

Ameer Hamza Ullah Kousar

Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por Dr. Jonathan Fernández Hée**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Ameer Hamza Ullah Kousar

Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por Dr. Jonathan Fernández Hée
ÍNDICE**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Índice

1	Memoria	1
1.1	Objeto.....	1
1.2	Alcance	1
1.3	Antecedentes.....	2
1.3.1	Selección del vehículo eléctrico.....	2
1.3.2	Características de la batería de diseño.....	2
1.3.3	Baterías eléctricas.....	3
1.4	Normas y referencias	4
1.4.1	Disposiciones legales y normas.....	4
1.4.2	Programas de cálculo.....	4
1.4.3	Plan de gestión de calidad aplicado.....	4
1.4.4	Bibliografía.....	4
1.4.5	Otras referencias	6
1.5	Definiciones y abreviaturas	6
1.6	Requisitos de diseño	8
1.7	Análisis de soluciones.....	8
1.7.1	Alternativas del tipo de celda electroquímica.....	8
1.7.2	Alternativas del sistema de gestión térmica de la batería	12
1.7.3	Alternativas de la carcasa mecánica	15
1.8	Resultados finales	17
1.8.1	Selección de la celda electroquímica.....	17
1.8.2	Cálculo de celdas para formar módulos	18
1.8.3	Conexión de las celdas y módulos.....	20
1.8.4	<i>Battery Mangement System</i> (BMS).....	23
1.8.5	Electrónica de control y diseño del sistema de protección	27
1.8.6	Diseño del sistema de refrigeración.....	36
1.8.7	Diseño de la carcasa	51
1.8.8	Especificaciones y manual de montaje de la batería	59
2	Anexos.....	63
2.1	Documentación inicial.....	63
2.1.1	Ficha técnica de la batería de la moto SILENCE S01	63
2.2	Cálculos	69
2.2.1	Matriz de priorización.....	69
2.2.2	Variables de medición del BMS	71

2.2.3	Homologación ECE-R100	74
2.3	Otros documentos	76
2.3.1	Ficha técnica Samsung 50E.....	76
2.3.2	Ficha técnica del BMS DALY	98
2.3.3	Ficha técnica resistencia de precarga	119
2.3.4	Ficha técnica de los fusibles	120
2.3.5	Ficha técnica de los contactores	122
3	Planos	123
4	Presupuesto.....	124

Ameer Hamza Ullah Kousar

Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por Dr. Jonathan Fernández Hée
MEMORIA**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Índice

1	Memoria	1
1.1	Objeto.....	1
1.2	Alcance	1
1.3	Antecedentes.....	2
1.3.1	Selección del vehículo eléctrico	2
1.3.2	Características de la batería de diseño	2
1.3.3	Baterías eléctricas.....	3
1.3.3.1	Conexión de las celdas	3
1.3.3.2	Otros elementos de las baterías eléctricas	3
1.4	Normas y referencias.....	4
1.4.1	Disposiciones legales y normas	4
1.4.2	Programas de cálculo	4
1.4.3	Plan de gestión de calidad aplicado	4
1.4.4	Bibliografía.....	4
1.4.5	Otras referencias	6
1.5	Definiciones y abreviaturas	6
1.6	Requisitos de diseño.....	8
1.7	Análisis de soluciones	8
1.7.1	Alternativas del tipo de celda electroquímica	8
1.7.1.1	Alternativas según la química	8
1.7.1.2	Alternativas según la forma.....	11
1.7.2	Alternativas del sistema de gestión térmica de la batería.....	12
1.7.2.1	Sistema de refrigeración activo.....	13
1.7.2.2	Sistema de refrigeración pasivo.....	14
1.7.2.3	Elección de sistema de refrigeración	14
1.7.3	Alternativas de la carcasa mecánica.....	15
1.7.3.1	Carcasas de metales.....	15
1.7.3.2	Carcasas de plástico	16
1.7.3.3	Elección del tipo de carcasa	16
1.8	Resultados finales	17
1.8.1	Selección de la celda electroquímica.....	17
1.8.1.1	Matriz de priorización	17
1.8.1.2	Selección de la celda	17
1.8.2	Cálculo de celdas para formar módulos.....	18

1.8.3 Conexión de las celdas y módulos	20
1.8.4 <i>Battery Mangement System</i> (BMS)	23
1.8.4.1 Tipos de BMS.....	23
1.8.4.2 Balanceo de las celdas.....	24
1.8.4.3 Conexión del BMS	25
1.8.5 Electrónica de control y diseño del sistema de protección.....	27
1.8.5.1 Diseño del circuito.....	28
1.8.5.2 Cálculo de la resistencia de precarga	29
1.8.5.3 Elección de fusibles	32
1.8.5.4 Selección de contactores.....	33
1.8.5.5 Elección de conectores	34
1.8.5.6 Cargador e Inversor	35
1.8.5.7 Diseño final de la batería con el circuito de protección.....	35
1.8.6 Diseño del sistema de refrigeración	36
1.8.6.1 Definición de la geometría en Ansys.....	36
1.8.6.2 Definición del mallado	37
1.8.6.3 Simulación del sistema de refrigeración.....	38
1.8.6.4 Análisis de resultados de la condición de contorno de calor generada	41
1.8.6.5 Análisis de resultados de la condición de contorno de celdas a 60 °C	46
1.8.6.6 Conclusión.....	46
1.8.7 Diseño de la carcasa	51
1.8.7.1 Primera simulación	52
1.8.7.2 Segunda simulación.....	55
1.8.7.3 Conclusión.....	58
1.8.8 Especificaciones y manual de montaje de la batería	59
1.8.8.1 Especificaciones de la batería	59
1.8.8.2 Manual de montaje de la batería	59

1 Memoria

1.1 Objeto

En este Trabajo Fin de Máster se procederá con el diseño y desarrollo de la batería de una motocicleta eléctrica. La adopción acelerada de vehículos eléctricos en sustitución de aquellos tradicionales de combustión interna exige soluciones innovadoras y eficientes en el almacenamiento de energía, siendo la batería el componente central en este contexto.

Los objetivos específicos para el diseño de una batería son los siguientes:

- Definir con precisión las características principales de la batería: voltaje, potencia, corriente de descarga, tamaño de la batería, etc.
- Selección de celdas que cumplan con estos requisitos.
- Diseño de un sistema eficiente de conexión de las celdas para formar módulos.
- Identificar y especificar los sensores necesarios para el monitoreo de los parámetros clave necesarios para el control de la batería.
- Elección de componentes eléctricos necesarios para el diseño, incluyendo relés, sensores de aislamiento, y demás elementos críticos.
- Elección de componentes mecánicos esenciales, como el sistema de refrigeración y la carcasa para asegurar la robustez y seguridad del sistema.
- Desarrollar un diseño de la batería y planos, la *distribution box* para el diseño 3D se tratará como una caja negra debido a las conexiones.

Sin embargo, es importante destacar que la programación de *software* destinada a los distintos dispositivos involucrados en la fabricación de la batería no forma parte de los objetivos de este proyecto. Esta exclusión se fundamenta en la especialización y complejidad inherente a dicha tarea, que demanda habilidades específicas y una asignación considerable de recursos temporales.

Además, no se llevará a cabo la simulación del circuito eléctrico de protección ni su diseño en 3D, esto implica que tampoco se tendrán en cuenta los componentes que intervienen en este para los otros apartados del proyecto, como, por ejemplo, el presupuesto.

Por último, es importante mencionar que la batería deberá cumplir con ciertas homologaciones dependiendo del uso que se le vaya a dar. Sin embargo, estas homologaciones no se realizarán en el contexto de este proyecto, ya que podrían requerir la implementación de un proyecto completo dedicado exclusivamente a este fin. No obstante, se llevará a cabo un análisis de tensiones por elementos finitos para evaluar si la batería puede soportar el peso requerido para su uso previsto.

La decisión de no abordar estos apartados no implica subestimar su importancia; al contrario, reconoce la necesidad de colaboración interdisciplinaria y la participación de expertos para optimizar el rendimiento y la funcionalidad integral de la batería.

1.2 Alcance

El alcance de proyecto es el diseño de una batería de una motocicleta SILENCE S01 de 51 V y 5,6 kWh. El proyecto supone una inversión inicial de 14.989,73 €.

1.3 Antecedentes

1.3.1 Selección del vehículo eléctrico

En la fase preliminar del proyecto, se emprende un análisis detallado para determinar el vehículo eléctrico más apropiado para el diseño de la batería. Este proceso de selección se basa en la consideración cuidadosa de factores cruciales, como el tiempo disponible para la ejecución del proyecto y la complejidad asociada con la fabricación de baterías destinadas a diferentes tipos de vehículos eléctricos, como automóviles, motos, patinetes, etc.

La decisión de focalizar el diseño en una moto eléctrica se fundamentó debido a varios elementos. En primer lugar, al contemplar el limitado tiempo para la ejecución del proyecto, se reconoce que el diseño eléctrico para un automóvil sería notablemente más complejo. La magnitud de celdas, módulos, sensores, relés y otros componentes en el diseño de un automóvil demanda un período de implementación considerablemente más extenso y no se podría enfocar en otras partes de la batería.

Por otro lado, al optar por el diseño de una batería destinada a una motocicleta eléctrica, se aprovecha la oportunidad de no solo abordar el diseño eléctrico en el tiempo disponible, sino también incorporar aspectos adicionales como la refrigeración de la batería, así como la parte de la carcasa y su diseño. Estos elementos integrales, que no serían viables en el caso de un automóvil debido a su complejidad, pueden ser contemplados y desarrollados de manera más efectiva en el contexto de un vehículo más pequeño.

1.3.2 Características de la batería de diseño

Una vez hecho esto, se escoge un modelo de moto de unas de las marcas más importantes a nivel nacional, esta marca es SILENCE y concretamente el modelo escogido es el S01 para el diseño de la batería.

Este modelo tiene un motor es 100 % eléctrico con una potencia nominal de 7000 W y es capaz de alcanzar una velocidad máxima de 95 km/h. La autonomía de la moto oscila los 137 km [1]. En el apartado *1.6 Requisitos de diseño* se pueden observar más en detalle las características de esta motocicleta.



Figura 1. Moto SILENCE modelo S01 con su batería [2].

1.3.3 Baterías eléctricas

Las baterías son fundamentales para el almacenamiento de energía, se componen de celdas que constituyen la unidad básica de su estructura. Estas celdas almacenan energía en forma química y la convierten en energía eléctrica cuando se conectan a un circuito. En su núcleo, cada celda tiene un ánodo, usualmente compuesto por materiales como el grafito, que actúa como el polo negativo; y un cátodo, que constituye el polo positivo y puede estar compuesto por óxidos metálicos u otros materiales dependiendo del tipo de batería.

El espacio entre el ánodo y el cátodo se rellena con un electrolito, una sustancia que facilita el movimiento de iones entre los electrodos durante los procesos de carga y descarga. Esta interacción química es esencial para el funcionamiento de la batería.

1.3.3.1 Conexión de las celdas

Estas celdas individuales pueden conectarse en serie, una tras otra, para aumentar el voltaje total de la batería. Además, las conexiones en paralelo se utilizan para expandir la capacidad de almacenamiento de energía. La configuración específica de estas conexiones se ajusta según las necesidades de la aplicación.

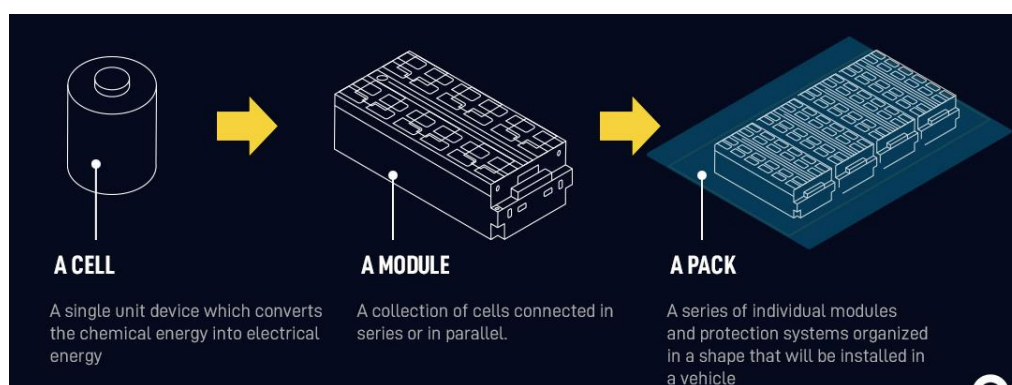


Figura 2. Definición celda, módulo y pack de baterías [3].

1.3.3.2 Otros elementos de las baterías eléctricas

Las baterías están compuestas por otros varios elementos clave, los cuales desempeñan funciones específicas:

- Sistema de Gestión de Baterías (BMS, *Battery Management System*): El BMS se presenta como un controlador electrónico integral que supervisa y administra todas las operaciones vinculadas al rendimiento de la batería. Además, el BMS puede incluir componentes electrónicos independientes, ubicados a nivel de celda o módulo, encargados de supervisar la temperatura y el voltaje de las celdas.
- Sensores: dispositivos que miden parámetros clave como la temperatura y la corriente, proporcionando información crucial para el funcionamiento óptimo.
- Componentes eléctricos necesarios para el diseño seguro de la batería.
- Elementos de Refrigeración: sistemas que disipan el calor generado durante la operación, evitando el sobrecalentamiento.
- Carcasa protectora: envoltura externa que resguarda todos los componentes internos, proporcionando un entorno seguro para el funcionamiento de la batería.

1.4 Normas y referencias

1.4.1 Disposiciones legales y normas

Normas:

- UNE 157001 Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

Homologaciones:

- ESE-R100 Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en relación con los requisitos específicos del grupo motopropulsor eléctrico.

1.4.2 Programas de cálculo

Para poder llevar a cabo el proyecto se han utilizado principalmente los programas Microsoft Excel, Ansys CFD, Autodesk Inventor y AutoCAD.

1.4.3 Plan de gestión de calidad aplicado

Este apartado no se aplica en el presente trabajo.

1.4.4 Bibliografía

[1] eScooterEco, "Batería Silence", Disponible en: <https://www.escootereco.es/product-page/bateriaa-silence>. Accedido el 30 de enero de 2024.

[2] Motos Eléctricas Valencia, "Silence S01", Disponible en: <https://motoselectricasvalencia.com/motos/silence-s01/>. Accedido el 30 de enero de 2024.

[3] Grepow, "What is a Lithium-ion Battery Cell, Battery Module, and Battery Pack?", Grepow Blog, Disponible en: <https://www.grepow.com/blog/what-is-a-lithium-ion-battery-cell-battery-module-and-battery-pack.html>. Accedido el 01 de febrero de 2024.

[4] Wikipedia, "Batería de plomo y ácido," Wikipedia, Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_plomo_y_%C3%A1cido. Accedido el 4 de febrero de 2024.

[5] Wikipedia, "Batería de níquel-cadmio," Wikipedia, Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_n%C3%ADquel-cadmio. Accedido el 4 de febrero de 2024.

[6] D. Delgado Esteban y D. Moríñigo Sotelo, "Diseño y montaje de un banco de ensayos de baterías de iones de litio para la realización de prácticas docentes", p. 12.

[7] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, pp. 72-74.

[8] J. Hamel Fonseca, "Celdas, pilas y baterías de ion litio: una alternativa para...", Universidad del Valle – Cochabamba.

[9] D. Delgado Esteban y D. Moríñigo Sotelo, "Diseño y montaje de un banco de ensayos de baterías de iones de litio para la realización de prácticas docentes", p. 13.

[10] AutoCasion, "Pila de hidrógeno," AutoCasion Diccionario, Disponible en: <https://www.autocasion.com/diccionario/pila-de-hidrogeno>. Accedido el 8 de febrero de 2024.

[11] Movilidad Eléctrica, "Samsung presenta nuevas celdas de baterías", Movilidad Eléctrica, Disponible en: <https://movilidadelectrica.com/samsung-presenta-nuevas-celdas-baterias/>. Accedido el 29 de febrero de 2024.

[12] Dim Formación Mecánica, "Formatos de celdas para baterías: tipo pouch", Dim Formación Mecánica, Disponible en: <https://dimformacionmecanica.com/formatos-de-celdas-para-baterias-tipo-pouch/>. Accedido el 29 de febrero de 2024.

[13] Etekware, "Prismatic Lithium-ion Rechargeable Battery Cells", Etekware, Disponible en: <https://etekware.com/es/product/prismatic-lithium-ion-rechargeable-battery-cells/>. Accedido el 29 de febrero de 2024.

[14] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 116.

[15] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 117.

[16] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 123-124.

[17] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 125.

[18] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 128.

[19] R. Huang, Z. Li, W. Hong, Q. Wu y X. Yu, "Experimental and numerical study of PCM thermophysical parameters on lithium-ion battery thermal management," Department of Energy Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310027, China, p. 3.

[20] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 133.

[21] Electromaps, "Batería de coche eléctrico: tipos y características," Electromaps Blog, Disponible en: <https://www.electromaps.com/es/blog/bateria-coche-electrico-tipos-caracteristicas>. Accedido el 26 de marzo de 2024.

[22] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 135.

[23] DHgate, "Factory Supply 12V 60Ah/70Ah Battery Pack," DHgate, Disponible en: <https://es.dhgate.com/product/factory-supply-12v-60ah-70ah-battery-pack/631168739.html>. Accedido el 26 de marzo de 2024.

[24] SAMSUNG SDI Co., Ltd, "Lithium-ion Rechargeable Cell, INR21700-50E," Datasheet.

[25] BateriasLiFePO4, "BMS y balanceadores," BateriasLiFePO4, Disponible en: <https://www.bateriaslifepo4.com/bms-y-balanceadores/#:~:text=DALY%20BMS,y%20hasta%20500A%20de%20intensidad>. Accedido el 15 de marzo de 2024.

[26] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, pp. 92-96.

[27] EngineersGarage, "Understanding Battery Management Systems," EngineersGarage, Disponible en: <https://www.engineersgarage.com/understanding-battery-management-systems/>. Accedido el 26 de marzo de 2024.

[28] J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA, p. 105.

[29] MejorSolar, "Cómo y por qué hacer la precarga de condensadores en un inversor," MejorSolar, Disponible en: <https://mejorsolar.com/como-y-por-que-hacer-la-precarga-de-condensadores-en-un-inversor>. Accedido el 30 de marzo de 2024.

[30] B. Munari y A. Schner, "How to Design a Precharge Circuit for Hybrid and Electric Vehicle Applications," Technical White Paper, Sensata Technology.

[31] Cetronic, "Descripción del producto," Cetronic, Disponible en: <https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.js?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=999019003&cPath=928>. Accedido el 8 de abril de 2024.

[32] Adler, "EV automotive and charger fuse links AE7 EV fuse.

[33] Albright, "SU280 Single Pole Single Throw Normally Open (Part of the SU Series).

[34] AliExpress, "Descripción del producto," AliExpress, Disponible en: [Cable recto IEC 320 de 5 piezas y 10 piezas, enchufe de CA C13, C14, 10A, 250V, recableado eléctrico negro, conector de alimentación macho y hembra de 3 pines \(aliexpress.com\)](https://www.aliexpress.com/item/32971811888.html). Accedido el 10 de abril de 2024.

[35] Amazon, "Descripción del producto," Amazon, Disponible en: <https://www.amazon.es/Bateria-Conector-Inversor-Terminales-Autom%C3%B3vil/dp/B0C2PX5LFF>. Accedido el 10 de abril de 2024.

[36] Wikipedia, "Computational fluid dynamics," Wikipedia, Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics. Accedido el 24 de abril de 2024.

[37] OpenFOAM, "Guide to k-epsilon turbulence model," OpenFOAM Documentation, Disponible en: <https://www.openfoam.com/documentation/guides/latest/doc/guide-turbulence-ras-k-epsilon.html>. Accedido el 24 de abril de 2024.

[38] G. Zhao, X. Wang y H. Zhang, "A design optimization study of an air-cooling battery thermal management system for electric vehicles.

[39] H. Popp, N. Zhang, M. Jahn, M. Arrinda, S. Ritz, M. Faber, D.U. Sauer, P. Azais y I. Cendoya, "Ante-mortem analysis, electrical, thermal, and ageing testing of state-of-the-art cylindrical lithium-ion cells."

[40] J.P. Holman, "Heat Transfer," 10th ed., McGraw-Hill Education, Jan. 13, 2009.

1.4.5 Otras referencias

J. Warner, "The Handbook of Lithium-Ion Battery Pack Design: Chemistry, Components, Types and Terminology", XALT Energy, Midland, MI, USA.

1.5 Definiciones y abreviaturas

- Densidad energética [Wh/kg]: Esta medida cuantifica la cantidad de energía que una batería puede almacenar y suministrar por kilogramo. En esencia, indica la capacidad de la batería para contener energía en forma de kilovatios por hora (kWh).
- Capacidad de la batería: La capacidad de una batería puede evaluarse tanto en kilovatios por hora (kWh) como en amperios por hora (Ah). Esta medida refleja la cantidad de energía en amperios hora (Ah) que la batería puede suministrar o aceptar.
- Potencia [W/kg] y eficiencia [%]: La potencia de una batería, medida en vatios por kilogramo (W/kg), es su capacidad para proporcionar energía durante el proceso de descarga. Cuanto mayor sea la potencia, mejor será el rendimiento del vehículo eléctrico, ya que puede proporcionar una mayor potencia de salida. Además, la eficiencia, expresada como un porcentaje, indica la relación entre la energía eléctrica suministrada durante la descarga y la energía almacenada inicialmente en la batería.

Una mayor eficiencia implica una pérdida de energía menor durante el proceso de descarga.

- Ciclo de vida: Este término se refiere al número total de ciclos completos de carga y descarga que una batería puede soportar a lo largo de su vida útil. Cuantos más ciclos pueda realizar una batería de forma fiable, mayor será su durabilidad y vida útil. En resumen, un ciclo de vida más largo indica una batería más resistente y confiable a lo largo del tiempo.
- Tasa C: Es un concepto importante en el campo de las baterías y se utiliza para describir la tasa de carga o descarga de una batería en relación con su capacidad nominal. Se expresa como un múltiplo de la capacidad de la batería y se utiliza para determinar la corriente de carga o descarga máxima que se puede aplicar de manera segura.
- Sistema de Gestión de Batería (BMS): Un conjunto de hardware y software diseñado para supervisar, controlar y proteger una batería durante su vida útil. El BMS monitorea parámetros como la temperatura, el voltaje y la corriente, y puede tomar decisiones para optimizar la eficiencia y la seguridad de la batería.
- Autonomía: La distancia máxima que un vehículo eléctrico puede recorrer con una carga completa de batería. La autonomía de un vehículo eléctrico depende de factores como la capacidad de la batería, la eficiencia del vehículo y las condiciones de conducción.
- Ciclo de Recarga/Descarga: La secuencia de carga y descarga bajo un nivel y régimen de descarga establecidos.
- Vida Útil: El número de ciclos que una batería puede soportar bajo condiciones particulares.
- Autodescarga: La pérdida de capacidad de la batería mientras está en circuito abierto.
- Resistencia Interna: El valor de resistencia que caracteriza el circuito equivalente de una batería, dependiente de factores como el estado de carga, temperatura y salud de la batería.
- Estado de Carga (SOC, %): Una medida de la carga disponible en la batería expresada como un porcentaje de su capacidad total cuando está completamente nueva.
- Profundidad de Descarga (DOD, %): La cantidad de amperios-hora extraídos de una batería completamente cargada, expresada como un porcentaje de su capacidad nominal.
- Estado de Salud (SOH): Refleja el impacto del envejecimiento en la vida útil restante de la batería, expresado como un porcentaje de la capacidad original.
- Estado de Operatividad (SOF): La habilidad o capacidad actual de la batería para cumplir con sus funciones, principalmente evaluada en su capacidad para proporcionar la potencia necesaria en el arranque, influenciada por el estado de salud, carga y temperatura.

1.6 Requisitos de diseño

Se requiere el diseño de una batería de una moto SILENCE modelo S01 para comercializarla en España, con un voltaje nominal de 51 V, una corriente de descarga de 250 A y una capacidad nominal de 5,6 kWh. Las dimensiones máximas de la caja de batería tienen que ser, la altura de 270 mm, la anchura de 400 mm y la profundidad de 540 mm [1].

El diseño requiere una selección cuidadosa de las celdas que cumplan con estos requisitos específicos. Para asegurar un rendimiento óptimo, es esencial diseñar un sistema de conexión eficiente que forme módulos de manera uniforme.

Asimismo, se deben identificar y especificar los sensores necesarios para monitorear los parámetros clave que afectan el rendimiento y la seguridad de la batería. La elección de componentes eléctricos, como relés y sensores de aislamiento, debe realizarse con atención para garantizar la integridad del sistema. Además, se consideran componentes mecánicos esenciales, como el sistema de refrigeración, suponiendo que se va a comercializar en España, y la carcasa, para garantizar la robustez y seguridad del diseño.

Por último, se debe desarrollar un diseño detallado respaldado por cálculos y planos precisos de la batería. Este enfoque riguroso garantiza que la batería cumpla con los requisitos de rendimiento, fiabilidad y seguridad necesarios para su aplicación específica.

1.7 Análisis de soluciones

1.7.1 Alternativas del tipo de celda electroquímica

Para poder escoger la celda electroquímica se analizarán las baterías más utilizadas en los vehículos eléctricos y dependiendo de las ventajas y desventajas que presenten estas, se escogerá la más adecuada para este proyecto a partir de una matriz de priorización. También se decidirá la forma de esta celda.

1.7.1.1 Alternativas según la química

1.7.1.1.1 Baterías de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido, han perdurado como una de las opciones más prevalentes en diversas industrias. Su atractivo principal radica en la utilización de plomo, un material económicamente accesible, tanto para la placa positiva como para la negativa de la batería, generando alrededor de 2,3 voltios por celda [4].

En cuanto a sus ventajas, destaca su coste asequible, lo cual las hace económicamente viables, especialmente en comparación con tecnologías más avanzadas. Además, su versatilidad las convierte en una elección común en una amplia variedad de aplicaciones, desde sistemas de respaldo de energía hasta vehículos automotores. Asimismo, el plomo utilizado en estas baterías es altamente reciclable, facilitando la gestión ambiental al final de su vida útil [4].

No obstante, presentan desventajas importantes. Su menor densidad de energía se traduce en un mayor peso y tamaño en comparación con tecnologías más modernas, lo cual puede limitar su aplicación en situaciones donde la eficiencia espacial sea crucial. Adicionalmente, las baterías de plomo-ácido tienden a tener una vida útil más corta en comparación con opciones más avanzadas, y son sensibles a las variaciones de temperatura, con operaciones a temperaturas elevadas que pueden resultar en un deterioro significativo de su vida útil y un aumento de la autodescarga. En consecuencia, la elección de estas baterías debe considerar cuidadosamente las necesidades específicas y las condiciones de operación [4].

1.7.1.1.2 Baterías de níquel-cadmio

Las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) surgieron como una alternativa en la mitad del siglo XX y han desempeñado un papel destacado en diversas aplicaciones. Su diseño distintivo utiliza cadmio en el ánodo e hidróxido de níquel en el cátodo, conformando un sistema electroquímico eficiente.

En cuanto a las ventajas, estas baterías exhiben una notable versatilidad al operar en un amplio rango de temperaturas y mantener una buena capacidad de corriente de descarga. Su durabilidad y la capacidad para manejar múltiples ciclos de carga y descarga sin degradación significativa las han convertido en elecciones sólidas para aplicaciones que requieren rendimiento estable y resistencia [5].

Sin embargo, las desventajas también deben considerarse. La presencia de cadmio en estas baterías, siendo un metal tóxico, plantea preocupaciones medioambientales significativas. Este factor ha llevado a la disminución de su uso, especialmente en entornos donde se busca minimizar el impacto ambiental. Además, en comparación con tecnologías más recientes como las baterías de ion de litio, las Ni-Cd presentan una densidad de energía inferior, limitando su aplicación en dispositivos que requieren eficiencia espacial y peso reducido [5].

1.7.1.1.3 Baterías de níquel-metal hidruro

Las baterías de níquel-metal hidruro (Ni-MH) representan una evolución significativa con respecto a las baterías de níquel-cadmio, adoptando una composición que utiliza una aleación de metal hidruro, que incluye elementos como titanio, níquel y zirconio, como ánodo, y el hidróxido de níquel como cátodo. Este diseño electroquímico ha propiciado su creciente adopción en diversas aplicaciones.

En términos de ventajas, las baterías Ni-MH exhiben una mayor densidad de energía en comparación con sus predecesoras, las baterías de níquel-cadmio. Esta mejora de capacidad las posiciona como una fuente de energía más eficiente. Además, cabe destacar que las Ni-MH son consideradas más respetuosas con el medio ambiente al no contener cadmio, un metal tóxico presente en las baterías de níquel-cadmio [6].

Sin embargo, estas baterías no están exentas de limitaciones. Aunque superan a las Ni-Cd en densidad de energía, aún se encuentran por debajo de las baterías de ion de litio en este aspecto. Asimismo, experimentan una autodescarga más rápida en comparación con tecnologías más recientes, lo que puede influir en su rendimiento durante periodos prolongados de almacenamiento [6].

1.7.1.1.4 Baterías de iones de litio

Las baterías de iones de litio (Li-ion) han emergido como líderes en el ámbito de las baterías recargables, gracias a su avanzada química que emplea iones de litio durante los procesos de carga y descarga.

Esta tecnología se destaca por su alta densidad de energía, proporcionando una cantidad significativa de energía en relación con su tamaño y peso, lo que las convierte en la elección preferida para dispositivos electrónicos portátiles y vehículos eléctricos. Además, las baterías Li-ion exhiben una baja tasa de autodescarga y tienen una mayor cantidad de ciclos de carga y descarga en comparación con tecnologías más antiguas, lo que resulta en una vida útil prolongada. [7]

A pesar de estas ventajas, las baterías de iones de litio enfrentan desafíos, siendo el costo uno de ellos debido a su producción y diseño sofisticados. Esta característica puede influir en el precio final de los dispositivos que las incorporan. Asimismo, las Li-ion son sensibles a condiciones extremas de temperatura, y su rendimiento y seguridad pueden verse afectados por exposición a temperaturas elevadas o bajas. [8]

1.7.1.1.5 Baterías de litio polímero

Las baterías de litio polímero (Li-Po) han marcado un avance significativo en la tecnología de baterías recargables al adoptar un diseño flexible y delgado. Este tipo de baterías utiliza un electrolito gelificado en lugar de una estructura de celdas rígidas, lo que les confiere una mayor flexibilidad en términos de forma y tamaño. Esta característica innovadora ha llevado a su amplia adopción en dispositivos delgados y livianos como teléfonos inteligentes, tabletas y dispositivos portátiles.

Su principal ventaja reside en el diseño flexible, siendo ideal para dispositivos con requisitos variados de forma y tamaño. La delgadez y ligereza de las Li-Po las convierten en una elección popular para dispositivos portátiles donde la eficiencia del espacio y el peso son esenciales. Además, al igual que las baterías de iones de litio, las Li-Po ofrecen una alta densidad de energía, proporcionando un rendimiento potente en un formato compacto [9].

No obstante, presentan desafíos, como una vida útil potencialmente más corta en comparación con las baterías de iones de litio tradicionales. Además, aunque son menos propensas a la autodescarga que las baterías de níquel, suelen tener una tasa de autodescarga más alta que las baterías de iones de litio estándar. También, el costo de producción puede ser más elevado debido a la tecnología avanzada y al electrolito gelificado. Estas baterías no son comúnmente utilizadas en vehículos eléctricos, la razón principal radica en las preocupaciones de seguridad asociadas con su potencial riesgo de explosión o incendio [9].

1.7.1.1.6 Pila de combustible de hidrógeno

Las pilas de combustible de hidrógeno, basadas en la reacción electroquímica entre el hidrógeno y el oxígeno para generar electricidad y producir agua como subproducto, han sido consideradas una tecnología innovadora con ventajas significativas.

Su capacidad para proporcionar una fuente de energía limpia y eficiente, sin emisiones contaminantes aparte de vapor de agua, junto con una mayor densidad de energía y tiempos de recarga más rápidos en comparación con las baterías convencionales, las posiciona como una opción prometedora. Además, el hidrógeno utilizado como combustible es un recurso abundante [10].

Sin embargo, a pesar de estas ventajas, las pilas de combustible de hidrógeno enfrentan desafíos que han limitado su aplicación en vehículos eléctricos. La infraestructura de recarga de hidrógeno es limitada, dificultando su accesibilidad para los usuarios en comparación con las estaciones de carga de vehículos eléctricos. Problemas tecnológicos y logísticos relacionados con la producción, almacenamiento y transporte seguros del hidrógeno también han sido obstáculos. Además, a pesar de que la reacción principal genera solo agua, existen inquietudes sobre la producción y liberación de pequeñas cantidades de subproductos contaminantes [10].

1.7.1.2 Alternativas según la forma

Para seleccionar la celda más versátil de iones de litio, se investiga el mercado de estas celdas. Las características más importantes para seleccionar la celda son el voltaje nominal, la intensidad y la capacidad de la celda. Casi todas las distintas celdas que hay en el mercado tienen la relación tamaño-capacidad similar, es decir, a más capacidad más tamaño de la celda.

Las celdas de iones de litio se presentan en tres formas principales: cilíndricas, tipo bolsa (pouch) y prismáticas. Cada una tiene sus propias características y ventajas, pero en este proyecto nos centraremos en la forma cilíndrica y por qué se considera la opción preferida en muchos casos.

Las celdas cilíndricas son, como su nombre indica, tubos redondos sellados que contienen los componentes esenciales para generar energía. Estas celdas son comúnmente utilizadas en baterías recargables, como las que alimentan dispositivos electrónicos portátiles, vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía.



Figura 3. Celdas cilíndricas [11].

Una de las razones clave por las que las celdas cilíndricas son preferidas en muchos casos es su capacidad para proporcionar una alta densidad de energía. Esto significa que pueden almacenar una gran cantidad de energía en un espacio relativamente pequeño, lo que resulta crucial en aplicaciones donde el tamaño y el peso son factores críticos. Además, la disposición cilíndrica permite una mejor disipación del calor, lo que contribuye a una mayor eficiencia y vida útil de la batería.

Además de su eficiencia en términos de densidad de energía y gestión del calor, las celdas cilíndricas también son conocidas por su durabilidad y rendimiento consistente a lo largo del tiempo. Esto las hace ideales para aplicaciones donde la fiabilidad y la longevidad son aspectos fundamentales.

En contraste, las celdas tipo bolsa y prismáticas tienen sus propias ventajas, pero suelen ser más adecuadas para aplicaciones específicas que no requieren la misma combinación de densidad de energía, durabilidad y eficiencia térmica que ofrecen las celdas cilíndricas.

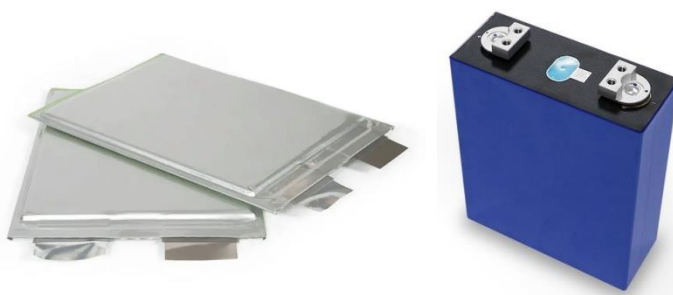


Figura 4 y 5. Celdas tipo bolsa y prismáticas, respectivamente [12] [13].

1.7.2 Alternativas del sistema de gestión térmica de la batería

La gestión térmica de una batería es básicamente la integración de algún mecanismo de intercambio de calor dentro del sistema de la batería para garantizar que las celdas de la batería se mantengan a una temperatura estable. Hay varias técnicas posibles para lograr este objetivo, aunque comúnmente implica la transferencia de calor a través de un medio alejado de la celda y fuera del conjunto de la batería.

La complejidad del sistema de gestión térmica normalmente depende de tres factores. El primer aspecto para tener en cuenta es el ciclo de trabajo bajo el cual funcionará el conjunto de baterías. El segundo factor para considerar es la ubicación geográfica donde se usará. Por último, el tercer factor es la propia composición de la celda.

Al descargar las celdas, estas generan calor que se transfiere por conducción al bus bar o a las láminas de níquel y otros componentes en contacto directo. La radiación de calor desde la celda a otros componentes no directamente conectados puede afectar a las celdas cercanas. Además, el calor generado por componentes como la electrónica también incide en las celdas si no se gestiona adecuadamente. Y hay dos tipos de refrigeración que se analizarán más adelante.

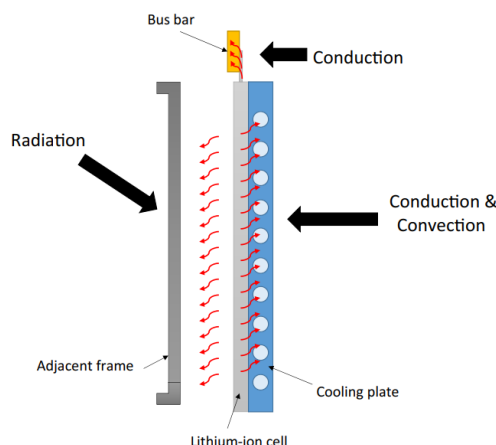


Figura 6. Esquema de las fuentes de calor de la batería [14].

Las celdas de iones de litio suelen funcionar óptimamente dentro de un rango de temperatura que va desde los 10 hasta los 35 °C. Aun así, la mayoría de las celdas de iones de litio seguirán operando en un rango operativo que va desde aproximadamente -20 °C hasta alrededor de 45 °C. En este rango de temperatura, no se anticipa una reducción en la vida útil de la batería durante su uso normal. No obstante, entre los -20 y 60 °C, se conoce como el rango de temperatura de supervivencia. Las bajas temperaturas aumentarían la impedancia dentro de la celda, lo que afectaría el flujo de iones y disminuiría la capacidad y el rendimiento. Por otro lado, por encima de los 60 °C, muchas celdas de iones de litio comienzan a mostrar signos de mayor inestabilidad [15].

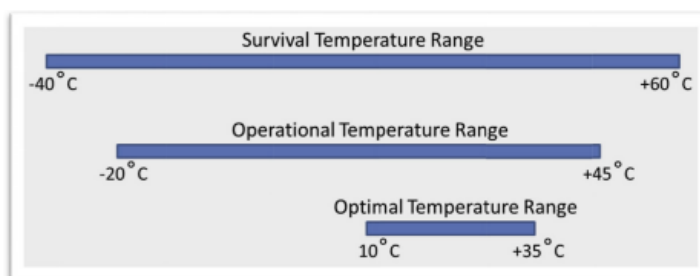


Figura 7. Rango de temperaturas de las celdas de iones de litio [15].

1.7.2.1 Sistema de refrigeración activo

El sistema de gestión térmica activa implica emplear un medio, ya sea aire, líquido o refrigerante, que se hace circular a través del conjunto de baterías y sobre las celdas para disminuir las temperaturas efectuando un trabajo. Los dos métodos más usuales son la refrigeración por aire, que utiliza aire enfriado dirigido a través de la batería y sobre las celdas y componentes electrónicos para reducir su temperatura, y la refrigeración líquida.

La refrigeración por aire generalmente implica la incorporación de un ventilador, conductos y placas de transferencia de calor de algún tipo. Sus ventajas radican en su relativa eficacia para adaptarse a cambios rápidos de temperatura y en su menor peso en comparación con un sistema de refrigeración líquida. Además, el flujo de aire enfriado circula directamente a través de las celdas. No obstante, las desventajas incluyen que el aire no resulta tan eficaz como el líquido como medio de enfriamiento. Además, dependiendo del diseño del flujo de aire, puede provocar que las celdas al inicio de este estén más frías que las celdas al final, ya que el aire pasa por las celdas iniciales [16].

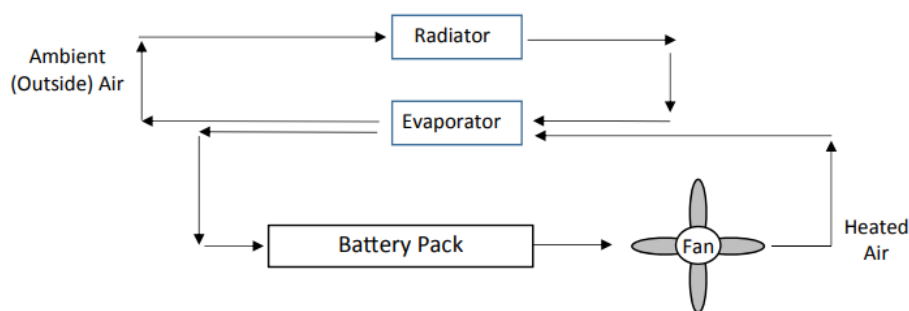


Figura 8. Esquema del sistema de refrigeración activo por aire [16].

El otro método común de gestión térmica activa es forzar un líquido, a menudo una mezcla de agua y glicol al 50/50 similar a la utilizada en la refrigeración del motor, a través de una serie de placas que se montan junto a las celdas. Este sistema implica un sistema de distribución de líquido que debe integrarse en el paquete, generalmente a través de una serie de mangueras e intercambiadores de calor. La ventaja del sistema de enfriamiento líquido es que es un medio bastante efectivo para transferir rápidamente el calor lejos de las celdas. También puede, con un elemento calefactor en el sistema, utilizarse para proporcionar líquido caliente con el fin de calentar la batería en climas fríos. Las desventajas son que tiende a ser un sistema más pesado (mayor masa) y siempre existe el riesgo de fugas en el paquete de baterías [17].

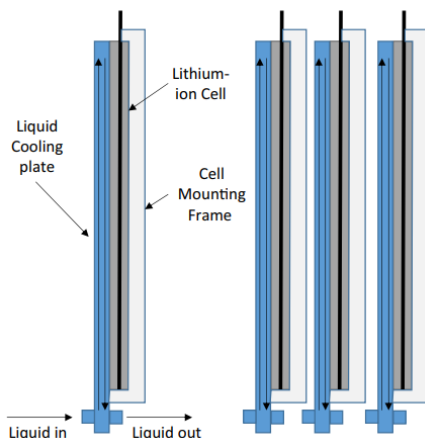


Figura 9. Esquema del sistema de refrigeración activo por agua [17].

1.7.2.2 Sistema de refrigeración pasivo

La gestión térmica pasiva es el proceso de controlar la temperatura de las celdas y la batería sin forzar aire, líquido u otro medio de enfriamiento en el paquete. Esto se puede lograr a través de varios métodos.

Con mayor frecuencia, esto se logra mediante el uso de carcasas de aluminio o metal que transfieren el calor de las celdas a una carcasa de estas carcasas. Esto permite que el calor se distribuya por todo el metal de la carcasa y se disipe en el medio ambiente.

Otro método de enfriamiento pasivo es diseñar el recinto del paquete con aletas de manera que, cuando el vehículo está en movimiento, el aire pase sobre estas aletas enfriando así el paquete.

También se puede emplear el método de enfriamiento pasivo a través del uso de un material de cambio de fase (PCM, *Phase Change Material*). Un PCM es un material que pasa por múltiples fases físicas cuando se calienta, generalmente de sólido a líquido. Sin embargo, esto es un poco incorrecto, ya que el PCM en realidad no se convierte en líquido, sino que sería más preciso decir que se ablanda. En estos diseños, el PCM es generalmente un bloque de material sólido, a menudo de cera y grafito, que se mecaniza o moldea con lugares para insertar las celdas. A medida que las celdas se calientan, el PCM absorbe el calor y lo dispersa por todo el PCM, haciendo que el material se ablande o se funda [18].

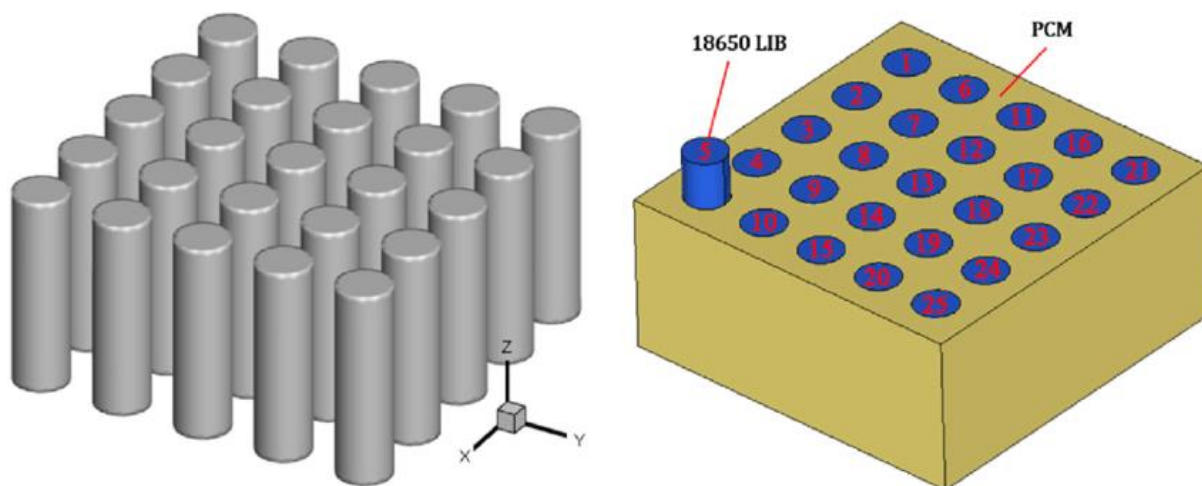


Figura 10. Sistema de refrigeración PCM [19].

El mayor beneficio de la gestión térmica pasiva radica en su costo, ya que no se requiere *hardware* adicional para enfriar el sistema y el costo será menor que un sistema de gestión térmica enfriado por aire o líquido. Las desventajas son que es lento para responder a aplicaciones de alta demanda y está limitado en su capacidad para enfriarse solo hasta la temperatura ambiente del aire.

1.7.2.3 Elección de sistema de refrigeración

Al tratarse de una batería pequeña, incluso se podría prescindir de sistema de refrigeración, pero igualmente se hará un estudio con Ansys CFD para ver si realmente será necesario este sistema o no. Se descarta, claramente, no utilizar sistemas refrigeración que necesiten sistemas de bombeo ya ocuparán bastante espacio y no interesa para este caso.

1.7.3 Alternativas de la carcasa mecánica

La carcasa de la batería emerge como un componente crucial en el diseño de vehículos eléctricos. Esta pieza no solo garantiza la integridad estructural y seguridad del sistema de almacenamiento de energía, sino que también desempeña un papel fundamental en la eficiencia y rendimiento del vehículo.

Una premisa fundamental respecto al empaquetado de baterías es la ausencia de un estándar en cuanto a su tamaño, especialmente en el caso de las baterías de iones de litio, y es improbable que esto cambie en un futuro próximo. Esta falta de uniformidad se justifica por la naturaleza específica de cada *pack* de baterías, diseñado meticulosamente para adaptarse a una o dos configuraciones de vehículos específicas, todas pertenecientes a un único fabricante.

Una razón adicional que dificulta la estandarización es que prácticamente todos los vehículos electrificados disponibles en el mercado en la actualidad son vehículos que originalmente fueron diseñados para funcionar con motores de combustión interna de gasolina o diésel. En estos casos, los fabricantes se enfrentan al desafío de encontrar y adaptar el espacio existente en el vehículo para alojar un sistema de baterías eléctricas.

Es esencial analizar aspectos como la resistencia a la vibración, los impactos y la interferencia electromagnética. Esto incluye evaluar si el sistema estará expuesto a zonas de choque en el vehículo o si debe soportar cargas de peso, así como garantizar la integridad de las conexiones y la protección contra posibles fallas prematuras.

En términos de diseño mecánico, se deben considerar cuidadosamente los materiales y estructuras utilizados para la carcasa y el módulo de las celdas. Esto implica seleccionar materiales que puedan resistir las condiciones ambientales y proporcionar la protección necesaria, al tiempo que se garantiza la eficiencia y la seguridad del sistema en su conjunto.

A continuación, se analizan los dos tipos de carcasas más utilizados en la elaboración de las baterías.

1.7.3.1 Carcasas de metales

Las carcasas de los módulos y los paquetes pueden estar diseñadas utilizando una variedad de materiales como plástico, acero, aluminio, fibra de vidrio o materiales compuestos. En la mayoría de los casos, se utiliza una combinación de estos materiales.

El acero ofrece ventajas considerables, como su alta resistencia y su costo relativamente bajo. No obstante, al utilizar una carcasa de acero, suele ser necesario incorporar soldaduras u otros elementos de sujeción, así como posiblemente estructuras adicionales de montaje para garantizar su resistencia. Esto implica un aumento en el tiempo de procesamiento del material y, como consecuencia, un incremento en los costos asociados.

Las carcasas de aluminio pueden fabricarse mediante técnicas de estampado o de fundición. Si bien el aluminio es más ligero que el acero, es posible que se requiera un espesor de material adicional para cumplir con los requisitos de resistencia, especialmente en piezas estampadas. Otro método de fabricación es la fundición a presión de aluminio, que puede ser costosa, pero ofrece una excelente resistencia, porosidad y calidad superficial [20].

