y potenciales puntos de interés y desenlace derivados de la investigación de los nuevos riesgos en los casos de emergencia de vehículos eléctricos de baterías y aquellos campos que requieren de un estudio más amplio en un futuro.

Bibliografía. Recoge los documentos, artículos, webs y bases de datos de referencia durante la realización del proyecto.

2. Exposición del problema

2.1 Objetivo

El objeto principal del proyecto es la realización de un análisis crítico de cuáles son los riesgos principales surgidos de la introducción de los coches eléctricos de baterías (en adelante, BEV, del inglés *Battery Electric Vehicles*), cómo afectan estos a la operación e los servicios de emergencia, las diferencias que tienen estos desafíos frente a los conocidos de los vehículos de motores de combustión (en adelante, ICEV, del inglés *Internal Combustion Engine Vehicle*), el conocimiento actual que se tiene sobre el tema y cómo combatirlos. El hilo conductor del proyecto se descompone a continuación:

Análisis de las hipótesis actuales como base principal de la investigación.

- i. Comparativa entre los casos hipotéticos y la realidad estudiada durante la realización del proyecto.
- ii. Planteamiento de posibles soluciones para discernir nuevos modos de enfoque de la cuestión principal.
- iii. Establecer unas líneas de investigación de cara al futuro con aquellos términos y procedimientos que requieran de la misma, tanto a nivel formativo como a nivel de desarrollo.

2.2 Hipótesis

A priori identificamos los siguientes asuntos que pueden complicar la respuesta en caso de emergencia en los BEV:

1. Nuevos riesgos de los BEV vs ICEV.
 - a. Mayor riesgo de incendio en BEV
 - b. Riesgo eléctrico
 - c. Riesgo de incendio, gases y emisiones
 - d. Riesgo de ignición y dificultad de extinción

- e. Falta de procedimientos de emergencia
-
2. Falta de información sobre el BEV y las baterías
 - a. Tecnologías existentes de detección y prevención
 - b. Falta de información pública sobre las medidas de seguridad a nivel de pack
 - c. Falta de información a tiempo real del estado de la batería
 3. Diversidad de los modelos eléctricos
 - a. Tamaño de baterías diversos
 - b. Diseño externo e interno y dimensiones del BEV
 - c. Localización de las baterías de tracción y auxiliares y acceso
 - d. Dificultad a la hora de identificar los BEV

A lo largo del proyecto se analizará la veracidad de estas hipótesis, y en caso de confirmarse, se desarrollarán soluciones a los problemas que plantean.

Estas hipótesis están formadas en base a los conocimientos durante el comienzo de la realización del proyecto, así como aquellos datos de dominio público.

A continuación, se expondrán dichas hipótesis y se analizarán en caso de que sean incorrectas o si, por el contrario, son ciertas.

2.3 Metodología

La metodología a seguir durante la realización del proyecto consiste en el estudio actual de la situación presente en los BEV, la información presente y las medidas de acción y prevención existentes para, posteriormente mediante una serie de ejemplificaciones y comparativas exponer las principales cuestiones que requieren de una mayor investigación o bien de la proposición de una solución a un problema más específico.

Para ello se realizarán las siguientes fases:

- Búsqueda y criba de literatura enfocada en el tema en webs como Google Scholar o Scopus, identificando artículos de congreso y de revista, y páginas web de interés
- El estudio de la composición interna de los modelos eléctricos basado en información pública facilitada por los fabricantes: tipos de batería, desempeño y características de las mismas
- La comparación de los sistemas y tecnologías existentes destinados a la seguridad y prevención de los vehículos, basado en un cruce de información de la literatura científica y la información pública suministrada por los fabricantes

- Recopilación y análisis de la información facilitada en las guías de emergencia de los fabricantes para una serie de modelos de BEV estudiados, que se han seleccionado en base a rankings de ventas en España, Reino Unido y Estados Unidos
- Realización de propuesta de mejoras acorde a los vacíos y retos que se encuentran durante el análisis crítico, así como la definición de futuras líneas de investigación.

3. Descripción general de los BEV

Es necesario realizar un pequeño análisis de la composición tanto de los ICEVs como de los BEVs, para poder establecer finalmente una comparativa a nivel de riesgos derivados.

3.1. Descripción general ICEV vs BEV

Primeramente, se debe acudir a la composición interna de los ICEV (diésel o gasolina) para tener una visión clara de esta distribución, como se puede observar en la ilustración 6 [7].

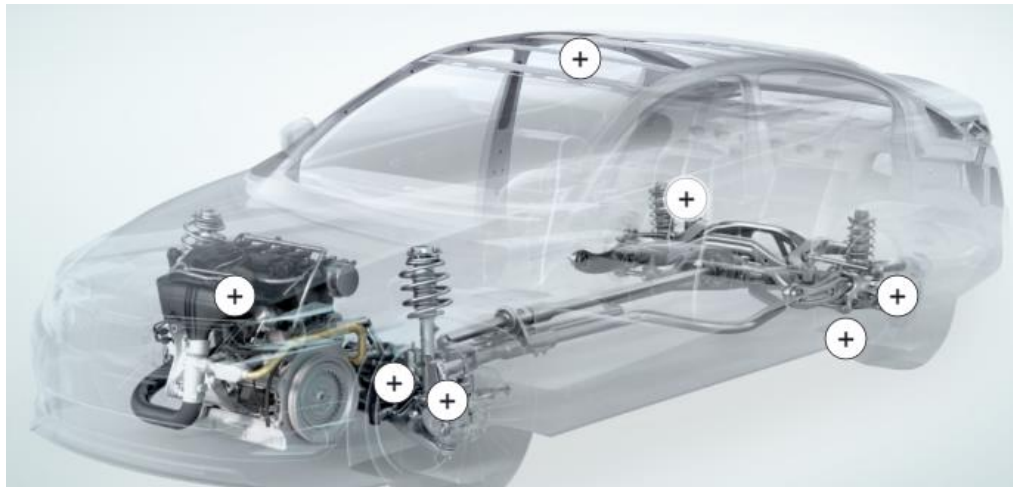


Ilustración 7. Composición vehículo combustión interna

Por su parte, en el frontal se encuentran, la unidad de potencia del motor o *powertrain*, la dirección y la unidad de conducción.

En la parte trasera del vehículo se pueden diferenciar, las ruedas, la suspensión y el sistema de frenado.

En comparación con los BEV como se verá a continuación, la composición de elementos eléctricos en la mayoría de los casos es escasa, salvo en aquellos más modernos que

cuentan con una batería auxiliar de 12V encargada de alimentar los componentes electrónicos del vehículo.

Los modelos eléctricos por su parte, presentan una distribución más compleja.

Atendiendo a esta composición interna de los BEV, se pueden distinguir los siguientes elementos [8]:

- Cargadores y puntos de recarga
- Motor
- Sistema regulador
- Inversor
- Reductor de velocidad
- Baterías: auxiliar y de alto voltaje

En la ilustración 7 se puede observar un sencillo esquema de la distribución de estos componentes más reseñables en un BEV:

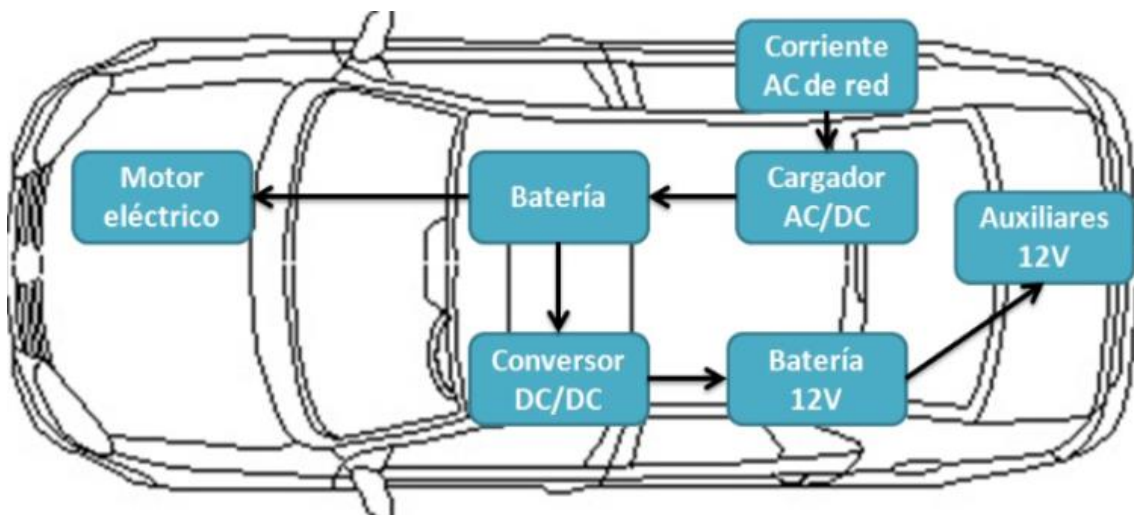


Ilustración 7. Componentes de un BEV

3.2 Descripción de las baterías de un BEV y sistemas de baterías

Es necesario realizar un estudio más profundo en la composición de los BEV, en concreto, en las baterías. El sistema de tracción de la batería consiste de diversas partes, como se puede observar en la ilustración que muestra las principales capas externas de este sistema (Ilustración 8) [9].

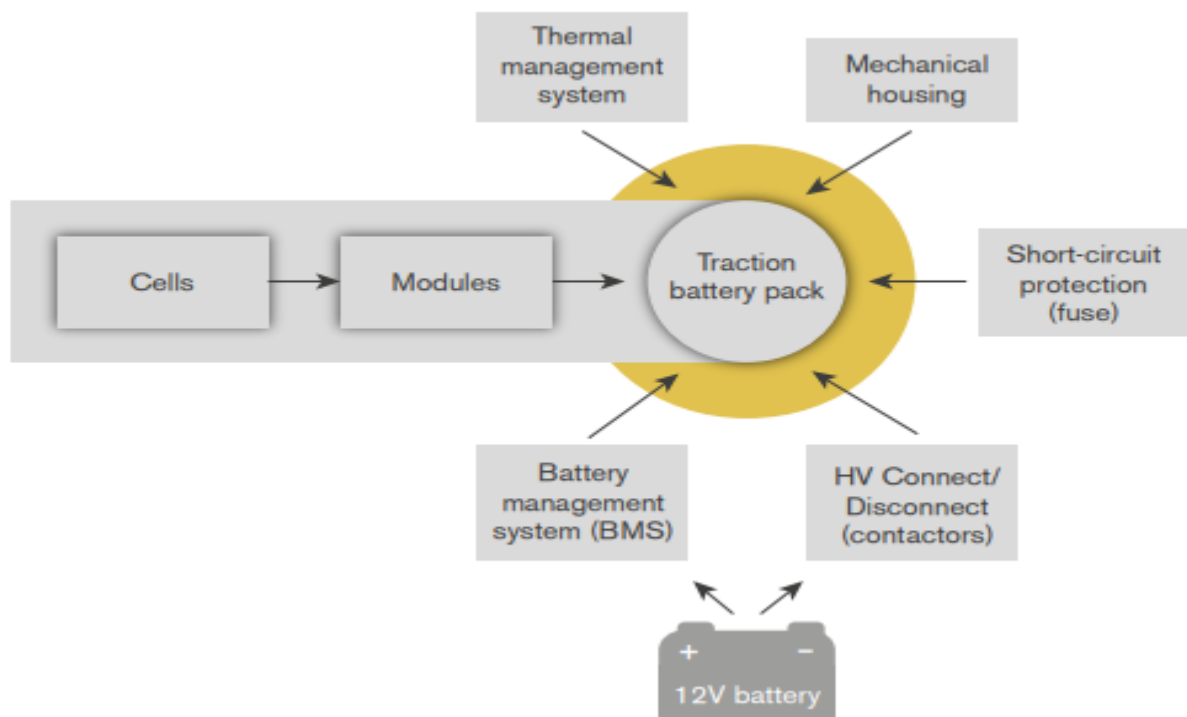


Ilustración 8. Sistema de tracción de la batería

La forma más común de construir un paquete de baterías es mediante celdas las cuales se conectan en serie para aumentar de este modo el voltaje. También se pueden disponer en paralelo, aumentado de esta manera la capacidad.

Por norma general, un paquete de batería cuenta con entre 100 y 400 celdas las cuales forman módulos y se mantienen a un voltaje de 60V.

En las baterías se da la existencia de dos tipos de células, principales y secundarias, con la diferencia entre estas de la reacción interna a nivel electroquímico. Esto es lo que define una célula principal o primaria, una celda con una reacción irreversible unidireccional, lo que no permite la recarga.

En cambio, en las células secundarias la reacción tiene lugar a nivel interno y en ambos sentidos lo que permite la carga y descarga. Dentro de los VE, estas son las células que conforman las baterías.

Los VE están formados por diversos tipos de baterías, tracción, auxiliares y complementarias. Las de tracción componen la pila principal.

Uno de los elementos principales, sino el más importante, es el Sistema de Gestión de Baterías o BMS, que se encargan del control de las células, módulos y paquetes. Este sistema cumple una serie de funciones prioritarias para la seguridad y el correcto funcionamiento de las baterías.

Se encargan de monitorizar parámetros importantes como la corriente, el voltaje o la temperatura a la que se encuentran las células garantizando el correcto funcionamiento y un nivel de seguridad apropiado para dicho funcionamiento. También permite un equilibrio en el nivel de carga de las células.

Lleva a su vez un control en el estado del aislamiento térmico del sistema, está en contacto con todas las partes del vehículo y transmite información al conductor.

Hay diversos tipos de batería según su composición, estas son generadas con finalidades concretas, este cambio principal del desarrollo de los tipos de baterías se da a nivel de la optimización de potencial y energético.

La batería cuenta con medidas de prevención en caso de cortocircuito, así como un sistema de gestión térmica que permite, en caso de amenaza, expulsar parte del calor generado en su interior, reduciendo el gradiente térmico y el riesgo de incendio.

Este paquete de batería suele estar alimentado por la batería auxiliar que se encarga de proveer la energía suficiente al BMS y a los contactos.

3.1.2 a) Tipos de baterías y celdas electroquímicas

Como se ha mencionado anteriormente, existen diversos tipos de baterías [8], [9], [10], aunque se tendrán en cuenta aquellas con una mayor relevancia y utilización en la actualidad ya que no se busca realizar un análisis exhaustivo en los diferentes tipos, sino aquellas características distintivas:

- Plomo-ácido (Pb-ácido): estas baterías son las más antiguas y se emplean en los sistemas auxiliares tanto en ICEV y BEV, con un voltaje típico de 12V.

Su ciclo de vida es limitado, con una horquilla de entre 500 y 800 ciclos con una densidad de baja (30-40 Wh/kg) y un requerimiento de mantenimiento periódico en caso de diseños no sellados. Respecto a su funcionamiento presenta una ventaja importante que es su alta reciclabilidad, un precio bajo y una respuesta buena a temperaturas bajas, aunque también presenta una serie de desventajas, como son su elevado peso, la toxicidad del propio plomo que conforma la batería y la lentitud en la capacidad de recarga

- Níquel-cadmio (NiCd): estas baterías fueron empleadas en vehículos híbridos, pero se han abandonado por el uso de metales pesados.

Sus ciclos de vida van de las 1.500 a las 2.000 cargas y descargas, con una densidad superior a las Pb-ácido (40-60 Wh/Kg). Son baterías muy fiables y emplean técnicas de reciclado total pero cuentan con un elevado coste, tienen efecto memoria, también son contaminantes y se degradan de manera prematura en climas áridos.

- Níquel-hidruro metálico (NiMh): este tipo de baterías han sido utilizadas por los fabricantes de híbridos, tiene un ciclo de vida limitado a unos 300 – 500 cargas y descargas, con una densidad de unos 30-80Wh/Kg y un extenso mantenimiento necesario.

Este tipo de baterías consiguen la reducción del efecto memoria de las mencionadas anteriormente además de suprimir el cadmio y su correspondiente toxicidad. Ahora bien, tienen menor fiabilidad, no aguanta descargas fuertes y tiene una menor resistencia frente a altas temperaturas y a las altas corrientes de descarga.

- Ión-litio (LiCoO_2): estas baterías logran una densidad energética dos veces mayor que las NiCd pese a ser tener un tamaño tres veces menor. Los ciclos van de 400 a 1200, la densidad es muy superior ($100\text{-}250\text{Wh/Kg}$) y no requieren mantenimiento.

Ofrecen una alta densidad energética, al tener un tamaño más reducido también se reduce el peso, tiene una alta eficiencia y no tiene efecto memoria, todo esto a coste de un elevado coste de producción, son baterías frágiles y precisan de un entramado de seguridad y almacenamiento adecuado debido a los peligros que pueden ocasionar, como comentaremos más adelante.

- Ión-litio con cátodo de LiFePO_4 : este tipo de baterías no emplean cobalto, lo que da una mayor seguridad y estabilidad por las cantidades de hierro presentes.

Su ciclo de vida gira entorno a las 2.000, con una densidad de entre 90 y 100 Wh/Kg y tampoco requiere un mantenimiento. A las ventajas mencionadas de la seguridad, potencia y estabilidad hay que asociarle unas desventajas marcadas como son la menor densidad energética y un mayor coste.

- Polímero de litio (LiPo): este tipo de batería son una variación de las de ión-litio recién mencionadas. Cuentan con una gran densidad energética, así como potencia a la vez que son eficientes, muy ligeras y eliminan el efecto memoria de las baterías

Algunas de las baterías existentes, aunque no forman un papel relevante en aquellas que se emplean pueden ser las baterías de zinc o las de sal fundida también conocidas como Zebra.

Actualmente los tipos de batería predominante son las de tipo ión-litio debido a su elevada densidad energética y a su y densidad gravimétrica en comparación con los demás tipos como se puede observar en las ilustraciones 9 y 10 [11], [12].

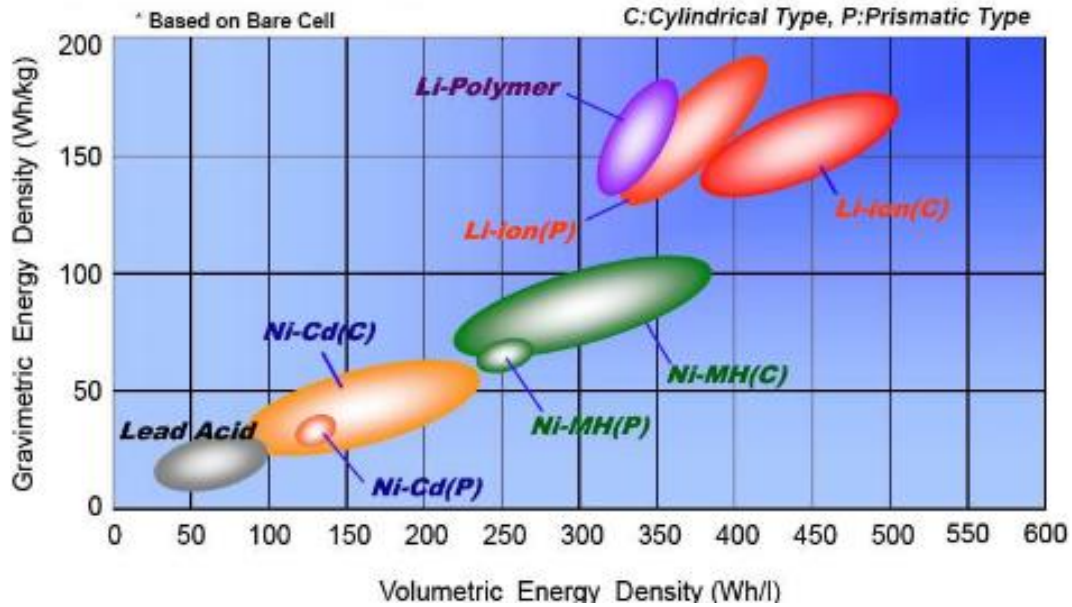


Ilustración 9 Comparación de la Densidad Energética en las Células de las baterías

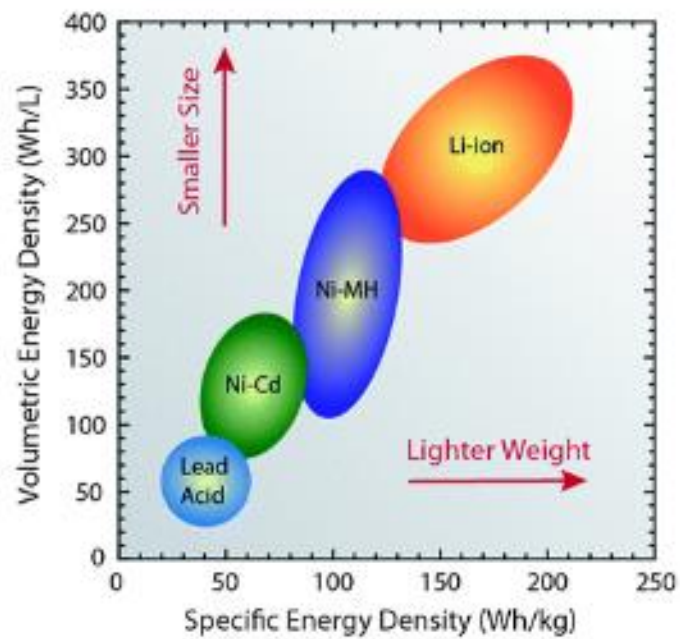


Ilustración 10. Comparación densidad energética por peso y tamaño

En estas ilustraciones se puede observar que en relación peso y tamaño, la batería ión-litio encabeza la lista con una mejor relación, son las más pequeñas y menos pesadas mientras que se mantienen como la que mayor densidad energética volumétrica tienen.

