



**UNIVERSITAT JAUME I**

**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA I CIÈNCIES EXPERIMENTALS**

**GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

***DISEÑO, FABRICACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN  
ACUMULADOR DE CELDAS DE LITIO PARA UNA  
MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN***

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**AUTOR/A**

David Oliver Blasco

**DIRECTOR/A**

Pedro Balaguer Herrero

Castellón, noviembre de 2016



## Agradecimientos

Durante la duración de este proyecto he estado rodeado de mucha gente que me ha apoyado y animado a seguir adelante con el proyecto.

Por lo tanto, quiero agradecer a todo el equipo UJI Electric Racing Team el apoyo y animo durante todas las fases del proyecto, en especial la fabricación.

Por otro lado, también agradecer a mi familia por el apoyo y comprensión durante estos últimos meses, y en especial agradecer y dedicar este proyecto a Sandra Marza Garcia, por estar todos estos meses a mi lado dándome todo su apoyo y ánimo para realizar este proyecto ya que sin ella hubiera sido todo mucho más difícil.



<b>1. MEMORIA</b>	<b>4</b>
<b>1.1. OBJETO</b>	<b>4</b>
<b>1.2. ALCANCE</b>	<b>4</b>
<b>1.3. REQUISITOS DE DISEÑO</b>	<b>5</b>
1.3.1. REQUISITOS ELÉCTRICOS	5
1.3.2. REQUISITOS MECÁNICOS	6
<b>1.4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES</b>	<b>7</b>
1.4.1. PARTE ELÉCTRICA	7
1.4.1.1. Celdas	7
1.4.1.2. Configuración serie/paralelo	10
1.4.1.3. Uniones eléctricas	12
1.4.2. ESTRUCTURA	17
1.4.2.1. Estructura interna	17
1.4.2.2. Estructura externa	26
1.4.3. ELECTRÓNICA DE CONTROL	27
1.4.4. SOFTWARE DE CONTROL	36
<b>1.5. SOLUCIÓN ADOPTADA</b>	<b>37</b>
1.5.1. SISTEMA ELÉCTRICO	37
1.5.1.1. Celdas	37
1.5.1.2. Configuración serie	38
1.5.1.3. Configuración paralelo	40
1.5.1.4. Uniones eléctricas	43
1.5.2. ESTRUCTURA	45
1.5.3. ELECTRÓNICA DE CONTROL	50
1.5.3.1. BMS Esclavo	50
1.5.3.2. BMS Master	51
1.5.4. SOFTWARE DE CONTROL	52
1.5.4.1. INIT	52
1.5.4.2. WORK	53
1.5.4.3. FAILURE	53
<b>1.6. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA</b>	<b>54</b>
<b>1.7. PROCESO DE FABRICACIÓN</b>	<b>55</b>
1.7.1. ENSAMBLAJE DE LAS CELDAS	55
1.7.2. UNIONES ENTRE CELDAS, BORNES Y CABLEADO BMS ESCLAVOS	58
1.7.3. ENSAMBLAJE DE LOS TRES MÓDULOS	65
1.7.4. INSTALACIÓN DE LA ELECTRÓNICA	68
1.7.5. CAJA ACUMULADOR	69
<b>1.8. PROCESO DE VALIDACIÓN</b>	<b>71</b>
1.8.1. DESCARGA CONTROLADA A CORRIENTE CONSTANTE	71
1.8.2. COMPROBACIÓN DE LA ACTUACIÓN DE LA SEGURIDAD DEL BMS MASTER	72
1.8.3. VERIFICAR LA MONITORIZACIÓN DE INFORMACIÓN DEL ACUMULADOR	72
<b>1.9. CONCLUSIONES</b>	<b>73</b>
<b>1.10. TRABAJOS FUTUROS</b>	<b>74</b>



<b>2. ANEXOS</b>	<b>76</b>
<b>2.1. ESTUDIO NECESIDAD ENERGÉTICA CIRCUITO FIM MOTORLAND</b>	<b>76</b>
2.1.1. CÁLCULO FUERZA RESISTENTE AERODINÁMICA	79
2.1.2. CÁLCULOS RITMO 2 MINUTOS/VUELTA	80
2.1.3. CÁLCULOS RITMO 2,5 MINUTOS/VUELTA	81
<b>2.2. NORMATIVA MOTOSTUDENT 15/16</b>	<b>82</b>
<b>2.3. MOTOR HEINZMANN 150PMS</b>	<b>83</b>
<b>2.4. MKTL BMS</b>	<b>85</b>
<b>2.5. REC R9 BMS</b>	<b>86</b>
<b>2.6. ZEVA BMS12</b>	<b>87</b>
<b>2.7. ZEVA BMS16</b>	<b>88</b>
<b>2.8. CELDA LG MH118650</b>	<b>89</b>
<b>2.9. CÓDIGO SOFTWARE CONTROL BMS MASTER</b>	<b>90</b>
2.9.1. CÓDIGO PRINCIPAL	90
2.9.2. LIBRERÍA LABVIEW	98
2.9.3. LIBRERÍA TEMPERATURAS	100
<b>2.10. GRÁFICOS TEST CELDAS</b>	<b>102</b>
<b>2.11. ANÁLISIS TERMODINÁMICO</b>	<b>104</b>
2.11.1. PRIMERA SIMULACIÓN	104
2.11.2. SEGUNDA SIMULACIÓN	105
2.11.3. TERCERA SIMULACIÓN	106
<b>3. PLANOS</b>	<b>110</b>
<b>4. PLIEGO DE CONDICIONES</b>	<b>112</b>
<b>5. PRESUPUESTO</b>	<b>116</b>
5.1. COSTE MATERIALES	116
5.2. COSTE EQUIPOS	117
5.3. COSTE MANO DE OBRA	117
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>120</b>



# 1. Memoria



## 1. Memoria

### 1.1. Objeto

El objeto de este proyecto es diseñar y fabricar un acumulador eléctrico que permita proporcionar la energía necesaria para alimentar un motor eléctrico en una motocicleta de competición. El principal objetivo que debe cumplir una moto de competición es realizar el menor tiempo por vuelta posible, para ello se han definido una serie de especificaciones de diseño que permitan conseguir este objetivo. El circuito utilizado para los cálculos consiste en 5 vueltas por el trazado FIM del circuito Motorland en Alcañiz (Teruel).

La motocicleta se ha desarrollado y fabricado por el equipo UJI Electric Racing Team, un equipo formado por 13 alumnos de la UJI de los grados en Ingeniería Eléctrica (GIE), Ingeniería Mecánica (GIM), Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Productos (GIDIDP) e Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI), cuya finalidad es participar en la competición Motostudent 15/16.

Esta competición consiste en la fabricación de un prototipo de motocicleta de competición completamente eléctrica. Para ello la organización proporciona el motor, ruedas y sistema de frenado. Con estos materiales el estudiantado tiene la obligación de fabricar la parte estructural y conseguir o fabricar el resto de componentes que necesita la motocicleta. En este proyecto se va a desarrollar como se ha diseñado, fabricado y validado el acumulador necesario para esta motocicleta.

### 1.2. Alcance

Este proyecto se enfoca directamente a las motocicletas de competición eléctricas, siendo únicamente aplicable directamente y sin modificaciones a la motocicleta desarrollada por el equipo UJI Electric Racing Team para la competición Motostudent 15/16.



### 1.3. Requisitos de diseño

Los requisitos de diseño se pueden definir principalmente en 2 grupos, requisitos eléctricos y mecánicos.

#### 1.3.1. Requisitos eléctricos

Los requisitos eléctricos de diseño del acumulador quedan definidos por los siguientes aspectos:

- Potencia de trabajo
- Tensión máxima y tensión mínima
- Cantidad de energía almacenada

El motor instalado en la motocicleta viene definido por la organización de la competición Motostudent 15/16. Este es un motor síncrono de imanes permanentes de flujo axial, que dispone de dos rotores y estatores funcionando en paralelo. El modelo concreto es el 150PMS, del fabricante Heinzmann (ver Anexo 2.3: Motor Heinzmann 150PMS), las gráficas de par y potencia de este motor son las siguientes:

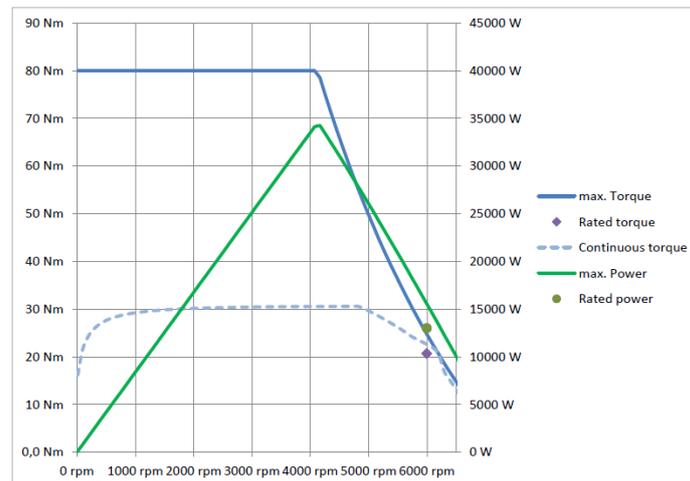


Ilustración 1: Grafico curvas motor

Al tratarse de una motocicleta de competición se desea obtener la máxima potencia del motor a lo largo de toda la carrera, en especial en las salidas de curva.

Mediante el uso de datos telemétricos de varias motocicletas con potencia y par similares, se ha realizado un estudio de la potencia que utiliza una motocicleta en una vuelta a lo largo del trazado FIM (Federación Internacional de Motociclismo) de Motorland. Mediante este estudio se ha calculado que el motor va a trabajar entre 2500 y 6000 rpm, lo que corresponde según la gráfica del fabricante a una potencia de trabajo entre **15 y 35 kW**. (La justificación de estos datos se encuentra en el Anexo 2.1 Estudio necesidad energética circuito FIM Motorland)

Por otro lado, la tensión máxima del acumulador se define en **110V** debido a la restricción del punto D.1.1.1 de la normativa de la competición Motostudent 15/16. (La normativa completa de la competición se encuentra en el Anexo 2.2: Normativa Motostudent 15/16). La tensión mínima del acumulador la define el controlador, y es de **39,1 V**.

En cuanto a la capacidad de almacenamiento de energía del acumulador, mediante el Estudio de energía necesaria (ver Anexo 2.1 Estudio necesidad energética circuito FIM Motorland para



más información) se ha obtenido que para un ritmo por vuelta de entre 2:30 minutos y 2:00 minutos se precisara una energía almacenada de entre **6 y 9,5 kWh** respectivamente.

### 1.3.2. Requisitos mecánicos

Los requisitos mecánicos de diseño del acumulador vienen definidos por los siguientes parámetros:

- Rigidez mecánica
- Medidas acordes con el chasis (Forma y dimensiones)
- Temperatura mínima y máxima
- Protección contra partículas y humedad

La solidez mecánica del acumulador se ha definido para que sea por si solo un bloque rígido y resistente. No se define un esfuerzo máximo a soportar, simplemente debe soportar su propio peso en las aceleraciones y deceleraciones, esto es debido a que va protegido por el propio chasis ejerciendo de carcasa protectora del acumulador ante caídas o accidentes.

En cuanto a las **dimensiones máximas** del acumulador, este debe de estar contenido dentro del chasis. Las medidas máximas que puede llegar a tener por características constructivas del chasis son algo complejas por la forma especial del espacio libre en el chasis, por lo que se utilizará un sólido 3D mediante un software como SolidWorks para diseñar el acumulador dentro de las especificaciones.

Los requisitos térmicos del acumulador vienen ligados completamente a la celda seleccionada ya que se debe de asegurar que las celdas seleccionadas trabajen siempre dentro de las especificaciones de temperatura que define el fabricante.

La motocicleta se ha diseñado para circular en seco debido a que el punto G.2.1 de la normativa de la competición Motostudent 15/16 (Disponible en el Anexo 2.2 Normativa Motostudent 15/16) no permite la circulación de la motocicleta en pista si está lloviendo, por lo que la estanqueidad del acumulador solo se precisa para evitar la entrada de polvo y partículas extrañas al interior del acumulador y no necesita protección contra líquidos, estos requisitos corresponden a un IP 22 según la norma IEC 60529 Degrees of Protection.



## 1.4. Análisis de soluciones

El proceso de diseño se ha dividido en tres partes, la parte eléctrica, la parte mecánica y la parte de electrónica de control.

### 1.4.1. Parte eléctrica

Dentro de esta parte se detallan las celdas, los conductores/uniones que se encargan de conducir la corriente entre las celdas y los bornes de salida del acumulador.

#### 1.4.1.1. Celdas

La unidad básica de un acumulador de energía eléctrica es la celda, existen celdas de diferentes tecnologías y dentro de estas, infinidad de formatos.

Realizando un estudio básico en el mercado actual se puede ver como las principales tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica están basadas en Ácido Plomo, Litio-ion y Níquel Metal Hidruro.

Las de Ácido Plomo son las que más tiempo llevan en el mercado y por ello tienen un precio muy bajo, pero tienen bajos niveles de potencia y densidad de acumulación de energía.

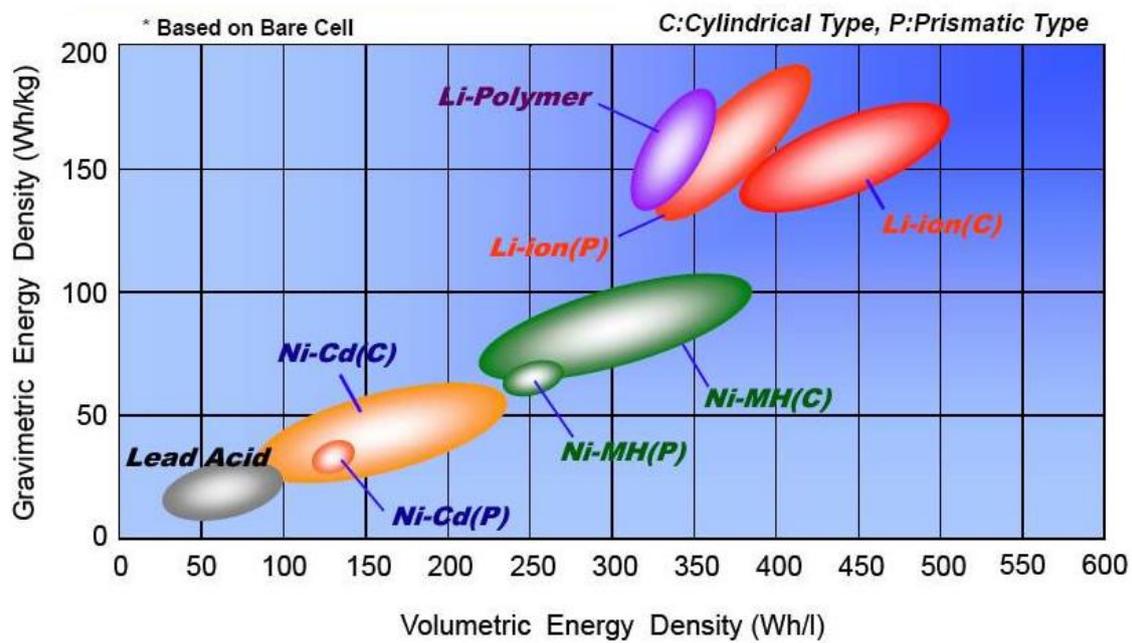


Ilustración 2: Grafico comparativo químicas

Por otro lado, las de Níquel Metal Hidruro (NMH) se llevan utilizando desde hace varios años en vehículos radiocontrol debido a su buena relación peso/potencia, pero están prácticamente en desuso debido a la bajada de precio de las de Litio y sus grandes ventajas respecto NMH.



La otra tecnología más moderna, pero no por ello menos consolidada en el mercado es el ion de litio, esta tecnología tiene una gran relación de potencia/peso y capacidad/peso.

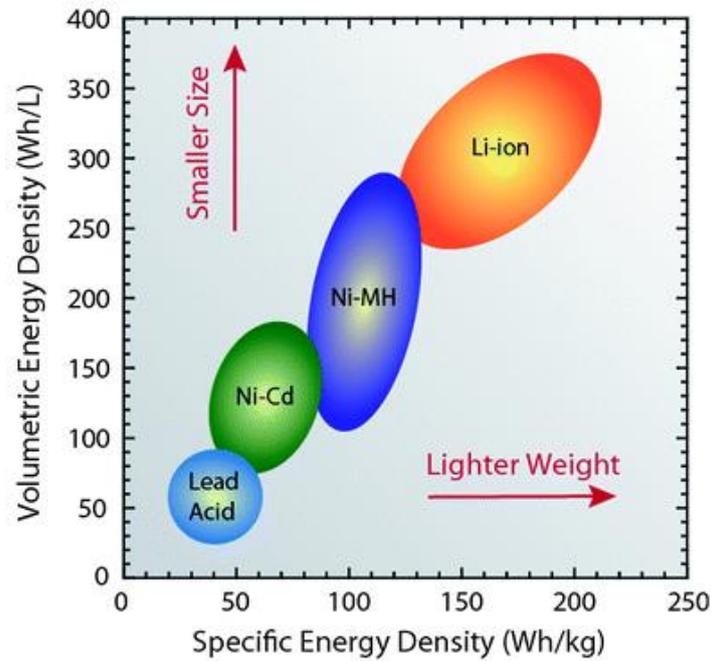


Ilustración 3: Grafico comparativo celdas

Las de Ácido Plomo y las de Níquel Metal Hidruro se descartan de inmediato debido a su poca densidad energética, lo cual se traduce en elevado volumen y peso para una motocicleta de competición.

Por lo tanto, la mejor opción es la de celdas de ion de litio, dentro de esta tecnología encontramos diferentes combinaciones tanto de químicas como de formatos.

Material	Energy Density	Power Density	Safety	Stability	Cyclability	Cost per Ah
LOO	Yellow	Orange	(-)	Light Green	(-)	Red
NCA	Green	Green	Red	Green	Red	Yellow
NMC	Light Green	Light Green	Orange	Green	Orange	Yellow
LMO	Red	Green	Light Green	Red	Red	Orange
LFP	(-)	(+)	Green	Green	Green	Green
LFMP	Yellow	(+)	Green	Green	Green	Green
LTO	(--)	(++)	Green	Green	(+)	(-)
		Very good				Very bad
		Green	Light Green	Yellow	Orange	Red

Ilustración 4: Tabla comparativa características celdas de litio



Como se puede ver en la Ilustración 4: Tabla comparativa características celdas de litio, dependiendo de la química se obtienen diferentes características.

Las tecnologías más aptas para una moto de competición son la siguientes:

#### Litio Hierro Fosfato (LFP)

Esta tecnología tiene una baja densidad energética de 90-120Wh/kg, pero acepta descargas de hasta 25C (25 veces su capacidad nominal en Ah). Se considera bastante segura debido a que su temperatura de “runaway” es de 270 grados centígrados. Por otro lado, tiene hasta 2000 ciclos de vida útil. Su uso principal es en aplicaciones estacionarias y de larga vida.

#### Litio Titanato (LTO)

Las celdas de LTO, tienen la peor densidad energética, pero ofrecen la mayor tasa de descarga posible llegando incluso hasta 30C. En cuanto a la seguridad son las más seguras del mercado. La vida útil también es de las más elevadas llegando incluso a los 7000 ciclos.

Normalmente se utilizan en sistemas de alimentación ininterrumpida, en iluminación de calles y en algunos vehículos eléctricos como el Mitsubishi i-MiEV o el Honda Fit EV.

#### Níquel Manganeso Cobalto (NMC)

Las NMC ofrecen una buena densidad energética de hasta 220 Wh/kg, son bastante seguras, disponen de tasas de descarga de hasta 2C y una vida útil de hasta 2000 ciclos.

Su uso principal uso es en vehículos eléctricos y equipo médico.

#### Níquel Cobalto Aluminio (NCA)

Este tipo de química ofrece la mayor densidad energética del mercado, llegando hasta 260Wh/kg. Tienen una tasa de descarga nominal baja, pero aceptan mayores tasas de descarga a costa de reducir su ya corta vida de solo 500 ciclos. También se debe refrigerar y controlar adecuadamente ya que su temperatura de “runaway” es de 150 grados centígrados.

Su principal aplicación es en equipos médicos, industria y en vehículos eléctricos como los coches eléctricos Tesla.

En cuanto al formato, existen diferentes formatos, pouch (prismáticas), cilíndricas, etc. La selección del formato viene muy ligado a la forma final que deberá tener la batería, ya que dependiendo del formato elegido se dispondrá de mayor o menor flexibilidad.



### 1.4.1.2. Configuración serie/paralelo

#### 1.4.1.2.1. Serie

Primero se debe definir el número de celdas en serie necesarias para obtener la máxima tensión de forma que se minimice al máximo la corriente, además debido a las características del controlador y del motor instalado en la motocicleta, el hecho de trabajar a mayor tensión implica la posibilidad de aumentar las rpm máximas del motor hasta las 7000 rpm sin peligro de debilitamiento de campo magnético.

Los diferentes tipos de celda que se predisponen a utilizar en este acumulador tienen un rango de tensión máximo de 4,2, por este motivo se utiliza este valor para realizar los cálculos de la conexión serie., la siguiente tabla muestra la tensión total del acumulador y la tensión media de este según el número de celdas.

Nº Celdas	V Max	V Media
25	105	91.75
26	109.2	95.42
27	113.4	99.09
28	117.6	102.76

*Ilustración 5: Tabla celdas serie-tensión*

Para cumplir el punto D.1.1.1 de la normativa de la competición Motostudent 15/16, y suponiendo la tensión máxima de las celdas como su valor máximo de 4,2 V, se deben utilizar como máximo 26 celdas en serie, esto conlleva una tensión máxima de 109,2 V y una tensión media de trabajo de 95,42. Para un mejor funcionamiento del motor se precisa que este trabaje a la mayor tensión posible, para conseguir este hito se pueden instalar más celdas en serie que aumentarían la tensión media, pero por consiguiente también aumentarían la tensión máxima. Para permitir que el acumulador pueda trabajar con un número de celdas en serie mayor a 26 sin que supere los 110 voltios se puede definir una nueva tensión máxima por celda menor a 4,2 V de forma que nunca se superen los 110 V. Esta disminución de la tensión máxima provoca un desaprovechamiento de la capacidad de almacenamiento de energía de la celda, por lo que se ha realizado un estudio de la pérdida de energía que supone limitar el rango de trabajo de las celdas para poder utilizar 27 o 28 celdas en serie.

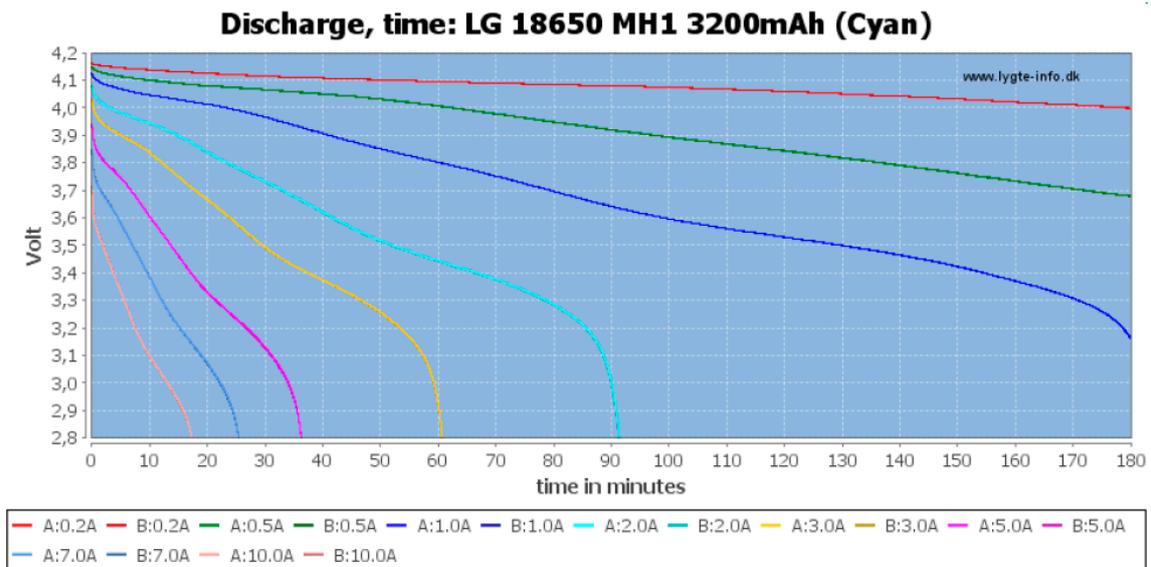


Ilustración 6: Grafica descarga celda MH118650

Este estudio se basa en la curva de descarga característica de las celdas de litio, en la Ilustración 6: Grafica descarga celda MH118650, se puede observar como al principio de uso la tensión baja con una mayor pendiente, para posteriormente pasar por una zona bastante plana y luego al final de su rango la tensión vuelve a disminuir con mayor pendiente. Esto significa que disminuyendo el rango de trabajo de las celdas recortando la tensión máxima de las celdas, se consigue una tensión de trabajo mucho más estable, lo que permite que el controlador y el motor trabajen durante toda la carrera a una tensión prácticamente constante.

#### 1.4.1.2.2. Paralelo

El diseño de celdas en paralelo se ha definido en función de la corriente y la energía necesaria que precisa el acumulador.

La capacidad deseable es entre 6 y 9kWh, por lo que se calcula utilizando la corriente necesaria para conseguir unos 25kW de potencia media durante toda la carrera y posteriormente se comprueba que cumple el requisito de energía disponible.



### 1.4.1.3. Uniones eléctricas

Para unir este tipo de celdas se utiliza normalmente la soldadura por puntos, aunque en algunos casos se utiliza la soldadura mediante estaño directamente o mediante elementos mecánicos.

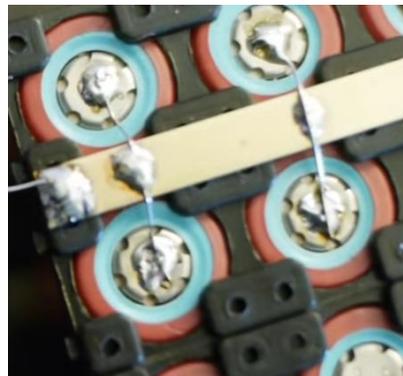
#### 1.4.1.3.1. Elementos mecánicos

Este tipo de uniones se utilizan en aplicaciones de poca potencia, ya que los muelles o pletinas que sujetan a las celdas no son capaces de transmitir una gran corriente, y si en lugar de muelles se utilizan uniones mediante tornillos existe el peligro de perforar la celda por un mal apriete o por las dilataciones de esta con la temperatura.



*Ilustración 7: Unión por elementos mecánicos*

#### 1.4.1.3.2. Soldadura mediante estaño



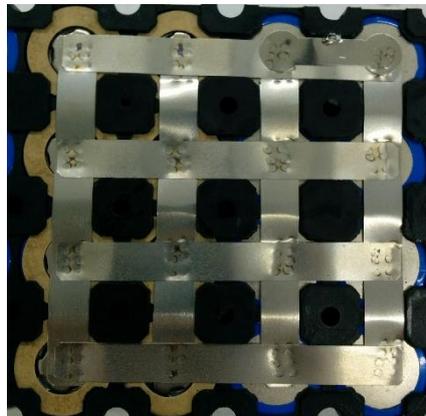
*Ilustración 8: Unión por soldadura mediante estaño*

La soldadura con estaño proporciona una gran conductividad térmica, además permite utilizar conductores de cobre de gran sección para facilitar el paso de la corriente, pero tiene el inconveniente de que para realizar la soldadura se le está aplicando una gran temperatura que podría fácilmente superar la temperatura máxima de funcionamiento de las celdas, provocando en ese caso su deterioro y posterior mal funcionamiento.



#### 1.4.1.3.3. Soldadura por puntos

Este tipo de unión es el más utilizado en la industria tanto en aplicaciones de potencia como en aplicaciones de poca potencia.



*Ilustración 9: Unión con soldadura por puntos*

El material que se utiliza para este tipo de uniones es el níquel, esto es debido principalmente por dos motivos, el primero de ellos es por afinidad de materiales, ya que las celdas también tienen los casquetes donde se realiza la soldadura de una aleación de níquel. Por otro lado, debido a las características de este método de soldadura es necesario que el material a unir tenga una resistencia al paso de la corriente definida, ya que si este material es muy conductor no se producirá calentamiento en la pieza a unir y ello provocara que no se realice correctamente esta unión.

Para la realización de estas soldaduras se ha empleado el siguiente equipo:



*Ilustración 10: Equipo de soldadura por puntos*

Las características técnicas son las siguientes:

- Potencia pico de 1,9 kW
- Corriente de soldadura de 500 A
- Regulación de potencia mediante potenciómetro
- Regulación de número de pulsos mediante pantalla

Este equipo tiene ciertas limitaciones de potencia y de construcción por lo que se ha realizado un útil para poder aumentar su rendimiento y fiabilidad a la hora de realizar las soldaduras.

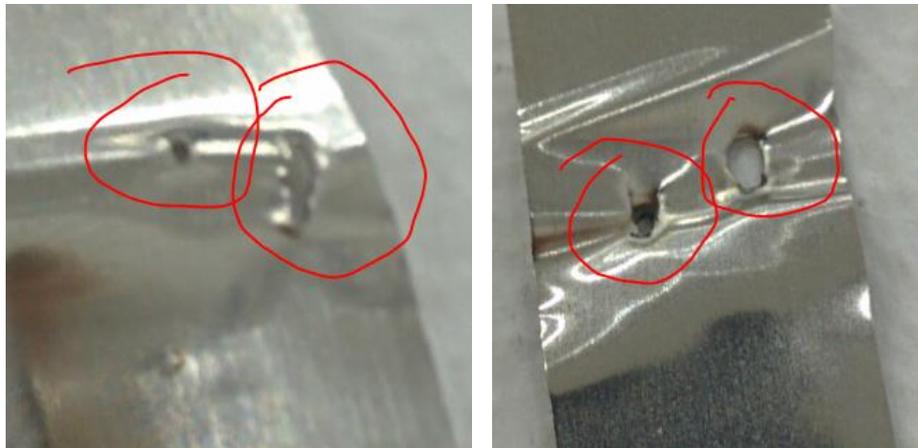


*Ilustración 11: Útil para mejorar el soldador por puntos*

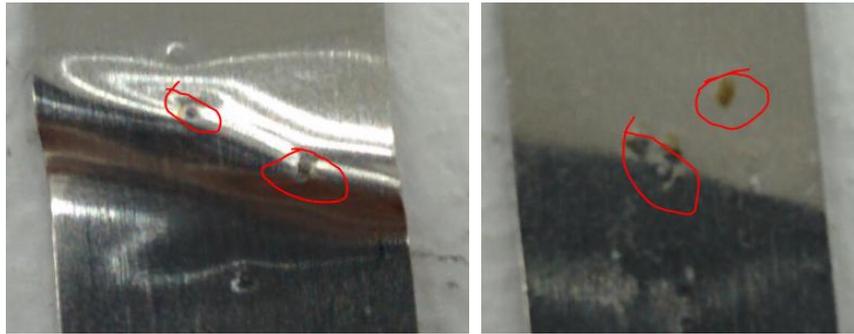
El uso de este acumulador es de alta potencia, por lo que las uniones deben soportar una gran cantidad de corriente, por este motivo se ha realizado un estudio de validación de soldaduras mediante diferentes espesores de níquel y cobre.

Los criterios para definir las soldaduras son los siguientes:

- La soldadura no debe perforar la chapa ni la celda
- Mediante unos alicates se realiza un test destructivo, se arranca la chapa soldada, si la soldadura es correcta se debe apreciar como parte de la chapa se queda pegada en la celda.



*Ilustración 12:Detalle de test de soldadura correcto*



*Ilustración 13:Detalle de test de soldadura incorrecto*

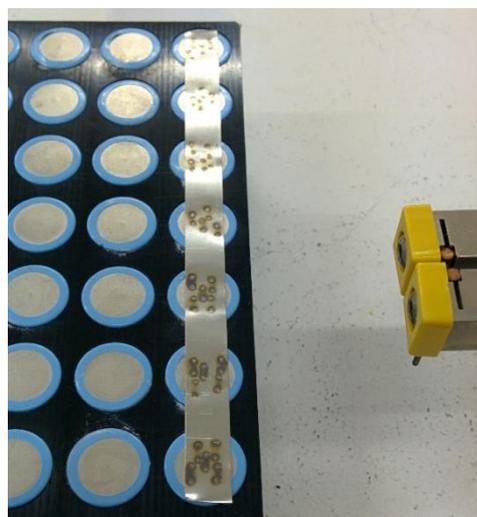


*Ilustración 14: Chapas cortadas por chorro de agua*

En la Ilustración 14: Chapas cortadas por chorro de agua se puede ver diferentes chapas de níquel y cobre en diferentes espesores, estas muestras se han utilizado para validar el soldador. Los resultados han sido que no hay posibilidad de soldar el cobre a las celdas. En cuanto al níquel se ha obtenido que con espesores mayores a 0,2mm la unión no es correcta.

Las ranuras que se pueden observar en las muestras se han realizado para dificultar el paso de la corriente entre los electrodos, de forma que la corriente tienda a pasar por el casquete de la celda mejorando así la unión.

Otra opción de chapas son las tiras de 0,15mm de espesor.



*Ilustración 15: Detalle tira de níquel soldada*



Estas tiras permiten realizar una o varias capas mejorando así la conductividad de las uniones.

Se ha realizado varias pruebas de unión definiendo finalmente que para soldar una segunda capa de chapas es necesario disponer de una apertura en la segunda chapa que asegure que la corriente entre los electrodos pase por la primera y segunda chapa y no solo por la segunda.



*Ilustración 16: Capa doble de níquel*

Mediante esta técnica se consigue colocar dos capas de níquel de 0,15mm lo que equivaldría a una sola capa de 0,3mm.



## 1.4.2. Estructura

### 1.4.2.1. Estructura interna

La estructura interna del acumulador se diseña para obtener un gran rendimiento de transmisión térmica y ofrecer un acumulador robusto y sólido.

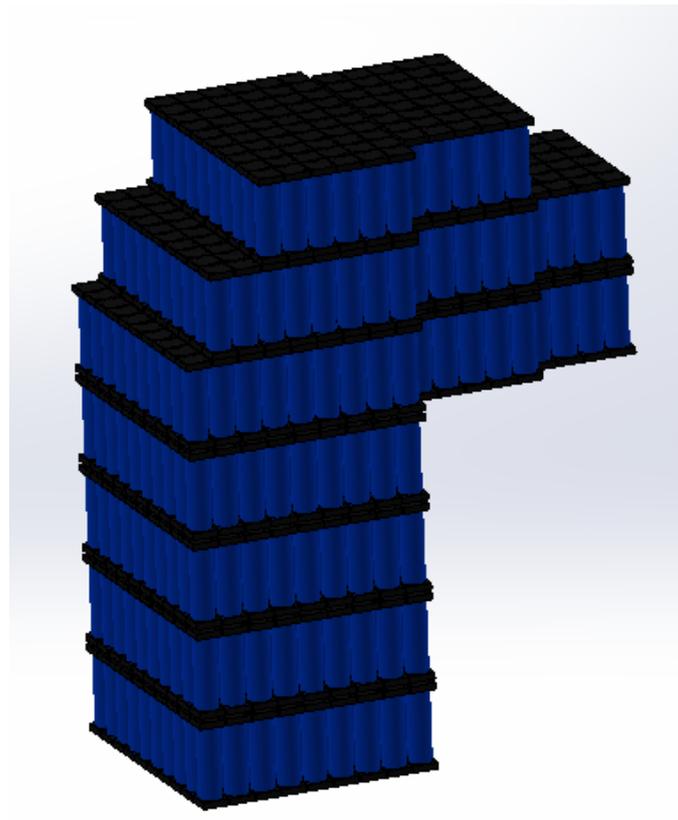
Partiendo de las dimensiones aproximadas del chasis se han ido desarrollando diferentes soluciones y configuraciones de las celdas, buscando la sencillez, la refrigeración y la solidez del conjunto. En una primera aproximación y utilizando una celda como unidad mínima del acumulador se han realizado varias alternativas para obtener una geometría aproximada del acumulador. Posteriormente se perfecciona este diseño teniendo en cuenta la facilidad en la fabricación.

#### 1.4.2.1.1. Análisis de la geometría

##### 1.4.2.1.1.1. Distribución de celdas verticales

Mediante la distribución de celdas verticales se consigue obtener una forma muy optimizada en el plano horizontal del acumulador.

*Versión 1.0*



*Ilustración 17: Acumulador de celdas verticales v1.0*

En esta versión se consigue una buena distribución de masas, pero debido al estrechamiento del chasis en la parte trasera, se complica la distribución de las celdas.



Versión 1.1

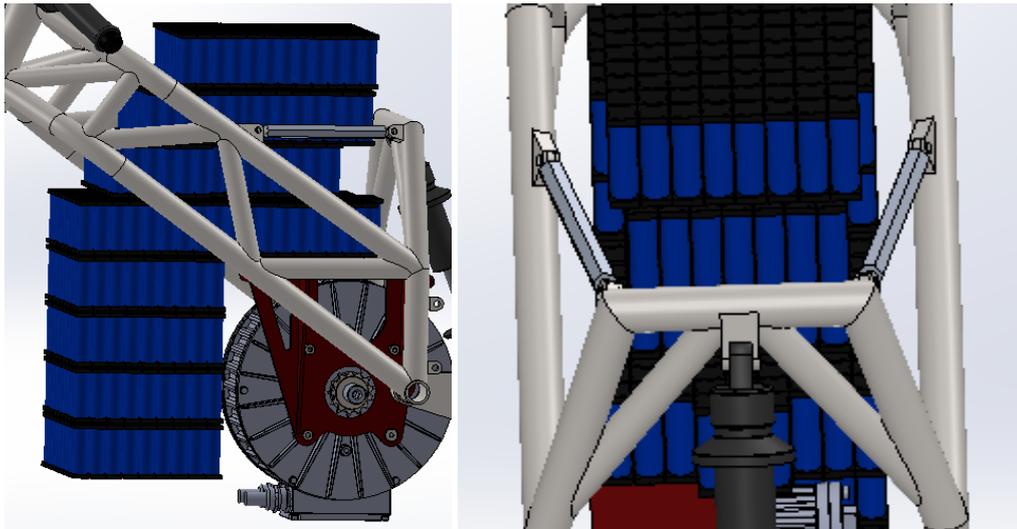


Ilustración 18: Detalle distribución celdas v1.1

Con la distribución de la Ilustración 18: Detalle distribución celdas v1.1 se ha optimizado la zona trasera del acumulador, haciendo que se adapte a la forma del chasis, por este motivo se ha elevado algunas celdas, por lo que el centro de gravedad ha empeorado.

Versión 1.2

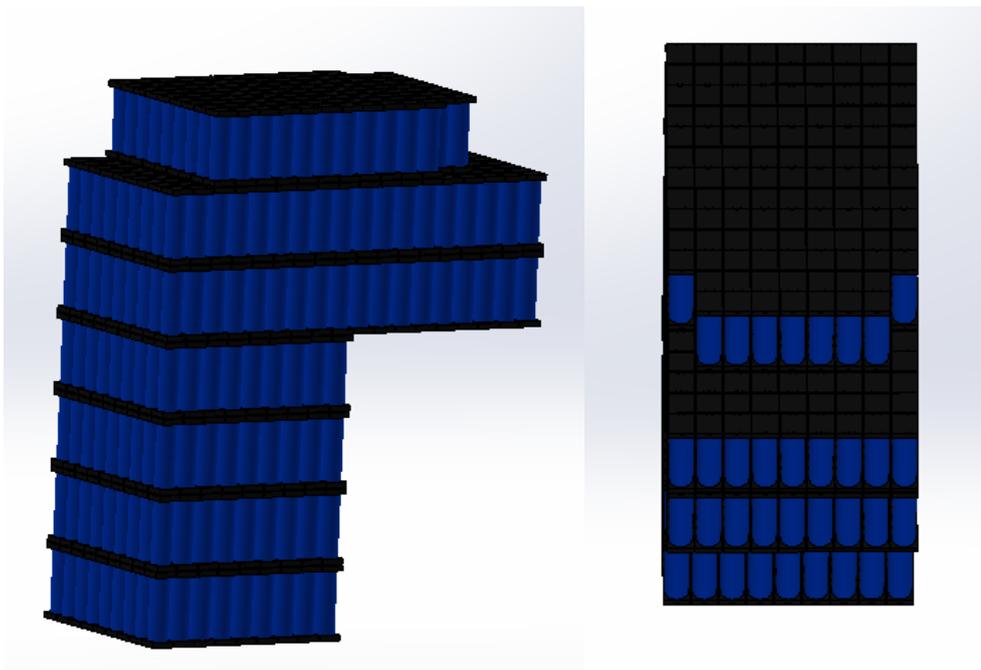


Ilustración 19: Acumulador de celdas verticales v1.2

En esta última versión se encuentra el equilibrio entre balance de masas y configuración serie/paralelo, esta configuración facilita la configuración por pisos y gracias a un gran ajuste en el chasis de la parte trasera se ha bajado el centro de gravedad.



#### 1.4.2.1.1.2. Distribución tipo puzle

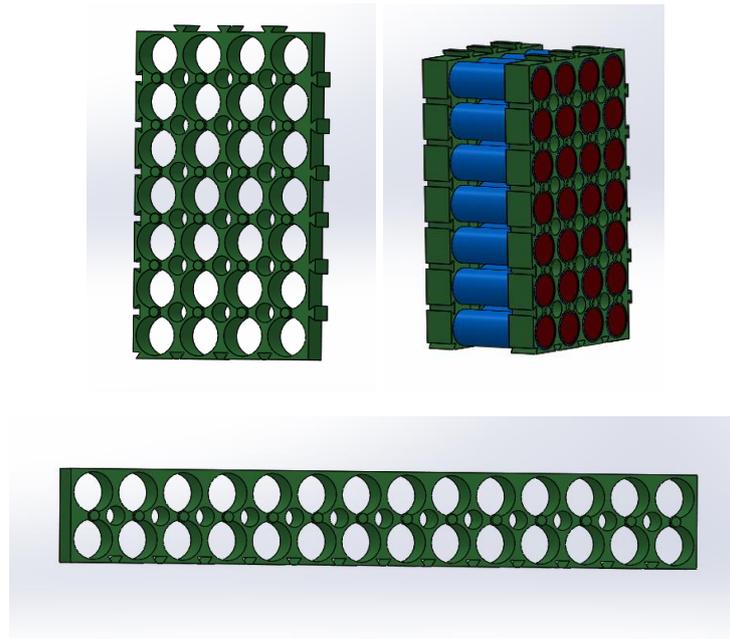


Ilustración 20: Piezas soporte celdas tipo puzle

En una de las variantes se ha realizado mediante una unión de los soportes tipo puzle que permite el ensamblaje de las piezas. Para ello se han diseñado diferentes soportes de celdas aprovechando las dimensiones disponibles en el chasis de la motocicleta. Con esta configuración a diferencia de la anterior, se consigue una configuración óptima en el plano vertical del acumulador, ya que en el plano horizontal solo existen 3 posibilidades (1, 2 o 3 celdas).

Versión 1.0

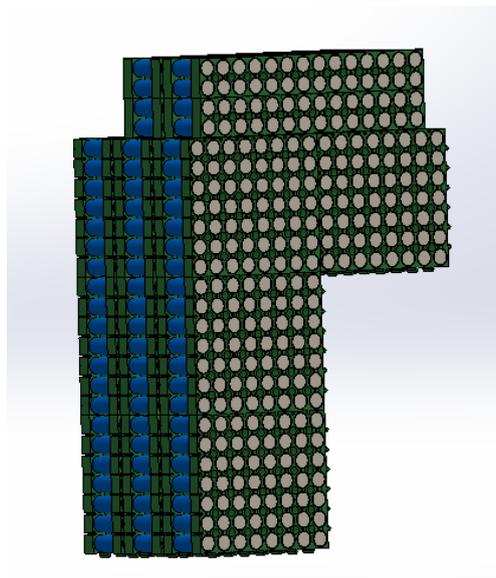


Ilustración 21: Acumulador tipo puzle v1.0

En esta versión se han realizado bloques de 56 celdas y algunos de 28. Con esta opción la gran mayoría de bloques son iguales, lo que simplifica en parte la fabricación. Como inconveniente esta distribución concentra mucho peso en la parte superior, y desaprovecha espacio en la parte superior derecha.



Versión 1.1

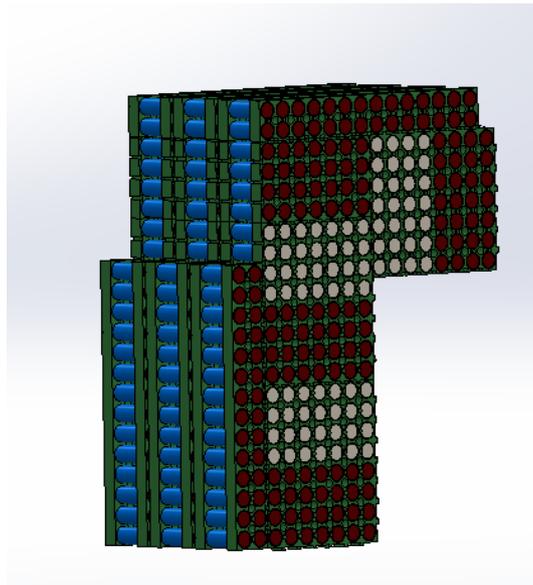


Ilustración 22: Acumulador tipo puzle v1.1

En esta opción se puede observar como se ha conseguido bajar el centro de gravedad, para ello se han realizado algunos bloques nuevos, además se ha añadido la configuración serie/paralelo de las celdas para poder valorar su complejidad en el conexionado (Esta configuración es una aproximación de celdas para llegar sobre los 100 V y 7 kWh), en este caso el proceso de enserir todos los bloques resulta algo complejo.