Finalmente, en el diseño de las carcasas metálicas, se debe tener en cuenta la resistencia estructural. La determinación de la cantidad y tipo de refuerzo necesario debe realizarse mediante análisis estructurales utilizando herramientas como el análisis de elementos finitos, así como la gestión de impactos y vibraciones.

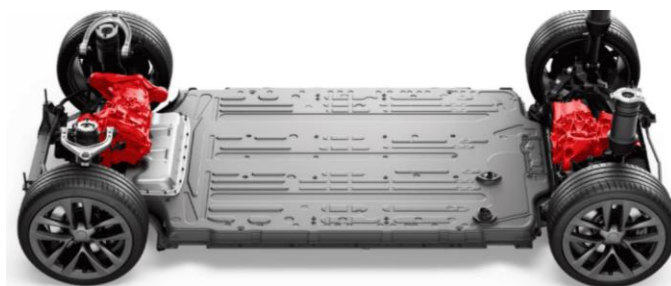


Figura 11. Baterías con carcasa de metales con función estructural [21].

1.7.3.2 Carcasas de plástico

Algunos sistemas de baterías más pequeños pueden optar por utilizar carcasas fabricadas de plástico, especialmente cuando la batería no requiere estructuras de soporte significativas, como en este caso. Por ejemplo, en ciertos tipos de baterías automotrices híbridas y de arranque-parada, la envoltura se limita a encerrar y proteger las celdas de iones de litio con mínimos requisitos de soporte estructural.

En lo que respecta a los plásticos y polímeros utilizados en las baterías, es importante considerar también su clasificación de retardante de llama. Es esencial asegurarse de que los materiales plásticos utilizados en el diseño sean no inflamables, especialmente para evitar que contribuyan a la combustión en caso de un sobrecalentamiento de las celdas de iones de litio. En este sentido, se pueden aplicar diferentes métodos de revestimiento o se pueden seleccionar plásticos específicos con propiedades retardantes de llama para garantizar la seguridad y la fiabilidad del sistema de baterías [22].



Figura 12. Baterías con carcasa de plástico con función no estructural [23].

1.7.3.3 Elección del tipo de carcasa

La elección del tipo de carcasa se hará una vez hecho el estudio del sistema de refrigeración. Ya que será crucial saber si es necesario o no este sistema a la hora de la elección de material. Además, también se tendrá en cuenta que la batería no tiene función estructural.

1.8 Resultados finales

1.8.1 Selección de la celda electroquímica

1.8.1.1 Matriz de priorización

Una vez analizadas detalladamente las ventajas y desventajas de las diversas baterías ampliamente utilizadas en vehículos eléctricos, se procede a la creación de una matriz de priorización. Esta matriz tiene en cuenta las baterías mencionadas, así como sus características más relevantes:

- Coste
- Densidad
- Ciclos de vida
- Seguridad
- Impacto medioambiental
- Velocidad de carga/descarga.

En el Anexo 2.2.1 *Matriz de priorización*, se presenta de manera detallada la elaboración de esta matriz. En la Tabla 1 se exponen los resultados obtenidos, donde la batería seleccionada para este proyecto es la de iones de litio. Esto se basa en una evaluación exhaustiva de todas las variables consideradas, destacando la idoneidad de las baterías de iones de litio en relación con los criterios de importancia establecidos.

Tabla 1. Resultados de la matriz de priorización.

	Peso (%)
Plomo-ácido	21 %
Níquel-cadmio	9 %
Níquel-metal hidruro	18 %
Iones de litio	27 %
Litio Polímero	17 %
Pila de hidrógeno	8 %

1.8.1.2 Selección de la celda

En este caso, la celda seleccionada ha sido *Samsung INR21700-50E*. Las características de esta celda son que es una celda de iones de litio, con un voltaje nominal de 3,6 V, con una corriente máxima de descarga de 9,8 A y una capacidad de 4900 mAh. Las dimensiones son, un diámetro de 21,25 mm y una longitud de 70,80 mm. Y el peso es de 69 g [24].

Tabla 2. Características de la celda seleccionada [24].

Variable	Valor
Voltaje nominal (V)	3,6
Corriente de descarga (A)	9,8
Capacidad (mAh)	4900
Capacidad (Wh)	17,6

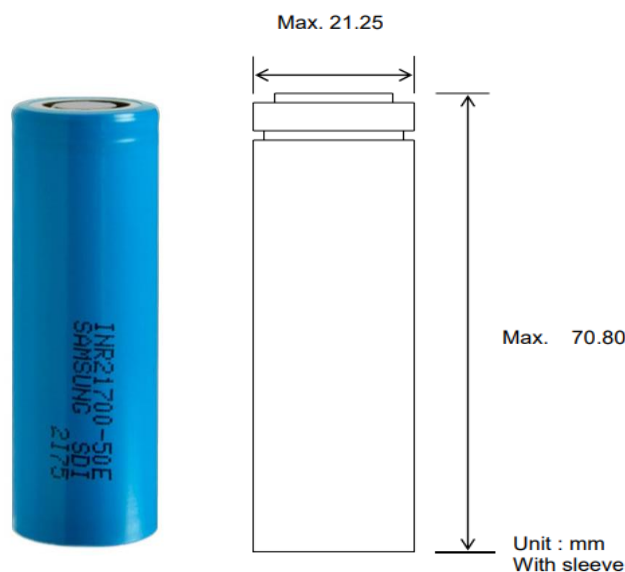


Figura 13. Dimensiones de la pila *Samsung INR21700-50E* [24].

Además, para las celdas se ha creado un término específico que relaciona la intensidad de descarga y carga de una celda con su energía almacenada, conocido como la tasa C.

Un ejemplo para comprender mejor este término es si contamos con una celda de 1 Ah y la descargamos con una intensidad de 1 A durante 1 hora, en ese caso podemos decir que estamos descargando a 1 C. Si contamos con la misma celda de 1 Ah y la descargamos a 0.5 A en ese caso estamos trabajando a 0,5 C, y tardará 2 horas. Si lo descargamos a 2 A en este caso tardará media hora en descargarse y estaríamos trabajando a 2 C.

En esta celda 4900 mAh son 1 C.

1.8.2 Cálculo de celdas para formar módulos

Las celdas se conectarán entre ellas para poder conseguir el voltaje nominal, la corriente de descarga y la capacidad necesaria para diseñar la batería. También se debe tener en cuenta que el *pack* de baterías debe tener unas dimensiones menores a 270 mm de altura, 400 mm de anchura y 540 mm de profundidad.

Aunque existen diversas fórmulas para facilitar los cálculos del tamaño del *pack* de baterías, destaca la Ley de Ohm como una de las más relevantes. Dado que el voltaje y la corriente son de las pocas variables que podemos medir directamente en una batería, por lo tanto, adquieren una importancia crítica en nuestros cálculos.

$$V=I \cdot R \tag{E.1}$$

Donde:

- V es el voltaje.
- I es la corriente.
- R es la resistencia.

Lo primero que debemos hacer es determinar cuántas celdas serán necesarias para cumplir con los requisitos básicos de voltaje y corriente del diseño del paquete. Comenzando con el voltaje del *pack* deseado, se puede calcular fácilmente el número de celdas necesarias en serie para lograr ese voltaje del sistema, con la ecuación E.2. Este voltaje es uno de los requisitos que tenemos del proyecto.

$$V_p/V_c = \text{número de celdas en serie} \quad (\text{E.2})$$

$$51/3,6 = 14,17 \text{ celdas en serie}$$

Donde:

- V_p es el voltaje del *pack* de batería.
- V_c es el voltaje de una celda.

Por lo tanto, según los requisitos se necesitan 51 V y la celda que se ha escogido tiene un voltaje de 3,6 V. Entonces con la ecuación anterior se puede determinar que el número de celdas mínimas en serie necesarias son de 15 celdas.

Luego para poder calcular el número de celdas en paralelo, se hace a partir de la capacidad y la corriente de descarga, que también son un requisito, siendo la capacidad de 5,6 kWh y la corriente de descarga. De la misma forma que antes, se calcula el número de celdas en paralelo con la ecuación E.3 teniendo en cuenta la capacidad y la ecuación E.4 teniendo en cuenta la corriente de descarga.

$$C_p/C_c = \text{número de celdas en paralelo} \quad (\text{E.3})$$

$$109,8 \text{ Ah}/4,9 \text{ Ah} = 22,41 \text{ celdas en paralelo}$$

Donde:

- C_p es la capacidad del *pack* de batería.
- C_c es la capacidad de una celda.

$$I_p/I_c = \text{número de celdas en paralelo} \quad (\text{E.4})$$

$$250 \text{ A}/9,8 \text{ A} = 25,51 \text{ celdas en paralelo}$$

Donde:

- I_p es la intensidad de descarga del *pack* de batería.
- I_c es la intensidad de descarga de una celda.

La capacidad de una celda es de 4900 mAh y la que necesitamos es de 5,6 kWh. Para tenerlo en las mismas unidades los 5,6 kWh se dividen por el voltaje de 51 V. Por lo tanto, la capacidad del *pack* de batería es de 109,8 Ah, esto dividiendo entre 4900 mAh se determina que el número de celdas mínimas en paralelo son 23 celdas.

Y para la intensidad de descarga del *pack* de batería tiene que ser de 250 A y la de una celda es de 9,8 A. Con estos valores el valor mínimo de celdas en paralelo tiene que ser de 26 celdas.

Por lo tanto, se necesitan, como mínimo, 26 celdas en paralelo y 15 celdas en serie, por lo tanto, siguiendo la nomenclatura, sería 15S26P (15 en serie y 26 en paralelo). Pero para decidir si estas celdas van a estar en único módulo o más depende de otros aspectos, como el sistema de supervisión y las dimensiones finales de la batería que se requieren. Estos se verán más adelante.

1.8.3 Conexión de las celdas y módulos

La conexión adecuada de las celdas de una batería eléctrica es un aspecto crucial en la elaboración de vehículos eléctricos. Donde los aspectos más importantes para tener en cuenta son la conexión de celdas, incluyendo la elección entre conexiones en serie o en paralelo, el uso de láminas de níquel y papel de cebada para aislamiento, así como la soldadura por puntos para garantizar una conexión robusta.

La decisión de conectar las celdas en serie o en paralelo depende de los requisitos de voltaje y capacidad de la batería final comentados anteriormente. En la conexión en serie, las celdas se conectan positivo a negativo, aumentando el voltaje total de la batería, mientras que la capacidad se mantiene constante. Por otro lado, en la conexión en paralelo, las celdas se conectan positivo a positivo y negativo a negativo, lo que aumenta la capacidad total de la batería mientras que el voltaje se mantiene constante.

En este caso se necesitan 15 celdas en serie y 26 en paralelo, pero el problema es que esto no cumple con las dimensiones de la caja de baterías. Por lo tanto, se tendrían que hacer dos módulos que luego se conectarían en paralelo. El problema es que no se recomienda conectar los módulos en paralelo, ya que la complejidad del control de la batería aumenta drásticamente. Entonces lo que se decide es hacer un solo módulo, pero poner una parte encima de la otra, donde abajo habrá 195 celdas y arriba las otras 195. Y esto quedaría como en la figura 15. Las dimensiones de los dos casos se pueden observar en los siguientes esquemas.

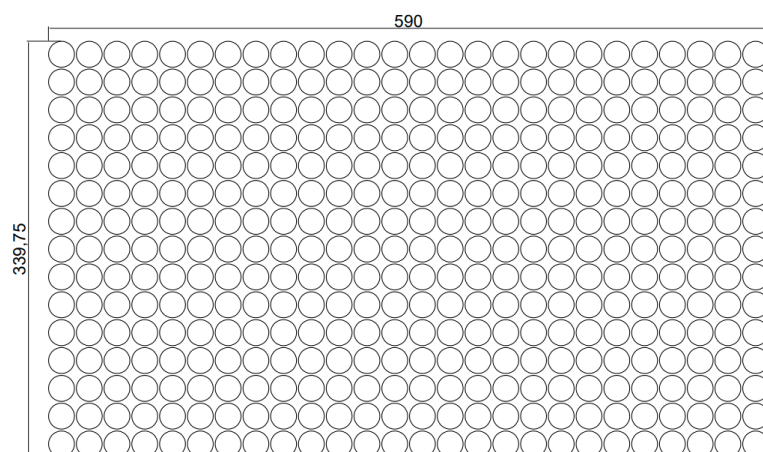


Figura 14. Dimensiones de módulo de 15 celdas en serie y 26 en paralelo en mm.

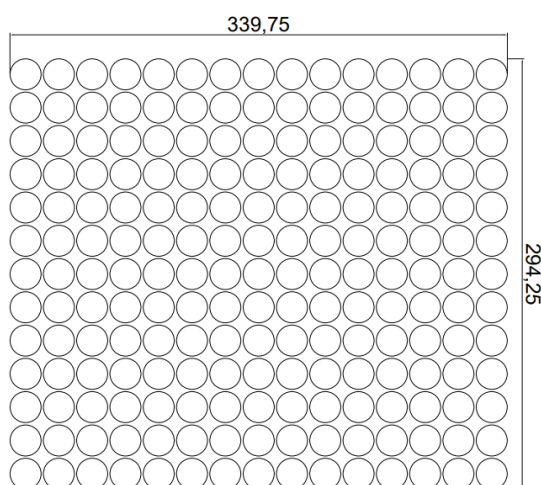


Figura 15. Dimensiones de módulo de 15 celdas en serie y 13 en paralelo en mm.

A continuación, se puede observar el diseño hecho con Autodesk Inventor de la colocación de las celdas en los soportes. Como se puede observar se pone una fila (en paralelo) de las celdas mirando el polo positivo hacia arriba y la siguiente fila mirando el polo positivo hacia abajo. Esto se debe a que se pueda realizar la conexión en serie de las celdas de manera sencilla. Lo que se observa en la siguiente figura es solo la parte inferior de la batería.

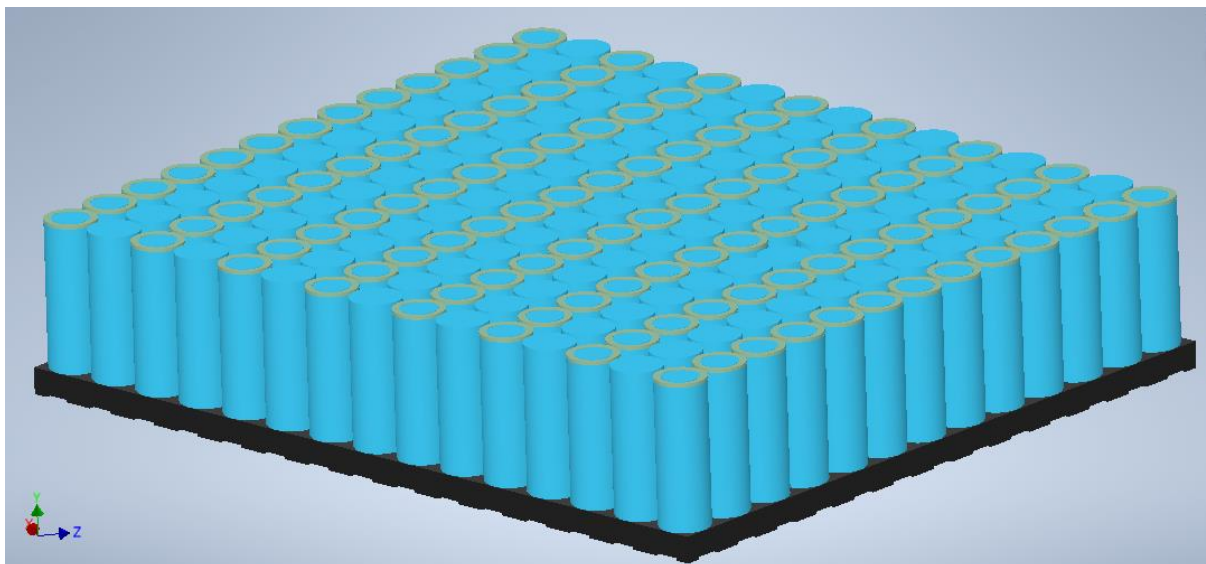


Figura 16. Diseño de la parte inferior de la batería con Autodesk Inventor.

Para realizar las conexiones entre las celdas se puede optar por dos formas distintas. Realizar mediante componentes mecánicos, como tornillos y tuercas. Esto permite la sustitución de celdas y el mantenimiento del módulo a lo largo de su vida útil, aunque existe el riesgo de que las conexiones mecánicas se aflojen con el tiempo, aumentando la resistencia y generando posibles fallos en la batería. O utilizar soldaduras por puntos para las interconexiones entre celdas, lo que reduce ligeramente los costos de materiales y proporciona una mayor fiabilidad a largo plazo. Sin embargo, esta opción conlleva el riesgo de que, en caso de fallo de una celda en un módulo con múltiples celdas, sea necesario reemplazar todo el módulo en lugar de una sola celda.

En este caso para conectar las celdas de forma segura y eficiente, se utilizan láminas de níquel y papel de cebada, además de la soldadura por puntos, esto se hace por el hecho de que la batería es pequeña y no sería tan costoso cambiar todo el módulo (ya que solo hay uno) y aseguramos una conexión de celdas segura. Las láminas de níquel se utilizan para conectar eléctricamente las celdas en serie o en paralelo, ya que el níquel es un material ideal debido a su conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión. Se coloca una lámina de níquel entre las celdas y se suelda con la soldadura por puntos para crear una conexión eléctrica sólida. El papel de cebada, también conocido como "*barley paper*", se utiliza como aislante entre los polos positivo y negativo de las celdas para proporcionar una capa adicional de aislamiento.

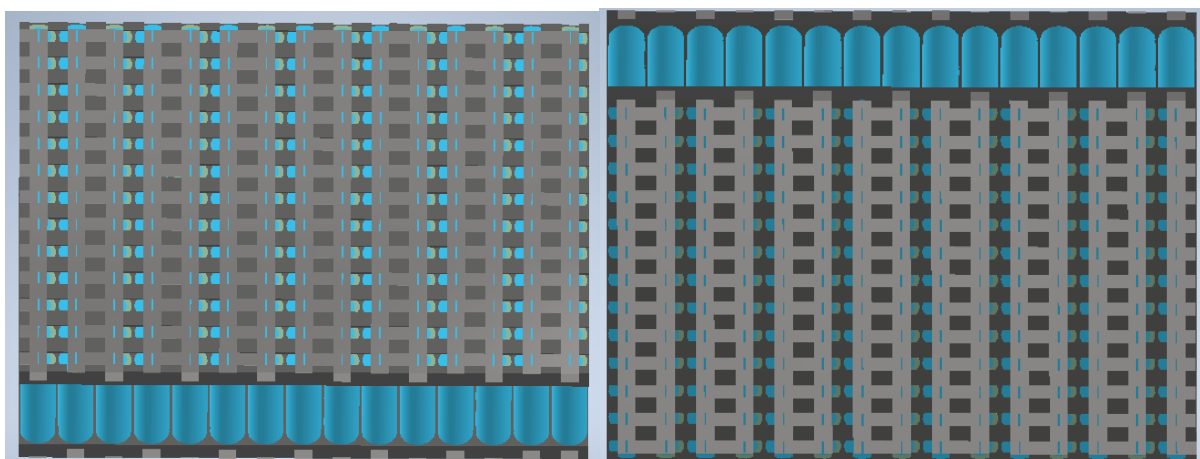


Figura 17. Diseño de la interconexión entre las celdas de la batería.

Luego conectando las celdas restantes en paralelo (la parte de arriba y abajo están conectadas por la parte trasera de la batería con láminas de níquel y separadas entre ellas por una lámina aislante epoxy) el diseño quedaría de la siguiente forma.

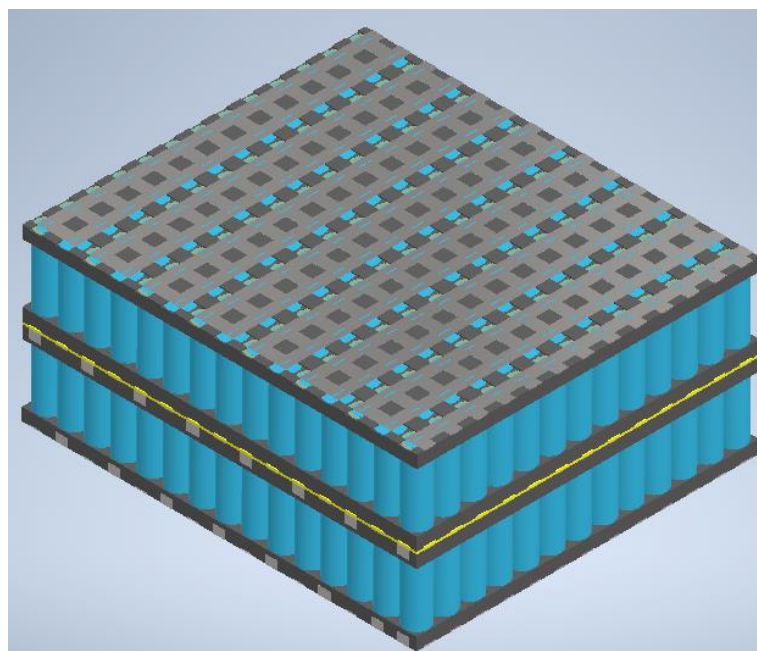


Figura 18. Diseño final de la interconexión entre las celdas.

En la tabla siguiente se muestran las características de cada módulo y de la batería entera.

Tabla 3. Características del módulo.

Variable	Módulo
Celdas	390
Voltaje nominal (V)	54
Corriente de descarga (A)	254,8
Capacidad (Ah)	127,4
Capacidad (kWh)	6,88
Peso (kg)	26,91

1.8.4 *Battery Management System (BMS)*

Un Sistema de Gestión de Baterías (BMS) es un sistema electrónico o circuito que supervisa la carga, descarga, temperatura y otros factores que influyen en el estado de una batería o paquete de baterías. Su objetivo principal es indicar de manera precisa el tiempo restante disponible para su uso. El BMS se emplea para controlar y preservar la salud y capacidad de una batería, asegurando un rendimiento óptimo y prolongando su vida útil.

Aclarar, que la capacidad de la batería no guarda relación alguna con la elección del BMS que debemos emplear para su gestión. La elección del BMS o de los contactores debe basarse en las exigencias de carga y descarga que planeamos imponer, desvinculándola de la capacidad total de la batería. Y como mínimo, este sistema debe proveer:

- Monitorización de voltaje (estado de carga, SOC).
- Vida útil de la batería y salud general (estado de salud, SOH).
- Monitorización de temperatura y condiciones (área de operación segura, SOA).

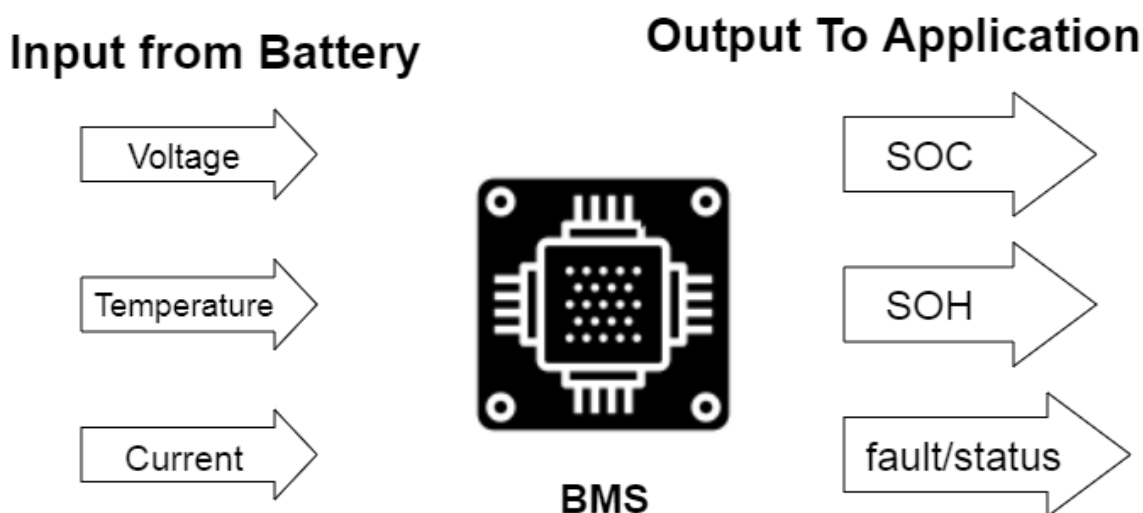


Figura 19. Esquema de la monitorización del BMS [25].

En el anexo 2.2.2 *Variables de medición del BMS*, se explica el cálculo de estos estados más detalladamente, pero como se ha definido en los objetivos anteriormente, no se hará la programación de estos.

1.8.4.1 Tipos de BMS

En el ámbito de los sistemas de gestión de baterías, se distinguen dos tipos fundamentales de topologías: el BMS centralizado y el BMS distribuido. La distinción principal entre ambos radica en la ubicación del *hardware*.

En el caso del BMS centralizado, tanto la placa de control principal como las placas de control de monitorización de celdas se encuentran ubicadas en una sola unidad, con arneses de cableado que se extienden a lo largo de la batería, conectando todas las celdas. Esta disposición minimiza la cantidad de *hardware* necesario, aunque aumenta la cantidad de cableado requerido en la batería [26].

Por otro lado, en la estructura del BMS distribuido, encontramos un controlador "anfitrión" o "maestro" situado de forma centralizada, junto con múltiples placas "esclavas" separadas encargadas de monitorizar las celdas, generalmente montadas directamente en las celdas o módulos. Este enfoque reduce la necesidad de cableado, ya que las placas esclavas tienden a estar conectadas de manera encadenada. No obstante, esta configuración tiende a incrementar el costo debido al mayor número de componentes de hardware requeridos [26].

A pesar de ello, el diseño del BMS distribuido se utiliza habitualmente para proporcionar una mayor funcionalidad y control dentro del sistema, dado que cada placa "esclava" controla únicamente un número limitado de celdas.

En el caso de esta batería solo hay un módulo, y normalmente los BMS pueden controlar directamente un solo módulo sin tener grandes problemas de complejidad de control. Por lo tanto, no se utilizarán las placas "esclavas" para este caso, se utilizará un sistema centralizado, donde el BMS escogido es de la marca DALY.

1.8.4.2 Balanceo de las celdas

Otras de las razones fundamentales para utilizar un BMS radica en que las celdas que conforman la batería no se cargan ni descargan simultáneamente. Esto se debe a que todas las celdas no poseen exactamente la misma capacidad y resistencia interna. Para contrarrestar esto, los BMS suelen incorporar un sistema de equilibrado de celdas, que puede ser pasivo o activo. La diferencia radica en que el equilibrado pasivo extrae energía de las celdas más cargadas, mientras que el activo transfiere la energía de las celdas más cargadas a las menos cargadas. Este proceso de equilibrado también se conoce como balanceo o ecualización. Balancear la carga y descarga de las celdas individuales aumenta significativamente la capacidad general, porque no solo está determinada por las celdas más débiles, además protege estas celdas más débiles, para que no se dañen, hagan cortocircuito o tengan fugas, lo que podría dañar toda la batería. Es crucial entender que un BMS no es lo mismo que un balanceador, ya que son conceptos distintos, aunque, por lo general, van de la mano.

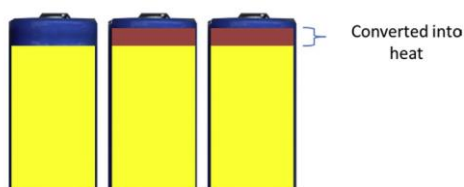


Figura 20. Representación del balanceo pasivo [26].

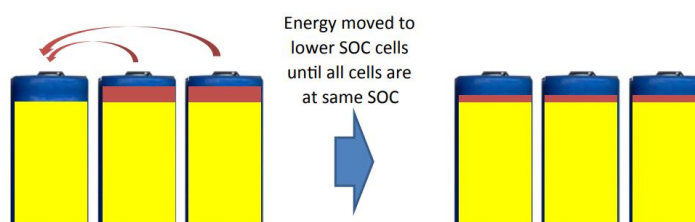


Figura 21. Representación del balanceo activo [26].

En este caso esto se puede programar con el BMS DALY el tipo de balanceo de celdas que se requiere, en este caso se utilizará el activo, ya que es la mejor forma de aprovechar la energía de las otras celdas. Por otro lado, al disipar la energía también implica que habrá un aumento de temperatura en la batería. Para este caso de las celdas de iones de litio, el voltaje de balanceo será 3,6 V i la temperatura para no quemarlas de 60 °C según las fichas técnicas.

1.8.4.3 Conexión del BMS

Entonces, para este caso se necesita un BMS que permita un corriente de descarga de 254,8 A y poder monitorizar el voltaje de 15 grupo de celdas en serie, es decir, 15S. Pero como se ha explicado antes, al tener un solo módulo se va a utilizar el sistema centralizado y el BMS de la marca DALY, concretamente de 300 A y su ficha correspondiente se puede ver en el anexo 2.3.2 *Ficha técnica del BMS DALY*.

A continuación, se puede observar un esquema de cómo se realiza la conexión del BMS, el módulo para poder realizar el balanceo de las celdas y monitorizar el voltaje.

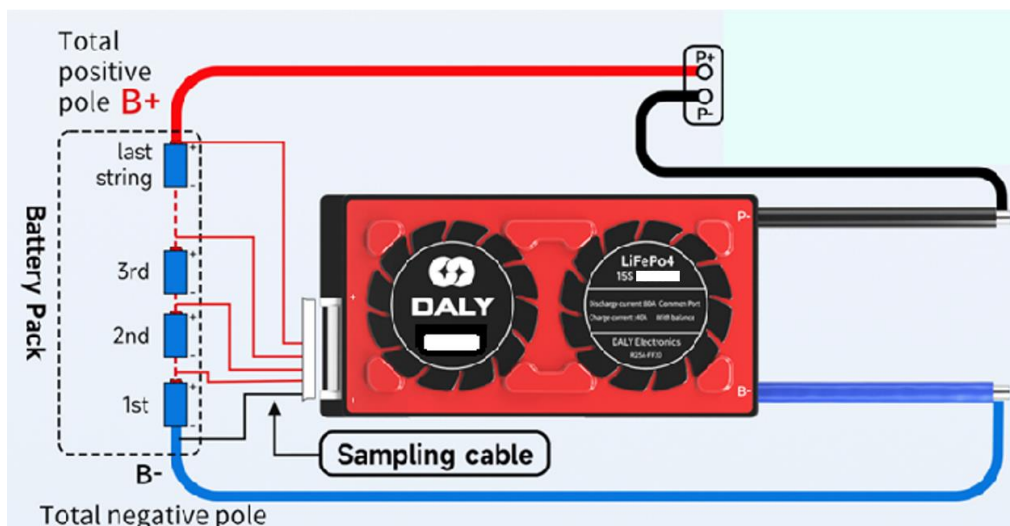


Figura 22. Esquema de conexión del BMS con las celdas [27].

Hay un total de 16 cables, donde el cable negro tiene que ir conectado al negativo principal y todos los otros cables rojos van conectados al positivo de cada grupo de celdas en serie. Estos cables se conectan con soldadura por puntos con las láminas de níquel de los positivos y negativos.

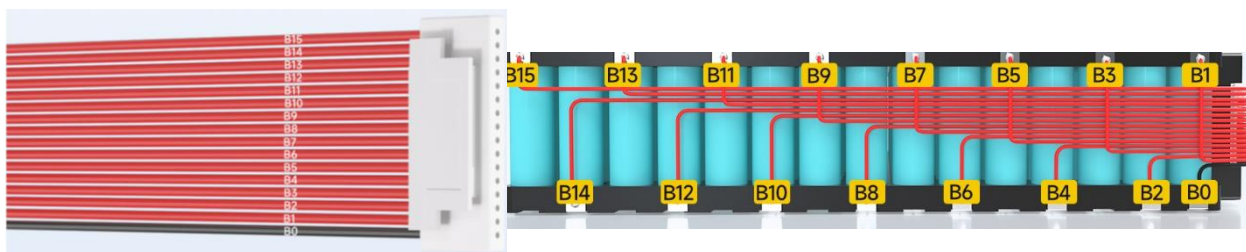


Figura 23. Esquema de conexión de los cables *sampling*.

1.8.4.3.1 Sensores de temperatura, voltaje y corriente

De la misma forma, en otra ranura se conectan los sensores de temperatura. El sensor de voltaje ya lo lleva incorporado el BMS que mide el voltaje junto al balanceo de las celdas. En este caso con el BMS ya viene un sensor de temperatura tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*). El número de sensores de temperatura que se quieren poner va en función de cómo se quiera controlar el sistema de refrigeración. A mayor sensor más real será la medida, pero también se aumentan los costes por el lado BMS para poder monitorizar tantos sensores de temperatura.

En este caso se pondrán siete sensores de temperaturas repartidos uniformemente en la batería, ya que es una batería pequeña y no hay tanto riesgo de sobrecalentamiento. Estos se ponen después de cada dos filas en paralelo, de esta forma se distribuye uniformemente para monitorear correctamente la temperatura.

Una vez ya tenemos el control de voltaje y temperatura, falta poder controlar la corriente. El sensor de corriente no viene incorporado dentro del BMS, es un sensor externo que se conecta al BMS. En este caso, el fabricante del BMS indica que el sensor de corriente compatible es el sensor de efecto Hall. Este sensor se pone en el polo negativo del circuito de control, que se verá en el siguiente apartado más detalladamente.



Figura 24. Sensor de temperatura NTC y de corriente de efecto Hall, respectivamente.

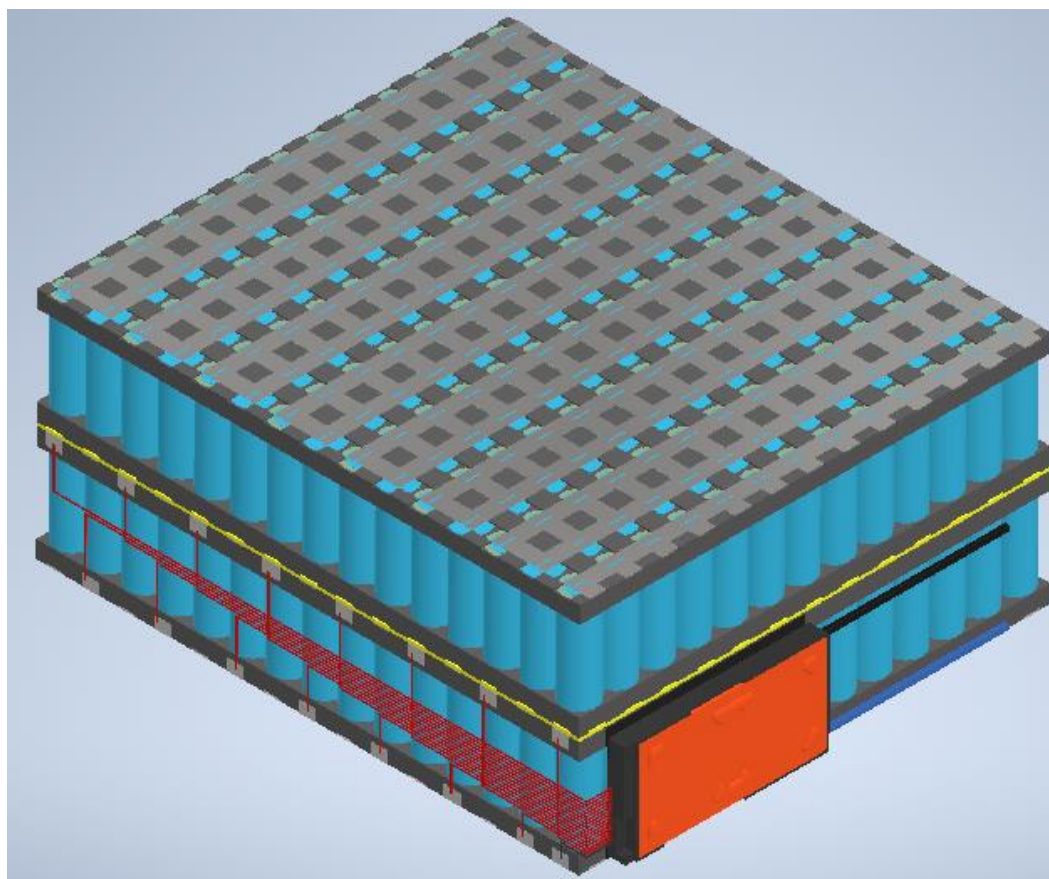


Figura 25. Conexión del BMS con la batería.

1.8.5 Electrónica de control y diseño del sistema de protección

Tanto en sistemas de baja como de alta tensión, se emplea un conjunto básico de *hardware* electrónico. Que normalmente son el contactor principal, el contactor de precarga, la desconexión de servicio manual, fusibles, bus bar, placas de interconexión de celdas y el conjunto de cables de baja y alta tensión.

La elección y composición de la electrónica dependerá en gran medida de la tensión total del sistema. Un sistema con una tensión superior a 60 V generalmente se considera de alta tensión [28], lo que implica que el contacto con voltajes iguales o superiores a este nivel puede ocasionar lesiones graves e incluso la muerte a quienes entren en contacto con él. Por lo tanto, los sistemas de alta tensión requieren un nivel adicional de precauciones de seguridad, las cuales deben ser consideradas en el diseño para garantizar la seguridad humana al trabajar con o alrededor del sistema.

Los sistemas por debajo de los 60 V se consideran de baja tensión [28]; el contacto con sus componentes puede provocar una descarga eléctrica, pero no representa una amenaza mortal. Estos sistemas no requieren la misma cantidad de hardware y controles de seguridad que sus contrapartes de alta tensión. Aunque es una buena práctica incluir sistemas de seguridad apropiados, incluso en un sistema de batería de baja tensión.

Por lo tanto, en este caso el sistema es de baja tensión. El circuito de protección consistirá en un sistema de desconexión con un circuito de precarga con sus debidos elementos críticos. Esto es indispensable para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente del sistema.

La implementación de un circuito de precarga se vuelve esencial para controlar la corriente *inrush* y permitir una carga gradual de la capacitancia aguas abajo. Esto desempeña un papel crítico en el funcionamiento correcto y la protección de los componentes, contribuyendo a prolongar la vida útil de los componentes eléctricos y mejorar la confiabilidad del sistema en su totalidad.

Por otro lado, los contactos soldados representan uno de los modos de falla más comunes en los contactores. Las causas pueden variar, pero la más frecuente suele ser por las corrientes de arranque. La falta de un circuito de precarga adecuado, o su implementación incorrecta, pueden contribuir a este problema. Un contactor afectado por la soldadura puede cerrarse normalmente, pero no volver a abrir, lo cual puede pasar desapercibido y resultar difícil de diagnosticar si no se comprenden correctamente los principios involucrados [28].

Además de evitar la soldadura de contactos, la precarga también sirve para identificar circuitos defectuosos, problemas en el sistema o riesgos eléctricos. Por ejemplo, en caso de un cortocircuito suave, el sistema detectará la falta de aumento de voltaje y detendrá automáticamente la precarga. En un cortocircuito duro, el resistor de precarga limitará la corriente, reduciendo el daño mientras el fusible corrige la falla.

Aparte, la batería está conectada a un inversor y todos los inversores cuentan con un banco de condensadores en su entrada de corriente continua. Esto garantiza que el voltaje de salida se mantenga constante cuando se cambian las cargas de corriente alterna. Al conectar un banco de baterías al inversor, se produce una violenta oleada de corriente conocida como corriente de arranque hasta que dichos condensadores se llenan por completo. Esto ocurre en forma extraordinariamente violenta en apenas 1 milisegundo, generando una chispa que podemos ver y escuchar [29].

Cuando se aplica voltaje a una carga capacitiva no cargada, esto provoca que el capacitor comience a cargarse. La corriente inicialmente comienza con una entrada abrupta y eventualmente disminuye hasta alcanzar un estado estacionario.

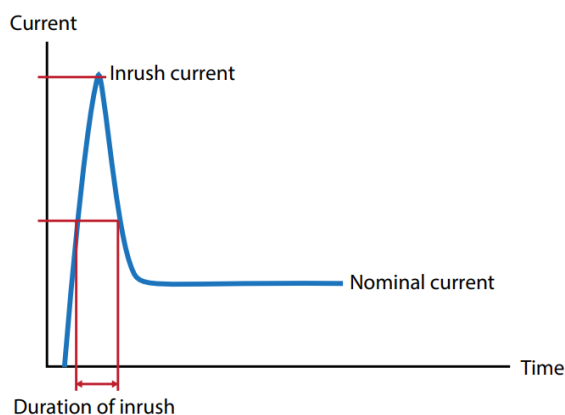


Figura 26. Representación de la corriente de arranque [30].

La duración de la precarga varía según el voltaje del sistema, el valor de la capacitancia y el diseño específico, pudiendo oscilar desde unos pocos milisegundos hasta varios segundos. En términos generales, cuanto mayor sea el voltaje del sistema y la capacitancia, más prolongado será el tiempo de precarga requerido.

El voltaje del sistema se ha establecido cuando se han hecho las conexiones, y que la capacitancia del sistema está generalmente definida por el inversor del motor y otros componentes conectados, el único parámetro restante para ajustar es el tiempo, esto será un valor que se vaya a fijar antes del cálculo. En el caso de la capacitancia, al no hacer el diseño del inversor, se escoge un valor típico en estos casos de 4 mF [30].

1.8.5.1 Diseño del circuito

En el sistema de batería de un vehículo eléctrico, generalmente se encuentran dos contactores principales para proporcionar un aislamiento doble del voltaje de la batería cuando el sistema está apagado.

El circuito de precarga normalmente consta de un contactor separado y más pequeño conectado en serie con una resistencia. Estos dos componentes luego se conectan en paralelo a través del contactor principal.

Dado que el circuito de precarga se conecta directamente a la batería, es fundamental que tanto el contactor como la resistencia estén diseñados para soportar el voltaje completo de la batería. Asimismo, deben ser capaces de gestionar tanto la corriente de precarga como la disipación de potencia.

A continuación, se puede observar el esquema del circuito.

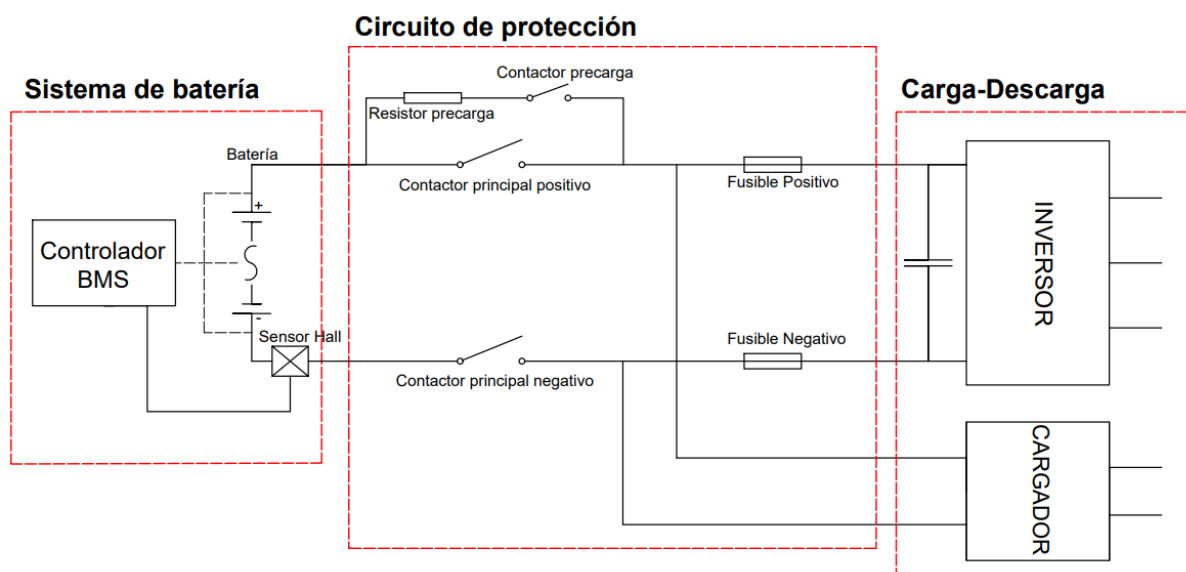


Figura 27. Circuito de protección.

La secuencia de eventos para realizar la precarga comprende los siguientes pasos:

1. Cerrar el contactor principal negativo.
2. Activar el contactor de precarga.
3. Supervisar el voltaje para garantizar que esté aumentando según lo esperado.
4. Una vez que el voltaje se haya estabilizado, cerrar el contactor principal positivo.
5. Desactivar el contactor de precarga.

1.8.5.2 Cálculo de la resistencia de precarga

Cuando se conecta una resistencia en serie con un capacitor, se forma un circuito RC simple. Al aplicar voltaje, el capacitor se cargará gradualmente a través de la resistencia hasta que se iguale el voltaje. En el caso del circuito de protección tenemos algo similar, y esta resistencia de precarga normalmente se calcula teniendo en cuenta que se comporta como un circuito RC.

La corriente de precarga disminuirá a $1/e$ (36.7%) de su valor inicial después de solo una constante de tiempo, también conocida como un Tau, o $1T$. De manera similar, el voltaje de precarga a través del capacitor alcanzará el 63.2% del voltaje de suministro después de $1T$ [30]. Tau puede ser calculado usando:

$$\tau = R \cdot C \quad (E.5)$$

Donde:

- τ es la constante de tiempo en segundos.
- R es la resistencia de precarga en Ohmios.
- C es la capacitancia del sistema en Faradios.

Se necesitan cinco constantes de tiempo ($5T$) para que un capacitor se cargue por completo. Dado que la curva de carga para un circuito RC es exponencial, el capacitor nunca se carga realmente al 100%. Por esta razón, se considera como mejor práctica en el diseño de circuitos utilizar cinco constantes de tiempo ($5T$), lo que resulta en una carga completa del 99.33% [30].

Después de cuatro constantes de tiempo ($4T$), un capacitor está casi completamente cargado y el voltaje a través de él será aproximadamente el 98% del voltaje de suministro de

la batería. El período de tiempo, desde $0T$ hasta $4T$, se conoce como el período transitorio. El tiempo después de $4T$ se llama el período de estado estacionario [30]. A continuación, se puede observar un esquema.

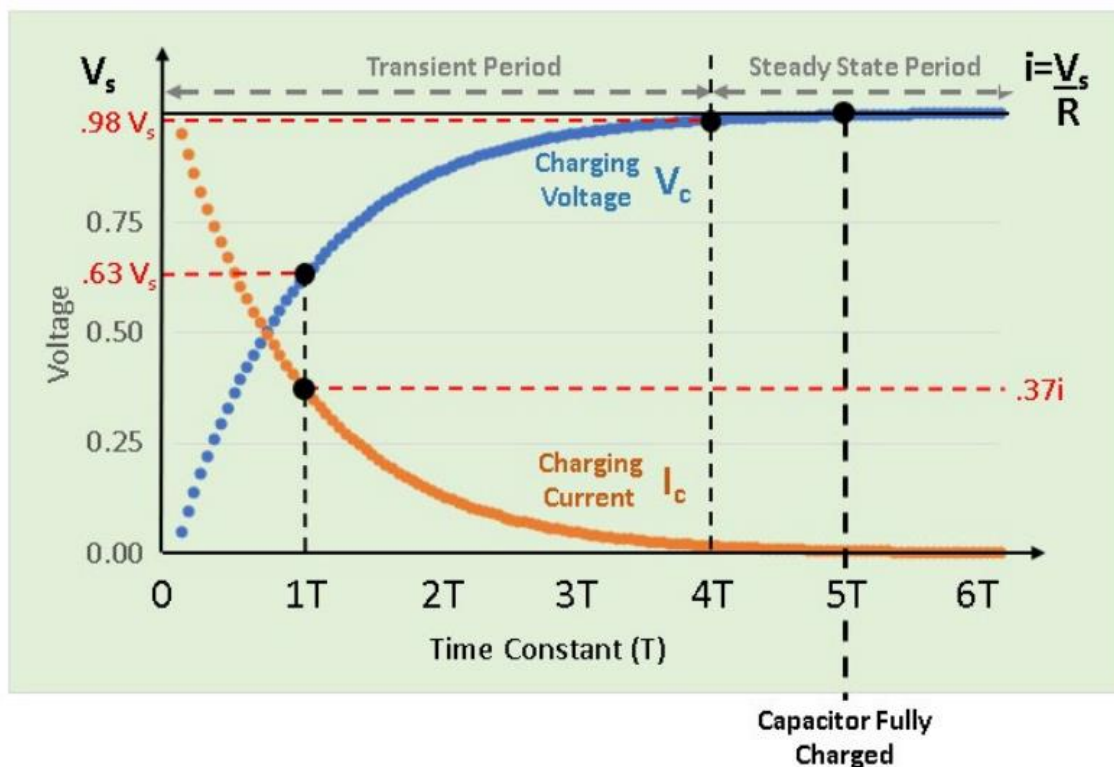


Figura 28. Carga de voltaje y corriente respecto a la constante de tiempo [30].

