

7ª Edición DÍA DEL FUEGO DE MADRID  
“TRANSFORMANDO LOS RETOS EN OPORTUNIDADES”.  
INSTITUTO DE LA INGENIERÍA DE ESPAÑA

*Consideraciones relativas al fuego en vehículos eléctricos*

**INSIA**  
CENTRO SUPERIOR  
DE INVESTIGACION DEL AUTOMOVIL  
DE LA COMUNIDAD DE MADRID



Instituto Universitario de Investigación del Automóvil.

Martes, 21 de noviembre de 2023..

Enrique Alcalá Fazio.



# INSIA. 30 años de I+D<sup>2</sup>



# Experiencia en fuego



## United Nations

Miembros de las delegaciones Españolas en Ginebra:

- GRSG
- GRPE
- ...

## Ensayos

- Reglamento Nº 118
- UL 94v

## Laboratorio





# Casos

Ejemplos de incidentes

## Incendio en un buque



## Incendio autobús Urbano



## Incendio Post-Colisión



# DE CELDA A PACK – BATTERY PACK INT39

## Pack

Switchbox  
(FMS -  
Master)

3xSubpack

## Sub-Pack

3xModule

Cooling plates

## Module

20s1p

FSS - Slave



Cell	chemistry	NMC	
	cell min voltage	3	V
	cell nom voltage	3.65	V
	cell max voltage	4.2	V
	cell nameplate capacity	60	Ah
	cell derating	0	%
	cell capacity	60	Ah
	Max C charge	1C, up to 1.8C under specific conditions, to be accorded with LSA	

Technical Data – INT39	
Energy	39.4kWh
Configuration	9x(20s1p)
Weight	343 kg
Voltage (nominal)	657 V
Dimensions (L x W x H) in mm	405 x 615 x 1260

### 3. DE CELDA A PACK - Leclanché Module Technology



Separadores de aluminio entre cada celda para mejorar la transferencia de calor.

PCB de medición de voltaje y temperatura

Tiras de compresión de bajo peso instaladas de forma automatizada

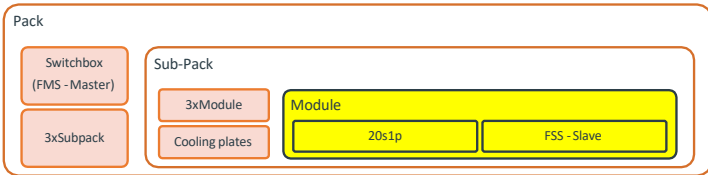
Functional Safe Slave – FSS PCB esclava del máster que lee los datos de voltaje y temperatura bajo certificación SIL2

Unión de celdas mediante soldadura barras de cobre

Capa separadora hecha de material ignífugo para mejorar la seguridad y reducir el impacto de un Thermal Runaway

