



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO Y DESARROLLO DEL POWERTRAIN ELÉCTRICO DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

Autor: Rafael Barberá Martínez

Director: Enrique Vacas Omatos

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Diseño y desarrollo del powertrain eléctrico de una motocicleta de competición
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Rafael Barberá Martínez

Fecha: 29/06/2025

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Enrique Vacas Omatos

Fecha: 29/06/2025

DISEÑO Y DESARROLLO DEL POWERTRAIN ELÉCTRICO DE UNA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

Autor: Barberá Martínez, Rafael.

Director: Vacas Omatos, Enrique.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En este proyecto se ha diseñado y desarrollado el powertrain eléctrico de la motocicleta de competición del ISC Racing Team, que competirá en la VII edición de MotoStudent. Esto comprende el estudio de las celdas que se emplearán en la batería principal, así como todos los componentes eléctricos y electrónicos de la moto. Por último, se ha realizado el diseño del harness de la motocicleta que permitirá conectar todos los elementos del sistema de una manera más organizada.

Palabras clave: Celda, esquema eléctrico, harness, conectores, pineado.

1. Introducción

Este proyecto nace con el objetivo de continuar aportando conocimientos y contribuir al desarrollo de la motocicleta del ISC Racing Team que participa bianualmente en la competición estudiantil más famosa, la MotoStudent. Esta competición consta de dos categorías, Petrol y Electric, y es en esta última en la que la motocicleta desarrollada en este proyecto competirá.

Además, este trabajo también surge de la presente necesidad de diseñar el powertrain para la siguiente edición de esta competición. Y, a su vez, también se pretende que sirva de referencia para futuros proyectos, así como para el desarrollo de dicha motocicleta en ediciones futuras.

El desarrollo del powertrain de la motocicleta hace referencia a la elección de todos los componentes a través de los cuales ésta se pone en marcha, y la manera de elegirlos se ha realizado en base a la normativa establecida en la competición y a la experiencia que se va adquiriendo en cada una de las ediciones en las que participa dicho proyecto.

2. Definición del proyecto

Este trabajo puede dividirse en tres partes principalmente, que hacen referencia a los objetivos específicos del trabajo que han sido definidos al inicio de este proyecto.

En primer lugar, se estudia y se realiza la elección de las celdas que formarán parte de la batería principal o acumulador del vehículo. En esta primera fase, se analiza individualmente cada celda entre los distintos modelos que se han comparado. A su vez, se realizan los cálculos pertinentes que faciliten la elección de las celdas. Como consecuencia, los resultados conseguidos junto con la experiencia obtenida en la última edición marcarán el camino a seguir para la conclusión final de este apartado.

En segundo lugar, nos centramos en el motor y la elección del inversor en base a las características de éste. Este apartado se basa en resumir las características principales del motor aportado por la competición, y en la elección del inversor de acuerdo con el resto de los componentes del sistema, además de presentar las características del mismo.

En la última parte, encontramos el grueso principal de este trabajo. Se comienza con el desarrollo de los planos que muestran los esquemas eléctricos que conforman la motocicleta. A continuación, se realiza el harness que conectará todos los componentes de aquella, así como su rutado dentro de la motocicleta y el pineado de cada uno de los conectores. Por último, se explica la función dichos componentes.

