



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

DISEÑO DE LA BATERÍA PRINCIPAL DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO DE 110 KW Y 15 KWH CON BMS, CARACTERIZACIÓN DE LAS CELDAS Y SISTEMA DE CONTROL DE ENERGÍA.

TRABAJO FINAL DEL

Grado en Ingeniería Eléctrica



REALIZADO POR

Javier Collado García

TUTORIZADO POR

**Raúl González Medina
Pedro Llovera Segovia**



CURSO ACADÉMICO: 2020/2021

Resumen

Los vehículos eléctricos están experimentando un auge en el mercado durante esta última década. Actualmente observamos una clara tendencia al desuso de los vehículos con motores diésel que se sustituyen por vehículos híbridos. De cara al futuro se prevé que la gran parte del parque móvil a nivel mundial sea de tracción eléctrica. Es por esta razón que el objetivo de este trabajo no es más que entender el diseño y funcionamiento de estos vehículos. Al mismo tiempo que arrojar un poco más de luz en el desarrollo de estos componentes

El trabajo consistirá en el diseño y validación de una batería para un vehículo eléctrico que se está fabricando en la UPV. El vehículo forma parte de un proyecto denominado WattmobileUPV. El objetivo del proyecto es verificar la viabilidad de convertir coches de combustión a eléctricos.

El TFG contiene una caracterización de celdas de iones de litio para escoger el modelo que mejor se adapte a los requisitos del vehículo. Un estudio del arte de los BMS con el cual escogeremos un modelo en el mercado que mejor se adecue a las necesidades del proyecto. Por último, el diseño y fabricación de un sistema de control de energía. Cuyas funciones son poder abrir y cerrar la conexión entre la batería de alto voltaje del vehículo con el resto del coche. Poder medir en todo momento la corriente que está circulando por la batería. Poder abrir el circuito en caso de fallo. Otra de sus funciones es la precarga del variador de frecuencia que incorporan los vehículos con tracción eléctrica.

Palabras clave: Li-ion, lipo, competición, batería, WattmobileUPV, LCO, NMC, NCA, LMO LFP, LTO, BMS, EV-CAR.

Contenido

Resumen	1
Lista de ilustraciones	6
Lista de abreviaturas	9
1.Introducción	10
1.1. Justificación del trabajo y contexto	10
1.2. Objetivos del trabajo	12
1.3. Metodología para seguir.....	14
2. Estudio Previo.....	16
2.1.1. Tipos de conexiones	20
2.1.2. Tasa de carga y descarga.....	22
2.1.3. Ciclos de vida.....	23
2.1.4. Resistencia interna	24
2.1.5. Modelos celdas	26
2.1.1.1. LCO.....	27
2.1.1.2. LMO	28
2.1.1.3. NMC.....	29
2.1.1.4. LFP.....	30
2.1.1.5. NCA.....	31
2.1.1.6. LTO.....	32
2.1.2. Modelos químicos seleccionados.....	33
2.2. BMS	34
2.2.1. Estructura de un BMS.....	36
2.2.2. Topologías de los BMS	38
2.2.2.1 Centralizado.....	38
2.2.2.2. Topología distribuida.....	39

2.2.2.3. Comparación de topologías.....	40
2.2.3. Funciones del BMS	41
2.2.3.1 Balanceo	42
2.2.3.2. SOC	44
2.2.3.3. Cálculo del SOC.....	46
2.2.3.4. SOH	47
2.2.3.5. Cálculo del SOH.....	48
2.3. BEC	50
3. Diseño de la batería.....	54
3.1.1. Molicel P42A.....	60
3.1.2. Samsung INR21700-40T	61
3.1.3. Panasonic NCR2070C	62
3.2. Modelos de baterías obtenidos	63
3.2.1. Molicel P42A.....	63
3.2.3. Panasonic NCR2070C	67
3.3. Celda seleccionada.....	69
3.4. Resultados experimentales de las celdas	70
3.4.1. Ciclado	70
3.4.2. Resistencia interna y capacidad	72
3.5. Conclusiones	75
4. Selección del BMS.....	76
4.1. Estudio de mercado	77
4.2. BMS seleccionado	81
4.3. Resultados experimentales del BMS	83
4.3.1. Test de carga	83
4.3.2. Test de descarga.....	85

4.3.3. Test de temperatura	87
4.4. Conclusiones	90
5. Diseño y validación del BEC.....	91
5.1. Diseño Eléctrico	92
5.2. Selección de componentes	94
5.2.1. Contactor NA.....	95
5.2.2. Resistencia de precarga	95
5.2.3. Sensor de corriente	96
5.2.12.1. Programación del sensor de corriente	97
5.3. Validación de funcionamiento del BEC.....	99
6. Presupuesto.....	102
6.1. Componentes.....	102
6.1.1. Celdas	102
6.1.2. BMS	102
6.1.3. BEC.....	102
6.2. Herramientas	103
6.3. Horas de trabajo	103
6.4. Costes totales.....	104
7. Conclusiones.....	105
8. Futuros trabajos.....	106
Referencias	107
Pliego de condiciones	109
1. Objeto	110
2. Condiciones de los materiales	110
3. Condiciones de la ejecución.....	111
4. Pruebas y ajustes finales o de servicio.	112

Anexos 113

Planos ¡Error! Marcador no definido.

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Sinóptico batería y motor coche eléctrico	16
Ilustración 2 Emrax 228 (Emrax, 2021).....	16
Ilustración 3 Prototipo mini copper eléctrico (Rich Rebuilds, 2021)	18
Ilustración 4 Prototipo de QEV (QEV, 2021).....	18
Ilustración 5 Componentes de las celdas de litio (howstuffworks)	19
Ilustración 6 Conexión de celdas en serie [3].....	20
Ilustración 7 Conexión de celdas en paralelo [3]	20
Ilustración 8 Celda con una quemadura superficial	21
Ilustración 9 Ejemplo Resistencia interna	24
Ilustración 10 LCO (batteryuniversity, 2021).....	27
Ilustración 11 LMO (batteryuniversity, 2021)	28
Ilustración 12 NMC (batteryuniversity, 2021).....	29
Ilustración 13 LFP (batteryuniversity, 2021)	30
Ilustración 14 NCA (batteryuniversity, 2021)	31
Ilustración 15 LTO (batteryuniversity, 2021).....	32
Ilustración 16 BMS Centralizado	36
Ilustración 17 BMS Centralizado, (Orion BMS, 2021).....	38
Ilustración 18 BMS Distribuido (Batrium, 2021).....	39
Ilustración 19 Desbalanceo en 4 celdas (blog.ampow, 2021).....	42
Ilustración 20 Curva del SOC vs Tensión (MDPI, 2021)	44
Ilustración 21 SOH de un vehículo (myvwgolf, 2021)	45
Ilustración 22 BEC	50
Ilustración 23 Batería Ford Mondeo híbrido (ebay, 2021).....	50
Ilustración 24 Contactor	51
Ilustración 25 Sensor de Corriente	51
Ilustración 26 Resistencia Precarga	52
Ilustración 27 Fusible.....	53
Ilustración 28 Condensadores	53
Ilustración 29 LYGTE (LYGTE, 2021).....	58
Ilustración 30 Base de datos en Google Drive.....	59

Ilustración 31 Secondlifestorage (Secondlifestorage 2021).....	59
Ilustración 32 Megacellmonitor (Megacellmonitor, 2021).....	59
Ilustración 33 Molicel P42A (team-legit, 2021).....	60
Ilustración 34 Molicel P42A fiche técnica.....	60
Ilustración 35 Samsung INR21700-40T (lygte-info, 2021).....	61
Ilustración 36 Samsung INR21700-40T ficha técnica	61
Ilustración 37 Panasonic NCR2070C.....	62
Ilustración 38 Panasonic NCR2070C ficha técnica.....	62
Ilustración 39 IMAX B6AC.....	70
Ilustración 40 Valores de la capacidad de las celdas durante 200 ciclos	71
Ilustración 41 Gráfica variación de la resistencia interna	73
Ilustración 42 Gráfica variación de la capacidad de las celdas.....	74
Ilustración 43 liionBMS panel de búsqueda (liionBMS, 2021)	77
Ilustración 44 Orion Jr 2 BMS (OrionBMS, 2021)	78
Ilustración 45 Ficha técnica Orion Jr 2 BMS (OrionBMS, 2021)	78
Ilustración 46 REC BMS Q (RECBMS, 2021).....	79
Ilustración 47 Ficha técnica REC BMS Q (RECBMS, 2021)	79
Ilustración 48 Daly 13s BMS 300A (DALYBMS, 2021).....	80
Ilustración 49 Ficha técnica BMS Daly (DALYBMS, 2021).....	81
Ilustración 50 BMS Daly Cableado.....	82
Ilustración 51 Integración de un BMS Daly	82
Ilustración 52 Cargador batería NMC 13S	83
Ilustración 53 Esquema del circuito de descarga	85
Ilustración 54 Materiales empleados en el ensayo.....	87
Ilustración 55 multímetro con termopar.....	88
Ilustración 56 Esquema eléctrico BEC	92
Ilustración 57 Contactor NA	95
Ilustración 58 Resistencia de precarga.....	95
Ilustración 60 Sensor de corriente	96
Ilustración 61 Gráfica relación entre la intensidad y la tensión del sensor de corriente	97
Ilustración 62 Código del sensor de corriente.....	98

Lista de tablas

Tabla 1 Tasa de descarga	22
Tabla 2 Características LCO [3]	27
Tabla 3 Características LMO [3]	28
Tabla 4 Características NMC [3]	29
Tabla 5 Características LFP [3]	30
Tabla 6 Características NCA [3].....	31
Tabla 7 Características LTO [3]	32
Tabla 8 características celdas y batería	54
Tabla 9 características batería	55
Tabla 10 características celdas Molicel P42A	63
Tabla 11 características batería Molicel P42A.....	64
Tabla 12 características celdas Samsung INR21700-40T.....	65
Tabla 13 características batería Samsung INR21700-40T	66
Tabla 14 características celdas Panasonic NCR2070C	67
Tabla 15 características batería Panasonic NCR2070C	68
Tabla 16 Variación de la resistencia interna.....	72
Tabla 17 Capacidad de las celdas	74
Tabla 18 Tensión de las celdas	84
Tabla 19 Resultados del ensayo	85
Tabla 20 tensiones de las celdas descargadas	86
Tabla 21 Temperatura ambiente en el contenedor	88
Tabla 22 tensiones de las celdas descargadas	89
Tabla 23 Componentes BEC.....	94
Tabla 24 Consumos BEC	99

Lista de abreviaturas

BMS Battery Management System

BEC Battery Eliminator Circuit

LCO Lithium-Cobalt-Oxide

LMO Lithium Manganese Oxide

LFP Lithium Iron Phosphate

NMC Nickel-Manganese-Cobalt

NCA Nickel-Cobalt-Alumin

LTO Lithium Titanate

SOC State of Charge

SOH State of Health

1.Introducción

1.1. Justificación del trabajo y contexto

Este trabajo surge a raíz del proyecto WattmobileUPV y de las prácticas realizadas en la empresa ITERA mobility engineering (en adelante, ITERA). El proyecto WattmobileUPV tiene como objetivo la conversión de cualquier vehículo de combustión a eléctrico. Para ello, uno de los elementos esenciales es la batería. Esta, juega un papel muy importante, ya que es un elemento indispensable, como podrían ser el motor o las ruedas del vehículo.

La competición en la que participa WattmobileUPV es el Campeonato de España de Montaña. Esta modalidad de rally se encuentra dentro de las competiciones oficiales de la Real Federación Española de Automovilismo. Para poder participar se han de tener en cuenta las distintas características que le distinguen. En primer lugar, es considerado un requisito esencial que el vehículo cuente con cuatro ruedas. Por otro lado, estos automóviles deben ser puestos en práctica en carreteras de montaña. Dichas carreteras suelen ser de muchas curvas y con una pendiente ascendente pronunciada. Además, cabe destacar que, durante las pruebas únicamente se permite el tránsito de los participantes.

Los retos con los que nos topamos son: el coste de la batería, el espacio que ocupa y sus características eléctricas. El mayor desafío, es el alto valor monetario de las baterías para vehículos eléctricos. En el mercado español no encontramos una gran variedad de productos relacionados con baterías para coches de este estilo. En cambio, sí podemos encontrar piezas procedentes de vehículos siniestrados en desguaces. Aun así, el precio de cualquier batería de un coche desguazado es superior a los 10.000€. Si a este dato le añadimos que no nos pueden asegurar su correcto funcionamiento, ni su estado de salud, nos encontramos ante una gran incertidumbre respecto al estado del material que podemos adquirir.

El siguiente condicionante, es la adaptabilidad del espacio de la batería. En el caso de WattmobileUPV contamos con un FORD KA. Este vehículo compacto se diseñó para un ambiente urbano, donde el espacio es muy reducido. Por lo que se refiere a las dimensiones del coche, son 3.62m X 1.65m [1]. Con estas dimensiones tan reducidas, no se podría instalar ninguna batería de un vehículo actual. Nosotros planteamos una solución, fabricar nuestra propia batería.

La última cuestión, son las necesidades eléctricas de nuestro motor. Hoy en día, en el mercado no se encuentra a ningún fabricante de baterías a medida, de pequeña o mediana escala. Solo los fabricantes de vehículos eléctricos o sus proveedores, están fabricando baterías diseñadas para aplicaciones de movilidad eléctrica. De esta forma, nosotros hemos diseñado la batería para obtener las máximas prestaciones del motor. Nuestra batería partía de la ficha técnica del fabricante de la unidad de potencia. Desde este punto, teníamos que acercarnos lo máximo posible a 670V en corriente continua.

Por último, tenemos que destacar el importante papel de ITERA en este trabajo. Durante el segundo cuatrimestre del curso 20/21, he estado realizando las prácticas curriculares en ITERA. Mi labor ha sido colaborar en el consorcio de cinco empresas para diseñar una batería de un vehículo eléctrico. Principalmente, el trabajo ha estado enfocado en vehículos híbridos. Mi empresa tenía la labor de diseñar el BMS maestro de la batería. Durante este tiempo, he podido profundizar en las funciones de los BMS, tanto conociendo sus distintos tipos, como saber cuándo utilizar cada tipo de BMS dependiendo de las aplicaciones de la batería.

1.2. Objetivos del trabajo

El objetivo final del trabajo es escoger un modelo de celda en el mercado, escoger un modelo de sistema de gestión de la batería (en adelante, BMS) en el mercado y fabricar un módulo de control de energía (en adelante, BEC) para la batería que utilizaremos en el proyecto de WattmobileUPV.

Las celdas entre las que vamos a escoger para realizar el estudio serán de ion de litio. Ya que observamos un claro uso de los distintos tipos de celdas de litio por parte de los fabricantes de baterías de automoción. De este modo, debemos escoger un modelo de química que se mejor se adapte a nuestras necesidades. Actualmente contamos con diversas celdas de litio: óxido de cobalto y litio (LCO), níquel manganeso y cobalto (NMC), níquel cobalto y aluminio (NCA), óxido de litio y manganeso (LMO), litio ferroso (LFP), titanato de litio (LTO). El objetivo final es obtener una celda con la capacidad, potencia y tensión más ajustados a nuestras necesidades. Si por ejemplo el motor consume 10Ah por cada 100km y queremos recorrer 500km entonces necesitamos una batería que se ajuste lo máximo posible a los 50Ah. Lo mismo ocurre con la tensión de la batería en su conjunto y de la intensidad de descarga.

El BMS lo pensamos comprar por lo que la parte de diseño no se incluye en este trabajo. El objetivo es encontrar un modelo de BMS que se ajuste a dos parámetros: seguridad y coste. Cuando nos referimos a seguridad englobamos a la capacidad de control del BMS sobre las celdas. Necesitamos un BMS capaz de controlar la temperatura de las celdas, la corriente de funcionamiento y la tensión de las celdas máxima y mínima. Con el control sobre estos parámetros consideramos que el riesgo de fallo es bajo. Pero, si el BMS incluye más prestaciones estas serán utilizadas para mejorar la seguridad de la batería.

El último objetivo es el diseño y fabricación del módulo de control de la energía. Queremos fabricar un módulo integrado en la batería capaz de energizar el coche. Al mismo tiempo que desconectar el coche en caso de emergencia o impacto. Este módulo también debe realizar la precarga del variador de frecuencia y medir la corriente que circula por la batería.

1.3. Metodología para seguir

La metodología para seguir en los tres puntos principales es similar. Comenzamos con un estudio del arte de cada componente: celdas, BMS, Módulo de energía. El siguiente paso es en algún caso la fabricación o la adquisición del material deseado.

En primer lugar, debemos estudiar las diferentes químicas disponibles. Seguidamente, debemos realizar un estudio de mercado para escoger varias celdas que cumplan con todas nuestras necesidades. Así mismo, debemos considerar la disponibilidad de celdas, el tiempo de entrega y el coste que supone el producto. Po, realizaremos una validación y testeo de las celdas seleccionadas para corroborar que los datos de las fichas técnicas coinciden con el entorno de trabajo que nosotros estaremos. Este paso lo realizamos debido a que en las fichas técnicas los fabricantes no pueden incluir todos los posibles casos de trabajo en los que se encuentra la celda. Es por ello por lo que este paso es de suma importancia. Con ello podemos finalizar nuestro estudio de las celdas.

En segundo lugar, comenzaremos con un estudio del arte de los BMS. Cubriremos principalmente el funcionamiento del sistema de balanceo de las celdas, las distintas topologías de BMS, con una selección entre las opciones que hoy tenemos en el mercado. Nuestra batería requiere un control de temperatura, un control de corriente, un control de tensión. Como información adicional podemos incluir el estado del estado de salud de la batería o algún actuador que esté directamente relacionado con el BMS. Como; por ejemplo; las bombas de refrigerante para las celdas de la batería. Esta información y opciones adicionales de los BMS no los vamos a considerar necesarios para este trabajo, lo cual no quita que llegado el caso no se incluyan porque el BMS lo incluya de fábrica.

Para finalizar, realizaremos un estudio de los componentes necesarios del BEC. Lo completamos con una selección de los componentes necesarios para fabricar un módulo que incluiremos en el prototipo del proyecto WattmobileUPV. El último paso que queremos realizar es la validación del módulo. Para ello emplearemos el modelo fabricado y algunas simulaciones con Matlab para aquellos componentes que difícilmente podemos medir.

2. Estudio Previo

En este capítulo queremos desarrollar un análisis de los tres componentes que queremos desarrollar e integrar en la batería. Las celdas, el BMS y el BEC. Con este estudio queremos dar una base de información. Con la que podamos culminar las ideas propuestas en este trabajo.

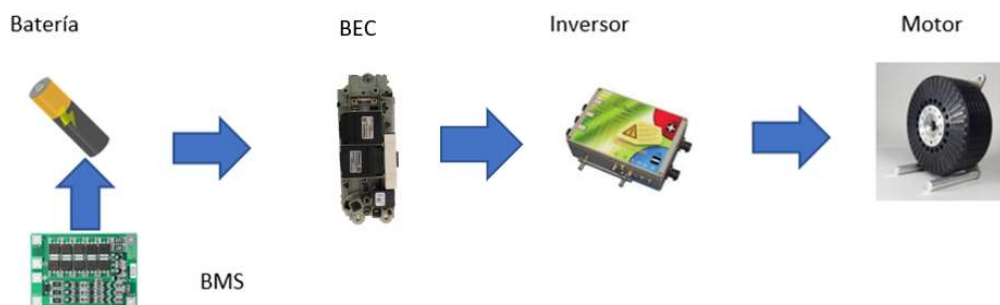


Ilustración 1 Sinóptico batería y motor coche eléctrico

Para saber que buscamos en este estudio debemos definir las necesidades a cubrir. En nuestro caso necesitamos fabricar una batería para un automóvil de 150 CV con una autonomía superior a los 10 minutos de funcionamiento, este tiempo lo tomamos como referencia del tiempo que dura la competición. El motor con el que trabajaremos es un Emrax 228 high voltage (ilustración 2), requiere una tensión de la batería de 670 VDC en corriente continua. Tiene una corriente admisible de hasta 200 A.



Ilustración 2 Emrax 228 (Emrax, 2021)

En definitiva, la batería que queremos fabricar tendrá una tensión de 670 VDC con una potencia pico de 110 KW. De esta forma podremos obtener el 100% del rendimiento del motor. En cuanto a la autonomía, ya hemos definido el tiempo mínimo de funcionamiento de la batería. Al dimensionar la energía que consumiremos hemos llegado a la conclusión de que necesitamos 15 KWh. Este valor viene del siguiente cálculo.

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potencia (kW)} \cdot \text{tiempo (horas)}$$

Ecuación 1 Consumo de un vehículo eléctrico

Para esta estimación consideramos que la potencia es el 80% de la potencia total del motor. Porque contamos con momentos en los que recuperamos energía, como en las frenadas gracias al freno regenerativo. Y porque en muchas ocasiones no se le pedirá al motor el 100% de su potencia, debido a las curvas.

Entonces:

$$\text{Consumo} = 88 \cdot \frac{1}{6} = 14.66 \text{ kWh} \cong 15 \text{ kWh}$$

Otro de los requisitos es una alta densidad energética. No contamos con mucho espacio en el coche, entonces necesitamos que el paquete que conforme la batería sea lo más reducido y ligero posible. El espacio destinado para la batería no está definido. Contamos con dos opciones que estamos valorando. Ubicar la batería en el maletero. Como podemos ver en la imagen 3. En este caso facilitamos su manipulación y su instalación en el vehículo. Ya que contamos con un gran espacio diáfano y el portón del maletero.



Ilustración 3 Prototipo mini copper eléctrico (Rich Rebuilds, 2021)

La segunda opción es ubicar la batería en el espacio del copiloto. La competición en la que participamos no requiere de copiloto por lo que podemos emplear este espacio para alojar la batería. Esta segunda disposición cuenta con las ventajas de equilibrar las masas dentro del coche. El piloto tendrá un peso similar al de la batería.



Ilustración 4 Prototipo de QEV (QEV, 2021)

Los ciclos de vida útil que necesitamos vienen definidos por el uso de la batería. En nuestro caso necesitamos la batería durante 1 año. Cada año queremos fabricar una batería nueva para poder ir actualizando nuestro sistema y conocer cuáles son las novedades de la tecnología del momento. Con un número de ciclos superior a los 1000 ciclos de funcionamiento consideramos que tenemos cubiertas todas nuestras necesidades.

2.1. Celdas

Las celdas son dispositivos para el almacenamiento de energía, con una capacidad determinada de producción de electricidad, según su tecnología y su capacidad de almacenamiento. La celda almacena energía, pero no la produce [2].

Las celdas consisten en tres componentes principales:

- **Ánodo.** Es el electrodo negativo de la celda. Es el que produce una reacción de oxidación cediendo electrones en las descargas y captándolos en las cargas de las celdas.
- **Cátodo.** Es el electrodo positivo de la celda. Es el que produce la reacción de reducción, recibiendo los electrones en las descargas y cediéndolos durante la carga.
- **Electrolito.** Es el medio conductor de iones. Provee el medio para la transferencia de los electrones entre el ánodo y el cátodo.

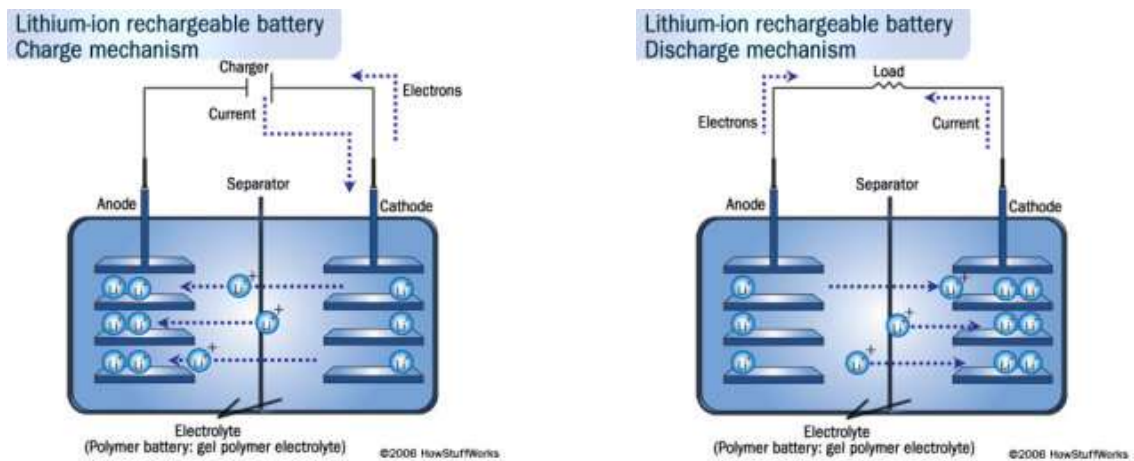


Ilustración 5 Componentes de las celdas de litio (howstuffworks)

2.1.1. Tipos de conexiones

Las baterías son combinaciones de diferentes celdas. Las celdas podrán estar conectadas en serie o en paralelo para dar las prestaciones necesarias por el usuario. Cuando conectamos dos celdas en serie obtenemos una tensión de batería igual a la suma de las tensiones de las celdas. Un ejemplo sencillo sería: 4 celdas con una tensión de 3.6V y 3.4Ah conectadas en serie obtienen una tensión de batería de 14.4V y una capacidad de 3.4Ah.



Ilustración 6 Conexión de celdas en serie [3]

En cambio, si ponemos celdas en paralelo lo que hacemos es sumar la capacidad de cada celda. Utilizando el ejemplo anterior, las celdas cuentan con una capacidad de 3.4Ah. En este caso la batería dispondría de 3.6V y 13.6Ah.

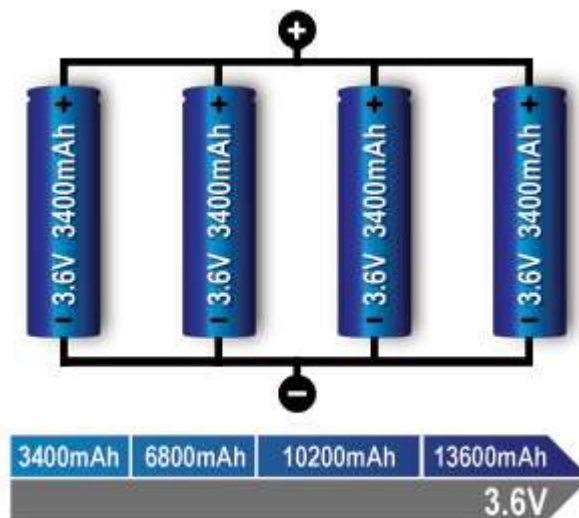


Ilustración 7 Conexión de celdas en paralelo [3]

Es muy importante tener en cuenta que para este tipo de conexión debemos de tener en cuenta que la tensión de todas las celdas que se conectan en paralelo deben tener la misma tensión. En el caso de que la tensión de dos celdas sea distinta en una conexión en paralelo se produce una transferencia de energía no deseada entre las dos celdas. Recibiendo la energía la celda de menor tensión hasta que las dos celdas se estabilizan en una misma tensión. Este proceso puede generar desperfectos en las celdas. Estos desperfectos pueden ser superficiales como quemaduras (representada en la ilustración 8) o pueden llegar a dañar las celdas dejándolas inservibles.



Ilustración 8 Celda con una quemadura superficial

2.1.2. Tasa de carga y descarga

Para las celdas se ha creado un término específico que relaciona la intensidad de descarga y carga de una celda con su energía almacenada. Este término es *C rate*, si lo traducimos al español obtenemos tasa C.

La tasa de descarga y carga es una relación entre la potencia de una celda o batería y la energía que pueden almacenar. Pongamos un ejemplo para comprender mejor este término. Si contamos con una celda de 1Ah y la descargamos con una intensidad de 1A durante 1hora en ese caso podemos decir que estamos descargando a 1C. Pongamos otro ejemplo para poder afianzar este término. Si contamos con la misma celda de 1Ah y la descargamos a 0.5A en ese caso estamos trabajando a 0.5C, y tardará 2 horas. Si lo descargamos a 2A en este caso tardará media hora en descargarse y estaríamos trabajando a 2C.

Como podemos comprender a partir de estos ejemplos el valor de la tasa C lo podemos calcular.

$$\text{Tasa de descarga (C)} = \frac{\text{Intensidad}}{\text{Capacidad}}$$

Ecuación 2 Tasa de descarga

Para un caso de celda con una capacidad de 5ah tenemos las siguientes tasas de descarga

Tabla 1 Tasa de descarga

Intensidad (A)	Tasa de descarga (C)
5	1
10	2
75	15
2.5	0.5

Debemos tener en cuenta que variando la tasa de descarga variamos la capacidad de las celdas. Por esta razón, es muy útil poder conocer esta variación. Siguiendo las indicaciones establecidas en el artículo de Zeljko Serdar [4] podemos establecer una ecuación para obtener esta nueva capacidad.

$$It = C \cdot \left[\frac{C}{I \cdot H} \right] \cdot k - 1$$

Ecuación 3 Relación de la tasa de descarga con la capacidad de las celdas

H = tasa de descarga en horas

C = capacidad de la celda estimada con la tasa de descarga definida

I = intensidad de descarga en amperios

k = exponente Peukert

It = capacidad efectiva con la descarga tasa de descarga efectiva

2.1.3. Ciclos de vida

Los ciclos de vida útil de una celda son la cantidad de cargas y descargas que puede realizar una celda desde el momento en el que se crea su composición química hasta el momento en el que deja de funcionar porque no es capaz de realizar la reacción química redox.

Este valor varía en función del tipo de química. Varía entre los 500 ciclos y los 2000 ciclos. A partir de este punto consideramos que la batería y las celdas que la componen ya no sirven, ha llegado al final de su vida útil. Esto viene determinado por el SOH. Pero este término lo veremos en el apartado de los BMS. Cuando las celdas ya han llegado al final de su vida útil aún pueden ser útiles. Ya que en algunos centros de reciclaje ya se plantean formas de extraer el litio. Y de esta forma reducir el gasto de extracción de estos materiales. [5], [6].

2.1.4. Resistencia interna

La resistencia interna de las celdas Li-ion es una cantidad para determinar la actuación como eficacia de energía y estado de salud (SOH). Para combinar las celdas Li-ion como batería para la industria de celda solar, así como vehículo eléctrico (EV), la resistencia interna de cada necesidad de celda para ser compatibles de cualquier otra forma la esperanza de vida (SOH) se irá acortando.

Este parámetro no lo podemos medir de forma directa, pero podemos realizar una serie de cálculos con los que obtenemos el valor de la resistencia interna.

Para este cálculo consideramos dos situaciones. Un circuito abierto donde tenemos una celda de 4.2 V y tenemos una resistencia en la carga de 5Ω. Consideramos la resistencia de los conectores nula. Cuando cerramos el circuito, conectamos la celda a la carga de 5 Ω. Obtenemos una tensión en las celdas de 4.085 V. De esta forma observamos una caída de tensión de 115 mV. Con esta caída de tensión podemos obtener mediante el cálculo de la tensión y resistencia de Thévenin, el valor de la resistencia de la celda.

$$V_{\text{circuito abierto}} = 4.2 \text{ V}$$

$$R_{\text{carga}} = 5\Omega$$

$$V_{\text{circuito cerrado}} = 4.085 \text{ V}$$

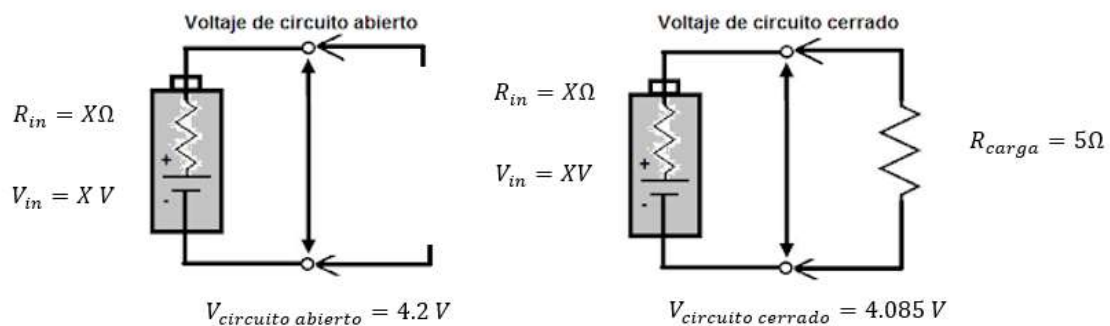


Ilustración 9 Ejemplo Resistencia interna

En primer lugar, obtenemos la corriente que circulará por la resistencia que hace de carga.

$$I_{carga} = \frac{V_{circuito\ abierto}}{R_{carga}} = 0.85\ A$$

En segundo lugar, calculamos la caída de tensión en la resistencia interna de la celda. Este valor se obtiene de la descomposición de la tensión en circuito abierto. Como estamos midiendo la tensión en la carga, la diferencia de tensión respecto al circuito es generada por la caída de tensión en la resistencia interna de la celda.

$$V_{circuito\ abierto} = V_{circuito\ cerrado} + V_{in}$$

Ecuación 4 Tensiones circuito cálculo resistencia interna

$$V_{in} = V_{circuito\ abierto} - V_{circuito\ cerrado}$$

$$V_{in} = 4.2 - 4.085 = 115\ mV$$

En este punto ya contamos con la corriente que circula por la resistencia interna y la tensión en la resistencia interna. Si aplicamos la ley de Ohm obtenemos en valor definitivo de la resistencia interna de la celda.