El tiempo de precarga recomendado es entre 1 y 3 segundos. Por lo tanto, suponiendo un tiempo de precarga de 1,5 segundos y escogiendo un valor típico de la capacitancia de estos sistemas, en este caso de 4 mF [30], se puede calcular el valor de la resistencia. El tiempo de precarga 1,5 segundos son $5T$. Por lo tanto, con el siguiente cálculo se puede encontrar el valor de la resistencia.

$$\frac{1,5}{5} = R \cdot 0,004 \rightarrow R = 75 \Omega$$

Entonces, sabiendo que la resistencia es de 75Ω y que el voltaje es de 54 V, podemos saber a partir de la ley de Ohm que la corriente será de 0,72 A. A continuación, se pueden observar las gráficas de carga de corriente y voltaje respecto a la constante de tiempo para este caso.

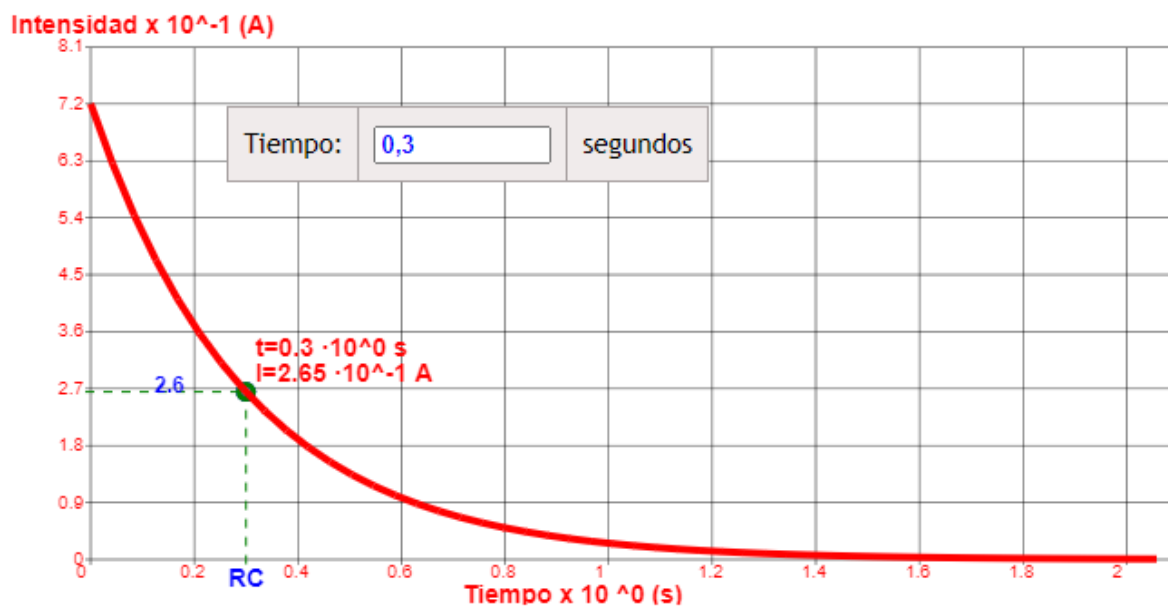


Figura 29. Intensidad respecto la constante de tiempo.

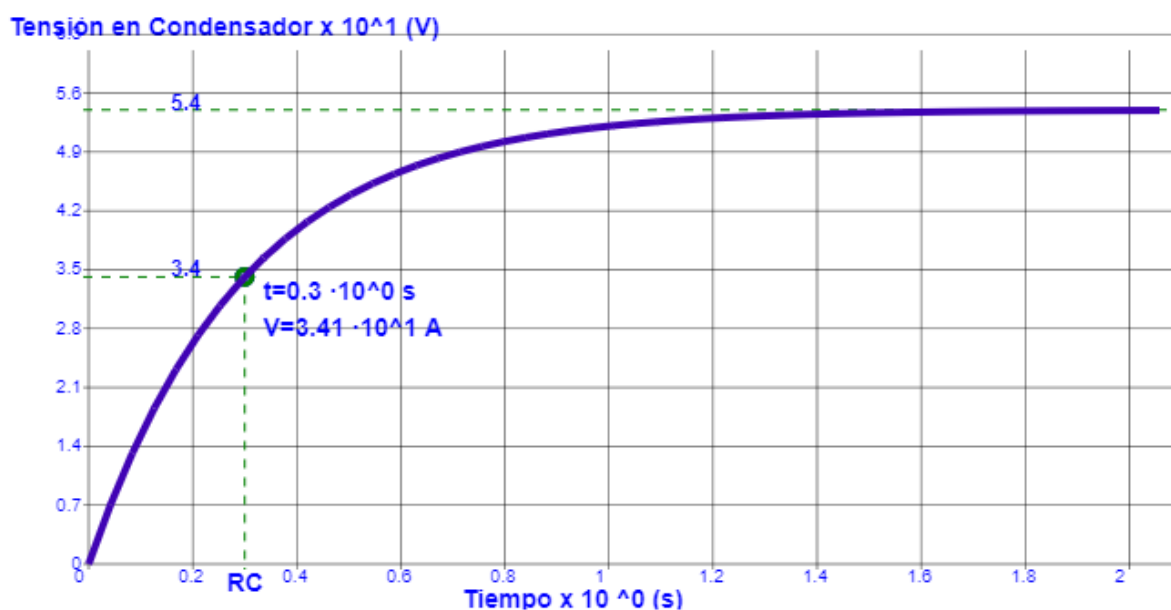


Figura 30. Voltaje respecto la constante de tiempo.

La resistencia tiene que disipar la misma cantidad de energía que la energía total almacenada en los capacitores de entrada completamente cargados. Esto se puede comprobar si el tiempo de precarga es lo suficientemente largo. Como el cálculo se ha empezado fijando un tiempo de carga deseado, entonces se cumple con este requisito. Y esta energía se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$E = \frac{C \cdot V^2}{2} \tag{E.6}$$

Donde:

- E es la energía disipada en Julios.
- C es la capacitancia del sistema en Faradios.
- V es el voltaje de la batería en Voltios.

$$E = \frac{0,004 \cdot 54^2}{2} = 5,83 \text{ J}$$

La fórmula mencionada anteriormente para calcular la energía disipada es una simplificación del caso especial donde el tiempo de precarga es grande. La energía total en el capacitor, la energía total disipada por la resistencia y la energía total suministrada por la batería varían a lo largo del tiempo durante la precarga. Si la carga solo durara unos pocos constantes de tiempo ($1T$, $2T$, etc.), la energía a través de la resistencia y el capacitor no serían iguales. Sin embargo, si el circuito de precarga está diseñado siempre para 3 constantes de tiempo o más, es una buena aproximación (con un 98% de precisión o mejor) [30].

El pico de potencia instantánea ocurre justo al comienzo de la precarga cuando la corriente es más alta. Este pico de potencia solo dura un período muy corto de tiempo. Después de este pico inicial de potencia, la resistencia de precarga continuará disipando energía hasta que la precarga esté completa.

Al seleccionar una resistencia, puede ser suficiente tratar la potencia promedio durante toda la duración de la precarga como una potencia máxima cuya duración es el tiempo de precarga. Esto se puede encontrar simplemente dividiendo la energía total disipada por la resistencia por el tiempo total de precarga.

$$P = \frac{E}{T} \quad (\text{E.7})$$

Donde:

- P es la potencia promedio en Vatios.
- E es la energía disipada por la resistencia de precarga en Julios.
- T es el tiempo de precarga en segundos.

$$P = \frac{5,83}{1,5} = 3,89 \text{ W}$$

Teniendo en cuenta los valores calculados se escoge la resistencia BC-4 resistencia cerámica axial 4 W. Su ficha técnica se puede ver en el anexo 2.3.3 *Ficha técnica resistencia de precarga*.

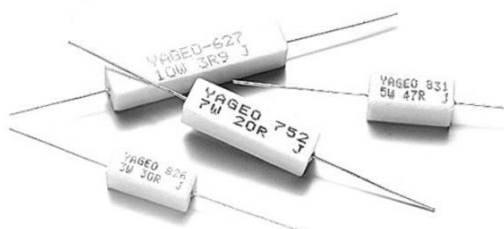


Figura 31. Resistencia escogida [31].

1.8.5.3 Elección de fusibles

Para poder escoger los fusibles, primero se va al catálogo del fabricante para ver sus características. En este caso se escoge el fabricante Adler

La siguiente gráfica representa el tiempo de respuesta hasta que el fusible abre el circuito para proteger. En este caso la aplicación son 255 A de descarga durante 10 segundos, por lo tanto, se escoge un fusible de 125 A, ya que, si nos fijamos en la gráfica, aguantan unos 40-200 segundos hasta 300 A, aproximadamente.

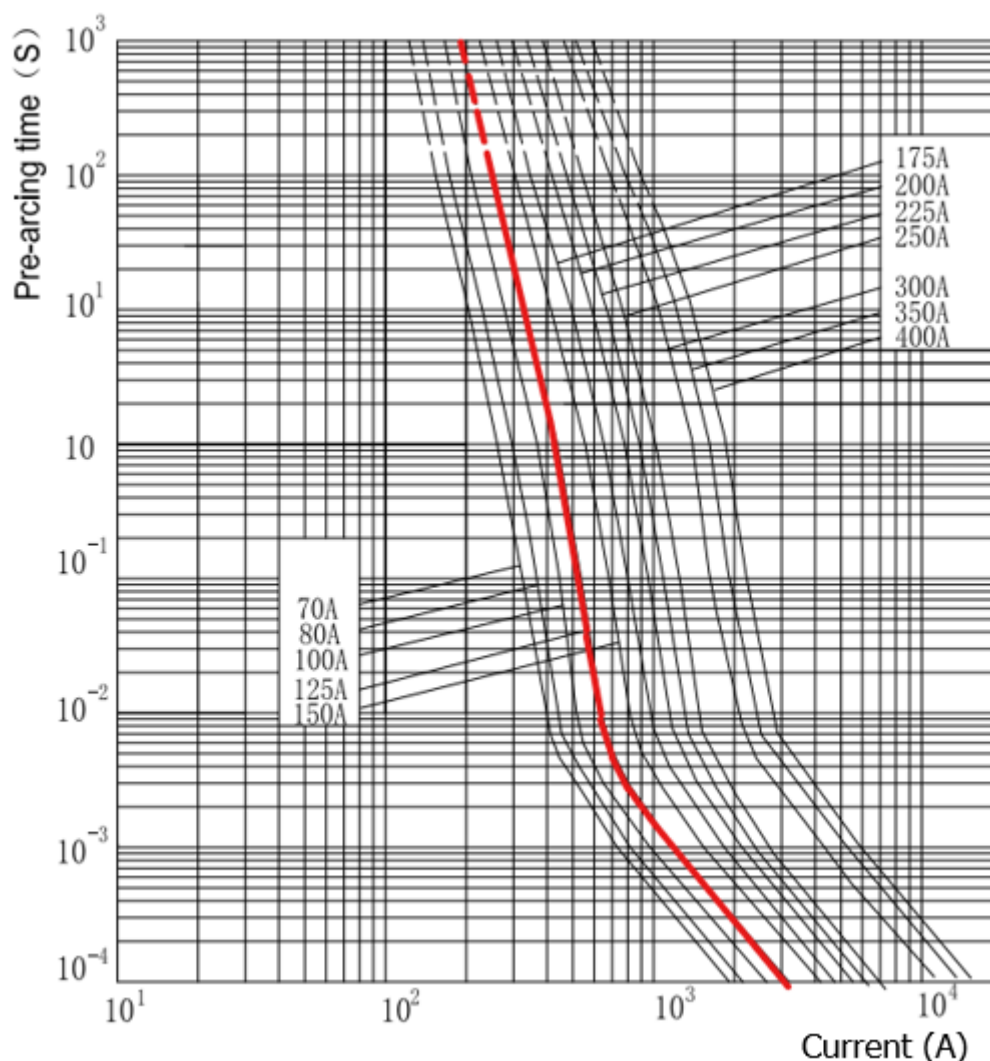


Figura 32. Gráfica del tiempo de respuesta de los fusibles del fabricante Adler [32].



Figura 33. Fusibles Adler [32].

1.8.5.4 Selección de contactores

En primer lugar, se debe tener en cuenta la corriente media y los picos de corriente que pasarán por el contactor. Es esencial seleccionar contactores que puedan manejar estas demandas eléctricas sin sobrecalentarse ni dañarse, garantizando así un funcionamiento seguro y eficiente del sistema. Además, la compatibilidad con la tensión de operación del sistema de baterías y la tensión de la bobina de control es crucial. Los contactores deben poder operar dentro del rango de voltajes especificado sin comprometer su rendimiento.

Otro aspecto importante para considerar es la presencia de fenómenos transitorios como la corriente de arranque (*inrush current*) y la fuerza electromotriz retroactiva (*back EMF*). Estos fenómenos pueden generar picos de corriente y tensiones que podrían dañar la salida de control del BMS. Por lo tanto, es necesario revisar detenidamente la información proporcionada en los *datasheets* tanto del contactor seleccionado como del BMS para garantizar una compatibilidad adecuada y evitar posibles daños en el sistema.

Teniendo en cuenta estos datos se escogen dos contactores SU280 del fabricante Albright. Estos pueden soportar 255 A y 54 V.



Figura 34. Contactor SU280 [33].

1.8.5.5 Elección de conectores

Se ha seleccionado un conector IEC para la carga debido a que el cable de alimentación dispone de un terminal hembra IEC. El terminal opuesto del cable es un conector Schuko macho, el estándar en España para conexiones domésticas.

Para la descarga se han seleccionado conectores grises de bloqueo para conexiones rápidas, ideales para instalaciones automotrices o electrónicas. Estos conectores tienen un diseño rectangular compacto con entradas y salidas definidas, facilitando una conexión segura y eficiente.

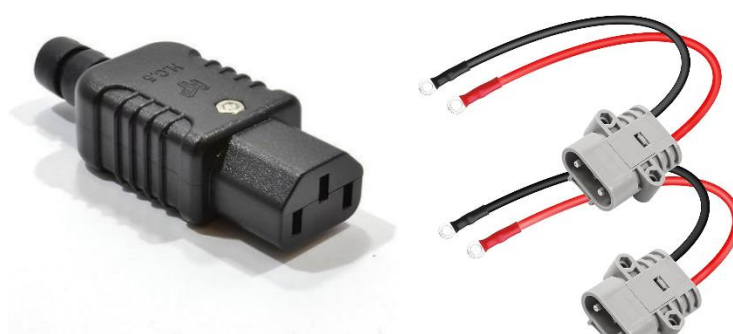


Figura 35. Conectores de carga y descarga, respectivamente [34] [35].

1.8.5.6 Cargador e Inversor

Si bien componentes como el inversor y el cargador son cruciales para el funcionamiento global del sistema, en el diseño específico de la batería no se suelen tener en cuenta. Esto se debe a que estos componentes generalmente se ubican externamente a la batería.

El inversor y el cargador son dispositivos que tienen funciones específicas y que, aunque están intrínsecamente relacionados con el sistema de baterías, tienen una ubicación física separada. El inversor convierte la corriente continua (CC) de la batería en corriente alterna (CA) para alimentar los motores eléctricos y otros dispositivos del vehículo, mientras que el cargador se encarga de recargar la batería desde una fuente de alimentación externa.

La razón principal por la que estos componentes no se incluyen en el diseño específico de la batería es que su ubicación y funcionamiento son independientes de la batería en sí misma. Por lo tanto, en el proceso de diseño de la batería, el enfoque se centra en aspectos como la capacidad, la densidad de energía, la gestión térmica y la durabilidad de la batería en sí misma, sin tener en cuenta la funcionalidad específica del inversor y el cargador.

Sin embargo, es importante reconocer que la integración adecuada del inversor y el cargador con la batería es crucial para el funcionamiento global del sistema de propulsión eléctrica del vehículo. La eficiencia y la fiabilidad del sistema dependen en gran medida de una coordinación efectiva entre todos los componentes. Por lo tanto, aunque no se consideren en el diseño específico de la batería, es necesario tener en cuenta su compatibilidad y requisitos de conexión durante el proceso de diseño del sistema en su conjunto.

1.8.5.7 Diseño final de la batería con el circuito de protección

A continuación, se ve el diseño de la batería con la *distribution box*, donde está todo el circuito de protección. Según la normativa IEC 60364, el cable que se utiliza es de cobre sección de 70 mm² para poder soportar una corriente de 255 A con aislamiento de PVC.

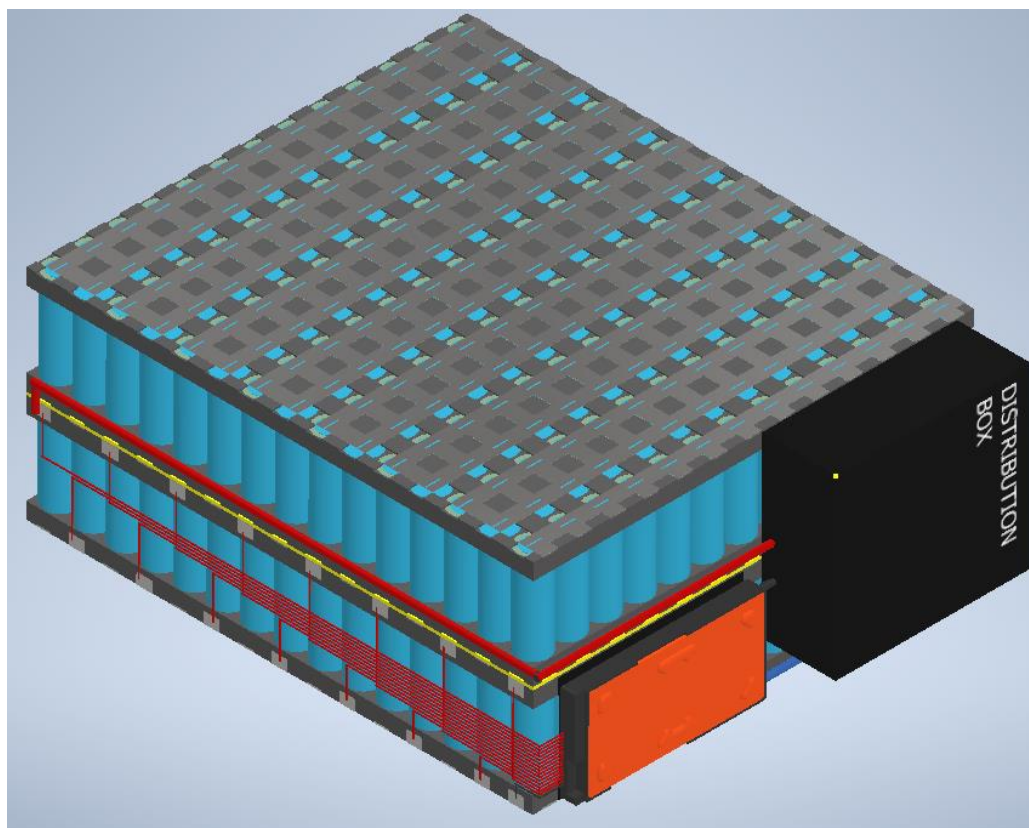


Figura 36. Diseño de la batería con el circuito de protección.

1.8.6 Diseño del sistema de refrigeración

Como se ha mencionado con anterioridad, al tratarse de una batería pequeña, se realizará un estudio para ver si es necesario un sistema de refrigeración para esta batería.

El estudio del sistema de refrigeración de la batería se ha llevado a cabo utilizando el *software* Ansys, con un enfoque específico en el uso de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, *Computational Fluid Dynamics*). La Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) es una rama de la mecánica de fluidos que utiliza análisis numérico y estructuras de datos para analizar y resolver problemas relacionados con flujos de fluidos. Se utilizan computadoras para realizar los cálculos necesarios para simular el flujo del fluido en el espacio libre, así como su interacción con superficies definidas por condiciones de contorno. Con supercomputadoras de alta velocidad, es posible obtener soluciones más precisas y resolver problemas de mayor complejidad que requieren un poder computacional significativo [36].

Se realizan cuatro simulaciones, donde dos simulaciones tendrán la misma condición de contorno y las otras dos, otra condición de contorno. Esto se realiza con el objetivo de evaluar el rendimiento del sistema de refrigeración en distintos escenarios operativos.

Aparte de estas condiciones de contorno, en cada una de estas simulaciones se variará la velocidad del aire para ver qué diferencia hay entre que no pase el aire, es decir, que la velocidad sea 0 m/s y luego que pase aire por la batería, es decir, que la velocidad sea distinta a 0 m/s. Por lo tanto, el sistema de refrigeración que se utiliza para la simulación es el paso natural del aire por la batería.

En la primera condición de contorno, se estudiará el efecto de la velocidad del aire en el proceso de refrigeración de la batería, considerando el calor generado por las celdas de la batería. Se utilizará la dinámica de fluidos computacional para modelar el flujo de aire alrededor del módulo de la batería y su interacción térmica. Las celdas de la batería se considerarán como fuentes de calor, y se variará la velocidad del aire a 2 m/s [38], velocidad típica que se ha encontrado en bibliografía para estos casos, para analizar cómo afecta a la disipación de calor. Esta simulación será la que tendrá prioridad para decidir si es necesario el sistema o no, se hará para ver si la batería sigue en el rango de temperaturas operacional de 263 K y 343 K.

En la segunda condición de contorno, se establecerá la temperatura de las celdas de la batería a 60 °C, simulando un escenario donde las celdas operan a una temperatura elevada. Luego, se variará la velocidad del aire para evaluar su efecto en la capacidad del sistema de refrigeración para enfriar las celdas y mantenerlas dentro de un rango de temperatura seguro. Esta no tendrá mucho efecto a la hora de decidir si es necesario el sistema, ya que en España es difícil llegar a esas temperaturas, es decir, no es un escenario real, pero sí para ver el comportamiento de la batería y saber si se seguirá operando dentro del rango de temperaturas de operación.

Para las dos simulaciones, la temperatura de entrada del aire será de 298 K. Y para la refrigeración se escoge una velocidad de 2 m/s [38] para que haya una adecuada transferencia de calor.

1.8.6.1 Definición de la geometría en Ansys

En primer lugar, se procede a definir la geometría del trabajo dentro de Ansys. Es importante destacar que, debido a las limitaciones de licencia y complejidad en la definición de geometrías detalladas en Ansys, se opta por simplificar la geometría del estudio. Ya que al tener licencia de estudiante la definición del mallado tiene un límite, por lo tanto, cuanto más objeto que se definen peor es la definición del mallado y por eso se realiza la simulación solo con la parte inferior de la batería, suponiendo que la parte superior actuará aproximadamente de la misma forma.

En este sentido, se enfoca en el análisis en la parte inferior de la batería en lugar de considerar todo el conjunto, lo cual permite una mayor precisión en los resultados obtenidos.

Aparte, tampoco se tienen en cuenta los componentes eléctricos de la batería en la simplificación de la geometría, pero como que generan calor, se tendrá en cuenta este calor en la generación de calor de las celdas.

Primero se definen las 195 celdas de la parte inferior, luego se añade la carcasa de la batería, donde se añaden entradas y salidas para el aire cuando se realice la simulación con velocidad de aire diferente a 0 m/s. El área de entrada y salida es de 15,6 cm². Como se ha comentado anteriormente, esta es la forma más aproximada de simular una refrigeración con aletas en Ansys, donde el área de entrada y salida son aproximados.

Las celdas se definen como cilindros sólidos que generan calor. Y el resto se define como fluido (aire), que entra, por un lado, y sale por el otro y que está limitado para la carcasa.

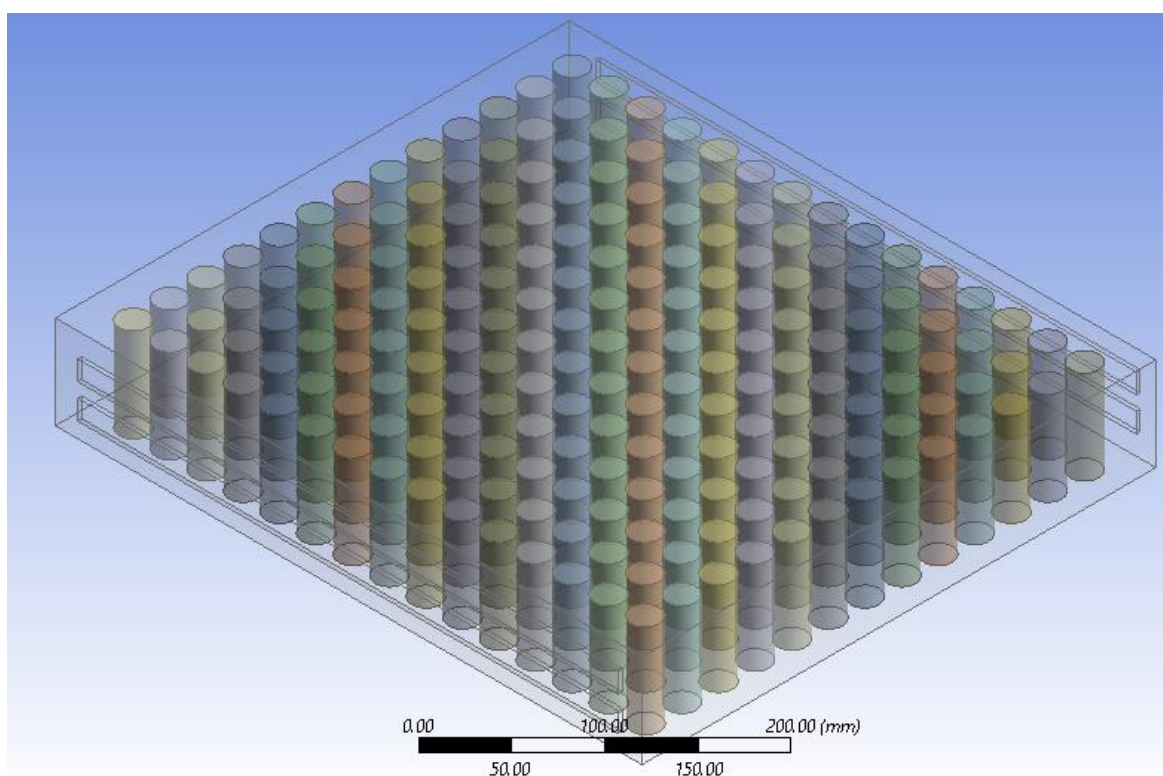


Figura 37. Definición de la geometría en Ansys.

1.8.6.2 Definición del mallado

Una vez definida la geometría simplificada, se procede a realizar el mallado del modelo. El mallado es un paso crucial en la simulación por CFD, ya que determina la precisión y la calidad de los resultados. En este caso, el mallado se ha definido de manera meticulosa, teniendo en cuenta las características específicas de la geometría y los requisitos del problema a resolver. Se ha empleado una técnica que optimiza la distribución de los elementos finitos, asegurando una representación precisa de las distintas regiones del dominio de flujo.

Es importante destacar que la calidad del mallado puede variar dependiendo de varios factores, como la resolución deseada, la complejidad geométrica y las limitaciones de recursos computacionales. En este caso, se ha elegido una configuración que garantiza una balanceada relación entre precisión y eficiencia computacional, considerando además las restricciones asociadas a la licencia de estudiante, el *element size* ha sido de 0,0025 m. Aunque la

configuración de mallado pueda ser limitada por la licencia, se ha trabajado para alcanzar la máxima precisión posible dentro de estas restricciones, optimizando así la capacidad del software disponible.

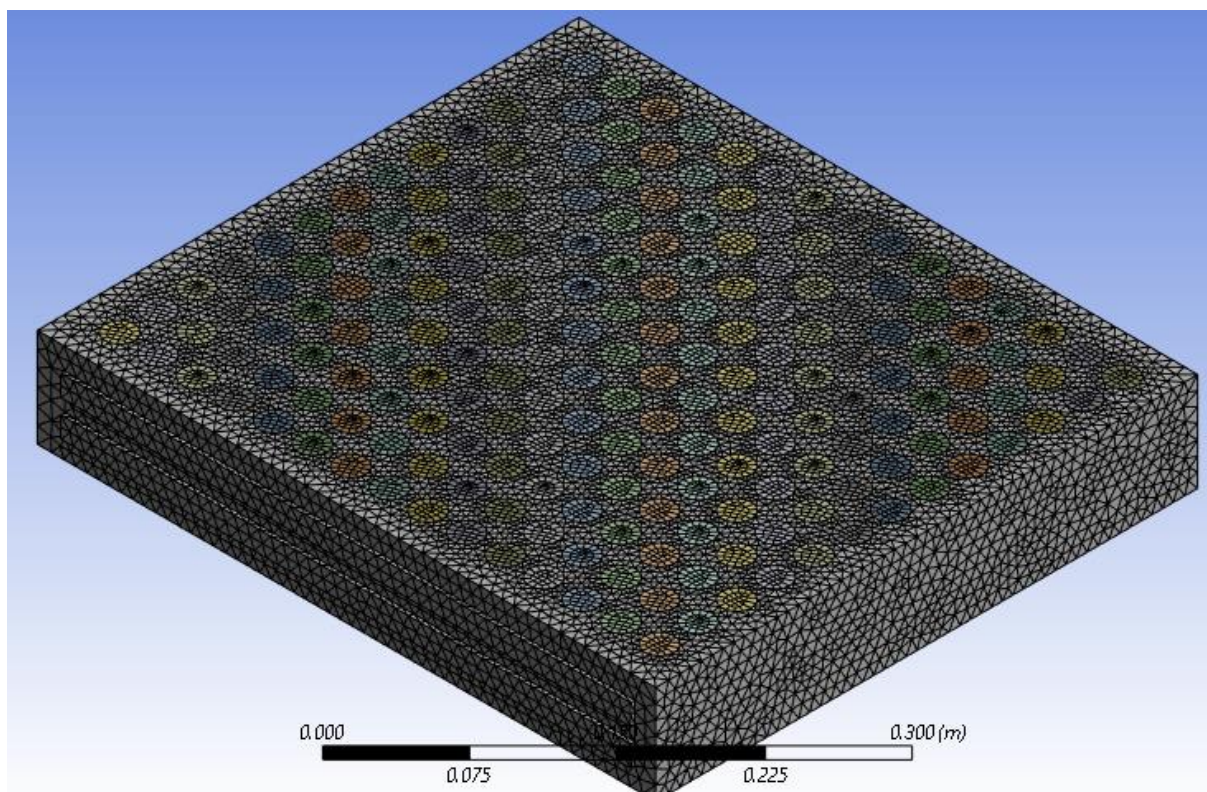


Figura 38. Definición del mallado en Ansys.

1.8.6.3 Simulación del sistema de refrigeración

Durante la simulación del sistema de refrigeración de una batería en Ansys CFD, se realizaron varias configuraciones y ajustes clave para obtener resultados precisos y fiables. A continuación, se detallan los pasos llevados a cabo en el proceso.

Se estableció que el problema se consideraría estacionario. Esto implica que se modeló el calentamiento y enfriamiento de la celda con el tiempo hasta alcanzar un estado estacionario, donde las temperaturas y velocidades se estabilizan. De esta forma se simula el peor escenario.

En cuanto a los materiales, se utilizó aire de la base de datos de Ansys y se definieron datos específicos para las celdas basados en bibliografía. Se determinó que la densidad del aire sería constante y no se consideraría la convección natural. Esto se debe a que la convección natural en el aire dentro de la pila no se incluía en el modelo, por lo que la gravedad se estableció en cero.

Tabla 4. Especificación de las variables para la simulación.

Especificación	Celdas [38]	Aire
Densidad [kg/m^3]	2092	1,225
Cp [$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	678	1006,43
Conductividad térmica [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]	18,2	0,0242

Para mejorar la precisión del modelo, se consideraron las paredes no adiabáticas, permitiendo así la eliminación de calor por convección natural. Se establecieron condiciones de contorno para la transferencia de calor por convección, con coeficientes típicos de convección natural en aire en un rango de 5 a 25 W/(m²·K). En este caso 15 W/(m²·K) [40]. Se pone un coeficiente bajo para tener en cuenta la resistencia de la pared.

Se realizaron cálculos en estado estacionario para simplificar el proceso y obtener resultados más rápidamente. Aunque los problemas no estacionarios, que incluyen el calentamiento y enfriamiento en tiempo real, proporcionan más detalle, también son más costosos en términos de cálculo.

Como se ha comentado anteriormente, en las simulaciones, se probaron diferentes condiciones de contorno, celdas generando calor y celdas a una temperatura constante de 333 K. Al ser metálicos, los cilindros tenían una buena conductividad térmica, lo que uniformizaba la temperatura a lo largo de ellos. Posteriormente, se incluyen las entradas y salidas del fluido, que en este caso corresponden al aire.

Para la simulación de celdas generadoras de calor, se busca el calor que puede desprender este tipo de celdas. A continuación, se puede ver un gráfico de calor generado para las celdas Samsung INR21700-50E.

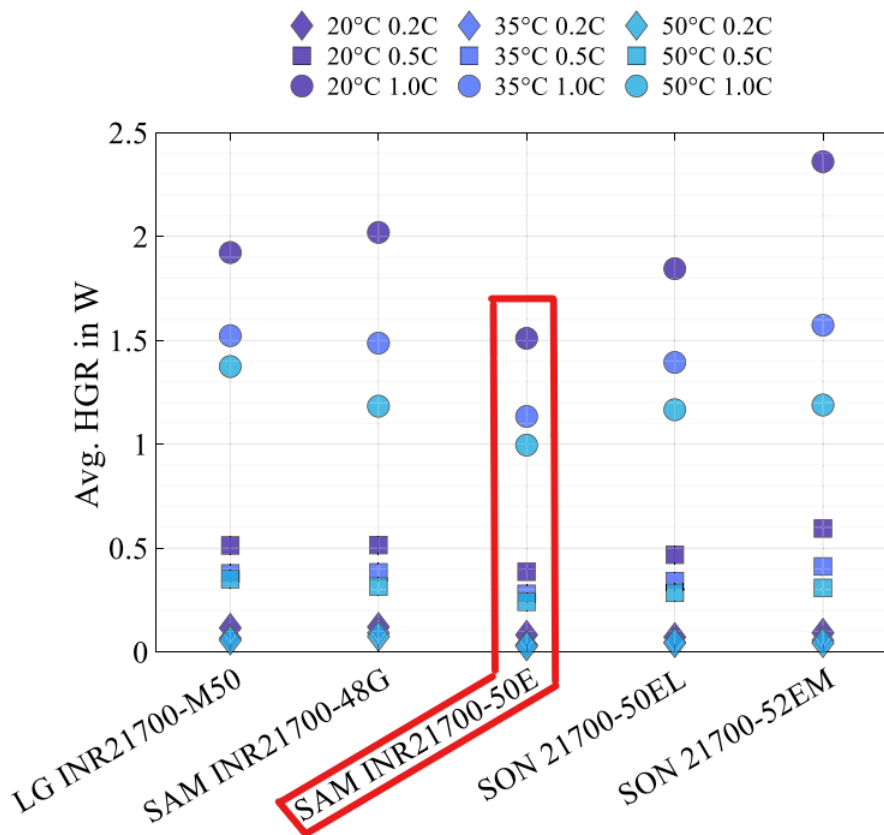


Figura 39. Generación de calor celdas tipo 21700 a diferentes C-rates y temperatura [39].

Aproximadamente, cada celda genera como mucho 1,5 W. Pero para tener en cuenta los componentes eléctricos, se utilizarán 2 W, suponiendo el peor de los casos. Aun así, por temas de seguridad se hará la simulación con 4 W para tener margen.

Luego, se ajustaron las condiciones de contorno y se verificaron los residuos de las ecuaciones. Los residuos de energía y velocidad se establecieron para detenerse en 10⁻²⁰, asegurando la convergencia de la solución.

Finalmente, se lleva a cabo el estudio mediante CFD utilizando el modelo de turbulencia K-epsilon. Este modelo es ampliamente utilizado en simulaciones de flujos turbulentos debido a su capacidad para capturar los efectos de la turbulencia en el flujo de manera precisa. Se consideran las propiedades térmicas del aire, así como los efectos de la convección natural en el intercambio de calor entre la batería y el entorno.

En este contexto, se utilizan dos variables transportadas importantes: la energía cinética turbulenta (k) y la tasa de disipación de la energía cinética turbulenta (ϵ). Estas variables son fundamentales para comprender y predecir el comportamiento de los flujos turbulentos en diversas aplicaciones ingenieriles. Y sus ecuaciones se pueden observar a continuación respectivamente [37].

$$\frac{D}{Dt}(\rho k) = \nabla \cdot (\rho D_k \nabla k) + P - \rho \epsilon \quad (\text{E.5})$$

$$\frac{D}{Dt}(\rho \epsilon) = \nabla \cdot (\rho D_\epsilon \nabla \epsilon) + \frac{C_1 \epsilon}{k} (P + C_3 \frac{2}{3} k \nabla \cdot \mathbf{u}) - \frac{C_2 \rho \epsilon^2}{k} \quad (\text{E.6})$$

Donde:

- K es la energía cinética turbulenta en m^2s^{-2} .
- D_k es la difusividad efectiva para k [-].
- P es la Tasa de producción de energía cinética turbulenta en m^2s^{-3} .
- ϵ es la Tasa de disipación de energía cinética turbulenta en m^2s^{-3} .
- D_ϵ es la difusividad efectiva para ϵ [-].
- C_1 es el coeficiente del modelo [-].
- C_2 es el coeficiente del modelo [-].

A continuación, se observan y analizan los resultados de las cuatro simulaciones.

1.8.6.4 Análisis de resultados de la condición de contorno de calor generada

En las figuras 40 y 41 se presentan los resultados obtenidos de la simulación bajo la premisa de una velocidad inicial del aire de 0 m/s, considerando como condición de contorno el calor generado en el sistema.

En la figura 40, los registros muestran una temperatura mínima de 298 K, correspondiente a la temperatura inicial del aire en transparente, y una máxima de 298,73 K, con una diferencia de apenas 0,73 K entre ambos extremos. Este incremento térmico, aunque presente, no resulta significativo en términos de temperatura. La figura 41 corrobora que la velocidad del aire se mantiene en 0 m/s, lo que sugiere la posibilidad de prescindir del sistema de refrigeración según esta simulación.

Asimismo, se procedió a simular el sistema bajo la condición de una velocidad del aire de 2 m/s, cuyos resultados se presentan en las figuras 42 y 43. Se observa que el perfil de temperaturas es similar al obtenido en la simulación anterior con velocidad nula del aire.

En esta segunda simulación, se evidencia la entrada de aire desde la parte superior, a una temperatura inicial de aproximadamente 298 K, en transparente, el cual desciende hacia la base de la caja de batería. Conforme el aire desciende, su temperatura se incrementa debido a la interacción con las celdas de la batería, generando una gradiente térmica que resulta en un aumento progresivo de la temperatura del aire. Este fenómeno conlleva que las últimas celdas no sean enfriadas con la misma eficacia que las primeras, evidenciado por los picos de temperatura en las esquinas inferiores de la caja de batería.

Respecto al perfil de velocidades, se registra una velocidad vertical de aproximadamente 2 m/s, mientras que, en dirección horizontal, entre las pilas, la velocidad es cercana a 0 m/s. Esta discrepancia se atribuye a la disposición de las entradas y salidas de aire en el sistema.

El pico de temperatura máximo alcanzado en la segunda simulación es de 298,72 K solo en dos puntos, con una diferencia de apenas 0,01 K respecto a la simulación anterior con velocidad nula del aire. Pero estos picos son puntos concretos de la carcasa a la salida, en general la temperatura de la batería es inferior a 298,2 K, con una diferencia de 0,52 K con el caso anterior. Esta mínima disparidad sugiere que el sistema de refrigeración no sería necesario, considerando la ínfima variación en los picos de temperatura entre ambos escenarios.

Con esto simulación se puede concluir que no es necesario el sistema de refrigeración, ya que la variación, solo es de 0,73 grados sin refrigeración. Y luego, entre que haya o no haya refrigeración, las diferencias son mínimas, tan solo de 0,01 grados en los picos.

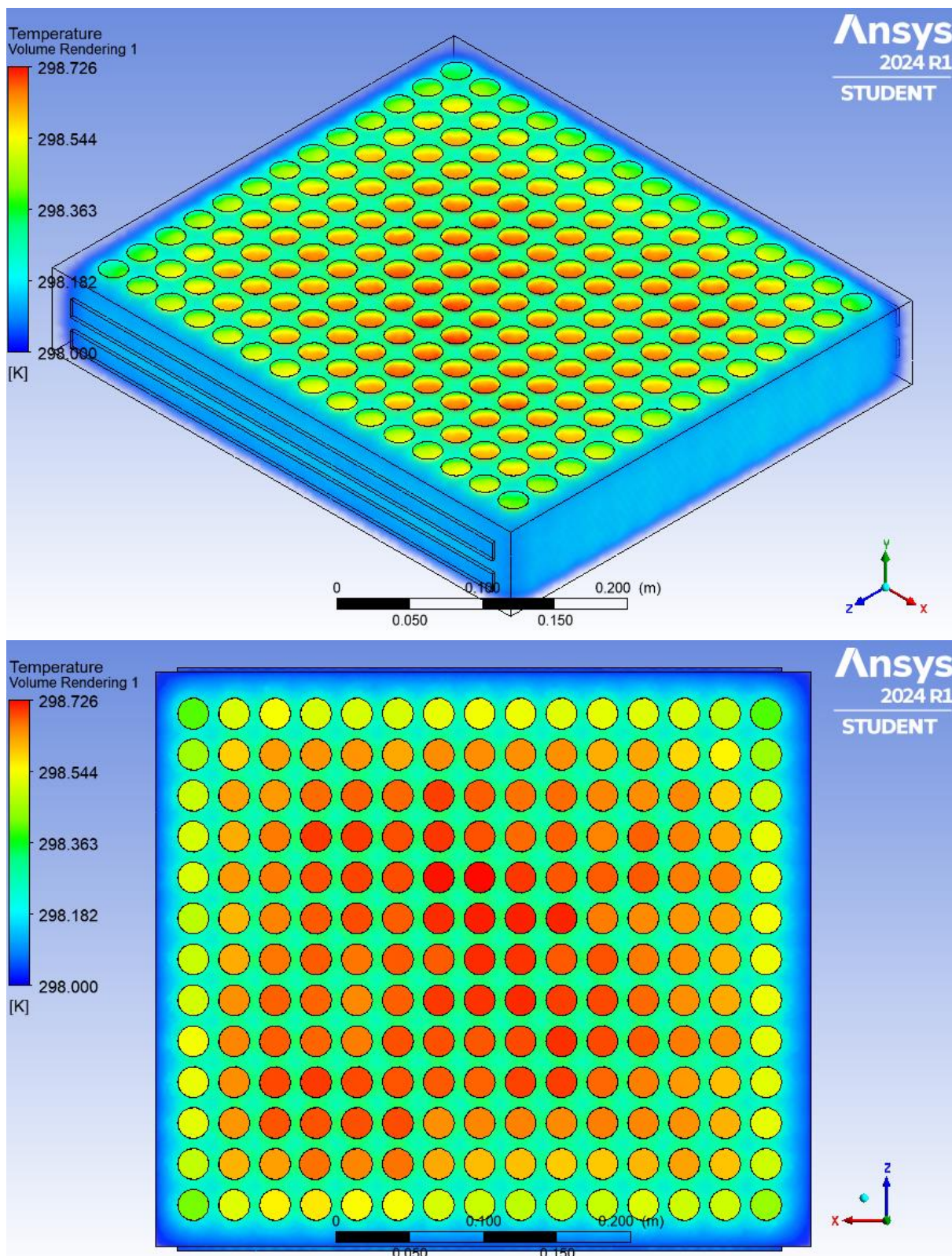


Figura 40. Vista en planta del perfil de temperaturas de la batería cuando la velocidad es 0 m/s.

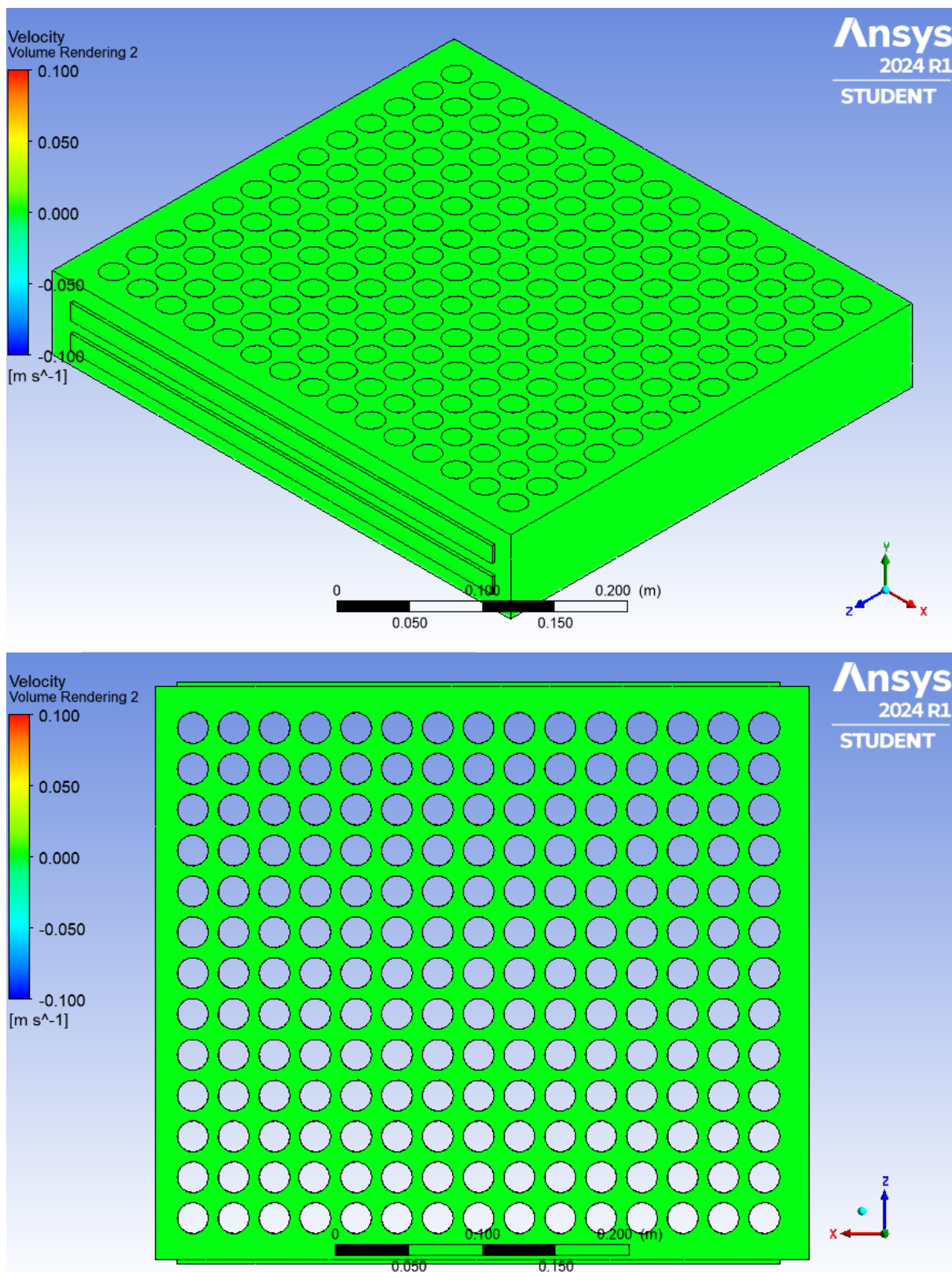


Figura 41. Vista en planta del perfil de velocidades cuando la velocidad es 0 m/s.