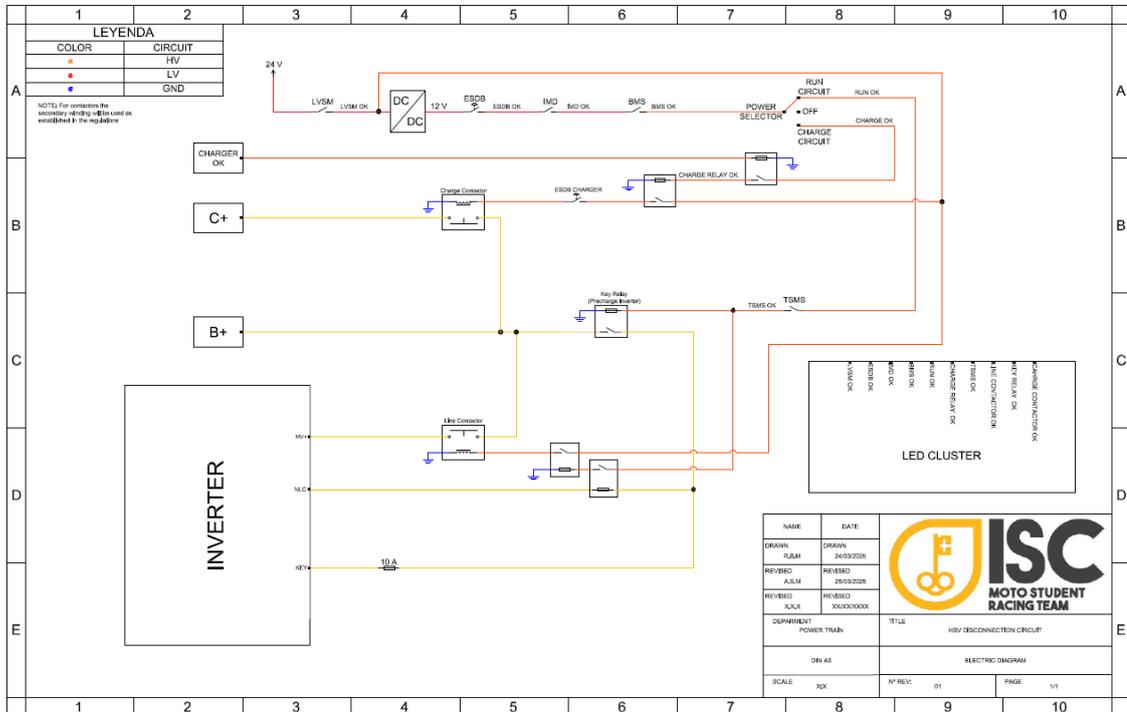


Figura 1: HVS Disconnection Circuit

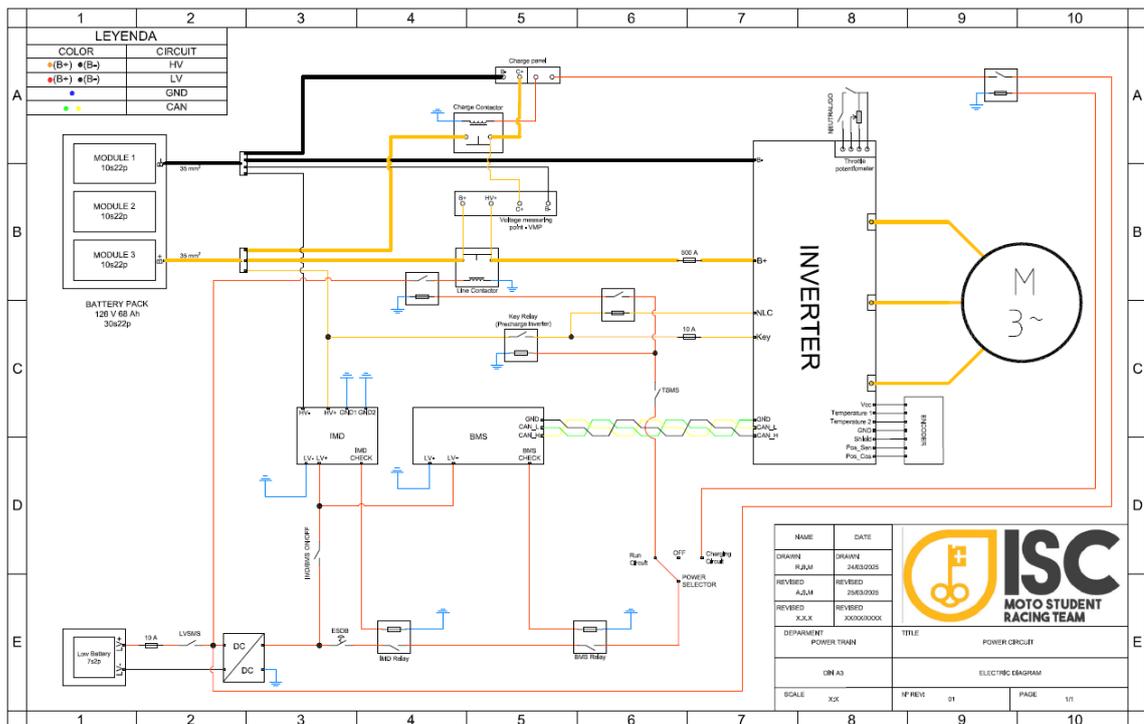


Figura 2: Power Circuit

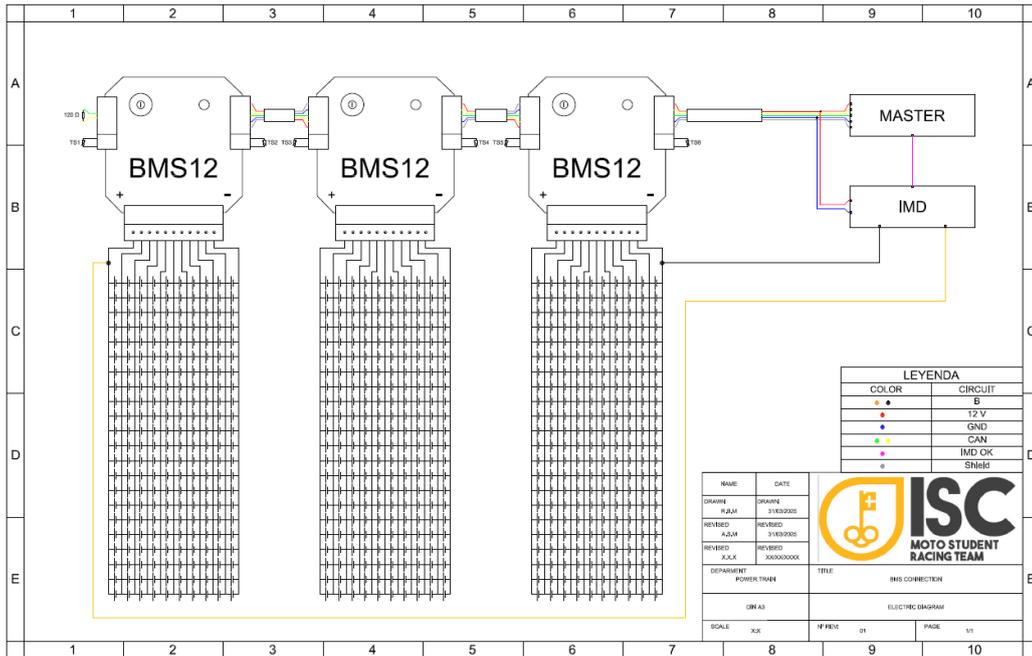


Figura 3: Cell Electric Scheme

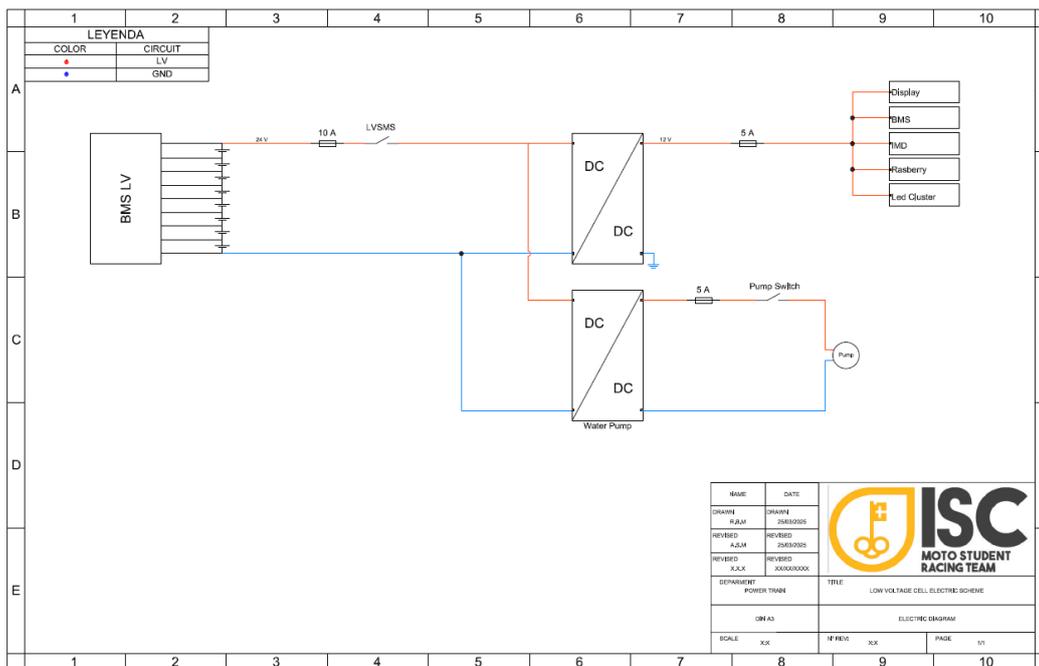


Figura 4: Low Voltage Cell Electric Scheme

Al final del trabajo, hemos presentado los anexos con el presupuesto que es necesario para llevar a cabo este proyecto y su alineación con los ODS.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

Para la selección de las celdas, se analizaron las fichas técnicas de distintos modelos comerciales de celda. Fue necesario para ello, determinar el número de celdas serie y paralelo, con el objetivo de que, posteriormente, se pudieran obtener los parámetros de máxima intensidad de celda, capacidad, volumen, peso y precio.

Los cálculos y las tablas pertinentes se realizaron con la aplicación Excel. A continuación, se evaluaron los resultados obtenidos, para que se pudiese tomar la mejor decisión posible, pero, cumpliendo siempre la normativa.

En segundo lugar, se estudió la ficha técnica del motor aportado por la competición, y junto con las características de las celdas previamente seleccionadas, se eligió el inversor que la motocicleta emplearía.

Por último, se han desarrollado los distintos esquemas eléctricos que conforman la motocicleta y el harness de la misma mediante la aplicación AUTOCAD Electrical. La distribución de dicho harness se realizó en base a las ubicaciones del resto de componentes eléctricos del sistema, explicados con posterioridad a su diseño.

4. Resultados

En primer lugar, se realizó el estudio de las celdas que constituirían la batería principal de la motocicleta. A través de los cálculos desarrollados a lo largo de este apartado en el proyecto, se llegó a la siguiente tabla que resume los resultados obtenidos.

Tabla 1: Resumen de la elección de las celdas

	Sony/Murata US21700VTC6	Sony/Murata US18650VTC6	Molicel INR21700-P45B
Nº celdas serie	30 celdas	30 celdas	30 celdas
Nº celdas paralelo	21 celdas	22 celdas	15 celdas
Nº Total celdas Batería	630 celdas	660 celdas	450 celdas
Nº Total celdas	840 celdas	880 celdas	600 celdas
Máxima intensidad de la celda	23,81 A	22,73 A	33,33 A
Capacidad	65520 mAh	68640 mAh	67500 mAh
Volumen	17,05 L	17,86 L	18,11 L
Peso	29,36 Kg	30,76 Kg	30,60 Kg
Precio Batería	2.299,50 €	2.409 €	3.172,50 €
Precio Total	3.066 €	3.212 €	4.230 €

En esta Tabla 1 encontramos las características principales de cada celda, tanto de manera individual como en un pack conjunto. Dada la experiencia adquirida durante la última edición, se prioriza la característica de capacidad del acumulador, sin dejar de tener en cuenta el coste que supondría su elaboración. En cuanto al peso, estos tres casos suponen una reducción del mismo con respecto a la edición pasada.

En definitiva, tras evaluar los resultados obtenidos, se llega a la conclusión de que la opción más óptima de celda es la Sony/Murata US18650VTC6, por su relación capacidad-precio, así como por la reducción de aproximadamente 2 kg con respecto a la celda empleada en la última edición.

La elección del inversor vino determinada por el resto de los componentes eléctricos del sistema. En concreto, el modelo de inversor adquirido fue el ZAPI ACE 4 de 96V. Este cumplía con los rangos de tensión sobre los que se mueve la batería y con la normativa establecida en la competición.

Por último, se diseñó el harness atendiendo a las ubicaciones de cada uno de los elementos que forman el sistema. Se decidió que todos los conectores del harness fuesen tipo macho por razones de seguridad, ya que, de esta manera, elementos como la batería de baja tensión estarían protegidas contra contacto indirecto, mediante los conectores hembra, aun cuando ésta esté conectada. También se detalló tanto el ruteado como el pienado de cada uno de los conectores.

A continuación, se muestra tanto el rutado del harness como su forma física:

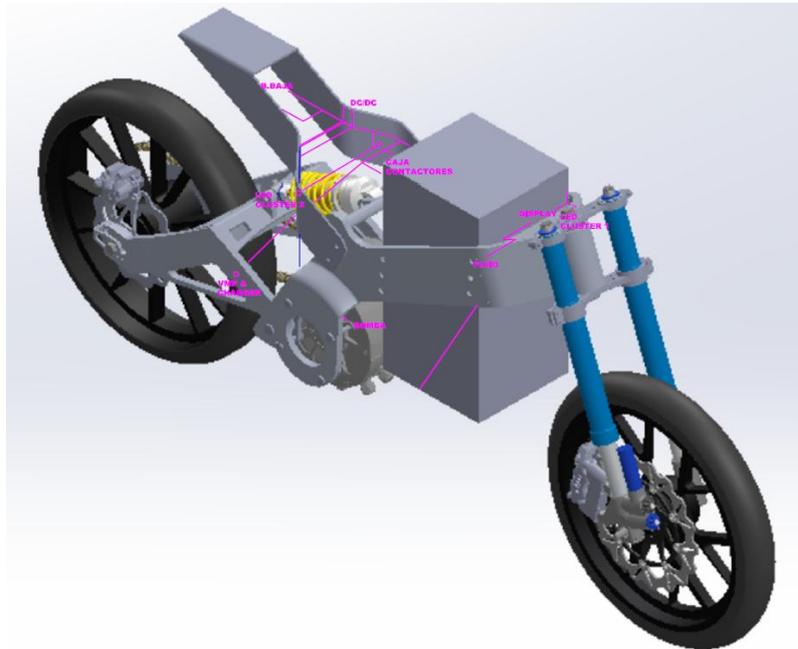


Figura 5: Vista isométrica del Rutado del harness

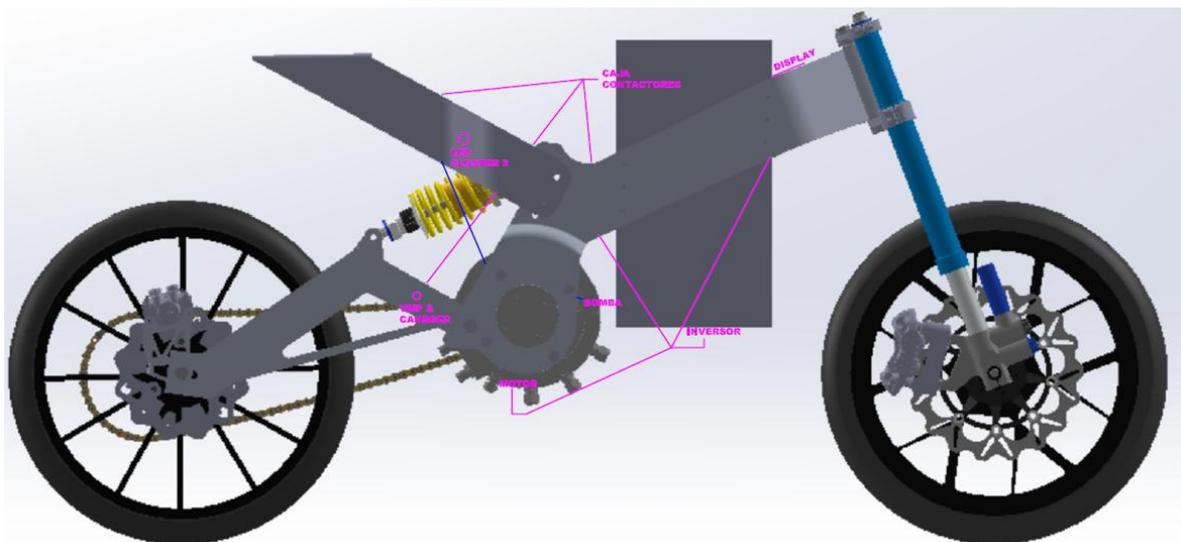


Figura 6: Vista lateral del Rutado del harness

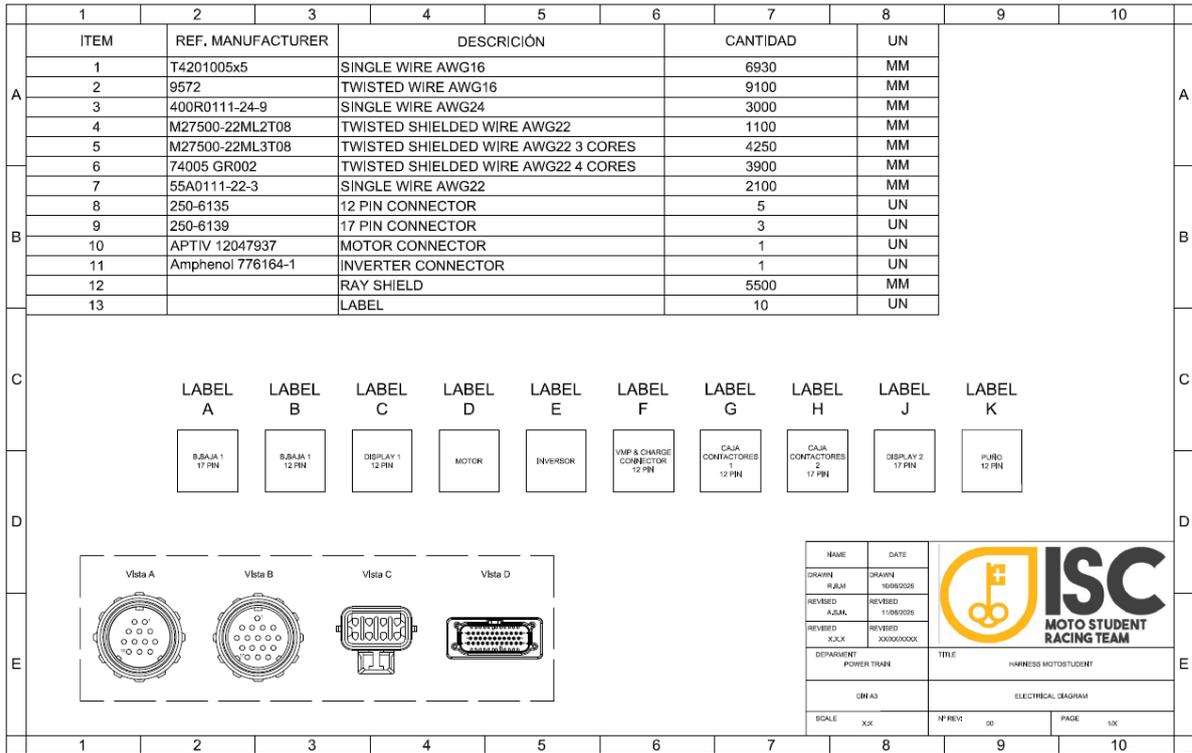


Figura 7: Plano harness

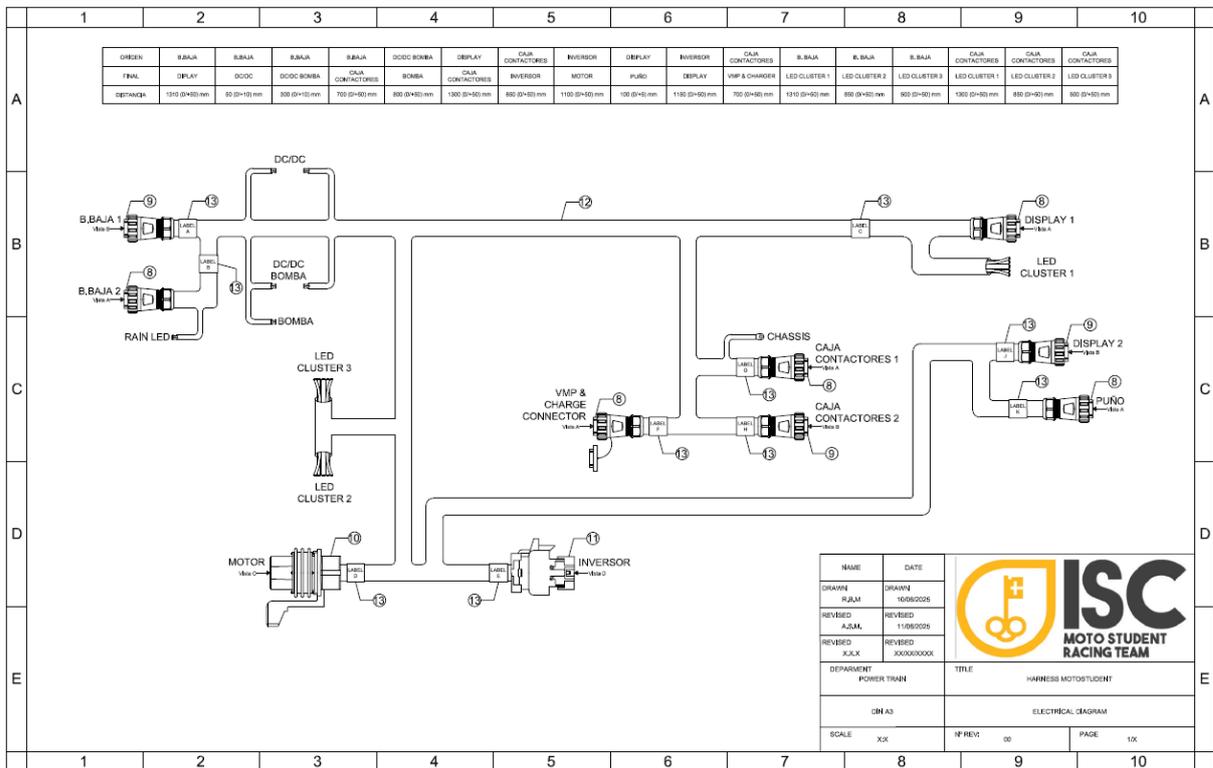


Figura 8: Forma física del harness

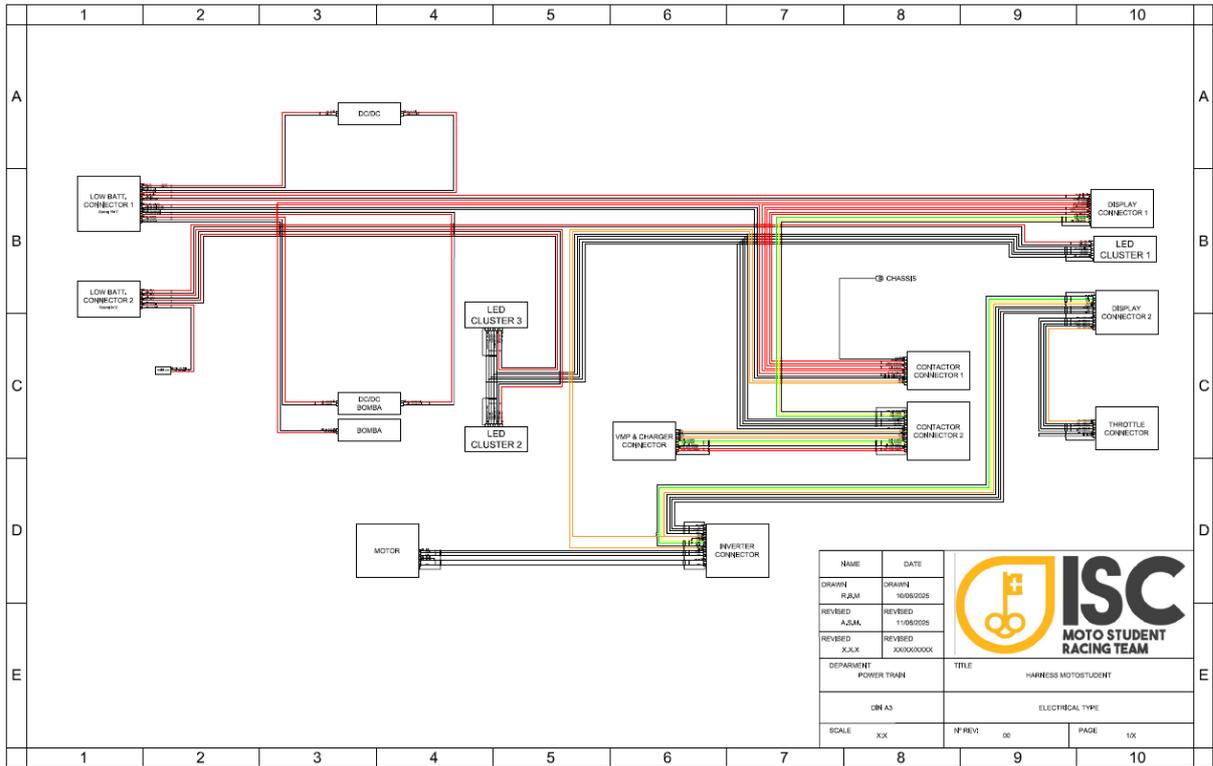


Figura 9: Cableado interno del harness

5. Conclusiones

Durante este proyecto se ha abordado el diseño del powertrain de una motocicleta eléctrica de competición. Con este objetivo, se han llevado a cabo los estudios, los cálculos y los diseños necesarios, prevaleciendo principalmente el cumplimiento de la normativa y la eficiencia y seguridad de las partes desarrolladas. Esto ha permitido una optimización del sistema de potencia de la motocicleta, mejorando la capacidad de la batería con una reducción de su peso total. Por último, se ha diseñado el primer harness del equipo, lo que, a su vez, supone una base de conocimiento en este campo, con la finalidad de que sirva de punto de partida para los sucesivos diseños de la motocicleta eléctrica desarrollada por el ISC Racing Team.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF THE ELECTRIC POWERTRAIN OF A RACING MOTORCYCLE

Author: Barberá Martínez, Rafael.