Estas comparaciones muestran como a nivel de producción y de eficiencia este tipo de batería son las más convenientes para la industria y fabricantes en calidad de rendimiento y prestaciones.

Los parámetros numéricos de este tipo de baterías vienen representados en la ilustración 11 [13].

Mass Energy Density	100-180 Wh/kg	Self-Discharge Rate	1-5% / month
Volume Energy Density	200-300 Wh/L	Cycle Durability	500-15000 cycles
Power Density	1000-5000 W/kg	Typical Cost	\$0.50-\$2.50/Wh
Charge/Discharge Efficiency	95-99%	Self-Discharge Rate	1-5% / month
Mass Energy Density	100-180 Wh/kg		

Ilustración 11. Parámetros baterías Ión-Litio

Las celdas de este tipo de batería constan de un ánodo, un electrolito, un separador y un cátodo. Estos ánodo y cátodo son componentes de litio intercalado siendo normalmente el primero basado en grafito o bien titanato de litio (LPO). Por su parte, el cátodo se compone principalmente de cobalto de litio, óxidos mixtos (manganeso, níquel, cobalto y aluminio) y fosfatos.

El electrolito consiste de solutos orgánicos, sal de litio y aditivos mientras que el separador se un polímero poroso donde dichos poros se rellenan con el electrolito, desempeñando la función principal de evitar el contacto directo entre el ánodo y el cátodo. En algunos casos el separador también cuenta con la función de cerrar el transporte de iones en caso de sobrecalentamiento.

La densidad energética tiene un papel fundamental a la hora de tener en cuenta el riesgo de posible incendio ya que, cuanto mayor sea esta, mayor peligro trae consigo. Es por esto que, dentro de los tipos de baterías y más concretamente, dentro de las baterías de tipo ión-litio se establece la comparativa de riesgo mostrada en la ilustración 12 [14].

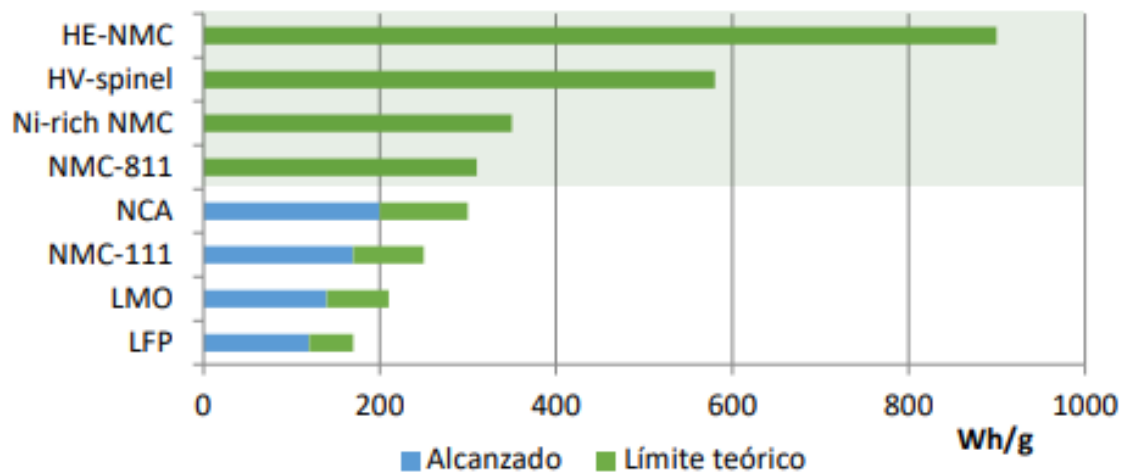


Ilustración 12. Máximos valores de densidad energética de las baterías de ión litio más usadas.

En este caso se observa como aquella que tiene un menor riesgo de incendio es la LFP y va ascendiendo gradualmente encontrando la HE-NMC como la que presenta un mayor riesgo, considerablemente mayor que las demás.

La densidad energética no es el único riesgo asociado a las baterías de ión-litio. Este tipo de baterías se ha considerado como una de las alternativas más seguras, pese a esto, se pueden originar varios riesgos y peligros resultantes de diversos tipos de reacciones, como pueden ser:

- Como consecuencia del bajo punto de fusión del litio (180°C), se puede formar litio fundido en caso de que se produzca un sobrecalentamiento. Esto ocurre con mayor asiduidad en aquellas baterías que sólo están compuestas por litio, ya que en este tipo concreto ión-litio, estos materiales se sustituyen por otros compuestos en menor medida de litio puro.
- Si aumenta la temperatura de la célula, sobre todo si se interrumpe la interfaz sólido-electrolito (SEI), pueden tener lugar una serie de reacciones exotérmicas desestabilizando la interfaz, lo que transmite una mayor graduación de calor desprendido.

La ventana de estabilidad de este tipo de baterías es relativamente pequeña, es por ello que se requiere un control y monitorización continuo del BMS para evitar estas consecuencias derivadas del sobrecalentamiento.

Estas reacciones exotérmicas aumentan la temperatura, generando más reacciones lo que produce un crecimiento exponencial del gradiente térmico en el interior de la batería, causando por ello un escape de gas más rápido, pérdidas de electrolitos, fuego y una posible explosión.

La cadena de eventos que puede desencadenar un evento térmico en el nivel celular viene representando en la ilustración 13 [18].

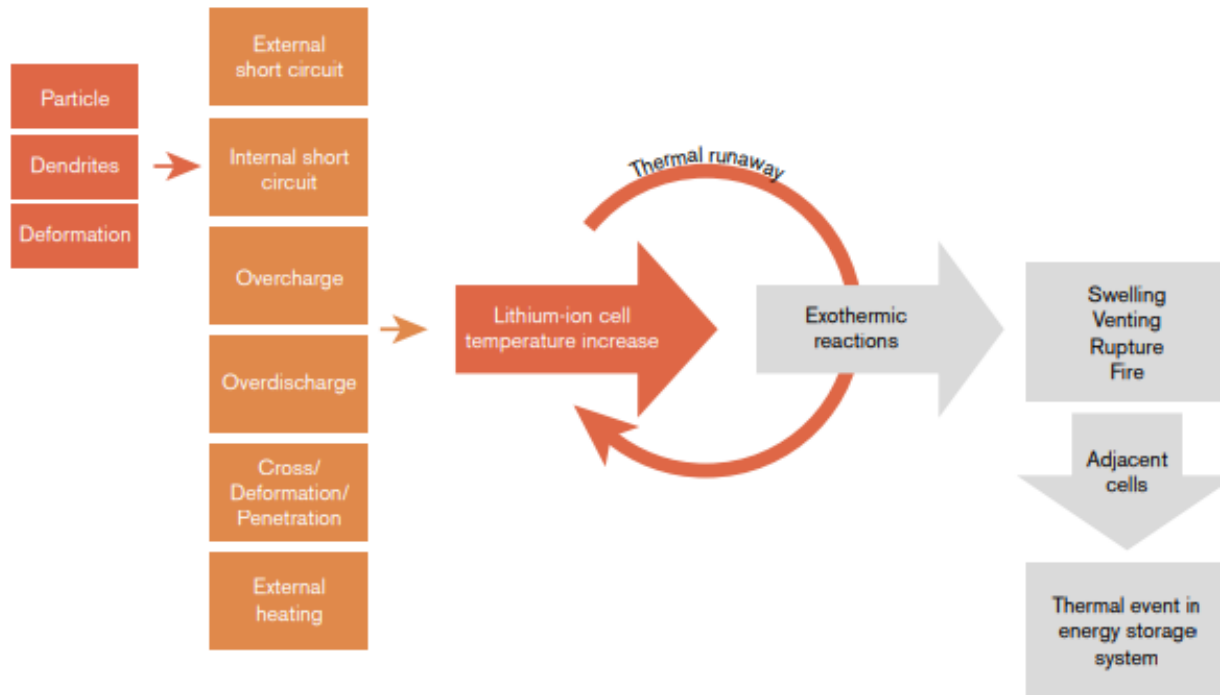


Ilustración 13. Cadena potencial de eventos térmicos desde el nivel celular hasta el sistema de baterías

El resultado de dichas reacciones difiere acorde al diseño celular y química del mismo mediante la composición del electrodo y electrolito. La combinación de estos materiales reactivos con componente inflamables en el interior de las celdas supone un gran riesgo de incendio, aunque para que esto ocurre se requiere que exista tanto un combustible como un oxidante en el interior de las mismas celdas.

Estas situaciones han llevado a la creación de materiales activos más estables como es el caso del LFP frente a las demás existentes como se ha mostrado en la ilustración 11.

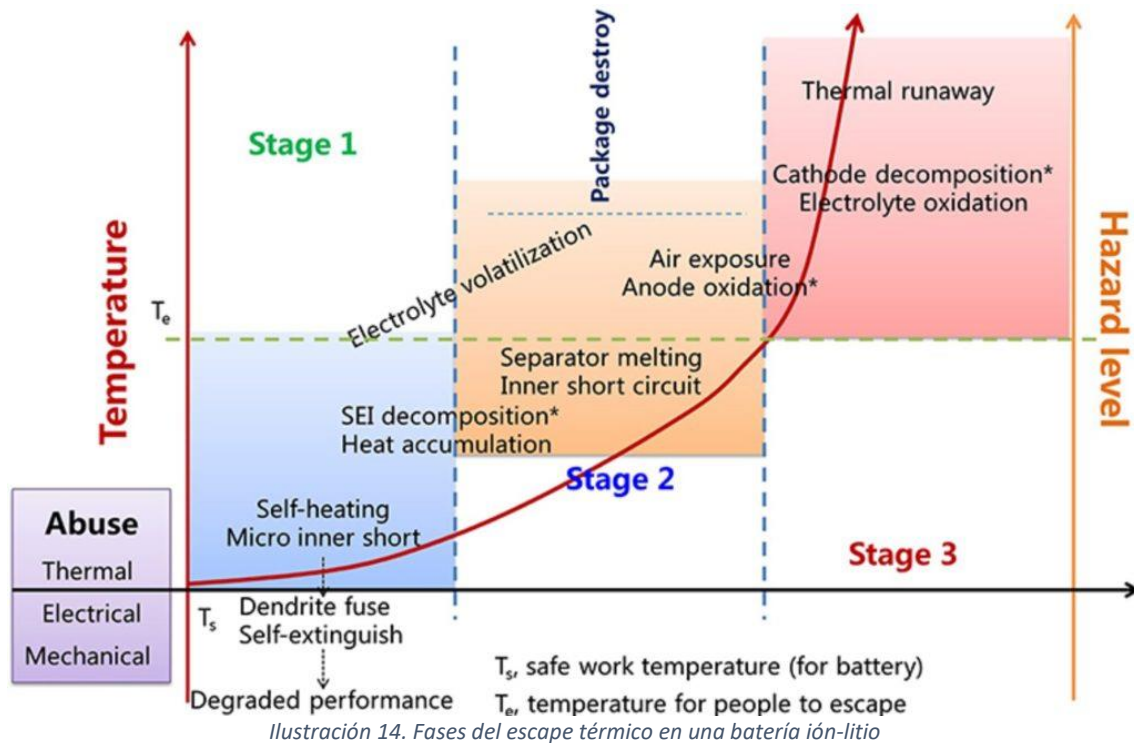
3.1.2 b) Fuga térmica en baterías de ión-litio

La consecuencia principal de los aumentos de temperatura en el interior de las celdas es la aparición de fugas térmicas.

Los resultados de estos escapes térmicos son la ignición y subida de temperatura de la batería lo que puede desencadenar reacciones que llevan al incendio completo del vehículo. Esta reacción a su vez puede describirse como un proceso compuesto por tres fases diferenciadas como se puede observar en la ilustración 14 [12], [13], [15], [16]:

- 1) A partir de los 90°C empiezan a aparecer reacciones anódicas, significando este rango el punto de partida de las posibles reacciones dañinas y peligrosas. En caso de que la temperatura ascienda por encima de los 120 °C, la capa de interfaz (SEI) se descompone, llevando consigo una disminución de los electrodos.
- 2) Seguidamente, cuando la temperatura supera los 140 °C, aparecen las reacciones exotérmicas, desarrollando y apareciendo una mayor cantidad de oxígeno.

3) En esta última fase, el electrodo positivo se descompone y los electrolitos se oxidan, por encima de los 180 °C, lo que supone un aumento exponencial de la temperatura a raíz de 100 °C/min.



Estas fugas térmicas pueden ser causadas por algún abuso que reciba el coche, ya sea mecánico, térmico o eléctrico [17].

Estos abusos son derivados de accidentes de tráfico o bien por fallos en el funcionamiento de los componentes del vehículo. Para tratar de controlar estos resultados, los fabricantes realizan una serie de pruebas a los vehículos con el objetivo de observar como afectan estos al correcto funcionamiento del BEV.

Algunos de los test más destacados son [18]:

- **Test horno (Oven Test):** este es uno de los más sencillos, consiste en exponer una batería con una cierta temperatura, a otro mayor. En caso de las baterías más comunes, se emplean temperaturas de entorno a los 150 °C.
- **Corto-circuitos:** en este caso se conecta una resistencia muy baja (menor de 5 micro ohmios) a los terminales de la batería, lo que produce un continuo flujo de

energía que va calentando dicha batería, mientras que también se disipa calor mediante el circuito externo.

- **Sobrecarga:** se fuerza una corriente máxima a través de la batería, generando calor como consecuencia de las reacciones electroquímicas y el propio flujo de la corriente en su interior.
Este test es el más severo ya que se está sumando una energía adicional a la propia batería.
- **Test Clavo (Nail):** consiste en la introducción de un clavo de unos 8 centímetros en la batería, generando calor por el flujo interno que corre por la batería y por el propio clavo.

Inicialmente este comienza en el exterior y se va introduciendo gradualmente en el interior, pudiendo observar de este modo los distintos cambios y deterioro a lo largo del proceso, como se puede observar en la ilustración 15.

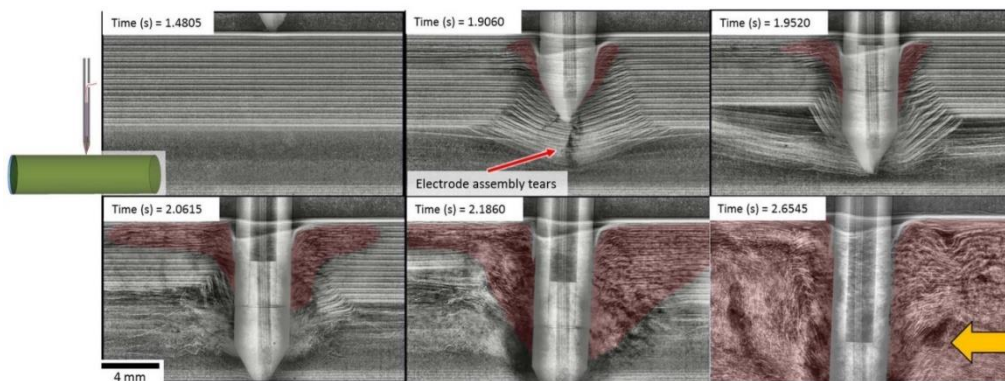


Ilustración 15. Test del Clavo

Pese a estas pruebas, hay que destacar que no son del todo concluyentes ni verídicas ya que las pruebas se realizan previa a la salida a venta de las baterías, es decir, que se realizan sobre unas baterías completamente nuevas y sin presencia de ningún tipo de degradación, lo que no atiende a la realidad presente en los coches.

Los resultados serían bastante diferentes si se sometiesen baterías con un mayor uso a estos test, consiguiendo unos datos más determinantes respecto al desempeño de los BEV frente a posibles abusos.

Esto permite concluir que, pese a que los BEV superen las pruebas, no se puede garantizar la ausencia total de riesgo.

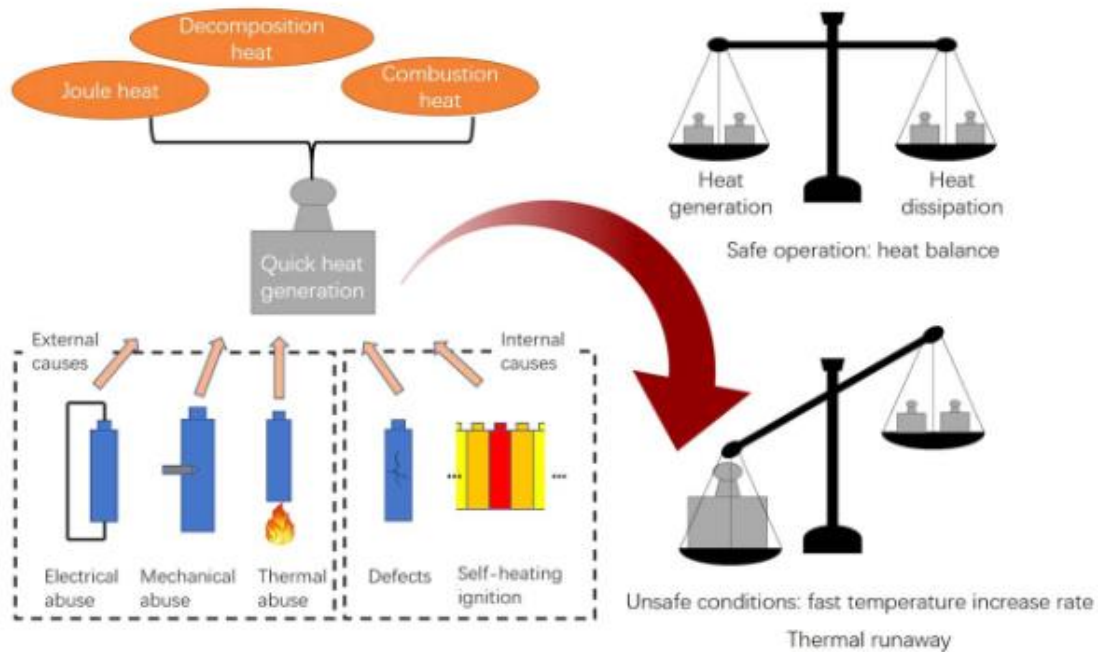


Ilustración 16. Abusos derivados en fuga térmica

En la ilustración 16 se aprecian algunos de los abusos que se pueden generar y como todos estos convergen en la aparición final de un aumento de temperatura y, consecuentemente, de una fuga térmica.

Una vez estudiada la fuga térmica y sus fases, se añade un nuevo riesgo derivado: cómo extinguir estos incendios.

3.3 Aparición del fuego y mecanismos activos de protección

Estos mecanismos se emplean en el caso de que ya se haya producido un fuego y el objetivo de los servicios de emergencia es lograr su extinción.

En primer lugar, se ha de producir un incendio, por lo que se atiende a los elementos necesarios para causar este evento: el triángulo del fuego [19].



Ilustración 17. Triángulo del fuego

En la ilustración 17 figuran los tres elementos necesarios para que se produzca un incendio.