Versión 1.2

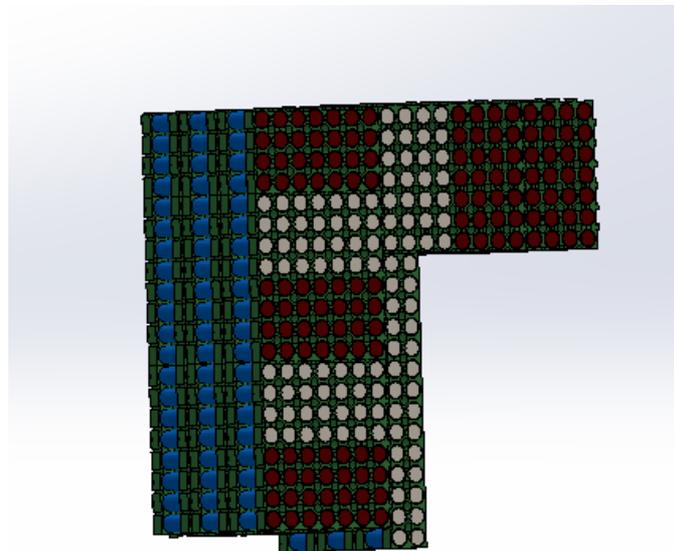


Ilustración 23: Acumulador tipo puzle v1.2

Con esta versión se consigue bajar y adelantar al máximo el centro de gravedad, además se aprovecha al máximo el espacio libre del chasis en la parte superior del acumulador.

Por contra, se tiene una parte inferior muy ancha que puede dificultar la instalación del carenado, además al igual que en el caso anterior el conexionado de los bloques es complicado.



Versión 1.3

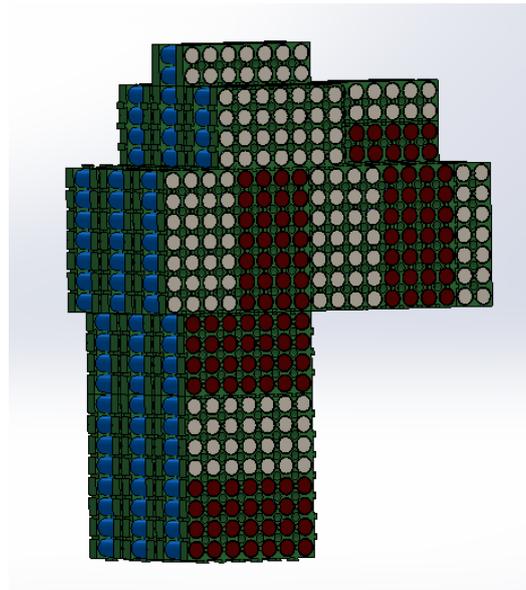


Ilustración 24:Acumulador tipo puzle v1.3

En esta última versión se consigue un equilibrio entre bajar el centro de gravedad, aprovechamiento del espacio y facilidad a la hora de realizar el conexionado.

#### 1.4.2.1.1.3. Distribución mixta

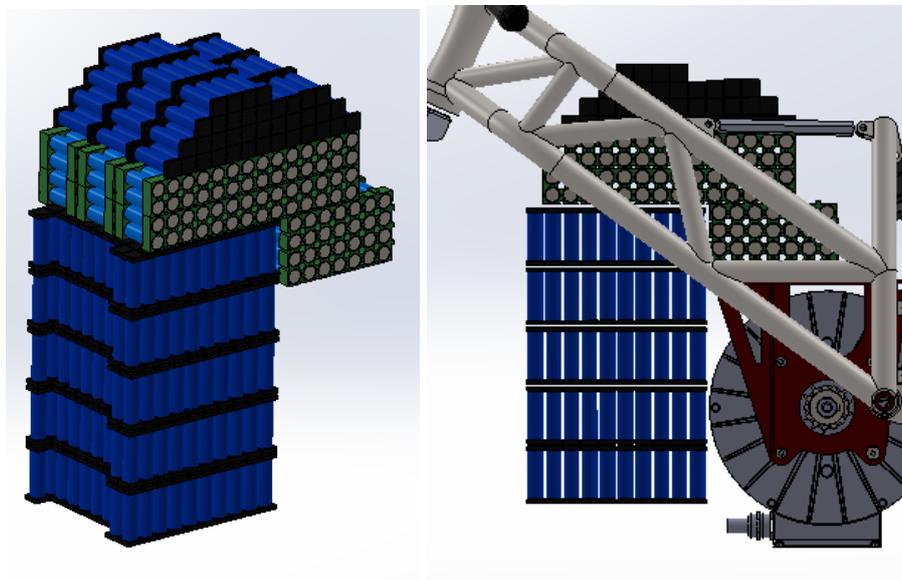


Ilustración 25:Acumulador con distribución mixta

Mediante esta configuración se consigue bajar al máximo el centro de gravedad, a la par que se optimiza la parte trasera para evitar problemas de estrechez en el chasis. Por el contrario, la configuración serie paralelo se complica.



#### 1.4.2.1.2. Optimización de la geometría

En este punto, basándose en las geometrías aproximadas obtenidas en los casos anteriores, se busca la optimización relacionada principalmente en la fabricación, mantenimiento y reparación.

##### 1.4.2.1.2.1. Distribución modular

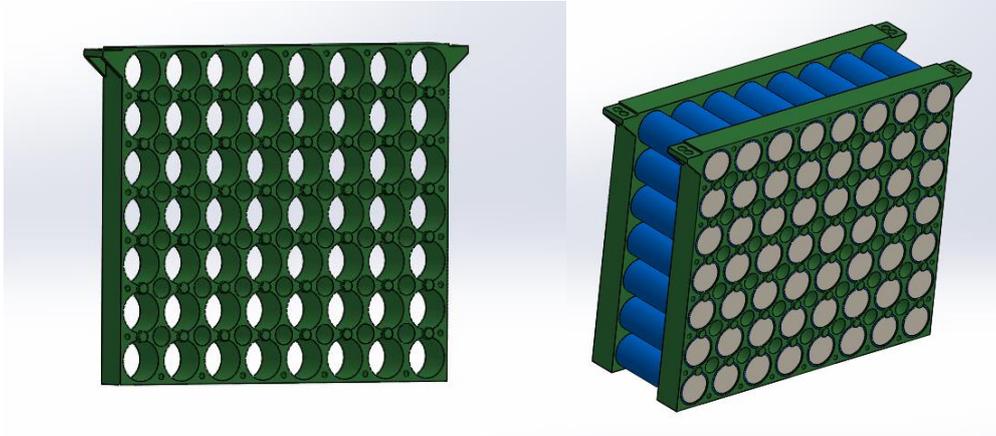


Ilustración 26:Detalle soporte celdas modular

Este diseño viene motivado por la dificultad de realizar las uniones tipo puzle, ya que se han hecho algunas pruebas en impresión 3D y no han dado buenos resultados. De esta forma se consiguen bloques modulares similares a los del tipo puzle, pero unidos por pernos.

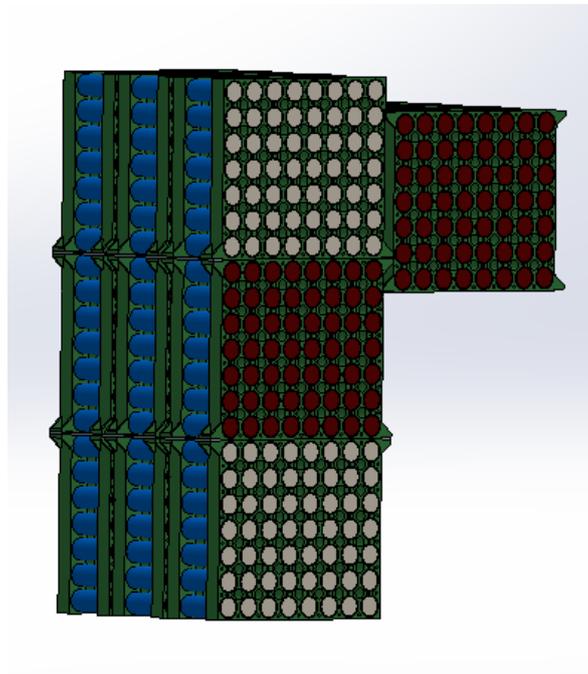
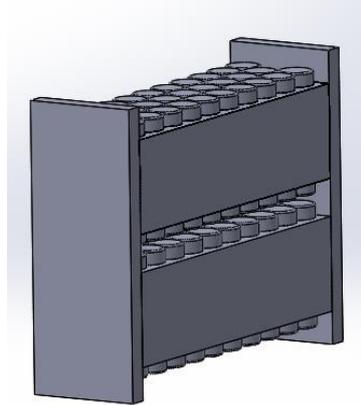


Ilustración 27:Acumulador con distribución modular

Mediante este diseño se consigue una buena distribución del peso, a la par que se facilita la labor de fabricación por el hecho de que todos los bloques son iguales, también hace sencilla la tarea de realizar el conexionado serie paralelo.

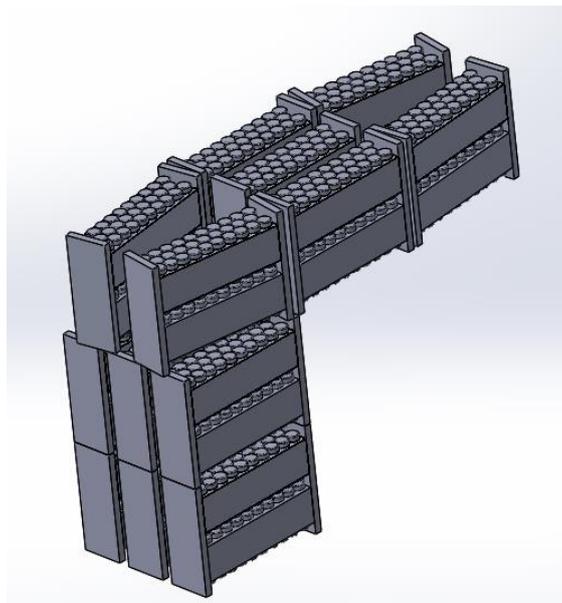


#### 1.4.2.1.2.2. Distribución modular de aluminio



*Ilustración 28: Pieza unitaria distribución modular de aluminio*

Esta distribución se ha basado en encapsular las celdas en un bloque mecanizado de aluminio, la función de este bloque es transmitir al exterior el calor generado en las celdas, a la vez que le da una rigidez estructural mayor al acumulador.



*Ilustración 29: Acumulador de módulos de aluminio*

De esta forma se consigue una gran rigidez, pero debido al gran tamaño de los bloques, se desperdicia mucho espacio. Siendo muy pocas las opciones de diseño.



### 1.4.2.1.2.3. Distribución con soporte a medida

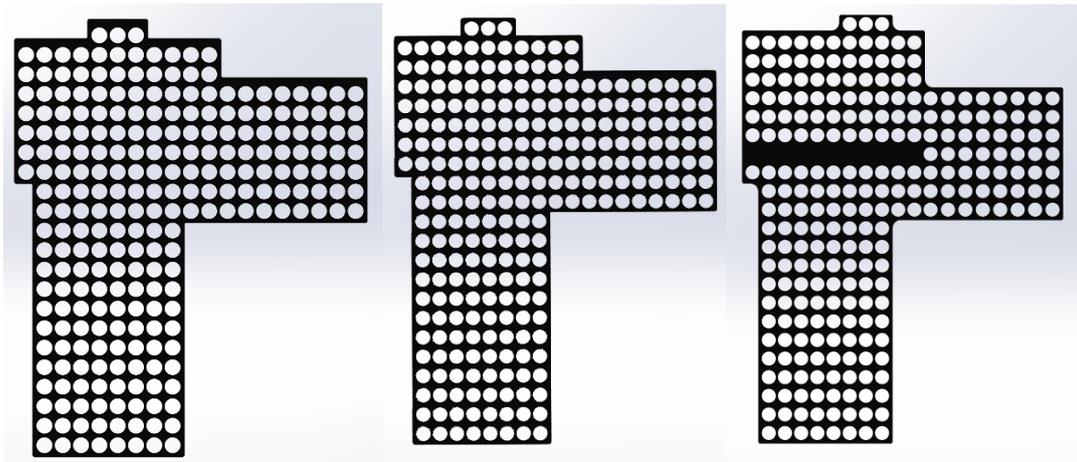


Ilustración 30: Soporte a medida para celdas cilíndricas de diferentes tamaños.

Con esta distribución se simplifica el modularidad, teniendo únicamente 3 módulos idénticos. El hecho de que sean iguales, facilita la fabricación ya que es simplemente el mismo proceso tres veces. Por otro lado, al ser la distribución totalmente flexible se facilita la distribución serie paralelo. Por estos motivos se diseña un acumulador dividido en solo 3 módulos iguales que facilitan el conexionado entre celdas al máximo a la par que permiten una gran transmisión térmica. Todo esto gracias a realizar el soporte con las medidas exactas para esta motocicleta.

Mediante esta tecnica, se consigue una distribución totalmente a medida en el plano vertical, de forma que facilita la distribución de masas y el peso.

Versión 1.0

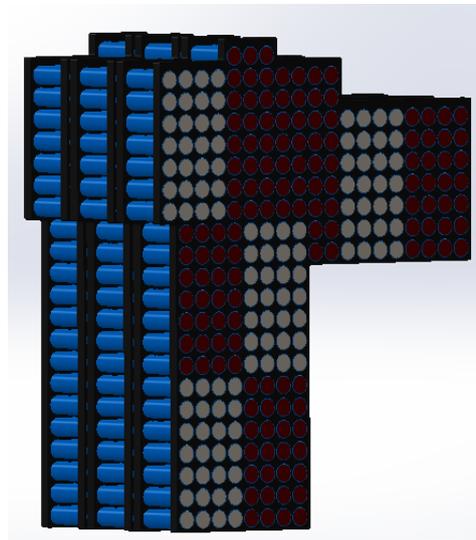


Ilustración 31: Acumulador a media v1.0

Con este formato se consigue distribuir la mayor parte del peso en la parte mas baja del acumulador, por otro lado se consigue facilitar el posterior conexionado de las celdas.

En esta distribución se aumenta la distancia entre celdas al maximo para mejorar la refrigeración de estas.



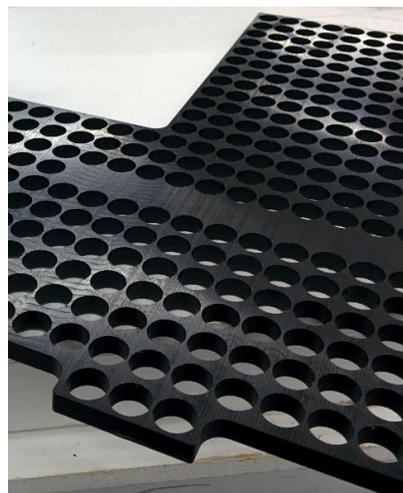
Para la fabricación del soporte de las celdas se ha valorado utilizar desde plástico técnico, paneles HDF y aluminio.



*Ilustración 32: Caja acumulador en chasis*

El aluminio proporciona una gran capacidad de disipación térmica a la vez que ofrece muy buena rigidez mecánica, pero tiene el inconveniente de que es altamente conductor de la electricidad, por lo que, aunque las celdas van recubiertas de un plástico protector, en el caso de que algunas celdas por rozamiento o vibraciones vieran deteriorado su plástico protector se provocaría un cortocircuito que destruiría el acumulador por completo.

El panel de HDF (High Density Fiberboard) proporciona una gran relación peso/rigidez además que es aislante eléctrico por lo que no hay problema de cortocircuitos. Su mecanizado es sencillo ya que se realiza mediante corte laser, pero tiene el inconveniente que es inflamable.



*Ilustración 33: Plástico técnico mecanizado*

En cuanto a plásticos técnicos hay una gran cantidad de plásticos para seleccionar, en este caso se han analizado los plásticos que aguanten temperaturas de más de 70 grados centígrados y aporte una buena rigidez estructural. Entre ellos se han analizado el POM-C, PEEK y el PAI.



#### 1.4.2.2. Estructura externa

Para la caja exterior, se han valorado varias opciones. Entre ellas son la caja de fibra de vidrio, caja realizada con impresión 3D y de chapa de aluminio.

##### 1.4.2.2.1. Caja de fibra de vidrio

La fibra de vidrio como caja exterior, ofrece una gran relación resistencia/peso, pero por otro lado tiene una mala disipación térmica.

##### 1.4.2.2.2. Caja realizada con impresión 3D

La impresión 3D permite una gran flexibilidad en el diseño de la caja pero debido a la baja resistencia del plástico la caja debe de ser muy voluminosa para ofrecer una rigidez suficiente ante caídas o accidentes.

##### 1.4.2.2.3. Chapa de aluminio

El aluminio ofrece una gran capacidad de disipación térmica, además tiene muy buena rigidez estructural, por la contra la fabricación de esta caja debe de ser por remachado.



### 1.4.3. Electrónica de control

Las celdas de litio a diferencia de otras tecnologías necesitan de una electrónica de control que asegure que trabajan bajo las especificaciones de trabajo. Esto es muy importante ya que en caso de trabajar fuera de las especificaciones del fabricante existe peligro de deterioro de la celda e incluso de explosión.

Por este motivo un acumulador de litio necesita un Battery Management System (BMS).

Las funciones básicas de un BMS son las siguientes:

- Monitorizar la tensión de todas las celdas
- Monitorizar la temperatura del acumulador completo
- Monitorizar la corriente saliente y entrante al acumulador
- Detener el proceso de carga o descarga en el caso de que algún parámetro no esté dentro de las especificaciones que marca el fabricante.

Estas son las funciones básicas e imprescindibles que debe cumplir un BMS, por otro lado, existen varias funciones opcionales que son interesantes para este proyecto como:

- Balanceo de las celdas
  - o Pasivo/Resistivo
  - o Activo

Las celdas de un acumulador, debido a pequeñas diferencias en la fabricación, tienen a desbalancearse, esto significa que, aunque cuando se ensambla el acumulador todas las celdas están a la misma tensión, con el uso las celdas pueden cargarse y descargarse de manera ligeramente diferente, por lo que tendrán una tensión diferente. Esto afecta a la capacidad total del acumulador ya que el BMS desconectará el acumulador cuando cualquiera de las celdas descienda del límite mínimo de tensión, al mismo tiempo durante la carga, el BMS parará la carga cuando cualquier celda supere el límite superior de tensión. Esto significa que la capacidad del acumulador viene definida por la celda de menor tensión ya que esta nunca se podrá cargar por completo (siempre habrá alguna celda que llegue a la tensión de carga máxima antes que ella). Por este motivo se implementa un balanceo de celdas en la mayoría de BMS, este balanceo se encarga de equilibrar la tensión de todas las celdas para que sea siempre la misma.

- Cálculo de SOC (State Of Charge)

Existen diferentes métodos de cálculo del SOC con mayor y menor precisión, este valor normalmente en porcentaje se suele utilizar para que el usuario conozca la energía acumulada que le queda al acumulador.

- Cálculo de SOH (State Of Health)

Mediante este valor representado mediante un porcentaje, se indica el estado de deterioro del acumulador, un 100 % indicaría que está en perfecto estado.

- Mantenimiento periódico

Algunos BMS disponen de un sistema de chequeo que cada cierto tiempo realiza algunas operaciones para verificar el estado de la celda y calibrar los diferentes indicadores.



En cuanto a BMS existen diferentes topologías:

- Distribuido
- Centralizado
  - o Unidad Central
  - o Maestro y Esclavo

#### 1.4.3.1.1. Distribuido



Ilustración 34: BMS Distribuido

Los BMS distribuidos utilizan una pequeña placa electrónica con los componentes necesarios para obtener el valor de la tensión, la temperatura y detener el proceso de carga y descarga. Todo ello de una única celda, por lo que cada celda o grupo de celdas en paralelo deberá disponer de un “mini” BMS que se encargará de las funciones básicas y se asegura del correcto funcionamiento de las celdas. En algunos casos la función de desconexión del acumulador, se envía por algún tipo de protocolo de comunicaciones sencillo a un módulo que activa o desactiva un relé de estado sólido.

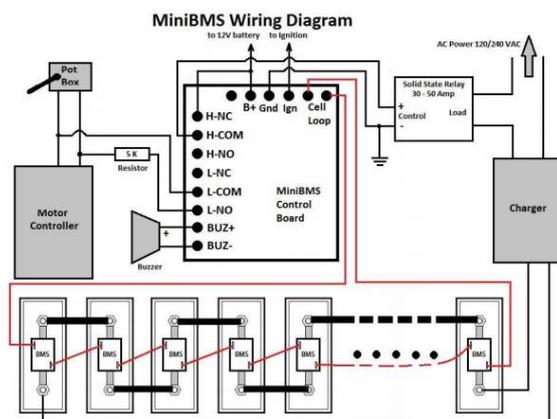


Ilustración 35: Esquema BMS distribuido

Los BMS distribuidos tienen la ventaja de ser más sencillos e independientes unos de otros, pero en cambio normalmente no permiten la obtención de los datos para analizarlos y trabajarlos. Por otro lado, también provocan el duplicado de componentes ya que llevan los mismos componentes para cada celda. En cuanto al espacio ocupado suele ser menor, ya que se integra en el diseño mecánico.



### 1.4.3.1.2. Centralizado

#### 1.4.3.1.2.1. Unidad central

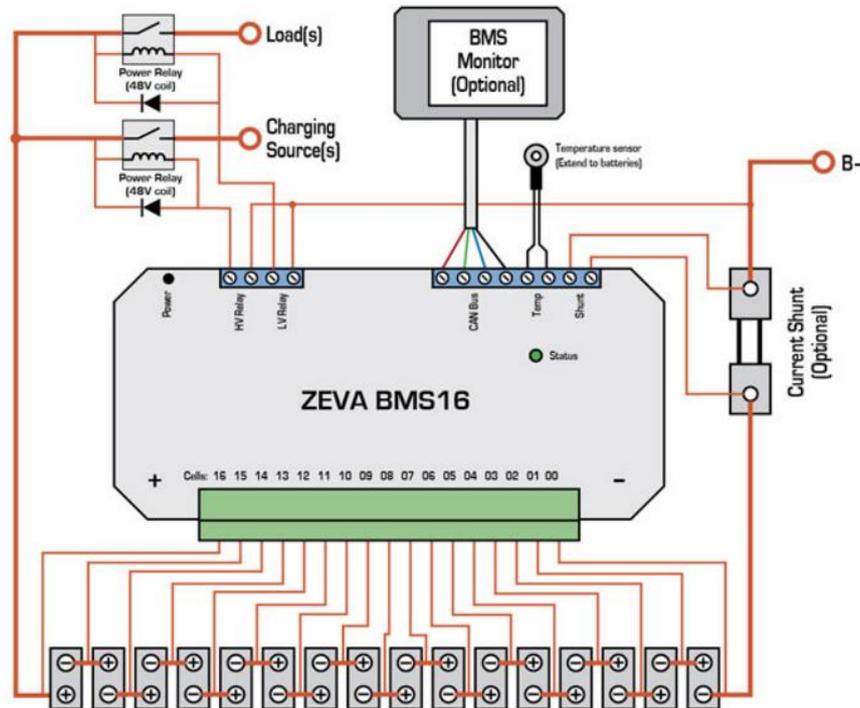


Ilustración 36: Esquema BMS unidad central

Este tipo de BMS están formados por una única placa a la cual se le deben cablear todos los sensores necesarios y los bornes de todas las celdas para poder medir su tensión.

A diferencia del distribuido, este BMS en caso de que alguna de las celdas se salga de su zona de trabajo desconectara el acumulador completo.

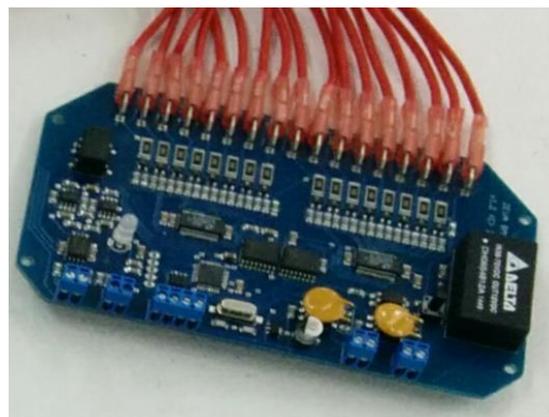


Ilustración 37: Ejemplo BMS unidad central (ZEVA BMS16)

Estos BMS tienen la ventaja de no duplicar componentes electrónicos con el ahorro que ello conlleva, además puede incorporar un microchip que gestione la información y realizar cálculos y operaciones más complejas que el distribuido. En el lado negativo encontramos la necesidad de cablear desde cada celda para la monitorización de la tensión, esto en algunos montajes puede llegar a ser complicado.



### 1.4.3.1.2.2. Maestro y Esclavo

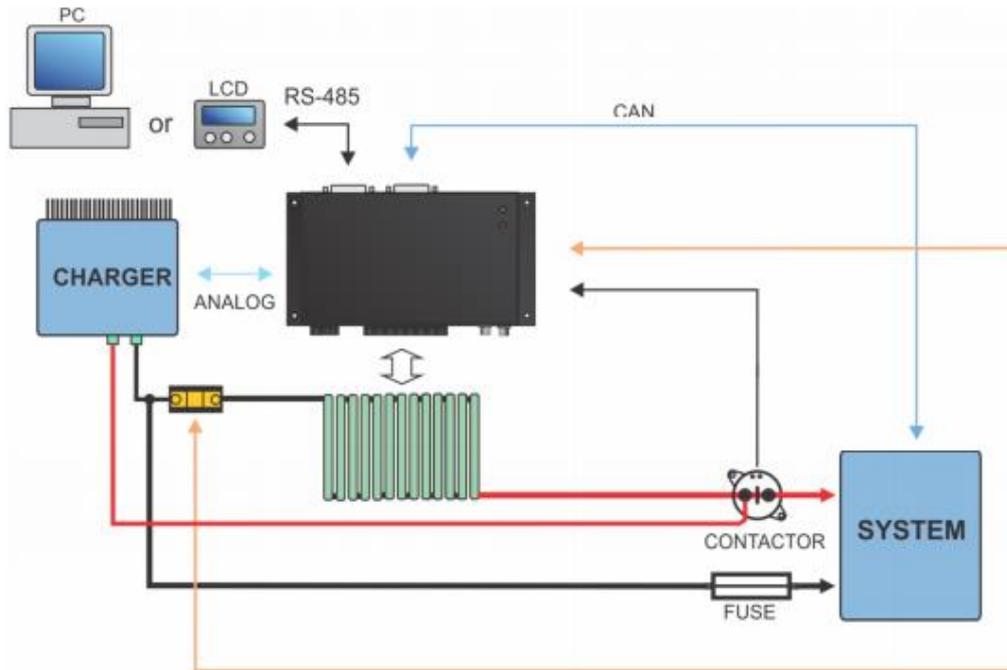


Ilustración 38: Esquema BMS centralizado Master-Esclavo

Finalmente, esta opción es una combinación de las dos anteriores. En esta configuración se colocan uno o varios BMS esclavos cerca de las celdas, cada uno de ellos es capaz de monitorizar la tensión y temperatura de varias celdas a la vez y transmite esta información mediante algún protocolo de comunicaciones (CAN, RS485, RS232, etc) al BMS maestro, este se encarga de recopilar la información de todos los Slave y con la información obtenida actuar para asegurarse de que todas las celdas trabajan dentro de su rango.

Con esta configuración se añan las ventajas de las anteriores configuraciones, por un lado, se minimizan los componentes duplicados ya que una misma placa realiza la medición de varias celdas. Además, el cableado de los BMS esclavo al poder dividirse en varias placas se hace más sencillo. Por último, el maestro se puede incluso externalizar de la batería y utilizar el propio controlador de la motocicleta o alguna unidad central de control.



### 1.4.3.1.3. Estación pruebas BMS

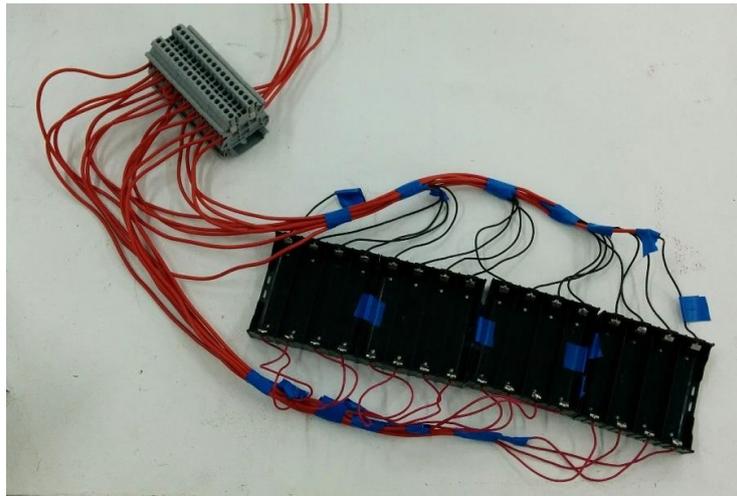


Ilustración 39: Estación de test BMS

Para tomar una decisión se ha diseñado y fabricado una estación de pruebas para BMS comerciales de tipo Maestro Esclavo o Unidad Central

Esta estación de pruebas consiste en un acumulador de 16s1p y un Arduino Mega con la Shield de comunicaciones adecuada para cada caso. El Arduino se encarga de recoger la información que proporciona los Esclavos o la Unidad Central y realiza una adaptación de esta información para posteriormente enviar esta información por comunicación serie a una interfaz gráfica desarrollada con LabVIEW.

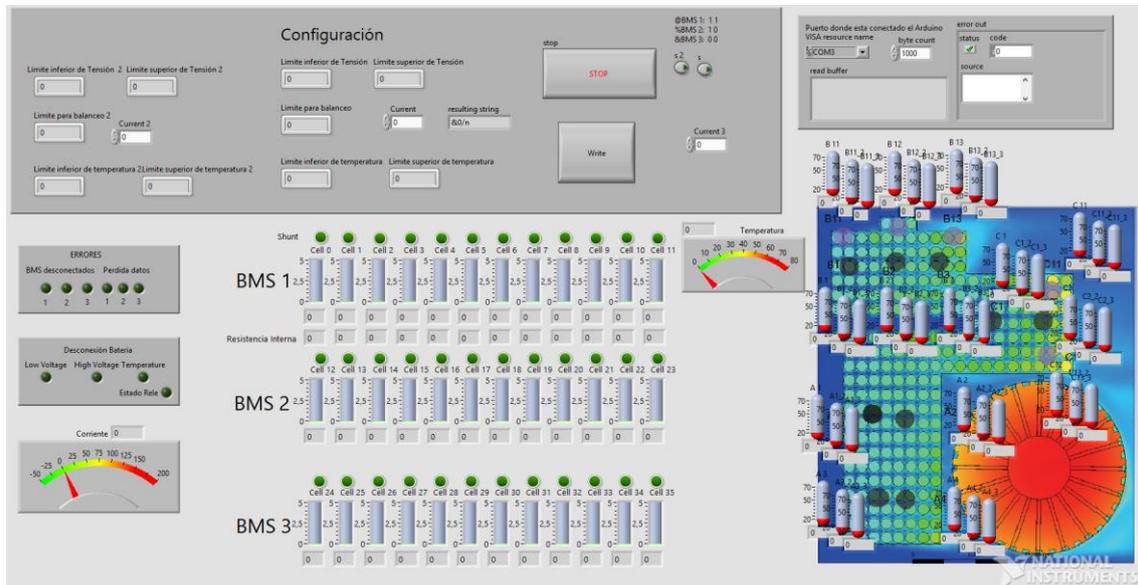


Ilustración 40: Interfaz LabVIEW test BMS

Mediante esta estación de pruebas se ha realizado varios test a los BMS disponibles y se ha podido observar su funcionamiento en casos extremos de tensión o de extremo desequilibrado.

Los BMS analizados son los siguientes: MKTL BMS, REC 9R BMS, ZEVA BMS16, ZEVA BMS12.



#### 1.4.3.1.3.1. MKTL BMS

Este BMS es del tipo BMS Esclavo, aunque tiene cierta capacidad de acción que le permite en ciertos casos ejercer funciones de Unidad Central, tiene capacidad para monitorizar hasta 16 celdas.

Tiene opción de colocarle como accesorios un sensor de corriente, sensor de temperatura y una salida digital de seguridad.

Tiene comunicación CAN y serie, la comunicación serie se utiliza para configurar el BMS y la CAN para transmitir los valores de tensión.



Ilustración 41: BMS MKTL

En cuanto al balanceo, tiene una capacidad de hasta 820 mA por celda y puede balancear hasta 3 celdas a la vez.

En los test se ha observado que **funciona correctamente** activando la señal digital de seguridad en el momento que alguna de las celdas se sale del rango de trabajo. Además, aporta una **gran capacidad de balanceo**.



#### 1.4.3.1.3.2. REC 9 BMS

Al igual que el anterior, este BMS realiza las funciones de esclavo, necesitando un Master para las funciones de control y seguridad.



Ilustración 42: BMS REC 9R

Puede monitorizar hasta 16 celdas en serie con una resolución de 1 mV y realizar el balanceo de estas con hasta 900 mA por celda.

Por la parte de las comunicaciones dispone de RS485 y CAN los dos aislados galvánicamente.

Dispone de algoritmos propios para el cálculo del SOC, SOH, Voltaje RMS de las celdas.

En las pruebas realizadas se ha verificado que el cálculo del SOC es bastante preciso y que actúa correctamente si cualquiera de las celdas se sale de rango de trabajo.

Este BMS se alimenta directamente del acumulador, por lo que dispone de un sistema de apagado completo de forma que si la tensión de alguna celda baja de cierto umbral además de desconectar el acumulador se desconecta el mismo para no descargar más las celdas.

En definitiva, este BMS tiene una gran cantidad de funcionalidades (todas ellas detalladas en el datasheet adjunto en el Anexo 2.5: BMS REC 9) que lo hace muy robusto para casi cualquier aplicación.



#### 1.4.3.1.3.3. ZEVA BMS16

A diferencia de los demás este BMS está pensado para funcionar en modo Unidad Central



*Ilustración 43: ZEVA BMS16*

Las características principales son:

- Monitorización de hasta 16 celdas con una resolución de 0,01 V
- 120 mA por celda de corriente de balanceo
- Dos relés de estado sólido para la seguridad
- Sensor de temperatura
- Sensor de corriente
- Alimentación directa del acumulador
- Comunicación CAN aislada galvánicamente

En la validación se ha comportado realmente bien, ha activado el relé adecuado en cada momento cuando alguna celda entraba en sobretensión o baja tensión. Por otro lado, a pesar de que está preparado para funcionar como Unidad Central sin necesidad de nada más, dispone de comunicación CAN que permite obtener los datos para mostrarlos por pantalla o gestionarlos de forma externa.



#### 1.4.3.1.3.4. ZEVA BMS12

Este BMS solo puede funcionar como BMS Esclavo, ya que solo realiza funciones de monitorización.



*Ilustración 44: ZEVA BMS12*

Sus principales características son:

- Monitorización de hasta 12 celdas
- Balanceo de hasta 120mA por celda
- Alimentación externa de 12 V
- Comunicación CAN aislada galvánicamente

Su comportamiento en los test ha sido muy satisfactorio, ya que a pesar de ser un BMS Esclavo con las funciones más básicas, ha cumplido sus funciones de seguridad a la perfección. Además, dispone de la posibilidad de regular y decidir en cualquier momento la tensión de balanceo, así como desactivarlo. Por otro lado, de los BMS analizados es el que menor peso y tamaño tiene.



#### 1.4.4. Software de control

El software de control del acumulador se encuentra en el BMS, este control se centra principalmente en la gestión de la información obtenida por los diferentes sensores que dispone el acumulador.

En el caso que se está analizando en este proyecto, el software de control se encarga únicamente de realizar las acciones de seguridad necesarias para mantener las celdas dentro de su rango de trabajo. Estas acciones consisten en desconectar el sistema de carga y descarga en los siguientes casos:

- Alguna celda supera 4,2 V
- Alguna celda baja de 2,5 V
- La temperatura del acumulador es mayor a 60 grados centígrados.

La simplicidad en el software de control viene motivada por dar mayor robustez al conjunto y evitar disponer de más información de la necesaria para el propósito que se quiere obtener, que es proteger las celdas del acumulador de un mal uso.

Este software se implementa en el maestro en caso de ser una configuración maestro esclavo o bien en la Unidad Central.



## 1.5. Solución adoptada

### 1.5.1. Sistema Eléctrico

La parte eléctrica en si misma se compone de dos subdivisiones, las características eléctricas y las uniones eléctricas.

#### 1.5.1.1. Celdas

Finalmente, por motivos de patrocinio (el patrocinador le interesa desarrollar un acumulador con cierto tipo de celda), se obtiene una celda cilíndrica tipo 18650 de química NCA ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ ), apostando por una gran densidad energética.

El formato cilíndrico dispone de una carcasa de acero que aporta una gran rigidez estructural y esta misma carcasa de acero proporciona una gran capacidad de disipación si se distribuyen en formato banco de tubos.

Con este formato, aunque se precisa utilizar una gran cantidad de celdas para conseguir la potencia necesaria se consigue diseñar una batería con formas muy flexibles, gran rigidez estructural y con posibilidad de circulación de aire para refrigeración.



Ilustración 45: Caja 100 celdas

El modelo exacto de la celda es MH118650 de LG que tiene las siguientes características:

<b>Energía</b>	3200 mAh
<b>Voltaje nominal</b>	3,67 V
<b>Corriente de carga</b>	1550 mA
<b>Voltaje máximo</b>	4,2 V
<b>Voltaje mínimo</b>	2,5 V
<b>Corriente de carga máxima</b>	3100 mA
<b>Corriente de descarga</b>	620 mA
<b>Corriente de descarga máxima</b>	10000 mA
<b>Peso</b>	49 g
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-20 a 60 °C



Se puede encontrar más información de la celda en el datasheet que se puede ver en el Anexo 2.8 Celda LG MH118650.

Aunque esta celda viene impuesta por el patrocinador, es una solución viable técnicamente ya que aparte de tener una gran densidad energética también tiene una potencia instantánea considerable. Además, este formato y tecnología de celda se utiliza en vehículos de gran potencia como el Tesla, lo cual avala que es una buena decisión.

### 1.5.1.2. Configuración serie

Para poder definir con seguridad la configuración más adecuada se ha realizado un estudio de la energía almacenada en el rango superior e inferior de la zona de trabajo de las celdas.

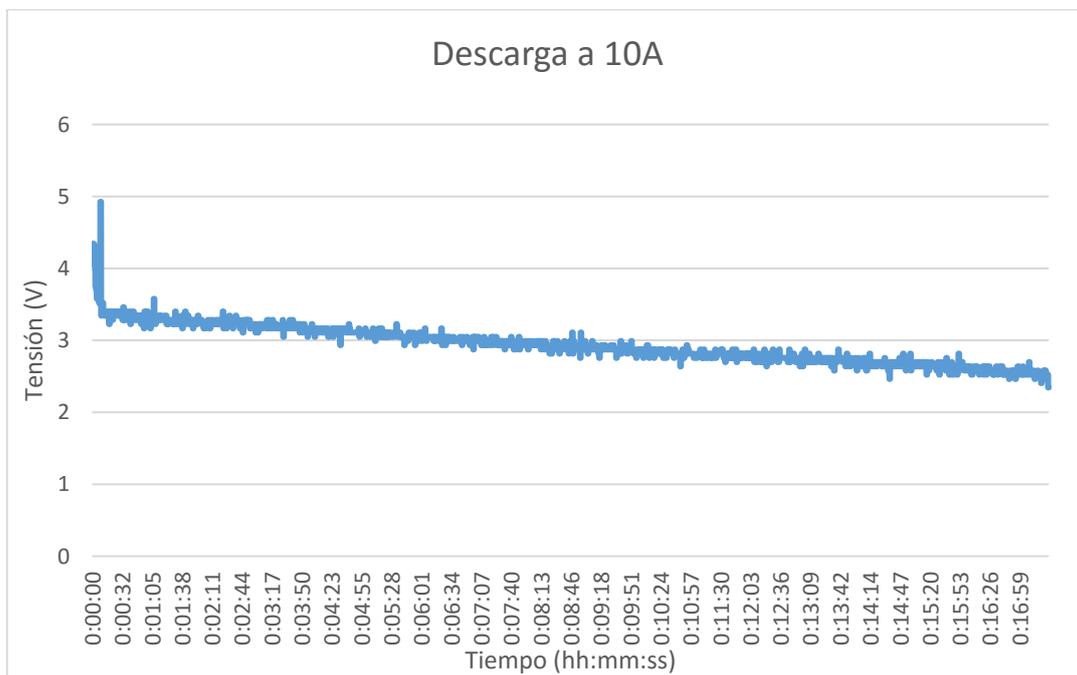


Ilustración 46: Grafico tensión/tiempo descarga

Como se puede ver en la Ilustración 46: Grafico tensión/tiempo descarga en los primeros segundos, la tensión cae muy bruscamente, por lo que la energía almacenada en ese rango de tensión (i.e el área es pequeña) es pequeño.

Para el análisis de este estudio se han seleccionado varias celdas al azar de un mismo lote y se les ha realizado un ciclo de carga y descarga según indica el fabricante, una vez realizado este ciclo, se ha anotado la capacidad en Ah que se ha obtenido de cada una de las celdas.

A continuación, se ha realizado un ciclo de descarga según indica el fabricante, pero partiendo de una tensión menor.



Tabla 1: Tabla resultados estudio rango de trabajo celdas

Descarga	0.2A	0.5A	1A	2A	3A	5A	7A	10A	15A	
<b>4.2 a 2.8</b>	3.2	3.19	3.18	3.17	3.15	3.12	3.1	2.8	2	Capacidad útil (Ah)
<b>4 a 2.8</b>	3.15	3.12	3.1	3.1	3.08	2.9	2.8	2.7	1.7	Capacidad útil (Ah)
	0.05	0.07	0.08	0.07	0.07	0.22	0.3	0.1	0.3	Diferencia (Ah)
	1%	2%	2%	2%	2%	6%	9%	3%	9%	Energía no utilizada
<b>4 a 3</b>	3	2.95	2.9	2.85	2.8	2.65	2.3	1.8	0.9	Capacidad útil (Ah)
	0.2	0.24	0.28	0.32	0.35	0.47	0.8	1	1.1	Diferencia (Ah)
	6%	7%	8%	9%	10%	13%	23%	29%	31%	Energía no utilizada

Los datos que aparecen en la Tabla 1 son el promedio de las diferentes celdas testadas.

En la Tabla 1 se puede observar la capacidad útil que tienen las celdas realizando un ciclo completo según indica el fabricante, pero disminuyendo la tensión máxima de la celda (de 4,2 V a 4 V). También se puede ver la diferencia entre la capacidad útil de la celda usando la tensión máxima de 4,2 V y utilizando la tensión máxima de 4 V. También se calcula el valor de energía perdida por esta disminución de tensión máxima en porcentaje para poder analizar los resultados.

Con estos resultados se puede concluir que la pérdida de energía recortando la zona de trabajo en la parte superior (reducir la tensión máxima de las celdas) es en el peor de los casos inferior a un 10%. Por otro lado, en la parte inferior de la zona de trabajo sí que existe una mayor pérdida de energía.

De estas conclusiones se deduce que 27 celdas en serie es la mejor solución, ya que, aunque se debe recortar la zona de trabajo superior para cumplir con el punto D.1.1.1 de la normativa se mantiene una cantidad de energía almacenada suficiente para la competición. Además, con 27 celdas en serie se obtiene una tensión media superior durante toda la competición. De esta forma gracias a trabajar a una tensión media superior, se consigue aumentar las rpm del motor máximas y reducir la corriente extraída de las celdas.

El rango de tensión de trabajo del acumulador se sitúa entre **67,5 y 110 V**, lo que equivale a una tensión de trabajo de las celdas de entre 2,5 V y 4,07 V. Otra ventaja que supone trabajar con un rango menor de tensión en las celdas es que, aunque estas se desbalancen, el conjunto puede seguir trabajando entre 67,5 y 110 V sin que ninguna celda salga de su zona de trabajo segura.



### 1.5.1.3. Configuración paralelo

Para averiguar la potencia máxima que se puede extraer de las celdas se les ha realizado una serie de test de estrés a varias celdas para definir un criterio de corrientes máximas que se pueden obtener de la celda. El motivo de este estudio es debido a que el fabricante solo proporciona el valor de corriente de descarga continua máxima, pero no indica que valor de corriente se le puede extraer de la celda si se realiza de forma intermitente.

Se ha diseñado un software mediante la plataforma LabVIEW que permite controlar una carga electrónica de 50 A y monitorizar la tensión, corriente y temperatura de la celda analizada.

Para ello se ha programado un Arduino MEGA como interfaz hardware que recoge los datos de los sensores en la celda, además de realizar las acciones de control sobre la carga electrónica.



Ilustración 47: Interfaz para visualización de información y control

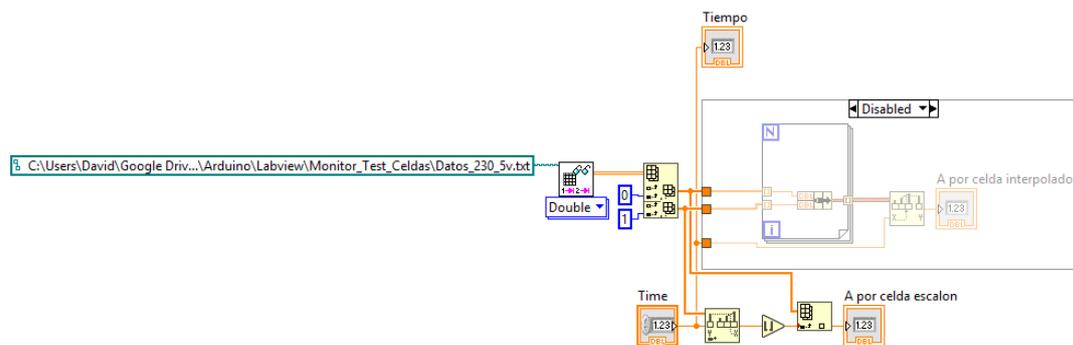


Ilustración 48: Código LabVIEW que extrae los valores simulados de un archivo de texto

Mediante los datos obtenidos en el Anexo 2.1: Estudio necesidad energética circuito FIM Motorland, se ha calculado la corriente que debe proporcionar el acumulador dividida por tramos de aceleración y frenada. Con estos datos de corriente se ha realizado una simulación a las celdas de 7 vueltas en el circuito de Motorland.