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I}$$

Ecuación 5 Ley de ohm

$$R_{in} = \frac{0.115}{0.85} = 0.135\ m\Omega$$

El valor de la resistencia interna de este modelo de celda sería de 0.135 mΩ.

Otra forma de obtener este valor es con una corriente alterna de alta frecuencia. Este método es más preciso, pero requiere de una mayor cantidad de instrumentación y complica también su cálculo.

2.1.5. Modelos celdas

Las celdas con tecnología de litio son altamente utilizadas en vehículos eléctricos hoy en día. A raíz de este uso han surgido diferentes modelos de celdas de litio. Las diferencias corresponden a la composición química del cátodo en la mayoría de los casos. De este modo nos encontramos ante los siguientes modelos de celdas:

- LCO (Óxido de cobalto y litio)
- LMO (Óxido de litio y manganeso)
- LFP (Litio ferrofosfato)
- NMC (Óxido de litio, níquel manganeso y cobalto)
- NCA (Óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio)
- LTO (Titanato de litio)

A continuación, realizaremos un análisis de las diferentes químicas para poder valorar en el siguiente capítulo el modelo de celda más adecuado a nuestras necesidades. La información la extraemos de *Battery University* [7].

2.1.1.1. LCO

El primer modelo de celda a estudiar es el LCO. LCO son las siglas en inglés de Lithium cobalt oxide. Traducido al español es óxido de cobalto y litio. Este tipo de celdas presentan una alta densidad energética por este motivo es comúnmente utilizada en baterías de teléfonos móviles, ordenadores portátiles y otros dispositivos electrónicos de pequeñas dimensiones.

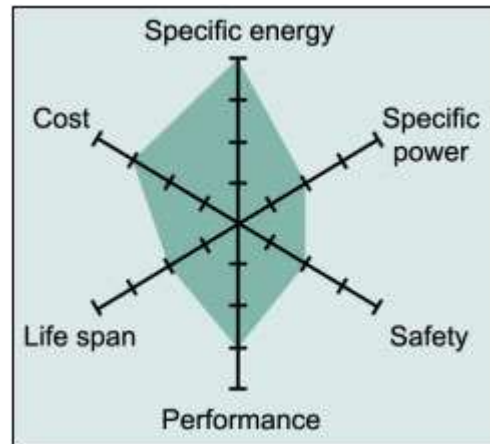


Ilustración 10 LCO (batteryuniversity, 2021)

Los inconvenientes de este tipo de química son su corta vida útil. Proporcionan unos 500 a 1000 ciclos de funcionamiento. También tienen una baja tasa de descarga, se ve reflejado en su baja densidad de potencia en la ilustración 9. Solo permiten descargarse y cargarse a 1C.

Tabla 2 Características LCO [3]

Voltajes	3,60 V nominal; rango de funcionamiento típico 3,0–4,2 V / celda
Energía específica (capacidad)	150–200Wh / kg. Las celdas especiales proporcionan hasta 240 Wh / kg.
Carga (tasa C)	0,7–1C, se carga a 4,20 V (la mayoría de las celdas); Carga típica de 3 horas. La corriente de carga superior a 1C acorta la vida útil de la batería.
Descarga (tasa C)	1C; 2.50V cortado. La corriente de descarga superior a 1C acorta la vida útil de la batería.
Ciclo de vida	500–1000, relacionado con la profundidad de descarga, carga, temperatura
Escapes térmicos	150 ° C (302 ° F). La carga completa promueve la fuga térmica
Aplicaciones	Teléfonos móviles, tabletas, portátiles, cámaras.
Comentarios de	Energía específica muy alta, potencia específica limitada. El cobalto es caro. Sirve como célula de energía. La cuota de mercado se ha estabilizado.

2.1.1.2. LMO

LMO son las siglas en inglés de Lithium Manganese Oxide, traducido al español es óxido de litio y manganeso.

Este tipo de celda posee una baja resistencia interna. Por lo que, le permite soportar una alta intensidad de descarga y de carga. Puede llegar a proporcionar corrientes de descarga del orden de 20A a 30A sin sufrir sobrecalentamiento. Uno de los grandes problemas de las celdas de litio.

Cuentan con pocos ciclos de vida útil, entre 300 y 700 ciclos de funcionamiento. Este tipo de celdas se suelen emplear en herramientas eléctricas o en dispositivos médicos.

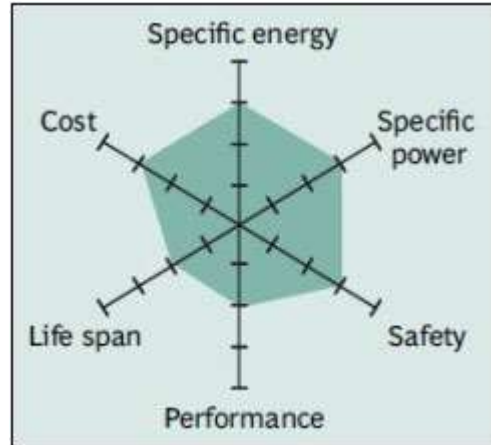


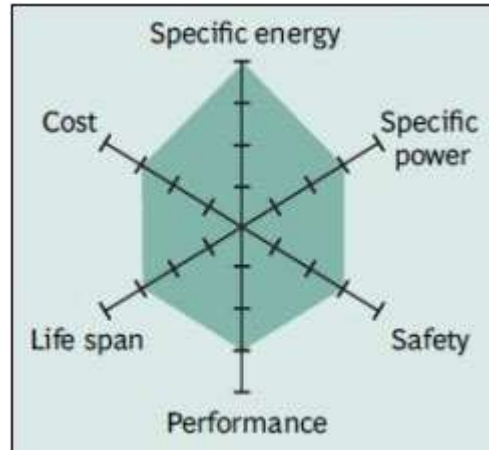
Ilustración 11 LMO (batteryuniversity, 2021)

Tabla 3 Características LMO [3]

<p>Óxido de litio y manganeso: cátodo LiMn_2O_4 . ánodo de grafito</p> <p>Forma corta: LMO o Li-manganeso (estructura de espinela) Desde 1996</p>	
Voltajes	3,70 V (3,80 V) nominal; rango de funcionamiento típico 3,0–4,2 V / celda
Energía específica (capacidad)	100–150 Wh / kg
Carga (tasa C)	0,7-1 C típico, 3 C máximo, se carga a 4,20 V (la mayoría de las celdas)
Descarga (tasa C)	1C; 10 ° C posible con algunas celdas, pulso de 30 ° C (5 s), corte de 2,50 V
Ciclo de vida	300–700 (relacionado con la profundidad de descarga, la temperatura)
Escapes térmicos	250 ° C (482 ° F) típico. La carga alta promueve la fuga térmica
Aplicaciones	Herramientas eléctricas, dispositivos médicos, trenes de potencia eléctricos

2.1.1.3. NMC

El tercer modelo de química es el NMC, sus siglas en inglés significan lithium nickel manganese cobalt oxide. Traducido al español óxido de litio, níquel manganeso y cobalto. Es uno de los más empleados actualmente, lo podemos ver en bicicletas eléctricas, patinetes, vehículos eléctricos y en algunos dispositivos médicos. Este tipo



de celdas resulta muy versátil. Se pueden configurar las celdas desde su composición química para obtener una mayor densidad energética, perdiendo densidad de potencia. O se puede obtener una mayor densidad de potencia, perdiendo densidad energética. Cuentan con 1000 o 2000 ciclos de funcionamiento, posicionando a las celdas NCM por encima respecto a las químicas anteriores. Al mismo tiempo, cuenta con un coste ligeramente inferior a la media. Es por estos motivos, que consideramos a las celdas NMC como uno de los modelos más equilibrados que disponemos.

Tabla 4 Características NMC [3]

Óxido de litio, níquel, manganeso y cobalto: LiNiMnCoO_2 · cátodo, ánodo de grafito	
Forma corta: NMC (NCM, CMN, CNM, MNC, MCN similar con diferentes combinaciones de metales)	
Desde 2008	
Voltajes	3,60 V, 3,70 V nominal; rango de funcionamiento típico de 3,0 a 4,2 V / celda o superior
Energía específica (capacidad)	150–220 Wh / kg
Carga (tasa C)	0,7–1C, se carga a 4,20 V, algunos llegan a 4,30 V; Carga típica de 3 horas. La corriente de carga superior a 1C acorta la vida útil de la batería.
Descarga (tasa C)	1C; 2C posible en algunas celdas; Corte de 2,50 V
Ciclo de vida	1000-2000 (relacionado con la profundidad de descarga, la temperatura)
Escapes térmicos	210 ° C (410 ° F) típico. La carga alta promueve la fuga térmica
Costo	~ \$ 420 por kWh (Fuente: RWTH, Aachen)
Aplicaciones	Bicicletas eléctricas, dispositivos médicos, vehículos eléctricos, industriales

2.1.1.4. LFP

El cuarto modelo de química es el LFP, sus siglas en inglés significan lithium iron phosphate. Traducido al español litio ferrofosfato.

El LFP ofrece un buen rendimiento electroquímico ya que cuenta con una resistencia interna muy baja. Esto proporciona

un alto nivel de densidad de potencia, alcanza los 25C en algunas de sus versiones de celdas. El litio ferrofosfato es cuenta con una mayor tolerancia en condiciones de carga completa que las otras químicas. Permitiendo mantener un nivel estable durante un tiempo prolongado cuando se encuentran cargadas. Este tipo de celdas se tienden a emplear para sustituir las baterías de plomo. Y en aplicaciones estacionarias por su peso elevado.

Como desventaja debemos indicar que presentan una autodescarga más significativa que el resto de las químicas. Lo cual, termina desembocando en problemas de balanceo. Esto lo solucionaremos con el uso de sistemas BMS.

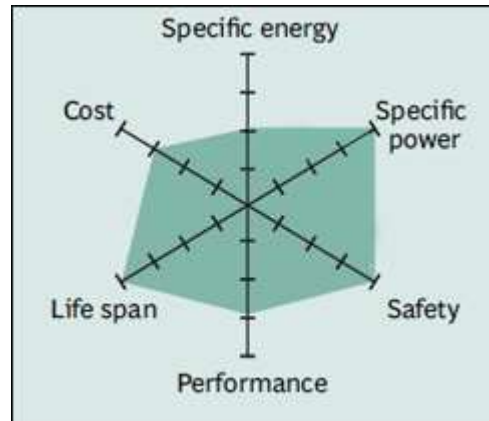


Ilustración 13 LFP (batteryuniversity, 2021)

Tabla 5 Características LFP [3]

Fosfato de litio y hierro: cátodo LiFePO_4 , ánodo de grafito	
Forma corta: LFP o Li-fosfato. LIP también es común. Desde 1996	
Voltajes	3,20, 3,30 V nominal; rango de funcionamiento típico 2,5–3,65 V / celda
Energía específica (capacidad)	90–120 Wh / kg
Carga (tasa C)	1C típico, se carga a 3,65 V; Tiempo de carga típico de 3 horas
Descarga (tasa C)	1C, 25C en algunas células; Pulso 40A (2s); Corte de 2.50V (menor que 2V causa daño)
Ciclo de vida	2000 y superior (relacionado con la profundidad de descarga, la temperatura)
Escapes térmicos	270 ° C (518 ° F) Batería muy segura incluso si está completamente cargada
Costo	~ \$ 580 por kWh (Fuente: RWTH, Aachen)
Aplicaciones	Portátil y estacionario que necesita altas corrientes de carga y resistencia.

2.1.1.5. NCA

El quinto modelo de química es el NCA, sus siglas en inglés significan lithium nickel cobalt aluminium oxide. Traducido al español óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio.

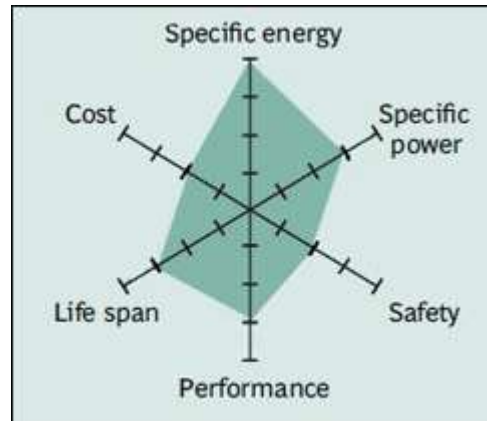


Ilustración 14 NCA (batteryuniversity, 2021)

Las celdas de NCA tienen unas propiedades similares a las celdas NMC. La principal

diferencia es el aluminio que tiene añadido. El cual le da una mayor estabilidad.

En líneas generales este modelo de química consigue densidades energéticas altas, densidades de potencia altas y unos ciclos de vida similares a las celdas NMC. Pero tienen un coste superior a las celdas NMC. Aun así, resultan una alternativa muy atractiva para baterías destinadas a movilidad eléctrica.

Tabla 6 Características NCA [3]

Óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio: cátodo de LiNiCoAlO_2 (~ 9% Co), ánodo de grafito	
Forma corta: NCA o Li-aluminio. Desde 1999	
Voltajes	3,60 V nominal; rango de funcionamiento típico 3,0–4,2 V / celda
Energía específica (capacidad)	200-260 Wh / kg; 300Wh / kg predecible
Carga (tasa C)	0.7C, carga a 4.20V (la mayoría de las celdas), carga típica de 3 h, carga rápida posible con algunas celdas
Descarga (tasa C)	1C típico; Corte de 3.00V; alta tasa de descarga acorta la vida útil de la batería
Ciclo de vida	500 (relacionado con la profundidad de descarga, temperatura)
Escapes térmicos	150 ° C (302 ° F) típico, la carga alta promueve la fuga térmica
Costo	~ \$ 350 por kWh (Fuente: RWTH, Aachen)
Aplicaciones	Dispositivos médicos, industrial, tren motriz eléctrico (Tesla)

2.1.1.6. LTO

El último modelo de química es el LTO, sus siglas en inglés significan lithium titanate. Si lo traducimos al español es titanato de litio.

Estas celdas son el modelo químico más seguro y estable que se dispone actualmente para el litio.

Al mismo tiempo que son las celdas con mayor número de ciclos de funcionamiento. Entre 3000 y 7000 ciclos de vida útil.

Pero su alto coste y su baja densidad energética la dejan en un segundo plano respecto al NCA o al NMC. Las celdas de LTO son empleadas en aplicaciones donde la prioridad absoluta es la seguridad.

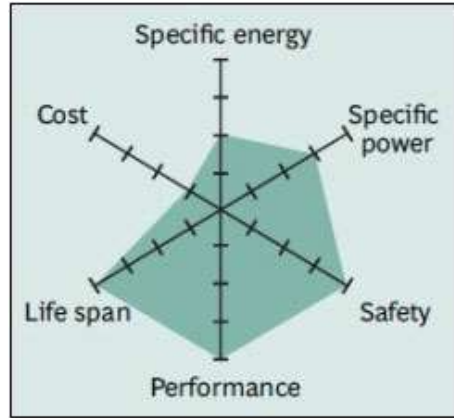


Ilustración 15 LTO (batteryuniversity, 2021)

Tabla 7 Características LTO [3]

Titanato de litio: el cátodo puede ser óxido de litio y manganeso o NMC; Ánodo de Li_2TlO_3 (titanato) Forma corta: LTO o titanato de litio Disponible comercialmente desde aproximadamente 2008.	
Voltajes	2,40 V nominal; rango operativo típico 1.8–2.85V / celda
Energía específica (capacidad)	50–80 Wh / kg
Carga (tasa C)	1C típico; 5C máximo, carga a 2,85 V
Descarga (tasa C)	10C posible, pulso 30C 5s; Corte de 1.80V en LCO / LTO
Ciclo de vida	3.000–7.000
Escapes térmicos	Una de las baterías de iones de litio más seguras
Costo	~ \$ 1,005 por kWh (Fuente: RWTH, Aachen)
Aplicaciones	UPS, tren motriz eléctrico (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV), alumbrado público con energía solar

2.1.2. Modelos químicos seleccionados

Ahora ya contamos con la información necesaria para valorar que modelo o modelos químicos nos interesan para nuestra aplicación. Recordamos que nosotros queremos realizar una batería para un vehículo eléctrico. Por lo tanto, necesitamos que tenga la mayor densidad de potencia posible y la mayor densidad energética posible para poder alimentar al motor sin tener que llevar una carga excesiva provocada por el peso de la batería. Además, que en el propio coche ya hemos indicado que no disponemos de mucho espacio para poder integrar la batería. Entonces, los modelos que mejor nos encajan para estas necesidades son los modelos NCA, NMC y LMO.

El siguiente punto que tratar es la vida útil. No queremos estar fabricando una batería y al cabo de 2 meses tener que fabricar una segunda batería. Por este motivo los modelos que encajan sería LTO, NCA, NMC y LFP

Por último, debemos considerar que la batería debe de salir de un presupuesto limitado. Por lo tanto, el coste de las celdas es importante. Con esta última condición los modelos químicos que encajan son NCA Y NMC.

Si realizamos una combinación de los tres requisitos obtenemos que los modelos químicos óptimos para nuestra aplicación son las celdas NCA y las celdas NCM. Por su gran densidad energética y densidad de potencia. Por sus ciclos de vida útil y por su bajo coste.

Para finalizar el estudio de las celdas hay que destacar que hemos coincidido con la elección de química que la gran mayoría de empresas del sector de la automoción emplean hoy en día. Lo cual no hace más que respaldar nuestra propuesta de selección.

2.2. BMS

El BMS es un sistema electrónico de gestión para una batería recargable. Su función es evitar que la batería trabaje fuera de su zona de operación segura y realizar un seguimiento del estado de esta.

Para integrar el BMS en una batería necesitamos la máxima información de las celdas de la batería. Porque el cálculo de seguridad que implementamos en el BMS es exclusivo para cada tipo de química de las celdas utilizadas e incluso para cada modelo de celda. Tenemos parámetros como la tensión de funcionamiento de las celdas, la capacidad de las celdas o la intensidad de descarga máxima que limita las funciones de la batería y vienen dadas por cada celda empleada.

Podría darse el caso de utilizar celdas de distintos fabricante o modelos. En esta situación debemos considerar las características de las celdas más restrictivas. Esto se ve actualmente en muchos sistemas de almacenamiento estacionario para hogares. Donde se emplean celdas recicladas de vehículos eléctricos ligeros, baterías de portátiles o incluso baterías de coches eléctricos.

Por estas razones, no solamente debemos utilizar la información proporcionada en las fichas técnicas de las celdas. Es muy recomendable analizar las características de cada modelo de celda empleada. Realizando ensayos a distintas temperaturas y distintas potencias en el marco de trabajo que se encontrarán la batería, y así ver su comportamiento. Porque no siempre la información proporcionada en la ficha técnica estará enfocada a las aplicaciones que nos interesan.

Otra parte de la integración del BMS en la batería es la aplicación de la batería. En este punto debemos especificar cuáles van a ser los requisitos que vamos a necesitar de la batería. Por ejemplo, no tendremos la misma configuración en una batería destinada para almacenamiento estacionario. Donde tenemos una intensidad prácticamente constante que, en una batería para uso en automoción. Donde tenemos un consumo irregular. También se puede emplear un BMS genérico, en donde prepararemos un BMS standard para cualquier aplicación. Pero de esta forma no optimizamos el rendimiento del sistema.

Por último, el tercer punto de información necesario para un BMS son las medidas directas sobre la batería. El BMS necesita conocer la tensión instantánea de cada celda, la corriente que entra y sale de la batería y la temperatura en todo momento en la que se encuentra la batería.

2.2.1. Estructura de un BMS

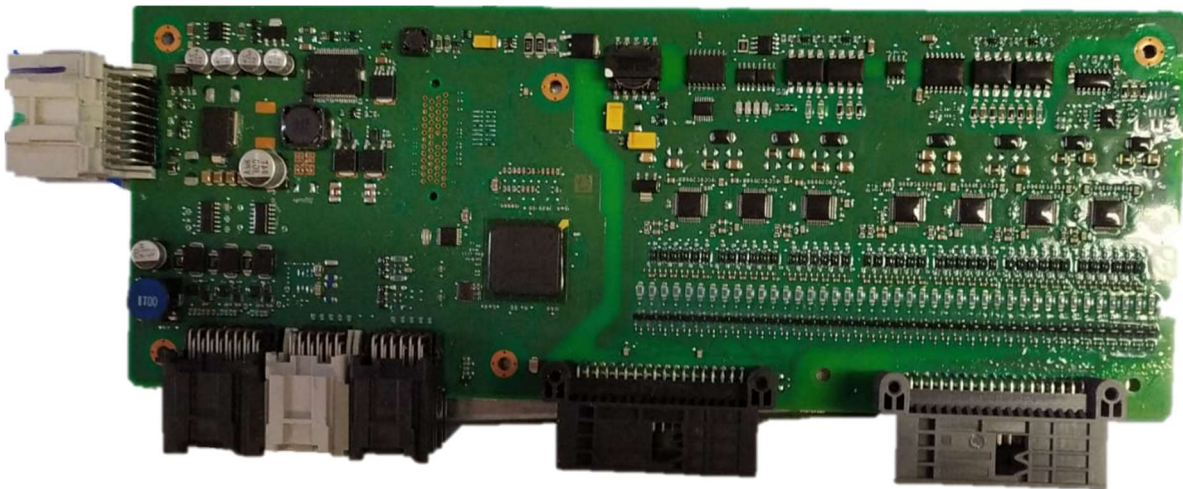


Ilustración 16 BMS Centralizado

En el siguiente apartado realizaremos una introducción a los diferentes elementos básicos de un BMS. Utilizaremos un BMS centralizado como ejemplo para este apartado. Observando la Ilustración 16 podemos observar claramente dos zonas. Toda el área izquierda de la placa es la parte de control del BMS. El área de la derecha está dedicada a potencia.

En la etapa de potencia del BMS podemos realizar todo el balanceo de la batería en la que estamos conectados. Se compone básicamente de resistencias, condensadores, transistores, fusibles, diodos, led en algunos casos (en este caso no presenta estos componentes), multiplexores y algún DC/DC para alimentar a los multiplexores.

La etapa de control del BMS se compone de todos los chips encargados para las comunicaciones y control de la etapa de potencia. En este caso contamos con un chip SPC5744PFK1MLQ5 el cual se encarga de verificar las entradas de tensión que le vienen dadas por los diferentes multiplexores de la etapa de potencia. Y a los cuales les ordena actuar de una forma u otra o directamente no actuar. En función de la situación y de cómo se ha programado este chip. Las entradas de temperatura vienen dadas directamente desde los sensores repartidos en diferentes puntos de la batería. Podemos ver sus conexiones en los cuatro conectores de la etapa de control.

Por otro lado, tenemos todo el control de comunicaciones que salen del BMS al exterior de la batería. En este caso no tenemos de comunicación con los diferentes módulos de baterías que componen la batería final. Ya que todas las actuaciones se efectuarán dentro de esta placa. En el caso de ser un sistema distribuido necesitaríamos comunicarnos entre los distintos módulos del pack de la batería. La información que entra y sale del BMS puede tener diferentes usos. Desde contar con un sistema multimedia donde se pueda representar los niveles de carga hasta el sistema de protección en caso de impacto o fallo del sistema.

La parte de control también se encarga de actuar sobre el BEC. Este módulo es externo al BMS, pero actúa solo con las órdenes del BMS. En el podemos encontrar el circuito de precarga y el circuito de conexión y desconexión de la batería.

El resto de las componentes en la zona de control del BMS son transformadores DC/DC para alimentar al chip principal y a alguno de los componentes sobre los que este actúa. No siempre conseguimos que todos los elementos electrónicos tengan la misma tensión de entrada. Las resistencias y condensadores realizan la función de filtros para el chip y los distintos componentes que dependen del mismo.

2.2.2. Topologías de los BMS

Las topologías de los BMS a nivel hardware las podemos generalizar en dos grandes grupos. Topología centralizada y topología distribuida. En el modelo centralizado, tenemos una única electrónica de BMS donde realiza todas las tareas del BMS. En el modelo distribuido, donde ya tenemos diferentes electrónicas donde cada una tiene unas tareas asignadas.

2.2.2.1 Centralizado

En los sistemas centralizados, se trabaja desde un solo módulo. Por lo tanto, tenemos conexión directa entre todas las celdas y el módulo BMS. Este modelo resulta práctico para sistemas de baterías de tamaño reducido, el principal motivo es la extensión de su cableado. Así pues, vemos estos sistemas en baterías de ordenadores portátiles o en las baterías portátiles con las que cargamos los teléfonos móviles. El peso en estos sistemas también se ve reducido para pequeñas baterías, ya que solo contamos con un único módulo. En cambio, si utilizamos una topología centralizada para una batería de gran tamaño debemos tener en cuenta el cableado de gran tamaño, aumentando al mismo tiempo el peso de la batería.



Ilustración 17 BMS Centralizado, (Orion BMS, 2021)

2.2.2.2. Topología distribuida

Nos centramos en el modelo maestro esclavo. Contamos con dos tipos de módulos. Un módulo maestro y un módulo esclavo. Las funciones del módulo esclavo es realizar las medidas analógicas, realizar el balanceo de las celdas y transmitir la información adquirida al módulo maestro. Esta información será transmitida de forma digital, ya que de esta forma los datos están protegidos. La alternativa es mediante entradas analógicas, pero da una menor protección ante interferencias en los datos transmitidos. El módulo maestro se encargará de analizar la información recibida de los diferentes módulos esclavos. Con esta información realiza el cálculo de estado de la batería.



Ilustración 18 BMS Distribuido (Batrium, 2021)

Está compuesto de:

- BMS esclavos que se encargan de realizar las medidas con los sensores analógicos de tensión y temperatura
- BMS máster con microcontrolador y una serie de canales de comunicaciones para comunicarse con los BMS esclavos

Se reduce el cableado analógico (reducción de coste y peso) por lo que es recomendable para baterías grandes y/o complejas.

Se reducen las señales analógicas, teniendo así las señales de comunicaciones que están más protegidas contra las interferencias a nivel de firmware y hardware.

Se puede añadir la cantidad de sensores sin incrementar el cableado. Este sistema permite mayor modularidad y reciclabilidad en aplicaciones de segunda vida, ya que un mismo BMS máster puede utilizar con distinto número de esclavos lo que permite mayor número de configuraciones y más potenciales reutilizaciones con distinta estructura y distribución de celdas en la batería.

2.2.2.3. Comparación de topologías

Comparando las topologías podemos ver sus ventajas y desventajas. Para una aplicación de almacenamiento a pequeña escala, por ejemplo, un patinete, una bicicleta eléctrica, batería de ordenador portátil. Consideramos que la topología recomendada es la centralizada. Ya que en estos casos solo son necesarios un único modulo que se encargue de toda la actividad de control. Contamos con la ventaja de poder disponer del módulo a una distancia muy reducida de las baterías ahorrando cables y perdidas en los conductores. Al mismo tiempo que simplificamos la estructura dejando todo el paquete de la batería como un único elemento.

Por otro lado, tenemos baterías de gran tamaño. En este caso hablamos de baterías para vehículos: podrían ser motos, coches, barcos o incluso baterías estacionarias de gran capacidad. En estos casos, las baterías requieren trabajar con gran cantidad de información entrando y saliendo. Si tenemos por ejemplo 50 baterías tendremos grandes distancias desde la batería número 1 hasta la batería 50. Así pues, si tenemos diversos módulos esclavos que se disponen justo encima de cada uno de los 50 módulos de baterías ahorraremos gran cantidad de cable. Solo necesitamos disponer de un cableado de comunicaciones. Reduciendo en el gran número de cables a solo los necesarios para la comunicación.

Otra de las ventajas de la topología distribuido es su adaptabilidad a cambios. Con este sistema si recuperamos el ejemplo anterior de una batería de 50 módulos podemos reducir los módulos para bajar el nivel de tensión o para adaptar la batería a una nueva aplicación. En este caso solo serán necesarios ajustes de software. Mientras que en el caso de una topología centralizada si pasamos de 50 módulos a 45 deberemos cambiar el BMS por completo, generando un gasto extra en su reciclabilidad.

Para el prototipo de WattmobileUPV hemos seleccionado la topología centralizada. Esto se debe principalmente a motivos de seguridad. El modelo de batería que planteamos consiste en formar una batería para un vehículo eléctrico a partir de pequeñas baterías. De esta forma, podemos trabajar con módulos de baterías de baja tensión. Donde como mucho trabajaremos a 55V. La batería grande se manipula de forma remota, mediante el BEC. Evitando contactos directos e indirectos.

Nuestra propuesta es realizar diversos módulos de 48V, cada uno de ellos contará con 13 celdas de 3.7 V conectados en serie

2.2.3. Funciones del BMS

Este apartado del trabajo definiremos las funciones y los parámetros con los que trabajan los BMS. Los puntos que trabajar son: en primer lugar, los dos tipos de balanceo de celdas. En segundo lugar, la explicación del SOC. Explicaremos que es y cómo se obtiene. Por último, concluimos este estudio de los BMS con la explicación de SOH y los cálculos para obtener este parámetro.

2.2.3.1 Balanceo

El siguiente punto para tratar es el mantenimiento de la batería. Los BMS tienen la función de mantener la batería con la mayor vida útil posible. Esto se consigue con el balanceo de las diferentes celdas que componen la batería. El balanceo de las celdas consiste en regular la cantidad de energía almacenada en cada celda. Si ponemos un ejemplo lo entenderemos mejor esto último.

Cuando juntamos 4 celdas en serie para formar una batería la tensión total de la batería es la suma de sus tensiones individuales. Pero la energía que nos puede proporcionar la batería en su conjunto puede no ser la máxima. Esto se debe a que la celda que menos energía tiene almacenada condiciona a toda la batería. Si tomamos de ejemplo la ilustración 18 observamos como la celda 4 se encuentra al 0% del nivel de carga. Mientras que la celda 2 podría tener un 30% en su interior. De esta forma perdemos mucha energía que no se puede consumir.

Lo mismo sucede con la carga. La carga se detiene cuando una de las celdas que componen la batería alcanza su máxima capacidad y por consiguiente su máxima tensión. Si tomamos de ejemplo la ilustración 19. Observamos como en la parte derecha de la imagen tenemos a las celdas cargándose. La celda número 2, que en el apartado anterior hemos considerado que tenía un 30% de la energía sin consumir. Se ha cargado antes que las otras 3 celdas. Cuando el cargador ve que una de las celdas ha alcanzado la tensión máxima desconecta, ya que no se puede exceder de esta tensión. Dejando sin el 100% de la carga a las otras 3 celdas.

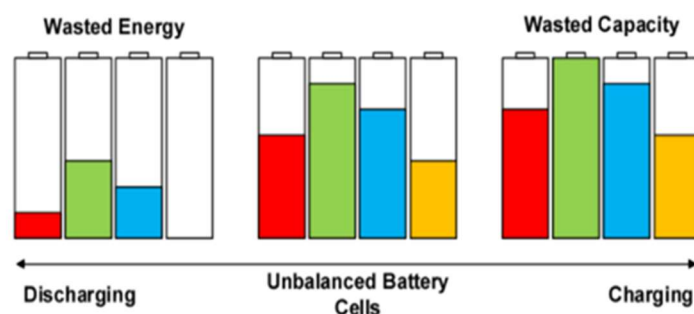


Ilustración 19 Desbalanceo en 4 celdas (blog.ampow, 2021)

Con estas situaciones que se producen durante las cargas y descargas lo que observamos es que tenemos una gran cantidad de energía perdida. La solución a este problema es equilibrar el nivel de energía de las baterías en todo momento. Cuando tengamos todas las celdas de la batería con el mismo nivel de carga todas se cargarán al máximo y se descargarán al mínimo. Cada celda lo hará a un ritmo distinto.

Cuando nombramos el balanceo de las celdas tenemos que explicar que contamos con dos métodos distintos. El balanceo activo y el balanceo pasivo.

El balanceo pasivo es el más simple de los dos métodos. Este método consiste en consumir la energía de las celdas de mayor tensión. Las celdas que contengan mayor energía en su interior también serán las que tengan mayor tensión. De esta forma, la energía es disipada por una resistencia o resistencias que se conectan en paralelo a la celda. Lo que conseguimos es perder energía de las celdas, pero al mismo tiempo siempre están todas las celdas al mismo nivel.

El segundo método es el balanceo activo. El balanceo activo consiste en transferir la energía de una celda a otra. Esta transferencia se puede realizar de una celda con la siguiente celda de la batería. Utilizando el ejemplo anterior, si tenemos una batería compuesta de 4 celdas solo podemos balancear la energía de la celda 1 con la celda 2. Siendo imposible transferir energía de la celda 1 a las celdas 3 y 4. Otra forma de transferencia de energía con el balanceo activo es de forma independiente del orden de las celdas. Con lo que conseguimos pasar energía de la celda 1 con la 3. La diferencia con el método pasivo es la eficiencia del sistema. Con este método las pérdidas se reducen a las pérdidas en los conductores, mientras que con el método pasivo las pérdidas son toda la energía consumida en la resistencia y en los conductores.

A modo de conclusión, ya sabemos que disponemos de dos métodos distintos de balanceo. El balanceo pasivo es muy recomendable para celdas de alta calidad donde en rara ocasión vamos a observar diferencias en el nivel de carga de las celdas. Por lo tanto, sería un gasto innecesario contar con un balanceo activo. Requiere un mayor desembolso económico y una mayor complejidad de diseño y funcionamiento. Por otro lado,

el balanceo activo es muy útil para aquellas situaciones donde contamos con celdas de dudosa calidad o de diferente tipo. Por ejemplo, en baterías recicladas donde los usuarios crean sus propias baterías a partir de celdas recicladas. En estos casos, nos encontraremos grandes diferencias entre las distintas celdas que componen nuestra batería. Para lo cual necesitamos un balanceo activo que nos asegure un correcto funcionamiento y un aprovechamiento óptimo de la energía almacenada.