El elemento principal es el combustible, independientemente del estado de la materia en el que se encuentre. Luego se encuentra el comburente, que en la mayoría de los casos es el oxígeno y, finalmente, el calor u energía de activación. Esta última puede ser, una chispa, una fuente de calor o algún tipo de corriente eléctrica.

Se han de dar los tres elementos para que se produzca el incendio, ahora bien, para que este fuego se mantenga en el tiempo se requiere de un cuarto elemento: la reacción en cadena.

Una vez este elemento se suma a la ecuación dan como resultado el tetraedro del fuego (ilustración 18). Esta reacción en cadena de la combustión desprende calor que se transmite al combustible, generando que este se realimente, continuando de dicha manera la combustión.

Eliminar cualquiera de los lados de estas figuras supondría la extinción del fuego, aunque, en función del tipo de incendio, esto cuenta con una mayor o menor complejidad.

En el caso de los BEV la dificultad se duplica ya que los componentes internos del vehículo favorecen continuamente a la reacción en cadena, complicando de gran manera la extinción de los mismos.



Ilustración 18. Tetraedro del fuego

Una vez conocido el método de aparición del fuego, se ha de acudir a los remedios conocidos para la extinción del mismo [20], [21]..

En los ICEV la resolución más común consiste en la aplicación de agua, los cuerpos de bomberos extinguen las llamas con agua y mantienen el flujo de la misma durante cierto periodo de tiempo para evitar la reignición.

Ahora bien, en los coches eléctricos este método no es tan efectivo ya que usada en pequeñas cantidades puede aumentar la gravedad al producir como consecuencia la aparición de riesgos eléctricos. En cambio, el uso de grandes cantidades de la misma puede llegar a ser efectiva, aunque la necesidad de agua es demasiado elevada, llegando a necesitarse cerca de 15.000 litros según estudios realizados por la NFPA [22].

Para reducir el consumo de agua se pueden emplear distintos agentes que mejoren las propiedades de la misma, como es el caso de del agente extintor F-500 que aumenta la tensión superficial, mejorando la adhesión del agua a las superficies y mejorando su capacidad de enfriamiento, y crea micelas como las espumas, facilitando el encapsulamiento de productos intermedios de la combustión. En bajas proporciones de mezcla se ha comprobado efectivo en reducir la cantidad de agua requerida [23].

Estas medidas entre agua y agentes extintores son las más empleadas en un entorno abierto, aunque también es importante tener en cuenta que gran parte de los incendios de BEV suceden o bien durante la carga del mismo o bien cuando se encuentran aparcados por lo que es indispensable disponer de medidas estructurales para paliar estos daños al entorno y lograr la extinción del fuego [24], [25], [26].

Destacan sobre todo los sistemas de extinción automática que se encargan de prevenir o extinguir posibles incendios incipientes para proteger el entorno en caso de fuego.

Los agentes principales como se verá a continuación son líquidos, bifásicos, sólidos como espumas, aerosoles y gases.

La distribución de cada sistema y la descarga apropiada del agente supresor con la presión suficiente son decisivos a la hora del correcto funcionamiento de dicho sistema.

También es importante una correcta instalación y un mantenimiento constante por personal formado y cualificado.

- Sistemas automáticos de agua: es el agente extintor más usual y se emplea en diferentes sistemas de rociadores como en agua pulverizada y nebulizada. La activación de estos sistemas es mediante la sensibilidad a la temperatura mientras que la activación de otros sistemas se requiere de detectores específicos. El objetivo principal de estos sistemas es la protección de los alrededores en caso de que se produzca el incendio mientras que, para la protección de equipos eléctricos, se han de considerar los posibles daños asociados al agua en dichos equipos.

- Sistemas de rociadores: es el sistema más empleado y se emplea en casi todos los campos a nivel industrial, en el campo, grandes empresas, garajes subterráneos, escuelas, hospitales, edificios de residencia, etc.

Estos están compuestos por boquillas especiales que se mantienen cerradas elementos frágiles que son sensibles al calor. En caso de que se llegue a este rango de temperatura que afectan a dichos materiales, estos se abren permitiendo una descarga de agua sobre el foco y los combustibles que alimentan el fuego. La ilustración 19 es un ejemplo de este tipo de sistemas.



Ilustración 19. Rociador automático

En función de la densidad de carga de fuego se emplearán una cantidad de agua y un número de rociadores determinados.

Estos se activan de manera individual automáticamente cuando la cabeza de dicho rociador llega a la temperatura de valor críticos.

Respecto a su efectividad tienen un gran efecto refrigerante y evita la propagación del fuego.

- Sistemas de Agua Pulverizada y de diluvio: son muy similares a los sistemas de rociadores con la diferencia de que estos sistemas no están compuestos por elementos sensibles al calor y para activar las válvulas se requiere un sistema de detección de incendios por separado.

Aplican el agua a través de diversos cabezales de pulverización, se ha desarrollado el sistema para zonas de carga de combustible alta, como zonas de almacenamiento donde se espera un crecimiento más acelerado de la carga de fuego. Estos sistemas emplean volúmenes de agua en las descargas muy elevados por lo que requieren una mayor capacidad de suministro de agua. Tiene una efectividad muy similar a los sistemas de rociadores.

- Sistemas de Agua Nebulizada: emplean pequeñas gotas de agua que se encargan de enfriar las llamas y sofocan los incendios con vapor mediante una rápida evaporación del agua. Estos sistemas buscan un espectro de gotas con diámetros del menor tamaño posible mediante la aplicación de tecnologías de baja o alta presión ya que, las gotas pequeñas permiten una evaporación más rápida y, por lo tanto, una refrigeración más rápida.

El objetivo de emplear la tecnología de este sistema es usar un menor volumen de agua y sólo deben utilizarse para la protección de las baterías ion litio cuando exista un protocolo de pruebas establecido.

- Sistemas de Extinción por Gas: estos sistemas emplean gases inertes o agentes extintores sintéticos que extinguen el fuego por desplazamiento de oxígeno en el primer caso y por absorción de calor en el segundo.

Se encargan de apagar el fuego en entornos sensibles donde no se desea emplear agua y otros agentes por miedo a producir más daños.

Estos agentes no son conductores eléctricos, volátiles y gaseosos cuando se emplean como extintores, son los más usados cuando se dan circunstancias como comentábamos de riesgo de generar más daño mediante el uso de agua, bien sea por bienes de valor como por posible riesgo eléctrico. La extinción del fuego es rápida por lo que permite salvar el equipo de los daños causados por fuego y humo y se requiere poca limpieza tras la extinción, aunque se requiere un volumen de recinto definido para la inundación total y se prefiere una zona bien sellada para compensar cualquier posible fuga.

o Sistemas de Gas Inerte: estos sistemas emplean gases inertes naturales como nitrógeno, argón, CO₂, etc. que extinguen el fuego mediante una reducción de las concentraciones de oxígeno en la zona, en función del riesgo de incendios de clase A, B o C.

Estos no dejan restos ni subproductos tras su exposición al fuego y tienen un potencial de calentamiento global nulo, así como un potencial de agotamiento de la capa de ozona nulo lo que los hace seguros en zonas ocupadas. Tienen una densidad similar a la del aire y son más insensibles a las fugas.

La tabla 1 presenta la efectividad de los sistemas de gas inerte

Potencial para frenar un posible desbordamiento térmico mediante la extinción del electrolito
Prevención de atmósferas explosivas en el recinto
Rápida distribución del agente dentro de la zona de riesgo
Capacidad para extinguir incendios en equipos eléctricos próximos
Capacidad de extinción de incendios mediante electrolitos

Permite unos tiempos de retención más largos con un correcto sellado de la caja

También permite tiempos de retención más largos en aquellos recintos que no son herméticos, por una descarga prolongada

Tabla 1. Efectividad de los gases inertes

- Sistemas de Halocarbonados: estos sistemas emplean una gama de agentes extintores sintéticos que extinguen el fuego mediante la absorción de calor, adecuados para los incendios de clase A, B y C y se pueden usar de forma segura en áreas ocupadas y tiene un potencial de agotamiento de ozono nulo mientras que el GWP entre 1 y 3.500.

Estos se almacenan como líquidos y emplean concentraciones de extinción bajas por lo que necesitan una capacidad de almacenamiento notoriamente menor.

La tabla 2 presenta su efectividad en diversos aspectos.

Capacidad de ralentización del desbordamiento térmico mediante extinción del electrolito
Capacidad de extinguir los incendios rápidamente
Previene la atmósfera explosiva en el recinto
Distribución rápida del agente dentro del área de riesgo
Permite extinguir incendios en equipos eléctricos cercanos
Permite extinguir incendios con electrolitos
Permite realizar descargas múltiples

Tabla 2. Efectividad de los sistemas halocarbonados

- Sistemas de CO₂: estos emplean dicha sustancia ya que, al tratarse de un gas incoloro, inodoro y que no conduce la electricidad, resulta muy eficaz como un agente para extinguir los incendios al desplazar el oxígeno favoreciendo la refrigeración. Este gas tiene una elevada tasa de expansión lo que permite su rápida actuación y no requiere limpieza tras el uso de dichos sistemas, aunque se almacena de forma líquida. Estos sistemas también suponen un riesgo mortal para las personas en las zonas de exposición con inferiores concentraciones a las necesarias para extinguir el incendio, por lo que no se deben utilizar en espacios ocupados.
- Sistemas basados en Agua y Espuma: estos sistemas usan aditivos dosificados en agua y suelen estar formuladas para cubrir y sofocar los incendios. Hay 3 tipos de espumas:
 - Clase B: estas se basan en productos químicos con o sin flúor y se dividen en tres clases en función del volumen de aire:
 - Sistemas de espuma de expansión baja (<20): incendios de hidrocarburos, aeropuertos, bancos, etc.
 - Sistemas de espuma de expansión media (>20 y <200): estos se destinan a proporcionar protección en interiores y exteriores, siempre y cuando se pueda aplicar cerca del peligro.
 - Sistemas de expansión alta (> 200): estos se emplean en grandes volúmenes, cámaras frigoríficas, sótanos, etc.
 - Clase A: estos se emplean únicamente en incendios derivados de materiales de tipo A, sobre todo en incendios forestales e incendios de residuos.
 - Agentes Humectantes / Dispersiones Acuosa: estos agentes reducen la tensión superficial del agua corriente, aumentando la capacidad de penetración y la propagación.

Estos son algunos de los mecanismos activos más empleados a la hora de contener y extinguir los incendios derivados de accidentes de BEV. Se dispone de una gran cantidad de opciones, aunque aún no se ha encontrado el método más óptimo respecto a recursos y repercusión frente a dichas emergencias.

3.4 Procedimientos de emergencia

Pese a la hipótesis inicial, cabe destacar la existencia de ciertos procedimientos de la NFPA orientados a accidentes en los que se encuentren involucrados BEVs [27], [28].

Estos procedimientos constan de tres pasos a seguir bien definidos:

1. Identificar el sistema de conducción y el tipo de vehículo.
2. Inmovilizar el mismo.
3. Inhabilitar la batería de alto voltaje y los sistemas de recarga estática (SRS).

En primer lugar, se ha de asegurar la sujeción del coche evitando posibles desplazamientos que generan motricidad en las ruedas y, por lo tanto, corriente eléctrica que sirva de combustible para seguir avivando la combustión.

Una vez asegurado el vehículo, es imprescindible que los servicios de emergencia establezcan una fuente de agua continua, o bien con un hidrante o con alguna otra fuente segura, así como traer consigo un motor adicional para el bombeo, por el alto tiempo requerido para la completa extinción, continuando el bombeo de agua en la batería pese a que no existan llamas, evitando de esta manera un posible sobrecalentamiento y, por ello, la reignición.

Mientras se mantiene el flujo de agua se ha de mantener un control de la temperatura de la batería mediante dispositivos electrónicos, así como asegurar que no haya ningún vehículo próximo en 15 metros, para disminuir el posible riesgo de traspaso de fuego y aumentar el número de incendios a extinguir

Destacan también la importancia de evitar que los bomberos se aproximen a los componentes de alto voltaje ya que sus equipos de protección individual (EPIs), no son buenos aislantes eléctricos.

Al mismo tiempo para lograr un procedimiento acorde, se ha de cambiar las botellas de SCBA que cargan los bomberos para asegurar con esto que no se queden sin agentes supresores durante la tarea de extinción.

Tras la extinción completa del fuego, evitar el contacto con el cableado de alto voltaje y, en caso de estar inmerso, aislar la batería de tracción del chasis. El último proceso es el transporte por lo que se requiere cargar el vehículo y sujetarlo en la grúa de tal modo que las ruedas no sufran fricción alimentado una posible reignición.

Por su parte la Asociación Internacional de jefes de bomberos o IAFC, cuenta con una hoja de ruta en caso de incendio de un BEV [29].

Al igual que la NFPA, este protocolo cuenta con unos pasos definidos y ordenados en función de la prioridad:

- Proteger la zona de trabajo con los protocolos departamentales y cerciorar que el vehículo se encuentra apagado.

- Emplear EPIs y bombonas de SCBA.
- Emplear técnicas más ofensivas o defensivas en función de la carga de fuego mediante el empleo de cámaras térmicas para controlar la temperatura.
- Asegurar una fuente de agua grande y continua, con varios hidrantes o más camiones de bombeo.
- En caso necesario, inmovilizar el vehículo con cepos para evitar una posible reignición con la tracción de las ruedas.
- Una vez eliminado el fuego, mantener el flujo de agua sobre la batería hasta que la cámara térmica muestra una disminución considerable de la temperatura interna disminuyendo el riesgo de reignición.
- Contar con un número elevado de operativos en caso de que se requiera continuar con la extinción durante largos periodos de tiempo.
- Tratar siempre las baterías como cargadas y evitar el contacto con estas en todo momento.

4. Retos en respuesta a casos de emergencia

4.1. Riesgos de BEV vs ICEV

4.1.1 Variación en la casuística de incendio

Para desencadenar un incendio existen diversos sucesos, los cuales pueden darse en ambos casos o ser específicos de alguno de estos modelos, o bien combustión o eléctricos. En la tabla 3 se establecen una comparativa de algunos de los desencadenantes más comunes de incendios [30]:

Eléctricos	Combustión	Ambos
Baterías Eléctricas	Pérdidas en el sistema de combustible	Cableado Eléctrico
Puntos de carga	Derrame de líquidos	Accidentes y colisiones

Sobrecalentamiento del motor	Vandalismo y defectos de diseño y fabricación
Convertidor Catalítico	

Tabla 3. Causas principales de fuego en vehículos
Fuente: Elaboración propia a partir de [31]

Esta tabla muestra algunas de las causas de incendio más comunes, entre ellas, aquellas que son propias de alguno de los modelos, tanto aquellas que se pueden dar en ambas.

Atendido a los BEV se pueden distinguir, el posible estado de las baterías que afectan principalmente a los BEV, aunque también existen casos en los que han causado fuegos en los ICEV por las baterías auxiliar de plomo-ácido que contienen, y los puntos de recarga del vehículo.

Estas baterías son las primeras que pueden sufrir un recalentamiento trayendo consigo la consecuente ignición del vehículo y los riesgos que estos traen asociados. A su vez se pueden distinguir los fallos durante los procesos de carga y los puntos de recarga.

Aquí se pueden dar también grandes cantidades de problemas, por posibles chispas generadas, porque el voltaje que ofrezca el punto de carga esté por encima del voltaje permitido, algún posible error en el propio enchufe de recarga, etc.

La casuística concreta de los modelos de combustión difiere de la eléctrica a nivel de composición ya que estos modelos cuentan con una serie de fluidos y líquidos en su interior con un alto grado de peligrosidad por incendio.

Tanto el diésel como la gasolina son fluidos altamente inflamables y cualquier posible fuga genera un riesgo enorme de incendio, así como el posible sobrecalentamiento del motor, lo que trae consigo el incremento de temperatura de los aceites y combustibles en su interior, ocasionando que estos se derramen o salten, derivando así mismo en que, cualquier posible chispa sea capaz de generar un incendio.

Otra causa es el sobrecalentamiento del convertidor catalítico como resultado de un trabajo excesivo a la hora de eliminar contaminantes. Este convertidor es una de las zonas con mayor gradiente térmico del vehículo y recoge su longitud total, siendo una de las causas más comunes en caso de incendio de estos modelos.

Hay cuestiones y casos que pueden generar un incendio independientemente del tipo de vehículo. Entre estos encontramos el cableado eléctrico, que tiene mayor presencia en los BEV aunque también se pueden localizar en gran presencia en el interior de los modelos de combustión más modernos. Cualquier posible cortocircuito en el cableado puede generar chispas eléctricas que, combinada con una fuga de fluidos en los de combustión, o un pequeño aumento de temperatura en las celdas, puede ser fatal en la creación de un incendio.

Los accidentes de tráfico son comunes en ambos casos al igual que los diseños de fábrica. Un caso muy reseñable pese a que no se menciona en demasía son los actos de vandalismo [31], como se encuentra en diversos artículos de prensa como la ilustración 20.

Esta Nochevieja "sólo" ardieron 874 coches en Francia. Una sórdida tradición que no parece que vaya a desaparecer

Ilustración 20. Recorte de prensa del vandalismo en Francia

Estos actos suponen una importante causa en la aparición de un incendio y, en función del tipo de vehículo que se trate, las consecuencias pueden ser muy diferentes.

Respecto a la estadística asociada a estos riesgos, es difícil clasificarla debido a la escasez de información. Lo que sí se puede discernir es la diferencia estadística entre la aparición de incendios entre BEVs e ICEVs [32].

Esta casuística es menos probable en los BEV.

Ahora bien, pese a ser menos probable estadísticamente, también son severamente más graves que los posibles incendios en los ICEV, tanto por la composición interna y los riesgos asociados a la misma, como por los métodos necesarios para lograr la extinción de dicho suceso.

Una vez comentado esto, hay que tener en cuenta la causa de aparición del fuego. Principalmente se tiende a pensar que se produce como consecuencia de accidentes de tráfico, aunque esto no es así, en la ilustración 4 se aprecian las causas más comunes tras la realización de un análisis de 96 BEVs.

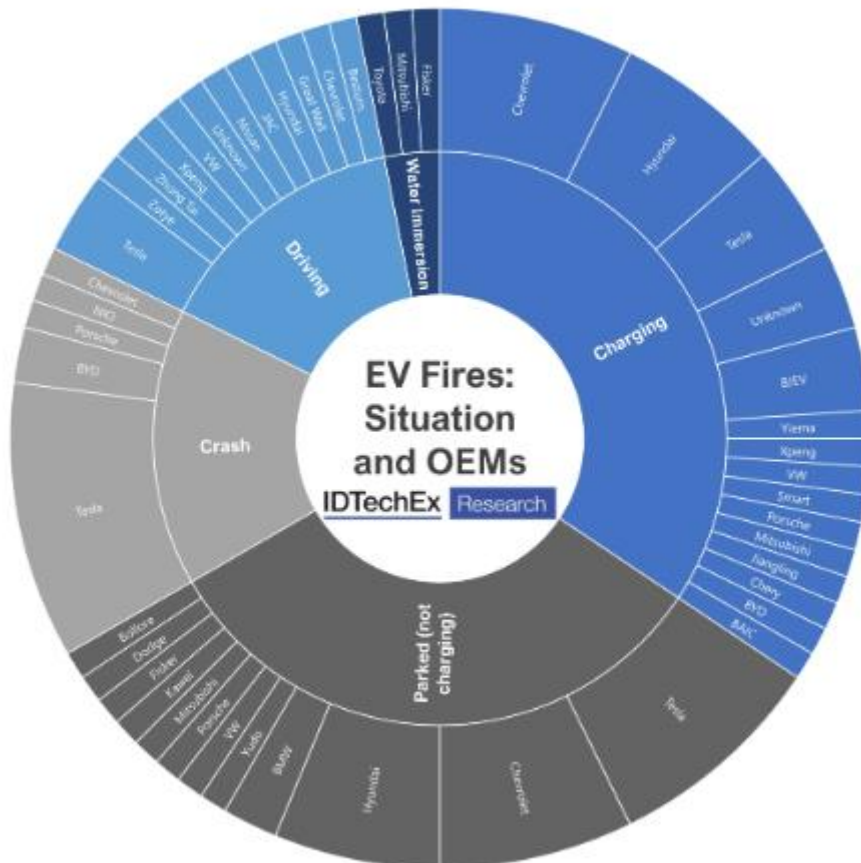


Ilustración 21. Causas del incendio de coches eléctricos

En la ilustración 21 se puede observar como mayoritariamente el incendio se ha producido o bien durante la carga del vehículo, o bien mientras el vehículo se encontraba estacionado.