Supervisor: Vacas Omatos, Enrique.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In this Project, the electric powertrain of the ISC Racing Team's competition motorcycle - set to compete in the VII edition of MotoStudent- has been designed and developed. This includes the study of the battery cells to be used in the main battery pack, as well as all the electrical and electronic components of the motorcycle. Finally, the design of the motorcycle's harness has been carried out, enabling a more organized connection of all the system's elements.

Keywords: Cell, electrical scheme, harness, connectors, pinout.

1. Introduction

This project was born with the aim of continuing to contribute knowledge and support the development of the ISC Racing Team's motorcycle, which competes biennially in MotoStudent, the most renowned student competition in the field. The competition consists of two categories: Petrol and Electric. The motorcycle developed in this project will compete in the latter category.

In addition, this work arises from the current need to design the powertrain for the next edition of the competition. It is also intended to serve as a reference for future projects and to support the continued development of the motorcycle in upcoming editions.

2. Project Definition

This work can be divided into three parts, which correspond to the specific objectives defined at the beginning of the project.

First, the selection and analysis of the battery cell that will make up the vehicle's main battery pack or accumulator are carried out. In this initial phase, each cell is individually analyzed among the different models considered. Relevant calculations are performed to support the selection process. The results obtained, together with the experience gained in the previous edition, will guide the final decision in this section.

Second, the focus shifts to the motor and the selection of the inverter based on its characteristics. This section summarizes the main features of the motor provided by the competition and details the selection of the inverter according to the rest of the system's components, along with its technical specifications.

The third and most substantial part of this project involves the development of the wiring schemes that define the motorcycle's electrical system. This includes the design of the harness that will connect all the components, its routing throughout the motorcycle, and the pinout for each connector. Finally, the function of each component is explained.