2.2.3.2. SOC

SOC (State of Charge): Estado de carga. Es un valor indirecto que requiere una serie de cálculos para su obtención. Estos cálculos pueden ser de diferentes tipos. El más simple y el que se utiliza de forma inicial es la relación entre el estado de carga y el nivel de la batería.

Si observamos la ilustración 20 podemos ver como a mayor tensión contamos con un mayor nivel de carga. La gráfica muestra tres zonas. Una rampa entre el 100% del SOC y el 90% del SOC.

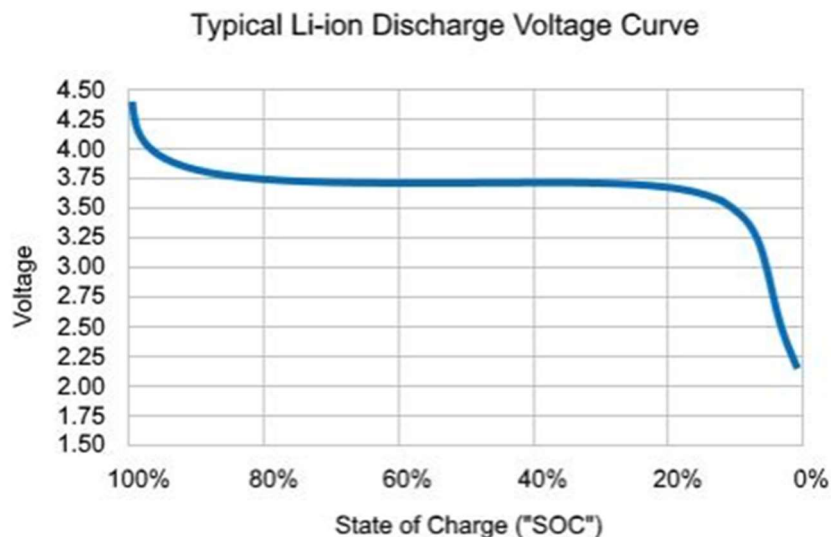


Ilustración 20 Curva del SOC vs Tensión (MDPI, 2021)

El SOC tiene dos versiones en muchos modelos de baterías. Un valor a nivel usuario y un valor a real.

- SOC real: es la energía que una celda puede almacenar en su totalidad. Una celda al 0% de SOC no podría dar tensión ni energía a la carga (su tensión será 0mV)

- SOC de usuario: Lo proporciona el sistema de medida que se ha diseñado para calcular la cantidad de energía que tiene almacenada. Al ser un valor calculado se le pueden poner una serie de condiciones como limitar el SOC usuario entre el 20% y el 80% del SOC real. De ese modo la batería estará siempre con un 20% de su energía en su interior y con un 80% cuando este cargada.

La diferencia entre el SOC real y el de usuario (zonas en verde en la ilustración 20 implica el margen de seguridad. El fabricante puede garantizar un mantenimiento de las condiciones de funcionamiento (se reduce el margen de seguridad para que el usuario no perciba la degradación de la batería por su vida útil) El BMS es el encargado de realizar los cálculos continuos para ajustar el SOC real y el SOC de usuario de manera que la batería trabaja cada día en un rango diferente del estado de carga, sin que el usuario perciba la pérdida de capacidad.

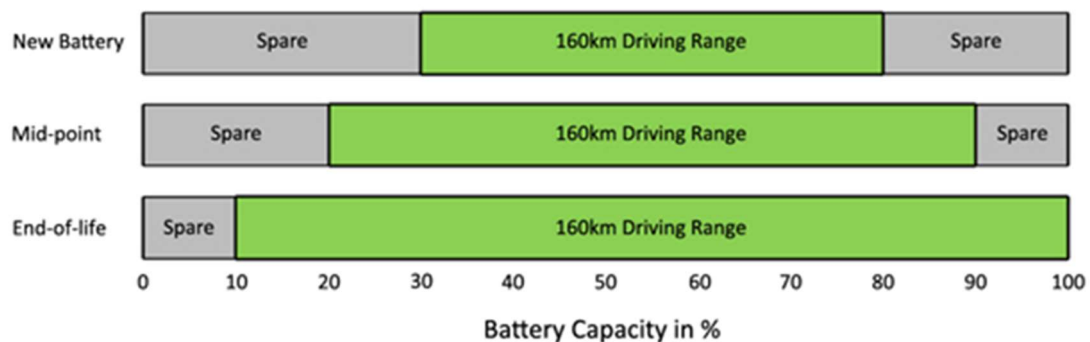


Ilustración 21 SOH de un vehículo (myvwgolf, 2021)

Desde el punto de vista del usuario se alarga así el uso con las mismas prestaciones.

2.2.3.3. Cálculo del SOC

Para el cálculo del SOC tenemos diversas formas de obtenerlo. Encontramos una gran variedad de métodos en diferentes reportes científicos, de entre los cuales hemos escogido los siguientes:

El primer método que empleamos es la ecuación definida en el artículo de la *Journal of the Electrochemical society* [8]. Donde se establece:

$$SOC = \frac{C}{C_0}$$

Ecuación 6 Cálculo del SOC primera opción

Donde:

$C \rightarrow$ es la cantidad de energía almacenada en la celda

C_0 es la cantidad de energía inicial almacenada en la celda

El segundo método, proviene de un artículo de investigación de la universidad de Kasetsart en Bangkok [9]. Este cálculo es algo más complejo que el anterior. Requiere un sensor de corriente con una alta precisión. Incluye una integración del flujo de corriente en el circuito, por lo tanto, la precisión del sensor es esencial para obtener datos realistas.

$$SOC = SOC_0 - \frac{1}{3600 \times C_{actual}} \int I dt$$

Ecuación 7 Cálculo del SOC segunda opción

Donde:

SOC_0 es estado de carga original de la celda

C es la cantidad de energía almacenada en la celda

I es la intensidad que circula por el circuito

2.2.3.4. SOH

SOH (State of Health) es el estado de salud. Se refiere a las condiciones de uso de la batería (condiciones químicas de las celdas), no a su estado físico externo.

Este parámetro viene definido por:

- Los ciclos de uso de la celda
- Resistencia interna de la celda
- Capacidad real
- Las intensidades de descarga que se han ejercido sobre la celda
- La temperatura a la que ha trabajado la celda
- El intervalo de SOC empleado.

Tipos de deterioros principales del estado de salud:

- Calendar aging: La química se deteriora con el tiempo gradualmente, independientemente del uso que se dé a la batería. En aplicaciones de uso intensivo (por ejemplo, vehículo eléctrico) es despreciable. En aplicaciones estacionarios o de telecomunicaciones donde la batería está conectada mucho tiempo con poca carga es considerable [10].
- Desgaste por uso: el uso óptimo de la batería es trabajar a baja carga (poca corriente, carga y descargas lentas)
 - Ciclos
 - Temperatura

El valor del SOH tiene dos versiones:

- SOH real: es la cantidad de energía capaz de almacenar respecto a la energía que almacenaba al ser fabricada la celda.
- SOH usuario: cantidad de energía capaz de almacenar respecto a la energía que necesitamos sacar de la celda. Un ejemplo sería el siguiente: tenemos una batería de 100KWh cuando se fabricó. Un año después la energía que puede almacenar es 75KWh. En este caso el SOH real es del 75%, ya que nos deja almacenar el 75% de la energía que podíamos el primer día. En cambio, si necesitamos como mínimo 50KWh para funcionar correctamente, el SOH usuario se encontrará en un 50%. Ya que solo podemos almacenar la mitad de lo que necesitamos como usuarios de la batería.

2.2.3.5. Cálculo del SOH

Para el cálculo del SOH vamos a emplear las ecuaciones definidas en el artículo de *Journal of Mechatronics* [3]. La primera versión de los cálculos se basa en la resistencia interna de las celdas.

$$SOH = \left(2 - \frac{R_0}{R}\right) \times 100\%$$

Ecuación 8 Cálculo del SOH basado en la resistencia interna

Donde:

R resistencia interna actual

R_0 resistencia interna inicial

Para este modelo de cálculo se considera que el estado de salud de una celda es cero cuando su resistencia interna alcanza un valor el doble a la inicial. Contamos con una alternativa a este cálculo:

$$SOH = \left(1 + \frac{R_0 - R}{R_0}\right) \times 100\%$$

Ecuación 9 Cálculo del SOH basado en la resistencia interna

Aparte del modelo basado en la resistencia contamos con un segundo modelo de cálculo. El segundo modelo de cálculo del SOH se basa en la energía que es capaz de almacenar la celda.

$$SOH = \left(\frac{\frac{C}{C_0} - 0.8}{0.2}\right) \times 100\%$$

Ecuación 10 Cálculo del SOH basado en la capacidad de la celda

Donde:

C capacidad de la celda actual

C_0 capacidad de la celda inicial

2.3. BEC

El BEC como ya hemos indicado en el punto anterior es un módulo externo al BMS para la conexión y desconexión de la batería. Otra de sus funciones es realizar la precarga del sistema y alojar el sensor de corriente del sistema. Para ello contamos con un modelo comercial de un BEC. Lo analizaremos y descompondremos para poder llegar a comprender que elementos tiene y porque los tiene.



Ilustración 22 BEC

El ejemplo que vamos a utilizar es un módulo BEC de un FORD Mondeo híbrido. El coche cuenta con una batería de 370VDC y 1.4kWh.



Ilustración 23 Batería Ford Mondeo híbrido (ebay, 2021)

A continuación, descompondremos el sistema en las distintas piezas que lo forman. Los dos elementos de mayor volumen son los contactores. Son las dos cajas negras con la pegatina de Panasonic. Los contactores tienen la función de un interruptor en el sistema.



Ilustración 24 Contactor

Con ellos podemos conectar la batería al sistema que queremos alimentar manteniendo en todo momento la seguridad de que no manipulamos un elemento cargado. Ya que durante cualquier manipulación los contactores permanecerán abiertos. Los contactores tienen dos circuitos uno principal donde irá conectado el cableado con la carga y la batería y uno secundario. En el circuito secundario podemos activar y desactivar el contactor empleando una señal normalmente de entre 5V a 24V. DC. Tenemos otra opción, que el circuito secundario se alimente con una corriente alterna. Pero esto está destinado a otras

aplicaciones. Los relés son otro tipo de elemento seccionador en el circuito del BEC. Pero este al ser de menor tamaño implica una menor capacidad de corte. Por lo tanto, se emplean para abrir y cerrar circuitos con una corriente inferior a los contactores.

El siguiente elemento para estudiar es el sensor de corriente, el sensor de corriente se puede emplear para diversas aplicaciones. Adquisición de datos, medidas de seguridad, o incluso para algunos modelos un contador para medir la energía que queda en la batería. Este sensor se encuentra en la entrada de la alimentación de la batería. Por lo que no está midiendo la corriente directamente sobre un cable la mide sobre una barra de cobre que hace las funciones de cable. El sensor en concreto es el modelo DHAB S/161. Puede medir la corriente y dar dos valores de salidas



Ilustración 25 Sensor de Corriente

distintos. La salida número 1 tiene una mayor precisión al tener un intervalo de -100 A hasta 100 A, con una sensibilidad de 20mv/A. Por otro lado, tenemos una segunda salida de -800A hasta 800A, con una sensibilidad de 2.5mv/A. El sensor tiene una alimentación de 5v y 20mA, consumiendo una potencia de 0.1W.

El tercer elemento que analizaremos es la resistencia de precarga. Este elemento tiene la función de controlar y regular la corriente que alimenta al variador de frecuencia cuando conectamos la batería con el motor. El variador de frecuencia tiene diversos componentes pasivos como resistencia, bobinas y condensadores. Estos últimos al conectarse en vacío a la batería generan una corriente de pico de un valor muy elevado, ya que se comportan como un cortocircuito o una resistencia de valor 0Ω . Generando unas corrientes de entrada tan elevadas que podrían dañar tanto los componentes internos del variador de frecuencia, o los elementos de BEC, como los contactores. O incluso podría generar defectos irreparables en las celdas de la batería o en sus conductores, por qué no están dimensionados para estas situaciones.



Ilustración 26 Resistencia Precarga

La resistencia se encuentra en paralelo al contactor principal con el que alimentan al variador de frecuencia. En este caso contamos con una resistencia de 27.6Ω . Con una tensión de 300V nominales tendría que soportar una corriente de 10.87A. Y una potencia de 3261W, durante unos segundos. Pero realmente cuando soporta los mayores esfuerzos eléctricos se supone que es con la batería cargada. Por lo tanto, la tensión de alimentación asciende hasta los 360V, generando una corriente en la resistencia de 13.04A. Y una potencia de 4694.4W, durante unos segundos. Con estos valores son con los que dimensionaremos la resistencia del circuito de precarga.

El cuarto elemento son los fusibles. Si observamos con detenimiento la imagen 5 podemos comprobar como contamos con 3 fusibles en el módulo BEC. Contamos con dos fusibles de baja intensidad, tienen una corriente de fusión de 40A. Estos elementos se emplean para asegurar el funcionamiento de los contactores. También contamos con un fusible a la salida negativa del BEC. Esta salida alimenta al variador de frecuencia. Tiene una corriente de ruptura de 300A. Todos los fusibles soportan 450V en DC. Por lo que este sistema está dimensionado para alimentar como mucho a una carga de 135KW. Los fusibles tienen la función de proteger a los componentes que viene tras ellos. En caso de que por ellos circule una corriente superior a la que han sido diseñados se destruyen y de esta forma dejan el circuito abierto evitando sobrecorrientes. Generalmente producidas por cortocircuitos o por algún otro fallo no contemplado.

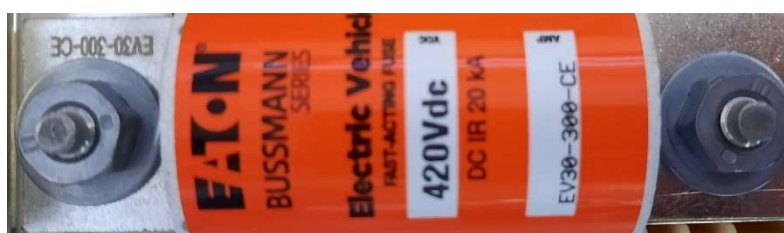


Ilustración 27 Fusible

Por último, nos queda analizar la función de los condensadores que se encuentran en los extremos de la ilustración 5. Estos elementos tienen la función de filtro. Con ellos queremos eliminar todas os armónicos de alta frecuencia que distorsionan nuestras señales. Por esta razón, conectamos un condensar entre los puntos negativos del módulo BEC y la carcasa que funciona como masa para nuestro sistema.



Ilustración 28 Condensadores

3. Diseño de la batería

Este capítulo consiste en el diseño de la batería que emplearemos en el prototipo de competición de WattmobileUPV. Para el diseño ya hemos definido que deseamos una batería con las siguientes características. Estos datos no tienen por qué corresponder con la información de una celda en concreto. Ya que posteriormente nuestro trabajo consistirá en encontrar unas celdas que se adapten a nuestras necesidades establecidas en las siguientes tablas.

Tabla 8 características celdas y batería

Características de la celda								
Tensión			Corriente				Capacidad (Ah)	Peso (Kg)
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Descarga		Carga			
2,75	3,7	4,25	I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)	4	0,07
			20	45	6	10		

Características de la batería						
Tensión			Corriente		Capacidad (KWh)	Peso (Kg)
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)		
35,75	48,1	55,25	140	315	1,3468	6,37

Test celdas				
Test current (A)	10	20	30	45
Measured Capacity (Ah)	28	26,60	22,32	18,06

Potencia		
Corriente de descarga (A)	140	315
Capacidad (kWh)	1,35	0,87
Autonomía (s)	55,10	35,54
Potencia (KW)	6,7	15,1515

Celdas	Serie	Paralelo
91	13	7

Coste	
Coste por celda	4,44 €
Coste Batería	404,04 €
Coste KWh	300,00 €

Como podemos observar en la tabla 8 tenemos una batería de 48V con una corriente de descarga de hasta 315A, con 1.35 kWh. La batería tiene una potencia pico cercana a los 15 kW.

La distribución inicial que aplicaremos para las celdas es de 13 celdas en serie y 7 celdas en paralelo.

El coste exclusivamente de las celdas es de 291.20€. A este coste le debemos añadir el coste de los accesorios y herramientas para poder fabricar una batería de estas características.

El apartado de potencia lo explicaremos en más detalle a continuación con la información del paquete de baterías que conforman nuestra batería del vehículo.

Nosotros emplearemos un conjunto de 12 baterías con estas características para obtener un paquete de baterías capaz de alimentar al motor de nuestro vehículo. Con este prototipo de batería queremos obtener el 100% de las prestaciones de nuestro motor en cualquier momento de la competición.

Tabla 9 características batería

Características de las baterías									
Tension			Corriente						
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Discharge		Charge		Capacidad (Ah)	Peso (Kg)	
35,75	48,1	55,25	I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)	28	6,37	
			140	315	78	130			
Características del paquete de baterías									
Tensión			Corriente						
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)	Capacidad (Ah)	Capacidad (KWh)	Peso (Kg)		
429	577,2	663	140	315	28	16,1616	76,44		
Test baterías									
Test current (A)		70	140	210	315				
Measured Capacity (Ah)		28	26,60	25,20	25,20				
Power			Baterías			Serie			Paralelo
Corriente de descarga (A)	150	315	12	12	1				
Capacidad (kWh)	16,16	14,55	Coste						
Autonomía (min)	11,02	4,80	Coste por batería		404,04 €				
Potencia (kW)	88,0	181,8	Coste del paquete de baterías		4.848,48 €				
			Coste KWh		300,00 €				

De este modo, la tabla 9 representa la información del paquete de 12 baterías. Dando las siguientes prestaciones: 663V cuando la batería esté al 100% del SOC. Una corriente de descarga de hasta 315 A, produciendo una potencia pico de 181.8 kW. Superamos en un 65% la potencia máxima del motor.

El peso total del paquete de baterías es de aproximadamente 76 kg. Cabe destacar que solo estamos contando el peso de las celdas. La batería se compone de carcasas, conductores, elementos de disipación de calor, las celdas y el sistema de BMS. El peso definitivo del módulo de la batería será superior a este valor.

La potencia y la autonomía la hemos calculado para nuestra competición. Estos valores difieren mucho de cualquier modelo de vehículo utilitario. Donde el objetivo no es competir contra otros vehículos, sino poder tener una trayecto tranquilo y agradable

con una autonomía lo más amplia posible. Para lo cual no se le pide el 100% de la potencia al motor.

La potencia la obtenemos del producto de la tensión media por la intensidad (en este caso de descarga) establecida.

$$\text{Potencia (batería descarga)} = V_{nom} \cdot I (\text{descarga})$$

Ecuación 11 Potencia de descarga de una batería

$$\text{Potencia} = 150 \cdot 577,2 \cong 88 \text{ kW}$$

Realmente, cuando tenemos la batería al 100% del SOC, podemos llegar a tener un pequeño extra de potencia. Ya que la tensión aplicada no es la tensión nominal que empleamos en este cálculo. Pero empleamos la tensión nominal para tener un valor aproximado de la potencia obtenida durante el funcionamiento de esta.

El siguiente punto es la autonomía. Nosotros hemos considerado que el consumo será de 88 kW. Como ya se explicó en el anterior capítulo. La potencia que consumen el motor es de 110 kW. Pero como nuestra competición es de coches de rally, debemos considerar el funcionamiento. Nos encontraremos con curvas a lo largo del circuito. Donde no podemos pedirle el 100% de la potencia al motor porque nos salimos de la pista o porque directamente estamos frenando y por lo tanto devolviendo energía a la batería. Con este criterio obtenemos el valor de autonomía de 11 minutos.

Por último, repasando al aspecto económico, el coste de esta batería solo en celdas asciende a los 4.848,48 €. Con esta cantidad podemos alimentar a una carga de hasta 181.8 kW y una autonomía superior a los 100 km proporcionada por los 16.16 kWh de nuestra batería. Al final tenemos como objetivo buscar un modelo de celdas con un coste inferior a los 300€/kWh.

3.1. Celdas seleccionadas

Buscaremos diferentes celdas que cumplan los requisitos establecidos en el apartado anterior, también contamos con la selección de las químicas óptimas para nuestra aplicación. Buscaremos celdas de las químicas NMC y NCA. Con una capacidad en cada celda de 4 Ah y un coste inferior a los 300 €/kWh.

En el capítulo anterior, ya explicamos que actualmente no se pueden comprar baterías para vehículos eléctricos a medida. Pero sí que podemos comprar módulos de baterías de coches eléctricos que han sufrido un siniestro. El gran problema de estos productos es su adaptabilidad. No podemos dimensionar la batería a la tensión, corriente y autonomía que nosotros deseamos. Además, la disposición de las celdas en la batería ya viene diseñadas para un vehículo que no será el nuestro. La propuesta que nosotros planteamos es diseñar desde cero una batería. Pero igualmente en este estudio incluiremos la batería reciclada de un vehículo eléctrico para poder comparar y entender que opción es más adecuada

El primer paso que realizaremos es un estudio de mercado. Donde iremos buscando distintas empresas que nos puedan proporcionar las celdas que compondrán nuestra batería. En algunas páginas web de los importadores de celdas podemos encontrar un panel de búsqueda con el que podemos seleccionar el tipo de celda que estamos buscando. Otro método es buscar celdas con bases de datos realizadas por comunidades online.

Las páginas web que seleccionamos son:

1. NKON. Es una empresa establecida en Eindhoven, Holanda. Vende todo tipo de celdas nuevas y accesorios para las baterías.
2. 18650batterystore. Es una empresa establecida en Atlanta, Estados Unidos. Vende todo tipo de celdas nuevas y accesorios para las baterías.
3. Etronixcenter. Es una empresa establecida en Eindhoven, Holanda. Vende todo tipo de celdas nuevas y accesorios para las baterías.
4. Imrbatteries. Es una empresa establecida en Houston, Estados Unidos. Vende todo tipo de celdas nuevas y accesorios para las baterías.
5. Aliexpress. Es una plataforma de comercio internacional. Vende todo tipo de celdas nuevas y accesorios para las baterías.

En estas empresas realizaremos la búsqueda de las celdas que encontremos aptas en las bases de datos que a continuación expondremos. Siempre cabe la posibilidad de que alguna celda que recientemente ha salido al mercado y no aparezca en las bases de datos por el momento. De este modo, realizaremos una segunda búsqueda para visualizar cualquier novedad en el mercado.

Las bases de datos las encontramos en:

1. LYGTE, <https://lygte-info.dk/info/batteryIndex.html>.

En esta web Podemos encontrar una gran cantidad de información. Contamos con un panel de búsqueda dividido en tipos de celdas, tamaño, año de salida al mercado y capacidades en función de la intensidad de descarga.

Battery Name	Type	Size	Year	Top	Prot.	Rated mAh	mAh 0.2A	mAh 3A	mAh 20A	mAh 30A
10180_100mAh	LiIon	10180	2-2018	flat	na	100	58			
4Greer_18650_3100mAh (Black)	LiIon	18650	2-2012	SB	8.1	3100	3039	2821		
A123 ANR26650M1A 2300mAh (Green)	LiFePO4	26650	10-2017	flat	na	2300	2175	2172	2124	2103
A123 ANR26650M1B 2500mAh (Green)	LiFePO4	26650	10-2017	flat	na	2500	2555	2540	2529	2522
AmoMax_18650_2900mAh (Black)	LiIon	18650	6-2012	LB	11.3	2900	2897	2746		
AmoMax_18650_3100mAh (Black)	LiIon	18650	6-2012	LB	11.4	3100	3060	2845		
AmoMax_18650_3400mAh (Black)	LiIon	18650	9-2012	LB	10.8	3400	3248	3028		
Amosplus_14500_1000mAh (Black) 2020	LiIon	14500	1-2020	flat	na	1000	949	848		
Amosplus_16650_2500mAh (Black) 2020	LiIon	16650	2-2020	SB	na	2500	1865	1807		
Amosplus_18350_1200mAh (Black) 2020	LiIon	18350	2-2020	SR	8	1200	981	958		

Ilustración 29 LYGTE (LYGTE, 2021)

2. Base de datos en Google Drive.

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1v76d4nDLTFQjJnSk-DNkQmA3-0F7qP3t7AbiN11PJ7A/edit#gid=0>

En esta base de datos podemos encontrar las fichas técnicas de las celdas. También podemos encontrar las intensidades de descarga y la capacidad de cada modelo.

Brand	Model (Markings)	Capacity (mAh)	Discharge A (Max)	Charging A (Max)	Chemistry	Color (Wrap)	Color (Ring)	Image	Data Sheet	Data Sheet (Backup)
			Note: Max values are only possible at ideal temperatures (5 to 45°C). Esp. low temperatures (-20 to 5°C) can drastically reduce performance. If only one value is given, consider it Max.					Please send images of cells you found that are not yet in this list. I will include them asap. You can also contact me on Reddit: /u/vanStroganov		
Sanyo/Panasonic	NCR18650BL	3350 (2.5V)	7	1.62	NCA (LiNiCoAlO2)	Red	Black		Data Sheet	Data Sheet Backup
YikLix (YLE)	INR18650A220	2200 (3V)	2.2 (6.6 Pulse)	1.1 (2.2)	INR / NMC (LiNiMnCoO2)	Red	Black		Data Sheet	Data Sheet Backup
LG	LGDBHE21865 / ICR18650HE2 / IMR18650HE2	2500 (2.5V)	10 (20)	1.25 (4)	INR / NMC (LiNiMnCoO2)	Red	White		Data Sheet	Data Sheet Backup
					INP / NMC					Data Sheet

Ilustración 30 Base de datos en Google Drive

3. Secondlifestorage. <https://secondlifestorage.com/index.php?pages/cell-data-base/>

Model Keywords		Brand/Manufacturer		Form Factor		Sorting		Filter
<input type="text"/>		All Brands		All Form Factors		Brand Name		<input type="button" value="Filter"/>
Brand	Model	Formfactor	Wrap Color	Ring Color	Cell Image	Cell Data		
A123Systems	APR18650M1A	18650	Yellow	White		View Specifications		
ATL	INR18650	18650	Blue	White		View Specifications		
BAK	18650C4	18650	Turquoise	White		View Specifications		
BAK	B18650CA	18650	Green (Light)	White		View Specifications		
BAK	C18650CC	18650	Gray	White		View Specifications		

Ilustración 31 Secondlifestorage (Secondlifestorage 2021)

4. Megacellmonitor. <https://www.megacellmonitor.com/CellTypes>

MegaCellMonitor cell type filter (WIP)					
Brand	Model	Form	Wrap color	Ring color	
Show all...	Show all...	Show all...	Show all...	Show all...	
MegaCellMonitor cell type database					
Brand	Model	Form	Wrap color	Ring color	Image
A123Systems	APR18650M1A	18650	Yellow	White	

Ilustración 32 Megacellmonitor (Megacellmonitor, 2021)

Los modelos de celdas seleccionados son:

3.1.1. Mollicel P42A

La celda Mollicel P42A del fabricante Taiwanés Mollicel, cuenta con una capacidad de 4,2 Ah. Tiene una resistencia interna de entre 10 y 16 mΩ. Lo más importante, permite una intensidad de descarga de hasta 45 A.



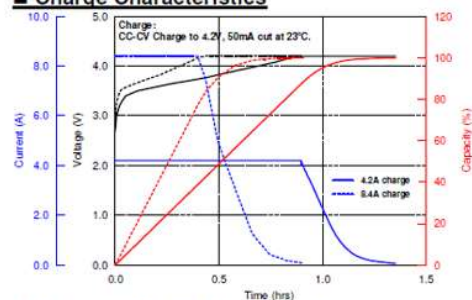
Ilustración 33 Mollicel P42A (team-legit, 2021)

Si observamos en la ilustración 34 obtenida de la ficha técnica de la celda, que se encuentra en el Anexo. Podemos encontrar que la capacidad de la celda se ve afectada por la intensidad de descarga. Pero en ningún caso llega a bajar de los 4 Ah. Esto es sumamente importante para poder calcular la autonomía de nuestro vehículo.

■ CELL CHARACTERISTICS

Capacity	Typical	4200 mAh 15.5 Wh
	Minimum	4000 mAh 14.7 Wh
Cell Voltage	Nominal	3.6 V
	Charge	4.2 V
	Discharge	2.5 V
Charge Current	Standard	4.2 A
Charge Time	Standard	1.5 hr
Discharge Current	Continuous	45 A
Typical Impedance	AC (1 KHz)	10 mΩ
	DC (10A/1s)	16 mΩ
Temperature	Charge	0°C to 60°C
	Discharge	-40°C to 60°C
Energy Density	Volumetric	615 Wh/l
	Gravimetric	230 Wh/kg

■ Charge Characteristics



■ Discharge Rate Characteristics

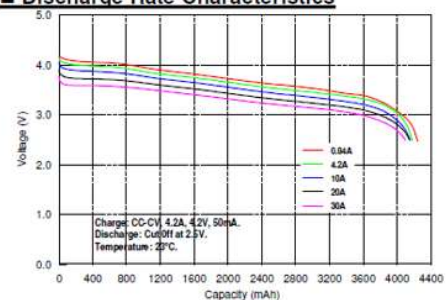


Ilustración 34 Mollicel P42A fiche técnica

3.1.2. Samsung INR21700-40T

El Segundo modelo de celda corresponde a las celdas Samsung INR21700-40T de la empresa Coreana Samsung. Esta celda cuenta con una capacidad de 4 Ah. Presenta una resistencia interna de 12 mΩ. Permite una intensidad de descarga de hasta 40 A.



Ilustración 35 Samsung INR21700-40T (lygte-info, 2021)

Si buscamos en la ficha técnica de esta celda encontramos la información relacionada con la intensidad de descarga y su capacidad de extraer su energía almacenada. Si observamos el primer dato relevante está relacionado con la capacidad. La capacidad inicial ya nos indica que será como mucho de 3.9 Ah. Por lo tanto, a una intensidad de 40 A la capacidad se reduce al 90%. Proporcionando 3.51 Ah.

7.9 Discharge rate capabilities

Discharge capacity is measured with the various currents in under table and 2.5V cut-off after the rated charge.

Current	Discharge condition			
	10A	20A	30A	40A
Relative Capacity	100%	95%	93%	90%

Note: Percentage index of the discharge at 23 °C at 10A (=3,900mAh) is 100%.

Ilustración 36 Samsung INR21700-40T ficha técnica

3.1.3. Panasonic NCR2070C

El último modelo de celda que hemos seleccionado son las celdas Panasonic NCR2070C. Estas celdas cuentan con una capacidad de 4 Ah. Presentan una resistencia interna entre 10 y 13 mΩ. El fabricante asegura alcanzar una intensidad de descarga de hasta 30 A.



Ilustración 37 Panasonic NCR2070C

Para obtener más información de la celda buscamos en la ficha técnica. La ilustración 38 extraída de la ficha técnica nos muestra las curvas de descarga relacionadas con la intensidad de descarga. De esta información podemos afirmar que las celdas cuentan con 3.4 Ah bajo una intensidad de descarga de 30 A.

Discharge rate Characteristics for NCR2070C

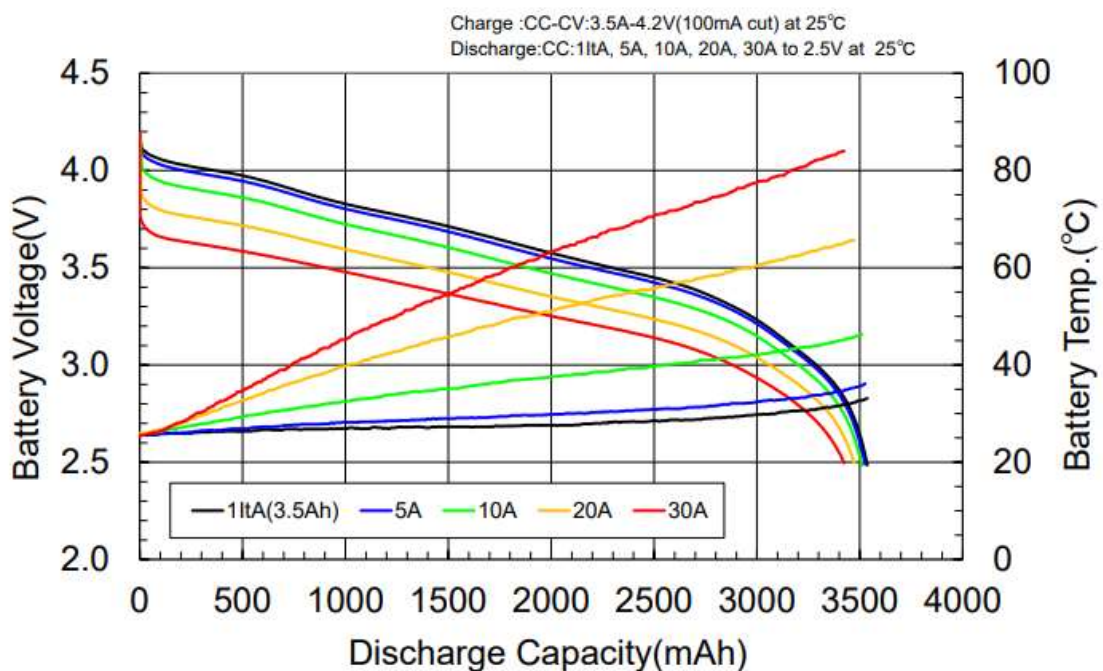


Ilustración 38 Panasonic NCR2070C ficha técnica

3.2. Modelos de baterías obtenidos

3.2.1. Molicel P42A

Tabla 10 características celdas Molicel P42A

Características de la celda Molicel P42A									
Tensión			Corriente				Capacidad (Ah)	Peso (Kg)	
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Descarga		Carga				
2,75	3,7	4,25	I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)	4	0,07	
			20	45	6	10			

Características de la batería con Molicel P42A						
Tensión			Corriente		Capacidad (KWh)	Peso (Kg)
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)		
35,75	48,1	55,25	140	315	1,3468	6,37

Test celdas				
Test current (A)	10	20	30	45
Measured Capacity (Ah)	28	26,60	26,40	25,20

Potencia		
Corriente de descarga (A)	150	315
Capacidad (kWh)	1,35	1,21
Autonomía (s)	55,10	49,59
Potencia (KW)	7,2	15,1515

Celdas	Serie	Paralelo
91	13	7

Coste	
Coste por celda	5,75 €
Coste Batería	523,25 €
Coste KWh	388,51 €

La primera batería se compone de 91 celdas Molicel P42A. Como celda presenta unas muy buenas prestaciones. Alta tasa de descarga alcanza un valor superior a las 10C. Mantiene una muy buena autonomía en todo su rango de trabajo. Pero observamos que el coste de las celdas es elevado. El coste del kWh supera los 300 €/kWh. Quedaría descartado a falta de obtener los resultados de las otras celdas.