La corriente extraída a las celdas ha sido de entre 0 y 35 A, que es el caso más desfavorable en cuanto a potencia máxima y media durante la competición.

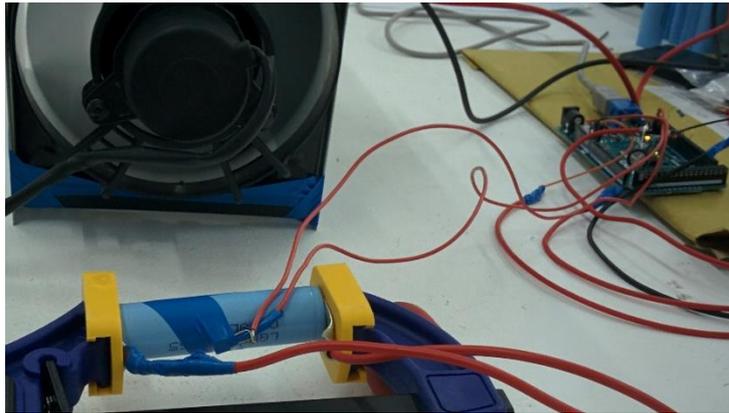


Ilustración 49: Montaje hardware test celdas

Debido a la alta potencia extraída de las celdas ha sido necesario aplicar una refrigeración forzada a las celdas durante el test para asegurarse que la temperatura no sobrepasa los límites impuestos por el fabricante, la corriente de aire aplicada es la equivalente a la circulación de la motocicleta a 40 km/h.

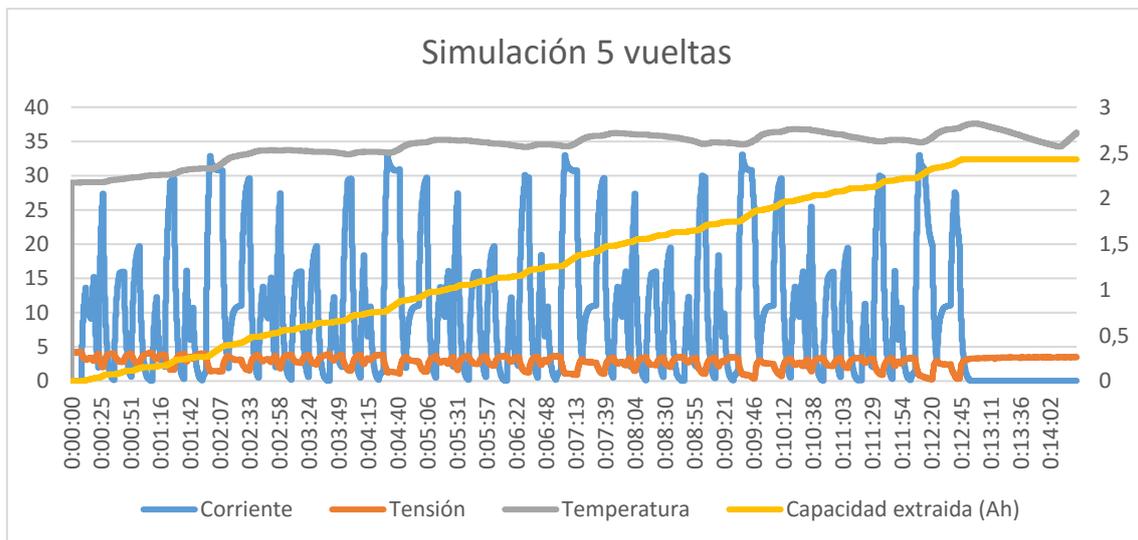


Ilustración 50: Grafico datos simulación circuito

La Ilustración 50: Grafico datos simulación circuito se puede ver con mayor detalle en el Anexo 0: Gráficos test celdas.

Finalizados estos test de estrés se ha sometido a las celdas ensayadas a varios ciclos de carga y descarga normalizados según indica el fabricante, y se ha verificado que tanto la temperatura de funcionamiento como la capacidad de las celdas no se ha visto afectada.

Con este estudio se han definido unas nuevas especificaciones de las celdas, definiendo como corriente de pico máxima de 30 A por celda con un tiempo máximo a esta corriente de 40 s.



Tabla 2: Comparación resultados configuraciones

Nº Serie	Nº Paralelo	Corriente Nominal (A)	Corriente Máxima (A) (40s)	Potencia (kW)	Energía (kWh)
25	26	260	780	65.5	7.8
26	26	260	780	68.1	8.1
27	26	260	780	70.8	8.4
28	26	260	780	73.4	8.7
25	27	270	810	68.0	8.1
26	27	270	810	70.8	8.4
27	27	270	810	73.5	8.7
28	27	270	810	76.2	9.1
25	28	280	840	70.6	8.4
26	28	280	840	73.4	8.7
27	28	280	840	76.2	9.1
28	28	280	840	79.0	9.4
25	29	290	870	73.1	8.7
26	29	290	870	76.0	9.0
27	29	290	870	78.9	9.4
28	29	290	870	81.8	9.7

Tabla 2: Comparación resultados configuraciones se pueden ver diferentes configuraciones serie paralelo con la corriente, potencia máxima y energía obtenida para el acumulador. Con los datos obtenidos de los test de estrés a las celdas se decide colocar 28 celdas en paralelo, ya que de esta forma se consiguen **8kWh** (90% de 9,1 kWh debido a la reducción del rango de trabajo), este valor de energía se encuentra dentro del rango de diseño establecido y en una zona optimista de ritmo por vuelta en carrera.

Con esta configuración de 28 celdas en paralelo se puede conseguir una potencia de 28 kW durante toda la carrera e incluso picos de hasta 84 kW de potencia durante menos de 40 segundos. Por lo que se puede concluir que el motor podrá trabajar entre **20 y 35 kW** sin ningún tipo de problema.



#### 1.5.1.4. Uniones eléctricas

En este apartado se explica cómo se han realizado las uniones entre celdas, entre bloques de celdas en paralelo y de los bornes. Para más información y detalle de este conexionado ver el Anexo1.7: Proceso de Fabricación.

Las uniones entre elementos se han diseñado dependiendo de la corriente que va a circular por cada tramo.

##### 1.5.1.4.1. Uniones entre celdas para realizar el conexionado de las 28 celdas en paralelo

Para estas uniones se ha utilizado la técnica de soldadura por puntos.

El material que se utiliza para realizar estas uniones es chapa de níquel de 0,15mm de espesor y cortada en tiras de 10mm de ancho. Se realiza un doble mallado, primero en vertical y posteriormente en horizontal.



Ilustración 51: Mallado de las tiras de níquel

Finalmente, se instalan los bornes mediante estaño y 3 cables de cobre estañado de 6 AWG (aproximadamente 13mm<sup>2</sup>).

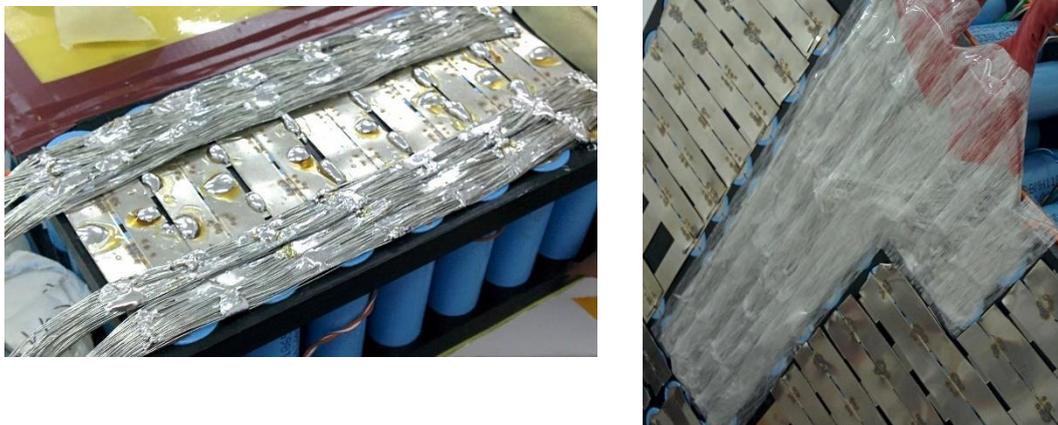


Ilustración 52: Bornes del acumulador



Con todos estos pasos se ha realizado un test de descarga al bloque, este test de descarga ha consistido en una descarga constante a 50 A durante 20 minutos, con este test se han identificado diferentes puntos débiles de las uniones entre celdas, de forma que se ha diseñado un sistema de refuerzos en las uniones para subsanar estos defectos y mejorar así el paso de la corriente entre las celdas.

Estos refuerzos se han diseñado con tiras de cobre estañado de 1.2mm x 5mm.

Se ha calculado que con una tira de cobre para cada 8 celdas se consigue una conducción homogénea de la corriente por la batería. Estas tiras se han unido al acumulador mediante estaño.

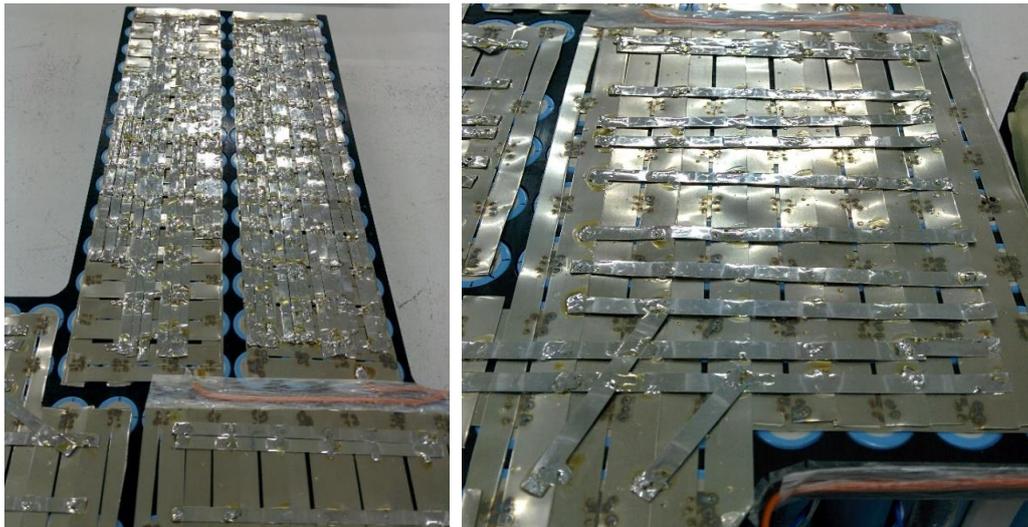


Ilustración 53: Detalle refuerzo cobre estañado

#### 1.5.1.4.2. Uniones entre bloques de 28 celdas en paralelo

Al igual que en el caso anterior se ha utilizado la técnica de soldadura por puntos, y posteriormente refuerzos de cobre.

En estas uniones es aún más importante la calidad y dimensión de la unión, ya que es por donde va a pasar toda la corriente del acumulador. Para ello se ha realizado una distribución de los refuerzos de cobre de forma que en la unión serie entre bloques hay mayor densidad de refuerzo.

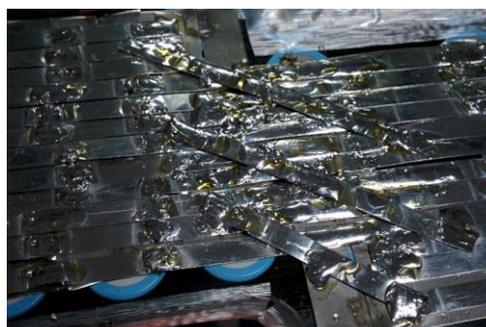


Ilustración 54: Detalle refuerzo en zona critica



### 1.5.2. Estructura

La primera opción que se estuvo analizando fue la distribución modular de aluminio, esta distribución tiene una buena disipación de calor a la par que mantiene una gran rigidez, el principal problema es el volumen que ocupa, ya que al tener los bloques no son lo suficientemente modulares. Por el motivo del volumen se descarta esta opción.

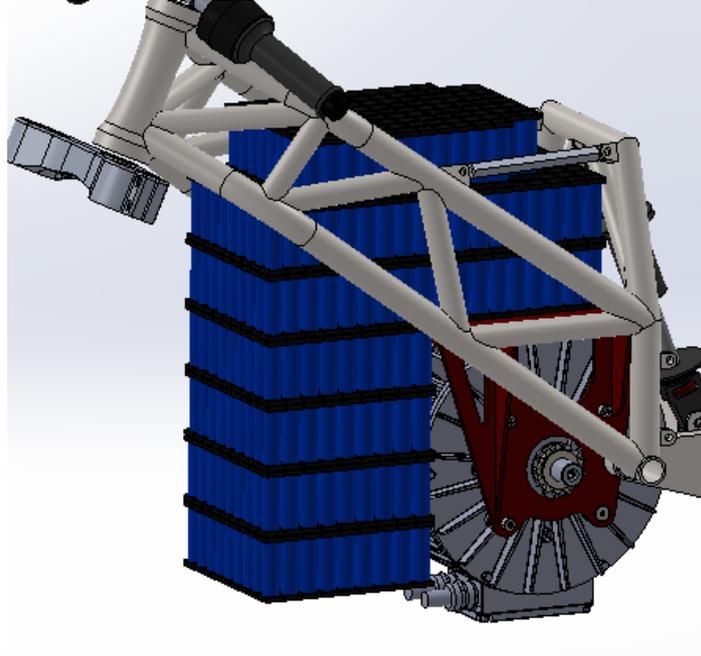


Ilustración 55: Acumulador de celdas verticales en el chasis

Para mejorar la modularidad se analizó la opción de colocar las celdas con una distribución vertical, para optimizar al máximo el espacio. Con esta distribución se consiguen buenos resultados, pero analizando la forma de sujetar los diferentes pisos se observa una gran dificultad, además que complica el enseriado más que en otras distribuciones, ya que de piso a piso se debería llevar un cable de gran sección o una pletina de cobre lo cual complica la instalación. Por lo tanto, por motivos de complicación de montaje se descarta esta opción y se busca una opción que simplifique el montaje a la par que mantiene la modularidad.

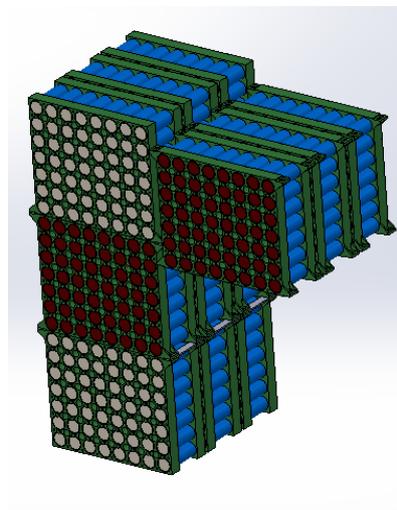
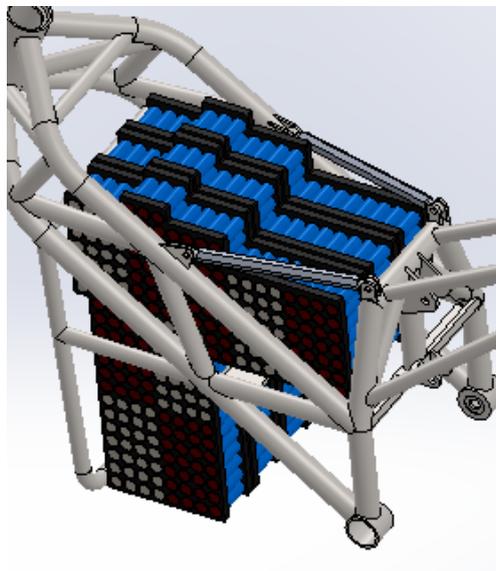


Ilustración 56: Acumulador modular



La siguiente opción es la distribución tipo puzle, con esta distribución se mantiene una gran modularidad a la par que se facilita el conexionado entre celdas ya que están todas en el mismo plano, y solo se tiene que realizar el conexionado aéreo entre 3 bloques principales.

Para validar el método de unión se imprimen en 3D varios modelos del sistema de unión, con estas pruebas se llega a la conclusión de que el método no es viable por dificultades en el montaje de todo el conjunto. Para solventar este problema se desarrolla la idea de una distribución modular, en esta el sistema de unión es mediante pernos, lo que lo simplifica, pero al igual que antes a parte del problema de la unión de los módulos, el otro problema es que al realizar las conexiones entre las celdas se pierde la opción de modularidad, por lo que no tiene sentido tener unos bloques modulares que después de la soldadura de las celdas se queden como un bloque solo. También se valora la combinación de los dos métodos (celdas verticales y puzle) en la distribución mixta, pero aparecen los mismos problemas que en los casos anteriores por lo que se descarta como opción viable.



*Ilustración 57: Acumulador con soporte a medida en el chasis*

Por este motivo y para optimizar aún más el espacio disponible se diseñan unos soportes a medida donde todas las celdas de cada uno de los 3 bloques se colocan a la vez, para luego realizar las soldaduras necesarias. Con este método se consigue aunar todas las ventajas de los anteriores a la par que se simplifica en gran medida el conexionado entre celdas. Por estos motivos la opción más optimizada y viable es la de utilizar la distribución con soporte a medida.

En cuanto a las dimensiones del acumulador, siempre se ha diseñado disponiendo del sólido 3D del chasis por lo que se ha diseñado el acumulador de forma que se **adapte** a la perfección a las **medidas del chasis**.



Finalmente, las dimensiones del acumulador son las siguientes:

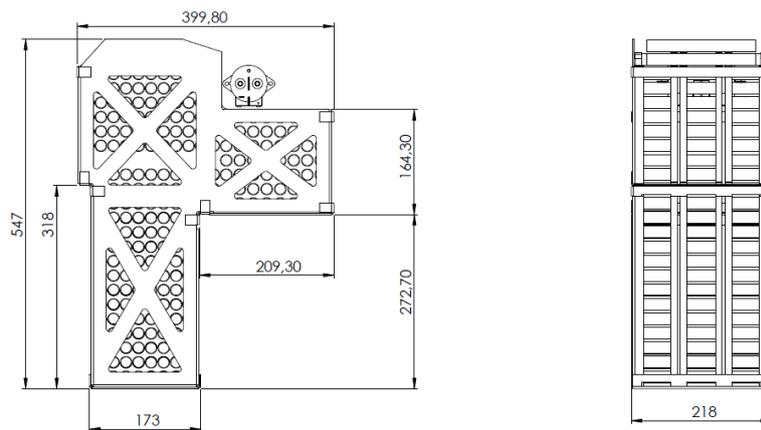


Ilustración 58: Dimensiones del acumulador

Para verificar la capacidad de disipación térmica del conjunto se ha colaborado con Daniel Segura García realizando un estudio termodinámico con el software Ansys, este estudio se puede encontrar en el Anexo 2.11 Análisis Termodinámico, con los resultados de este estudio, se modifica la distribución de las celdas para optimizar el rendimiento termodinámico al máximo. Para ello se ha modificado la distancia de las celdas al máximo permitido por el espacio restante en el chasis y se ha añadido un canal de refrigeración para las celdas traseras. Con estas modificaciones se garantiza la **disipación térmica adecuada** en todo el rango de trabajo del acumulador.

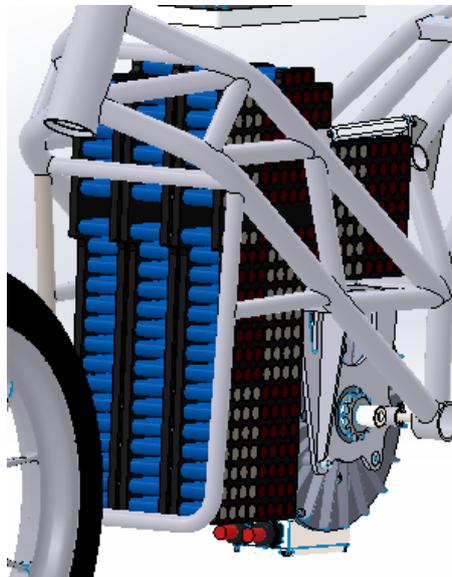


Ilustración 59: Acumulador con canal de refrigeración

Los soportes de las celdas necesarios se pueden realizar de aluminio, HDF y plástico técnico.

El aluminio se descarta por la facilidad con la que podría provocar un cortocircuito en el acumulador en el caso de que el rozamiento provocara el deterioro del plástico protector que llevan las celdas.

Con el HDF se realizan algunos test y finalmente se descarta debido a su rápido deterioro con el montaje de las celdas, además de que ante un accidente es un producto inflamable.



Finalmente, de plástico técnico hay diferentes opciones, cada plástico tiene unas propiedades, los más avanzados son el PEEK y el PAI, estos dos son los que mayor temperatura aguantan, pero son difíciles de encontrar y complicados de mecanizar, por lo que finalmente se selecciona el POM-C el cual tiene una temperatura de fusión suficientemente alta como para aguantar el rango de temperatura de trabajo de las celdas, y por otro lado es fácilmente mecanizable.



Ilustración 60: Test diámetro mecanizado POM-C

Los soportes, de POM-C, se fabrican por mecanizado, para ello primero se realiza una muestra con pequeñas variaciones del diámetro de la celda para comprobar que tamaño ajusta mejor.

Con este soporte se **garantiza la rigidez** del conjunto de celdas, pero para mejorar esta rigidez y ofrecer una protección IP adecuada se diseña una caja protectora.

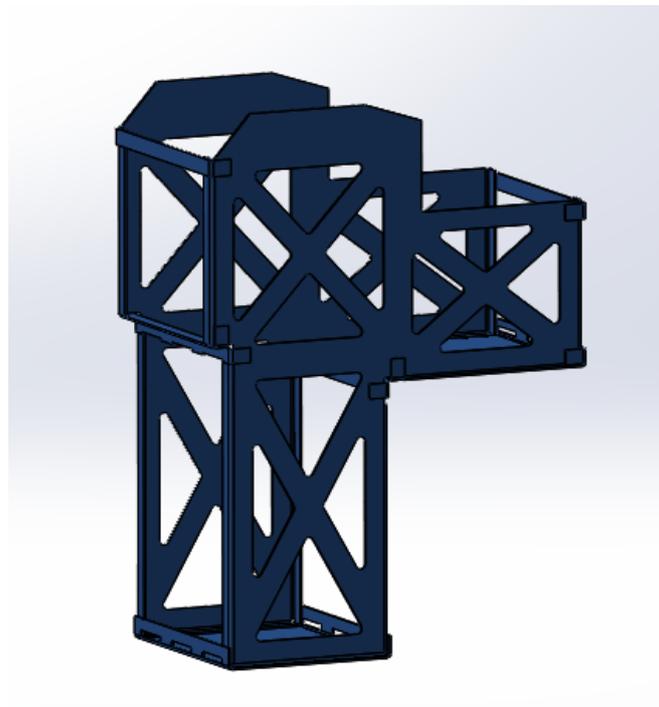


Ilustración 61: Caja chapa aluminio plegada de 2mm

Esta caja, está fabricada de chapa plegada de aluminio de 2mm de espesor que además de darle solidez al conjunto se encarga de proteger el acumulador ante proyecciones además de facilitar los sistemas de anclaje a la motocicleta.



*Ilustración 62: Detalle rejilla delantera*

Debido a la necesidad de refrigeración de la batería las caras frontales y traseras se han dejado abiertas de forma que permiten la entrada de aire fresco. Como protección ante polvo y elementos proyectados por los neumáticos u otras motocicletas se ha colocado una rejilla metálica y un filtro que aseguran que ninguna partícula extraña pueda penetrar al interior del acumulador. Estos filtros en conjunto con la caja ofrecen una protección **IP22** al acumulador.



### 1.5.3. Electrónica de control

#### 1.5.3.1. BMS Esclavo

Debido a la distribución de las celdas que se ha propuesto, la opción más recomendable es la de Maestro Esclavo, ya que de esta forma 3 Esclavos se encargan de monitorizar cada uno de los 3 bloques iguales.

Para los esclavos se ha seleccionado un BMS Esclavo comercial, el ZEVA BMS12. Este BMS es ideal para el acumulador, ya que, permite monitorizar los 9 bloques de celdas en los módulos con el menor tamaño y peso posible, además se obtiene una simplificación del software de control implementado en el master, la simplificación es debida a que los 3 bloques son iguales, por lo que el código necesario para tratar la información de 1 solo bloque es válido para el resto de los bloques simplemente cambiando a la id correspondiente a cada uno.

Este BMS Esclavo seleccionado tiene las siguientes características:

- Monitorización de entre 4 y 12 celdas
- Máximo voltaje total de 60VDC
- Alarmas para límites de tensión
- Corriente de balanceo de 120mA
- Comunicación CAN aislada galvánicamente
- Alimentación entre 7V y 12V

A nivel hardware el BMS lleva el integrado de Linear Technologies 6803, el cual permite monitorizar y balancear de forma pasiva hasta 12 celdas. Junto a este chip lleva un chip de separación galvánica para aislar galvánicamente la comunicación SPI del chip LT6803 y el micro (micro tipo Arduino) que es el que gestiona la monitorización y la comunicación CAN.

Este BMS no se alimenta del propio acumulador directamente si no que necesita una entrada externa de entre 7 y 17 V.

La separación galvánica de las comunicaciones permite utilizar varios BMS Esclavos en serie, esta característica es muy importante ya que los integrados encargados de gestionar el "front end" de monitorización de celdas no aguantan grandes diferencias de tensión.



### 1.5.3.2. BMS Master

Para el BMS Master se ha diseñado una placa propia basada en un Arduino Nano, un chip de comunicaciones CAN-BUS y 3 multiplexores de entradas analógicas.

Los BMS Esclavos seleccionados disponen de solo 2 sensores de temperatura y según el punto D.3.5.5 de la normativa Motostudent 15/16 es necesario monitorizar al menos el 30% de las celdas o bloques de celdas en paralelo. Por este motivo se ha decidido realizar la sensorización de temperatura mediante termistores NTC que se han ubicado en las partes más críticas en función de los análisis térmicos realizados en el diseño. De la lectura de los termistores realiza mediante el Arduino NANO a través de 3 multiplexores. El motivo de estos multiplexores es para aumentar las entradas analógicas que tiene el Arudino NANO y que son necesarias para medir la temperatura mediante los termistores. Con los 3 multiplexores se pude obtener hasta 48 medidas de temperatura diferentes.

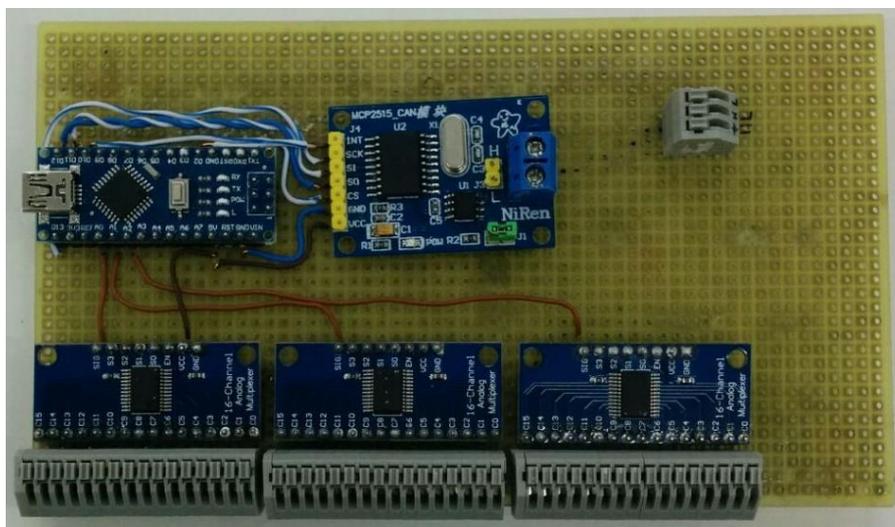
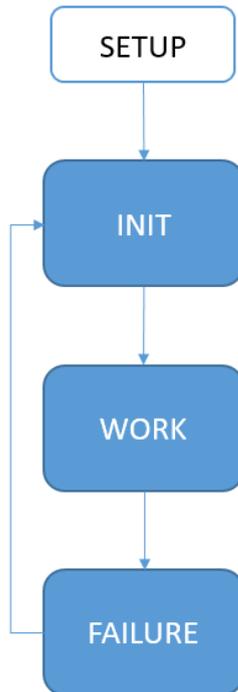


Ilustración 63: Placa BMS Master



### 1.5.4. Software de control

La misión del software de control es recoger la información de los BMS esclavos y asegurarse de que ninguna celda trabaje fuera de los parámetros que indica el fabricante en el datasheet de la celda.



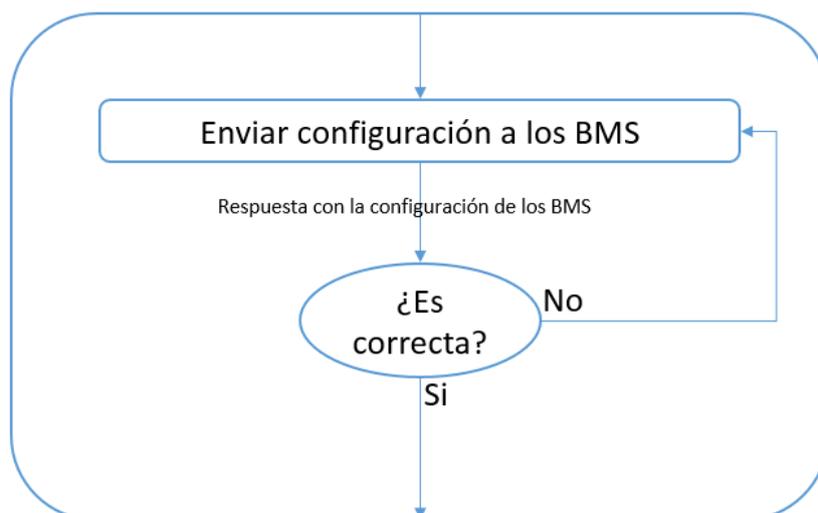
El código se ha basado en una máquina de 3 estados.

Estado INIT, es el estado en el que se inicia el BMS, aquí se establece la comunicación y se inicializan las variables necesarias.

Estado WORK, como indica su nombre, es el estado en el cual va estar el BMS funcionando la mayoría del tiempo.

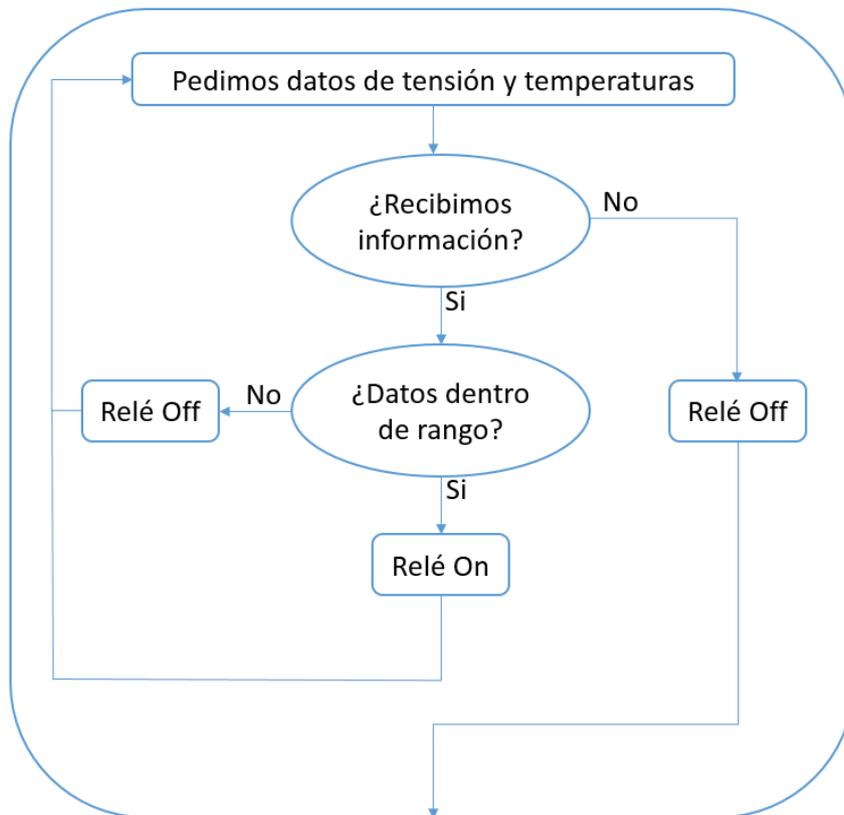
Estado FAILURE, se ejecuta cuando aparece algún error en WORK, este estado gestiona el error y vuelve a ejecutar INIT para hacer un reseteo al BMS.

#### 1.5.4.1. INIT

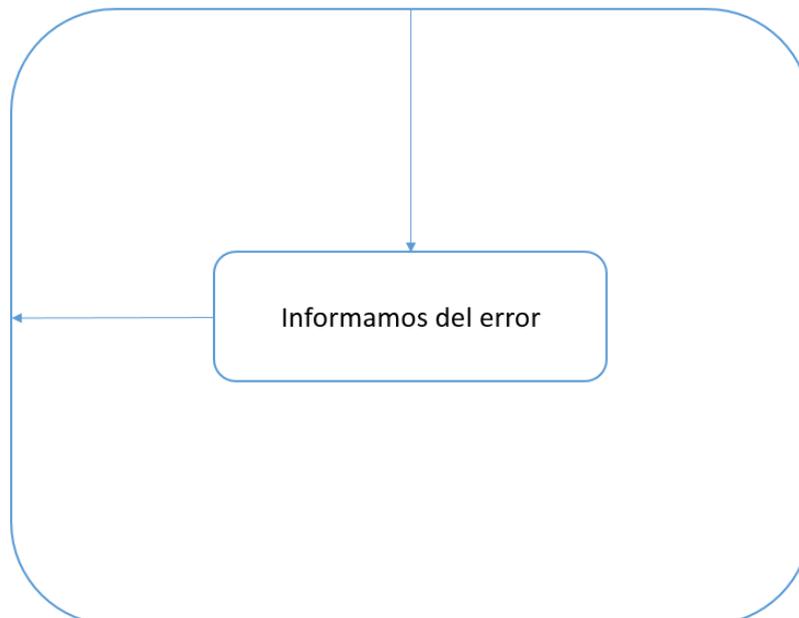




### 1.5.4.2. WORK



### 1.5.4.3. FAILURE





## 1.6. Estudio de viabilidad técnica

El acumulador tiene un rango de tensión entre 110 y 67,5 V, estos valores son compatibles con el controlador y el motor instalados en la motocicleta, además son unos valores que, aunque peligrosos de manipular por una persona, existen multitud de herramientas y equipos que pueden trabajar bajo estos voltajes sin problema alguno.

En cuanto a la potencia y corriente que suministra el acumulador, pasa algo parecido al caso del voltaje, estamos hablando de grandes potencias y corrientes, pero con un dimensionado adecuado de todos los elementos del acumulador se garantiza que puedan soportar las corrientes necesarias para suministrar las potencias que demande el motor.

La autonomía del acumulador se sitúa en 8 kWh esto mediante celdas cilíndricas de tipo 18650 y de química NCA, es completamente factible ubicarlo dentro de las dimensiones máximas disponibles, de hecho, incluso aumenta la separación entre celdas aumentando el tamaño del acumulador para mejorar la refrigeración. Por lo tanto, se puede decir que, con las celdas elegidas, tenemos espacio suficiente para ubicar todas las celdas en el chasis.

Los aspectos mecánicos del acumulador vienen cubiertos por partida doble, los soportes de las celdas en conjunto con las celdas forman un bloque sólido que se soporta a sí mismo sin problemas, pero, para asegurar la rigidez del conjunto en cualquier condición de carrera se fabrica una caja de chapa plegada de aluminio de 2mm de forma que la rigidez estructural aumenta siendo un acumulador muy robusto y preparado para las condiciones exigentes de una competición.

El grado de protección IP22, se satisface gracias a la caja de aluminio exterior y los filtros metálicos que se montan el acumulador.



## 1.7. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación se divide en: ensamblaje de las celdas, uniones entre celdas y bornes, cableado BMS, ensamblaje de los 3 módulos e instalación de la electrónica.

- En el ensamblaje de las celdas se colocan estas en los soportes con la posición correcta, a la vez que se realiza este ensamblaje se deberá colocar los sensores de temperatura.
- Posteriormente se realizan todas las uniones entre celdas, los refuerzos, los bornes y el cableado del BMS.
- Este proceso se repite para los tres módulos, con los tres módulos acabados se procede a ensamblarlos para formar el bloque acumulador.
- Por último, se instalan los BMS Esclavos, el BMS Master, los contactores y el fusible.
- Como último paso se cierra el acumulador con la caja de aluminio.

### 1.7.1. Ensamblaje de las celdas

En este proceso se ensamblan las 252 celdas que incluye cada uno de los 3 módulos.



*Ilustración 64: Ensamblaje bloque 1*

Se debe asegurar que las celdas encajan correctamente en sus alojamientos, en caso de que no encajen correctamente se tomaran las medidas necesarias para subsanar este defecto.

- El agujero es demasiado pequeño, mediante una lija de grano fino realizar algunas pasadas por el agujero con el fin de ensancharlo.
- El agujero es demasiado grande, si no es excesivamente grande se puede subsanar mediante un poco de cinta de carroceros o aislante alrededor de la celda.

Si mediante estas soluciones alguna celda sigue sin encajar correctamente se deberá desechar el soporte y realizar uno nuevo asegurando la calidad de este.

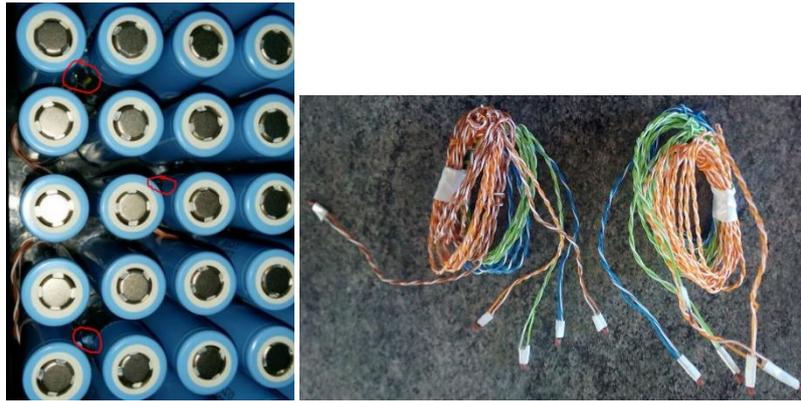


Ilustración 65: Detalle termistores NTC

En la Ilustración 65 se puede ver el detalle de la colocación de los sensores de temperatura (Termistores NTC) en las celdas, estos se colocan mediante cinta adhesiva de aluminio para mejorar la conductividad térmica de la celda al sensor. El cableado se entrecruza entre las celdas de forma que se evita tener que sujetarlo de otra forma.

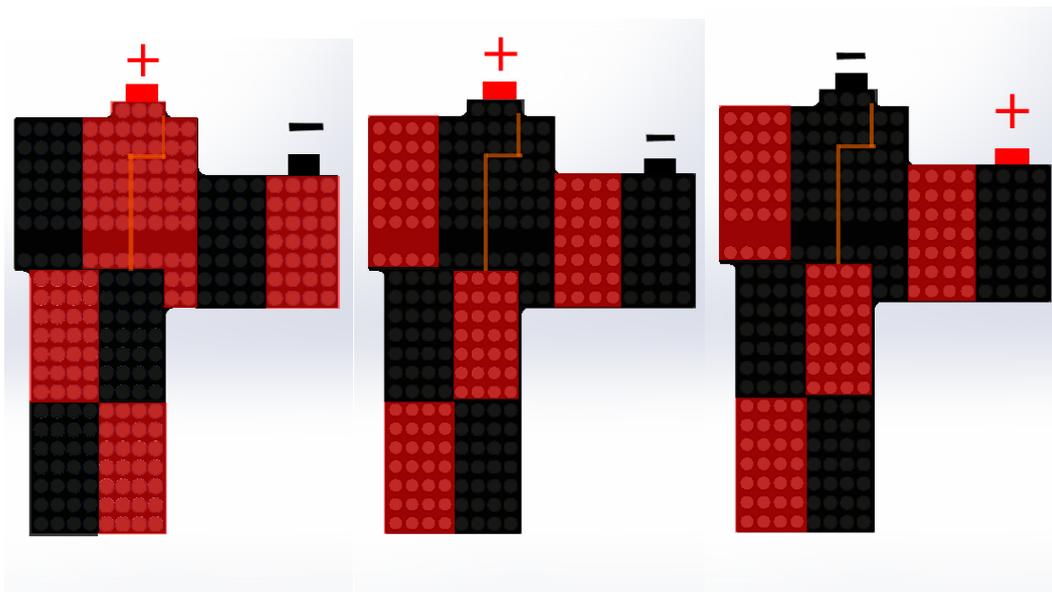
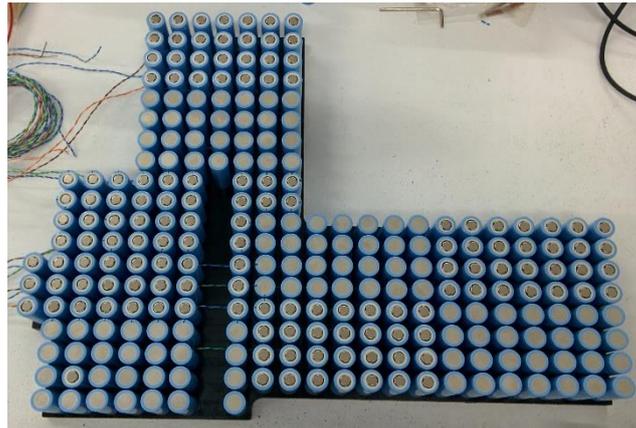


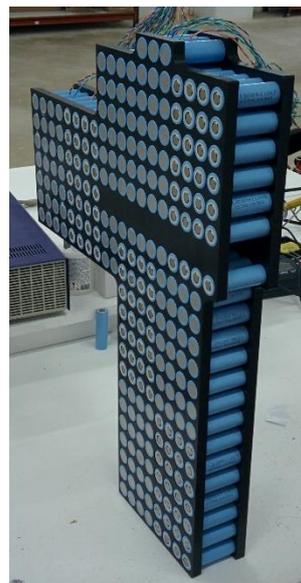
Ilustración 66: Detalle posición ensamblaje celdas

En las Ilustración 66 se puede observar cómo se colocan las celdas en los soportes, de izquierda a derecha tenemos el Modulo 1, 2 y 3. Es importante respetar este orden, ya que de ello depende el conexionado serie paralelo del acumulador.



*Ilustración 67: Módulo con todas las celdas ensambladas*

Con todas las celdas colocadas en un soporte, se procederá a colocar el otro soporte, este se coloca encima de todas las celdas y se va encajando realizando una ligera presión sobre diferentes puntos del soporte. Prestar especial atención a no dañar el aislamiento de ninguna celda durante este proceso, ya que al tener muchas celdas a encajar a la vez es posible que alguna no se alinee correctamente y exista peligro de daño en su aislamiento.



*Ilustración 68: Módulo totalmente ensamblado*

Es muy **importante** colocar las celdas en su posición adecuada, se debe tener especial cuidado ya que en cada módulo se colocan de manera ligeramente diferente.



### 1.7.2. Uniones entre celdas, bornes y cableado BMS esclavos

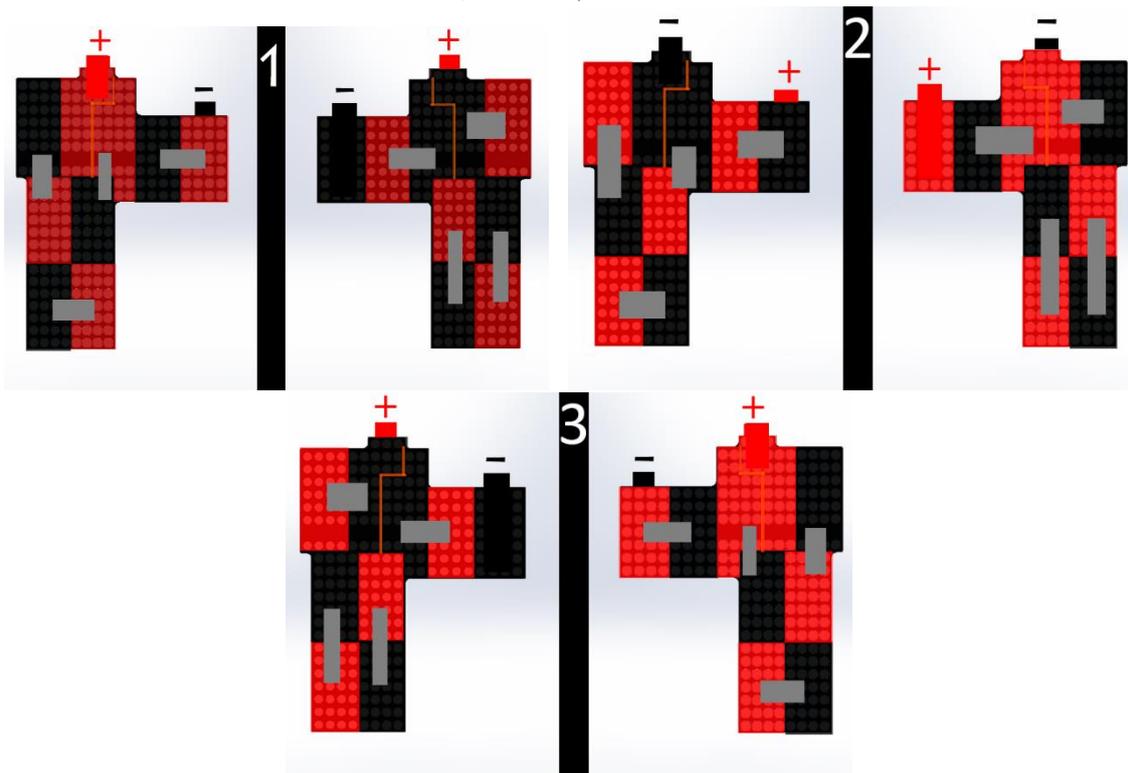


Ilustración 69: Detalle de montaje unión serie de bloques

Es muy importante tener claro el conexionado de cada módulo antes de empezar a realizar las uniones, ya que un error en este conexionado, podría provocar un cortocircuito y con ello el daño a una o varias celdas e incluso peligro de explosión. En la Ilustración 69 se puede ver al detalle el conexionado de cada módulo.

