

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



**UNIVERSITAS**  
*Miguel Hernández*

"DISEÑO MECÁNICO Y VIABILIDAD DE  
UNA BATERÍA DE TRACCIÓN  
COMPUESTA DE CELDAS DE TITANATO  
DE LITIO PARA INDUSTRIA DE FRÍO"

TRABAJO FIN DE GRADO

Marzo - 2022

AUTOR: Nayomi Klokgieters Setiawati

DIRECTOR/ES: Óscar Cuadrado Sempere

David Clar García

## **RESUMEN**

En este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se realiza el diseño de una batería de tracción con celdas de titanato de litio (LTO). De esta manera, finalmente, se realiza una comparativa entre las dos opciones destacadas en el mercado actual y una comprobación de la viabilidad de cada una de estas. Dicho proyecto, tendrá como finalidad una aplicación en la industria de frío, por ello, en este TFG se diseña la batería de tracción adaptada a este fin junto a un sistema calefactable.

Este proyecto se ha realizado juntamente con un estudiante de ingeniería electrónica enfocándonos en la realización de una batería de tracción para máquinas de intralogística. En este TFG se muestra únicamente la parte de diseño mecánico de la batería, su sistema calefactable, su proceso de fabricación y su viabilidad, tanto económica como energética. Todo ello teniendo en cuenta la electrónica seleccionada por el estudiante de ingeniería electrónica.

El objetivo general de este proyecto es llevarlo a cabo y poner en práctica la realidad laboral, donde distintos campos de trabajo unen sus conocimientos adquiridos para desarrollar un producto final.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>TABLA DE FIGURAS</b> .....	3
<b>1. MEMORIA</b> .....	6
1.1 INTRODUCCIÓN .....	6
1.2 PRINCIPALES BATERÍAS DEL MERCADO ACTUAL .....	7
1.2.1 Baterías de ácido-plomo .....	8
1.2.2 Baterías de Li-ion .....	10
1.2.3 Comparativa entre PbO <sub>2</sub> y LiFePO <sub>4</sub> .....	13
1.3 BATERÍA PROPUESTA .....	17
1.3.1 Baterías de LTO .....	17
1.3.2 Condiciones de diseño .....	18
1.3.3 Diseño propuesto y componentes .....	21
1.3.3.1 Fuente de energía .....	21
1.3.3.2 Soporte y montaje de las celdas .....	24
1.3.3.3 Componentes del sistema de calefacción .....	26
1.3.3.4 Electrónica .....	29
1.3.3.5 Diseño del soporte de los componentes electrónicos .....	29
1.3.3.6 Diseño del soporte del ventilador y circuito de circulación del aire .	30
1.3.3.7 Aislante térmico .....	32
1.3.3.8 Diseño de la envolvente exterior y tapa de la batería .....	34
1.4 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS .....	36
1.4.1 Cálculos del contrapeso necesario .....	36
1.4.2 Cálculos de las dimensiones generales de los componentes .....	37
1.4.3 Cálculos para la elección del calefactor .....	40
1.4.4 Cálculos para la viabilidad energética .....	42
1.4.5 Cálculos para la viabilidad económica .....	43
1.5 PLANIFICACIÓN .....	44
1.5.1 Línea de subensamblaje del conjunto de celdas .....	46
1.5.2 Línea de subensamblaje del conjunto ventilador .....	48
1.5.3 Línea de subensamblaje de la tapa .....	50
1.5.4 Línea de ensamblaje principal: Batería .....	51
1.6 ESTUDIO DE SEGURIDAD .....	58
1.6.1 BMS (Battery Management System) .....	58
1.6.2 Otras prevenciones .....	60
1.6.3 Consideraciones en caso de incendio .....	61

<b>2</b>	<b>PLANOS</b> .....	<b>63</b>
2.1	Plano 1 – Conjunto batería .....	63
2.2	Plano 1.3 – Subconjunto celdas .....	63
2.3	Plano 1.4 – Subconjunto ventilador .....	63
2.4	Plano 1.1 hoja 1 – Desarrollo envolvente .....	63
2.5	Plano 1.1 hoja 2 – Plegado y soldadura envolvente .....	63
2.6	Plano 1.2 hoja 1 – Desarrollo tapa de la batería.....	63
2.7	Plano 1.2 hoja 2 – Plegado tapa de la batería.....	63
2.8	Plano 1.3 – Soporte celdas .....	63
2.9	Plano 1.4.3 hoja 1 – Desarrollo soporte ventilador .....	63
2.10	Plano 1.4.3 hoja 2 – Plegado soporte ventilador .....	63
2.11	Plano 1.4.4 hoja 1 – Desarrollo soporte ventilador 2 .....	63
2.12	Plano 1.4.4 hoja 2 – Plegado soporte ventilador 2 .....	63
2.13	Plano 1.4.5 – Subconjunto soldadura soporte ventilador .....	63
2.14	Plano 1.5 hoja 1 – Desarrollo soporte electrónica.....	63
2.15	Plano 1.5 hoja 2 – Plegado soporte electrónica.....	63
<b>3.</b>	<b>PLIEGO DE CONDICIONES</b> .....	<b>79</b>
3.1	Pliego de condiciones generales.....	79
3.2	Especificaciones de materiales y equipos .....	80
3.3	Pliego de condiciones según el Real Decreto 27/2021.....	81
<b>4.</b>	<b>VIABILIDAD ECONÓMICA Y ENERGÉTICA</b> .....	<b>82</b>
4.1	Viabilidad energética .....	82
4.2	Viabilidad económica.....	87
4.3	Resultados .....	90
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>91</b>

### TABLA DE FIGURAS

Figura 1.2.1	“The worldwide battery market” Fuente AVICENNE ENERGY 2019 .....	7
Figura 1.2.2	Esquema celda PbO <sub>2</sub> . Fuente Exide .....	9
Figura 1.2.3	Tipos de baterías de Li-Ion. Fuente Energy Procedia 56 (2014) 352-358. ....	11
Figura 1.2.4	Esquema celda LiFePO <sub>4</sub> . Fuente Journal of the Electrochemical Society, 160(11) A2111-A2154 (2013).....	12
Figura 1.2.5	Comparación de plomo ácido y LiFePO <sub>4</sub> . Fuente LYTH energy technology .....	14

Figura 1.2.6 Ciclos de vida según DOD – baterías LiFePO4 y AGM. Fuentes. Victron Energy // PowerTech .....	15
Figura 1.3.1 Esquema de la apiladora.....	19
Figura 1.3.2 Datos de potencia para vehículos estándar.....	20
Figura 1.3.3 Dimensiones.....	20
Figura 1.3.4 Baterías dependiendo del modo de empleo en EJD 20.....	21
Figura 1.3.5 Esquema conexión en paralelo/serie.....	22
Figura 1.3.6 Dibujo técnico (mm).....	22
Figura 1.3.7 Dibujo técnico (mm).....	23
Figura 1.3.8 Soportes celdas.....	24
Figura 1.3.9 Perfil subconjunto de celdas.....	25
Figura 1.3.10 Conexión de celdas superior.....	25
Figura 1.3.11 Conexión de celdas inferior.....	26
Figura 1.3.12 Ventilador Axial RS PRO 80x80x25.....	27
Figura 1.3.13 Datos técnicos ventilador Axial RS PRO.....	27
Figura 1.3.14 RS Pro Silicone heater Mat.....	28
Figura 1.3.15 Especificaciones RS Pro Silicone heater Mat 500W.....	28
Figura 1.3.16 Calefactor PTC entre las celdas.....	29
Figura 1.3.17 Soporte electrónica.....	30
Figura 1.3.18 Soporte ventilador.....	31
Figura 1.3.19 Circulación del aire.....	32
Figura 1.3.20 Planchas autoadhesivas en hoja Armaflex.....	33
Figura 1.3.21 Datos técnicos Armaflex.....	33
Figura 1.3.22 Envolvente.....	34
Figura 1.3.23 Tapa.....	35
Figura 1.4.1 Ancho y largo del subconjunto de celdas.....	38
Figura 1.4.2 Alto del subconjunto de celdas.....	39
Figura 1.4.3 Distancias de la electrónica y soporte.....	40
Figura 1.5.1 Batería diseñada.....	44
Figura 1.5.2 BOM (Bill of materials).....	45
Figura 1.5.3 Subconjunto de celdas 1.....	47
Figura 1.5.4 Subconjunto de celdas 2.....	47
Figura 1.5.5 Subconjunto de celdas 3.....	48

Figura 1.5.6 Soporte ventilador.....	49
Figura 1.5.7 Soporte ventilador montado.....	49
Figura 1.5.8 Tapa con tuercas soldados.....	50
Figura 1.5.9 Tapa con pasamuros.....	50
Figura 1.5.10 Tapa con aislante térmico.....	51
Figura 1.5.11 Envolverte.....	52
Figura 1.5.12 Envolverte con contrapeso.....	52
Figura 1.5.13 Envolverte con aislante térmico.....	53
Figura 1.5.14 Interior de la batería con chapa metálica.....	54
Figura 1.5.15 Interior de la batería con subconjunto de celdas.....	55
Figura 1.5.16 Interior de la batería con subconjunto de celdas y ventilador.....	55
Figura 1.5.17 Interior de la batería final.....	56
Figura 1.5.18 Batería completa.....	57
Figura 1.5.19 Batería atornillada.....	57
Figura 1.6.1 BMS.....	59
Figura 1.6.2 Etiqueta clase 9 modelo 9A .....	62
Figura 4.1 Datos.....	83
Figura 4.2 Turnos de trabajo y batería PB.....	84
Figura 4.3 Baterías LiFePO <sub>4</sub> .....	85
Figura 4.4 Batería LTO .....	86
Figura 4.5 SOC baterías .....	87
Figura 4.6 Presupuesto .....	88
Figura 4.7 Consumo y precios de las baterías .....	89
Figura 4.8 Precio de la luz.....	89
Figura 4.9 Estudio económico de las baterías .....	90

## 1. MEMORIA

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente, el consumo energético tiene una previsión de que se vaya a duplicar en los próximos 50 años, por ello, se ha incrementado el interés de bajar o eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero. A raíz de esta problemática mundial, se ha empezado a apostar por diferentes proyectos, han surgido nuevas leyes del cambio climático y transición energética, como, por ejemplo, restricciones de la entrada al centro de las ciudades, valores de emisiones máximos permitidos cada vez más estrictos y la prohibición de circulación de vehículos de combustión a partir del año 2050. Debido a esto, surge la necesidad de desarrollar una movilidad más sostenible. Como alternativa, se encuentran los vehículos eléctricos o híbridos que, gracias a las baterías de tracción, consiguen responder adecuadamente ante condiciones típicas de conducción, como pueden ser demandas instantáneas de potencia, regeneraciones o descargas parciales. Por esta razón, las baterías de tracción adquieren un gran papel en la actualidad.

Hasta hace poco se utilizaba principalmente la tecnología plomo-ácido en las baterías de tracción. En cambio, actualmente, se está fomentando la utilización de baterías de Litio-Ion (Li-ion), ya que, tienen una mayor densidad de energía, una mayor eficiencia y mayor ciclo de vida. Y a parte de estos factores determinantes, posee muchos más beneficios que el plomo-ácido. Por ejemplo, no realiza emisiones de hidrógeno, no tiene riesgo de explosión, no requiere de mantenimiento y posee una economía circular. En cambio, el plomo sigue siendo un metal tóxico y peligroso incluso cuando se recicla.

En el mercado actual, para la fabricación de baterías de Li-ion para máquinas de intralogística se utilizan mayoritariamente celdas compuestas por Litio-ferrofosfato ( $\text{LiFePO}_4$ ). Por ese motivo, en este TFG surgió la necesidad de realizar un diseño de una batería con celdas de otro tipo de compuesto, Titanato de Litio (LTO), el cual posee pequeñas ventajas y desventajas frente al  $\text{LiFePO}_4$ . El análisis de estos datos se realizará a lo largo de este proyecto.

En cuanto a la batería a diseñar, tendrá una aplicación para una apiladora eléctrica modelo EJD 20 de la marca Jungheinrich, el cual puede ser empleado para la elevación y el apilamiento de paletas, así como para el transporte de estas. Por tanto, se tendrá en cuenta las características del espacio disponible en la apiladora, el peso que debe soportar y su capacidad máxima.

En definitiva, los objetivos de este trabajo fin de grado son, describir los dos tipos de batería de tracción más destacados en el mercado actual, desarrollar el proyecto de innovación de la nueva batería y su justificación, planificar y describir el proceso de fabricación de la nueva batería, realizar el análisis económico y técnico de los tres tipos de baterías, y finalmente, obtener los resultados y conclusiones.

## 1.2 PRINCIPALES BATERÍAS DEL MERCADO ACTUAL

En el mercado actual se encuentran dos tipos de baterías de tracción predominantes, las baterías de ácido-plomo, las cuales llevan años en el mercado, y las baterías de Li-ion, la última tecnología que está cogiendo cada vez más fuerza. A continuación, en la siguiente *figura 1.2.1* se puede observar la evolución de las baterías recargables en el mercado a nivel mundial.

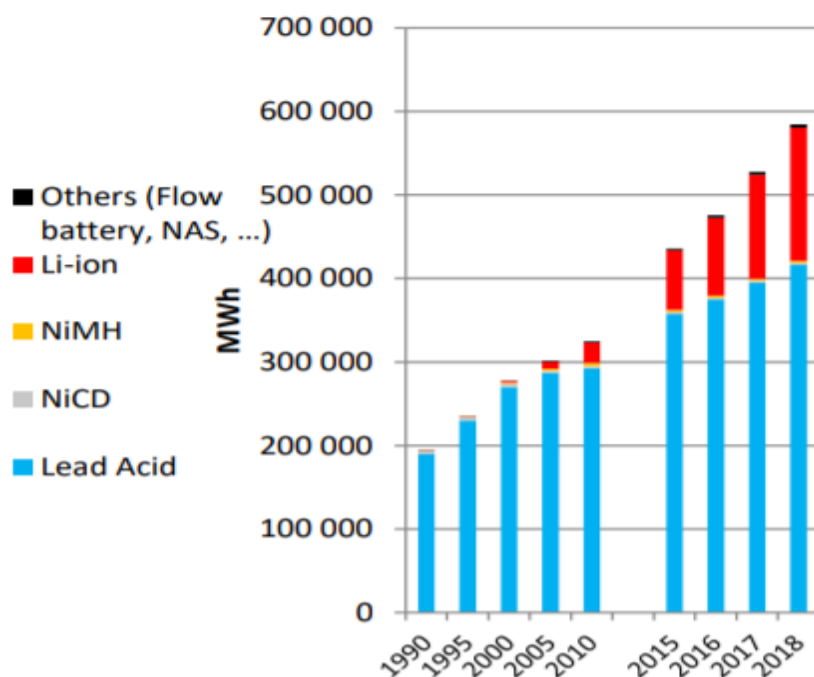


Figura 1.2.1 – “The worldwide battery market” Fuente AVICENNE ENERGY 2019



Por tanto, a continuación, se muestra las características de los acumuladores que se van a tratar en este proyecto. Por lo que, para definir una batería de acumulación hay que tener en cuenta tres características predominantes. Una de ellas es la cantidad de energía que puede almacenar, la cual se define por el número de vatios-hora (Wh). Por otro lado, la máxima corriente que puede entregar, es decir, su descarga, que se puede definir en amperios-hora (Ah) y capacidad (C). Y, por último, la profundidad de descarga que puede sostener, normalmente dado en dato porcentual (%).

### 1.2.1 Baterías de ácido-plomo

Durante más de un siglo, la tecnología de ácido-plomo ha sido la más utilizada como acumulador energético. Se trata de una tecnología madura, económica y con una rápida disponibilidad.

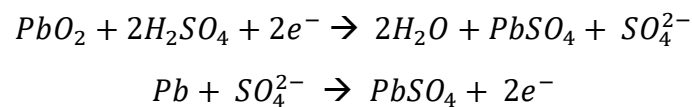
Una batería es un conjunto de celdas individuales en las que tiene lugar una reacción química reversible. En el caso de las baterías de plomo, cada celda proporciona una energía de 2V, a esto se le llama voltaje de célula nominal. Y para generarla, se realiza a partir de una doble conversión de energía en un proceso electroquímico. El conjunto de celdas es lo que conforma una batería o acumulador energético.

Para la obtención de esta energía, cada celda consta de cuatro elementos básicos: dos electrodos, uno negativo y otro positivo, un electrolito y un separador. Cuando las placas están cargadas, el electrodo positivo se compone de óxido de plomo ( $\text{PbO}_2$ ), en cambio, el electrodo negativo se compone de plomo (Pb). Cuando los electrodos se conectan entre sí, forman un circuito cerrado por el cual circula la corriente, y estos, se sumergen en la disolución del electrolito, compuesto por una disolución de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) con agua destilada ( $\text{H}_2\text{O}$ ), se puede observar en la *figura 1.2. 2*. Cuando se descarga la batería, se produce una reacción química en el electrolito, donde el electrodo positivo y el negativo pasan a ser sulfato de plomo ( $\text{PbSO}_4$ ), de manera que la energía química acumulada se transforma en energía eléctrica. Por lo que, el electrolito permite la migración de electrones entre electrodos. Por otro lado, la función del separador es evitar el contacto entre los electrodos y permitir el paso de electrones a través de él. En caso

contrario, si aplicamos electricidad a la batería, la reacción se invierte y se posibilita la opción de almacenar energía.

En definitiva, durante el proceso de carga el sulfato de plomo es reducido a plomo y se forma óxido de plomo. En cambio, durante el proceso de descarga se invierten los procesos, el óxido de plomo es reducido a sulfato de plomo, mientras que el plomo es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo. La carga y descarga completa de una batería se le denomina ciclo de carga o ciclo de vida.

Los procesos que transcurren son los siguientes:



Químicamente, estos procesos de carga y descarga de los electrodos podrían repetirse infinitamente. En cambio, en la realidad, los materiales de las placas se van desprendiendo y sedimentando durante los ciclos de vida. Estos materiales son elementos que cuando se desprenden dejan de formar parte de la reacción química, por tanto, la capacidad de réplica de la carga disminuye a lo largo de los ciclos de vida de la batería, hasta que el sulfato de plomo forma cristales muy grandes, que ya no responden bien a los procesos indicados y la batería deja de funcionar. La diferencia funcional entre diferentes tipos de baterías obedece al uso de diferentes electrolitos y electrodos metálicos.

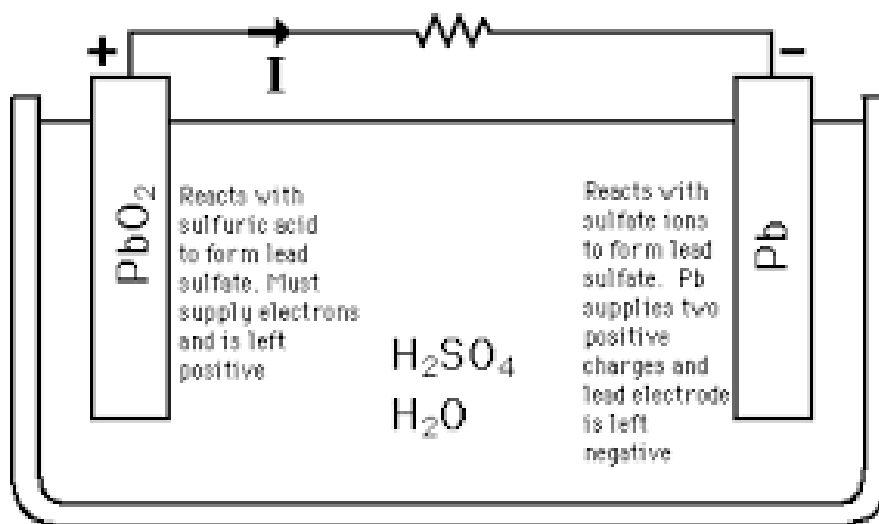


Figura 1.2. 2 -Esquema celda PbO<sub>2</sub>. Fuente Exide

### 1.2.2 Baterías de Li-ion.

Las baterías de plomo ácido fue el primer tipo de batería recargable, inventado en 1859. Por otro lado, las baterías de Li-ion son un invento mucho más reciente, donde su primera comercialización fue a principios del año 1990.

La tecnología de litio se ha testado e investigado para alimentar dispositivos electrónicos pequeños como ordenadores portátiles, móviles o herramientas inalámbricas, y se ha vuelto cada vez más común en estas aplicaciones, superando la química de las baterías recargables de NiCad (níquel-cadmio) más antiguas debido a las muchas ventajas del litio.

La formulación de la batería de iones de litio comúnmente utilizada había sido el óxido litio cobalto ( $\text{LiCoO}_2$ ), y esta química de la batería es propensa a la fuga térmica si la batería se sobrecarga accidentalmente. Esta es una de las razones por las que, hasta hace poco, el litio rara vez se usaba para crear grandes bancos de baterías.

En cambio, en la actualidad los grandes bancos de baterías de litio están formados principalmente por dos componentes principales, por un lado, las baterías, y, por otro lado, por el módulo BMS (sistema de gestión de baterías). Este último es el encargado de controlar la correcta carga y descarga de las celdas que componen la batería, de mantenerlas equilibradas, de hacer operar al banco en su área de operación segura, así como también medir la capacidad de carga y la temperatura entre otros datos.

Pero en 1996 se desarrolló una nueva fórmula para mezclar baterías de iones de litio: fosfato de hierro y litio, conocidas como  $\text{LiFePO}_4$  o LFP. Estas baterías tienen una densidad de energía ligeramente menor, pero son intrínsecamente no combustibles y, por lo tanto, mucho más seguras que el óxido de cobalto de litio.

Por tanto, en este trabajo de fin de grado, dentro de los distintos tipos de baterías de ion-litio *figura 1.2.3*, se enfoca en las baterías litio-ferrofosfato. El rendimiento de estas baterías depende en gran medida de la estabilidad térmica, mecánica y física de sus materiales.

Table 2. Type of Lithium-ion battery [12].

Chemical name	Material	Abbreviation	Notes
Lithium Cobalt Oxide <sup>1</sup>	LiCoO <sub>2</sub> (60% Co)	LCO	High capacity; for cell phone laptop, camera
Lithium Manganese Oxide <sup>1</sup>	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	LMO	Most safe; lower capacity than Li-cobalt but high specific power and long life.
Lithium Iron Phosphate <sup>1</sup>	LiFePO <sub>4</sub>	LFP	Power tools, e-bikes, EV, medical, hobbyist.
Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide <sup>1</sup>	LiNiMnCoO <sub>2</sub> (10–20% Co)	NMC	
Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide <sup>1</sup>	LiNiCoAlO <sub>2</sub> (9% Co)	NCA	Gaining importance in electric powertrain and grid storage
Lithium Titanate <sup>2</sup>	Li <sub>4</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	LTO	

<sup>1</sup> Cathode material    <sup>2</sup> Anode material

Figura 1. 2. 3 –Tipos de baterías de Li-Ion. Fuente Energy Procedia 56 (2014) 352-358

En cuanto a las celdas de Li-Ion, como cualquier particular celda electroquímica, una celda está formada por dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separado por un separador de aislamiento eléctrico. Los electrodos son una estructura compuesta que consta de material activo, aglutinantes y aditivos. El separador está compuesto por un polímero que evita el contacto entre el ánodo y el cátodo, pero permite el paso de los iones de litio. El electrolito proporciona el camino para que los iones de litio viajen entre los electrodos durante el ciclo de la celda. La combinación de los materiales de estos determinará el rendimiento de la celda, la energía y la capacidad de potencia, la vida útil, las características de seguridad, las temperaturas de funcionamiento, etc.

La celda de Li-Ion está llena de electrolito, que se trata de un solvente que contiene sal de litio. En la *figura 1. 2. 4* podemos observar un esquema de cómo está compuesta la celda, con un ánodo de grafito, un cátodo de LiFePO<sub>4</sub>, el separador y el electrolito.

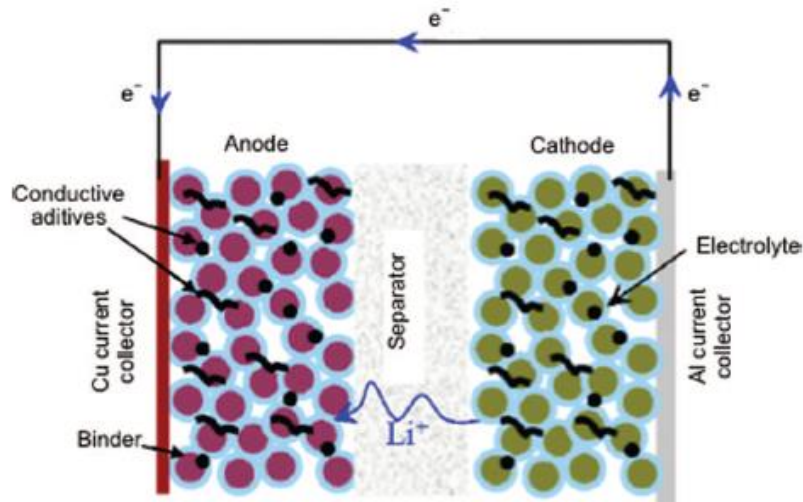
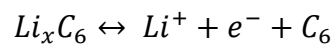
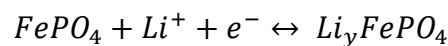


Figura 1.2. 4 – Esquema celda  $\text{LiFePO}_4$ . Fuente *Journal of the Electrochemical Society*, 160(11) A2111-A2154 (2013)

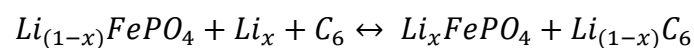
La celda almacena la energía eléctrica en forma de energía química durante la carga y devuelve esta energía almacenada como energía eléctrica durante la descarga. Esta conversión de energía se realiza a través de una reacción redox, que es la combinación de dos reacciones separadas de media celda que tienen lugar en los dos electrodos. Durante la descarga, el ánodo sufre una reacción de oxidación como se ve en la siguiente ecuación:



Y el cátodo sufre la reacción de reducción dada por la siguiente ecuación:



Durante estas reacciones, los iones de litio del ánodo se difunden a través del electrolito líquido y del separador y se intercalan en el material del cátodo. Los electrones fluyen por el circuito externo proporcionando la energía eléctrica necesaria. Las mismas reacciones ocurren en direcciones opuestas cuando la celda se carga con una fuente de energía externa. Las dos reacciones combinadas dan la siguiente reacción completa para la celda:



Debido a la aplicación potencial de estas baterías en la industria del transporte, ha habido un gran esfuerzo por desarrollar materiales baratos, confiables y estables.

### 1.2.3 Comparativa entre $\text{PbO}_2$ y $\text{LiFePO}_4$

En cuanto a la diferencia entre una batería de plomo-ácido y una batería de  $\text{LiFePO}_4$ , a parte de su principio de funcionamiento mostrado en los apartados anteriores, se encuentran diferentes factores a destacar.

En primer lugar, las baterías de Li-ion proporcionan mayor densidad energética, tiene una densidad de energía mucho mayor y, por lo tanto, puede almacenar energía a la vez que ocupa menos espacio con un menor peso. En términos de peso, la densidad de energía de las baterías de plomo-ácido es generalmente de 50 hasta 70 Wh/g, y la densidad de energía de las baterías  $\text{LiFePO}_4$  es generalmente de 200 hasta 260 Wh/g. Además, se diferencian por su eficiencia energética y mayor rendimiento, ya que son un 30% más eficientes energéticamente que una batería tradicional de plomo ácido, es decir, representan un menor consumo de energía

Por otro lado, los ciclos de vida de las baterías de plomo-ácido pueden llegar a 1500 ciclos, en cambio, los ciclos de vida de la batería  $\text{LiFePO}_4$  pueden llegar a ser mayor de 2000 ciclos, incluso pueden alcanzar 15000 ciclos. Esto muestra que el ciclo de vida de la batería  $\text{LiFePO}_4$  es aproximadamente 4 - 10 veces mayor que el de la batería de  $\text{PbO}_2$ , teniendo en cuenta el tipo de batería *figura 1.2.5*.

COMPARACIÓN DE PLOMO ÁCIDO Y LiFePO4						
CARACTERÍSTICA	FLA	AGM	GEL	LYTH LiFePO4	BENEFICIO DE LiFePO4	
voltaje	12V(2V por celda)	12V(2V por celda)	12V(2V por celda)	12.8V(3.2V por celda)	Más poder	
Ciclos de vida @ 80% DOD	500	400	1000	7100(a 70% capacidad restante)	Vida más larga	
Ciclos de vida @ 50% DOD	900	800	1400	13000(a 70% capacidad restante)	6-10X más	
Peso	30kg(66.1 libras)	32.7 kg(72.1 libras)	32kg (70 libras)	13.5kg(30 libras)	<1/2 el peso	
Capacidad @ 27 °C	C20	130Ah	115Ah	102Ah	100Ah	Poder constante y
	C5	105Ah	91Ah	85Ah	100Ah	Energía a cualquier tarifa
	C1	74Ah	62Ah	70Ah	100Ah	de descarga
Capacidad @ 0 °C	50%	68%	68%	90%	Temperatura fría superior	
					actuación	
Tiempo de carga	6-12 horas	6-12 horas	6-12 horas	1-3 horas	4-6x más rápido	
Mantenimiento	ALTO	BAJO	BAJO	NINGUNA	Sin mantenimiento	
Costo real por ciclo @ 80% DOD	\$0.67	\$0.92	\$0.57	\$0.31	Costo de por vida	

Figura 1.2. 5 – Comparación de plomo ácido y LiFePO4. Fuente LYTH energy technology

Un dato fundamental cuando se habla de ciclos de vida de una batería es la profundidad de la descarga (DOD, Depth of discharge en inglés) a la que se somete la batería. La profundidad de descarga es un método alternativo para indicar el estado de carga (SOC, state of charge en inglés) de una batería. Esto es común a todos los tipos de baterías: cuanto más se descargue en cada uso, menos ciclos durará.