Tabla 11 características batería MoliceL P42A

Características de las baterías con MoliceL P42A									
Tension			Corriente				Capacidad (Ah)	Peso (Kg)	
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Discharge		Charge				
35,75	48,1	55,25	I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)	28	6,37	
			140	315	78	130			

Características del paquete de baterías con MoliceL P42A								
Tensión			Corriente		Capacidad (Ah)	Capacidad (KWh)	Peso (Kg)	
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)				
429	577,2	663	140	315	28	16,16	76,44	

Test baterías				
Test current (A)	70	140	210	315
Measured Capacity (Ah)	28	26,60	25,20	25,20

Power		
Corriente de descarga (A)	150	315
Capacidad (kWh)	16,16	14,55
Autonomia (min)	11,02	4,80
Potencia (kW)	88,0	181,8

Baterías	Serie	Paralelo
12	12	1

Coste	
Coste por batería	523,25 €
Coste del paquete de baterías	6.279,00 €
Coste kWh	388,51 €

Los resultados que presentan las baterías de MoliceL P42A son brillantes. Podemos obtener una potencia de hasta 181.8 kW. Durante un periodo de 4,8 minutos. Si se emplea una potencia inferior, 88 kW, podemos obtener una brillante autonomía de 11.02 minutos de funcionamiento. El peso del conjunto de las 12 baterías que componen el paquete de baterías es de 76.44 Kg, entran dentro de los valores esperados. Observando estos datos quedaría claro que la batería es válida para nuestro proyecto.

El problema que encontramos con estas celdas es el precio. El coste por kWh que hemos establecido como límite son los 300 €/kWh y en este caso tenemos 388,51 €/kWh. Como ya hemos explicado, quedan descartadas a la espera de los resultados de las otras celdas.

3.2.2. Samsung INR21700-40T

Tabla 12 características celdas Samsung INR21700-40T

Características de la celda Samsun INR21700-40T									
Tensión			Corriente				Capacidad (Ah)	Peso (Kg)	
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Descarga		Carga				
2,75	3,7	4,25	I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)	3,9	0,07	
			20	40	6	10			

Características de la batería con Samsun INR21700-40T						
Tensión			Corriente		Capacidad (KWh)	Peso (Kg)
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)		
35,75	48,1	55,25	140	280	1,31313	6,37

Test celdas				
Test current (A)	10	20	30	45
Measured Capacity (Ah)	27,3	25,94	25,74	24,57

Potencia		
Corriente de descarga (A)	150	280
Capacidad (kWh)	1,31	1,18
Autonomía (s)	53,72	48,35
Potencia (KW)	7,2	13,468

Celdas	Serie	Paralelo
91	13	7

Coste	
Coste por celda	3,20 €
Coste Batería	291,20 €
Coste KWh	221,76 €

Las celdas Samsung INR21700-40T tienen unas características similares a las Molicel. En este caso contamos con 40 A de descarga en lugar de 45 A. La capacidad también se ve reducida. Pasamos de 4 Ah a 3.9 Ah. El peso de las celdas es el mismo en ambos casos. Las dos pesan 70 g. Este modelo de celda es muy interesante ya que cuenta con una alta tasa de descarga. La capacidad de extraer su energía en el interior demuestra tener muy buen rendimiento. Solo pierde un 10% de energía con una tasa de descarga de 10C. En definitiva, es una celda con muchas posibilidades de ser la elegida.

Tabla 13 características batería Samsung INR21700-40T

Características de las baterías con Samsung INR21700-40T									
Tensión			Corriente						
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Discharge		Charge				
35,75	48,1	55,25	I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)	Capacidad (Ah)	Peso (Kg)	
			140	280	78	130	27,3	6,37	

Características del paquete de baterías con Samsung INR21700-40T								
Tensión			Corriente					
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)	Capacidad (Ah)	Capacidad (KWh)	Peso (Kg)	
429	577,2	663	140	280	27,3	15,75756	76,44	

Test baterías				
Test current (A)	70	140	210	280
Measured Capacity (Ah)	27,3	25,94	24,57	24,57

Power		
Corriente de descarga (A)	150	280
Capacidad (kWh)	15,76	14,18
Autonomia (min)	10,74	5,27
Potencia (kW)	88,0	161,6

Baterías	Serie	Paralelo
12	12	1

Coste	
Coste por batería	291,20 €
Coste del paquete de baterías	3.494,40 €
Coste kWh	221,76 €

Las baterías que formamos con las celdas Samsung INR21700-40T demuestran grandes prestaciones. Una alta corriente de descarga. Podemos alcanzar los 280 A, generando unos excelentes 161,6 kW de potencia. Superando el requisito que establecimos de 150 kW. En este caso contamos con una autonomía ligeramente inferior a la proporcionada por las celdas Molicel. Tenemos 5.27 minutos a máxima potencia y 10.74 minutos a 88 kW.

El aspecto diferencial de estas celdas es su coste. El precio por kWh es el más bajo que hemos encontrado hasta el momento. Con un coste de 221,76 €/kWh. A falta de las celdas de Panasonic podemos decir que ya tenemos una celda seleccionada.

3.2.3. Panasonic NCR2070C

Tabla 14 características celdas Panasonic NCR2070C

Características de la celda Panasonic NCR2070C						
Tensión			Corriente			
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Descarga		Carga	
			I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)
2,75	3,7	4,25	20	30	6	10
					Capacidad (Ah)	Peso (Kg)
					3,5	0,062

Características de la batería con Panasonic NCR2070C						
Tensión			Corriente		Capacidad (kWh)	Peso (Kg)
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)		
35,75	48,1	55,25	160	240	1,3468	6,448

Test celdas				
Test current (A)	10	20	25	30
Measured Capacity (Ah)	28	26,60	25,90	25,20

Potencia		
Corriente de descarga (A)	150	240
Capacidad (kWh)	1,35	1,21
Autonomía (s)	55,10	49,59
Potencia (KW)	7,2	11,544

Celdas	Serie	Paralelo
104	13	8

Coste	
Coste por celda	4,06 €
Coste Batería	422,24 €
Coste kWh	313,51 €

El último modelo de celda que vamos a comparar son las Panasonic NCR2070C. Estas celdas de la marca japonesa cuentan con las peores prestaciones de las tres celdas analizadas. La cantidad de energía que son capaces de almacenar es 3.5 Ah. Por esta razón nos vemos obligados a subir el número de celdas en paralelo necesarias en cada batería. Originalmente contábamos con 7 celdas en paralelo por batería. En este caso contamos con 8. Otro punto negativo es su baja corriente de descarga respecto a los modelos anteriores. Tienen un coste por kWh ligeramente superior al máximo que establecimos de 300 €/kWh.

Tabla 15 características batería Panasonic NCR2070C

Características de las baterías con Panasonic NCR2070C								
Tension			Corriente				Capacidad (Ah)	Peso (Kg)
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	Discharge		Charge			
35,75	48,1	55,25	I Nom (A)	I Max (A)	I Nom (A)	I Max (A)		
			160	240	78	130	28	6,448

Características del paquete de baterías con Panasonic NCR2070C								
Tensión			Corriente		Capacidad (Ah)	Capacidad (KWh)	Peso (Kg)	
Voltaje Min (V)	Voltaje Nom (V)	Voltaje Max (V)	I Nom (A)	I Max (A)				
429	577,2	663	160	240	28	16,1616	77,376	

Test baterías				
Test current (A)	80	160	200	240
Measured Capacity (Ah)	28	26,60	25,90	25,20

Power		
Corriente de descarga (A)	150	240
Capacidad (kWh)	16,16	14,55
Autonomia (min)	11,02	6,30
Potencia (kW)	88,0	138,5

Baterías	Serie	Paralelo
12	12	1

Coste	
Coste por batería	422,24 €
Coste del paquete de baterías	5.066,88 €
Coste kWh	313,51 €

Las baterías que obtenemos con estas celdas no cumplen varios de nuestros requisitos. El primer requisito que no cumplen es el de la potencia. El paquete de baterías puede proporcionar hasta 138.5 kW. 12 kW por debajo del valor requerido. El siguiente es el coste. Supera a los 300 €/kWh.

Por último, hay que destacar que cuentan con un peso superior a los otros modelos de baterías. Esto se debe a que necesitamos de 8 celdas en paralelo por cada batería para dar una autonomía de al menos 10 minutos con un consumo de 88 kW.

3.3. Celda seleccionada

El modelo de celda seleccionada son las Samsung INR21700-40T. Elegimos este modelo de celda por sus altas prestaciones.

- Podemos producir hasta 161,6 kW durante más de 5 minutos de forma ininterrumpida.
- Contamos con un tiempo de trabajo superior a los 10 minutos con una potencia de 88 kW
- Tienen un precio inferior a los 300 €/kWh
- Cuentan con un peso total inferior a los 77 Kg
- Baja resistencia interna inferior a los 15 mΩ
- Tienen un rango de trabajo de -20°C hasta los 60°C
- Están disponibles en gran cantidad de tiendas de importación de celdas

El modelo de celda seleccionada los adquirimos con la empresa Nkon. Para realizar este trabajo contamos con una primera cantidad de 800 unidades Para poder realizar los ensayos rigurosos donde validamos las celdas.

3.4. Resultados experimentales de las celdas

Para ensayar las celdas realizaremos varios tipos de pruebas. La primera es un ciclado de las celdas. Este proceso consiste en tener a las celdas constantemente realizando cargas y descargas. De este modo, podemos determinar si las curvas establecidas por los fabricantes concuerdan con la realidad. La segunda prueba es medir la resistencia interna y la capacidad de las celdas. De este modo podemos ver cómo ha afectado al SOC y al SOH los ciclos de carga y de descarga.

3.4.1. Ciclado

Esta prueba consiste en realizar unas tandas de 200 cargas y descargas para ver el comportamiento de la celda. Para realizar este ensayo vamos a tomar de forma aleatoria 10 celdas de entre las 800 unidades que compramos para realizar el estudio.

Como ya explicamos en el primer capítulo, un ciclo lo consideramos cuando hemos realizado una carga completa y después una descarga completa. De esta forma necesitamos de un dispositivo que pueda realizar las cargas y descargas para no tener que cambiar las conexiones de las celdas. El dispositivo empleado es el IMAX B6AC, ilustración 39. Con este componente podemos configurar la intensidad de carga y de descarga. También es válido para otros modelos de químicas.



Ilustración 39 IMAX B6AC

Después de haber realizado los 200 ciclos hemos podido comprobar el funcionamiento de la batería. Hemos obtenido las siguientes gráficas a partir de los datos experimentales. En la ilustración 40 podemos ver como todos los valores se encuentran entre 3,9 Ah y 3 Ah.

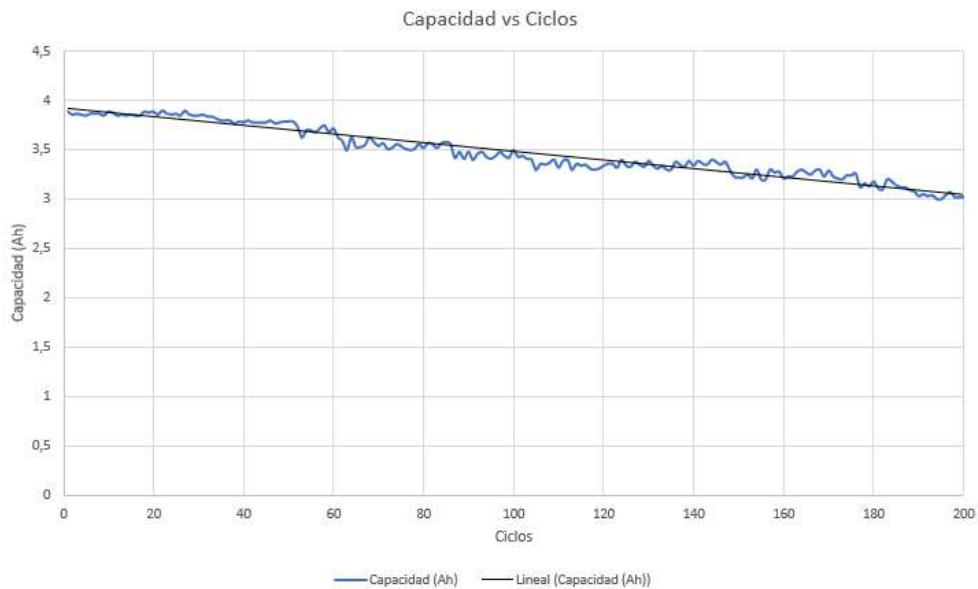


Ilustración 40 Valores de la capacidad de las celdas durante 200 ciclos

Mediante los valores de la ilustración 39 observamos una clara degradación en la capacidad de las celdas va disminuyendo progresivamente a medida que las celdas tienen un mayor número de ciclos. En el siguiente apartado analizaremos con mayor profundidad como afectan los ciclos en las celdas. Los valores mostrados en esta gráfica son el promedio de los 10 valores obtenidos de las celdas analizadas.

3.4.2. Resistencia interna y capacidad

Como ya hemos explicado en el capítulo anterior la resistencia interna es un dato muy relevante en las celdas. Con este dato podemos extraer el SOH. Al mismo tiempo veremos en qué medida afecta al SOC. Ya que también mediremos la capacidad que tienen nuestras celdas de almacenar energía.

Comenzaremos por la obtención de la resistencia interna. Este proceso se va a realizar a posteriori del ensayo de ciclado. Por lo que esperamos que la resistencia interna haya aumentado de su respectivo valor inicial.

En la ficha técnica las celdas indicaban que tenían 12 mΩ. Pero nosotros realizamos unas medidas previas al ciclado. Estos valores se encuentran en la tabla 16

Tabla 16 Variación de la resistencia interna

Celda	Resistencia interna de la celda inicial (mΩ)
1	13,38
2	14,21
3	13,71
4	14,19
5	13,63
6	12,94
7	12,98
8	14,77
9	12,01
10	14,57

Celda	Resistencia interna de la celda final (mΩ)
1	15,31
2	18,14
3	15,33
4	18,8
5	17,15
6	18,95
7	15,37
8	17,38
9	17,24
10	15,78

Media resistencia interna inicial (mΩ)	13,639
Media resistencia interna final (mΩ)	16,945
Variación de la resistencia interna	3,306
Variación (%)	24%

Con los datos obtenidos podemos calcular el estado de salud de las celdas después de los 200 ciclos. Para ello empleamos las ecuaciones 8 y 9. Donde relacionamos los valores de las resistencias con el SOH.

Si empleamos la ecuación 8 obtenemos:

$$SOH = \left(2 - \frac{16,945}{13,639} \right) \times 100 = 75\%$$

Si empleamos la ecuación 9 obtenemos:

$$SOH = \left(1 - \frac{13,639 - 16,945}{13,639} \right) \times 100 = 75\%$$

VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA INTERNA

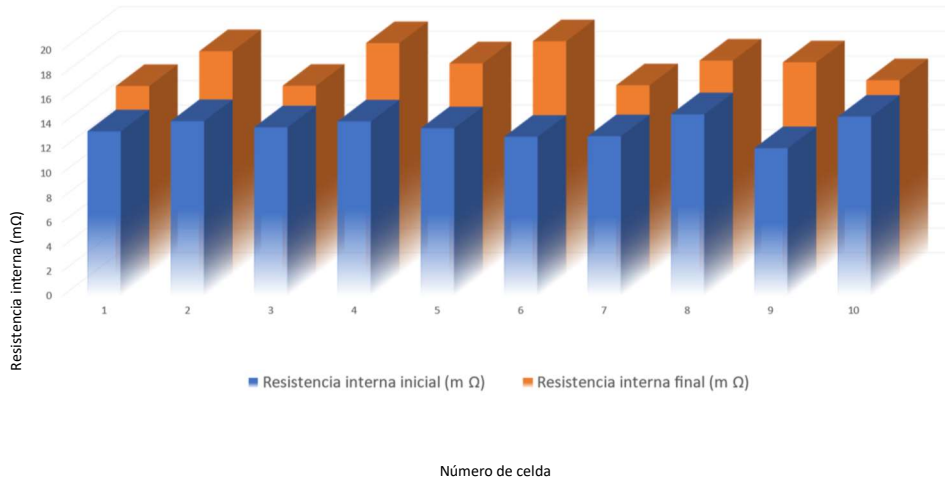


Ilustración 41 Gráfica variación de la resistencia interna

Los valores obtenidos demuestran que la resistencia interna ha aumentado 3,3 mΩ. Lo que significa que la resistencia interna ha aumentado en un 24%. Por otro lado, sabemos que el SOH de las celdas se ha reducido al 75%. Consideramos este valor como válido ya que esperamos obtener de las celdas aproximadamente 1000 ciclos y consideramos que el SOH alcanzará el 0% cuando tengamos una resistencia interna del doble de la original.

El siguiente paso, es analizar los valores de la capacidad de las celdas. Utilizamos las mismas 10 celdas. Con ellas procederemos a medir su capacidad original. Los datos del fabricante indican que es de 3,9 Ah.

Tabla 17 Capacidad de las celdas

Celda	Capacidad inicial de la celda inicial (Ah)	Celda	Capacidad final de la celda (Ah)
1	3,89	1	3,01
2	3,85	2	3,02
3	3,86	3	3,02
4	3,88	4	3,04
5	3,87	5	3
6	3,86	6	3,02
7	3,9	7	3,03
8	3,86	8	3,01
9	3,9	9	2,98
10	3,87	10	3,1

Capacidad inicial de la celda (Ah)	3,87
Capacidad final de la celda (Ah)	3,02
Variación de la capacidad	0,85
Variación (%)	22%

Con los datos que extraemos de la tabla 17 observamos que la degradación de las celdas afecta también a la capacidad de estas para almacenar la energía. Pasamos de poder almacenar 3.87 Ah con 0 ciclos a 3.02 Ah con 200 ciclos. Este equivale a una pérdida del 22% entre el valor original y el valor final, se podría decir que han perdido casi 1 Ah de capacidad cada celda después de este ensayo.

Para analizar estos datos calcularemos como hemos variado el SOC de las celdas. Comenzamos con un SOC del 100% ya que se trabajamos con celdas nuevas. Para obtener el SOC emplearemos la ecuación 6.

$$SOC = \frac{C}{C_0} \times 100 = 78,04\%$$

El valor del SOC ha disminuido hasta el 78,04%.

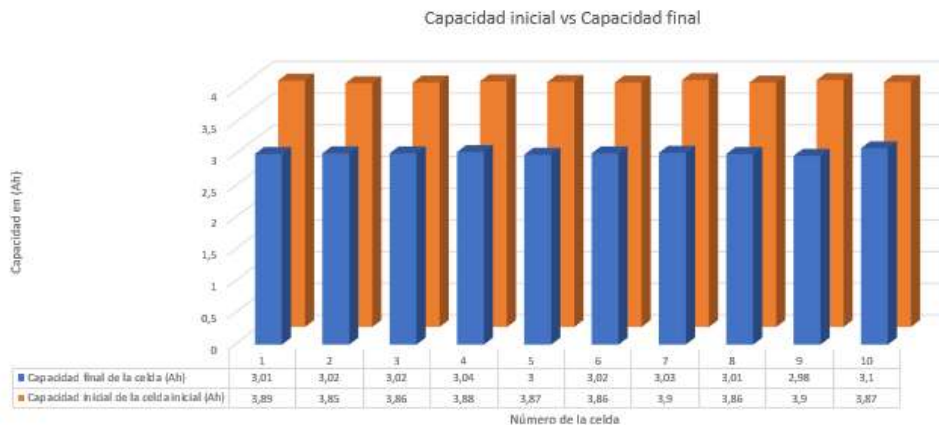


Ilustración 42 Gráfica variación de la capacidad de las celdas

3.5. Conclusiones

Contamos con una serie de ensayos que nos confirman que la información proporcionada por el fabricante es válida. Hemos realizado unas pruebas que suponen el 20% de ciclos que realizarán las celdas con las que trabajaremos. Por otro lado, hemos podido validar de forma exitosa el funcionamiento de las baterías en las condiciones de trabajo más críticas de funcionamiento del prototipo de WattmobileUPV.

Entre las celdas disponibles en el mercado no hemos podido encontrar una mejor relación calidad precio. Si que hemos encontrado alguna versión de celdas con mejores respuestas eléctricas. Pero esto suponía un coste muy elevado, difícilmente asumible por el equipo.

Con las celdas Samsung INR21700-40T esperamos obtener más de 15 kWh que nos permitan una autonomía superior a los 10 minutos. Donde podamos consumir en un rango de entre 88 kW y 150 kW. Todo esto con un coste inferior a los 3.500 €.

Podemos finalizar este capítulo afirmando que el modelo de celdas Samsung INR21700-40T es válido para nuestro proyecto.

4. Selección del BMS

El BMS es un sistema electrónico de gestión para una batería recargable. Su función es evitar que la batería trabaje fuera de su zona de operación segura y realizar un seguimiento del estado de esta. Esta es la definición que empleamos en el segundo capítulo. Donde expusimos la información para un primer contacto con la tecnología de los BMS.

En este capítulo seleccionaremos un modelo de BMS el cual posteriormente validaremos junto con las celdas que hemos escogido en el capítulo de diseño de la batería. En un primer momento nos planteamos emplear un sistema de BMS pasivo. Las razones de nuestra elección son las siguientes:

- Buscar un sistema altamente eficaz con celdas nuevas y de alta calidad. Como las que vamos a emplear en nuestras baterías.
- Debe tener una integración muy simple
- Simplicidad al dividir en módulos individuales las diferentes baterías que fabriquemos. De esta forma podemos fabricar baterías fácilmente reemplazables.
- Buscar un sistema económico y fácilmente accesible en el mercado.
- Que cuente con un bajo tiempo de espera desde la compra hasta su entrega. Esto normalmente se ve en el caso de sistemas activos diseñados a medida. En los cuales las empresas suelen tener un tiempo de respuesta de aproximadamente un mes desde que compras el BMS hasta que lo entregan.

4.1. Estudio de mercado

Principalmente encontramos dos opciones de escoger el sistema de BMS. El primero es utilizando una base de datos de una empresa estadounidense. La segunda opción es ir directamente buscando por internet las diferentes ofertas que ofrece el mercado. Donde podemos buscar tanto a empresas que venden su propio producto como empresas que trabajan como distribuidores.

La base de datos la encontramos en la página liionBMS [11]. En ella podemos filtrar con su panel de búsqueda entre una gran variedad de BMS.

Show just basic items Show all items

Usage					
Application	Battery	Purchasing			
No basic items to show here. Select "Show all items", above, to show these items.	Cell format: <input type="radio"/> Small cylindrical <input type="radio"/> Large cylindrical <input type="radio"/> Pouch <input type="radio"/> Prismatic <hr/> Cell chemistry: <input type="radio"/> 2.7 Vmax (Titanate) <input type="radio"/> 3.6 Vmax (LiFePO4, Thundersky) <input checked="" type="radio"/> 4.2 Vmax (LiPO, Cobalt) <hr/> Cells in series: <input type="text"/>	Availability: <input checked="" type="radio"/> Don't care <input type="radio"/> In production			
BMS specs					
Type	Sensing	Balancing	Functionality	Interface	Mechanical
Technology: <input checked="" type="radio"/> Don't care <input type="radio"/> Analog <input type="radio"/> Digital <hr/> Topology: <input checked="" type="radio"/> Don't care <input type="radio"/> Distributed <input type="radio"/> Non-distributed	No basic items to show here. Select "Show all items", above, to show these items.	SOC balancing: <input checked="" type="radio"/> Don't care <input type="radio"/> Yes	No basic items to show here. Select "Show all items", above, to show these items.	No basic items to show here. Select "Show all items", above, to show these items.	No basic items to show here. Select "Show all items", above, to show these items.

Hover over a heading title to get more information on that item.

Use the horizontal **scroll bar** at the bottom to scroll through the entire extent of the results.

53 products meet your criteria (out of 62):

Company	Company		Product				BMS type			Form		
	Name	Area	Model	Picture	Availab.	Price (for your no. of cells)	Technology	Topology	Configurable	Small cyl	Large cyl	Pr
123 Electric	123 Electric	The netherlands	123 Electric	pict	Y		Digital	Distributed	Y			
Agni motors	Agni motors	India / Britain	Agni	pict	Y		Analog	Distributed	Y	Y	Y	
All New Energy	All New Energy	Taiwan	VMS / GBTS	pict	Y		Digital	Non-distributed Modular		Y	Y	

Ilustración 43 liionBMS panel de búsqueda (liionBMS, 2021)

Entre los modelos que encontramos en la base de datos de liionBMS seleccionamos dos productos: el BMS Orion Jr 2 BMS de Orion BMS, y el BMS REC BMS Q de la empresa REC. Ambos modelos son capaces de controlar las 13 celdas de cada módulo de batería. En ambos productos podemos tener una intensidad de descarga superior a los 300 A. También cuentan con un balanceo pasivo en los dos casos.



Ilustración 44 Orion Jr 2 BMS (OrionBMS, 2021)

El Orion JR 2. Es un BMS centralizado de la empresa estadounidense ORION BMS cuenta con un sistema capaz de controlar hasta 16 celdas en serie. Tiene una precisión en la medida de hasta 0.1 mV con un error del 0.25%. Siendo uno de los sistemas más precisos del mercado actualmente. Además, tiene un rango de temperaturas de trabajo de -40°C hasta 80°C. Los sistemas de protección que posee para las celdas son: control de sobretensión, control de sobre corriente, control de temperatura, monitoreo del SOC y monitoreo del SOH. Tiene la opción de dar salidas de comunicación vía CAN. Tiene un coste de 344,25€.

Specification Item	Min	Typ.	Max	Units	Optional Specifications	
Supply Voltage	10		60	Vdc	Item	Value
Supply Current—Active		1.1		W	CANBUS speed (on supported units)	125, 250, 500, or 1000 Kbps
Operating Temperature	-40		80	C	Current Sensor Values Supported +/- (Hall Effect)	200A, 500A, 800A and 1000A Dual current sensors can be used to achieve up to 2000A
Digital Output Voltage (Open Drain)			60	V		
Digital Output Sink Current (60v max)			175	mA		
Analog Outputs Voltage	0		5	V		
Cell Voltage Measurement Range	0.5		5	V		
Cell Voltage Measurement Error (over 1-5v range)		0.25		%		
Cell Balancing Current			150	mA		
Cell Voltage Resolution		0.1		mV		

Ilustración 45 Ficha técnica Orion Jr 2 BMS (OrionBMS, 2021)



Ilustración 46 REC BMS Q (RECBMS, 2021)

El segundo modelo es el REC BMS Q de la empresa eslovena REC BMS. Este BMS es capaz de controlar hasta 16 celdas en serie. Tiene una precisión en la medida de hasta 3 mV de la tensión de las celdas y una precisión de la tensión de módulo de la batería completa de 6 mV. Puede medir la resistencia interna de las celdas. Además, tiene un rango de temperaturas de trabajo de -20°C hasta 70°C. Los sistemas de protección que posee para las celdas son: control de sobretensión, control de sobre corriente, control de temperatura, monitoreo del SOC y monitoreo del SOH. Tiene la opción de dar salidas de comunicación vía CAN. Tiene un coste de 429€

Parameter	Value	Unit
BMS maximum pack voltage	68.0	V
BMS minimum pack voltage	13.1	V
BMS minimum pack voltage (HW LVP)*	-	V
BMS maximum cell voltage	5.0	V
Shunt common mode input voltage interval (Shunt+, Shunt -) to the Cell 1 negative	-0.3 to 3.0	V
Shunt sensor max differential input voltage interval (Shunt+ to Shunt -)	-0.25 to 0.25	V
Cell voltage accuracy	+/- 3	mV
Pack voltage accuracy	+/- 6	mV
DC current accuracy	+/- 1	LSB
Temperature measuring accuracy	+/- 0.5	°C
DC current sample rate	3	Hz
Cell voltage sample rate	0.7	Hz
Cell balancing resistors	4.1	Ω
Maximum operating temperature	70	°C
Minimum operating temperature	- 20	°C
Maximum storage temperature	30	°C
Minimum storage temperature	0	°C
Maximum humidity	75	%
Max DC current relay @ 60 V DC	0.7	A
Max AC current relay @ 230 V AC	2	A
Max DC current @ optocoupler	15	mA
Max DC voltage@ optocoupler	62.5	V
BMS unit disable power supply @ 48 V	< 1	mW
BMS unit stand-by power supply @ 48 V	< 80	mW
BMS unit cell balance fuse rating	3.5 slow	A
Internal relay fuse	3.15 slow	A
Dimensions (w x l x h)	190 x 104 x 38	mm
IP protection	IP32	
HW version	3.0	n.a.

Ilustración 47 Ficha técnica REC BMS Q (RECBMS, 2021)

Otro lugar donde hemos encontrado varias opciones interesantes es Aliexpress. En este distribuidor asiático podemos encontrar una gran variedad de productos relacionados con los BMS. En nuestra búsqueda solo pondremos las palabras clave que serán BMS 13s, que significa sistema BMS de trece celdas en serie. Además podemos filtrar un poco más si empleamos los términos Liion. Ya que actualmente el mercado se encuentra copado por dos versiones de BMS. Los diseñados para celdas LFP y BMS diseñados para celdas de NMC o NCA.

Los modelos de BMS más recomendados son los de la empresa Daly BMS, son una empresa con muchos años de experiencia y una gran cantidad de productos contrastados con diversas versiones. Otra opción son los modelos genéricos que en muchos casos son copias de los modelos de Daly.



Ilustración 48 Daly 13s BMS 300A (DALYBMS, 2021)

Escogemos un BMS para 13 celdas en serie. Capaz de manejar hasta 300 A de descarga, con los cuales tenemos garantizado el correcto funcionamiento de cada módulo de baterías. Por otro lado, contamos con un sistema de seguridad con la tensión de las celdas. El BMS solo funcionará cuando las tensiones de las celdas estén dentro de 2.7-4.15 V. Dándonos unos márgenes de seguridad con los que podemos trabajar de forma segura. Cuenta con un sistema de seguridad de temperatura. Con el que puede configurarse el rango de temperatura en el que funcione el BMS. Tiene un coste de 260.78€

	Description	Specification (Li-on-14S)									Unite	Remarks
		80A	100A	120A	150A	200A	250A	300A	400A	500A		
Discharge	Continue discharge current	80A	100A	120A	150A	200A	250A	300A	400A	500A	A	
	Sparkle current	250±50	300±50	400±100	500±100	600±100	600±100	1000±200	1200±200	1500±200	A	
Inner Resistance	Main Circuit Conduct Inner resistance	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	mΩ	
Charge	Charge voltage	58.8									V	
	Charge current	40	50	60	75	100	125	150	200	225	A	
Over charge protection	Over charge detect voltage	4.25±0.05									V	Customizable
	over charge protection delay	1									S	Customizable
	over charge release voltage	4.15±0.05									V	Customizable
Balance	Balance detect Voltage	4.18									V	
	Balance release voltage	4.18									V	
	Balance current	30±5									mA	200A and above is 200±50mA
Over discharge protection	Over discharge detect voltage	2.7±0.1									V	Customizable
	Over discharge detect delay	1									S	Customizable
	Over discharge release voltage	3.0±0.1									V	Customizable
Over current protection	Over current detect voltage	1									MS	Customizable
	Over current detect delay	Off load										
Short Circuit protection	Short Circuit protection condition	Short circuit of external load										
	Short circuit detect delay	960									μS	
	Short circuit protection release condition	Off load										
Temp Protect	Temp Protect	/									°C	Customizable
Self Consumption	Working current	500									μA	
	Sleeping current(when in discharge)	0									μA	
Working Temp	Temp range	-20~70									°C	
Storage Temp	Temp range	-40~80									°C	

Ilustración 49 Ficha técnica BMS Daly (DALYBMS, 2021)

4.2. BMS seleccionado

Después de la búsqueda hemos decidido que el modelo que mejor se adapta y mayor confianza nos ofrece es un BMS de la empresa Daly. Los tres modelos de BMS son aptos para nuestra aplicación. Cuentan con sistemas de protección de sobre tensión y sobre corriente, al mismo tiempo que protección contra altas y bajas temperaturas. Tienen un balanceo pasivo de alta precisión.