La compañía de seguros americana AuroInsuranceEZ, ha analizado los datos de la Junta Nacional de Seguridad en el Transporte (NSTB) concluyendo que los incendios en los BEV son menos probables que en los híbridos y gasolina, sobre todo.

Aun así, los datos existentes actualmente no son demasiados concluyentes ya que, según informes de la NSTB, de 41 colisiones fatales en BEV, sólo 1 derivó en incendio, lo que significa una probabilidad de 1 entre 41 (2,44%).

En cambio, esta misma junta estimó que de 20.315 colisiones fatales en ICEV, se produjeron 644 incendios lo que supone un porcentaje del 3,17%.

Respecto a los híbridos se produjeron un total de 543 accidentes con un número de 12 incendios, lo que significa un 2,21%.

Hacer la comparativa de colisiones entre 41 vs 20.315 vs 543 es estadísticamente irresponsable ya que, en el caso de se produjese un accidente más en coches eléctricos que derivase en incendio, su porcentaje ascendería al 4,76%, por lo que hasta que no se equilibren las cifras, realizar una comparativa de incendio por accidente es inconcluso.

4.1.2 Riesgo Eléctrico

Los vehículos electrificados contienen energía eléctrica en las baterías cuando están apagados y aparcados. Los fabricantes han construido los vehículos de tal manera que el peligroso voltaje permanezca en el interior del paquete de baterías y aislado del resto del vehículo, lo que significa que, salvo las baterías, el resto del vehículo está libre de voltaje. Es necesario comprender que una batería “vacía”, es decir, completamente descargada, sigue teniendo un voltaje considerable que puede ser peligroso en los BEV [30].

La definición de voltaje peligroso significa que es potencialmente peligroso para los humanos y se suele señalar como > 60 VDC o “*Vehicle Dynamic Control*”.

Los motores de combustión interna han conseguido un aumento considerable a nivel de seguridad en los últimos 10 o 20 años mediante la introducción de la seguridad activa como el control de carril o mediante la protección pasiva con los test de la NCAP.

Los BEV por su parte, han de tener estos mismos niveles de protección por lo que las nuevas técnicas de protección han de estar adaptadas a la aparición de tecnologías modernas, por ejemplo; en caso de accidente, al mismo tiempo que se activan los airbags, que los sensores que se encargan de realizar esta acción realicen a la vez la desconexión del voltaje de tracción de la batería eliminando gran parte del daño que pueda producir este.

En la actualidad los fabricantes protegen el paquete de baterías de manera que no ocurran cortocircuitos en sus componentes electrónicos y que las celdas de ion de litio no se deformen durante escenarios de accidentes previamente establecidos. Esto se ha conseguido mediante la introducción de la batería en una carcasa protectora, lo que a su vez aumenta el peso, el volumen y los costes.

En el futuro se plantea que la batería forme parte de la propia estructura del vehículo, así como tener sistemas que permitan a las baterías tener un mayor nivel de deformación permitida hasta que suponga efectos perjudiciales. Esto significa que, en caso de un severo accidente, fuera de los criterios de diseño, pueda ocurrir una deformación por encima de lo planteado, de tal manera que al menos con ciertos aumentos de parámetros en la deformación, estos resultados no sean tan dañinos.

El tren de conducción eléctrica está protegido de diversas maneras. Por norma general las celdas de las baterías empleadas son más seguras con el empleo del tipo ion litio, con un control y equilibrio del voltaje de cada una de estas celdas, lo que requiere una serie de componentes electrónicos avanzados como fusibles y conectores.

Estos componentes electrónicos también están presentes en varios modelos convencionales de la industria y, en caso de error de estos componentes o en los sensores, se pueden producir situaciones inseguras. No obstante, los fabricantes trabajan con la ISO 26262- Sistemas de Seguridad en Automóviles, para definir un marco y modelo de aplicación de estos componentes y métodos empleados para reducir estas posibles situaciones de peligro.

Los fabricantes aseguran la seguridad de la batería mediante la adición capa a capa de distintos elementos de protección, como se puede observar en la ilustración 22, donde se mencionan las distintas capas y componentes que se encargan de dotar a la batería de diversos métodos de protección.

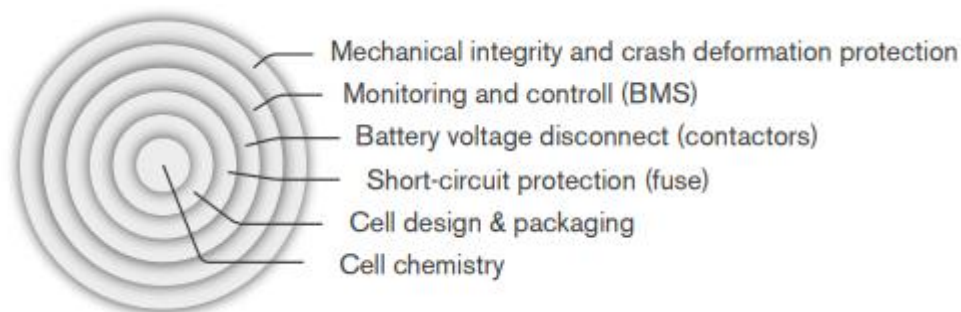


Ilustración 22. Capas de seguridad en las baterías

Al mismo tiempo, el cableado y los componentes que requieren de alto voltaje se encuentran aislados y protegidos para evitar la exposición de usuarios y bomberos a estos corrientes. Los polos de la batería de tracción no tienen conexión con el chasis inferior del vehículo (Ilustración 23) mientras que la batería auxiliar de 12V, emplea la parte inferior del chasis del vehículo como el camino de regreso del polo negativo.

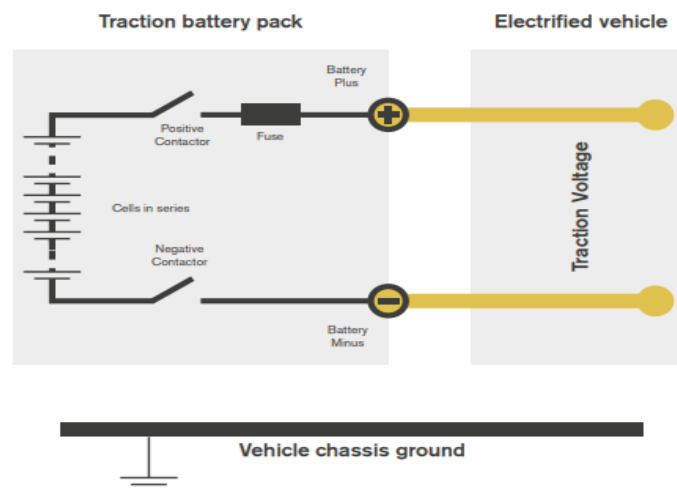


Ilustración 23. Paquete de batería de tracción y principio de suelo flotante

En los BEV hay presente corriente alterna y continua. La continua proviene de la batería de tracción mientras que la directa se emplea para alimentar los componentes electrónicos y el motor. Ambas son peligrosas para el ser humano en caso de contacto directo con los polos de batería o el chasis metálico. Para que esto ocurra, se requieren dos fallos en el aislamiento (Ilustración 24) y que la víctima contacte al mismo tiempo con dos partes metálicas con diferente potencial.

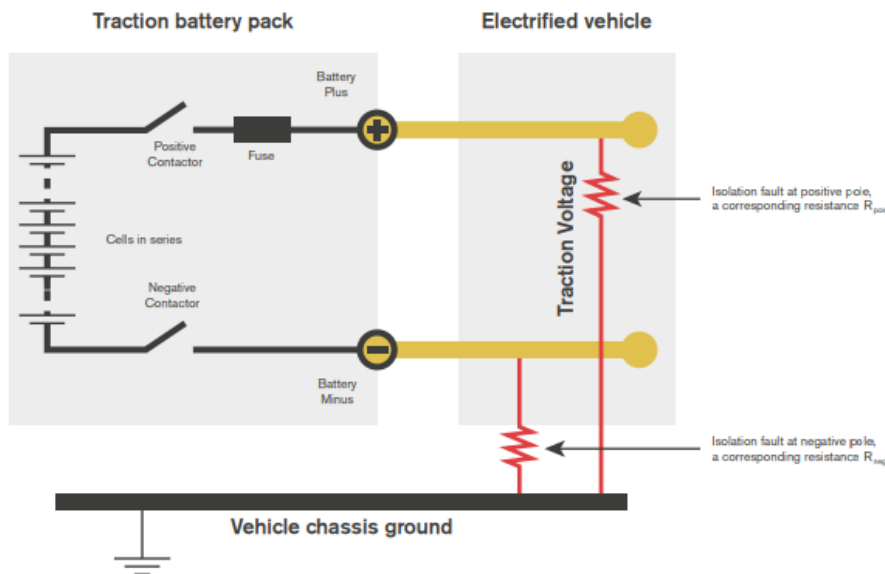


Ilustración 24. Doble fallo de aislamiento

La parte inferior del chasis está diseñada para actuar como polo negativo de las baterías auxiliares ya que tiene la mayor parte de componentes metálicos conectados. En el caso de este doble fallo de aislamiento, se produciría un cortocircuito a través del chasis y, como la corriente emplea el camino más sencillo, en caso de contacto del cuerpo humano con este chasis, apenas notaría el daño.

Ahora bien, existe un riesgo potencial para el personal de servicio encargado de reparar un BEV dañado ya que, durante el proceso de desmontaje, habría dos chasis: uno inferior, uno con el potencial negativo, y otro con el positivo. Pese a esto existen protecciones, como los EPI y las formaciones realizadas de cara al trabajo con corrientes eléctricas.

4.1.3 Riesgo de incendio, gases y emisiones

La energía almacenada en la batería de un BEV se desprende esencialmente cuando se conectan ambos polos mientras que la energía de un vehículo convencional, requiere que se produzca la mezcla entre combustible y oxígeno en las proporciones y presiones exactas y, una vez esto haya ocurrido, que la mezcla de gas arda con una chispa o la exposición a altas temperaturas [33]

Los altos voltajes y corrientes eléctricas empleadas en los BEV suponen un riesgo de incendio y, las baterías de ion litio, poseen un riesgo especial ya que el electrolito actúa como combustible, con propiedades similares a la gasolina.

Más allá, la batería puede presentar fugas térmicas con se ha mencionado ya, por lo que uno de los mecanismos de seguridad crucial es la ventilación. Ahora bien, los gases expulsados en estas situaciones son altamente tóxicos e inflamables, particularmente el fluoruro de hidrógeno (HF). Este proceso de ventilación también expulsaría muchas otras sustancias fluoradas que tiene potencial de ser tóxicas, aunque no han sido investigadas públicamente aún.

En el caso de que ocurra un incendio, muchas de estas sustancias pueden ser consumidas en el fuego, pero el conocimiento en esta área sigue siendo limitado debido a la falta de estudio.

El HF es un gas que evoluciona en diversos tipos de fuego. INERIS o “*L’Institut national de l’environnement industriel et des risques*” [34], realizó un ensayo en el que prendió fuego a dos BEV diferentes y a dos ICEV, mostrando que el índice de calor desprendido era similar en función de la magnitud independientemente del tipo de vehículo y que se producen altas concentraciones de HF en los cuatro vehículos aunque estos evolucionaron en los BEV, eso sí, con una menor concentración que en su pico máximo y distribuidos en un mayor periodo de tiempo.

4.1.4. Riesgo de reignición y dificultad de extinción

Para la extinción de estos fuegos, se han mencionado los sistemas existentes actualmente y los más empleados mientras que la recomendación de los fabricantes es el empleo de agua o arena de manera activa, o bien dejarlo arder como mecanismo pasivo. Este segundo caso es inviable en la mayor parte de las ocasiones ya que estadísticamente suelen tener lugar los incendios cuando el coche se encuentra en reposo por lo que pueden estar en zonas de carga o en el interior de un aparcamiento subterráneo.

La asociación alemana de inspección de vehículos de motor también realizó estudios respecto a la mejor manera de extinguir estos incendios y concluyeron, al igual que la NFPA, con que es el uso de grandes cantidades de agua y agentes extintores que mejorar la capacidad de extinción de la misma, aunque se requiere de una mayor investigación para encontrar métodos que no sean tan costosos [35].

Una vez se ha logrado la extinción del fuego en la batería de tracción, el foco principal de los equipos de emergencia pasa a ser apartar el vehículo del escenario, considerando siempre el riesgo de posible reignición.

Una vez la batería ha sufrido una fuga térmica y ha ardido, suele estar completamente destruida y no puede incendiarse de nuevo. Ahora sí, las celdas cercanas impactadas por el calor pero que no ardieron pueden volver a sufrir fugas térmicas.

EV FireSafe se trata de una compañía privada australiana que recibe financiación del ministerio de defensa australiano para combatir los BEV y los incendios, ha realizado un estudio de diversos modelos llegando a la conclusión de que el 13% de los incendios en los BEV que fueron extinguidos, tuvieron una reignición tras la supresión inicial del fuego, estableciendo que esta reignición tuvo lugar en diversas ocasiones durante el transcurso de varias horas [36].

En cinco casos se produjo la reignición de estos vehículos una vez cargados en las grúas para alejarlos del entorno mientras que, en un caso concreto, el vehículo volvió a arder tras 68 días después del accidente. La ilustración 25 muestra ambos casos de estudio [37]:

Reignition case study 1

4 x separate ignition events within 48 hours



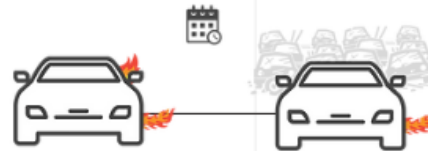
EV ignited following high speed collision, was suppressed, but reignited

Vehicle was loaded onto tow truck where it again reignited & was suppressed

Reignition & suppression occurred again after vehicle was placed in storage yard

Reignition case study 2

2 x ignition events 68 days apart



EV was damaged in a home garage fire on 8th February 2019 (fire cause unknown)

On 17th April 2019 it was transported to a repair shop & reignited within 3 hours

Ilustración 25. Casos de estudio EV FireSafe

Este último caso es especialmente raro ya que no suele ser común que la fuga térmica se produzca tras varios días o semanas. En junio del año pasado, el departamento de bomberos de Sacramento atendió al incendio de un BEV que había sufrido una colisión tres semanas antes y que no había ardiendo tras este.

Para reducir los posibles riesgos de reignición se incluyen medidas como la monitorización de la batería durante cierto periodo de tiempo con cámaras térmicas y prestando atención a la posible aparición de algún sonido indicativo de fuga térmica como petardeos en la batería o silbidos, todo esto previo a subir el coche en una grúa para alejarlo de la zona.

4.1.5 Riesgos en el transporte y almacenamiento del BEV accidentado

Teniendo en cuenta los posibles riesgos de ignición cabe destacar la necesidad de una formación profesional adecuada a los servicios de transporte encargados de mover estos vehículos accidentados.

Como se ha visto recientemente, se han dado casos donde el vehículo ha vuelto a arder durante el proceso de cargar el BEV en la grúa o bien una vez encima de esta, lo que supone un grave problema por la presencia de una nueva fuente de combustible próxima a un fuego, aumentado de esta manera la reacción en cadena generando un fuego más intenso.

Además del transporte tras un incendio, hay que tener en cuenta los transportes de los vehículos previo accidente. El caso de mayor renombre es el incendio del buque "Felicity Ace", un barco encargado de transportar vehículos de lujo que ardió y se hundió en las islas azores (Ilustración 26) [38].

Toda la carga del Felicity Ace se ha perdido, el buque carguero de coches se hundió por la mañana

Ilustración 26. Titular artículo web acerca del hundimiento del barco

La posible causa del incendio provendría de la fuga térmica en uno de los BEV que transportaba el barco, provocando la expansión a los vehículos próximos derivando finalmente en un fatal incendio de miles de vehículos y el hundimiento del barco.

Tras el incendio de estos vehículos, una vez se ha conseguido apagar el fuego y alejar el vehículo de la zona, se pasa a la fase de almacenar las baterías, que son elementos muy volátiles tras sufrir este tipo de accidentes.

El método para almacenar las baterías, en este caso las de tipo ion litio, cuenta con unas características concretas ya que, virtualmente, no hay descarga por debajo de 4.0V a 20°C, por lo que almacenar estas baterías sobre los 3.5-3.7V aumenta la longevidad de la mayoría de los sistemas de ion litio [39] [40].

A nivel nacional no se cuenta con una normativa específica lo que no significa que no haya obligaciones a la hora de almacenar estas baterías, ya que han de ser tratadas como sustancias peligrosas como establece la VdS 3103: 2016-05 [41].

Este documento explica las amenazas específicas de este tipo de material, así como acciones para prevenir pérdidas.

Para almacenar este tipo de elementos se requieren almacenes específicos preparados para albergar y controlar estas baterías. Una de las compañías logísticas más importantes en este sector es Maersk, que cuenta con varias naves especializadas, como es el caso de su almacén en la República Checa (Ilustración 27) [42], [43].



Ilustración 27. Almacén de baterías eléctricas lón Litio en Teplica, Republica Checa

4. 2 Acceso a información sobre el BEV

4.2.1 Métodos existentes de prevención y detección

Otro de los puntos distintivos que caracterizan los BEV y las dificultades que estos conllevan, es la falta de información en la mayoría de casos del estado actual de la batería.

Este punto es uno de los más determinantes a la hora de responder de manera veloz a una emergencia, no tanto por tener un conocimiento exhaustivo de cuando se van a producir los posibles errores en el interior de la batería, sino más bien de mantener una detección y estudio de las condiciones a tiempo real de la misma, de manera que se puede prevenir un posible accidente y sus derivadas consecuencias.

Estos métodos más relevantes de protección y detección, se denominan elementos o mecanismos pasivos [44].

En la actualidad existen varios elementos en el interior de los BEV que permiten un control de los parámetros más reseñables a nivel de seguridad, así como materiales que desempeñan un papel clave en la prevención de riesgos.

Uno de estos casos son los retardantes de llama, que se añaden para mantener la estabilidad térmica de la batería. Son unas sustancias químicas que se activan frente a una fuente de ignición y se encargan de ralentizar o impedir su desarrollo mediante métodos físicos y químicos.

Reseñables son también las pruebas de fallos como la ventilación interior de la batería para reducir el gradiente térmico interno o bien la desconexión de la unidad.

Ahora bien, el método más empleado en este tipo de vehículos para prevenir, es la compartimentación que consiste en el confinamiento de una batería y el fuego evitando así que se extienda por el resto de celdas.

A mayor tamaño de la célula, más complicado es el método de contención ya que, en muchos casos, al tener una batería de mayor tamaño lo lógico sería añadir materiales de mayor tamaño para confinar dichas celdas, esto a su vez supone aumentar el peso del vehículo y la batería, lo cual no es una buena idea debido a la propia estabilidad y rendimiento del vehículo.

Tecnologías de detección

Una vez se han mencionado algunos de los aspectos más importantes dentro del ámbito de la seguridad y la detección, se atiende a las tecnologías internas de los BEV, que son aquellas con un desempeño principal en estas acciones de prevención.

La aparición de fuego en el interior de una batería sigue una serie de etapas diferenciadas, como se observa en la figura 1.

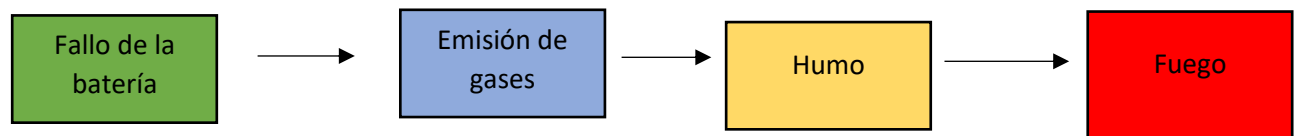


Figura 1. Etapas del incendio de una batería ión litio

Cada una de estas etapas trae consigo una serie de riesgos asociados distintivos a cada una de ellas.