En este sentido, las baterías que salen más perjudicadas en la comparación son las de plomo de tipo sellado, ya que los 600-800 ciclos de vida útil son para profundidades de descarga que no superen el 50% de la capacidad total. Es decir, que si queremos que estas baterías duren lo que sugiere el fabricante sólo podremos utilizar la mitad de su capacidad.

Las baterías de electrolito líquido admiten descargas periódicas de hasta un 80%. Y las baterías de litio suelen admitir descargas habituales de hasta un 90% sin que se reduzca drásticamente su vida útil.

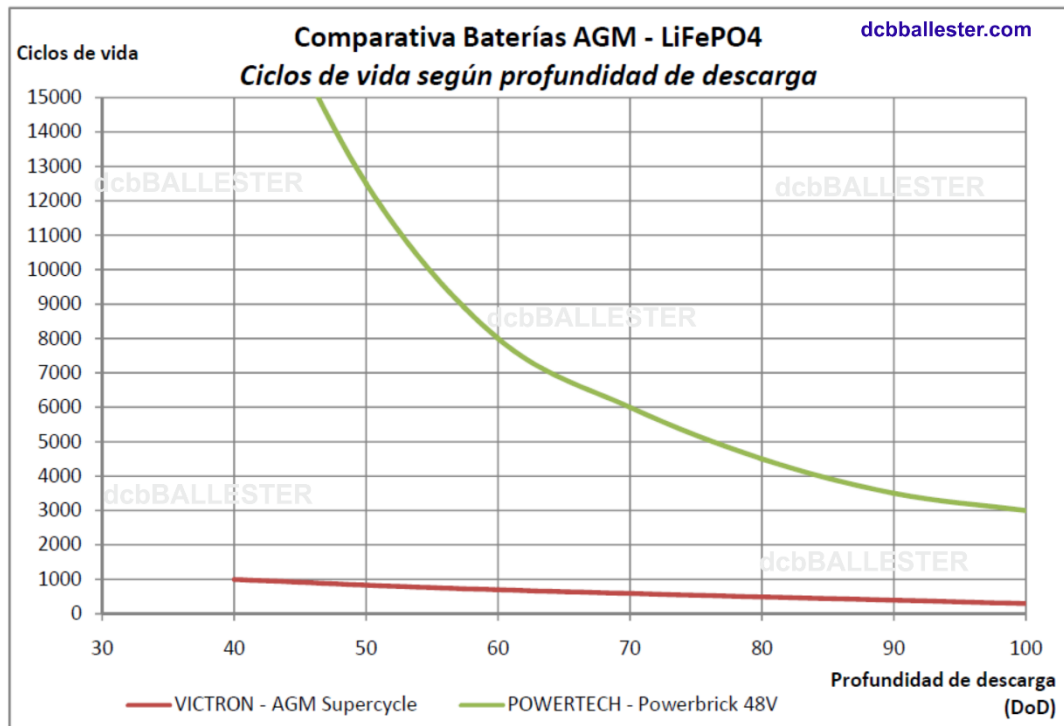


Figura 1.2. 6 - Ciclos de vida según DOD – baterías LiFePO4 y AGM. Fuentes. Victron Energy // PowerTech

Una de las principales ventajas de las baterías de litio es que son capaces de mantener su tensión nominal de manera casi constante durante todo el proceso de descarga, independientemente de la tasa de descarga. Es decir, mantienen la misma potencia durante su utilización.

Las baterías de plomo, por el contrario, sufren una caída de potencial cuando se ponen a trabajar, esta aumenta cuanto mayor sea la corriente a la que están sometidas, y también cuanto más descargadas estén. Esto implica que la potencia que van entregando es cada vez menor, hasta que llega un momento en que el aparato que estamos utilizando deja de funcionar. Normalmente se limitan a 50% de su capacidad nominal para evitar una vida corta. Esto último también se puede observar en la *figura 1.2.5*.

Por otro lado, las baterías de litio son de carga rápida, las tasas de carga y descarga de una batería se rigen por las tasas C. La capacidad de una batería generalmente se califica a 1C, lo que significa que una batería completamente cargada con un valor nominal de



100Ah debe proporcionar 100A durante una hora. Se sabe que las baterías de  $\text{LiFePO}_4$  pueden cargarse y descargarse con una tasa de 1C, en cambio, las baterías de plomo tienen una tasa de 0,2C.

Las baterías de plomo ácido necesitan como mínimo 8 horas, mientras que las de Li-ion consiguen cargar al 100% en 1 hora. Por lo tanto, se consigue un mayor tiempo de utilización de las máquinas y un menor tiempo de carga.

En cambio, a consecuencia de recargar las baterías sin haber dejado que se descarguen por completo, puede producir el efecto memoria, y así mismo, reducir la capacidad de ellas. Esto les ocurre a las baterías de plomo, a raíz de que en su interior se crean unos cristales a causa de una reacción química al calentarse. Por lo contrario, las baterías de litio no se ven afectadas por esto, por lo que es una ventaja que añadir, ya que se les puede realizar cargas puntuales.

Con relación a las recargas, cuando una batería de plomo-ácido se recarga se debe habilitar un espacio con ventilación, alejado de cualquier fuente de fuego o llama. En cambio, con las baterías de litio, efectúan una carga de forma segura para los operarios al no emitir ninguna partícula, por lo que son más seguras, no dañan el medio ambiente y tampoco necesitan ningún tipo de mantenimiento o cambio de batería, a diferencia de una batería de plomo-ácido.

En cuanto a términos de precio, en este caso, la batería de  $\text{PbO}_2$  resulta ser más económica que las baterías de  $\text{LiFePO}_4$ . En cambio, si se analiza las baterías con relación a sus ciclos de vida, su capacidad y el resto de las características, a la larga una batería de  $\text{LiFePO}_4$  es más económica. Esto último se analizará en profundidad en este trabajo de fin de grado en el capítulo 4 de viabilidad económica y energética.

## 1.3 BATERÍA PROPUESTA

La aplicación de las baterías Li-ion han experimentado un gran crecimiento estas últimas décadas. Comparado con las baterías de plomo-acido, el Li-ion ofrece mayor densidad de energía y potencia, por lo que reduce la masa y el espacio del acumulador de energía. A raíz de esta idea, surgió la necesidad de analizar una batería alternativa formada por celdas de otro tipo de compuesto, por lo que se escogió el LTO.

El nuevo modelo de batería se diseñará con una aplicación en la apiladora eléctrica modelo EJD 20 de la marca Jungheinrich, e incluso, para una aplicación en la industria de frío, donde pueda soportar las condiciones que se le presente.

### 1.3.1 Baterías de LTO

El LTO es una nueva generación de las baterías de Li-Ion, que utiliza óxido de litio y titanio en lugar de grafito como material del ánodo. Uno de sus puntos más atractivos es su carga rápida, las nano partículas de óxido de LTO aumentan el área de contacto electrodo-electrolito y reducen la distancia de difusión de iones y electrones, lo que reduce la resistencia a la polarización y permite una carga rápida. Pueden recargarse 20 veces más rápido que una batería convencional de plomo ácido y 10 más que las de litio y LiFEPO<sub>4</sub>, es decir, tiene una tasa de carga/descarga de hasta 10C. Estas baterías se pueden cargar de forma segura entre seis y diez minutos, en contraste con las 8 horas requeridas para otras baterías recargables. Además, la eficiencia de recarga supera en su totalidad el 98%, muy por encima de los mecanismos de almacenamiento de energía convencionales.

La desventaja es que las baterías de titanato de litio tienen un voltaje inherente más bajo (2,4 V/celda), lo que conduce a una densidad de energía más baja que las tecnologías de baterías de iones de litio convencionales. Pero la densidad de energía de las baterías basadas en LTO sigue siendo mayor que la de las baterías de plomo-ácido y NiCad.

El mayor nivel de seguridad con las baterías LTO se debe al menor voltaje operativo de esta tecnología. El argumento es que, dado que las baterías están completamente libres de

carbono, evitan la fuga térmica o el sobrecalentamiento, que es una de las principales causas de incendios en los sistemas tradicionales de almacenamiento de energía. El óxido de litio y titanio evita la formación de dendritas, el recubrimiento de litio y la descomposición de electrolitos. También ofrece una mejor estabilidad térmica y estructural porque no se ve afectado por la película de interfase de electrolito sólido cuando opera por encima de su voltaje de descarga de corte. Estas baterías pueden obtener hasta el 80 % de su capacidad total a -30 °C.

Su vida útil puede llegar a 30.000 ciclos, tiene un excelente rendimiento a baja temperatura y toxicidad.

Con estas ventajas tan destacadas de las baterías de LTO, los fabricantes de vehículos contemplan estas celdas como una buena opción para el futuro diseño de los vehículos eléctricos, ya que la problemática actual de los vehículos eléctricos son sus recargas puntuales.

### 1.3.2 Condiciones de diseño

Como se ha comentado anteriormente, la batería se diseñará para la apiladora eléctrica modelo EJD 20 de la marca Jungheinrich, la cual se puede observar en la *figura 1.3.1*. En las figuras siguientes, *figura 1.3.2* y *figura 1.3.3* se muestran los datos técnicos de la transpaleta.

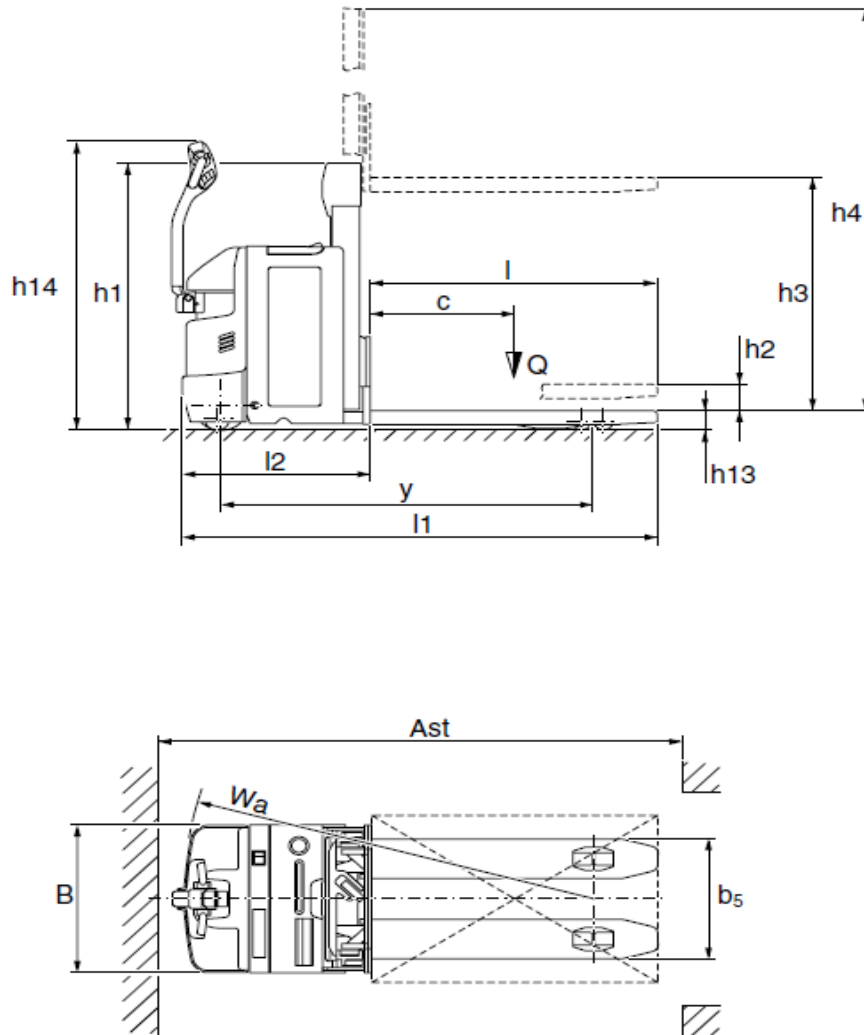


Figura 1.3. 1 - Esquema de la apiladora

	Designación		
Q	Capacidad de carga	2000	kg
C	Distancia entre centros de carga con largo estándar de horquilla	600	mm
	Velocidad de marcha con / sin carga elevada	6,0 / 6,0	km/h
	Velocidad de elevación con / sin carga elevada	0,14 / 0,24	cm/s
	Velocidad de descenso con / sin carga elevada	0,47 / 0,24	cm/s
	Capacidad ascensional máx. (5 min) con / sin carga elevada **)	9 / 15	%

Figura 1.3. 2 – Datos de potencia para vehículos estándar

	Designación				
$h_1$	Altura andamio de elevación telescópico dentro	1250	1425	1700	mm
$h_2$	Elevación libre ***)	0			mm
$h_3$	Elevación	1660	2010	2560	mm
$h_4$	Altura andamio de elevación telescópico fuera	2106	2456	3006	mm
$h_{13}$	Altura andamio de elevación abajo	90			mm
$h_{14}$	Altura lanza de manejo ****)	850/ 1350			mm
y	Base de ruedas *)	1550			mm
$L_1$	Largo del vehículo	1975			mm
$L_2$	Longitud incl. lomo de horquilla	785			mm
I	Longitud de horquilla	1190			mm
B	Ancho del vehículo	690			mm
$b_5$	Distancia exterior de horquilla	570			mm
Wa	Radio de giro *)	1630			mm
Ast	Ancho del pasillo de servicio *) 800 x 1200 longitudinal	2395			mm

Figura 1.3. 3 - Dimensiones

Se sabe que el espacio disponible dentro de la apiladora en el compartimento de la batería es de 620x210x510mm. También, se conoce por la placa indicadora de la apiladora que su masa neta sin batería es de 760 kg y que la masa de la batería debería encontrarse entre 209/231 kg, correspondiendo a su masa mínima y a su masa máxima permitido, para posibilitar la elevación de materiales pesados de hasta 2000 kg.

Por otro lado, en el manual de instrucciones de la apiladora nos indica el tipo de batería que se puede utilizar en ella, dependiendo del uso que se la vaya a dar. *Figura 1.3.4*. En este caso, se ha optado hacer la batería propuesta en base a una batería de plomo de 24V 200Ah a sustituir.

Batería de 24 V - 2 PzS	180 Ah
Batería de 24 V - 2 PzS	220 Ah
Batería de 24 V - 2 PzS	240 Ah HX

*Figura 1.3. 4 – Baterías dependiendo del modo de empleo en EJD 20*

### 1.3.3 Diseño propuesto y componentes

#### 1.3.3.1 Fuente de energía

Como se ha concluido anteriormente, en la batería propuesta se van a utilizar celdas de LTO. Se ha escogido del mercado el producto LTO-40Ah-CY<sup>®</sup> del proveedor GWL Power a.s. y se utilizarán 11 celdas para conseguir una batería con un voltaje nominal de 24V y una capacidad nominal de 40Ah, ya que, considerando que cada celda es de 2,3V 40Ah y están conectadas en serie, el voltaje de la batería será la suma de los voltajes de las celdas, o lo que es lo mismo, la multiplicación de las 11 celdas por el voltaje nominal de una celda:

$$11 \times 2,3 = 25,3V$$

El resultado da un poco más de 24V, ya que, si en vez de añadir 11 celdas se añaden 10, el voltaje nominal se quedaría corto. Así mismo, aunque la capacidad de la celda sea menor a la que se exige en una batería de plomo de 24V 200 Ah, puede soportar una carga y descarga de 10C (400A). Esto significa que puede cumplir el requisito de 200A de corriente de salida. En caso de que se necesite aumentar la capacidad de la batería se conectarían celdas en paralelo, de ese modo se sumaría el amperaje. En la *figura 1.3.5* se puede observar como se sumarían los voltajes y las capacidades según se conecten las celdas. Si se conectan en paralelo, se conectaría el polo negativo de una celda con el negativo de la otra celda, y, el polo positivo con el positivo, y esto resultaría la se suma las capacidades, manteniéndose el mismo voltaje nominal.

En cambio, si se desea aumentar el voltaje nominal, se conectaría el polo negativo al polo positivo de la otra celda, es decir, en serie. De esta manera se mantiene la misma capacidad y se aumentaría el voltaje.

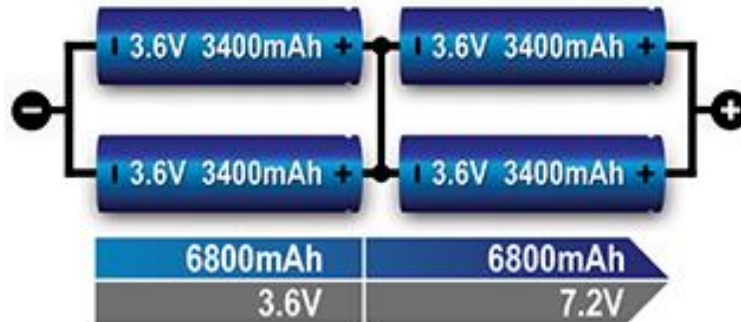


Figura 1.3. 5 – Esquema conexión en paralelo/serie

En las siguientes figuras (*figura 1.3.6* y *figura 1.3.7*) se muestra un esquema de la celda y sus datos técnicos, los cuales se han tenido en cuenta para su elección y el diseño de la batería.

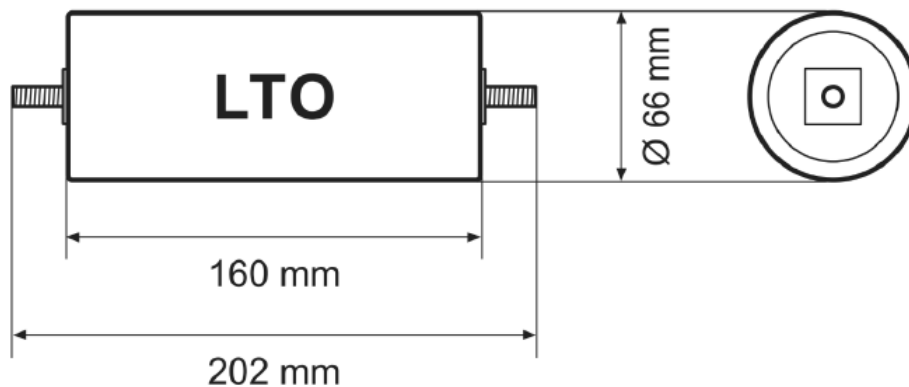


Figura 1.3. 6 – Dibujo técnico (mm)

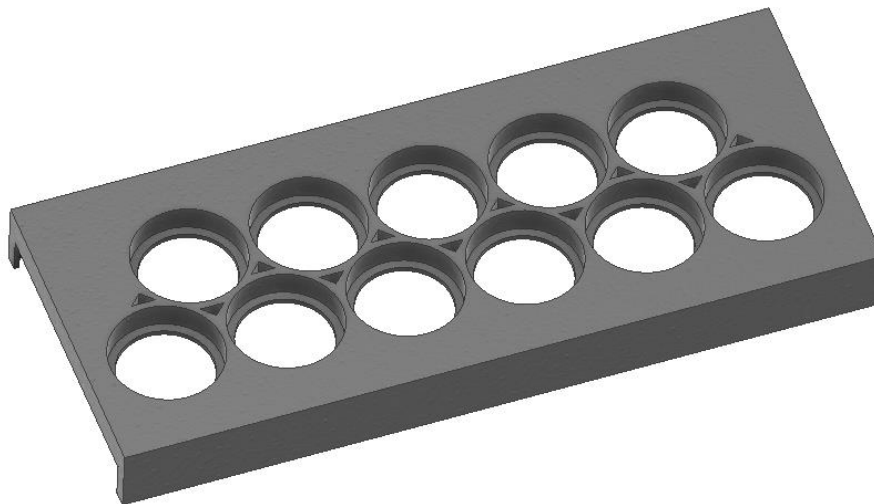
<b>LTO-40Ah-CY</b>		<b>Specifications</b>	
Battery type	Lithium Titanate Battery (LTO)		
<b>Electrical data</b>			
Nominal capacity	40 Ah		
Nominal Voltage	2.3 V		
Internal resistance	≤ 1mΩ		
Max. charging current	10 C (400 A)		
Charging upper limit voltage	2.8 V		
Max. discharge current	10 C (400 A)		
Discharge cut-off voltage	1.5 V		
Cycle lifetime	30,000		
<b>Operational requirements</b>			
Operating ambient temperature	-50°C ~ 65°C (Charging) -50°C ~ 65°C (Discharging)		
Storage ambient temperature	-20°C ~ 45°C Short-term (within 1 month) -20°C ~ 20°C Long-term (within 1 year)		
Storage humidity	<70%		
<b>Mechanical data</b>			
Weight	1.25 kg		
Cell construction type	Cylindrical		
Cell diameter	66 mm		
Cell height (excluding terminals)	160 mm		
Cell height (including terminals)	202 mm		
Shell material	Aluminum		

Figura 1.3. 7 – Dibujo técnico (mm)



### 1.3.3.2 Soporte y montaje de las celdas

Para posicionar las celdas en el interior de la batería se ha diseñado con el programa de diseño gráfico 3D Autodesk Inventor® un soporte de plástico ABS, *figura 1.3.8*. Los soportes se han diseñado de manera que se pueda evitar el desplazamiento vertical de las celdas, permita la circulación del aire entre las celdas y un fácil acceso para el cableado, tanto en la parte inferior como superior de ellas, como se muestra en la *figura 1.3.9*. Así mismo, se ha tenido en cuenta el espacio disponible en el interior de la batería calculado en el subcapítulo 1.4.1 para la distribución de las celdas, que, en este caso, para maximizar el espacio se han colocado en modo panal de abejas y verticales. El plano de este soporte se muestra en el capítulo 2 de este trabajo fin de grado, con el número de plano 1.3.2. En dicho plano se observa las medidas necesarias para su fabricación, teniendo en cuenta el diámetro de las celdas, 66mm, y el ancho disponible del interior de la batería calculado en el subcapítulo 1.4.1. Se fabricarán dos soportes tanto para la parte superior como la parte inferior de las celdas y se producirán por inyección de plásticos por molde con el material plástico ABS.



*Figura 1.3. 8 – Soportes celdas*

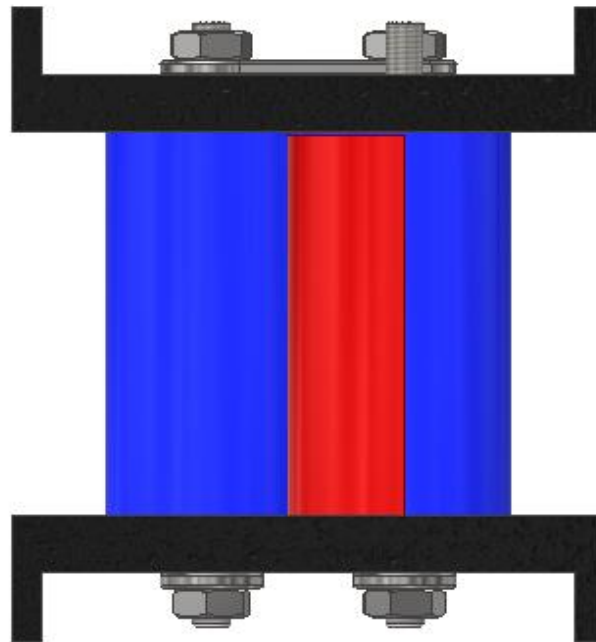


Figura 1.3. 9 - Perfil subconjunto de celdas

Para poder conseguir los 24V se unirán los polos negativos con los polos positivos mediante pletinas como se muestra en las dos siguientes figuras (*figura 1.3.10* y *figura 1.3.11*). Para esto último y para la posición de las celdas, se tomará como referencia el plano general del ensamblaje de celdas 1.3 ubicado en el capítulo 2 de planos.

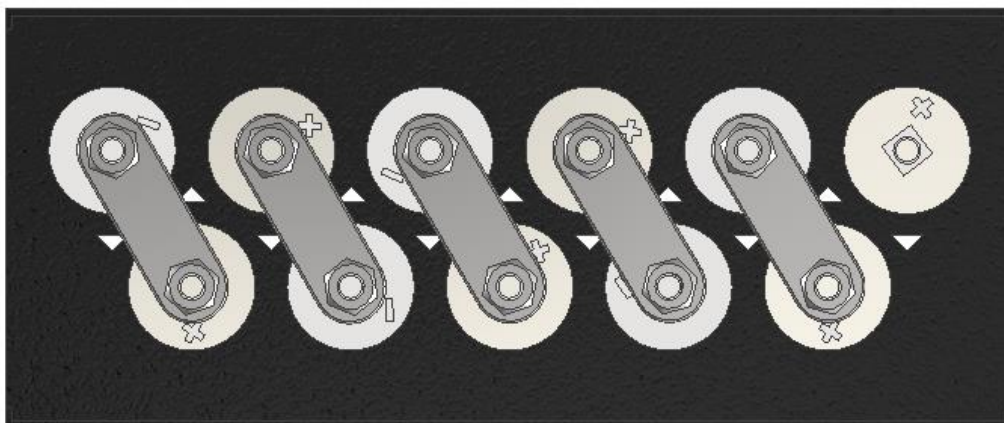


Figura 1.3. 10 – Conexión de celdas superior

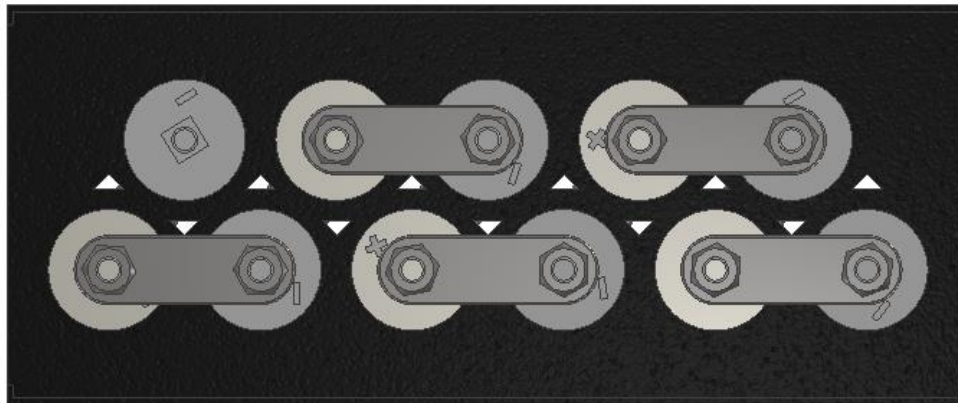


Figura 1.3. 11 – Conexión de celdas inferior

### 1.3.3.3 Componentes del sistema de calefacción

Por otro lado, a lo largo de este trabajo de fin de grado se ha mencionado que la batería tendrá una aplicación para la industria de frío, por lo que cuando la apiladora sea utilizada en cámaras frigoríficas esta debe mantener un funcionamiento estable. Para ello, se propone realizar un sistema de calentamiento en el interior de la batería y aislar el interior para evitar fugas de calor.

Para el sistema de calentamiento, se ha optado por un sistema de transferencia de calor de convección forzada, la cual es un mecanismo en el que el movimiento del fluido es generado por una fuente externa, en nuestro caso un ventilador. Este sistema estará ligado al BMS, que a su vez estará conectado con un sensor térmico, y cuando este último detecte que la temperatura se encuentre a niveles bajos accionará el sistema de calentamiento.

Nuestro sistema estará compuesto por productos del mercado, un ventilador Axial RS PRO® de 80 x 80 x 25mm, y como fuente de calor un calefactor PTC de 500W, RS pro silicone heater Mat 5”x20”. Este último ha sido seleccionado según los cálculos obtenidos en el subcapítulo 1.4.2. A continuación, en las figuras *figura 1.3.12* y *figura 1.3.13* se muestran las características y los datos técnicos del ventilador. Y en las figuras (*figura 1.3.14* y *figura 1.3.15*) se puede observar el tipo de calefactor y sus especificaciones.