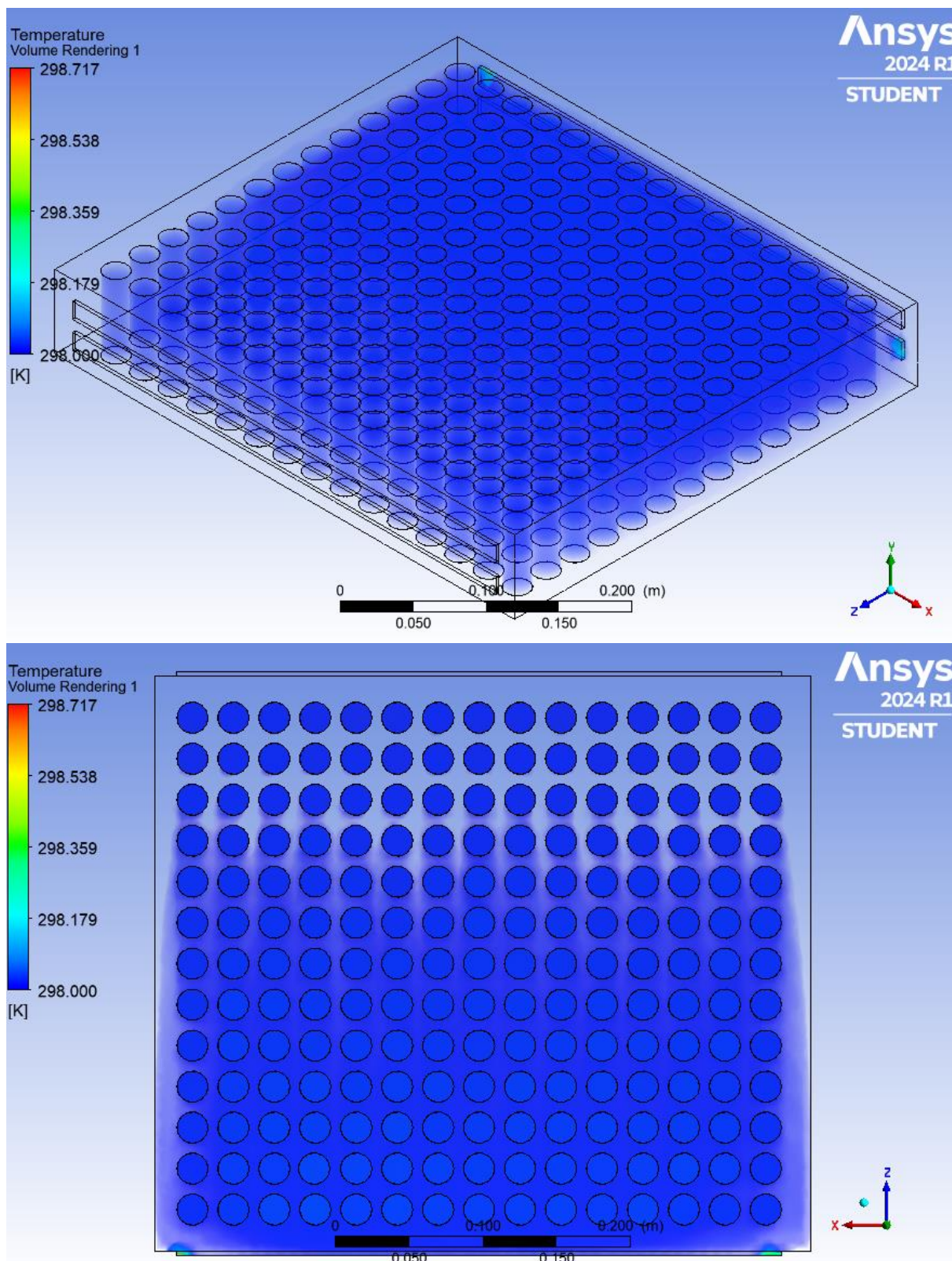


Figura 42. Vista en planta del perfil de temperaturas de la batería cuando la velocidad es 2 m/s.

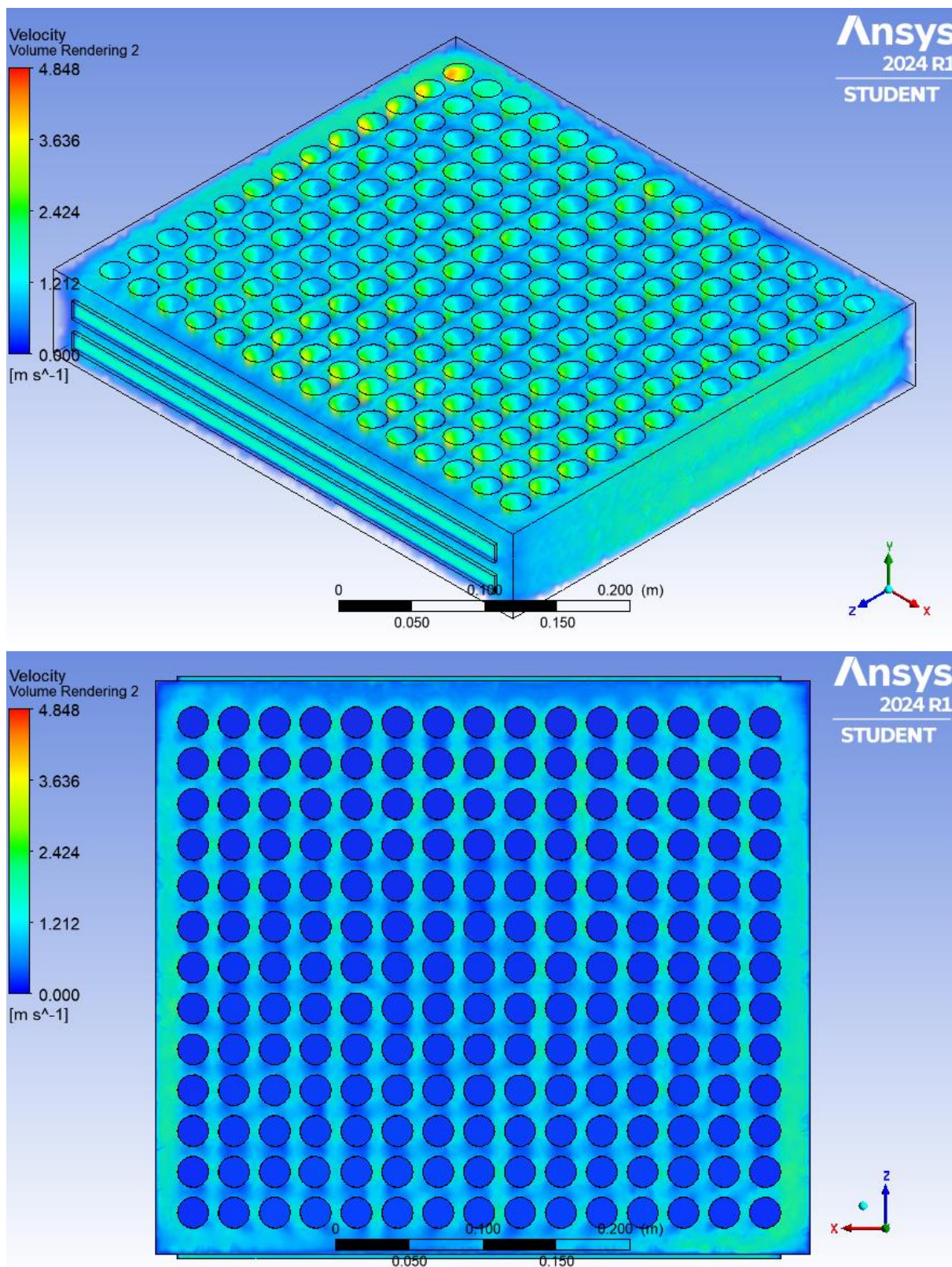


Figura 43. Vista en planta del perfil de velocidades cuando la velocidad es 2 m/s.

1.8.6.5 Análisis de resultados de la condición de contorno de celdas a 60 °C

En esta simulación se cambia la condición de contorno y se define que las celdas están a 60 °C (333 K) y se procede a hacer los mismos casos que en el apartado anterior.

En las figuras 44 y 45 se exponen los resultados derivados de la simulación bajo la premisa de una velocidad inicial del aire de 0 m/s, considerando como condición de contorno una temperatura máxima de 333 K.

En la figura 44, la temperatura mínima registrada es de 298 K, coincidiendo con la temperatura inicial del aire, mientras que la máxima alcanza los 333 K, establecida como la condición de contorno para esta simulación. Sin embargo, la temperatura que interesa es entre las celdas, se observa que esta temperatura se mantiene alrededor de 310 K, disminuyendo hacia los extremos de la caja de baterías hasta aproximarse a la temperatura inicial del aire, es decir, los 298 K. La figura 45 confirma que la velocidad del aire se mantiene en 0 m/s.

De igual manera, se procedió a simular el sistema bajo la condición de una velocidad del aire de 2 m/s, cuyos resultados se presentan en las figuras 46 y 47. Se observa que el perfil de temperaturas es similar al obtenido en la simulación anterior con velocidad nula del aire.

Como con la otra condición de contorno, se aprecia la entrada de aire desde la parte superior, inicialmente a una temperatura de aproximadamente 298 K, que desciende hacia la base de la caja de batería. Observamos que, conforme el aire desciende, se calienta gradualmente al interactuar con las celdas de la batería.

El pico de temperatura máximo obtenido en esta simulación también es de 333 K, como se había establecido como condición de contorno. Pero como en el caso anterior, las temperaturas que interesan son entre las celdas, se observa que estas oscilan entre aproximadamente 298 K en la parte superior y 310 K en la parte inferior. A pesar de esta diferencia de temperatura entre ambas simulaciones, no se considera significativa para justificar la implementación de un sistema de refrigeración. E igualmente, cerca de la salida del aire, la temperatura llega a la misma que en caso de que no haya refrigeración.

Se puede argumentar que el diseño de la batería de la moto está concebido para operar en condiciones típicas de España, donde alcanzar temperaturas extremas como 333 K es poco probable. Además, se observa que, en ausencia de flujo de aire, los extremos de la batería logran mantenerse aproximadamente a la misma temperatura que el aire circundante. Y la temperatura alrededor de las celdas es de 310 K, estando dentro del rango de temperatura de operación de 263 K a 343 K, lo que no dañaría a las celdas.

1.8.6.6 Conclusión

Basado en las simulaciones presentadas, no es necesario implementar un sistema de refrigeración para la batería de la moto, ya que las variaciones de temperatura observadas (máximo 0,73 K sin refrigeración y diferencias mínimas con flujo de aire) son insignificantes. Además, el diseño actual es adecuado para las condiciones climáticas típicas de España, manteniendo las temperaturas dentro del rango operativo de las celdas (263 K a 343 K) incluso en escenarios de temperatura elevada.

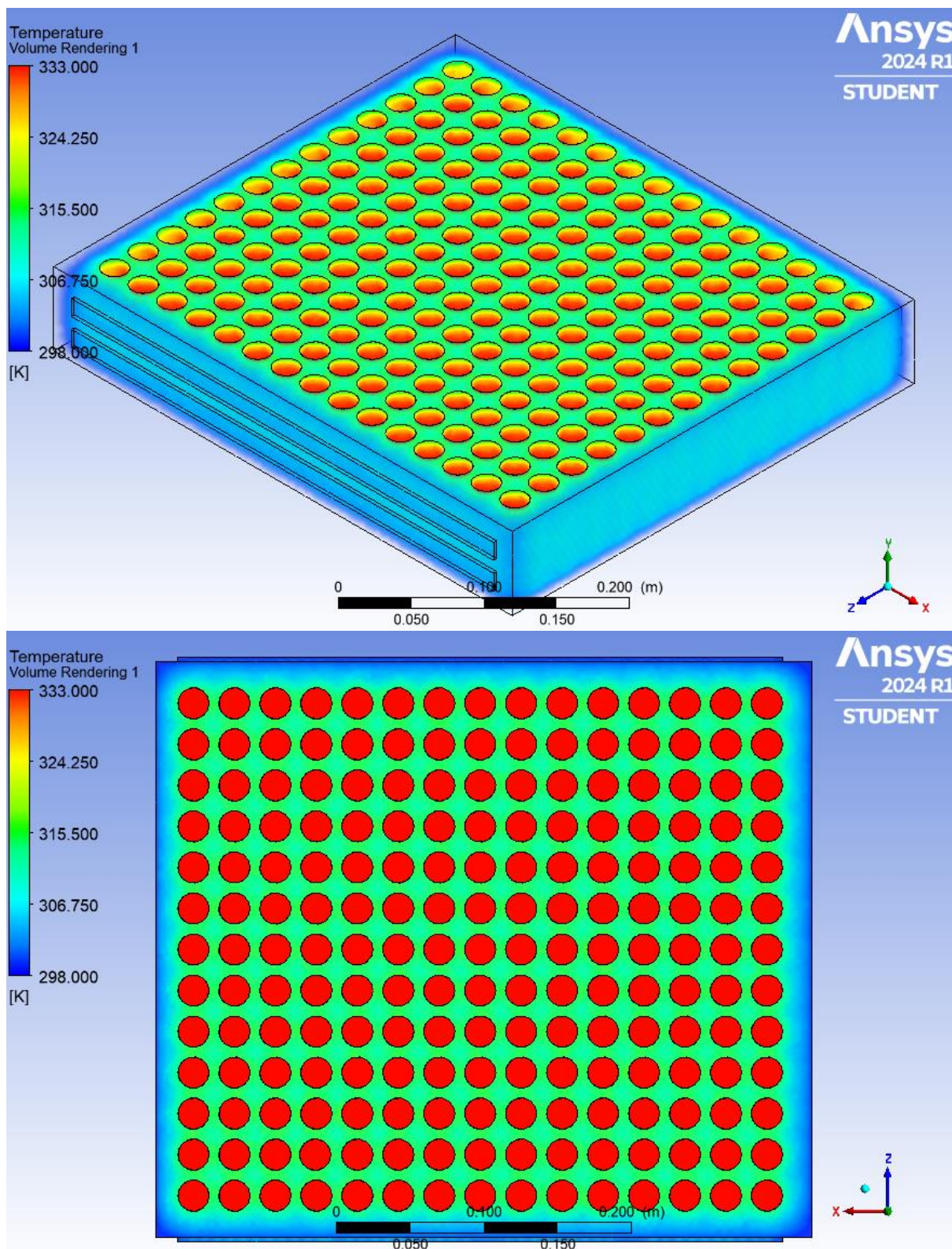


Figura 44. Vista en planta del perfil de temperaturas de la batería cuando la velocidad es 0 m/s.

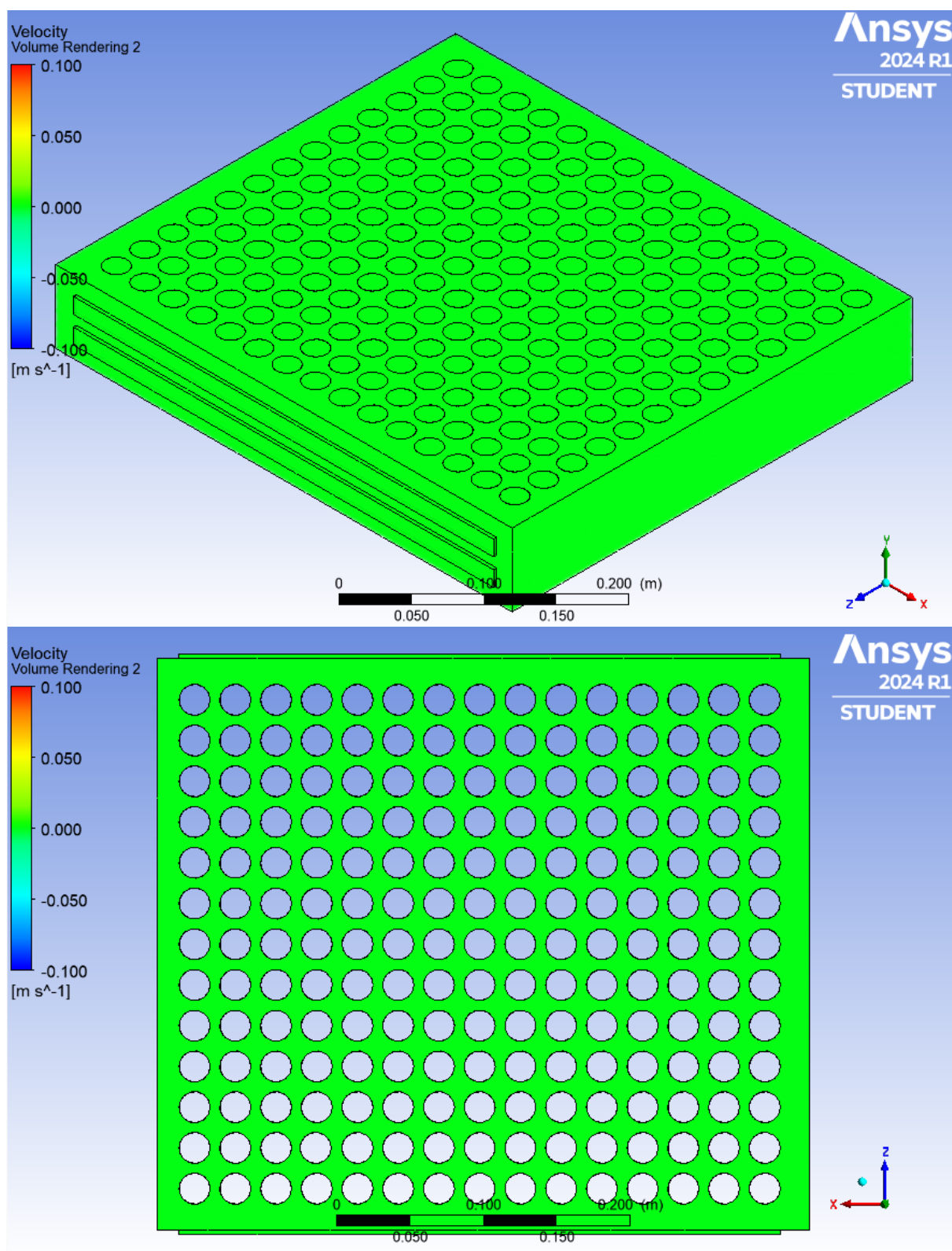


Figura 45. Vista en planta del perfil de velocidades cuando la velocidad es 0 m/s.

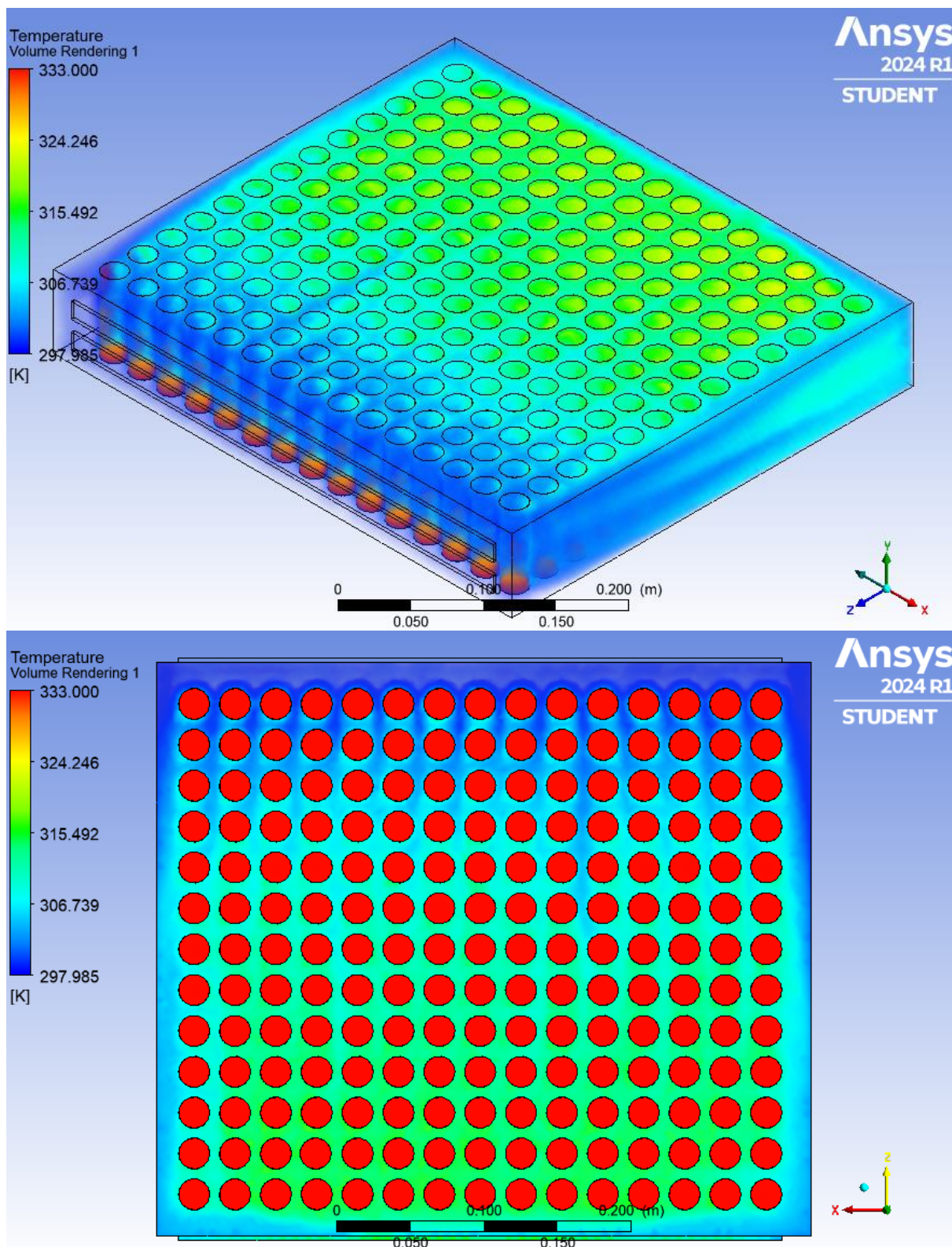


Figura 46. Vista en planta del perfil de temperaturas de la batería cuando la velocidad es 2 m/s.

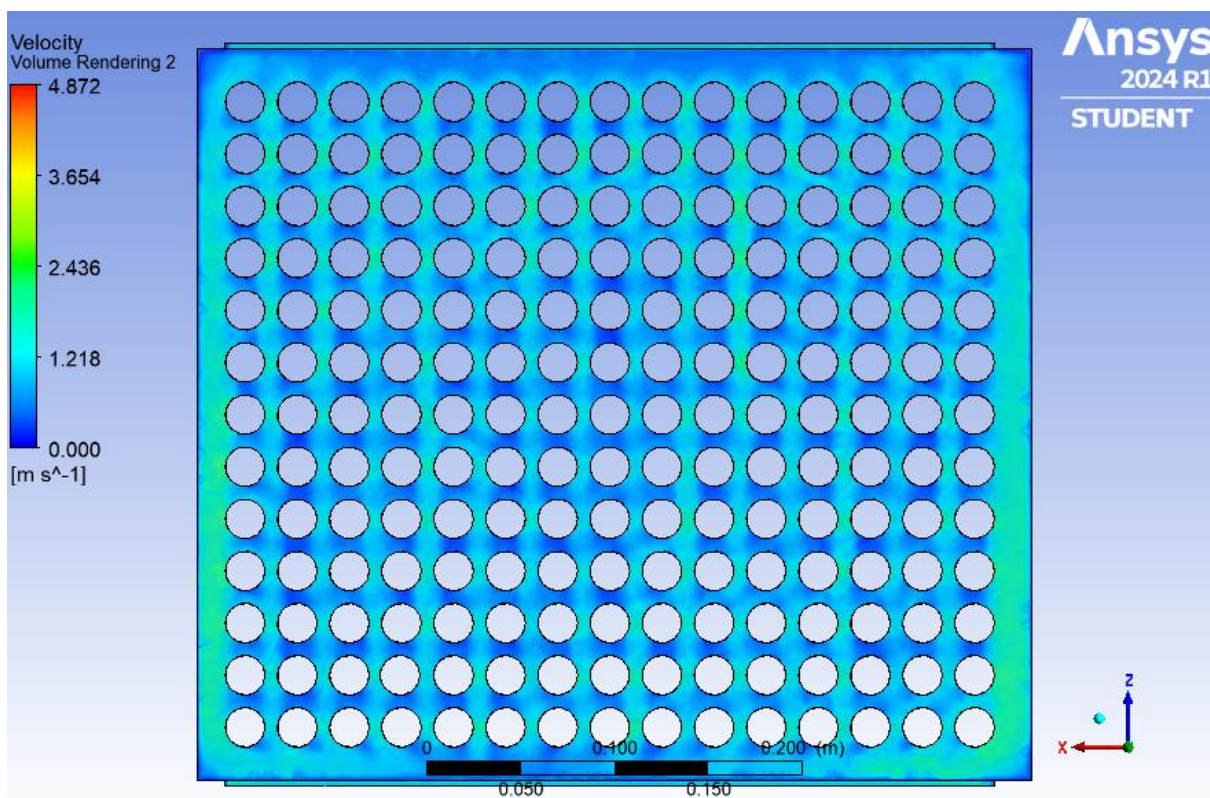
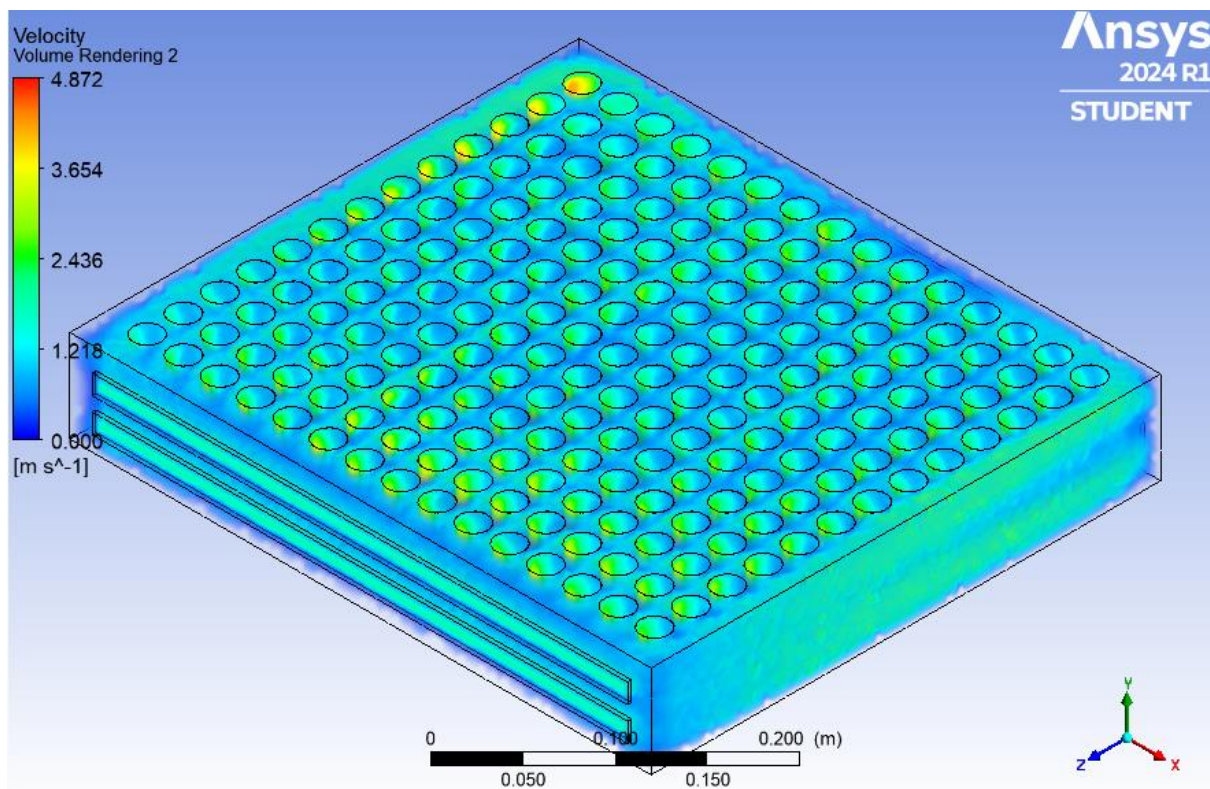


Figura 47. Vista en planta del perfil de velocidades cuando la velocidad es 2 m/s.

1.8.7 Diseño de la carcasa

Dado que no se contará con un sistema de refrigeración y tampoco la carcasa tendrá función estructural en la moto, se ha optado por utilizar una carcasa de polietileno de alta densidad (HDPE) para la batería. Esta elección se debe a la capacidad del HDPE para proporcionar una barrera efectiva contra la humedad, la corrosión y los impactos, protegiendo así los componentes internos de la batería de condiciones ambientales adversas. También se escoge porque el *software* Autodesk Inventor ya tiene datos sobre este material en su base de datos.

Existen una serie de homologaciones que una batería debe pasar para garantizar su seguridad y funcionalidad en diversas condiciones de operación. Estas incluyen pruebas de vibración, choque térmico y ciclismo, choque mecánico, integridad mecánica, resistencia al fuego, protección externa contra cortocircuitos, protección contra sobrecarga y protección contra sobrecalentamiento. Sin embargo, debido a limitaciones de tiempo, para este proyecto específico, se ha decidido no llevar a cabo estas pruebas en esta etapa, ya que solo pasar estas homologaciones se podría hacer un proyecto aparte.

Pero para el diseño de la carcasa sí se hará un análisis de tensiones por elementos finitos para ver si la carcasa puede soportar el peso para su uso. Las distintas homologaciones que tiene que pasar una batería se pueden observar con más detalle en el anexo 2.2.3 *Homologación ECE-R100*.

Dado que la carcasa de la batería no tendrá una función estructural dentro del sistema, el estudio de análisis de tensiones para evaluar su comportamiento será bajo carga del propio peso. El análisis de tensiones consistirá en averiguar el punto donde el desplazamiento es máximo y hacer que no supere 1 mm de desplazamiento en condiciones normales. Esto se hará a partir de un diseño donde los grosores de las paredes de la carcasa se deciden aleatoriamente. En caso de que sean inferiores a los necesarios, se aumentará el grosor de la pared, y en caso de que sean superiores, se disminuirán.

Para llevar a cabo esta simulación, es fundamental definir correctamente el mallado del modelo. El mallado determinará la precisión de los resultados y la capacidad del modelo para capturar el comportamiento mecánico de la carcasa bajo carga. Se utilizará una técnica de mallado que asegure una representación precisa de la geometría y una distribución adecuada de los elementos finitos.

Para el análisis de tensiones se hace una simplificación y solo se tendrá en cuenta la parte inferior, ya que, en Autodesk Inventor, la parte superior e inferior son dos piezas diferentes, y por esta razón no es posible realizar el estudio conjuntamente. Como se puede observar en la figura siguiente, las partes por donde se va a sujetar la batería se consideran puntos fijos y en el centro de la carcasa se define la gravedad y el peso que va a aguantar, en este caso 31 kg. También se puede apreciar el mallado de la pieza, donde el *element size* es de 0,001 m.

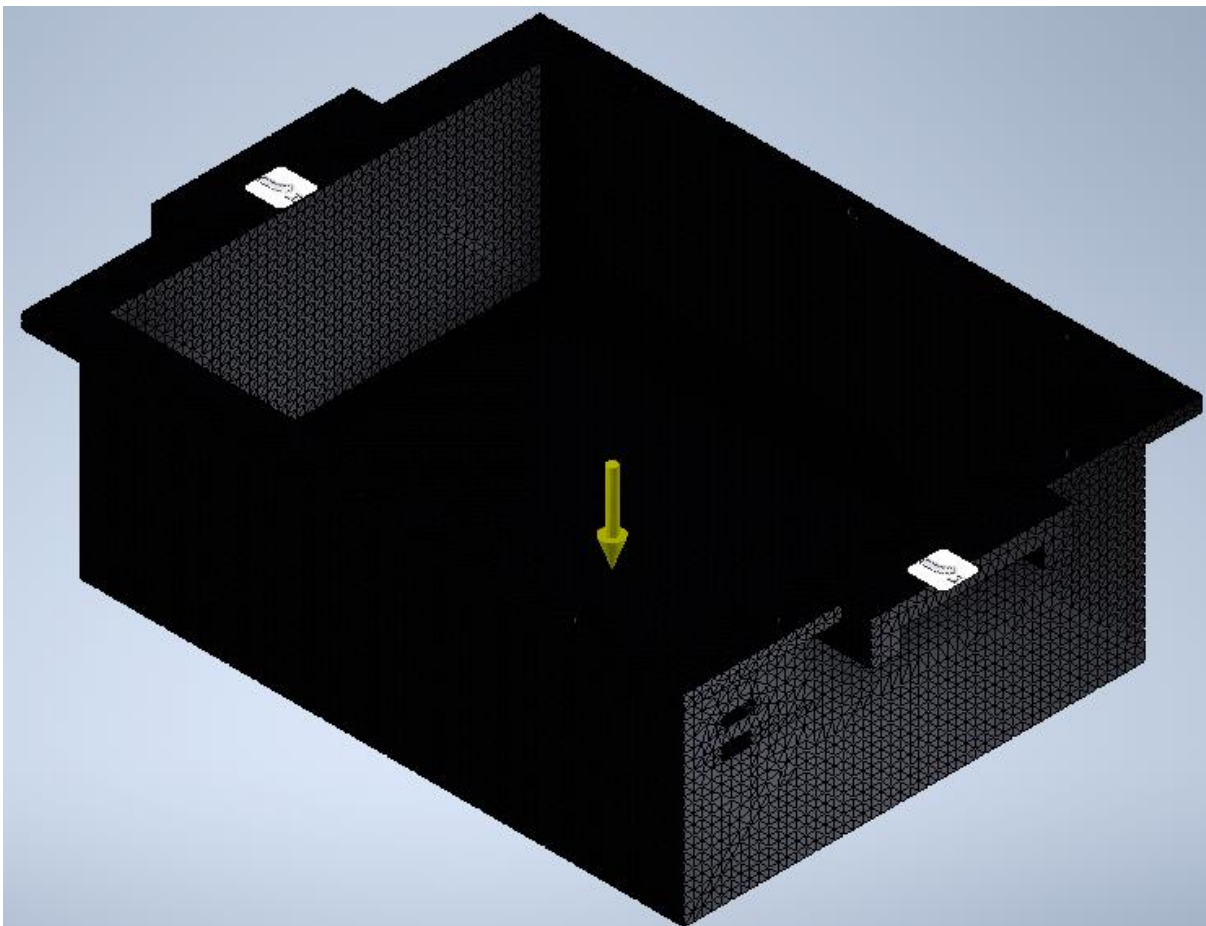


Figura 48. Mallado de la carcasa para el análisis de tensiones.

1.8.7.1 Primera simulación

En la primera simulación, se empieza con las dimensiones de las paredes que se pueden observar a continuación. Donde el grosor del fondo es de 3 cm y las paredes de los lados de 1 cm. Se parte con la hipótesis de que el mayor desplazamiento se producirá en la parte inferior.

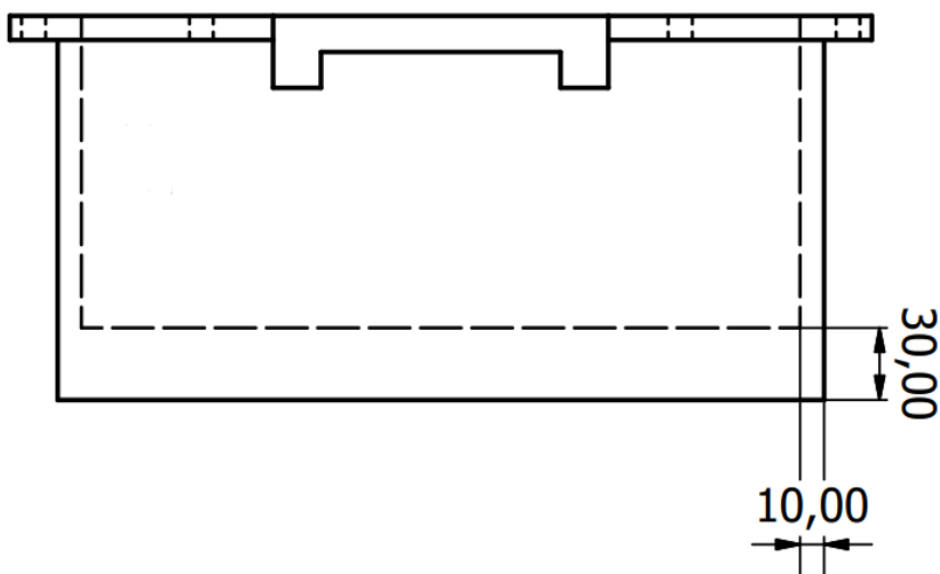


Figura 49. Grosos de las paredes de la carcasa.

Una vez establecido el mallado, se procede a simular la aplicación de la carga sobre la carcasa de la batería. Se analiza la distribución de tensiones y deformaciones en la carcasa para determinar si es capaz de soportar el peso de la batería sin sufrir daños ni deformaciones excesivas. Se presta especial atención a las áreas de mayor concentración de tensiones, como las zonas cercanas a los puntos de sujeción y al centro de la carcasa. A continuación, se pueden ver estos resultados. Las figuras de los resultados se exageran para que se puedan apreciar los cambios, los valores reales se encuentran en las leyendas de las figuras.

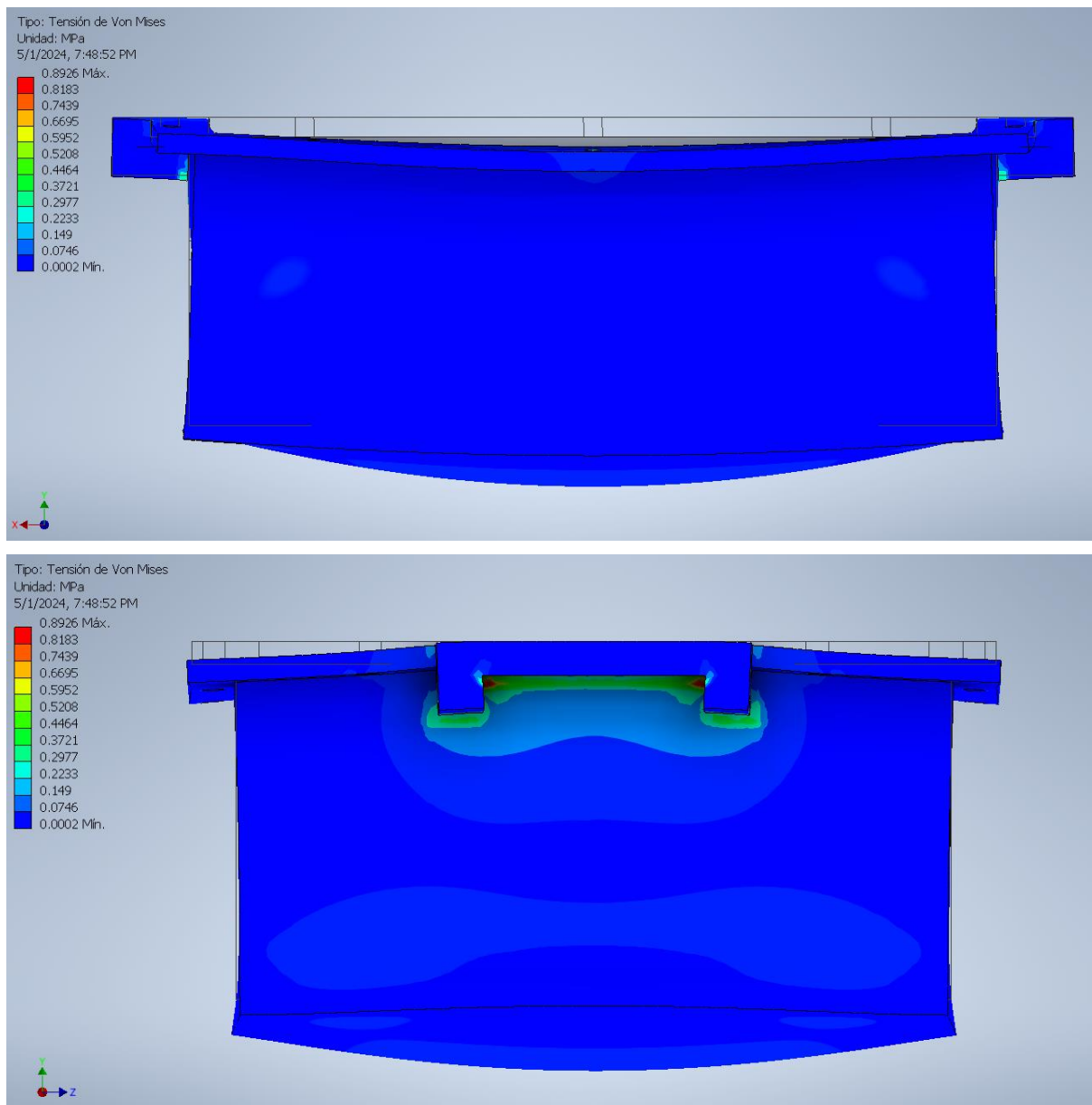


Figura 50. Resultados de la tensión de Von Mises en MPa.

Como se puede observar en la figura anterior, el punto por donde se sujeta la carcaca es donde la tensión de Von Mises es más alta. Una tensión de Von Mises más grande indica una mayor concentración de tensiones en ese punto. Esto significa que la combinación de esfuerzos tangenciales en diferentes direcciones es más significativa.

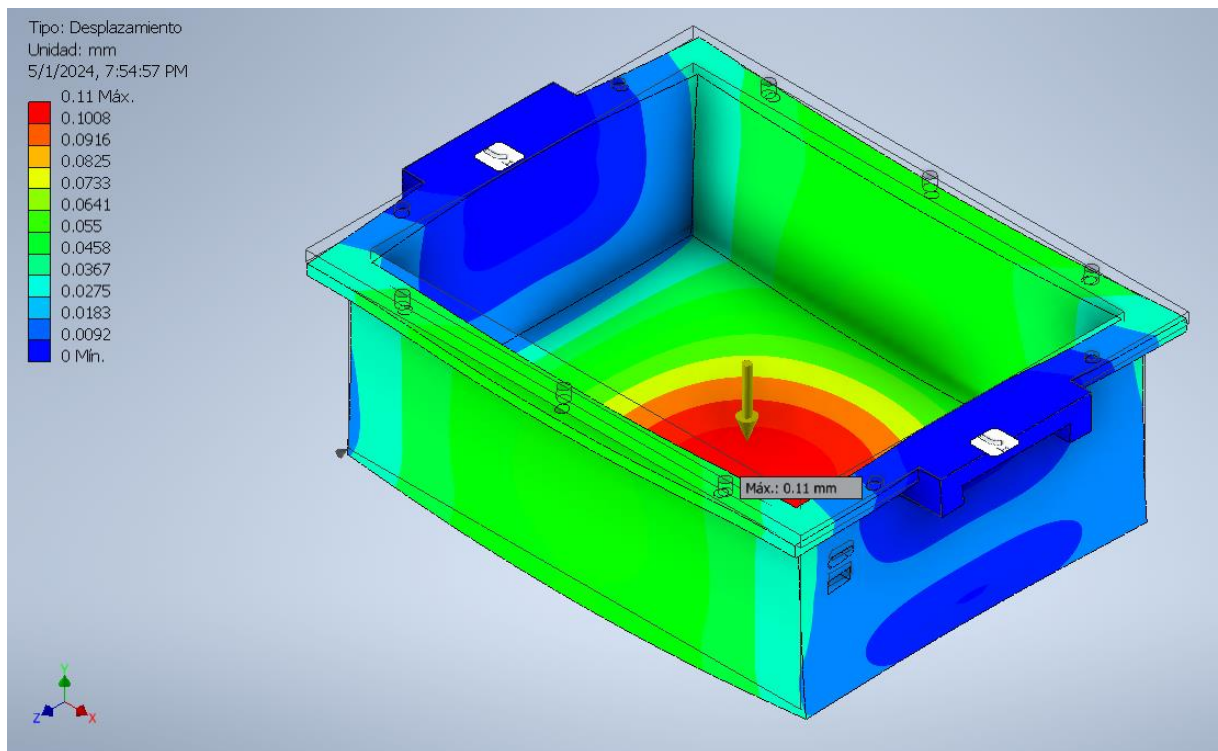


Figura 51. Resultados de desplazamiento en mm.

Aquí podemos ver el desplazamiento de todas las regiones de la carcasa, donde se puede apreciar que el desplazamiento máximo es de 0,11 mm y se da en el centro de la parte inferior de la batería, como se había supuesto antes de simular. Este valor es bastante inferior al de 1 mm, por lo tanto, se puede reducir el grosor de la parte inferior para reducir costos de materiales y que el desplazamiento esté cerca de 1 mm.

También en la siguiente figura podemos ver el valor de la deformación equivalente.

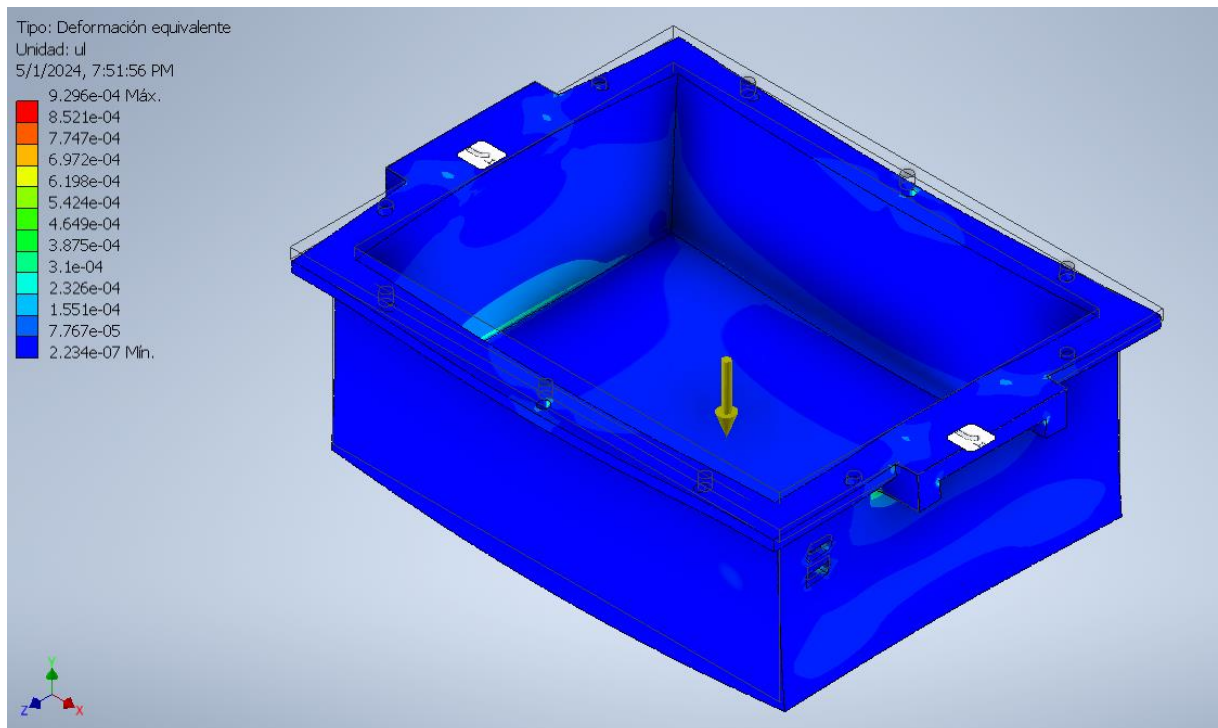


Figura 52. Resultados de deformación equivalente.

Seguidamente, se muestran un resumen de los resultados con valores numéricos.

Tabla 5. Fuerza y pares de reacción en restricciones.

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	181.784 N	0 N	0 N m	0 N m
		181.784 N		0 N m
		0 N		0 N m
Restricción fija:2	181.784 N	0 N	0 N m	0 N m
		181.784 N		0 N m
		0 N		0 N m

Tabla 6. Resumen de los resultados.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	6364440 mm ³	
Masa	6.05895 kg	
Tensión de Von Mises	0.00021629 MPa	0.892632 MPa
Primera tensión principal	-0.308604 MPa	1.25354 MPa
Tercera tensión principal	-0.55724 MPa	0.324021 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.109954 mm
Coefficiente de seguridad	15 su	15 su
Tensión XX	-0.339411 MPa	0.3776 MPa
Tensión XY	-0.29073 MPa	0.283303 MPa
Tensión XZ	-0.1157 MPa	0.112894 MPa
Tensión YY	-0.526433 MPa	1.12811 MPa
Tensión YZ	-0.254095 MPa	0.262568 MPa
Tensión ZZ	-0.339411 MPa	0.498114 MPa
Desplazamiento X	-0.0177873 mm	0.0174427 mm
Desplazamiento Y	-0.109954 mm	0.00108273 mm
Desplazamiento Z	-0.0150298 mm	0.0152525 mm
Deformación equivalente	0.000000223378 su	0.000929592 su
Primera deformación principal	0.0000000274769 su	0.00105317 su
Tercera deformación principal	-0.000554551 su	-0.000000167559 su
Deformación XX	-0.00046566 su	0.000220792 su
Deformación XY	-0.000444233 su	0.000432884 su
Deformación XZ	-0.000176788 su	0.000172501 su
Deformación YY	-0.000285768 su	0.000890295 su
Deformación YZ	-0.000388254 su	0.000401202 su
Deformación ZZ	-0.000420916 su	0.000222774 su

1.8.7.2 Segunda simulación

Ahora se hace la simulación solo cambiando el grosor de la parte inferior de la carcasa, ya que hemos visto es donde se da el mayor desplazamiento. Pasa de ser 3 cm a 1 cm, como se puede observar en la siguiente figura.