Para controlar la posible aparición de estas problemáticas, los BEV cuentan con un sistema de gestión de las baterías, también denominado BMS, cuya función es proporcionar información relevante del estado de la batería como identificación de datos inusuales, aumento de temperatura de las células, voltaje, la corriente y estado de carga [45], [46].

En caso de detectar alguna anomalía, este sistema emplea controles de acción predeterminados para tratar de contener dicho problema, como puede ser la desconexión total o parcial de la batería, aumento de la ventilación interna de la batería para regular la temperatura a la que se encuentran los componentes internos del pack y el aumento de la refrigeración mediante la extracción de la mayor cantidad posible de calor del interior de la batería.

Este sistema desempeña la función más relevante dentro de la detección de posibles amenazas por fugas térmicas y/o subidas de temperatura en el interior de las celdas de la batería. Pese a esto, también se encuentra una de las problemáticas más controvertidas dentro de los BEV ya que, todos estos indicadores facilitan la comprensión del usuario del estado actual de la batería, aunque esta información debería ser pública y controlada por los servicios de protección del estado como el cuerpo de policía o bomberos, ya que son estos profesionales los que han de actuar en caso de emergencia térmica.

Algunas de las características de detección más importantes y útiles de este sistema son:

- Medidor de temperatura: permite controlar el riesgo de ignición en función del gradiente térmico en el que se encuentre la batería.
- Fallo de aislamiento y cortocircuito: permite conocer si los componentes eléctricos internos de la batería se encuentran en buen estado o si, por el contrario, hay algún tipo de problema que pueda derivar en riesgo de electrocución y/o ignición.
- Estado de funcionamiento de los relés: en caso de accidente, el sistema de gestión de la batería permite conocer el estado en el que se encuentran los relés para su funcionamiento.
- Sensores de gases y presión: en aquellos paquetes más modernos, este BMS viene equipado con una serie de sensores que permiten detectar la presencia de escape de gases y su correspondiente subida de presión, lo cual es información realmente útil como indicador de situación y estado.

Pese a contar con varias prestaciones claves en el desempeño de la prevención y seguridad del estado de la batería, también cuenta con varios aspectos que pueden ser desarrollados con el objetivo de complementar ciertos aspectos un tanto inconclusos y mejorar la efectividad y eficiencia, como se verá en los siguientes apartados.

Este BMS es la parte central de los sistemas de información y prevención, aunque no es la única tecnología presente en los BEV, sino que existe un mayor número de nuevas tecnologías que facilitan la tarea de este en la detección de anomalías. Algunos de los sistemas más reseñables son [24], [34], [35]:

- Detección de Gases y Partículas: estos sistemas de alerta detectan vapores en el aire o concentraciones moleculares, son sensibles a sustancias químicas comunes en el desbordamiento térmico como el H_2 , el CO o el CO_2 . Estos sensores en los cerramientos proporcionan alertas tempranas que pueden resultar imprescindibles para evitar fugas térmicas y sus correspondientes acciones encadenadas. Estos sensores son situados estratégicamente y han de ser muy sensibles para detectar los signos de emisión de gases previo a su disolución o dispersión a estado gaseoso, teniendo en cuenta los sistemas de ventilación para un correcto análisis de la situación.

- Detección de Calor: a su vez, dentro de estos tipos de detectores encontramos varios tipos:
 - Detectores de Tipo Puntual: estos están equipados con elementos muy sensibles a la temperatura y funcionan como:
 - Detectores de Temperatura Fija: en estos detectores se define una temperatura máxima la cual, al verse superada, el detector pasa a estado de alarma. Este tipo de sensor únicamente reacciona tras verse superado el máximo establecido, independientemente de la densidad del humo u otros valores.
 - Detectores de tasa de incremento de temperatura: en estos, se define el aumento de temperatura por unidad de tiempo para que se active la alarma (K/min). Si este aumento por unidad de tiempo supera el umbral establecido, salta la alarma. Se basan en el funcionamiento de un termistor.
 - Detectores Térmicos Lineales: estos detectores están compuestos por un sensor de tipo lineal y una unidad que se encarga de la evaluación. Este sensor se trata de un cable con conductores ópticos o eléctricos mientras que, la unidad de evaluación se puede conectar a sistemas de nivel superior, permitiendo visualizar la mediación de los valores y el control de otras acciones.
 - Cámaras IR: son cámaras termográficas, llamadas infrarrojos o cámara de imagen térmica, que crean una imagen empleando radiación infrarroja lo que permite capturar y analizar datos, recibiendo el nombre de termografía.

- Detección de Humo: el aire transporta una serie de partículas que muestran distintos tipos y rangos de tamaño, como se puede ver en la ilustración 28.

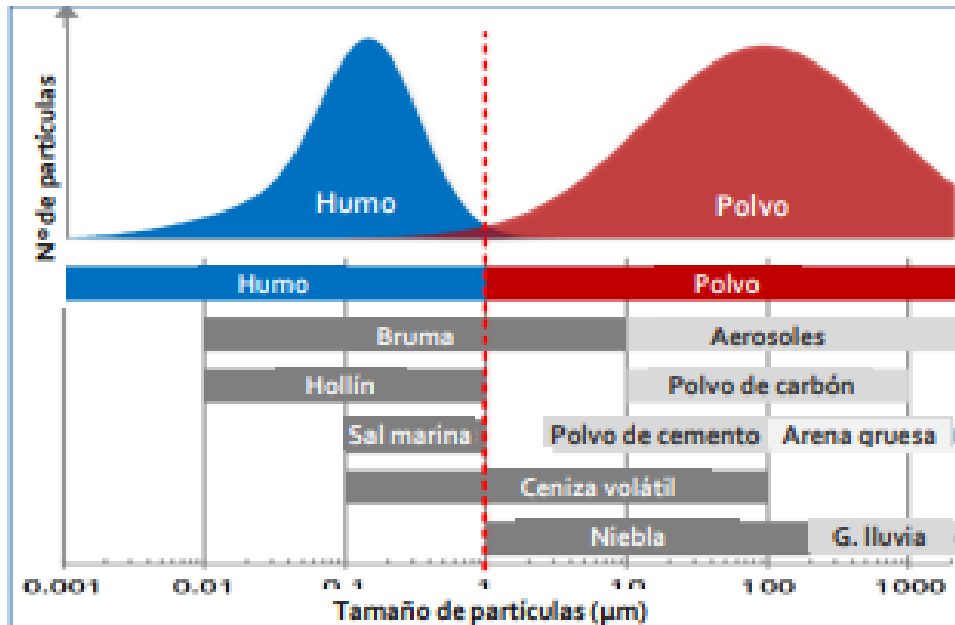


Ilustración 28. Representación entre el tamaño de las partículas de humo y polvo

La franja azul representa una distribución de tamaño de partícula típica del humo procedente de un incendio con un tamaño de partículas sobre los 0'2 μm , mientras que la roja muestra una distribución de partículas con un máximo de 90 μm .

La segunda parte de la ilustración, muestra que la gran mayoría de partículas de humo tienen un tamaño inferior a 1 μm , mientras que las de polvo son superiores a ese tamaño, pese a esto la distinción no es tan clara sobre todo cuando se da una gran aglomeración o cuando el polvo es muy fino.

- Detectores de humo puntuales y multi sensores: son los más comunes en sistemas SIP. Son empleadas en zonas donde se espera que tengan lugar incendios que generen humo y donde se provoquen pocos fenómenos que generen falsas alarmas.
 - Dentro de estos detectores los más empleados son los detectores de humo por reflexión de la luz, que funcionan ópticamente detectando la luz dispersada por el humo.
- Detectores de humo lineales: estos funcionan midiendo la atenuación de la luz como causa del humo. Estos sistemas alojan tanto emisor y receptor en

la misma carcasa y emplean un reflector a distancia y cuentan con la ventaja de que únicamente necesitan ser cableados en la línea de detectores en un punto y con un mantenimiento muy sencillo. En aquellos sistemas sin reflector, emisor y receptor están separados.

- Detectores de humo por aspiración: estos funcionan mediante la aspiración de muestras de aire en las zonas supervisadas mediante una red de tubos mediante un sistema de ventilación adecuado. Estos incorporan filtros que eliminan las partículas de polvo que puede generar falsas alarmas y cuenta con sensores que permiten distinguir partículas similares al humo. Se emplean generalmente en zonas donde se requiere una detección del humo lo antes posible y el resto de sensores son insuficientes a la hora de resistir la suciedad.
 - Este tipo de sensores permiten detectar incidencias de emisión gaseosa mediante esta detección de la mezcla de los gases y las partículas que emiten las baterías ion litio.
- Detección de Llamas: estos detectores convierten la radiación electromagnética que se emite por llamas en una señal eléctrica. La mayoría de estos detectores trabajan en rango ultravioleta o infrarrojo, para controlar el parpadeo que se produce cuando hay llamas.
- Video detección de humos e incendios: estos se basan en vídeos y análisis combinados de vídeo inteligente aplicados sobre todo en seguridad y protección. Permiten minimizar el tiempo de detección de acuerdo con las técnicas mencionados anteriormente

Estos sistemas son los que ofrecen una mayor información acerca de los BEV y su estado, aunque una de las problemáticas ya mencionadas, es la falta de un sistema de información que englobe y comparta esta información con los cuerpos principales de seguridad.

4.2.2 Información accesible acerca de la batería

Junto a los ya mencionados sistemas de prevención también cabe destacar la falta de información pública respecto a la geometría de los packs y celdas, ya que esta información no se encuentra publicada por los fabricantes de los vehículos ni baterías, lo que supone un gran problema a la hora de conseguir una mejor formación respecto a las baterías y a su desempeño, así como los distintos posibles métodos de compartimentación y separación del calor en el interior de las baterías.

Cada tipo de célula trae asociada una serie de riesgos en función de los componentes internos de la misma, aunque la información y datos acerca de las diferencias de las mismas y su afeción al desarrollo de posibles emergencias son muy escasos o inexistentes en la mayor parte de los vehículos.

Otro de los problemas más reseñables a la hora de obtener información es, como se mencionó en el apartado anterior, es la falta de una base de datos interconectada y global, entre fabricantes, usuarios y servicios de emergencia, que amplíe la información a tiempo real del estado de las baterías y que permite una actuación mucho más efectiva por parte de los organismos pertinentes en caso de obtener una alarma en el mismo momento en el que el BMS de un vehículo eléctrico alerte tanto a usuarios del mismo como a profesionales de la presencia de un riesgo a nivel interno, ya sea un cortocircuito, un escape de gas o bien de la aparición de fuego, como resultado de cualquier tipo de abuso, mecánico, térmico o eléctrico, que pueda derivar en una situación de gravedad para la salud de usuarios y el entorno que lo rodea.

Aunque actualmente no abunde la información requerida para tener un mayor control y conocimiento acerca del estado de la batería y su rendimiento, sí se puede encontrar diversos artículos orientados a las posibles mejoras pertinentes a la seguridad, así como nuevas líneas de desarrollo [47].

Estos artículos se diferencian principalmente en una serie de estudios enfocados en distintos aspectos como son:

- Estudios de prevención: donde se definen las capas de protección en el interior de las baterías con el objetivo de alertar a los sistemas de gestión en caso de alcanzar parámetros críticos y se presentan soluciones estudiadas para tratar de reducir al máximo estos posibles riesgos, como puede ser la gestión del calor generado y la mejora de los sistemas de ventilación y disipación del calor.

- Estudios de compartimentación: estos estudios tienen una elevada importancia ya que este método se ha definido como el más relevante en la seguridad del interior de la batería evitando escapes térmicos mediante el aislamiento de las células afectadas evitando la transferencia del calor a las contiguas, lo que derivaría en un posible incendio.

También se realizan diversas comparaciones entre las diferencias en la compartimentación durante el uso del vehículo y durante el transporte del mismo.

- Estudios de detección: en estos artículos se resumen los principales métodos de detección, principalmente a través de la acción del BMS y los indicadores internos tanto de voltaje como de temperatura.

Es reseñable la mención a los estudios realizados orientados a la ampliación de los sensores en el interior de los sistemas de gestión aumentando de esta manera la habilidad de estos BMS para notar modificaciones en sus parámetros.

- Estudios de protección: se presentan algunos de las medidas y procedimientos que se emplean en la actualidad, como se ha estudiado previamente y se realizan comparativas con posibles soluciones y métodos a aplicar e integrar en los modelos eléctricos para mejorar la seguridad.



4.2.3 Falta de información a tiempo real de la batería

Pese a la importancia del BMS en la gestión, control y monitorización de los parámetros clave en el interior de las baterías, la capacidad de este sistema de gestionar un traspaso de información continuo carece del nivel necesario para mejorar las condiciones de seguridad de los BEV.

Actualmente este sistema ofrece datos importantes sobre el vehículo, aunque, debido al retraso de esta información, así como su incapacidad de transmitirla no solo al usuario sino también a los servicios de emergencia, los parámetros de seguridad que ofrece este sistema son inmensamente menores que los que su potencial muestra.

Sus capacidades de registro de información permiten al sistema recopilar datos de tendencias y crear informes mediante estimaciones y el seguimiento de la batería para darle un mejor uso [48].

Ahora bien, si además de este sistema de recopilación de información, contasen al mismo tiempo con un software de intercambio de datos, centrándose en aquellos parámetros relevantes a la seguridad de la batería como puede ser aumento crítico de temperatura, detección de humo o partículas, etc. se conseguiría un control a tiempo real del estado de estos elementos, lo que supondría un aumento crucial en los métodos de actuación y en los resultados obtenidos.

4.3 Diversidad en los BEV

Al tratarse de un mercado muy marcado, la aparición de los modelos eléctricos en el sector automovilístico ha derivado en un desarrollo muy rápido para adaptar las particularidades y preferencias de los usuarios a las nuevas prestaciones que ofrecen estos vehículos.

Es por esta misma razón que existen una enorme variedad de modelos eléctricos, tanto a nivel estético como de rendimiento, lo que a su vez presenta grandes diferencias entre los BEV, lo que en muchas ocasiones deriva en distintas problemáticas, como se muestra en los siguientes apartados.

4.3.1 Tamaños de baterías diversos

Una de las diferencias que se pueden observar entre las baterías son sus capacidades útiles y tamaños. Estas difieren mucho entre sí, como resultado de la búsqueda de un público que busque un modelo con un menor precio de mercado ya que, cuanto mayor sea la capacidad útil de las baterías, mayor es el desempeño y prestaciones del vehículo.

En este caso, para realizar la comparativa, se atiende al ranking de ventas del año pasado en España de BEV para emplear dos de los modelos que lo componen, como se muestra en la ilustración 29 [49]:

RANKING	MODELO	VENTAS 2022
1	Tesla Model 3	2.676
2	FIAT 500 Eléctrico	1.867
3	Tesla Model Y	1.866
4	KIA e-Niro	1.517
5	Citroën ë-C4	1.430
6	MINI Cooper SE	1.256
7	Hyundai Kona Eléctrico	1.101
8	Dacia Spring	1.040
9	Hyundai IONIQ 5	918
10	KIA EV6	918

Ilustración 29. Top 10 de coches eléctricos más vendidos en España durante el 2022

En esta ocasión, se realiza la comparación de las baterías entre dos modelos pertenecientes al sector de los vehículos SUV: Dacia Spring (Ilustración 30) y Kia EV6 (Ilustración 32).



Ilustración 30. Dacia Spring 100% Eléctrico

Este primero cuenta con una capacidad útil de del motor de 25 kWh, lo que ofrece una autonomía total de entorno a los 255 kilómetros [50].

Para obtener una visión más detallada de su composición y distribución interna se puede atender tanto a su guía de respuesta rápida [51] y su manual de uso [52] , como se muestra en la ilustración 31:

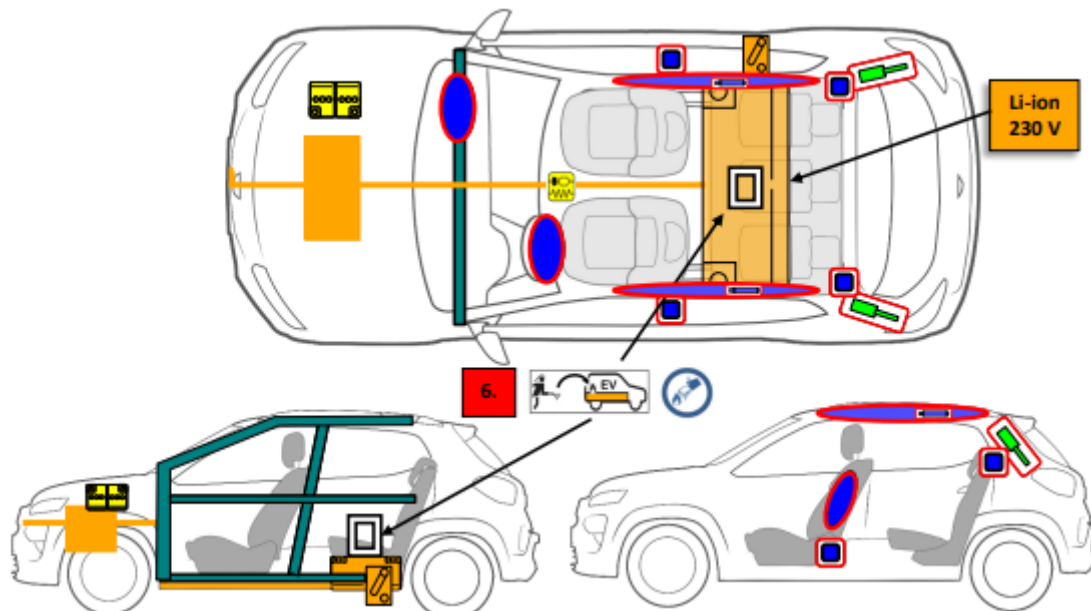


Ilustración 31. Composición interna del Dacia Spring

Por su parte, el Kia EV6, aunque se trata de un modelo también del tipo SUV, cuenta con una batería con una mayor capacidad útil lo que permite al mismo tiempo una mayor autonomía y rendimiento.

Cuenta con una batería con una capacidad útil de 74 kWh, otorgando al coche a la vez una autonomía de 450 kilómetros, casi el doble que el modelo comparado [53].



Ilustración 32. Kia EV6 GT-Line

Al igual que en el caso anterior, se puede acudir a la guía de respuesta en caso de emergencia [54] , para obtener una imagen de la distribución de los componentes internos de este modelo, como se muestra en la ilustración 33.

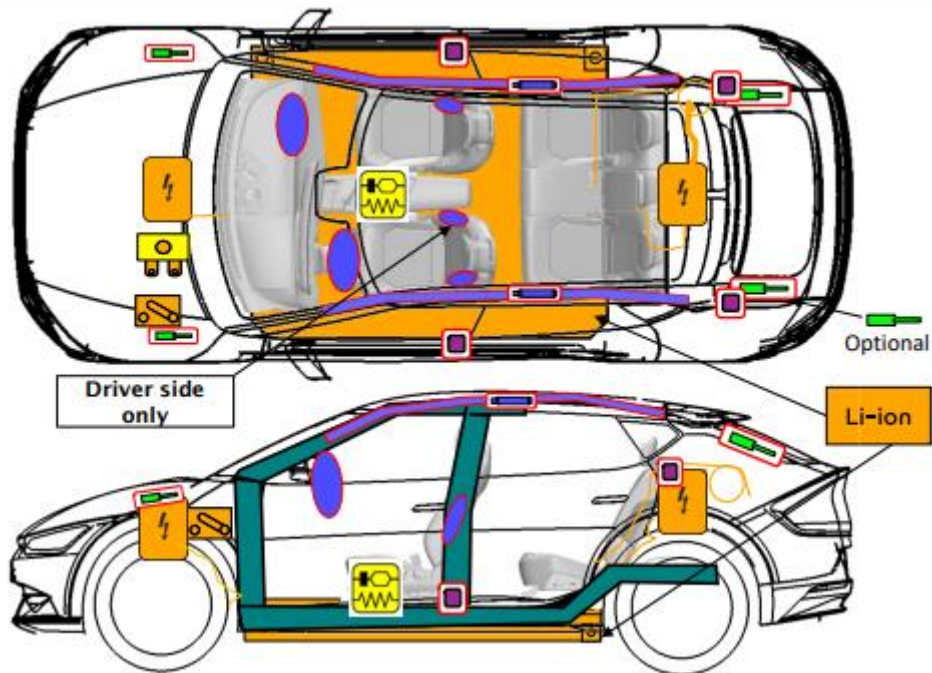


Ilustración 33. Distribución interna Kia EV6

Si se realiza un análisis de las composiciones de ambos modelos, se puede llegar a la conclusión de que existe una pieza clave en el ámbito del voltaje cuya ubicación difiere entre ambos modelos, lo que lleva a la realización del apartado 4.3.3.