En rojo son los polos positivos de las celdas que forman un bloque de 28 celdas en paralelo.

En negro son los polos negativos de las celdas que forman un bloque de 28 celdas en paralelo.

En gris se representan la unión serie de los bloques, la imagen es una representación para tener claro la conexión entre bloques para realizar correctamente la unión en serie, más adelante se detalla cómo se debe realizar esta conexión con más detalle.

La unión entre celda se realiza mediante un soldador por puntos (Spot Welder), el material a unir son tiras de níquel de 0.2mm de espesor y 10mm de ancho. Mediante el test realizado a las uniones de celdas se define la potencia y cantidad de pulsos a realizar para obtener una soldadura óptima. Este proceso se debe realizar cada día para poder corregir desajustes en la máquina ya que la presión ejercida también es un parámetro modificable, y con el movimiento del acumulador para colocar el cabezal en cada celda puede variar ligeramente la altura.



*Ilustración 70: Detalle soldadura por puntos*

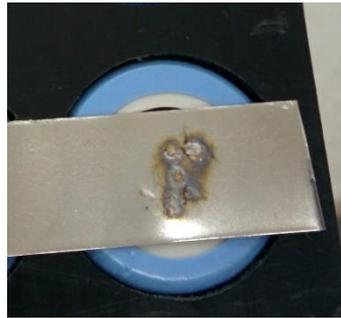
Se debe prestar especial atención a la posición donde se realizan los puntos, en especial en los polos positivos. El motivo de esta precaución es debido a que en el polo positivo se encuentran muy cerca la parte negativa (carcasa) de la positiva, por lo que colocando erróneamente los electrodos se podría cortocircuitar alguna celda dañándola e incluso existiendo peligro de explosión.



*Ilustración 71: Celda cortocircuitada*

En la imagen superior se puede ver como por una mala posición de los electrodos se ha provocado un pequeño cortocircuito en la celda. Para ayudar a detectar estos fallos en fabricación las celdas llevan un plástico blanco alrededor del polo positivo que en caso de que se cortocircuite la celda, se quema haciendo unas llamas bastante vistosas que indican que se ha cortocircuitado la celda. En este caso al ver las llamas se arrancó la tira de níquel y se interrumpió el cortocircuito, pero durante los pocos segundos que duro el cortocircuito la celda aumento su temperatura hasta los 40 grados centígrados. Si no se hubiera conseguido interrumpir el cortocircuito y la celda supera los 150 grados centígrados hay un gran peligro de explosión de la celda.

Por este motivo se aconseja soldar primero todas las celdas positivas del acumulador, de forma que, si por error se cortocircuita alguna celda, al no estar soldada por la parte inferior esta se puede extraer de forma rápida y sencilla empujándola desde el polo negativo hacia arriba. De esta forma en caso de cortocircuito se puede extraer la celda y alejarla del acumulador a un lugar seguro por si el cortocircuito no se pudiera detener.



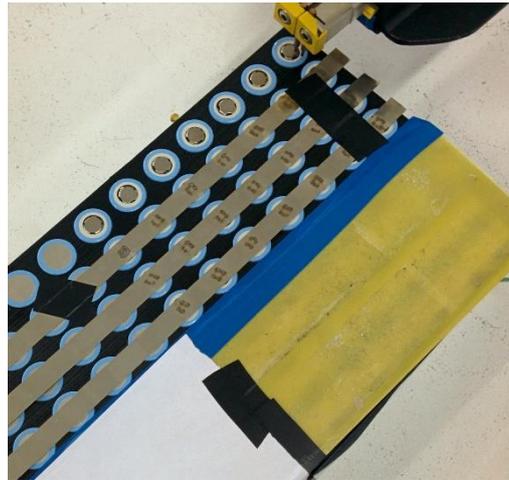
*Ilustración 72: Colocación tira y punto correcto*

En la imagen superior se puede observar la colocación recomendada de la tira de níquel, esta deberá sobrepasar la celda por los dos extremos, esto se recomienda debido a que al realizar puntos de soldadura cerca de los extremos de la tira de níquel esta puede ponerse incandescente y quemar el aislante de la celda, dejando muy expuesta la zona crítica donde se juntan la carcasa exterior (-) y el polo positivo.



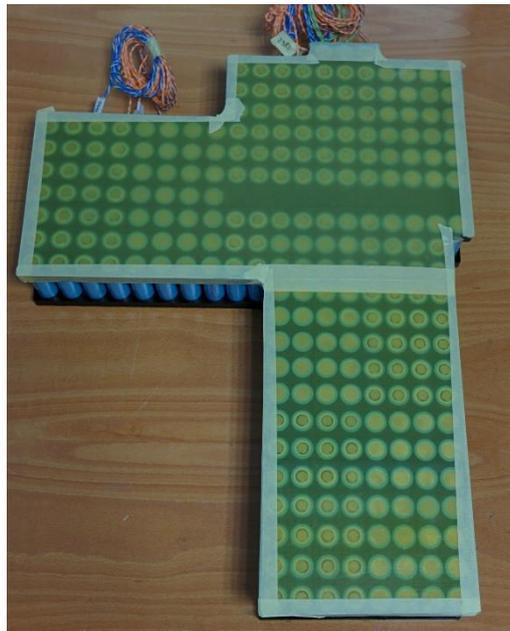
*Ilustración 73: Detalle tiras para realizar la conexión serie*

Cabe destacar que las tiras de níquel no se colocan simplemente sobre las celdas para realizar la conexión paralelo de las 28 celdas, si no que en algunos casos se aprovecha que el siguiente bloque a conexionar está en el mismo plano para alargar las tiras y que una misma tira sirva de unión entre bloques sin tener que realizar esta unión a posterior. En la imagen superior se puede ver este detalle.



*Ilustración 74: Detalle cubierta módulos para soldar*

Otro método a aplicar para mejorar la seguridad en la fabricación es la de cubrir todo el acumulador con algún material aislante, esto es necesario porque en el caso que algún elemento metálico (herramientas, tiras de níquel, etc.) realizara contacto entre dos bloques contiguos de celdas se provocaría un cortocircuito, además este cortocircuito no sería de solo una celda, si no de 28 celdas a la vez, por lo que se debe cubrir muy bien toda la superficie y controlar que ningún elemento metálico se deposite sobre el acumulador en construcción.



*Ilustración 75: Detalle placa aislante entre módulos*

Para evitar problemas se recomienda disponer de una mesa de trabajo ordenada con solo el material necesario, y definir una zona en la mesa de trabajo donde solo pueda permanecer el módulo de celdas en construcción y la herramienta o tiras de níquel que se van a utilizar en el mismo instante. De esta forma prevenimos tener material sin controlar que pueda provocar algún tipo de cortocircuito. También es importante tener la mesa limpia y de colocar en la parte inferior del módulo de celdas un material aislante que evite el contacto con la mesa y los posibles

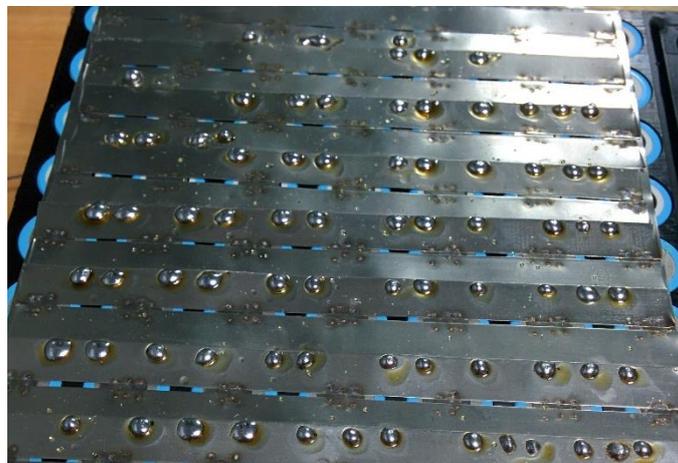


elementos metálicos (hilos de cobre, tiras de níquel) que puedan colocarse debajo de las celdas quedando fuera de la vista.



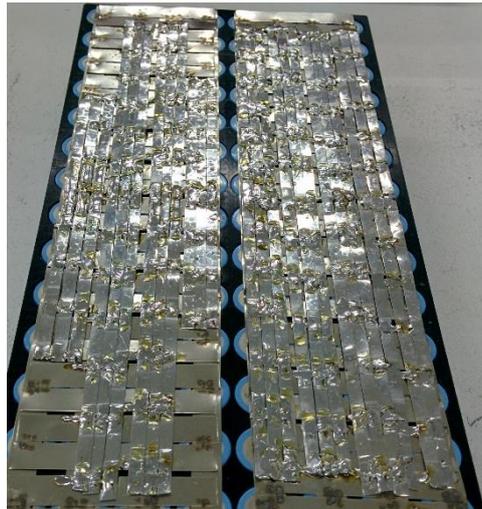
*Ilustración 76: Módulo soldado completo*

Con todo el módulo soldado el siguiente paso es realizar los refuerzos mediante estaño y tiras de cobre estañado.



*Ilustración 77: Pre estañado del níquel*

En la imagen superior se observa el pre estañado realizado sobre las tiras de níquel, este pre estañado se realiza para mejorar la adherencia de las tiras de cobre estañado sin calentar en exceso las celdas. Para ello se utiliza un soldador de gran potencia, mediante este soldador se aplica calor en un punto de la tira de níquel centrado en una posición entre celdas. Estando el soldador en esta posición se añade una pequeña cantidad de estaño realizando los puntos que se observan en la imagen. Es importante realizar esta operación lo más rápido posible y alternando los puntos para evitar calentar las celdas. En el caso de que se necesite aplicar durante mucho tiempo calor para que la soldadura se pegue correctamente se podrá mediante un ventilador aplicar refrigeración forzada a las celdas.



*Ilustración 78: Distribución de los refuerzos*

Una vez tenemos todos los bloques reforzados a excepción de los bornes se procede a soldar los bornes, estos bornes están formados por 3 cables multifilares de cobre estañado de sección 6 AWG (Aproximadamente  $13\text{mm}^2$ ).



*Ilustración 79: Soldadura del borne*

Al igual que en el caso anterior se realiza un pre estañado de las tiras de níquel para favorecer una correcta unión de los filamentos de cobre estañado en el níquel.

A cada uno de los cables se le quita el aislante y se separan los filamentos en 3 partes iguales, posteriormente se van a soldar con la ayuda de estaño cada uno de estas 3 partes iguales.

El proceso más adecuado para realizar la soldadura con estaño es la siguiente:

- Se colocan los filamentos a lo largo y por encima de los puntos de pre estañado.
- Se sujetan estos filamentos mediante cinta por los dos extremos.
- En cada punto de pre estañado se abren los filamentos hasta ver ligeramente el estaño de la parte inferior, con la punta del soldador se calienta esta zona, una vez empiece a fundir este estaño, se le aplicara una pequeña presión mediante un elemento plano como un destornillador sobre los filamentos para que estos se introduzcan en el punto de pre estañado que esta fundido.



- Una vez los filamentos se introducen en el punto de estaño, quitar la punta del soldador y mantener la presión durante unos segundos.
- Cuando el estaño este endurecido, comprobar que la unión es correcta tirando hacia arriba de los filamentos, estos no deben subir, si no estar sujetos a las tiras de níquel.
- En caso de que no se consiga una unión correcta (los filamentos se separan de las tiras de níquel) repetir los anteriores pasos.

Este proceso se sigue a lo largo de todos los puntos de pre estañado, así se consigue una buena distribución de la corriente, esto es muy importante, ya que por los bornes va a circular toda la corriente del acumulador.

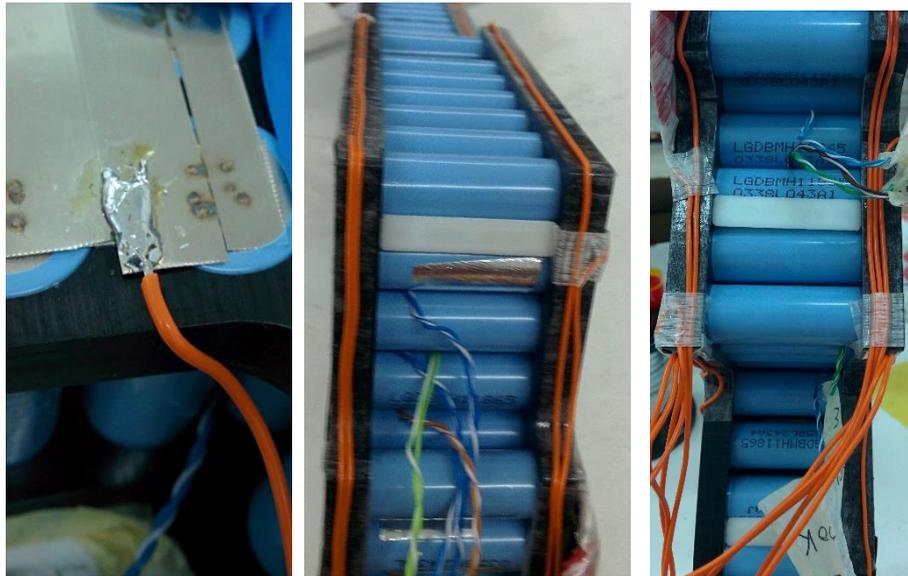


*Ilustración 80: Borne cubierto por cinta aislante*

Finalmente, cuando los tres cables estén soldados se reagruparán los filamentos que salen del módulo de celdas sin el aislamiento y se dividen en dos de forma que se pueda colocar con un terminal de 25mm<sup>2</sup>. Para evitar que se suelte algún tipo de filamento, se recubrirá el borne con cinta aislante.

Es importante que el espesor del borne sea lo más homogéneo y fino posible, ya que de ello depende el tamaño final del acumulador.

En este momento es cuando se debe de instalar el cableado del BMS.

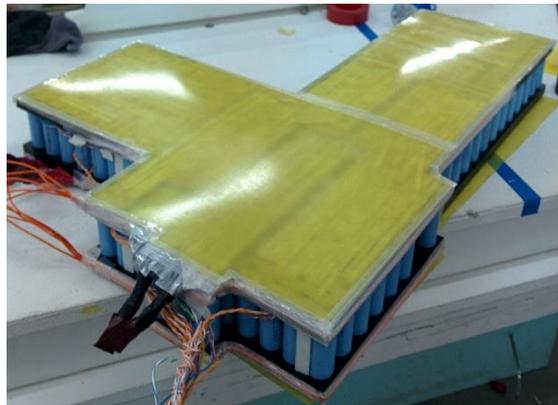


*Ilustración 81: Detalle instalación cableado BMS*

El cableado naranja es el encargado de llevar la señal de tensión de cada celda hasta el BMS. Este se suelda directamente en el bloque de celdas a medir, y se lleva de manera ordenada por los bordes del soporte de celdas hasta la posición donde se ubica el BMS.

Con todos estos pasos se tiene un módulo de celdas terminado, para los dos siguientes módulos se deberá realizar los mismos pasos vigilando con especial atención la colocación serie paralelo de las celdas, ya que esta varía entre módulos.

### 1.7.3. Ensamblaje de los tres módulos



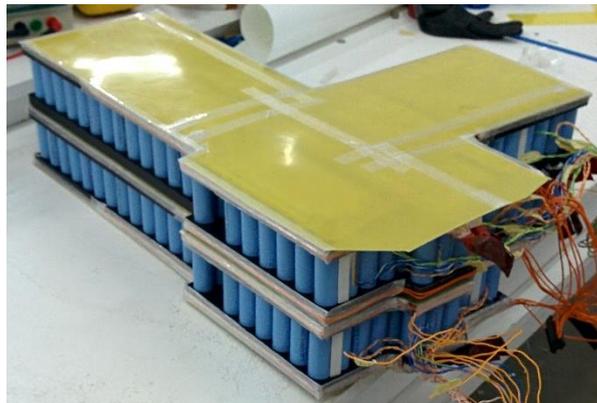
*Ilustración 82: Modulo listo para ensamblar*

Para evitar el contacto directo con las celdas de un bloque y otro, se coloca una placa aislante entre cada módulo, estas placas están fabricadas de fibra de vidrio más una capa de plástico aislante exterior. Esta combinación de materiales ofrece una gran capacidad de asilamiento eléctrico, así como aguanta mecánicamente posibles perforaciones de alguna rebaba o defecto en la soldadura de las celdas. Por otro lado, su gran aguante térmico protege los módulos entre sí en el caso de que alguno de ellos se calentara más del doble o alguna celda explotara.



*Ilustración 83: Detalle borde sellado*

En los bordes se une la pieza aislante con el borde del soporte, esto es para garantizar cierta estanqueidad y entrada de polvo que a largo plazo pueden ocasionar problemas dentro del acumulador.



*Ilustración 84: Ensamblaje módulo 3 y 2*

Tomando las mismas precauciones en cada módulo se apilan en el orden correcto, se debe prestar especial atención a que la colocación de los bloques es la correcta.



*Ilustración 85: Ensamblaje de los 3 módulos*

Una vez apilados los tres módulos, se unen los bornes de los 3 módulos mediante pernos de M8 y arandelas de cobre hechas a medida, a continuación, se coloca cinta de forma longitudinal y transversal para darle solidez al conjunto y que se comporten los tres módulos como un sólido rígido.

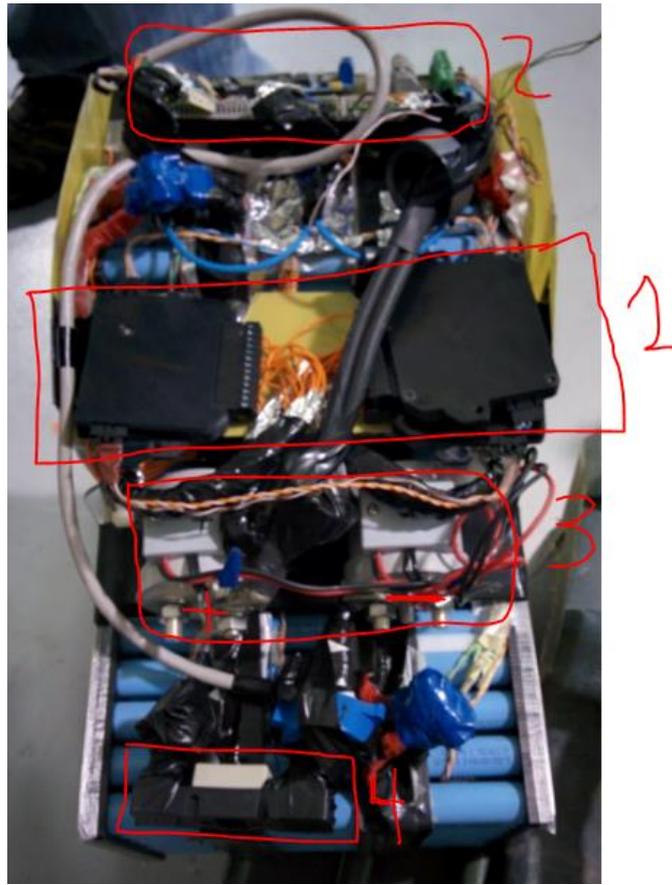


*Ilustración 86: Detalle sellado entre bloques*

También se sella el espacio entre bloques, ya que esto ayuda a aumentar la rigidez y evita la inclusión de cuerpos extraños en el acumulador.



#### 1.7.4. Instalación de la electrónica



*Ilustración 87: Detalle distribución electrónica*

A continuación, se detallan los elementos de la imagen superior.

- 1- BMS esclavos.
- 2- BMS Master
- 3- Contactores
- 4- Fusible

Es importante destacar que, por motivos de tiempo, se ha conseguido una distribución de cableado y electrónica que, aunque completamente funcional y robusta, no queda demasiado agradable a la vista. La ubicación de los componentes se ha elegido para minimizar la longitud del cableado.

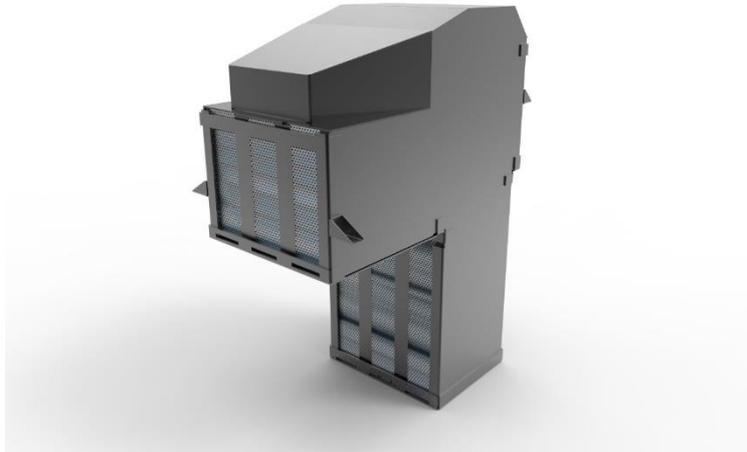
Los bornes de salida del acumulador, son los mismos bornes de los contactores, de esta forma se aprovecha estos terminales sin tener que incluir unos bornes extra, estos bornes se quedan en el interior del acumulador, y de este sale el cableado a través de la tapa superior.



### 1.7.5. Caja acumulador

Aunque el conjunto de módulos de celdas es en sí mismo un sólido rígido, se realiza una caja para proteger al acumulador en caso de caída o accidente.

Esta caja está diseñada en chapa plegada de aluminio de 2mm de espesor.



*Ilustración 88: Render acumulador completo*

Todas las piezas están realizadas a partir de la misma chapa, para ello se corta mediante laser la forma adecuada y posteriormente se doblan las aristas necesarias para obtener todas las piezas necesarias.

El método de unión es de remache de aluminio con pegamento estructural.



*Ilustración 89: Piezas cortadas en laser*

En primer momento se ensamblan los dos laterales por medio de las bandejas. Se debe prestar especial atención a la posición de los remaches, estos tienen que quedar lisos por la parte interna del acumulador para no dañar a las celdas.

Para darle mayor rigidez a la caja se le instalan los travesaños de refuerzo.



*Ilustración 90: Detalle tapa acumulador*

Para finalizar la caja se le fabrica una tapa, para dar mayor flexibilidad al acumulador en la parte superior, se diseña la tapa de goma de 1,5mm. A esta goma se le remacha unos perfiles de aluminio, estos perfiles junto con la goma se sujetan al resto de la caja mediante tornillos.

Para evitar transmitir los esfuerzos a los que está sometido el chasis, se ha restringido los diferentes movimientos dentro del chasis por medio de topes, evitando soportes atornillados.

El movimiento producido de forma longitudinal a la motocicleta en aceleraciones y frenadas se ha bloqueado con dos métodos.

Hacia atrás el mismo chasis hace de tope ya que la batería se sitúa en su posición más trasera posible. Hacia delante se le han instalado dos topes que evitan que esta se mueva hacia delante.

El movimiento lateral, también lo bloquea el propio chasis con la ayuda de unos topes de goma que se colocan entre el acumulador y el chasis.



*Ilustración 91: Detalle tensores del sistema de suspensión trasero*

Por ultimo queda el movimiento ascendente y descendente. Del descendente se encargan las dos bandejas que soportan todo el peso del acumulador, y como ascendente se aprovechan los tensores del sistema de amortiguación trasero, que mediante unos topes de goma impiden el movimiento ascendente. Esto también implica que para extraer el acumulador se deberá extraer estos tensores.



## 1.8. Proceso de validación

El proceso de validación consiste en realizarle ciertas pruebas al acumulador fabricado para verificar que cumple con los requisitos de diseño con seguridad.

Este proceso se compone de los siguientes test:

- Descarga controlada a corriente constante
  - o Verificar temperaturas de todo el acumulador
  - o Comprobar la homogeneidad del paso de la corriente por el acumulador
- Comprobación de la actuación de la seguridad del BMS Master
  - o Por sobretensión
  - o Por baja tensión
  - o Por Alta temperatura
- Verificar la monitorización de información del acumulador
  - o Tensión de todas las celdas
  - o Temperaturas de los 3 módulos y BMS

### 1.8.1. Descarga controlada a corriente constante

Este test, aunque no se descarga el acumulador a su corriente máxima, sirve para verificar que las celdas y las uniones estén en buen estado.

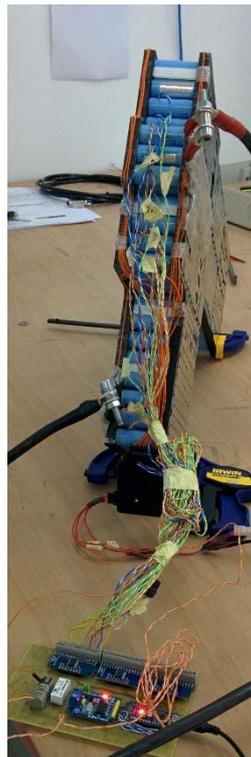


Ilustración 92: Montaje para test de validación

Para ello se realiza una descarga a 50 amperios a cada módulo por separado. Durante todo el tiempo que dura el test se monitorizan las tensiones y temperaturas verificando que están dentro de los valores definidos por el fabricante de las celdas. Paralelamente se observan las diferencias de temperatura entre las uniones de las celdas mediante una cámara termografía. En el caso de aparecer algún punto caliente se toman medidas de caída de tensión para



determinar con mayor precisión donde está el problema, a continuación, se procedería a aumentar la densidad de refuerzo de tira de cobre estañado en la zona defectuosa.

Este test se realiza 2 veces por modulo, las conclusiones son que gracias a los refuerzos la corriente se distribuye de manera homogénea por todo el acumulador, por otro lado, la temperatura de las uniones en ningún momento ha sido en ningún punto superior a la temperatura de las celdas.

### 1.8.2. Comprobación de la actuación de la seguridad del BMS Master

En este caso se somete al acumulador a los rangos extremos de tensión y temperatura para comprobar cómo responde el BMS Master. Por seguridad de las celdas el rango superior de temperatura se ha bajado 10 grados por la diferencia de medición de temperatura entre las celdas y los sensores térmicos.

Para la actuación ante voltaje se ha realizado una carga y descarga al acumulador comprobando que cuando llega a los límites desconecta por si solo.

Para la temperatura se ha utilizado una pistola de calor regulada a la temperatura máxima de las celdas (el sensor tiene que detectar 10 grados Celsius menos para activar la seguridad), de esta forma se ha provocado un aumento controlado de temperatura al acumulador hasta que se ha verificado que la seguridad actúa correctamente.

### 1.8.3. Verificar la monitorización de información del acumulador

La finalidad de este test es verificar que la información recibida del BMS Master es correcta, para ello se utiliza la aplicación de LabVIEW para testear BMS. Se realiza una descarga al acumulador y mientras está en funcionamiento se comprueba físicamente mediante un multímetro, cámara térmica o termómetro que los valores recibidos por el BMS Master están dentro de sus rangos de error.



## 1.9. Conclusiones

Este proyecto consiste en diseñar, fabricar y validar un acumulador de celdas de litio para una motocicleta de competición. Durante el diseño, se debe tener en cuenta, que no hay un orden estricto para diseñar un acumulador de energía, esto es debido a que todos los elementos que lo componen dependen entre sí, por lo que se toman decisiones suponiendo algunos elementos y posteriormente se ajusta el diseño tal y como van apareciendo los cambios.

El acumulador final, después de todos los estudios y análisis realizados tiene las siguientes características.

- Tensión entre 67,5 y 110 V
- Capacidad útil de 8kWh
- Corriente Nominal de 280 A con picos de 840 A (40s)
- 51 kg
- Dimensiones: 400mm x 547mm x 218mm
- Grado protección IP22
- Caja exterior de aluminio

En cuanto a la validación, la motocicleta participo en la competición Motostudent 15/16 quedando tercera, por lo que quedó totalmente validado el acumulador. En la competición se obtuvieron los siguientes resultados.

- La temperatura del acumulador fue baja en todo momento, sin llegar a superar los 30 grados en ningún momento.
- La rigidez y sujeción de la caja del acumulador fue correcta, ya que el acumulador no se movió de su sitio.
- El acumulador acabó la carrera con un 20% de energía disponible, esta energía se podría haber usado en carrera, pero el motor fue el factor limitante por temperatura, por lo que se limitó la potencia máxima a partir de 2/3 de carrera. Esto significa que sin la limitación de potencia por la temperatura del motor, se hubiera utilizado aproximadamente la energía calculada en el estudio de energía del Anexo 2.1.

Con todo esto llegamos a la conclusión de que se ha conseguido un acumulador muy robusto, que cumple con los requisitos marcados con total garantía, quedando presente con el tercer puesto conseguido en la competición.



### 1.10. Trabajos futuros

El resultado de este proyecto es un acumulador que cumple con todos los requisitos de diseño y que se ha validado correctamente en una competición internacional. Pero a pesar de esto siempre existen líneas de futuro para seguir evolucionando y mejorando un acumulador de energía.

Por lo tanto, los siguientes pasos a seguir para continuar la evolución de este acumulador serian lo siguientes:

- Realizar un control de los ciclos y verificar periódicamente la capacidad nominal del conjunto.
- Mejorar el sistema de refrigeración del motor y control de este para poder extraer más energía y potencia del acumulador. Con esto se pretende conocer los límites del acumulador.
- Instalar un sensor de corriente e implementar el SOH y SOC en el BMS Master.
- Realizar mejoras en el software del BMS Master, para obtener más funcionalidades, principalmente interesantes para posteriores estudios y análisis.



## 2. Anexos



## 2. Anexos

### 2.1. Estudio necesidad energética circuito FIM Motorland

Para poder calcular la energía necesaria del acumulador se han definido las siguientes variables fijas:

- La velocidad máxima serán 170 km/h, (debido a que la potencia resistente aerodinámica para esta motocicleta es de 13kW a 170km/h, por lo que tendremos limitada esta velocidad por las características del motor)

$$P_{aerodinamica} = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * superficie\ alar\ en\ planta * superficie\ frontal * Cx * v^3$$

- Peso de la motocicleta: establecido en 360 kg.

Este peso se ha calculado como el peso de la moto (160 kg) más el del piloto (80 kg) multiplicado por un factor de seguridad de 1,5.

- La duración de la carrera será de 5 vueltas más la de formación. El tiempo por vuelta de la misma oscilará entre 2 y 2,5 minutos.

El cálculo se ha realizado íntegramente con energías y posteriormente se le han añadido los rendimientos de cada elemento del sistema de tracción.

Para los cálculos se han utilizado estas fórmulas:

$$E (J) = P(W) * t(s)$$

$$E_{cinetica} = \frac{1}{2} m * v^2$$

$$E_{potencial} = m * g * h$$

$$E_{cinetica\ de\ rodadura} = \frac{1}{2} I * w^2$$

Debido a que la energía del acumulador necesaria para acabar la carrera depende del ritmo por vuelta, para realizar el cálculo se partirá de un tiempo por vuelta objetivo.

El procedimiento seguido es el siguiente:

Se han obtenido datos de telemetría de motocicletas con motor de combustión con similar par y potencia al motor de la motocicleta. Estos datos se han obtenido de a través de la aplicación motor LAP ([www.motorlap.com](http://www.motorlap.com)). Esta aplicación proporciona de manera gratuita los datos telemétricos recogidos por usuarios amateurs en diferentes circuitos. Estos datos están recogidos por un Smartphone gracias a su GPS, aunque normalmente los usuarios suelen utilizar antenas GPS externas para mejorar la precisión.

El circuito se ha dividido en 35 puntos diferentes.

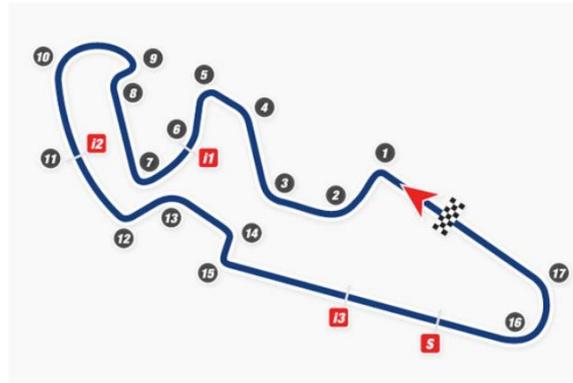


Ilustración 93: Trazado FIM Motorland

Estos 35 puntos corresponden a dos puntos por curva, las 17 curvas de las que dispone el circuito se pueden ver en la Ilustración 93: Trazado FIM Motorland. Cada curva se ha dividido en el tramo de frenada y el de aceleración, y se ha supuesto que la aceleración es constante hasta el siguiente tramo de frenada.

Los datos obtenidos mediante telemetría para cada punto son los siguientes:

- Altitud
- Distancia absoluta desde la meta
- Tiempo desde el último paso por meta
- Velocidad instantánea

Mediante estos datos se eligen dos tiempos objetivo, 2,5 minutos/vuelta es el más realista según comenta el piloto (Adrian Belles) y equivale a una motocicleta de motor de combustión de similar potencia, y el de 2 minutos equivale a una motocicleta de motor de combustión de similar par y es un objetivo muy optimista.

A continuación, se calcula los valores de variación de energía (cinética, potencial y cinética de la rueda) entre cada punto y la potencia aerodinámica para la velocidad media en cada tramo.

Con la variación de energía total y el tiempo en el que se produce esta variación se ha obtenido la potencia necesaria para realizar ese aumento o disminución de energía, a esta potencia se le ha sumado la potencia aerodinámica, ya que esta siempre estará presente y de forma contraria mientras la motocicleta no esté parada.

Por último, se calcula la energía en kWh necesaria en cada tramo de aceleración y deceleración multiplicando la potencia necesaria en kW por el tiempo de duración de la aceleración.

Con esa energía se suma y se obtiene la energía necesaria por vuelta sin tener en cuenta pérdidas por rozamiento de las ruedas, controlador, motor y transmisión.

Posteriormente y para obtener un dato más verídico, se calculan todos los rendimientos:

- Transmisión  $\rightarrow$  0,9
- Motor eléctrico  $\rightarrow$  0,953
- Controlador  $\rightarrow$  0,95

También se han sumado a esta energía los consumos constantes como los bobinados de los contactores, electrónica y sistemas de baja tensión.

Esta potencia es de 98,14 W.

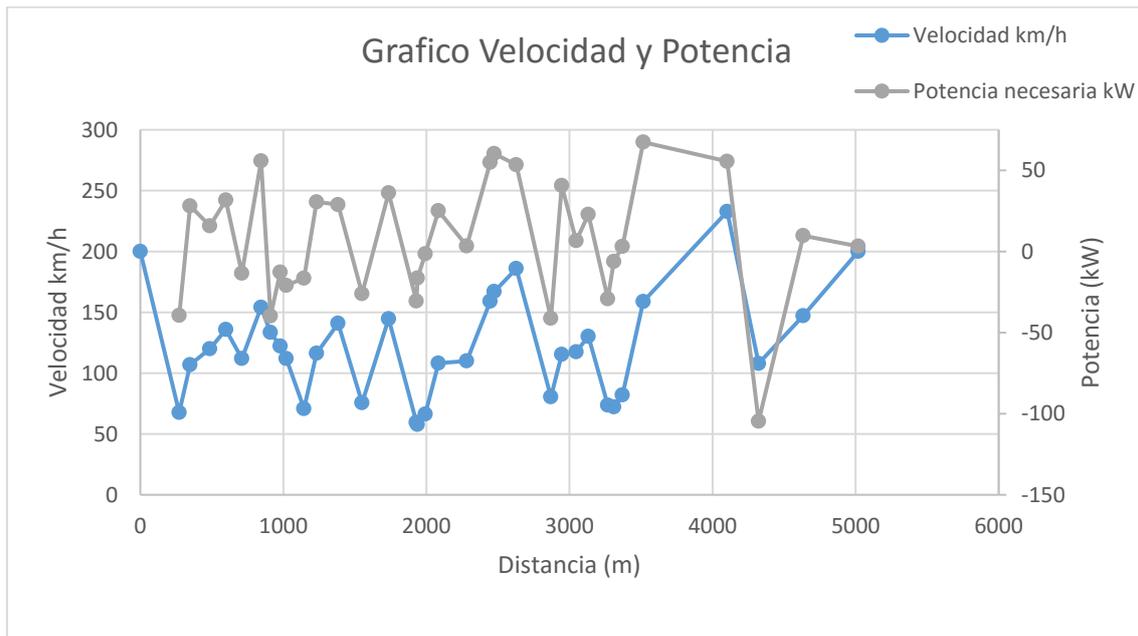


Ilustración 94: Grafico valores Velocidad y Potencia en una vuelta

Por otro lado, y con finalidad de poder realizar una simulación a las celdas de 5 vueltas de carrera se ha calculado la corriente en cada tramo. En los tramos de frenada se supone corriente cero, ya que no se aplica ningún tipo de regeneración. En cuanto a la tensión, para simplificar los cálculos se utiliza la tensión nominal del acumulador 99 V.

De esta forma conociendo la corriente y el tiempo de duración de esta se exportan los datos a formato .txt para posteriormente cargarlos con el software de simulación hecho en LabVIEW.

Finalmente, como resultado se ha obtenido que para un ritmo de 2 minutos/vuelta se necesitan 9,4 kWh, por otro lado, con un ritmo por vuelta más realista de 2,5 minutos/vuelta se necesitan 5,82 kWh.



2.1.1. Calculo fuerza resistente aerodinámica

Velocidad km/h	Velocidad m/s	P resistente aerodinamica W	Energia cinetica J	tiempo 0-km/h segundos a potencia maxima	tiempo 0-km/h segundos a potencia nominal	Variables calculo aerodinamica
0	0	0	0			densidad del fluido 1,2 kg/m <sup>3</sup>
1,8	0,5	0,0168	45	0,084343188	0,00321429	superficie alar en planta 1 m <sup>2</sup>
3,6	1	0,1344	180	0,168702311	0,012857266	coeficiente aerodinamico 0,7
5,4	1,5	0,4536	405	0,253093318	0,028929509	superficie frontal 0,32 m <sup>2</sup>
7,2	2	1,0752	720	0,337532174	0,051432521	ancho 0,4
9	2,5	2,1	1125	0,422034876	0,080369198	alto 0,8
10,8	3	3,6288	1620	0,506617461	0,115744287	
12,6	3,5	5,7624	2205	0,591296015	0,157564854	masa motocicleta 360
120,6	33,5	5052,8184	202005	6,965648077	22,57750083	
122,4	34	5282,4576	208080	7,321948182	23,86911247	
124,2	34,5	5518,9512	214245	7,705266938	25,26161623	
126	35	5762,4	220500	8,118827292	26,7675051	
127,8	35,5	6012,9048	226845	8,566385882	28,40143936	
129,6	36	6270,5664	233280	9,052348279	30,18073666	
131,4	36,5	6535,4856	239805	9,581915439	32,12600139	
133,2	37	6807,7632	246420	10,16127168	34,26194199	
135	37,5	7087,5	253125	10,79782863	36,61844485	
136,8	38	7374,7968	259920	11,50054558	39,23200423	
138,6	38,5	7669,7544	266805	12,2803557	42,1476538	
140,4	39	7972,4736	273780	13,15074132	45,42161773	
142,2	39,5	8283,0552	280845	14,12852289	49,12501517	
144	40	8601,6	288000	15,23496023	53,34914049	
145,8	40,5	8928,2088	295245	16,49732062	58,21316146	
147,6	41	9262,9824	302580	17,95116197	63,87563348	
149,4	41,5	9606,0216	310005	19,6437431	70,55223576	
151,2	42	9957,4272	317520	21,63926805	78,54404007	
153	42,5	10317,3	325125	24,0272289	88,28441089	
154,8	43	10685,7408	332820	26,9362158	100,420631	
156,6	43,5	11062,8504	340605	30,55788696	115,964711	
158,4	44	11448,7296	348480	35,19103742	136,5907745	
160,2	44,5	11843,4792	356445	41,3286222	165,2870679	
162	45	12247,2	364500	49,84605495	207,9529895	
163,8	45,5	12659,9928	372645	62,46137553	278,0917894	
165,6	46	13081,9584	380880	83,07036	414,88316	
167,4	46,5	13513,1976	389205	122,797764	799,5133138	
169,2	47	13953,8112	397620	231,2741762	8608,580435	







## 2.2. Normativa Motostudent 15/16

La normativa Motostudent 15/16 completa se puede encontrar en esta web (poner link permanente), por otro lado, en estos anexos se van a incluir los puntos más importantes y los nombrados en este proyecto. La normativa completa se puede encontrar en [www.motostudent.com](http://www.motostudent.com)

Los puntos apartados más importantes y por lo tanto incluidos en este proyecto son:

- Sección D, artículo 3: Almacenamiento de energía (pág. 69).
- Sección D, artículo 1: Definiciones y aspectos generales (pág. 66)

#### **D.2.4 Potenciómetro acelerador**

Es obligatoria la inclusión de un potenciómetro acelerador comandado desde el puño derecho de la moto. La señal de este potenciómetro deberá servir para configurar la demanda de par o velocidad al motor.

D.2.4.1 Se permite configurar el freno motor con el mismo potenciómetro, mapeándolo en un tramo por debajo del tramo de aceleración.

D.2.4.2 Una segunda señal del puño de aceleración (por ejemplo un micro-switch) deberá ser implementada, de manera que en el caso de existir demanda de par (o velocidad) a través del potenciómetro sin que esta segunda señal esté activada, se genere una señal de error y no se permita la entrega de potencia al vehículo.

### **ARTÍCULO 3: ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

#### **D.3.1 Sistemas de acumulación permitidos**

Se permitirán como sistemas de acumulación de energía cualquier tipo de batería, exceptuando las baterías de sal fundida (baterías térmicas) y las pilas de combustible.

D.3.1.1 Se permite el uso de supercondensadores.

D.3.1.2 La tensión suministrada de las baterías será, de un máximo de 110 VDC con el acumulador totalmente cargado, tal y como describe el Art.D.1.1.

D.3.1.3 Se deberá presentar a la Organización el esquema de conexión utilizado (celdas en serie y en paralelo).

### **D.3.2 Contenedor de baterías**

Todas las celdas de batería y supercondensadores que formen parte del acumulador, deberán instalarse en el interior de un contenedor o cárter de baterías.

D.3.2.1 Se permite el uso de varios contenedores de baterías. Cada uno de ellos deberá cumplir las prescripciones exigidas para el caso de contenedor de baterías único.

D.3.2.2 Si el contenedor de baterías no es fácilmente accesible, la Organización podrá requerir en cualquier momento fotografías de la disposición y montaje de éste.

### **D.3.3 Configuración eléctrica del acumulador**

D.3.3.1 Si el contenedor está fabricado en un material conductor de la electricidad, los bornes de las celdas o supercondensadores, deberán estar correctamente protegidos y aislados con un material eléctricamente aislante.

D.3.3.2 Cada contenedor deberá incluir en su interior al menos un fusible, cuya intensidad nominal esté por debajo del poder de corte del contactor.

D.3.3.3 Cada contenedor deberá incluir, al menos, dos contactores de línea de tipo normalmente abierto, instalado uno en el borne positivo del acumulador y otro en el borne negativo.

D.3.3.4 El cierre de los contactores de línea, y por lo tanto la presencia de Alta Tensión (HV) a la salida del acumulador, deberá quedar señalizado a través de una señal luminosa intermitente de color rojo ubicada en el dashboard, según las pautas indicadas en el Art. D.10.1.1.

D.3.3.5 No se permite la unión entre bornes de celdas por medio de soldadura. Sí se permite la soldadura de los conductores del BMS a los bornes.

### **D.3.4 Configuración mecánica del acumulador**

D.3.4.1 Los contenedores de baterías deberán construirse a partir de un material mecánicamente resistente e instalarse anclados correctamente al chasis.

- D.3.4.2 Los contenedores de baterías deberán estar protegidos contra impactos laterales por el propio chasis de la moto.
- D.3.4.3 No se permite que el contenedor forme parte del chasis.
- D.3.4.4 Las celdas deberán estar apropiadamente protegidas y fijadas ante cualquier desplazamiento relativo (horizontal y vertical) en el interior del contenedor.
- D.3.4.5 Únicamente se permiten orificios de comunicación entre el interior y el exterior del contenedor para el paso de los cables conductores correctamente aislados y para la refrigeración y ventilación.
- D.3.4.6 Las aberturas de ventilación no podrán ocupar un lateral completo del contenedor.
- D.3.4.7 Las aberturas de ventilación deberán incluir algún tipo de elemento filtrante, para evitar la posible entrada de polvo, partículas y líquidos al interior del contenedor.
- D.3.4.8 Si un contenedor estuviera completamente sellado de manera estanca, se deberá incluir una válvula de escape para impedir que la concentración de gases alcance una presión crítica.
- D.3.4.9 Se permite el uso o adaptación de contenedores o cárter comerciales, siempre y cuando cumplan con las características impuestas en el presente artículo.