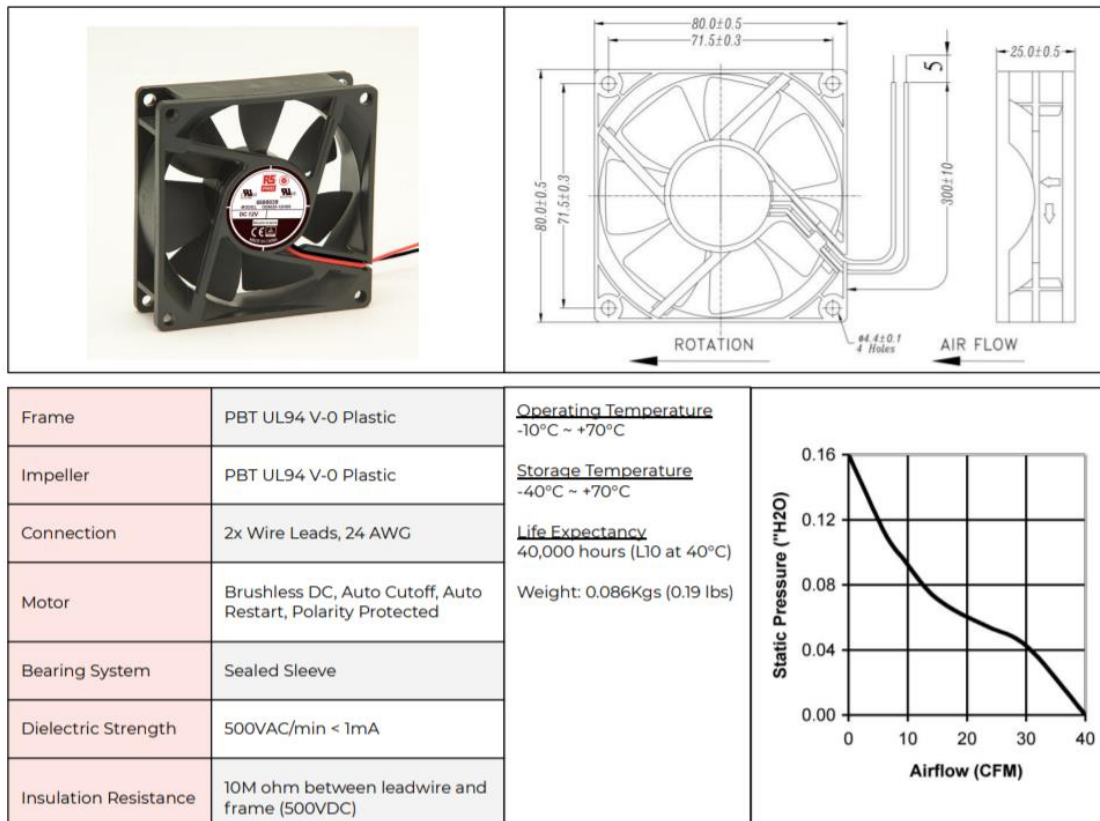


Figura 1.3. 12 – ventilador Axial RS PRO 80x80x25

Model Number	668-8839
Rated Voltage	12 VDC
Rated Power	2.16 W
Rated Current	0.18 A
Rated Speed (RPM)	3000
Airflow (CFM)	37
Noise Level (dB)	36
Max. Static Pressure	0.16" H <sub>2</sub> O

Figura 1.3. 13 – Datos técnicos ventilador Axial RS PRO



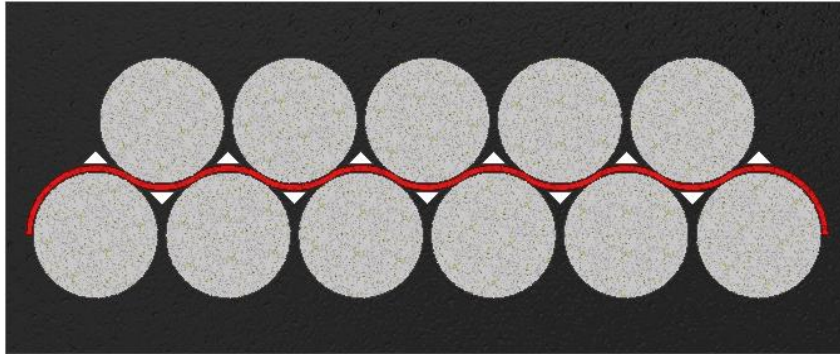
Figura 1.3. 14 – RS Pro Silicone heater Mat

### Specifications

Mat Shape	Rectangular
Maximum Temperature	+180°C
Rectangular Mat Size	5" x 20"
Power Rating	500W
Supply Voltage	230V ac
Adhesive Backing Tape	Yes
Heater Insulation Layers	Silicone Rubber
Lead Length	500mm
Lead Type	Silver Plated Copper Conductor + PTFE Insulation
Thickness	1.1mm (Not including lead connection patch)

Figura 1.3. 15 – Especificaciones RS Pro Silicone heater Mat 500W

Para mejorar el rendimiento de la calefacción, la manta térmica se debe colocar abrazando todas las celdas por igual. El calefactor se posicionará entre las celdas como en la *figura 1.3.16*. Para la colocación del calefactor térmico se tomará como referencia el plano 1.3 del capítulo 2.



*Figura 1.3. 16 – calefactor PTC entre las celdas*

#### 1.3.3.4 Electrónica

En cuanto a la electrónica, como se ha mencionado en el resumen de este trabajo de fin de grado, el diseño y selección de los componentes electrónicos se han realizado por un estudiante de ingeniería electrónica industrial en otro trabajo fin de grado, del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial de la Universidad de Valencia: Colomina Bernabeu, Vicent & Martínez Sober, Marcelino (septiembre de 2021). *Diseño para fabricación de una batería de titanato de litio*.

En este trabajo se diseña el soporte donde se sujetarán previsiblemente estos componentes y que podremos ver en el punto siguiente.

#### 1.3.3.5 Diseño del soporte de los componentes electrónicos

En cuanto al soporte de la electrónica, se ha realizado un soporte para ella utilizando el programa Autodesk Inventor®, *figura 1.3.17*. Para su diseño se ha tenido en cuenta el soporte superior de las celdas, de manera que, el soporte quedará encajado dentro de ella.

Los cálculos realizados para la obtención de sus medidas se encuentran en el subcapítulo 1.4.1.

El soporte se fabricará de aluminio por corte por láser y plegado con equipamiento CNC, teniendo en cuenta el plano 1.5, hoja 1 y 2, del capítulo 2 de planos. Dicho soporte se situará en la parte superior del soporte de las celdas, donde se ubicará también el BMS, componente sustancial en las baterías de Li-ion.

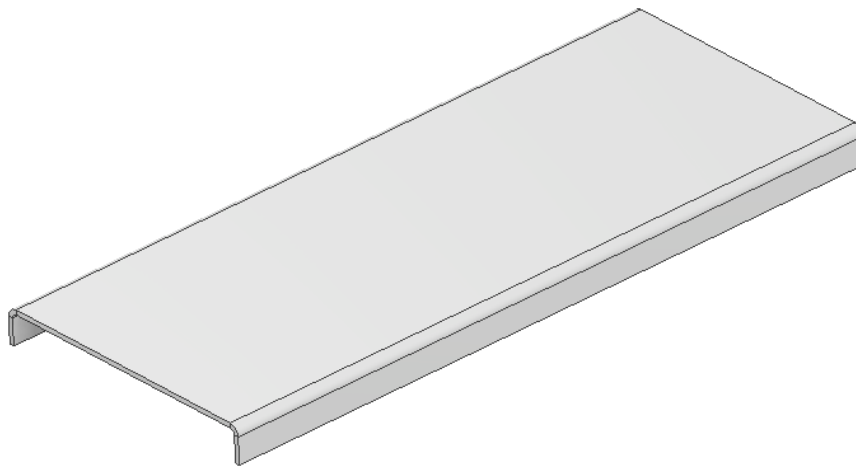


Figura 1.3. 17 – Soporte electrónica

#### 1.3.3.6 Diseño del soporte del ventilador y circuito de circulación del aire

Por otro lado, se ha diseñado de nuevo con el programa de diseño gráfico 3D Autodesk Inventor® un soporte especial para el ventilador (*figura 1.3.18*), el cual facilita la entrada y circulación del aire a través de él. Dicho soporte se ha diseñado en dos piezas de aluminio teniendo en cuenta las dimensiones del ventilador Axial RS PRO®, las cuales se fabricarán por corte por láser y plegado con equipamiento CNC. También se ha tenido en cuenta el espacio disponible en el interior de la batería y el espacio que ocupa el subconjunto de la fuente de energía, calculados en el subcapítulo 1.4.1. Para su fabricación se tomará como referencia los planos 1.4.3, hoja 1 y 2, y 1.4.4, hoja 1 y 2, del capítulo de planos.



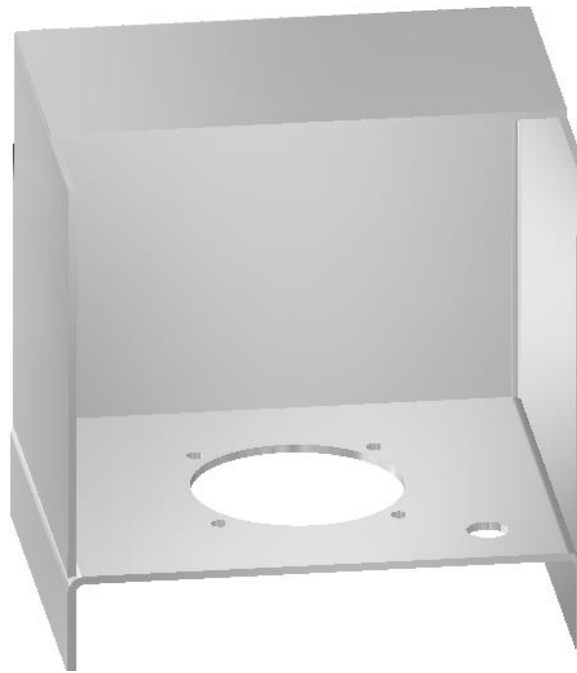


Figura 1.3. 18 – Soporte ventilador

En la siguiente *figura 1.3.19* se puede observar la circulación del aire caliente en el interior de la batería, y como favorece el diseño del soporte del ventilador, con una apertura que facilita la entrada del flujo y la aspiración por el ventilador. El soporte permite que el aire circule a través de él en su parte inferior.

Se sabe que el aire caliente tiende a ascender debido a que su densidad es menor que la del aire frío, por lo que, como se ha mencionado en el apartado 1.3.3.1, el diseño del soporte de las celdas permite que el flujo del aire ascienda y el diseño del soporte de la electrónica no permitirá que pase a través de él, como se muestra en la *figura 1.3.19*. De ese modo, se realiza la circulación del aire.



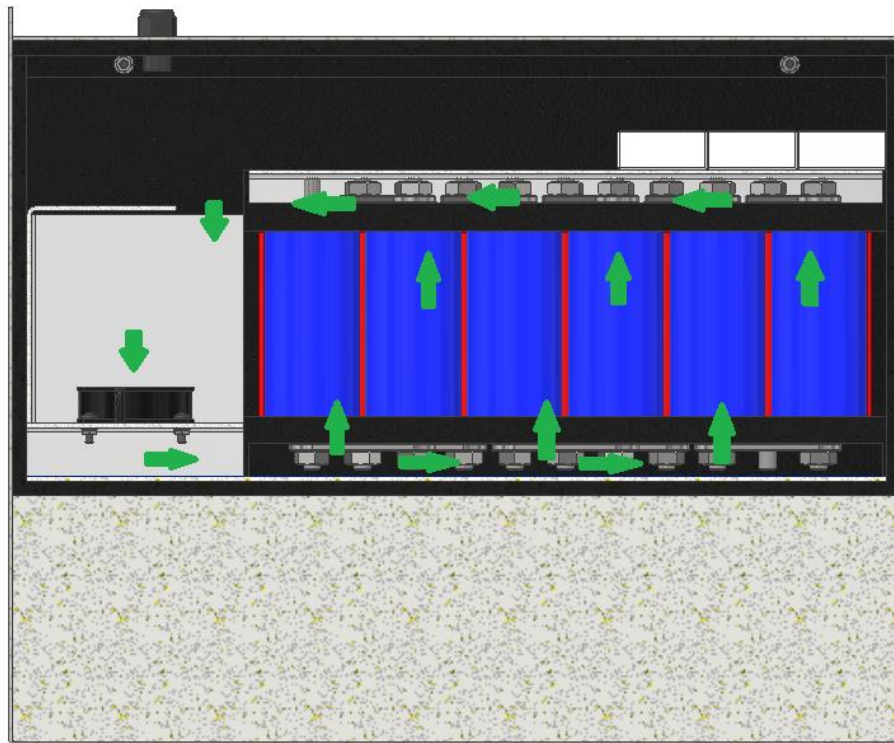


Figura 1.3. 19 – circulación del aire

### 1.3.3.7 Aislante térmico

En cuanto al aislante térmico que se va a utilizar, se trata de AF/Armaflex<sup>®</sup>, y este se sitúa en el interior de la batería adherido a la envolvente. Se trata de un aislamiento térmico flexible de célula cerrada, con elevada resistencia a la difusión de vapor de agua, baja conductividad térmica y protección antimicrobiana Microban<sup>®</sup> incorporada, en la *figura 1.3.21* se muestran los datos técnicos en detalle. Para la ubicación del aislante se tomará como referencia el plano general de la batería número 1 del capítulo 2.

De los distintos tipos que se pueden encontrar en el catálogo se ha escogido las planchas autoadhesivas en hoja que podemos observar en la *figura 1.3.20*.

## PLANCHAS AUTOADHESIVAS EN HOJA

Longitud 2,0 m, anchura 0,5 m, Microban®

Referencia	Espesor de aislamiento [mm]
AF-10MM/A	10,0
AF-13MM/A	13,0
AF-19MM/A	19,0
AF-25MM/A	25,0
AF-32MM/A	32,0
AF-50MM/A	50,0



### OBSERVACIONES

Una plancha de 1m<sup>2</sup>, puede ser sustituida por dos de 0,5m<sup>2</sup>.

Figura 1.3. 20 – Planchas autoadhesivas en hoja Armaflex

## DATOS TÉCNICOS

**Aislamiento térmico flexible de célula cerrada, con elevada resistencia a la difusión de vapor de agua, baja conductividad térmica y protección antimicrobiana Microban® incorporada.**

**Aplicación:** Aislamiento y protección de tuberías, conductos de aire, recipientes (incluyendo codos, accesorios, bridas, etc.) para sistemas de aire acondicionado, refrigeración y equipos de procesos para prevenir condensaciones y ahorrar energía.

**Material autoadhesivo:** contiene una banda autoadhesiva con base acrílica sensible a la presión y tiene adicionalmente una malla tejida como soporte. Está recubierta con un film de polietileno. Se pueden encontrar trazas de silicona en el papel de protección de la tira autoadhesiva.







	<b>RANGO DE TEMPERATURAS</b>				
	Temperatura máxima de trabajo	+110 °C	(+ 85 °C si la plancha está encolada directamente en toda la superficie)	EN 14706	
	Temperatura mín. de trabajo	-50 °C		EN 14707 / EN 14304	
	<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA *</b>				
		$\vartheta_m^{-1}$	$\pm 0$ °C	$\lambda-$	
	Coquillas (AF-1 a AF-4)	$\lambda < 0,033$	W/(m · K)	$[33 + 0,1 \cdot \vartheta_m + 0,0008 \cdot \vartheta_m^2]/1000$	EN ISO 13787
	Coquillas (AF-5 y AF-6),	$\lambda < 0,036$	W/(m · K)	$[36 + 0,1 \cdot \vartheta_m + 0,0008 \cdot \vartheta_m^2]/1000$	EN ISO 8497
	Planchas (AF-10MM a AF-32MM) y cinta	$\lambda < 0,033$	W/(m · K)	$[33 + 0,1 \cdot \vartheta_m + 0,0008 \cdot \vartheta_m^2]/1000$	EN 12667
	Plancha AF-36MM y 50MM	$\lambda < 0,036$	W/(m · K)	$[36 + 0,1 \cdot \vartheta_m + 0,0008 \cdot \vartheta_m^2]/1000$	
	<b>RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DEL VAPOR DE AGUA</b>				
	Planchas (AF-3MM a AF-32MM) y coquillas (AF-1 a AF-4)	$\mu > 10000$		EN 12086	
	Plancha AF-50MM y coquillas (AF-5 y AF-6)	$\mu > 7000$		EN 13469	
	<b>COMPORTAMIENTO AL FUEGO</b>				
	<b>Reacción al fuego</b>			EN 13501-1	
	Coquillas		B <sub>1</sub> -s3, d0	EN 13823 / EN	
	Planchas y cinta		B-s3, d0	ISO 11925-2	
	<b>Comportamiento en caso de incendio</b>				
	Autoextinguible, no gotea, no propaga la llama.				
	<b>RENDIMIENTO ACÚSTICO</b>				
	Coefficiente de absorción de sonido ponderado		<0.45	EN ISO 354	
	<b>OTRAS SUPERVISIONES</b>				
	Supervisión conforme a Factory Mutual			UBC26-3 / DIN 5510-2 /	
	Supervisión conforme a UL	Flamabilidad baja		DIN 54837   UL 94 / UL 746C	
	Supervisión conforme a Sector Naval			MED 96/98/EC MODULE D	

Figura 1.3. 21 – Datos técnicos Armaflex

Para no dañar el aislante al colocar el conjunto de celdas con sus soportes y el soporte del ventilador, se posicionará una chapa de aluminio en el fondo de ella de 594x184x3 mm.

### 1.3.3.8 Diseño de la envolvente exterior y tapa de la batería

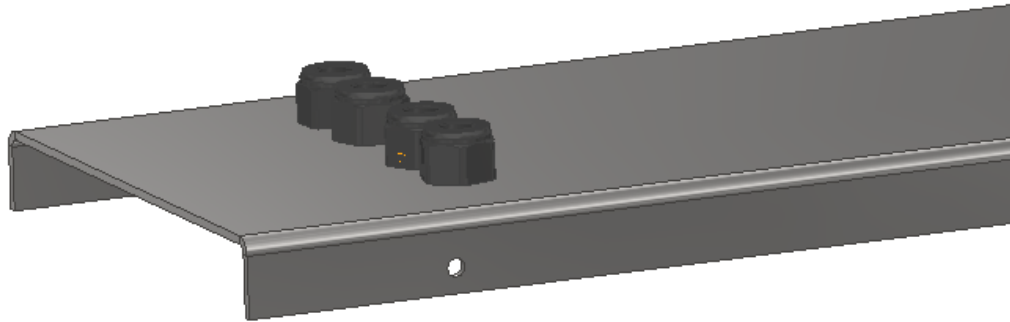
Para acabar, todo lo mencionado anteriormente se posicionará dentro de la envolvente de acero al carbono diseñado en el programa de diseño gráfico, *figura 1.3.22*, de medida 620x210x510 mm. Se tendrá en cuenta el plano general de la batería, 1, del capítulo 2 de planos para posicionar todas las componentes en su interior. Y del mismo modo que los soportes del ventilador y de la electrónica, se fabricará por corte por láser y plegado con equipamiento CNC tomando como referencia el plano 1.1, hoja 1 y 2, del capítulo 2.



*Figura 1.3. 22 - Envolvente*

Al fondo del interior de la envolvente, para cumplir con los requisitos del fabricante de la apiladora en cuanto a la masa mínima y máxima que debe de tener la batería, se situará un contrapeso de acero al carbono de dimensiones 614x203x200 mm, de una masa de 167 kg.

Para terminar de cerrar la batería, se colocará una tapa con 4 pasamuros, *figura 1.3.23*, también realizada en Autodesk Inventor®, que permite la salida de los conectores de la batería. Estos servirán para conectar la batería a la máquina o al cargador. Para producir la tapa, se realizará de acero al carbono por corte por láser y plegado con equipamiento CNC teniendo en cuenta el plano 1.2, hoja 1 y 2, del capítulo de planos 2.



*Figura 1.3. 23 - Tapa*

## 1.4 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

### 1.4.1 Cálculos del contrapeso necesario

En el subcapítulo 1.3.2 de condiciones de diseño se ha destacado que para el diseño de la batería se tiene en cuenta el espacio disponible en la transpaleta, en este caso, es de 620x210x510 mm. Estas medidas, serán las medidas de la batería. Teniendo en cuenta el mismo subcapítulo, se tienen dos condiciones a cumplir para el correcto funcionamiento de la apiladora relacionado con su masa. La masa de la batería debe estar entre 209 y 231 kg. Por un lado, si la batería no tiene al menos una masa de 209 kg, la apiladora no será capaz de levantar 2000 kg de carga sin volcar, como establece el manual de funcionamiento de la misma. Por otro lado, si la batería supera los 231 kg, la maquina no dispondría de suficiente potencia para desplazarse junto a la carga máxima que podría llevar.

Teniendo en cuenta lo anterior y estimando que las celdas de titanato de litio junto al resto de componentes necesarios en la batería no alcanzarían la masa mínima deseada, se ha decidido instalar un contrapeso.

Por tanto, una vez realizado el diseño de los principales componentes de la batería y conocida la masa total de los mismos, procederemos a calcular la masa del contrapeso.

Hay que destacar que, con la ayuda de la herramienta de diseño gráfico 3D Autodesk Inventor®, se ha podido calcular la masa de los componentes diseñados y de la batería completa sin el contrapeso y estos tienen una masa total de 55 kg.

Teniendo en cuenta que el espesor de la envolvente es de 3 mm, se ha considerado que el contrapeso de la batería sería de unas dimensiones de 614x204x170 mm. Por tanto, al considerar usar un contrapeso de acero, el cual tiene una densidad de 7,85 g/cm<sup>3</sup>, da una masa total de:

$$61,4 \times 20,4 \times 17 \times \frac{7,85 \text{ g/cm}^3}{1000 \text{ kg}} = 167,154 \text{ kg}$$

Por tanto, la masa total de la batería será de 222 kg, valor que queda dentro del rango anteriormente definido.

#### 1.4.2 Cálculos de las dimensiones generales de los componentes

Considerando de nuevo el espesor de la envolvente se ha calculado las dimensiones de la tapa de la batería, que se va a colocar por el interior de la batería para no alterar la anchura disponible, y se ha considerado a libre elección una altura de 25 mm de las pestañas de la tapa. Los resultados obtenidos son:

$$620 - (3 \times 2) = 614 \text{ mm de largo}$$

$$210 - (3 \times 2) = 204 \text{ mm de ancho}$$

Por otro lado, se ha escogido del catálogo de Armaflex el aislante térmico con espesor de 10 mm. Por lo que, para calcular el largo disponible en el interior de la batería, se resta el espesor de la envolvente, 3mm, y el espesor del aislante térmico, 10mm, considerando ambos lados de la batería, da un resultado de:

$$620 - (3 \times 2) - (10 \times 2) = 594 \text{ mm}$$

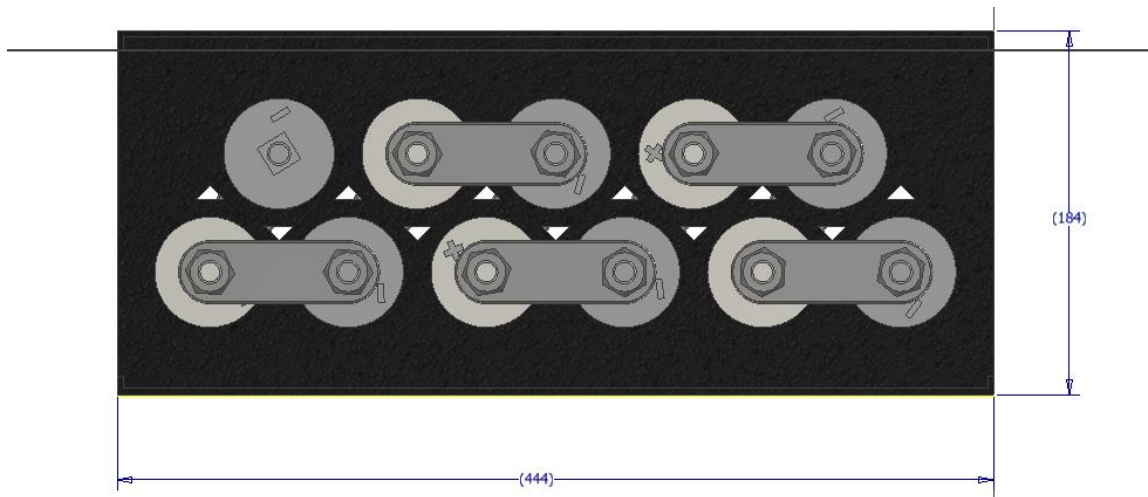
Para el ancho disponible se procede a calcular de la misma manera que se ha hecho anteriormente:

$$210 - (3 \times 2) - (10 \times 2) = 184 \text{ mm}$$

Y para el alto de la batería, teniendo en cuenta que dejamos un espacio para la pestaña de la batería que permite el agarre de ella mediante ganchos de 20 mm, el alto del contrapeso, y nuevamente los espesores de la envolvente y del aislante térmico, el resultado es:

$$510 - (3 \times 2) - (10 \times 2) - 170 - 20 = 294 \text{ mm}$$

Por tanto, el espacio disponible para el resto de los componentes se quedaría de las dimensiones 594x184x294 mm. De este modo, para la distribución de las 11 celdas dentro del espacio disponible, se ha considerado que la mejor opción es colocarlas en modo panel de abejas y verticales. Por lo que, se ha diseñado los soportes con esa configuración donde ocupan el ancho disponible de 184 mm y un largo de 444 mm que se ha obtenido a libre elección, como se muestra en la *figura 1.4.1* siguiente:



*Figura 1.4. 1 – Ancho y largo del subconjunto de celdas*

Teniendo en cuenta el largo disponible, 594 mm, y el largo que ocupan las celdas y el soporte, 444 mm, se saca el espacio disponible para el soporte del ventilador:

$$594 - 444 = 150 \text{ mm}$$

De esta manera las piezas quedan encajadas unas a otras dentro de la batería.

Sabiendo el alto del conjunto de las celdas y los soportes, *figura 1.4.2*, y teniendo en cuenta la chapa protectora de aluminio de 3mm se calcula la altura disponible restante:

$$294 - 212 - 3 = 79 \text{ mm}$$

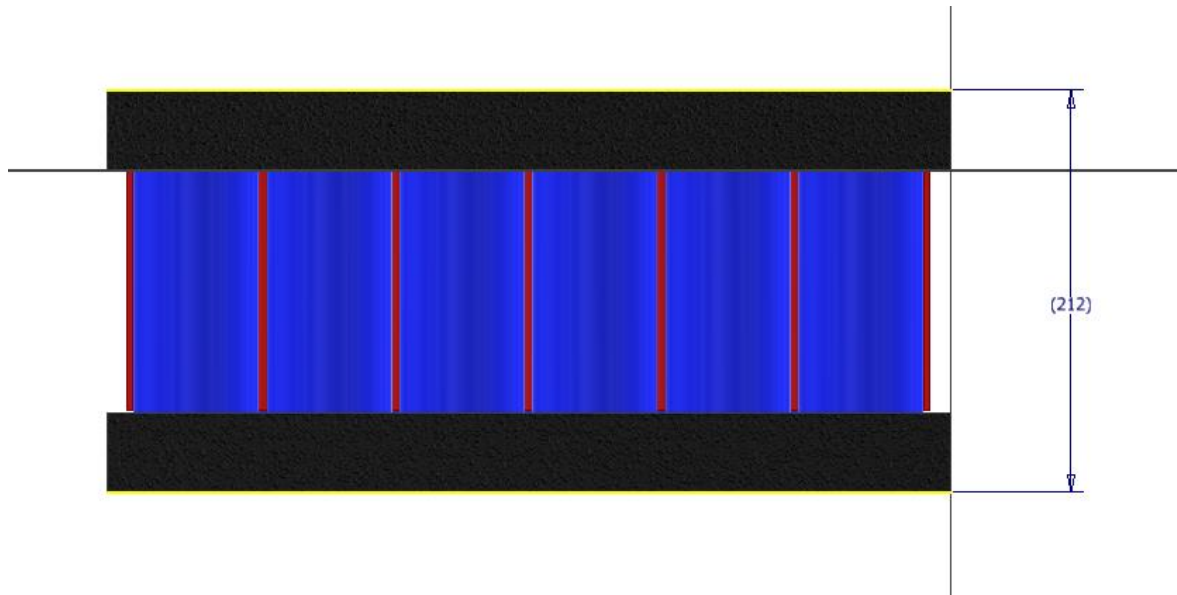


Figura 1.4. 2 – Alto del subconjunto de celdas

Por tanto, queda un espacio disponible de 79 mm de alto para el soporte de la electrónica y sus componentes.

Cabe destacar, que el diseño del soporte superior de las celdas permite maximizar el espacio, por lo que se diseña un soporte de la electrónica que encaje dentro del soporte superior, se puede observar en la siguiente *figura 1.4.3*.

Por ese motivo, para la obtención de las medidas del soporte de la electrónica se tiene en cuenta el espesor y alto de las pestañas del soporte superior de las celdas. Por lo que, de ancho se obtiene:

$$184 - (3 \times 2) = 178 \text{ mm}$$

Y de largo:

$$444 - (3 \times 2) = 438 \text{ mm}$$

Para el alto del soporte se considera el alto de los salientes, de esta manera estará alineado con el alto de las celdas, como se muestra en la *figura 1.4.3*.



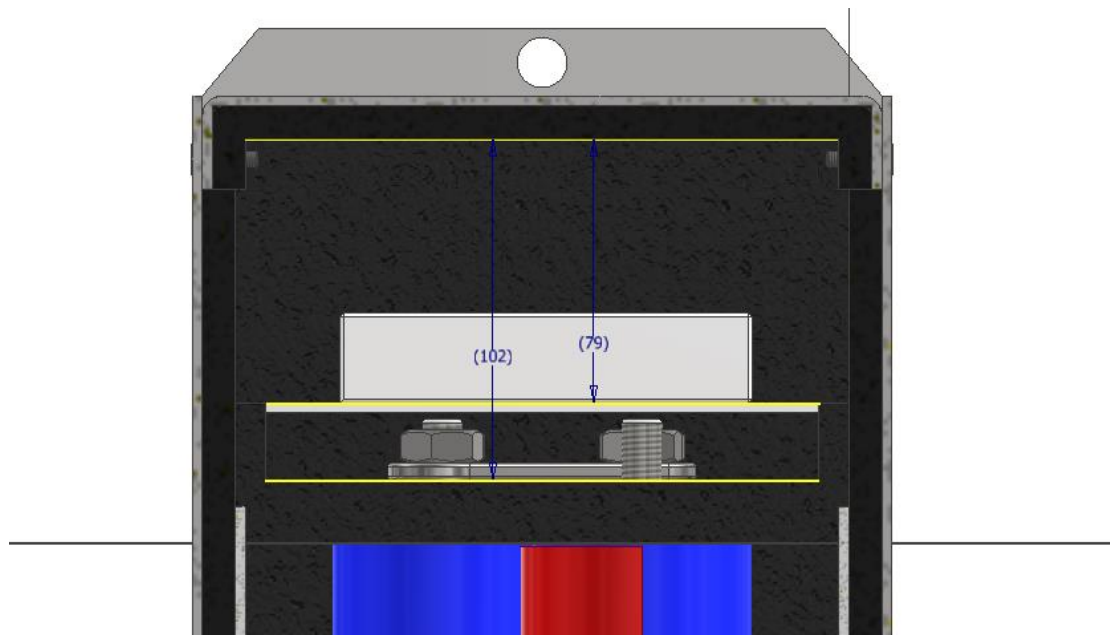


Figura 1.4. 3 – Distancias de la electrónica y soporte

### 1.4.3 Cálculos para la elección del calefactor

Para el cálculo de la potencia del calefactor que se necesita, se tienen en cuenta los materiales que envuelven la batería.

