



**Mondragon
Unibertsitatea**

Faculty of
Engineering

4. Componentes de un battery pack

Máster en Sistemas Inteligentes de Energía

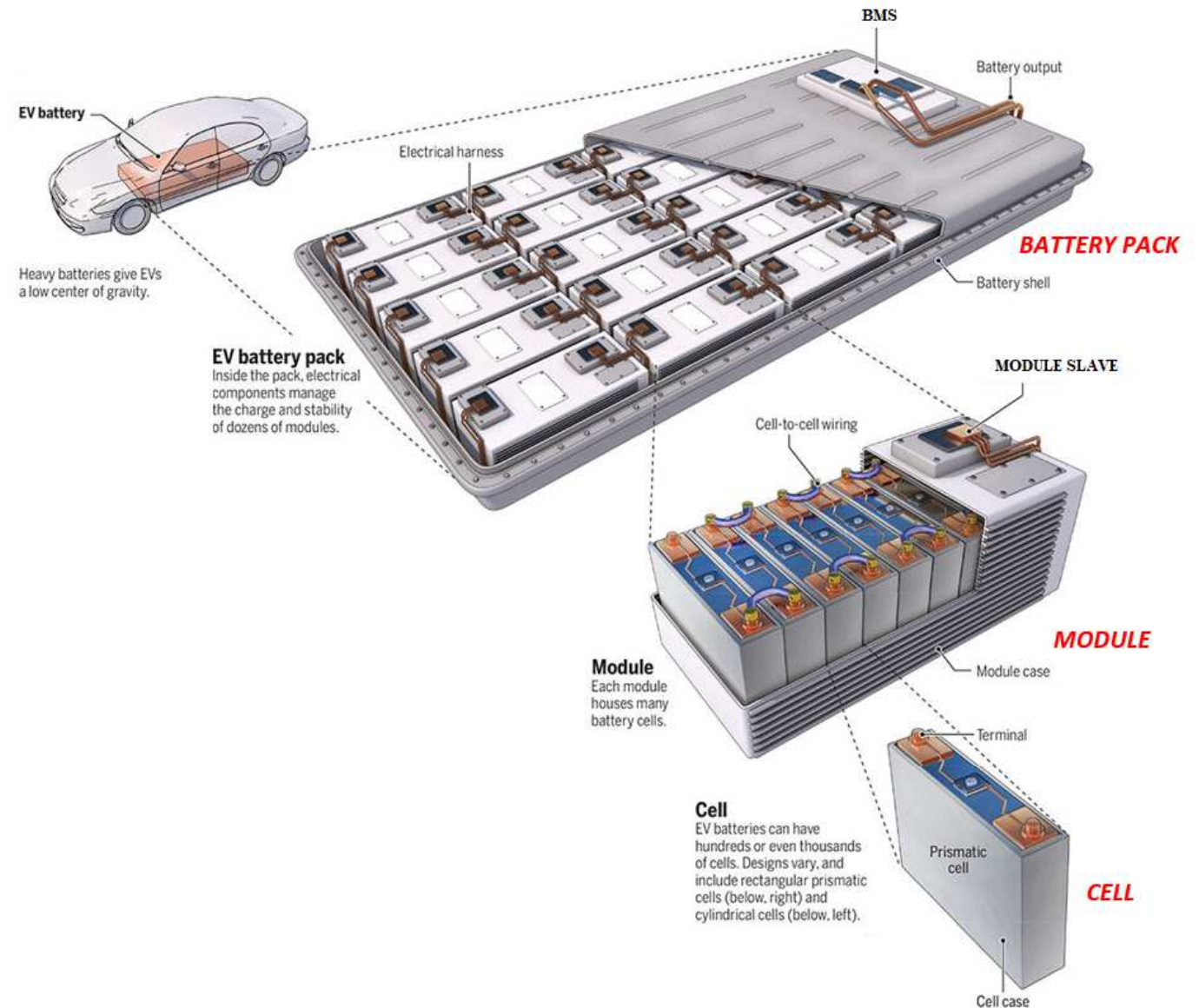
Unai Iraola - Laura Oca

0

Integración

Integración de celdas en un battery pack

- Lo más clásico es comenzar por una celda, hacer módulos con ella, y mediante esos módulos, escalar a un battery pack. (*module to pack*)
- Últimamente hay nuevas tendencias como *cell to pack* y el *cell to chasis* con el fin de mejorar las prestaciones en densidad de energía y potencia.

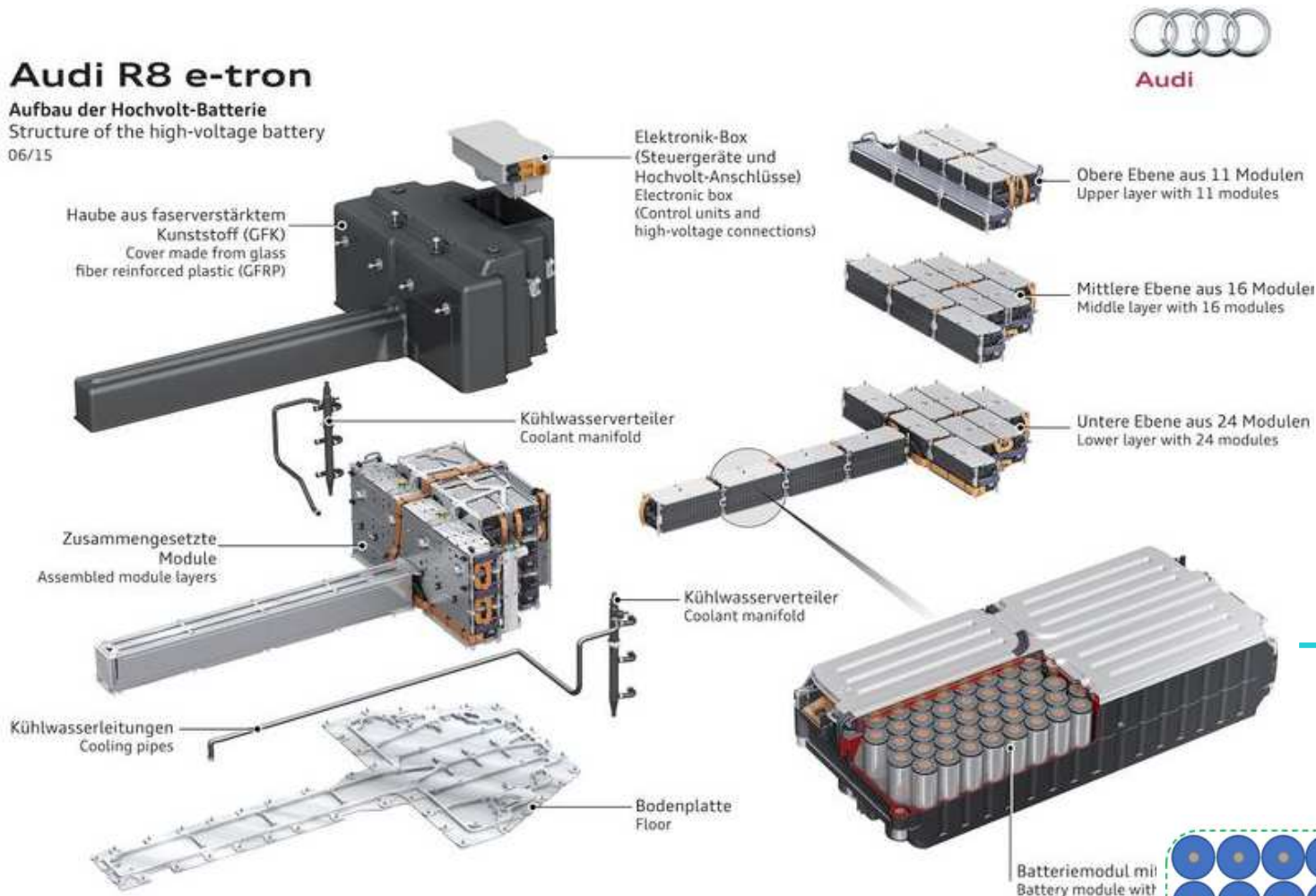


Integración de celdas en un battery pack

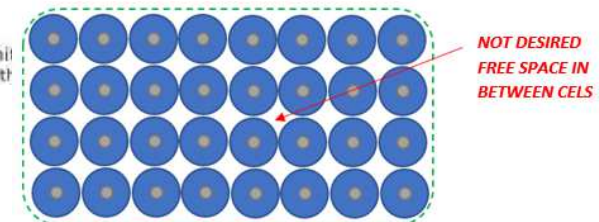
- MODULE TO PACK

Audi R8 e-tron

Aufbau der Hochvolt-Batterie
Structure of the high-voltage battery
06/15

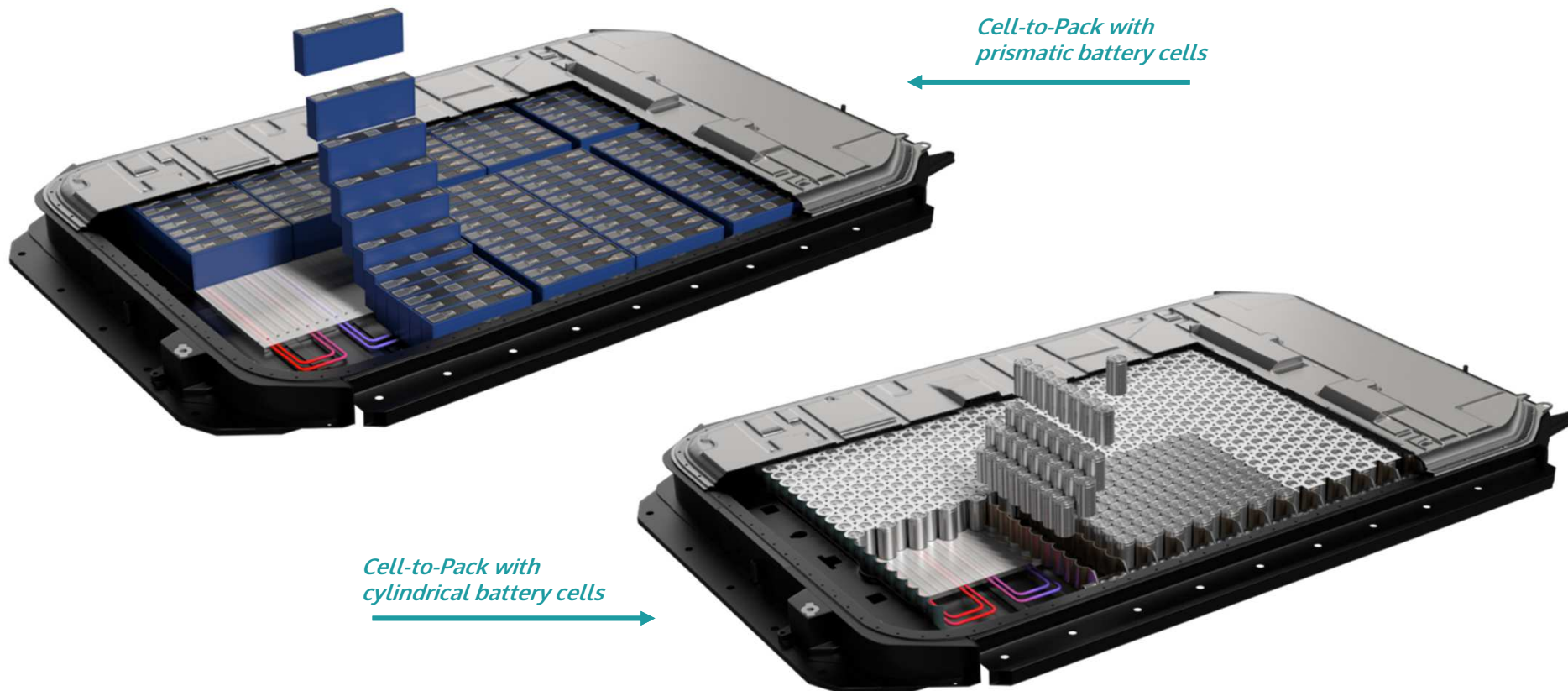


La celda cilíndrica es la que peor aprovecha el espacio y por tanto, la densidad volumétrica de la batería empeora.



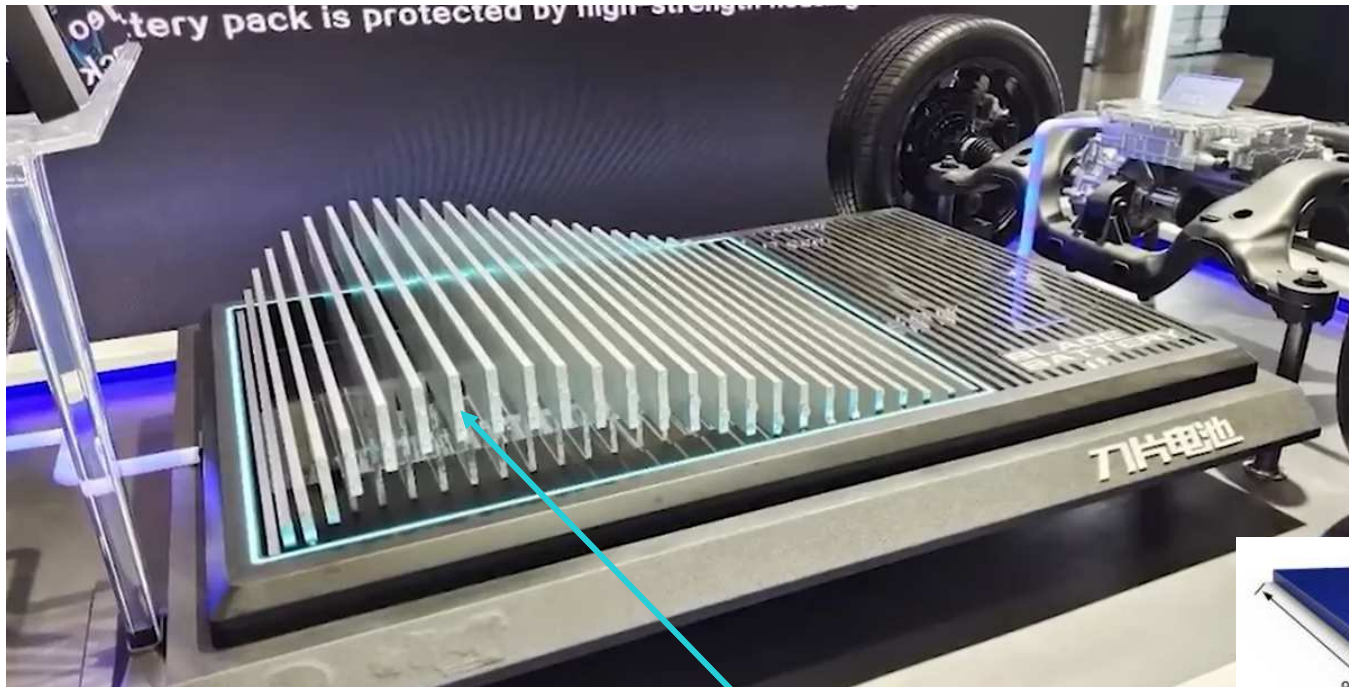
Integración de celdas en un battery pack

- CELL TO PACK
 - Para incrementar la densidad volumétrica nos saltamos el paso de modularizar. Típicamente esto se hace en aplicaciones de vehículo eléctrico.
 - En teoría aprovechas mejor el espacio disponible en el vehículo.