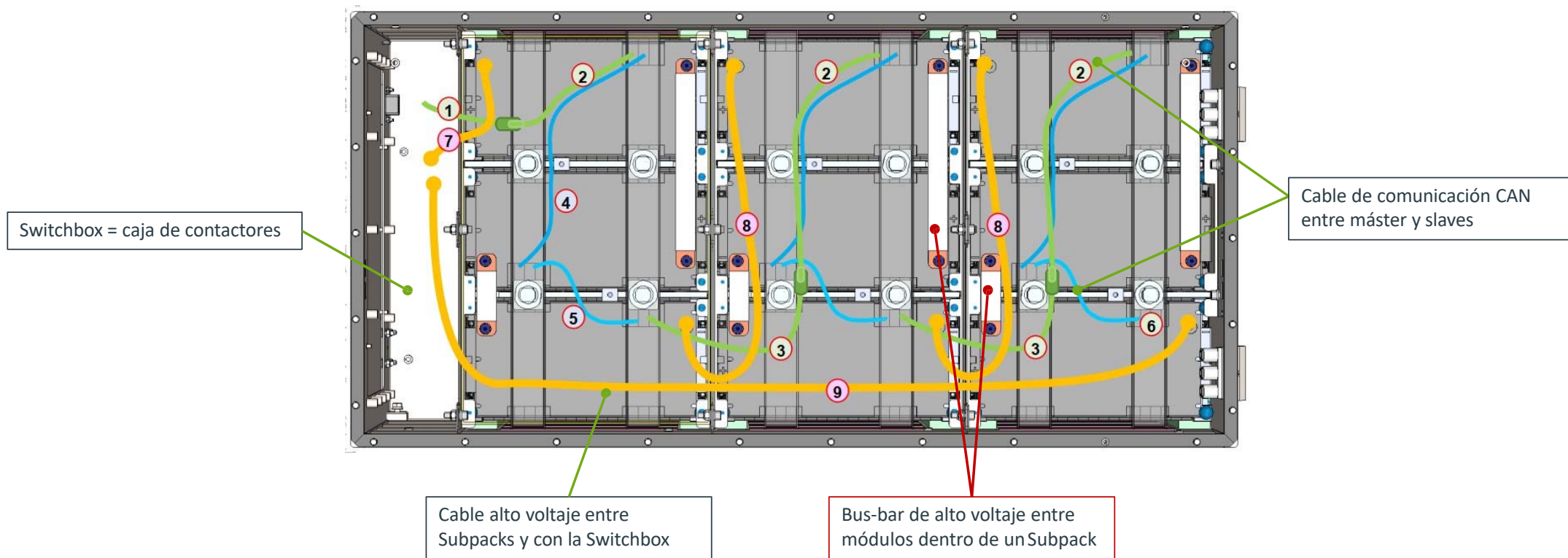


Trazabilidad de cada producto mediante código QR

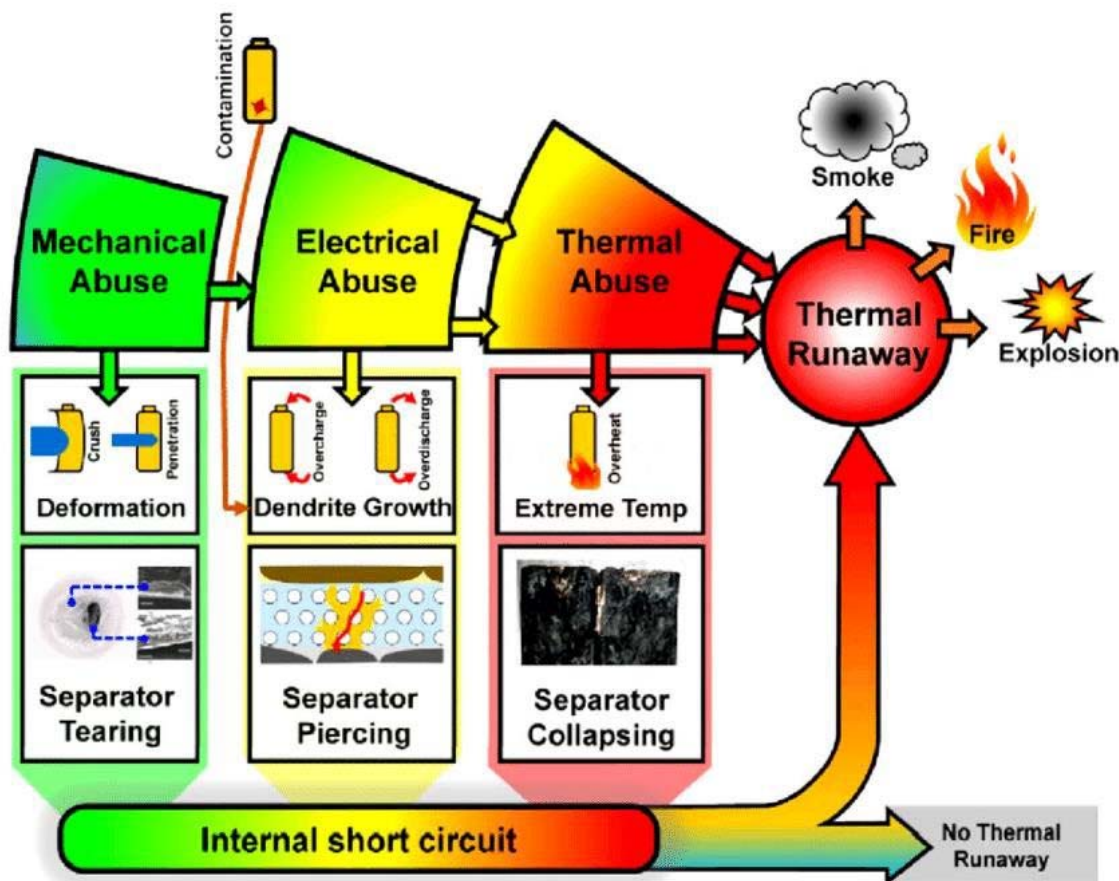


Cortesía de 

# DE CELDA A PACK – ESTRUCTURA DE UN PACK



# SEGURIDAD – EL MÁS TEMIDO: THERMAL RUNAWAY



## RIESGO THERMAL RUNAWAY

### ¿Por qué se produce?

- Abuso mecánico
- Abuso eléctrico
- Abuso térmico

### ¿Consecuencias?

- Combustión autoalimentada, el oxígeno de la combustión procede del interior de la celda
- Gases nocivos
- Riesgos de propagación del fuego a personas o sistemas adyacentes

### ¿Cómo evitarlo?

- Seguridad activa: sistemas de seguridad del BMS que evitan que el usuario utilice el producto fuera de sus especificaciones
- Seguridad pasiva: incluir en el diseño de la batería barreras que limiten la expansión y propagación de la combustión
  - Cortafuegos internos
  - Fundas ignífugas
  - Mantas ignífugas
  - Materiales no combustibles