En primer lugar, se calcula la  $R_t$  (resistencia térmica) de toda la envolvente de la batería, para saber el calor que se pierde por las paredes, considerando una temperatura exterior de  $-30^{\circ}\text{C}$  e interior de  $0^{\circ}\text{C}$ . Entendiendo que el vehículo solo está a temperaturas exteriores por debajo de  $0^{\circ}\text{C}$  cuando está en funcionamiento y que "duerme" y/o carga a temperatura ambiente.

Para ello se calcula el área de cada material y se obtiene la  $R_t$  de cada material y finalmente la total. Para calcular la  $R_t$  de cada material utilizaremos la siguiente ecuación:

$$R_t = \frac{e}{\lambda \times A}$$

En la tabla siguiente se puede observar los resultados en relación con cada material:

	$\lambda$ conductividad térmica (W/mK)	Espesor (mm)	Área (m <sup>2</sup> )	Rt (K/W)
<i>Acero inoxidable</i>	16,3	3	1,047141	0,0001757
<i>Armaflex</i>	0,033	10	0,724639	0,41818
<i>Acero al carbono</i>	45	170	0,125256	0,03016

Por lo que la Rt total es:

$$Rt_{total} = Rt_{acero\ inox} + Rt_{armaflex} + Rt_{acero\ al\ carb} = 0,4485161\ K/W$$

Y a continuación, se calcula el calor que pierden las paredes de la batería y se añade un factor de seguridad del 20%:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{Rt} = \frac{-30 - 0}{0,4485161} = -66,887\ W \rightarrow -80,2644\ W$$

Según los cálculos obtenidos un calefactor de 80W bastaría, pero en la práctica se debe instalar un calefactor más potente junto a un termostato. De esta manera se puede mantener la temperatura de la batería en torno a 25°C, que es la temperatura óptima de trabajo de las celdas. Por lo que finalmente, se opta por un calefactor de 500 W, así, la instalación solo se encenderá durante poco tiempo para llegar a la temperatura de consigna de manera rápida.

#### 1.4.4 Cálculos para la viabilidad energética

Para realizar la viabilidad energética se calcula el SOC de las baterías. Para ello, se obtienen los amperios hora (Ah) de descarga, de carga y el acumulado de cada uno de ellos.

Teniendo en cuenta el número de turnos de la máquina, el tiempo de trabajo, el amperaje de la batería y su límite de profundidad, se consigue el consumo medio por hora de la batería.

$$\begin{aligned} \text{Consumo medio } h &= \frac{\text{intensidad} \times \text{lím de profundidad}}{n^{\circ} \text{ turnos} \times \text{tiempo de trabajo}} = \frac{200A \times 80\%}{1 \text{ turno} \times 8 \text{ horas}} \\ &= 20 \text{ Ah/h} \end{aligned}$$

Cada hora de trabajo de la batería, descarga 20Ah. Aunque, hay que tener en cuenta que a las baterías de litio se le permiten hacer cargas puntuales, por lo que, si una de las dos baterías de litio se carga puntualmente, su descarga será menor. Se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Descarga en litio si se carga puntualmente} = \frac{60 \text{ min} - \text{tiempo cargado}}{60 \text{ min} \times 20\text{Ah/h}}$$

Por otro lado, para calcular el Ah de carga se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Ah carga} = \frac{\text{tiempo de carga}}{60 \text{ min} \times \text{intensidad del cargador}}$$

Finalmente, se calcula el Ah acumulado en cada hora de turno y en cada hora del día. Para obtener el porcentaje se realiza lo siguiente:

$$SOC (\%) = \frac{Ah \text{ acumulado}}{Intensidad \text{ de la batería}}$$

#### 1.4.5 Cálculos para la viabilidad económica

Para realizar el estudio de la viabilidad económica de las baterías se calcula el precio del acumulador según los ciclos. Para ello, en primer lugar, se saca el precio para una carga de cada batería de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} & \textit{Precio para una carga} \\ & = \textit{Consumo de la batería(Kwh)} \times \textit{precio de la luz (€/Kwh)} \end{aligned}$$

A continuación, se obtiene el precio para una carga completa, considerando que una carga completa es del 80%:

$$\begin{aligned} & \textit{Precio carga completa} \\ & = ((0,8 - \textit{eficiencia de carga}) \times \textit{precio una carga}) \\ & + \textit{precio una carga} \end{aligned}$$

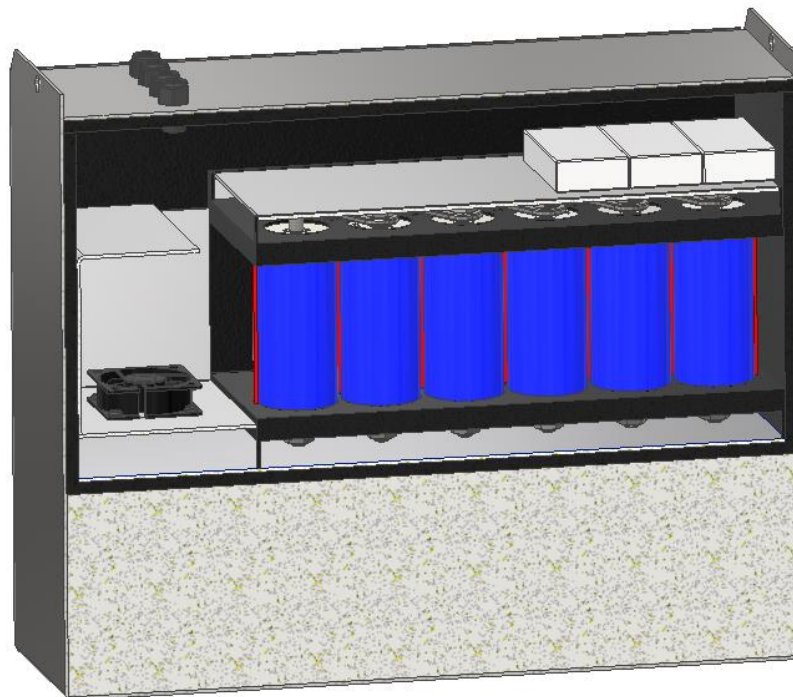
Por tanto, para sacar el precio según los ciclos, se realiza lo siguiente:

$$\textit{Precio según los ciclos} = \textit{precio carga completa} \times n^{\circ} \textit{ de ciclos}$$

En el primer ciclo se debe tener en cuenta añadir el precio de la batería adquirida.

## 1.5 PLANIFICACIÓN

En cuanto al proceso de producción del producto, en primer lugar, se realizará el BOM (*Bill of materials*) o la lista de materiales (*Figura 1.5.2*), un documento que define todos los elementos indispensables para llevar a cabo un proceso de producción. El BOM permite adaptarse a los exigentes ciclos de producción de la empresa y mantener la cadena de suministro coordinada. Esto nos permite planificar la compra de materias primas, llevar un seguimiento del coste del material, evitar roturas de stock, donde la planta de producción siempre disponga de material prima necesaria para la fabricación del producto de forma interrumpida, y, detectar y minimizar errores.



*Figura 1.5. 1 – Batería diseñada*

Una vez realizada la lista de materiales, se realizará el premontaje de la electrónica y el picking. Esto último hace referencia a la actividad de preparación de pedidos, se realiza cuando se necesita reunir componentes, piezas o materiales para conformar el producto. Su objetivo está orientado en extraer y acondicionar los productos demandados de manera eficiente, evitando retrasos y errores en la elección de materiales.

A continuación, para mantener la calidad del producto y verificar su funcionamiento, se llevará a cabo el testeo de la placa electrónica y se pondrá a cargar las celdas en serie.

Una vez realizado lo anterior, procedemos a montar la batería. Para ello vamos a disponer de distintas líneas de ensamblaje, que se compondrán de la línea principal de ensamblaje, una línea de subensamblaje para el conjunto de las celdas y otra línea de subensamblaje para el conjunto del ventilador. He de destacar que los soportes, la envolvente y la tapa son diseñados por el fabricante de la batería, pero los diseños serán enviados a proveedores externos que realizará su acabado, habrá trabajos de plegado y soldado.

#### 1.5.1 Línea de subensamblaje del conjunto de celdas

Una vez cargadas las celdas, se procede a montar el subconjunto de celdas. Para ello, se guiará del plano 1.3 del capítulo de planos para facilitar la ubicación de los componentes.

En primer lugar, como se observa en la *figura 1.5.3*, se introducen las celdas en el soporte inferior y se ubica el calefactor PTC entre ellas. El calefactor PTC es flexible, por lo que la podremos situar entre las celdas como más nos convenga, en este caso, abrazando todas las celdas por igual.

A continuación, se colocará el segundo soporte de la parte superior y se introducirá las pletinas, fijándolas con tuercas M12, como en la *figura 1.5.4* y *figura 1.5.5*.

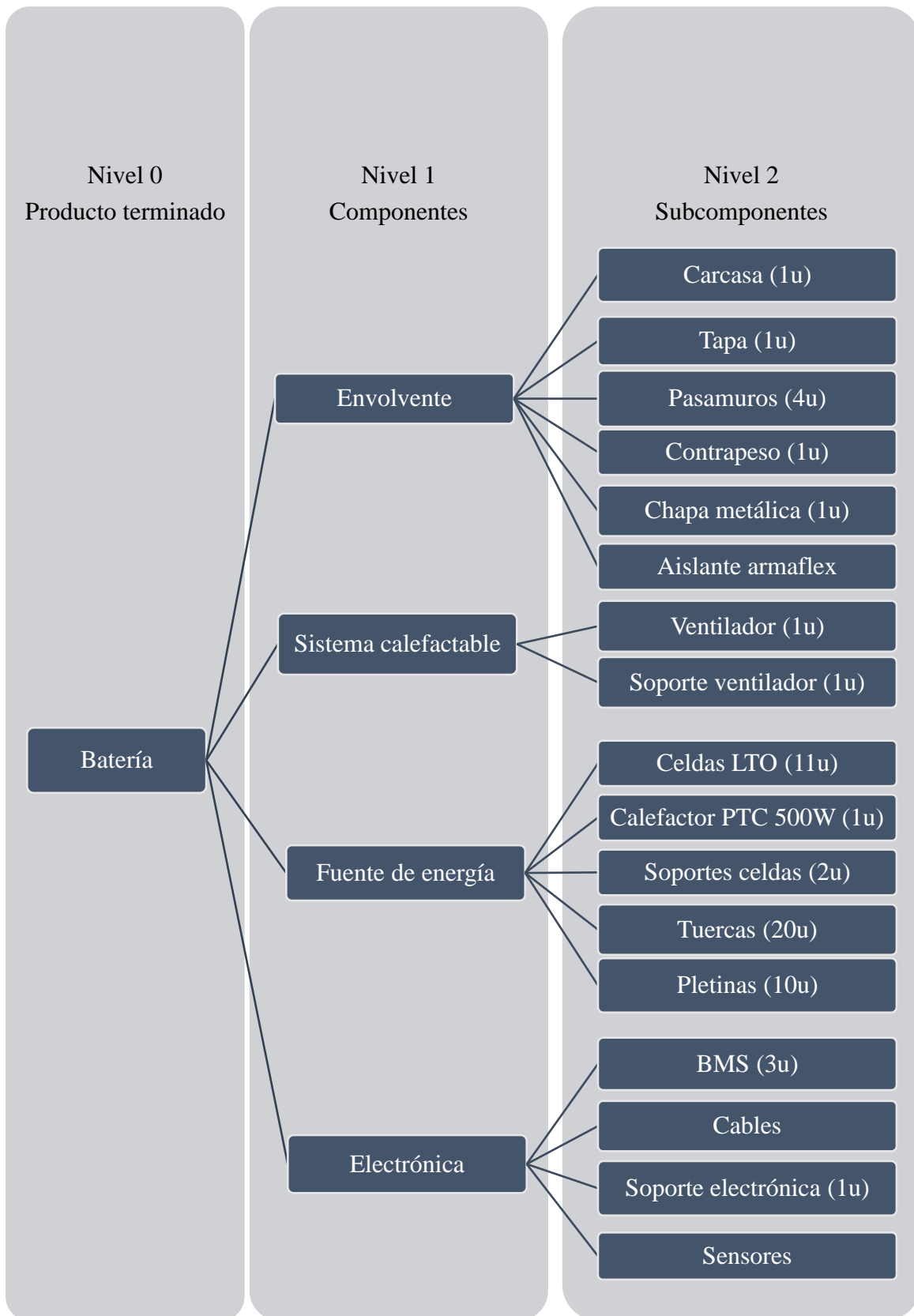


Figura 1.5. 2 – BOM (Bill of materials)



Figura 1.5. 3 – Subconjunto de celdas 1



Figura 1.5. 4 – Subconjunto de celdas 2



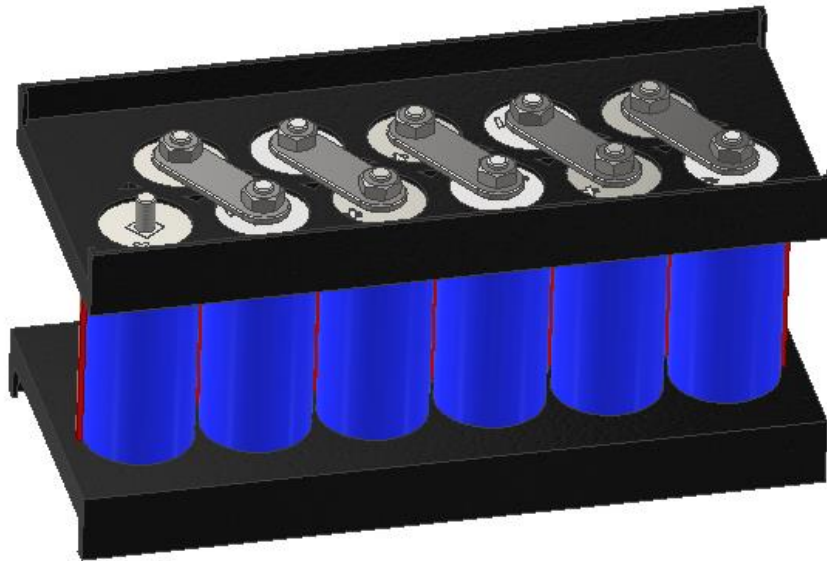
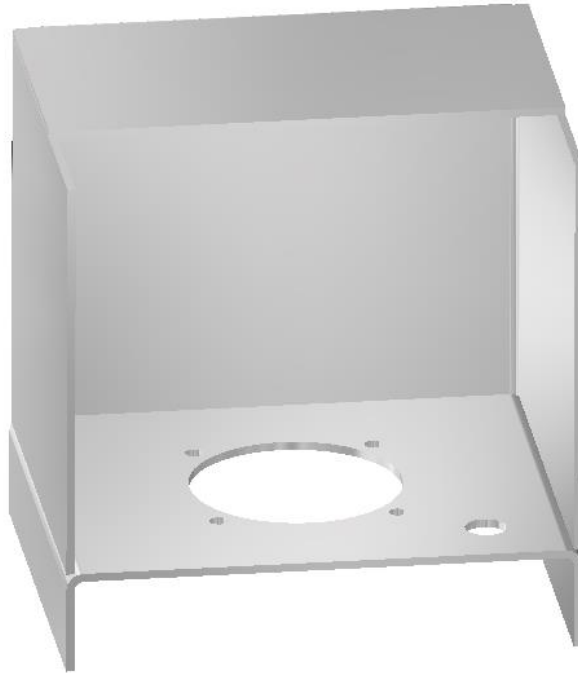


Figura 1.5. 5 – Subconjunto de celdas 3

### 1.5.2 Línea de subensamblaje del conjunto ventilador

Por otro lugar, se procede a ensamblar el subconjunto del ventilador, para ello, se tomará como referencia el plano 1.4 del capítulo 2. A continuación, se ubicará el ventilador en su soporte mediante tornillos M6, situando una arandela en la parte posterior y superior del agujero, se introducirá los tornillos y se ajustará mediante tuercas, como se observa en las figuras siguientes *figura 1.5.6* y *figura 1.5.7*.



*Figura 1.5. 6 – Soporte ventilador*

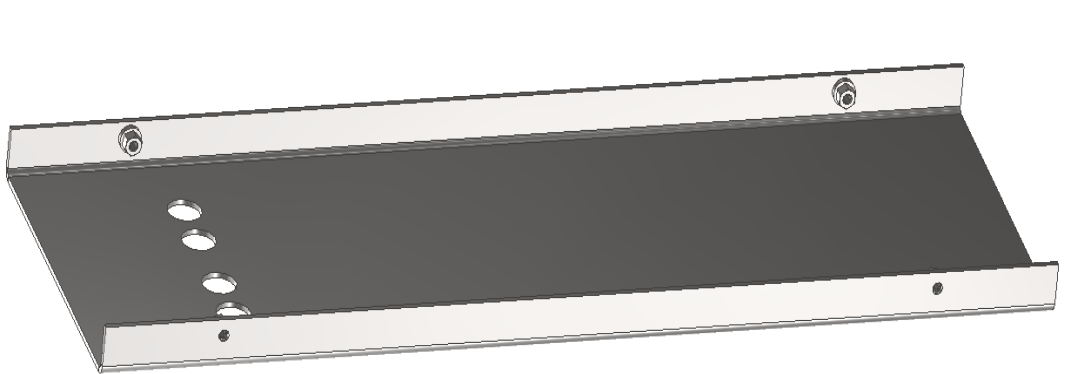


*Figura 1.5. 7 – Soporte ventilador montado*

### 1.5.3 Línea de subensamblaje de la tapa

Y para acabar con las líneas de subensamblaje, se preparará la tapa en otra línea para el montaje final de la batería.

En primer lugar, se soldarán las tuercas a la tapa de la batería, para permitir el cierre del conjunto, *figura 1.5.8*.



*Figura 1.5. 8 – Tapa con tuercas soldados*

A continuación, se introducen los pasamuros, los cuales permiten la salida de los conectores de la batería y mantenga la batería aislada del exterior, *figura 1.5.9*.



*Figura 1.5. 9 – Tapa con pasamuros*

Finalmente, se adhiere el aislante térmico en la tapa, *figura 1.5.10*.



Figura 1.5. 10 – Tapa con aislante térmico

#### 1.5.4 Línea de ensamblaje principal: Batería

Una vez ya ensamblado nuestra fuente de energía, el ventilador y la tapa, se procede a montar la batería completa. Para su montaje se tendrá en cuenta el plano 1 del capítulo de planos, de esta manera, se distribuirán los componentes adecuadamente.

En primer lugar, en la envolvente *figura 1.5.11* se introduce el contrapeso al fondo de ella, *figura 1.5.12*. Para introducirlo, se utilizará una grúa unida a los pernos de argolla que irán roscadas a la envolvente. Una vez introducido dentro de la envolvente se desenroscará dichos pernos de argolla.



Figura 1.5. 11 - Envoltente



Figura 1.5. 12 – Envoltente con contrapeso



Figura 1.5. 13 – Envolverte con aislante térmico

A continuación, se adhiere el aislamiento térmico Armaflex®, figura 1.5.13. Y una vez puesto el aislante, se sitúa la chapa metálica en el fondo de la batería. De esta manera el aislante térmico no sufrirá daños, figura 1.5.14.



*Figura 1.5. 14 –Interior de la batería con chapa metálica*

Ya preparado el interior de la batería, se coloca el ensamblaje de celdas y del ventilador, y seguidamente el soporte de la electrónica con todos sus componentes en el soporte superior de las celdas. Estos no necesitan ningún agarre ni ajuste, ya que está diseñado en modo puzle. De esta forma, cada uno de ellos quedan encajados dentro del acumulador, y entre ellos impidan el desplazamiento de cada uno de los componentes.



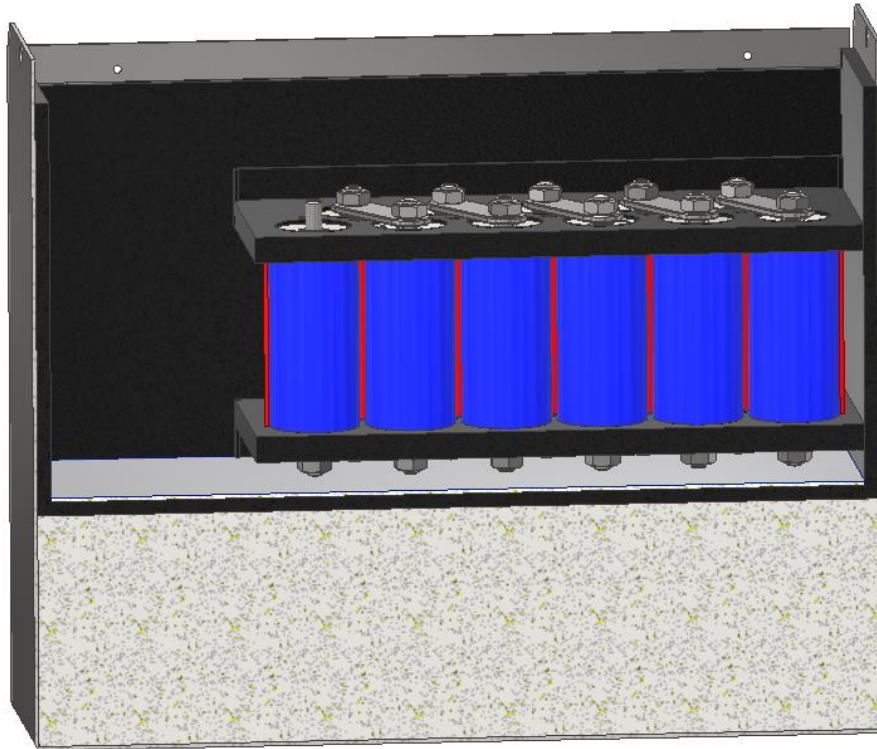


Figura 1.5. 15 – Interior de la batería con subconjunto de celdas

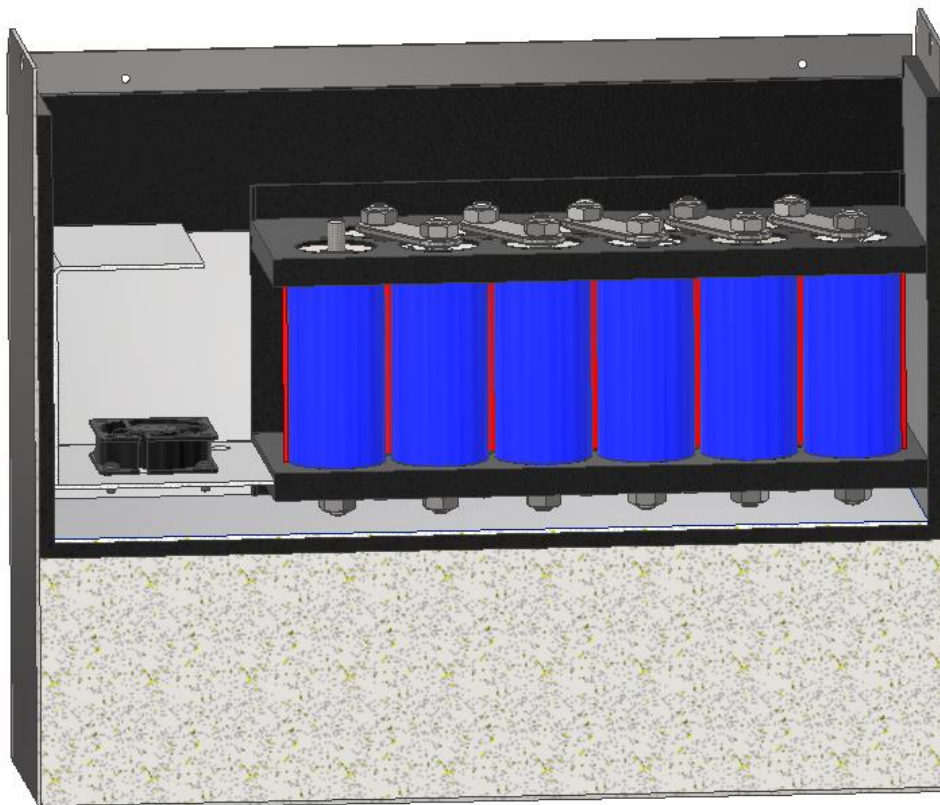


Figura 1.5. 16 – Interior de la batería con subconjunto de celdas y ventilador



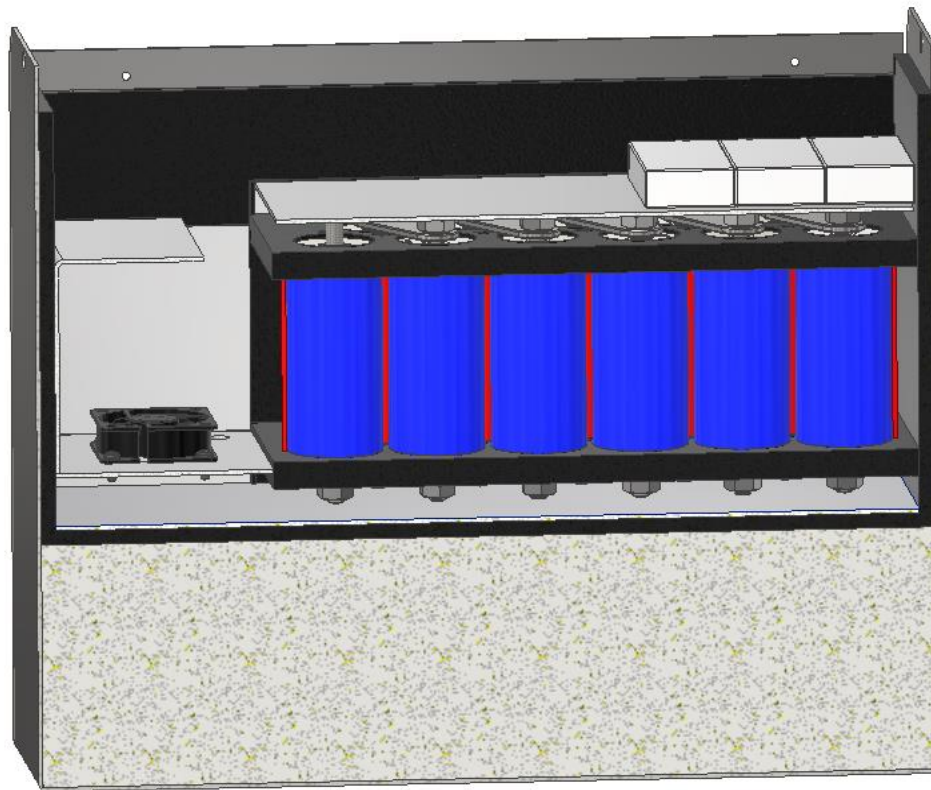


Figura 1.5. 17 – Interior de la batería final

Una vez completado el interior, se procede a controlar la calidad de la batería, controlando la temperatura de ella, su carga y su descarga.

Finalmente, se introduce la tapa de la batería con los pasamuros y los conectores a través de ellos. Y se cierra la tapa mediante tornillos avellanados, *Figura 1.5.18* y *figura 1.5.19*.



Figura 1.5. 18 – Batería completa

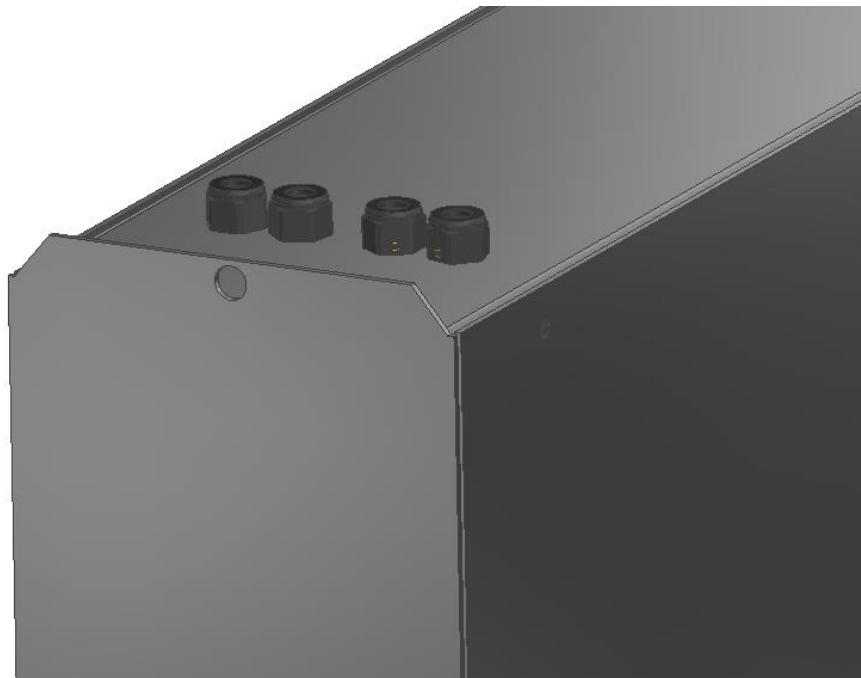


Figura 1.5. 19 – Batería atornillada

## 1.6 ESTUDIO DE SEGURIDAD

El sistema de una batería de tracción consiste en una cadena de celdas conectadas en serie y/o paralelo, formando un pack de batería con una tensión nominal que puede variar dependiendo de las celdas que se introduzcan. Debido a las tolerancias de fabricación, ninguna celda es fabricada de manera idéntica, por lo que no se puede fabricar dos baterías exactamente iguales.

Algunas celdas pueden experimentar cambios en sus parámetros, como, por ejemplo, pérdida de electrolito, la tensión de circuito abierto, gradientes de temperatura excesivos y la resistencia interna junto con corrosión. Estos fenómenos pueden conducir a una acumulación de gas de hidrógeno, pudiendo generar un riesgo de incendio o explosión. Por lo que, es necesario que se pueda monitorizar cada una de las celdas individualmente y prevenir el riesgo.