### **D.3.5 Sistema de Gestión de Baterías (Battery Management System - BMS)**

- D.3.5.1 Es obligatoria la instalación de un sistema de gestión de baterías (BMS).
- D.3.5.2 El BMS deberá leer la tensión de cada celda, para mantener las celdas dentro de los límites de tensión indicados por el fabricante.
- D.3.5.3 En el caso de sistemas BMS centralizados (varias celdas para un mismo circuito impreso), cada conductor de comunicación entre los bornes de batería y el circuito impreso del BMS, deberá incluir un fusible que proteja dicho conductor ante posibles cortocircuitos.
- D.3.5.4 Para sistemas BMS distribuidos (un circuito impreso por cada celda), el fusible de protección podrá formar parte de dicho circuito impreso o, en su defecto, colocarse en el conductor.

- D.3.5.5 El sistema BMS deberá leer la temperatura de las celdas en su punto más caliente a través de un sensor de temperatura compatible. Será obligatorio leer la temperatura de, al menos, el 30% de las celdas instaladas. No es obligatorio que esta temperatura se refleje en algún tipo de display, pero se recomienda que el sistema pueda indicar, al menos, que la temperatura de la celda más caliente está cerca de la temperatura máxima programada, antes de que el protector térmico desactive el sistema de propulsión de la moto.
- D.3.5.6 Para sistemas BMS distribuidos, si el circuito impreso original incluye un sensor de temperatura, éste podrá ser considerado como sensor de temperatura de celda si se encuentra razonablemente cerca del punto más caliente de la celda. Si no es así, éste sensor no podrá ser considerado como válido a los efectos de control de temperatura de celda.
- D.3.5.7 En el caso de utilización de un sistema de balanceo o equilibrado de celdas, deberá también incluirse un sensor de temperatura junto a cada resistencia de disipación, de tal manera que durante el periodo de balanceo, no se supere nunca la temperatura indicada por el fabricante de la resistencia (o del BMS) y que no afecte a las celdas de batería o circuitos impresos cercanos.
- D.3.5.8 Para mejorar la velocidad de balanceo, se permite la activación de la refrigeración artificial del contenedor de baterías durante el proceso de balanceo.
- D.3.5.9 La utilización del mismo sensor de temperatura para la función de control de balanceo y la de control de temperatura de celdas, sólo será válida si se cumplen las condiciones de cercanía al punto más caliente de baterías y cercanía a la resistencia de disipación.
- D.3.5.10 El sistema BMS deberá desactivar la tracción del vehículo en el caso de descargarse la tensión de una de las celdas hasta la tensión mínima crítica o superarse la temperatura máxima crítica de la celda, según los valores indicados por el fabricante. Esta desactivación obligatoria deberá ser puntual con la apertura de los contactores del acumulador de baterías. (Ver esquema del Art. D.6.1.2).
- D.3.5.11 Aparte de las condiciones expuestas en el Art. D.3.5.10, se permite limitar progresivamente la potencia eléctrica entregada al motor hasta ser igual a cero en el punto de tensión crítico de la celda o temperatura máxima de la celda.
- D.3.5.12 El sistema BMS deberá asimismo desactivar el sistema de recarga cuando se superen los niveles máximos de tensión o temperatura de celda. Esta desactivación podrá ser progresiva o puntual.

## ARTÍCULO 1: DEFINICIONES Y ASPECTOS GENERALES

### D.1.1 Alta Tensión (High Voltage - HV), Baja Tensión (Low Voltage - LV), Voltios de Corriente Continua (Volts Direct Current – VDC).

Cualquier circuito con una diferencia de potencial mayor que 40 VDC, formará parte del sistema de Alta Tensión (HV) del vehículo. Por debajo de esa tensión, será considerado como parte del sistema de Baja Tensión (LV).

D.1.1.1 La tensión máxima permitida del sistema HV será de 110 VDC (baterías a plena carga).

### D.1.2 Sistema de Alta Tensión (High Voltage System – HVS)

El sistema de Alta Tensión (HVS) está formado por todas las piezas eléctricas que forman parte del motor, controlador, acumulador o de cualquier otra parte eléctrica conectada a ellos. El sistema HVS será un sistema de Alta Tensión (HV) según especifica el Art. D.1.1 del presente Reglamento.

D.1.2.1 El HVS debe estar aislado eléctricamente del chasis o masa del vehículo.

D.1.2.2 El acumulador del sistema HVS, se define como cualquier celda, batería o supercondensador (o conjunto de ellos), capaz de almacenar energía eléctrica para el sistema de propulsión eléctrica.

D.1.2.3 El HVS deberá intercalar un controlador entre el motor y el acumulador, de tal forma que no sea posible la conexión directa entre motor y acumulador.

D.1.2.4 Es obligatoria la inclusión de etiquetas de aviso de peligro claramente visibles en las carcasas o zonas cercanas a los componentes que trabajen con Alta Tensión (HV), en las que se incluya el texto “HIGH VOLTAGE”.



D.1.2.5 Se deberá instalar un display en el cuadro de instrumentos que indique en todo momento la tensión entre bornes del sistema HVS. Una medición de la tensión del HVS podrá ser llevada a cabo durante las inspecciones técnicas para comprobar si el valor mostrado en el display se corresponde con el valor real de la tensión del HVS.

### **D.1.3 Sistema de Baja Tensión LV conectado a masa (Ground Low Voltaje System – GLVS)**

El sistema LV conectado a masa (GLVS) está formado por cualquier circuito o parte eléctrica del vehículo (chasis) y que por lo tanto no forma parte del HVS.

D.1.3.1 El GLVS deberá ser un sistema LV, es decir, de una tensión inferior a 40 VDC.

### **D.1.4 Aislamiento entre HVS y GLVS**

D.1.4.1 El HVS y el sistema GLVS estarán aislados galvánicamente.

D.1.4.2 En el caso de uso de un convertidor DC/DC, éste deberá cumplir con esa especificación.

## **ARTÍCULO 2: MOTOR ELÉCTRICO Y DEMANDA DE POTENCIA**

La Organización suministrará un motor eléctrico común para los equipos inscritos en la categoría MotoStudent Electric.

### **D.2.1 Precintado**

Es obligatorio el uso del motor proporcionado por la Organización. El motor se entregará precintado por la Organización y queda totalmente prohibida su manipulación. Cualquier precinto roto o deteriorado será causa de no conformidad técnica.



## 2.3. Motor Heinzmann 150PMS

<b>PERM Motor GmbH</b> <b>Im Brand 24/1</b> <b>79677 Schönau</b>	<b>Datenblatt / Datasheet</b> <b>PMS Motoren / PGS Generatoren</b>	 <small>Member of the HEINZMANN Group</small>
--	---	---

Motor	<b>PMS 150 - WB 340</b>	
Maschinentyp / Type	<b>PMS 150</b>	
Luftspalt	<b>2,1 mm</b>	
Betriebsart / Duty condition	<b>S1 (100%)</b>	
Kühlung / cooling	<b>Luftkühlung mit mind. 5 m/s - Air cooling with minimum 5 m/s</b>	
<hr/>		
Nennleistung / Nominal Power [kW]	<b>13,00</b>	kW
Schaltung / Stator winding connection	<b>Dreieck / Delta</b>	
Spannung / Voltage [V AC]	<b>64,87</b>	V AC
Strom / Current [A rms]	<b>149,5</b>	A rms
Drehzahl / Speed [rpm]	<b>6000</b>	rpm
Drehmoment / Torque [Nm]	<b>20,70</b>	Nm
Spannungskonstante Ke (ph-ph) / Voltage constant ke (ph-ph) [V/1000 rpm]	<b>9,133</b>	V / 1000 rpm
Drehmomentkonstante / Torque constant [Nm/A]	<b>0,1385</b>	Nm / A
<hr/>		
Polzahl / number of pole	<b>8</b>	
Frequenz / Frequenzy [Hz]	<b>400</b>	Hz
Wicklungswiderstand Ru-v bei 20°C / resistance at 20°C Ru-v	<b>0,016</b>	Ohm
Induktivität / inductance Lu-v [mH]	<b>0,04633</b>	mH



## PMS 150, ID 490

### Torque-Speed Characteristic

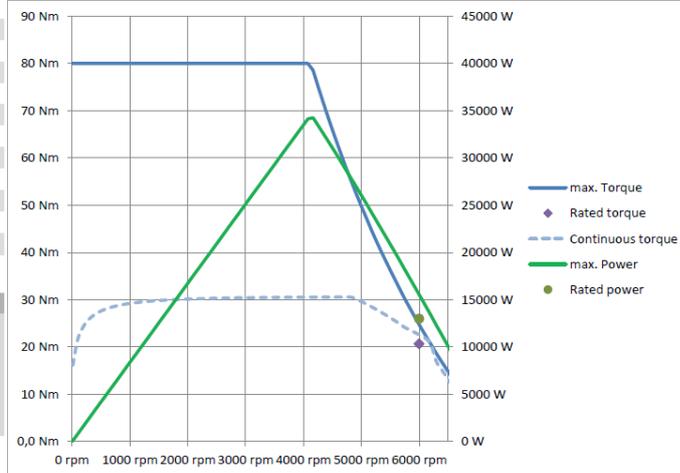
2015-09-28

#### Motor data

Motor	PMS 150
Motor ID	ID 490
Winding-No.	WB 340
Cooling	Air-cooled with at least 5m/s
DC link voltage $U_{dc}$	96 V DC
Operational mode	S1
Rated motor voltage $U_n$	66,6 V AC
Nominal Speed $n_n$	6000 rpm
Rated torque $M_n$	20,7 Nm
Rated power $P$	13 kW
Rated AC current $I_n$	143 A
Controller	-

#### Please note

Operation points with a higher torque demand than the rated continuous torque are not suited for continuous operation (S1).





## 2.4. MKTL BMS

# MKLT BMS

Rev 2. Jul 2016

MKLT BMS is a battery management system capable of monitoring and balancing up to 16 cells of lithium based chemistries. Cells inputs not used must be the higher ones and shorted together.

## Physical dimensions and connectors

The board measurements are 105 x 75mm

Battery cells connector (back): 17 way, AMPMODU MTE 103673-6

Temp sensor (right side): 2 way, JST S2B-XH-A

Feature connector (right side): 5 way, AMPMODU MTE 103673-4

- 1) 5V Sensor power
- 2) Current +
- 3) Current -
- 4) Switch output
- 5) GND

Can bus; Isolated (Front x 2): 4 way, AMPMODU MTE 147278-3

- 1) 12V Can bus power (optional)
- 2) CAN-L
- 3) CAN-H
- 4) Can GND

## Absolute maximum ratings

Maximum battery voltage **must not exceed 65V**. Note that this place a limit on cell voltage for Lithium-Ion cells is all 16 cells are used. Full voltage range for 16 cells is allowed only for lower voltage chemistries such as LiFePo variants.

## Cell Balancing

Balancer operation can discharge up to three simultaneous cells which have higher voltage that average. The minimum voltage cell and maximum discharge duty cycle are user customizable. Maximum discharge current is 820mA (typ<sup>1</sup>)

---

<sup>1</sup> Actual discharge resistor is 4.5 ohm. nominal. Current varies with cell SoC and nominal voltage.

## Battery monitor

Monitoring function provides total and individual cell voltage for each monitor/balance cycle via can-bus, even if bus voltage is not present (vehicle stand-by). Multiple bms in series can communicate in the same bus (isolated) and using different can-ids<sup>2</sup>

## Additional features

The monitor function can estimate battery SoC and Internal total resistance ( $R_i$ ) using continuous monitoring stats using an external current sensor. Additionally, a current limit exists for battery disconnection in event of a short circuit using an external switch.

Both connections are provided in the feature connector (TBD)

Each board includes a unique-id for stats, system pairing or logging (logger is not included)

---

<sup>2</sup> Each bms module uses a different set of can-ids via hw configuration. See “Module Id Configuration”

## Can bus reporting

Can bus is configured at 1 Mbps; std. ISO 11898-2.

## Can frame format

All frames are 8 byte length, little endian for fields that extend more than one byte.

BASE + 0	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
BASE + 1	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15
BASE + 2	Vtotal		BAL mask		Temp		Reserved	

Vx is  $V_{min}^3 + 2$  mA units.

Vtotal is mA

BAL mask is the active balancing mask, each 1 is an active discharging cell.

Temp is sensed temperature in °C (0.1°C units)

## Module Id Configuration

Each board can be configured as a different module using a different base Id for can communications using the ID resistor (R38).

ID resistor value	Can base ID	Recommended for 4 series
Unpopulated	0x200	Lower series pack
100K	0x210	Mid-low pack
33K	0x220	Mid-high pack
1K	0x230	Higher pack

## User configuration

Function parameters can be user-configured and saved using a built-in serial terminal (TBD)  
Parameters are saved in a built-in eeprom.

---

<sup>3</sup> Vmin is user configurable. Typ. 3.5V



## 2.5. REC R9 BMS

# BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

## 4 – 15S



### Features:

- robust and small design
- 4 – 15 cells
- single cell voltage measurement (0.1 – 5.0 V, resolution 1 mV)
- single cell - under/over voltage protection
- single cell internal resistance measurement
- SOC and SOH calculation
- over temperature protection (up to 8 temperature sensors)
- under temperature charging protection
- passive cell balancing up to 1.3 A per cell
- shunt current measurement (resolution 7.8 mA @  $\pm 200$  A)
- galvanically isolated user defined multi-purpose digital input/output
- programmable relay (normally open)
- galvanically isolated RS-485 communication protocol
- CAN communication
- error LED + buzzer indicator (option)
- PC user interface for changing the settings and data-logging (optional accessory)
- hibernate switch
- one-year warranty

**General Description of the BMS Unit:**

Battery management system (BMS) is a device that monitors and controls each cell in the battery pack by measuring its parameters. The capacity of the battery pack differs from one cell to another and this increases with number of charging/discharging cycles. The Li-poly batteries are fully charged at typical cell voltage 4.16 - 4.20 V. Due to the different capacity this voltage is not reached at the same time for all cells in the pack. The lower the capacity the sooner this voltage is reached. When charging series connected batteries with single charger, the voltage on some cells might be higher than maximum allowed charging voltage at the end of charging. Overcharging the cell additionally lowers its capacity and number of charging cycles. The BMS equalizes cells' voltage by diverting some of the charging current from higher voltage cells – passive balancing. The device temperature is measured to protect the circuit from over-heating due to the passive balancing. Battery pack temperature is monitored by Dallas DS18B20 digital temperature sensor/s. Maximum 8 temperature sensors per Slave unit may be used. Current is measured by low-side shunt resistor. Battery pack current, temperature and cell's voltage determine state of charge (SOC). State of health (SOH) is determined by comparing cell's current parameters with the parameters of the new battery pack. The BMS default parameters are listed in Table 1.

**Default Parameters:**

**Table 1:** Default BMS parameter settings.

<b>parameter</b>	<b>value</b>	<b>unit</b>
balance start voltage	3.5	V
balance end voltage	3.6	V
maximum diverted current per cell	up to 1.3 (3.9 Ohm)	A
cell over voltage switch-off	3.8	V
cell over voltage switch-off hysteresis per cell	0.015	V
charger end of charge switch-off pack	3.6	V
charger end of charge switch-off hysteresis	0.15	V
cell under voltage protection switch-off	2.2	V
cell under voltage protection alarm	2.6	V
under voltage protection switch-off hysteresis per cell	0.03	V
cell under voltage protection switch-off timer	4	s
cells max difference	0.2	V
<b>BMS maximum pack voltage</b>	<b>62.5</b>	<b>V</b>
BMS over temperature switch-off	50	°C
BMS over temperature switch-off hysteresis	5	°C
cell over temperature switch-off	60	°C
under temperature charging disable	-15	°C
max DC current relay @ 60 V DC	0.7	A
max AC current relay @ 230 V AC	2	A
BMS unit stand-by power supply	< 90	mW
max DC current @ optocoupler	15	mA
max DC voltage@ optocoupler	62.5	V
BMS unit disable power supply	< 1	mW
Slave unit cell balance fuse rating (SMD)	2	A
internal relay fuse (Master unit)	2 slow	A
dimensions (w × l × h)	190 x 114 x 39	mm
weight	0.650	kg
IP protection	IP32	

**System Overview:**

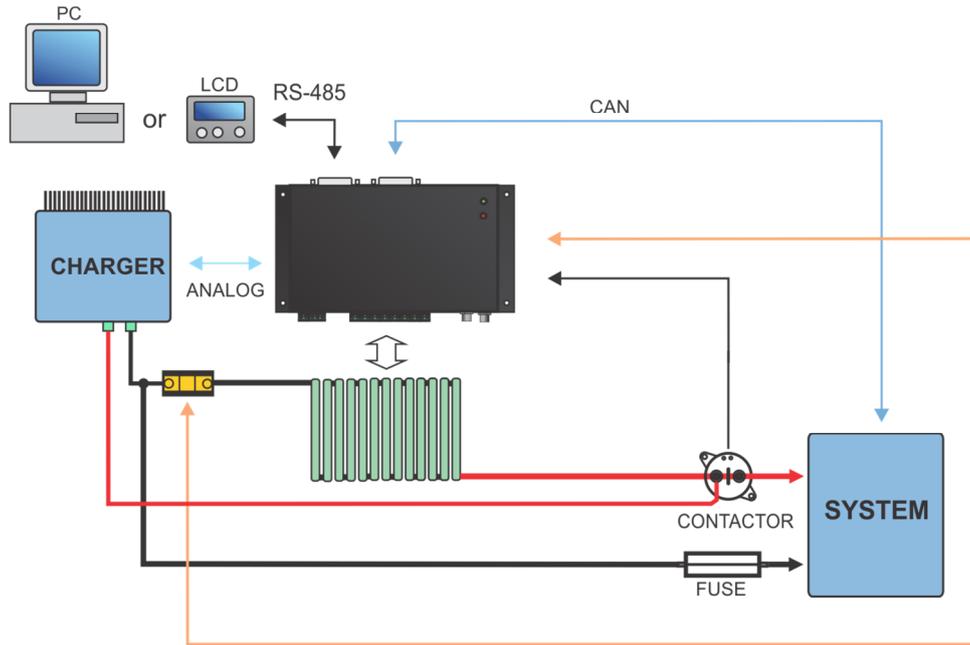


Figure 1: System overview.

**BMS Unit Connections:**

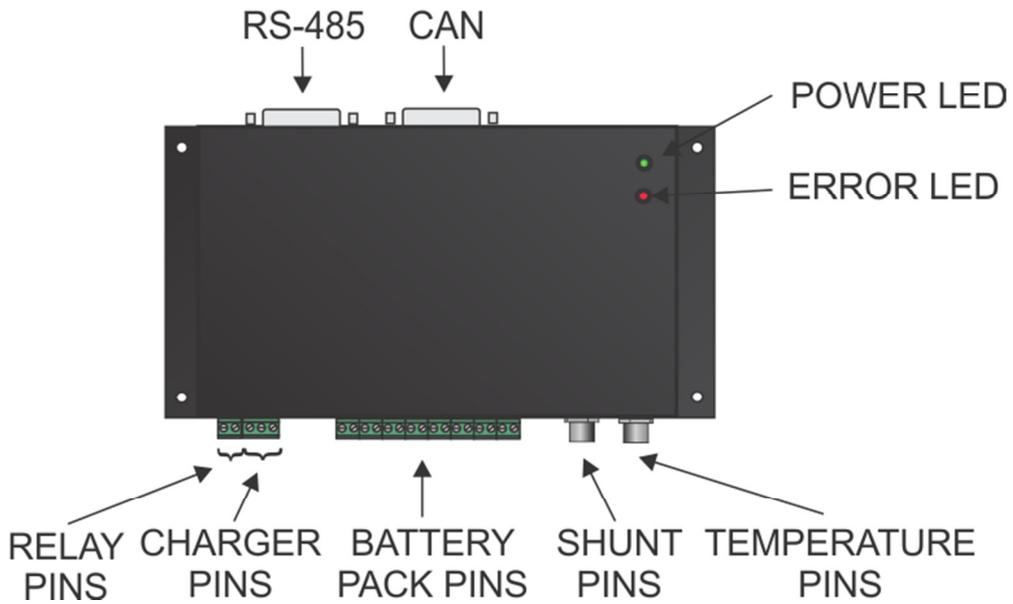


Figure 2: BMS unit function overview.

**Table 2:** BMS unit connections.

<b>connection</b>	<b>description</b>	
Temperature connector	DALLAS 18B20 temp. sensor pins (pin 2)	GND + shield
Temperature connector	DALLAS 18B20 temp. sensor pins (pin 3)	1-wire digital signal
Temperature connector	DALLAS 18B20 temp. sensor pins (pin 1)	+ 5 V
Current connector	+ Shunt (pin 3)	Analog signal
Current connector	- Shunt (pin 1 )	Analog signal
Current connector	Shield (pin 2)	Analog signal
7	Cell 1 ground	Analog signal
8	Cell 1 <b>positive</b>	Analog signal
9	Cell 2 <b>positive</b>	Analog signal
10	Cell 3 <b>positive</b>	Analog signal
11	Cell 4 <b>positive</b>	Analog signal
12	Cell 5 <b>positive</b>	Analog signal
13	Cell 6 <b>positive</b>	Analog signal
14	Cell 7 <b>positive</b>	Analog signal
15	Cell 8 <b>positive</b>	Analog signal
16	Cell 9 <b>positive</b>	Analog signal
17	Cell 10 <b>positive</b>	Analog signal
18	Cell 11 <b>positive</b>	Analog signal
19	Cell 12 <b>positive</b>	Analog signal
20	Cell 13 <b>positive</b>	Analog signal
21	Cell 14 <b>positive</b>	Analog signal
22	Cell 15 <b>positive</b>	Analog signal
23	Charger + 12V	Analog voltage
24	Charger enable	Analog voltage 0-5V
25	Charger GND	Analog voltage
26	Internal Relay	-
27	Internal Relay	-



## 2.6. ZEVA BMS12



## PROTECTING YOUR LITHIUM BATTERIES

Lithium batteries have been a revolution in energy storage and a major enabling factor in the resurgence of electric vehicles. However they can be easily damaged if their voltage goes out of safe operating range – either too high (from overcharging) or too low (over-discharging).

Battery packs are commonly built from a large number of individual cells in series to achieve higher voltages. Due to manufacturing tolerances, cells will always have some variation in capacity, so during use there will be some cells which get full or go flat before others. In battery packs made of many cells in series, the overall voltage gives little indication of the voltage of individual cells in the chain, so it is important to have a system which monitors the voltages of each cell, and takes action if any cell goes out of range.

ZEVA's BMS12 modules offer a robust, automotive-grade solution for protecting your lithium batteries from damage, maintaining pack balance, and monitoring cell voltages remotely. A single module can manage anywhere between 3–12 lithium cells, and up to 16 modules may be used on the same CAN bus allowing packs up to 192 cells or about 600VDC.

The BMS12 modules communicate over CAN bus with a BMS master control unit to form a complete Battery Management System for your vehicle. Voltage thresholds are fully configurable, allowing the module to be compatible with most lithium chemistries including LiFePO<sub>4</sub>, LiPo and LiMn.

Battery Management Systems should be considered the last line of defence for your battery pack. During normal operation, the BMS should never have to intervene with vehicle operation, only taking action to protect the battery in exceptional circumstances. Although a BMS will protect your cells from damage from over-discharging, regularly discharging your cells to 0% SoC – i.e driving until the BMS stops the vehicle – will drastically shorten the cycle life of your batteries so is best avoided whenever possible.

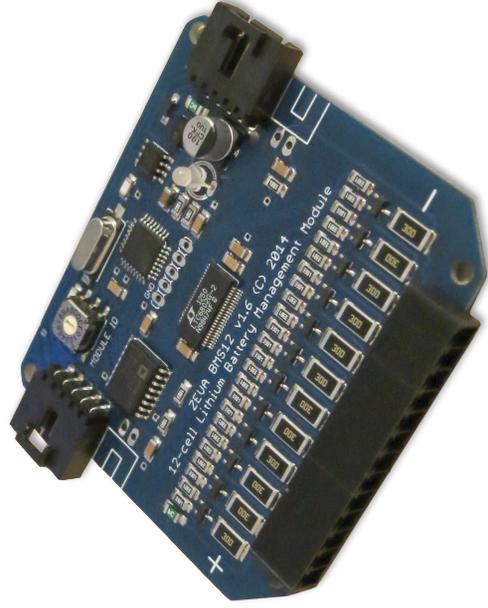
## SAFETY WARNING

Electric Vehicle battery packs contain a lot of energy and can deliver a lot of power, with potentially lethal voltages and currents. Proper precautions and electrical safety procedures should always be observed when working on EVs. Voltages above 110VDC should be considered dangerous, and vehicles should never be worked on while power contactor(s) are engaged.

Please read this manual carefully to ensure correct installation and operation of your BMS12 modules. If you are unsure of anything, please contact us before proceeding.

We have endeavoured to make a safe and reliable product which performs as described, however since ZEVA has no control over the integration of its products into a vehicle, we can assume no responsibility for the safety or functionality of the completed vehicle.

It is the responsibility of the end user to determine the suitability of the products for the purpose employed, and the end user assumes all risks associated. Products should only be installed by suitably qualified and experienced persons, and should always be used in a safe and lawful manner.



## BMS12 v1.6

*12-cell, CAN bus-enabled  
Lithium Battery Management Module*

*Please read these instructions carefully for proper installation and use of this product.*

## SPECIFICATIONS

- Cells managed: 4–12 lithium cells per module
- Maximum total voltage: 60VDC
- Compatible chemistries: LiFePO4, LiCo (LiPo), LiMn, etc
- High, low and shunt voltage thresholds: Configurable, 0–5000mV
- Accuracy: Within 0.25% (<10mV)
- Operating temperature range: -40°C to 85°C
- Pack balancing: Timed 30Ω shunts (~120mA, up to 1hr)
- Temperature sensing: Dual 100KΩ NTC thermistors (optional)
- Cell quiescent current draw: 1.6mA (idle) 2.2mA (when sampling)
- CAN power supply: 12V nominal (7–16V range), 20mA
- CAN bus specification: 125kbps, 2.0A standard
- Dimensions: 72 x 66 x 10mm (plus plugs)
- Weight: 35g

## INSTALLATION

The module has four 3.2mm (1/8") mounting holes at the corners as per the diagram below which can be used to securely mount the module. If fastening above metal surfaces, use standoffs or an insulating layer in between to ensure that the circuit board does not contact the metal, which could cause short circuits. Modules should be installed in a location protected from water and debris – typically, inside sealed battery enclosures is ideal.

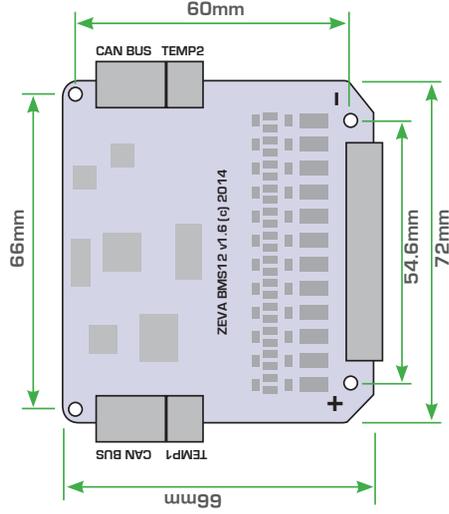


Figure 1: BMS12 module dimensions and mounting pattern

It is best to mount the module close to the cells it is monitoring, with flylead lengths of 50cm or less recommended to minimise induced EMI noise and the chance of wiring/insulation faults. Be careful not to have one module's cells spanning mid-pack contactors or emergency stop buttons, as this can subject the module to damaging high voltages when opened!

If cells are distributed in multiple groups around the vehicle, we do not recommend setting the BMS up as a fully centralised system (that is, with HV flyleads from every cell coming to a group of modules at a single location in the vehicle) because the long HV flyleads are subject to greater EMI noise and greater change of potentially dangerous wiring faults.

Once mounted, connect flywires between the 13-pin plug and the cells as per the diagram below. It is best to leave the plug disconnected from the module while wiring up, and verify all voltages / cell orders before connecting to the module, in case of wiring mistakes.

If fewer than 12 cells are to be connected, some cell inputs at the positive end will be unused. These should be electrically bridged to the highest cell connection such that they are all at the same potential and will read as zero volts.

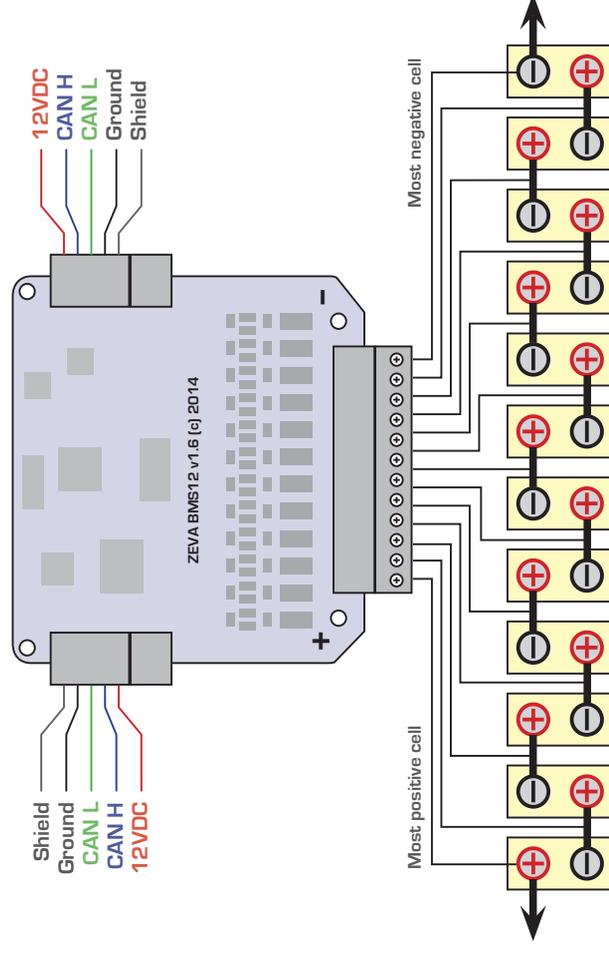


Figure 2: Typical wiring for BMS12 module

The CAN plugs are Molex C-Grid SL type. They are designed for fairly small gauge wire, around 24–30AWG. The wire's insulation needs to be small enough to fit into the plug housing, which limits outer diameter to about 2mm. The best way to connect wires to pins is crimping first then adding a little solder to the joint. A suitable crimping tool is available from vendors such as Altronics (part T1537).

If you don't have a suitable crimping tool, you can solder wire directly to the plug, ensuring minimal gap between the insulation and the back of the pin. You may need to compress the wings on the pin insert a little for them to fit comfortably into the housing.

## OPERATION

### POWERING UP

The BMS12 modules run most of their circuitry from CAN bus power. When the module powers up, the onboard LED should light up green. The LED may display a variety of codes as follows:

Green	BMS active, no errors
Blinking green (1hz)	No cells detected
Flashing green (2hz)	No CAN bus communications detected
Flashing green/orange	One or more shunt balancers active
Red	One or more cells over- or under-voltage

The BMS12 modules are unable to take any action if a monitored cell is out of safe voltage range, and must communicate with an appropriate BMS master control unit which is able to respond to any reported error conditions. Please refer to the user manual for your BMS master control unit for advice on integration with BMS12 modules.

Your complete BMS should be “failsafe”, so if any BMS12 modules are not detected by the MCU on startup, or if any cells are out of safe voltage range, the vehicle should not be able to drive or be charged. It is a good idea to verify the failsafe by temporarily unplugging the cell connector or unplugging the CAN bus, and verify that this causes the MCU to stop the charger or shut down the drive system.

### VOLTAGE THRESHOLDS

BMS12 modules will come from the factory pre-programmed with voltage thresholds according to customer request/requirements (LiFePO4 by default), but the thresholds can also be reprogrammed anytime over CAN bus with an appropriate BMS master controller, or a ZEVA EVMS Monitor. The following table lists recommended voltage thresholds for Lithium Iron Phosphate (LiFePO4), Lithium Cobalt (LiCo) and Lithium Manganese (LiMn) cells.

Chemistry	Nom Voltage	Min Voltage	Max Voltage	Charge / Shunt	Temp Range
LiFePO4	3.2V	2.5V	3.8V	3.65V	-20°C – 60°C
LiCo	3.7V	3.0V	4.2V	4.0V	-20°C – 60°C
LiMn	3.7V	3.0V	4.2V	4.0V	-20°C – 40°C

LiCo cells have the highest energy density but also the highest volatility and are often run very close to their safety limits. Cell manufacturers typically recommend charging to 4.2V, while cells can suffer damage above 4.3V. As such we recommend a slightly lower charge voltage until you are confident that your pack is balanced to very close tolerances before



When the pin is fully inserted, a barb on the pin should engage a slot in the housing to lock it in place, and a faint click should be heard. Either inspect visually or give a gentle tug on the wire after insertion to ensure it is secure. Pins can be removed if necessary by applying pressure on the pin's barb with a jeweler's screwdriver, then the pin can be pulled from the housing.

Be very careful to avoid short circuits or reverse polarities when attaching flyleads for the module, as lithium batteries can discharge dangerous current levels and wiring faults can damage the BMS12 module.

Shielded twisted pair cable is recommended for CAN bus wiring, with two conductor pairs – one pair for CAN signals, and one pair for bus power. (During operation, the traction circuit in electric vehicles can emit fairly high levels of electromagnetic interference, which can induce noise on signal wiring.) This type of wire is a little uncommon, but you can either purchase it from us or we can recommend vendors who may carry it in your part of the world.

Note that the cell sampling electronics is galvanically isolated from the CAN bus electronics in order to maintain isolation between your traction circuit and vehicle chassis. There should also be no external electrical connections between HV wiring and CAN bus wiring.

Ensure all wiring is secured so it will not become damaged from vibration or abrasion.

For optimum performance, CAN buses should be wired as a single daisy chain of devices (without branching), and need to be terminated at both ends of the bus with a 120Ω resistor across the CAN H and CAN L lines. A suitable resistor has been included with the module, but should only be used with the final module in the chain. Modules and the MCU may be in any order on the CAN bus, and the MCU does not have to be an endpoint (it could be in the middle of the bus). Usually the CAN bus route requiring the shortest cable lengths is best. The diagram below shows an typical topology for an example 32-cell battery pack.

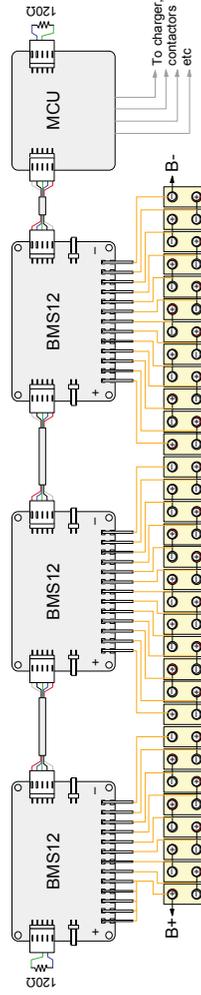


Figure 3: Example wiring for a 32-cell battery pack

charging to 4.2V/cell.

Lithium Polymer (LiPo) actually refers to a type of construction rather than a chemistry, but the vast majority of cells marketed as LiPo are Lithium Cobalt (LiCo) chemistry.

---

### **AUTOMATIC PACK BALANCING**

In battery packs built from many cells, optimum performance is attained when all cells are at the same State of Charge – also known as pack balance.

The BMS12 modules use a system known as “shunt balancing” to maintain balance, which switches on small resistors across any cells which go above a programmed shunt threshold. In this way cells with higher than average voltage will have some of their energy dissipated in order to bring their state of charge back down towards the average.

The shunt balancers are not able to balance a pack completely in a single charge so we recommend manually balancing your cells prior to initial pack assembly (by charging each cell individually, or wiring them all together in parallel). However the shunts will get an unbalanced pack incrementally closer to balanced each charge, and once balanced are able to maintain balance with minimal shunting.

---

### **CAN PROTOCOL DETAILS**

For those wishing to integrate BMS12 modules with their own master control unit, we have prepared an application note detailing the required CAN format and packet IDs/structures. Please download a copy from the BMS12 product page at <http://www.zeva.com.au>.

---

### **TECH SUPPORT AND WARRANTY INFORMATION**

BMS12 modules are covered by a 12 month warranty against manufacturing faults or failures under normal operating conditions. The warranty does not cover misuse of the product, including but not limited to physical damage or modification to the module, and reverse or excessive voltages to inputs.

We have taken great care to design a safe and reliable product, but faults can happen. If you believe your BMS12 module has a fault, please contact us via our website for RMA information. Or if you have any questions not covered by this manual, please contact us via our website:

**<http://www.zeva.com.au/Contact>**

*ZEVA is a carbon neutral business.*

*All products proudly designed and manufactured in Australia.*



## CAN bus protocol for BMS12 modules

*Ian Hooper, October 2013*

### Introduction

---

This document is intended to assist people integrating the ZEVA BMS12 modules with their own BMS master controller over CAN bus. It describes the required specifications for the CAN bus, packet format and communications protocols.

### Standard bus settings

---

The standard bus speed is 125kbps. Packet format is CAN 2.0A, which uses 11-bit packet IDs. Please contact us if you require modules programmed to suit a different bus speed or packet format.

All packets are the Data frame type, though some require no actual data. Remote frames were not used for request packets since they are not supported by some CAN devices and protocols which may be on the same bus.

### Physical Layer

---

Most ZEVA devices use 5-pin connectors for the CAN bus. Two pins are for the CAN H and CAN L signals, two pins for the 12V supply and Ground, and the fifth pin for transferring shield grounding along the chain of devices (and should be attached to the vehicle chassis at one end of the CAN bus chain). The BMS12 modules power themselves off the CAN bus, so it is recommended that the 12V supply should be capable of supplying up to 20mA per BMS12 module.

CAN bus transceivers often draw around 20mA per node, which can accumulate to a significant quiescent load on the vehicle's 12V auxiliary battery, causing it to go flat if the CAN bus is left powered up while the vehicle is idle for extended periods of time. As such it is recommended that the CAN bus is only enabled when the vehicle is either driving or being charged. (This is handled automatically by all CAN-enabled ZEVA BMS master controllers.)

Molex KK series plugs are used for products supplied as bare circuit boards (such as BMS12 modules) and aviation-style screwlock plugs for products supplied in cases (such as the EVMS Core).

We recommend using Shielded Twisted Pair (STP) cable, with two pairs of conductor – one pair for CAN H and CAN L, the other for Ground and +12V supply. Conductors should be AWG22 or larger for sufficient mechanical strength and current rating. This type of cable can be difficult to source so you can purchase the cable from us, or from large vendors such as Digikey, Mouser, RS Components, or Element14.

CAN buses work best as a single chain of devices, without any branching, and with 120Ω termination resistors at both ends to prevent signal reflection.

### Packet Summary

---

There are nine different packet types used by the BMS12 modules. Five of the packet IDs are for messages from master controller to BMS12 module, and the remaining four are BMS12 module to master controller.

The module ID selector on the board determines the **Base Packet ID** (BPID), in increments of 10 and starting at 100. For example, module ID 0 will use packet IDs 100 to 108, module ID 1 will use packet IDs 110 to 118, and so on.

Four of the packets from master to BMS12 are simply requests for data and require no data of their own (any sent will just be ignored). The BMS12 module should respond to request packets within about 2mS.

CAN bus was invented as a realtime, low latency bus so the standard only supports small data packets up to 8 bytes in length. This sometimes results in the need for strange bit-packing and numerical scaling schemes in order to fit the required data within the 8-byte limit.

## Packet IDs and Structure

**BPID + 0: Request Status** (*Master to BMS12, no data*)

**BPID + 1: Reply Status** (*BMS12 to Master, 5 bytes*)

The Reply Status packet contains single bit status information on any cells which are under-voltage (Cn LV), over-voltage (Cn HV), currently shunt balancing (Cn SH), and whether the two temperature sensors are under (Tn UN) or over (Tn OV) the warning threshold. In each case, a zero represents no error, and 1 represents an error such as a cell beyond its threshold. The Reply Status packet was designed to allow fast polling of all cell statuses within a single CAN packet.

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	C8 LV	C7 LV	C6 LV	C5 LV	C4 LV	C3 LV	C2 LV	C1 LV
Byte 2	C4 HV	C3 HV	C2 HV	C1 HV	C12 LV	C11 LV	C10 LV	C9 LV
Byte 3	C12 HV	C11 HV	C10 HV	C9 HV	C8 HV	C7 HV	C6 HV	C5 HV
Byte 4	C8 SH	C7 SH	C6 SH	C5 SH	C4 SH	C3 SH	C2 SH	C1 SH
Byte 5	T2 OV	T2 UN	T1 OV	T1 UN	C12 SH	C11 SH	C10 SH	C9 SH

**BPID + 2: Request Voltages 1** (*Master to BMS12, no data*)

**BPID + 3: Reply Voltages 1** (*BMS12 to Master, 8 bytes*)

The Reply Voltages packets allow the master to retrieve actual cell voltages from the BMS12 module. Reply Voltages 1 contains the first (lowest) six voltages, plus temperature #1. Due to size constraints, voltages are in hundredths of a volt, stored in 9-bits. For ease of reassembly, the bottom 8-bits are stored in different bytes for each voltage, then all the ninth bits (Cn B9) are all in the seventh byte. The eighth byte has the temperature in °C, with 128 as the zero point to allow +ve and -ve values. (E.g 20°C will be a value of 148.)

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	Voltage 1, bits 0-7							
Byte 2	Voltage 2, bits 0-7							
Byte 3	Voltage 3, bits 0-7							
Byte 4	Voltage 4, bits 0-7							

Byte 5	Voltage 5, bits 0-7							
Byte 6	Voltage 6, bits 0-7							
Byte 7	–	–	V6 bit 8	V5 bit 8	V4 bit 8	V3 bit 8	V2 bit 8	V1 bit 8
Byte 8	Temperature 1							

**BPID + 4: Request Voltages 2** (Master to BMS12, no data)

**BPID + 5: Reply Voltages 2** (BMS12 to Master, 8 bytes)

Identical to Reply Voltages 1, except it contains the last (highest) six voltages, and temperature 2.

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	Voltage 7, bits 0-7							
Byte 2	Voltage 8, bits 0-7							
Byte 3	Voltage 9, bits 0-7							
Byte 4	Voltage 10, bits 0-7							
Byte 5	Voltage 11, bits 0-7							
Byte 6	Voltage 12, bits 0-7							
Byte 7	–	–	V12 bit 8	V11 bit 8	V10 bit 8	V9 bit 8	V8 bit 8	V7 bit 8
Byte 8	Temperature 2							

**BPID + 6: Request Config** (Master to BMS12, no data)

**BPID + 7: Reply Config** (BMS12 to Master, 8 bytes)

This packet contains the current high, low and shunt voltage thresholds, plus the thresholds for under- and over-temperature. These values are used to determine the status bits in the Reply Status packet. Voltages are represented as a 16-bit number in millivolts, *not hundredths of a volt like reply voltage packets*, since internally the BMS12 has higher precision than hundredths of a volt. Temperature is in °C, with 128 the zero point as seen previously.

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	Low voltage threshold, low 8 bits							
Byte 2	Low voltage threshold, high 8 bits							
Byte 3	High voltage threshold, low 8 bits							
Byte 4	High voltage threshold, high 8 bits							
Byte 5	Shunt voltage threshold, low 8 bits							
Byte 6	Shunt voltage threshold, high 8 bits							
Byte 7	Under-temperature threshold							
Byte 8	Over-temperature threshold							

**BPID + 8: Set Config** (Master to BMS12, 8 bytes)

The master may send new config data to the BMS12 module. Packet format is identical to Reply Config above, and the BMS12 module will return a Reply Config packet to verify that updated settings were received correctly.

## Code examples

---

To follow are some C code examples to help with programming your master controller to decode data from the BMS12 module. In all cases, assume that `data[ ]` contains an array of up to 8 unsigned bytes received.

### Unpacking Reply Status data

This packet must be decoded bit by bit (no pun intended), and act on any high (error) bits encountered as required. The code below shows how to check if the first 8 cells are under-voltage. Similar code can be used for the final 4 cells, plus the over-voltage and shunt bits.

```
for (int n=0; n<8; n++)
{
    if (byte[0] & (1<<n))
    {
        /* Then cell n+1 is undervoltage */
    }
}
```

### Unpacking Reply Voltage data

The following code snippet shows how to extract the voltages and temp from a Reply Voltage packet.

```
for (int n=0; n<6; n++)
{
    voltage[n] = data[n];
    if (data[7] & (1<<n))
        voltage[n] += 256;
}
temp1 = data[8]-128;
```

### Unpacking config data

```
lowThreshold = data[0] + data[1]*256;
highThreshold = data[2] + data[3]*256;
shuntThreshold = data[4] + data[5]*256;
underTempThreshold = data[6]-128;
overTempThreshold = data[7]-128;
```

### Packing config data

```
data[0] = lowThreshold % 256;
data[1] = lowThreshold / 256;
data[2] = highThreshold % 256;
data[3] = highThreshold / 256;
data[4] = shuntThreshold % 256;
data[5] = shuntThreshold / 256;
data[6] = underTempThreshold+128;
data[7] = overTempThreshold+128;
```



## 2.7. ZEVA BMS16



## BMS16

### Battery Management System

### For 12-16 cell lithium battery packs

v1.2

#### Introduction

The ZEVA BMS16 is an integrated battery management system for lithium battery packs containing 12-16 cells in series and 10-1000 Ah capacity. It is suitable for both electric vehicle and battery storage applications. The BMS16 includes an internal power supply to allow it to run directly from the battery pack, internal shunt resistors for automatic pack balancing, dual solid state relay outputs for directly switching power contactors to protect charging and discharging of batteries, and a CAN bus port for optional colour touchscreen interface or integration with third party control systems.