Cortesía de  Leclanché  
Energy Storage Solutions



# La lista de accidentes por incendio selectivo de VE ocurridos en 2018

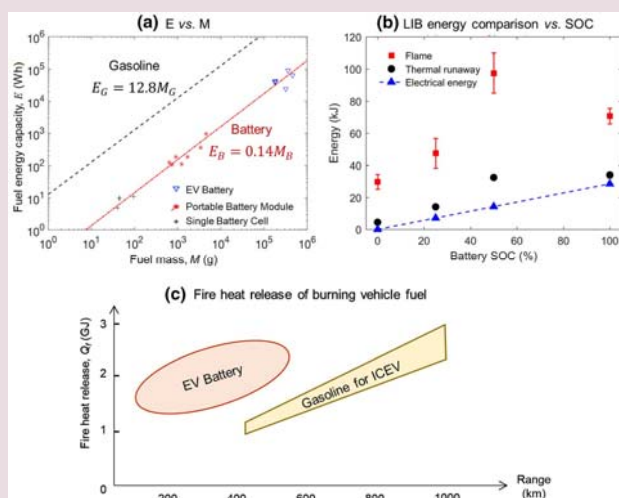


Fecha	Lugar	Vehículo	Incidente	Comentarios
<b>Ene [8]</b>	<b>Chongqing, China</b>	<b>Tesla, BEV</b>	<b>Incendio en el vehículo estacionado</b>	<b>Encendido espontáneo</b>
15 mar [9]	Bangkok, Tailandia	Porsche Panamera, PHEV	Fuego durante la carga	Cable de carga del coche conectado a la toma de corriente de la sala de estar sin sistemas de seguridad incorporada, y el fuego se extendió a la casa
<b>18 mar [10]</b>	<b>Cataluña, España</b>	<b>BMW i3 REx, PHEV</b>	<b>Incendio en el vehículo estacionado</b>	<b>Encendido espontáneo</b>
23 mar [7]	California, EE.UU.	Tesla Model X, BEV	Incendio posterior al choque	Fuego extinguido en el lugar pero reiniciado dos veces en el patio de remolque 5 días más tarde
Mayo [11]	Anhui, China	Otros, BEV	Fuego durante la carga	
Mayo [11]	Desconocido	Yiema, BEV	Fuego durante la carga	
8 de mayo [12]	Florida, EE.UU.	Tesla Model S, BEV	Incendio posterior al choque	En un principio, el fuego se extinguió rápidamente, pero reencendió durante la carga en la grúa y una vez más en la grúa
15 de mayo [13]	Tesino, Suiza	Tesla, BEV	Incendio posterior al choque	El vehículo chocó contra una barrera, volcó y estallar en llamas
20 de mayo [11]	Hangzhou, China	Jiangling, BEV	Fuego durante la carga	
2 de mayo [11]	Hubei, China	Zhong Tai, BEV	Incendio durante la conducción	Autoencendido sin accidente
28 mayo [11]	Shenzhen, China	Otros, BEV	Fuego durante la carga	
4 jun [11]	Shandong, China	Otros, BEV	Incendio durante la conducción	Autoencendido sin accidente
5 jun [11]	Pekín, China	Otros, BEV	Fuego durante la carga	
15 jun [14]	California, EE.UU.	Tesla Model S, BEV	Incendio durante la conducción	Incendio extinguido en el lugar sin reignición
<b>12 dic [15]</b>	<b>Gelderland, Países Bajos</b>	<b>Jaguar I-Pace, BEV</b>	<b>Incendio en el vehículo estacionado</b>	<b>La parte delantera del vehículo se quemó pero no implicación de la batería</b>
<b>18 dic [16]</b>	<b>California, EE.UU.</b>	<b>Tesla Modelo S</b>	<b>Incendio en el vehículo estacionado</b>	<b>El fuego se inició en el aparcamiento del taller, y el fuego se reavivó dos veces</b>



# Problemas

## Energía



## Toxicidad

- HF + HCN + CO
- $\text{LiPF}_6 \rightarrow \text{LiF} + \text{PF}_5$  (4a)
- $\text{PF}_5 + \text{H}_2\text{O} = \text{POF}_3 + 2\text{HF}$  (4b)
- $\text{LiPF}_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{LiF} + \text{POF}_3 + 2\text{HF}$  (4c)



# Posibilidades

- El VE se **incendia mientras está parado** (lo que suele denominarse autoinflamación o ignición espontánea). Esto puede estar relacionado con
  - condiciones meteorológicas extremas, por ejemplo, temperaturas altas/bajas o humedad alta.
  - Fallo "espontáneo" de la célula interna. Estos fallos suelen estar relacionados con el uso indebido de la LIB, que superó su margen de seguridad en algún momento de su vida útil.
- El VE *se incendia mientras se está cargando*. Este fallo puede estar relacionado con el fallo de la batería debido a una sobrecarga, pero lo más habitual es que esté relacionado con estaciones o cables de carga defectuosos o inseguros. Esta es también la causa principal de los accidentes por incendio de la batería de otros dispositivos eléctricos, como los hoverboards y los teléfonos inteligentes, en los que se ha detectado una falta de gestión de la batería.
- La **LIB de un VE resulta dañada como consecuencia de un accidente**, o de otro tipo de maltrato. Los daños sufridos por la batería son tan graves que la LIB se inflama durante o inmediatamente después del accidente. La probabilidad de que un VE se vea implicado en este tipo de accidentes aumentará probablemente con el creciente número de VE en la calle.
- La **LIB de un VE ha sido sometida a abuso térmico** y se reaviva después de que el fuego inicial haya sido atajado.
- El **LIB y el EV se encienden por factores externos** que pueden incluir, incendios provocados, incendios forestales o una estructura en llamas en las proximidades del vehículo.



# Estrategias de protección

4 niveles: Celda, Módulo, Pack y Vehículo.