### 1.6.1 BMS (Battery Management System)

Como se ha mencionado en apartados anteriores, uno de los sistemas más usados en la actualidad en las baterías de Li-Ion es el BMS (battery management system), un sistema de gestión de baterías. Es un componente inteligente responsable de la supervisión y la gestión avanzadas. Es el cerebro detrás de la batería y juega un papel fundamental en sus niveles de seguridad, rendimiento, tasas de carga y longevidad. Controla el correcto funcionamiento de las celdas, como su tensión, la temperatura e intensidad de carga y descarga, *figura 1.6.1*.

Uno de los parámetros más importantes que hace posible la seguridad en la carga y descarga de la batería es la estimación del SOC, que proporciona el estado de corriente de la batería y habilita a la misma para ser cargada y descargada a un nivel adecuado de manera que se mejore la vida de la batería. Por lo que el SOC ayuda en el manejo de la batería. Además, la eficiencia finita de la batería y la reacción química que tiene lugar durante las condiciones de carga y descarga provocan un aumento de la temperatura, lo que influye en la estimación del SOC. Por lo tanto, se necesitan algoritmos precisos para modelar la batería para su estimación.

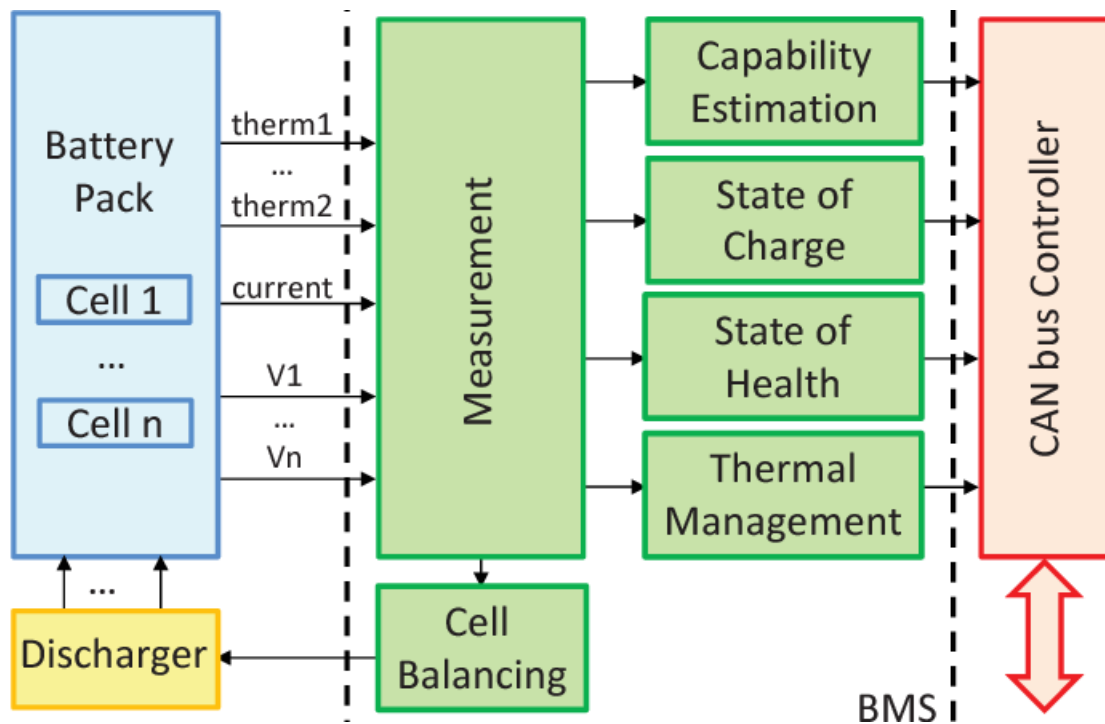


Figura 1.6. 1 - BMS

El voltaje, la corriente y la temperatura pertenecen a los parámetros físicos que un BMS puede medir directamente, en cambio, la obtención del SOC no es directa, ya que, se basa en cantidades físicas, químicas, y las condiciones de funcionamiento de la batería. Alternativamente, el BMS es una entidad separada con hardware y firmware, y consta de una serie de dispositivos de detección para monitorear los parámetros de la batería y puede estimar el SOC utilizando un algoritmo de estimación. La precisión de la estimación del estado es esencial para la confiabilidad del sistema, por lo que requiere de una comprensión detallada de las características de la batería.

El BMS también tiene la capacidad de realizar el balance de voltaje en las celdas, esta diferencia tiende a aumentar en cada ciclo de carga o descarga. Y como se ha mencionado anteriormente, esto es debido a las tolerancias en los procesos de fabricación, no todas las baterías alcanzan el mismo voltaje durante la carga. Por lo que el SOC debe de ir acompañado de un seguimiento continuo de la capacidad real de la celda, ya que una celda con un SOC del 100% puede no indicar el SOC real.

En la actualidad hay BMS que, aparte de monitorear las condiciones de la batería y calcular los datos de rendimiento, se componen de sistemas integrados para procesar información de sensores y entradas adicionales, que pueden controlar actuadores y salidas para funciones auxiliares. Como, por ejemplo, monitorean un número de sensores de temperatura y controlan ventiladores y dispositivos de calentamiento o enfriado para mantener la temperatura deseada de la batería.

Por tanto, ya que, la batería diseñada de este trabajo de fin de grado se ha diseñado para una aplicación en la industria de frío y se compone de un sistema calefactable por convección forzada, se situarán sensores para medir la temperatura y se compondrá de un BMS con sistemas integrados mencionados en el párrafo anterior. También el BMS empleará conectores y relés para mantener la seguridad desconectando la batería en caso de necesidad.

#### 1.6.2 Otras prevenciones

Por otro lado, en las baterías de litio la exposición a una temperatura superior a 60°C podría causar una combustión espontánea en la batería. También se podría dañar la batería en el caso opuesto con temperaturas bajo cero, convirtiendo el sistema en inestable.

Las celdas de LTO que se han escogido pueden soportar un rango de temperaturas entre -50° y 65°C, como se ha mostrado anteriormente en la *figura 1.3.6*. Aunque nuestras celdas pueden mantenerse en un buen rango de temperatura, es de conveniencia que se mantengan a una temperatura media. Si la transpaleta debe operar en condiciones de cold-store como en nuestro caso, y es necesaria la carga en ese ambiente, se debe optar por una versión calefactada. Este tipo de baterías posibilitan su utilización y carga en ambientes fríos sin perder prestaciones.

Además, las baterías de litio se pueden dañar si la batería sufre alguna colisión. En estas situaciones, la batería se puede perforar, lo que puede llegar a provocar un incendio. El golpe también puede dañar el BMS. Es por este motivo que es especialmente importante que un técnico especializado verifique el estado de la batería tras un choque importante.

### 1.6.3 Consideraciones en caso de incendio

El término "batería de litio" es un término colectivo para la gran cantidad de sistemas de baterías diferentes en los que se utiliza litio en forma pura o combinada. El contenido de energía es muchas veces mayor que el de las tecnologías de baterías convencionales, lo que puede aumentar significativamente el alcance de los daños en caso de incendio. Si hay una liberación descontrolada y acelerada de la energía almacenada químicamente debido a defectos técnicos o manejo inadecuado, generalmente ocurre como energía térmica, lo que puede provocar es un incendio. Los peligros específicos de la tecnología de las baterías de litio incluyen la autoignición y los incendios violentos en relación con la propagación muy rápida del fuego. Los riesgos asociados representan requisitos especiales para la protección contra incendios.

Las pruebas de fuego y extinción han demostrado que los incendios tanto de baterías como de dispositivos con baterías generalmente se pueden controlar con extintores de agua por lo que debe existir un equipo de extinción de incendios adecuado. Esto es esencial para una protección eficaz. Por lo que, es recomendable extinguir el fuego con extintores especiales para baterías de litio, conocidos como extintores de AVD (Solución Acuosa de Vermiculita). Esta solución se adhiere a los gases de combustión para extinguir el fuego. Y si el incendio se inicia en un espacio cerrado, se puede extinguir a través de un sistema de extinción con sprinklers.

Pese a que el litio es un metal, un incendio por baterías de litio no debe tratarse de igual forma que un fuego de metal, por lo que no deben utilizarse extintores para incendios de metal.

Además de los sistemas de extinción de incendios, se deben considerar las condiciones del entorno estructural y organizativo y realizar un análisis de cada caso de manera individual para el desarrollo de un concepto de protección eficaz.

Siempre se deben tener en cuenta las siguientes reglas de seguridad:

- Protección contra cortocircuitos de los polos de la batería.
- Protección contra daños mecánicos.

- No someter a la batería a golpes o impactos.
- No exponer directa y continuamente a altas temperaturas o fuentes de calor directa.
- Mantener una separación estructural o de espacio (al menos 2,5 m) con respecto a otros materiales combustibles, si no existe un sistema automático de extinción.
- Almacenar solamente baterías con certificado de homologación según UN 38.3 (prototipos sólo en casos excepcionales y después de una evaluación de riesgos).
- Almacenamiento en zonas separadas resistentes al fuego o con una adecuada distancia de seguridad (separación espacial de 5 m).
- Evitar el almacenamiento conjunto con otros productos combustibles.
- Baterías dañadas o defectuosas deben retirarse inmediatamente y almacenarse en un área técnicamente separada hasta su eliminación.

Las baterías de litio son siempre mercancías peligrosas en términos de la ley de transporte. Durante el transporte están sujetos a la normativa sobre mercancías peligrosas. Desde el 1 de enero 2019, es obligatoria la adopción de la nueva etiqueta para nuestra batería de litio clase 9 modelo 9, *figura 1.6.2*.



*Figura 1.6.2 – Etiqueta clase 9 modelo 9A*

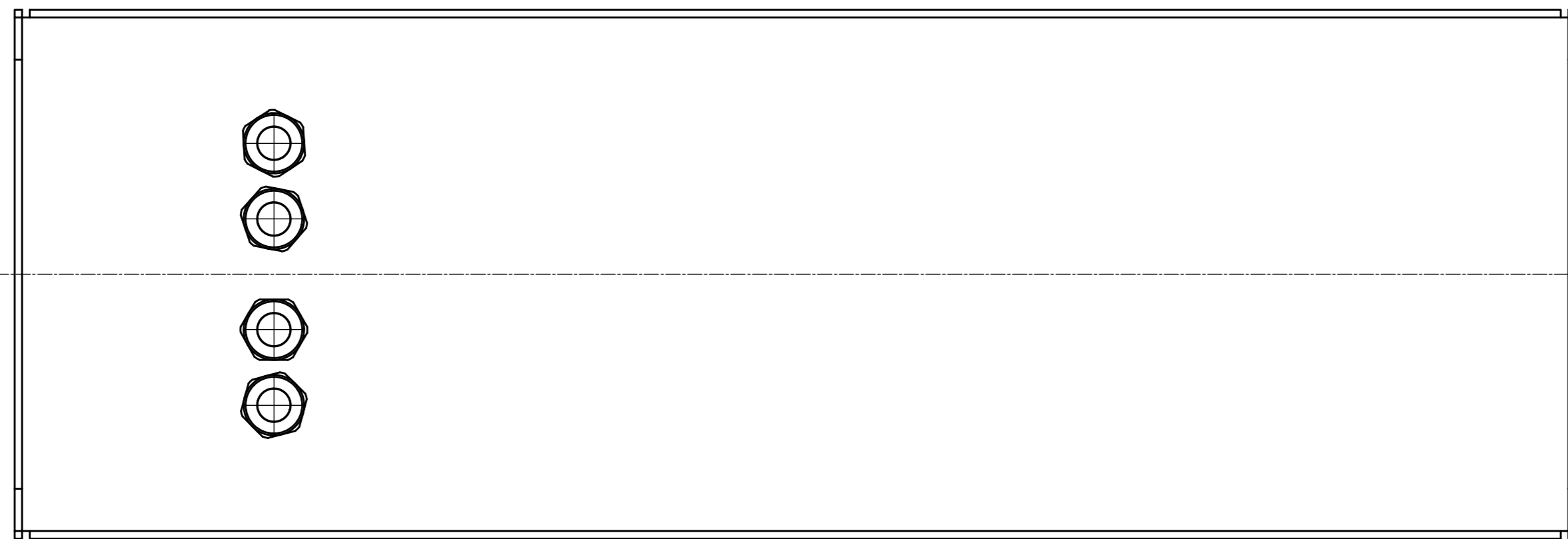
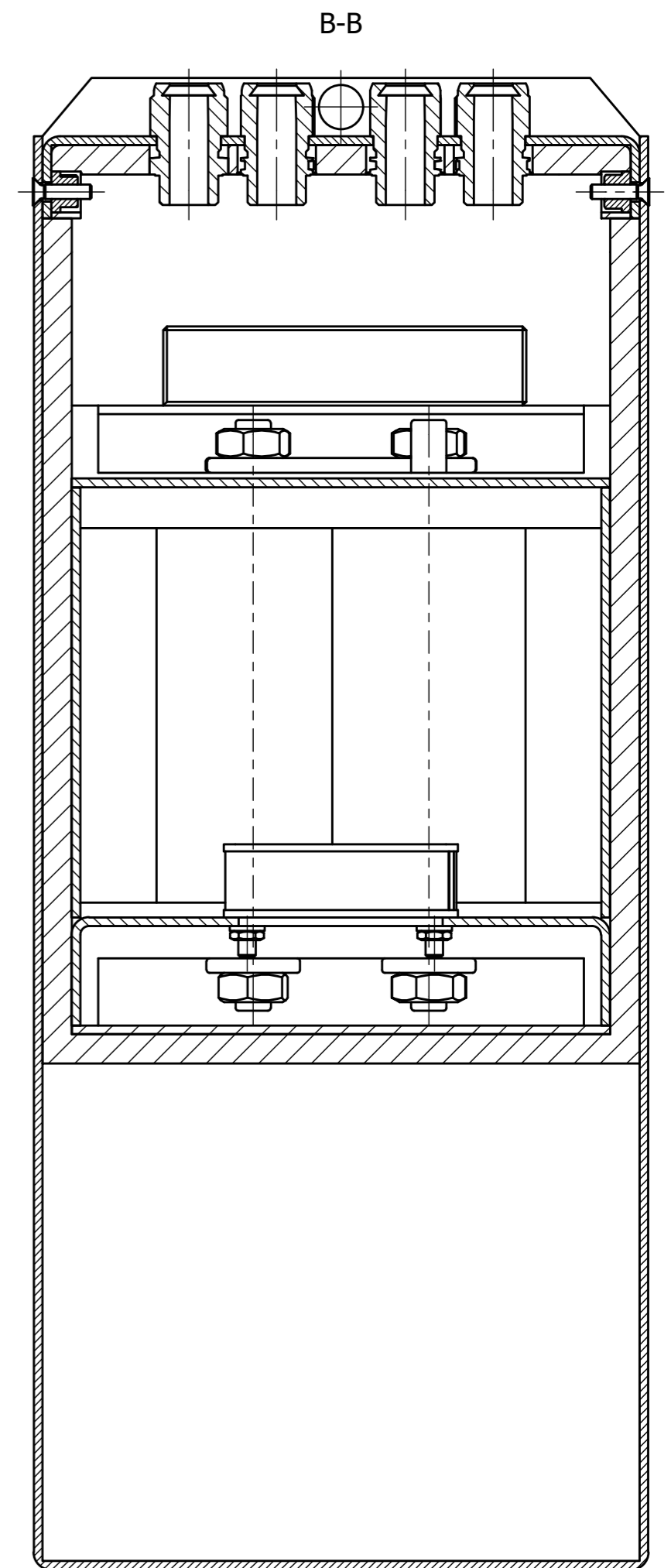
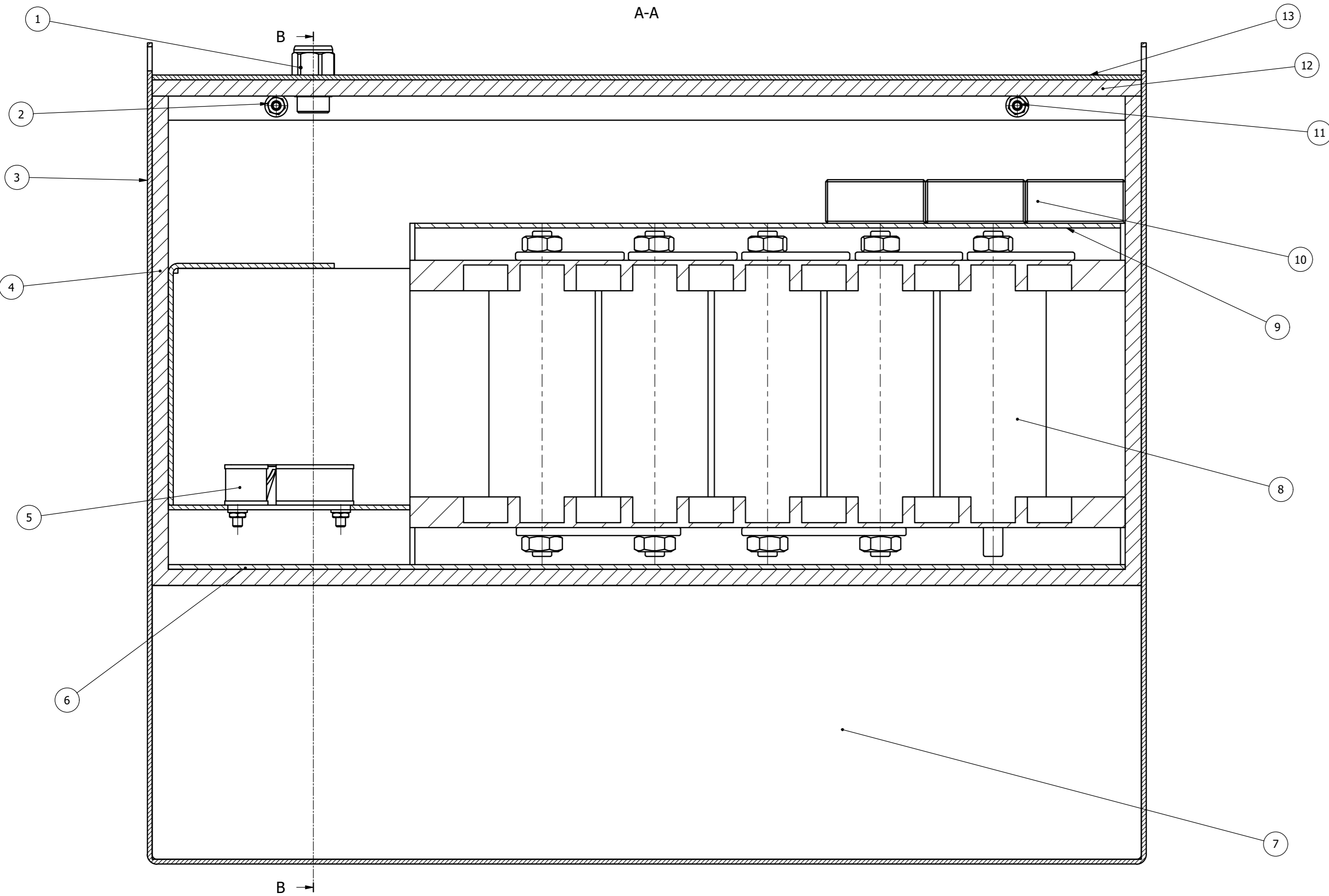
## 2 PLANOS

En este capítulo se muestra los planos del diseño realizados en el programa de diseño gráfico Autodesk Inventor®, y aquellos que se deben facilitar a los proveedores para la fabricación de las piezas clave de este proyecto.


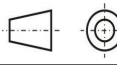
A continuación, se exponen los títulos de los planos incluidos en esta sección dividido en subtítulos y que encontraremos en orden correlativo a continuación de esta página.

- 2.1 Plano 1 – Conjunto batería
- 2.2 Plano 1.3 – Subconjunto celdas
- 2.3 Plano 1.4 – Subconjunto ventilador
- 2.4 Plano 1.1 hoja 1 – Desarrollo envolvente
- 2.5 Plano 1.1 hoja 2 – Plegado y soldadura envolvente
- 2.6 Plano 1.2 hoja 1 – Desarrollo tapa de la batería
- 2.7 Plano 1.2 hoja 2 – Plegado tapa de la batería
- 2.8 Plano 1.3 – Soporte celdas
- 2.9 Plano 1.4.3 hoja 1 – Desarrollo soporte ventilador
- 2.10 Plano 1.4.3 hoja 2 – Plegado soporte ventilador
- 2.11 Plano 1.4.4 hoja 1 – Desarrollo soporte ventilador 2
- 2.12 Plano 1.4.4 hoja 2 – Plegado soporte ventilador 2
- 2.13 Plano 1.4.5 – Subconjunto soldadura soporte ventilador
- 2.14 Plano 1.5 hoja 1 – Desarrollo soporte electrónica
- 2.15 Plano 1.5 hoja 2 – Plegado soporte electrónica

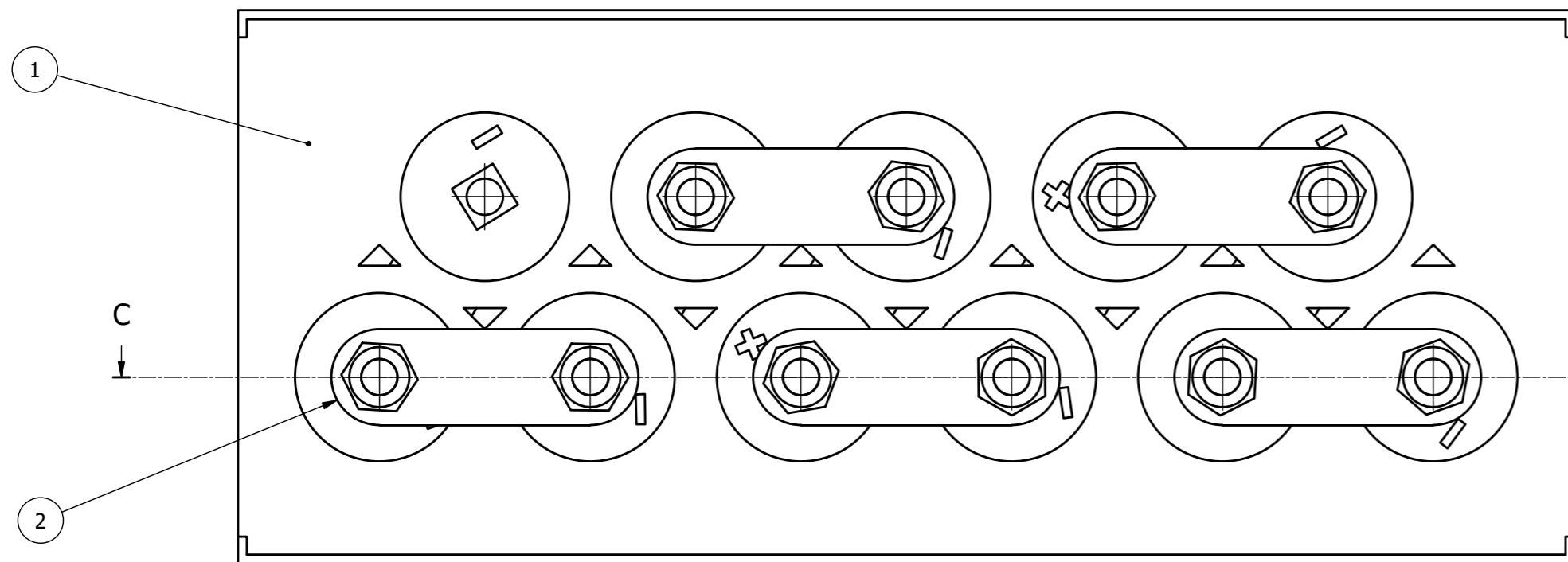




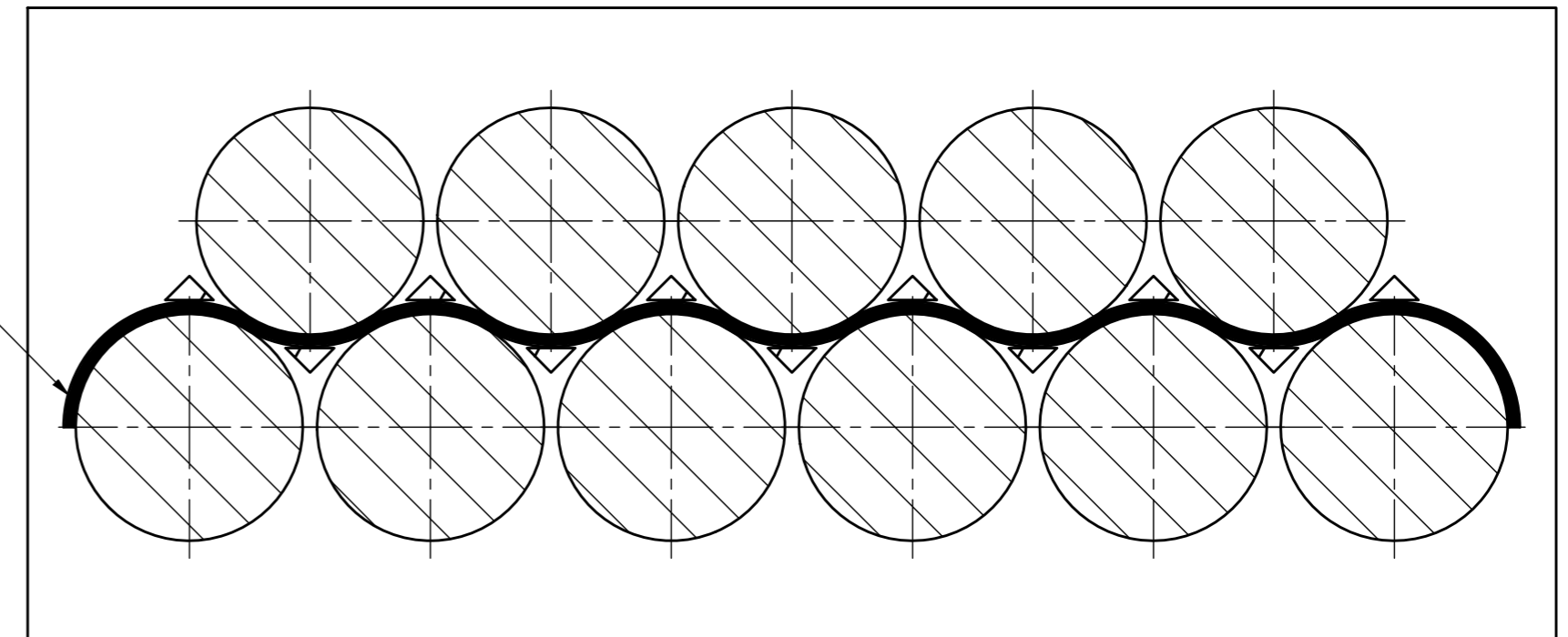
MARCA	CTDAD	PLANO/NORMA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA	
	13	1	1.2	Tapa batería	F110	3,578 kg
	12	1	1.8.2	Aislante térmico armaflex tapa	FEF	1,644 kg
	11	4	ISO 7046-1 - M5 x 20 - 4.8 - Z	Tornillo de cabeza plana avellanada	F310	0,003 kg
	10	3	1.6	BMS	Varios	0,074 kg
	9	1	1.5	Soporte electrónica	AL	0,760 kg
	8	1	1.3	Subconjunto de celdas LTO	Varios	17,512 kg
	7	1	1.7	Contrapeso	F110	167,154 kg
	6	1	EN-AW- 1050	Separador chapa AL 594x184x3	AL	0,885 kg
	5	1	1.4	Subconjunto ventilador	Varios	1,512 kg
	4	1	1.8.1	Aislante térmico armaflex cuerpo	FEF	6,913 kg
	3	1	1.1	Envolvente	F110	21,915 kg
	2	4	DIN 6331 - M 6	Tuerca hexagonal	F310	0,006 kg
	1	4	Comercial	Han-Eco Cable gland M20-	PA	0,011 kg

Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha (222,177 kg)	Fecha 26/01/2022	Escala: 1:2
 <b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández			<b>BATERÍA LTO</b>		
1	Tamaño: A2	Edición	Hoja 1 / 1		

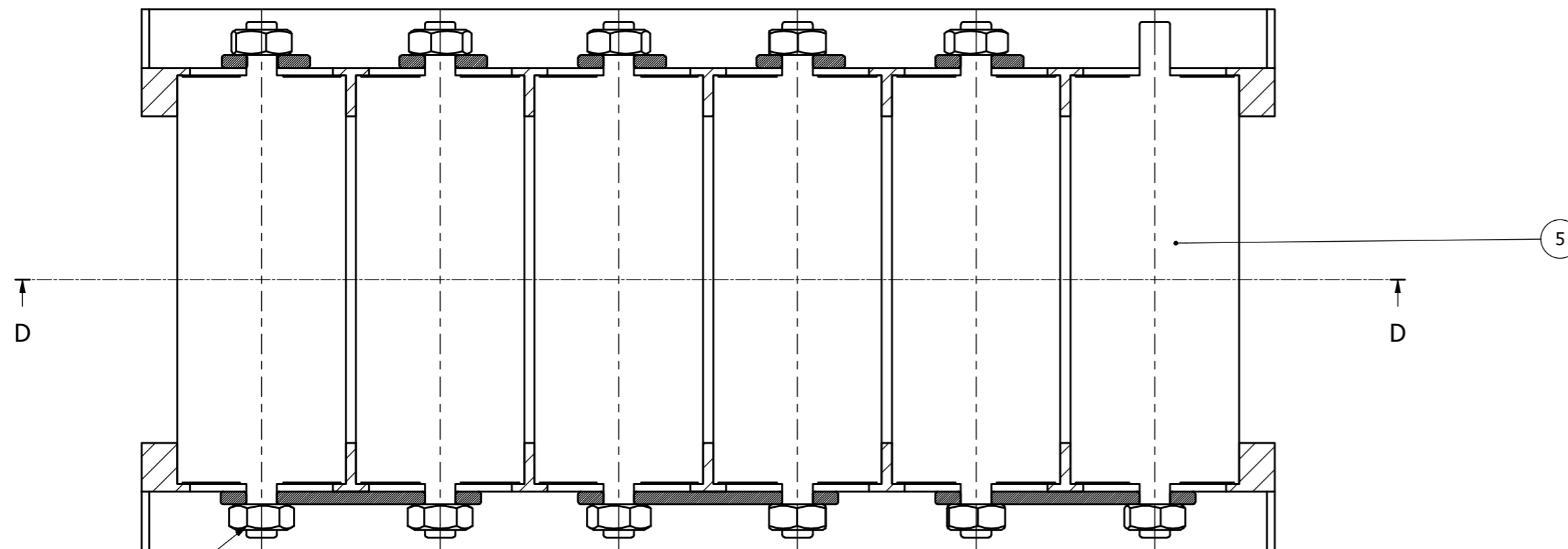
A (1:2)