En la ilustración 34 se muestra la comparativa entre ambos modelos a nivel de autonomía como resultado de la diferencia entre las capacidades útiles de los vehículos.

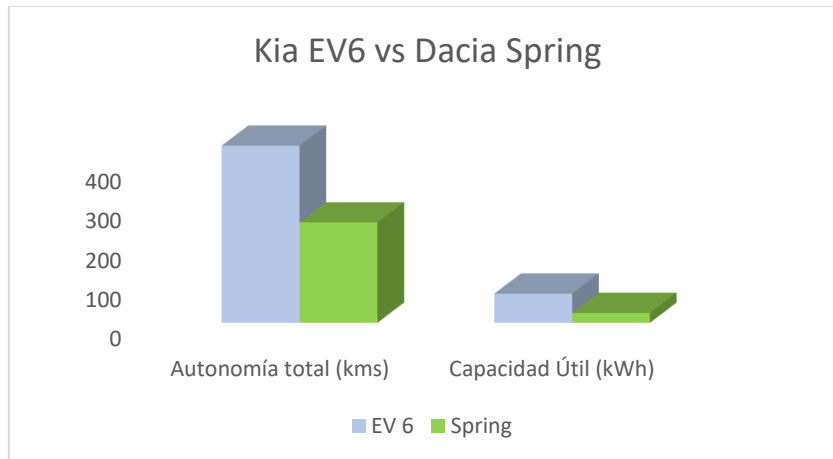


Ilustración 34. Gráfico entre Kia EV6 y Dacia Spring
Fuente: Elaboración Propia

Durante la realización del proyecto se ha realizado un estudio de los BEV más vendidos en España durante el pasado curso (ilustración 29) y su comparativa en función de la capacidad útil de las baterías se presenta en la ilustración 35.

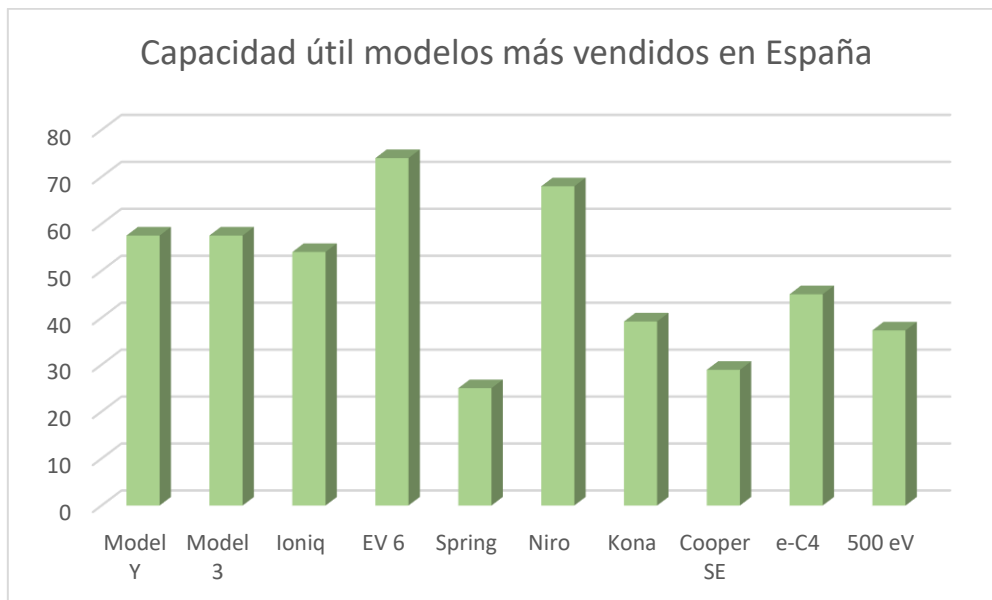


Ilustración 35. Comparativa de las capacidades útiles entre los 10 modelos eléctricos más vendidos en España durante 2022
Fuente: Elaboración Propia

4.3.2 Diseño externo e interno y dimensiones de los BEV

Una vez evidenciadas las diferencias entre las capacidades útiles de las baterías, aparece en escena también la amplia diferencia existente entre las dimensiones de los BEV lo que, en algunos casos, puede suponer un mayor riesgo de siniestralidad y/o incendio.

En este caso se tendrán en cuenta para realizar la comparativa el utilitario Smart Fortwo ya que se trata del modelo de vehículo eléctrico más reducido del mercado y el Mini Cooper SE, que también se trata de un vehículo del mismo sector de coches utilitarios, aunque sus dimensiones son bastante mayores.

El primer modelo cuenta con una capacidad útil de 17,6 kWh. Respecto a sus dimensiones, este modelo cuenta con 2.695mm de largo, 1.559 mm de ancho y 1.542 de alto, como se muestra en la ilustración 36.

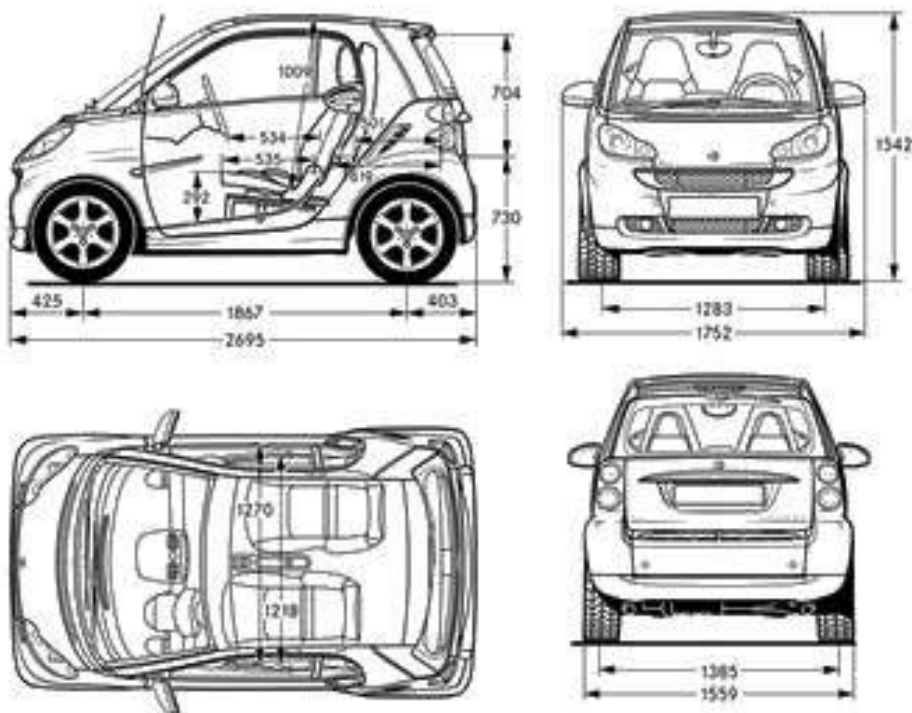


Ilustración 36. Dimensiones Smart Fortwo

Por su parte, el Mini Cooper, que también ha sido definido como uno de los vehículos de menor tamaño en el mercado, cuenta con 3.855mm de largo, 1.727 de ancho y 1.432 de alto, como bien indica la ilustración 37, procedente de la web oficial de la compañía [55].



Ilustración 37. Dimensiones Mini Cooper SE

Una vez se han presentado las diferencias entre las dimensiones se ha elaborado un gráfico más visual, como es el caso de ilustración 38.

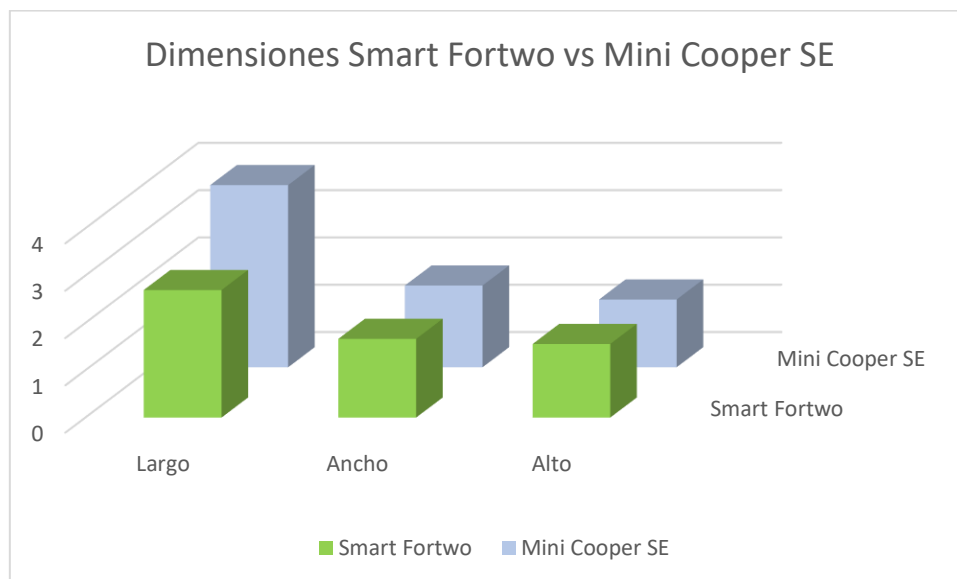


Ilustración 38. Gráfica de las dimensiones entre ambos modelos
Fuente: Elaboración Propia

La diferencia en las dimensiones también se puede apreciar en su composición interna, como se observa en las ilustraciones 39 y 40 [56], [57].

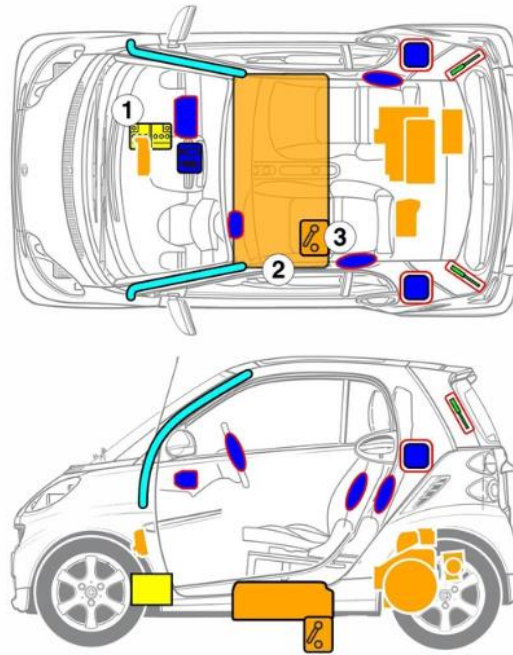


Ilustración 39. Composición Interna Smart Fortwo
Fuente (27): Guía de emergencia Smart Fortwo

An overview of high-voltage components.

- 1 Electric A/C compressor.
- 2 High-voltage starter motor generator.
- 3 Electrical heating.
- 4 Charging socket.
- 5 High-voltage battery unit.
- 6 Electrical machine.
- 7 Electrical machine electronics.
- 8 Convenience charging electronics.



Ilustración 40. Composición interna Mini Cooper SE
Fuente (28): Manual de Uso Mini Cooper SE

En estas ilustraciones mostradas anteriormente, ya se logra discernir diferencias, no solo en las dimensiones como se ha comentado, sino también respecto al siguiente punto a abordar.

4.3.3 Localización de las baterías de tracción y auxiliares y acceso

La ubicación interna de las baterías de alto voltaje entre los diferentes modelos varía, como se puede observar en las distribuciones internas de las anteriores ilustraciones.

Se puede pensar que estas diferencias de ubicación de las baterías se concentran sobre todo entre los distintos fabricantes y marcas, aunque esto no es cierto. Para confirmar esta información se tienen en cuenta dos modelos pertenecientes al mismo sector del mercado eléctrico y del mismo fabricante, Hyundai.

En esta ocasión se muestran los modelos Ioniq y Kona, ambos del fabricante coreano donde se exhibe la diferencia en las ubicaciones de las baterías de alto voltaje pese a pertenecer a la misma marca.

Para esto se accede a las guías de emergencia de ambos modelos [58] y [59].

En la ilustración 41 se muestra la ubicación de las baterías auxiliar, localizada en el frontal del vehículo, la batería de alto voltaje, en la parte inferior del chasis del mismo y el conector de alto voltaje, pieza clave a la hora de realizar la desconexión segura de la capacidad de alto voltaje de esta batería, evitando así el riesgo de reignición o electrocución.

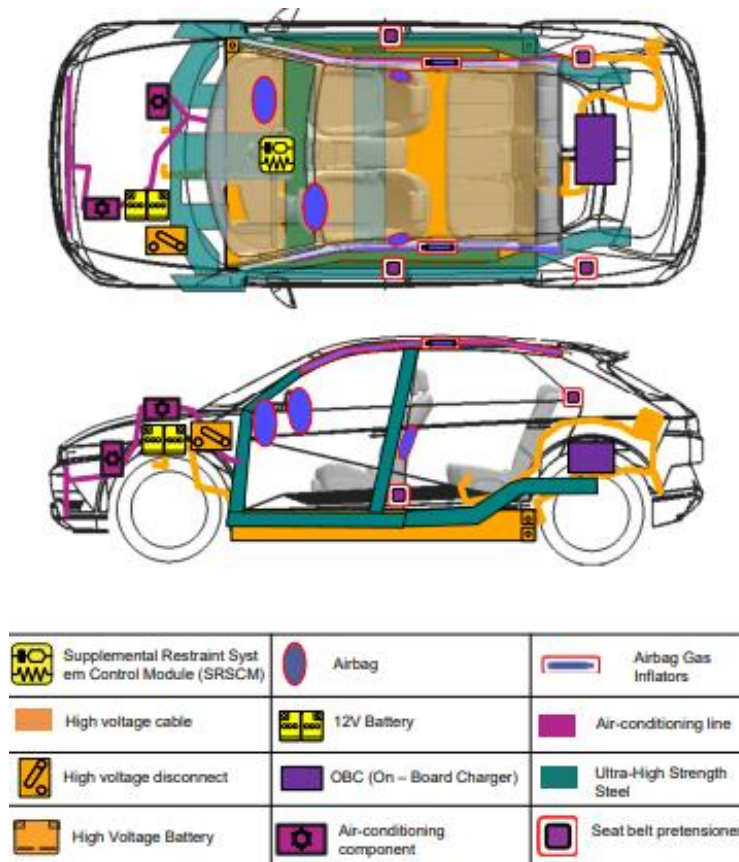
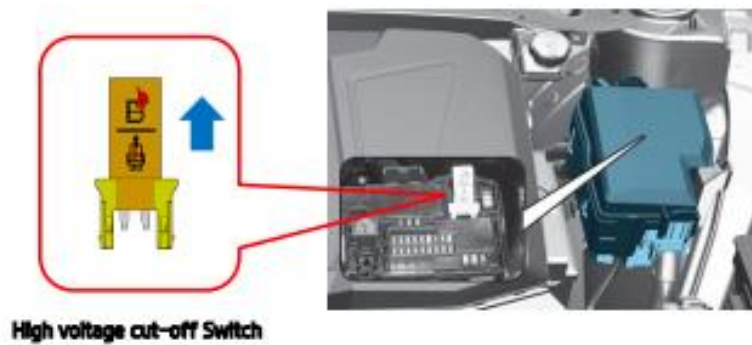


Ilustración 41. Composición interna Hyundai Ioniq 5
Fuente (29): Guía de emergencia Hyundai Ioniq

En este caso se observa como este conector se encuentra en el morro del vehículo frente al motor. En caso de se requiera inhabilitar las posibles amenazas directas derivadas de un accidente, el procedimiento a seguir consta de la desconexión del terminal negativo de la batería auxiliar y, posteriormente, desconectar la alimentación de la batería de alto voltaje mediante dicho conector.

En la ilustración 42 se muestra la ubicación de dicho conector y la forma del mismo, de manera que se facilite su localización.



*Ilustración 42. Localización del conector de alto voltaje
Fuente (29): Guía de emergencia Hyundai Ioniq*

En el caso del Hyundai Kona, el procedimiento a seguir en caso de posible emergencia es el mismo, aunque la distribución interna de los componentes de ese modelo difiere, como se muestra en la ilustración 43:

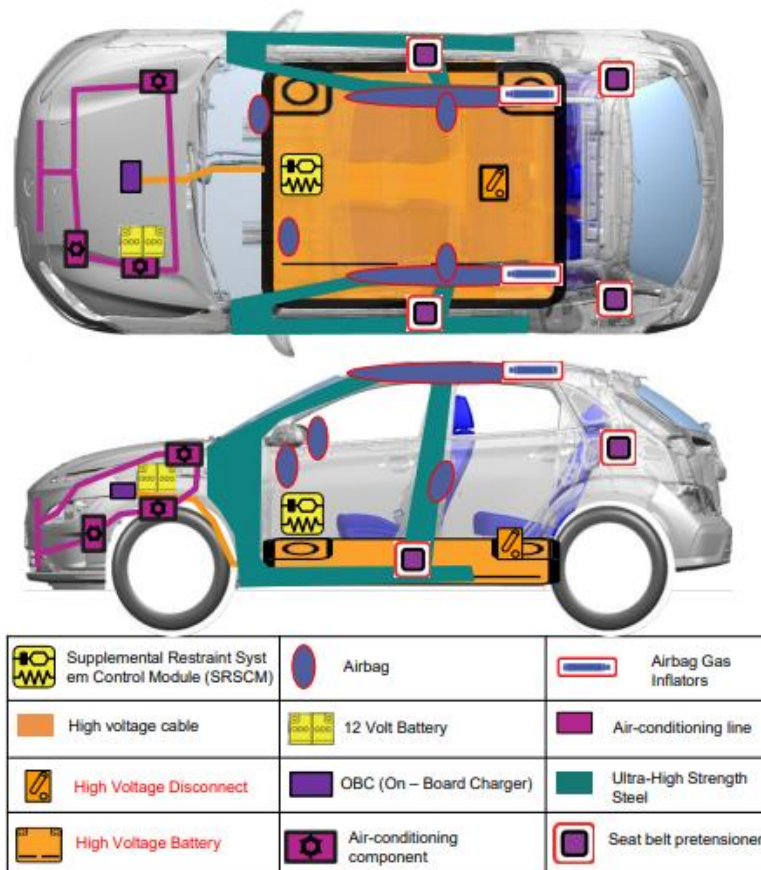


Ilustración 43. Composición interna Hyundai Kona
Fuente (30): Guía de emergencia Hyundai Kona

En dicha imagen se observa como el conector de alto voltaje se encuentra en la parte inferior del vehículo, por lo que el acceso a la misma difiere del modelo anterior. En este caso el procedimiento a seguir para lograr la desconexión de la batería de alto voltaje, se ha de levantar la zona central entre los asientos traseros, encontrar la tapa de servicio ubicada bajo dicha fila y, finalmente, extraer el conector de servicio para eliminar la corriente de la batería de alto voltaje, como indican las ilustraciones 44 y 45.

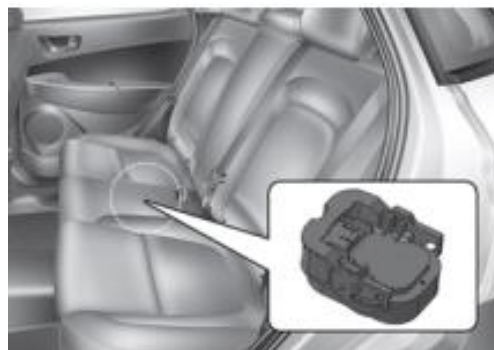


Ilustración 44. Ubicación del conector de alto voltaje



Ilustración 45. Tapa de servicio y conector de alto voltaje

Durante la realización del proyecto se ha realizado el estudio de 22 modelos 100% eléctricos y un modelo híbrido. Estos modelos eléctricos han sido aquellos con un mayor número de ventas a nivel nacional, en el Reino Unido y en los Estados Unidos. Dicho estudio ha permitido elaborar una comparativa de la ubicación de los conectores de las baterías de alto voltaje y auxiliares, como este ejemplo entre los modelos Hyundai Ioniq y Kona.