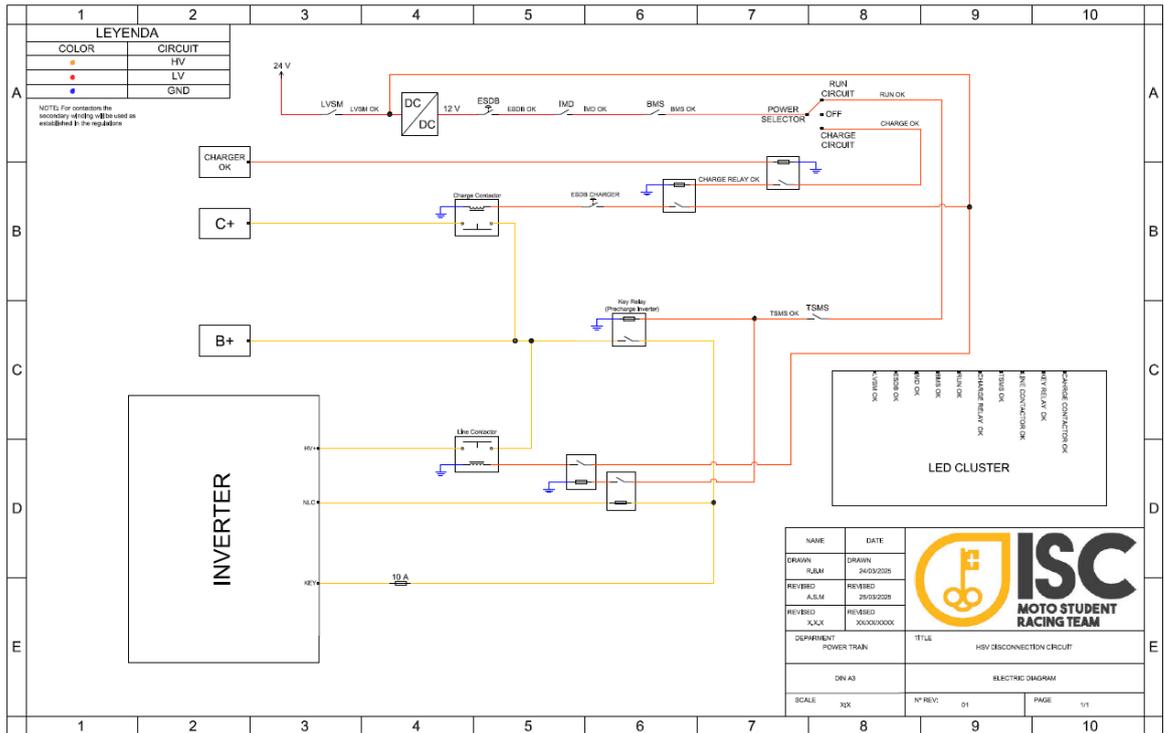


Figure 10: HVS Disconnection Circuit

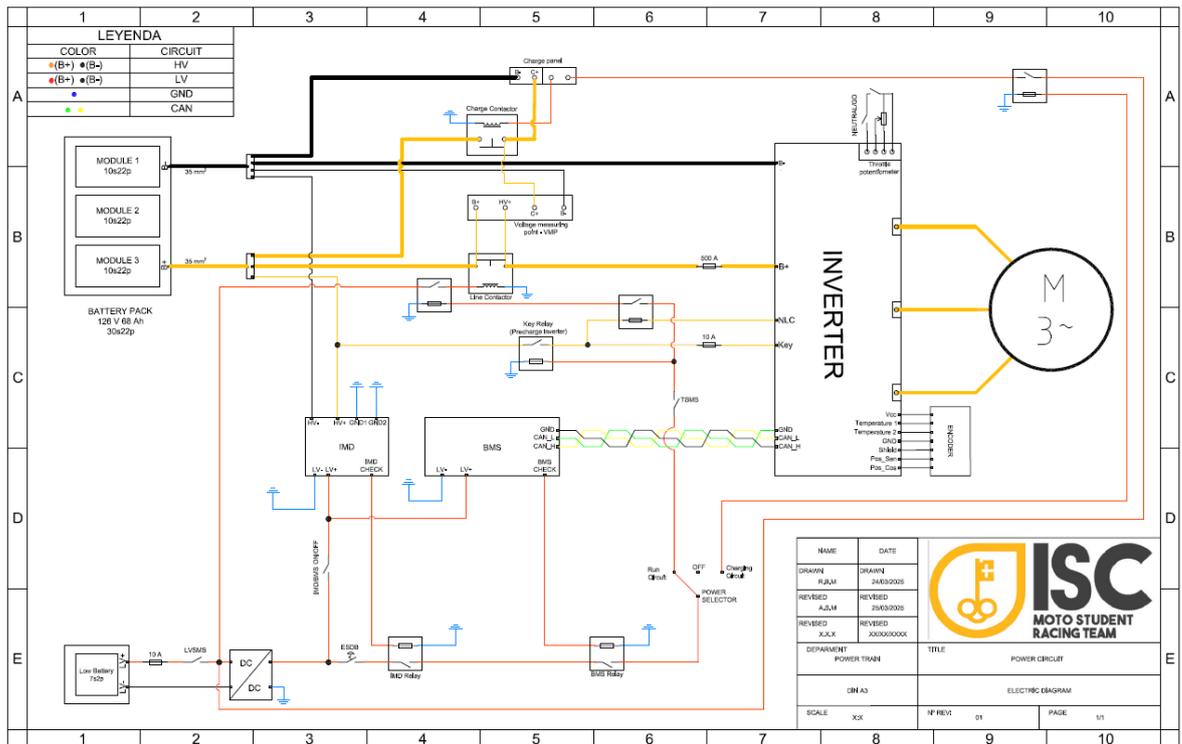


Figure 11: Power Circuit

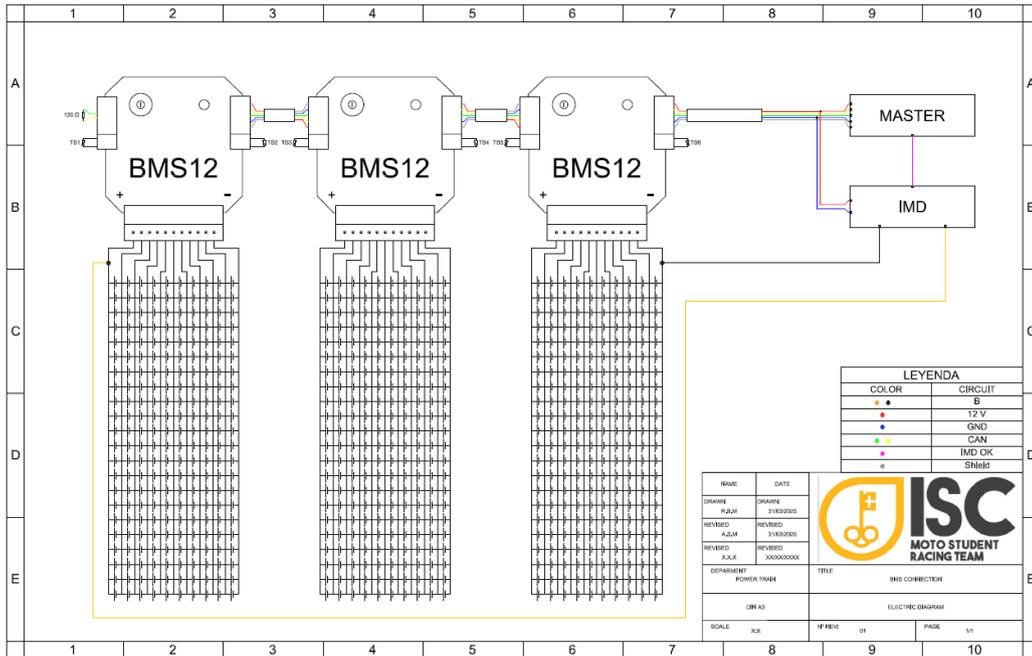


Figure 12: Cell Electric Scheme

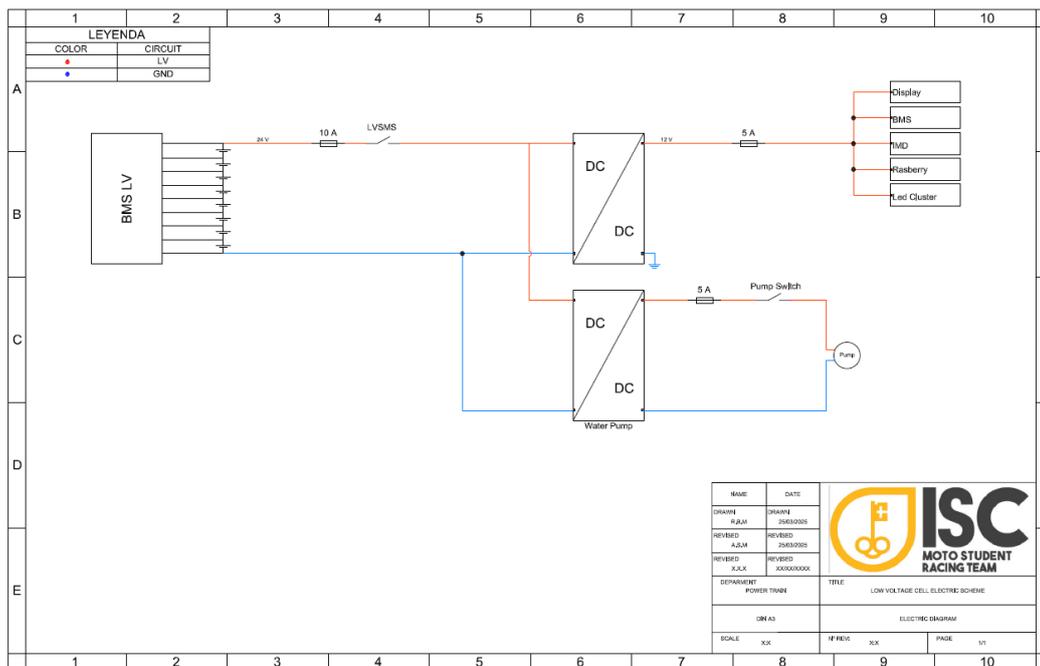


Figure 13: Low Voltage Cell Electric Scheme

At the end of the document, annexes are provided containing the budget required to carry out the project, as well as its alignment with the Sustainable Development Goals (ODS).

3. Model/System/Tool description

For the cell selection process, datasheets from various commercially available cell models were analyzed. It was necessary to determine the number of cells in series and parallel to later calculate key parameters such as maximum cell current, capacity, volume, weight and cost.

The relevant calculations and tables were created using Microsoft Excel. The results were then evaluated to ensure the best possible decision was made, always in compliance with the competition's regulations.

Secondly, the datasheet of the motor provided by the competition was studied and based on its characteristics - together with those of the previously selected cells – the inverter to be used in the motorcycle was chosen.

Finally, the different electrical schematics of the motorcycle and the harness were developed using AUTOCAD Electrical. The layout of the harness was designed according to the location of the remaining electrical components in the system, which are explained later in the design section.

4. Result Analysis

First, a study was conducted on the cells that would make up the motorcycle's main battery. Through the calculations developed throughout this section of the project, the following table was produced to summarize the results obtained.

Table 2: Cell selection summary

	Sony/Murata US21700VTC6	Sony/Murata US18650VTC6	Molicel INR21700-P45B
Nº celdas serie	30 celdas	30 celdas	30 celdas
Nº celdas paralelo	21 celdas	22 celdas	15 celdas
Nº Total celdas Batería	630 celdas	660 celdas	450 celdas
Nº Total celdas	840 celdas	880 celdas	600 celdas
Máxima intensidad de la celda	23,81 A	22,73 A	33,33 A
Capacidad	65520 mAh	68640 mAh	67500 mAh
Volumen	17,05 L	17,86 L	18,11 L
Peso	29,36 Kg	30,76 Kg	30,60 Kg
Precio Batería	2.299,50 €	2.409 €	3.172,50 €
Precio Total	3.066 €	3.212 €	4.230 €

Table 2 presents the main characteristics of each cell, both individually and as part of a complete pack. Based on the experience gained during the last edition, the accumulator's capacity was prioritized, while also considering the overall production cost. Regarding weight, all three cases represent a reduction compared to the previous edition.

Ultimately, after evaluating the results, it was concluded that the most optimal cell option is the Sony/Murata US18650VTC6, due to its capacity-to-cost ratio and a weight reduction of approximately 2 kg compared to the cell used in this last edition.

The selection of the inverter was determined by the rest of the system's electrical components. Specifically, the model chosen was the ZAPI ACE 96V, which meets the voltage range required by the battery and complies with the competition's regulations.

Finally, the harness was designed based on the location of each component within the system. It was decided that all connector in the harness would be male type for safety reasons. This ensures that components such as the low voltage battery remain protected

against indirect contact, thanks to the use of female connectors on their side, even when connected. Both routing and the pinout of each connector were also detailed.

Below is the routing and the physical layout of the harness:

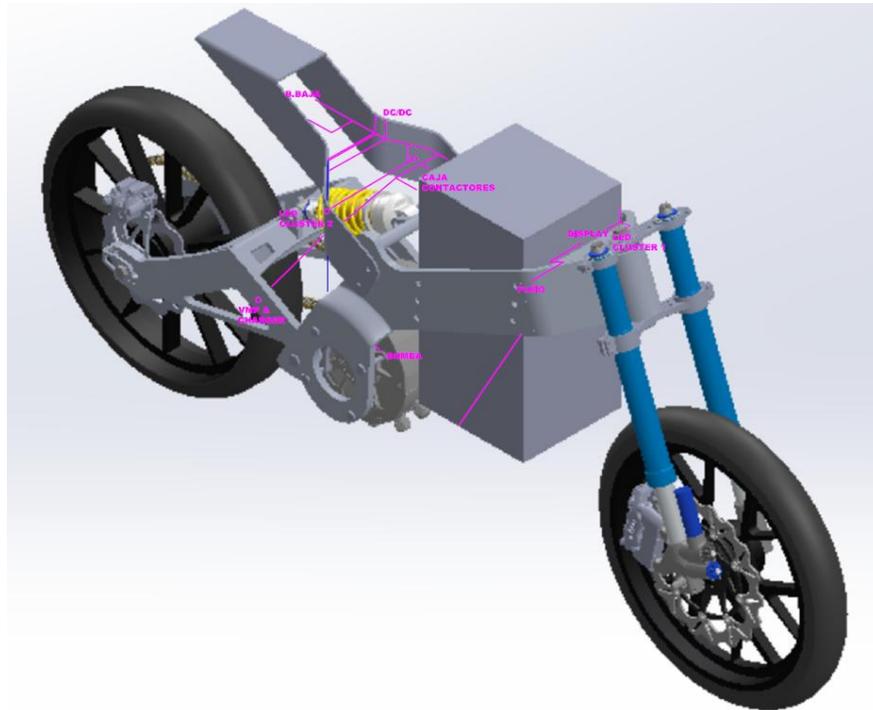


Figure 14: Isometric view of Harness routing

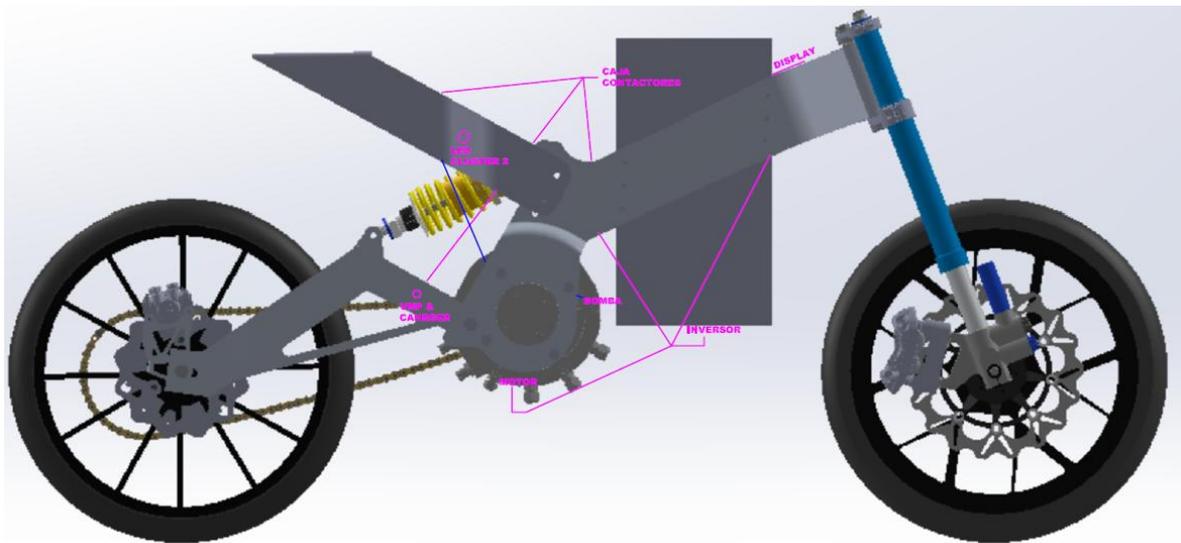


Figure 15: Lateral View of Harness routing

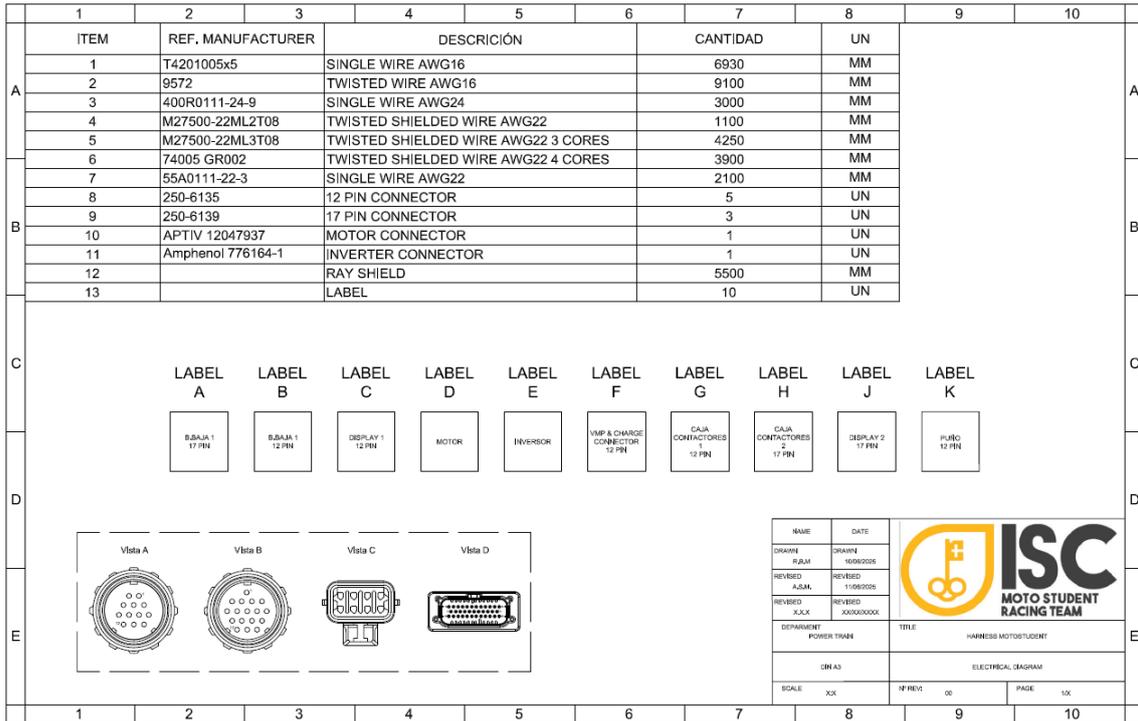


Figure 16: Harness diagram

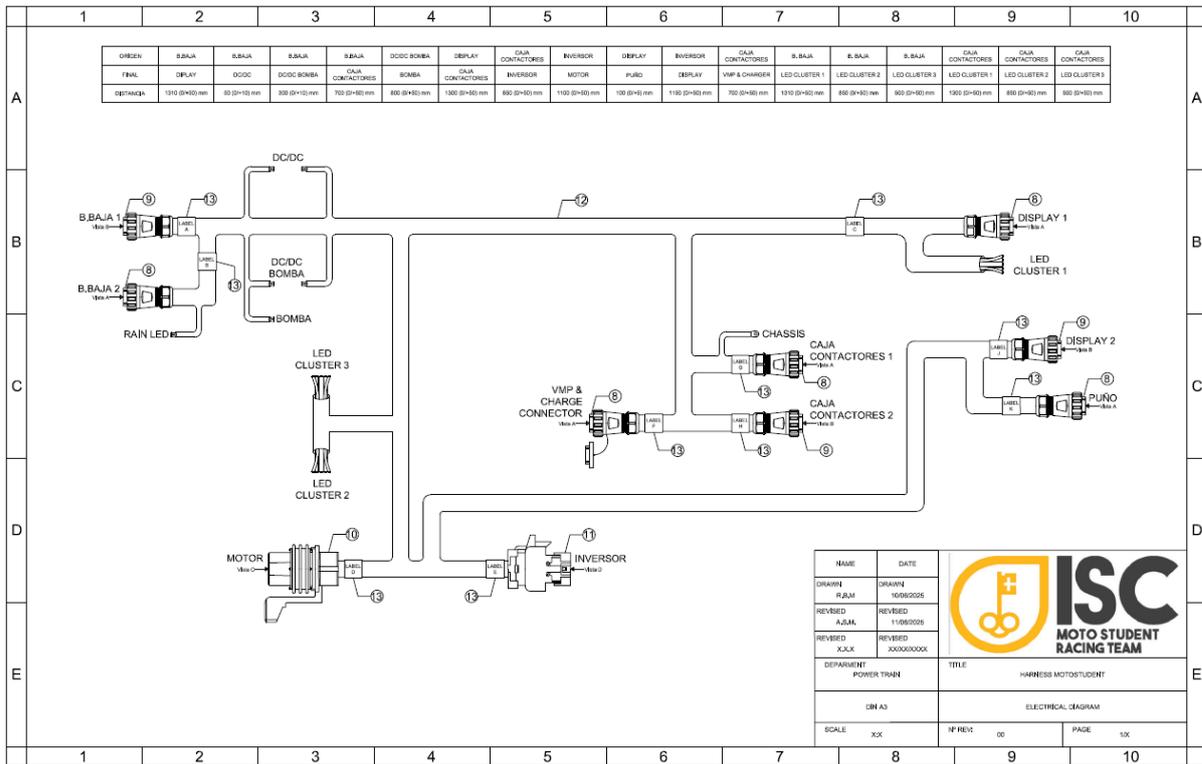


Figure 17: Physical layout of the harness

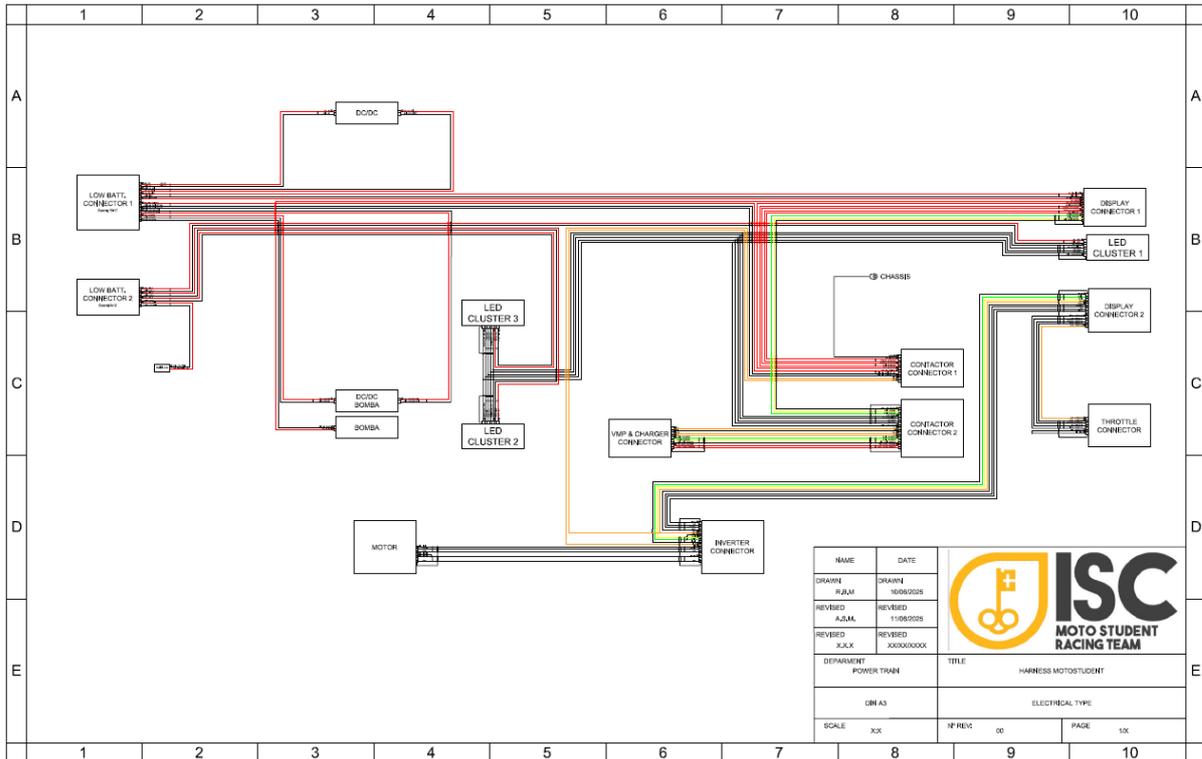


Figure 18: Internal wiring of the harness

5. Conclusion

Throughout this project, the design of the powertrain for a competitive electric motorcycle has been addressed. To achieve this goal, the necessary studies, calculations and designs were carried out, with a primary focus on compliance with regulations, as well as the efficiency and safety of the developed components. This has led to an optimized power system for motorcycles, improving battery capacity while reducing overall weight. Finally, the team's first harness was designed, laying a foundation of knowledge in this area and serving as a starting point for future electric motorcycle designs developed by the ISC Racing Team.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	8
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	11
2.1 Batería	11
2.2 Cargador	14
2.3 Motor Eléctrico.....	14
2.4 Inversor.....	16
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	17
3.1 Baterías.....	17
3.2 Cargador	19
3.3 Motor Eléctrico.....	19
3.4 Inversor.....	21
Capítulo 4. Definición del Trabajo	22
4.1 Justificación.....	22
4.2 Objetivos del Proyecto	22
4.2.1 Objetivo General	22
4.2.2 Objetivos Específicos.....	22
4.3 Metodología.....	22
4.4 Planificación y Estimación Económica.....	23
Capítulo 5. Modelo Desarrollado.....	25
5.1 Estudio de las Celdas.....	25
5.1.1 Datos de Partida.....	25
5.1.2 Comparación de Celdas	28
5.1.3 Elección Final de la Celda	35
5.1.4 Conexión de las Celdas	36
5.2 Motor y Elección del Inversor.....	37
5.2.1 Motor	37
5.2.2 Inversor	40
5.3 Diseño Eléctrico	43
5.3.1 Esquemas Eléctricos.....	43