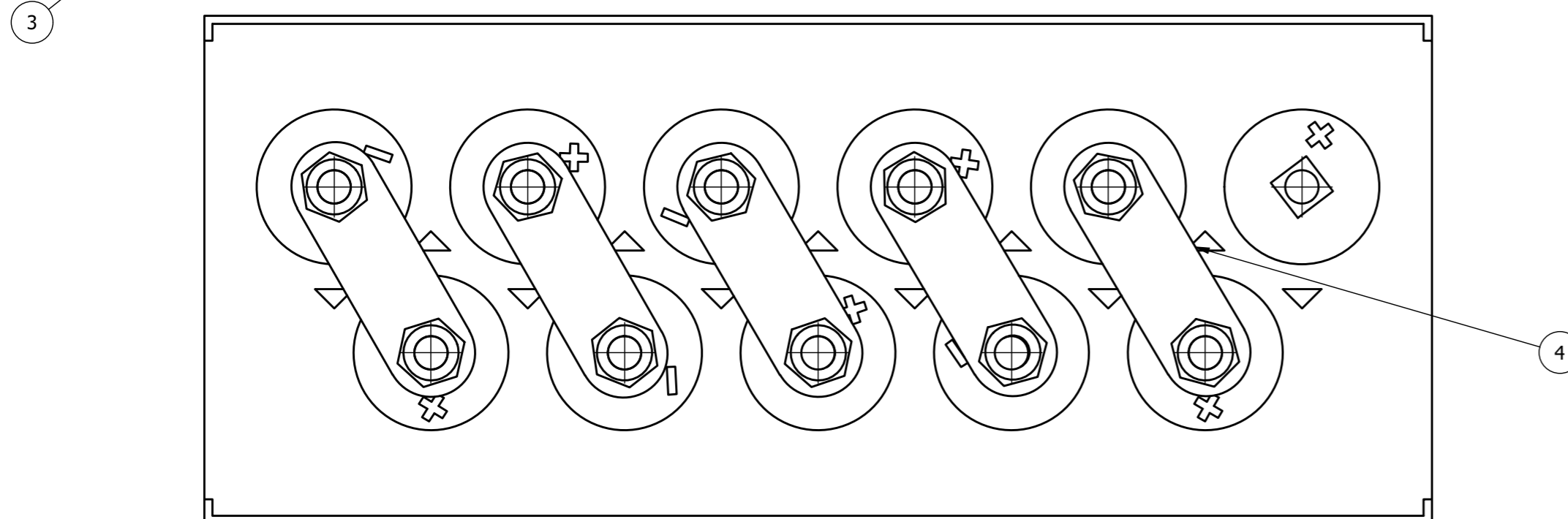
D-D


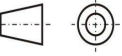


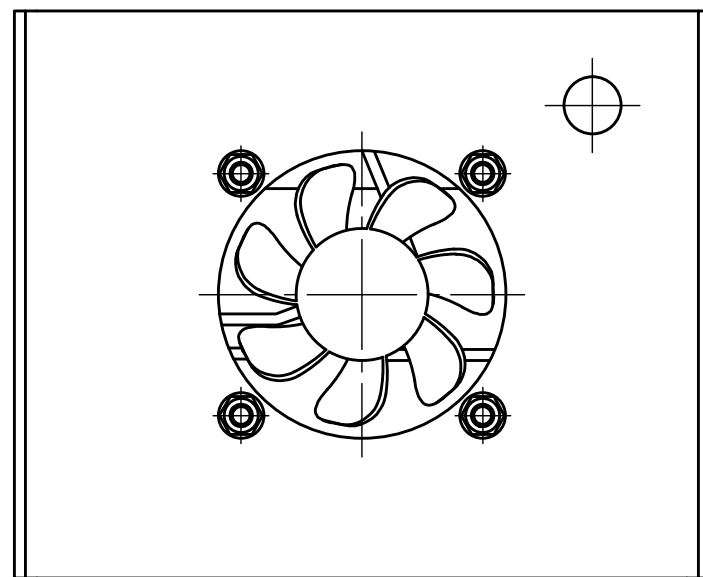
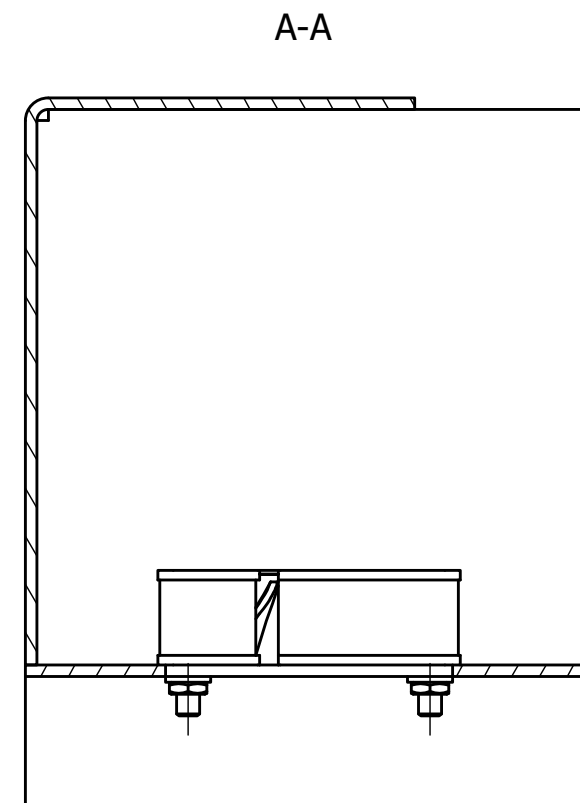
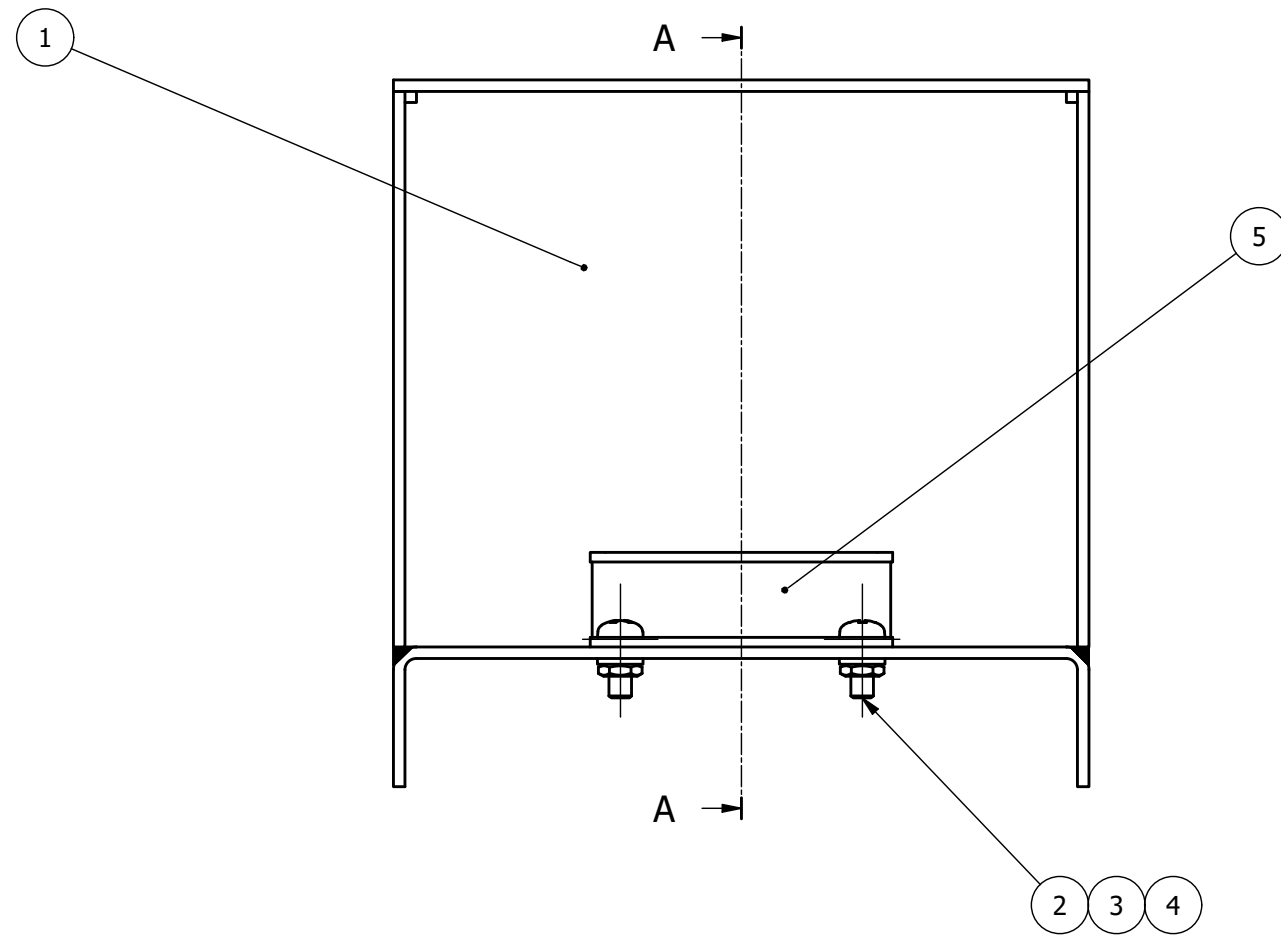
C-C




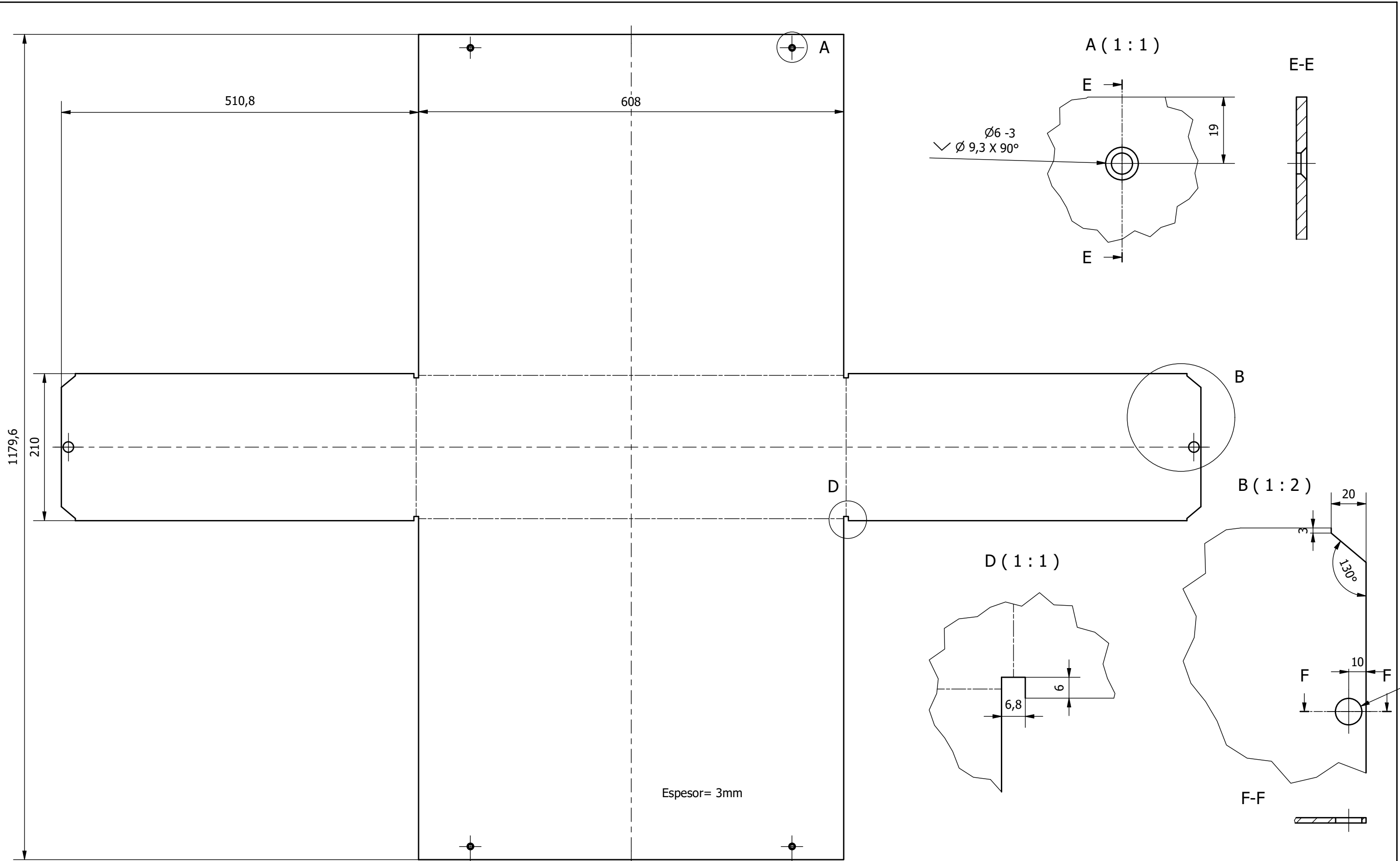
B (1:2)



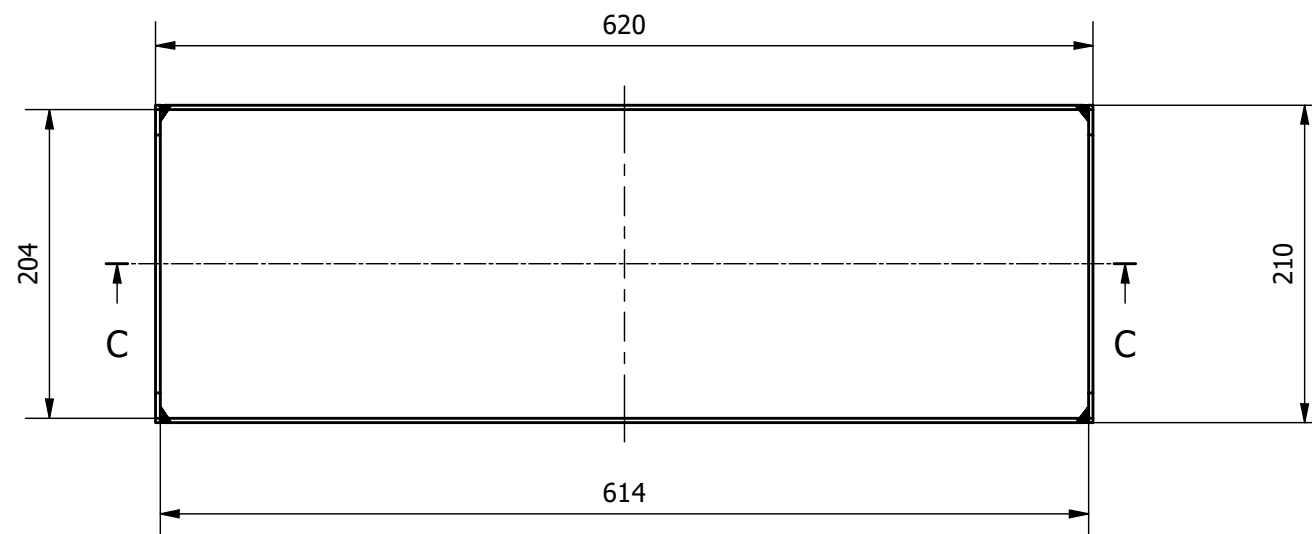
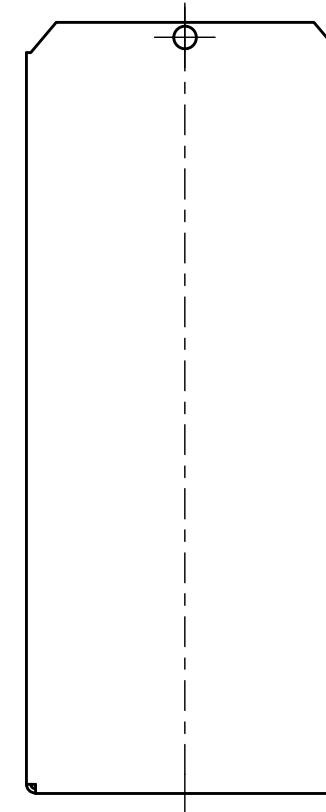
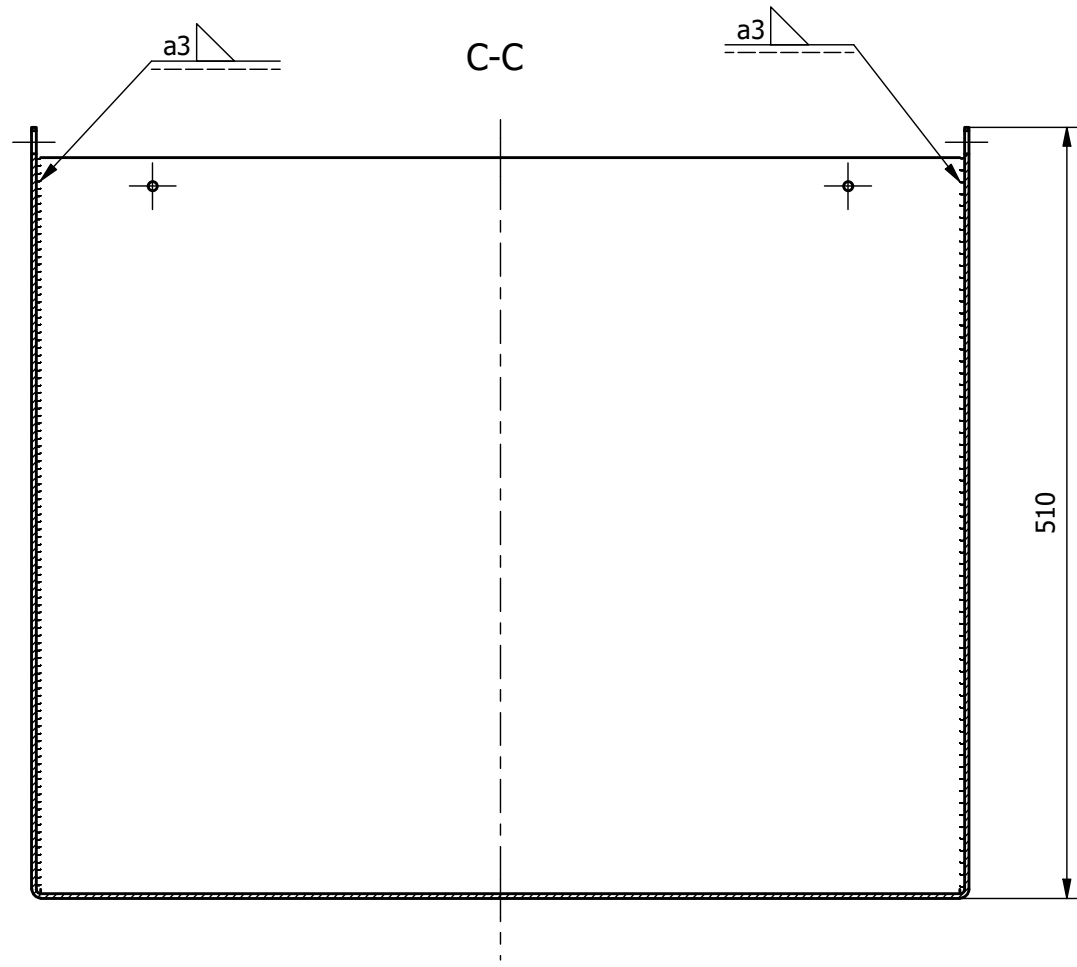
MARCA	CTDAD	PLANO/NORMA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA	
	6	1	calefactor	Calefactor PTC	Silicona 0,183 kg	
	5	11	Celdas	Celda LTO	LTO 1,250 kg	
	4	5	Pletina	Pletina modelo 2	F310 0,111 kg	
	3	20	DIN 6915 - M12	Tuerca hexagonal	F310 0,026 kg	
	2	5	pletina2	Pletina modelo 2	F310 0,112 kg	
	1	2	1.3.2	Soporte celdas	ABS 0,977 kg	
Diseño de	Revisado por	Aprobado por	Fecha	Materia (kg)	Fecha	Escala:
Nayomi Klokgieters	Oscar Cuadrado	David Clar		(17,512 kg)	26/01/2022	1:2
 <b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández			SUBCONJUNTO DE CELDAS LTO			
1.3		Tamaño:	Edición	Hoja		
		A2		1 / 1		


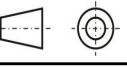


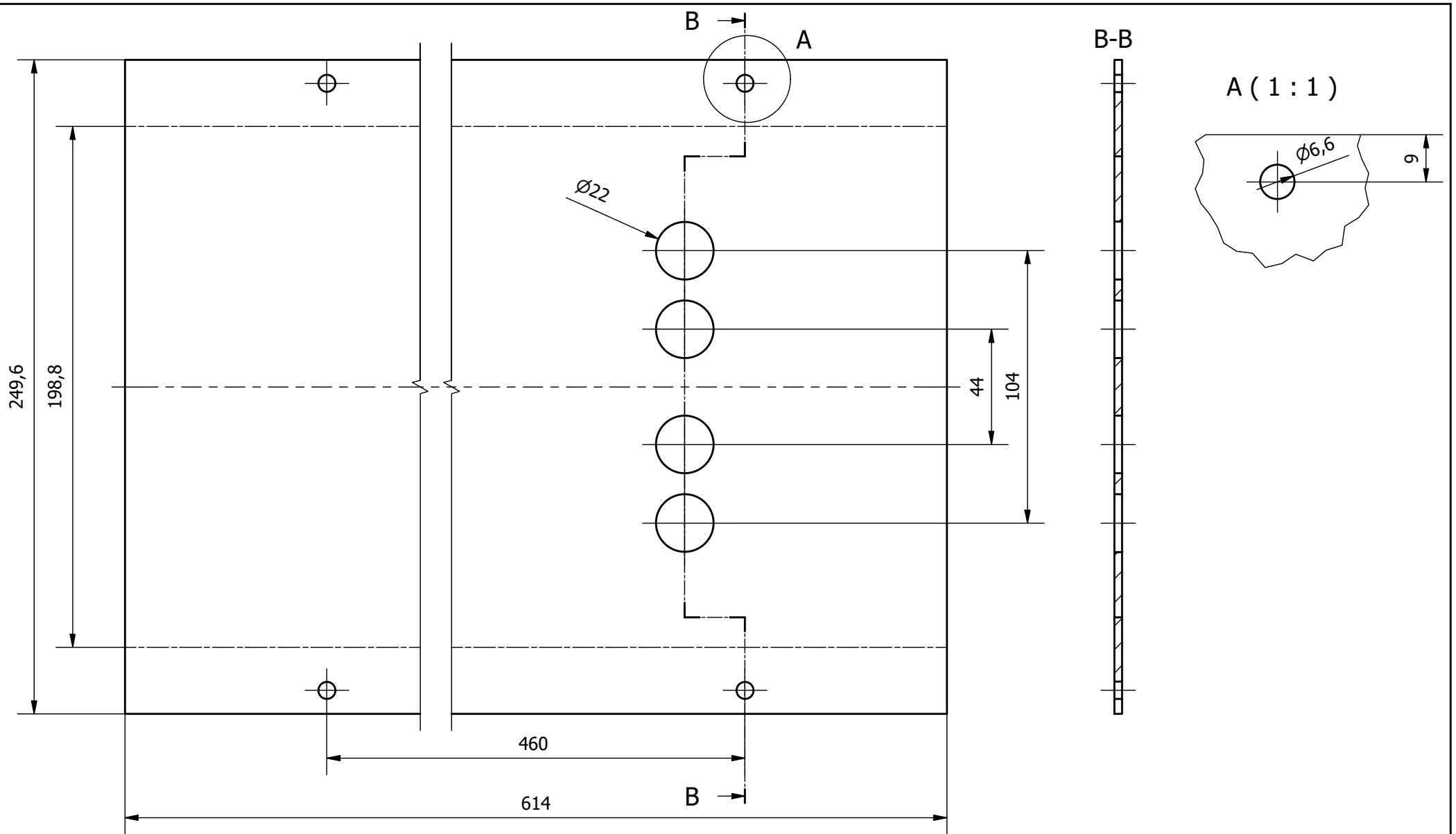
5	1	1.4.1	Ventilador	Plástico PBT	500 g	
4	4	ISO 4035 - M6	Tuerca hexagonal	F310	2 g	
3	4	DIN 125 - A 6,4	Arandela	F310	1 g	
2	4	ISO 7045 - M6 x 16 - 4.8 - H	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme	F310	6 g	
1	1	1.4.5	Soporte ventilador	AL	976 g	
MARCA	CTDAD	PLANO/NORMA	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA	
Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (1,512 kg)	Fecha 26/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			SUBCONJUNTO VENTILADOR 1.4		Hoja 1 / 1	
			Tamaño: A3	Edición		


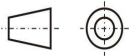


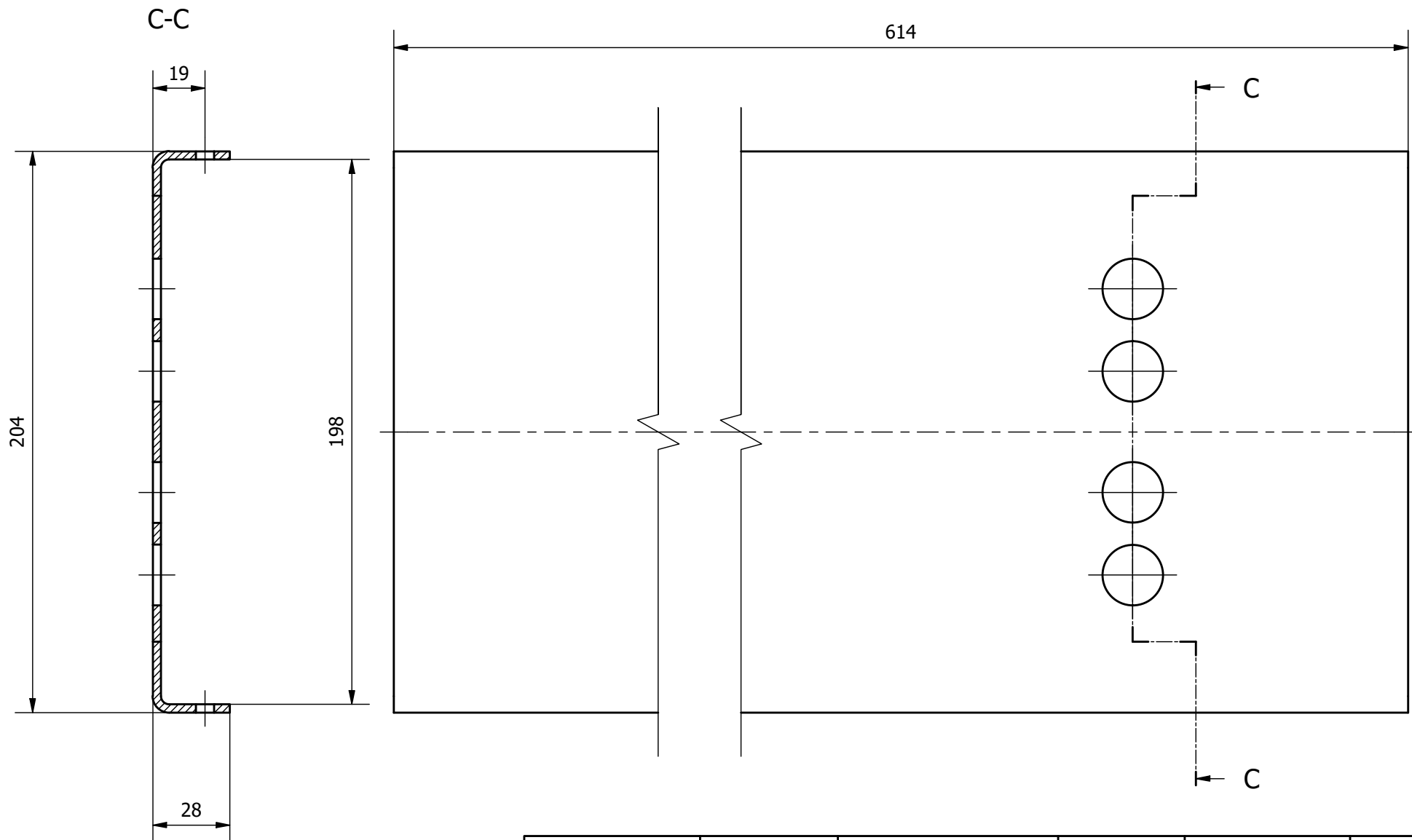
Diseño de Nayomi Klokieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (21,915 kg)	Fecha 26/01/2022	Escala: 1:5
Universidad Miguel Hernández			ENVOLVENTE			
<b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández			1.1	Tamaño: A3	Edición	Hoja 1 / 2