The BMS16 Monitor provides information such as voltage, current, power, battery state of charge, and all individual cell voltages. It can also be used for configuring the operating parameters of the BMS16. It may be installed up to 50m from the BMS16 (if correct shielded twisted pair cable is used).

Battery management systems are the last line of defence for your battery pack. In normal circumstances it should not interfere with the battery pack's operation, only intervening when something goes wrong and protection is required.

#### Safety Warning

Although 16-cell lithium battery packs do not involve lethal voltages, they frequently involve dangerous amounts of current and power. Proper precautions and electrical safety procedures should always be observed. Please read this manual carefully to ensure correct installation and operation. If you are unsure of anything, please contact us before proceeding.

We have endeavoured to make a safe and reliable product which performs as described, however since ZEVA has no control over the integration of its products into a battery system, we can assume no responsibility for the final safety or functionality of the completed installation. It is up to the end user to determine the suitability of the products for the purpose employed, and the end user assumes all risks associated. Products should only be installed by suitably qualified and experienced persons, and should always be used in a safe and lawful manner.

#### Specifications

- Number of cells: 12-16
- Battery types: LiFePO4, LiCo, LiMn, etc
- Accuracy: Within 0.01V per cell
- Battery capacity: 10-1000Ah
- Current measurement: 0-1000A (depending on shunt used)
- Dimensions: 170x90x20mm
- Outputs: Dual solid state relays, 60V 1.3A max, internally fused

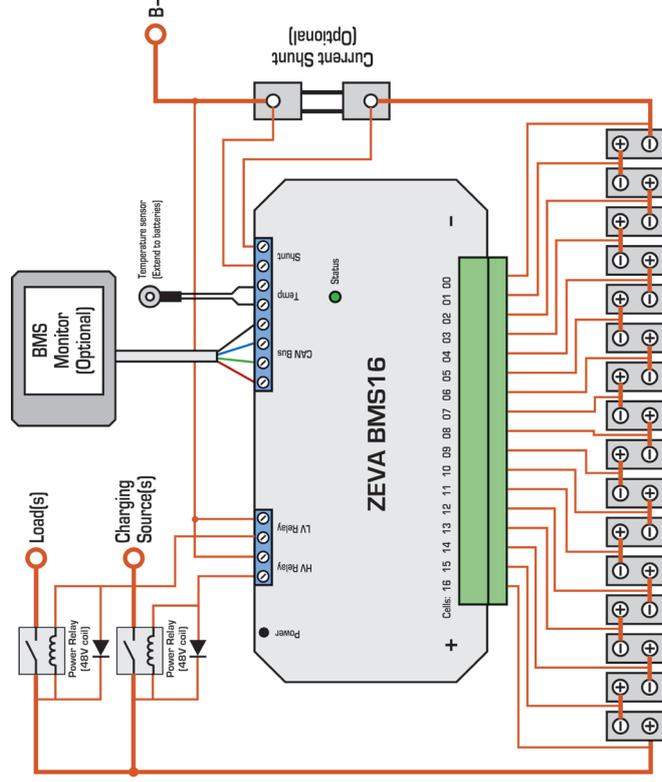
## Installation

The BMS16 should be mounted securely using screws through the holes on the case flanges. Install the BMS16 in a location protected from direct sun and water and close to the cells if possible to minimise cell wiring lengths (under 1m recommended).

The BMS16 has a pluggable screw terminal block for the (up to) 17 cell connections, with the most point of the battery pack connected to the terminal near **C00**, and successive positive terminals connected to **C01-C16**. Wire gauge around AWG20-26 is recommended for sufficient mechanical strength and suitable current rating. We recommend wiring up the plug and verifying all voltages before connecting to the BMS. The plug requires a significant amount of force to fully engage; ensure it is plugged all the way in for reliable connections.

If you need to disconnect the cell plug from the BMS, significant force is required for removal as well. For easier removal, a flat blade screwdriver may be used to lever the positive end of the plug out first, which should then be loose enough to remove by hand.

Ensure that all wiring is secured so it will not become damaged from vibration or abrasion. Optionally small fuses (~1A) may be used to protect wiring, best installed close to each cell terminal. Power is always taken from the most positive input C16. If using the module with fewer than 16 cells, simply add a short jumper wire from your most positive cell terminal to C16. An example wiring diagram for 16 cells is shown below:



Relay outputs are floating / isolated, and have a maximum rating of 60V and 1.3A continuous.

Be sure to include a flyback diode (if not built in to the relay/contactor) to suppress inductive voltage spikes from switching the relay coil. In installations with a single "battery enable" relay, the LV and HV relays may be wired in series such that either an over-voltage or under-voltage condition will open the relay to isolate the battery pack.

Once your wiring is complete, use a small screwdriver to press the power button on the top left of the case, and the status LED should come on. A green light indicates all cells are within correct voltage range, and both relay outputs will be closed circuit. A steady red light indicates one or more cells are over-voltage, and the HV Relay outputs will be open circuit. A blinking red light indicates one or more cells are under-voltage, and the LV Relay outputs will be open circuit. Green/red flashing indicates an over-temperature shutdown.

## Current Shunt

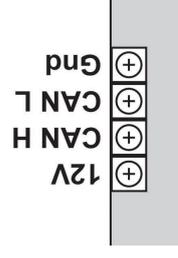
The BMS16 may be supplied with either a 100A, 200A or 500A rated shunt. These are continuous current ratings, but the BMS can measure up to twice the rated current intermittently. Note that the current shunt may get very hot with sustained current above its continuous rating. The shunt is connected via two wires to the shunt terminals on the BMS16. For best performance, twisted pair wire is recommended. The sample wire from the anode / positive side of the shunt (closest to the +ve of the battery) should be connected to the terminal nearest the edge of the BMS. When used with a monitor, the current displayed is discharge amps – i.e charge amps will be negative values. If your polarity seems to be reversed, simply swap the two shunt wires into the BMS.

## Temperature Sensing

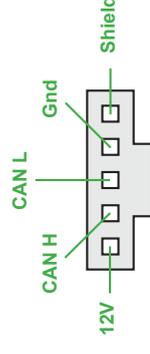
The BMS16 is supplied with a 10Kohm NTC thermistor for temperature sensing. It is connected to the two Temp screw terminals at the rear of the case, and is non-polarised. It is recommended that the temperature sensor be installed somewhere near the middle of the pack, since this is typically the warmest location (wires on the sensor may be extended as long as necessary). The default temperature limit of 80°C suits most lithium battery types.

## CAN Bus Wiring

There are four screw terminals for connecting the BMS16 to a CAN bus, and a Molex C-Grid SL plug on the optional BMS Monitor, with the following pin identifications:



CAN pin assignments on BMS16 housing



CAN pin assignments on Monitor housing

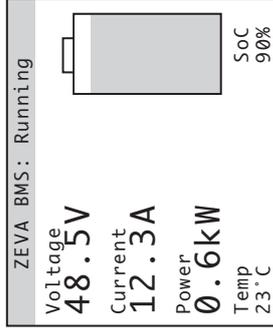
The 12V terminal is an output for optionally providing power to external devices, such as a monitor (200mA max, fuse protected). The CAN bus is galvanically isolated from the battery pack so can be safely connected to external ground references.

CAN buses work best when wired as a single daisy chain of devices, with 120Ω termination resistors at each end to prevent signal reflection. At least one termination resistor is required for the CAN bus (and BMS16) to function. The BMS16 comes with a termination resistor which may be omitted if the device is not at one end of the CAN bus. (For short CAN buses, often one termination resistor – such as the one built in to the BMS Monitor – is sufficient.)

For best performance, shielded twisted pair (STP) cable is recommended. Very short connections are usually OK with untwisted and/or unshielded cable.

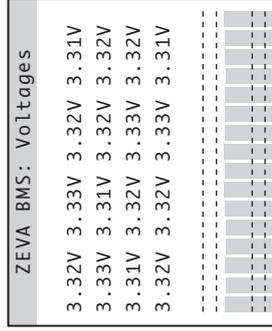
### BMS16 Monitor

The BMS16 Monitor is an optional colour touchscreen which may be used to remotely interact with the BMS16. The Monitor displays various pages of information:



The standard display when the system is running, showing pack voltage, current, power, temperature, battery state of charge.

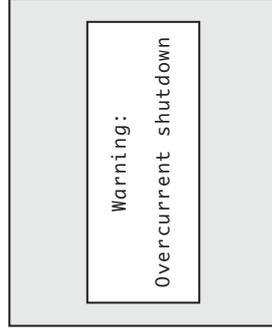
Touching the panel briefly will toggle between this and the voltages page below.



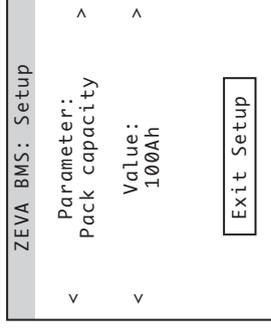
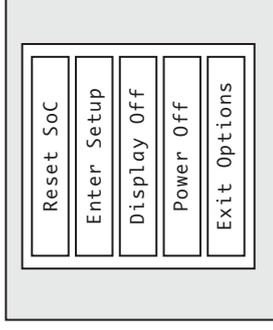
This page shows all individual cell voltages, plus a bar graph below. Dotted lines on the graph show HV and LV thresholds plus hysteresis.

Graph bars will be green when a cell is in range, blue for under-voltage, red for over-voltage, and orange if a cell is currently being shunt balanced.

If the BMS detects an error, this warning page will be displayed. In most cases, the error can be acknowledged/reset by tapping the screen.



You can bring up the options menu by touching and holding for 1 second. From here you can do a manual reset of the State of Charge (back to 100%), enter the Setup mode, switch the display off, or command the BMS16 to turn off. (When the display is off, touch and hold anywhere for 1 second to turn it back on. Display will automatically wake if there is a new warning to display.)



If you choose Enter Setup, the Monitor can be used to reconfigure settings for the BMS16. The top row selects the parameter, and the bottom row adjusts the value, in both cases by touching the left or right arrows on each side. Once finished, touch Exit Setup and the new parameters will be transmitted to the BMS16.

### List of Settings

The following table describes the parameters available in the Settings page.

Name	Range	Description
Number of cells	12-16	The number of cells the BMS16 expects to see connected.
Pack capacity	10-1000Ah	The rated capacity of your traction battery pack, in Amp-Hours.
SoC warning	0-100%	The BMS16 can raise a warning when the traction battery's SoC reaches a predetermined level. (Use 0% to disable.)
Full voltage	1-100V	The BMS uses a "full voltage" threshold (combined with low charge current) to detect charge completion and automatically re-synchronize the SoC to 100% when pack voltage is within 1V of this value. Typically set value to your peak charge voltage.
Warn current	0-1000A	The BMS16 will provide a warning if the current in or out of the battery exceeds this threshold. Set to 0A to disable (will display as "off").

Trip current	0-1000A	The BMS16 will automatically shut down the battery pack if current exceeds this threshold (for over 1 second continuously). Note: This should not replace a physical fuse, but can be used as a "first line of defence".  This is considered a serious error which will require the device to be power cycled to reset.
Thermal limit	0-100C	The BMS can automatically shut down the battery pack (both charge and load output relays) if the measured temperature exceeds this programmed threshold. This error will automatically reset once temperature drops by at least 10 degrees below threshold.
Min voltage	1.00-5.00V	The minimum voltage any single cell should be allowed to reach. If any cell goes below this threshold (minus any hysteresis), the LV output relay will go open circuit.
Max voltage	1.00-5.00V	The maximum voltage any single cell should be allowed to reach. If any cell goes above this threshold (plus hysteresis), the HV output relay will go open circuit.
BMS hysteresis	0-1.00V	This settings provides some hysteresis on voltage thresholds, such that charge and load relays are not switched on and off too rapidly. For example, with a 0.2V hysteresis, the LV relay will be disabled when a cell goes 0.2V below the Min Voltage threshold, and re-enabled once the cell recovers to 0.2V above Min Voltage.
Shunt voltage	1.00-5.00V	The voltage threshold where shunt balancing will occur. Balancing should only be performed on cells which are higher than average, so typically set this to the average maximum charge voltage of each cell (i.e max charge voltage divided by number of cells).

Shunt size	100A / 200A / 500A	This selects the size of current shunt attached to the BMS16 (for 75mV shunts). Note that if using an external CAN bus shunt interface, this setting is ignored as the external device is separately programmed with its shunt size.
------------	--------------------	--

### **BMS Power Consumption Protection**

An inherent problem with any BMS which powers itself from the cells it is monitoring is that the BMS can slowly discharge the cells, which can eventually flatten cells – particularly if powering contactors or monitors, and no charging source is present for an extended period. To prevent possible damage, the BMS16 is able to switch of its own power supply if any cells get critically low (under 2.0V). If your BMS has turned off due to a critically low cell, simply attach a charging source to the batteries then press the power button to re-enable the BMS.

### **Tech Support and Warranty Information**

All ZEVA products are covered by a 12 month warranty against manufacturing faults or failures under normal operating conditions. The warranty does not cover misuse of the product, including but not limited to: excessive voltage or reversed polarity on terminals, short circuits on outputs, opening of housings and/or modification of internal electronics, severe impact damage, submersion in water.

We have taken great care to design a safe and reliable product, but faults can happen. If you believe your product has a fault, please contact us via our website to discuss. If it is determined that a hardware fault is the likely cause, we will provide an RMA number and return address to proceed with repairs.

If you have any questions not covered by this manual, please contact us via our website:

**<http://www.zeva.com.au>**



## 2.8. Celda LG MH18650

# PRODUCT SPECIFICATION

Rechargeable Lithium Ion Battery

Model : INR18650 MH1 3200mAh

Prepared	Reviewed	Approved
Lee, Yong Seok	Ryu, Duk hyun	Kim, Dong Myung
Date : '14. 03. 06	Date : '14. 03. 06	Date : '14. 03. 06

---

<b>Contents</b> .....	<b>3</b>
<b>1. General Information</b> .....	<b>4</b>
1.1 Scope	
1.2 Application	
1.3 Product Classification	
1.4 Model Name	
<b>2. Nominal Specification</b> .....	<b>5</b>
2.1 Capacity	
2.2 Nominal Voltage	
2.3 Standard Charge	
2.4 Max. Charge Current	
2.5 Standard Discharge	
2.6 Max. Discharge Current	
2.7 Weight	
2.8 Operating Temperature	
2.9 Storage Temperature (for shipping state)	
<b>3. Appearance and Dimension</b> .....	<b>6</b>
3.1 Appearance	
3.2 Dimension	
<b>4. Performance Specification</b> .....	<b>7</b>
4.1 Standard Test Condition	
4.2 Electrical Specification	
4.3 Environmental Specification	
4.4 Mechanical Specification	
4.5 Safety Specification	
<b>5. Cautions and Prohibitions in Handling</b> .....	<b>8</b>

## 1. General Information

### 1.1 Scope

This product specification defines the requirements of the rechargeable lithium ion battery to be supplied to the Customer by LG Chem.

1.2 Product classification: Cylindrical rechargeable lithium ion battery

1.3 Model name: INR18650 MH1

## 2. Nominal Specification

Item	Condition / Note	Specification
2.1 Energy ( Power )	Std. charge / discharge	Nominal 3200 mAh Minimum 3100 mAh
2.2 Nominal Voltage	Average	3.67V
2.3 Standard Charge (Refer to 4.1.1)	Constant current Constant voltage End current(Cut off)	0.5C (1550mA) 4.2V 50mA
2.4 Max. Charge Voltage		4.2 ± 0.05V
2.5 Max. Charge Current		1.0 C (3100mA)
2.6 Standard Discharge (Refer to 4.1.2)	Constant current End voltage(Cut off)	0.2C (620mA) 2.5V
2.7 Max. Discharge Current		10A
2.8 Weight	Approx.	Max. 49.0 g
2.9 Operating Temperature	Charge Discharge	0 ~ 45 °C -20 ~ 60 °C
2.10 Storage Temperature (for shipping state)	1 month 3 month 1 year	-20 ~ 60 °C -20 ~ 45 °C -20 ~ 20 °C

### 3. Appearance and Dimension

#### 3.1 Appearance

There shall be no such defects as deep scratch, crack, rust, discoloration or leakage, which may adversely affect the commercial value of the cell.

#### 3.2 Dimension

Diameter :  $18.39 \pm 0.11$  mm

Diameter is defined as the largest data value measured on the "A" area of a cylindrical cell

Height :  $\leq 65.15$  mm

### 4. Performance Specification

#### 4.1 Standard test condition

##### 4.1.1 Standard Charge

Unless otherwise specified, "Standard Charge" shall consist of charging at constant current of 0.5C. The cell shall then be charged at constant voltage of 4.20V while tapering the charge current. Charging shall be terminated when the charging current has tapered to 50mA. For test purposes, charging shall be performed at  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

##### 4.1.2 Standard Discharge

"Standard Discharge" shall consist of discharging at a constant current of 0.2C to 2.50V. Discharging is to be performed at  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  unless otherwise noted (such as capacity versus temperature).

##### 4.1.3 High Drain rate Charge/discharge condition

Cells shall be charged at constant current of 0.5C to 4.20V with end current of 50mA. Cells shall be discharged at constant current of 0.5C to 2.50V. Cells are to rest 10 minutes after charge and 20 minutes after discharge.

#### 4.2 Electrical Specification

Item	Condition	Specification
4.2.1 Initial AC Impedance	Cell shall be measured at 1kHz after charge per 4.1.1.	$\leq 40 \text{ m}\Omega$ , without PTC
4.2.2 Initial Power	Cells shall be charged per 4.1.1 and discharged per 4.1.2 within 1h after full charge.	$\geq 3100 \text{ mAh}$
4.2.3 Cycle Life	Cells shall be charged and discharged per 4.1.3 500 cycles. A cycle is defined as one charge and one discharge. 501st discharge power shall be measured per 4.1.1 and 4.1.2	$\geq 70 \%$ (of $C_{\min}$ in 2.1)

#### 4.3 Environmental specification.

Item	Condition	Specification
4.3.1 Storage Characteristics	Cells shall be charged per 4.1.1 and stored in a temperature-controlled environment at $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ for 30 days. After storage, cells shall be discharged per 4.1.2 to obtain the remaining power*.	Power remaining rate $\geq 90\%$ ( $P_{\min}$ in 2.1)
4.3.2 High Temperature Storage Test	Cells shall be charged per 4.1.1 and stored in a temperature-controlled environment at $60^{\circ}\text{C}$ for 1 week. After storage, cells shall be discharged per 4.1.2 and cycled per 4.1.3 for 3 cycles to obtain recovered power**.	No leakage, Power recovery rate $\geq 80\%$
4.3.3 High Temperature and High Humidity Test	Cells are charged per 4.1.1 and stored at $60^{\circ}\text{C}$ (95% RH) for 168 hours. After test, cells are discharged per 4.1.2 and cycled per 4.1.3 for 3 cycles to obtain recovered power.	No leakage, No rust Power recovery rate $\geq 80\%$
4.3.4 Thermal Shock Test	$65^{\circ}\text{C}$ (8h) $\leftarrow$ 3hrs $\rightarrow$ $-20^{\circ}\text{C}$ (8h) for 8 cycles with cells charged per 4.1.1 After test, cells are discharged per 4.1.2 and cycled per 4.1.3 for 3 cycles to obtain recovered power.	No leakage Power recovery rate $\geq 80\%$

\* Remaining Capacity : After storage, cells shall be discharged with Std. condition(4.1.2) to measure the remaining capacity.

\*\* Recovery Capacity : After storage, cells shall be discharged with fast discharge condition(4.1.3), and then cells shall be charged with std. charge condition(4.1.1), and then discharged with Std. condition(4.1.2). This charge / discharge cycle shall be repeated three times to measure the recovery capacity.

4.3.5 Temperature Dependency of Capacity	Cells shall be charged per 4.1.1 at 23°C ± 2°C and discharged per 4.1.2 at the following temperatures.		
	Charge	Discharge	Capacity
	23°C	-10°C	70% of P <sub>ini</sub>
0°C		80% of P <sub>ini</sub>	
23°C		100% of P <sub>ini</sub>	
60°C		95% of P <sub>ini</sub>	

#### 4.4 Mechanical Specification

Item	Condition	Specification
4.4.1 Drop Test	Cells charged per 4.1.1 are dropped onto an wooden floor from 1.0 meter height for 1 cycle, 2 drops from each cell terminal and 1drop from the side of cell can (Total number of drops = 3).	No leakage No temperature rising
4.4.2 Vibration Test	Cells charged per 4.1.1 are vibrated for 90 minutes per each of the three mutually perpendicular axis (x, y, z) with total excursion of 0.8mm, frequency of 10Hz to 55Hz and sweep of 1Hz change per minute	No leakage

#### 4.5 Safety Specification

Item	Condition	Specification
4.5.1 Overcharge Test	Cells are discharged per 4.1.2, then charged at constant current of 3 times the max. charge condition and constant voltage of 4.2V while tapering the charge current. Charging is continued for 7 hours (Per UL1642).	: No explode, No fire
4.5.2 External Short - Circuiting Test	Cells are charged per 4.1.1, and the positive and negative terminal is connected by a 100mΩ-wire for 1 hour (Per UL1642).	: No explode, No fire
4,5.3 Overdischarge Test	Cells are discharged at constant current of 0.2C to 250% of the minimum capacity.	: No explode, No fire

4.5.4 Heating Test	Cells are charged per 4.1.1 and heated in a circulating air oven at a rate of 5°C per minute to 130°C. At 130°C, oven is to remain for 10 minutes before test is discontinued (Per UL1642).	: No explode, No fire
4.5.5 Impact Test	Cells charged per 4.1.1 are impacted with their longitudinal axis parallel to the flat surface and perpendicular to the longitudinal axis of the 15.8mm diameter bar (Per UL1642).	: No explode, No fire
4.5.6 Crush Test	Cells charged per 4.1.1 are crushed with their longitudinal axis parallel to the flat surface of the crushing apparatus (Per UL1642).	: No explode, No fire

## 5. Caution

Warning for using the lithium ion rechargeable battery. Mishandling of the battery may cause heat, fire and deterioration in performance. Be sure to observe the following.

### 5.1 Cautions for Use and Handling

- When using the application equipped with the battery, refer to the user's manual before usage.
- Please read the specific charger manual before charging.
- Charge time should not be longer than specified in the manual.
- When the cell is not charged after long exposure to the charger, discontinue charging.
- Battery must be charged at operating temperature range 0 ~ 45 °C.
- Battery must be discharged at operating temperature range -20 ~ 60 °C.
- Please check the positive(+) and negative(-) direction before packing.
- When a lead plate or wire is connected to the cell for packing, check out insulation not to short-circuit.
- Battery must be stored separately.
- Battery must be stored in a dry area with low temperature for long-term storage.
- Do not place the battery in direct sunlight or heat.
- Do not use the battery in high static energy environment where the protection device can be damaged.
- When rust or smell is detected on first use, please return the product to the seller immediately.
- The battery must be away from children or pets
- When cell life span shortens after long usage, please exchange to new cells.

## 5.2 Prohibitions

- Do not use different charger. Do not use cigarette jacks (in cars) for charging.
- Do not charge with constant current more than maximum charge current.
- Do not disassemble or reconstruct the battery.
- Do not throw or cause impact.
- Do not pierce a hole in the battery with sharp things. (such as nail, knife, pencil, drill)
- Do not use with other batteries or cells.
- Do not solder on battery directly.
- Do not press the battery with overload in manufacturing process, especially ultrasonic welding.
- Do not use old and new cells together for packing.
- Do not expose the battery to high heat. (such as fire)
- Do not put the battery into a microwave or high pressure container.
- Do not use the battery reversed.
- Do not connect positive(+) and negative(-) with conductive materials (such as metal, wire)
- Do not allow the battery to be immersed in or wetted with water or sea-water.

## 5.3 Caution for the battery and the pack

Pack shall meet under condition to maintain battery safety and last long performance of the lithium rechargeable cells.

### 5.3.1 Installing the battery into the pack

- The cell should be inspected visually before battery assembly into the pack.
- Damaged cell should not be used. (damaged surface, can-distortion, electrolyte-smell)
- Different Lot Number cells should not be packaged into the same pack.
- Different types of cells, or same types but different cell maker's should not be used together.

### 5.3.2 Design of battery pack

- The battery pack should not be connected easily to any charger other than the dedicated charger.
- The battery pack has function not to cause external short cut easily.

### 5.3.3 Charge

- Charging method is Constant Current-Constant Voltage (CC/CV).
- Charging should be operating under maximum charge voltage and current which is specified in the product specification. (Article. 2.4, 2.5)
- The battery should be charged under operating temperature specified in the product specification. (Article. 2.9)

### 5.3.4 Discharge

- Discharging method is Constant Current (CC).

(In case of using the battery for mobile equipment, discharging mode could be Constant Power.)

---

- 
- Discharging should be operating under maximum discharge current which is specified in the product specification. (Article. 2.7)
  - Discharging should be done by cut off voltage which is specified in the product specification. (Article. 2.6)
  - The battery should be discharged under operating temperature specified in the product specification. (Article. 2.9)

#### 5.3.5 Protection Circuit

- The protection circuit should be installed in the battery pack, charger.
- Charger or pack should have voltage sensing system to control over charge or discharge in order to maintain the battery's normal operating mode and protect cell imbalance.
- Charger or pack should have warning system for over temperature, over voltage and over current.

## 6. EXCLUSION OF LIABILITY

THE WARRANTY SHALL NOT COVER DEFECTS CAUSED BY NORMAL WEAR AND TEAR, INADEQUATE MAINTENANCE, HANDLING, STORAGE, FAULTY REPAIR, MODIFICATION TO THE BATTERY OR PACK BY A THIRD PARTY OTHER THAN LGC OR LGC'S AGENT APPROVED BY LGC, FAILURE TO OBSERVE THE PRODUCT SPECIFICATION PROVIDED HEREIN OR IMPROPER USE OR INSTALLATION, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, THE FOLLOWING:

- DAMAGE DURING TRANSPORT OR STORAGE
- INCORRECT INSTALLATION OF BATTERY INTO PACK OR MAINTENANCE
- USE OF BATTERY OR PACK IN INAPPROPRIATE ENVIRONMENT
- IMPROPER, INADEQUATE, OR INCORRECT CHARGE, DISCHARGE OR PROTECTION CIRCUIT OTHER THAN STIPULATED HEREIN
- INCORRECT USE OR INAPPROPRIATE USE
- INSUFFICIENT VENTILATION
- IGNORING APPLICABLE SAFETY WARNINGS AND INSTRUCTIONS
- ALTERING OR ATTEMPTED REPAIRS BY UNAUTHORIZED PERSONNEL
- IN CASE OF FORCE MAJEURE (EX. LIGHTENING, STORM, FLOOD, FIRE, EARTHQUAKE, ETC.)

THERE ARE NO WARRANTIES – IMPLIED OR EXPRESS – OTHER THAN THOSE STIPULATED HEREIN. LG CHEM SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY CONSEQUENTIAL OR INDIRECT DAMAGES ARISING OR IN CONNECTION WITH THE PRODUCT SPECIFICATION, BATTERY OR PACK.



## 2.9. Código software Control BMS Master

### 2.9.1. Código principal

```
/* Software para control master de 3 BMS Zeva BMS12 y envio de datos por serial a LabVIEW */
// #define DEBUG
// #define DEBUG2
#define labVIEW 1 // variable para activar y desactivar comunicación por labVIEW

#include <SPI.h>
#include "mcp_can.h"
#include "CANIDS.h"

#if labVIEW
#include "labVIEW.h"
#endif

#include "temperaturas.h"
#include "SCurrent.h"

#define INIT 0
#define WORK 1
#define FAILURE 2
#define FAILURE2 3

#define NumCeldas 9 // Numero celdas por bloque
#define NumSTemp 14
#define TEMPBATTERY 65 // Temperatura maxima baterias

char test = 0;

// Pins
int pinrele = 7;
int pintransistor = 8;

////////////////////////////////////
// Set Config
unsigned int set_lowThreshold = 2.5 * 1000;
unsigned int set_highThreshold = 4.2 * 1000;
unsigned int set_shuntThreshold = 5 * 1000; // valor entre 3 y 5 V
unsigned int set_shuntThreshold2 = 5 * 1000; // valor entre 3 y 5 V
unsigned int set_shuntThreshold3 = 5 * 1000; // valor entre 3 y 5 V
unsigned int set_underTempThreshold = - 20;
unsigned int set_overTempThreshold = 80;
int CeldasTotales = 27;
////////////////////////////////////
// Envio datos CAN pantalla
char tempbattery = 30;
unsigned char voltagebattery = 111;
unsigned char chargebattery = 80;

// tiempos envio señal por serial
unsigned long tciclo = 0;
unsigned long tanterior = 0;
unsigned long tlatencia = 0;
unsigned long latencia = 250; // cada "latencia" milisegundos se envian los datos por serial.
// timers error comunicación can
unsigned long timerBMS1 = 0;
unsigned long timerBMS2 = 0;
unsigned long timerBMS3 = 0;
unsigned long timererrorCAN = 1500; // tiempo en milisegundos para que salte error por falta de comunicación

// Variables
/// Corrientes
unsigned char tensioninstantanea = 0;
unsigned char BMS = 0;
float corrienteinstantanea = 0;
// Tensiones
unsigned char vbattery = 0; // encara no esta aplicat

/// SOC / SOH
unsigned char SOC = 0; // State Of Charge in %
unsigned char SOH = 0; // State Of Health in %

// Desconexión
unsigned long tlatenciadesconexion = 0;
unsigned long timerdesconexion = 0;

// Varios
char inChar = 0;
char envio = 0;
char estado = 0;
unsigned char error[11]; // Nothing, estado BMS1, estado BMS2, estado BMS3, secuenciaCAN1, secuenciaCAN2,
secuenciaCAN3 // vector que indica que esta fallando.
unsigned char seguridad[4];

// Temperaturas
char indicetemp = 0;
float temperature1[16];
float temperature2[16];
float temperature3[16];
float conttemp1 = 0;
float sumtemp1 = 0;
float conttemp2 = 0;
float sumtemp2 = 0;
float conttemp3 = 0;
float sumtemp3 = 0;
float mediatemp = 0;
float mediatemp1 = 0;
```



```
float mediatemp2 = 0;
float mediatemp3 = 0;

//Reply Status
unsigned char cell_lv[12];
unsigned char cell_hv[12];
unsigned char cell_lv2[12]; //BMS2
unsigned char cell_hv2[12]; //BMS2
unsigned char cell_lv3[12]; //BMS3
unsigned char cell_hv3[12]; //BMS3
unsigned char cell_sh[12];
unsigned char cell_sh2[12]; //BMS2
unsigned char cell_sh3[12]; //BMS3

// No implementado en estos BMS
unsigned char T1_OV;
unsigned char T1_UN;
unsigned char T2_OV;
unsigned char T2_UN;

//Reply Voltage
unsigned long voltage[12];
unsigned long voltage2[12];
unsigned long voltage3[12];
char temp1 = 0;
char temp2 = 0;

//Reply Config
int config1[5];
int config2[5];
int config3[5];
unsigned int lowThreshold;
unsigned int highThreshold;
unsigned int shuntThreshold;
int underTempThreshold;
int overTempThreshold;
//BMS2
unsigned int lowThreshold2;
unsigned int highThreshold2;
unsigned int shuntThreshold2;
int underTempThreshold2;
int overTempThreshold2;
//BMS3
unsigned int lowThreshold3;
unsigned int highThreshold3;
unsigned int shuntThreshold3;
int underTempThreshold3;
int overTempThreshold3;

//CAN Variables
unsigned char Flag_Recv = 0;
unsigned char len = 0;
unsigned char buf[8];
char str[20];
int canId = 0;
MCP_CAN CAN(10); //Pin CS //10 para nano

#ifdef DEBUG
int secuenciacan = 0;
#endif

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pinrele, OUTPUT);
  pinMode(pintransistor, OUTPUT);
  digitalWrite(pinrele, 0);
  digitalWrite(pintransistor, 0);

  //Sensor Corriente
  if (AREF == 3.3) {
    analogReference(EXTERNAL);
    Serial.println("AREF 3.3");
  } else {
    analogReference(DEFAULT);
  }
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(A4, INPUT);
  digitalWrite(A3, LOW);
  digitalWrite(A4, LOW);
  carga = 1; //Ah
  tic = micros();

  //TEMPERATURES
  pinMode(S0, OUTPUT);
  pinMode(S1, OUTPUT);
  pinMode(S2, OUTPUT);
  pinMode(S3, OUTPUT);
  pinMode(SIG1, INPUT);
  pinMode(SIG2, INPUT);
  pinMode(SIG3, INPUT);
  Rinf = R0 * exp(-beta / T0); //Global parameters calculation
  Rinf1 = R01 * exp(-beta / T0);
  //////////////////////////////////////
  START_INIT:
  if (CAN_OK == CAN.begin(CAN_125KBPS)) // init can bus : baudrate = 500k
  {
    Serial.println("CAN BUS Shield init ok!");
  }
  else
  {

```



```
Serial.println("CAN BUS Shield init fail");
Serial.println("Init CAN BUS Shield again");
delay(100);
goto START_INIT;
}

sendconfig();
sendconfig2();
sendconfig3();
}

void loop()
{
String datoaenviar;
#ifdef labVIEW
// para control desde el puerto serie
while (Serial.available() > 0 || inChar == '\n') {
inChar = Serial.read();//Read the first char
if (inChar == '@') { //Tenemos un nuevo ShuntThreshold
set_shuntThreshold = Serial.parseInt();
sendconfig();
}
if (inChar == '&') { //Tenemos un nuevo ShuntThreshold2
set_shuntThreshold2 = Serial.parseInt();
sendconfig2();
}
if (inChar == '&') { //Tenemos un nuevo ShuntThreshold3
set_shuntThreshold3 = Serial.parseInt();
sendconfig3();
}
}
#endif
//// GESTION MENSAJES CAN //////////////////////////////////////
if (CAN_MSGAVAIL == CAN.checkReceive()) // check if data coming
{
CAN.readMsgBuf(&len, buf); // read data, len: data length, buf: data buf
canId = CAN.getCanId();

// detectar si llegan mensajes o no
if ((canId / 10) == 10) {
//Serial.println("Reset timerBMS1");
timerBMS1 = millis() + timererrorCAN;
error[1] = 0;
}
if ((canId / 10) == 11) {
//Serial.println("Reset timerBMS2");
timerBMS2 = millis() + timererrorCAN;
error[2] = 0;
}
if ((canId / 10) == 12) {
//Serial.println("Reset timerBMS3");
timerBMS3 = millis() + timererrorCAN;
error[3] = 0;
}

switch (canId) {
case REPLYSTATUS:
secuenciaCAN1(3, 0);
//Serial.println("REPLYSTATUS");
//bufToCell(cell_lv, cell_hv, cell_sh);
for (int i = 0; i < 8; i++)
{
cell_lv[i] = (bool) (buf[0] & (1 << i)); //error por baja tensión primeras 8 celdas
cell_sh[i] = (bool) (buf[3] & (1 << i)); //estado balanceo primeras 8 celdas
cell_hv[i + 4] = (bool) (buf[2] & (1 << i)); //error por alta tensión últimas 8 celdas
}
for (int i = 0; i < 4; i++) {
cell_lv[i + 8] = (bool) (buf[1] & (1 << i)); //error por baja tensión últimas 4 celdas
cell_hv[i] = (bool) (buf[1] & (1 << i + 4)); //error por alta tensión primeras 4 celdas
cell_sh[i + 8] = (bool) (buf[4] & (1 << i)); //estado balanceo últimas 4 celdas
}
break;

case REPLYVOLTAGES1:
int Rint;
secuenciaCAN1(1, 0);
//Serial.println("REPLYVOLTAGES1");
for (int n = 0; n < 6; n++)
{
voltage[n] = buf[n];
if (buf[6] & (1 << n)) {
voltage[n] += 256;
}
}

temp1 = buf[7] - 128;
//sendvoltages();
break;

case REPLYVOLTAGES2:
secuenciaCAN1(2, 0);
//Serial.println("REPLYVOLTAGES2");
for (int n = 0; n < 6; n++)
{
voltage[n + 6] = buf[n];
if (buf[6] & (1 << n)) {
voltage[n + 6] += 256;
}
}

temp2 = buf[7] - 128;
```



```
//sendvoltages();
break;

case REPLYCONFIG:
    secuenciaCAN1(4, 1);
    //Serial.println("REPLYCONFIG");
    config1[0] = buf[0] + buf[1] * 256;
    config1[1] = buf[2] + buf[3] * 256;
    config1[2] = buf[4] + buf[5] * 256;
    config1[3] = buf[6] - 128;
    config1[4] = buf[7] - 128;
    break;

case REPLYSTATUS_2:
    secuenciaCAN2(3, 0);
    //Serial.println("REPLYSTATUS");

    for (int i = 0; i < 8; i++)
    {
        cell_lv2[i] = (bool) (buf[0] & (1 << i)); //error por baja tensión primeras 8 celdas
        cell_sh2[i] = (bool) (buf[3] & (1 << i)); //estado balanceo primeras 8 celdas
        cell_hv2[i + 4] = (bool) (buf[2] & (1 << i)); //error por alta tensión ultimas 8 celdas
    }
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        cell_lv2[i + 8] = (bool) (buf[1] & (1 << i)); //error por baja tensión ultimas 4 celdas
        cell_hv2[i] = (bool) (buf[1] & (1 << i + 4)); //error por alta tensión primeras 4 celdas
        cell_sh2[i + 8] = (bool) (buf[4] & (1 << i)); //estado balanceo ultimas 4 celdas
    }
    break;

case REPLYVOLTAGES1_2:
    secuenciaCAN2(1, 0);
    int Rint2;
    //Serial.println("REPLYVOLTAGES1");
    for (int n = 0; n < 6; n++)
    {
        voltage2[n] = buf[n];
        if (buf[6] & (1 << n)) {
            voltage2[n] += 256;
        }
    }
    break;

case REPLYVOLTAGES2_2:
    secuenciaCAN2(2, 0);

    for (int n = 0; n < 6; n++)
    {
        voltage2[n + 6] = buf[n];
        if (buf[6] & (1 << n)) {
            voltage2[n + 6] += 256;
        }
    }
    break;

case REPLYSTATUS_3:
    secuenciaCAN3(3, 0);
    //Serial.println("REPLYSTATUS");

    for (int i = 0; i < 8; i++)
    {
        cell_lv3[i] = (bool) (buf[0] & (1 << i)); //error por baja tensión primeras 8 celdas
        cell_sh3[i] = (bool) (buf[3] & (1 << i)); //estado balanceo primeras 8 celdas
        cell_hv3[i + 4] = (bool) (buf[2] & (1 << i)); //error por alta tensión ultimas 8 celdas
    }
    for (int i = 0; i < 4; i++) {
        cell_lv3[i + 8] = (bool) (buf[1] & (1 << i)); //error por baja tensión ultimas 4 celdas
        cell_hv3[i] = (bool) (buf[1] & (1 << i + 4)); //error por alta tensión primeras 4 celdas
        cell_sh3[i + 8] = (bool) (buf[4] & (1 << i)); //estado balanceo ultimas 4 celdas
    }
    break;

case REPLYVOLTAGES1_3:
    secuenciaCAN3(1, 0);
    int Rint3;
    //Serial.println("REPLYVOLTAGES1");
    for (int n = 0; n < 6; n++)
    {
        voltage3[n] = buf[n];
        if (buf[6] & (1 << n)) {
            voltage3[n] += 256;
        }
    }
    break;

case REPLYVOLTAGES2_3:
    secuenciaCAN3(2, 0);

    for (int n = 0; n < 6; n++)
    {
        voltage3[n + 6] = buf[n];
        if (buf[6] & (1 << n)) {
            voltage3[n + 6] += 256;
        }
    }
    break;
//sendvoltages();
#ifdef DEBUG
//Serial.println("REPLYVOLTAGES2");
#endif
#endif
```



```
break;

case REPLYCONFIG_3:
    secuenciaCAN3(4, 1);
    //Serial.println("REPLYCONFIG2");
    config3[0] = buf[0] + buf[1] * 256;
    config3[1] = buf[2] + buf[3] * 256;
    config3[2] = buf[4] + buf[5] * 256;
    config3[3] = buf[6] - 128;
    config3[4] = buf[7] - 128;
    break;

case REPLYCONFIG_2:
    secuenciaCAN2(4, 1);
    //Serial.println("REPLYCONFIG2");
    config2[0] = buf[0] + buf[1] * 256;
    config2[1] = buf[2] + buf[3] * 256;
    config2[2] = buf[4] + buf[5] * 256;
    config2[3] = buf[6] - 128;
    config2[4] = buf[7] - 128;
    break;
}
}
//// FIN GESTION MENSAJES CAN //////////////////////////////////////
switch (estado) {
    case INIT:
        //Configuracion
        //Machaca la configuración actual y pone la indicada. A continuación responde la configuración guardada
#if labVIEW
        Serial.print("Configuring");
        delay(200);
        Serial.print(".");
        delay(200);
        Serial.print(".");
        delay(200);
        Serial.print(".");
        delay(200);
#endif
        delay(100);
        if (config2[0] == set_lowThreshold && config2[1] == set_highThreshold && config2[2] == set_shuntThreshold) {
            Serial.println("BMS2 Ok");
            estado = WORK;
            error[2] = 0;
        }
        if (config1[0] == set_lowThreshold && config1[1] == set_highThreshold && config1[2] == set_shuntThreshold) {
            Serial.println("BMS1 Ok");
            estado = WORK;
            error[1] = 0;
        }
        if (config3[0] == set_lowThreshold && config3[1] == set_highThreshold && config3[2] == set_shuntThreshold) {
            Serial.println("BMS3 Ok");
            estado = WORK;
            error[3] = 0;
        }
#if labVIEW
        if (estado != WORK) {
            Serial.println("No BMS detected");
        }
#endif

        estado = WORK; // Aunque no detecte BMS pasa a work

        sendconfig();
        sendconfig2();
        sendconfig3();

        break;
case WORK:
    //Serial.println("WORK");
    if (millis() > timerBMS1) { // no se han recibido mensajes de BMS1 desde hace timererrorBMS milisegundos
        error[1] = 1;
        sendconfig();
    }
    if (millis() > timerBMS2) {
        sendconfig2();
        error[2] = 1;
    }
    if (millis() > timerBMS3) {
        sendconfig3();
        error[3] = 1;
    }
}
//SEGURIDAD
if (millis() > timerdesconexion) {
    // Hacer codigo que si pasan tlatenciadesconexion milisegundos estando por debajo del umbral desconectar la
    bateria.
    timerdesconexion = millis() + tlatenciadesconexion;
}

// TO-DO //codigo para el cargador para que tal como va llegando al valor maximo va bajando la corriente segun
el tiempo estimado de carga.

//codigo que envia por serial cada latencia milisegundos
if (millis() > tlatencia) { //entra cada latencia milisegundos
#if labVIEW
    sendvoltagesBMS1(voltage, NumCeldas);
    sendvoltagesBMS2(voltage2, NumCeldas);
    sendvoltagesBMS3(voltage3, NumCeldas);
    sendshuntBMS1(cell_sh, NumCeldas);
    sendshuntBMS2(cell_sh2, NumCeldas);
    sendshuntBMS3(cell_sh3, NumCeldas);
    sendconfigtoLabVIEW1(config1);
#endif
}
```



```
sendconfigtoLabVIEW2(config2);
sendtemperature1(temperature1);
sendtemperature2(temperature2);
sendtemperature3(temperature3);
senderror(error);
sendseguridad(seguridad);
sendcurrent(corrienteinstantanea);
sendtemperature(mediatemp);
Serial.print("t ciclo = ");
Serial.println(tciclo);
#endif

tlatencia = millis() + latencia;
}

//En cada iteración solo se piden unos datos, para que no se pierda información.
switch (envio) {
  case 0:
    senddata(REQUESTVOLTAGES1, 8, 0x00); // se piden los valores de voltage1
    break;
  case 1:
    senddata(REQUESTVOLTAGES2, 8, 0x00); // se piden los valores de voltage2
    break;
  case 2:
    senddata(REQUESTVOLTAGES1_2, 8, 0x00); // se piden los valores de voltage1
    break;
  case 3:
    senddata(REQUESTVOLTAGES2_2, 8, 0x00); // se piden los valores de voltage2
    break;
  case 4:
    senddata(REQUESTVOLTAGES1_3, 8, 0x00); // se piden los valores de voltage1
    break;
  case 5:
    senddata(REQUESTVOLTAGES2_3, 8, 0x00); // se piden los valores de voltage1
    break;
  case 6:
    senddata(REQUESTSTATUS, 8, 0x00); // se piden el estado del BMS
    break;
  case 7:
    senddata(REQUESTSTATUS_2, 8, 0x00); // se piden el estado del BMS
    break;
  case 8:
    senddata(REQUESTSTATUS_3, 8, 0x00); // se piden el estado del BMS
    break;
  case 9:
    senddata(REQUESTCONFIG, 8, 0x00); // se piden los datos de configuración
    break;
  case 10:
    senddata(REQUESTCONFIG_2, 8, 0x00); // se piden los datos de configuración
    break;
  case 11:
    senddata(REQUESTCONFIG_3, 8, 0x00); // se piden los datos de configuración
    break;
  case 12:
    sendpantalla();
    envio = -1;
    break;
}
envio++;

/// CALCULOS
temperature1[indicetemp] = LecturaTermistor(indicetemp, 100, SIG1, 1); //falta implementar los sensores de 10k
temperature2[indicetemp] = LecturaTermistor(indicetemp, 100, SIG2, 2);
temperature3[indicetemp] = LecturaTermistor(indicetemp, 100, SIG3, 3);
indicetemp++;
conttemp1 = 0;
conttemp2 = 0;
conttemp3 = 0;
sumtemp1 = 0;
sumtemp2 = 0;
sumtemp3 = 0;
for ( int i = 0; i < 16; i++) {
  if (temperature1[i] > 5) {
    sumtemp1 = sumtemp1 + temperature1[i];
    conttemp1++;
  }
  if (temperature2[i] > 5) {
    sumtemp2 = sumtemp2 + temperature2[i];
    conttemp2++;
  }
  if (temperature3[i] > 5) {
    sumtemp3 = sumtemp3 + temperature3[i];
    conttemp3++;
  }
}
mediatemp1 = sumtemp1 / conttemp1;
mediatemp2 = sumtemp2 / conttemp2;
mediatemp3 = sumtemp3 / conttemp3;
mediatemp = (mediatemp1 + mediatemp2 + mediatemp3) / 3;
digitalWrite(pinrele, 1);
digitalWrite(pintransistor, 1);
if (mediatemp > TEMPBATTERY) {
  digitalWrite(pinrele, 0);
  digitalWrite(pintransistor, 0);
  Serial.println("TEMPERATURA MAX ALCANZADA ");
}
if (indicetemp > NumSTemp) {
  indicetemp = 0;
}
// SEGURIDAD LOW VOLTAGE
for (int i = 0; i < CeldasTotales; i++) {
  seguridad[0] = 0;
}
```



```
if (i < 9) {
  if (cell_lv[i] == 1) {
    seguridad[0] = 1;
    //Serial.println("seguridad low voltage 1");
    break;
  }
} else if (i < 18) {
  if (cell_lv2[i - 9] == 1) {
    seguridad[0] = 1;
    //Serial.println("seguridad low voltage 2");
    break;
  }
} else if (i < 27) {
  if (cell_lv3[i - 18] == 1) {
    seguridad[0] = 1;
    //Serial.println("seguridad low voltage 3");
    break;
  }
}
}
// SEGURIDAD High VOLTAGE
for (int i = 0; i < CeldasTotales; i++) {
  seguridad[1] = 0;
  if (i < 9) {
    if (cell_hv[i] == 1) {
      seguridad[1] = 1;
      break;
    }
  } else if (i < 18) {
    if (cell_hv2[i - 9] == 1) {
      seguridad[1] = 1;
      break;
    }
  } else if (i < 27) {
    if (cell_hv3[i - 18] == 1) {
      seguridad[1] = 1;
      break;
    }
  }
}
//Activación seguridad
for (int i = 0; i < 3; i++) {
  if (seguridad[i]) {
    seguridad[3] = 1; //posición del vector seguridad que indica si activar el rele o no
    break;
  } else {
    seguridad[3] = 0;
  }
}
digitalWrite(pinrele, !seguridad[3]);
digitalWrite(pintransistor, !seguridad[3]);
break;
case FAILURE: // Hay algun error
  Serial.println("****Error BMS1****");
  delay(500);
  estado = INIT; //reconfigurar BMS

  break;
case FAILURE2: // Hay algun error
  Serial.println("****Error BMS2****");
  delay(500);
  estado = INIT; //reconfigurar BMS

  break;
}

#ifdef DEBUG

#endif

// calculo del tiempo que tarda en realizar un ciclo del loop
tciclo = millis() - tanterior;
tanterior = millis();
if (test || seguridad[3]) {
  test = 1;
  Serial.println("ERROR");
}

} //end loop

//// ENVIO MENSAJES AL BMS //////////////////////////////////////
void sendconfig() {
  unsigned char data[8];
  data[0] = set_lowThreshold % 256;
  data[1] = set_lowThreshold / 256;
  data[2] = set_highThreshold % 256;
  data[3] = set_highThreshold / 256;
  data[4] = set_shuntThreshold % 256;
  data[5] = set_shuntThreshold / 256;
  data[6] = set_underTempThreshold + 128;
  data[7] = set_overTempThreshold + 128;
  senddata(SETCONFIG, 8, data);
}

void sendconfig2() {
  unsigned char data[8];
  data[0] = set_lowThreshold % 256;
  data[1] = set_lowThreshold / 256;
  data[2] = set_highThreshold % 256;
  data[3] = set_highThreshold / 256;
  data[4] = set_shuntThreshold2 % 256;
  data[5] = set_shuntThreshold2 / 256;
}
```



```
data[6] = set_underTempThreshold + 128;
data[7] = set_overTempThreshold + 128;
senddata(SETCONFIG_2, 8, data);
}

void sendconfig3() {
  unsigned char data[8];
  data[0] = set_lowThreshold % 256;
  data[1] = set_lowThreshold / 256;
  data[2] = set_highThreshold % 256;
  data[3] = set_highThreshold / 256;
  data[4] = set_shuntThreshold3 % 256;
  data[5] = set_shuntThreshold3 / 256;
  data[6] = set_underTempThreshold + 128;
  data[7] = set_overTempThreshold + 128;
  senddata(SETCONFIG_3, 8, data);
}

////////// ENVIO DE MENSAJE POR CAN
void senddata(INT32U id, unsigned char databuflen, unsigned char *databuf) {
  // send data: id = 0x00, standrad flame, data len = 8, stmp: data buf
  CAN.sendMsgBuf(id, 0, databuflen, databuf);
  delay(10); // send data per 100ms
}

void secuenciaCAN1(int orden, int ultim) {
  static int anterior = 0;
#ifdef DEBUG
  //Serial.print("CAN1: ");
  //Serial.println(orden);
#endif
  if (anterior + 1 == orden) {
    if (ultim) {
      anterior = 0;
    } else {
      anterior = orden;
    }
    error[4] = 0; // todo ok
  } else {
    error[4] = 1; //error
  }
}

void secuenciaCAN2(int orden, int ultim) {
  static int anterior = 0;
#ifdef DEBUG
  Serial.print("CAN2: ");
  Serial.println(orden);
#endif
  if (anterior + 1 == orden) {
    if (ultim) {
      anterior = 0;
    } else {
      anterior = orden;
    }
    error[5] = 0; // todo ok
  } else {
    error[5] = 1; //error
  }
}

void secuenciaCAN3(int orden, int ultim) {
  static int anterior = 0;
#ifdef DEBUG
  // Serial.print("CAN3: ");
  //Serial.println(orden);
#endif
  if (anterior + 1 == orden) {
    if (ultim) {
      anterior = 0;
    } else {
      anterior = orden;
    }
    error[6] = 0; // todo ok
  } else {
    error[6] = 1; //error
  }
}

void sendpantalla() {
  //Serial.println("sendpantalla : _____");
  unsigned char data[8];
  data[0] = mediatemp;
  int sumvoltage = 0;
  for (int i = 0; i < 9; i++) {
    sumvoltage = voltage[i] + sumvoltage;
    sumvoltage = voltage2[i] + sumvoltage;
    sumvoltage = voltage3[i] + sumvoltage;
  }
  data[1] = sumvoltage;
  data[2] = chargebattery;
  senddata(BMSTOTFT, 8, data);
}

/*****
END FILE
*****/
```