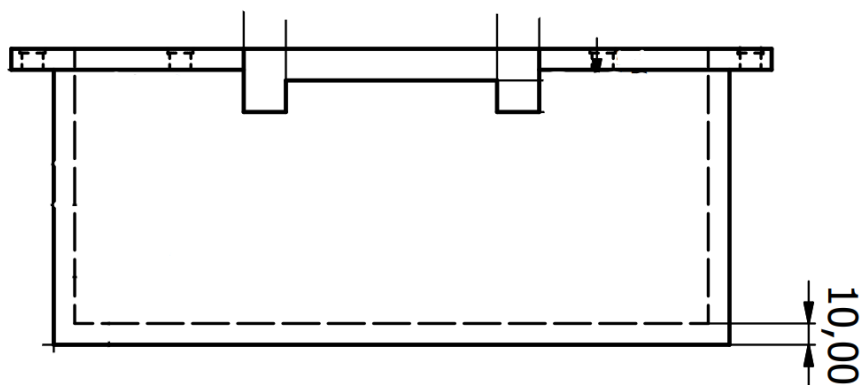


Figura 53. Grosos de las paredes de la carcasa.

Igual que en la simulación anterior, se establece el mallado y se procede a simular la aplicación de la carga sobre la carcasa de la batería, las partes por donde se va a sujetar la batería se consideran puntos fijos y en el centro de la carcasa se define la gravedad y el peso que va a aguantar. A continuación, se muestran los resultados de esta segunda simulación.

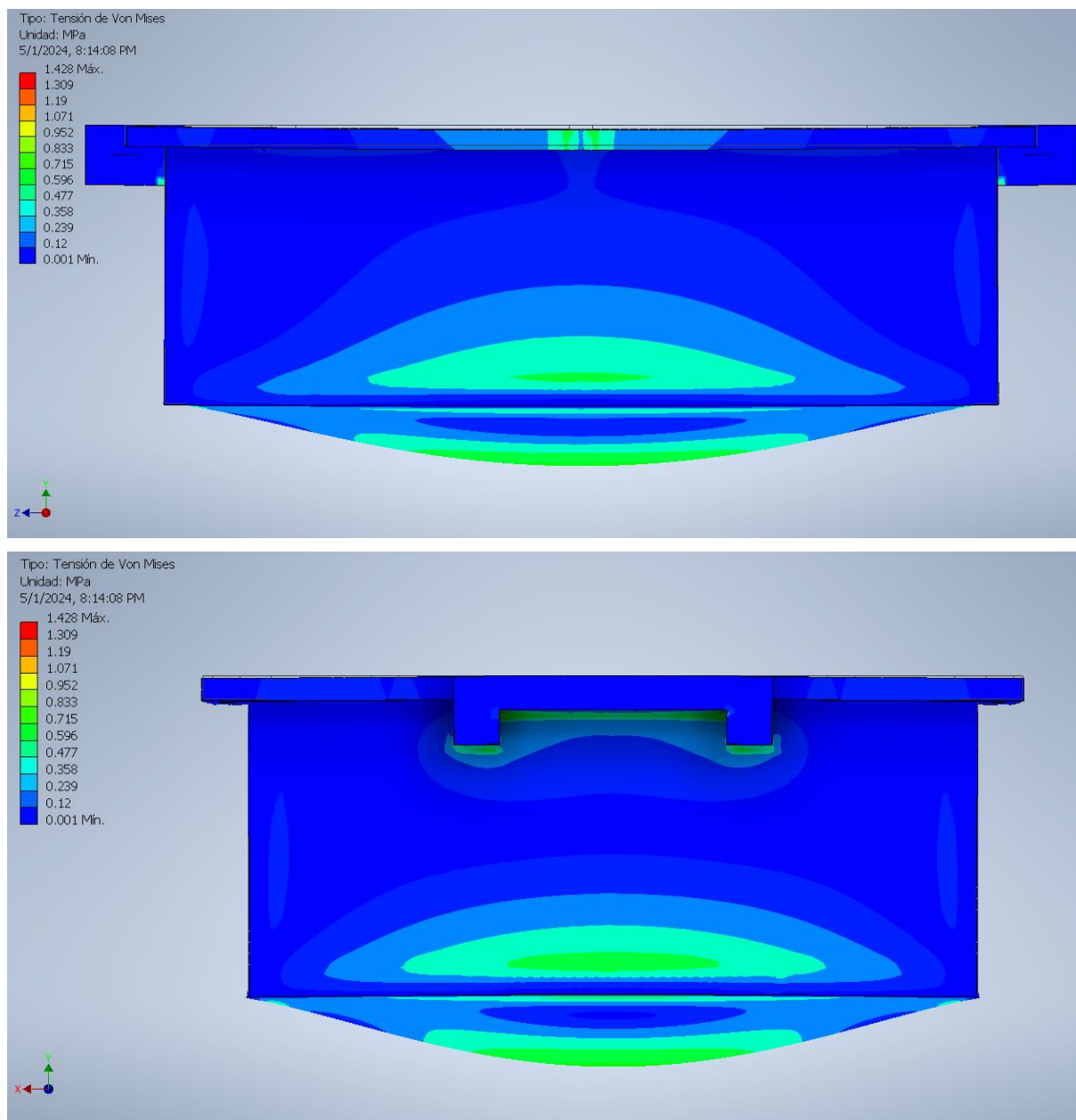


Figura 54. Resultados de la tensión de Von Mises en MPa.

Como se puede observar en la figura anterior, ahora el centro de la parte inferior donde la tensión de Von Mises es más alta, indicando una mayor concentración de tensiones en ese punto. Esto significa que la combinación de esfuerzos tangenciales en diferentes direcciones es más significativa.

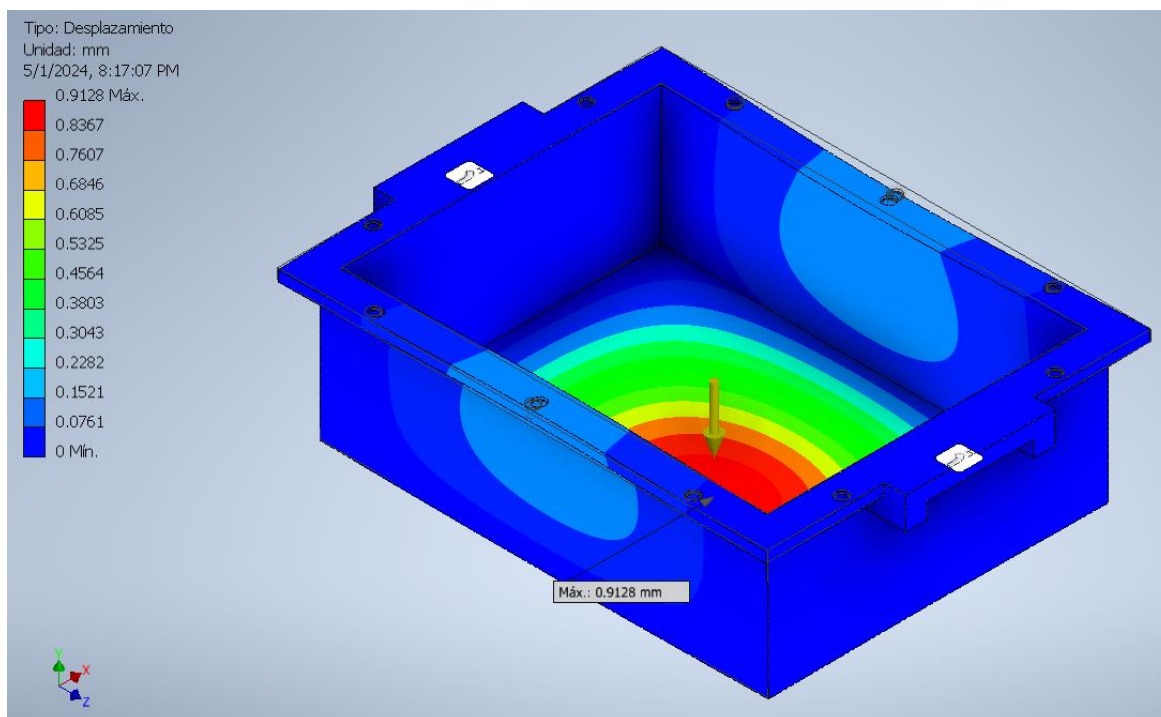


Figura 55. Resultados de desplazamiento en mm.

Aquí podemos ver el desplazamiento de todas las regiones de la carcasa, donde se puede apreciar que el desplazamiento máximo es de 0,91 mm y se da en el centro de la parte inferior de la batería. Este valor está bastante cerca de 1 mm, pero sigue siendo inferior a 1 mm. Se podría reducir algo más el grosor de la parte inferior, pero tampoco la reducción de costos sería importante. Por lo tanto, estos grosores de pared de la segunda simulación serán los definitivos.

También en la siguiente figura podemos ver el valor de la deformación equivalente.

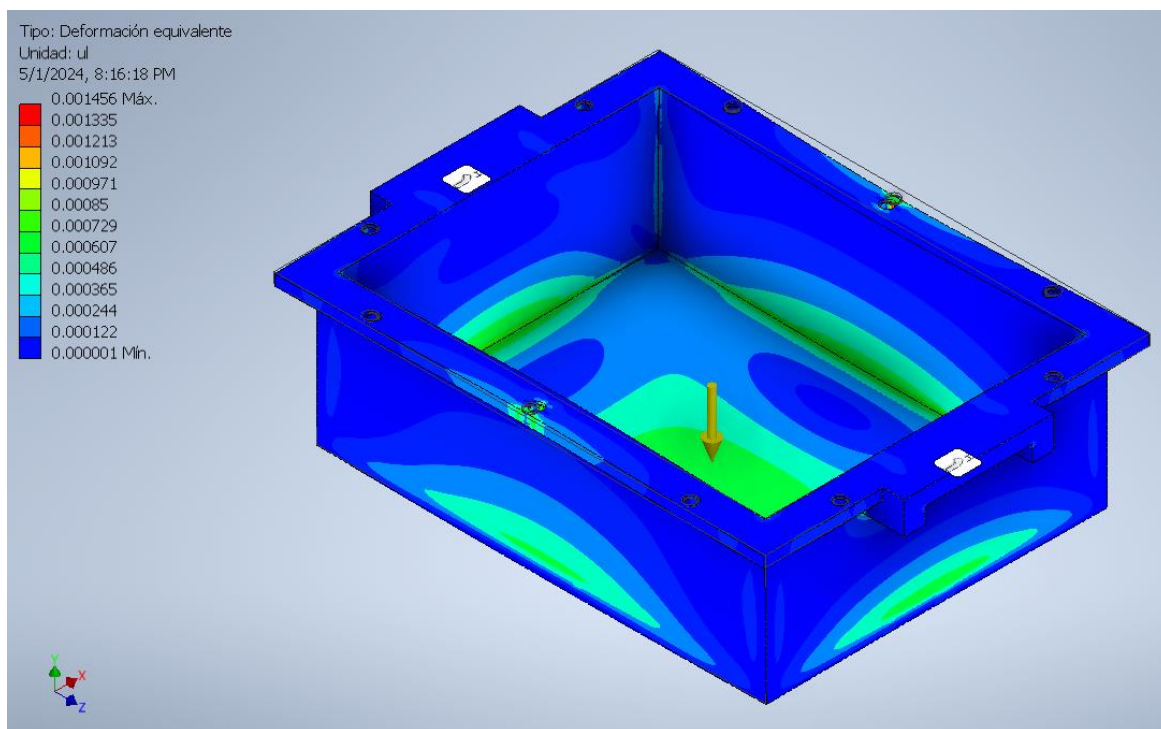


Figura 56. Resultados de deformación equivalente.

Seguidamente, se muestran un resumen de los resultados con valores numéricos.

Tabla 7. Fuerza y pares de reacción en restricciones.

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	169.238 N	0 N	0 N m	0 N m
		169.238 N		0 N m
		0 N		0 N m
Restricción fija:2	169.238 N	0 N	0 N m	0 N m
		169.238 N		0 N m
		0 N		0 N m

Tabla 8. Resumen de los resultados.

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	3679450 mm ³	
Masa	3.50284 kg	
Tensión de Von Mises	0.00120446 MPa	1.42796 MPa
Primera tensión principal	-0.609385 MPa	1.40336 MPa
Tercera tensión principal	-1.65606 MPa	0.499107 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.912781 mm
Coefficiente de seguridad	14.4752 su	15 su
Tensión XX	-0.724427 MPa	0.775155 MPa
Tensión XY	-0.382983 MPa	0.386059 MPa
Tensión XZ	-0.284218 MPa	0.266925 MPa
Tensión YY	-0.828046 MPa	1.24682 MPa
Tensión YZ	-0.2998 MPa	0.290276 MPa
Tensión ZZ	-1.56931 MPa	0.806953 MPa
Desplazamiento X	-0.187056 mm	0.187062 mm
Desplazamiento Y	-0.912781 mm	0.00695508 mm
Desplazamiento Z	-0.0593222 mm	0.0593289 mm
Deformación equivalente	0.00000123421 su	0.00145585 su
Primera deformación principal	0.00000012465 su	0.0012024 su
Tercera deformación principal	-0.00148808 su	-0.000000929528 su
Deformación XX	-0.000553351 su	0.000946415 su
Deformación XY	-0.000585195 su	0.000589895 su
Deformación XZ	-0.000434283 su	0.000407859 su
Deformación YY	-0.000535355 su	0.00101845 su
Deformación YZ	-0.000458092 su	0.000443539 su
Deformación ZZ	-0.00147966 su	0.000698946 su

1.8.7.3 Conclusión

Como se ha comentado anteriormente, los grosores de todas las paredes de la carcasa de la batería serán de 1 cm. De esta forma no se sobrepasa 1 mm de desplazamiento máximo y también se hace una reducción en los costes de materiales disminuyendo el grosor de las paredes.

Además, a la hora de montar la carcasa, por temas de vibración, esta debe estar limpia y libre de polvo y residuos. Se coloca espuma de aislamiento en la base y las paredes interiores para amortiguar las vibraciones y proteger la batería contra impactos. La batería se alinea correctamente dentro de la carcasa y se asegura con cintas de sujeción bien tensas para evitar movimientos. Se utilizan soportes de montaje adicionales, fijándolos con tornillos, tuercas y arandelas en las esquinas o laterales de la batería para mantenerla en su lugar.

1.8.8 Especificaciones y manual de montaje de la batería

1.8.8.1 Especificaciones de la batería

Una vez hecho el diseño de la batería, en la siguiente tabla se pueden observar las especificaciones de la batería.

Tabla 9. Especificaciones de la batería.

ESPECIFICACIONES DE LA BATERÍA	
Capacidad nominal	6,88 kWh
Química de las celdas	Celdas ión-litio
Peso	34,5 kg
Altura caja	190 mm
Anchura caja	360 mm
Profundidad caja	500 mm
Voltaje nominal de la batería	54 VDC
Temperatura de almacenaje (sin cargar)	-20 a 80 °C máx. -20 a 25 °C recomendado
Temperatura de operación	0 °C a 50 °C (carga) -10 °C a 60 °C (descarga)
Material carcasa	HDPE
Corriente máxima de carga	63,7 A
Corriente máxima de descarga	254,8 A



1.8.8.2 Manual de montaje de la batería

Este manual proporciona instrucciones detalladas para el montaje de una batería diseñada para una motocicleta eléctrica. Se basa en los componentes y especificaciones descritas en el proyecto. Asegúrese de seguir estas instrucciones cuidadosamente para garantizar un ensamblaje seguro y eficiente.

1.8.8.2.1 Componentes necesarios

1. Celdas de batería:
 - Tipo: Li-ion.
 - Voltaje nominal: 3,6 V por celda.
 - Capacidad: 5,6 kWh (total del pack).
2. BMS tipos DALY 300 A:
 - Control de voltaje, temperatura y corriente.
 - Protección contra sobrecarga y sobredescarga.
3. Soportes, papel de cebada y láminas de níquel:
 - Para conexión en serie y paralelo de las celdas.
4. Sensores:
 - Sensores de temperatura NTC y sensor de corriente de efecto Hall.

5. Carcasa protectora de HDPE:
 - Dimensiones: Altura 270 mm, Ancho 400 mm, Profundidad 540 mm.
 - Seis piezas de soportes de montaje.
 - Veinticuatro tuercas, tornillos y arandelas M6 (4 por soporte).
 - Espuma de aislamiento.
 - Cintas de sujeción.
6. Elementos del circuito de protección:
 - Dos fusibles Adler 125 A.
 - Tres contactores Albright SU280.
 - Una resistencia de precarga BC-4 resistencia cerámica axial 4 W.
 - Sensor de corriente de efecto Hall.
 - Un conector de entrada tipo IEC.
 - Un conector de salida de bloqueo.
7. Herramientas:
 - Destornilladores, llaves, multímetro, etc.

1.8.8.2.2 Procedimiento de montaje

1. Preparación de las celdas:
 - Inspección: Verifique que todas las celdas estén en buen estado, sin daños físicos.
 - Carga Inicial: Cargue todas las celdas a su voltaje nominal de 3,6 V para equilibrarlas.
2. Montaje de celdas en módulos
 - Conexión en serie: Conecte las celdas en serie para alcanzar el voltaje total necesario. Poner 15 celdas en serie.
 - Conexión en Paralelo: Conecte los grupos de celdas en paralelo para lograr la capacidad deseada. Poner 13 celdas en paralelo abajo y 13 arriba.
 - Pongas las celdas en un soporte y poner el papel de cebada a cada una de las celdas. Después utilice láminas de níquel y soldadura por puntos para asegurar conexiones seguras.

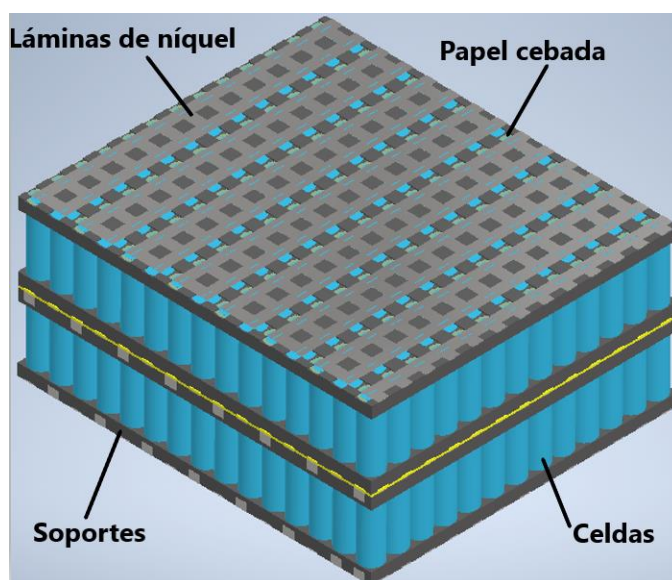


Figura 57. Montaje de celdas en módulos.

3. Instalación del BMS

- Instale sensores de temperatura en puntos estratégicos dentro del pack de celdas. Después de cada dos filas en paralelo poner un sensor de temperatura
- Conecte el BMS a las celdas siguiendo el esquema del fabricante para monitoreo, control y balanceo de las celdas. Luego con cintas de sujeción enganche al módulo.

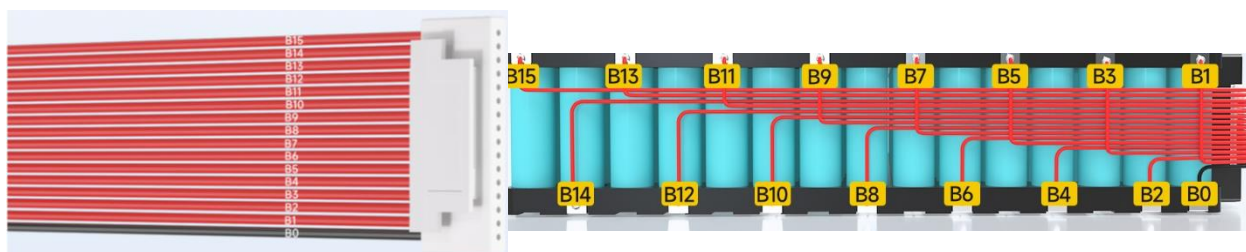


Figura 58. Esquema del fabricante para el balanceo de las celdas.

4. Montaje del circuito de protección

- Coloque los fusibles cerca de las conexiones de alimentación principales de la batería para proteger contra cortocircuitos y sobrecorriente.
- Inserte los fusibles Adler 125 A en sus soportes y conéctelos en serie con la alimentación principal de la batería, uno en lado positivo y el otro en lado negativo. Asegúrese de que estén firmemente sujetos y bien aislados.
- Coloque los tres contactores Albright SU280 en un lugar accesible dentro de la carcasa, cerca de la salida de la batería.
- Conecte cada contactor de la siguiente manera:
 - Contactor 1 (Principal positivo): Este contactor se encargará de la conexión principal de la batería al sistema.
 - Contactor 2 (Precarga): Conecte la resistencia de precarga BC-4 en serie con el contactor de precarga para limitar la corriente inicial y este en paralelo al contactor principal positivo.
 - Contactor 3 (Principal negativo): Este contactor se utilizará para desconectar la batería en caso de emergencia o fallo del sistema.
- Monte la resistencia de precarga BC-4 en serie al contactor de precarga. Asegúrese de que las conexiones sean firmes y de que la resistencia esté debidamente aislada para evitar sobrecalentamiento.
- Coloque el sensor de corriente de efecto Hall en la ruta de corriente principal, preferiblemente cerca de la salida de la batería y en lado negativo.
- Conecte el sensor de corriente de efecto Hall al BMS para que pueda medir y monitorear la corriente en tiempo real. Asegúrese de que las conexiones sean firmes y estén correctamente aisladas.
- Instale el conector de entrada tipo IEC en una ubicación accesible en la carcasa exterior.
- Conecte los cables de entrada a este conector asegurándose de que estén firmemente sujetos y aislados. Este conector permitirá una conexión segura de la fuente de alimentación externa.
- Coloque el conector de salida de bloqueo en una posición conveniente para su fácil acceso.
- Conecte este conector a la salida de la batería, permitiendo una desconexión segura del sistema cuando sea necesario.
- Coloque la *distribution box* dentro de la carcasa con ayuda de tornillos.

- Asegúrese de que el BMS esté correctamente conectado a los fusibles, contactores y sensores de temperatura y corriente.
- Configure el BMS para que controle los contactores, permitiendo la gestión automática de carga, descarga y desconexión en caso de fallo.
- A continuación, se muestra el ejemplo del circuito para facilitar el montaje.

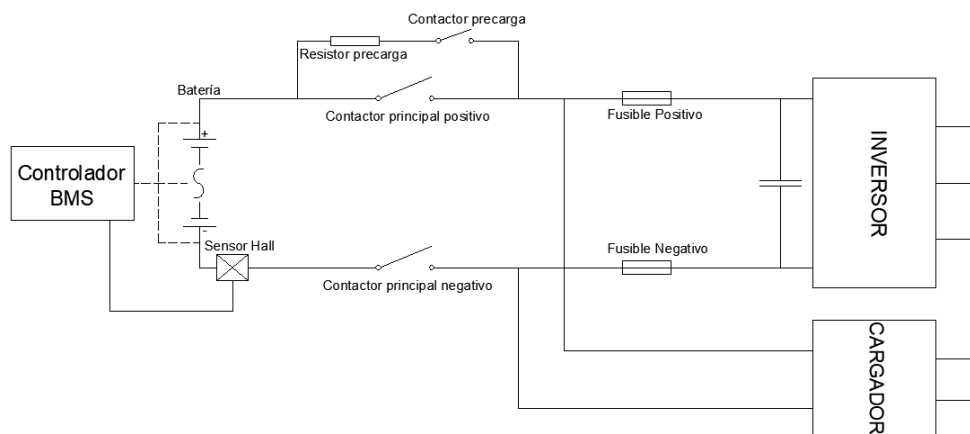


Figura 59. Circuito de protección.

5. Montaje en la carcasa protectora

- Asegúrese de que el interior de la carcasa esté limpio y libre de polvo y residuos.
- Coloque la espuma de aislamiento en la base y las paredes interiores de la carcasa para amortiguar las vibraciones y proteger la batería contra impactos.
- Coloque la batería dentro de la carcasa, asegurándose de que esté alineada correctamente.
- Coloque las cintas de sujeción alrededor de la batería y fíjelas a la carcasa. Asegúrese de que las cintas estén bien tensas y que la batería no se mueva.
- Use soportes de montaje para una fijación adicional.
- Use tornillos, tuercas y arandelas para fijar los soportes de montaje a la base de la carcasa. Coloque los soportes en las esquinas o laterales de la batería para mantenerla en su lugar.
- Verifique que la batería esté firmemente fijada y que no haya movimientos al sacudir ligeramente la carcasa.
- Realice todas las conexiones eléctricas finales asegurándose de que estén bien aisladas y protegidas.

6. Pruebas y verificación

- Verificación de conexiones: Use un multímetro para verificar la continuidad y correcta conexión de todas las celdas y componentes.
- Prueba de funcionamiento: Encienda el sistema y monitoree el BMS para asegurar que todos los parámetros estén dentro de los rangos normales.
- Test de carga/descarga: Realice ciclos de carga y descarga para verificar la capacidad y funcionamiento de la batería bajo condiciones reales.
- Protección personal: Use equipo de protección personal adecuado como guantes aislantes y gafas de seguridad.
- Área de trabajo: Asegúrese de trabajar en un área bien ventilada y libre de materiales inflamables.
- Manipulación de celdas: Manipule las celdas con cuidado para evitar cortocircuitos y daños físicos.

Ameer Hamza Ullah Kousar

Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por Dr. Jonathan Fernández Hée
ANEXOS**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Índice

2	Anexos.....	1
2.1	Documentación inicial	1
2.1.1	Ficha técnica de la batería de la moto SILENCE S01	1
2.2	Cálculos.....	7
2.2.1	Matriz de priorización	7
2.2.2	Variables de medición del BMS.....	9
2.2.2.1	Estado de salud	9
2.2.2.2	Estado de carga	10
2.2.2.3	Área de operación segura	11
2.2.3	Homologación ECE-R100	12
2.2.3.1	Vibración.....	12
2.2.3.2	Choque térmico y ciclismo.....	12
2.2.3.3	Choque mecánico.....	12
2.2.3.4	Integridad mecánica.....	12
2.2.3.5	Resistente al fuego.....	12
2.2.3.6	Protección externa contra cortocircuitos	12
2.2.3.7	Protección contra sobrecarga	13
2.2.3.8	Protección contra sobrecalentamiento	13
2.3	Otros documentos.....	14
2.3.1	Ficha técnica Samsung 50E.....	14
2.3.2	Ficha técnica del BMS DALY	36
2.3.3	Ficha técnica resistencia de precarga.....	57
2.3.4	Ficha técnica de los fusibles.....	58
2.3.5	Ficha técnica de los contactores	60

2 Anexos

2.1 Documentación inicial

2.1.1 Ficha técnica de la batería de la moto SILENCE S01

No se han puesto hojas de la ficha que no aportaban valor.



B.ESPECIFICACIONES BATERÍA Y CARGADOR

DISCLAIMER

La batería puede ser un producto **MUY PELIGROSO** (peligro de muerte) cuando está fuera de la moto:

- Ésta siempre deberá ser transportada sobre sus ruedas, a una velocidad lenta (máx. 3km/h), más despacio que la velocidad que alcanza una persona media cuando anda.
- Debe evitarse cualquier maltrato a la batería, como pueden ser golpes, saltos, paso por adoquines, escalones o agujeros, o caídas (por ejemplo por las escaleras), pues ello puede conllevar el incendio de la misma. Debe evitarse asimismo el contacto con el agua.
- Si tenemos algún indicio o sospecha de que el Battery Pack ha sido mal usado, haya caído, éste no deberá ser enchufado, y se deberá llamar a un Servicio Oficial (SVD) por **PELIGRO DE MUERTE**.

Un incendio de esta batería puede ser sofocado con agua o CO₂, a menos que ésta se encuentre conectada a la red o cerca de otras baterías. Ante tal eventualidad, deberá usarse un extintor de CO₂ para poder aminorar el incendio y poderla llevar a una zona segura aislada (a una distancia de al menos 15m de cualquier exposición: otros vehículos, otras baterías...). Una vez en zona segura, llame a los servicios de emergencias para que se hagan cargo de la situación.



1) Componentes Battery Pack

El modelo S01 de SILENCE dispone de un innovador pack de baterías extraíble, el cual, además de sus sistemas internos básicos, integra los siguientes elementos:

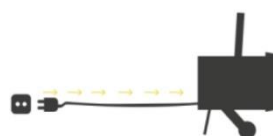
a) Sistema extracción tipo Trolley

Este sistema consta de un asa extensible, dos ruedas y un apoyo (a utilizar sobre superficies planas horizontales). Para conocer el funcionamiento de la operativa de extracción de la moto, consultar el apartado "Extracción batería".



b) Cargador interno

Integrado en una de las tapas laterales, el cargador interno de 600W permite a la batería ser cargada tanto desde la moto como fuera de la misma en cualquier clavija para enchufe convencional (Schuko), mediante un cable de alimentación Schuko-IEC:



15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

46



c) Aro luminoso

Para conocer el estado de carga de la batería, independientemente de que ésta se encuentre en la moto o fuera, existe en un lateral de la misma un aro luminoso LED. Palmeando ligeramente el interior del aro, se nos mostrará la siguiente información:



NO EN CARGA: al palmeo el centro del aro, éste mostrará una estela móvil roja y una azul, dando una vuelta completa, cada una en un sentido. Acto seguido se mostrará en turquesa y luego se indicará momentáneamente el porcentaje de carga restante, mediante una porción fija en verde (o todo el aro, en el caso de estar al 100%). En caso de batería baja, se mostrará todo el aro en rojo.

EN CARGA: mientras la batería esté cargando, se alternará una estela verde móvil en todo el aro con una porción fija del mismo, indicando el porcentaje total cargado. Una vez se llegue al 100%, el aro se mostrará completo en verde con una estela azul dando vueltas mientras siga enchufada.

En caso de estar el contacto de la moto dado, el aro no se encenderá en ninguna situación.

15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

47



2) Energía

Con nuestro sistema de batería extraíble del modelo S01, hemos creado un conjunto de piezas que hacen posible darle un uso más a nuestras baterías. Ya no se trata sólo de moverse por la ciudad con la moto eléctrica y de poder cargarla donde tú quieras y cuando quieras. Ahora, además, podrás dar vida a muchos más aparatos.



- o **Energy IN:** Por un lado, encontrarás la energía con la que alimentar el pack de baterías, lo que en SILENCE denominamos "Energy IN". Puedes cargar tu batería con nuestros armarios de carga rápida, enchufándola directamente a la corriente con un enchufe normal, o a través de la energía solar. En SILENCE hemos desarrollado un árbol solar (*Solar be Tree*) que se podrá adquirir como accesorio pudiendo generar un círculo de energía limpia.

15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

48



- o **Energy OUT:** Por otro lado, tenemos la "Energy OUT", que es todo aquello que funciona gracias a la energía que la batería les proporciona, es decir, todas las aplicaciones del pack de baterías: energía para tu S01, o para tu ordenador, la televisión, un hornillo de camping, una cafetera o un microondas, por ejemplo.

Todo aquello que necesite corriente eléctrica se puede alimentar gracias al *inverter* que SILENCE ha desarrollado para adaptar la potencia a 700W y dar energía a todo lo que necesites. Tan solo hay que conectar el *Battery Pack* al *inverter*, que transforma el voltaje de 60V a 220V. Cuenta con 2 salidas donde puedes enchufar cualquier electrodoméstico o aparato electrónico, estés donde estés.



3) Intercambio de baterías (Próximamente disponible)

Próximamente podrás usar las Battery Station SILENCE para hacer intercambio de baterías. Podrás reservar una batería cargada y disponible a través de la APP SILENCE, e intercambiarla por tu batería baja de carga, sin perder tiempo en cargarla. *Apto sólo para compra con alquiler de batería.*



15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

49

4) Sistema de control de la batería (BMS)

Esta batería dispone de un sistema de monitorización, llamado **BMS** (*Battery Management System*, en inglés) que se encarga de controlar parámetros tales como la temperatura y la tensión. Ha sido desarrollado por el equipo de I+D de SILENCE y hace una función muy importante que consiste en un balance de la carga individual y en conjunto de cada serie de celdas, permitiendo un funcionamiento óptimo de la batería.

Este sistema también es el responsable de comunicar el estado de carga y fijar las consignas de corriente de carga y descarga. Así mismo, también dispone de un plan de acción en caso de un estado anómalo de la batería, haciendo saltar protecciones a modo preventivo en caso de exceso de corriente, tensión, temperatura, etc.

En definitiva, el BMS es el "cerebro" de la batería, el cual vela por optimizar el rendimiento y seguridad de la misma.

5) Conectando la unidad de carga

La batería de tu S01 puede cargarse tanto en la propia moto como por separado. En cualquier caso, moto y batería constan de una clavija IEC macho en la cual se conecta el cable de alimentación. Este consta de un terminal hembra IEC y otro Schuko macho (el habitual en España para conectar a la red doméstica), y suele guardarse en el hueco de debajo del asiento donde se encuentra el conector macho. En la batería se encuentra en la parte trasera:



15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

50

Antes de introducir o extraer el pack de baterías, asegurar que no esté la moto cargando ni el contacto dado.

El cargador (600W) va incorporado en el propio pack de baterías, con lo que para cargar sólo será imprescindible la toma de corriente de la red y el cable de alimentación. Va refrigerado por convección.

- **Para conectar**, deberá enchufarse primero el conector IEC (moto o propia batería) y luego la red. Es importante realizar cargas completas al menos después de cargar parcialmente 3 o 4 veces.

- **Para desconectar**, deberá desenchufarse primero la red y luego el conector IEC. El proceso de carga se puede interrumpir en cualquier momento. Por otro lado, el sistema de control detiene la carga automáticamente cuando llega al 100%.

En caso de estar la batería a menos de 0°C o a más de 50°C (por un uso inadecuado), no cargará.

¡IMPORTANTE!

Debe realizarse una carga completa cada 30 días para mantener la garantía*.

Si se conecta estando a baja temperatura, se encenderá un calentador interno de la misma hasta que alcance los 15°C (en unidades de batería que dispongan de este elemento activado). Este calentador funciona mientras esté enchufada a la red y consigue que el paso de corriente se produzca en condiciones de temperatura adecuadas. En este caso, el tiempo de carga se verá afectado y será superior al que se obtendría en condiciones de temperatura dentro del rango de uso normal.

Se recomienda que en lugares fríos y durante estaciones frías del año se mantenga la batería conectada a la red, de forma que el calentador caliente las celdas y éstas se encuentren a temperatura adecuada para que el scooter pueda ser usado con normalidad.

* Para mantener la garantía de tu batería, deberás realizarle una carga completa (hasta el 100%) por lo menos una vez al mes. Es muy importante que si prevés que va a estar mucho tiempo sin uso la dejes con carga suficiente para que no baje a niveles críticos. Una batería que excede cierto límite inferior de voltaje pierde la autonomía para funcionar, lo que implica que no puede ser cargada y necesita ser llevada a un servicio técnico oficial.

15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility


51



6) Temperatura

Este scooter cuenta con un sistema de control y estabilización de tensión y temperatura de las celdas. Para evitar situaciones críticas, los sistemas de seguridad limitan el uso de la batería si la temperatura de la celda supera los límites de seguridad en caso de sobrecalentamiento.

- El rango de funcionamiento de la batería es entre -10º y 50ºC. Dependiendo de la temperatura, el rendimiento de las celdas de litio puede ser variable.
- El cargador no carga la batería si la temperatura de las celdas es inferior a 0ºC o superior a 50ºC.
- La temperatura actual de la batería puede consultarse en el display del scooter. En caso de superarse alguno de los límites (superior o inferior, alerta o fallo) se indicará mediante el siguiente led:

	Indicador de temperatura. Se enciende de forma intermitente cuando algún componente se acerca a su límite (superior o inferior) admisible. Lo hace de forma fija cuando lo supera. Motor: 100ºC (int), 110ºC (fij). Controlador: 70ºC (int), 75ºC (fij). Batería: 50ºC (int), 60ºC (fij) / 5ºC (int), -10ºC (fij)
-----------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Las acciones a tomar según el caso son las siguientes:

-**Temperatura baja:** La batería no trabaja en condiciones óptimas, pon a cargar el scooter.

-**Temperatura alta:** Debido a un uso extensivo la batería no puede entregar más potencia, evita el modo Sport y detén el vehículo si es necesario para que se enfríe.

7) Indicador de carga de batería en % (SoC)

Con el fin de obtener la lectura del estado de carga de la batería (SoC, en %) con la máxima precisión, es necesario terminar el proceso de carga hasta el 100% (al menos después de 3 o 4 cargas parciales).

15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

52



8) Autonomía

Se define como autonomía de un vehículo eléctrico la distancia que se puede recorrer en una sola carga completa de la batería.

Ésta viene influenciada por muchos factores, como pueden ser el estilo de conducción, carga de la moto y su correcta distribución, presión de los neumáticos o condiciones climáticas desfavorables, como el viento, que pueden reducirla.

En el display se ofrece un estimación de los kilómetros (o millas) restantes de autonomía. Este dato es **aproximado** y depende del modo de conducción y de la descarga que se esté produciendo actualmente.

9) Buenas prácticas para el correcto mantenimiento de la batería

La vida útil de la batería puede durar 1000 ciclos manteniendo un 80 % de su capacidad si se realiza el mantenimiento según garantía y se siguen una serie de buenas prácticas:


- Evitar usar el modo Sport en exceso, procurando utilizar el mayor tiempo posible el modo City (Motivo: evitar conducción agresiva con aceleraciones bruscas continuadas).
- Evitar descargar la batería por completo, poner a cargar la batería en torno el 25% de SoC, evitando así hacer ciclos completos limitando la profundidad de descarga.
- Mantener la temperatura de la batería entre 20-30ºC, estar fuera de este rango el menor tiempo posible. Al exceder estas temperaturas la batería tanto en altas como en bajas temperaturas se deteriora con mayor facilidad, perdiendo propiedades.
- Siempre que sea posible, utilizar el cargador interno para la carga, evitar el uso continuado de cargadores rápidos.

15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

53

10) Avisos de batería

AVISO  **NUNCA ABRIR LA CAJA DE LA BATERIA**

PUEDE SER MUY PELIGROSO E INVÁLIDA POR COMPLETO LA GARANTÍA.
SÓLO EL PERSONAL AUTORIZADO DEBE ACTUAR SOBRE LA CAJA DE

EN CASO DE QUE EMPEZASE A SALIR HUMO DE LA BATERÍA, ES IMPRESCINDIBLE LLAMAR URGENTEMENTE A LOS BOMBEROS (PELIGRO DE MUERTE) Y SACARLA DEL ESPACIO CERRADO EN EL QUE SE ENCUENTRE.

EL VEHÍCULO NO PUEDE EXPLOTAR, ASÍ QUE NO HAY PROBLEMA EN EL TRANSPORTE HASTA UNA LOCALIZACIÓN SEGURA

AVISO



Para evitar lesiones, quemaduras o descargas eléctricas:

- Nunca desmontar la unidad de batería o quitar sus tapas. Sólo el personal autorizado debe hacerlo.
- Mantener a los niños lejos de esta parte del scooter.
- No perforar o golpear esta zona al usar elevadores, ni exponer a llamas, ni incinerar, ni exponer a líquidos, ya que al crear un exceso de calor puede generar fuego y puede ser muy peligroso.

Personal Autorizado Cualificado

Hay que asegurarse de leer el manual de taller antes de reparar o reemplazar la batería.

15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

54

a) Medidas de primeros auxilios

En caso de rotura de la batería, humo o incendio, evacuar al personal de la zona contaminada y proporcionar la máxima ventilación para limpiar los gases. En todo caso, busque atención médica.

- o Contacto con los ojos: Lavar con abundante agua (párpados abiertos) durante al menos 10 minutos.
- o Contacto con la piel: Quitar toda la ropa contaminada y lavar el área afectada con abundante agua y jabón durante al menos 15 minutos. No aplicar grasas o pomadas.
- o Inhalación: Llevar al aire libre y ventilar el área contaminada. Administrar oxígeno o respiración artificial si es necesario.

b) Medidas contra incendios

Medios de extinción:

- o Se puede utilizar: Extintores Tipo D, CO2, químico seco.
- o Peligros específicos: el recalentamiento de las celdas debido a fuente externa o por uso indebido.

15/12/2020

Copyright© SILENCE Urban Ecomobility

55

2.2 Cálculos

2.2.1 Matriz de priorización

Como se ha mencionado anteriormente, para escoger el tipo de celda, se ha hecho mediante una matriz de priorización. Esta matriz tiene en cuenta las baterías mencionadas anteriormente, así como sus características más relevantes, tales como coste, densidad, ciclos de vida, seguridad, impacto medioambiental y velocidad de carga/descarga.

Primero de todo, se definen los diferentes criterios que se van a tener en cuenta de las baterías para poder realizar la matriz. Una vez definidos estos criterios, se debe priorizar cada criterio respecto el otro con un valor.

En este caso se han utilizado los valores de la tabla 2.2.1.1. En la siguiente tabla se observa el significado de estos valores.

Tabla A.1. Leyenda del significado de los valores utilizados en la matriz de priorización.

1	Igual
5	Significativamente más
10	Extremadamente más
1/5	Significativamente menos
1/10	Extremadamente menos

En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de la priorización de estos criterios, donde en la última columna se observa el valor de la importancia de cada criterio en porcentaje

Tabla A.2. Matriz de priorización de los diferentes criterios.

Criterios	Coste	Densidad	Ciclos de vida	Seguridad	Impacto Medioambiental	Velocidad de carga/descarga	Total fila	%
Coste	1	1/5	1/10	10	5	16,3	14%	
Densidad	1	1	1/5	1/10	10	16,3	14%	
Ciclos de vida	5	5	1	1/5	10	30,2	26%	
Seguridad	10	10	5	1	10	45,0	39%	
Impacto Medioambiental	1/10	1/10	1/10	1/10	1	0,60	1%	
Velocidad carga/descarga	1/5	1/5	1/10	1/10	5	5,60	5%	

Ahora se procede a priorizar las diferentes baterías por cada uno de los criterios definidos anteriormente. Los resultados se pueden observar en las siguientes tablas.

Tabla A.3. Matriz de priorización de las diferentes baterías respecto el coste.

Coste	Plomo-ácido	Níquel-cadmio	Níquel-metal hidruro	IONES de litio	Litio Polímero	Pila de hidrógeno	Total fila	%
Plomo-ácido	1	1	5	5	10	22,0	28%	
Níquel-cadmio	1	1	5	5	10	22,0	28%	
Níquel-metal hidruro	1	1	1	5	10	22,0	28%	
IONES de litio	1/5	1/5	1/5	1	5	6,60	8%	
Litio Polímero	1/5	1/5	1/5	1	5	6,60	8%	
Pila de hidrógeno	1/10	1/10	1/10	1/5	1/5	0,70	1%	

Tabla A.4. Matriz de priorización de las diferentes baterías respecto la densidad.

Densidad	Plomo-ácido	Níquel-cadmio	Níquel-metal hidruro	IONES de litio	Litio Polímero	Pila de hidrógeno	Total fila	%
Plomo-ácido	1	1	1/10	1/10	1/5	2,40	3%	
Níquel-cadmio	1	1	1/10	1/10	1/5	2,40	3%	
Níquel-metal hidruro	1	1	1	1/10	1/5	2,40	3%	
IONES de litio	10	10	10	1	5	36,0	45%	
Litio Polímero	10	10	10	1	5	36,0	45%	
Pila de hidrógeno	5	5	5	1/5	1/5	15,4	19%	

Tabla A.5. Matriz de priorización de las diferentes baterías respecto los ciclos de vida.

Ciclos de vida	Plomo-ácido	Níquel-cadmio	Níquel-metal hidruro	IONES de litio	Litio Polímero	Pila de hidrógeno	Total fila	%
Plomo-ácido	1	1/5	1/10	1/10	1/5	1,60	2%	
Níquel-cadmio	1	1	1/10	1/10	1/5	1,60	2%	
Níquel-metal hidruro	5	5	1	1/5	1	11,4	14%	
IONES de litio	10	10	5	1	5	31,0	39%	
Litio Polímero	10	10	5	1	5	31,0	39%	
Pila de hidrógeno	5	5	1	1/5	1/5	11,4	14%	

Tabla A.6. Matriz de priorización de las diferentes baterías respecto la seguridad.

Seguridad	Plomo-ácido	Níquel-cadmio	Níquel-metal hidruro	Íones de litio	Litio Polímero	Pila de hidrógeno	Total fila	%
Plomo-ácido		10	5	5	10	10	40,0	50%
Níquel-cadmio	1/10		1/5	1/5	5	5	10,5	13%
Níquel-metal hidruro	1/5	5		1	10	10	26,2	33%
Íones de litio	1/5	5	1		10	10	26,2	33%
Litio Polímero	1/10	1/5	1/10	1/10		1	1,50	2%
Pila de hidrógeno	1/10	1/5	1/10	1/10	1		1,50	2%

Tabla A.7. Matriz de priorización de las diferentes baterías respecto el impacto ambiental.

Impacto Medioambiental	Plomo-ácido	Níquel-cadmio	Níquel-metal hidruro	Íones de litio	Litio Polímero	Pila de hidrógeno	Total fila	%
Plomo-ácido		1	1/5	1/5	5	5	11,4	14%
Níquel-cadmio	1		1/5	1/5	5	5	11,4	14%
Níquel-metal hidruro	5	5		1	10	10	31,0	39%
Íones de litio	5	5	1		10	10	31,0	39%
Litio Polímero	1/5	1/5	1/10	1/10		1	1,60	2%
Pila de hidrógeno	1/5	1/5	1/10	1/10	1		1,60	2%

Tabla A.8. Matriz de priorización de las diferentes baterías respecto velocidad de carga/descarga.

Velocidad de carga/descarga	Plomo-ácido	Níquel-cadmio	Níquel-metal hidruro	Íones de litio	Litio Polímero	Pila de hidrógeno	Total fila	%
Plomo-ácido		1	1	1/5	1/5	1/10	2,50	3%
Níquel-cadmio	1		1	1/5	1/5	1/10	2,50	3%
Níquel-metal hidruro	1	1		1/5	1/5	1/10	2,50	3%
Íones de litio	5	5	5		1	1/5	16,2	20%
Litio Polímero	5	5	5	1		1/5	16,2	20%
Pila de hidrógeno	10	10	10	5	5		40,0	50%

Ahora se conocen dos valores, la importancia de cada criterio y la mejor batería para cada criterio. Para obtener el resultado final, se multiplican estos dos valores para cada batería y se obtiene la siguiente matriz.

Tabla A.9. Resultados finales de la matriz de priorización.

	Coste	Densidad	Ciclos de vida	Seguridad	Impacto Medioambiental	Velocidad de carga/descarga	Total fila	%
Plomo-ácido	0,0394	0,0043	0,0053	0,1976	0,0008	0,0015	0,25	21%
Níquel-cadmio	0,0394	0,0043	0,0053	0,0519	0,0008	0,0015	0,10	9%
Níquel-metal hidruro	0,0394	0,0043	0,0378	0,1294	0,0020	0,0015	0,21	18%
Íones de litio	0,0118	0,0644	0,1028	0,1294	0,0020	0,0100	0,32	27%
Litio Polímero	0,0118	0,0644	0,1028	0,0074	0,0001	0,0100	0,20	17%
Pila de hidrógeno	0,0013	0,0276	0,0378	0,0074	0,0001	0,0246	0,10	8%

De esta forma se observa en los resultados finales que la mejor opción es utilizar la celda de iones de litio para este caso.

2.2.2 Variables de medición del BMS

2.2.2.1 Estado de salud

La vida útil o estado de salud (SOH, *State Of Health*) se refiere a la capacidad de una batería o su condición actual en comparación con su estado ideal. El SOH ayuda a determinar el porcentaje de vida útil de la batería disponible o restante.

Los parámetros que cambian con la edad de una batería, como la impedancia o la conductancia, se pueden utilizar para determinar el SOH de una celda. Cuando dichos parámetros aumentan, el rendimiento de la batería disminuye, mientras que su temperatura aumenta. La impedancia mide la oposición de un circuito a la corriente cuando se aplica un voltaje.

Para medir el SOH, es necesario registrar la impedancia o conductancia inicial, que generalmente se proporciona en la hoja de datos del fabricante. Para probar la impedancia o conductancia de una batería, se aplica un pequeño voltaje de corriente alterna de una determinada frecuencia y amplitud conocidas a través de la celda y se mide la corriente alterna en fase que fluye en respuesta. A continuación, se muestran las fórmulas para el cálculo de estas variables.

$$Z = E/I \quad (E.1)$$

$$C = I/E \quad (E.2)$$

Donde:

- Z es la impedancia.
- C es la conductancia.
- E es el voltaje de AC a través de la celda.
- I es la corriente de AC que fluye a través de la batería.