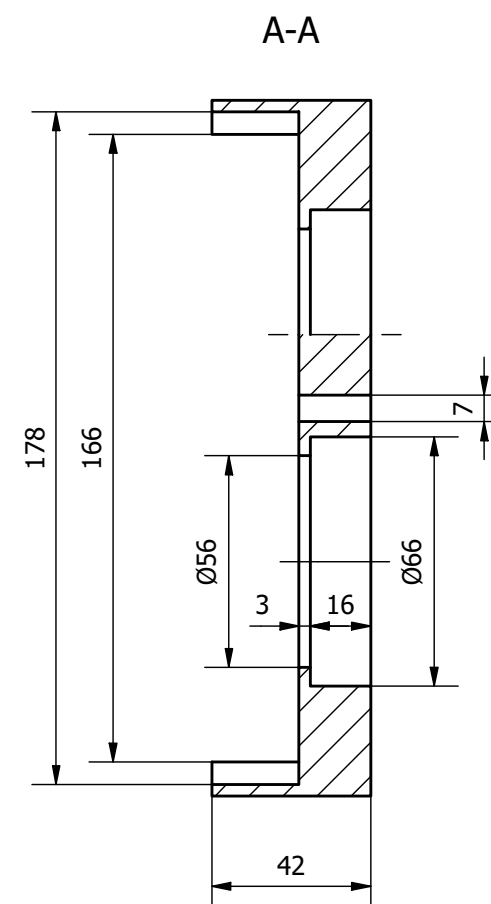
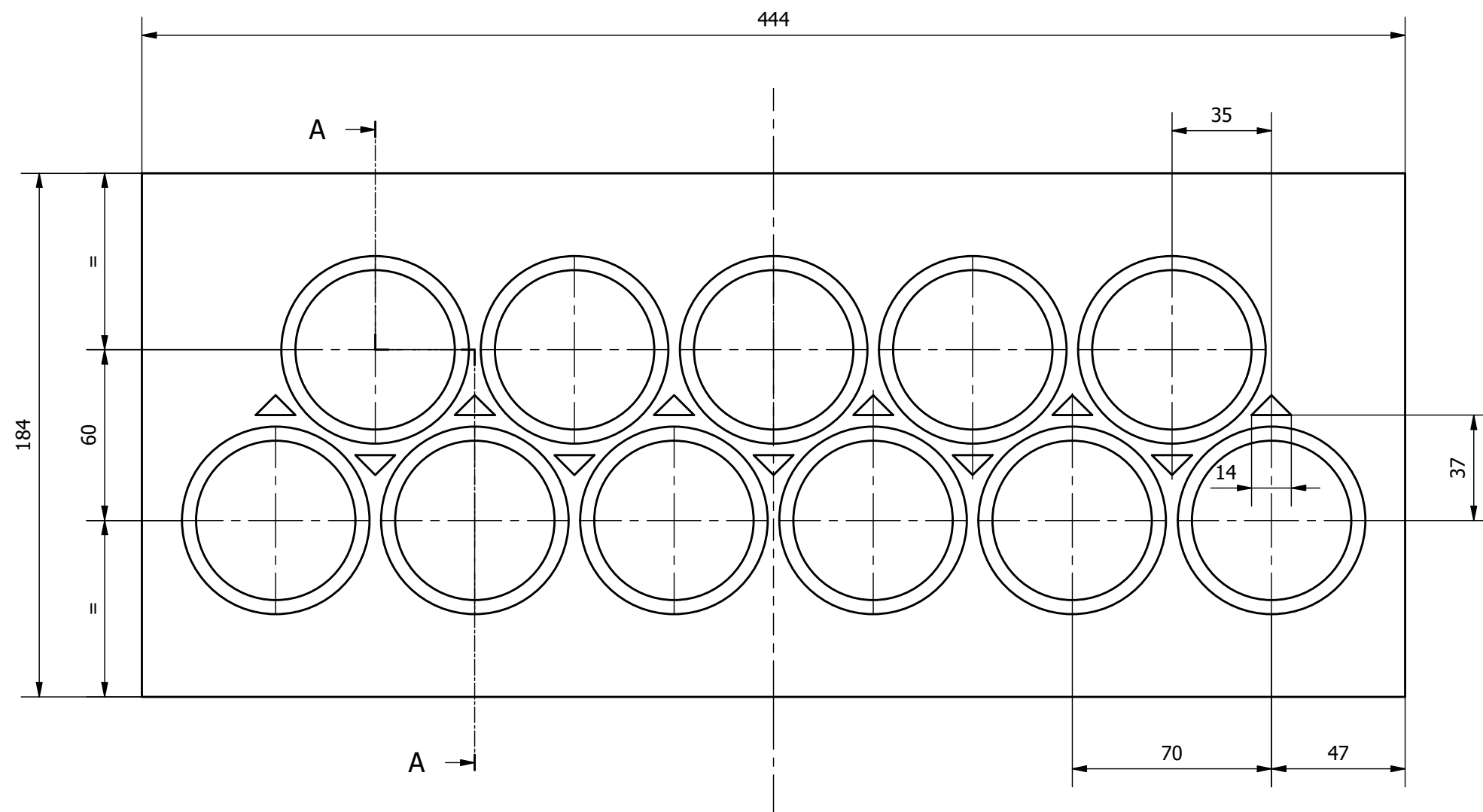
Diseño de Nayomi Kloggieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (21,915 kg)	Fecha 26/01/2022	Escala: 1:5
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			ENVOLVENTE			
			1.1	Tamaño: A3		Edición

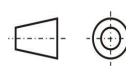



Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (3,578 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			<b>TAPA BATERÍA</b>			
			1.2	Tamaño: A4		Edición

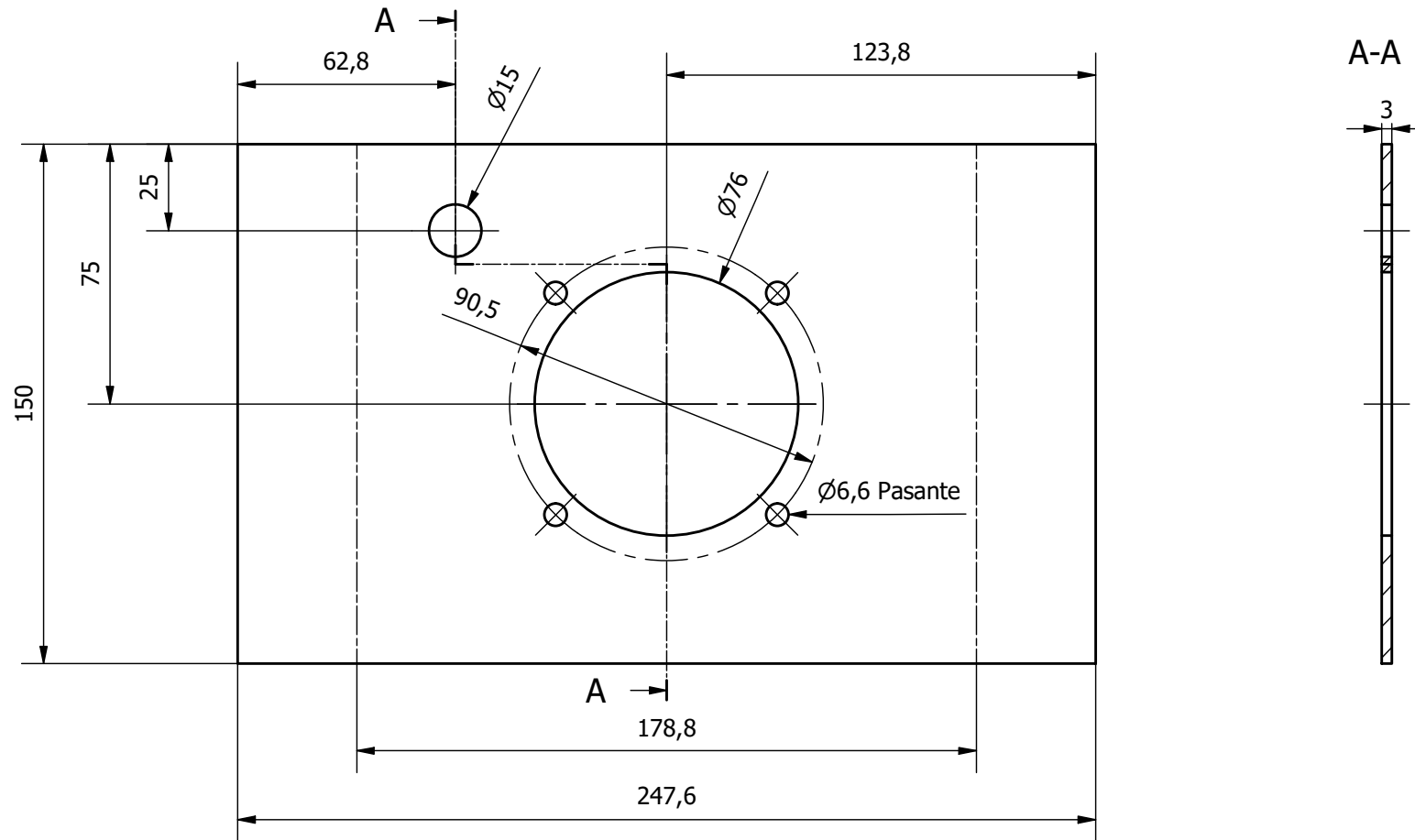


Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (3,578 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			TAPA BATERÍA			
			1.2	Tamaño: A4		Edición

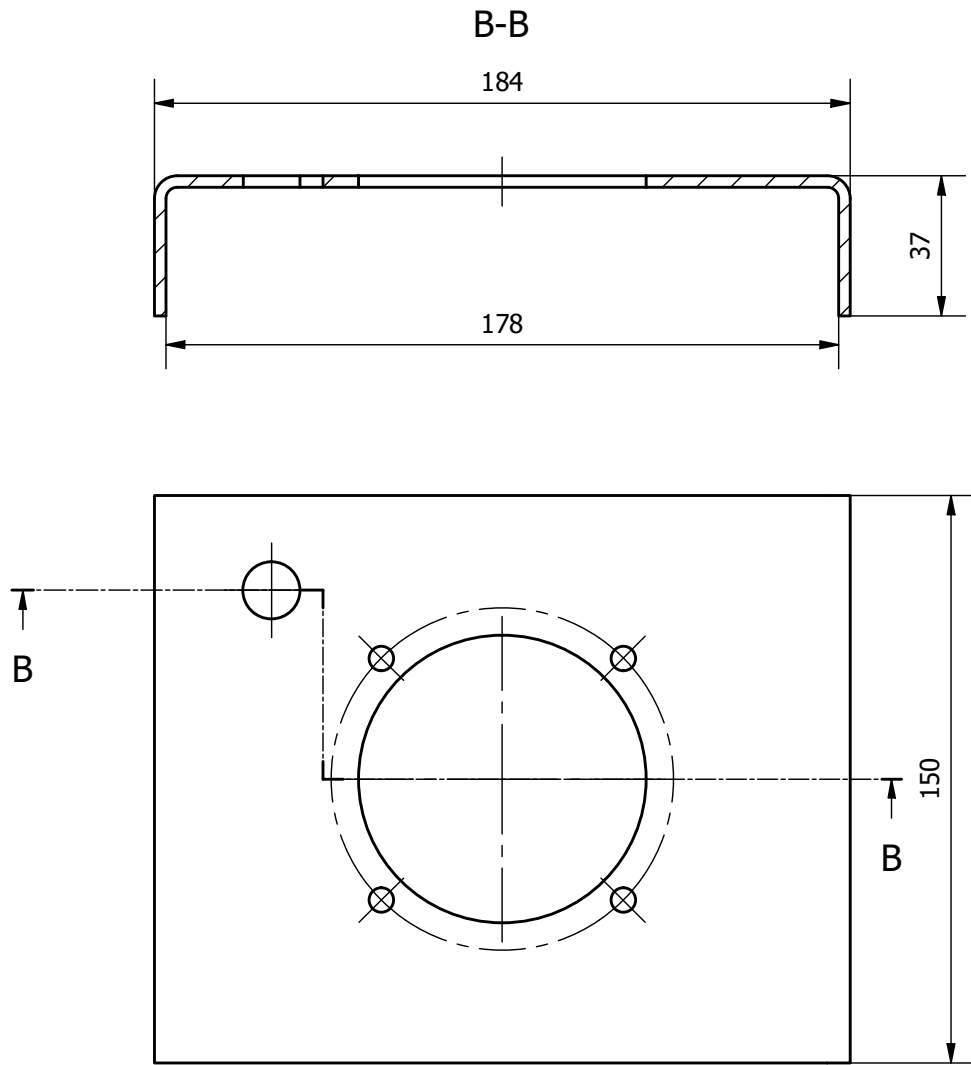




Diseño de Nayomi Klokieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (0,977 kg)	Fecha 30/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández			SOPORTE CELDAS			
			1.3.2	Tamaño: A3	Edición	Hoja 1 / 1

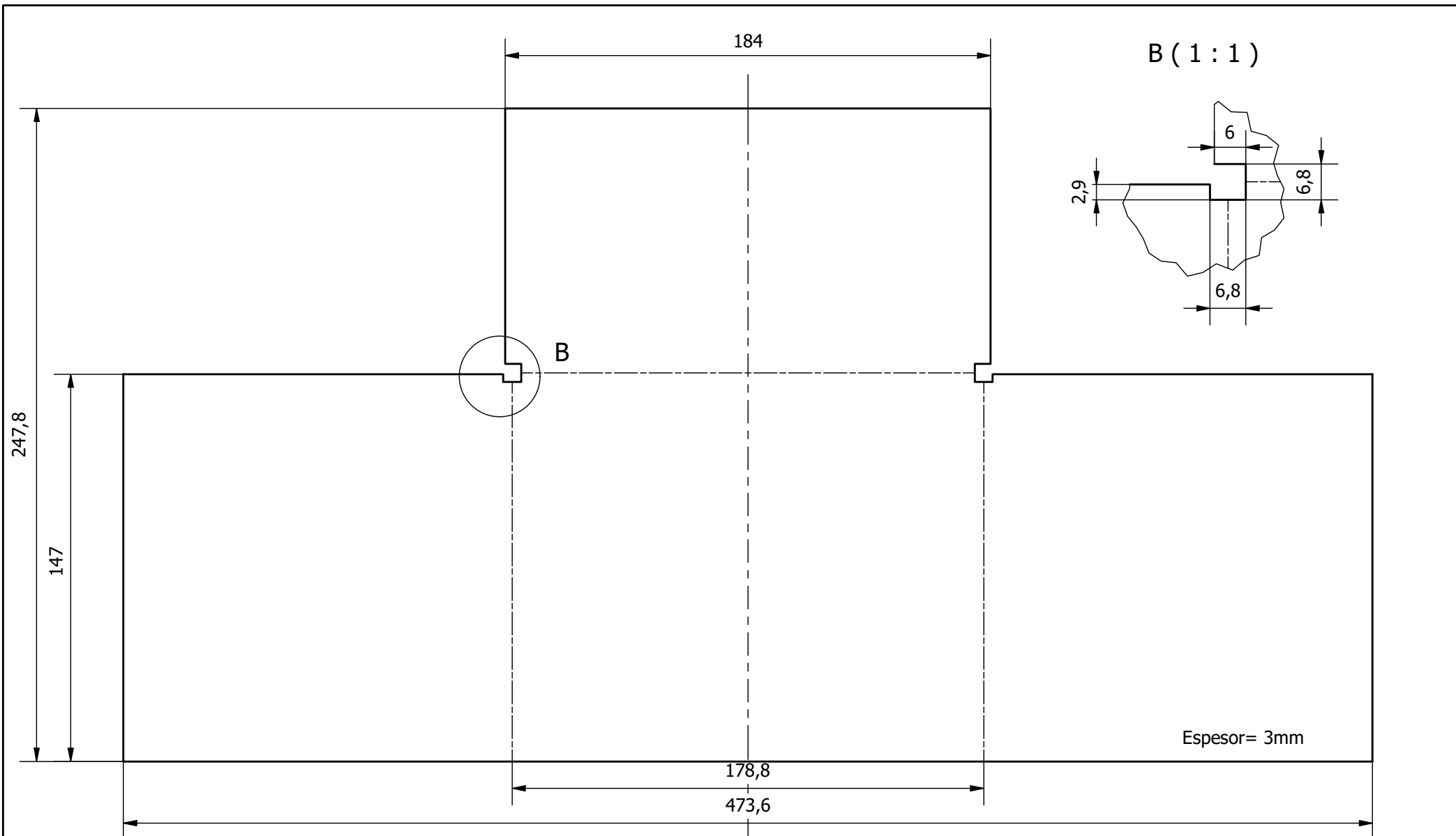






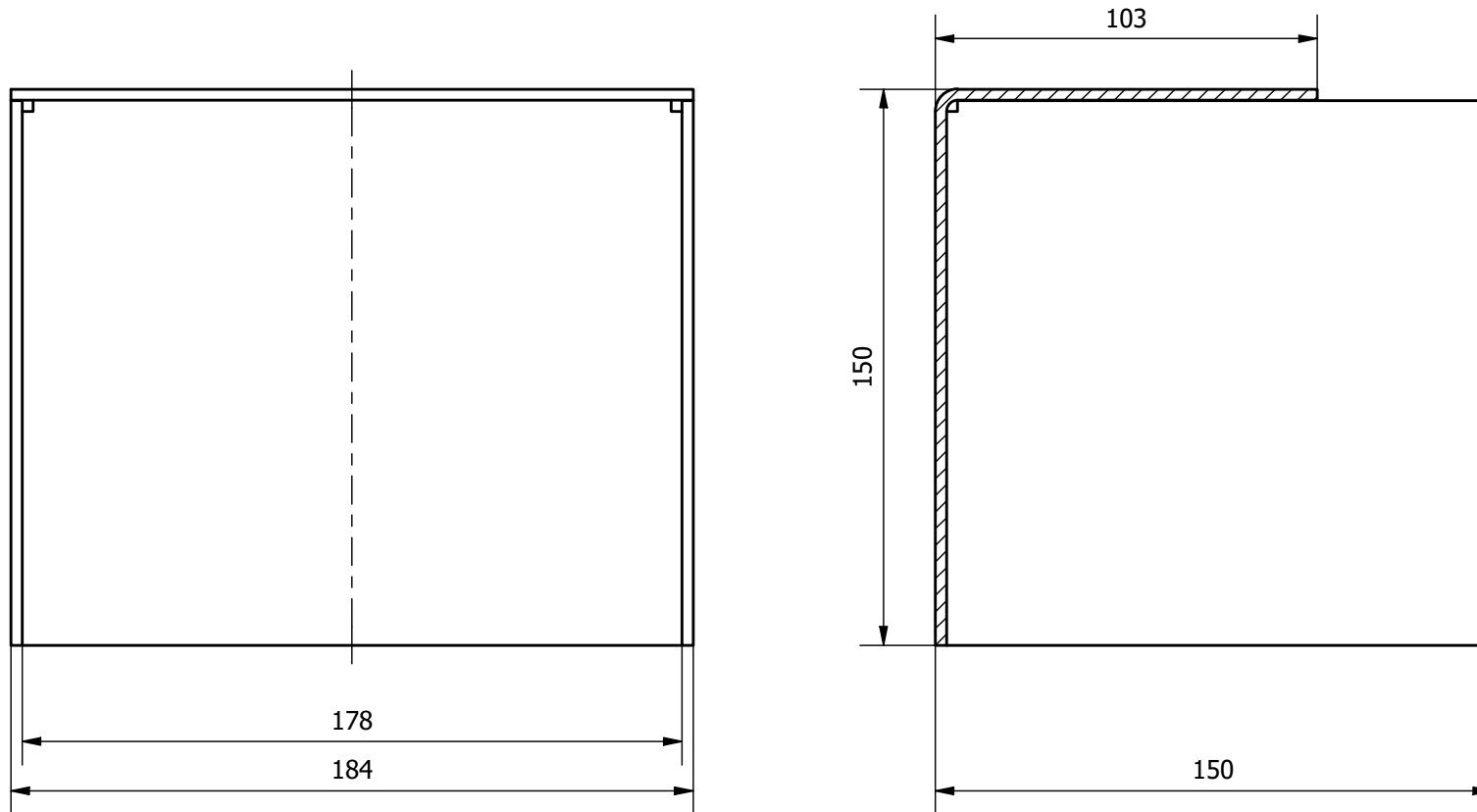
Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (0,262 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández			SOPORTE VENTILADOR			
<b>UNIVERSITAS</b> Miguel Hernández			1.4.3	Tamaño: A4	Edición	Hoja 1 / 2





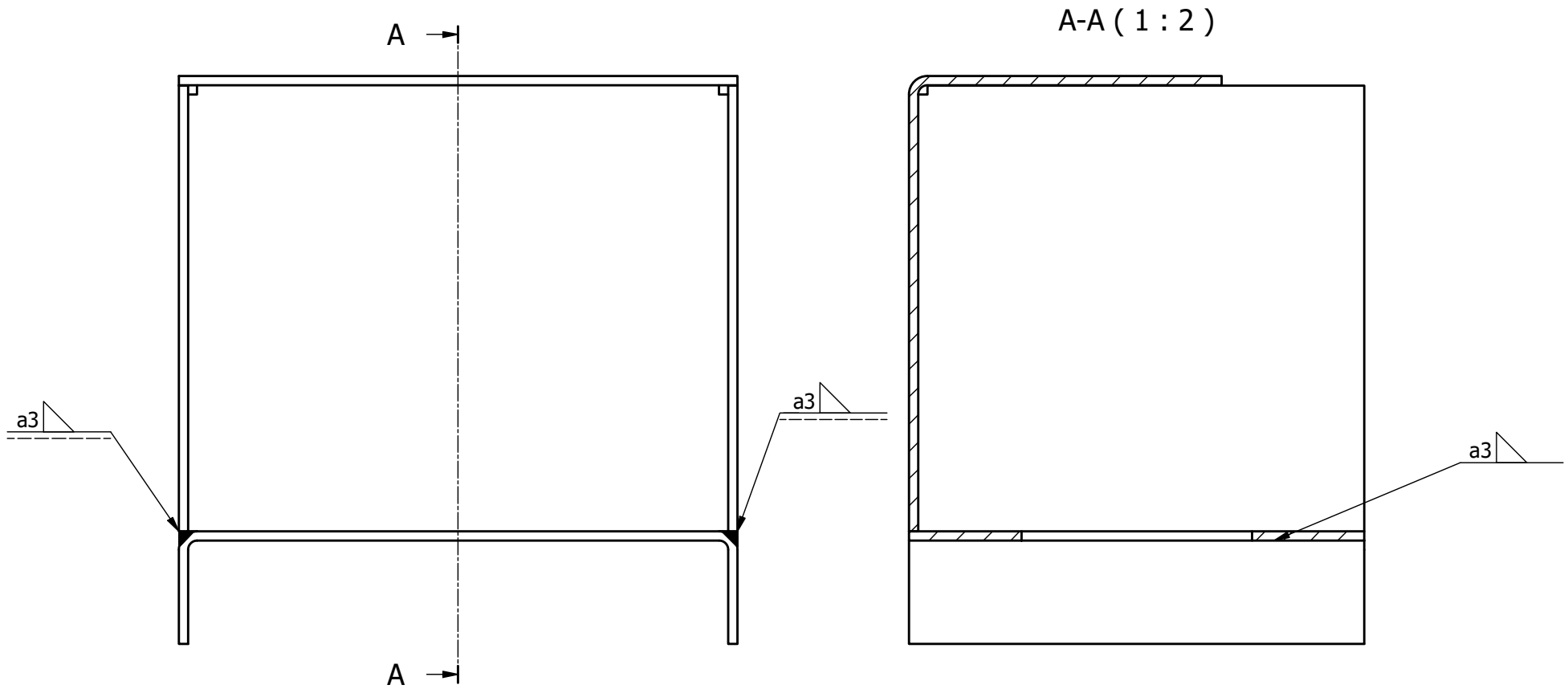
Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (0,262 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			SOPORTE VENTILADOR 		Tamaño:	Edición
					1.4.3	A4


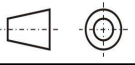


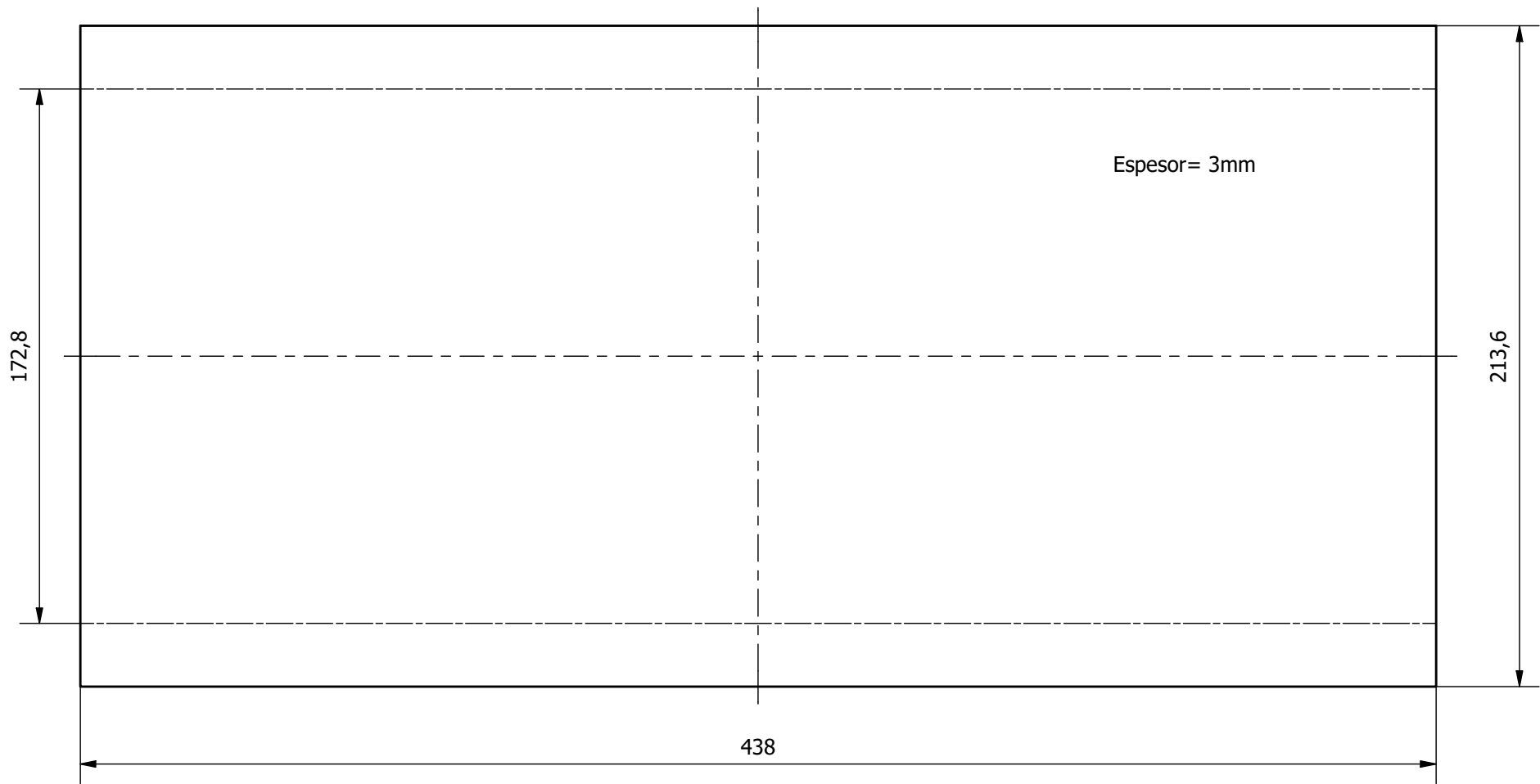
Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (0,714 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			Soporte ventilador 2			Tamaño:
						1.4.4





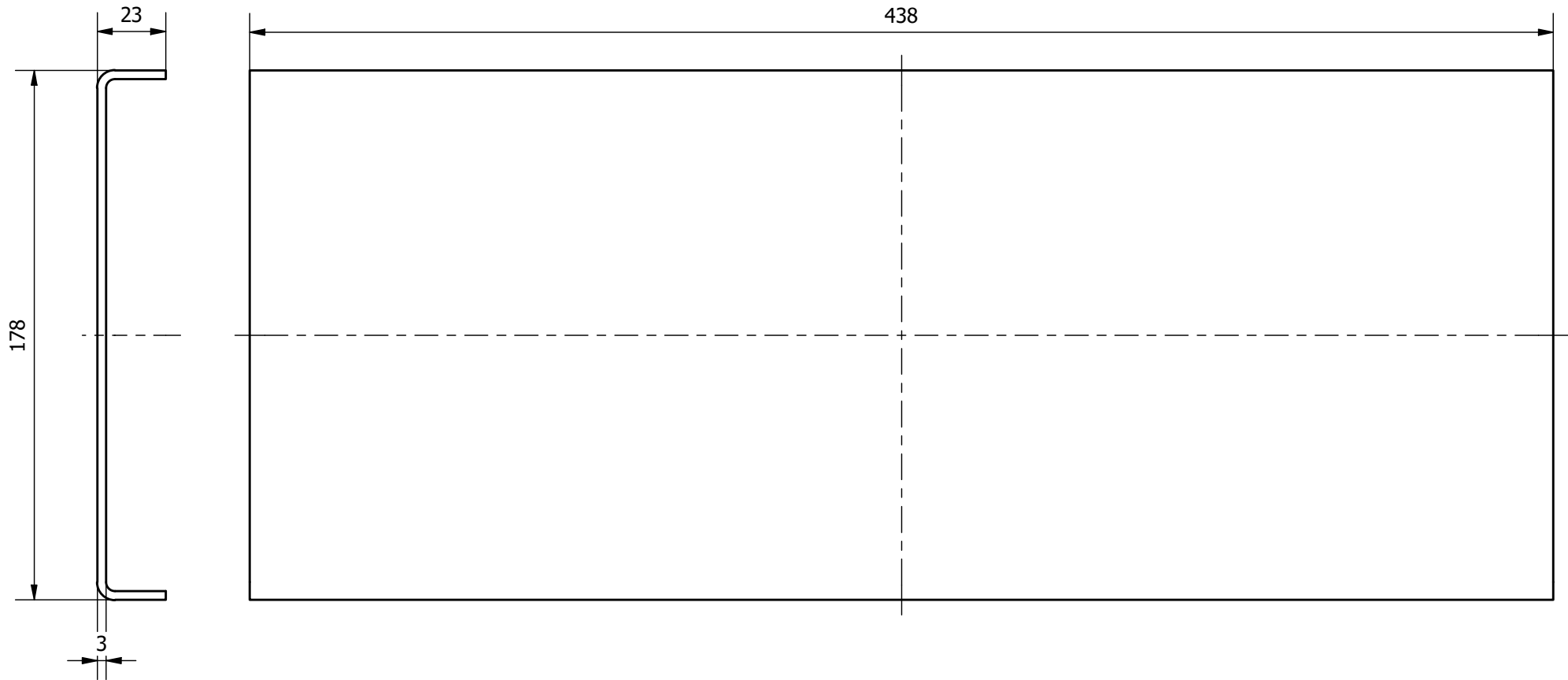
Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (0,714 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			Soporte ventilador 2			
			1.4.4	Tamaño: A4		Edición





Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (1,512 kg)	Fecha 29/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			Subconjunto soporte ventilador			
			1.4.5	Tamaño: A4		Edición



Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (0,760 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			SOPORTE ELECTRÓNICA			
1.5			Tamaño: A4	Edición	Hoja 1 / 2	



Diseño de Nayomi Klokgieters	Revisado por Oscar Cuadrado	Aprobado por David Clar	Fecha	Materia (kg) (0,760 kg)	Fecha 27/01/2022	Escala: 1:2
Universidad Miguel Hernández  <b>UNIVERSITAS</b> <i>Miguel Hernández</i>			SOPORTE ELECTRÓNICA			
1.5			Tamaño: A4	Edición	Hoja 2 / 2	

### **3. PLIEGO DE CONDICIONES**

#### **3.1 Pliego de condiciones generales**

Para la fabricación de la batería se obtiene la envolvente, la tapa y los soportes de proveedores externos. Para la fabricación del soporte de las celdas, se realiza por un fabricante de inyección de plásticos por molde. Dicho proveedor tendrá en cuenta el plano 1.3.2 y se realizará el soporte del material ABS. Para el resto de los soportes, tapa y envolvente, se contratará un servicio de corte por láser y plegado con equipamiento CNC. El fabricante tomará como referencia los planos 1.1 y 1.2, para chapas de material acero al carbono. Y para chapas de aluminio se prestará atención los planos 1.5, 1.4.4 y 1.4.3. A continuación, para la realización de la soldadura, el fabricante tomará referencia del plano 1.1 hoja 2/2 y del plano 1.4.5.