## Abusos

- Térmicos
- Mecánicos
- Eléctricos

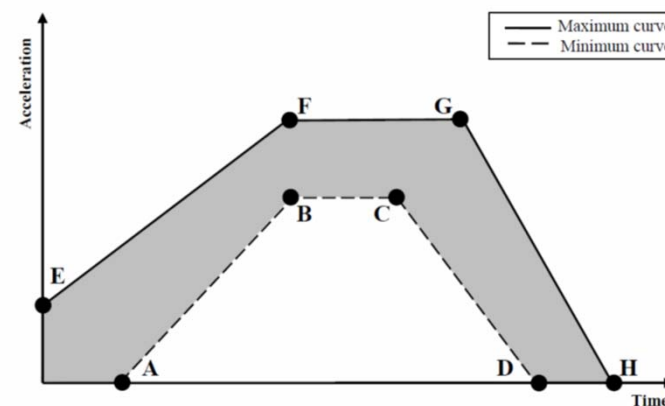
## Normativa

- ISO 12405-3; ISO 6469-1
- SAE J2464; SAE J2929
- UN 38.3;
- UN R118; UN R100; UN R 10; UN GTR20
- IEC 62928; IEC 62629; IEC 62133; IEC 62660
- EN 45545
- UL 2580



# NORMATIVA APLICABLE

- Regulation No. 100 (Revision 2) 12 August 2013
  - Part II: Requirements of a Rechargeable Energy Storage System (REESS) with regard to its safety.
    - **Impacto Mecánico:**
      - M1, N1:
        - Long 20 - 28 g
        - Trans 8 – 15 g
      - M2, N2:
        - Long 10 - 17 g
        - Trans 5 – 10 g
      - M3, N3:
        - Long 6.6 - 12 g
        - Trans 5 – 10 g





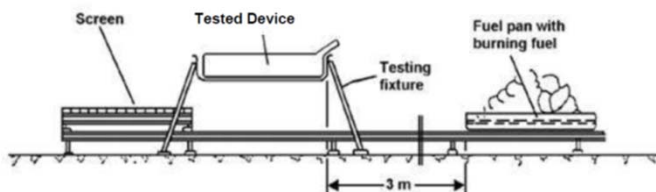
# NORMATIVA APLICABLE

- Regulation No. 100 (Revision 2) 12 August 2013

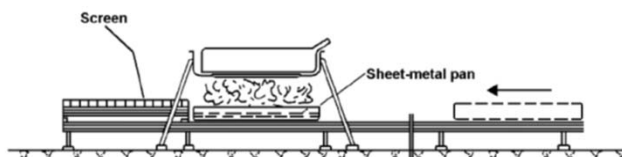
- Resistencia al Fuego.
- Requerimiento: Sin Explosiones.

60 s

Phase A: Pre-heating



Phase B: Direct exposure to flame

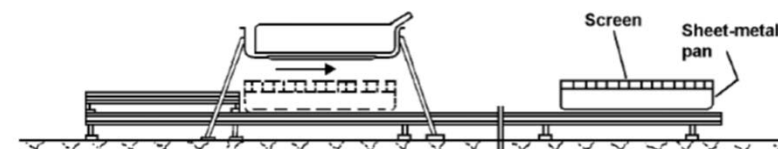


60 s

Phase C: Indirect exposure to flame



Phase D: End of test



<https://www.youtube.com/watch?v=wcCVGJkGzP4>



# Estrategias de apagado

## Estrategias

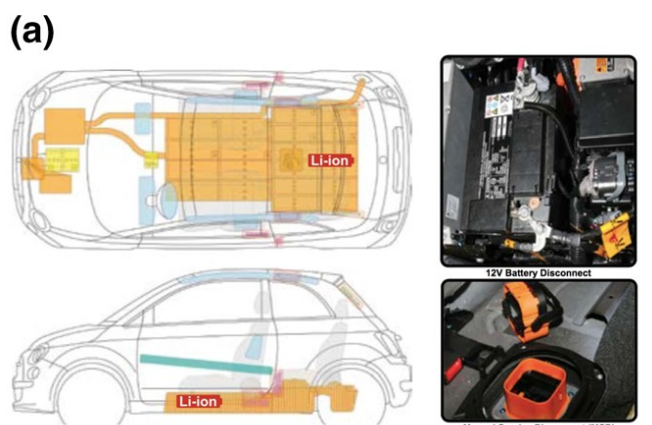
- Reducción de la velocidad de combustión
- Reducción de la Temperatura de combustión