Entre los tres modelos podemos observar como el sistema de BMS de Orion tiene una mayor precisión. Que el modelo de REC ofrece más información de las celdas a través de sus puertos de comunicación. Y el BMS de Daly nos ofrece la solución más económica.

El BMS tiene una integración en el módulo de la batería muy simple. Debemos soldar los terminales que se conectan a la zona de potencia del BMS donde se balancean las celdas. Estos cables los debemos de soldar a los terminales positivos de nuestras baterías. Siguiendo el orden establecido en la ilustración 50 extraída del manual del fabricante.



Ilustración 50 BMS Daly Cableado

Finalmente tendremos un módulo similar a la ilustración 51, donde podemos ver como se integra el BMS en la batería.

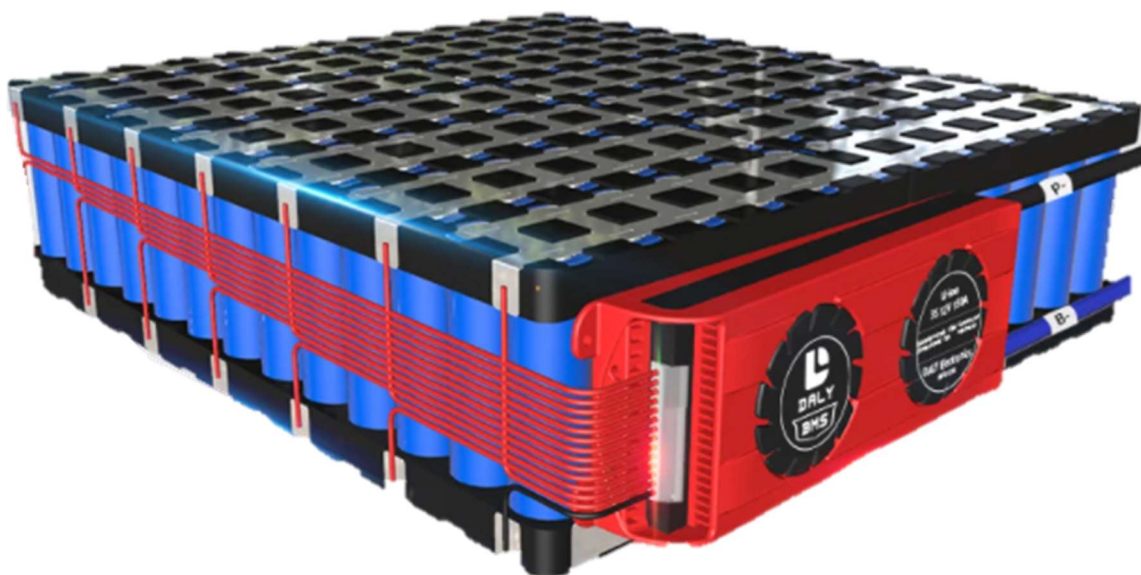


Ilustración 51 Integración de un BMS Daly

4.3. Resultados experimentales del BMS

Probamos el funcionamiento de los sistemas de seguridad y balanceo. La primera prueba consiste en descargar por completo la batería y verificar las tensiones de cada una de las celdas al mismo tiempo que verificamos que las celdas se encuentran con un correcto balanceo. El siguiente paso es cargar la batería y repetir la toma de datos realizada en la descarga. Tensión de cada una de las celdas y comprobar el nivel de balanceo entre celdas. El siguiente paso es realizar un ensayo intentando descargar con una temperatura superior a los 70°C.

4.3.1. Test de carga

La prueba de carga la realizaremos con un SOC inferior al 100%. Conectaremos la batería a nuestro cargador. El primer paso es ver cuál es el nivel de tensión en vacío. Con esta medida podemos realizar una estimación del nivel del SOC. Pero ya sabemos que no es la forma adecuada de conocer el SOC. La forma adecuada es como lo indicamos en el primer capítulo. En este caso por ahorra tiempo realizamos esta medida con la tensión en vacío. Tomamos la ilustración 20 Curva del SOC vs Tensión, con esta tabla podemos saber el porcentaje de SOC en nuestra batería.



Ilustración 52 Cargador batería NMC 13S

Cuando se haya completado la carga debemos desconectar el cargador de nuestra batería. En este punto comenzamos verificando la tensión de nuestra batería. La tensión del conjunto de celdas que componen la batería viene definida por la ecuación 12

Ecuación 12 Tensión de la batería

$$V_{bater\acute{a}} = \sum \text{tensi3n individual de cada celda}$$

En este caso debemos obtener una tensi3n individual de 4.15 V por celda. Con una variaci3n de $\pm 0.05V$. La tensi3n obtenida ha sido:

$$V_{Bater\acute{a}} = 53.83 V$$

Cuando medimos la tensi3n de cada celda obtenemos los siguientes valores.

Tabla 18 Tensi3n de las celdas

N3mero de la celda	Tensi3n de la celda (V)
1	4,15
2	4,15
3	4,14
4	4,15
5	4,1
6	4,15
7	4,15
8	4,18
9	4,11
10	4,15
11	4,12
12	4,13
13	4,15
Tensi3n de la bater\acute{a} (V)	53,83

Podemos afirmar que las celdas y el BMS han superado esta prueba satisfactoriamente. De muestran que se encuentran dentro del rango de trabajo establecido.

4.3.2. Test de descarga

La prueba de descarga es similar a la prueba de carga. En este caso ya sabemos la tensión de la que partimos. Para realizar la descarga empleamos dos resistencias de 400 W. Para este ensayo alejamos todo lo posible las resistencias para que el calor generado por estas cargas no afecte a la batería.

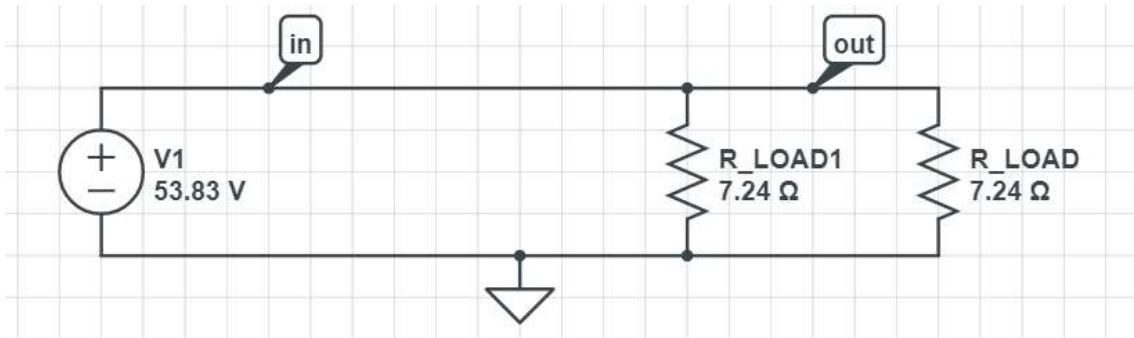


Ilustración 53 Esquema del circuito de descarga

Tabla 19 Resultados del ensayo

V(in)	53.83 V
I(R_LOAD1.nA)	7.435 A
I(R_LOAD.nA)	7.435 A
V(in)*I(R_LOAD1.nA)	400.2 W
V(in)*I(R_LOAD.nA)	400.2 W
V(in)*(I(R_LOAD1.nA)+I(R_LOAD.nA))	800.5 W

El esquema es muy sencillo conectamos dos cargas en paralelo a la salida de la batería. De esta forma creamos una carga de 800W. Cuando ya tenemos la batería con un nivel de carga inferior a 39V el propio BMS desconecta la salida de la batería de la carga. Por últimos nos quedará medir de nuevo la tensión de la batería para verificar a que tensión se ha desconectado el BMS de la carga. Y medir la tensión de las celdas para poder verificar posibles desbalances.

Tabla 20 tensiones de las celdas descargadas

Número de la celda	Tensión de la celda (V)
1	2,95
2	3
3	3
4	3,1
5	3
6	3,02
7	3,05
8	3
9	2,99
10	3
11	2,98
12	3
13	3
Tensión de la batería (V)	39,09

Con estos resultados lo que podemos verificar es en primer lugar que el BMS puede desconectar la batería de la carga como medida de seguridad. Este punto del ensayo es favorable. El siguiente punto es la tensión que hemos alcanzado. 39,09 V. Este valor es ligeramente superior a los 39 V que aparecen en la ficha técnica. Pero como su tolerancia es de 0,1 V se considera que este valor es válido. Lo mismo sucede con las tensiones de las celdas. Observamos que no se encuentran con la misma tensión todas las celdas. Pero se encuentran dentro de las tolerancias definidas. Por lo tanto, el resultado de la prueba de descarga es favorable.

4.3.3. Test de temperatura

El tercer ensayo consiste en una descarga con la batería y BMS sometidos a una temperatura de 70°C. Con esta prueba planteamos la misma situación que en la prueba anterior. Realizaremos la descarga con las dos resistencias. Pero en este caso todo el calor generado por las resistencias lo pensamos contener con en un contenedor. Dentro de dicho contenedor incluimos la batería y las resistencias. Y mediante un sensor de temperatura controlamos que la temperatura en el interior del contenedor no varíe de los 70°C durante toda la descarga. Esto lo conseguimos midiendo el calor con un termopar cada 10 minutos. Estimamos que el tiempo de descarga completa sea de una hora y media.

Cuando la batería se encuentre descargada volveremos a medir las tensiones y comprobar cómo ha queda el balanceo entre las celdas.



Ilustración 54 Materiales empleados en el ensayo



Ilustración 55 multímetro con termopar

El proceso de descarga tuvo una duración de una hora y veinte minutos. La energía que ha sido extraída de la batería la podemos obtener con el siguiente cálculo.

$$\text{Energía extraída} = \text{Tiempo de descarga} \times \text{Potencia de descarga}$$

Ecuación 13 Energía extraída de una batería

$$\text{Energía extraída} = 1,33 \cdot 0,8 = 1,06 \text{ kWh}$$

Los valores de la temperatura en el interior del contenedor los fuimos anotando en la tabla 21.

Tabla 21 Temperatura ambiente en el contenedor

Tiempo (horas:minutos)	Temperatura (°C)
0:00	67
0:10	70
0:20	70
0:30	68
0:40	71
0:50	69
1:00	70
1:10	71
1:20	65

Ya sabemos que nuestra batería bajo una temperatura constante de 70°C puede proporcionar hasta 1,06 kWh. Consideramos que es un valor válido ya que en condiciones normales esta batería contará con un sistema de refrigeración. Por lo que rara vez podrá alcanzar estas temperaturas.

Los resultados de las tensiones que obtenemos son favorables. Las tensiones de cada celda demuestran que el balanceo es el correcto. Como en el caso anterior no se encuentran todas las celdas con la misma tensión, tienen una diferencia menor a 0,1 V. El resultado de esta prueba ha sido favorable.

Tabla 22 tensiones de las celdas descargadas

Número de la celda	Tensión de la celda (V)
1	2,98
2	3
3	2,99
4	3
5	3
6	3
7	2,98
8	3
9	3
10	3
11	2,98
12	3
13	3
Tensión de la batería (V)	38,93

4.4. Conclusiones

Después de los ensayos que hemos realizado con el BMS podemos decir que es apto para nuestras aplicaciones. Hemos comprobado que actúa con las protecciones manteniendo a la batería en un área de seguridad. El único punto negativo sería si relación calidad precio. Esperábamos contar con un balance de mayor precisión donde todas las celdas se encontrarán ajustadas a los centivoltios. Aun estando indicado en la propia ficha técnica, pero nosotros teníamos la ligera esperanza de encontrar un mejor funcionamiento.

Al final lo que buscamos no es solo obtener el máximo rendimiento con el prototipo. También buscamos aprender de forma segura. De esta forma, concluimos que el modelo de BMS escogido es válido para este proyecto.

5. Diseño y validación del BEC

El módulo BEC es un módulo cuyo uso principal es la conexión y desconexión remota de la batería con el resto del vehículo. En esta capítulo queremos cubrir todos los pasos que hemos seguido en el prototipado de este módulo. Desde el diseño del circuito eléctrico pasando por la selección de los componentes hasta llegar al montaje del circuito y su posterior validación.

Para el diseño nos queremos basar en los modelos eléctricos obtenidos de modelos ya implementados en algunos vehículos. En nuestro caso empleamos el diseño de un FORD Mondeo híbrido.

Con este módulo pretendemos conectar y desconectar la batería de forma segura. Para ello el comando le vendrá dado de forma remota desde el controlador del motor. También queremos implementar varios posibles interruptores de emergencia. El primer modelo es un interruptor de paro de emergencia. El interruptor se encontrará en el salpicadero del vehículo para ser accionado en caso de emergencia por el piloto. El segundo interruptor es de tipo llave. Se encontrará en exterior del vehículo para ser accionado en caso de un accidente en el que el piloto no puede accionar el interruptor que se encuentra en el interior. Por último, contamos con un interruptor de impacto. Es comúnmente llamado sensor de impacto. Este dispositivo se utiliza en los vehículos de combustión para desactivar la bomba de gasolina en caso de impacto. Nosotros vamos a reciclar este componente que proviene del vehículo original y lo incluiremos en el circuito eléctrico.

5.1. Diseño Eléctrico

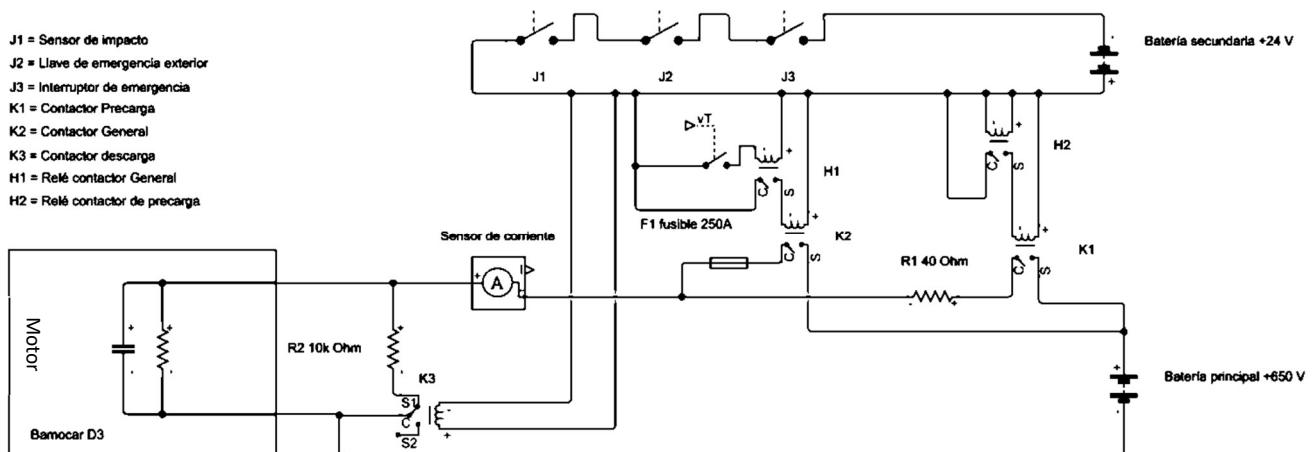


Ilustración 56 Esquema eléctrico BEC

Si realizamos un análisis superficial del esquema podemos ver como tenemos dos circuitos. Un circuito a una tensión de 650 V, que denominaremos circuito principal con el que alimentaremos al variador de frecuencia. El segundo circuito es de 24 V, lo designamos como circuito secundario con el que alimentaremos a los relés y contactores.

En el circuito principal contamos con tres partes:

- El circuito de precarga, formado por un contactor NA, por un relé con el que alimentamos al contactor y una resistencia de 40Ω . El relé se emplea para poder conectar y desconectar el contactor desde una tarjeta embebida. El contactor requiere una corriente de conexión elevada, difícilmente asumible por una tarjeta embebida. En los relés sucede el mismo efecto, pero en menor medida. La intensidad que requiere para conectar y desconectar un relé es del orden de miliamperios. Por este motivo controlamos al relé desde la tarjeta embebida

- El circuito de conexión general. Contamos con un contactor NA, un relé, un fusible de 250 A y un interruptor. Las funciones de los componentes son las mismas que en el circuito de precarga, solo que en sin de limitar la corriente con la resistencia alimentamos al motor. En este caso contamos con un interruptor que abre y cierra la entrada de alimentación del contactor. Este interruptor sustituye a la señal que genera el variador de frecuencia. Con esta señal el variador cierra el contactor general y así termina el proceso de la precarga.
- El circuito de descarga. Compuesto por un contactor NC y una resistencia de 10k Ω . Este circuito se encarga de descargar principalmente a los condensadores del variador de frecuencia. Esto es un elemento de seguridad opcional. que hemos añadido para mejorar la seguridad en el prototipo.

5.2. Selección de componentes

Los componentes que vamos a seleccionar: la resistencia de precarga, los contactores, los relés normalmente abiertos, los relés normalmente cerrados, sensor de impacto, pulsador de emergencia, fusibles, portafusibles y sensor de corriente.

Tabla 23 Componentes BEC

Componente	Cantidad
Relé	2
Contactador NA	3
Contactador NC	1
Resistencia de descarga	1
Resistencia de precarga	1
Fusible 25 A 1000 VDC	10
Portafusibles	10
Carril DIN	1
Pulsador de emergencia	1
Llave de emergencia	1
Sensor de impacto	1
Sensor de corriente	1

Para la selección de componentes hemos realizado una búsqueda entre varios proveedores de electrónica para escoger los componentes con mejor relación calidad precio. Pero como todo este material eléctrico se encuentra dentro de los acuerdos que la Universitat Politècnica de València tiene firmados con varios proveedores nos limita la cantidad de empresas a las que podemos acudir.

Dicho esto, todo el material que nosotros queremos comprar se encuentra suministrado por estas empresas con las que la Universitat Politècnica de València tiene acuerdos firmados. Principalmente el material será suministrado por la empresa Amidata S.A.U.

Entre los componentes seleccionados nos centraremos en el contactor, en el fusible y en el sensor de corriente.

5.2.1. Contactor NA

El contactor NA que hemos escogido es el LEV200A5ANA de la marca TE connectivity. Para escoger el contactor debemos tener en cuenta varios parámetros. El primer parámetro para tener en cuenta es la tensión a la que puede trabajar. En nuestro caso trabajamos con una tensión en corriente continua de 670 V. El segundo parámetro es la intensidad que es capaz de cortar. En nuestro caso la intensidad que podemos alcanzar es de 300 A. El cuarto dato relevante es el tiempo de funcionamiento con nuestros valores de tensión y de corriente. Y por último tenemos que ver el número de ciclos que puede realizar el contactor con los valores de tensión y corriente que le vamos a aplicar. En el caso de nuestro modelo tenemos un tiempo de funcionamiento y 200 ciclos con una tensión de 670 VDC y 300 A.



Ilustración 57 Contactor NA

5.2.2. Resistencia de precarga

La resistencia escogida es de 40 Ω y 50 W. Aunque pueda parecer que una resistencia de 50W es insuficiente para disipar toda la potencia podemos ver que en las fichas técnicas nos dice que durante cortos periodos de tiempo puede soportar mucha más potencia.



Ilustración 58 Resistencia de precarga

5.2.3. Sensor de corriente

El sensor de corriente que buscamos debe de contar con una alimentación a +24 VDC. Con una tensión de salida de 0-5 VDC. También tenemos en cuenta para la búsqueda la sensibilidad del sensor de corriente, el consumo y el tiempo de respuesta.

El sensor que hemos escogido es el CYHCT-WS3 de la marca China ChenYang Technologies GmbH & Co. KG. Este sensor es capaz de medir corrientes de hasta 300 A. Tiene una tensión de alimentación de 24 VDC y una señal de salida de 0-5 VDC. Cuenta con una precisión del 0.5%. Y el tiempo de respuesta es de $1 \times 10^{-5} s$. Es una de las mejores opciones que encontramos en el mercado. Para la implementación en nuestro módulo BEC debemos de incluir un Arduino con el que podemos analizar la señal de 5 V que nos envíe el sensor para saber la corriente que circula.



Ilustración 59 Sensor de corriente

5.2.12.1. Programación del sensor de corriente

Para la programación del sensor de corriente CYHCT-WS3 empleamos módulo Arduino mega 2560. Mediante el cual realizaremos los cálculos necesarios para obtener el valor de la corriente.

En primer lugar, debemos saber qué es lo que estamos midiendo. En este caso sabemos que el sensor de corriente está midiendo la corriente que pasa a través de él. En segundo lugar, sabemos que lo que el módulo Arduino medirá no son amperios. La señal que recibirá el módulo son voltios en un intervalo de 0 a 5 V. Cuando el sensor esté midiendo 300 A la señal de salida será de 5 V. Cuando el sensor esté midiendo 0 A la señal de salida será de 0 V.

Una vez sabemos esto, mediante unos cálculos que introducimos en el módulo Arduino podemos obtener la medida de la corriente. Para ello seguiremos las pautas marcadas en el blog de *naylampmechatronics*. El sensor nos entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A y a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo con la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente. Dicha relación es una línea recta en una gráfica Voltaje vs Corriente donde la pendiente es la sensibilidad y la intersección en el eje Y es 2.5 voltios. La pendiente es m y equivale a la sensibilidad. [12]

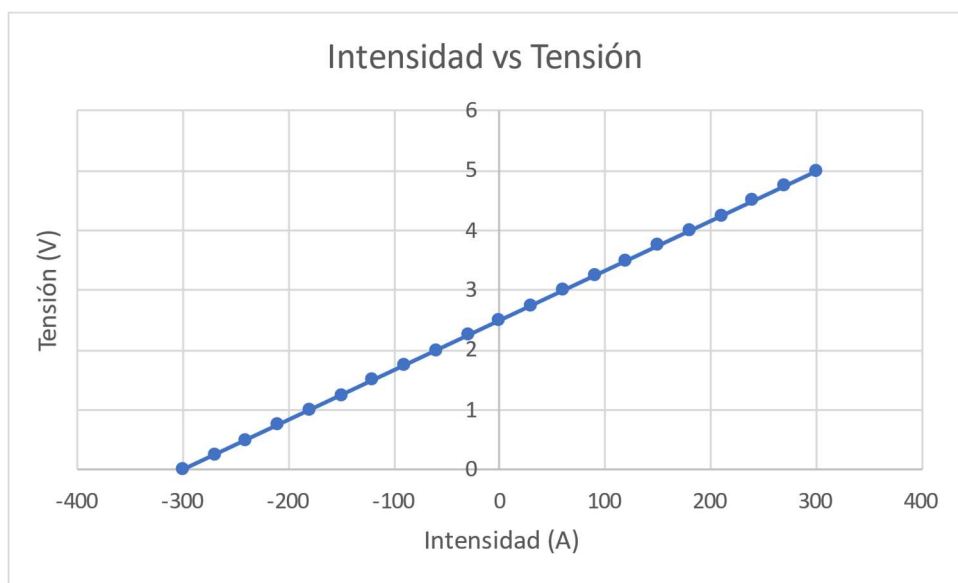


Ilustración 60 Gráfica relación entre la intensidad y la tensión del sensor de corriente

El valor de la intensidad viene definido por la ecuación 14.

$$V = m I + 2.5$$

Ecuación 14 Tensión del sensor de corriente

Si despejamos I podemos obtener la ecuación que introduciremos en el código del Arduino.

$$I = \frac{V - 2.5}{\text{Sensibilidad}}$$

La sensibilidad de nuestro cálculo será $8,33 \times 10^{-3}$



```
sketch_jun5a.ino  ReadMe.adoc  ▼
1 float Sensibilidad = 0.00833333;
2 void setup() {
3
4   Serial.begin(9600);
5 }
6
7 void loop() {
8
9   float voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0); //lectura del sensor
10  float I = (voltajeSensor - 2.5) / Sensibilidad; //Ecuación para obtener la corriente
11  Serial.print("Corriente: ");
12  Serial.println(I, 3);
13  delay(200);
14 }
```

Ilustración 61 Código del sensor de corriente

5.3. Validación de funcionamiento del BEC

La fase de validación del funcionamiento consistirá en las tres puestas en práctica, la primera en vacío comprobando continuidad con el multímetro. Y la segunda prueba la realizamos con un paquete de 4 baterías con el variador y el motor conectados. De esta forma podemos validar el funcionamiento si llegar al 100% de la potencia que podemos generar. Por último, realizaremos unos ensayos con el sensor de corriente.

En primer lugar, hemos escogido 4 baterías ya que nos proporcionan una tensión de entre 156 V hasta los 215,8 V con un 100% del SOC. La tensión estará limitada por el variador. La corriente máxima podrá alcanzar los 40 A durante 5 segundos, pero en este ensayo no llegaremos a necesitar tanta corriente.

Para la alimentación de todo el circuito emplearemos una batería de 24 V y 10 Ah. Con una capacidad de descarga de 10 A. De esta forma tenemos cubiertas todas las necesidades energéticas del módulo. Los consumos los detallamos en la tabla 24.

Tabla 24 Consumos BEC

Componente	Intensidad (A)
Contactador 1 NA	1
Contactador 2 NA	1
Contactador 3 NA	1
Relé 1	0,6
Relé 2	0,6
Contactador 4 NC	1
Sensor de corriente	0,08

Para conectar la batería de 24 V a los terminales de alimentación del BEC previamente nos hemos asegurado de no tener el pack de 4 baterías conectado. Cuando realizamos las diferentes conexiones debemos seguir el siguiente protocolo para comprobar el correcto funcionamiento.

1. No continuidad en los contactores 1, 2 y 3.
2. No continuidad en los relés 1 y 2.
3. Continuidad en el contactor 4.
4. Conectamos la batería.
5. Comprobamos que la tensión sea superior a + 24 V.
6. No continuidad en el contactor 4.
7. Comprobamos que el relé 1 se ha cerrado y el contactor 1 y el contactor 3 también se encuentran cerrados.
8. Conectamos el relé 2 y abrimos el relé 1
9. Comprobamos que el contactor 1 se ha abierto, y que el contactor 2 y el contactor 3 se encuentran cerrados.
10. Abrimos el relé 2.
11. Desconectamos la batería.
12. No continuidad en los contactores 1, 2 y 3.
13. No continuidad en los relés 1 y 2.
14. Continuidad en el contactor 4.

Cuando hemos terminado de realizar este protocolo podemos afirmar que el módulo BEC funciona de manera adecuada. El siguiente paso es realizar las mismas pautas, con las baterías conectadas a la entrada de potencia. Y con el variador conectado a la salida de potencia.

Nosotros hemos podido confirmar de manera exitosa el correcto funcionamiento del sistema.

El último ensayo que realizaremos es la validación del sensor de corriente. Para ello vamos a emplear el sensor CYHCT-WS3, también emplearemos el sensor de corriente que tiene integrado el propio variador de frecuencia al que conectamos la batería y dos pinzas amperimétricas. Una para corriente continua y la otra para corriente alterna. La pinza de continua la conectaremos en la entrada del variador de frecuencia y la pinza amperimétrica de corriente alterna a una de las tres salidas del variador.

Para comenzar el ensayo en primer lugar, conectaremos el sistema del BEC siguiendo el protocolo establecido en este apartado. El siguiente paso es mandarle un comando al variador de frecuencia para que mueva al motor. De esta forma el motor comenzará a consumir corriente y podremos validar en correcto funcionamiento del sensor.

Una vez finalizado este ensayo las conclusiones que hemos podido obtener son: En primer lugar, debemos emplear para nuestra aplicación con el vehículo el sensor que ya incluyen el variador de frecuencia. Ya que este sensor es de mayor precisión y no tenemos que darle una alimentación o dispositivos externos como es el caso del módulo Arduino. En segundo lugar, hemos obtenido un sensor de corriente de hasta 300 A. Con el que podemos trabajar con confianza si en algún momento dejamos de trabajar con el variador de frecuencia, Bamocar D3. Como por ejemplo en algún ensayo de descarga en el que no utilizemos el motor.

6. Presupuesto

6.1. Componentes

6.1.1. Celdas

Componente	Cantidad	Precio unidad	Precio
Celdas	800	3,20 €	2.560,00 €
Soportes	20	7,95 €	159,00 €
Tiras de niquel	2	47,38 €	94,75 €
Cableado	1	50,00 €	50,00 €
Plástico termoretráctil	3	4,38 €	13,13 €
Silicona	5	5,45 €	27,25 €
Cinta Kapton 35 mm	2	8,75 €	17,50 €
Cinta Kapton 50 mm	2	9,95 €	19,90 €
Cargador	3	27,95 €	83,85 €

Coste total	3.025,38 €
--------------------	-------------------

6.1.2. BMS

Componente	Cantidad	Precio unidad	Precio
BMS Daly 300A 48V	12	260,78 €	3.129,36 €

Coste total	3.129,36 €
--------------------	-------------------

6.1.3. BEC

Componente	Cantidad	Precio unidad	Precio
Relé	2	6,13 €	12,26 €
Contactador NA	3	95,95 €	287,85 €
Contactador NC	1	51,75 €	51,75 €
Resistencia de descarga	1	17,29 €	17,29 €
Resistencia de precarga	1	4,17 €	4,17 €
Fusible 25 A 1000 VDC	10	7,59 €	75,89 €
Portafusibles	10	3,66 €	36,60 €
Carril DIN	1	2,91 €	2,91 €
Pulsador de emergencia	1	35,85 €	35,85 €
Llave de emergencia	1	4,99 €	4,99 €
Sensor de impacto	1	2,78 €	2,78 €
Sensor de corriente	1	20,44 €	20,44 €

Coste total	552,78 €
--------------------	-----------------

6.2. Herramientas

Componente	Cantidad	Precio unidad	Precio
Soldador por puntos	1	405,95 €	405,95 €
Soldador de estaño	1	50,00 €	50,00 €
Destornilladores	1	25,00 €	25,00 €
Pistola de calor	1	32,75 €	32,75 €
Pistola de silicona	1	15,00 €	15,00 €
Pinza amperimetrica DC	1	36,00 €	36,00 €
Pinza amperimetrica AC	1	20,00 €	20,00 €
Motor Emrax 228	1	5.200,00 €	5.200,00 €
Bamocar D3	1	3.603,40 €	3.603,40 €
Arduino	5	6,60 €	33,00 €
Cables arduino	5	2,00 €	10,00 €
Fuente de alimentación	1	150,00 €	150,00 €
Termómetro infrarojo Digital	1	28,50 €	28,50 €
Imax B6AC	2	21,93 €	43,86 €
Crimpadora	1	60,00 €	60,00 €
Terminales	5	2,00 €	10,00 €
Coste total			9.723,46 €

6.3. Horas de trabajo

Descripción	Cantidad	Precio unidad	Precio
Ingeniero Técnico	100	20,00 €	2.000,00 €
Ingeniero Superior	30	40,00 €	1.200,00 €
Ingeniero Superior	30	40,00 €	1.200,00 €
Coste total			4.400,00 €

6.4. Costes totales

Descripción	Cantidad	Precio unidad	Precio
Horas de trabajo	1	4.400,00 €	4.400,00 €
Herramientas	1	9.723,46 €	9.723,46 €
Componentes	1	6.707,52 €	6.707,52 €

Coste total	20.830,98 €
--------------------	--------------------

7. Conclusiones

Con todo este trabajo desarrollado a raíz del proyecto WattmobileUPV, hemos podido dar pie a una serie de actividades. Con ellas, queremos involucrar las labores que se realizan cada día en el proyecto, con las materias impartidas en la universidad. Es por esta razón que, este trabajo se ha centrado en uno de los pilares de los vehículos eléctricos, su batería. Adicionalmente, es indispensable la implementación de los módulos externos, BMS y BEC. Necesarios para su correcto funcionamiento y para garantizar la seguridad.

A través del presente análisis, se ha podido afianzar los conceptos básicos de las baterías de litio tan empleadas en la actualidad en los vehículos eléctricos. Al mismo tiempo, se ha podido verificar con los estudios realizados, cuáles son las necesidades que tenemos a cubrir.

Finalmente, podemos decir que se ha logrado diseñar y fabricar un modelo de batería funcional para un vehículo eléctrico. Con el cual podemos trabajar en el proyecto WattmobileUPV. Lo hemos conseguido fabricando 12 baterías de 48V, las cuales se conectan en serie para obtener la tensión de entrada al variador deseada. Cuando tenemos las 12 baterías cargadas al 100%, obtenemos una tensión en conjunto de 663V en corriente continua.

Para concluir, quiero destacar la aportación al proyecto de la empresa ITERA. Ya que, gracias a la oportunidad de realizar las prácticas, he podido ver cuál es el enfoque de las empresas para diseñar y realizar una batería de un vehículo. También, hay que subrayar la dedicación y esfuerzo de los dos profesores tutores.

8. Futuros trabajos

Como futuros trabajos podemos plantear una continuación de este trabajo donde enfoquemos un trabajo final de máster desarrollamos un modelo de batería nuevo. Ya que cada año estamos viendo como salen modelos de celdas nuevas que ofrecen altas prestaciones. Contando con la posibilidad de validar el funcionamiento de estas celdas en el vehículo de WattmobileUPV puede ser una opción para considerar. A esta batería le añadiríamos el diseño completo de un módulo BMS, de esta forma daríamos un paso más en el proyecto. Siendo capaces de diseñar la electrónica que nosotros mismos en el proyecto consumimos.