Por otro lado, para garantizar la vida útil de la batería sería conveniente cumplir ciertos requisitos. Uno de ellos es minimizar la exposición a altas temperaturas, durante el almacenamiento y el uso. Estacionando la máquina a la sombra siempre que sea posible o conectarlo para que el sistema de gestión térmica de la batería pueda funcionar utilizando la red eléctrica.

Otro de los requisitos es evitar la exposición a bajas temperaturas, el peligro radica principalmente en estacionar desenchufada la máquina en temperaturas extremadamente bajas. Si se puede enchufar, el sistema de administración térmica de la batería puede mantener la batería estable. Algunos vehículos eléctricos ejecutan automáticamente el sistema de gestión térmica incluso desconectados, hasta que la capacidad cae al 15%, después de lo cual puede dañar la batería.

Se debe reducir el tiempo que pasa con el 100% del estado de carga, evitando enchufar la batería toda la noche varias noches. También sería conveniente evitar el tiempo que pasa con un estado de carga del 0%, los sistemas de administración de baterías generalmente apagan la máquina mucho antes de llegar al 0%. En cambio, el mayor peligro es dejar un vehículo desenchufado durante tanto tiempo que se auto descargue a cero y permanezca allí durante un período prolongado.



Es de gran importancia cargar siempre las baterías de litio con un buen cargador específico, y a su vez, establecer el voltaje y la corriente de carga adecuados en el cargador para cada acumulador. Usar un cargador económico de mala calidad puede ser peligroso y estropeará rápidamente las baterías. Antes de cargar la batería, se deberá dejar enfriar hasta la temperatura ambiente y durante la carga y el uso de la batería de litio, nunca sobrepasar los 71°C de temperatura.

Cuando se transporte la batería, la temperatura debe mantenerse siempre entre -5 y 66°C. Dejar la batería en un lugar con una temperatura mayor de 77°C durante más de 2 horas puede estropear la batería o causar un incendio.

Si en cualquier momento una batería de litio se hincha o derrama líquido, se tiene que desconectar de manera inmediata y observarla durante 15 minutos en un lugar seguro a fin de prevenir cualquier reacción anómala.

### 3.2 Especificaciones de materiales y equipos

Por otro lado, para la realización del acumulador, los materiales, instalaciones y equipos que se necesitan son los siguientes:

- I. Espacio abierto con buena ventilación, como una nave industrial
- II. Instalación eléctrica
- III. Material especial contra incendios
- IV. Material de seguridad para el personal (guantes, gafas protectoras...)
- V. Voltímetro
- VI. Soldador
- VII. Cargadores 24V
- VIII. BMS
- IX. Conectores
- X. Pletinas
- XI. Cableado
- XII. Soporte de la electrónica
- XIII. Sensores térmicos

- XIV. Tornillería
- XV. Kit de herramientas (llave inglesa, destornillador, etc)
- XVI. Pasamuros
- XVII. Celdas
- XVIII. Soporte celdas
- XIX. Calefactor PTC
- XX. Soporte ventilador
- XXI. Ventilador
- XXII. Envolvente batería
- XXIII. Tapa batería
- XXIV. Aislante térmico Armaflex ®
- XXV. Contrapeso

### 3.3 Pliego de condiciones según el Real Decreto 27/2021

Para la fabricación, la venta y postventa de la batería, se tendrá en cuenta el *Real Decreto 27/2021, de 19 de enero*, que tiene por objeto velar por el principio de precaución y prevención en la gestión de los residuos de pilas, acumuladores y baterías y de aparatos eléctricos y electrónicos. El nuevo documento modifica dos textos previos: el Real Decreto sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos de 2008 y el Real Decreto sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de 2015

Como resumen, los puntos que nos enfocamos principalmente son, que se deberá tener en cuenta que aquellas pilas y acumuladores que contengan litio o níquel metal hidruro tendrán la consideración de residuo peligroso y serán gestionadas como tal.

Del mismo modo, se tendrá en cuenta los objetivos de gestión de residuos que deben cumplir los productores de aparatos eléctricos y electrónicos recogidos en el real decreto. Para ello, se tiene en cuenta el peso de los RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) recogidos y financiados tras su tratamiento específico.

Todos los residuos de pilas o acumuladores recogidos serán sometidos a tratamiento y reciclaje, debiéndose utilizar procedimientos que se ajusten a lo exigido en el real decreto y al resto de legislación en vigor en materia de residuos, de salud y seguridad. El

tratamiento deberá realizarse en instalaciones autorizadas establecidas por los productores o por terceros debidamente autorizados, debiéndose utilizar las mejores técnicas disponibles para la protección de la salud y del medio ambiente.

Por otro lado, el documento también refuerza el control de los aparatos eléctricos y electrónicos procedentes de terceros países. Ya que deberá incluirse, de forma visible, el número de inscripción en el Registro Integrado Industrial en la acreditación documental de la importación de estos dispositivos. Este aspecto deberá ser comprobado y supervisado por el Servicio Oficial de Inspección, Vigilancia y Regulación de las Exportaciones.

Por último, sólo se podrán poner en el mercado en territorio nacional los acumuladores y baterías que reúnan todas y cada una de las condiciones y requisitos exigidos en este real decreto.

#### **4. VIABILIDAD ECONÓMICA Y ENERGÉTICA**

Para analizar la viabilidad de este proyecto, se ha realizado un estudio energético y económico, comparando la batería propuesta con las dos baterías más destacadas del mercado actual. De esta manera, finalmente, se podrá concluir para qué aplicaciones son más adecuadas dichas baterías.

##### **4.1 Viabilidad energética**

Para el análisis de la viabilidad energética se ha simulado un escenario, donde se considera que la transpaleta eléctrica EJD 20 trabaja un turno de 8h, 7 días a la semana y 48 semanas al año. En la *figura 4.1* se recogen todos los datos a considerar. Se puede observar el tipo de batería de cada modelo y sus respectivos cargadores, tanto para las cargas puntuales como para sus cargas en horas de descanso.

Recordar, que las tasas de carga y descarga de una batería se rigen por las tasas C. Se sabe que las baterías de  $\text{LiFePO}_4$  pueden cargarse y descargarse con una tasa de 1C, en cambio,

las baterías de LTO tienen una tasa de carga y descarga de 10C. En cambio, las baterías de plomo tienen una tasa de 0,2C.

Por ese motivo, una batería de plomo con una capacidad nominal de 200 Ah puede ser sustituido por una batería de  $\text{LiFePO}_4$  de 100 Ah, y a su vez, por una batería de LTO de 40 Ah, como se muestra en la *figura 4.1*.

DATOS			
	Batería PB	Litio ferrosfato	Titanato de Litio
Voltaje	24	25,6	25,3
Amperaje	200	100	40
Consumo medio h	20		Ah/h
Límite de profundidad de descrga	80%		
Máquina			
Número de turnos	1	Turnos	
Tiempo de trabajo/turno	8	h/turno	
Días/semana	7	días/sem	
Semanas/Año	48	sem/año	
Días/Año	336	días/año	
Horas de trabajo	8	h	
Horas/Año	2688	h/año	
Cargador de Litio puntuales		Cargador titanato de Litio	
Cargas puntuales	2	10	C
Voltaje	24	24	V
Amperaje	200	400	Ah
Carga Inicio jornada	100	40	Ah
Cargador de Litio noche		Cargador titanato de Litio	
Cargas de noche	1	1	C
Voltaje	24	24	V
Amperaje	100	40	Ah
Cargador de plomo			
Amperaje	40	A	
Cargas	0,2	C	

Figura 4. 1 – Datos

A continuación, en la *figura 4.2*, se simula los turnos que trabaja la transpaleta eléctrica, de 6:00h a 14:00h de la mañana.

Con batería de PB						
Hora	Turno (Si/No)	Cargas	Ah Descarga	Ah carga	Ah acumulado	%
0:00:00	No	0	0	0	40	20%
1:00:00	No	0	0	0	40	20%
2:00:00	No	60	0	40	80	40%
3:00:00	No	60	0	40	120	60%
4:00:00	No	60	0	40	160	80%
5:00:00	No	60	0	40	200	100%
6:00:00	Si	0	20	0	180	90%
7:00:00	Si	0	20	0	160	80%
8:00:00	Si	0	20	0	140	70%
9:00:00	Si	0	20	0	120	60%
10:00:00	Si	0	20	0	100	50%
11:00:00	Si	0	20	0	80	40%
12:00:00	Si	0	20	0	60	30%
13:00:00	Si	0	20	0	40	20%
14:00:00	No	0	0	0	40	20%
15:00:00	No	0	0	0	40	20%
16:00:00	No	0	0	0	40	20%
17:00:00	No	0	0	0	40	20%
18:00:00	No	0	0	0	40	20%
19:00:00	No	0	0	0	40	20%
20:00:00	No	0	0	0	40	20%
21:00:00	No	0	0	0	40	20%
22:00:00	No	0	0	0	40	20%
23:00:00	No	0	0	0	40	20%
<b>total</b>		240	160			

Figura 4. 2 – Turnos de trabajo y batería PB

Para el análisis energético, se ha calculado el SOC en porcentaje de cada una de las baterías, como se puede observar en la *figura 4.2* para la batería de plomo, en la *figura 4.3* para la batería de  $\text{LiFePO}_4$ , y en la *figura 4.4* para la batería propuesta. Para ello, se ha calculado los amperios hora de descarga, los amperios hora de carga y su acumulado. De esta manera, relacionando los amperios hora acumulados entre la capacidad de la batería se obtiene el SOC estimado. Los cálculos justificativos que se han realizado para poder obtener estos resultados se pueden encontrar en el punto 1.4.3 en el capítulo 1.4 de este trabajo fin de grado.

Batería de Litio ferrofosfato				
Cargas(min)	Ah Descarga	Ah carga	Ah acumulado	%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
60	0	100	100	100%
60	0	100	100	100%
60	0	100	100	100%
0	20	0	80	80%
20	13	33	100	100%
0	20	0	80	80%
0	20	0	60	60%
45	5	75	100	100%
0	20	0	80	80%
0	20	0	60	60%
0	20	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
0	0	0	40	40%
245				

Figura 4. 3 – Baterías LiFePO<sub>4</sub>

A continuación, en la *figura 4.5* se muestra el SOC obtenido de cada una de las baterías en función a las horas diarias. En esta gráfica se puede observar las cargas puntuales que se realizan en cada batería de litio y qué porcentaje de carga lleva la batería en determinadas horas.

Como se ha mencionado en el subcapítulo 1.2.2 las baterías de litio permiten las cargas puntuales, por lo que, para dichas cargas y las cargas durante la noche en las baterías de litio, se ha propuesto utilizar diferentes cargadores. Para la batería de LiFePO<sub>4</sub> se utiliza durante la noche un cargador de 0,25C y para las cargas puntuales uno de 0,75C. Y para las baterías de LTO se ha propuesto utilizar un cargador de 1C para las horas de descanso y un cargador de 10C para horario laboral, lo que nos permitirá cargar la batería de manera casi inmediata.

Batería Titanato de Litio				
Cargas(min)	Ah Descarga	Ah carga	Ah acumulado	%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
60	0	40	40	100%
0	20	0	20	50%
10	17	67	40	100%
0	20	0	20	50%
8	17	53	40	100%
10	17	67	40	100%
0	20	0	20	50%
5	18	33	35	88%
0	20	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
0	0	0	15	38%
93				

Figura 4. 4 – Batería LTO

En la *figura 4.2* se puede observar que la batería de plomo se pone a cargar a las 2:00 h de la mañana para que, al comienzo del turno de trabajo, a las 6:00 h de la mañana, la batería esté 100% cargada, esto se debe a que las baterías de plomo tienen una tasa de carga de 0,2C. En la *figura 4.3* se muestra que la batería de  $\text{LiFePO}_4$  se pone a cargar solo 2h antes del comienzo del turno con el cargador de noche, y la batería de LTO, como se observa en la *figura 4.4* se pone a cargar una hora antes del turno de trabajo. Esto último se puede contemplar en la gráfica, *figura 4.5*, donde se muestra el comportamiento de cada batería, lo rápido que son sus cargas, y, dependiendo de su capacidad, el tiempo que tardan en descargarse.

Hay que destacar que la batería de plomo no consigue terminar el turno de trabajo con un porcentaje de batería adecuado, ya que, la descarga total provoca daños en la batería y hace que los componentes eléctricos de la carretilla o transpaleta dejen de funcionar. Esto puede provocar importantes daños a la máquina y puede dejar de funcionar de forma óptima. Todos los fabricantes de baterías recomiendan mantener la profundidad de descarga (DOD) por debajo del límite máximo del 100%. Idealmente, se recomienda un 80% de DOD o menos.

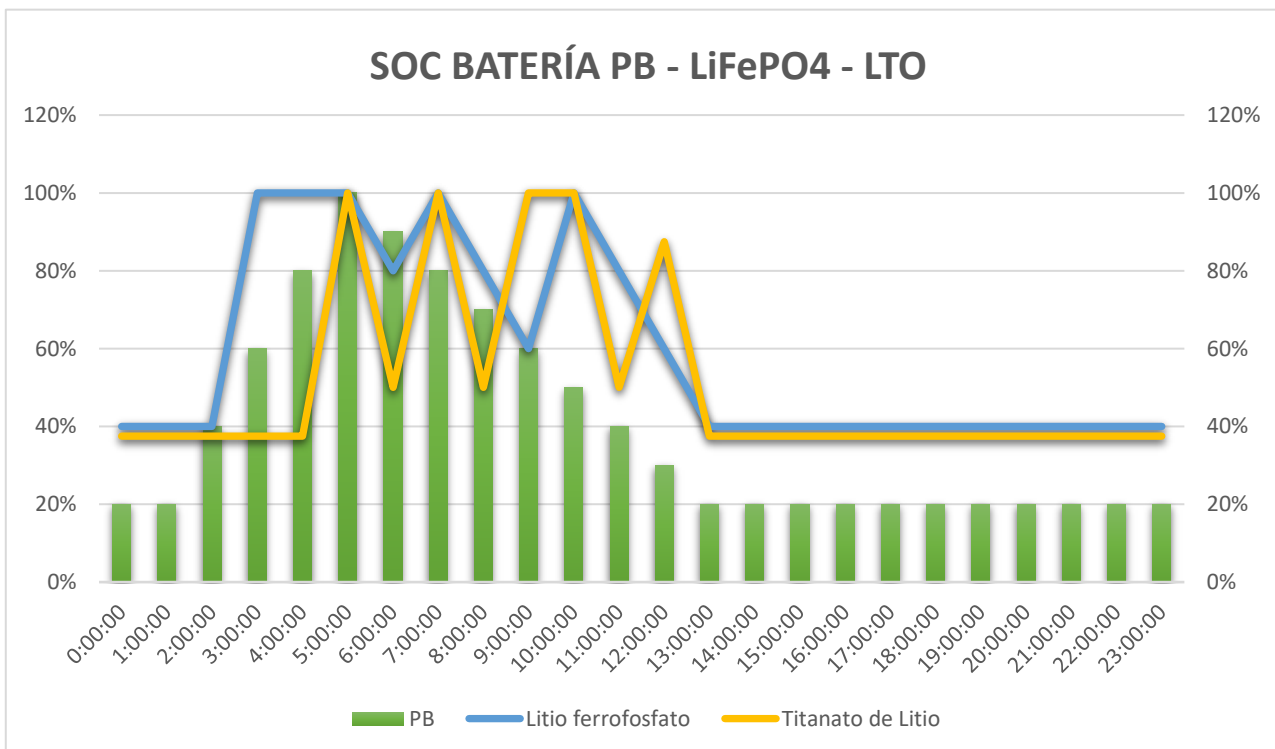


Figura 4. 5-SOC baterías

#### 4.2 Viabilidad económica

En cuanto a la viabilidad económica de la batería, en la siguiente *figura 4.6* se recogen todos los materiales utilizados y sus gastos, donde sale un precio final de inversión en la fabricación de la batería de 2.296,99€ y un precio de venta de 3.284,70€. Esto último, puede variar según la inversión de la empresa, sus ventas y sus gastos, aquí se ha considerado un 40% de ganancia sobre el coste de fabricación.



<b>Presupuesto</b>	2.296,99 €
<b>Precio final de la batería</b>	3.284,70 €
Envolvente	300,00 €
Tapa	100,00 €
Armaflex	12,10 €
Contrapeso	417,89 €
Soporte ventilador	50,00 €
Ventilador	13,06 €
Calefactor	184,46 €
Soporte celdas	17,22 €
Celdas	834,90 €
Pasamuros 4 u	18,47 €
Soporte electrónica	30,00 €
Cableado	25,00 €
BMS	180,00 €
Tornillería	10,00 €
Pletinas	43,90 €
Conectores	60,00 €
Gastos indirectos	68,91 €

Figura 4. 6 - Presupuesto

Para el cálculo de la viabilidad económica, se ha tenido en cuenta la eficiencia del tipo de celda, los ciclos de vida y el consumo de cada una de las distintas baterías. Se ha calculado el precio para una carga, para una carga completa considerando la eficiencia de la batería, y, el precio de la batería. Teniendo en cuenta el precio de las cargas se ha calculado el coste que supondría cada 1000 ciclos de la batería, y en los primeros ciclos se ha añadido el precio de la inversión de la batería. En la siguiente *figura 4.7*, se observa los precios por carga y ciclos de dichas baterías considerando el precio de la luz de la *figura 4.8*.

Los cálculos justificativos de la obtención de estos datos se recogen en el capítulo 1.4 de este trabajo de fin de grado, en el subcapítulo 1.4.4

Celdas	PB	LIFEP04	LTO
Eficiencia de carga	60%	94%	98%
Ciclos de vida	1500	5000	30000
Consumo (Kwh)	4,8	2,56	1,012
Precio para una carga	0,66432 €	0,35430 €	0,14006 €
Precio para una carga completa	0,93005 €	0,37556 €	0,14286 €
Precio de la batería	1.180,41 €	2.009,52 €	3.000,00 €
<b>Precio según ciclos</b>			
100	1.273,41480 €	2.047,07622 €	3.014,28620 €
200	186,00960 €	75,11245 €	28,57240 €
300	279,01440 €	112,66867 €	42,85860 €
400	372,01920 €	150,22490 €	57,14481 €
500	465,02400 €	187,78112 €	71,43101 €
600	558,02880 €	225,33734 €	85,71721 €
700	651,03360 €	262,89357 €	100,00341 €
800	744,03840 €	300,44979 €	114,28961 €
900	837,04320 €	338,00602 €	128,57581 €
1000	930,04800 €	375,56224 €	142,86202 €
1100	1.023,05280 €	413,11846 €	157,14822 €

Figura 4. 7 – Consumo y precios de las baterías

<b>Precio de la luz</b>	
0,13840 €	/Kwh

Figura 4. 8 – Precio de la luz

Teniendo en cuenta los resultados, se obtiene finalmente la gráfica de la *figura 4.9* donde se refleja la evolución del precio de cada una de las baterías a lo largo del tiempo.

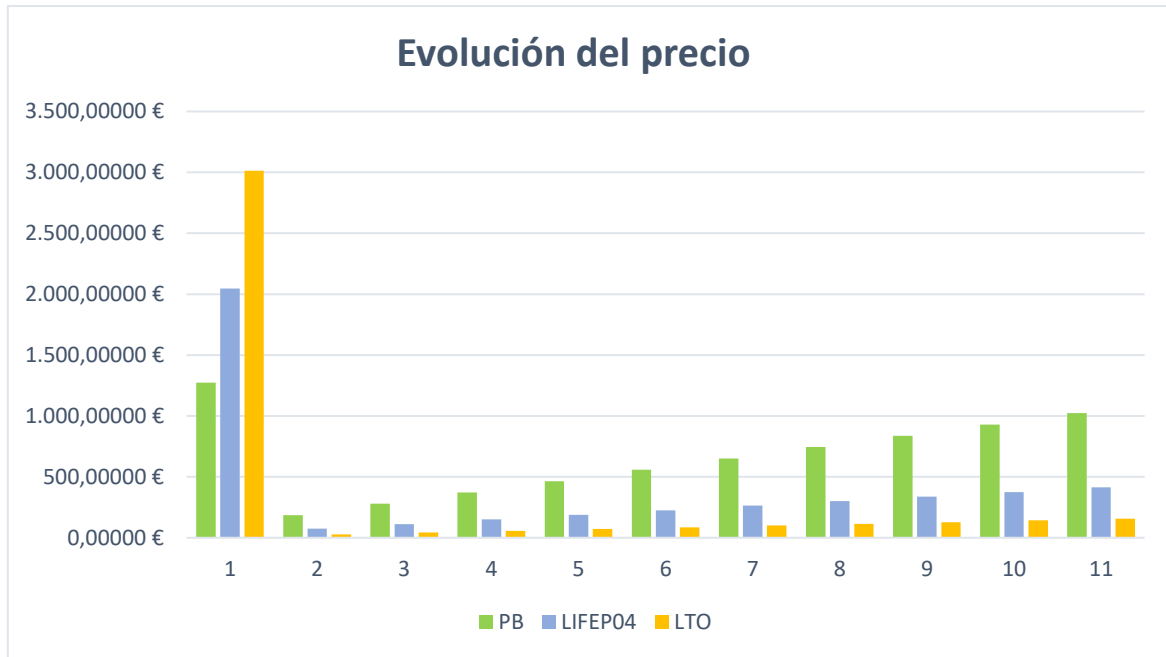


Figura 4. 9 – Estudio económico de las baterías

### 4.3 Resultados

Si se analizan los datos obtenidos en las gráficas, en primer lugar, se puede observar que las baterías Li-Ion poseen grandes ventajas frente a las baterías tradicionales.

En cuanto a la viabilidad energética, en la *figura 4.5*, se muestra una gran ventaja en las baterías de litio debido a la posibilidad de cargas puntuales en periodos de descanso dentro del turno laboral. En cambio, las baterías de plomo no permiten esta función, por lo que, el funcionamiento de la máquina puede verse interrumpido si anteriormente no se ha cargado la batería a su máxima capacidad y como consecuencia verse en la obligación de detener la actividad. Esto último podría causar daños colaterales a la producción y a la labor de la empresa.

Por otro lado, las baterías de Li-ion poseen una mayor eficiencia que las de plomo-ácido, ya que, consiguen alcanzar la demanda descrita por la máquina con una menor capacidad.

En cuanto a la viabilidad económica, en la *figura 4.9*, se puede observar que la inversión inicial en la compra de una batería de Li-ion es mucho más alta que la adquisición de una

batería de plomo, pero, si tenemos en cuenta el consumo de cada una de las baterías y el precio actual de la luz, se puede destacar en la gráfica como a lo largo de los ciclos de vida, las baterías de litio resultan más económicas, sobre todo las de LTO. Se debería considerar la elección de la batería de plomo siempre que las condiciones de trabajo sean de uso reducido o puntual, ya que resulta más económico y puede beneficiar al comprador. Por ese motivo, en este TFG se realizó la hoja de cálculo con la posibilidad de variar la actividad de la máquina y determinar mediante los resultados obtenidos qué batería sería más conveniente. En la *figura 4.1* y *figura 4.2* se reflejan los apartados a editar.

Cabe destacar, que las baterías de Li-ion no requieren de ningún tipo de mantenimiento, en cambio, las baterías de plomo-ácido deben ser rellenadas con agua ocasionalmente. Esto último les añade un coste extra a las baterías de plomo-ácido.

## 5. CONCLUSION

Desde el punto de vista medioambiental, con el desarrollo de esta nueva batería de Li-ion se ha conseguido una gran ventaja frente a la preocupación mundial actual, y es que éstas resultan ser menos contaminantes que las utilizadas habitualmente.

Desde el punto de vista tecnológico, gracias a las celdas LTO de Li-ion utilizadas que nos permiten realizar cargas puntuales, se puede conseguir un mayor número de cargas por turno de trabajo, pudiendo llegar a ser 10 veces más rápidas que las de  $\text{LiFePO}_4$  y 20 veces más rápidas que las de plomo-ácido. Esto último, es una problemática actual de los vehículos eléctricos, ya que, no pueden obtener una carga instantánea como los vehículos convencionales de combustión, lo cual se está intentado desarrollar en la actualidad y estas baterías son una buena apuesta para conseguir solucionarla.

Por otro lado, debido a que los ciclos de vida de las baterías de LTO son mucho mayores que las mencionadas anteriormente, estas nos ofrecen una mayor vida útil. Además, las baterías de Li-ion poseen una mayor eficiencia y capacidad en un espacio menor.

Desde el punto de vista económico, aunque la inversión inicial en una batería de LTO es mucho mayor, en cambio, considerando los ciclos de vida y su consumo de electricidad,

resulta ser más económica a medio largo plazo. Por otro lado, cabe destacar que, desde este punto de vista, dependiendo del uso que se le vaya a dar a la máquina puede resultar más rentable adquirir una batería de plomo por su bajo precio. En cambio, como se ha analizado en este trabajo de fin de grado y se ha expuesto anteriormente, se puede concluir que las baterías de Li-ion son la mejor opción.

Desde el punto de vista de la aplicación industrial, hay que destacar que las celdas de LTO han resultado ser la mejor opción para la industria de frío, ya que su composición química no es tan inestable térmicamente comparadas con otro tipo de celdas, y cumplen con la corriente de salida deseada de 200A con una capacidad de 40 Ah.

Desde el punto de vista técnico, podemos decir que en este trabajo se han conseguido realizar un diseño completo en 3D adaptado a una aplicación real, como son las baterías de las “transpaletas eléctricas”. Además, se ha cumplido con las condiciones de diseño que se habían planteado a priori, incluso para una masa objetivo de 222 kg que hace de contrapeso al vuelco del apartado y un volumen ocupado igual que la batería original. Además, se ha tenido en cuenta su proceso de fabricación real y se han definido las etapas de montaje del mismo, lo que refuerza todavía más la autenticidad del diseño.

Para acabar y como punto destacable para una mejora en un futuro quiero resaltar que, tras haber realizado este diseño, he podido darme cuenta de que la batería diseñada podría tener espacio suficiente para añadir varias celdas más y que esto permite montar celdas adicionales en paralelo a las disponibles. Este tipo de montaje aumentaría la capacidad nominal de la batería manteniendo el voltaje, lo que reduciría el número de recargas puntuales en una jornada de trabajo de 8 horas. Como, por ejemplo, modificando el soporte de las celdas y el diseño del soporte del ventilador podríamos ser capaces de añadir tres celdas más que, conectadas en paralelo, supondrían unos 120 Ah más de capacidad nominal, a los 40 Ah ya disponibles. Aumentar esta capacidad nominal podría suponer un aumento de la autonomía de las baterías en torno a 6 horas, lo que podría llegar a cubrir una jornada laboral completa de 8 horas.