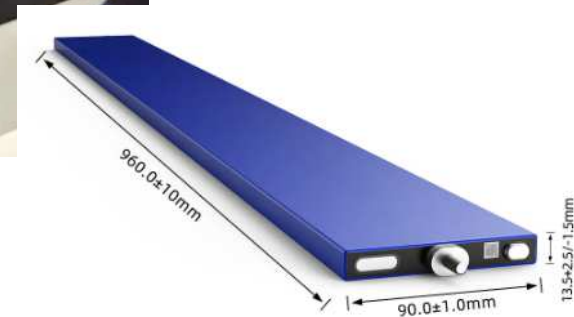


Integración de celdas en un battery pack

- CELL TO PACK
 - Para incrementar la densidad volumétrica nos saltamos el paso de modularizar. Típicamente esto se hace en aplicaciones de vehículo eléctrico.
 - En teoría aprovechas mejor el espacio disponible en el vehículo.



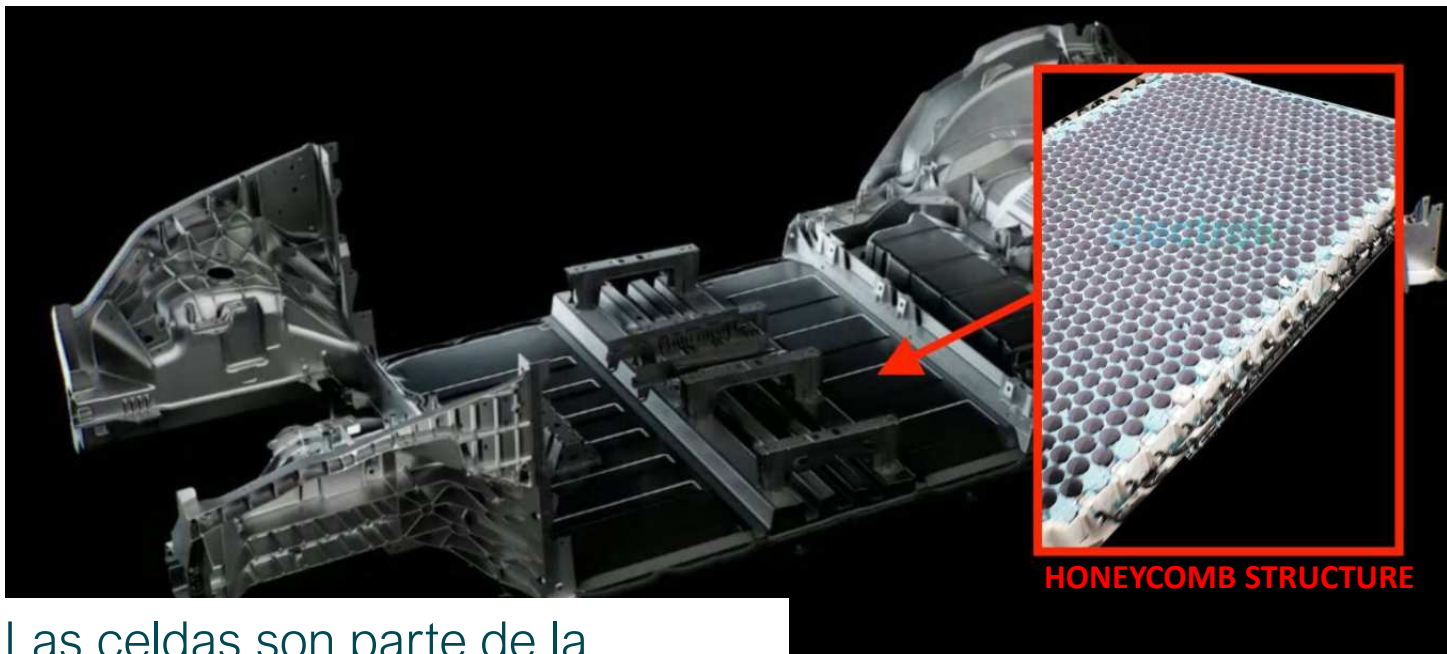
BLADE BATTERY CELL



↑
Wh/kg

Integración de celdas en un battery pack

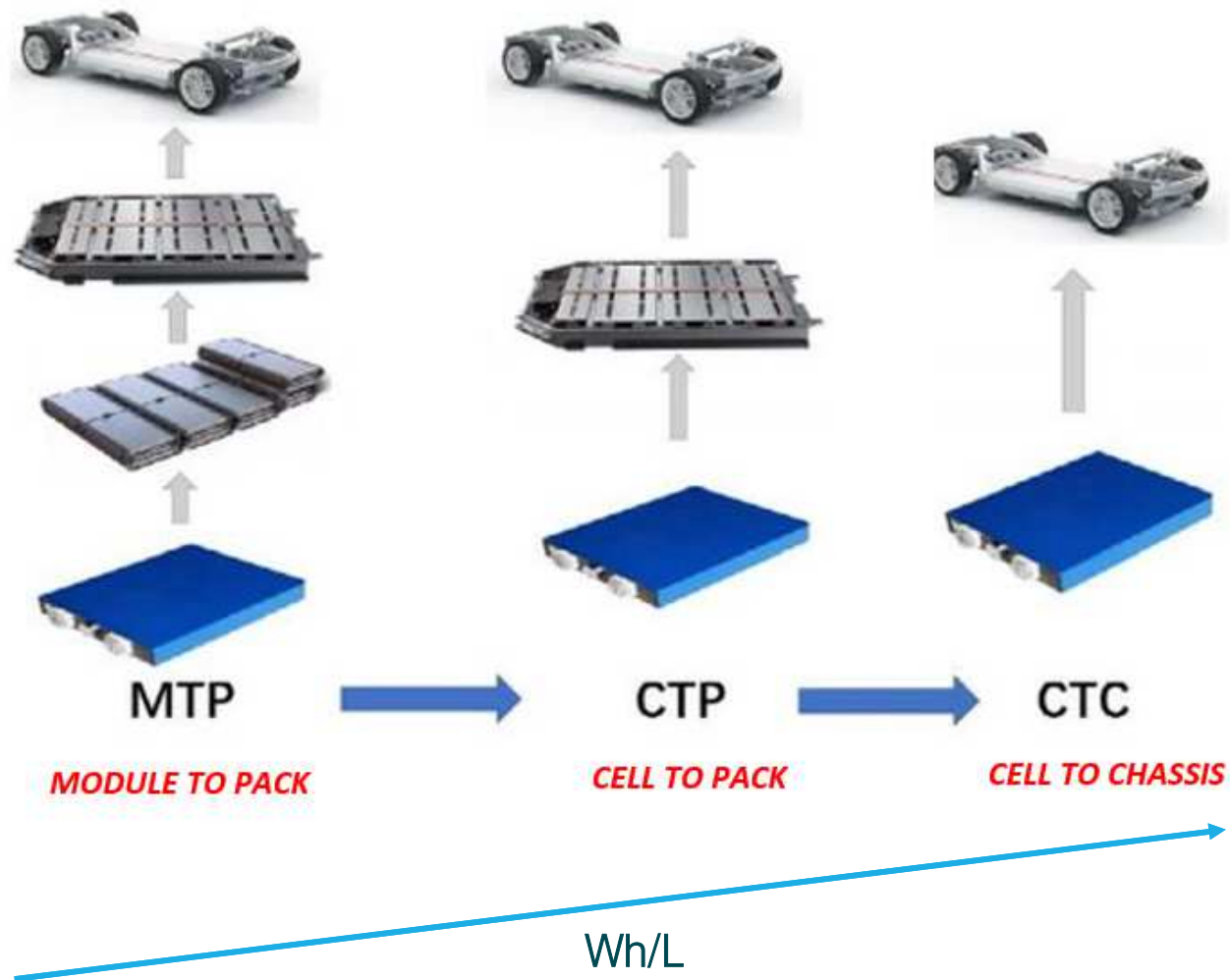
- CELL TO CHASIS
 - En este caso integras la batería en el chasis del coche y evitas la envolvente del battery pack.
 - De nuevo el objetivo es reducir peso e incrementar densidad de energía (Wh/L)



Las celdas son parte de la estructura dando rigidez al chasis

Problema: Complicado extraer celdas para una segunda vida de baterías. En cuanto a la seguridad, si se perfora el chasis, gran problema.

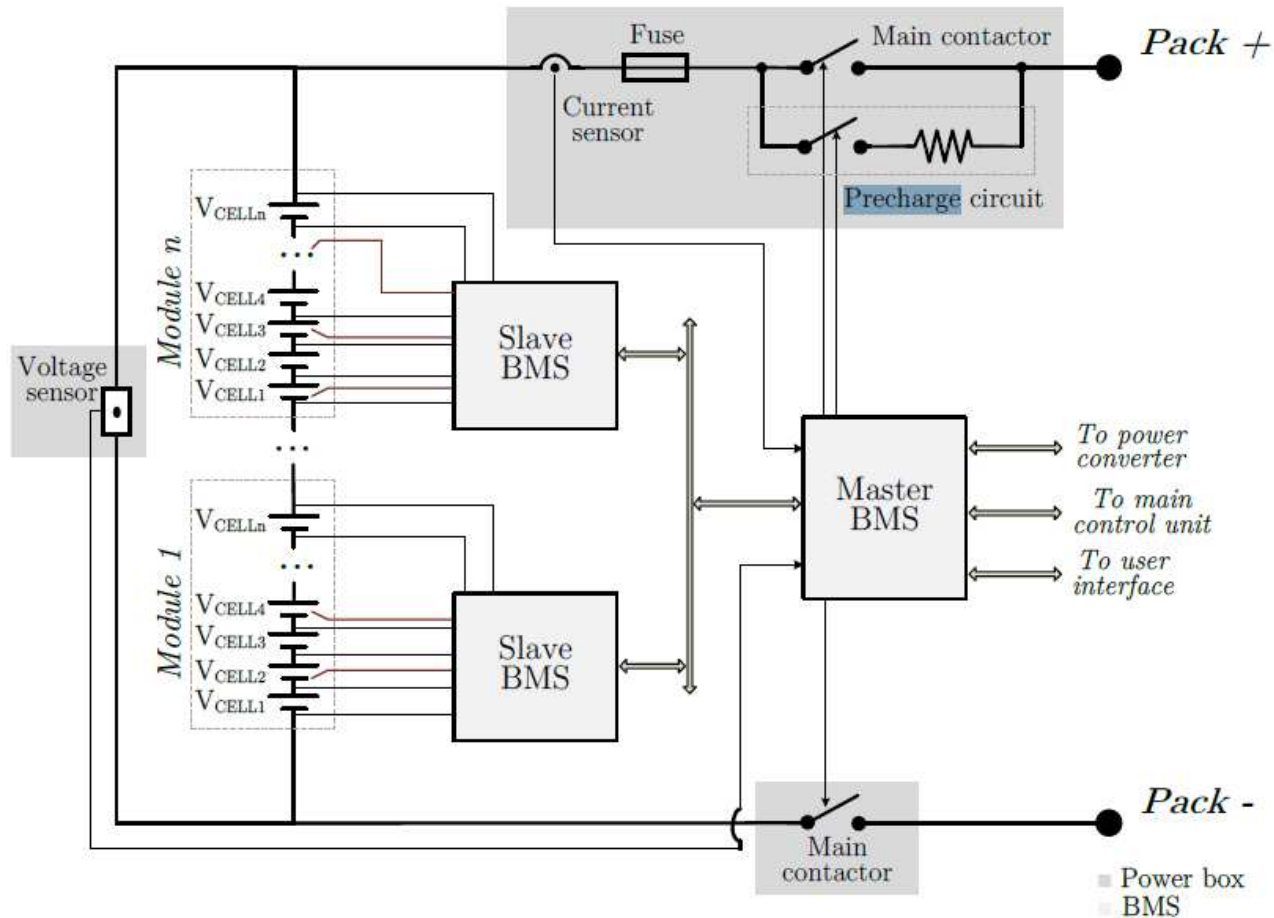
Integración de celdas en un battery pack



1

Esquema general

Esquemático



Maitane Garmendia PhD: "STATE-OF-CHARGE (SOC) ALGORITHM DESIGN METHODOLOGY FOR IMPLEMENTATION ON BATTERY MANAGEMENT SYSTEMS (BMS) OF INDUSTRIAL LI-ION BATTERY-PACKS"

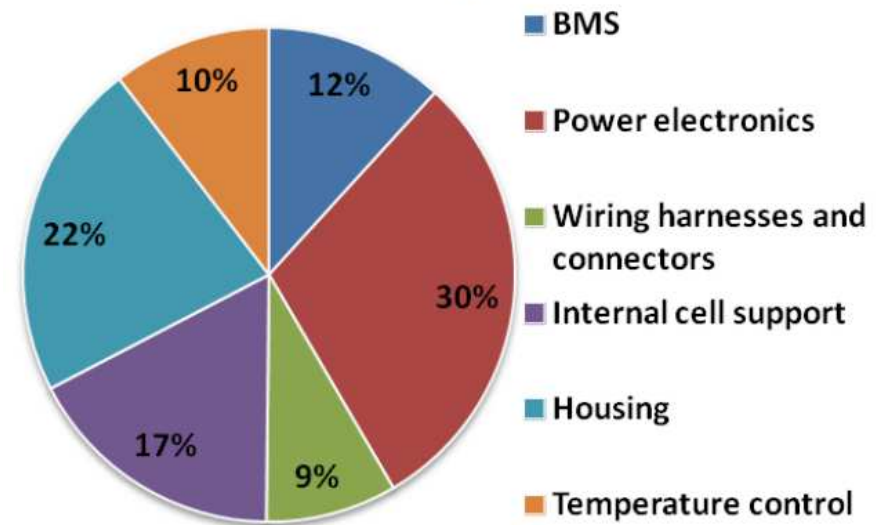
- Paquete de celdas dividido en módulos.
- Power box
 - Sensor de tensión del BP.
 - Sensor de corriente del BP.
 - Contactor principal.
 - Circuito de precarga.
- BMS
 - BMS esclavo.
 - BMS maestro.
- Thermal management system (TMS)
- Battery casing

Ejemplo de battery pack



Axon © 2010

Pack components



“Cost and performance of EV batteries”, Element Energy Limited, Final report for The Committee on Climate Change. 2012