La impedancia y la conductancia son inversas entre sí, donde la impedancia aumenta, la conductancia disminuye. Una vez se tienen los valores de se calcula la diferencia que hay en porcentaje.

$$Z_i(\%) = (Z_i / Z_0) \times 100 \quad (E.3)$$

$$\text{Porcentaje de aumento de la impedancia} = Z_i(\%) - 100 \quad (E.4)$$

Donde:

- Z_i es la impedancia actual.
- Z_0 es la impedancia inicial.

Ahora ya se puede calcular el SOH.

$$C_p = (\text{porcentaje de aumento de la impedancia} / 100) \times C_0 \quad (E.5)$$

$$\text{SOH} = C_0 - C_p \quad (E.6)$$

Donde:

- C_0 es la capacidad inicial.
- C_p es la capacidad perdida.
- SOH es el *State Of Health*.

2.2.2.2 Estado de carga

El estado de carga (*SOC, State Of Charge*) es un indicador crucial que determina cuánta energía o potencia permanece en una batería, calculándose mediante la capacidad restante de la batería en relación con su capacidad total. Se expresa en porcentaje con la siguiente fórmula:

$$\text{SOC (\%)} = (\text{SOH}/C_T) \times 100 \quad (\text{E.7})$$

Donde:

- SOC es el *State Of Charge*.
- SOH es el *State Of Health*.
- C_T es la capacidad total.

Sin embargo, esta fórmula, al proporcionar el SOC como un porcentaje, no es completamente precisa debido a la disminución natural de la capacidad total de la batería con el tiempo. La batería, en última instancia, no alcanzará un nivel de carga completo del 100%. Por lo tanto, en esta ecuación, la capacidad total se toma como el valor SOH.

Para obtener un resultado más preciso, se propone la siguiente ecuación:

$$\text{SOC (\%)} = (\text{SOC}/\text{SOH}) \times 100 \quad (\text{E.8})$$

Donde:

- SOC es el *State Of Charge*.
- SOH es el *State Of Health*.

La manera más sencilla de determinar el estado de carga es midiendo el voltaje durante la carga y descarga de la batería. Aunque este método no es ideal para medir la capacidad debido a la no linealidad de la curva de carga o descarga de la batería. Por lo tanto, no todos los valores se representarían con precisión.

El voltaje de carga y descarga cambia gradualmente el estado de la batería hasta que la descarga final se mantiene estable.

El método más preciso para medir la capacidad de la batería es mediante el recuento de Coulomb, que mide las corrientes de entrada y salida en el tiempo. Teniendo en cuenta la descarga de la corriente con el tiempo y restando los valores si la corriente de carga es constante.

$$\text{SOC} = C_T - (C_D - C_C) \quad (\text{E.9})$$

Donde:

- SOC es el *State Of Charge*.
- C_T es la capacidad total.
- C_D es la corriente de descarga.
- C_C es la corriente de carga.

2.2.2.3 Área de operación segura

Otras de las funciones principales del BMS es proteger a las baterías de condiciones adversas, como temperaturas extremas, así como situaciones de sobrecarga o descarga excesiva.

Es fundamental mantener las baterías dentro de un Área de Operación Segura (SOA, por sus siglas en inglés), como se ilustra en la figura A.1 de voltaje versus temperatura. Cumplir con los valores indicados en el gráfico es esencial, y se debe consultar la hoja de datos del fabricante del BMS para conocer los requisitos específicos del sistema.

Superar la SOA debido a temperaturas elevadas constituye una condición de sobrecalentamiento, con riesgos significativos. El calor excesivo puede provocar la fusión de las celdas y circuitos de la batería. Por lo general, una carcasa de batería de plástico se ablanda o se derrite dependiendo de las temperaturas, pudiendo llegar a casos extremos de fusión o explosión de la batería.

Por otro lado, las bajas temperaturas pueden generar una condición de bajo calentamiento, ralentizando las reacciones químicas dentro de la batería e impactando su capacidad para suministrar energía.

Tanto las condiciones de sobrecarga como de bajo calentamiento son perjudiciales para la salud de la batería. Una sobrecarga, caracterizada por un voltaje que supera los límites ideales y se eleva más allá de la SOA, puede dañar la batería y dejarla inoperable. En cambio, una bajo carga ocurre cuando el voltaje cae por debajo de su límite especificado. Las cuatro condiciones mencionadas tienen el potencial de causar daños a la batería o representar riesgos de seguridad.

En este caso, los valores de voltaje y temperatura se pueden observar en la siguiente figura, extraídos de las fichas técnicas. Con este enfoque proactivo se garantiza que la batería opere dentro de los parámetros seguros, promoviendo su longevidad y mitigando posibles riesgos.

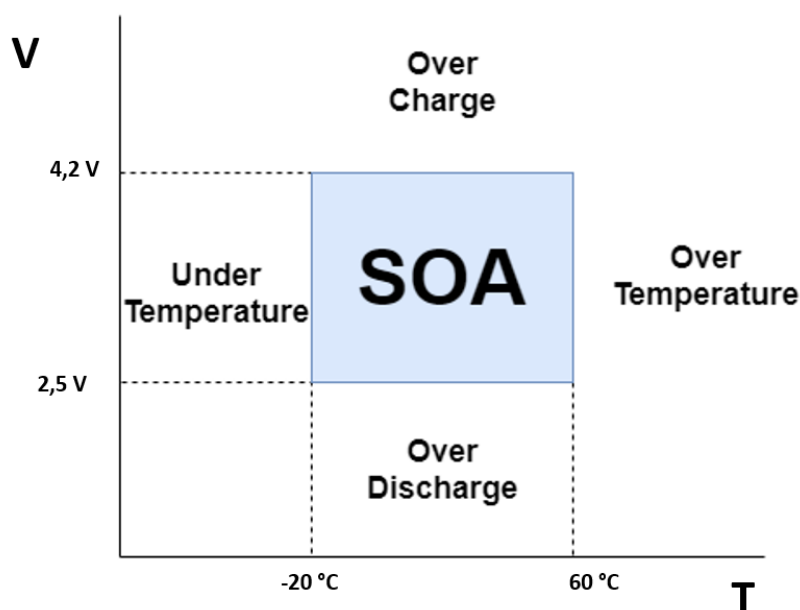


Figura A.1. Estado de operación segura.

2.2.3 Homologación ECE-R100

La homologación de vehículos eléctricos es un proceso crucial para garantizar su seguridad y cumplimiento de estándares internacionales. En este contexto, la regulación ECE-R100 establece una serie de requisitos de prueba fundamentales para los Sistemas de Almacenamiento de Energía a Bordo (RESS). A través de estas pruebas rigurosas, se busca garantizar que los vehículos eléctricos cumplan con los más altos estándares de seguridad y fiabilidad durante su operación en condiciones del mundo real.

2.2.3.1 Vibración

Para cumplir con los requisitos de homologación en cuanto a vibración, se somete al Sistema de Almacenamiento de Energía a Bordo (RESS) a pruebas específicas que imitan las condiciones de vibración durante el funcionamiento normal del vehículo. Durante este proceso, el RESS se expone a vibraciones sinusoidales repetidas entre 7 Hz y 50 Hz durante tres horas, evaluando así su capacidad para funcionar de manera segura y eficiente bajo estas condiciones.

2.2.3.2 Choque térmico y ciclismo

La prueba de choque térmico y ciclismo tiene como objetivo determinar la resistencia del RESS a cambios bruscos de temperatura, similares a los que ocurren en condiciones del mundo real. El dispositivo se somete a ciclos repetidos de calor y frío, alternando entre temperaturas extremas y almacenamiento a temperatura ambiente, para evaluar su estabilidad térmica a lo largo del tiempo.

2.2.3.3 Choque mecánico

La prueba de choque mecánico evalúa la capacidad del RESS para resistir las fuerzas inerciales asociadas con impactos vehiculares. Durante esta prueba, se acelera o desacelera el dispositivo a velocidades específicas, comparando luego la fuerza gravitacional real con los valores especificados en las tablas del reglamento para asegurar su capacidad para resistir impactos.

2.2.3.4 Integridad mecánica

La evaluación de la integridad mecánica analiza el desempeño del RESS bajo cargas de contacto que podrían experimentarse en condiciones de choque vehicular. Durante la prueba, el dispositivo se somete a una fuerza específica mientras se aplasta entre dos placas, proporcionando información sobre su integridad estructural.

2.2.3.5 Resistente al fuego

La prueba de resistencia al fuego evalúa la capacidad del RESS para resistir la exposición a un incendio externo. El dispositivo se somete a exposición directa e indirecta a una llama generada al quemar combustible comercial, determinando si proporciona a los ocupantes del vehículo suficiente tiempo para un escape seguro en caso de incendio.

2.2.3.6 Protección externa contra cortocircuitos

La prueba de protección externa contra cortocircuitos verifica el rendimiento del sistema de protección del dispositivo contra cortocircuitos. Durante la prueba, el dispositivo se somete a un cortocircuito intencional, evaluando su capacidad para mantener la integridad y seguridad del sistema.

2.2.3.7 Protección contra sobrecarga

La evaluación de protección contra sobrecarga analiza el rendimiento del sistema de protección del dispositivo frente a situaciones de carga excesiva. Durante la prueba, el dispositivo se carga hasta que interrumpe automáticamente la carga, proporcionando información sobre su capacidad para gestionar cargas excesivas de manera segura y eficiente.

2.2.3.8 Protección contra sobrecalentamiento

La prueba de protección contra sobrecalentamiento verifica el rendimiento del dispositivo durante el funcionamiento, incluso en situaciones en las que falle la función de enfriamiento. El RESS se somete a ciclos de carga y descarga con corriente constante, evaluando su capacidad para evitar el sobrecalentamiento interno.

2.3 Otros documentos

2.3.1 Ficha técnica Samsung 50E

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary

Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----



Specification of Product

Tentative

- 1. Customer :
- 2. Product : Lithium-ion Rechargeable Cell
- 3. SDI Model : INR21700-50E
- 4. Approved by

Division			
Signature			
Date	/ /	/ /	/ /

- 5. Date of Application (YY/MM/DD) : 2017/12/19

- 6. Supplier : **SAMSUNG SDI Co., Ltd.**
Battery Business Division

Issued	Checked	Approved

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

Revision history

Revision No.	Date (yr-m-d)	Page	Item	Description	Changes / Author
v0.0	'17-10-13			First version (Tentative)	JH, Lee
v0.1	'17-10-31			Packaging, condition update	JH, Lee Lucy Kim
v0.2	'17-12-07			Add Standard characteristics (Tentative ver.)	SoonChul Byun Wayne Kim

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

1. Scope

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

2. Description and Model

2.1 Description	Cell (lithium-ion rechargeable cell)
2.2 Model	INR21700-50E
2.3 Site	Manufactured in Korea

3. Nominal Specifications (*1)

Item	Specification
3.1 Standard discharge Capacity	Min 4,900mAh - Charge : 0.5C(2,450mA), 4.2V, 0.02C(98mA) cutoff @ RT - Discharge : 0.2C(980mA), 2.5V cutoff @ RT * 1C = 4,900mA
3.2 Rated discharge Capacity	Min 4,753mAh - Charge : 0.5C(2,450mA), 4.2V, 0.02C(98mA) cutoff @ RT - Discharge : 1C(4,900mA), 2.5V cutoff @ RT
3.3 Charging Voltage	4.2V
3.4 Nominal Voltage	3.6V
3.5 Charging Method	CC-CV (constant voltage with limited current)
3.6 Charging Current	Standard charge: 2,450mA
3.7 Charging Time	Standard charge: 3hours
3.8 Max. Charge Current	4,900mA (not for cycle life)
3.9 Max. Discharge Current	9,800mA (for continuous discharge) 14,700mA (not for continuous discharge)
3.10 Discharge Cut-off Voltage	2.5V
3.11 Cycle life	Capacity \geq 3,802mAh @ after 500cycles (80% of the Rated Discharge Capacity @ RT) - Charge : 0.5C(2,450mA), 4.2V, CCCV0.05C(245mA) cut-off @ RT - Discharge: 1C(4,900mA), 2.5V cut-off @ RT
3.13 Recovery characteristics	Capacity recovery (after the storage) \geq 4,278mAh (90% of the Rated Discharge Capacity @ RT) - Charge : 0.5C(2,450mA), 4.2V, 0.02C(98mA) cutoff @ RT - Storage : 30 days @ 60°C - Discharge : 1.0C(4,900mA) 2.50V cut-off @ RT
3.14 Cell Weight	69g max
3.15 Cell Dimension	Cell height : Max.70.80mm Diameter : Φ Max.20.25mm

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

3.16 Operating Temperature(*2) (Cell Surface Temperature)	Charge : 0 to 45°C Discharge : -20 to 60°C
3.17 Storage Temperature (*3)	1 year : -20~23°C 3 months : -20~45°C 1 month : -20~60°C

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

Note (*2): Discharge OTP(over temp. protection) should not be over 60°C of the cell surface temperature. Protection set should be based on the location of the cell surface with the highest temp increase part of the battery pack

Note (*3): If the cell is kept as ex-factory status (30% of charge), the capacity recovery rate is more than 80%.

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

4. Outline Dimensions

See the Fig. 1

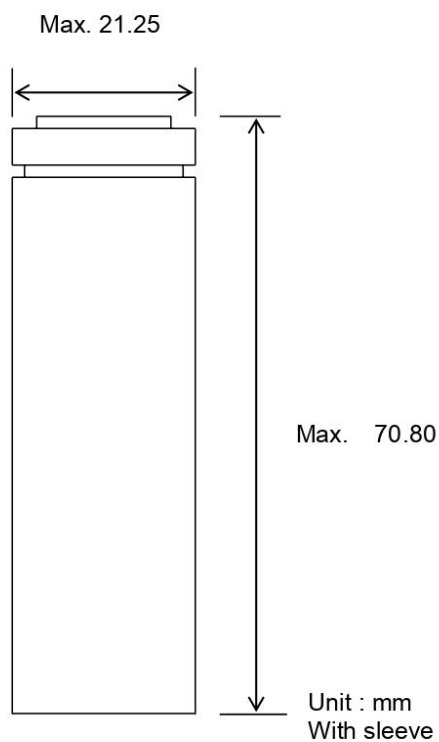


Fig. 1 Outline Dimensions of INR21700-50E

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

5. Appearance

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

6. Standard Test Conditions

6.1 Environmental Conditions

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

6.2 Measuring Equipment

(1) Amp-meter and Volt-meter

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

(2) Slide caliper

The slide caliper should have 0.01 mm scale.

(3) Impedance meter

The impedance meter with AC 1kHz should be used.

7. Characteristics

7.1 Standard Charge

This "Standard Charge" means charging the cell with charge current of 0.5C (2,450mA) and constant voltage 4.2V and 0.02C(98mA) cut-off in CV mode at 23°C.

7.2 Standard Discharge Capacity

The standard discharge capacity is the initial discharge capacity of the cell, which is measured with discharge current of 0.2C(980mA) with 2.50V cut-off at 23°C within 1 hour after the Standard charge.

$$\text{Standard Discharge Capacity} \geq 4,900\text{mAh}$$

7.3 Rated Discharge Capacity

The rated discharge capacity is the initial discharge capacity of the cell, which is measured with discharge current of 1C(4,900mA) with 2.50V cut-off at 23°C within 1 hour after the Standard charge.

$$\text{Rated Discharge Capacity} \geq 4,753\text{mAh (97\% of 4,900mAh)}$$

7.4 Initial internal impedance

Initial internal impedance measured at AC 1kHz after Standard charge.

$$\text{Initial internal impedance} \leq 35\text{m}\Omega$$

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

7.5 Temperature Dependence of Discharge Capacity

Discharge capacity comparison at each temperature, measured with discharge constant current 1C(4,900mA) and 2.50V cut-off with follow temperature after the standard charging at 23°C.

Charge Temperature	Discharge temperature		
	-10°C	23°C	40°C
Relative Capacity	60%	97%	97%

Note: If charge temperature and discharge temperature is not the same, the interval for temperature change is 3 hours.
Percentage as an index of the Standard discharge capacity (=4,900mAh) at 23°C is 100%.

7.6 Discharge Rate Capabilities

Discharge capacity is measured with the various currents in under table and 2.50V cut-off after the Standard charge at 23°C.

Current	Discharge condition		
	0.2C (980mA)	1C (4900mA)	2C (9800mA)
Relative Capacity	100%	97%	95%

Note: Percentage as an index of the Standard discharge capacity (=4,900mAh) is 100%.

7.7 Cycle Life

Each cycle is an interval between the charge (charge current 2,450mA) with 0.05C(245mA) cut-off and the discharge (discharge current 4,900mA) with 2.50V cut-off. Capacity after 500cycles.

$$\text{Capacity} \geq 3,802\text{mAh (80\% of Rated Capacity)}$$

7.9 Recovery Characteristics

Capacity after storage for 30days at 60°C after the Standard charged at 23°C, measured with discharge current 4,900mA with 2.50V cut-off at 23°C.

$$\text{Capacity recovery(after the storage)} \geq 4,278\text{mAh (90\% of Rated Capacity)}$$

7.10 Status of the cell as of ex-factory

The cell should be shipped in 3.43V ~ 3.63V Charging voltage range.

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

8. Mechanical Characteristics

8.1 Drop Test

Test method: Each fully charged cell or battery is dropped three times from a height of 1.0 m onto a concrete floor. The cells or batteries are dropped so as to obtain impacts in random orientations. After the test, the sample shall be put on rest for a minimum of one hour and then a visual inspection shall be performed.

Criteria: No fire, no explosion

Drop test shall be performed with the IEC 62133

8.2 Vibration Test

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

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

Vibration test shall be performed with the UN38.3 standard

9. Safety

9.1 Overcharge test

Test method: To charge the standard charged cell with 4.2V and 3C (7,35A) at 23°C for 7 hours

Criteria: No fire, and no explosion.

Overcharge test shall be performed with the UL1642 standard

9.2 External short-circuit test

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

Tests are to be conducted at $20 \pm 5^\circ\text{C}$ and at $55 \pm 5^\circ\text{C}$.

Criteria: No fire, and no explosion.

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

9.3 Forced discharge test

Test method: A discharged cell is subjected to a reverse charge at 1.0C(4,900mA) for 90 min.

Criteria: No fire, and no explosion.

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

Forced discharge test shall be performed with the IEC62133 standard

9.4 Heating test

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

Criteria: No fire, and no explosion.

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

10. Warranty

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

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

11. Others

11.1 Storage for a long time

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

11.2 Other

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

12. Packaging

See Fig.2: Package Drawing

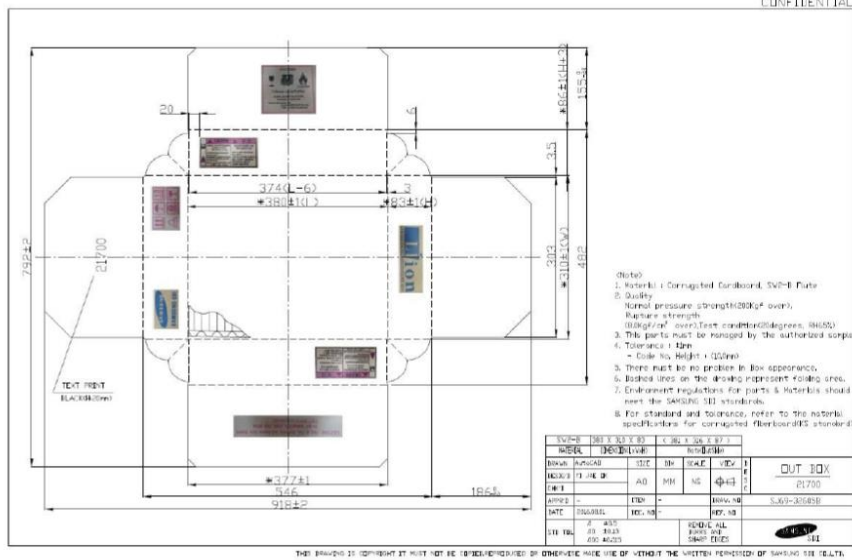


Fig. 2-1. Outer box package drawing.

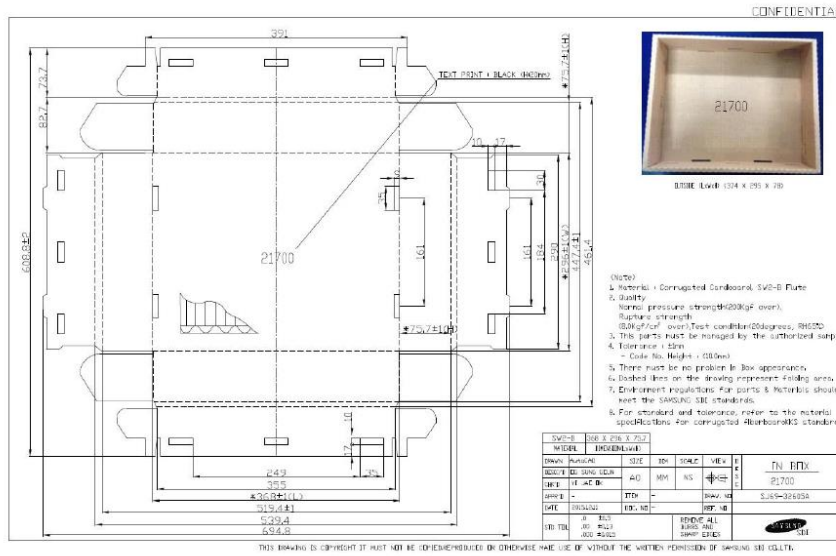


Fig. 2-2. Inner box package drawing.

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

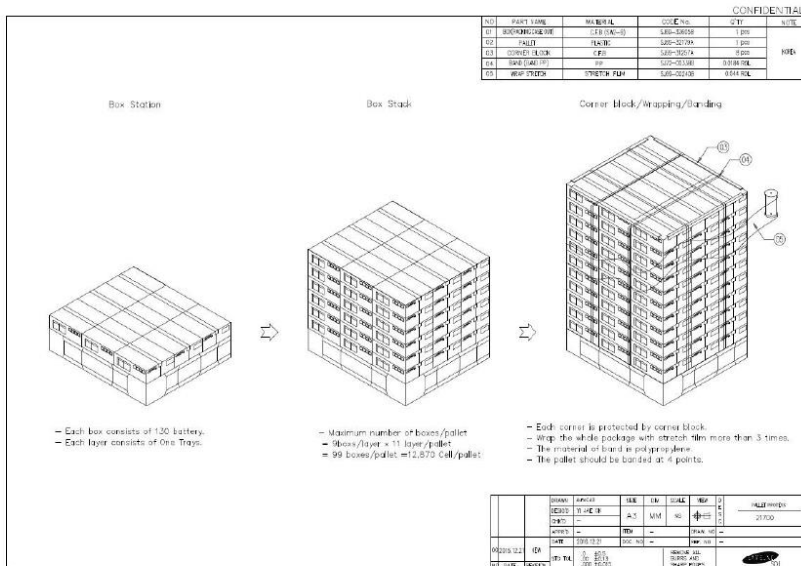


Fig. 2-5. Pallet packaging process

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary

Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

Proper Use and Handling of Lithium Ion Cells

See before using lithium-ion cell

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

1. Charging

1.1 Charging current

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

1.2 Charging voltage

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

1.3 Charging time

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

1.4 Charging temperature

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

1.5 Reverse charging

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

2. Discharging

2.1 Discharging

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

2.2 Discharging temperature

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

2.2.2 Otherwise, it may cause loss of characteristics.

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary

Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

2.3 Over-discharging

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

3. Storage

3.1 Storage conditions

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

3.2 Long-term storage

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

4. Cycle life

4.1 Cycle life performance

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

5. Battery Pack Assembly

5.1 Prohibition of usage of damaged cell

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

5.2 Terminals handling

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

5.3 Transportation

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

6. Others

6.1 Disassembly

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

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

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

6.2 Short-circuiting

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

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

6.3 Incineration

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

6.4 Immersion

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

6.5 Mixing use

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

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

6.6 Battery disposal

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

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

6.7 Caution

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

Pack Design Guideline for Lithium Ion Cells

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

1. Electrical design

1.1 Charge

- 1.1.1 Stop charging the battery if charging isn't completed within the specified time.
- 1.1.2 The battery can be used within the following temperature ranges.
Don't exceed these ranges.
Charge temperature ranges : 0°C ~ 45°C
- 1.1.3 Charge current must be controlled by specified value in Cell specification.
- 1.1.4 Cut-off Voltage of charging must be under 4.2V.
- 1.1.5 Charger must stop charging battery by detecting either charging time or current specified in Cell's specification.
- 1.1.6 Recharge Voltage must be at least 0.1V lower than Max charging Voltage.
- 1.1.7 Do not charge the battery under 1.0V voltage.
- 1.1.8 Voltage range of the battery for pre-charge mode is 1.0 ~ 3.0V with a charging current of 0.1 ~ 0.5C

1.2 Discharge

- 1.2.1 Discharge current must be controlled by specified value in Cell's specification.
- 1.2.2 Cut-off Voltage of discharging must be over 2.5V.
- 1.2.3 The battery can be used within the following temperature ranges.
Don't exceed these ranges.
Discharge temperature ranges : -20°C ~ 60°C

1.3 Storage

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

1.4 Design of positioning the battery pack in application and charger

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

1.5 Safety Device

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

2. Design of System

2.1 Connection between the cell and the battery

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

2.2 Positioning the battery in the System

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

2.3 Mechanical shock protection of the battery

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

2.4 Short-circuit protection of the cell

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

2.5 Connection between the battery and charger/system

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

2.6 Pack design

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

2.6.2 Cell voltage monitoring system.

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

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

2.6.4 Mechanical design

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

Handling precaution and prohibitions of lithium rechargeable cells and batteries

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

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

1. Safety precaution and prohibitions

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

2. Danger

2.1 Electrical misusage

- 2.1.1 Use dedicated charger.
- 2.1.2 Use or charge the battery only in the dedicated application.
- 2.1.3 Don't charge the battery by an electric outlet directly or a cigarette lighter charger.
- 2.1.4 Don't charge the battery reversely.

2.2 Environmental misusage

- 2.2.1 Don't leave the battery near the fire or a heated source.
- 2.2.2 Don't throw the battery into the fire.
- 2.2.3 Don't leave, charge or use the battery in a car or similar place where inside of temperature may be over 60°C.
- 2.2.4 Don't immerse, throw, wet the battery in water / seawater.

2.3 Others

- 2.3.1 Don't fold the battery cased with laminated film such as pouch and Polymer.
- 2.3.2 Don't store the battery in a pocket or a bag together with metallic objects such as keys, necklaces, hairpins, coins, or screws.
- 2.3.3 Don't short circuit (+) and (-) terminals with metallic object intentionally.
- 2.3.4 Don't pierce the battery with a sharp object such as a needle, screw drivers.
- 2.3.5 Don't heat partial area of the battery with heated objects such as soldering iron.
- 2.3.6 Don't hit with heavy objects such as a hammer, weight.
- 2.3.7 Don't step on the battery and throw or drop the battery on the hard floor to avoid mechanical hock.
- 2.3.8 Don't disassemble the battery or modify the battery design including electric circuit.
- 2.3.9 Don't solder on the battery directly.
- 2.3.10 Don't use seriously scared or deformed battery.
- 2.3.11 Don't put the battery into a microwave oven, dryer ,or high-pressure container.
- 2.3.12 Don't use or assemble the battery with other makers' batteries, different types and/or models of batteries such as dry batteries, nickel-metal hydride batteries, or nickel-cadmium batteries.
- 2.3.13 Don't use or assemble old and new batteries together.

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary



Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

3. Warning

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

4. Caution

- 4.1** Electrical misusage
Battery must be charge with constant current-constant voltage (CC/CV).
- 4.2** Others
 - 4.2.1 Keep the battery away from babies and children to avoid any accidents such as swallow.
 - 4.2.2 If younger children use the battery, their guardians should explain the proper handling method and precaution before using.
 - 4.2.3 Before using the battery, be sure to read the user's manual and precaution of its handling.
 - 4.2.4 Before using charger, be sure to read the user's manual of the charger.
 - 4.2.5 Before installing and removing the battery from application, be sure to read user's manual of the application.
 - 4.2.6 Replace the battery when using time of battery becomes much shorter than usual.
 - 4.2.7 Cover terminals with insulating tape before proper disposal.
 - 4.2.8 If the battery is needed to be stored for an long period, battery should be removed from the application and stored in a place where humidity and temperature are low.
 - 4.2.9 While the battery is charged, used and stored, keep it away from object materials with static electric chargers.

5. Safety Handling Procedure for the Transporter

5.1 Quarantine

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

5.2 Spilled Product

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

SAMSUNG SDI Confidential Proprietary




Spec. No.	INR21700-50E	Version No.	0.2
-----------	--------------	-------------	-----

Samsung SDI emergency contact information

- **Samsung SDI Co., Ltd (Headquarter)**
 150-20, Gongse-ro, Giheung-gu, Yongin-si, Gyunggi-do, Korea
 Tel: +82-31-8006-3100, Fax : +82-31-210-7887
- **Samsung SDI Co., Ltd (Cheonan Factory, Production)**
 467, Beonyeong-ro, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-Do, Korea
 Tel: +82-41-560-3114, Fax : +82-41-550-3399
- **Samsung SDI China Co., Ltd (Tianjin Factory, Production)**
 301726, China Tianjin Developing Zone OF Yi-Xian Park, Wuqing Country, TianJin, China
 Tel: +86-22-8212-9971(5300),
- **Samsung SDI Energy Malaysia SDN. Bhd. (Malaysia Factory, Production)**
 Lot 635 & 660, Kawasan Perindustrian, Tuanku Jaafar, 71450
 Sungai Gadut, Negeri Sembilan Darul Khusus, Malaysia
 Tel: (+60)6-677-6160, 6153, Fax: (+60)6-677-6164
- **Samsung SDI America, Inc (San Jose, Sales)**
 3655 North First St. San Jose CA 95134
 Tel: +1-408-544-4541, Fax: +1-949-260-2221
- **Samsung SDI Europe GmbH (Munich, Sales)**
 85737, Oskar-Messter-Strasse 29 Ismaning, Germany
 Tel: +49-89-9292-7799(20), Fax: +49-89-9292-7799(99)
- **Samsung SDI Japan Co., Ltd (Tokyo, Sales)**
 108-0075, Shinagawa Grand Central Tower 9F, 2-16-4, Konan, Minato-ku, Tokyo, Japan
 Tel. +81-3-6369-6401, +81-3-6369-6404 Fax. +81-3-6369-6388
- **Samsung SDI Taiwan Branch (Taipei, Sales)**
 7F-1, No.399, Ruiguang Rd., Neihu Dist., Taipei Taiwan (ROC)
 Tel +886-2-8178-5900, Fax +886-2-8751-3131
- **Samsung SDI India Branch (New Delhi, Sales)**
 1st Fl.M-6 Uppal's Plaza, Jasola District Centre, New Delhi 110025, INDIA
 Tel. +91-11-4316-1224, +91-11-4316-1221 Fax. +91-11-4316-1200

2.3.2 Ficha técnica del BMS DALY


•

•

•


Note: The following function and appearance display uses 8 strings or 24 strings of 400A BMS as examples. Please refer to the actual product upon receipt, thanks!



DALY | S-SERIES SMART BMS

— Li-ion/LiFePO4 3~24S 300A/400A/500A —

Comprehensive upgrade · Professional resistance to high current



Parallel connection

Supporting safe expansion of battery packs



Waterproof

Plastic injection patent + upgraded socket process



Smarter


APP/Upper computer DALY Cloud



High current resistance



Lower temperature rise



Smaller size



P- B-
 DIO KEY UART-2 NTC-B
 DALY
 磷酸铁锂 LiFePO4 8524V400A
 Discharge Current:400A
 Charge Current:400A
 CE (RoHS)
 东莞市达理电子有限公司
 Dongguan DALY Electronics Co., Ltd.
 NTC-A UART-1 CAN/RS5
 + -

SPECIALIZE IN ALL, CHOOSE DALY

What you think is what you get,
fully meet the needs

Specification Parameter

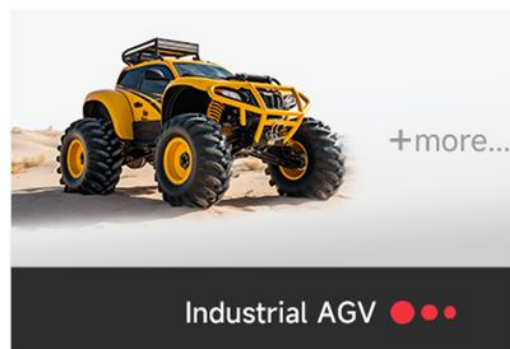
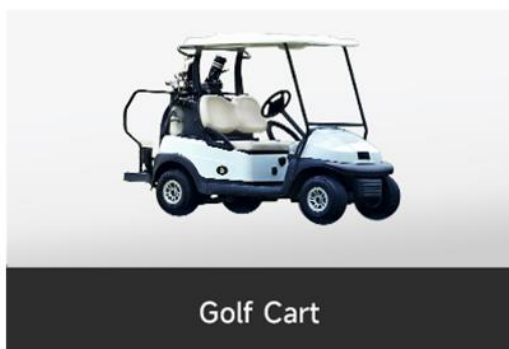
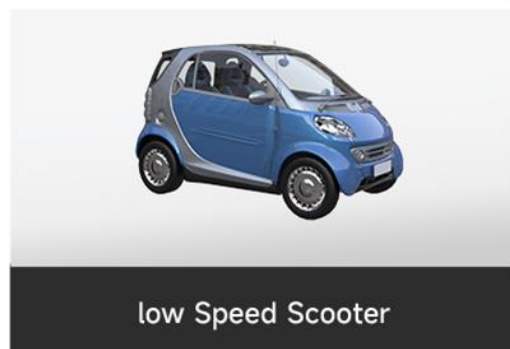
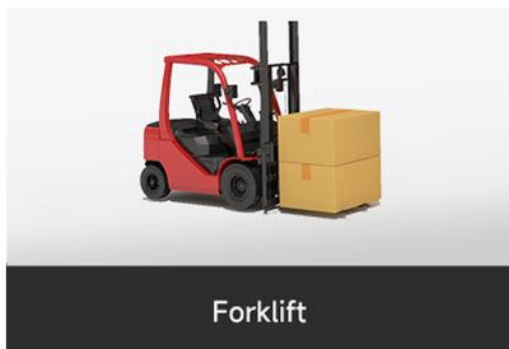
Product size tolerance range $\pm 0.5\text{mm}$



Charging voltage(V)	Li-ion: N(Battery string)*4.2V LiFePO4: N(Battery string)*3.65V			
Discharge current(A)	250	300	400	500
Discharge overcurrent protection value(A)	375	450	600	750
Charging current(A)	250	300	400	500
Charge overcurrent protection value(A)	375	450	600	750
Main circuit on-resistance(mΩ)	<10			
Passive equalization function (100±30mA)		Short circuit protection		
Equalization turn-on voltage(V): Li-ion:3.9 LiFePO4:3.4 (Can be set up)		Short circuit protection conditions: External load short circuit		
Equalize opening differential pressure(mV): 50 (Can be set up)		Short circuit protection delay(μS): 10~500 <small>The actual test is subject to the customer's battery sent back to our company for testing</small>		
Balance current(mA): Li-ion:100±15 LiFePO4:100±30		Short circuit protection released: Remove load release		
Single Cell over-charge protection		Single Cell over-discharge protection		
Protection voltage(V): Li-ion:4.25±0.05 LiFePO4:3.75±0.05 (Can be set up)		Protection voltage(V): Li-ion:2.7±0.05 LiFePO4:2.2±0.05 (Can be set up)		
Protection delay(S): 1±0.8		Protection delay(S): 1±0.8		
Recovery voltage(V): Li-ion:4.15±0.05 LiFePO4:3.65±0.05		Recovery voltage(V): Li-ion: 2.8±0.05 LiFePO4: 2.3±0.05		
Charge/discharge over-current protection		Temperature protection(°C)		
Protection delay(S): 1±0.8		Operating temperature(°C): charging:-35~75 discharge:-35~75 (Can be set up)		
Release condition: Removing the load is lifted		Storage temperature(°C): -40~85		
Current consumption	Working current(mA): < 50	Resting current(μA): < 800	Sleep time(S): 3600	
<p>If you need customized services, please consult customer service for details</p>				
<p>Structure </p> <p>Appearance,Size,etc.</p>		<p>Hardware </p> <p>NTC,Power display board, Soft Switch, Internal storage,Buzzer.</p>		<p>Software </p> <p>Mobile phone APP, PC software, communication protocol, etc.</p>

Meet a variety of high current scenarios

Rv energy storage, forklift, golf cart, large sightseeing car, low speed scooter, beach kart, electric forklift, etc...



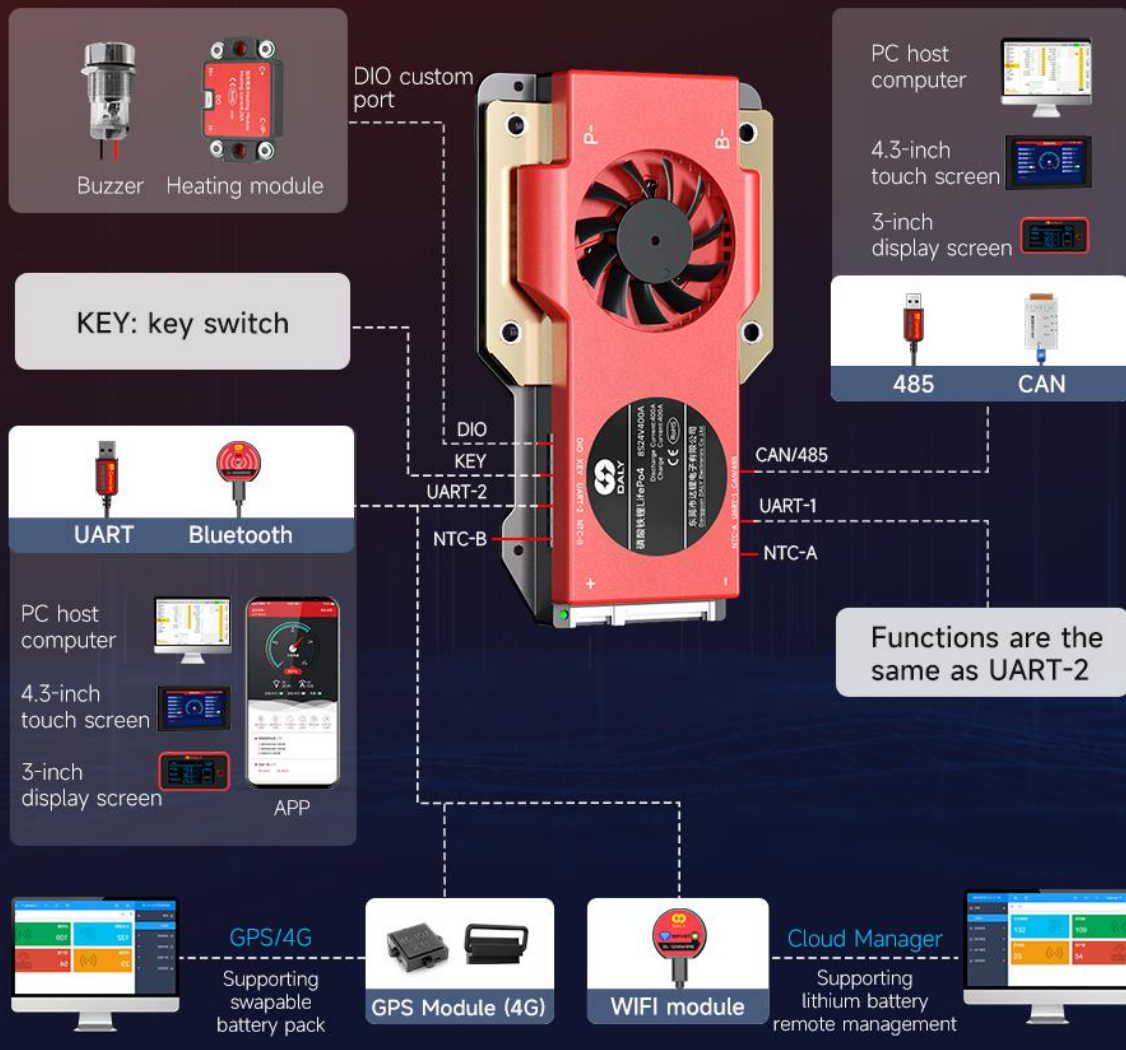
INTELLIGENT AND CONVENIENT, COMPREHENSIVE PROTECTION

Rich software and hardware
matching to achieve true intelligence

01 Multiple communication functions + expansion function ports

CAN, RS485, dual UART communication interfaces, rich expansion applications.

Note: The following figure is only for functional display, accessories need to be selected; Please note that this protection board does not support the old jack accessories.



02 Self-developed APP, Smart and convenient

"SMART BMS"APP, your personal lithium battery steward installed in mobile phone, supports various data visible at a glance.

The image shows the SMART BMS application interface on a smartphone. The app displays a variety of battery-related metrics and controls. At the top, it shows a Bluetooth connection status and a main interface ID. The central part of the screen features a large circular gauge for State of Charge (SOC), currently at 100%. Below the gauge, there are readouts for sum voltage (13.6V) and current (0.0A). The interface also includes a table of battery statistics and temperature readings.

Maximum volt	Minimum volt	Average volt	Diff Volt	Cycles	Power KW
3.419v	3.414v	3.416v	0.005v	5	0.000kw

Temperature readings: T1: 24°C, T2: 26°C

Control sliders on the right side of the app interface include:

- SOC
- Voltage
- Current
- Temperature
- Alarms
- Cycle number
- ...

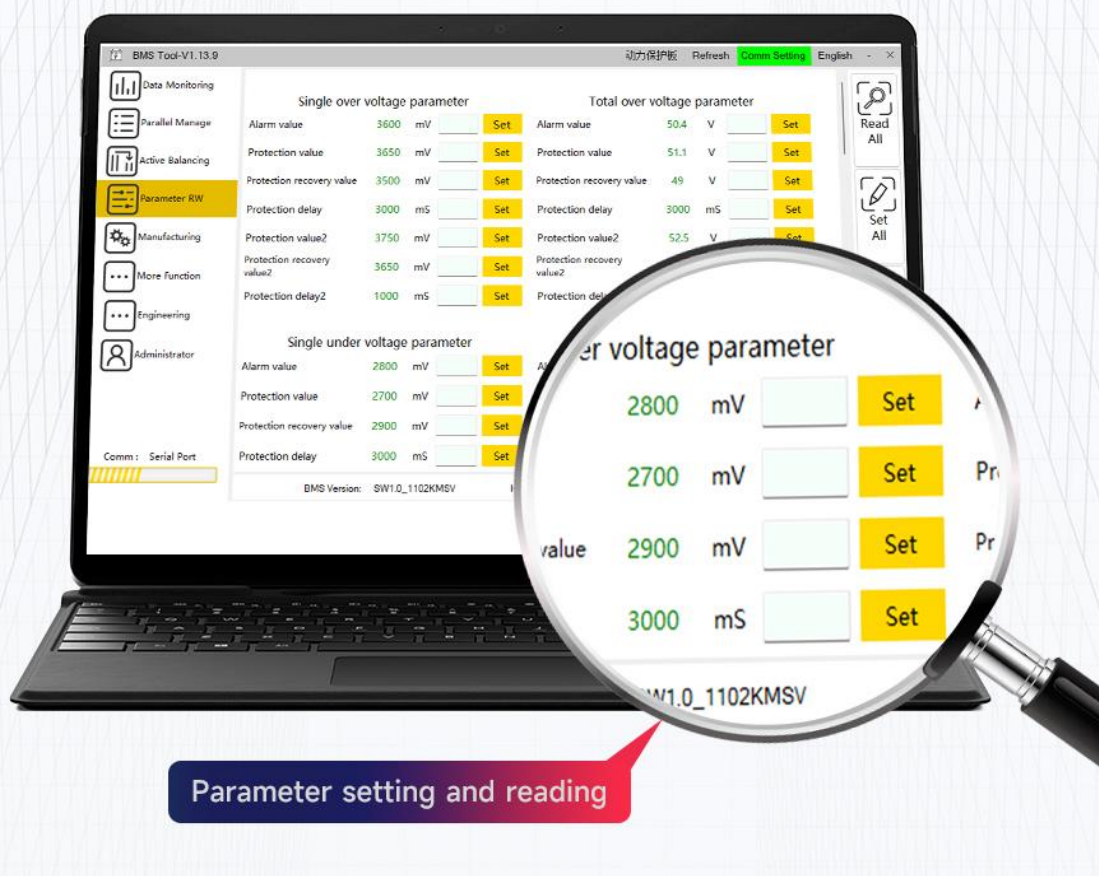
Key features of the app are highlighted in three boxes at the bottom:

- Support IOS and Android systems
- Support 7 languages. Automatically switch with the system language.
- Support local remote monitoring.

* Bluetooth or WIFI module needs to be connected to the BMS to use the APP; WiFi module needs to be connected to the BMS to achieve remote monitoring (WiFi module needs to be purchased separately).

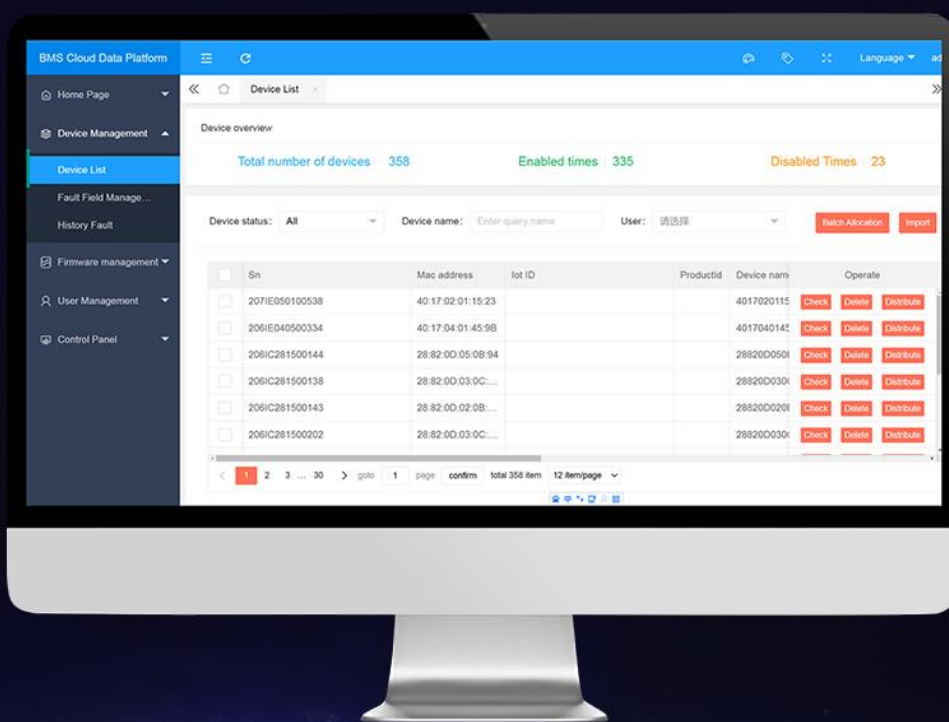
03 Upper computer

Connect to the upper computer through a communication wire (UART/RS485/CAN), then you can adjust multiple protection values as you want such as values of overcharge protection, over-discharge protection, over-current protection, temperature protection, and balancing, making it easy to view, read, and set protection parameters.