Otra opción sería el diseño y fabricación de diversos módulos que intervienen en con la batería de los vehículos eléctricos. Tales como el cargador, o los sistemas de avanzados de comunicación internos.

Como alternativa tenemos la opción de diseñar y fabricar un modelo de controlador de motor. Los vehículos eléctricos tienen dos componentes principales. Las baterías y el motor. Nosotros podríamos enfocar en crear un controlador de motor capaz de alimentar al motor que equipa el prototipo de WattmobileUPV.

Referencias

- [1] Cochesyconcesionarios, «Cochesyconcesionarios.com,» Cochesyconcesionarios. , 15 Julio 2009. [En línea]. Available: <https://www.cochesyconcesionarios.com/fichas/ford/ka/77001130002-prestaciones-dimensiones.html>. [Último acceso: 21 Marzo 21].
- [2] I. C. C. y. A. M. Javier M. Cenazo, El hidrógeno y las pilas de combustible como fuente energética manual técnico, Madrid: A. Madrid Vicente, EDICIONES, 2020.
- [3] batteryuniversity, «BU-205: Types of Lithium-ion,» batteryuniversity.com, 19 Abril 2011. [En línea]. Available: https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion. [Último acceso: 2021 Mayo 2021].
- [4] Z. Serdar, «How do you calculate battery capacity in amp-hours (Ah) at different “C” rates,» renewableenergyworld.com, 14 Enero 2012. [En línea]. Available: <https://www.renewableenergyworld.com/storage/how-do-you-calculate-battery-capacity-in-amphours-ah-at-different-c-rates/#gref>. [Último acceso: 2021 Abril 26].
- [5] MCKIWEN, «El reciclado de las baterías de litio: un negocio rentable en el que se desecha el litio,» Motorpasión, 12 Octubre 2012. [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/el-reciclado-de-las-baterias-de-litio-un-negocio-rentable-en-el-que-se-desecha-el-litio>. [Último acceso: 15 Abril 2021].
- [6] Iambiente, «Un nuevo descubrimiento permite reciclar el litio y el cobalto de las baterías gastadas,» iambiente.es, 3 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://iambiente.es/2019/04/el-gobierno-alerta-de-la-triple-amenaza-de-las-especies-invasoras-en-espana/>. [Último acceso: 12 Mayo 2021].

- [7] G. y. o. Saldaña, «Analysis of the Current Electric Battery Models for Electric Vehicle Simulation,» vol. 12, p. 14, 2019.
- [8] G. y. o. Saldaña, «Analysis of the Current Electric Battery Models for Electric Vehicle Simulation,» *Energies*, vol. 12, p. 14, 2019.
- [9] N. R. a. P. Poramapojana, «A comparative study of equivalent circuit models for a Li-ion battery pack,» *Bankok : IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng*, 2021.
- [10] S. F. S. W. T. A. H. R. C. K. a. A. J. Peter Keil, «Calendar Aging of Lithium-Ion Batteries,» *Journal of The Electrochemical Society*, p. 10, 2016.
- [11] «liionbms,» 30 Mayo 2021. [En línea]. Available: <http://liionbms.com/php/bms-selector.php>.
- [12] naylampmechatronics, «TUTORIAL SENSOR DE CORRIENTE ACS712,» 17 Enero 2017. [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/48_tutorial-sensor-de-corriente-ac712.html. [Último acceso: 05 junio 2021].

Pliego de condiciones

1. Objeto

El presente pliego de condiciones generales tiene por objeto establecer las condiciones y garantías técnicas a que deben someterse el modelo de batería (en adelante el prototipo) diseñado en el presente trabajo. Por lo que se deben de cumplir las siguientes condiciones:

- a) Proteger las personas y los bienes que puedan resultar afectadas por la misma.
- b) Conseguir los valores energéticos establecidos como valores mínimos.
- c) Establecer un criterio básico en la adopción del material eléctrico más adecuado a la instalación que se proyecta, con el fin de reducir, previa selección, la extensa gama existente en el mercado.

2. Condiciones de los materiales

Todos los materiales empleados serán de primera calidad. Cumplirán las especificaciones y tendrán las características indicadas en el proyecto, en las Normas y Reglamentos de la legislación vigente.

Los materiales y elementos utilizados en el montaje, reparación o reformas importantes del prototipo deberán estar señalizados con la información que determine la norma u homologación de aplicación correspondiente.

Cuando se requieran dos o más unidades de un mismo material, deberán ser del mismo fabricante.

Aquellos materiales que no cumplan alguna de las especificaciones indicadas en proyecto, no serán autorizados para su envío y montaje en el prototipo.

2.1 Cables eléctricos

Los conductores eléctricos del prototipo solo podrán ser de cobre, teniendo una tensión nominal de 570 V. Igualmente el cableado del prototipo deberá soportar una tensión de hasta 1000 V

Para la identificación de los cables seguiremos el siguiente criterio:

Negro y marrón para los cables conectados a la polaridad negativa

Rojo y azul para los cables conectados a la polaridad positiva.

Todos los cables deberán estar cubiertos por un protector de color naranja donde serán alojados evitando posibles contactos que deriven en cortocircuitos.

3. Condiciones de la ejecución

Todos los materiales, aparatos, máquinas, y conjuntos integrados en los circuitos de instalación proyectada cumplen las normas, especificaciones técnicas, y homologaciones que le son establecidas como de obligado cumplimiento por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. Principalmente se tendrá en cuenta la temperatura de trabajo de la batería la cual no podrá exceder del rango de temperatura de -20 °C hasta los 60°C durante su manipulación También tendremos unas tensiones de trabajo de 3 V hasta los 4.2 V.

El prototipo no estará diseñado ni sometido a impactos u objetos punzantes. En ningún momento se podrá disponer de un punto de contacto de material conductor con un objeto que no este diseñado y seleccionado para entrar en contacto. De esta forma evitar posibles contactos directos o indirectos.

El prototipo no estará diseñado para soportar temperaturas superiores a las indicadas anteriormente. Siguiendo esta razón, no se someterán a pruebas de fuego o cualquier tipo de ensayo en donde se puedan realizar pruebas de carácter destructivo.

Por lo tanto, el prototipo se ajustará a los planos, materiales, y calidades de dicho proyecto.

4. Pruebas y ajustes finales o de servicio.

Las pruebas a las que se someterán los diferentes componentes derivados del proyecto serán los que establecen en las normas particulares de cada producto.

Anexos

Manufactured in line with the requirements of MIL 18546 and IEC 115, designed for direct heatsink mounting with thermal compound to achieve maximum performance.

- High Power to volume
- Wound to maximise High Pulse Capability
- Values from R005 to 100K
- Custom designs welcome
- RoHS Compliant

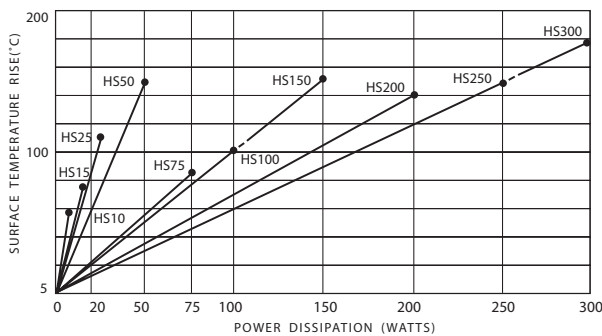


Characteristics

Tolerance (Code):	Standard $\pm 5\%$ (J) and $\pm 10\%$ (K). Also available $\pm 1\%$ (F), $\pm 2\%$ (G) and $\pm 3\%$ (H)
Tolerance for low Ω values:	Typically $\geq R05 \pm 5\% \leq R047 \pm 10\%$
Temperature coefficients:	Typical values $< 1K$ 100ppm Std. $> 1K$ 25ppm Std. For lower TCR's please contact Arcol
Insulation resistance (Dry):	10,000 M Ω minimum
Power dissipation:	At high ambient temperature dissipation derates linearly to zero at 200°C
Ohmic values:	From R005 to 100K depending on wattage size
Low inductive (NHS):	Specify by adding N before HS Series code, e.g. NHS50
NHS ohmic value:	Divide standard HS maximum value by 4
NHS working volts:	Divide standard HS maximum working voltage by 1.414

Temp. Rise & Power Dissipation

Surface temperature of resistor related to power dissipation. The resistor is standard heatsink mounted using a proprietary heatsink compound.



Heat Dissipation

Heat dissipation: Whilst the use of proprietary heat sinks with lower thermal resistances is acceptable, uprating is not recommended. For maximum heat transfer it is recommended that a heat sink compound be applied between the resistor base and heat sink chassis mounting surface. It is essential that the maximum hot spot temperature of 200°C is not exceeded, therefore, the resistor must be mounted on a heat sink of correct thermal resistance for the power being dissipated.

Ordering Procedure

Standard Resistor. To specify standard: Series, Watts, Ohmic Value, Tolerance Code, e.g.: HS25 2R2 J

Non Inductive Resistor. To specify add N, e.g.: NHS100 10R J

ARCOL UK Limited,
Threemilestone Ind. Estate,
Truro, Cornwall, TR4 9LG, UK.
T +44 (0) 1872 277431
F +44 (0) 1872 222002
E sales@arcolresistors.com

www.arcolresistors.com

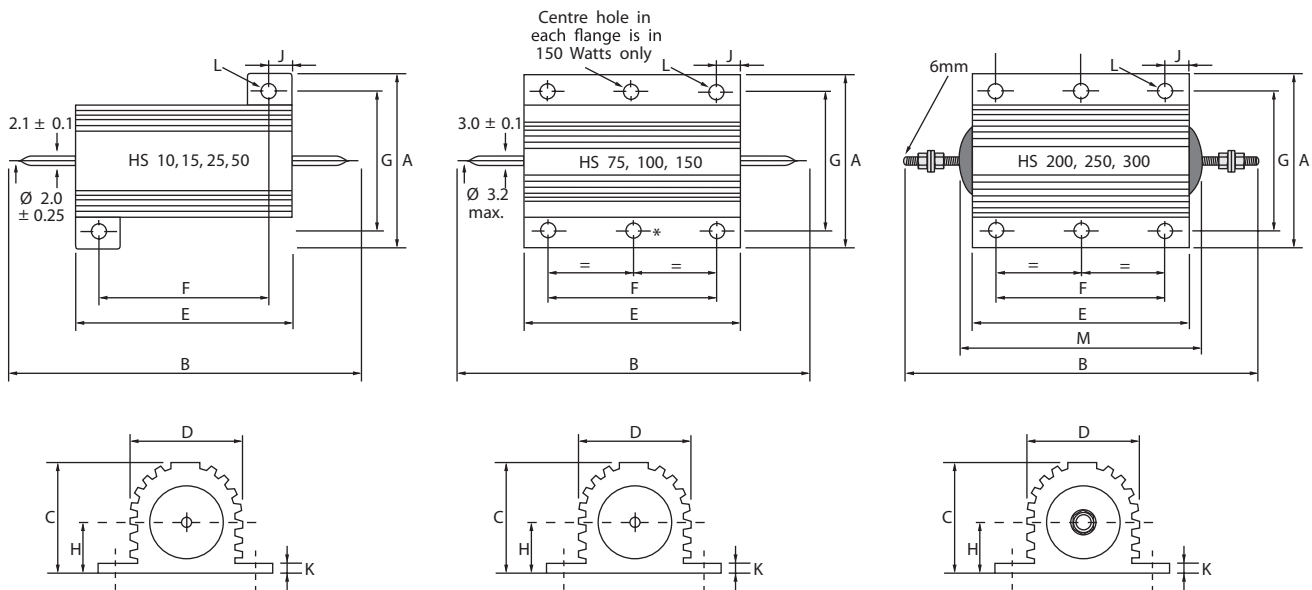
The information contained herein does not form part of a contract and is subject to change without notice. ARCOL operate a policy of continual product development, therefore, specifications may change.

It is the responsibility of the customer to ensure that the component selected from our range is suitable for the intended application. If in doubt please ask ARCOL.

Electrical Specifications

Size	Style MIL-R 18546	Power rating on std. heatsink @25°C	Watts with no heatsink @25°C	Resistance range	Limiting element voltage	Voltage proof AC Peak	Voltage proof AC rms.	Approx weight gms	Typical surface rise HS mounted	Standard heatsink	
										cm ²	Thickness mm
HS10	RE 60	10	5	R005-10K	160	1400	1000	4	5.8	415	1
HS15	RE 65	15	7	R005-10K	265	1400	1000	7	5.1	415	1
HS25	RE 70	25	9	R005-36K	550	3500	2500	14	4.2	535	1
HS50	RE 75	50	14	R01-86K	1250	3500	2500	32	3.0	535	1
HS75		75	24	R01-50K	1400	6363	4500	85	1.1	995	3
HS100		100	30	R01-70K	1900	6363	4500	115	1.0	995	3
HS150		150	45	R01-100K	2500	6363	4500	175	1.0	995	3
HS200		200	50	R01-50K	1900	7070	5000	475	0.7	3750	3
HS250		250	55	R01-50K	2200	7070	5000	600	0.6	4765	3
HS300		300	60	R01-68K	2500	7070	5000	700	0.6	5780	3

HS10-HS300 Standard Resistor



Dimensions (mm)

Size	A Max	B Max	C Max	D Max	E Max	F±0.3	G±0.3	H Max	J Max	K Max	L ±0.25*	M Max
HS10	16.5	30.0	8.8	8.5	15.9	11.3	12.4	4.5	2.4	1.8	2.4	
HS15	21.0	36.5	11.0	11.2	19.9	14.3	15.9	5.5	2.8	1.8	2.4	
HS25	28.0	51.0	14.8	14.2	27.3	18.3	19.8	7.7	5.2	2.6	3.2	
HS50	28.0	72.5	14.8	14.2	49.1	39.7	21.4	8.4	5.2	2.6	3.2	
HS75	47.5	72.0	24.1	27.3	48.7	29.0	37.0	11.8	10.4	3.7	4.4	
HS100	47.5	88.0	24.1	27.3	65.2	35.0	37.0	11.8	15.4	3.7	4.4	
HS150	47.5	121.0	24.1	27.3	97.7	58.0	37.0	11.8	20.4	3.7	4.4	
HS200	72.5	145.7	41.8	45.5	89.7	70.0	57.2	20.5	10.4	5.5	5.1	103.4
HS250	72.5	167.0	41.8	45.5	109.7	89.0	57.2	20.5	10.4	5.5	5.1	122.4
HS300	72.5	184.4	41.8	45.5	127.7	104.0	59.0	20.5	12.4	5.5	6.6	141.4

* HS200-HS300 Watts is ± 0.45

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

SPECIFICATION OF PRODUCT

Lithium-ion rechargeable cell for power tools

Model name : INR21700-40T

December, 2017

Samsung SDI Co., Ltd.

Energy Business Division

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

1.0. Scope

This product specification has been prepared to specify the rechargeable lithium-ion cell ('cell') to be supplied to Customer by Samsung SDI Co., Ltd.

2.0. Description and model

- 2.1 Description lithium-ion rechargeable cell
- 2.2 Model name INR21700-40T
- 2.3 Site Manufactured in Korea

3.0. Nominal specifications (*1)

Item	Specification
3.1 Standard discharge capacity	Min. 4,000mAh - Charge: 0.5C(2A), 4.20V, 0.05C(200mA) cut-off @ RT - Discharge: 0.2C(800mA), 2.5V cut-off @ RT
3.2 Rated discharge capacity	Min. 3,900 mAh - Charge:1.5C(6A), 4.20V, 0.025C(100mA)cut-off @RT - Discharge: 10A, 2.5V cut-off @ RT
3.3 Nominal voltage	3.6V
3.4 Standard charge	CCCV, 2A, 4.20 V, 200mA cut-off
3.5 Rated charge	CCCV, 6A, 4.20 V, 100mA cut-off
3.6 Charging time	Standard charge : 180min / 200mA cut-off(@ RT) Rated charge: 70min / 100mA cut-off(@ RT)
3.7 Max. continuous discharge (Surface temperature)	35A(Without temperature cut) 45A(With 80℃ temperature cut)
3.8 Discharge cut-off voltage	2.5V (End of discharge)
3.9 Cycle life	Capacity ≥ 2,400mAh @ after 250cycles (60% of the standard capacity @ RT) - Charge : 6A, 4.20V, CCCV 100mA cut-off @ RT - Discharge: 35A , 2.5V cut-off @ RT
3.10 Retention characteristics	Capacity recovery(after the storage) ≥ 3,510 mAh (90% of the rated capacity @ RT) - Charge : 6A, 4.20V, CCCV 100mA cut-off @ RT - Storage : 30 days (@ 60℃) - Discharge : 10A , 2.5V cut-off @ RT
3.11 Cell weight	70.0g max
3.12 Cell dimension	Height : Max 70.30mm Diameter : Max 21.22mm

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

3.13 Operating temperature (Ambient)	Charge : 0 to 45°C Discharge: -20 to 60°C
3.14 Operating temperature(*2) (Surface)	Charge : 0 to 50°C (recommended recharge release < 45°C) Discharge: -20 to 80°C (must re-discharge release < 60°C)
3.15 Storage temperature(*3) (Recovery 90% after storage)	1 year 0~25°C 3 months 0~45°C 1 month 0~60°C

Note (*1): Protection function of the battery pack should be set within the specified charge, discharge and temperature range in the Cell Specification.

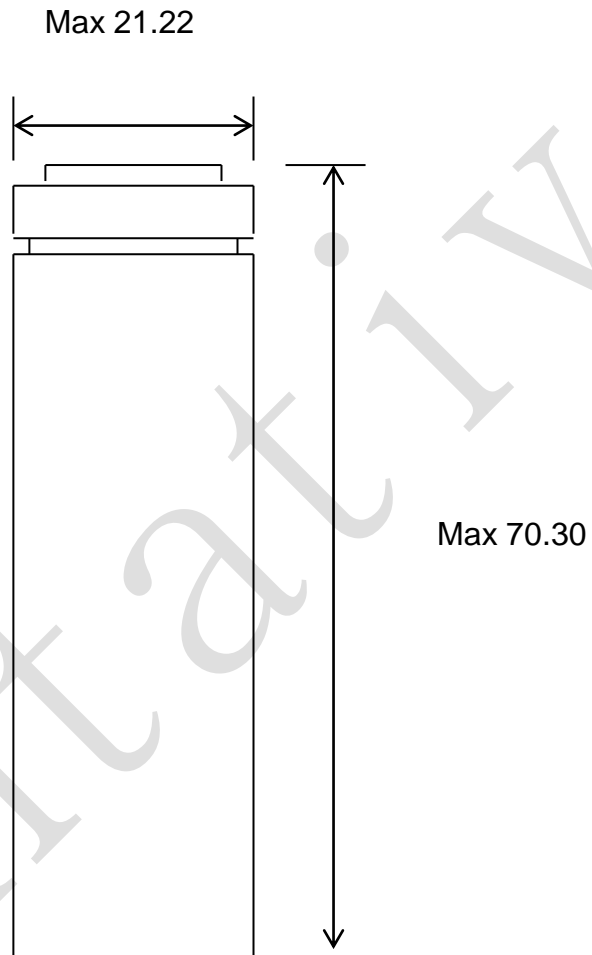
Note (*2): Discharge OTP(over temp. protection) should not be over 80°C of the cell surface temperature. Protection set should be based on the location of the cell surface with the highest temp increase part of the battery pack.

Note (*3): If the cell is kept as ex-factory status (30% of charge),
the capacity recovery rate is more than 90%.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

4.0 Outline dimensions

See the attachment (Fig. 1)



Unit : mm
With tube

Fig.1. Outline dimensions of INR21700-40T

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

5.0. Appearance

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

6.0. Standard test conditions

6.1 Environmental conditions

Unless otherwise specified, all tests stated in this specification are conducted at temperature $23 \pm 3^\circ$ and humidity under 65%.

6.2 Measuring equipment

(1) Amp-meter and volt-meter

The amp-meter and volt-meter should have an accuracy of the grade 0.5mA and mV or higher.

(2) Slide caliper

The slide caliper should have 0.01 mm scale.

(3) Impedance meter

The impedance meter with AC 1kHz should be used.

7.0. Characteristics

7.1 Standard charge

This " Standard charge" means charging the cell CCCV with charge current 0.5C (2,000mA), constant voltage 4.2V and 200mA cut-off in CV mode at 23°C for capacity.

7.2 Rated charge

Rated charge means charging the cell CCCV with charge current 6A and 100mA cut-off at 23°C

7.3 Standard discharge capacity

The Standard discharge capacity is the initial discharge capacity of the cell, which is measured with discharge current of 800mA(0.2C) with 2.5V cut-off at 23°C within 1hour after the Standard charge.

$$\text{Standard discharge capacity} \geq 4,000\text{mAh}$$

Which complying to the minimum capacity of IEC61960 standard

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

7.4 Rated discharge capacity

The rated discharge is the discharge capacity of the cell, which is measured with discharge current of 10A with 2.5V cut-off at 23°C within 1hour after the rated charge.

$$\text{Rated discharge capacity} \geq 3,900\text{mAh}$$

7.5 Initial internal impedance

Initial internal impedance measured at AC 1kHz after Rated charge

$$\text{Initial internal impedance} \leq 12\text{m}\Omega$$

7.6 Temperature dependence of discharge capacity

Capacity comparison at each temperature, measured with discharge constant current 10A and 2.5V cut-off after the rated charge is as follows.

Discharge temperature				
-20°C	-10°C	0°C	23°C	60°C
60%	75%	80%	100%	95%

Note: If charge temperature and discharge temperature is not the same, the interval for temperature change is 3 hours.
Percentage index of the discharge at 23°C at 10A (=3,900mAh) is 100%.

7.7 Temperature dependence of charge capacity

Capacity comparison at each temperature, measured with discharge constant current 10A and 2.5V cut-off after the rated charge is as follows.

	Charge temperature					Discharge temperature
	0°C	5°C	23°C	45°C	50°C	23°C
Relative capacity	80%	90%	100%	95%	95%	

Note: If charge temperature and discharge temperature is not the same, the interval for temperature change is 3 hours.
Percentage as an index of the rated discharge at 23°C at 10A (=3,900mAh) is 100%.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

7.8 Charge rate capabilities

Discharge capacity is measured with constant current 10A and 2.5V cut-off after the cell is charged with 4.2V as follows.

	Charge condition	
Current	Standard 2.0A	Rated 6A
Cut-off	200mA	100mA
Relative Capacity	100%	100%

Note: Percentage index of the discharge at 23°C at 10A (=3,900mAh) is 100%.

7.9 Discharge rate capabilities

Discharge capacity is measured with the various currents in under table and 2.5V cut-off after the rated charge.

	Discharge condition			
Current	10A	20A	30A	40A
Relative Capacity	100%	95%	93%	90%

Note: Percentage index of the discharge at 23°C at 10A (=3,900mAh) is 100%.

7.10 Cycle life

With rated charge and maximum continuous discharge.

Capacity after 250cycles,

- Charge : 6A, 4.2V, 100mA cutoff
- Discharge : 35A, 2.5V cut off

Capacity \geq 2,400mAh (60% of the standard capacity at 25°C)

7.11 Retention characteristics

Capacity after storage for 30 days at 60°C from the rated charge,

Measured with discharge current 10A with 2.5V cut-off at 23°C

Capacity recovery(after the storage) \geq 3,510 mAh (90% of the rated capacity at 23°C)

7.12 Status of the cell as of ex-factory

The cell should be shipped in 3.340V to 3.490V charging voltage range.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

8.0. Mechanical Characteristics

8.1 Drop test

Test method: Fully rated charged Cells drop onto the concrete floor from 1.0m height at a random direction 3 times. The cells or batteries are dropped so as to obtain impacts in random orientations. After the test, the sample shall be put on rest for a minimum of one hour and then a visual inspection shall be performed.

Criteria: No fire, no explosion.

Drop test shall be performed with the IEC62133 standard

8.2 Vibration test

Test method: As to the UN transportation regulation(UN38.3), for each axis (X and Y axis with cylindrical cells) 7Hz→200Hz→7Hz for 15min, repetition 12 times totally 3hours, the acceleration 1g during 7 to 18Hz and 8g (amplitude 1.6mm) up to 200Hz.

Criteria: No leakage, with less than 10% of OCV drop

Vibration test shall be performed with the UN38.3 standard

9.0. Safety

9.1 Overcharge test

Test method: Cell is to be discharged at a constant current of 0.8A to 2.5V. The cell is then to be charged with a 20V and 18A. Charging duration is to be 7 h.

Criteria: No fire, and no explosion.

Overcharge test shall be performed with the UL1642 standard

9.2 External short-circuit test

Test method: Fully rated charged cell is to be short-circuited by connecting the positive and negative terminals of the battery with a circuit load having a resistance load of 80 ± 20 m Ω . The battery is to discharge until a fire or explosion is obtained, or until it has reached a completely discharged state of less than 0.2 V and the battery case temperature has returned to $\pm 10^\circ\text{C}$ of ambient temperature. The return to near ambient of the battery (cell) casing in an indication of ultimate results. Tests are to be conducted at $20 \pm 5^\circ\text{C}$ and at $55 \pm 5^\circ\text{C}$.

Criteria: No fire, and no explosion

External short-circuit test shall be performed with the UL1642 standard

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

9.3 Forced discharge test

Test method: A discharged cell is subjected to a reverse charge at 1.0C (4.0A) for 90 min.

Criteria: No fire, and no explosion.

Forced discharge test shall be performed with the IEC62133 standard

9.4 Heating test

Test method: To heat up the standard charged cell at heating rate 5°C per minute up to 130°C and keep the cell in oven for 30 min.

Criteria: No fire, and no explosion.

Heating test shall be performed with the UL1642 standard(10 min) & GB31241 standard (30 min).

10.0. Warranty

Samsung SDI will be responsible for replacing the cell against defects or poor workmanship for 15months from the date of shipping. Any other problem caused by malfunction of the equipment or mix-use of the cell is not under this warranty.

The warranty set forth in proper using and handling conditions described above and excludes in the case of a defect which is not related to manufacturing of the cell.

11.0. Others

11.1 Storage for a long time

If the cell is kept for a long time (3 months or more), It is strongly recommended that the cell is preserved at dry and low-temperature.

11.2 Others

Any matters that specifications do not have, should be conferred with between the both parties.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

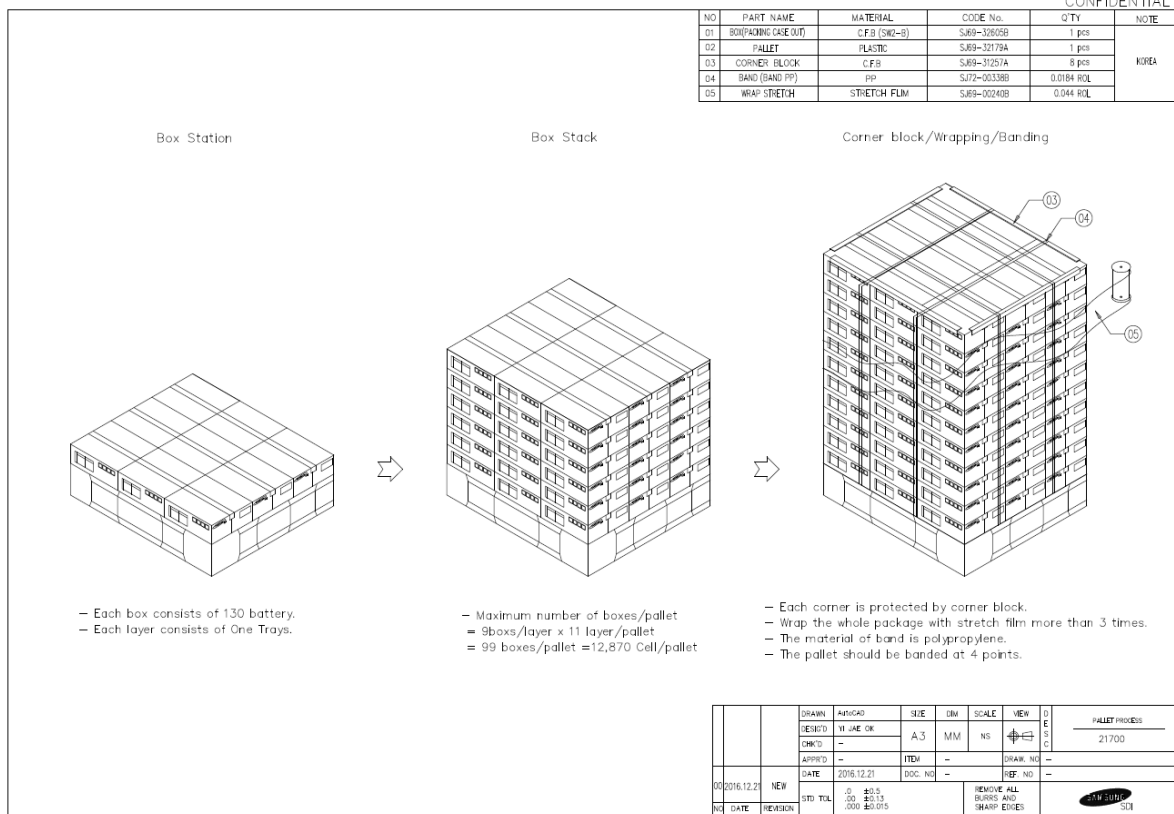


Fig. 2-5. Pallet packaging process

Tentative

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

Proper use and handling of lithium ion cells

See before using lithium-ion cell

This document has been prepared to describe the appropriate cautions and prohibitions, which the customer should take or employ when the customer uses and handles the lithium ion cell to be manufactured and supplied by Samsung SDI Co., Ltd., in order to obtain optimum performance and safety.

1. Charging

1.1 Charging current

Charging current should be less than maximum charge current specified in the product specification.

1.2 Charging voltage

Charging should be done by voltage less than that specified in the product specification.

1.3 Charging time

Continuous charging under specified voltage does not cause any loss of performance characteristics. However, the charge timer is recommended to be installed from a safety consideration, which shuts off further charging at time specified in the product specification.

1.4 Charging temperature

The cell should be charged within a range of specified temperatures in the specification.

1.5 Reverse charging

The cell should be connected, confirming that its poles are correctly aligned. Inverse charging should be strictly prohibited. If the cell is connected improperly, it may be damaged.

2. Discharging

2.1 Discharging

2.1.1 The cell shall be discharged continuously at less than maximum discharge current specified in the product specification. In case of the higher discharge current should be set, it shall be discussed together with SDI.

2.2 Discharging temperature

2.2.1 The cell should be discharged within a range of temperatures specified in the product specification.

2.2.2 Otherwise, it may cause loss of characteristics.

3.3.4 The charger should equip with a device to detect voltage of cell block and to determine recharging procedures.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

2.3 Over-discharging

- 2.3.1 The system should be equipped with a device to prevent further discharging exceeding discharging cut-off voltage specified in the product specification.
- 2.3.2 Over-discharging may cause loss of performance, characteristics of battery function.
- 2.3.3 Over-discharging may occur by self-discharge if the battery is left for a very long time without any use.
- 2.3.4 The charger should be equipped with a device to detect cell voltage and to determine recharging procedures.

3. Storage

3.1 Storage conditions

- 3.1.1 The cell should be stored within a range of temperatures specified in the product specification.
- 3.1.2 Otherwise, it may cause loss of performance characteristics, leakage and/or rust.

3.2 Long-term storage

- 3.2.1 The cell should be used within a short period after charging because long-term storage may cause loss of capacity by self-discharging.
- 3.2.2. If long-term storage is necessary, the cell should be stored at lower voltage within a range specified in the product specification, because storage with higher voltage may cause more loss of performance characteristics.
- 3.2.3. Store the battery at 0 ~ 23°C, low humidity (below 65%), no dust and no corrosive gas atmosphere.

4. Cycle life

4.1 Cycle life performance

- 4.1.1 The cell can be charged/discharged repeatedly up to times specified in the produce specification with a certain level of capacity also specified in the product specification.
- 4.1.2 Cycle life may be determined by conditions of charging, discharging, operating temperature and/or storage.

5. Battery Pack Assembly

5.1 Prohibition of usage of damaged cell

- 5.1.1 The cell should be inspected visually before battery assembly.
- 5.1.2 The cell should not be used if sleeve-damage, can-distortion and/or electrolyte-smell is detected.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

5.2 Terminals handling

5.2.1 Excessive force on the negative terminal should be avoided when external strip terminal is welded.

5.3 Transportation

5.3.1 If the cell is necessary to be transported to such as the battery manufacturer, careful precautions should be taken to avoid damage of cell.

6. Others

6.1 Disassembly

6.1.1 The cell should not be dismantled from the battery pack.

6.1.2 Internal short-circuit caused by disassembly may lead to heat generation and/or venting.

6.1.3 When the electrolyte is coming in contact with the skin or eyes, wash immediately with fresh water and seek medical advice.

6.2 Short-circuiting

6.2.1 Short-circuit results in very high current which leads to heat generation.

6.2.2 An appropriate circuitry should be employed to protect accidental short-circuiting.

6.3 Incineration

6.3.1 Incinerating and disposing of the cell in fire are strictly prohibited, because it may cause rupture and explosion.

6.4 Immersion

6.4.1 Soaking the cell in water is strictly prohibited, because it may cause corrosion and leakage of components to be damaged to functions.

6.5 Mixing use

6.5.1 Different types of cell, or same types but different cell manufacturer's shall not be used, which may lead to cell imbalance, cell rupture or damage to system due to the different characteristics of cell.

6.5.2 Do not mix use the cells from different batches/ranks even they are the same cell types from the same manufacturer.