## Medios

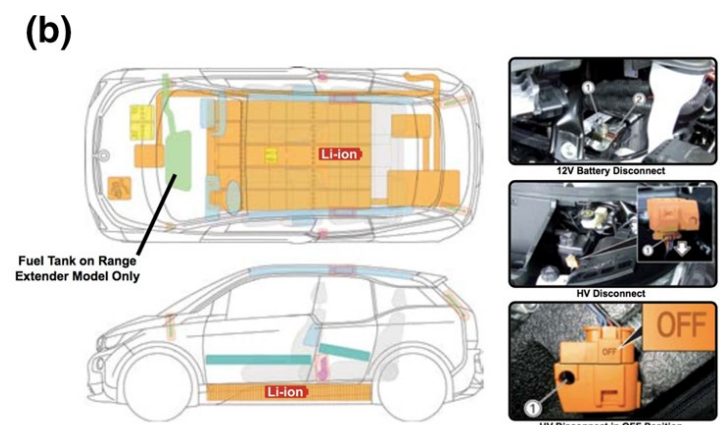
- Agua generalizada
- Extintores CO2
- Mantas
- Lanzas en taladro
- Compartimentalización



# Estrategias de apagado. Hojas de rescate.



LEGEND			
	Airbag		Bodywork Reinforcements
	Stored Gas Inflator		Support Cylinder for Hood
	Seatbelt Tensioner or Pretensioner		High-Voltage Power Cable
	High-Voltage Battery		Emergency Disconnect (Remove Plug)
			Emergency Disconnect (Cut Cable)



LEGEND			
	Airbag		Bodywork Reinforcements
	Stored Gas Inflator		Support Cylinder for Hood
	Seatbelt Tensioner or Pretensioner		Fuel Tank
	High-Voltage Battery		Emergency Disconnect (Remove Plug)
			High-Voltage Power Cable





# Estrategias de apagado

Batería	Tipo y configuración	Dimensiones (mm)	Peso (kg)	Energía (kWh)	Tiempo de supresión (min)	Cantidad de agua (m <sup>3</sup> )
A	Ensamblado a partir de 288 células de 3,6 V	822 9 968 9 378	151.1	-	2.2/3.5/9.8*	1.25/2.01/4.8*
B	Forma de T con múltiples módulos vinculados	1650 (longitud)	198.1	16	14.0/21.4/9.3*	7.97/12.00/5.30*



# CONCLUSIONES

- La probabilidad de incendio es muy baja
- Existen medios para apagar/contener el fuego (Independientemente de dejarlo arder)
- Necesario prever medidas de aviso de emergencia y actuación
- Necesario continuar aprendiendo e investigando



# Referencias

Para mas información y utilizadas las referencias



## Cuerpos de Bomberos

<https://irescue.jp/PDF/EVFG-15-PDF.pdf>



Esta foto de Autor desconocido está bajo licencia [CC BY-SA-NC](#)

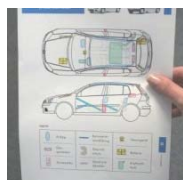
## Empresas

<https://t-iss.com/wp-content/uploads/2021/08/Flyer-EV-Fire-Isolator-WEB-2022-1.pdf>



## Investigación

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10694-019-00944-3>



## Hojas de rescate

[http://www.rescuesheet.info/index\\_es.html](http://www.rescuesheet.info/index_es.html)



mativa

Esta foto de Autor desconocido está bajo licencia [CC BY-NC](#)

## Normativa

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117308250?via%3Dihub>



# Gracias



Correo electrónico:  
[Enrique.alcala@upm.es](mailto:Enrique.alcala@upm.es)

Teléfono:  
**+34 910 678 850**

Sitio web:  
[www.insia-upm.es](http://www.insia-upm.es)



POLITÉCNICA



INDUSTRIALES  
ETSII | UPM