2

Componentes – Paquete de celdas

Paquete de celdas

- PRINCIPALES FABRICANTES DE CELDAS EN EL MUNDO

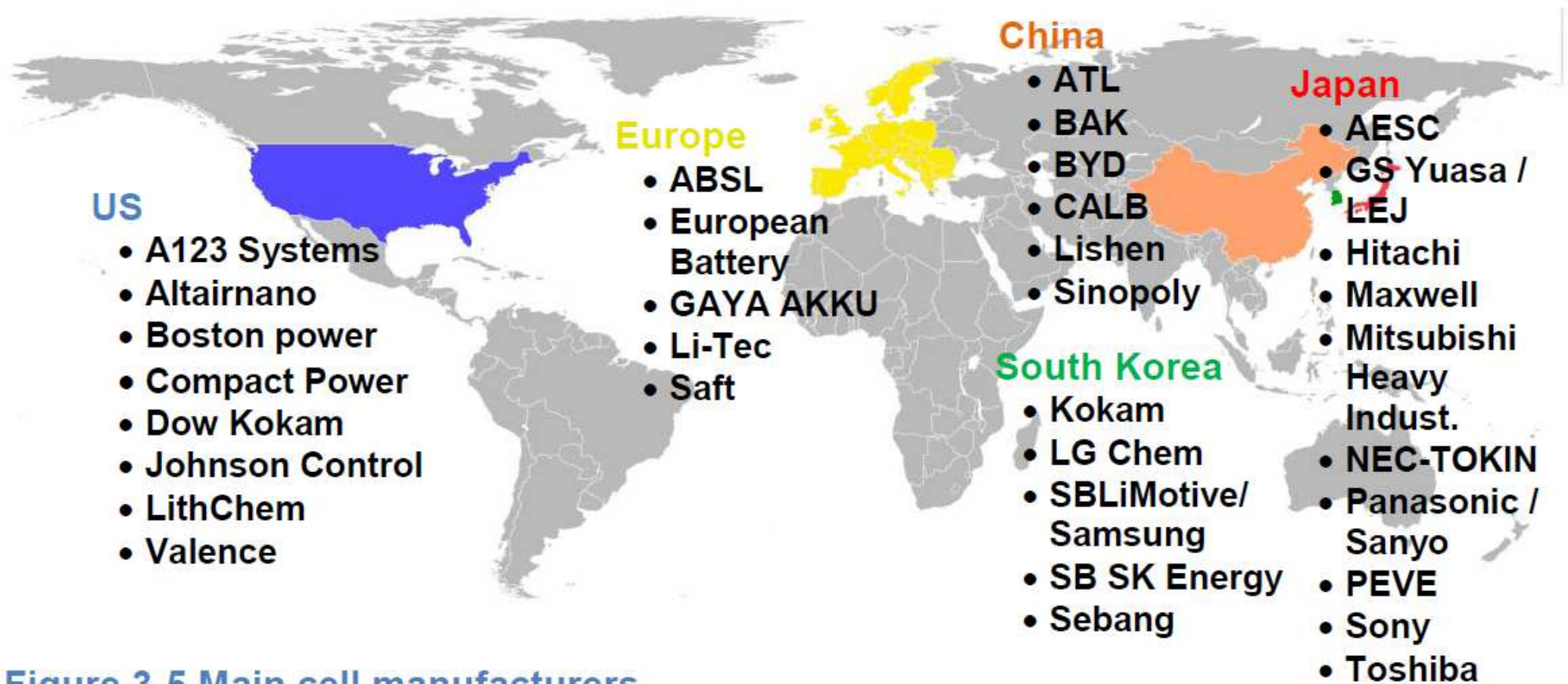
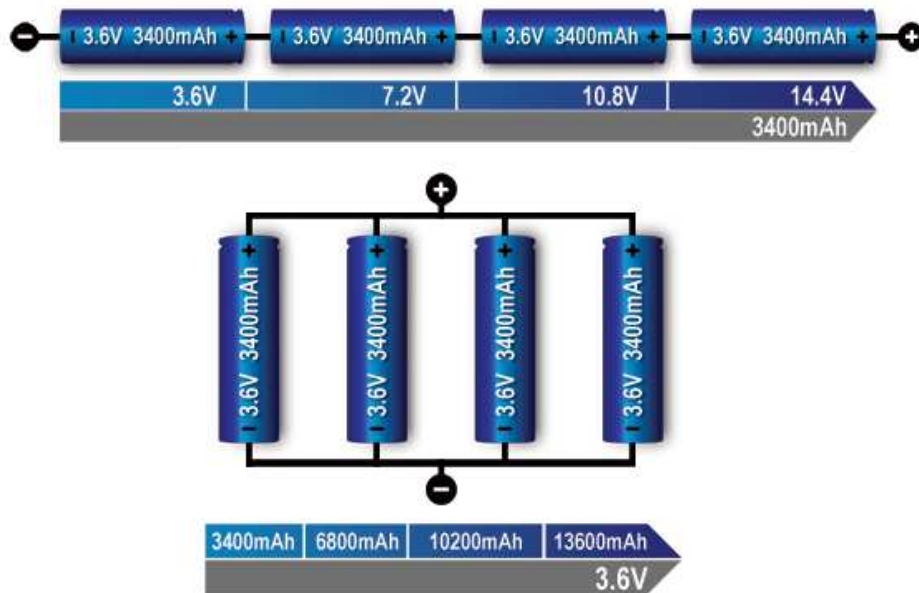


Figure 3-5 Main cell manufacturers

“Cost and performance of EV batteries”, Element Energy Limited, Final report for The Committee on Climate Change. 2012

Paquete de celdas

- Existen dos posibles soluciones a la hora de agrupar las celdas de un battery pack:
 - Modularizar el BP, con tensiones típicas de 24 o 48 voltios. (Lo más normal hasta la fecha)
 - El concepto de cell2pack, utilizado sobre todo en automoción debido al menor espacio y peso.
- En función de la tecnología seleccionada, para llegar a la misma tensión de BP o módulo se necesitarán distinto número de celdas.



Cell type	Voltage [V]	Gravimetric energy density [Wh kg ⁻¹]	Volumetric energy density [Wh L ⁻¹]
Lithium-ion			
LiFePO ₄ /graphite	3.3	80–150	120–300
LiCoO ₂ /graphite	3.7	160–210	340–580
LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂ /graphite	3.7	150–300	680–760
LiMn ₂ O ₄ /graphite	3.8	100–130	220–400
LiNi _{1/3} Mn _{1/3} Co _{1/3} O ₂ /graphite	3.7	150–220	580–750
Sodium-ion			
Na _x V ₂ (PO ₄)F _y /hard carbon	3.4	≈100	≈175
Na _x TMO ₂ /hard carbon	3.0	≈115	≈250

https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_302_configuraciones_de_baterias_en_serie_y_paralelo

Y. Durmus, “Side by Side Battery Technologies with Lithium-Ion Based Batteries”, 2020.

Paquete de celdas

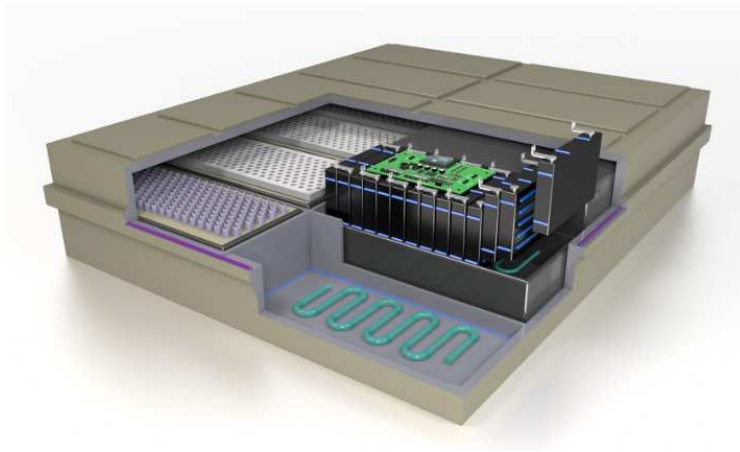
- Existen tres formatos de celda principales:
 - Prismáticas.
 - Cilíndricas.
 - Tipo pouch. (Normalmente se terminan prismatizando para montar un módulo o BP con lo que pierden su diferencia en densidad de energía)



Johnson Matthey Battery Systems, "Our Guide to Batteries," 2015.

Paquete de celdas

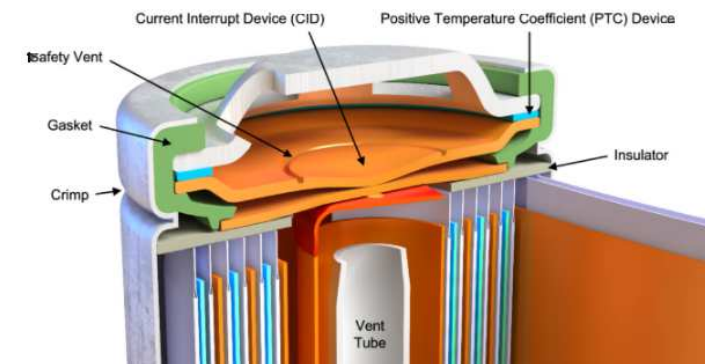
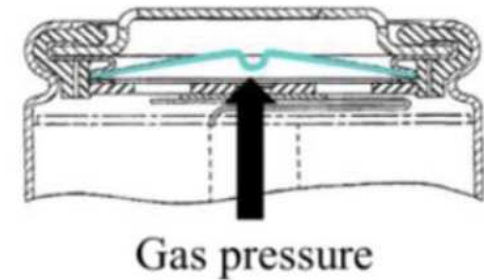
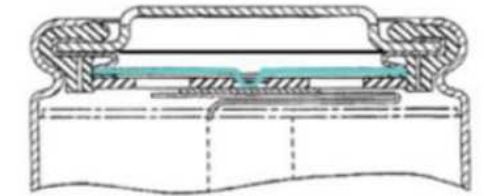
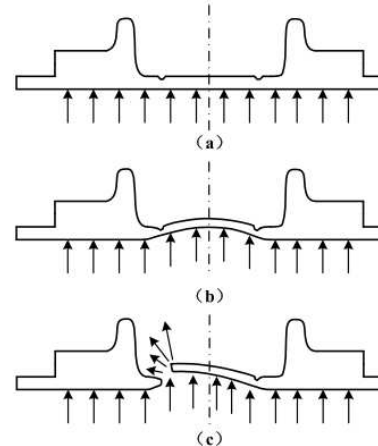
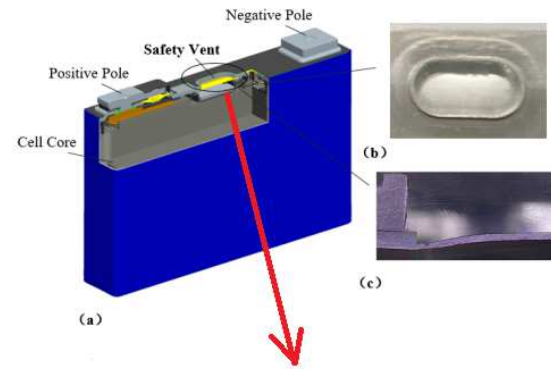
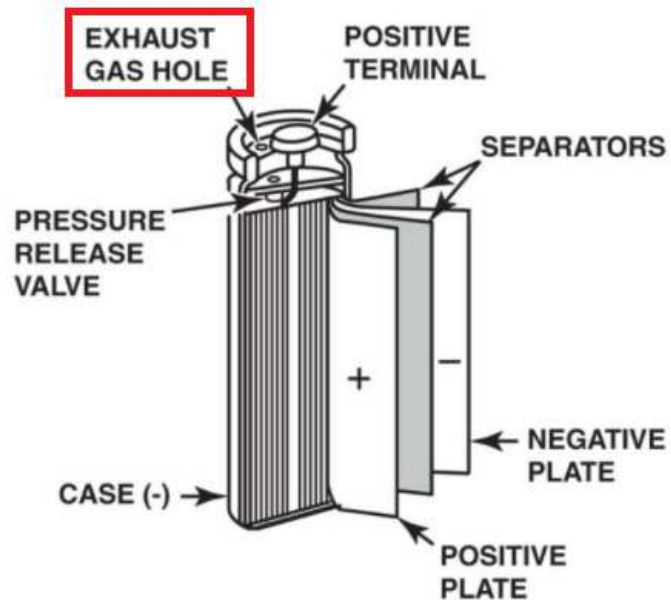
Principalmente, la tendencia de los fabricantes de coche es la de utilizar celda prismática.



OEM	PRISMATIC	POUCH	CYLINDRICAL
	●	●	
	●	●	
	●		●
STELLANTIS	●	●	●
	●	●	
	●	●	
	●	●	
TESLA	●		●
	●	●	
	●		●
	●		

Paquete de celdas

- Si la temperatura de la celda sube mucho, por encima de los 140 grados, el electrolito se vuelve gas y hay que evacuar ese gas si la presión sube.
- Por ello, las celdas tienen válvulas de seguridad.
- El *CID* o *current interrupt device*, interrumpe la corriente .



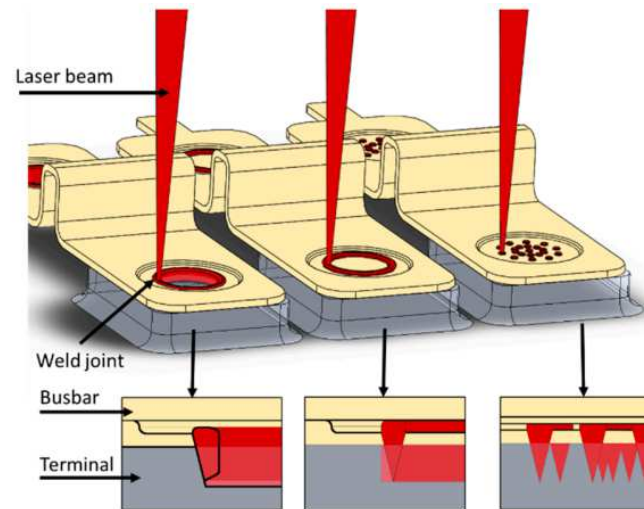
Paquete de celdas – Interconexión de celdas

- POR TORNILLO
 - Normalmente no se aplica en baterías muy grandes porque es difícil asegurar el mismo apriete en todos los tornillos.
 - Además, es un proceso relativamente lento.



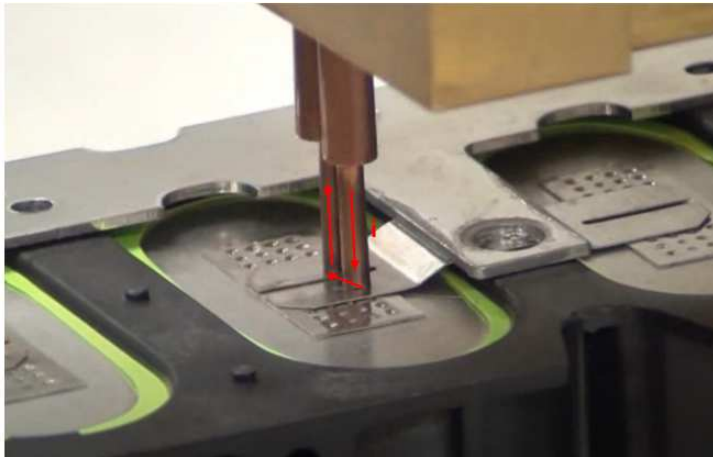
Paquete de celdas – Interconexión de celdas

- SOLADURA POR LÁSER
 - Se utiliza porque es rápido, automatizado y mecánicamente robusto.
 - Para hacer este tipo de soldaduras, el equipo es muy caro.
 - Sobre todo en movilidad eléctrica, muchas soldaduras.



Paquete de celdas – Interconexión de celdas

- SOLDADURA POR PUNTO
 - Sobre todo, se utiliza con celdas cilíndricas donde se esperan corrientes bajas en la aplicación.
 - Requiere de bastante tiempo para realizar las soldaduras.



Paquete de celdas – Compression pads/Gap filling

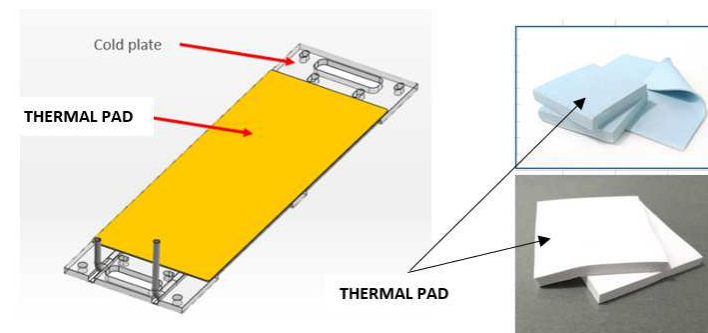
- Las celdas suelen llevar entre ellas distintos materiales. Los *compression pads* sirven para absorber los cambios que sufren las celdas, pueden hincharse un poco.
- *Los gap fillers o thermal pads* suelen ser buenos conductores de calor con el fin de que la temperatura en el módulo sea lo más homogénea posible.