6.6 Battery disposal

6.6.1 Although the cell contains no environmentally hazardous component, such as lead or cadmium. the battery should be disposed according to the local regulations when it is disposed.

6.6.2 The cell should be disposed with a discharged state to avoid heat generation by an inadvertent short-circuit.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

6.7 Caution

- 6.7.1 The Battery used in this device may present a risk of fire or chemical burn if mistreated.
- 6.7.2 Do not disassemble, expose to heat above 100°C or incinerate it.
- 6.7.3 Replace battery with Samsung SDI battery only.
- 6.7.4 Use of another battery may present a risk of fire or explosion.
- 6.7.5 Dispose of used battery promptly.
- 6.7.6 Keep away from children.
- 6.7.7 Do not disassemble and do not dispose of in fire.

Tentative

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

Pack Design Guideline for Lithium Ion Cells

If a customer's battery pack cannot meet Pack Design Guideline, SDI cannot take responsibility for a quality issue about a battery cell.

1. Electrical design

1.1 Charge

- 1.1.1 Stop charging the battery if charging isn't completed within the specified time.
- 1.1.2 The battery can be used within the following temperature ranges.
Don't exceed these ranges.
Charge temperature ranges : 0°C ~ 50°C
- 1.1.3 Charge current must be controlled by specified value in Cell specification.
- 1.1.4 Cut-off Voltage of charging must be 4.2V.
- 1.1.5 Charger must stop charging battery by detecting either charging time or current specified in Cell's specification.
- 1.1.6 Recharge Voltage must be at least 0.1V lower than Max charging Voltage.
- 1.1.7 Do not charge the battery under 1.0V voltage.
- 1.1.8 Voltage range of the battery for pre-charge mode is 1.0 ~ 3.0V with a charging current of 0.1 ~ 0.5C

1.2 Discharge

- 1.2.1 Discharge current must be controlled by specified value in Cell's specification.
- 1.2.2 Cut-off Voltage of discharging must be over 2.5V.
- 1.2.3 The battery can be used within the following temperature ranges.
Don't exceed these ranges.
Discharge temperature ranges : -20°C ~ 80°C

1.3 Storage

Store the battery at low temperature (below 60°C, 20°C is recommended), low humidity (below 65%), no dust and no corrosive gas atmosphere.

1.4 Design of positioning the battery pack in application and charger

To prevent the deterioration of the battery performance caused by heat, battery shall be positioned away from the area where heat is generated in the application and the charger.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

1.5 Safety Device

Be sure adopting proper safe device such as PTC specified type or model in Cell Specification. If you intend to adopt different safety device which is not specified in Cell Specification, please contact Samsung SDI to investigate any potential safety problem. Be sure designing 2nd protective devices such as PTC & PCM at the same time to protect Cell just in case one protective device is fault.

2. Design of System

2.1 Connection between the cell and the battery

- 2.1.1 The cell should not be soldered directly with other cells. Namely, the cell should be welded with leads on its terminal and then be soldered with wire or leads to solder.
- 2.1.2 Otherwise, it may cause damage of component, such as separator and insulator, by heat generation.

2.2 Positioning the battery in the System

- 2.2.1 The battery should be positioned as possible as far from heat sources and high temperature components.
- 2.2.2 Otherwise, it may cause loss of characteristics.
- 2.2.3 The recommended spacing between the cells is more than 1mm.

2.3 Mechanical shock protection of the battery

- 2.3.1 The battery should be equipped with appropriate shock absorbers in the pack in order to minimize shock, which can damage the cells. .
- 2.3.2 Otherwise, it may cause shape distortion, leakage, heat generation and/or rupture and/or open circuit.
- 2.3.3 Ultrasonic should not be used when manufacturing battery packs as it can damage the connection between component parts.

2.4 Short-circuit protection of the cell

- 2.4.1 The cell is equipped with an insulating sleeve to protect short-circuit which may occur during transportation, battery assembly and /or system operation.
- 2.4.2 If the cell sleeve is damaged by some causes such as outside impact, it may cause short-circuit with some wiring inside the battery.

2.5 Connection between the battery and charger/system

- 2.5.1 The battery should be designed to be connected only to the specified charger and system.
- 2.5.2 A reverse connection of the battery, even in the specified system, should be avoided by employing special battery design such as a special terminals.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

2.6 Pack design

2.6.1 The current consumption of the battery pack should be under 10uA after shut down.

2.6.2 Cell voltage monitoring system.

The system (charger or pack) should be equipped with a device to monitor each voltage of cell block to avoid cell imbalance which can cause damage to the cells.

2.6.3 The battery pack or system should have warning system such as over temperature, over voltage, over current, and so on.

2.6.4 Mechanical design

Item	Portable IT	Power-Tool	Medical	E-Bike	E-Scooter	EV/LEV	ESS/UPS
<input type="checkbox"/> Need partitions(separator) between BMS and a Cell	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
<input type="checkbox"/> Need to check if the pack is designed to be able to avoid thermal runaway (1KWh ↑)					◎	◎	◎
<input type="checkbox"/> Need to analyze the battery pack's thermal distribution and its effect on the pack's life cycle					◎	◎	◎
<input type="checkbox"/> Need to use a non-flammable (VO level) case	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
<input type="checkbox"/> Need to apply improved material (Steel) to the case						◎	◎
<input type="checkbox"/> Need to analyze the battery pack's structure, system, installation status and use environment						◎	◎

TEMP

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

Handling precaution and prohibitions of lithium rechargeable cells and batteries

Inaccurate handling of lithium ion and lithium ion batteries rechargeable battery may cause leakage, heat, smoke, an explosion, or fire.

This could cause deterioration of performance or failure. Please be sure to follow instructions carefully.

1. Safety precaution and prohibitions

To assure product safety, describe the following precautions in the instruction manual of the application.

2. Danger

2.1 Electrical misuse

2.1.1 Use dedicated charger.

2.1.2 Use or charge the battery only in the dedicated application.

2.1.3 Don't charge the battery by an electric outlet directly or a cigarette lighter charger.

2.1.4 Don't charge the battery reversely.

2.2 Environmental misuse

2.2.1 Don't leave the battery near the fire or a heated source.

2.2.2 Don't throw the battery into the fire.

2.2.3 Don't leave, charge or use the battery in a car or similar place where inside of temperature may be over 60°C.

2.2.4 Don't immerse, throw, wet the battery in water / seawater.

2.3 Others

2.3.1 Don't fold the battery cased with laminated film such as pouch and Polymer.

2.3.2 Don't store the battery in a pocket or a bag together with metallic objects such as keys, necklaces, hairpins, coins, or screws.

2.3.3 Don't short circuit (+) and (-) terminals with metallic object intentionally.

2.3.4 Don't pierce the battery with a sharp object such as a needle, screw drivers.

2.3.5 Don't heat partial area of the battery with heated objects such as soldering iron.

2.3.6 Don't hit with heavy objects such as a hammer, weight.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

- 2.3.7 Don't step on the battery and throw or drop the battery on the hard floor to avoid mechanical hock.
- 2.3.8 Don't disassemble the battery or modify the battery design including electric circuit.
- 2.3.9 Don't solder on the battery directly.
- 2.3.10 Don't use seriously scared or deformed battery.
- 2.3.11 Don't put the battery into a microwave oven, dryer ,or high-pressure container.
- 2.3.12 Don't use or assemble the battery with other makers' batteries, different types and/or models of batteries such as dry batteries, nickel-metal hydride batteries, or nickel-cadmium batteries.
- 2.3.13 Don't use or assemble old and new batteries together.

3. Warning

- 3.1 Stop using the battery if the battery becomes abnormally hot, order, discoloration, deformation, or abnormal conditions is detected during use, charge, or storage.
- 3.2 Keep away from fire immediately when leakage or foul odors are detected. If liquid leaks onto your skin or cloths, wash well with fresh water immediately.
- 3.3 If liquid leaking from the battery gets into your eyes, don't rub your eyes and wash them with clean water and go to see a doctor immediately.
- 3.4 If the terminals of the battery become dirty, wipe with a dry cloth before using the battery.
- 3.5 Cover terminals with proper insulating tape before disposal.

4. Caution

- 4.1 Electrical misuseage
 - Battery must be charge with constant current-constant voltage (CC/CV).
- 4.2 Others
 - 4.2.1 Keep the battery away from babies and children to avoid any accidents such as swallow.
 - 4.2.2 If younger children use the battery, their guardians should explain the proper handling method and precaution before using.
 - 4.2.3 Before using the battery, be sure to read the user's manual and precaution of its handling.
 - 4.2.4 Before using charger, be sure to read the user's manual of the charger.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

- 4.2.5 Before installing and removing the battery from application, be sure to read user's manual of the application.
- 4.2.6 Replace the battery when using time of battery becomes much shorter than usual.
- 4.2.7 Cover terminals with insulating tape before proper disposal.
- 4.2.8 If the battery is needed to be stored for an long period, battery should be removed from the application and stored in a place where humidity and temperature are low.
- 4.2.9 While the battery is charged, used and stored, keep it away from object materials with static electric chargers.

5. Safety Handling Procedure for the Transporter

5.1 Quarantine

Packages that are crushed, punctured or torn open to reveal contents should not be transported. Such packages should be isolated until the shipper has been consulted, provided instructions and, if appropriate, arranged to have the product inspected and repacked.

5.2 Spilled Product

In the event that damage to packaging results in the release of cells or batteries, the spilled products should be promptly collected and segregated and the shipper should be contacted for instructions.

Spec. No.	INR21700-40T	Version No.	0.0
-----------	--------------	-------------	-----

Samsung SDI emergency contact information

■ Samsung SDI Co., Ltd (Headquarter)

150-20, Gongse-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyunggi-do, Korea
Tel: +82-31-8006-3100, Fax : +82-31-210-7887

■ Samsung SDI Co., Ltd (Cheonan Factory, Production)

467, Beonyeong-ro, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-Do, Korea
Tel: +82-41-560-3114, Fax : +82-41-550-3399

■ Samsung SDI China Co., Ltd (Tianjin Factory, Production)

301726, China Tianjin Developing Zone OF Yi-Xian Park, Wuqing Country, TianJin, China
Tel: +86-22-8212-9971(5300),

■ Samsung SDI Energy Malaysia SDN. Bhd. (Malaysia Factory, Production)

Lot 635 & 660, Kawasan Perindustrian, Tuanku Jaafar, 71450
Sungai Gadut, Negeri Sembilan Darul Khusus, Malaysia
Tel: (+60)6-677-6160, 6153, Fax: (+60)6-677-6164

■ Samsung SDI America, Inc (San Jose, Sales)

3655 North First St. San Jose CA 95134
Tel: +1-408-544-4541, Fax: +1-949-260-2221

■ Samsung SDI Europe GmbH (Munich, Sales)

85737, Oskar-Messter-Strasse 29 Ismaning, Germany
Tel: +49-89-9292-7799(20), Fax: +49-89-9292-7799(99)

■ Samsung SDI Japan Co., Ltd (Tokyo, Sales)

108-0075, Shinagawa Grand Central Tower 9F, 2-16-4, Konan, Minato-ku, Tokyo, Japan
Tel. +81-3-6369-6401, +81-3-6369-6404 Fax. +81-3-6369-6388

■ Samsung SDI Taiwan Branch (Taipei, Sales)

9F-1,399 Ruey Kuang Road, Neihu, Taipei, Taiwan
Tel: +886-2-2656-8300, Fax: +886-2-2656-8329

■ Samsung SDI India Branch (New Delhi, Sales)

1st Fl.M-6 Uppal's Plaza, Jasola District Centre, New Delhi 110025, INDIA
Tel. +91-11-4316-1224, +91-11-4316-1221 Fax. +91-11-4316-1200



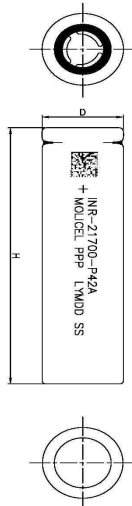
LITHIUM-ION RECHARGEABLE BATTERY

PRODUCT DATA SHEET MODEL **INR-21700-P42A**

CELL CHARACTERISTICS

Capacity	Typical	4200 mAh 15.5 Wh
	Minimum	4000 mAh 14.7 Wh
Cell Voltage	Nominal	3.6 V
	Charge	4.2 V
	Discharge	2.5 V
Charge Current	Standard	4.2 A
Charge Time	Standard	1.5 hr
Discharge Current	Continuous	45 A
Typical Impedance	AC (1 KHz)	10 mΩ
	DC (10A/1s)	16 mΩ
Temperature	Charge	0°C to 60°C
	Discharge	-40°C to 60°C
Energy Density	Volumetric	615 Wh/l
	Gravimetric	230 Wh/kg

PHYSICAL CHARACTERISTICS

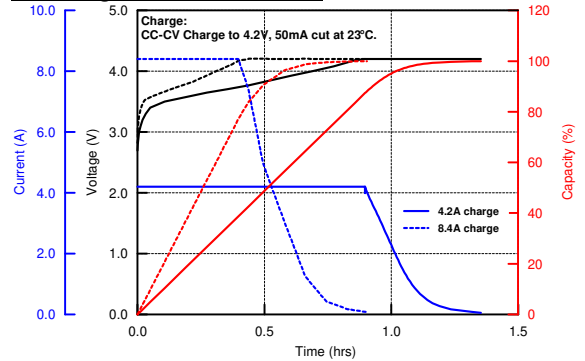


Shape	Cylindrical
Can	Steel
Diameter	21.7 mm (Max)
Height	70.2 mm (Max)
Weight	70 g (Max)

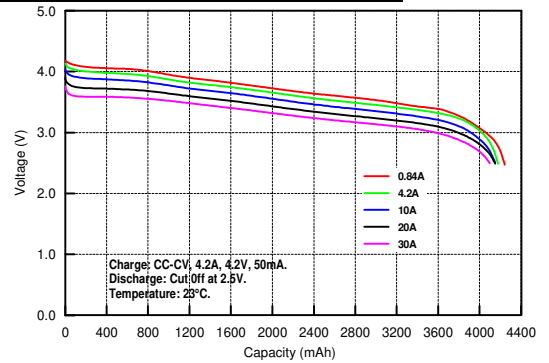
The information contained herein is for reference only and does not imply a performance guarantee or a product warranty. Specifications and characteristics are subject to change without prior notice.

For application specific information, please contact E-One Moli Energy Sales and Applications or the nearest MOLICEL® recognized agent.

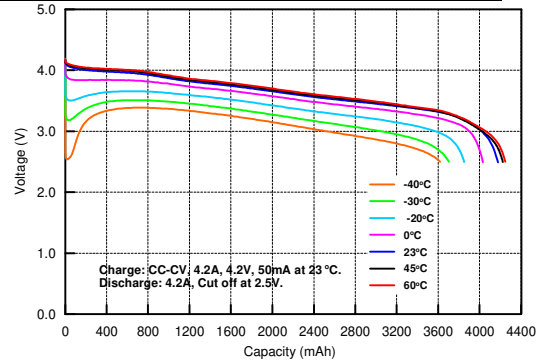
Charge Characteristics



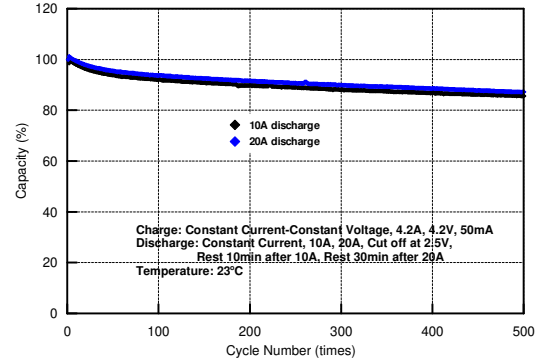
Discharge Rate Characteristics



Discharge Temperature Characteristics



Cycle Characteristics



■ Taiwan Facility
10 Dali 2nd Rd., Shan-Hwa,
Tainan City, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-6-505-0666
Fax: 886-6-505-0777
<mailto:service@molice.com>
<http://www.molice.com>

■ Canada Facility
20 000 Stewart Crescent
Maple Ridge, BC, Canada, V2X 9E7
Tel: 1-604-466-6654
Fax: 1-604-466-6600
<mailto:molice@molice.com>
<http://www.molice.com>

■ Headquarters
10F, 113, Sec.2, Zhung Shan N Rd.,
Taipei, Taiwan, R.O.C.
Tel: 886-2-2567-3500
Fax: 886-2-2567-6500

NCR2070C data sheet

Automotive & Industrial Systems Company of Panasonic Corporation

Rechargeable Battery Business Division, SANYO Electric Co., Ltd.

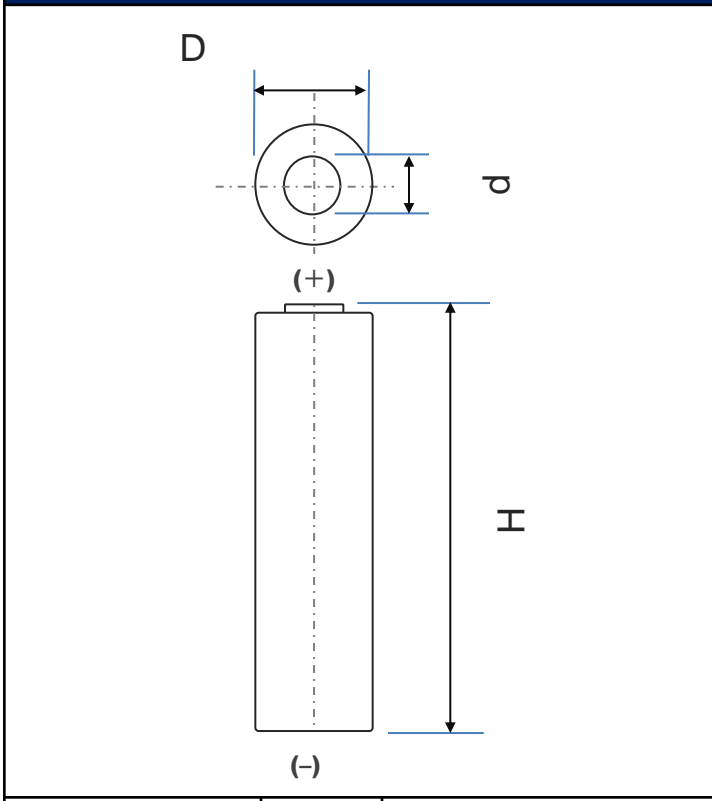
Specifications

Rated capacity ⁽¹⁾		3475mAh
Capacity ⁽²⁾	Minimum	3500mAh
	Typical	3620mAh
Nominal voltage		3.6V
Charging	Method	CC-CV
	Voltage	4.20V
	Current	Std. 2450mA
	Time	Std. 180min.
AC impedance	SOC : 50% (Typical value)	10mΩ
DC resistance	SOC : 50% (Typical value)	13mΩ
Weight (max.)		62.0g
Temperature	Charge	10 to +45° C
	Discharge	-20 to +60° C
	Storage	-20 to +50° C
Energy density ⁽³⁾	Volumetric	569 Wh/l
	Gravimetric	214 Wh/kg

⁽¹⁾ At 20° C ⁽²⁾ At 25° C

⁽³⁾ Energy density is calculated using bare cell dimensions (without tube).

Dimensions

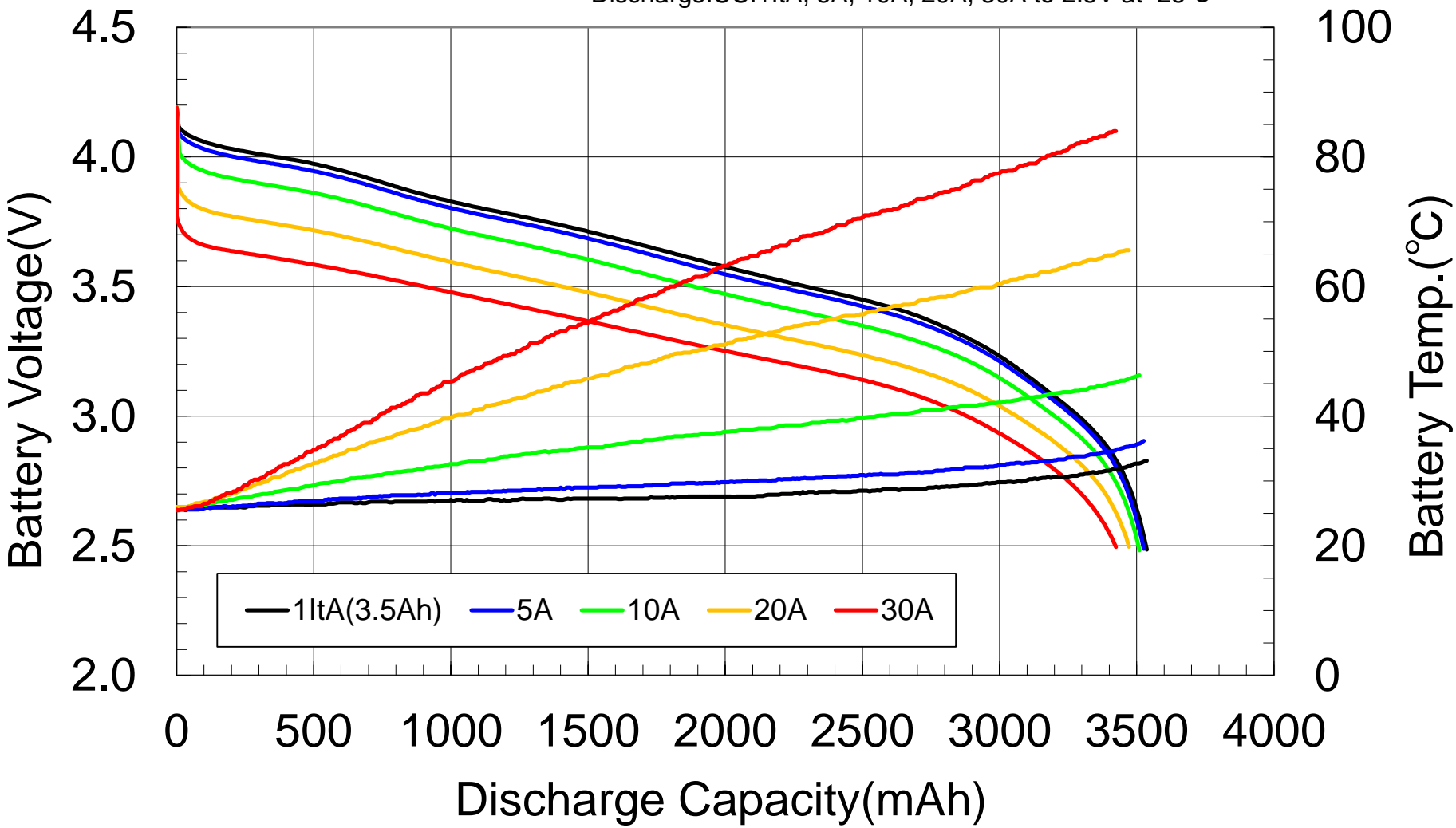


With tube	H	Max. 70.3mm
	D	Max. 20.4mm
	d	Max. 10.5mm

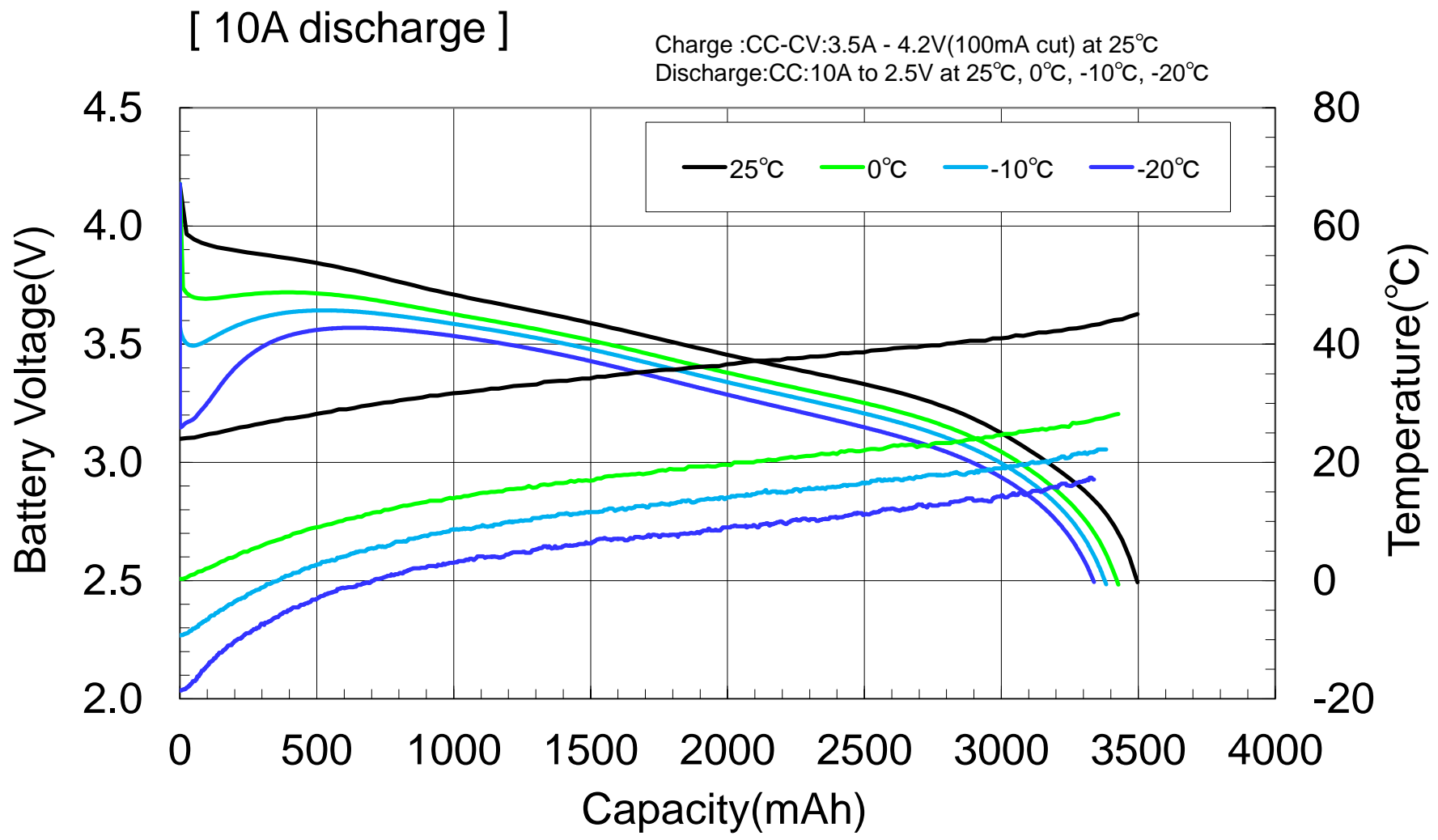
When designing a pack, refer to the cell's mechanical drawing for precise dimensions.

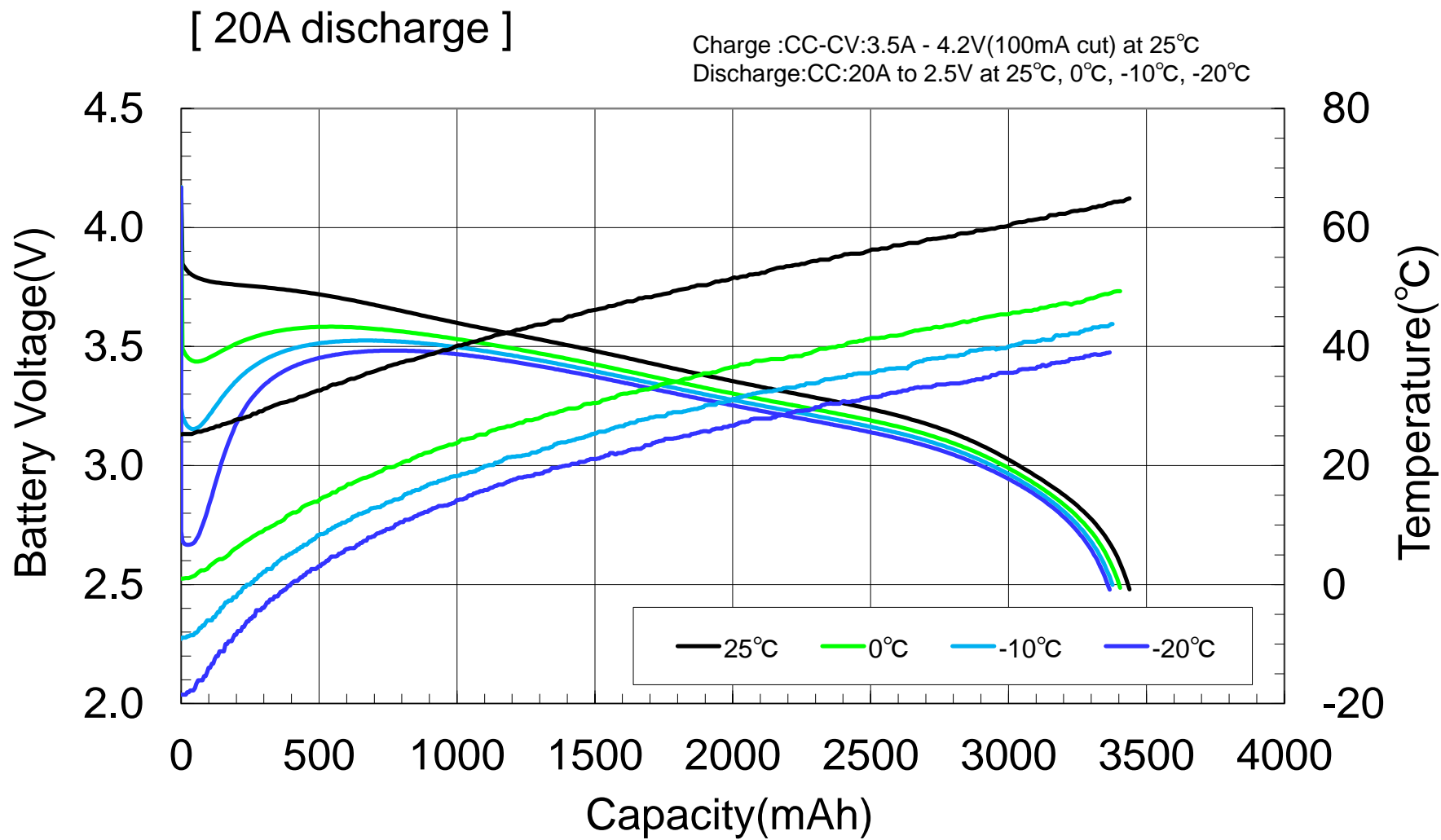
Discharge rate Characteristics for NCR2070C

Charge :CC-CV:3.5A-4.2V(100mA cut) at 25°C
Discharge:CC:1ItA, 5A, 10A, 20A, 30A to 2.5V at 25°C