## 2.9.2. Librería LabVIEW

```
////////////////////////////////////  
//// FUNCIONES ENVIO MENSAJES LabVIEW //////////////////////////////////////  
////////////////////////////////////  
#ifndef labVIEWlibrary  
  
#define labVIEWlibrary  
#define NumStemp 14  
  
void sendvoltagesBMS1(unsigned long* voltage, int NumCeldas) {  
    //envio de tensiones celdas  
    Serial.print("#1");  
    Serial.print(";");  
    for (int i = 0; i < NumCeldas; i++) {  
        Serial.print(voltage[i]);  
        if (i < (NumCeldas - 1)) {  
            Serial.print(",");  
        }  
    }  
    Serial.println("");  
}  
  
void sendvoltagesBMS2(unsigned long* voltage2, int NumCeldas) {  
    //envio de tensiones celdas  
    Serial.print("#2");  
    Serial.print(";");  
    for (int i = 0; i < NumCeldas; i++) {  
        Serial.print(voltage2[i]);  
        if (i < (NumCeldas - 1)) {  
            Serial.print(",");  
        }  
    }  
    Serial.println("");  
}  
  
void sendvoltagesBMS3(unsigned long* voltage3, int NumCeldas) {  
    //envio de tensiones celdas  
    Serial.print("#3");  
    Serial.print(";");  
    for (int i = 0; i < NumCeldas; i++) {  
        Serial.print(voltage3[i]);  
        if (i < (NumCeldas - 1)) {  
            Serial.print(",");  
        }  
    }  
    Serial.println("");  
}  
  
void sendshuntBMS1(unsigned char* cell_sh, int NumCeldas) {  
    //envio de estado balanceo cada celda  
    Serial.print("Shunt1");  
    Serial.print(";");  
    for (int i = 0; i < NumCeldas; i++) {  
        Serial.print(cell_sh[i]);  
        if (i < (NumCeldas - 1)) {  
            Serial.print(",");  
        }  
    }  
    Serial.println("");  
}  
  
void sendshuntBMS2(unsigned char* cell_sh2, int NumCeldas) {  
    //envio de estado balanceo cada celda  
    Serial.print("Shunt2");  
    Serial.print(";");  
    for (int i = 0; i < NumCeldas; i++) {  
        Serial.print(cell_sh2[i]);  
        if (i < (NumCeldas - 1)) {  
            Serial.print(",");  
        }  
    }  
    Serial.println("");  
}  
  
void sendshuntBMS3(unsigned char* cell_sh3, int NumCeldas) {  
    //envio de estado balanceo cada celda  
    Serial.print("Shunt3");  
    Serial.print(";");  
    for (int i = 0; i < NumCeldas; i++) {  
        Serial.print(cell_sh3[i]);  
        if (i < (NumCeldas - 1)) {  
            Serial.print(",");  
        }  
    }  
    Serial.println("");  
}  
  
void sendconfigtoLabVIEW1(int* config1) {  
    Serial.print("Config");  
    Serial.print(";");  
    for (int i = 0; i < 5; i++) {  
        Serial.print(config1[i]);  
        if (i < (5 - 1)) {  
            Serial.print(",");  
        }  
    }  
    Serial.println("");  
}  
  
void sendconfigtoLabVIEW2(int* config2) {
```



```
Serial.print("Config2");
Serial.print(";");
for (int i = 0; i < 5; i++) {
  Serial.print(config2[i]);
  if (i < (5 - 1)) {
    Serial.print(",");
  }
}
Serial.println("");
}

void sendtemperature3(float* temperature3) {
  Serial.print("Temp3;");
  for (int i = 0; i < NumStemp; i++) {
    Serial.print(temperature3[i]);
    if (i < (NumStemp - 1)) {
      Serial.print(",");
    }
  }
  Serial.println("");
}

void sendtemperature2(float* temperature) {
  Serial.print("Temp2;");
  for (int i = 0; i < NumStemp; i++) {
    Serial.print(temperature[i]);
    if (i < (NumStemp - 1)) {
      Serial.print(",");
    }
  }
  Serial.println("");
}

void sendtemperature1(float* temperature) {
  Serial.print("Temp1;");
  for (int i = 0; i < NumStemp; i++) {
    Serial.print(temperature[i]);
    if (i < (NumStemp - 1)) {
      Serial.print(",");
    }
  }
  Serial.println("");
}

void senderror(unsigned char* error) {
  Serial.print("ERROR;");
  for (int i = 0; i < 10; i++) {
    Serial.print(error[i]);
    if (i < (10 - 1)) {
      Serial.print(",");
    }
  }
  Serial.println("");
}

void sendseguridad(unsigned char* seguridad) {
  Serial.print("SEGURIDAD;");
  for (int i = 0; i < 4; i++) {
    Serial.print(seguridad[i]);
    if (i < (4 - 1)) {
      Serial.print(",");
    }
  }
  Serial.println("");
}

void sendcurrent(float current) {
  Serial.print("Current;");
  Serial.println(current);
}

void sendtemperature(float temperature) {
  Serial.print("Temperature;");
  Serial.println(temperature);
}

#endif
```



### 2.9.3. Librería temperaturas

```
#ifndef TEMPERATURAS

#define TEMPERATURAS
#include <stdio.h>
#include <math.h>

//Temperature measure variables

int S0 = 3;
int S1 = 4;
int S2 = 5;
int S3 = 6;
int SIG1 = A0;
int SIG2 = A1;
int SIG3 = A2;

float Vin = 5.0; // [V] Supply voltage in the Voltage-Divider
float Vin33 = 5;
float Raux = 99000; // [ohm] Secondary resistor in the Voltage-Divider
float Raux1 = 2300; // [ohm] Secondary resistor in the Voltage-Divider
float R0 = 100000; // [ohm] NTC nominal value at 25°C
float R01 = 10000; // [ohm] NTC nominal value at 25°C
float T0 = 293.15; // [K] (25°C)

float temperature1ant[16];
float temperature2ant[16];
float temperature3ant[16];

float pendiente = 5.0; //Maxima pendiente 1 grado por iteración (15ms)

float Vout = 0.0; // [V] Voltage given by the Voltage-Divider
float Rout = 0.0; // [ohm] Current NTC resistance

float beta = 5000.0; // [K] Beta parameter4400
float Rinf = 0.0; // [ohm] Rinf parameter
float Rinf1 = 0.0; // [ohm] Rinf parameter
float TempK = 0.0; // [K] Temperature output in Kelvin
float TempC = 0.0; // [°C] Temperature output in Celsius

float offset[] = {1.43, 1.48, 1.44, 1.43, 1.48, 0, 1.48, 0, 0, 0, 0, 2.34, 0.42, 2.47, 2.42};
float offset1[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
float offset2[] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
////////////////////////////////////
///// FUNCIONES TEMPERATURAS //////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
float LecturaTermistor(int Termistor, int type, int input, int bloque) {
    int lectura = 0;
    Termistor = 15 - Termistor;
    switch (Termistor) {
        case 0:
            digitalWrite(S0, 0);
            digitalWrite(S1, 0);
            digitalWrite(S2, 0);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 1:
            digitalWrite(S0, 1);
            digitalWrite(S1, 0);
            digitalWrite(S2, 0);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 2:
            digitalWrite(S0, 0);
            digitalWrite(S1, 1);
            digitalWrite(S2, 0);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 3:
            digitalWrite(S0, 1);
            digitalWrite(S1, 1);
            digitalWrite(S2, 0);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 4:
            digitalWrite(S0, 0);
            digitalWrite(S1, 0);
            digitalWrite(S2, 1);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 5:
            digitalWrite(S0, 1);
            digitalWrite(S1, 0);
            digitalWrite(S2, 1);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 6:
            digitalWrite(S0, 0);
            digitalWrite(S1, 1);
            digitalWrite(S2, 1);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 7:
            digitalWrite(S0, 1);
            digitalWrite(S1, 1);
            digitalWrite(S2, 1);
            digitalWrite(S3, 0);
            break;
        case 8:
            digitalWrite(S0, 0);
    }
}
```

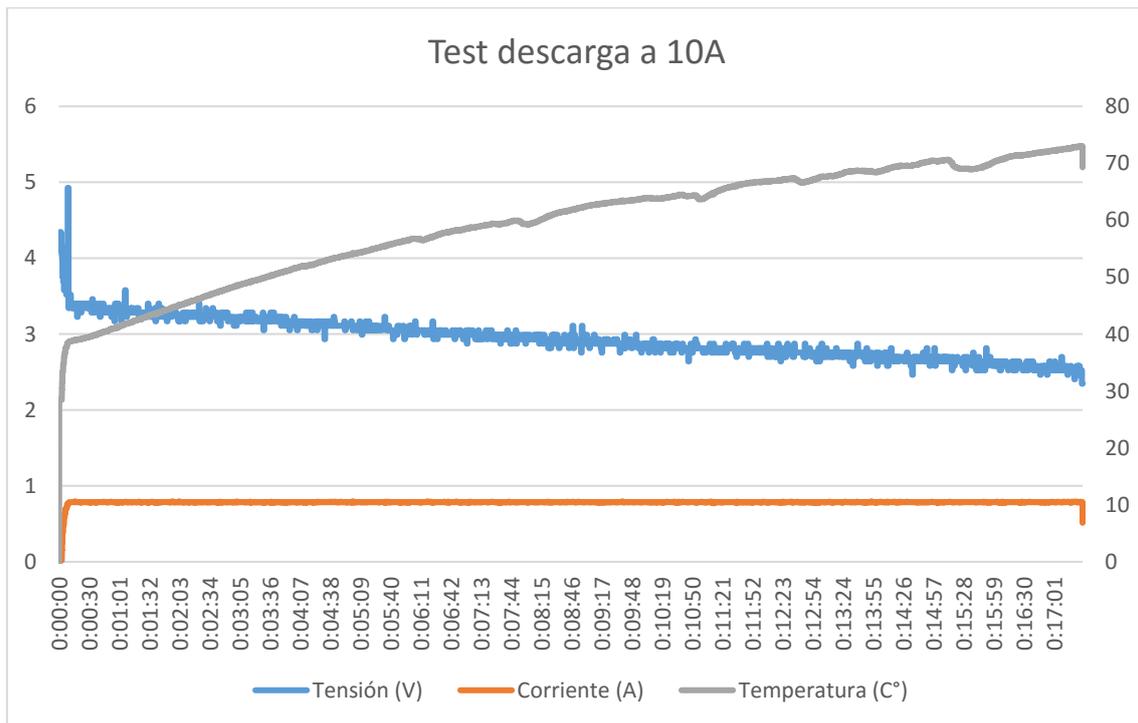


```
digitalWrite(S1, 0);
digitalWrite(S2, 0);
digitalWrite(S3, 1);
break;
case 9:
digitalWrite(S0, 1);
digitalWrite(S1, 0);
digitalWrite(S2, 0);
digitalWrite(S3, 1);
break;
case 10:
digitalWrite(S0, 0);
digitalWrite(S1, 1);
digitalWrite(S2, 0);
digitalWrite(S3, 1);
break;
case 11:
digitalWrite(S0, 1);
digitalWrite(S1, 1);
digitalWrite(S2, 0);
digitalWrite(S3, 1);
break;
case 12:
digitalWrite(S0, 0);
digitalWrite(S1, 0);
digitalWrite(S2, 1);
digitalWrite(S3, 1);
break;
case 13:
digitalWrite(S0, 1);
digitalWrite(S1, 0);
digitalWrite(S2, 1);
digitalWrite(S3, 1);
break;
case 14:
digitalWrite(S0, 0);
digitalWrite(S1, 1);
digitalWrite(S2, 1);
digitalWrite(S3, 1);
break;
case 15:
digitalWrite(S0, 1);
digitalWrite(S1, 1);
digitalWrite(S2, 1);
digitalWrite(S3, 1);
break;
}

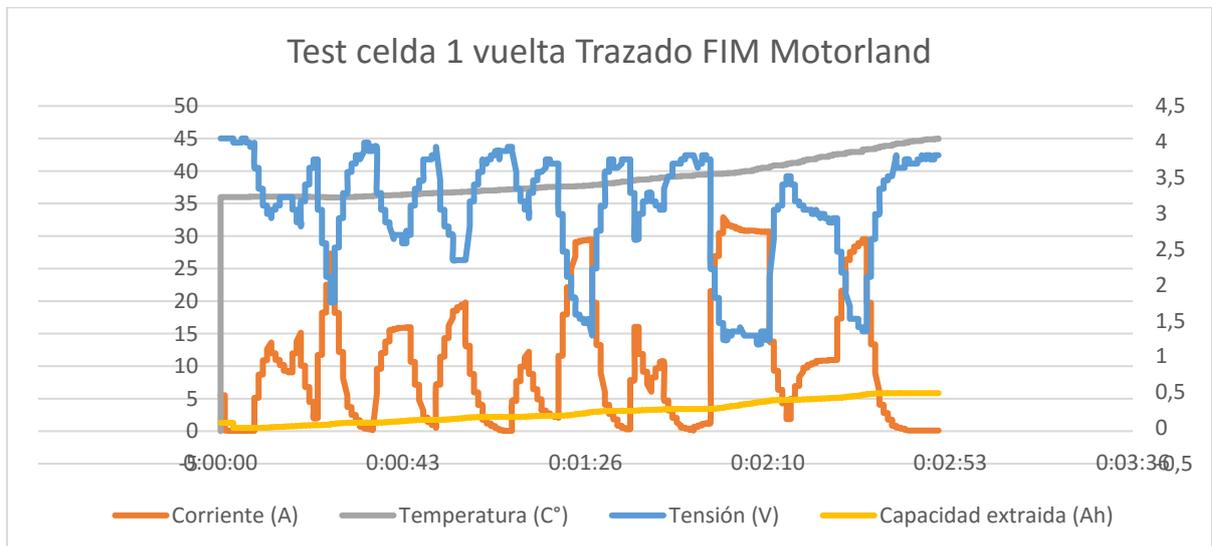
//Current NTC resistance value calculation (through Vout)
if (type == 100) {
Vout = Vin33 * ((float)(analogRead(input)) / 1024.0);
Rout = (Raux * Vout / (Vin - Vout));
} else {
Serial.println("type selected not found");
}
//Temperature calculation
TempK = (beta / log(Rout / Rinf));
TempC = TempK - 273.15;
if (bloque == 1) {
if (TempC > (temperaturelant[Termistor] + pendiente)) {
TempC = temperaturelant[Termistor] + pendiente;
} else if (TempC < (temperaturelant[Termistor] - pendiente)) {
TempC = temperaturelant[Termistor] - pendiente;
}
temperaturelant[Termistor] = TempC;
} else if (bloque == 2) {
if (TempC > (temperature2ant[Termistor] + pendiente)) {
TempC = temperature2ant[Termistor] + pendiente;
} else if (TempC < (temperature2ant[Termistor] - pendiente)) {
TempC = temperature2ant[Termistor] - pendiente;
}
temperature2ant[Termistor] = TempC;
} else if (bloque == 3) {
if (TempC > (temperature3ant[Termistor] + pendiente)) {
TempC = temperature3ant[Termistor] + pendiente;
} else if (TempC < (temperature3ant[Termistor] - pendiente)) {
TempC = temperature3ant[Termistor] - pendiente;
}
temperature3ant[Termistor] = TempC;
}
return (TempC);
}
#endif
```



## 2.10. Gráficos test celdas



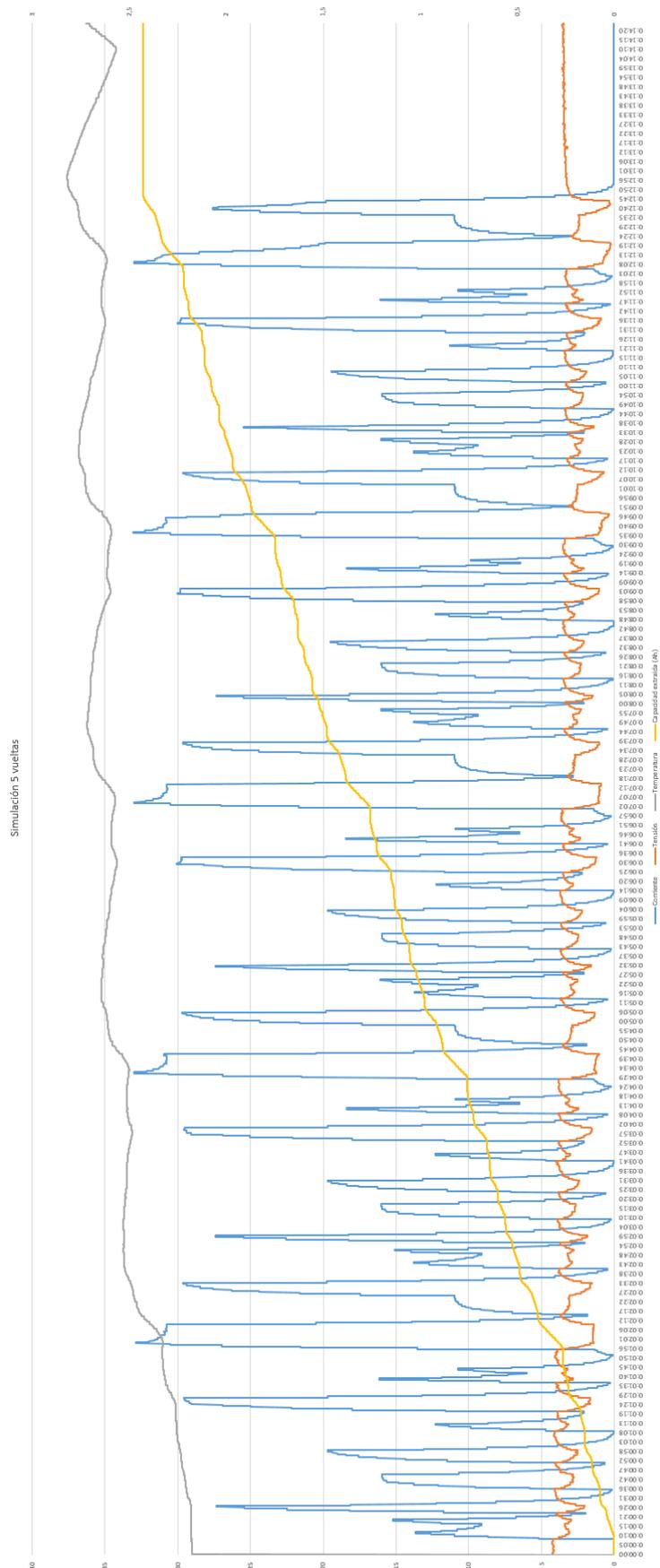
En este test se ha realizado sin refrigeración, por lo que la temperatura de la celda ha llegado a su máximo valor y se ha detenido el test por seguridad.



En este test se ha realizado la simulación de una vuelta completa al trazado.



Grafico ampliado 5 vueltas al trazado FIM de Motorland





## 2.11. Análisis termodinámico

Por una parte, se debe estudiar la temperatura de las celdas que forman el conjunto del acumulador. El funcionamiento de cualquier acumulador de energía genera calor debido al proceso químico que se produce en su interior.

Para una misma corriente de descarga una sola célula puede funcionar muy bien a temperatura ambiente por sí sola, pero si es parte de un paquete rodeado de células similares, podría superar sus límites de temperatura.

A pesar de que el diseño térmico del acumulador puede ser más que suficiente para disipar el calor total generado por el acumulador, todavía se pueden ubicar puntos calientes dentro del acumulador que pueden exceder los límites de temperatura especificados para las celdas.

El enfriamiento natural puede ser insuficiente para mantener una temperatura de trabajo seguro y puede ser requerido enfriamiento forzado. Si el enfriamiento forzado es inevitable, la primera elección normalmente sería refrigerar por aire forzado usando un ventilador o ventiladores. Esto es relativamente simple y barato, pero la capacidad térmica del fluido térmico, el aire, que está destinado a llevar el calor lejos es relativamente bajo, lo que limita su eficacia. En el peor caso, la refrigeración por líquido puede ser requerida.

El acumulador debe mantenerse dentro de un rango de temperatura de funcionamiento limitado de manera que tanto la capacidad de carga y ciclo de vida pueden ser optimizados. Por tanto, se debe mantener la temperatura no sólo dentro de los límites de trabajo especificado por el fabricante de las celdas, sino dentro de un rango más limitado para lograr un rendimiento óptimo.

Para llevar a cabo el estudio se ha precisado de la colaboración de Daniel Segura Garcia el cual ha realizado las simulaciones necesarias al acumulador mediante el software Ansys y ha asesorado en las modificaciones. Los resultados de este estudio son los siguientes:

### 2.11.1. Primera simulación

En primer lugar, se realiza un análisis crítico. Se utiliza para las celdas un flujo de  $1338 \text{ W/m}^2$  este flujo se ha calculado con una potencia a disipar de  $5 \text{ W}$  por celda. Los  $5 \text{ W}$  se calculan mediante la corriente máxima de la celda y la resistencia interna de la misma. Se considera una velocidad del aire de  $10 \text{ m/s}$  ( $36 \text{ km/h}$ ) y una temperatura de  $40^\circ\text{C}$ .

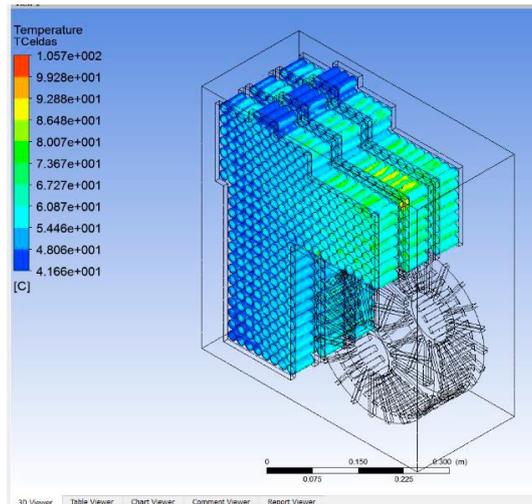


Ilustración 95: Resultados primera simulación

Como se puede observar en la captura de pantalla de los resultados, en las celdas se obtiene una temperatura pico de  $105.7^{\circ}\text{C}$  y una temperatura alrededor de los  $80^{\circ}\text{C}$  en la última parte del conjunto de la batería.

### 2.11.2. Segunda Simulación

Tras este primer análisis se procede a realizar una modificación en la disposición de las celdas de la batería. Esta modificación consiste en realizar un canal entre las celdas de la parte delantera superior de las baterías y aumentar la distancia entre celdas de la parte posterior del conjunto de baterías. Con esta modificación se pretende permitir llegar a la parte trasera del bloque de baterías una corriente de aire más fría y distribuir mejor esta corriente alrededor de las celdas que componen este conjunto.

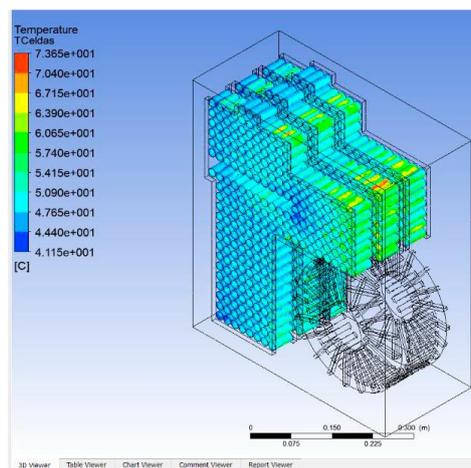


Ilustración 96: Resultados segunda simulación

Como se puede observar en las capturas de pantalla de los resultados, después de realizar las modificaciones en la geometría de la batería y utilizando las mismas condiciones del análisis anterior, en las celdas se obtiene una temperatura pico de  $73.65^{\circ}\text{C}$  y una temperatura alrededor de los  $63^{\circ}\text{C}$  en la última parte del conjunto de la batería.



Por lo tanto, se llega a la conclusión de que, mediante esta geometría, en el bloque de celdas trasero se consigue bajar la temperatura.

### 2.11.3. Tercera Simulación

A continuación, para simular un caso menos crítico y más cercano a la realidad, se utiliza la geometría del caso anterior utilizando una velocidad de 15 m/s (54 km/h) (velocidad mínima del circuito) y una temperatura de 25°C (Temperatura aproximada para el mes de octubre en Alcañiz).

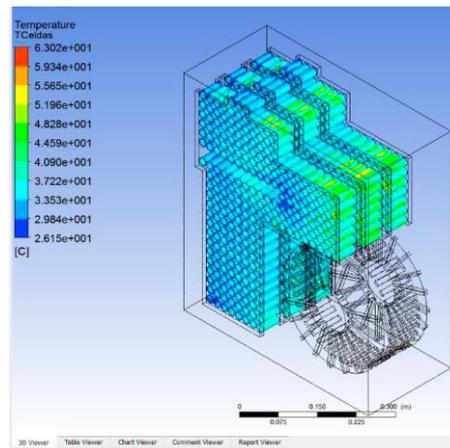


Ilustración 97: Resultados tercera simulación

Como se puede observar en la imagen superior, después de realizar las modificaciones en las propiedades de entrada del aire y utilizando la misma geometría del análisis anterior, en las celdas se obtiene una temperatura pico de 63.02°C y una temperatura alrededor de los 50°C en la última parte del conjunto de la batería.

Por lo tanto, se llega a la conclusión de que, mediante la geometría anterior y las nuevas condiciones del aire, se consigue bajar la temperatura de las celdas.

### Cuarta y quinta Simulación

Por último, se realizarán dos simulaciones, una con el modelo sin canal y otra con canal. Para simular un caso más real se utilizará una densidad de potencia de 292458 W/m<sup>3</sup> para las celdas en vez de un flujo (W/m<sup>2</sup>) como en los casos anteriores.

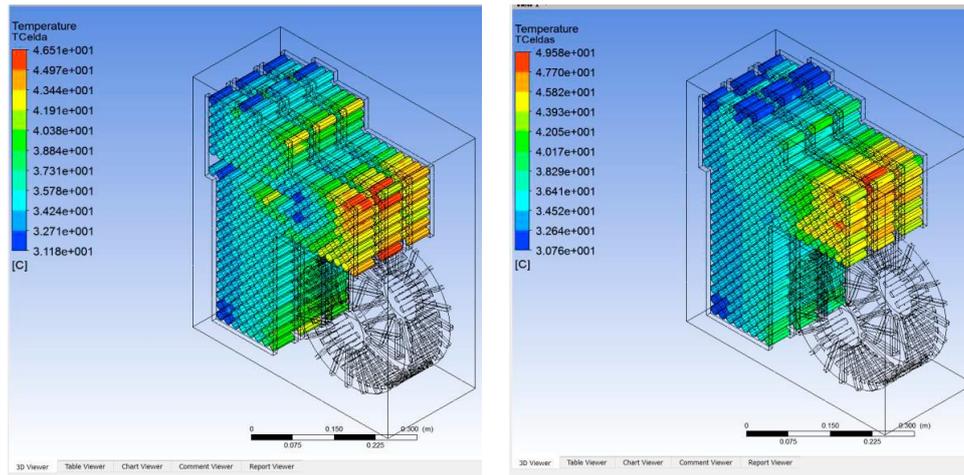


Ilustración 98: Comparativa temperatura superficial

Se debe tener en cuenta a la hora de analizar la Ilustración 98: Comparativa temperatura superficial, de que la escala de temperaturas es diferente en cada caso, por lo que la temperatura que representa un mismo color en los dos resultados puede variar.

Como se puede observar en las capturas de pantalla de los resultados, podemos comparar los resultados obtenidos para cada caso.

En la parte final del bloque de celdas se obtiene una temperatura pico de 49.58°C en el modelo sin canal y 46.51°C en el modelo con canal.

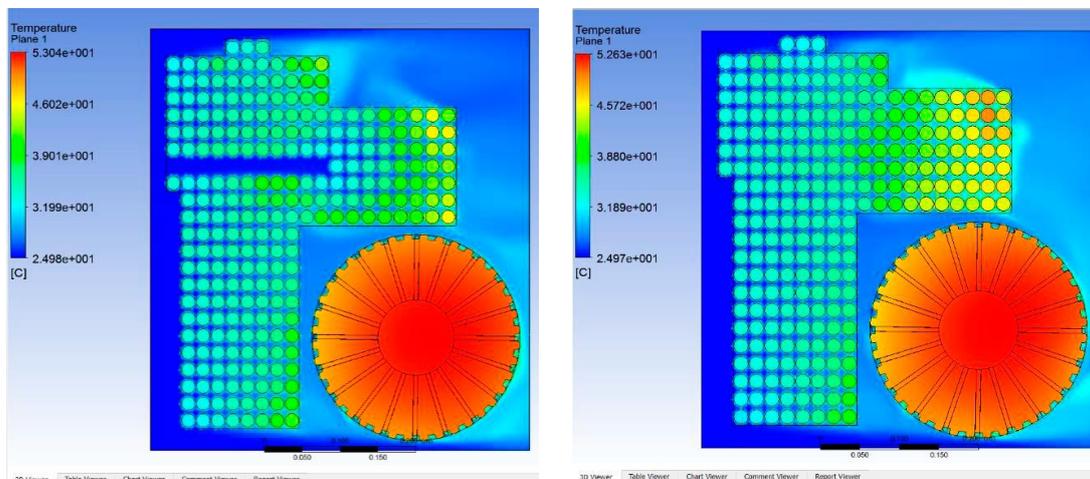


Ilustración 99: Comparación de temperatura en plano medio

Además, se ha realizado un plano de temperaturas por la mitad del conjunto, en el cual se puede observar la temperatura del aire de entrada a 25°C, como se va calentando al pasar alrededor de las celdas y como el canal realizado permite una entrada de aire fresco a la parte trasera de las baterías, consiguiendo así reducir la temperatura de un mayor número de celdas.

En conclusión, se puede afirmar que la realización del canal en el modelo del acumulador ayuda a conseguir una temperatura más uniforme en el conjunto del bloque y que mantiene la temperatura dentro de los rangos especificados por el fabricante.



Para verificar los datos obtenidos mediante el software de simulación y cumplir con los requisitos de seguridad del BMS se han ubicado varios sensores en puntos estratégicos de cada módulo.

La posición de los sensores es la siguiente:

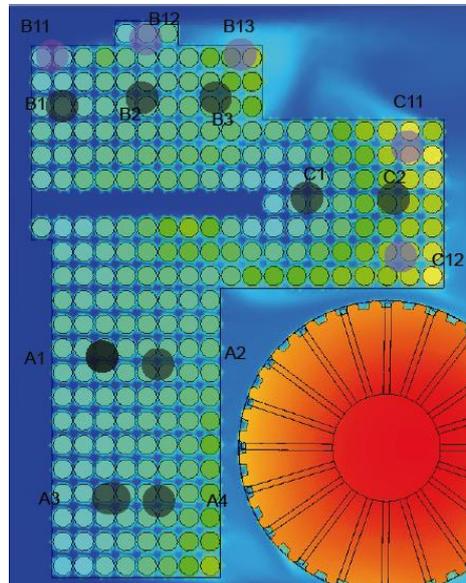


Ilustración 100: Posición sensores temperatura

La medición de estos sensores se realiza en el BMS Master, gracias a los 3 multiplexores que lleva incorporado.



# 3. Planos



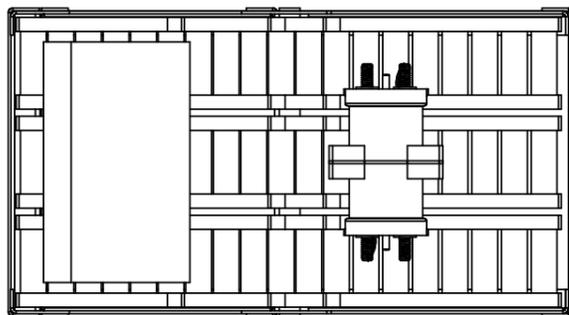
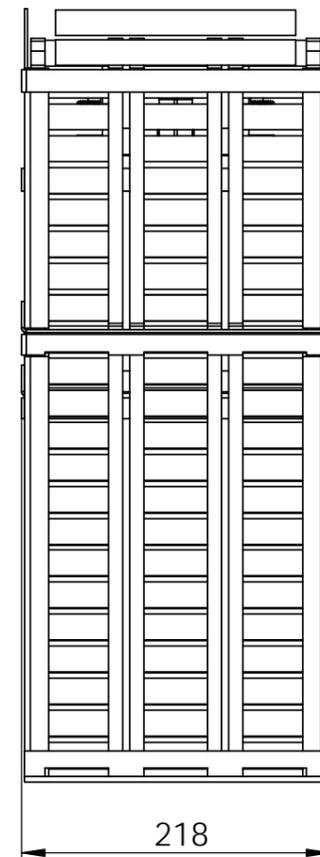
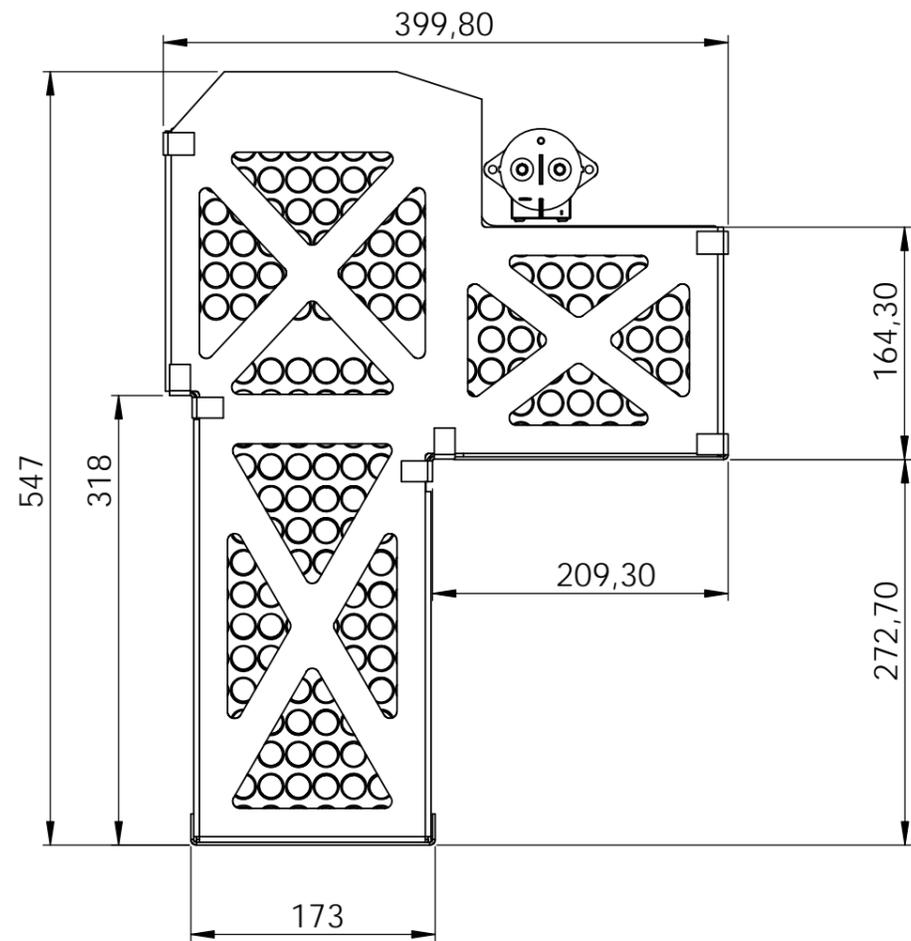
### 3. Planos

#### Índice Planos

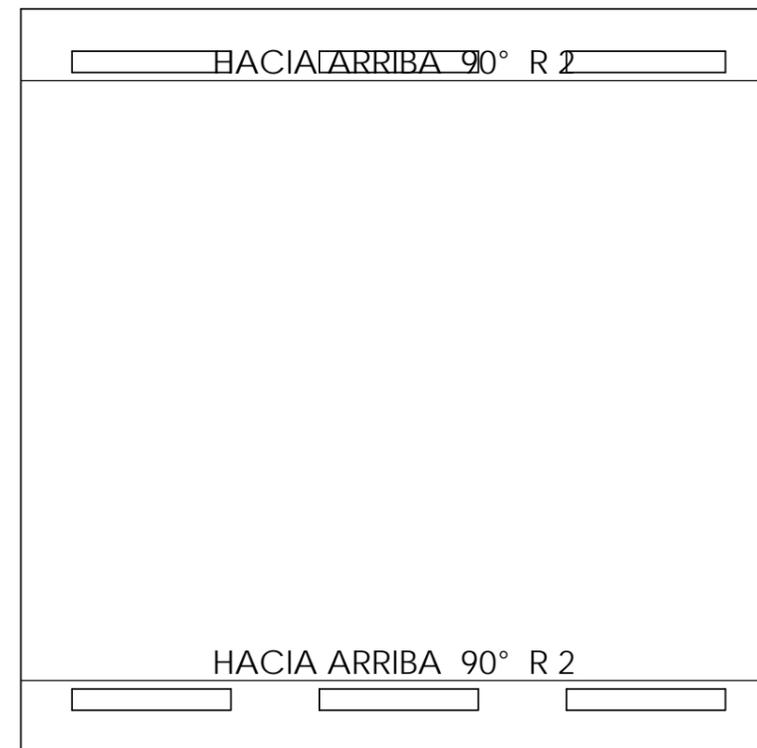
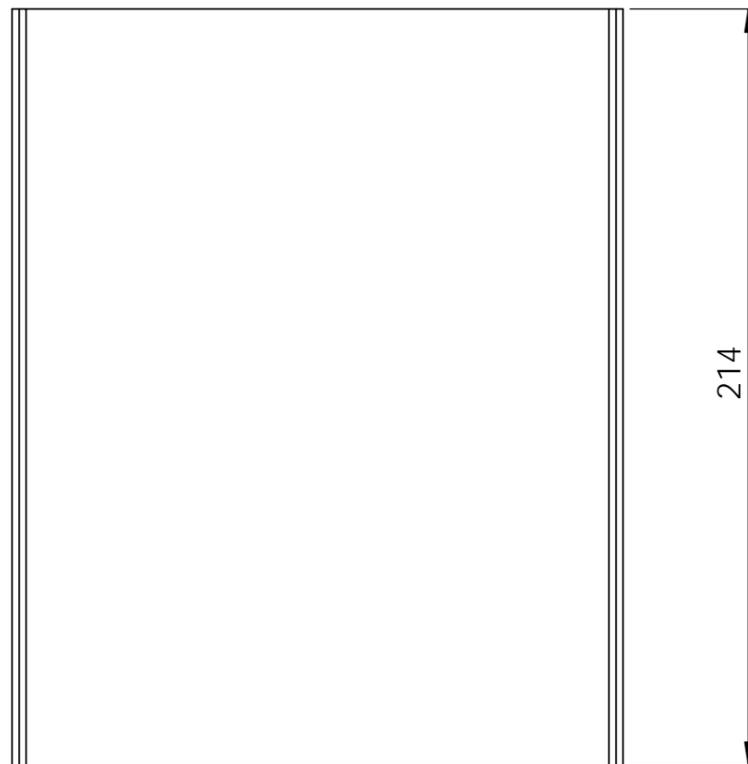
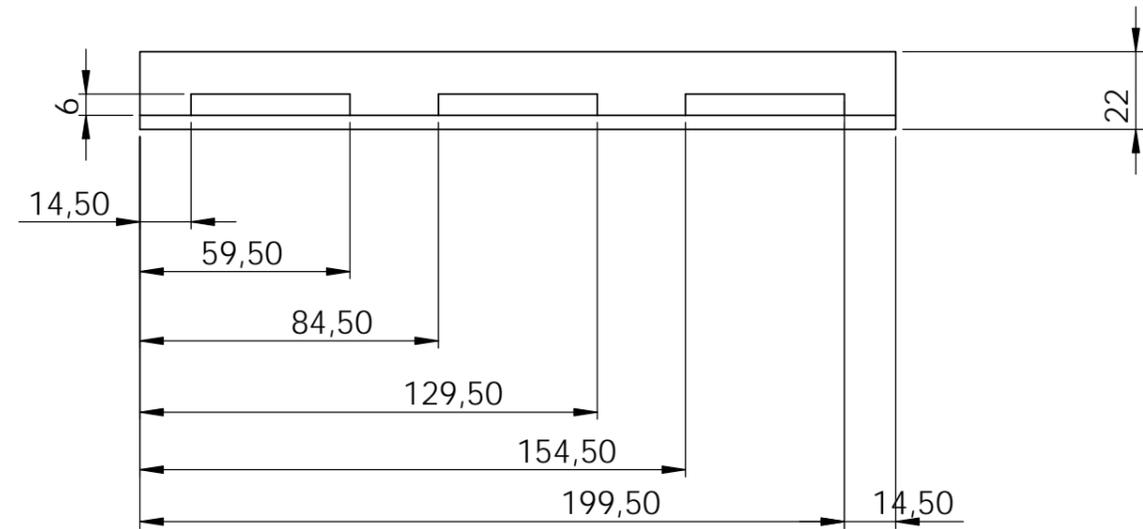
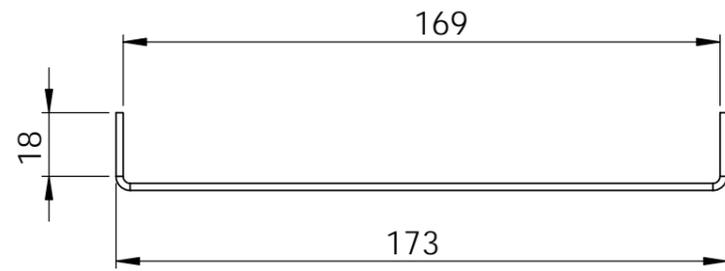
- Acumulador	0001
- Bandeja inferior	0002
- Bandeja superior	0003
- Lateral derecho	0004
- Lateral izquierdo	0005
- Refuerzo	0006
- Refuerzo simple	0007
- Soporte celdas	0008