Reversible expansion of Li-cells during loading

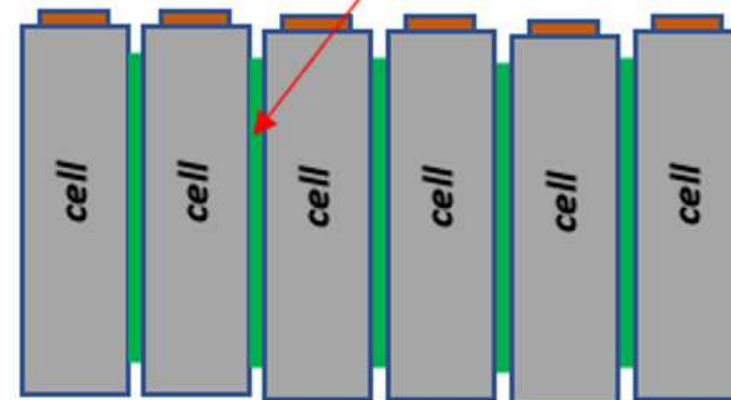
- Prismatic lithium cells in EV batteries are subject to reversible expansion during charging
- Without expansion the cell chemistry does not work reversibly, and the cells get damaged
- Too much expansion also reduces the life-time of batteries
- Cell manufacturers recommend a design that allows the cell to expand 2-3%

Solution:

- A cell spacer is put between battery cells to allow for a controlled expansion



COMPRESSION PADS IN BETWEEN CELLS

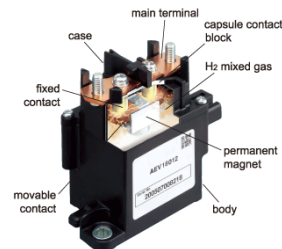


2

Componentes – Power box

Power box

- Compuesto por:
 - Sensor de tensión y de corriente: Se utilizan para diagnosticar el battery pack en cada momento.
 - Fusible: Elemento de protección ante cortocircuitos.
 - Contactor principal:
 - Elemento de conexión desconexión por seguridad o por requerimientos de la aplicación.
 - Controlado desde el BMS máster, lógica de control está implementada dentro.
 - Circuito de precarga:
 - Se utiliza para minimizar el pico de corriente cuando el BP se conecta.
 - Al inicio se conecta a través de la resistencia de precarga.
 - Después se desconecta el circuito de precarga una vez que la tensión en el punto de conexión sube a un nivel cercano al del BP.



2

Componentes – Battery management system

Battery management system (BMS)

¿Qué es un BMS?

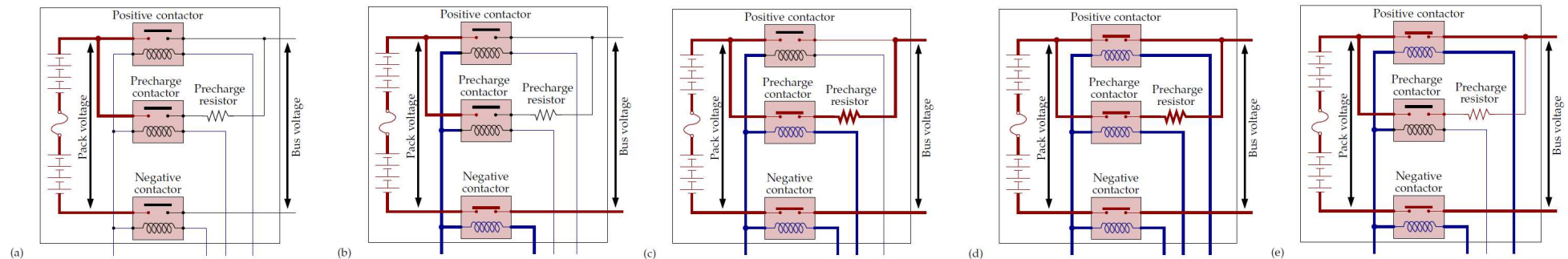
- *El BMS es un conjunto de placas electrónicas (hardware y software) que se encarga de monitorizar, diagnosticar y controlar el BP. Se encarga de garantizar la seguridad del mismo, y de asegurar su correcto funcionamiento para alargar su vida y de aprovechar la mayor cantidad de energía posible contenida en el BP.*
- **Monitorizar:** Se encarga de medir todas las tensiones de cada celda del BP, las temperaturas de los distintos módulos de la batería, y la corriente que circula. También se encarga de detectar fallos de aislamiento y controlar los contactores y el gestor térmico.
- **Proteger:** Protege a las personas que utilizan el BP y al propio BP de sobretensión, subtensión, sobrecorrientes, cortocircuitos y de calentamientos excesivos.
- **Interfaz:** El BMS se tiene que comunicar con el convertidor o aplicación en la que se está utilizando, aportando información sobre el estado de la batería, cuánta energía tiene, etc. Y debe registrar además posibles errores o fallos.
- **Gestión del comportamiento:** Tiene que estimar el SoC de las celdas del BP, saber cuánta energía y potencia disponible hay y balancear las celdas del BP.
- **Diagnosticar:** Tiene que ser capaz de diagnosticar el estado de salud del BP o el SoH.

Battery management system (BMS)

Monitorizar :

1. Tensión: muy importante por seguridad y para la estimación del SoC y SoH.
2. Corriente, normalmente se utilizan resistencias shunt o células de efecto hall.
3. Temperatura, normalmente se utilizan NTCs o termopares.
4. Además, es necesario controlar el contactor principal y el circuito de precarga.

SECUENCIA:

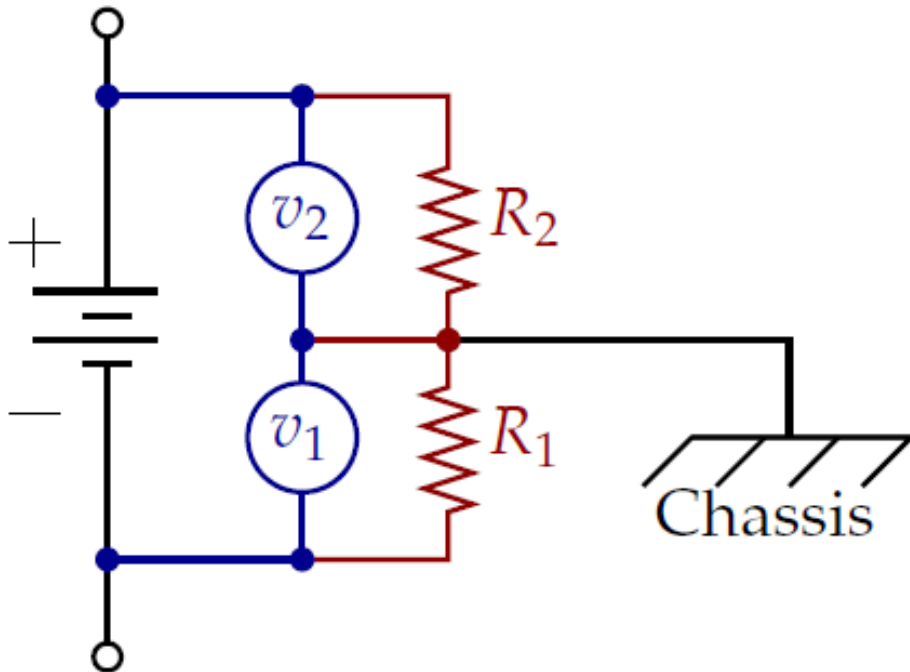


G. Plett, Battery Management Systems. Vol. 2. Equivalent-circuit methods

Battery management system (BMS)

Monitorizar :

5. Monitor de aislamiento



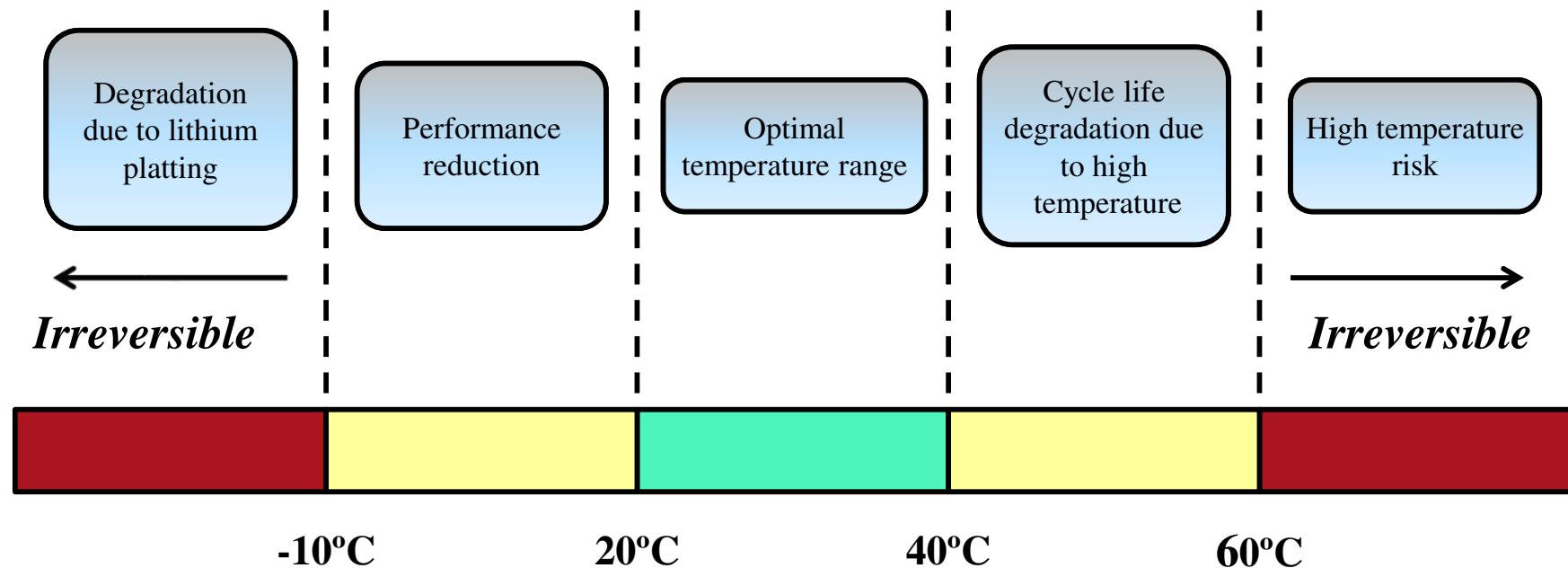
- Para considerar que el + y el – de la batería están bien aislados del chasis de un coche por ejemplo, debe circular una corriente menor a 2 mA.
- Los sistemas eléctricos en DC a partir de una tensión de unos 100 voltios llevan monitor de aislamiento.
- Se trata de colocar un medidor de alta impedancia ($M\Omega$) entre el positivo y el chasis de la batería y otro entre el negativo y el chasis.
- Si $v_2 > v_1$ significa que R_1 es más pequeña que R_2 y por tanto puede que se esté perdiendo el aislamiento.
- El medidor de aislamiento entonces mide si la R_1 es suficientemente grande, y sino provoca un fallo y abre la batería.

Battery management system (BMS)

Monitorizar:

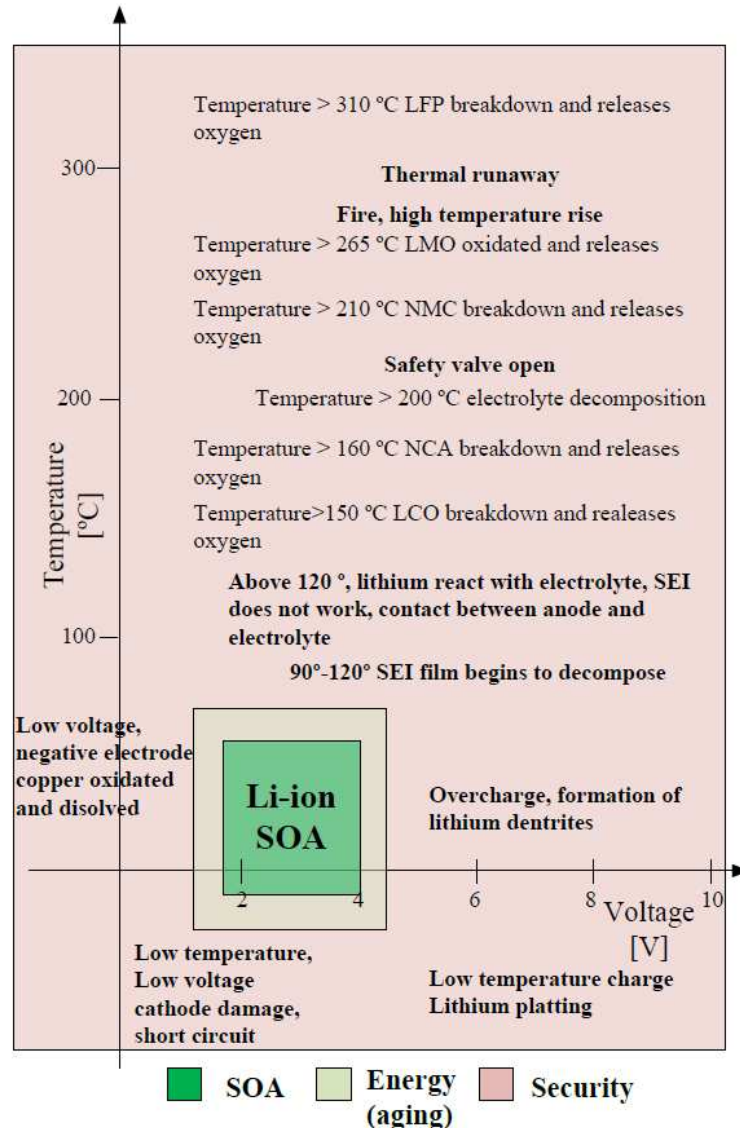
6. Gestor térmico.

- Se considera una de las funciones más importantes dentro de un battery pack.
- Por un lado está la seguridad, ya que las altas temperaturas degradan la batería y además si son muy altas pueden llegar a provocar fallos.
- Normalmente las celdas de un battery pack no se calientan, especialmente si son aplicaciones de vehículos eléctricos, donde impera el extender la autonomía lo máximo posible.
- Sin embargo, las celdas deberían estar siempre entre 10°C y 40°C para evitar tener problemas.



Battery management system (BMS)

Proteger



Hay que evitar:

- Temperaturas altas: posible termal runaway.
- Temperaturas muy bajas: posibles daños en el cátodo, riesgo de cortocircuito y degradación por lithium plating.
- Subtensión: la celda puede llegar a cortocircuitarse.
- Sobretensión: puede desencadenar un envejecimiento prematuro si la sobretensión no es muy grande.

Battery management system (BMS)

Interfaz

1. Con la electrónica de potencia asociada al BP tanto para cargar como para descargar.
 - Es importante remarcar que no podemos cargar o descargar la potencia que queremos de una batería. El BMS se encarga de informar al cargador/descargador de sus límites de potencia o “state of power” (SoP).
 - Hay que tener en cuenta que si no se hace esto, por ejemplo en un vehículo eléctrico las frenadas regenerativas pueden ser excesivas.
 - La limitación de carga no es de los cargadores de baterías sino de las baterías.
2. En aplicaciones de coche, con el propio coche o el usuario del mismo.
3. Registro de posibles fallos.