La ilustración 46 muestra las cuatro ubicaciones principales de los modelos que se muestran en la tabla del anexo I y el porcentaje de los mismos en función a su localización en el interior de los vehículos:

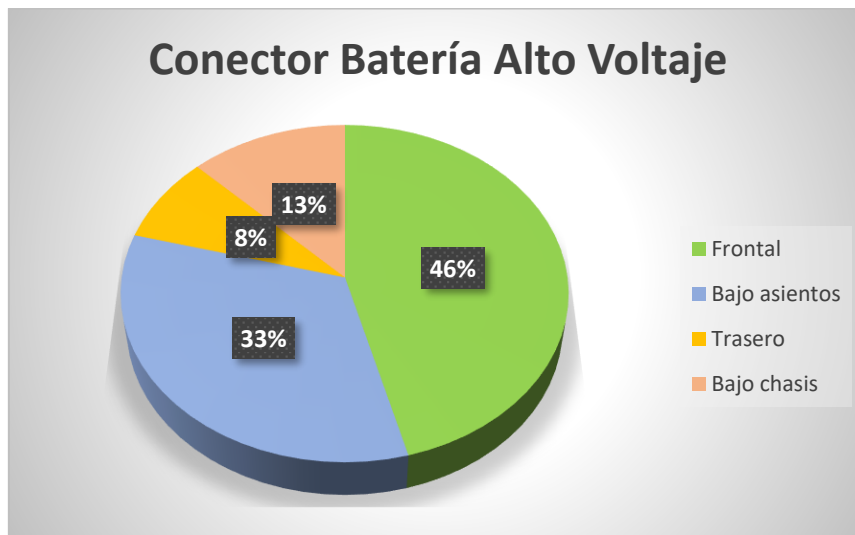


Ilustración 46. Localización del conector de la batería de alto voltaje de los modelos estudiados
Fuente: Elaboración Propia

4.3.4 Dificultad a la hora de identificar los BEV

Otro de los nuevos retos que han aparecido con los coches eléctricos es la dificultad a la hora de identificar estos modelos como eléctricos, es decir, estéticamente, salvo algunos modelos concretos de marcas, como es el caso de Mercedes-Benz, es prácticamente imposible discernir a primera vista si se trata de un modelo eléctrico o de combustión.

Por su parte, es más sencillo identificar los híbridos ya que en estos tipos de vehículos traen dos conectores en el chasis, el de la gasolina y el punto de acceso para el cable de carga de la batería eléctrica.

Para poder obtener una mayor información del modelo se ha de abrir el capó e inspeccionar la presencia de componentes eléctricos que indiquen el tipo de modelo, ya que la batería de alto voltaje y dichos componentes se encuentran en la parte inferior del chasis de los vehículos por lo que el acceso a esta es complicado.

En el caso concreto de Mercedes-Benz, esta marca cuenta con una gama de coches completamente eléctricos, los EQ. Al mismo tiempo cuentan con modelos híbridos, estéticamente idénticos a sus hermanos de combustión ya que, la totalidad de los modelos que comercializaban antes de la introducción en el mercado de los combustibles híbridos o eléctricos, han desembocado en un modelo con un chasis igual, pero con una modificación en sus motores y combustibles.

Estos modelos se pueden identificar en la mayoría de los casos ya que, en la parte trasera de los vehículos cuentan con insignias que indican el combustible empleado por el vehículo, como se observa en la ilustración 47.



Ilustración 47. Insignia Mercedes Clase A 250e

Esta insignia ubicada en la parte posterior del vehículo indica el modelo (Clase A), el motor (250) y el tipo de combustible que emplea (híbrido gasolina).

En algunos países, como es el caso de Alemania, se prohíbe la venta para exportación de estos vehículos con las insignias en la parte trasera de manera que sea más complicado a la hora de identificar en el caso de posible robo, ya que hay grandes cantidades de robos de vehículos de estos modelos de lujo, por lo que, al no disponer de la insignia, no se puede detectar el tipo de motor y de combustible de manera tan sencilla, sin acceder al interior del capó del vehículo.

Actualmente, la DGT ya cuenta con una serie de señales de tráfico que permita indicar la localización de estaciones de carga para dichos BEV, aunque sigue siendo un problema como distinguir estos de un modelo combustión para los servicios de emergencia [60].

Estas nuevas señales de la DGT se muestran en la ilustración 48, diferenciando entre los cargadores para los BEV, estaciones de carga con combustibles alternativos como el GLP y, finalmente, puntos de carga junto con combustibles clásicos como diésel y gasolina.



Ilustración 48. Nuevas señales de tráfico sobre puntos de recarga
Fuente (31): Catálogo de señales de la DGT

5 Soluciones a los retos identificados

5.1 Riesgos particulares en los BEV

Respecto a la particularidad en los riesgos que presentan los BEV, la solución aportada consiste principalmente en un aumento en el presupuesto destinado a la investigación y desarrollo con el objetivo de encontrar materiales con una densidad energética mejor de tal manera que se reduzcan los riesgos asociados a estas baterías.

Ampliar la formación con respecto a los distintos riesgos y la mejora en las capacidades internas de los vehículos, ya sea de compartimentación, ventilación o extracción de calor, supondría una diferencia crucial en el desarrollo de los BEV.

Mejorar estas condiciones y continuar introduciendo tecnologías y elementos electrónicos que aporten una ayuda en ámbitos de seguridad permitiría al sector crecer de manera aún más veloz.

Estas nuevas mejoras y aplicaciones tecnológicas que se puedan introducir en el BMS permitirían al mismo tiempo que los servicios de emergencia tuviesen una información más precisa del estado de ciertos parámetros distintivos y cruciales en la detección de anomalías y, por lo tanto, en la forma de afrontarla los posibles resultados.

Otra solución propuesta es la aplicación de los procedimientos establecidos por la NFPA e IAFC en un mayor número de departamentos de bomberos de tal manera que cuenten con un mayor conocimiento a la hora de actuar, de manera que se puedan reducir los daños derivados de los incendios de los BEV.

5.2 Soluciones en el acceso de información

La falta de información en muchos casos supone una gran problemática, sobre todo al desconocer el método de actuación al mismo tiempo que la incapacidad para realizar dicho procedimiento de una manera eficiente y veloz, asegurando la salud de ocupantes y reduciendo el daño en el entorno derivado de uno de los riesgos ya mencionados.

A nivel nacional encontramos compañías y asociaciones destinadas a aumentar la formación y conocimientos respecto a temas de seguridad relacionados con BEV y derivados.

Una de las más importantes a destacar es Cepreven, que se trata de una asociación sin ánimo de lucro formada en 1975 cuya finalidad es la de aumentar la percepción tanto de profesionales como de usuarios, de los riesgos que conllevan BEV, mediante cursos formativos, intercambios de información y experiencias, etc.

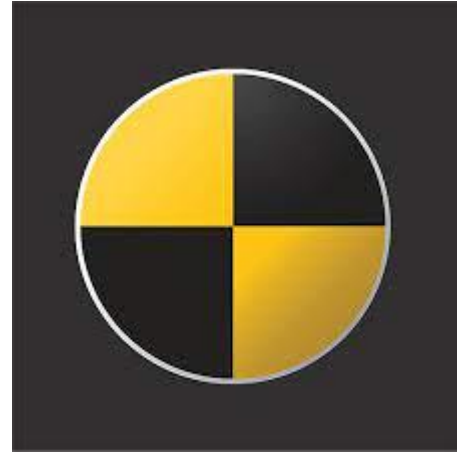
Esta asociación ha creado la entidad Servicios Técnicos CEPRETEC S.L, que se encarga a nivel nacional de servicios técnicos en los ámbitos de seguridad y prevención [61].

A nivel internacional la referencia principal son la NFPA y la IAFC, organizaciones que cuentan con un gran renombre global gracias a la aportación de información, procedimientos y cursos formativos que ofrecen.

Es importante también comentar la existencia de dos aplicaciones móviles creadas en los últimos años, destinadas a mejorar la preparación de cara a situaciones de emergencia.

Estas dos aplicaciones son ANCAP Rescue (Ilustración 49) y EuroRescue (Ilustración 50), ambas aplicaciones diseñadas y promovidas por EuroNCAP, que se trata de un programa de seguridad en los automóviles que cuenta con el apoyo de diversos gobiernos europeos y fabricantes reconocidos.

Estas aplicaciones recogen las hojas de rescate de los distintos modelos eléctricos en el mercado lo que permite aumentar el conocimiento y la forma de abordar situaciones de riesgo al contar con una mayor percepción de la composición y distribución interna.

*Ilustración 50. EuroRescue App**Ilustración 49. ANCAP Rescue App*

Además de estas dos aplicaciones y las asociaciones que fomentan la formación, también se tiene en cuenta la información aportada por los organismos que se encargan de la fabricación del equipo, denominados OEM (Original Equipment Manufacturers).

Estos organismos desempeñan en muchas ocasiones un papel fundamental en la distribución de información y conocimiento respecto a la composición de los vehículos y los riesgos que llevan implícitos ya que son la primera línea de producción y, por lo tanto, los primeros que disponen de la información más sensible respecto a los elementos que componen el vehículo y los riesgos que pueden derivar en caso de accidentes.

Como cada vez se tienen en cuenta un mayor número de avances y se emplea un número más elevado y complejo de tecnologías, también conlleva una serie de riesgos a nivel de seguridad, como puede ser la ciberseguridad de los elementos electrónicos de los modelos que dependan o lleven incorporados elementos tecnológicos [62].

Una de las posibles soluciones que se puede encontrar a esta falta de información consistiría en la aplicación legislativa de una norma que obligue a los fabricantes de los vehículos a hacer pública la información más sensible respecto a la composición de sus baterías, de tal forma que el acceso a la misma fuese mucho más sencillo facilitando de esta forma el conocimiento y entendimiento acerca de las baterías eléctricas.

5.3 Soluciones respecto a la heterogeneidad de BEV

En esta sección se recogen las diversas propuestas de solución a la problemática derivada de la gran diferencia entre los modelos en el mercado automovilístico eléctrico, así como la dificultad intrínseca de localizar e identificar estos vehículos como eléctricos.

Soluciones a las diferencias entre los modelos

Las diferencias estéticas y de rendimiento son lógicas debido al tipo de mercado, en cambio, las opciones de seguridad sí son un punto que deberían tener en común los distintos vehículos, con el objetivo final de conseguir una mayor eficiencia a la hora de combatir riesgos.

Como se pudo ver en el punto 3.3.3, uno de los aspectos más diversos a la hora de tener en cuenta en ámbitos de seguridad, es el acceso a las baterías de alto voltaje ya que son estas la que aportan una carga eléctrica con una mayor potencia y se encargan de alimentar al resto del vehículo por lo que es imprescindible asegurar que, en caso de emergencia, la desconexión del voltaje eléctrico que circula por el vehículo sea total, evitando de tal manera una posible reignición.

El método más simple para solucionar estas diferencias apreciadas en los distintos modelos, como la posibilidad de que el acceso se encuentre, o bien en la parte frontal, bajo los asientos o junto al volante en la caja de fusibles, es la aplicación a nivel legislativo de una normativa que estandarice la ubicación de estos accesos.

Es decir, obligar a los fabricantes de los vehículos a seguir un estándar fijo en la ubicación de los conectores de servicio de las baterías de alto voltaje, así como de las baterías auxiliares de tal manera que los servicios de emergencia puedan realizar sus labores de emergencia, extracción y extinción de manera más segura al tener un conocimiento exacto de la ubicación de estos puntos sensibles sin tener que acudir a la guía concreta de emergencia del vehículo en cuestión, lo que mejoraría la actuación de estos profesionales al mismo tiempo que se reduciría el tiempo de actuación y, por ello, la seguridad pública de usuarios y alrededores.

Otra posible opción destinada a la mejora de la seguridad de los vehículos, podría ser la creación de un sistema de puntuación voluntario similar al de la NCAP (Ilustración 51), basado en ensayos y test que permitan evaluar la seguridad del pack de acuerdo a unos criterios previamente establecidos como adecuados [63].

Make & Model	Safety Equipment	Overall rating	Adult Occupant	Child Occupant	Pedestrian	Vehicle-to-Pedestrian
Tesla Model S	Standard	★★★★★	94%	91%	85%	98%
Tesla Model Y	Standard	★★★★★	97%	87%	82%	98%
Mercedes-EQ EQE	Standard	★★★★★	95%	91%	83%	81%
smart #1	Standard	★★★★★	96%	89%	71%	88%
Hyundai IONIQ 6	Standard	★★★★★	97%	87%	66%	90%
NIO ET7	Standard	★★★★★	91%	87%	73%	95%
ORA Funky Cat	Standard	★★★★★	92%	83%	74%	93%
Subaru Solterra	Standard	★★★★★	88%	87%	79%	91%

Ilustración 51. Estándar de calidad de la NCAP

Soluciones a la identificación de vehículos

Como se pudo ver en el punto 3.3.4, no es tan sencillo identificar los modelos eléctricos. Es por esta misma razón que la solución a aplicar también parte desde el punto de vista legislativo y normativo.

Actualmente existe una normativa vigente que obliga a los fabricantes de vehículos de emplear el color naranja para identificar los cables de alto voltaje (ilustración 45), como es el caso del Real Decreto 281/2020 [64].



Ilustración 52. Cableado de alto voltaje Opel Mokka

De este mismo modo se propone la aplicación de una normativa que estandarice el empleo de una etiqueta indicativa situada en el chasis exterior del coche de manera que sea visible para todos, que señalice que se trata de un modelo eléctrico sin tener que acceder al interior del mismo.

Teniendo en cuenta también la solución presentada de la creación de un software aplicable al BMS que ofrezca un intercambio de información continuo entre el estado de la batería, los usuarios y los servicios de emergencia, también se podría añadir a estos vehículos y a este software una identificación tanto del modelo del vehículo y de su combustible como de la batería y de una tarjeta de localización para que, en caso de emergencia, se tenga presente en todo momento la ubicación del vehículo, agilizando de este manera no sólo la identificación del tipo de modelo, sino también la localización del mismo y, por lo tanto, una mayor velocidad a la hora de alcanzarlo por parte de los servicios de emergencia.

En la actualidad, usando también Mercedes-Benz como ejemplo, los vehículos más modernos cuentan con un software nombrado Mercedes-Me que ofrece diversos servicios de atención al cliente en caso de emergencia, como ubicación y contacto directo con el centro de asistencia local más próximo a la zona de detención del vehículo.

Este software incluido podría estar vinculado al BMS de tal manera que también alerte al instante a la policía, bomberos, etc. de una posible situación de riesgo.

6. Discusión

Durante la realización del proyecto se han encontrado estos diversos retos para los servicios de emergencias en el caso de incidentes en los que se ve involucrado algún BEV. A destacar, la existencia de nuevos riesgos eléctricos y de incendio de las baterías de tracción, que resultan difíciles de extinguir y tienen gran riesgo de reignición.

En ese sentido, los servicios de emergencia necesitan formación para saber gestionar estos nuevos riesgos de forma adecuado, y modificar sus procedimientos de actuación, tanto ofensivos como defensivos. Más allá de esto, hay otras medidas que se pueden implementar para facilitar el trabajo a los equipos de emergencia.

Una de las soluciones aportadas consiste en la realización de una mayor inversión por parte del gobierno en la investigación y desarrollo de las baterías, de tal manera que se sigan estudiando hasta encontrar aquellos materiales que ofrezcan una mayor seguridad a la propia batería, así como el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan un proceso interno a nivel de compartimentación y extinción del fuego. Esta se trata de una solución no inmediata y que requiere de colaboración entre industria, centros de investigación y instituciones financiadoras.

Seguidamente nos encontramos con la problemática de la escasez de información en diversos aspectos de las baterías, como era el caso de la tipología de celda, la seguridad a nivel de pack, el estado interno de la batería, etc. lo cual dificulta la evaluación del riesgo en cada caso particular. Como solución aportada a esta problemática se encuentra la aplicación de una norma dirigida a los fabricantes de las baterías de los modelos eléctricos para cerciorar un mayor grado de información accesible públicamente sobre estos elementos, así como los posibles métodos de actuación y vías de mejora. Este tipo de mejora no tiene una gran dificultad ya que dicha información únicamente tendría efectos beneficiosos tanto para los servicios de emergencia como para investigadores y usuarios.

Otro factor que se encontró desde el punto de vista de la información es la falta de una información en tiempo real sobre el estado de seguridad del BEV aportado por el propio software y hardware del BEV, Podría desarrollarse tecnología que en base a información facilitada por el sistema de gestión de las baterías (BMS) y la central de control del vehículo (VCU) podría evaluar el riesgo, e informar de modo continuo a los servicios de emergencia de cualquier cambio o incidencia reseñable. Hoy en día, en ocasiones, se usan cámaras térmicas de modo manual para monitorizar el BEV tras una incidencia, pero esto sería una solución más adecuada.

Como último gran problema se encuentra la gran diversidad de modelos presente en el mercado y las complicaciones que esto conlleva a nivel de procedimientos de actuación para los equipos de emergencia.

Respecto a sus puntos de acceso a la batería de tracción o alto voltaje, la solución aportada también parte del punto de vista legislativo, creando una norma que obligue a los fabricantes a partir de un punto de vista común y estandarizar dicho conector, facilitando las tareas de desconexión de dicha batería de alto voltaje desde la misma ubicación indistintamente del modelo. Se trata de una solución sencilla de implementar para el legislador, pero que puede encontrar resistencia por parte del OEM. En una línea semejante, ya existen normativas respecto al color e identificación del cableado, así que establecer una localización concreta de estos elementos para todos los vehículos no parece un escollo insalvable.

De este mismo modo se presenta la propuesta del establecimiento de una normativa para etiquetar los BEV de manera que puedan ser identificados de una manera más sencilla y rápida, o que incluso pueden identificarse por tecnología inalámbrica.

Para concluir esta sección es necesario aportar que, no todas las hipótesis estudiadas cumplen con lo esperado. En este caso se han encontrado dos diferencias importantes a la idea original cuando se comenzó este proyecto.

1. En primer lugar, se pensaba que el porcentaje de incendio y la facilidad para lo mismo era superior en el caso de los BEV ante los ICEV, aunque, como se ha podido ver en el punto 4.1.1, los incendios en los segundos son estadísticamente más probables que en los BEV.
Ahora bien, sabiendo esto, se confirma a la vez que la gravedad y la complejidad de afrontar los fuegos en los BEV se encuentra varios niveles por encima de los ICEV.
2. Otra de las hipótesis iniciales era la inexistencia de procedimientos en casos de emergencia a la hora de combatir fuegos derivados de los BEV. Aunque en la mayoría de los casos es así, existen varias organizaciones como la NFPA y la IAFC como se menciona en el punto 3.4, que sí disponen de una hoja de ruta marcada para combatir estas emergencias.
3. Finalmente, otro de los casos era la falta de información a nivel seguridad de los modelos de BEV, aunque, como se ha visto en el 5.2 y 5.3, existen ciertas aplicaciones y webs que aumentan la información al usuario y a los servicios de emergencia de los niveles de protección de los distintos vehículos en el mercado.

7. Conclusión y Líneas futuras de investigación

Tras la realización de este análisis crítico, se ha tenido en cuenta una amplia profundización en el mercado del automóvil eléctrico, lo que ha llevado a permitir discernir una clara necesidad de continuidad en el desarrollo y en la investigación.

Ciertamente se conoce que cuentan con diversos métodos y tecnologías destinadas a tratar de disminuir la repercusión de los accidentes, orientadas tanto a la prevención y detección temprana de parámetros críticos que puedan derivar en fuga térmica como a los procedimientos de emergencias resultado de los posibles abusos que pueda sufrir la batería.

Ahora bien, si se atiende al punto de vista de la información publicada y de fácil acceso, se evidencia un vacío en este ámbito lo que complica una mayor comprensión tanto de aquellos profesionales destinados a combatir los resultados de una emergencia, como de los propios usuarios que tengan en mente la opción de optar por un cambio de combustible. Esta desinformación puede generar desconcierto y desconfianza por parte del público lo que puede llegar a significar en una disminución drástica en su nicho de mercado y, por ello, en la posible inversión destinada.