#### Índice Esquemas eléctricos

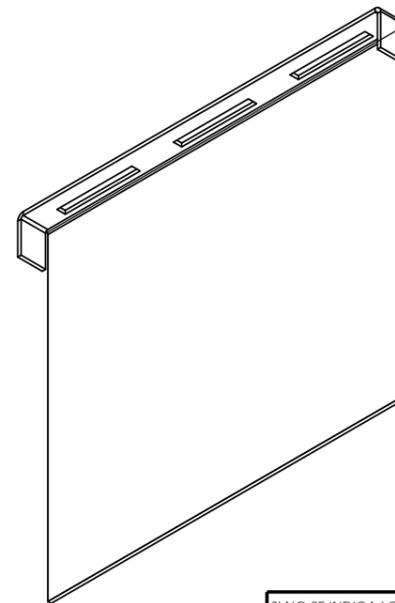
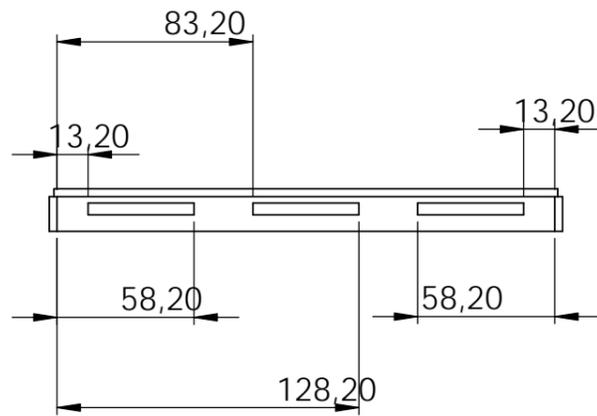
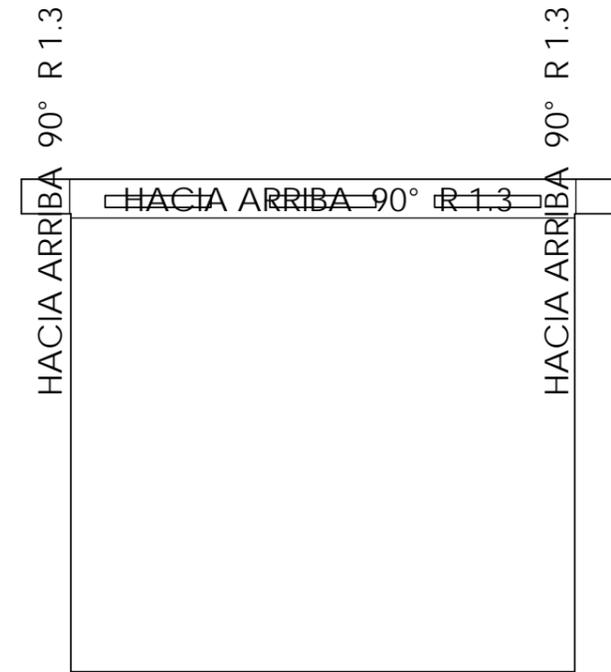
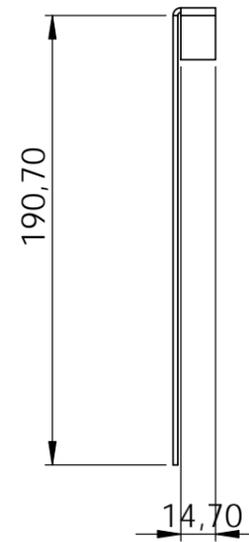
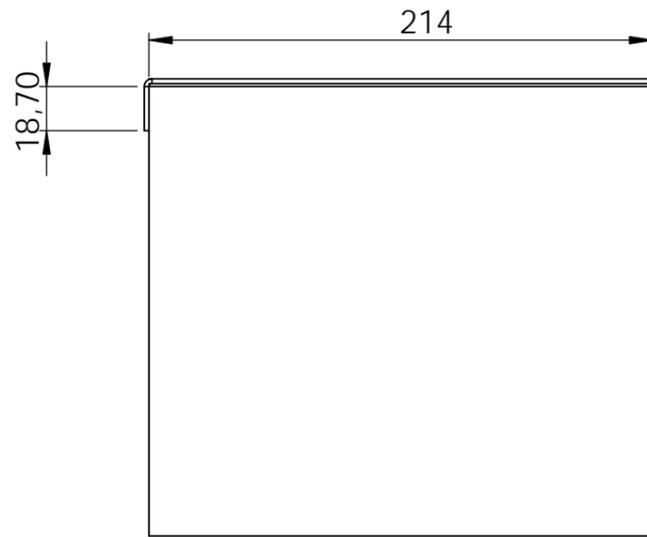
- Configuración 27 celdas en serie 28 en paralelo	0001
- Esquema eléctrico alta tensión	0002
- Esquema eléctrico BMS Master	0003



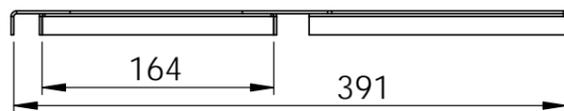
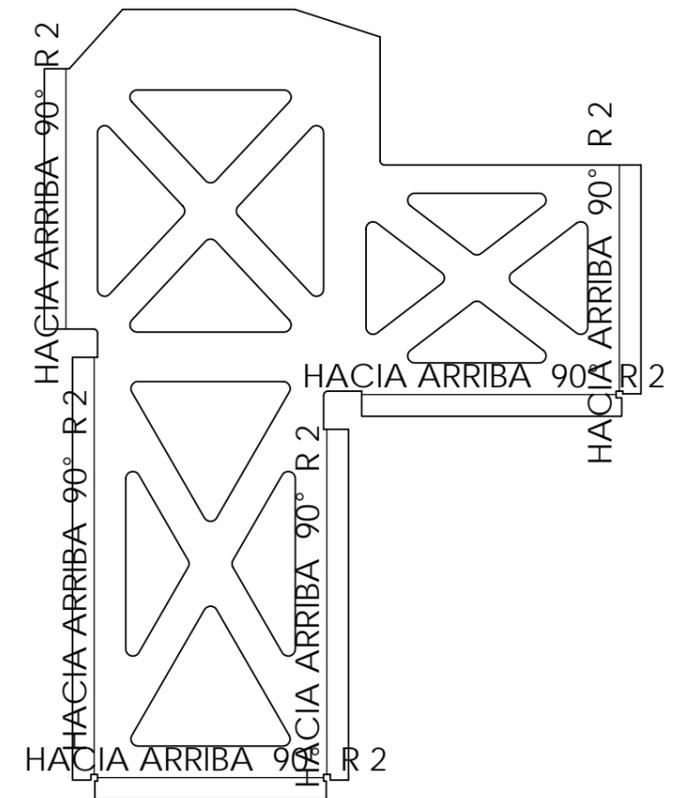
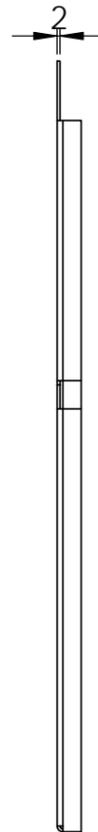
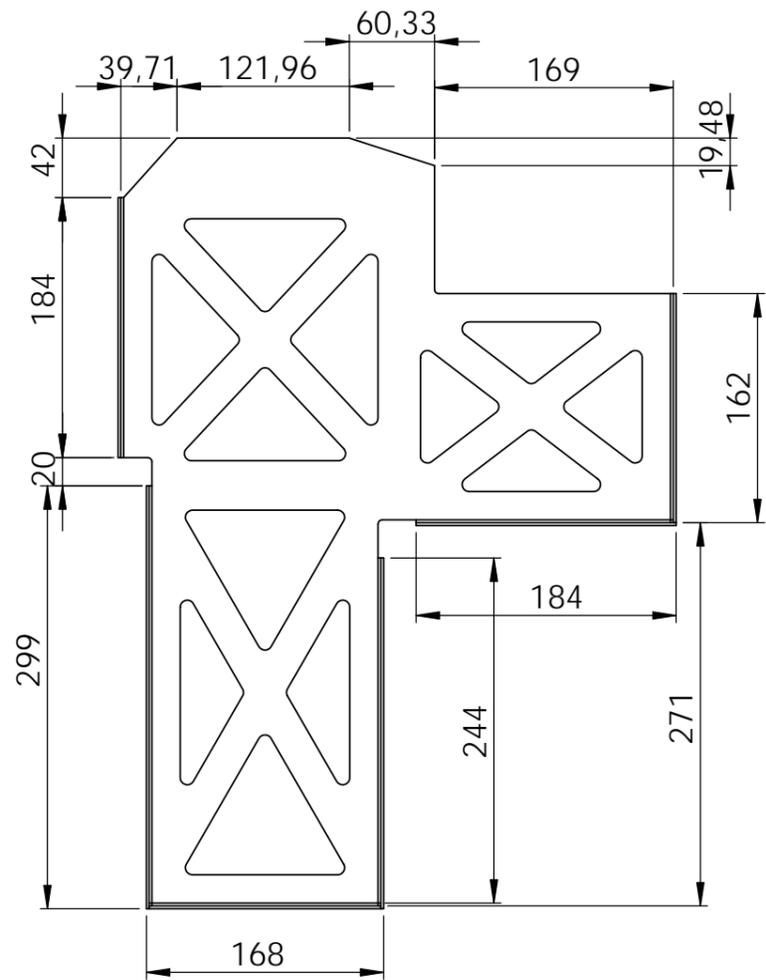
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								TITULO:  <h1>Acumulador</h1>							
DIBUJ.				NOMBRE		FIRMA						FECHA		N.º DE DIBUJO	
VERIF.				David Oliver								02/08/2016		Acumulador completo	
APROB.														A3	
FABR.														0001	
CALID.								MATERIAL:		ESCALA:1:5					
								PESO:		HOJA 1 DE 1					



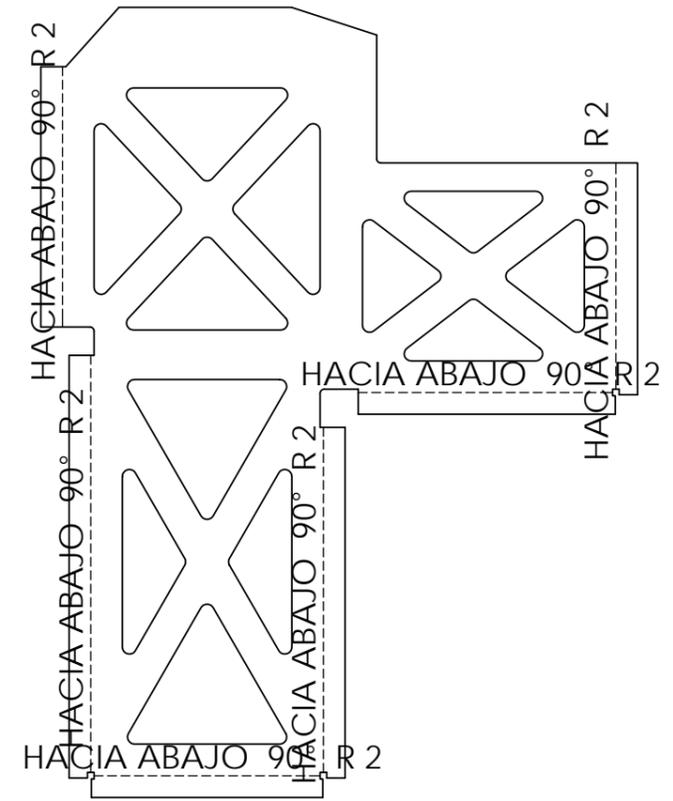
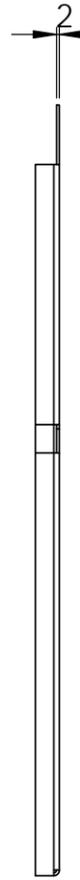
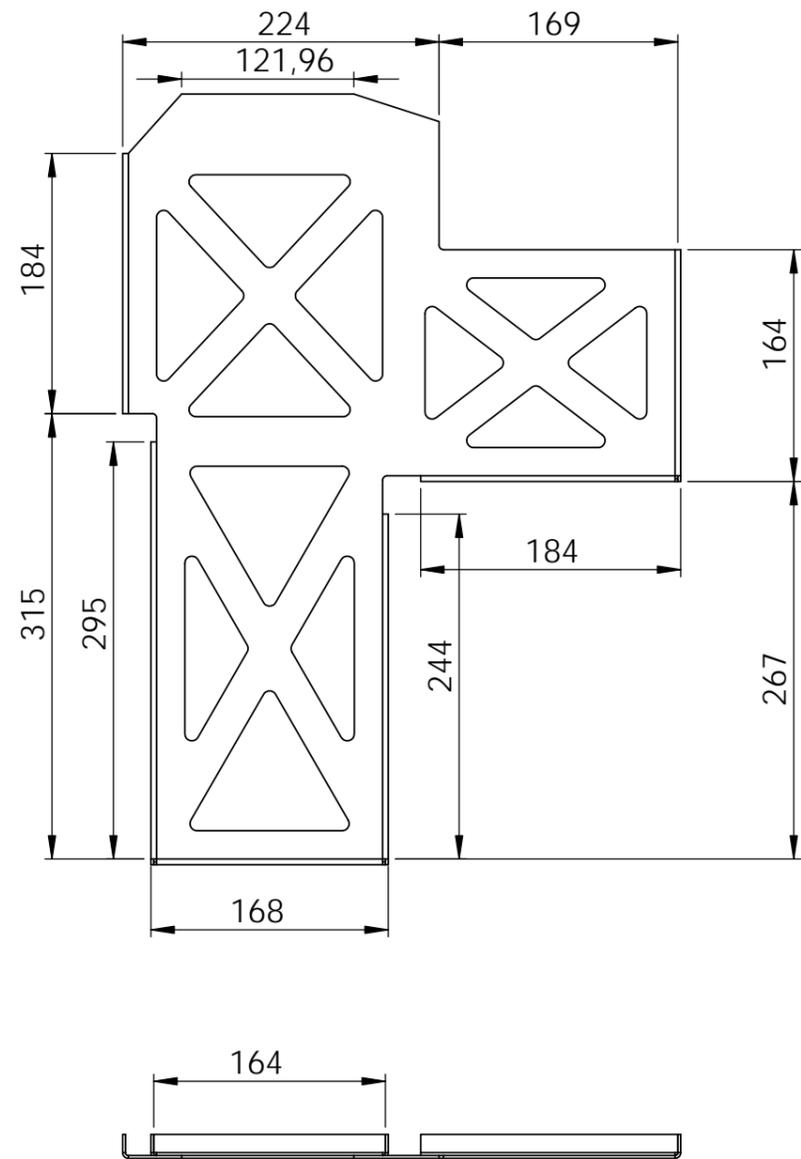
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								TITULO: <b>Bandeja inferior</b>							
DIBUJ.				NOMBRE		FIRMA						FECHA		N.º DE DIBUJO	
VERIF.				David Oliver								02/08/2016		Bandeja_caja	
APROB.														A3	
FABR.														0002	
CALID.										MATERIAL: Chapa Aluminio 2mm					
										PESO:					
										ESCALA:1:2					
										HOJA 1 DE 1					



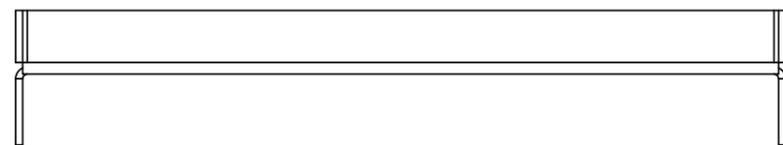
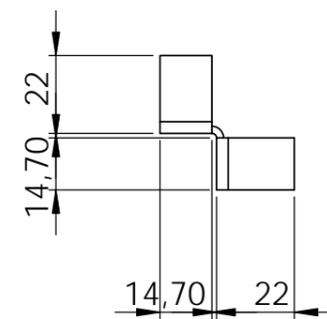
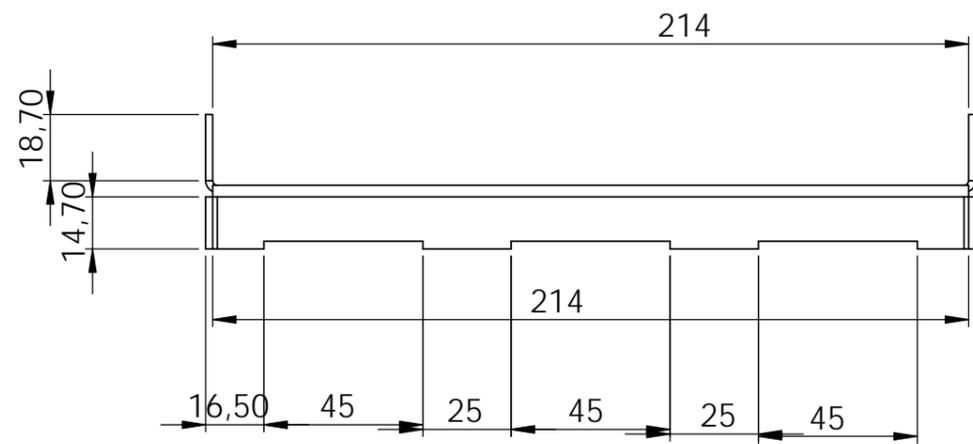
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
								TÍTULO: <b>Bandeja superior</b>			
DIBUJ. David Oliver				FIRMA		FECHA 02/08/2016		N.º DE DIBUJO <b>Bandeja_superior</b>			
VERIF.								A3			
APROB.								0003			
FABR.								MATERIAL: Chapa Aluminio 2mm			
CALID.								ESCALA:1:3			
						PESO:		HOJA 1 DE 1			



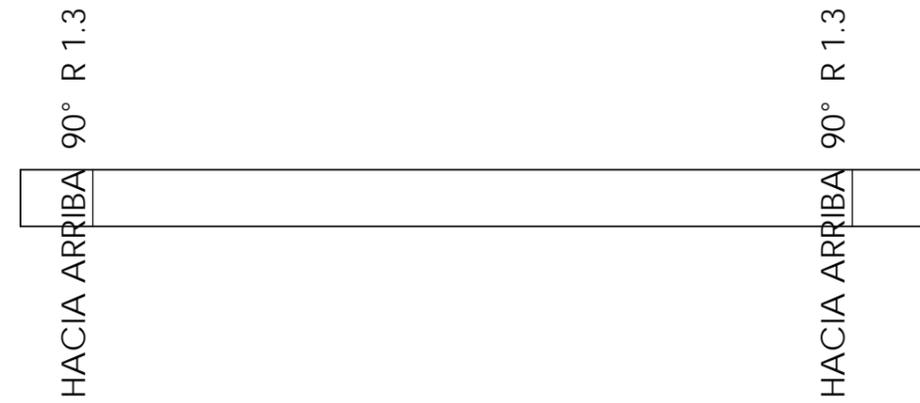
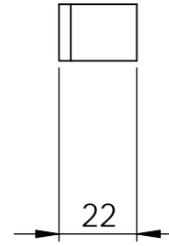
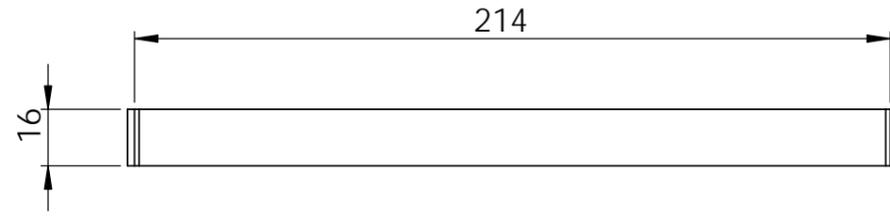
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								<b>TITULO:</b> <h1 style="text-align: center;">Lateral derecho</h1>							
DIBUJ.				NOMBRE		FIRMA						FECHA		N.º DE DIBUJO	
VERIF.				David Oliver								02/08/2016		Estructura_exterior_derecha_acumulador	
APROB.														A3	
FABR.														0004	
CALID.								MATERIAL:		ESCALA:1:5					
								Chapa Aluminio 2mm		HOJA 1 DE 1					
								PESO:							



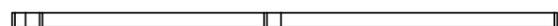
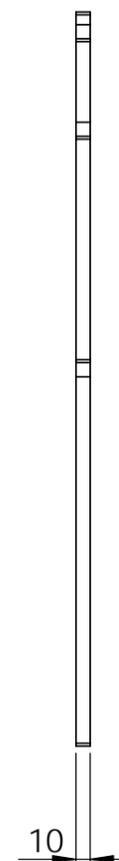
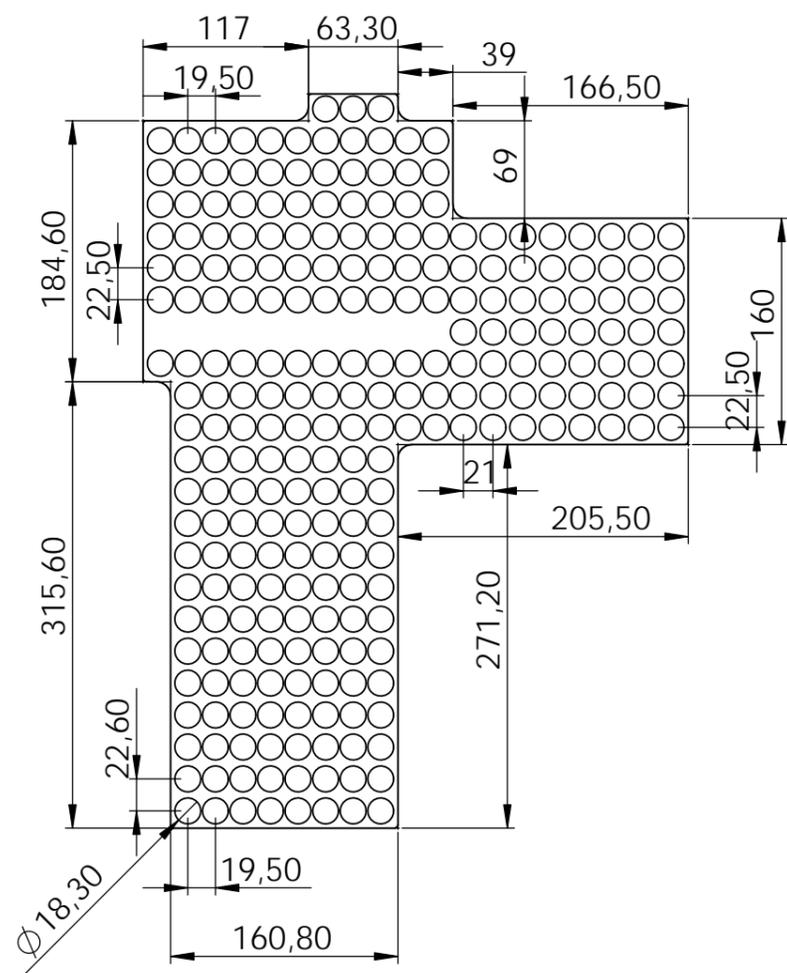
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								TITULO: <h1>Lateral Izquierdo</h1>							
DIBUJ. David Oliver				FIRMA		FECHA 02/08/2016									
VERIF.															
APROB.															
FABR.															
CALID.						MATERIAL: Chapa Aluminio 2mm		N.º DE DIBUJO Estructura_exterior_izquierda_acumulador		A3 0005					
						PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1					



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								TITULO:  <b>Refuerzo</b>							
DIBUJ.				NOMBRE		FIRMA						FECHA			
VERIF.															
APROB.															
FABR.															
CALID.								MATERIAL: Chapa Aluminio 2mm		N.º DE DIBUJO <b>Refuerzo_angulo</b>					
								PESO:		ESCALA: 1:2					
										HOJA 1 DE 1					
										A3 0006					

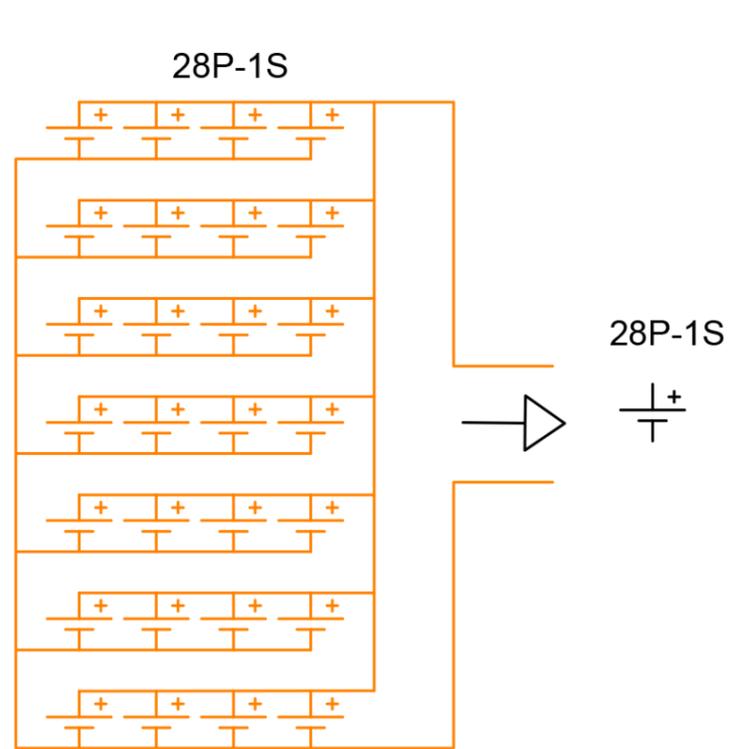


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN					
								TITULO: <b>Refuerzo simple</b>							
DIBUJ.				NOMBRE		FIRMA						FECHA		N.º DE DIBUJO	
VERIF.				David Oliver								02/08/2016		Refuerzo_simple	
APROB.														A3	
FABR.														0007	
CALID.								MATERIAL: Chapa Aluminio 2mm		ESCALA:1:2					
								PESO:		HOJA 1 DE 1					

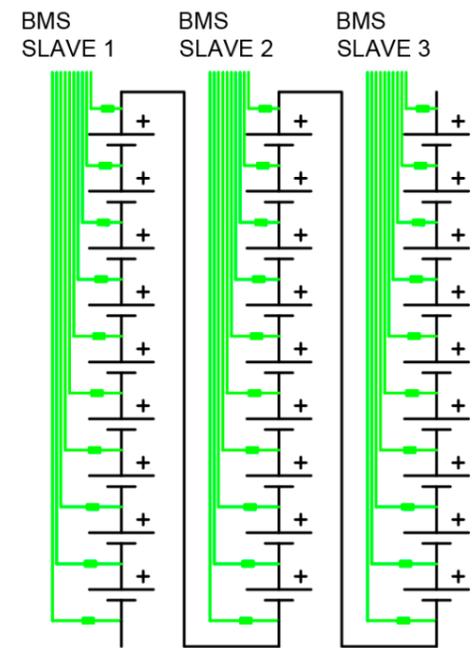


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:				ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN			
								<h1>Soporte celdas</h1>					
NOMBRE		FIRMA		FECHA								TÍTULO:	
DIBUJ.		David Oliver		29/06/2016									
VERIF.													
APROB.													
FABR.													
CALID.						MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A3			
						POM-C		Soporte_grande_canal_celdas_PIEZA		0008			
						PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1			

# 28P-27S



28P-9S 28P-9S 28P-9S



David Oliver Blasco

Sheet: /

File: configuracion\_acumulador

**Title:** Configuración 27s28p acumulador

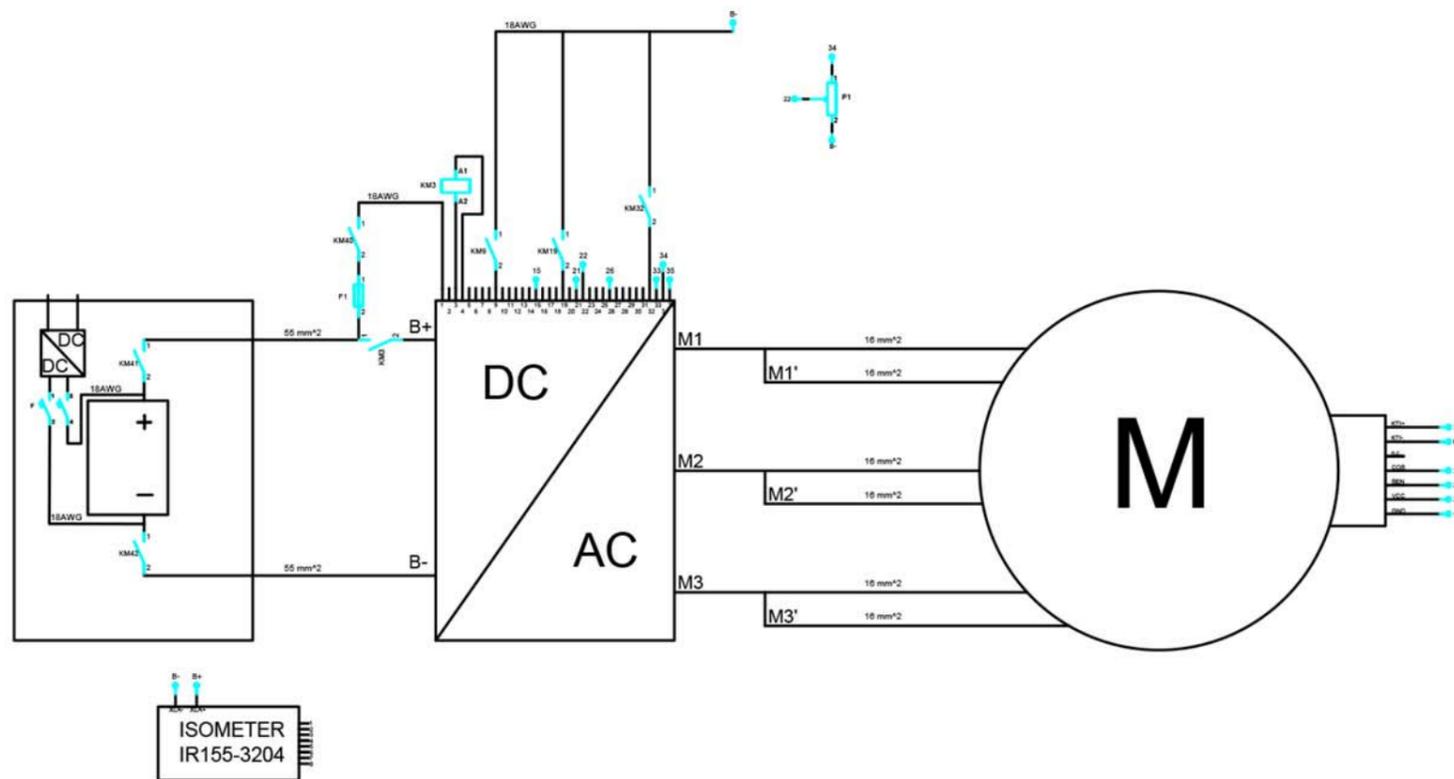
Size:

Date: 08/08/2016

**Rev:**

KiCad E.D.A. kicad 4.0.2-stable

Id: 0001



- KM41 Contactor +
- KM42 Contactor -
- KM3 Contactor de linea
- KM9 Contactor Mapa1
- KM19 Contactor de mando gas
- KM32 Contactor Mapa2
- KM40 Contactor llave de contacto
- F1 Fusible contacto
- P1 Potenciometro 1

David Oliver Blasco

Sheet: /  
File: HVS

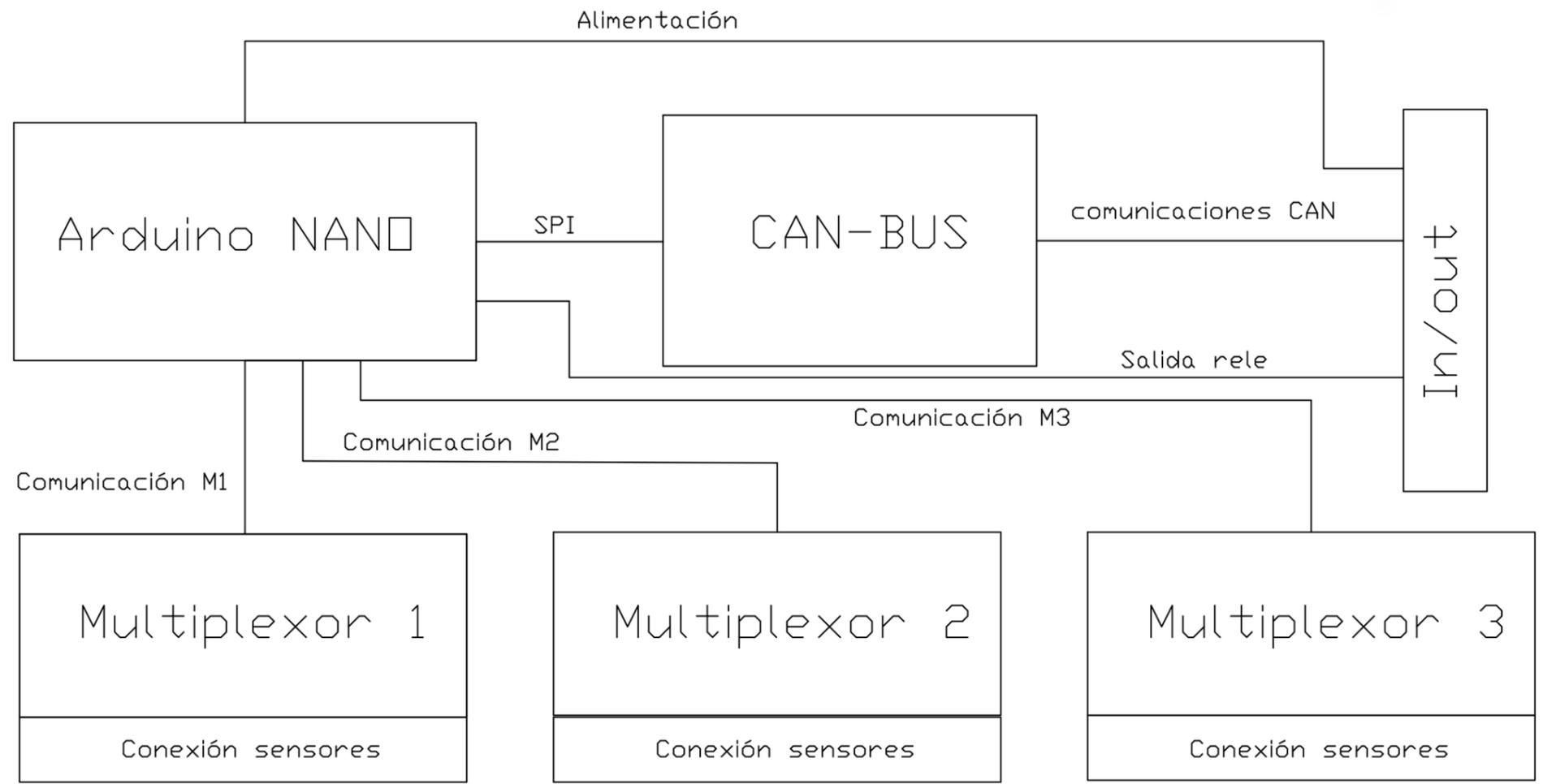
**Title:** Esquema eléctrico alta tensión

Size:

Date: 08/08/2016

Rev:

Id: 0002



David Oliver Blasco		
Sheet: /		
File: BMS_Master		
<b>Title:</b> Esquema eléctrico BMN Master		
Size:	Date: 08/08/2016	<b>Rev:</b>
		Id: 0003



# 4. Pliego de condiciones



## 4. Pliego de condiciones

Las condiciones que debe cumplir el acumulador para considerarse correcto y válido según este proyecto son las que aparecen en la normativa Motostudent 15/16. A continuación se detallan algunas de las más importantes o que necesiten aclaración.

Tal y como indica el punto D.1.1.1 de la normativa Motostudent 15/16 la tensión máxima del acumulador a plena carga deberá ser igual o inferior a 110 V. Se define el estado de plena carga como el momento en el que el cargador da por cargado el acumulador.

Según el punto D.3.5.2 de la normativa Motostudent 15/16 El BMS deberá leer la tensión de cada celda, para mantener las celdas dentro de los límites de tensión indicados por el fabricante. En este caso es más restrictivo el punto D.1.1.1, por lo que el BMS deberá mantener además de las celdas en su rango de tensión indicado por el fabricante, también se encargará de evitar que se superen los límites de tensión del acumulador completo.

El punto D.1.2.5 de la normativa Motostudent 15/16 indica que se debe mostrar mediante una pantalla la tensión del acumulador en el cuadro de instrumentos. Esta tensión debe ser medida después de los contactores, por lo que el cableado encargado de tomar esta medida se conectará a la parte más exterior de los contactores de forma que con los contactores abiertos la tensión leída sea 0 V.

El acumulador forma parte del sistema de alta tensión, y los BMS pueden trabajar a baja tensión. Como indica el punto D.1.4 de la normativa Motostudent 15/16, el sistema de alta tensión y baja tensión deben estar aislados galvánicamente, por lo tanto, el BMS utilizado debe tener la parte de baja tensión aislada galvánicamente de la de alta tensión.

La caja del acumulador debe contener todo el acumulador completo, por lo tanto ningún elemento del acumulador podrá instalarse fuera de esta caja.

La unión entre bornes de celdas está regulada por el punto D.3.3.5, por lo tanto, el método utilizado de soldadura, en caso de ser diferente al detallado en este proyecto, se deberá asegurar que se cumple esta norma.

El acumulador necesita de refrigeración para funcionar correctamente, por lo que se deberá asegurar un correcto flujo de aire por el interior del acumulador, así como evitar que otras partes de la motocicleta dificulten esta circulación de aire.



Las dimensiones del acumulador vienen ligadas con las del chasis para el que se ha diseñado, por lo que no se podrá modificar ninguna cota del acumulador, siendo como máximo aceptable una tolerancia de 3mm.

El acumulador tiene un peso de 48,7 kg, lo cual es un tercio del peso de la motocicleta, por este motivo se deberá respetar la geometría y la distribución de pesos, ya que una variación en esta podría desestabilizar el conjunto completo.

La protección IP del acumulador es IP22 se deberá asegurar que todo el cableado que entre o salga del acumulador garantice como mínimo esta protección.





# 5. Presupuesto



## 5. Presupuesto

En este apartado se detalla el presupuesto necesario para llevar a cabo este prototipo de acumulador de celdas de litio para una motocicleta de competición.

El presupuesto se divide en costes de material, costes de equipos y mano de obra.

### 5.1. Coste materiales

Concepto	Precio	Unidades	Coste
Celda LG MH118650	4,21 €	756	3.182,76 €
Soporte celdas	56,71 €	6	340,28 €
Rollo 200m Tiras níquel 0,15mm x 10mm	121,60 €	1	121,60 €
Bobina cable 30m BMS 28AWG	11,05 €	1	11,05 €
Bobina estaño 2mm 200g	6,75 €	2	13,50 €
Bobina estaño 1mm 100g	5,00 €	2	10,00 €
Cinta doble cara 3M	5,66 €	1	5,66 €
Cinta reforzada con hilos de fibra 15mm	12,35 €	1	12,35 €
Rollo 200m Tira cobre estañado	110,00 €	1	110,00 €
Caja chapa plegada aluminio 2mm	112,00 €	1	112,00 €
Rollo cinta aislante negra	3,21 €	4	12,84 €
Rollo cinta americana negra	6,00 €	1	6,00 €
ZEVA BMS12	95,23 €	3	285,69 €
Fusible cableado BMS	0,25 €	30	7,50 €
Arduino NANO	20,27 €	1	20,27 €
Multiplexor Analógico	3,44 €	3	10,32 €
Modulo comunicaciones CAN	8,00 €	1	8,00 €
Termistores NTC 100k	0,12 €	48	5,76 €
Cableado Termistores	0,23 €	48	11,04 €
Placa pcb para soldar	7,00 €	1	7,00 €
Bornes y terminales para pcb	5,00 €	8	40,00 €
Panel de fibra de vidrio con aislante	14,00 €	4	56,00 €
Relé EV200 KILOVAC	241,00 €	2	482,00 €
Fusible 550A	28,00 €	1	28,00 €
Tornillería para unión entre bornes	25,00 €	1	25,00 €
Terminales para bornes	2,00 €	12	24,00 €
Cableado 6AWG bornes	2,68 €	3,6	9,65 €
Herramientas variadas	123,00 €	1	123,00 €
Equipos de protección individual	48,00 €	1	48,00 €
<b>Total</b>			<b>5.129,26 €</b>



## 5.2. Coste equipos

El precio de los equipos es integro, para un prototipo o una producción en serie este coste no se aplicaría a cada unidad si no que se aplicaría la parte proporcional a la amortización.

Concepto	Precio	Unidades	Coste
Soldador por puntos 709	274,25 €	1	274,25 €
Soldador estaño	150,00 €	1	150,00 €
Multímetro	20,00 €	1	20,00 €
Util soldador por puntos	45,00 €	1	45,00 €
Fuente de laboratorio 10 A 30 V	75,25 €	1	75,25 €
Carga electrónica 50A 60V (300W)	568,24 €	1	568,24 €
Carga electrónica 50A 400V (7kW)	4.584,00 €	1	4.584,00 €
Cargador Ingeteam 3kW	1.780,00 €	1	1.780,00 €
Banco pruebas BMS	148,00 €	1	148,00 €
Banco pruebas Celdas	143,20 €	1	143,20 €
<b>Total</b>			<b>7.807,94 €</b>

## 5.3. Coste mano de obra

La mano de obra se divide en 3 tipos diferentes:

- Mano de obra de diseño, se incluye todo el trabajo de diseño y selección de componentes del acumulador, con una duración de 3 meses.
- Mano de obra de fabricación, en este coste se representa los 2 meses de trabajo de un operario.
- Mano de obra de validación, tiene una duración de 1 mes y se corresponde con las tareas de validación y verificación del acumulador una vez fabricado.

Concepto	Precio	Horas	Coste
Mano de obra diseño	13,00 €	480	6.240,00 €
Mano de obra fabricación	8,00 €	320	2.560,00 €
Mano de obra validación	13,00 €	160	2.080,00 €
<b>Total</b>			<b>10.880,00 €</b>





# 6. Bibliografía



## 6. Bibliografía

Para la realización de este proyecto se han utilizado las siguientes fuentes de información.

- Davide Andrea (2010), Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs
- Ilustración 3: Grafico comparativo celdas (2016, N160), Litio-ion, una realidad en el almacenamiento de energía eléctrica. Recuperado de <http://www.energetica21.com/>
- Paul Craig (1999), Battery Pack Safety. Recuperado de <http://smartbattery.org/>
- Ilustración 8: Unión por soldadura mediante estaño. Recuperado de [electricsamba.com](http://electricsamba.com)
- Ilustración 34: BMS Distribuido. Recuperado de [www.svfullmonty.com](http://www.svfullmonty.com)
- BU-205: Types of Lithium-ion. Recuperado de <http://batteryuniversity.com>
- Normativa Motostudent 15/16. Disponible en parte en el Anexo 2.2: Normativa Motostudent 15/16 y en versión completa en la web [www.motostudent.com](http://www.motostudent.com)