Battery management system (BMS)

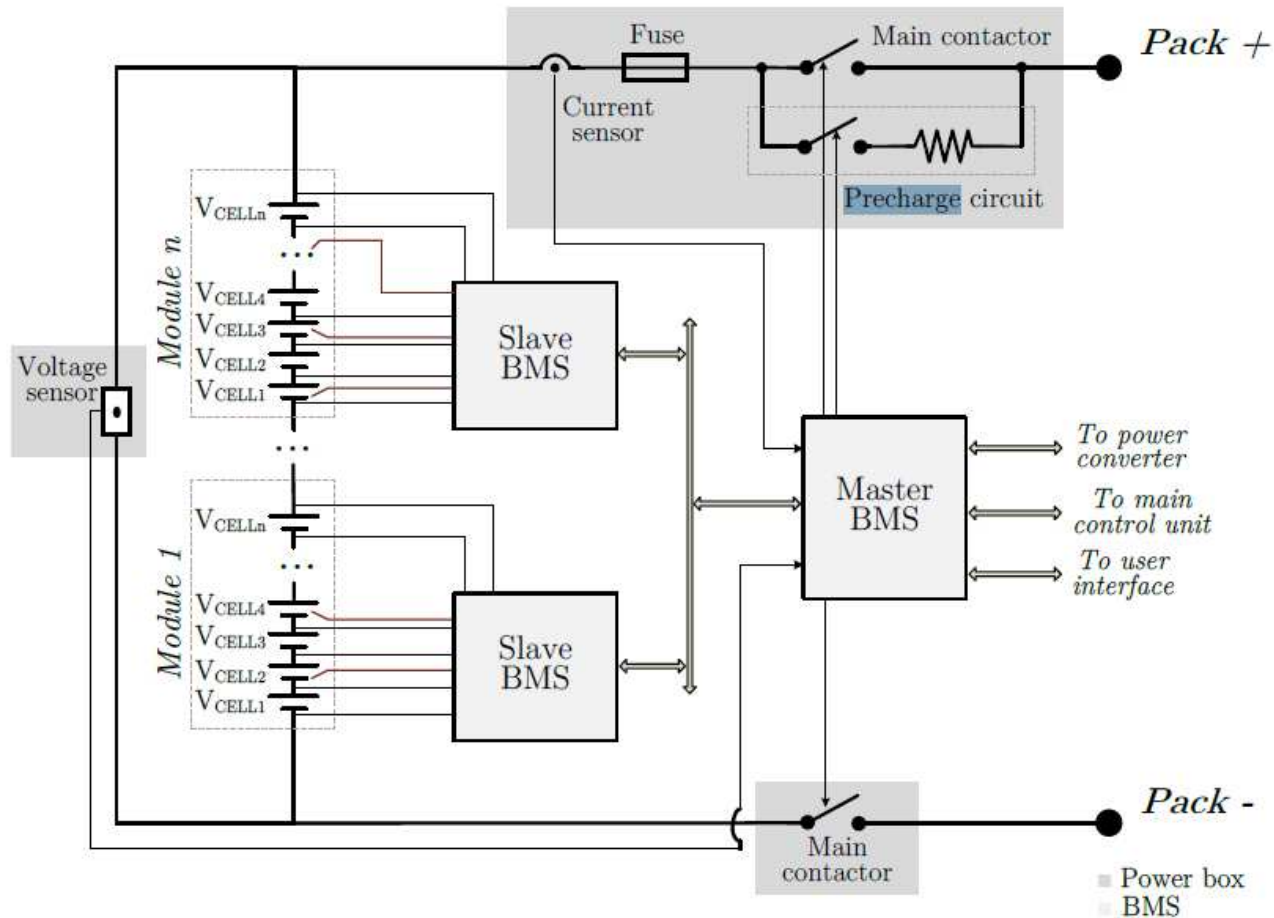
Gestión del comportamiento

1. Estimación del estado de carga o SoC.
2. Estimación de la energía disponible en la batería o SoE.
3. Estimación del estado de potencia o SoP.

Diagnóstico

1. Consiste en evaluar el estado de la batería y computar un estado de salud o SoH.
 - Este SoH permite por un lado conocer cómo de degradada está la batería respecto a su uso inicial.
 - Además, se utiliza esta estimación para actualizar los modelos que estiman el SoC o estado de carga, ya que a medida que la celda se degrada vas teniendo menos capacidad nominal.
 - Normalmente se observan la capacidad nominal restante y la resistencia interna para determinar el SoH.
 - La capacidad nominal restante influye directamente en el SoC y la resistencia interna directamente en el SoP.

Esquemático

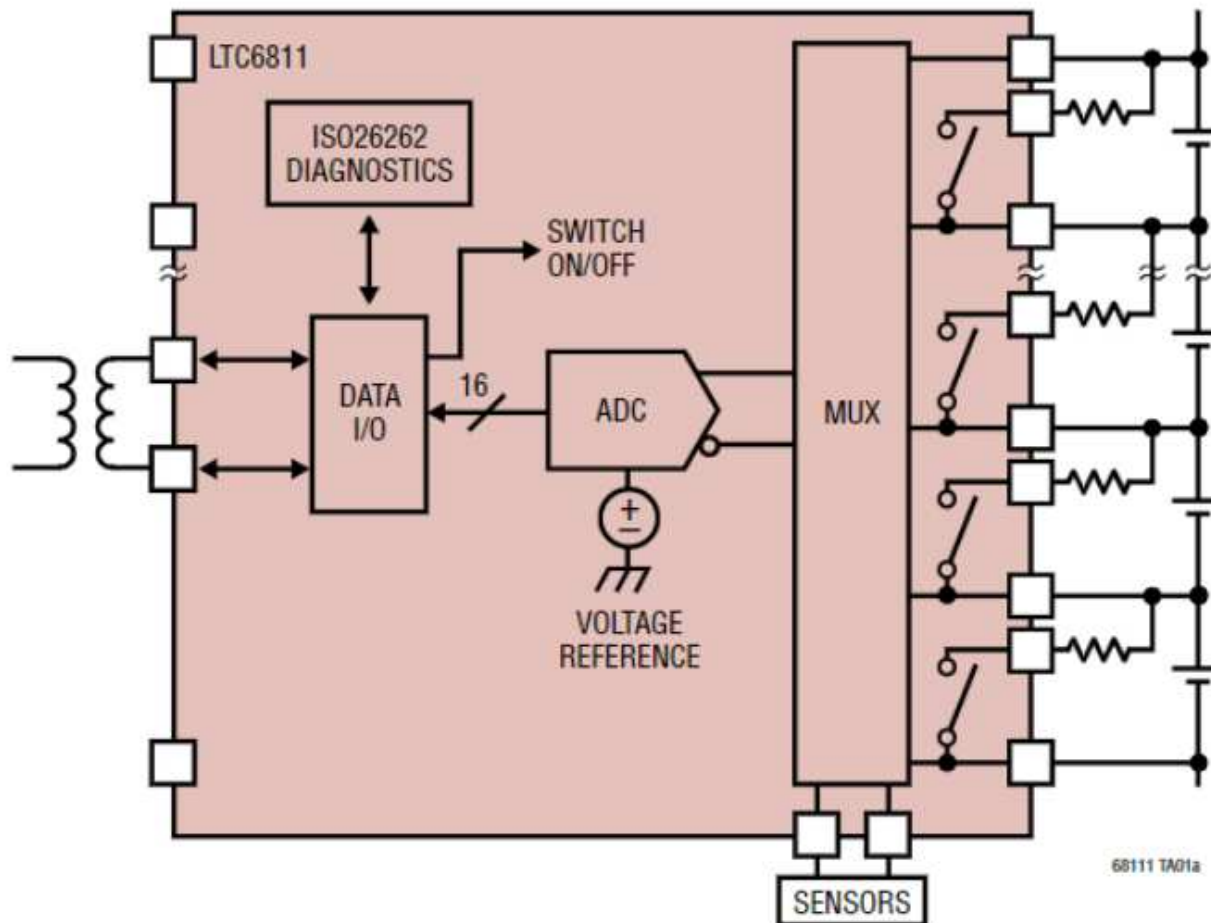


Maitane Garmendia PhD: "STATE-OF-CHARGE (SOC) ALGORITHM DESIGN METHODOLOGY FOR IMPLEMENTATION ON BATTERY MANAGEMENT SYSTEMS (BMS) OF INDUSTRIAL LI-ION BATTERY-PACKS"

- Paquete de celdas dividido en módulos.
- Power box
 - Sensor de tensión del BP.
 - Sensor de corriente del BP.
 - Contactor principal.
 - Circuito de precarga.
- BMS
 - BMS esclavo.
 - BMS maestro.
- Thermal management system (TMS)
- Battery casing

Battery management system (BMS)

BMS esclavo (ejemplo LTC6811): Medida de 12 celdas, 1.2 mV de error, puedes colocar varios en serie hasta 100 celdas. Interfaz isoSPI



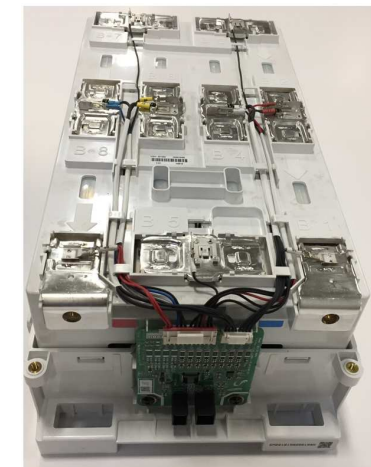
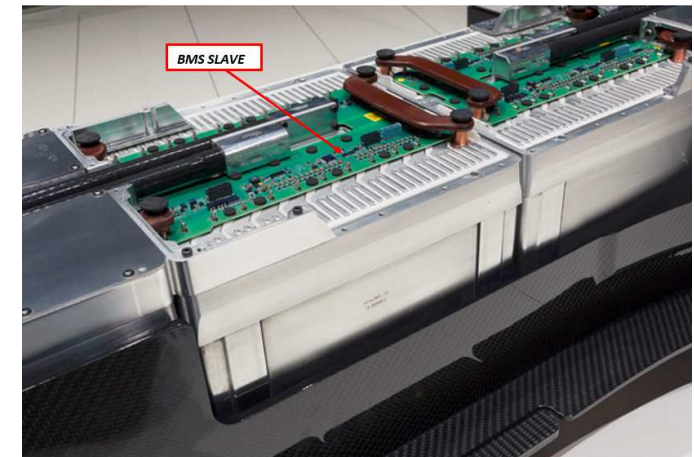
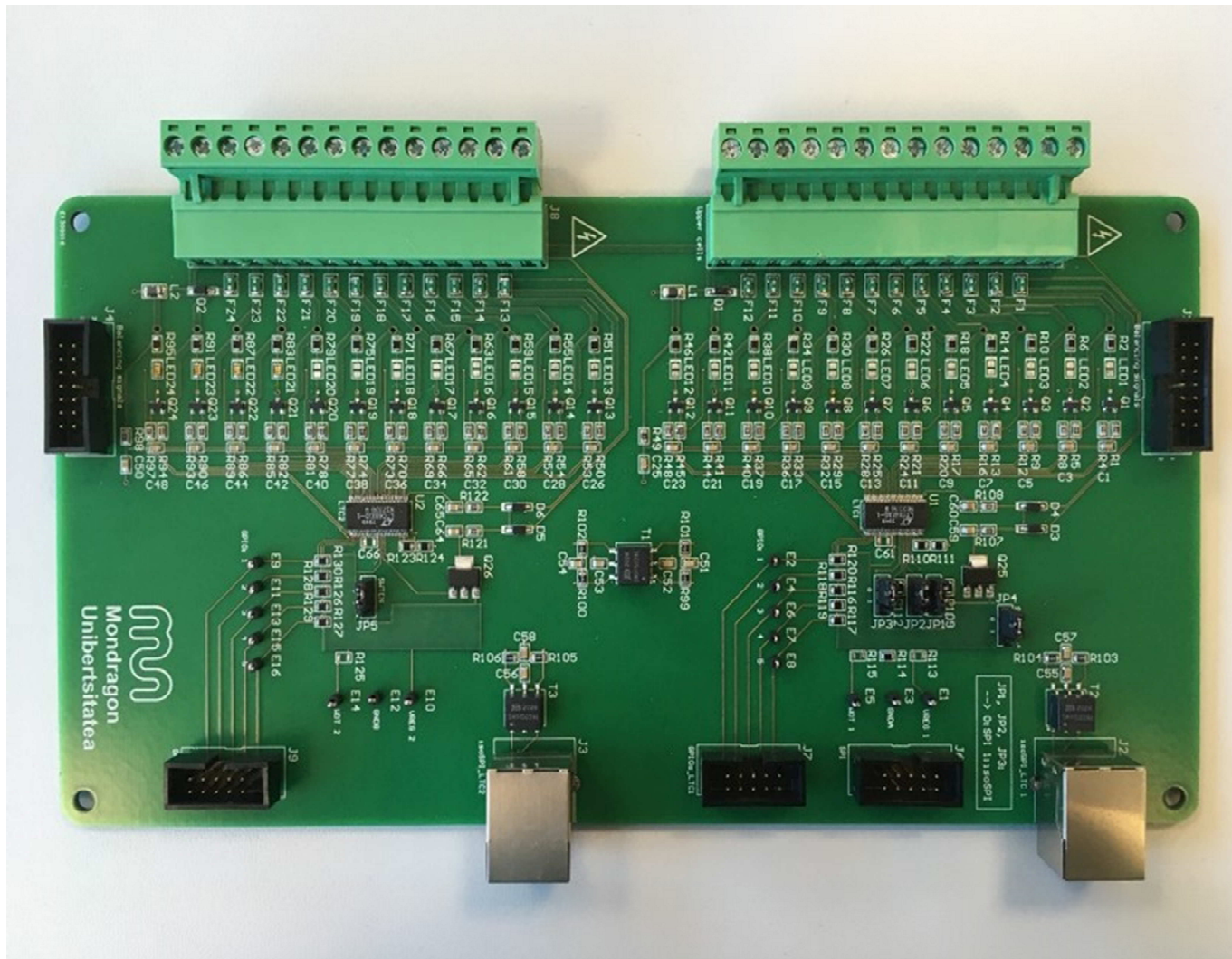
1. Etapa de entrada normalmente multiplexada.
2. Conversor analógico/digital.
3. Equilibrado pasivo de celdas.
4. Una etapa de comunicación para enviar datos al BMS máster.

Dentro de los BMS esclavos disponibles en el mercado:

- Número de celdas.
- Distintas precisiones en la medida.
- Distintos tipos de comunicaciones.

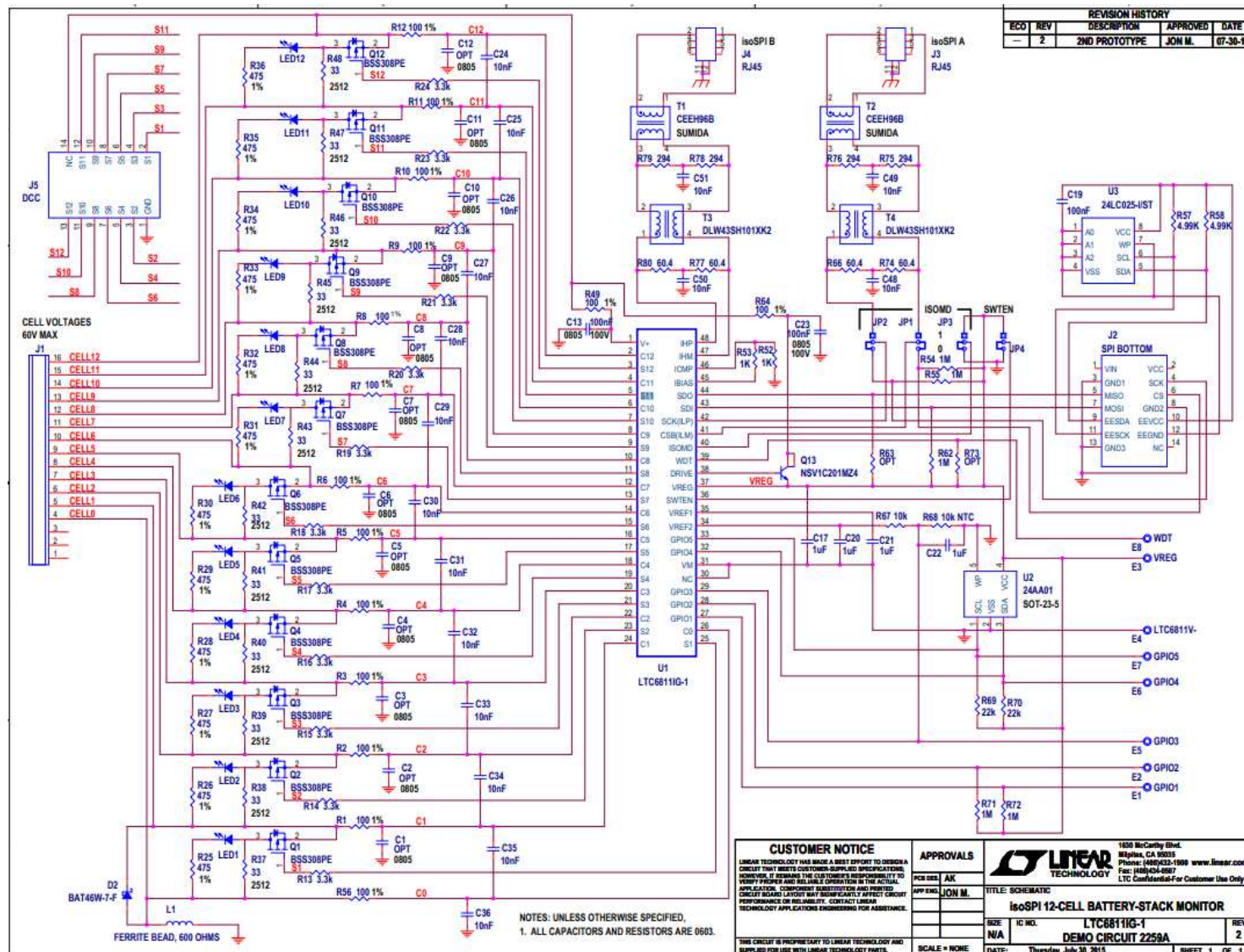
Battery management system (BMS)