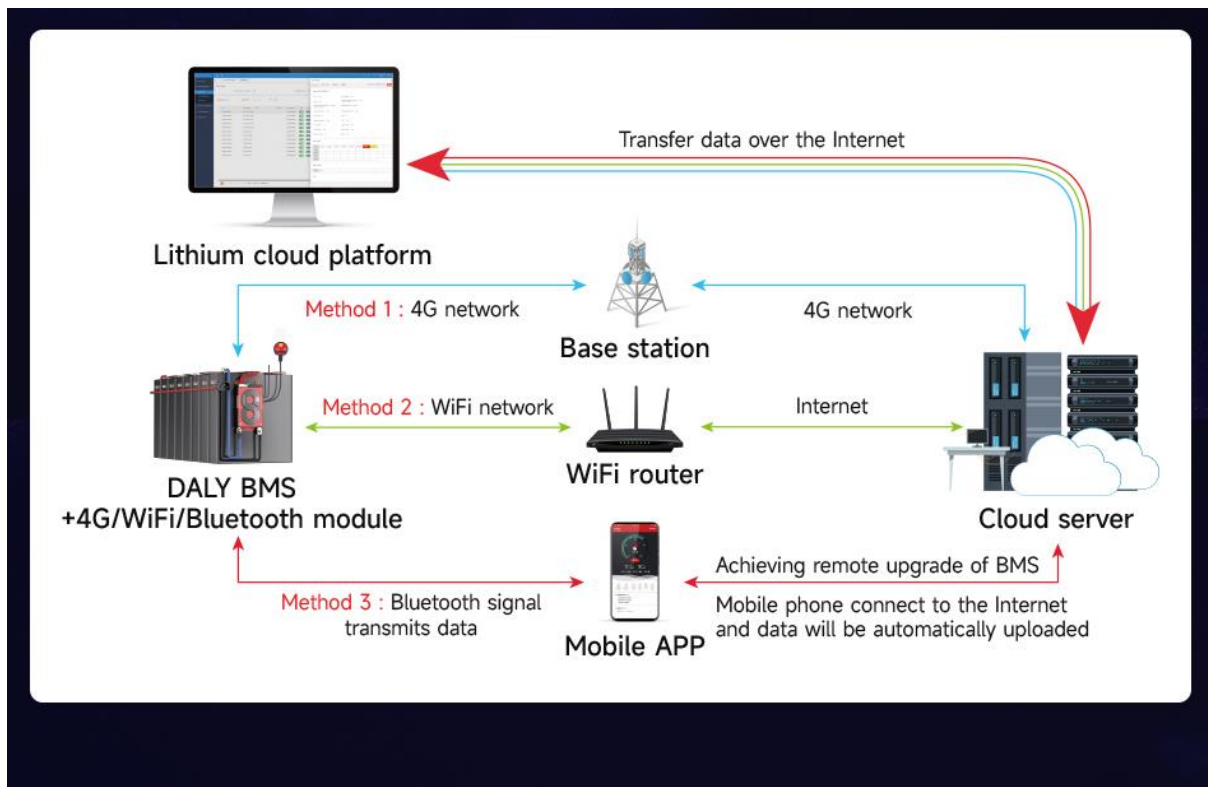


04 DALY Cloud — Lithium Battery IOT Platform

DALY'S official IoT platform provides remote and batch intelligent management of BMS. Battery data is saved in the cloud. Multi-level sub-accounts can be opened and the BMS can be remotely upgraded through the APP + DALY Cloud.



BMS must be connected to the Bluetooth module/ WiFi module/ 4G module, so that data can be uploaded to cloud server through the mobile APP or router.



EXCEPTIONAL PERFORMANCE LITHIUM CAN PULL FULL

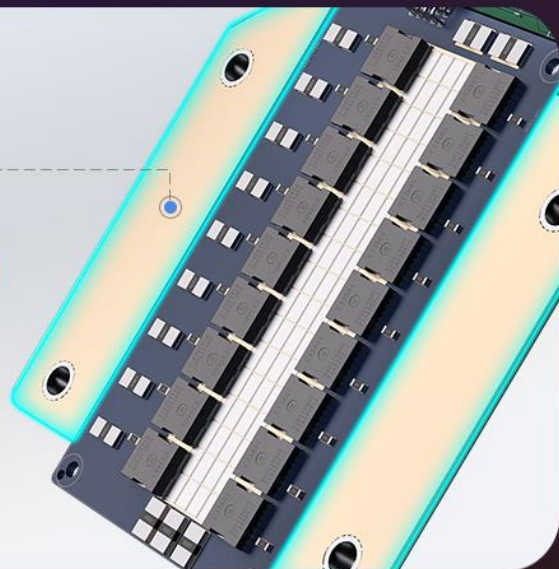
Heavy checks, just to give you peace
of mind experience

Professional response to high currents The temperature rise is lower Longer life

Patented design of
high current **thick
copper PCB board**

Special technology upgrade,
easy to cope with high current.

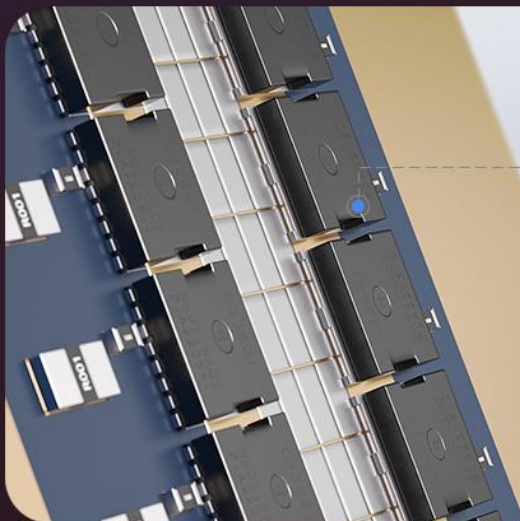
National patent number: ZL 2021 2 0538350.9



MOS package upgrade

Ultra-low internal resistance to help
efficient overcurrent.

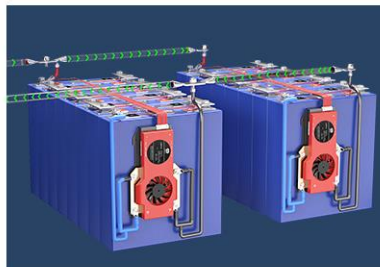
The temperature rise of continuous
overflow is lower.



Multiple and comprehensive protections

Supports parallel connection of various battery pack and safe expansion

Integrated parallel module to avoid large current impacts when battery packs are connected in parallel.



Making load easy to start

High-power pre-charging can effectively avoid false triggering of protection caused by high current at startup moment and unsuccessful power-ups.

TVS resists high current shock

Solid materials, the selection of 5KW two-way TVS, effectively protect the precision components in the BMS from large current impact.

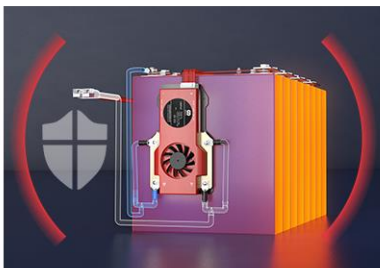


100mA passive balancing helps extend lithium battery life

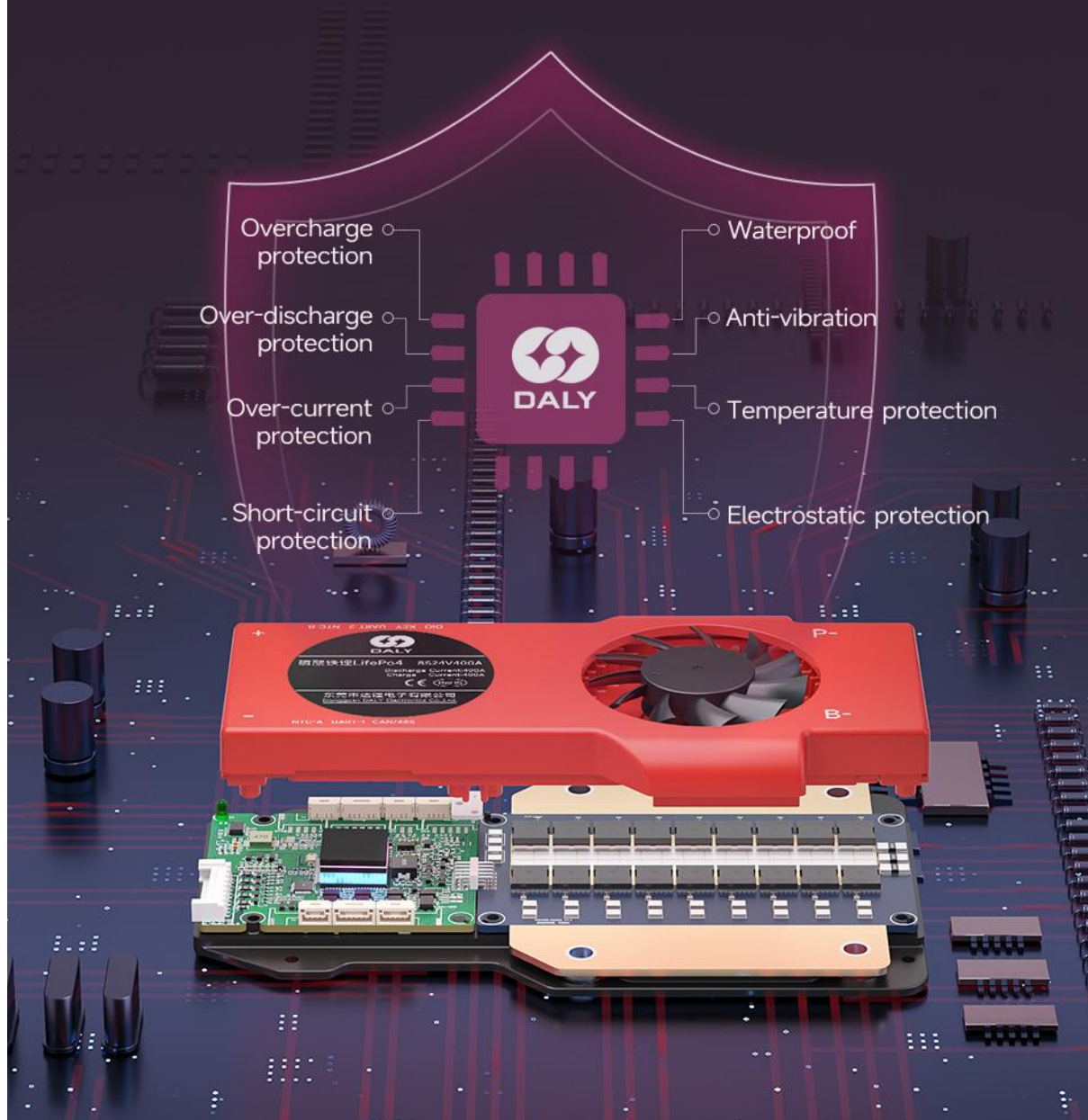
Compared with conventional BMS (with 30mA passive balancing), the balancing efficiency is increased by more than 3 times.

Battery pack temperature protection, prevent safety hazards

Advance temperature warning and timely power cut-off can effectively prevent battery fires and other hidden dangers.



Basic protection, complete functions



**STABLE AND RELIABLE,
CRAFTED WITH CRAFTSMANSHIP**

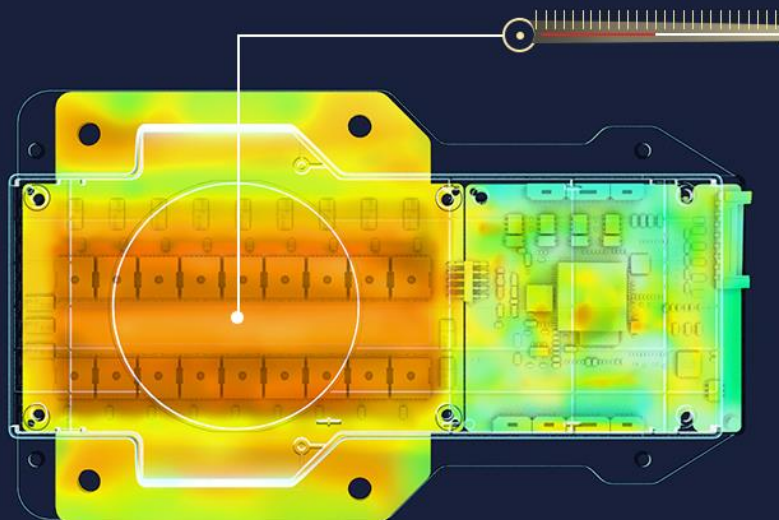
High quality core components
and advanced industrial design

Stable and reliable, crafted with craftsmanship

01 Low temperature rise

① Advanced thermal design

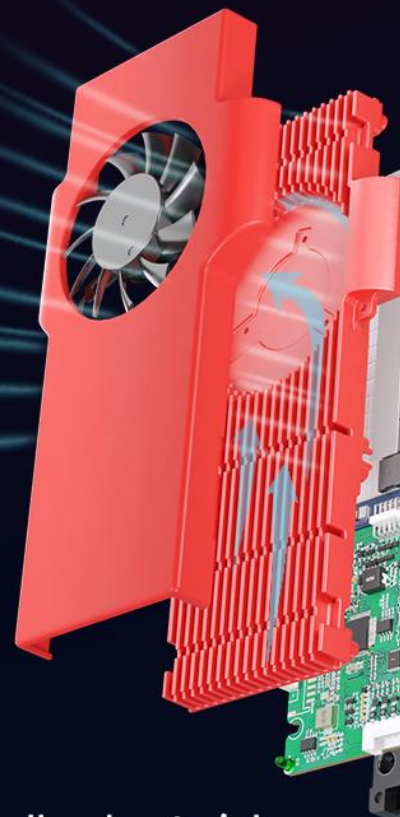
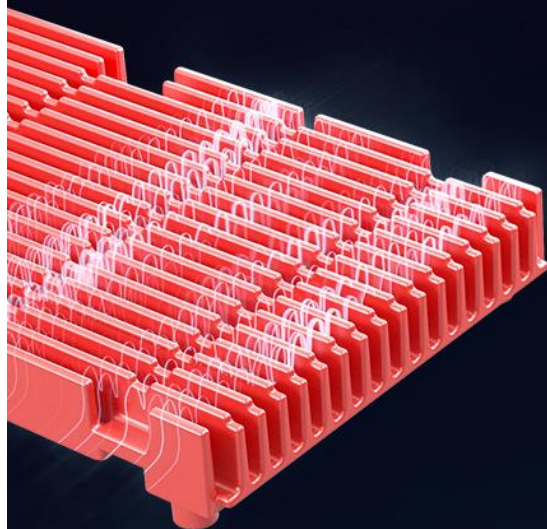
Low internal resistance components and advanced thermal design create good current flow performance.



② Rapid heat dissipation

Multi-channel cooling structure+ high speed fan

Newly upgraded cooling structure, multi-channel design with high speed fan, greatly improve the air flow efficiency, to achieve efficient heat dissipation.



Aluminum alloy heat sink

Aluminum alloy has high thermal conductivity and excellent heat dissipation performance.

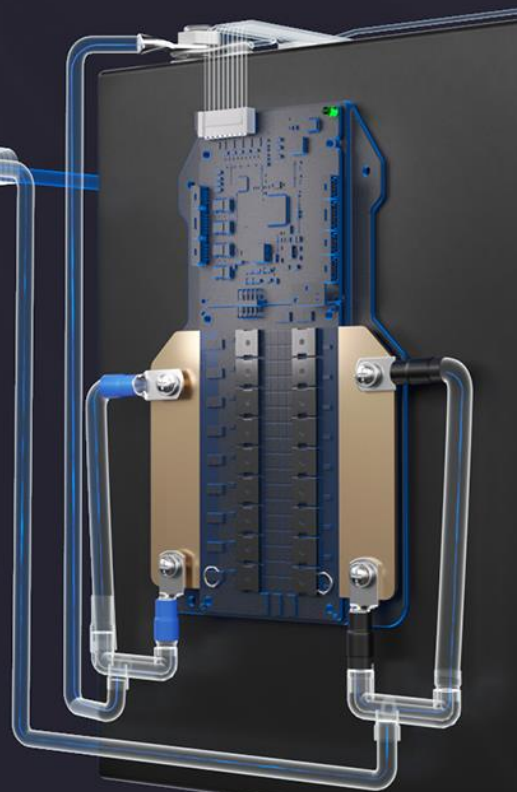
02 Low power consumption

Sleep mode current $< 800\mu\text{A}$, working current $< 50\text{mA}$, good performance in energy saving.

Resting current $< 800\mu\text{A}$



Working current $< 50\text{mA}$



Advanced technology High-end configuration

- Moisture-proof, anti-vibration, anti-oxidation

National patented plastic injection technology improves the protective performance of BMS

National patent number: ZL 2018 2 1243978.5



- Large storage space

It can massively store 400pcs of historical information (512Kb), including protection times, current total voltage, current, temperature, SOC, etc., and another 4Gb large memory can be customized.



- Indicator light

Bright LED lights display the four working states of BMS in real time.

Working condition 1: Shutdown, power outage, sleep mode: light off.

Working condition 2: During working, discharge status: light flashes, on for 0.5s, off for 2.5s, 3s a cycle.

Working condition 3: During working, charging status: light flashes, on for 0.5s, off for 0.5s, 1s a cycle.

Working condition 4: During working, no charging and discharge: light flashes, on for 0.5s, off for 9.5s, 10s a cycle.



- Snap-on plug

Sampling cables and communication wires use snap-on plugs, which can be tightly connected to BMS and not easy to fall off, also make communication stable.



- Small size, easy to install

Small size saves space and with screw holes for easy installation.



Exquisite craftsmanship making ingenious quality



Packing List



Product list	Quantity
① S-type Smart BMS	X1
② Manual	X1
③ B-P- Output line(gift)	X2
④ Bluetooth(gift)	X1
⑤ Cables	X1
⑥ NTC	X1
⑦ CAN/485 5pin	X1



①



②



③



④



⑤



⑥



⑦

Original accessories with better quality

Free selection according to actual needs



RS485



UART



CAN



Bluetooth



WIFI module



Square power light panel



Circular battery light panel



4.3-inch touch screen



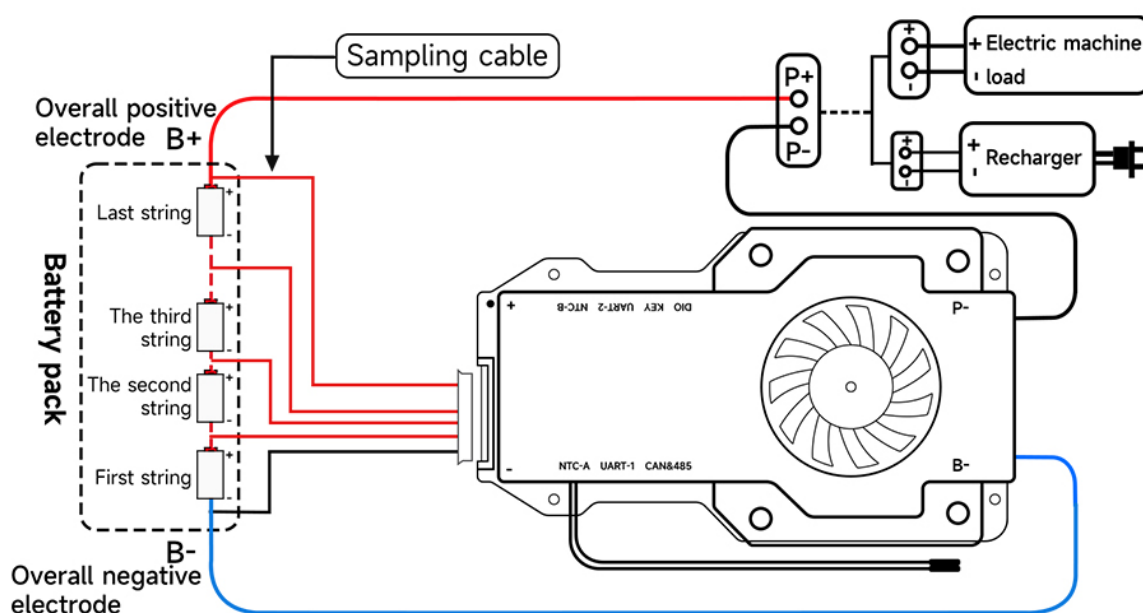
3 inch display



Active balance module

Installation and wiring in 3 easy steps

- Step 1: Solder the sampling cables: The first cable in black in the sampling cable set is connected to the negative terminal of the battery, the second cable (red) is connected to the positive terminal of the first string of batteries, and the third cable (red) is connected to the positive terminal of the second string of batteries. And so on, until all cables are connected.
- Step 2: Check the cables: After connecting the cables, measure the voltage between two adjacent cables starting from the header to make sure there are no wrong connections or missing connections.
- Step 3: Connect the output wires: Connect the B- wire of BMS to the total negative terminal of the battery pack, and then plug the sampling cable to BMS. After activating the BMS, make sure that the voltage (battery voltage) between B+ & B- and the voltage between P+ & P- are consistent.



2.3.3 Ficha técnica resistencia de precarga



Twitter



BC-4 RESISTENCIA CERAMICA AXIAL 4W

Resistencia axial bobinada de 4W

- Potencia máxima: 4W
- Sección: 6,4 x 6,4 mm²
- Longitud: 25 mm
- Peso: 2,9 gr
- [Precio por Unidad](#)

En las observaciones del pedido debe indicarnos el valor Ohmico deseado.



BC-4 RESISTENCIA AXIAL 4W

Valores Ohmicos Disponibles (Ohms)

0,12 Ohm	6,8 Ohm	390 Ohm
0,15 Ohm	8,2 Ohm	470 Ohm
0,22 Ohm	10 Ohm	680 Ohm
0,33 Ohm	15 Ohm	820 Ohm
0,39 Ohm	18 Ohm	1K Ohm
0,5 Ohm	22 Ohm	1K2 Ohm
0,68 Ohm	27 Ohm	1K5 Ohm
1 Ohm	33 Ohm	1K8 Ohm
1,5 Ohm	39 Ohm	2K2 Ohm
2,2 Ohm	47 Ohm	2K7 Ohm
2,7 Ohm	100 Ohm	3K3 Ohm
3,3 Ohm	220 Ohm	3K9 Ohm
3,9 Ohm	270 Ohm	4K7 Ohm
4,7 Ohm	330 Ohm	

2.3.4 Ficha técnica de los fusibles



AE7 EV Fuse



FEATURES:

- 700V DC EV high-speed power fuse
- Rated Current: 60~600A
- Rated Breaking Capacity: 50kA at 700V DC
- Dimensions: 25x66mm, 38x72mm, 51x72mm
- Special purpose fuse for EV/HEV automotive use
- Ideal for high power EV PDU and battery protection
- Reference design to JASO D622, ISO 8820-8

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

Part Number	Rated Current (A)	Rated Voltage (VDC)	Melting I ² t	Clearing I ² t	Breaking Capacity	Dissipation (W)
AE72600i25	60	700	5880	15373	50kA@700V DC	11.02
AE72700i25	70		6860	17935		13.23
AE72800i25	80		8960	23425		15.56
AE73100i25	100		14000	36601		19.35
AE73125i25	125		23000	60131		23.02
AE73150i25	150		31000	81046		31.12
AE73175i38	175	700	40000	104575	50kA@700V DC	37.23
AE73200i38	200		52000	135948		43.67
AE73225i38	250		57937	138468		50.89
AE73225i38	300		69524	181762		60.55
AE73225i38	350		81111	212055		65.01
AE73225i38	400		92698	242349		78.23
AE73450i51	450	700	104285	272643	50kA@700V DC	82.22
AE73500i51	500		115873	302936		90.11
AE73560i51	560		129777	339289		95.80
AE73600i51	600		139047	363524		105.78

Note:

(1) Percentage of change in fuse current carrying capability. Change in ambient temperature: -0.13%/°C

TIME VS CURRENT CHARACTERISTIC

Rated Current	110%	200%	300%	500%
60~600A	>4H	1~300s	0.2~30s	0.1~10s

ADLER Elektrotechnik Leipzig GmbH
Zschochersche Str. 91
D-04229 Leipzig - GERMANY

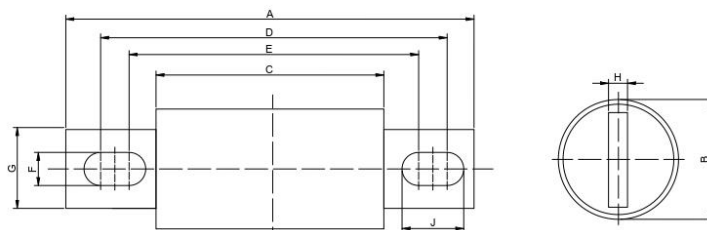
TEL: +49 (0)341 94698772
FAX: +49 (0)341 94698771

Email: info@adlerelectric.com,
info@adlerelektro.de
Website: www.adlerelectric.com

Rev:001.20161112

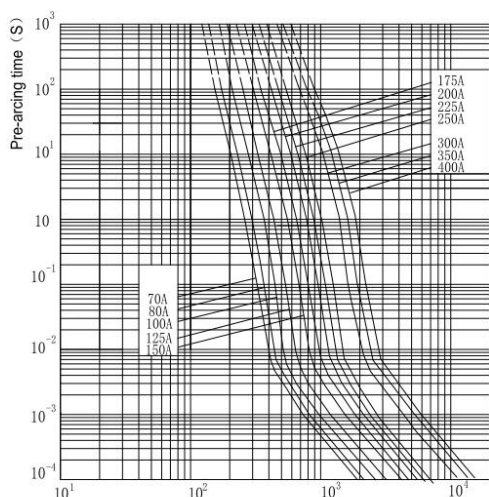


DIMENSIONS (mm)

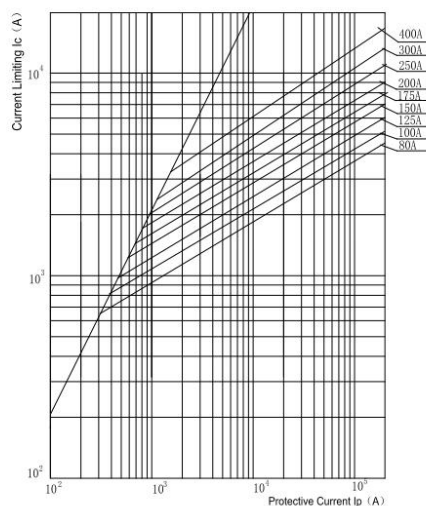


P/N	A	B	C	D	E	F	G	H	J
AE7xxxi25	111	25	66	95	93	9	18	3	10
AE7xxxi38	129	38	72	107	89	10.5	25	6	19.5
AE7xxxi51	129	51	72	109	90	10.5	38	6	20

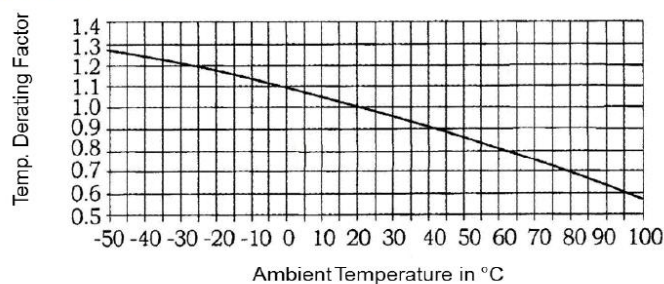
AE7 Time Current(reference)



Current Limiting(reference)



Temperature Reduction




ADLER Elektrotechnik Leipzig GmbH
Zschochersche Str. 91
D-04229 Leipzig - GERMANY

TEL: +49 (0)341 94698772
FAX: +49 (0)341 94698771

Email: info@adlerelectric.com,
info@adlerelektro.de
Website: www.adlerelectric.com

Rev:001.20161112

2.3.5 Ficha técnica de los contactores



250A/350A

SU280 Single Pole Single Throw Normally Open

(Part of the SU Series)

Application	Interrupted	Uninterrupted
Thermal Current Rating (I _{th})	250A	350A
Intermittent Current Rating:		
30% Duty	450A	640A
40% Duty	395A	555A
50% Duty	355A	495A
60% Duty	325A	450A
70% Duty	300A	420A
Rated Fault Current Breaking Capacity (I _{cn}) 5ms Time Constant (in accordance with UL583*)		
SU280	1500A at 48V D.C.	
SU280B	1500A at 80V D.C.	
Rated Fault Current Breaking Capacity (I _{cn}) Resistive Load: (in accordance with UL506*)		
SU280	525A at 60V D.C.	
SU280B	525A at 96V D.C.	
Maximum Recommended Contact Voltages (U ₀):		
SU280	48V D.C.	60V D.C.
SU280B		96V D.C.
Typical Voltage Drop per pole across New Contacts at 100A	40mV	
Mechanical Durability	>3 x 10 ⁶ Cycles	
Coil Voltage Available (Us) (Rectifier board required for A.C.)	From 6 to 240V A.C./D.C.	
Coil Power Dissipation:		
Highly Intermittent Rated Types	40 - 50 Watts	
Intermittently Rated types	30 - 40 Watts	
Prolonged Rated Types	15 - 30 Watts	
Continuously Rated Types	10 - 15 Watts	
Maximum Pull-In Voltage (Coil at 20° C) Guideline:		
Highly Intermittent Rated types (Max 25% Duty Cycle)	60% U _s	
Intermittently Rated types (Max 70% Duty Cycle)	60% U _s	
Prolonged Operation (Max 90% Duty Cycle)	60% U _s	
Continuously Rated Types (100% Duty Cycle)	66% U _s	
Drop-Out Voltage Range	10 - 25% U _s	
Typical Pull-In Time	30ms	
Typical Drop-Out Time (N/O Contacts to Open):		
Without Suppression	8ms	
With Diode Suppression	60ms	
With Diode and Resistor (Subject to resistance value)	25ms	
Typical Contact Bounce Period	3ms	
Operating Ambient Temperature	- 40°C to + 60°C	
Guideline Contactor Weight		
SU280	755 gms	
With Auxiliary	+ 20 gms	
With Blowouts	+ 50 gms	

Auxiliary Details

Auxiliary Thermal Current Rating 5A

Auxiliary Contact Switching Capabilities (Resistive Load):

SU280C	SU280A
5A at 24V D.C.	
2A at 48V D.C.	
0.5A at 240V D.C.	

Advised Connection Sizes for Maximum Continuous Current

Copper busbar 228mm² [0.353 inch²]

Cable Rated suitable for Application

Key: ▶ = Interrupted ▶ = Uninterrupted

Note: Where applicable values shown are at 20°C

* Please check our web site for product UL status

The SU280 has been designed for direct current loads, particularly motors as used on electronic vehicles such as industrial trucks, airport tractors and such like.

- Interrupted current - opening and closing on load with frequent switching (results in increased contact resistance).
- Uninterrupted current - no or infrequent load switching requirements (maintains a lower contact resistance).

The contactors have double breaking main contacts with silver alloy tips, which are weld resistant, hard wearing and have excellent conductivity. They are easy to install, with M5 tapped holes in the switch frame together with a range of mounting brackets. Mounting can be vertical or horizontal, when vertical the M10 contact studs should point upwards. If the requirement is for downwards orientation we can adjust the contactor to compensate for this.

SU280 Contactor Performance

Time (Seconds) vs Current (Amperes)

Figures are for guideline purposes only

Contact Performance Key:

- Interrupted Current (Red line)
- Uninterrupted Current (Blue line)

SU280 Available Options	
General	Suffix
Auxiliary Contacts	○ A
Auxiliary Contacts - V3	○ C
Magnetic Blowouts ¹	○ B
Magnetic Blowouts - High Powered ¹	○ B
Armature Cap	●
Mounting Brackets	○
Magnetic Latching ¹ (Not fail safe)	○ M
Closed Contact Housing	○
Environmentally Protected IP66 (see SU280P Catalogue Sheet)	○ P
EE Type (Steel Shroud)	○ EE
Contacts	
Large Tips	X
Textured Tips	○ T
Silver Plating	X
Coil	
AC Rectifier Board (Fitted)	○
Coil Suppression ¹	○
Flying Leads	○ F
Junior Power Timer Connector	○
Manual Override Operation	X
M4 Stud Terminals	X
M5 Terminal Board	○
Vacuum Impregnation	○
Key: Optional ○ Standard ● Not Available X	
¹ Connections become polarity sensitive	

SU280A (Auxiliary Contacts)

Dimensions in mm [inches]

Connection Diagram

SU280C SU280A

AUXILIARY CONTACT AUXILIARY CONTACT

NO NC NO NO NC NO

Albright International Ltd, Evingar Trading Estate, Ardglen Road, Whitechurch, Hampshire, RG28 7BB, UK
 Tel: +44 (0)1256 893060, Fax: +44 (0)1256 893562, Dedicated Sales Tel: +44 (0)1256 890030, Fax: +44 (0)1256 890043
 E-mail: sales@albrightinternational.com or technical@albrightinternational.com Web Site: www.albrightinternational.com

v7.02-19
Copyright © 2019 Albright International LTD
SU280

Ameer Hamza Ullah Kousar

Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por Dr. Jonathan Fernández Hée
PLANOS**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

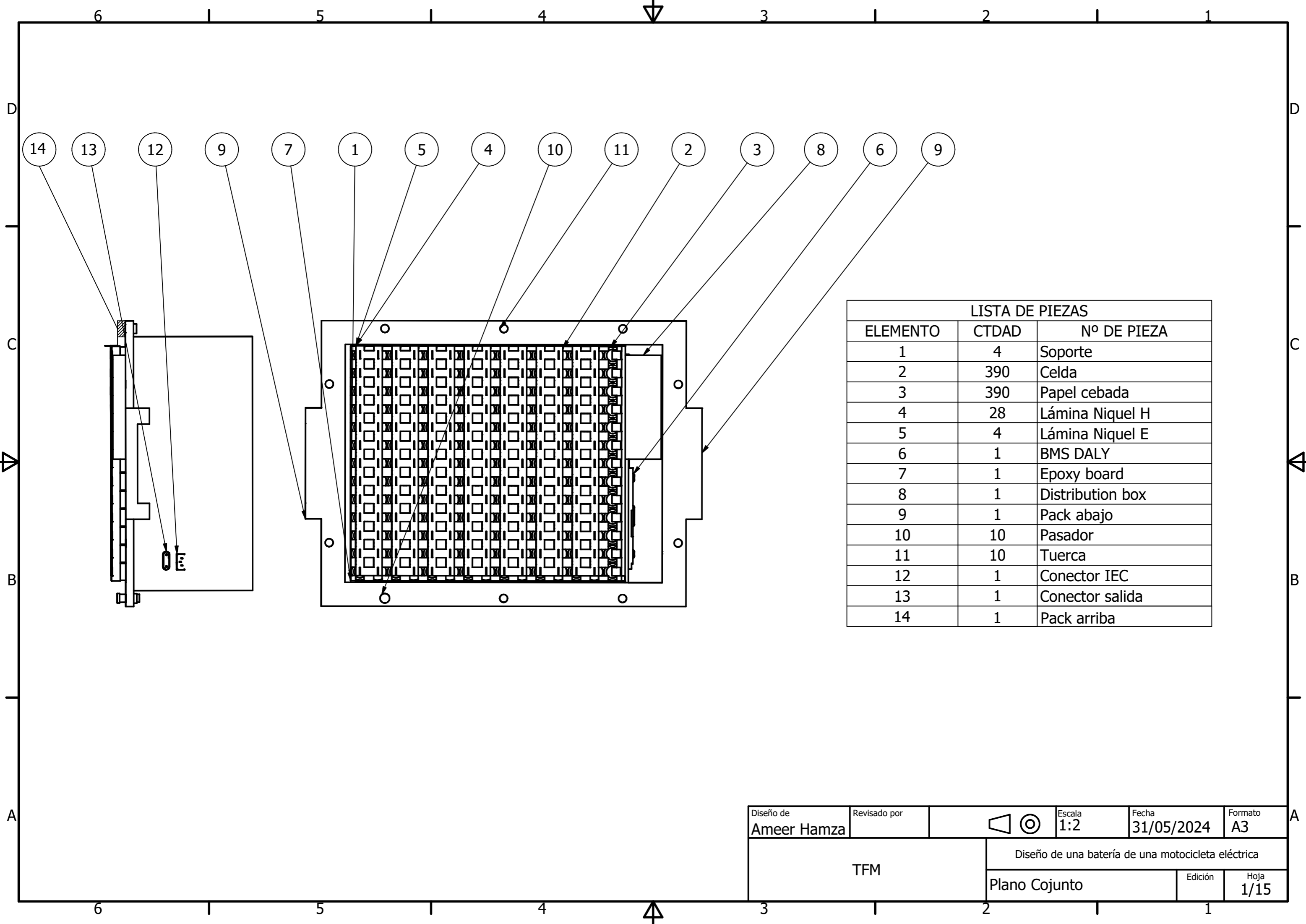
2024

Índice

3	Planos.....	1
---	-------------	---

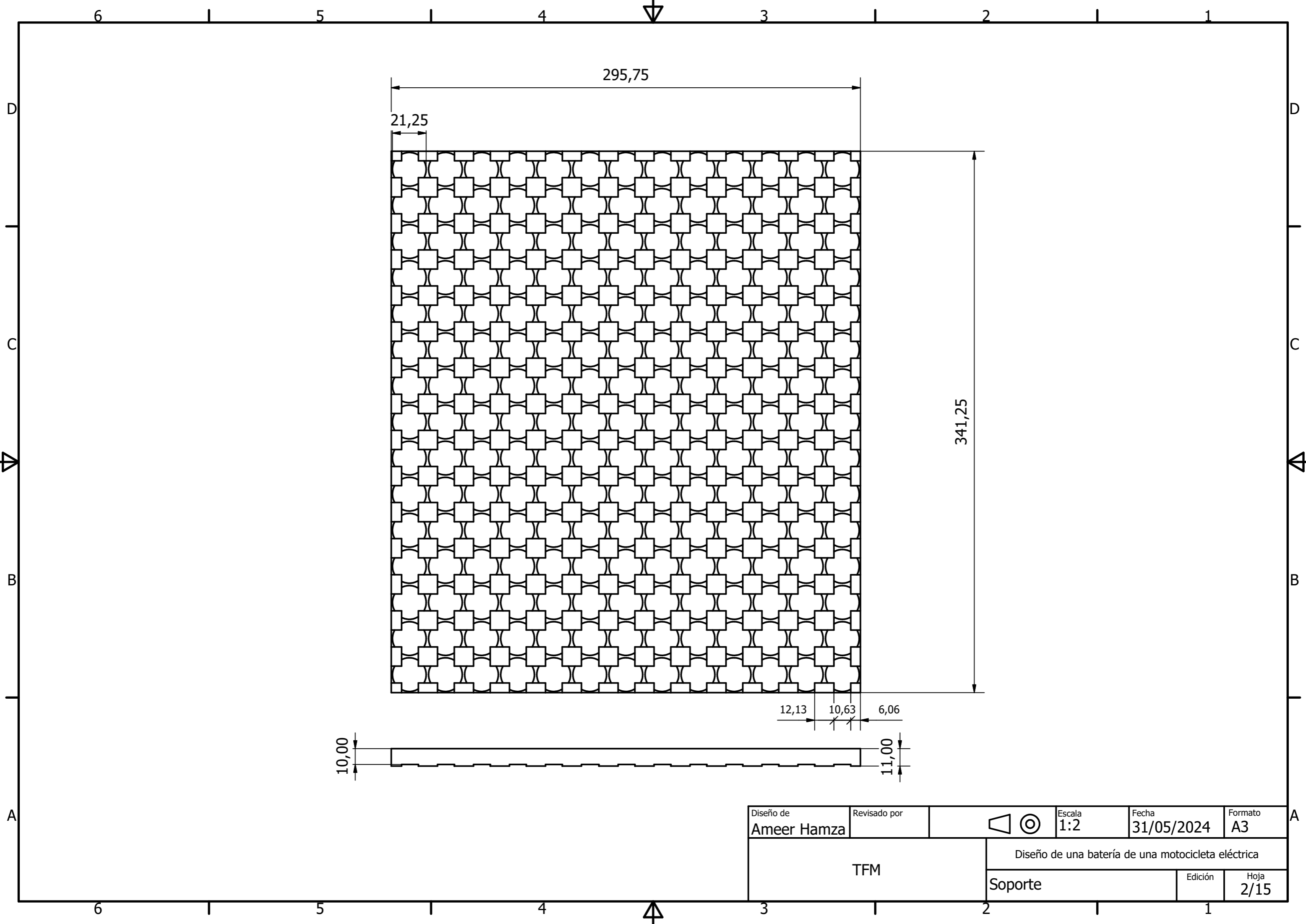
3 Planos



A continuación, se pueden observar los planos realizados de la batería en Autodesk Inventor. La *distribution box* se trata como una caja negra para los planos, se dejan aproximadamente las dimensiones que ocupará, pero no se realiza el diseño en 3D del circuito de protección al no haber hecho no la programación.

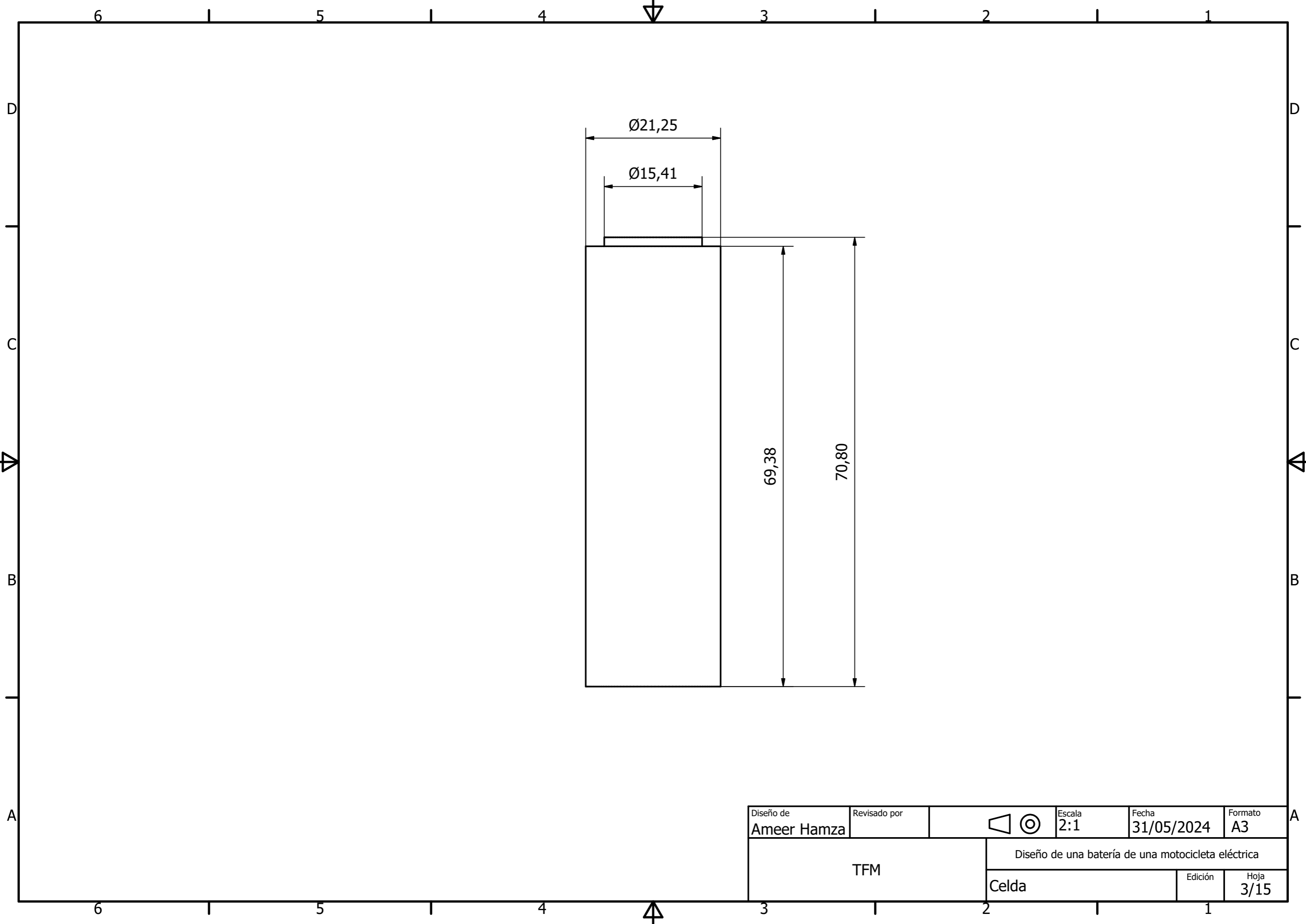


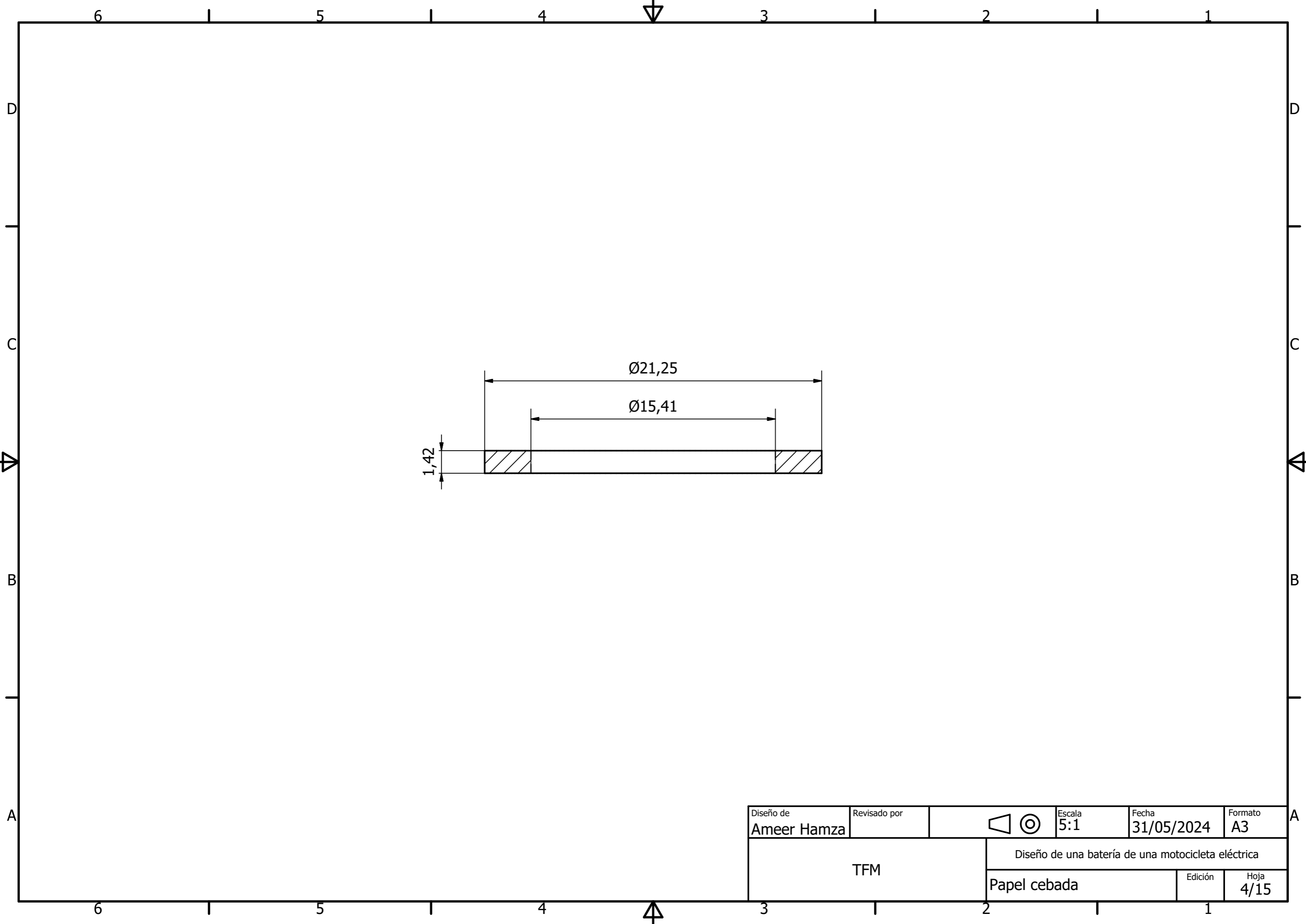
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	4	Soporte
2	390	Celda
3	390	Papel cebada
4	28	Lámina Niquel H
5	4	Lámina Niquel E
6	1	BMS DALY
7	1	Epoxy board
8	1	Distribution box
9	1	Pack abajo
10	10	Pasador
11	10	Tuerca
12	1	Conector IEC
13	1	Conector salida
14	1	Pack arriba



Diseño de Ameer Hamza	Revisado por		Escala 1:2	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Plano Conjunto		Edición	Hoja 1/15