Si se tiene en cuenta la propia seguridad del vehículo y sus componentes internos cabe concluir que, pese a la existencia y uso de tecnologías y procedimientos como el BMS o sistemas de compartimentación, siguen existiendo campos de mejora, con el objetivo final de mejorar la seguridad y facilitar las actuaciones a los servicios de emergencia.

Respecto a la heterogeneidad de los vehículos se puede observar una profunda brecha entre los modelos, tanto en dimensiones, capacidad útil como en aquellos aspectos más sensibles a destacar como la localización de las baterías y su complejidad a la hora de realizar una correcta desconexión de los voltajes.

Para combatir parte de esta diversidad se atienden a las guías de respuestas de emergencias de los fabricantes aunque la NTSB ha concluido en uno de sus estudios que en la mayoría de estas guías de respuesta de los fabricantes no existen detalles concretos orientados a los bomberos para indicar cómo apagar estos fuegos [65].

Esto supone una gran problemática para los servicios de emergencia en márgenes de tiempo, eficiencia y seguridad, por lo que la aplicación de normativas que promuevan la estandarización en estas diferencias más perceptibles significaría un gran paso adelante.

De cara al futuro, varias de las soluciones presentadas durante la realización del trabajo requieren un desarrollo más profundo, sobre todo aquellas aplicaciones con una raíz y fundamentación tecnológica como puede ser el caso del software de comunicación en tiempo real entre BEV y servicios de emergencia con el objeto de tanto facilitar un diagnóstico y/o pronóstico de la seguridad como de la identificación del BEV.

Otro campo dónde se ha de realizar un mayor hincapié es en el desarrollo de nuevos materiales que tengan como fin la mejora del rendimiento y la seguridad interna de las baterías, así como la creación de nuevos métodos de compartimentación del fuego, sistemas de extinción a bordo, y sistemas de refrigeración de emergencia.

Como se comentaba al principio, en la motivación del trabajo, el tiempo de actuación es crucial en las tareas de los servicios de emergencia de asegurar el bienestar de los usuarios y ocupantes del vehículo, por lo que la aplicación de estas mejoras y procedimientos de una manera más globalizada tendría una fuerte repercusión en la tarea más importante de todas: salvar vidas.

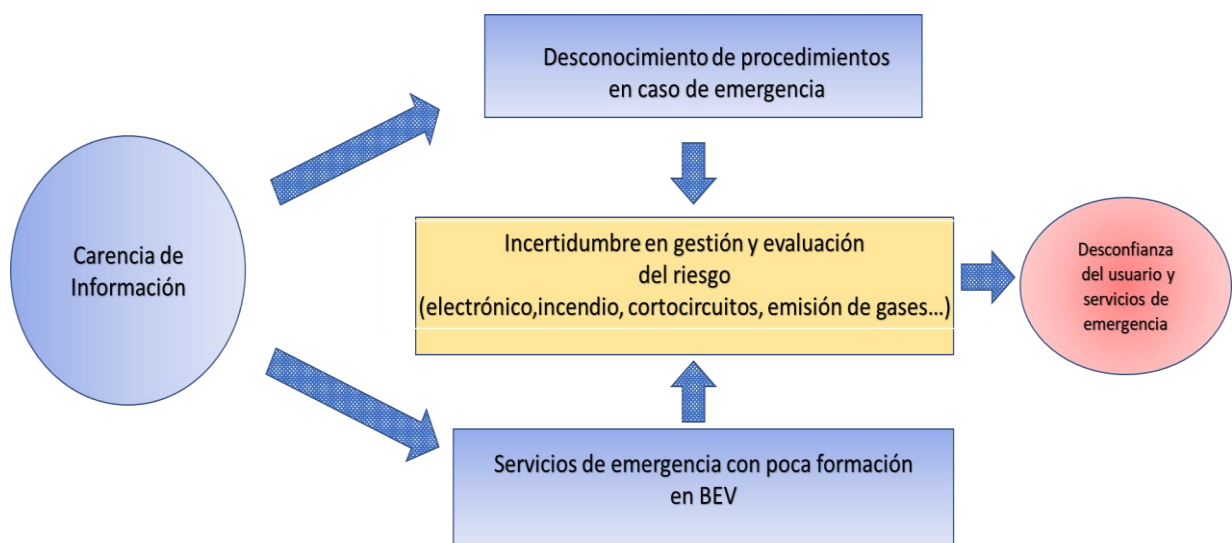


Ilustración 53. Figura resumen de la conclusión (1)

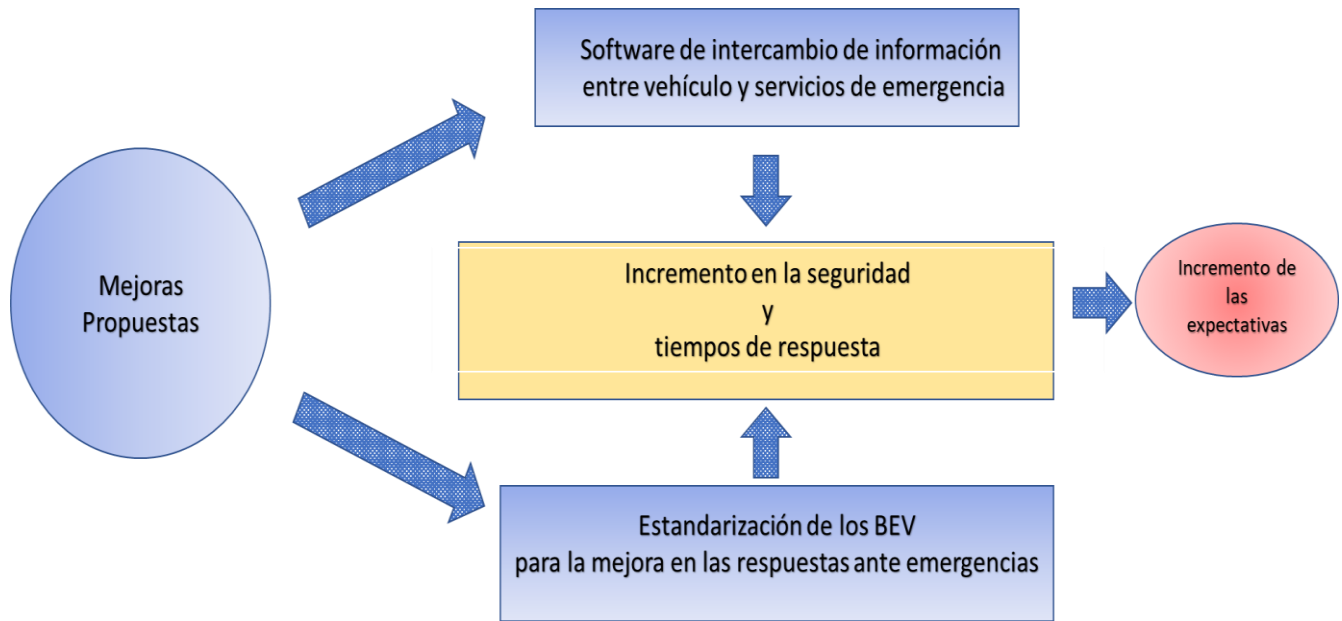


Ilustración 54. Figura resumen de la conclusión (2)



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Bibliografía

- [1] «El bombero que alerta sobre los incendios de coches eléctricos: “No tenemos ni los conocimientos ni los materiales” | SoyMotor.com». <https://soymotor.com/coches/articulos/el-bombero-que-alerta-sobre-los-incendios-de-coches-electricos-no-tenemos-ni-los> (accedido 3 de junio de 2023).
- [2] «Video: Arde un coche eléctrico en un garaje en Pilas». https://www.diariodesevilla.es/provincia/Arde-coche-electrico-garaje-Pilas-video_0_1796821084.html (accedido 3 de junio de 2023).
- [3] «Three cars burnt down as electric vehicle catches fire in a parking lot | HT Auto». <https://auto.hindustantimes.com/auto/news/three-cars-burnt-down-as-electric-vehicle-catches-fire-in-a-parking-lot-41674368409090.html> (accedido 10 de junio de 2023).
- [4] «What Makes Electric Vehicle Fires So Difficult To Extinguish? [Video]». <https://scitechdaily.com/what-makes-electric-vehicle-fires-so-difficult-to-extinguish-video/> (accedido 10 de junio de 2023).
- [5] «Oklahoma City Fire Department tries new technology to battle electric car fires». https://news.yahoo.com/oklahoma-city-fire-department-tries-150608794.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAABZPWgG4xTzacwc8XVluv-pg411VrJslDfMpvnrCdaUbBPGFffUkm7iZRq7iq92fOer24cJhsqcnsPI0_INgukrZK13svnJz-YU-ZRsUPxXdYjPIKpc5pXFMc11JYFC43ocUYKMvGii1Oj4kX5aSTCyflX9TFjmnsGWhZ4ETIXN (accedido 10 de junio de 2023).
- [6] «EV fires are a major weakpoint for Fire Departments: NTSB report». <https://www.teslarati.com/ev-fires-ntsb-study/> (accedido 12 de junio de 2023).
- [7] «Combustión interna – Componentes». <https://www.sernauto.es/mapa-componentes/combustion-interna/> (accedido 10 de junio de 2023).
- [8] «Anatomía de un coche eléctrico: su sencilla mecánica, al desnudo». <https://www.motorpasion.com/coches-electricos/anatomia-coche-electrico-su-sencilla-mecanica-al-desnudo> (accedido 24 de abril de 2023).
- [9] «Funcionamiento de las baterías - Yuasa». <https://www.yuasa.es/informacion/automocion-comercial-servicios-nautica/funcionamiento-de-las-baterias/> (accedido 25 de abril de 2023).
- [10] M. Fichtner, «Recent Research and Progress in Batteries for Electric Vehicles», *Batter Supercaps*, vol. 5, n.º 2, feb. 2022, doi: 10.1002/batt.202100224.
- [11] National Transportation Safety Board, «Safety Risks to Emergency Responders from Lithium-Ion Battery Fires in Electric Vehicles», pp. 0-80, nov. 2013.
- [12] «Battery Comparison of Energy Density - Cylindrical and Prismatic Cells». <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html> (accedido 3 de junio de 2023).

- [13] «Electric Car Batteries and Characteristics | Omazaki Group». <https://www.omazaki.co.id/en/electric-car-batteries-and-their-characteristics/> (accedido 10 de junio de 2023).
- [14] Y.-L. Ding *et al.*, «Automotive Li-Ion Batteries: Current Status and Future Perspectives».
- [15] Q. Xia, Z. Wang, Y. Ren, B. Sun, D. Yang, y Q. Feng, «A reliability design method for a lithium-ion battery pack considering the thermal disequilibrium in electric vehicles», *J Power Sources*, vol. 386, pp. 10-20, may 2018, doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.03.036.
- [16] X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu, Y. Xia, y X. He, «Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review», *Energy Storage Materials*, vol. 10. Elsevier B.V., pp. 246-267, 1 de enero de 2018. doi: 10.1016/j.ensm.2017.05.013.
- [17] V. Ruiz, A. Pfrang, A. Kriston, N. Omar, P. Van den Bossche, y L. Boon-Brett, «A review of international abuse testing standards and regulations for lithium ion batteries in electric and hybrid electric vehicles», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81. Elsevier Ltd, pp. 1427-1452, 1 de enero de 2018. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.195.
- [18] X. Wu *et al.*, «Safety issues in lithium ion batteries: Materials and cell design», *Frontiers in Energy Research*, vol. 7, n.º JUL. Frontiers Media S.A., 2019. doi: 10.3389/fenrg.2019.00065.
- [19] «EL TRIANGULO DEL FUEGO». <http://www.aelaf.es/el-triangulo-del-fuego/> (accedido 10 de junio de 2023).
- [20] E. A. Grunditz y T. Thiringer, «Performance analysis of current BEVs based on a comprehensive review of specifications», *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 2, n.º 3. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., pp. 270-289, 1 de septiembre de 2016. doi: 10.1109/TTE.2016.2571783.
- [21] «Guía sobre Soluciones integradas de protección contra incendios para baterías de iones de litio», 2022. [En línea]. Disponible en: www.euralarm.org
- [22] «Emergency Response to Incident Involving Electric Vehicle Battery Hazards». <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Electrical/Emergency-Response-to-Incident-Involving-Electric-Vehicle-Battery-Hazards> (accedido 10 de junio de 2023).
- [23] «Extintor F500 para incendios en vehículos eléctricos». <https://www.eurofesa.es/boletin/nuevo-extintor-con-agente-f-500-para-sofocar-incendios-en-vehiculos-electricos/> (accedido 10 de junio de 2023).
- [24] L. Bravo Díaz *et al.*, «Review—Meta-Review of Fire Safety of Lithium-Ion Batteries: Industry Challenges and Research Contributions», *J Electrochem Soc*, vol. 167, n.º 9, p. 090559, ene. 2020, doi: 10.1149/1945-7111/aba8b9.
- [25] F. José y M. Sierra, «TRABAJO FIN DE MÁSTER VEHÍCULOS ELÉCTRICOS. ANÁLISIS DEL RIESGO DE INCENDIO: ORIGEN, CAUSAS, FACTORES, CONSECUENCIAS Y ALTERNATIVAS».
- [26] «protección contra incendios, seguridad activa y pasiva». https://www.seguritecnia.es/actualidad/proteccion-contra-incendios-principales-sistemas-y-medidas-de-prevencion_20220117.html (accedido 25 de abril de 2023).

- [27] «Alternative Fuel Vehicle (AFV) Safety Training | NFPA». <https://www.nfpa.org/EV> (accedido 11 de junio de 2023).
- [28] «Electric and Hybrid Vehicle Quick Reference Fire Service Edition», 2014, Accedido: 12 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: www.evsaftytraining.org
- [29] «respondingtoelectricalvehiclefires».
- [30] «Top 10 Causes of Car Fires | HowStuffWorks». <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/accidents-hazardous-conditions/10-causes-of-car-fires.htm#page=10> (accedido 9 de junio de 2023).
- [31] «Esta Nochevieja “sólo” ardieron 874 coches en Francia. Una sórdida tradición que no parece que vaya a desaparecer». <https://www.motorpasion.com/otros/esta-nochevieja-solo-ardieron-874-coches-francia-sordida-tradicion-que-no-parece-que-vaya-a-desaparecer> (accedido 9 de junio de 2023).
- [32] «EV Fires: Less Common But More Problematic? | IDTechEx Research Article». <https://www.idtechex.com/en/research-article/ev-fires-less-common-but-more-problematic/25749> (accedido 9 de junio de 2023).
- [33] F. Larsson y P. Andersson, *4 ARE ELECTRIC VEHICLES SAFER THAN COMBUSTION ENGINE VEHICLES?*
- [34] «Recherche de documents | Ineris». <https://www.ineris.fr/fr/base-documentaire> (accedido 11 de junio de 2023).
- [35] «Fire Protection and Ventilation | DEKRA». <https://www.dekra.com/en/fire-protection/> (accedido 11 de junio de 2023).
- [36] «02 - What is EV FireSafe? | EV Fire Safe». <https://www.evfiresafe.com/what-is-ev-firesafe> (accedido 11 de junio de 2023).
- [37] «04.10 EV fire reignition | EV Fire Safe». <https://www.evfiresafe.com/ev-fire-reignition> (accedido 11 de junio de 2023).
- [38] «Un naufragio de 20.000 coches: la historia del Felicity Ace». <https://www.esquire.com/es/coches/a41963798/felicity-ace-hundimiento-coches-lujo/> (accedido 11 de junio de 2023).
- [39] «BU-702: How to Store Batteries - Battery University». <https://batteryuniversity.com/article/bu-702-how-to-store-batteries> (accedido 11 de junio de 2023).
- [40] A. F. Blum y C. R. Thomas Long Jr, «Hazard Assessment of Lithium Ion Battery Energy Storage Systems FINAL REPORT PREPARED BY», 2016.
- [41] V. Schadenverhütung GmbH, «Lithium Batteries».
- [42] «How specialised battery warehouses facilitate Europe’s electric vehicle surge | Maersk». <https://www.maersk.com/news/articles/2023/03/14/electric-vehicle-battery-warehouse-storage> (accedido 11 de junio de 2023).

- [43] «Maersk opens specialised warehouse for electric car batteries | Maersk». <https://www.maersk.com/news/articles/2022/11/15/maersk-opens-specialised-warehouse-for-electric-car-batteries> (accedido 11 de junio de 2023).
- [44] «Quintana Bea - Diseño de celdas y BMS para una batería de Ion-Litio integrada en un prototipo de moto de competición totalmente eléctrica».
- [45] C. Valdivia Miranda y C. Monzo Sánchez Aleix Lopez Anton, «Diseño de un BMS para baterías de tecnología Li-ion», 2018.
- [46] D. De *et al.*, «UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño».
- [47] L. Bravo Diaz *et al.*, «Review—Meta-Review of Fire Safety of Lithium-Ion Batteries: Industry Challenges and Research Contributions», *J Electrochem Soc*, vol. 167, n.º 9, p. 090559, ene. 2020, doi: 10.1149/1945-7111/aba8b9.
- [48] «¿Qué es y para qué sirve el sistema de gestión de baterías BMS?» <https://www.cambioenergetico.com/blog/sistema-gestion-bateria-bms/> (accedido 11 de junio de 2023).
- [49] «Ranking de ventas de coches eléctricos 2022». <https://www.motor.es/noticias/ranking-ventas-coches-electricos-2022-202285302.html> (accedido 1 de junio de 2023).
- [50] «Dacia Spring Electric (2021) price and specifications - EV Database». <https://ev-database.org/car/1319/Dacia-Spring-Electric> (accedido 4 de junio de 2023).
- [51] L. Christophe, «Rescue Sheet Dacia Spring», 2021.
- [52] «MaNual de utilizaciÓn Spring ElEctric».
- [53] «Kia EV6 Long Range 2WD (2021-2023) price and specifications - EV Database». <https://ev-database.org/car/1481/Kia-EV6-Long-Range-2WD> (accedido 4 de junio de 2023).
- [54] «■ Immobilisation».
- [55] «MINI Electric - modelos, acabados y opciones | MINI ES». https://www.mini.es/es_ES/home/range/electric/models-and-options.html (accedido 4 de junio de 2023).
- [56] «smart_smart_fortwo__Coupé_2017_3d_Electric_EN_453.39v2.0».
- [57] M. Cooper, «OWNER'S MANUAL».
- [58] «IONIQ 5 Emergency Response Guide Contents».
- [59] «KONA Electric Emergency Response Guide Contents».
- [60] «Así identifica la DGT a los coches eléctricos y las electrolinerías». <https://neomotor.epe.es/conduccion/asi-identifica-la-dgt-a-los-coches-electricos-y-las-electrolinerias-DJNM8498> (accedido 4 de junio de 2023).
- [61] «Asociación para la prevención y protección de riesgos». <https://www.cepreven.com/> (accedido 5 de junio de 2023).



- [62] «Advanced Analytics for Connected Vehicles | Upstream». <https://upstream.auto/platform/advanced-analytics/> (accedido 5 de junio de 2023).
- [63] «Euro NCAP | Electric Vehicles». <https://www.euroncap.com/en/ratings-rewards/electric-vehicles/#?selectedMake=0&selectedMakeName=Select%20a%20make&selectedModeI=0&selectedStar=&includeFullSafetyPackage=true&includeStandardSafetyPackage=true&selectedModelName=All&selectedProtocols=49446,45155&selectedClasses=1202,1199,1201,1196,1205,1203,1198,1179,40250,1197,1204,1180,34736,44997&allClasses=true&allProtocols=false&allDriverAssistanceTechnologies=false&selectedDriverAssistanceTechnologies=&thirdRowFitment=false> (accedido 5 de junio de 2023).
- [64] M. DE Educación Y Formación Profesional, «Disposición 7687 del BOE núm. 111 de 2021», 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es>
- [65] «National investigation finds potential deadly gaps in electric vehicle fire training | WRGT». <https://dayton247now.com/news/nation-world/national-investigation-finds-potential-deadly-gaps-in-electric-vehicle-fire-training> (accedido 12 de junio de 2023).