BMS esclavo (ejemplo LTC6811): Medida de 12 celdas, 1.2 mV de error, puedes colocar varios en serie hasta 100 celdas. Interfaz isoSPI



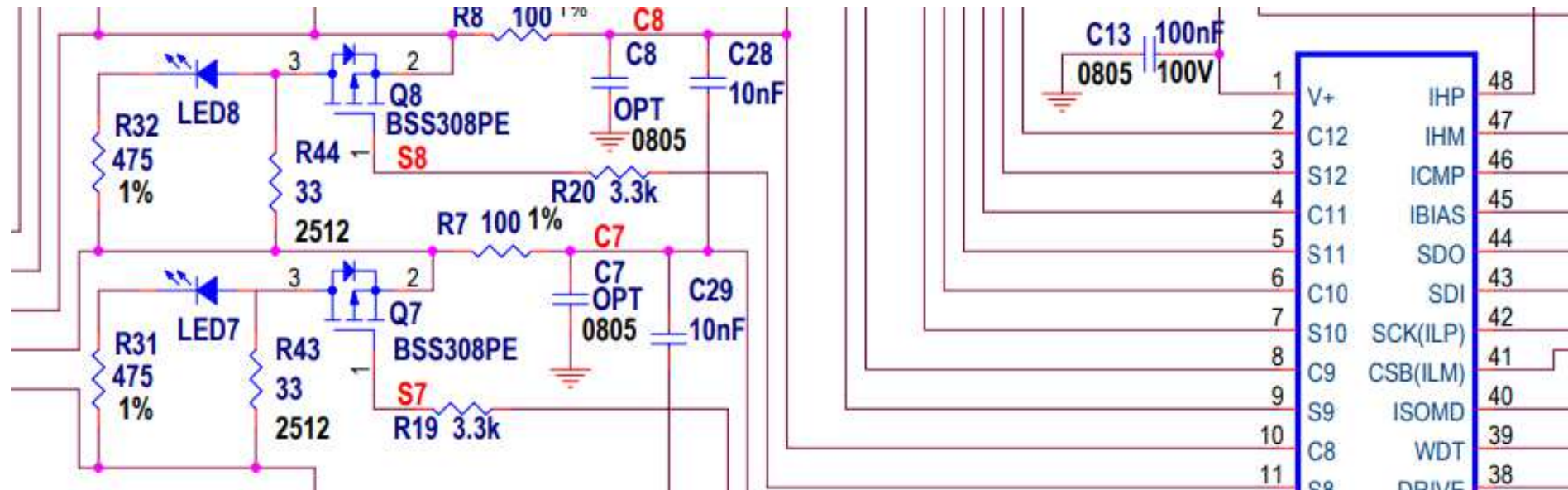
Battery management system (BMS)

BMS esclavo (ejemplo LTC6811):



Battery management system (BMS)

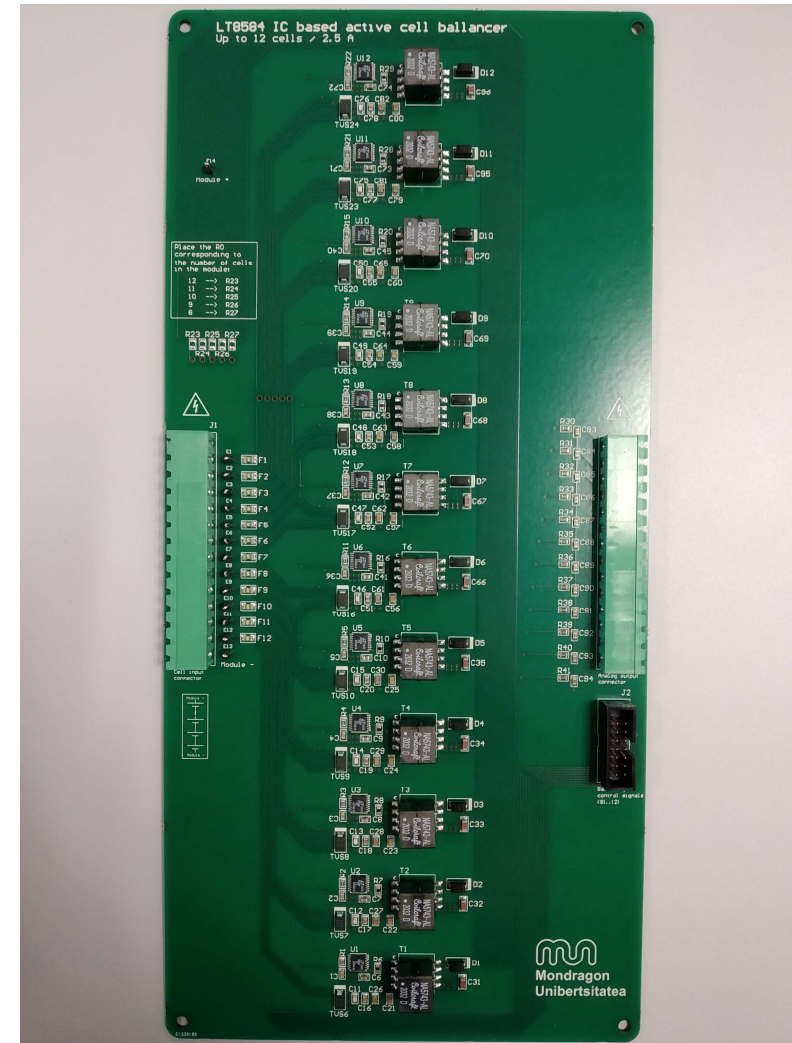
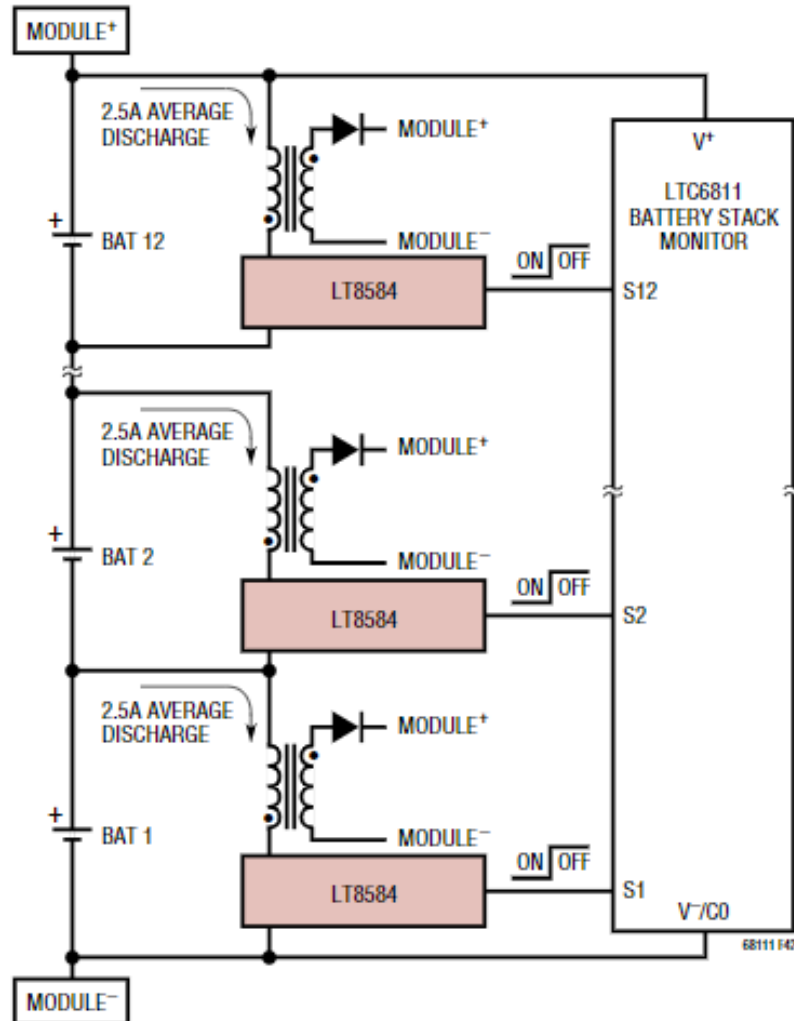
BMS esclavo (ejemplo LTC6811): Equilibrado pasivo



- Normalmente el equilibrado es de tipo pasivo:
 - Consiste en disipar energía en una resistencia.
 - Se montan un switch, normalmente tipo mosfet + una resistencia de la potencia que quieras disipar.
 - Cuando el chip observa que la diferencia de tensión de una celda con el resto pasa de un umbral, entra el equilibrado, normalmente durante la carga.

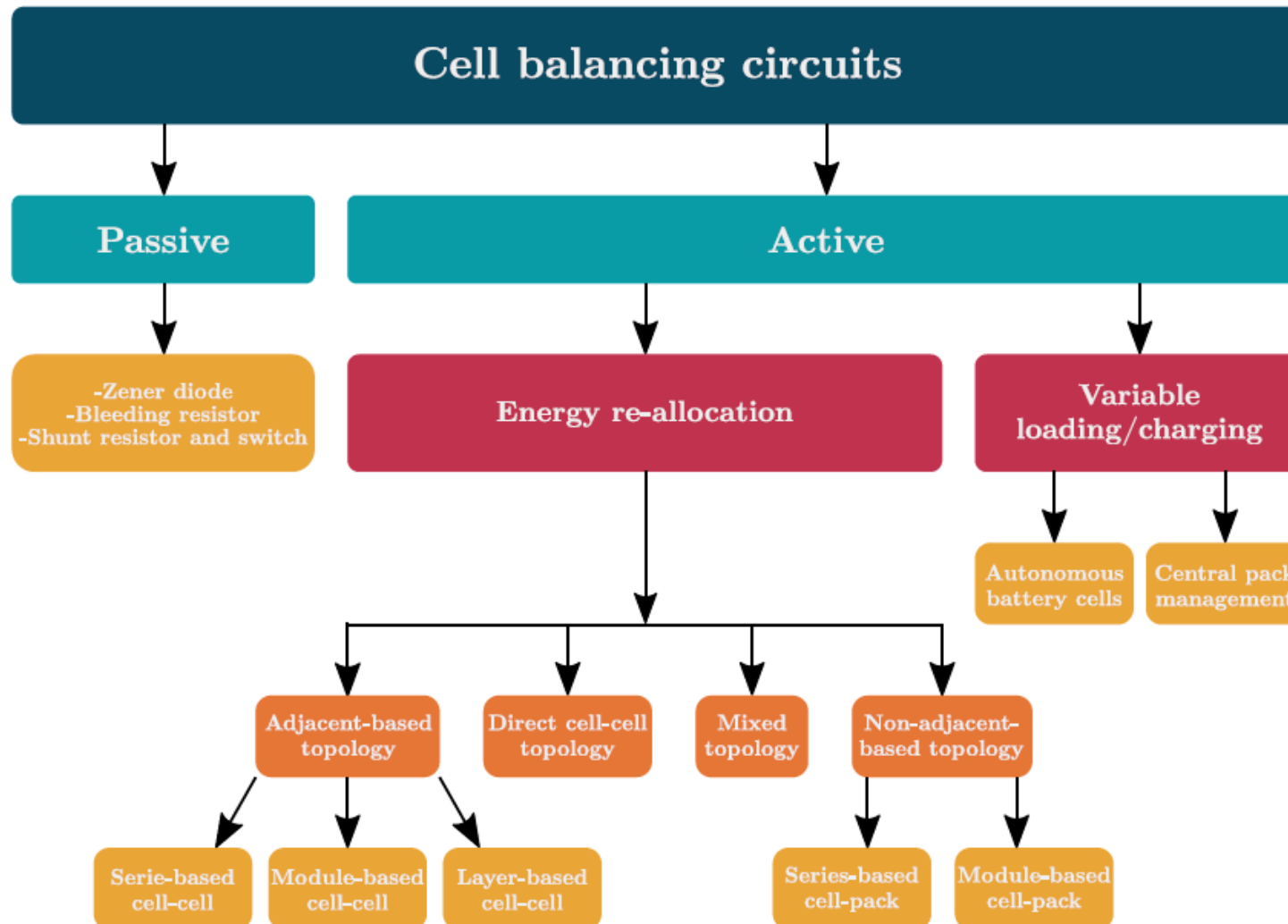
Battery management system (BMS)

BMS esclavo (ejemplo LTC6811): Equilibrado activo con LT8584



Battery management system (BMS)

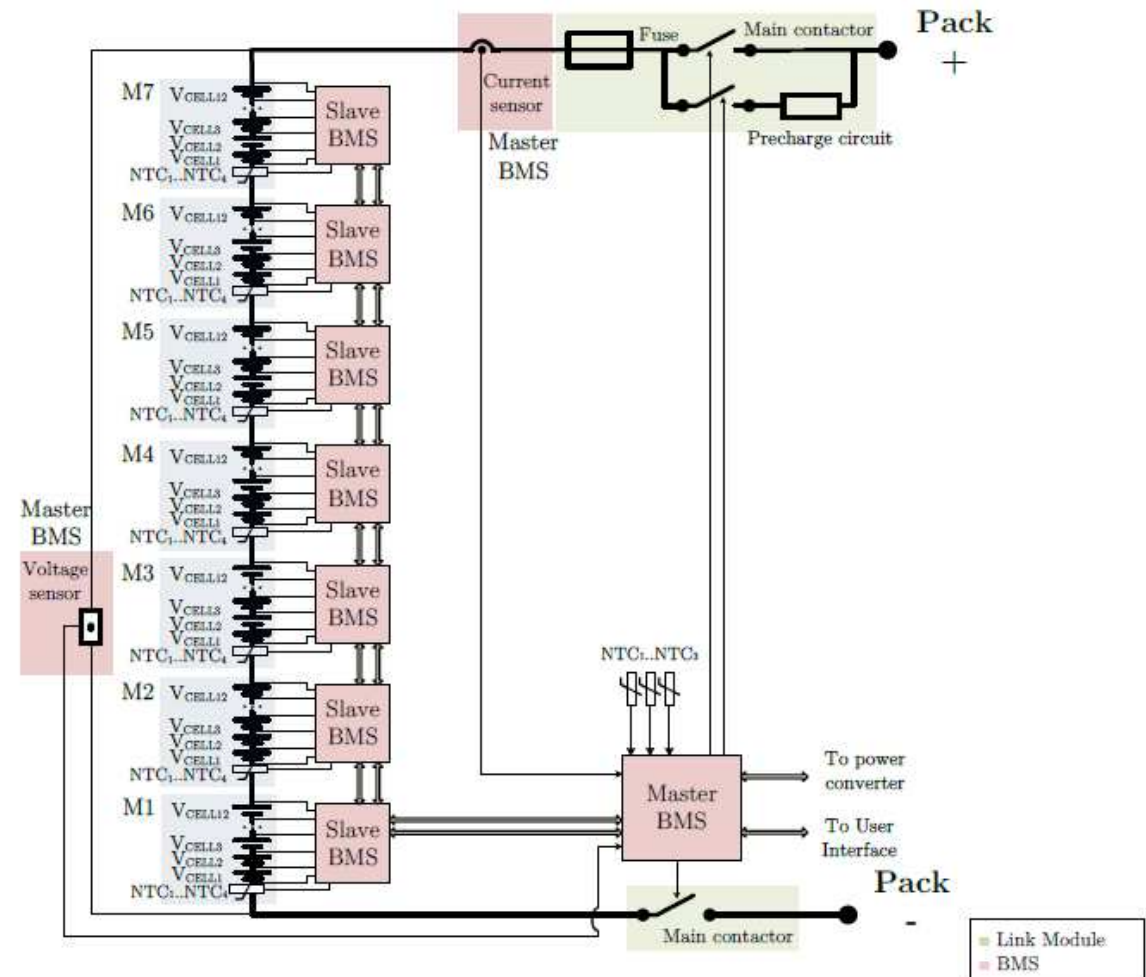
Técnicas de equilibrado, visión general:



Battery management system (BMS)

BMS esclavo (ejemplo LTC6811): Comunicación entre esclavos Daisy Chain

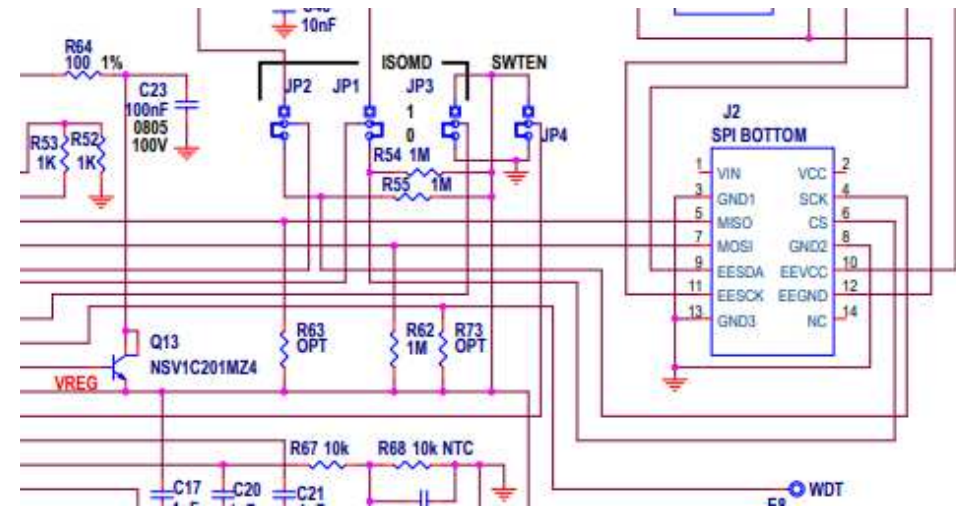
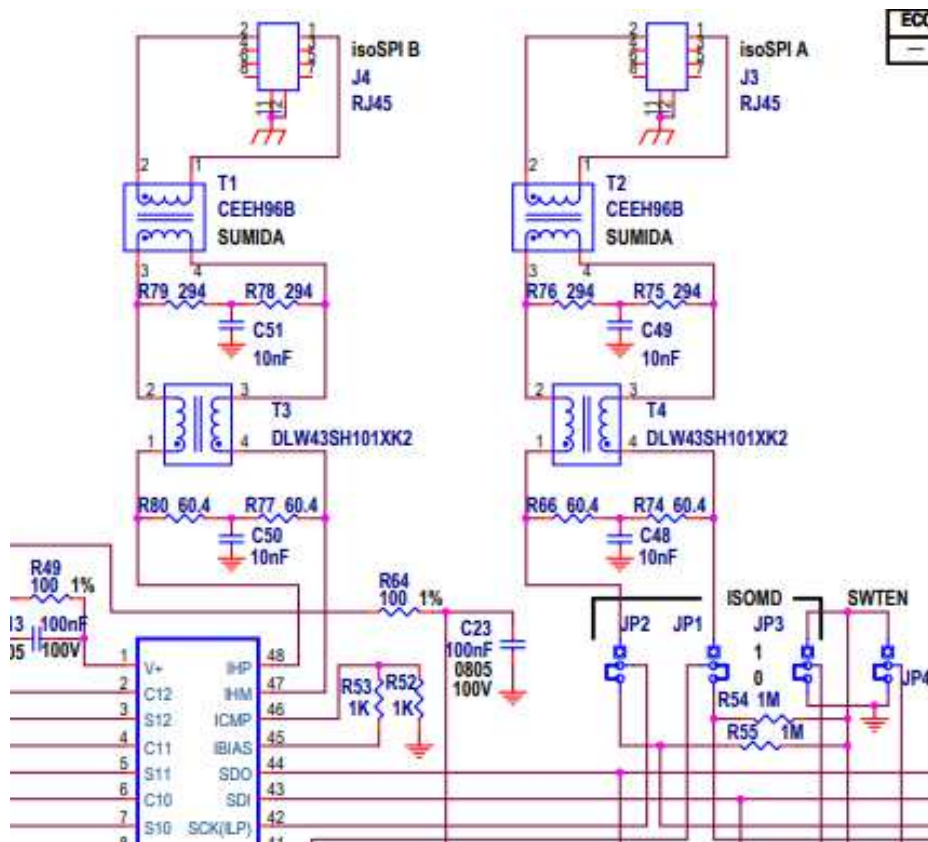
- Este integrado se conecta en daisy chain.
- En este caso, el maestro sólo se comunica con uno de los esclavos.
- Cada uno de los esclavos tiene un identificador asignado y el maestro envía la información a ese esclavo en concreto.
- Por ejemplo: Si el maestro quiere leer las tensiones del módulo 5, la orden se la envía al módulo 1 y éste al ver que esa información no es para él se la pasa al módulo 2, y así sucesivamente hasta llegar al 5.



Maitane Garmendia PhD: "STATE-OF-CHARGE (SOC) ALGORITHM DESIGN METHODOLOGY FOR IMPLEMENTATION ON BATTERY MANAGEMENT SYSTEMS (BMS) OF INDUSTRIAL LI-ION BATTERY-PACKS"

Battery management system (BMS)

BMS esclavo (ejemplo LTC6811): Comunicación entre esclavos Daisy Chain

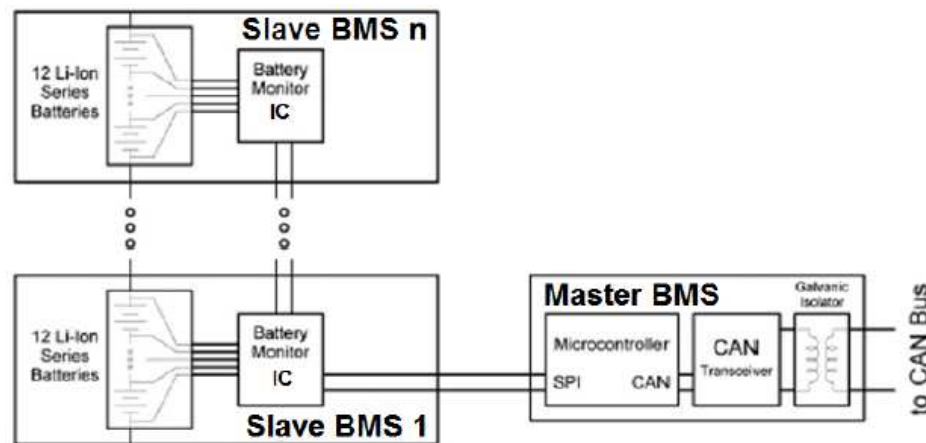
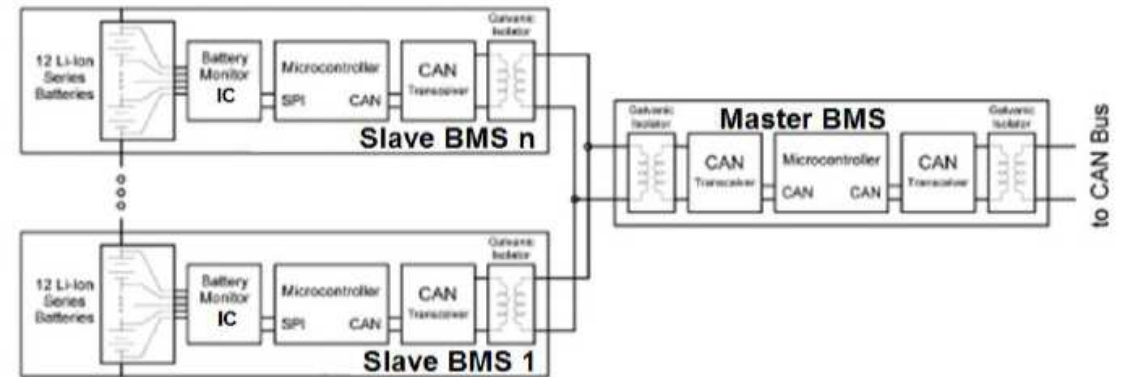
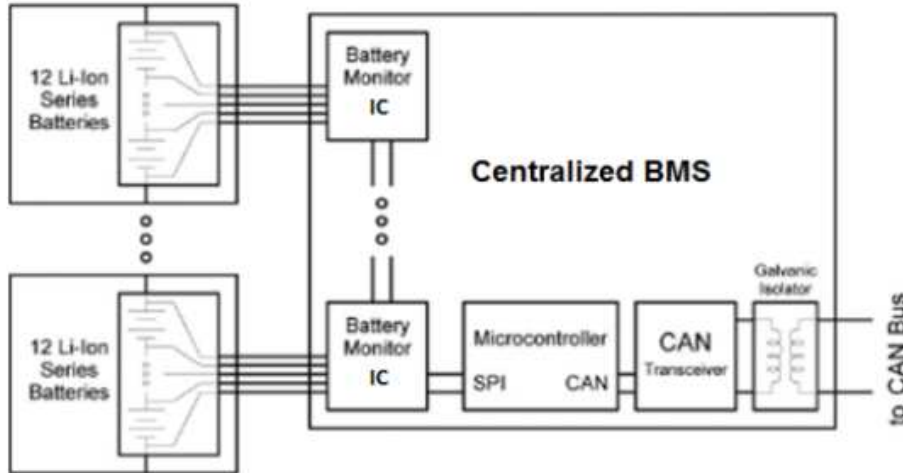


- Cuando diseñas el esclavo no piensas si es el del módulo 1 o 2, se hacen todos iguales con una comunicación con el esclavo anterior y otra con el esclavo siguiente.
- Además se le añade una comunicación para poder comunicarlo con el maestro.

Battery management system (BMS)

Topologías de BMS

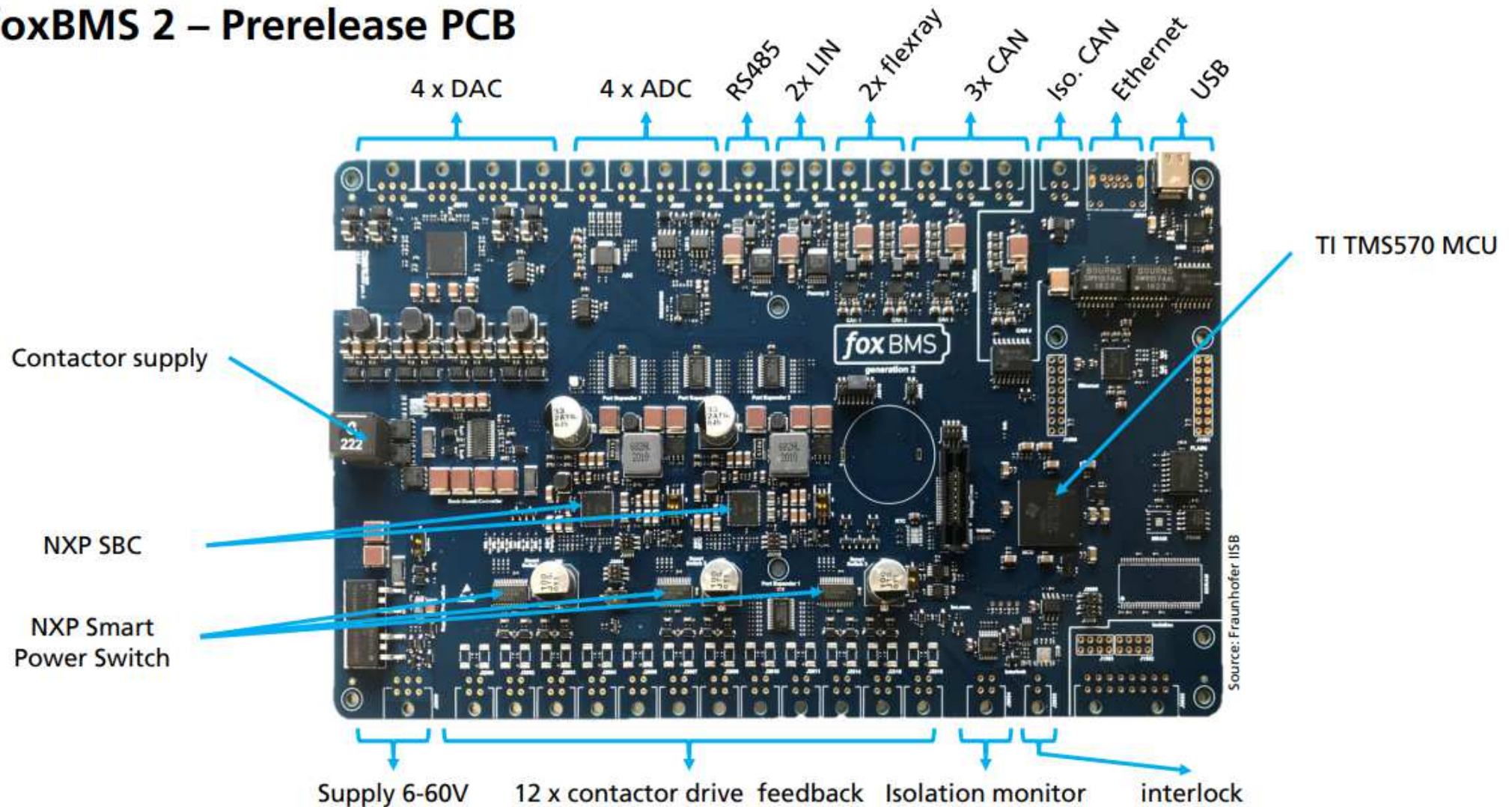
Maitane Garmendia PhD: "STATE-OF-CHARGE (SOC) ALGORITHM DESIGN METHODOLOGY FOR IMPLEMENTATION ON BATTERY MANAGEMENT SYSTEMS (BMS) OF INDUSTRIAL LI-ION BATTERY-PACKS"