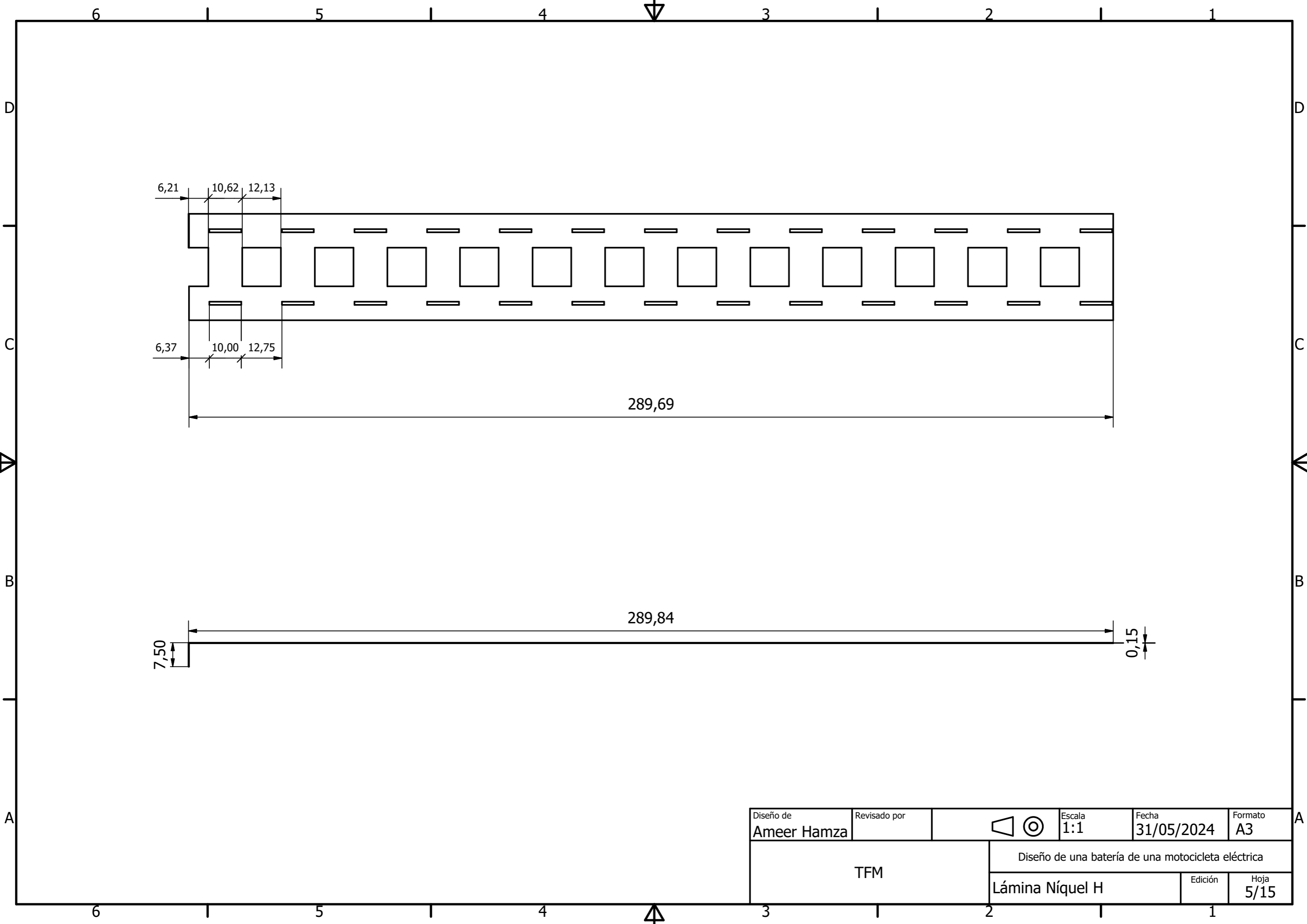


Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 1:2	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Soporte		Edición	Hoja 2/15





Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 5:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Papel cebada		Edición	Hoja 4/15



6,21 10,62 12,13



6,37 10,00 12,75

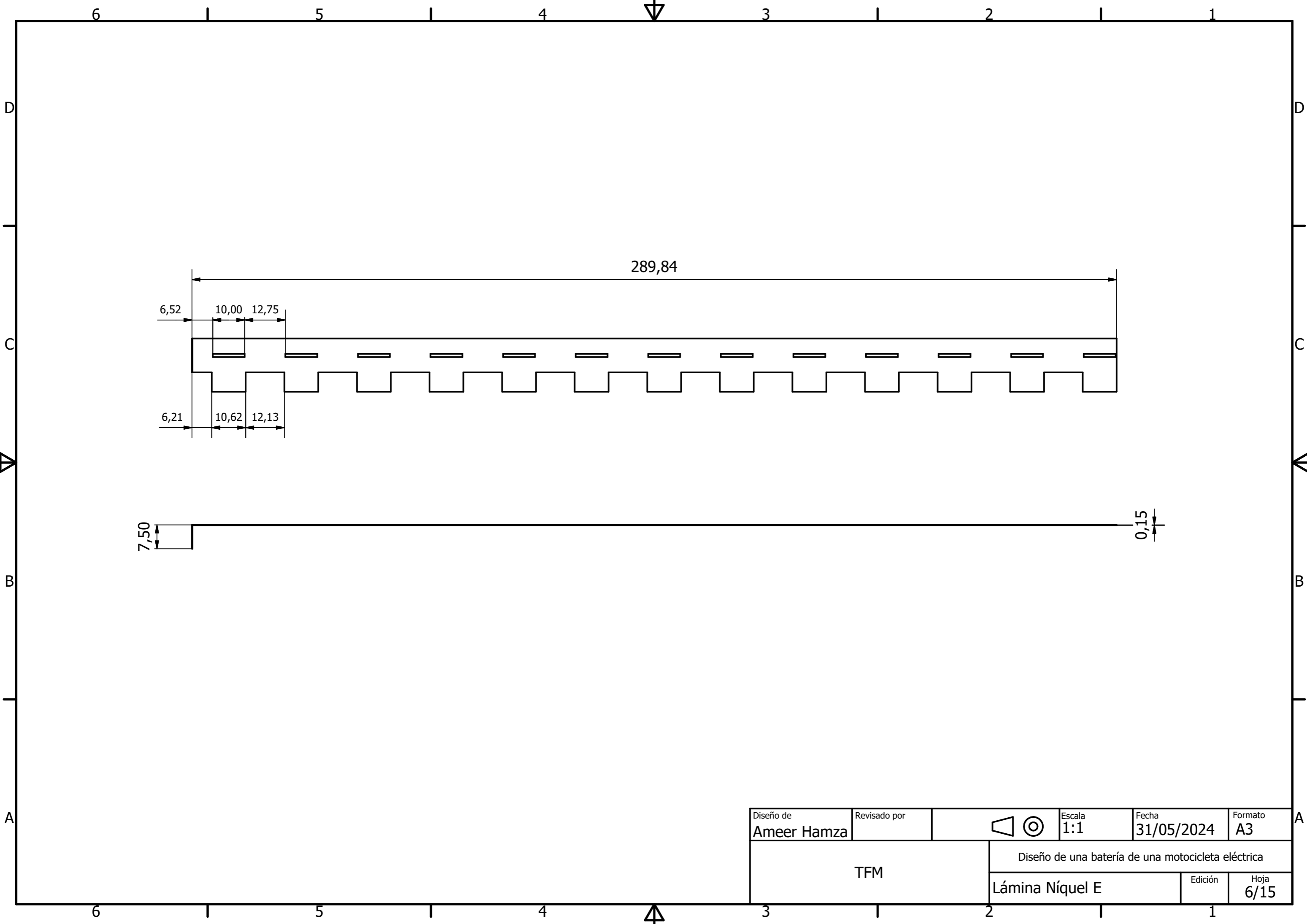
289,69



289,84

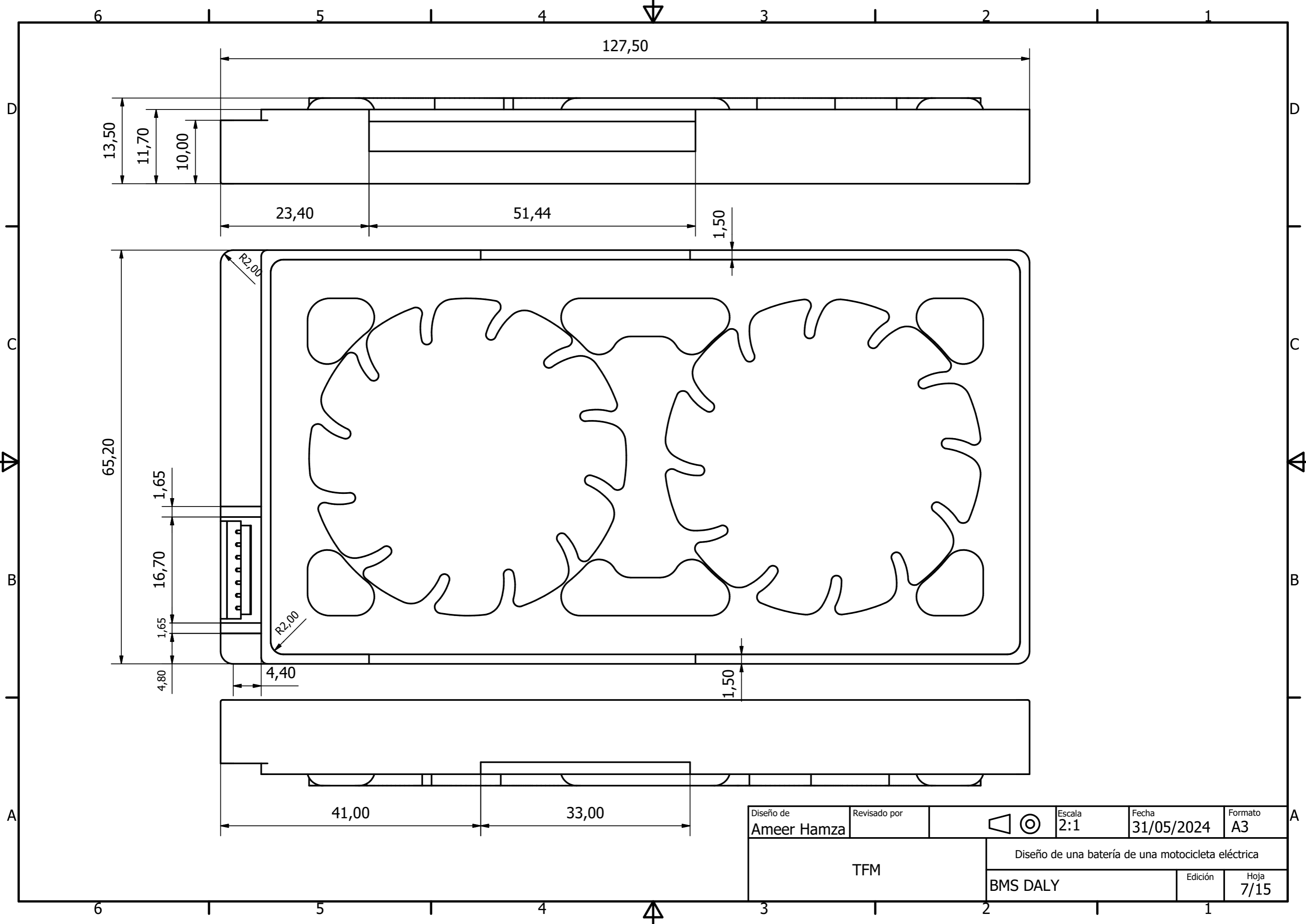
7,50



0,15

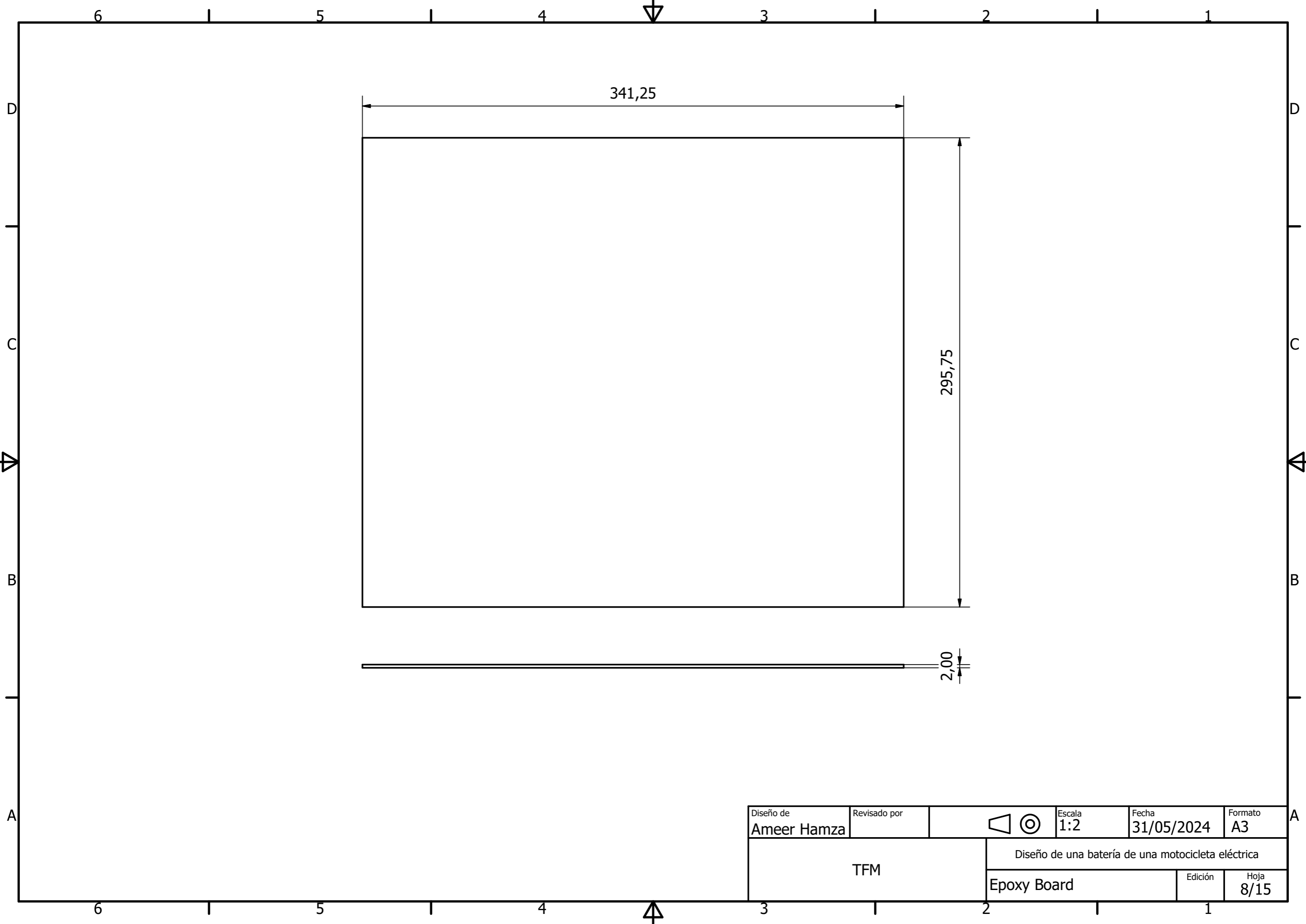
Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 1:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Lámina Níquel H		Edición	Hoja 5/15



Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 1:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Lámina Níquel E		Edición	Hoja 6/15





Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 2:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM			Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica		
BMS DALY			Edición	Hoja 7/15	

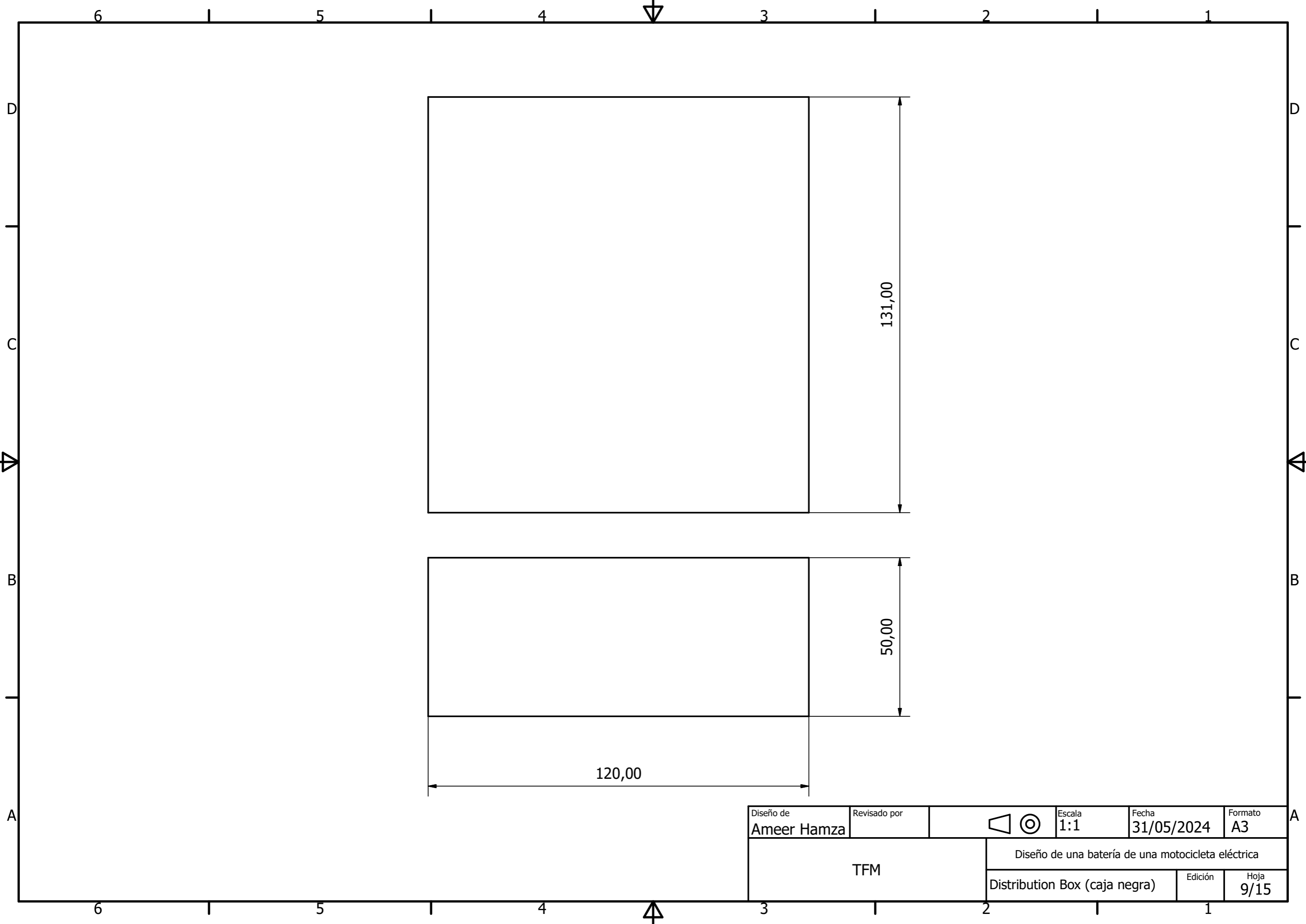




341,25

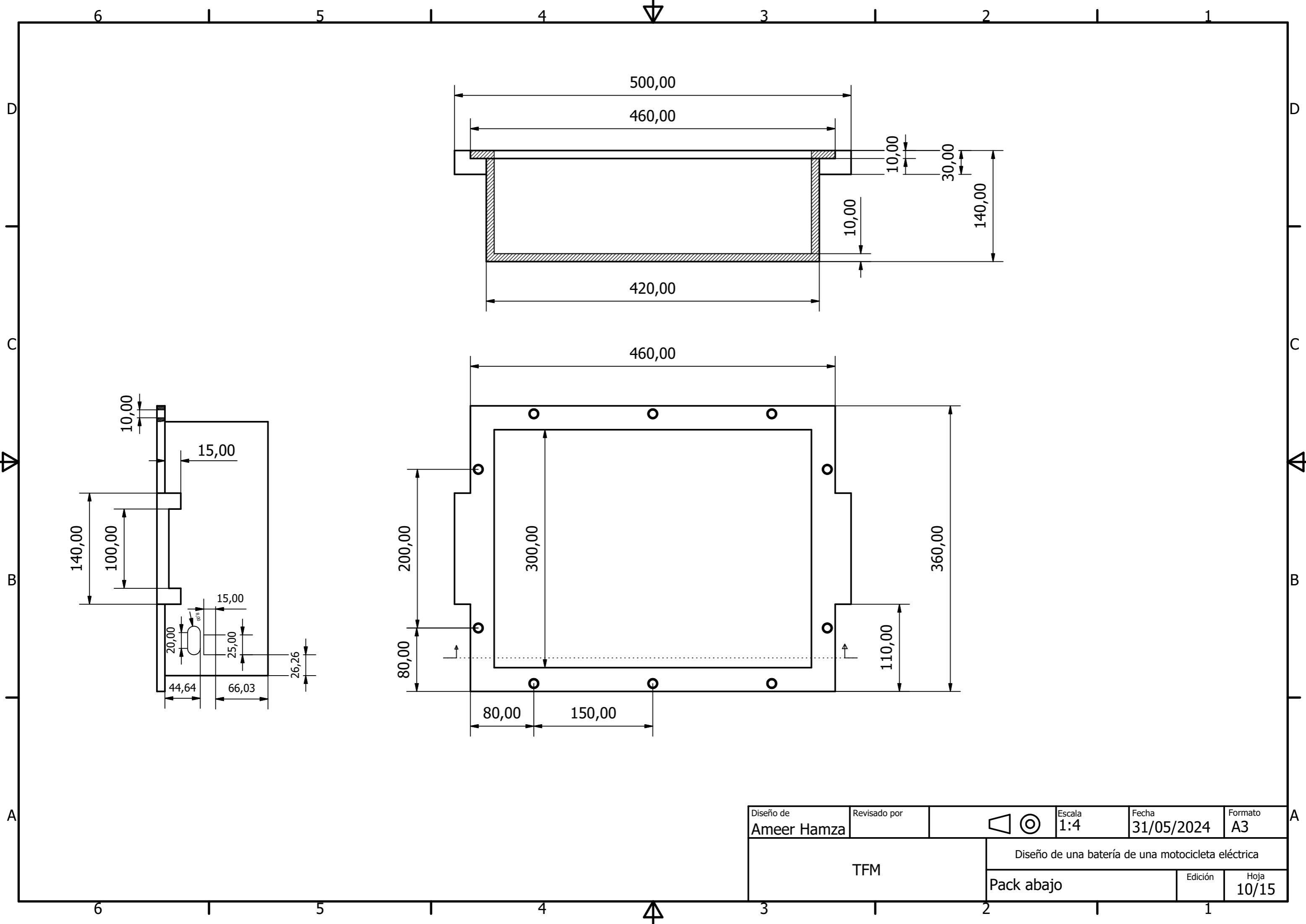
295,75

2,00

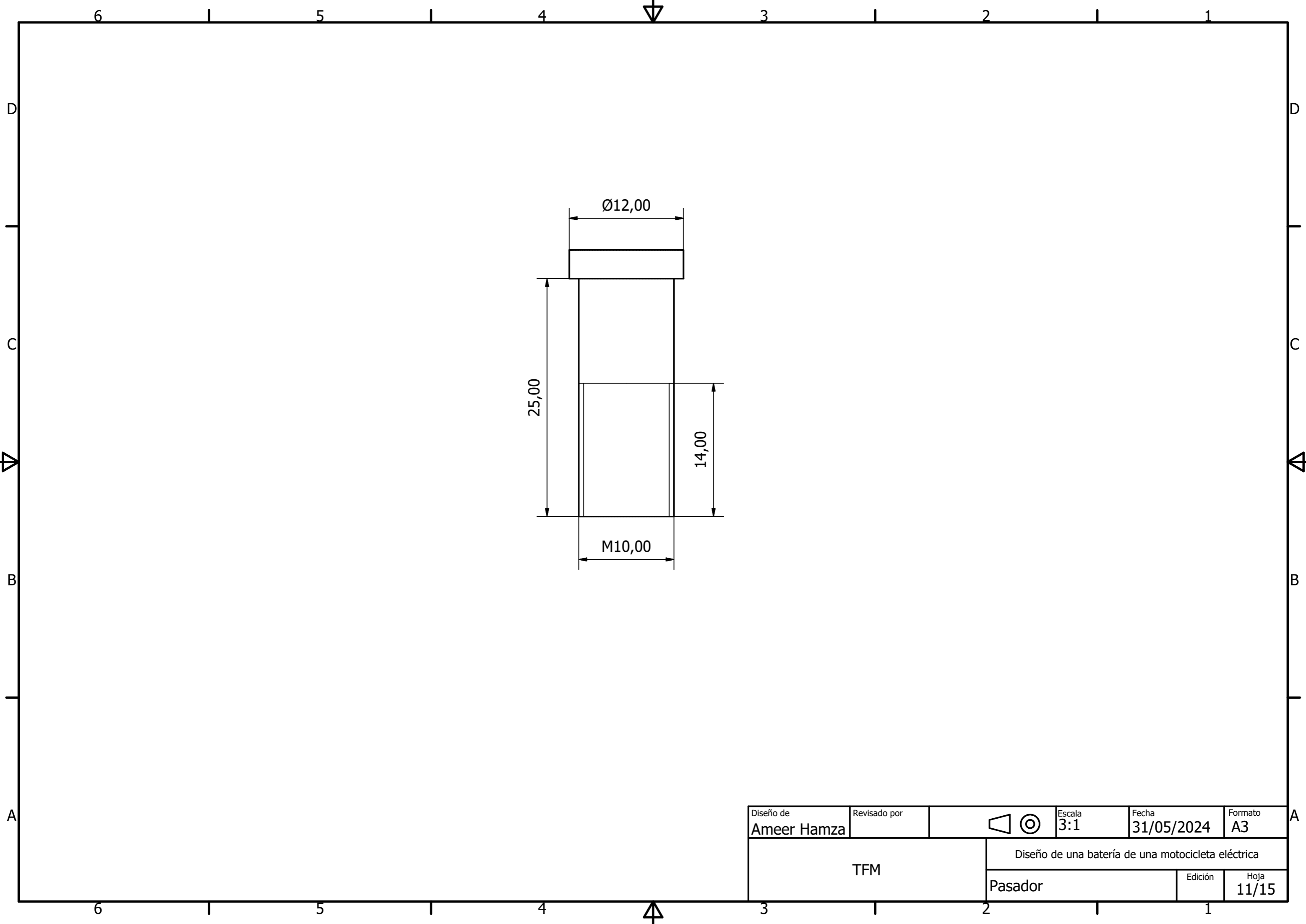
Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 1:2	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Epoxy Board		Edición	Hoja 8/15





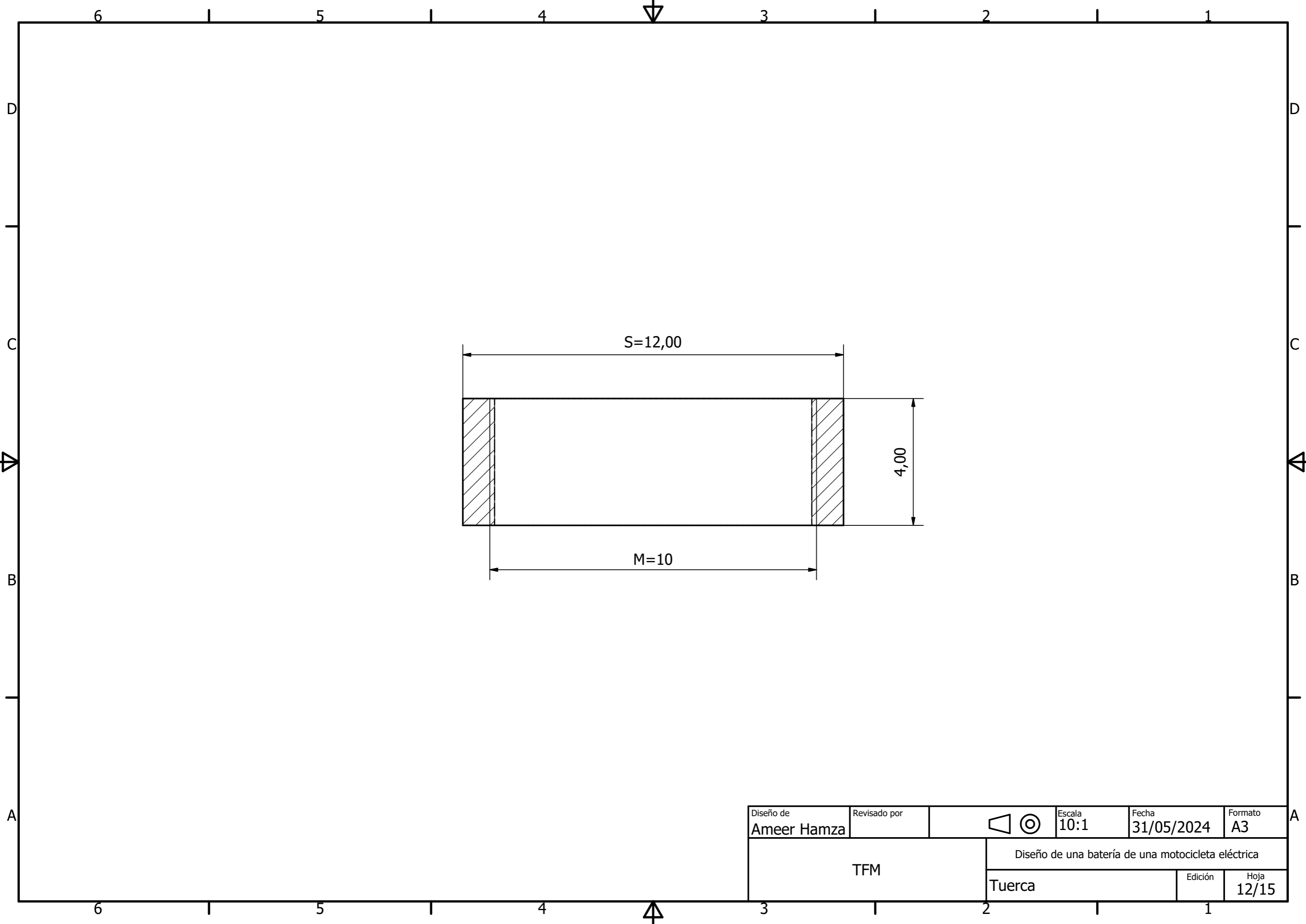
Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 1:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Distribution Box (caja negra)		Edición	Hoja 9/15





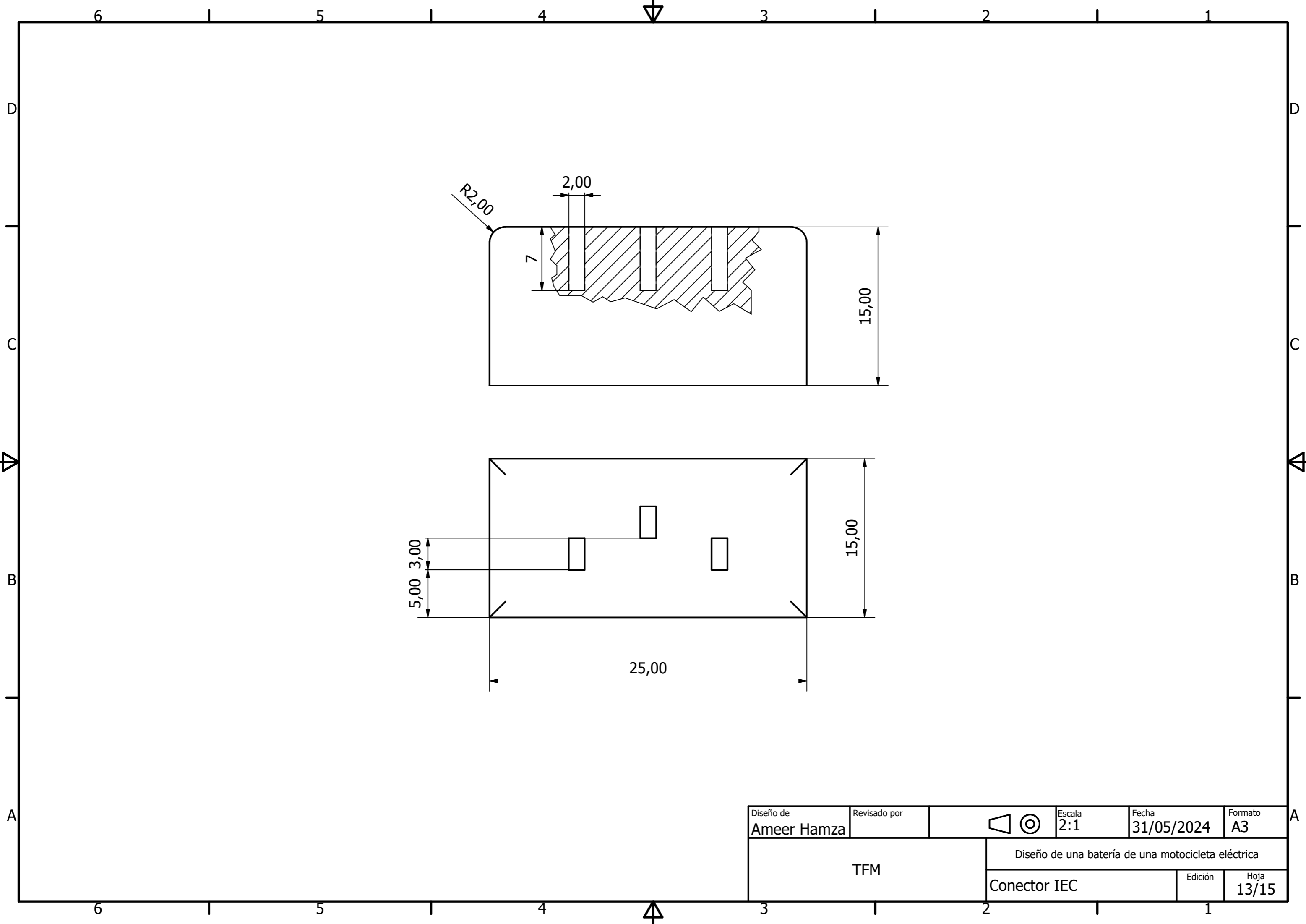
Diseño de Ameer Hamza	Revisado por		Escala 1:4	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Pack abajo		Edición	Hoja 10/15





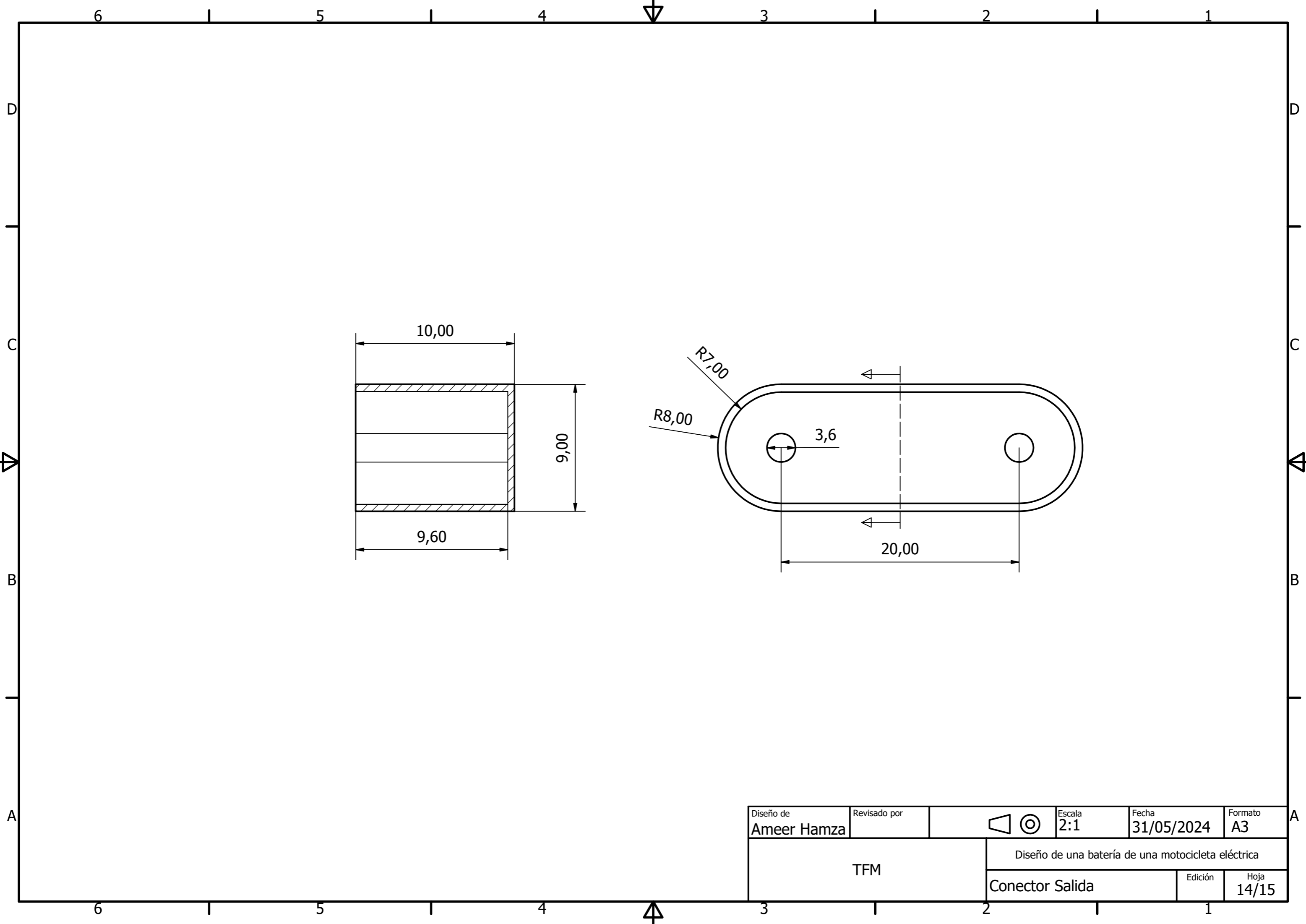
Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 3:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Pasador		Edición	Hoja 11/15





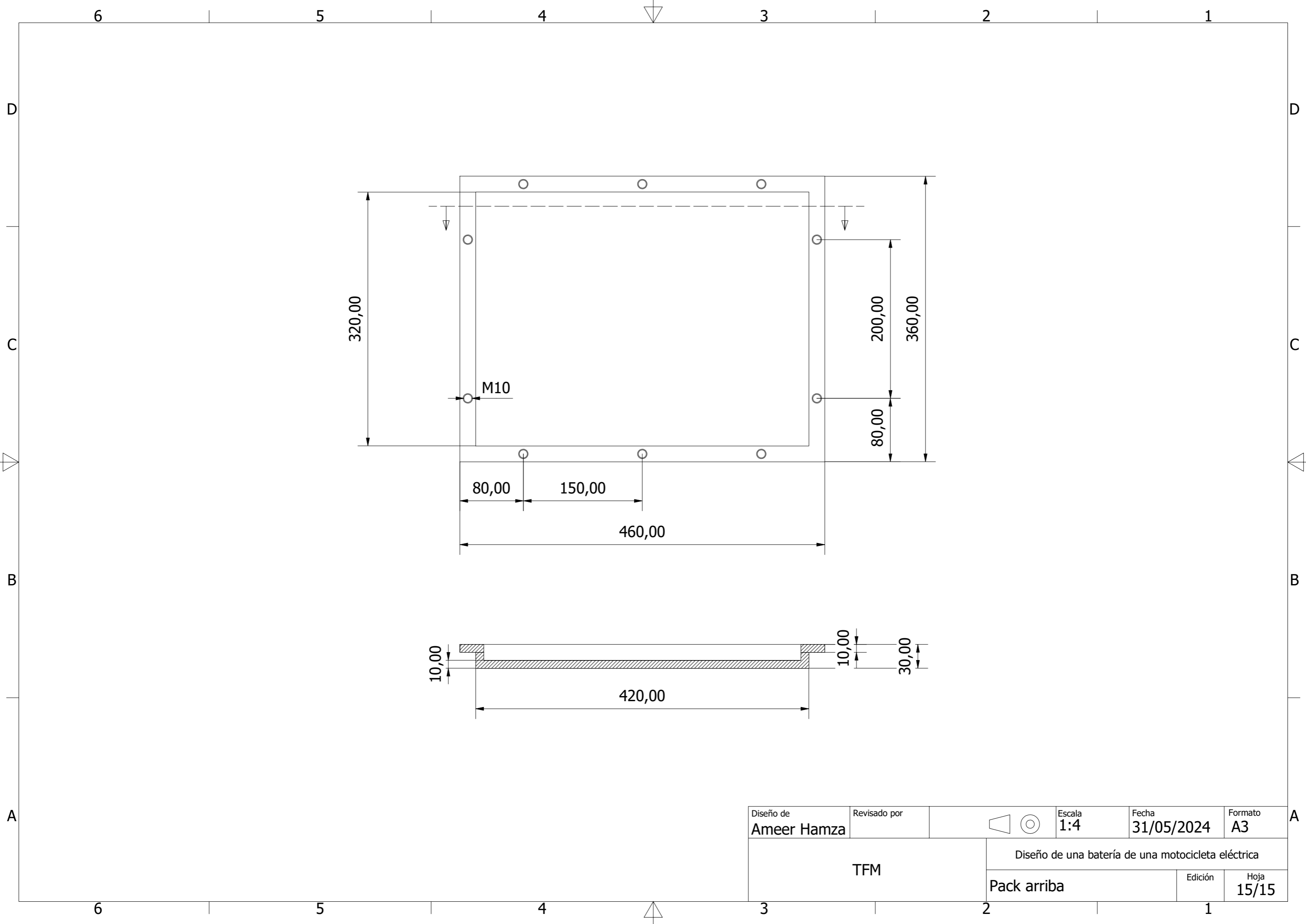
Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 10:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Tuerca		Edición	Hoja 12/15





Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 2:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Conector IEC		Edición	Hoja 13/15



Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 2:1	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Conector Salida		Edición	Hoja 14/15



Diseño de Ameer Hamza	Revisado por	 	Escala 1:4	Fecha 31/05/2024	Formato A3
TFM		Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica			
		Pack arriba			Edición

Ameer Hamza Ullah Kousar

Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica

**Trabajo Fin de Máster
dirigido por Dr. Jonathan Fernández Hée
PRESUPUESTO**

Máster en Ingeniería Industrial



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2024

Índice

4	Presupuesto	1
---	-------------------	---

4 Presupuesto

A continuación, se puede ver el presupuesto realizado para este proyecto. Se tienen en cuenta todos los materiales necesarios para la realización de la batería y el presupuesto de las distintas operaciones que intervienen en su realización. Cabe destacar que no se han tenido en cuenta el coste de la programación del BMS ni tampoco el coste que tendría pasar todas las homologaciones. En cuanto a la *distribution box*, se ha tenido en cuenta el material, pero no la tornillería, ya que no se ha hecho el diseño en 3D para hacer una estimación.

PRESUPUESTO

Proyecto	Diseño de una batería de una motocicleta eléctrica
Descripción del proyecto	Desarrollo de la batería de un vehículo eléctrico, concretamente para una motocicleta eléctrica. Se abordarán aspectos tan relevantes como la selección de celdas, sistemas de control, y componentes eléctricos y mecánicos, todos enfocados para optimizar tanto la eficiencia como la seguridad del sistema.
Elaborado por	Ameer Hamza Ullah Kousar
Lider del proyecto	Ameer Hamza Ullah Kousar
Fecha	6/7/2024
Fecha de validez	6/30/2024

Descripción	Cantidad	Unidad	Base Ud.	Base Total
Celdas Samsung 50E	390	Unidad	€4,15	€1.618,50
Soporte celdas	13	Unidad	€6,99	€90,87
Preparación de celdas y soporte:				
• Inspección y clasificación de celdas.	2	Horas	€35,00	€420,00
• Preparación del soporte para las celdas.	4			
• Ensamblaje de celdas y soporte.	6			
Láminas de níquel	2	Unidad	€14,00	€28,00
Papel cebada	11	Unidad	€2,11	€23,21
Aislante Epoxi	1	Unidad	€6,45	€6,45
Corte y soldadura por puntos de láminas de níquel:				
• Corte de láminas de níquel según medidas.	6	Horas	€45,00	€360,00
• Soldadura por puntos a las láminas con las celdas.	2			
BMS DALY 300 A	1	Unidad	€176,11	€176,11
Cable cobre 70 mm ²	2	metros	€11,67	€23,34
Instalación del BMS y cableado:				
• Conexión e instalación del BMS.	2	Horas	€55,00	€330,00
• Instalación del cableado de balanceo.	4			

Resistor BC-4	1	Unidad	€2,20	€2,20
Fusibles Adler AE7 125 A	2	Unidad	€32,82	€65,64
Sensor NTC	6	Unidad	€7,24	€43,44
Sensor efecto Hall	1	Unidad	€4,20	€4,20
Contactores Albright SU280	3	Unidad	€147,02	€441,06
Conector salida	1	Unidad	€10,99	€10,99
Conector entrada	1	Unidad	€5,06	€5,06
Cintas de sujeción	2	Unidad	€9,02	€18,04
Montaje del circuito de protección: <ul style="list-style-type: none"> • Preparación del área de trabajo y componentes. • Montaje de contactores. • Montaje de fusibles. • Montaje de resistor y sensor efecto Hall. • Conexión de conectores de entrada y salida 	2 2 1 3 2	Horas	€50,00	€500,00
Tuercas, tornillo y arandela M10	10	Unidad	€5,34	€53,40
Soportes montaje	10	Unidad	€4,85	€48,50
Tuercas, tornillo y arandela M6	40	Unidad	€3,81	€152,40
Espuma de relleno de alta densidad	1	Unidad	€16,59	€16,59
Cinta de sujeción	6	Unidad	€9,02	€54,12
HDPE	2	Unidad	€229,95	€459,90
Diseño e impresión 3D de la carcasa de batería y distribution box: <ul style="list-style-type: none"> • Diseño del modelo 3D de la carcasa y distribution box. • Impresión 3D de la carcasa y distribution box. 	8 16	Horas	€60,00	€1.440,00
Montaje de la carcasa y distribution box.	2	Horas	€35,00	€70,00

Ingeniería de desarrollo:				
• Selección de celdas.	5	Horas	€40,00	€4.800,00
• Formación de módulos.	10			
• Conexión del BMS.	15			
• Electrónica de control y diseño del sistema de protección.	30			
• Diseño del sistema de refrigeración.	35			
• Diseño de la carcasa.	25			

Firma

COSTES DIRECTOS:	€5.022,02
COSTES INDIRECTOS:	€6.240,00
SUBTOTAL	€11.262,02
TIPO DE BENEFICIO INDUSTRIAL:	10%
BENEFICIO INDUSTRIAL:	€1.126,20
TOTAL SIN IVA	€12.388,22
TIPO DE IVA:	21%
IVA:	€2.601,53

TOTAL €14.989,75

Tabla 1. Enlace de los precios de los productos.

Producto	Enlace
Celdas Samsung 50E	Samsung INR21700-50E 4900mAh - 9.8A - 21700 & 20700 - Li-ion - Pilas recargables NKON
Soporte celdas	DollaTek 10Pcs 1x3 Cell Spacer Radiating Shell Holder Bracket for 18650 Battery : Amazon.es: Electrónica
Láminas de níquel	Amazon.com: Bestol 5 Meters 2P/3P/0.15x8mm/0.12x8mm/18x6x50mm Nickel Alloy Strip for Battery Spot Welding, Connect Battery in Paralle : Tools & Home Improvement
Papel de cebada	Junta aislante de papel Barley para batería, 1 hoja/36 piezas, 32650 (aliexpress.com)
Aislante Epoxi	Tablero de resina epoxi amarillo 3240, paquete de batería resistente a altas temperaturas y humedad, tablero de aislamiento, corte de fibra de vidrio (aliexpress.com)
BMS DALY 300 A	Daly Smart Lifepo4 BMS 4S 8S 16S 24S 12V 24V 48V Li-ion 10S 36V 13S 4 – daly (bmsdaly.com)
Resistor BC-4	BC-4 Resistencia Ceramica Axial 4W - Comprar (cetronic.es)
Fusibles Adler AE7 125 A	Adler AE7 Fuse 800VDC Genuine & Latest Product (swe-check.com.au)
Contactores Albright SU280	SU280B-1074P Contactor 250A 48V CO IP66 - Sevtronic
Conector salida	2 Piezas Cables Bateria Coche 30cm, Conector de Bateria 100A 600V, 10AWG Cable Bateria Rojo y Negro de Inversor con Terminales de Anillo de Alambre de Cobre, para Automóvil, Camión, Moto, RV, Marino : Amazon.es: Coche y moto
Conector entrada	Cable recto IEC 320 de 5 piezas y 10 piezas, enchufe de CA C13, C14, 10A, 250V, recableado eléctrico negro, conector de alimentación macho y hembra de 3 pines (aliexpress.com)
Tuercas, tornillo y arandela M10	Juego de tornillos y tuercas hexagonales de acero inoxidable, extensión completa grande, M4, M5, M6, M8, M10, M12, 304 - AliExpress
Sensor NTC	Daly BMS accesorio NTC sensores de temperatura (aliexpress.com)
Sensor efecto Hall	SS443A Sensor de efecto Hall Honeywell, 3,8 → 30 V dc, salida Digital, 20 mA, , para montaje en PCB RS (rs-online.com)
Soportes montaje	Componente de conexión FlexLink XDFA 22 A, M6, para ranura de 5.5mm RS (rs-online.com)
Tuercas, tornillo y arandela M6	Juego de tornillos y tuercas hexagonales de acero inoxidable, extensión completa grande, M4, M5, M6, M8, M10, M12, 304 - AliExpress
Espuma de relleno de alta densidad	Espuma precortada de alta densidad, caja de herramientas de tamaño personalizado, inserto de espuma, espumas de sombra precortadas para estuche rígido y estuche de vuelo (aliexpress.com)
Cinta de sujeción	Abaodam Cinta De Gestión De Cables Cinta De Sujeción Autoadhesiva Sujetador Adhesivo De Doble Cara Gancho y Correas Cierre Adhesivo Industrial Gancho Pegajoso y Botón a Presión : Amazon.es: Bricolaje y herramientas
HDPE	HDPE negro, polietileno de alta densidad 20 mm (planchasdeplastico.es)