5.3.2 Rutado de Cables.....	56
5.3.3 Componentes Eléctricos	63
5.3.4 Cables.....	88
5.3.5 Conectores y Pinado.....	94
Capítulo 6. Análisis de Resultados.....	107
Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	109
7.1 Trabajos Futuros.....	109
Capítulo 8. Bibliografía.....	110
ANEXO I: Presupuesto	119
ANEXO II: Alineación con los ODS	121

Índice de figuras

Figura 1: HVS Disconnection Circuit	4
Figura 2: Power Circuit	4
Figura 3: Cell Electric Scheme	5
Figura 4: Low Voltage Cell Electric Scheme	5
Figura 5: Vista isométrica del Rutado del harness	7
Figura 6: Vista lateral del Rutado del harness	7
Figura 7: Plano harness	8
Figura 8: Forma física del harness	8
Figura 9: Cableado interno del harness	9
Figure 10: HVS Disconnection Circuit	11
Figure 11: Power Circuit	11
Figure 12: Cell Electric Scheme	12
Figure 13: Low Voltage Cell Electric Scheme	12
Figure 14: Isometric view of Harness routing	14
Figure 15: Lateral View of Harness routing	14
Figure 16: Harness diagram	15
Figure 17: Physical layout of the harness	15
Figure 18: Internal wiring of the harness	16
Figura 19: Triciclo eléctrico de Gustave Trouvé [1]	8
Figura 20: EV-1 de General Motors [5]	9
Figura 21: Moto eléctrica ISC Racing Team [9]	10
Figura 22: Químicas de las baterías [13]	12
Figura 23: Tipos de celdas y su distribución en la batería [14]	13
Figura 24: Tipos de cargadores [15]	14
Figura 25: Esquema de los tipos de motores eléctricos [18]	15
Figura 26: Esquema de un inversor trifásico conectado a un motor [21]	16
Figura 27: Vista transparente de la batería instalada de la Ducati de MotoE [29]	18

Figura 28: Equipo de MotoE utilizando el cargado Enel X JucieRoll Race Edition [30]...	19
Figura 29: Motor Ducati V21L [32]	20
Figura 30: CIRCE-MS2223 [33]	20
Figura 31: Inversor Sevcon Gen 4 [35]	21
Figura 32: Cronograma del proyecto	24
Figura 34: Normativa sobre los límites de tensión [37]	25
Figura 35: Holder batería [40]	31
Figura 36: Holder diseñado en el ISC	32
Figura 37: Módulo de la batería del ISC MotoStudent	36
Figura 38: Artículo 2.2 de la sección D de la normativa MS [37]	37
Figura 39: Curvas características del motor ME1616 [41]	38
Figura 40: Dimensiones mecánicas del motor ME1616 [41]	39
Figura 41: Artículo 2.3 de la sección D de la normativa MS [37]	40
Figura 42: ZAPI ACE 4 [42]	40
Figura 43: Gráfica T° vs I _{max} aportada por el fabricante	41
Figura 44: Dimensiones mecánicas del ZAPI ACE4 [43]	42
Figura 45: HVS Disconnection Circuit	47
Figura 46: Power Circuit	50
Figura 47: Conexión típica de un módulo de BMS [45]	51
Figura 48: Cell Electric Scheme enviado a la competición	53
Figura 49: Cell Electric Scheme	54
Figura 50: Low Voltage Cell Electric Scheme	55
Figura 51: Vista isométrica del rutado del harness	57
Figura 52: Vista isométrica del rutado del harness	58
Figura 53: Vista lateral del rutado del harness	59
Figura 54: Plano harness	60
Figura 55: Plano harness	61
Figura 56: Plano harness	62
Figura 57: Tipo de protección que deben tener los componentes	63
Figura 58: Prueba de rain check	63

Figura 59: Ejemplo de una tarjeta PCB [46]	63
Figura 60: Resistencia 120 K Ω	64
Figura 61: Forma física VMP	65
Figura 62: Cableado interno VMP	66
Figura 63: Estructura de un BMS centralizado [47].....	68
Figura 64: Estructura de un BMS distribuido [47].....	68
Figura 65: Estructura de un BMS modular [47].....	69
Figura 66: Conexión del BMS a la batería [50].....	69
Figura 67: Conexión del BMS con menos de 12 celdas serie [51]	70
Figura 68: Puente de Wheatstone [53]	71
Figura 69: BENDER ISOMETER IR155 [54].....	72
Figura 70: Ciclos de vida en función de la tensión del contactor y la corriente circulante .	77
Figura 71: Curva característica de un fusible	78
Figura 72: Curva característica del fusible BK-AMXL-300 [57]	79
Figura 73: Portafusibles del circuito de baja tensión [61].....	81
Figura 74: ESDB	83
Figura 75: TSMS	83
Figura 76: Protección LVSMS [63]	84
Figura 77: LED Cluster	85
Figura 78: Acelerador Domino empleado [64].....	86
Figura 79: Conexión acelerador Domino [64].....	86
Figura 80: Front Display desarrollado por el equipo.....	87
Figura 81: Artículo D.1.2.7 de la normativa.....	88
Figura 82: Malla protectora de cable	93
Figura 83: Dispositivo IXXAT.....	99

Índice de tablas

Tabla 1: Resumen de la elección de las celdas	6
Table 2: Cell selection summary	13
Tabla 3: Celdas que serán estudiadas	25
Tabla 4: Datasheet de la celda Samsung INR21700-40T3 [38]	26
Tabla 5: Datasheet de las celdas estudiadas [39].....	28
Tabla 6: Datasheet de las celdas estudiadas [39].....	29
Tabla 7: Cálculos preliminares en la comparación de las celdas	30
Tabla 8: Comparación de las celdas	32
Tabla 9: Iteración extra de la celda Sony/Murata US18650VTC6.....	33
Tabla 10: Datos económicos de las celdas [38].....	34
Tabla 11: Tabla resumen de las celdas	35
Tabla 12: Valores nominales del ME1616 [41].....	37
Tabla 13: Valores máximos del ME1616 [41]	37
Tabla 14: Información adicional del ME1616 [41]	38
Tabla 15: Valores de corriente de los distintos modelos del inversor	41
Tabla 16: Valores de tensión de los distintos modelos del inversor.....	41
Tabla 17: Datasheet del ZEVA BMSv3 [51].....	70
Tabla 18: Datasheet RTE25012 [55].....	74
Tabla 19: Características GIGAVAC GV200CAB-1 [56].....	76
Tabla 20: Datasheet BK-AMXL-300 [57].....	79
Tabla 21: Datasheet Fusible 10 A [58].....	80
Tabla 22: Datasheet Portafusibles en línea [59]	80
Tabla 23: Datasheet Fusible 5 A [60].....	80
Tabla 24: Datasheet COM-18732 [62]	82
Tabla 25: Datasheet OLFLEX FD 90 CY [65]	89
Tabla 26: Datasheet 55A0111-22-3 [66].....	89
Tabla 27: Datasheet T4201005x5 [67]	90
Tabla 28: Datasheet 9572 [68]	90

Tabla 29: Datasheet 400R0111-24-9 [69]	91
Tabla 30: Datasheet M27500-22ML2T08 [70]	91
Tabla 31: Datasheet M27500-22ML3T08 [71]	92
Tabla 32: Datasheet Cat5A 74005 GR002 [72]	92
Tabla 33: Datasheet conectores 171983-1, 171983-2 y 171983-3 [73]	94
Tabla 34: Pineado conector 171983-1	95
Tabla 35: Pineado conector 171983-2	95
Tabla 36: Pineado Conector 171983-3	95
Tabla 37: Datasheet APTIV 12047937 [74].....	96
Tabla 38: Pineado conector APTIV 12047937	96
Tabla 39: Datasheet Amphenol 776164-1 [75]	97
Tabla 40: Pineado Amphenol 776164-1 para el inversor ZAPI ACE4 [43]	97
Tabla 41: Datasheet SLPHPC95BSB2 [76]	98
Tabla 42: Datasheet SLPHIRCTPSB2 [77]	98
Tabla 43: Conector DB9 [78].....	99
Tabla 44: Pineado conector DB9.....	99
Tabla 45: Datasheet 250-6139 [79]	100
Tabla 46: Datasheet 250-6233 [80]	100
Tabla 47: Datasheet 250-6135 [81]	101
Tabla 48: Datasheet 250-6231 [82]	101
Tabla 49: Datasheet 250-6199 [83]	101
Tabla 50: Pineado conector 17 pines B.Baja.....	102
Tabla 51: Pineado conector 12 pines B.Baja.....	103
Tabla 52: Pineado conector 17 pines Caja Contactores	103
Tabla 53: Pineado conector 12 pines Caja Contactores	104
Tabla 54: Conector 12 pines VMP y Charge.....	104
Tabla 55: Conector complementario VMP.....	105
Tabla 56: Conector complementario Charge.....	105
Tabla 57: Pineado conector 12 pines Display	105
Tabla 58: Pineado conector 17 pines Display	106

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En 1820, el inventor e ingeniero húngaro, Ányos Jedlik creó un pequeño modelo de automóvil impulsado por un motor eléctrico. Paralelamente, un herrero llamado Thomas Davenport desarrolló un artefacto similar capaz de rodar en una pista circular electrificada. Sin embargo, no fue hasta 1839, cuando el empresario y químico Robert Anderson ideó lo que no era más que un carruaje alimentado por celdas eléctricas. A pesar de ello, este vehículo presentaba el problema de no tener celdas recargables.