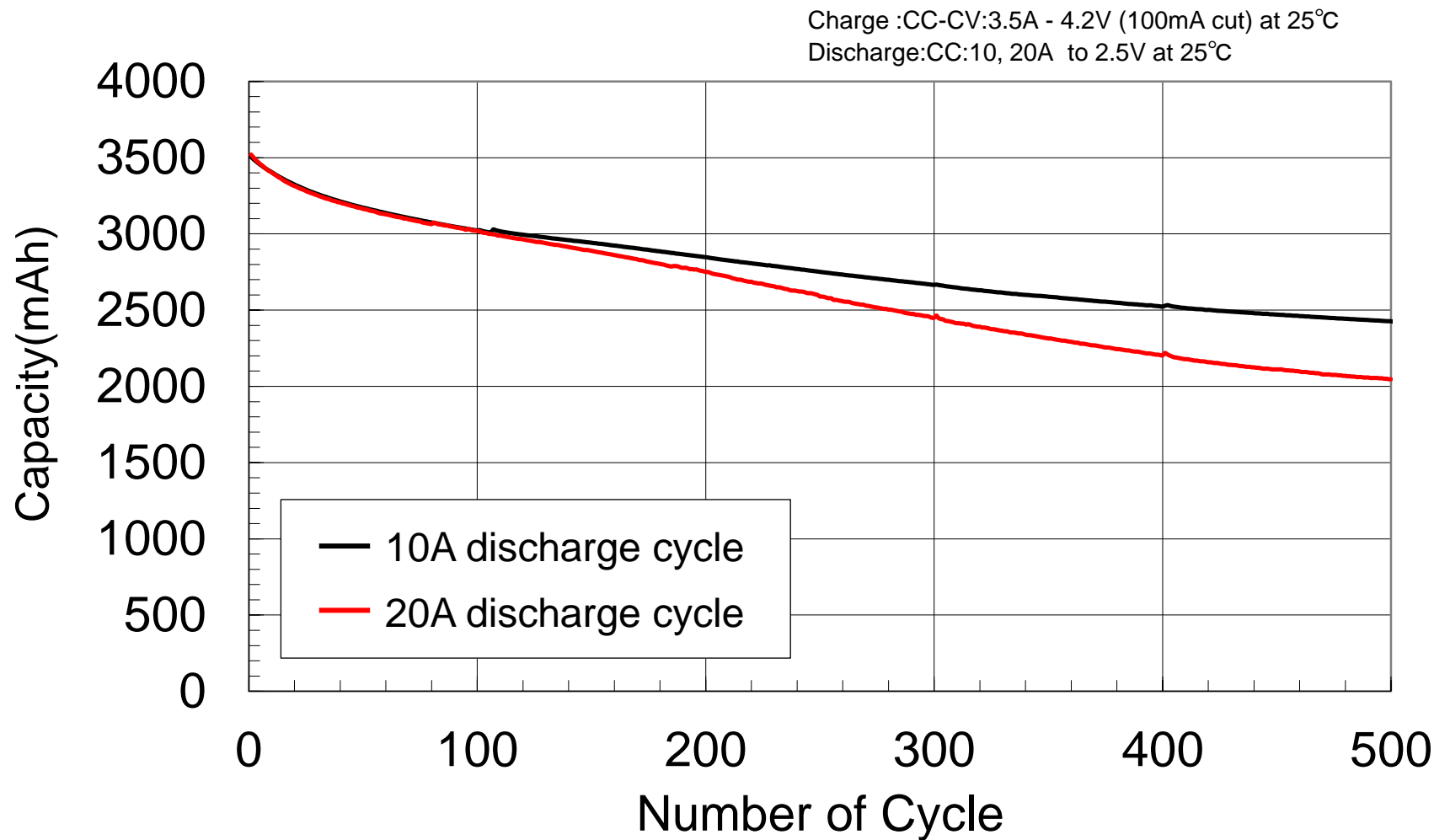


Low Temp. Characteristics for NCR2070C





Cycle Characteristics for NCR2070C




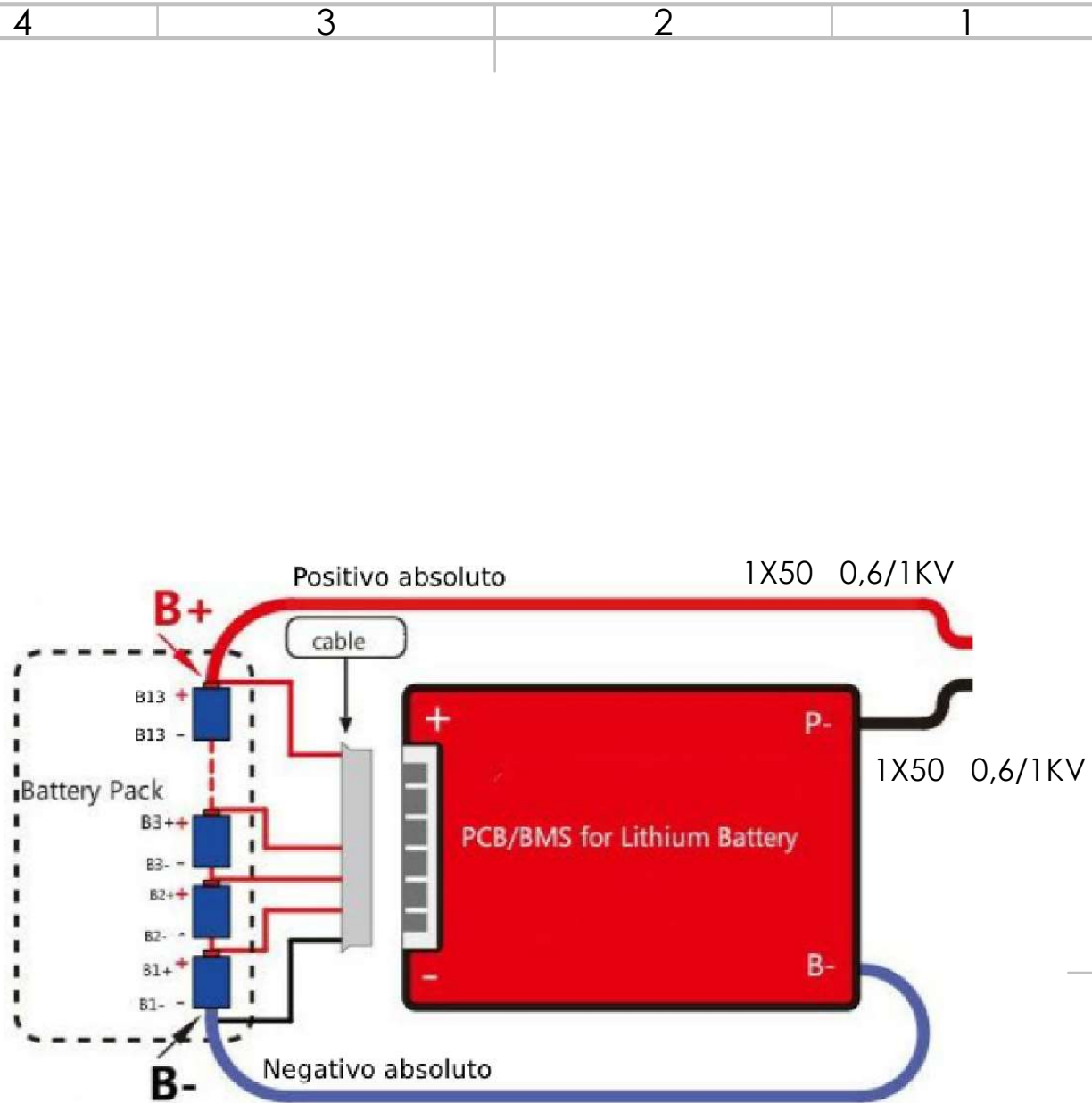
A Better Life,
A Better World



Panasonic

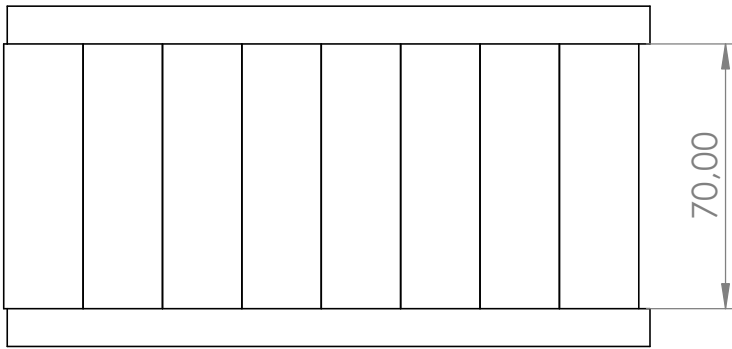
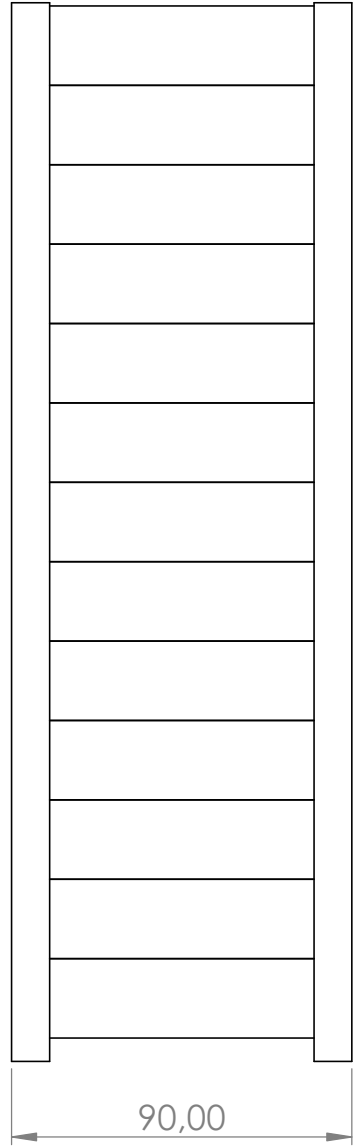
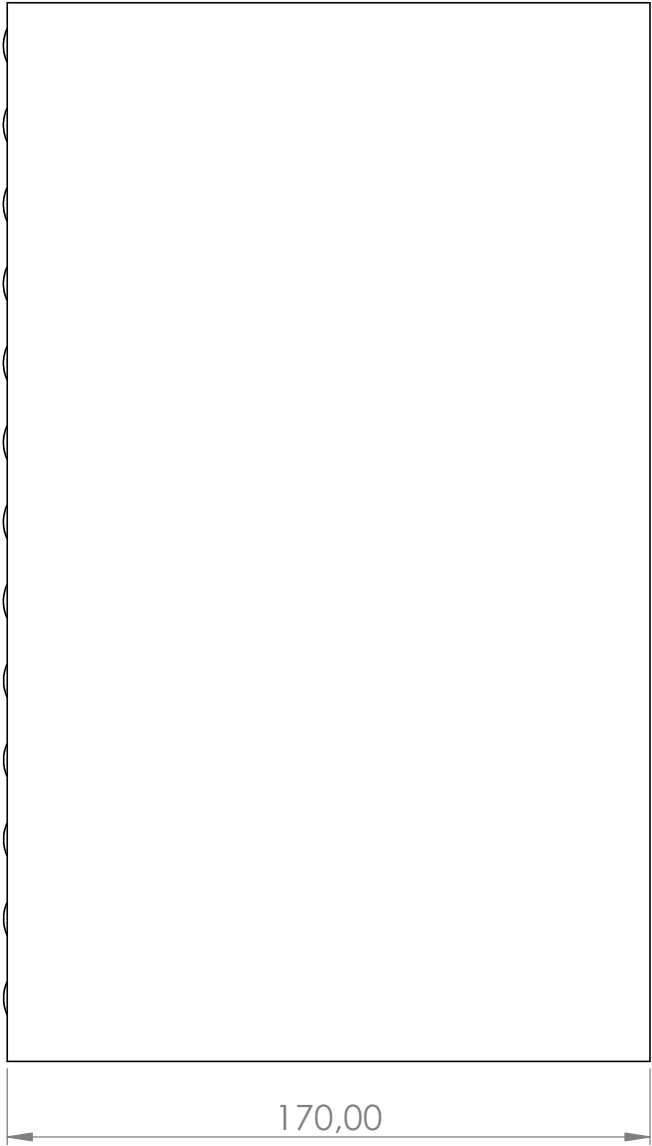
Planos



NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
Autor: Javier Collado		15-06-21		Esquema unifilar de las conexiones de las celdas	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		ESCALA		N.º DE DIBUJO	
				Esquema Unifilar	
Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño				A4	
				HOJA 1 DE 2	



NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
Autor: Javier Collado		15-06-21		Esquema unifilar de las conexiones de las celdas con BMS	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		ESCALA		N.º DE DIBUJO	
				Esquema Unifilar	
				A4	
				HOJA 2 DE 2	



4 3 2 1

F

E

D

C

B



F

E

D

C

B

NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
Autor: Javier Collado		15-06-21		Esquema batería individual 1 módulo con tapa	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		ESCALA 1:2		N.º DE DIBUJO	
				Batería 48V	
				A4	
				HOJA 1 DE 4	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

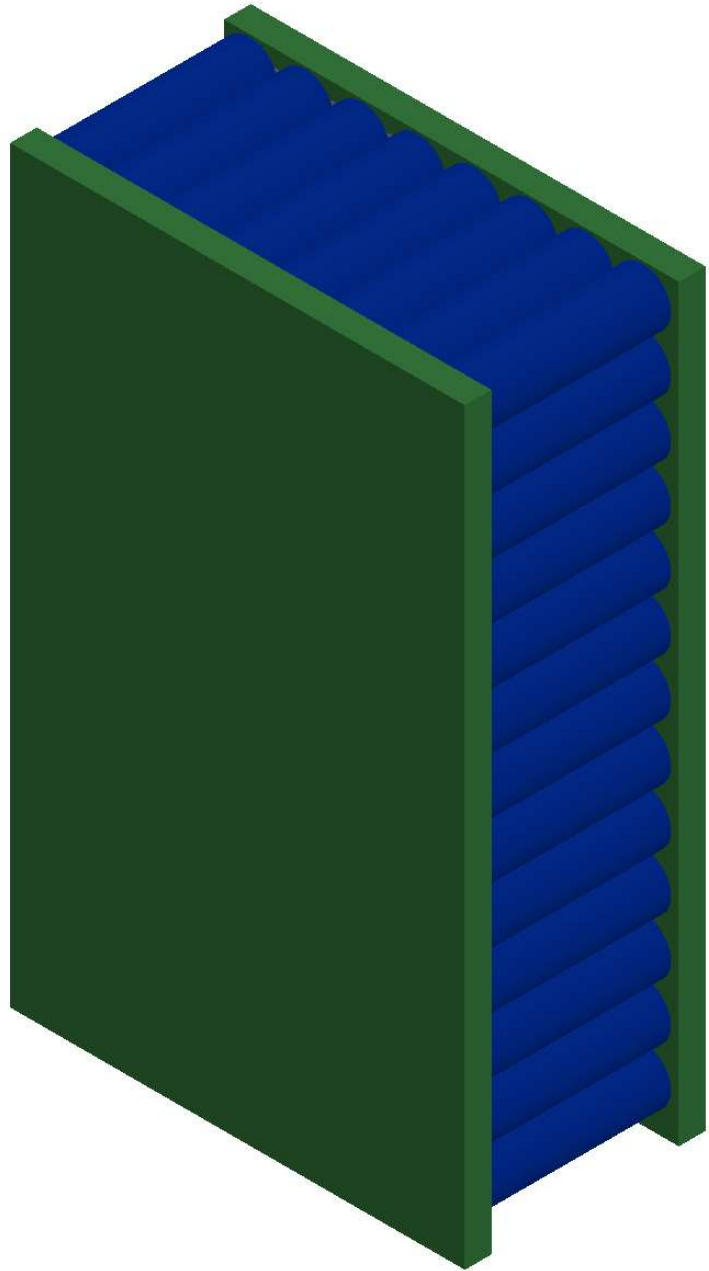
D

C

C

B

B



A

A

NOMBRE

FECHA

TÍTULO:

Autor

Javier Collado

15-06-21

Batería individual 1 módulo con tapa



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ESCALA 1:2

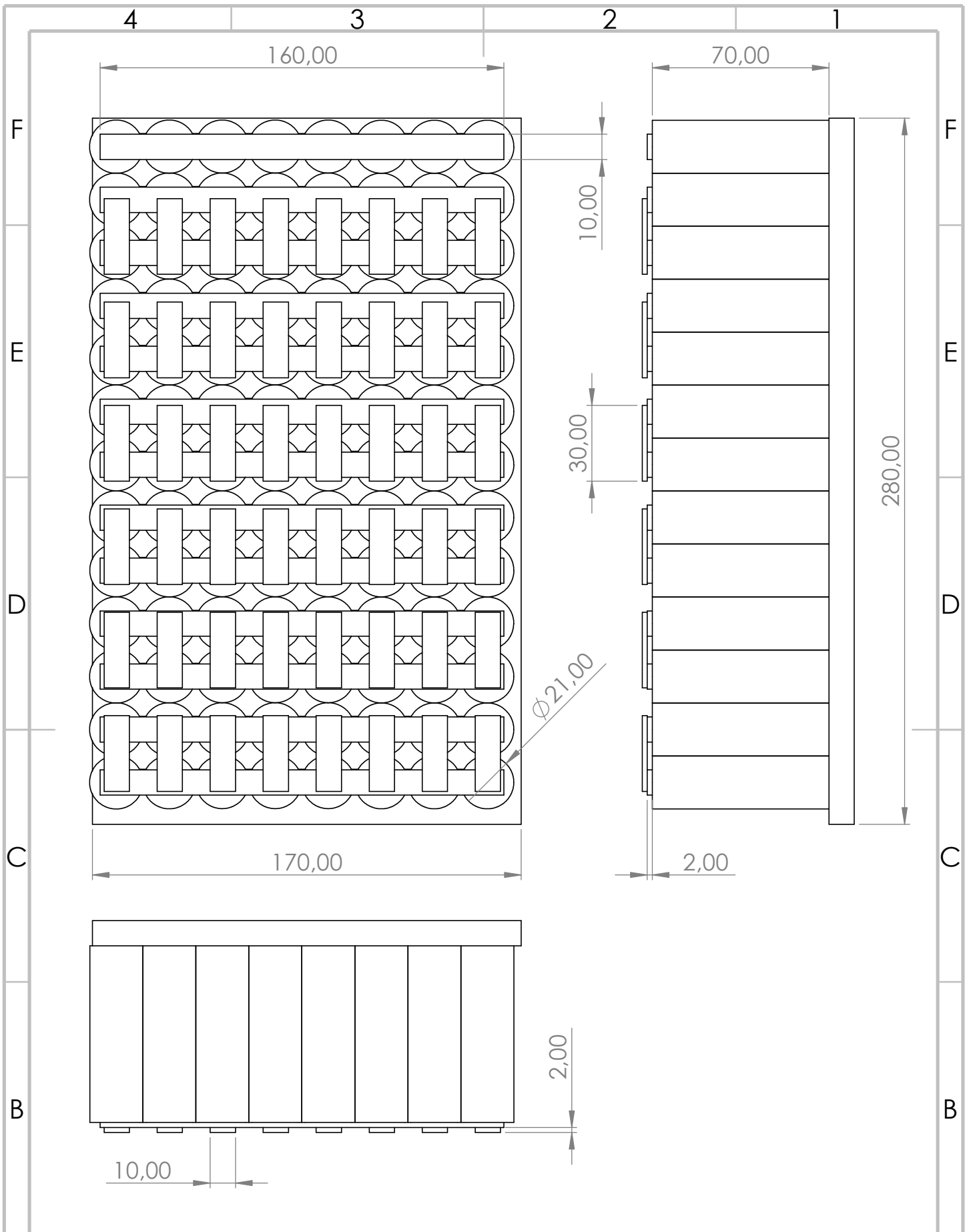
N.º DE DIBUJO



Batería 48V

A4

HOJA 2 DE 4

4 3 2 1



A	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
	Autor Javier Collado	15-06-21	Esquema batería individual 1 módulo sin tapa	
A	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	ESCALA 1:2		N.º DE DIBUJO
				Batería 48V
				HOJA 3 DE 4

4 3 2 1

F

F

E

E

D

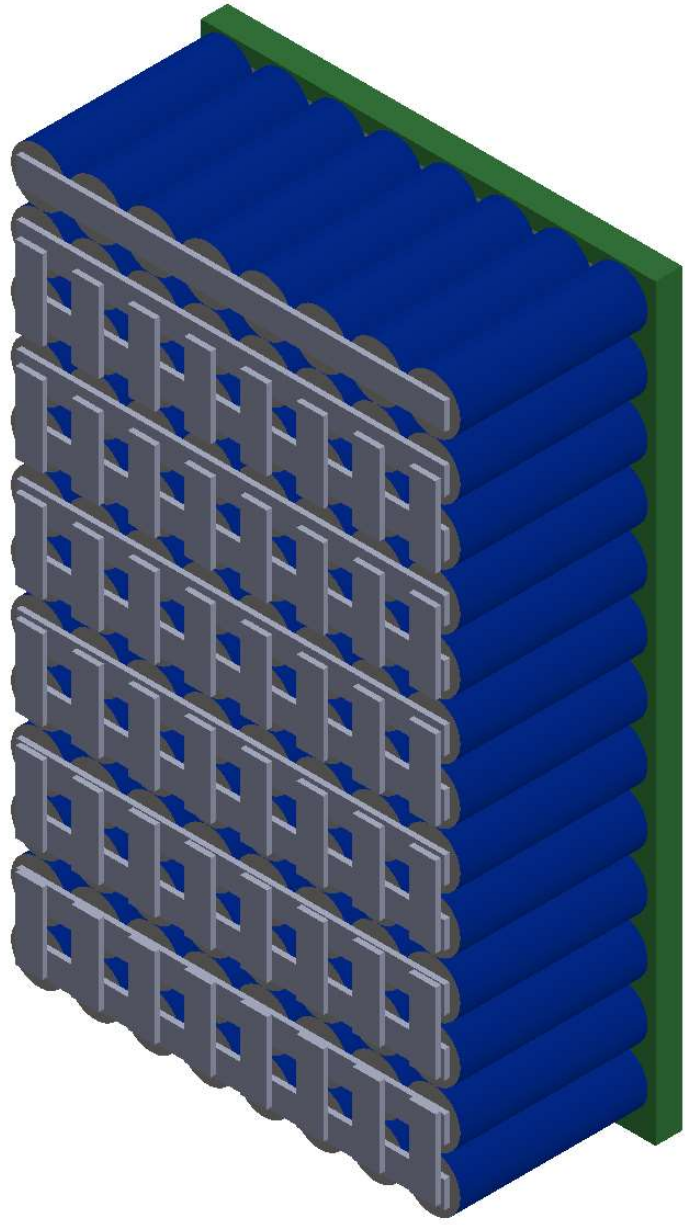
D

C

C

B

B



A

A

NOMBRE

FECHA

TÍTULO:

Autor

Javier Collado

15-06-21

Batería individual 1 módulo sin tapa



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ESCALA 1:2

N.º DE DIBUJO

Batería 48V

A4

HOJA 4 DE 4

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

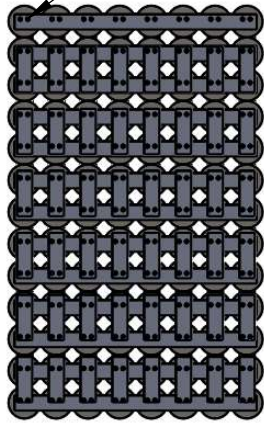
C

B

B

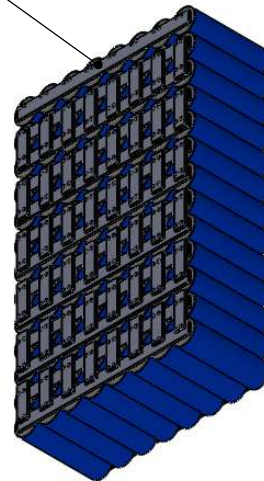
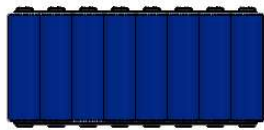
Punto de soldadura

Positivo +48 V



Negativo -48 V

Lámina de FeNi



A

A

NOMBRE

FECHA

TÍTULO:

Autor

Javier Collado

15-06-21

Esquema de las conexiones
en detalle de las celdas



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ESCALA 1:5

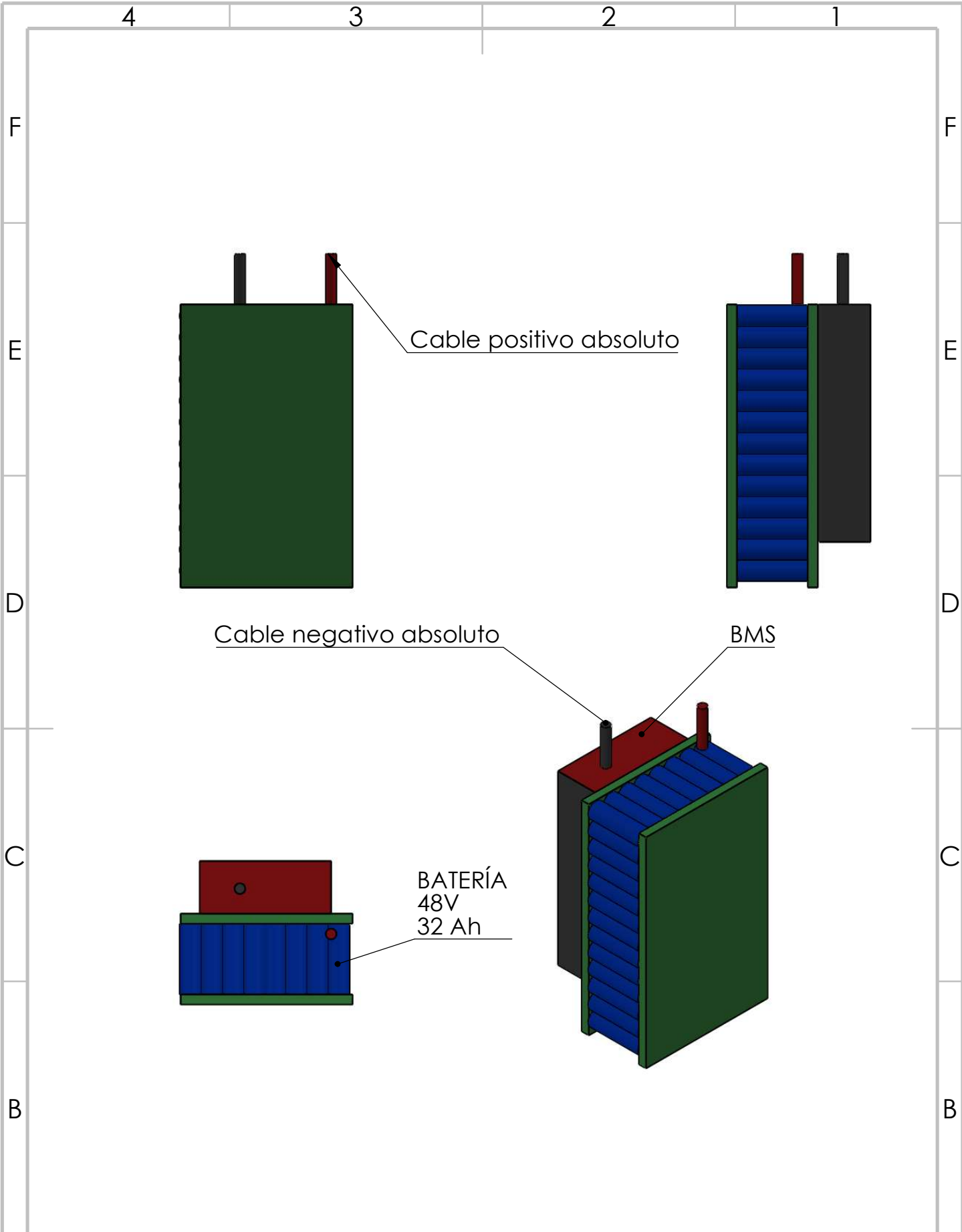
N.º DE DIBUJO



Esquema batería

A4

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



NOMBRE		FECHA		TÍTULO:	
Autor: Javier Collado		15-06-21		Esquema de las celdas con BMS	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		ESCALA 1:5		N.º DE DIBUJO	
 Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño				Esquema General	
				HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

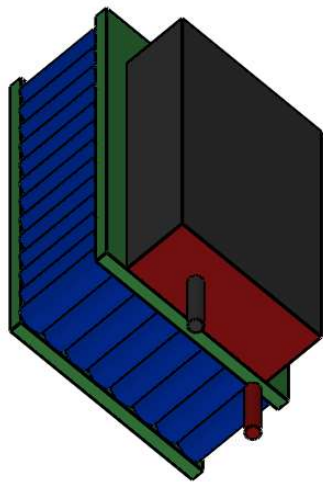
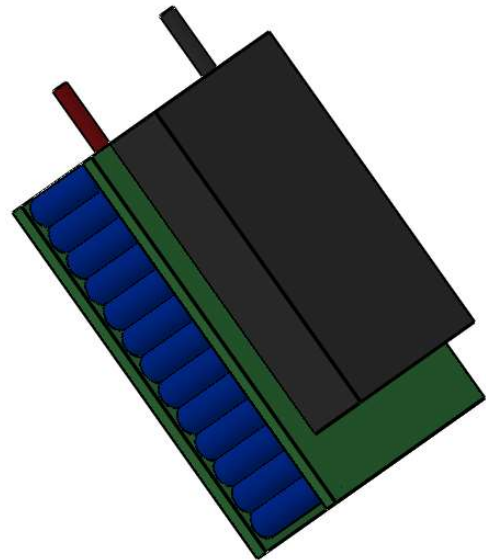
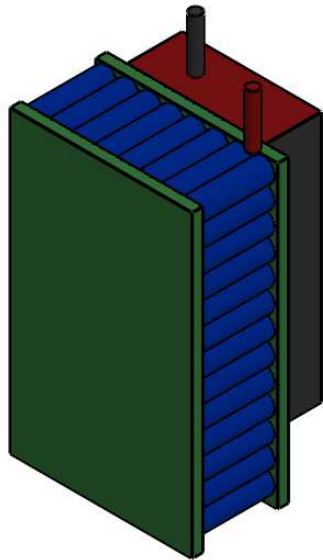
D

C

C

B

B



A

A

NOMBRE

FECHA

TÍTULO:

Autor

Javier Collado

15-06-21

Esquema unifilar de las conexiones de las celdas con BMS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

ESCALA

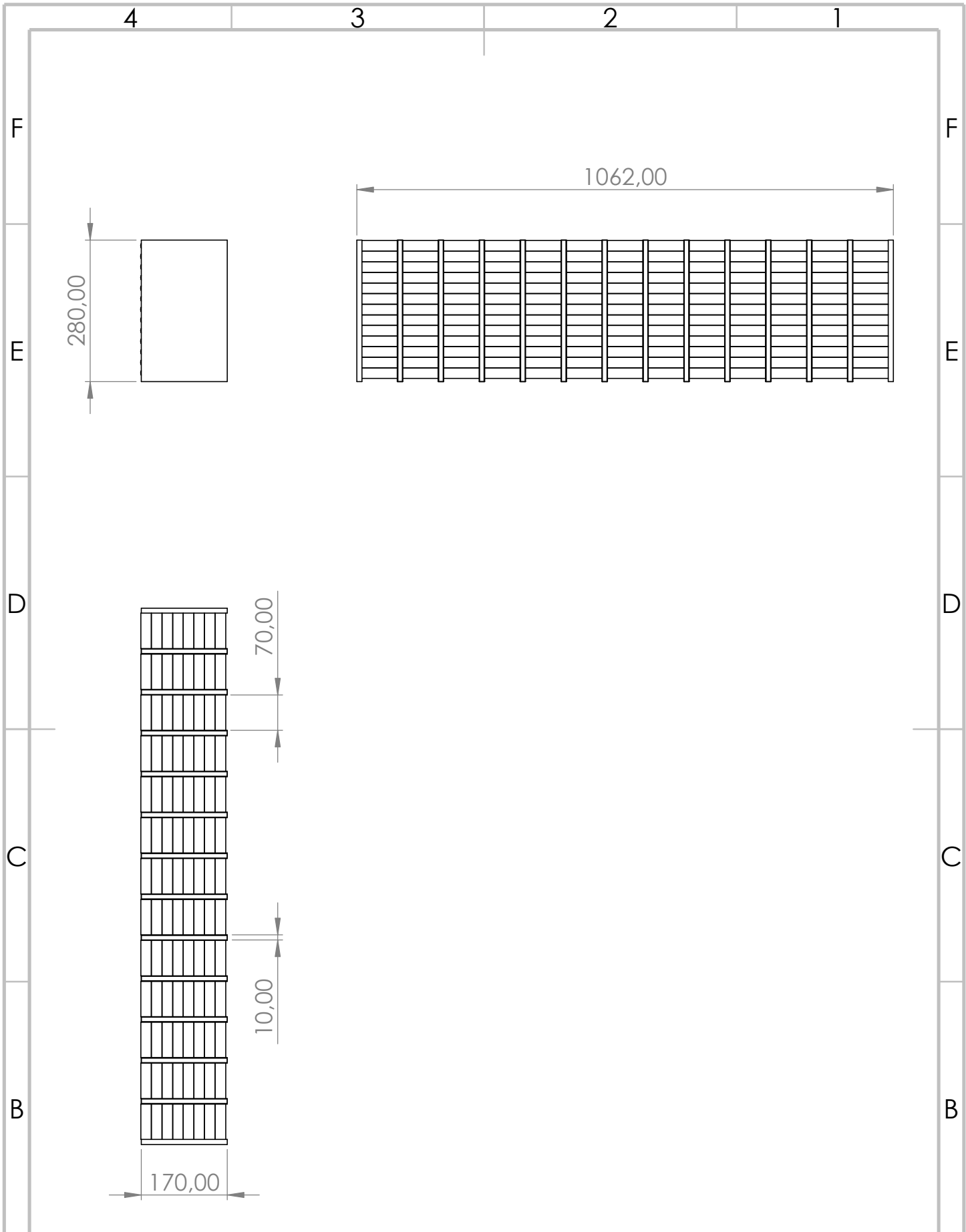
N.º DE DIBUJO



Esquéma Unifilar

A4

HOJA 2 DE 2

4 3 2 1



A	NOMBRE		FECHA	TÍTULO: Esquema batería completa 12 módulo con tapa	A4
	Autor: Javier Collado		15-06-21		
A	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño		ESCALA 1:10	N.º DE DIBUJO Batería Completa	
					HOJA 1 DE 2
	4	3	2	1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

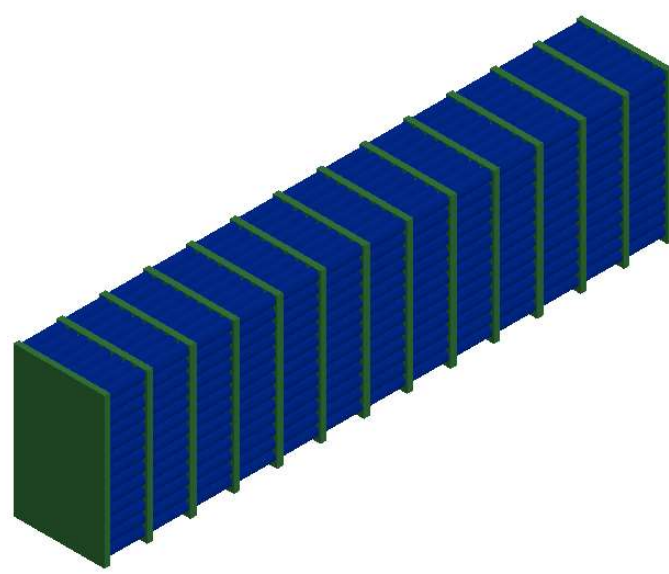
D



C

C

B

B



A	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:	
	Autor Javier Collado	15-06-21	Batería completa 12 módulo con tapa	
A	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño	ESCALA 1:10	N.º DE DIBUJO	A4
			Batería Completa	

4 3 2 1