1. Topología centralizada en un PCB.
2. Maestro esclavo en estrella.
3. Maestro esclavo en anillo. (Daisy-chain)

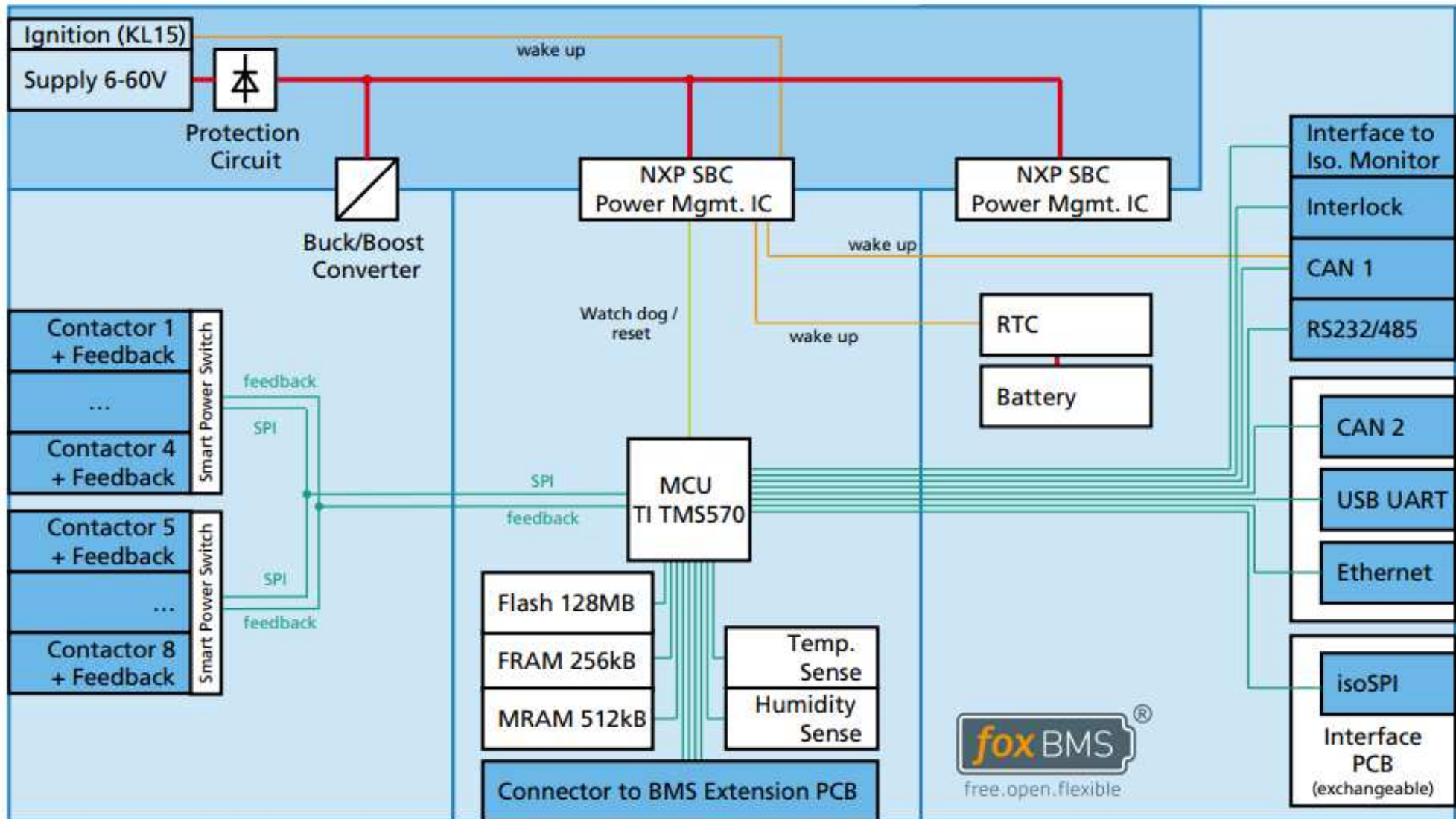
Desarrollo de Fraunhofer IISB

foxBMS 2 – Prerelease PCB



- La información es completamente open source: foxbms.org, github.com/foxBMS

Diagrama de bloques del foxBMS2



Los componentes más significativos:

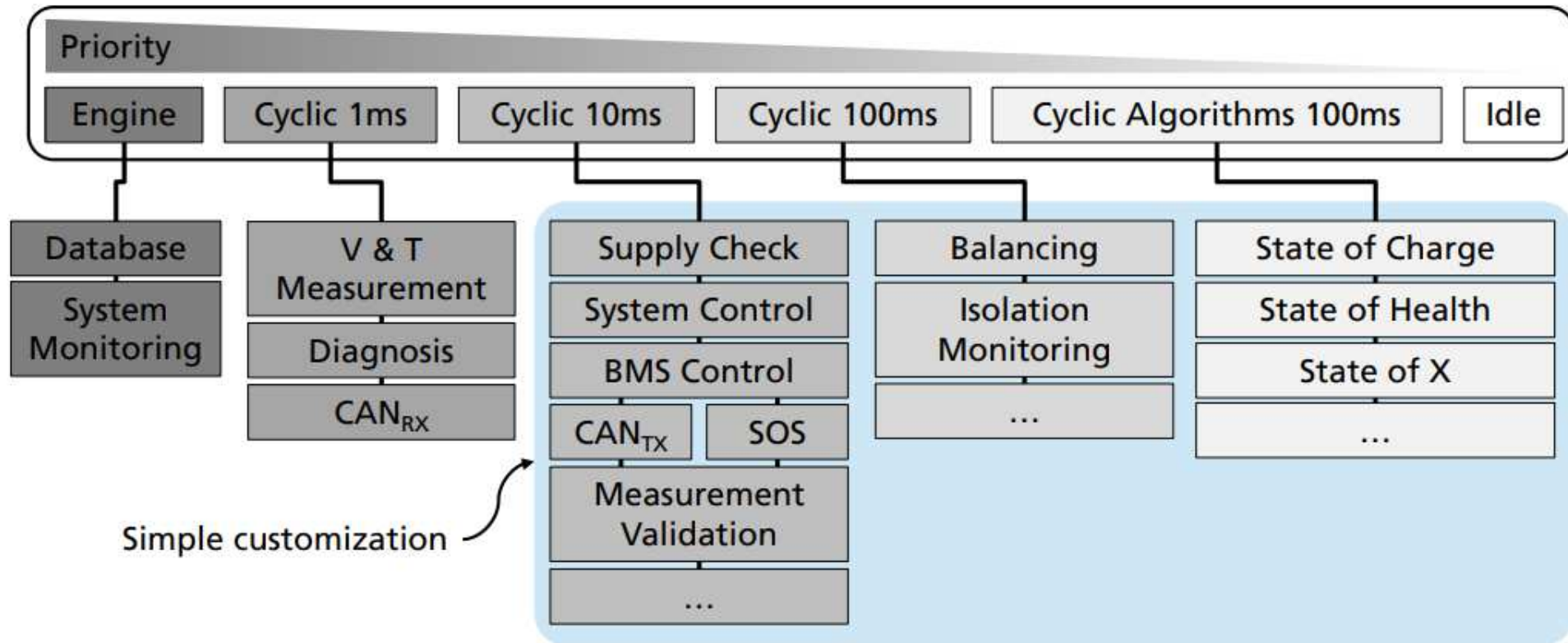
1. Microcontrolador: Es el encargado de ejecutar la algoritmia de estado (SoX), además de ejecutar todo el código que se programa en el BMS.
2. Salidas para abrir y cerrar contactores, tanto principales como de precarga.
3. Memorias para poder almacenar datos.
4. Distintos puertos de comunicaciones:
 - RS485
 - CAN
 - isoCAN
 - Ethernet
 - USB
5. Monitor de aislamiento.
6. Fuente de alimentación
7. Entradas ADC y salidas DAC
8. Interlock, es un sistema de seguridad extra que se utiliza como entrada al BMS máster.

foxBMS2 – software architecture

MCU &
Peripheral

Hardware Abstraction Layer / Low-level Drivers / Module Drivers

Tasks &
Priority



Retrofit Mercedes EQC Battery

- EU-funded Research Project 1000kmPLUS: Development of a retro-fit battery system for a Mercedes EQC
- Several driving challenges on public roads in Europe (e.g., 1000km in 12h with 3 charging stops, 90 min total → up to 350kW fast charging)



4-seater electric airplane

- The e-Sling is based on the Sling TSi, which has been adapted for electrification
- A modular battery system offers the e-Sling 250km range for 4 passengers
- With optional range extender e-Sling travels up to 350 km
- Customer specific BMS solution based on foxBMS 2 approved by Swiss BAZL (Swiss Aviation Authority)

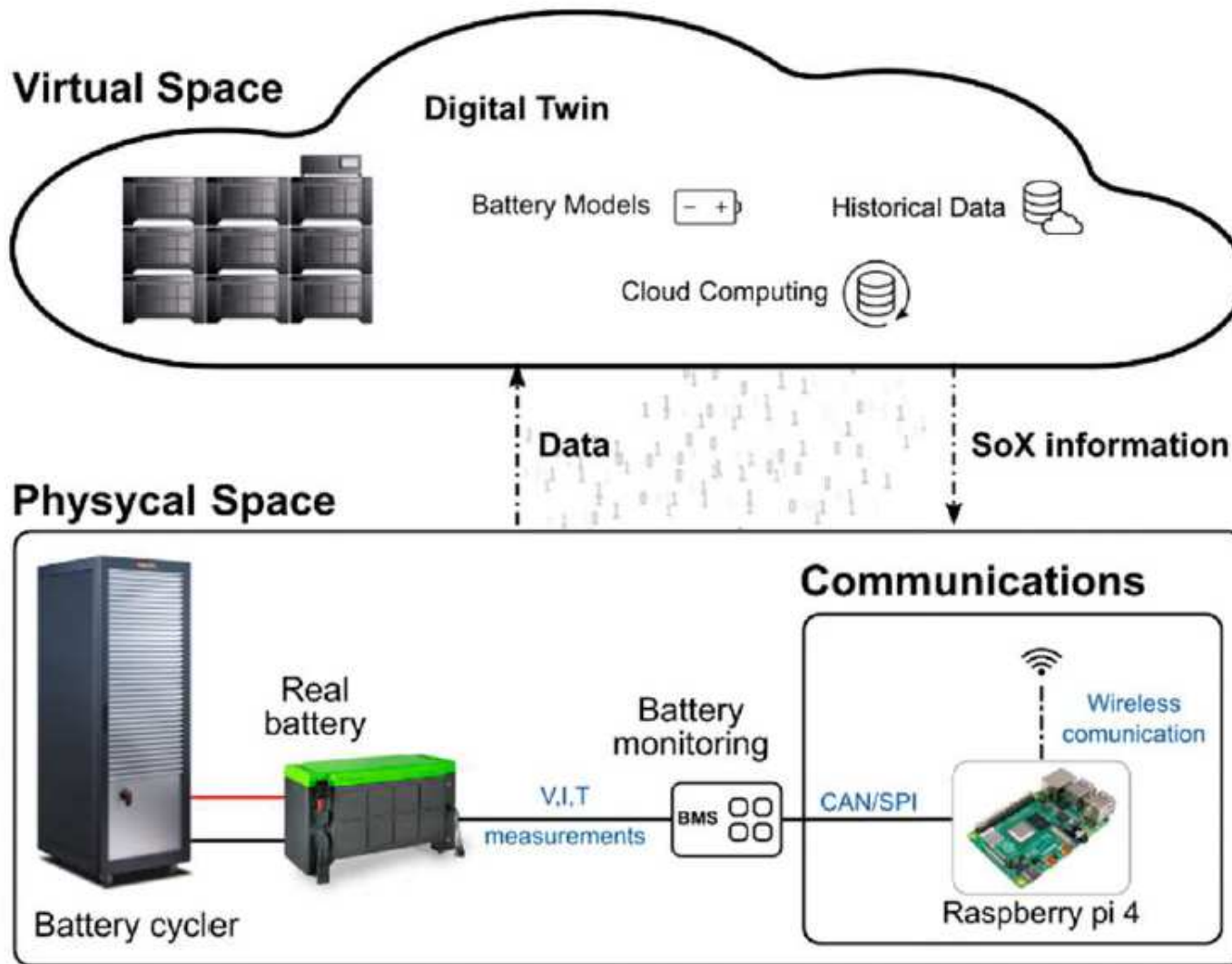


Customized foxBMS Slave Units



Electrified Sling TSi

Edge and cloud architecture



- La arquitectura que se baraja ahora en BMS de baterías es ésta.
- Un elemento denominado Edge que se comunica con la nube y con el BMS
- En la nube podríamos hacer cálculos más pesados pudiendo llegar a simular un modelo digital complejo de la batería.
- Sería un sistema de gestión de batería en 4 niveles: slave, master, edge y cloud.

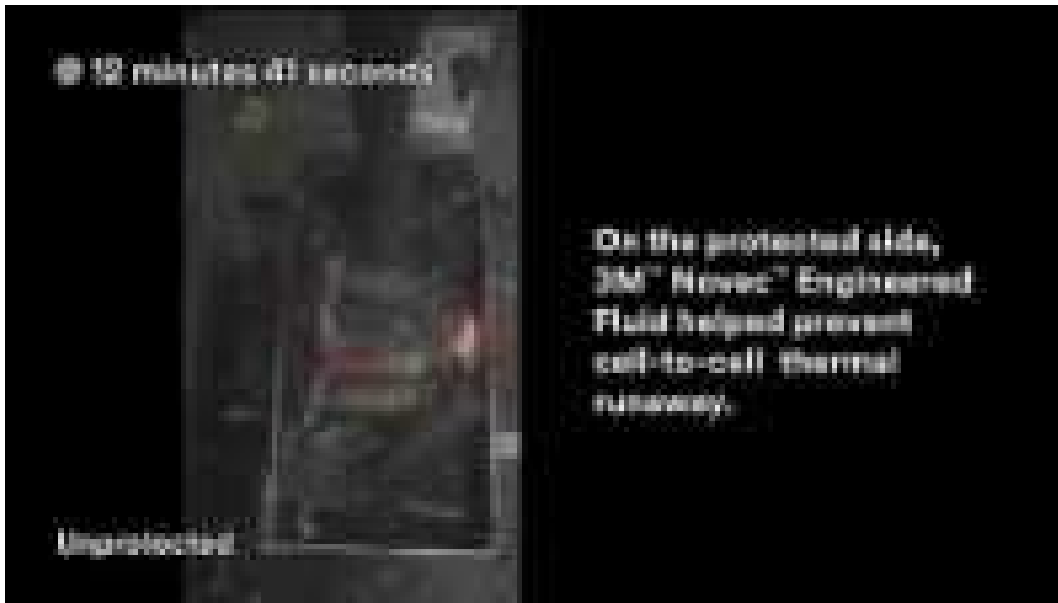
Otras placas BMS máster

- Un master de BMS es cualquier placa con un microcontrolador que pueda ejecutar instrucciones, no es necesario hacerse un PCB para ello.
- Si se trabaja en investigación o haciendo prototipos para testear algoritmos se pueden utilizar otras soluciones basadas en tarjetas comerciales.



Thermal management

- Una buena gestión térmica consiste en:
 - Controlar la temperatura media de los módulos del BP.
 - Controlar que el gradiente térmico del BP sea lo menor posible.
- Para ello, las técnicas más habituales son:
 - Aire forzado
 - Agua
 - Materiales de cambio de fase o PCM
 - Inmersion cooling. (NOVEDOSO)



Retos a la hora de diseñar un battery pack (final)

1. Dimensionamiento óptimo:
 - **Consiste en** seleccionar el battery pack más pequeño y económico que cumpla las especificaciones del cliente.
 - **Consiste en** realizar una gestión de la energía y potencia del BP de tal forma que satisfaga las especificaciones y dure lo máximo posible.
2. Garantizar la operación y evitar una degradación prematura:
 - **Hay que** dar garantías de que el BP va a poder dar la potencia y energía especificada toda su vida.
 - **Hay que** garantizar una serie de ciclos o años de vida.
3. Escalabilidad y mantenimiento del BP:
 - **Permitir** que el BP tal y como está diseñado se pueda trasladar a una aplicación de más o menos potencia y energía.
 - **Permitir** que el BP pueda mantenerse sin que la operación se detenga.



**Mondragon
Unibertsitatea**

Faculty of
Engineering

Eskerrik asko
Muchas gracias
Thank you

Unai Iraola

uiraola@mondragon.edu

Laura Oca

lauraoca@mondragon.edu