Fue en 1859 cuando se inventaron las primeras baterías recargables, con tecnología Plomo – Acido, por Gastón Planté. Estas pilas fueron perfeccionadas en 1880, lo que permitió al inventor francés Gustave Trouvé diseñar un triciclo eléctrico. En 1888, apareció en Alemania lo que se considera como el primer coche eléctrico, el Flocken Eletrowagen, creado por el inventor Andreas Flocken.



Figura 19: Triciclo eléctrico de Gustave Trouvé [1]

El coche eléctrico siguió evolucionando hasta alcanzar su época dorada en la primera década del siglo XX. Asimismo, por estas fechas, apareció la primera motocicleta 100% eléctrica. A pesar de ello, con la solución a la activación del motor que presentaban los coches de combustión, la producción en cadena desarrollada por Henry Ford en 1908 y el descubrimiento de reservas de petróleo en Estados Unidos con la consecuente bajada del precio de la gasolina, provocaron la caída del coche eléctrico y el auge y asentamiento del coche de combustión hasta día de hoy. [2] [3] [4]

Durante un tiempo el coche eléctrico quedó prácticamente obsoleto, a excepción de algunos casos contados. Empresas como Renault, BMW, Nissan u Opel desarrollaron modestos prototipos de algunos vehículos eléctricos, pero sin considerarlos su principal opción en el

terreno de la movilidad. Incluso en España, una empresa llamada Vehículos Eléctricos Autarquía S.A. nacida a principios de los 40, apostó sin gran éxito por este tipo de movilidad, acabando con su disolución a mitad de la década de los 50.

En la década de los 70, el coche eléctrico fue de nuevo tenido en cuenta debido a una crisis del petróleo, destaca CitiCar de Sebring-Vanguard, aunque no fue hasta la década de los 90 que el coche eléctrico empezó a recuperar cierto protagonismo. Además, en esta última década, el inventor Roberto Eugenio Gentile presentaba un vehículo bicicleta impulsado eléctricamente.

El coche eléctrico como lo conocemos hoy en día tiene su origen en el modelo EV-1, presentado por General Motors en 1996. Posteriormente, Tesla desarrolló su primero modelo, el Tesla Roadster, que sería seguido por el lanzamiento del Tesla Model S y los Superchargers y con ello un nuevo resurgimiento del coche eléctrico.



Figura 20: EV-1 de General Motors [5]

Actualmente el principal inconveniente del vehículo eléctrico radica en su autonomía, siendo todavía inferior al vehículo de combustión. Sin embargo, debido a la creciente preocupación climática, el sector del automóvil ha empezado a apostar por este tipo de movilidad, buscando permanentemente mejoras y nuevas tecnologías para obtener vehículos más eficientes y sostenibles.

En el ámbito de la competición, los sistemas eléctricos se han ido abriendo camino. Desde competiciones híbridas como Fórmula 1 o el Mundial de resistencia, hasta competiciones 100% eléctricas, entre las que destacan la Formula E y la Moto E. [6]

MotoStudent es una competición entre distintas universidades a nivel mundial. El objetivo de esta competición es que los estudiantes se enfrenten al reto que supone el diseño y desarrollo de una motocicleta de competición similar a las que se encuentran en Moto3. Esta competición se divide en dos categorías. MotoStudent Petrol, en la que compiten

motocicletas propulsadas por un motor de combustión y MotoStudent Electric, en las que compiten motocicletas 100% eléctricas. [7]

La competición MotoStudent, a su vez consta de dos partes. En primer lugar, encontramos la fase MS1, en la que se evaluará el proyecto industrial desde el punto de vista de empresarial real. En segundo lugar, encontramos la fase MS2, más enfocada en la parte técnica y en la que las motocicletas son sometidas a distintas pruebas que evaluarán su funcionalidad y seguridad. Por último, la competición acaba con una carrera a 5 vueltas en el circuito MotorLand Aragón. [8]

Este proyecto consistirá en el diseño y desarrollo del powertrain eléctrico de una motocicleta de competición. En concreto, se diseñará con el propósito de emplearse en la próxima motocicleta del ICAI Speed Club que participará en el MotoStudent categoría Electric en octubre de 2025.



Figura 21: Moto eléctrica ISC Racing Team [9]

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este apartado se detallarán aquellas tecnologías que se utilicen a lo largo del proyecto, facilitando así su comprensión y entendimiento.

Un vehículo eléctrico está compuesto por los siguientes elementos principales:

2.1 BATERÍA

Almacena la energía eléctrica obtenida a través de la toma de corriente para, posteriormente emplearla para mover el vehículo. El elemento principal de las baterías son las celdas, compuestas de distintas tecnologías electroquímicas. Las celdas pueden estar tanto en serie, estableciendo el voltaje (V), como en paralelo, constituyendo la capacidad (Ah).

Una celda está compuesta por las siguientes partes:

- **Ánodo:** Electrodo donde se produce la oxidación durante la descarga de la batería.
- **Cátodo:** Electrodo donde ocurre la reducción durante la descarga de la batería.
- **Electrolito:** Medio por el que fluyen los iones entre el ánodo y el cátodo durante la carga y descarga de la celda. Este medio puede ser líquido, gel o sólido, en función de la tecnología de la celda.
- **Separador:** Barrera permeable que impide la conexión entre el ánodo y el cátodo, evitando la formación de cortocircuitos.
- **Conductores:** Conexión entre el ánodo y el cátodo a través de un circuito externo que permite el flujo de electrones y, en consecuencia, la generación de una corriente eléctrica.
- **Caja o envoltura:** Protección de los componentes internos de las celdas. [10]

Otros conceptos básicos en el tema de las baterías son:

- **Voltaje nominal:** Voltaje bajo el que opera la celda en condiciones normales de funcionamiento.
- **Densidad energética:** Determina la cantidad de energía almacenable en una cantidad de masa, denominada densidad energética gravimétrica o energía específica, y medida en KWh/kg, o en una cantidad de volumen, llamada densidad energética volumétrica y medida en KWh/L. Una alta densidad gravimétrica implicará una mayor posibilidad de almacenamiento energético en una menor cantidad de masa. Respecto a la densidad energética volumétrica tendrá el mismo significado, pero con relación al volumen.
- **Densidad de potencia:** Determina la cantidad de energía que puede aportar una batería. Puede estar también con respecto a la masa de la batería, medida en KW/kg, o con respecto al volumen de esta, medida en KW/L. [11]

- Capacidad: Cantidad de corriente proporcionada por una batería a lo largo del tiempo y medida en Ah. De este concepto nace el término C, empleado cuando se trata el tema de la velocidad de descarga de una batería. Por ejemplo, en el supuesto caso de que descargásemos una batería a 1C, implicaría que tardaría 1 hora en descargarse por completo. Sin embargo, si esa misma batería se descargase a 5C, tardaría 12 minutos en descargarse del todo. [12]
- Ciclos de vida: Número de cargas y descargas a los que se somete la batería antes de que su capacidad se reduzca hasta un cierto límite previamente definido.

Todos estos factores mencionados vendrán afectados del tipo de química que tenga las celdas. Existe una amplia variedad de tecnologías químicas que presentan distintas ventajas y desventajas tanto económicamente como en lo referido a su rendimiento. A continuación, se muestra un gráfico en el que se presentan las distintas químicas en función de su densidad energética.

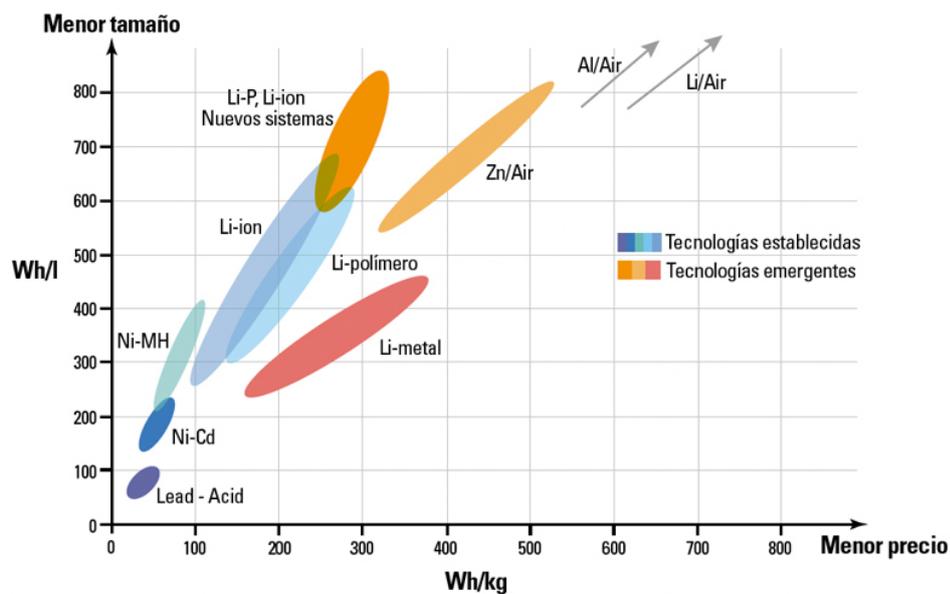


Figura 22: Químicas de las baterías [13]

Como se observa en el gráfico, el tipo de química que presenta una mayor energía específica, así como una mayor densidad energética volumétrica es la de iones de Litio (Li-ion), siendo por ello el tipo de química más empleado en la actualidad. No obstante, día a día se siguen investigando nuevas variantes de almacenamiento, siendo destacadas aquellas que involucra el elemento Potasio y que pueden suponer una alternativa más eficiente y económica en este campo.

Por último, dentro del ámbito de las baterías existen gran variedad de tipos de celdas. Cada una de ellas presentan una serie de ventajas y desventajas que han de ser analizadas previamente a su elección. Las más empleadas en los vehículos eléctricos son las celdas cilíndricas, las celdas de bolsa o tipo “Pouch” y las celdas prismáticas.

- Celdas cilíndricas: Este tipo de celda viene caracterizada por su compacto diseño y por su manejo de las presiones internas. Esto permite su producción en masa y a un bajo coste.
- Celdas prismáticas: Destacan por su capacidad de empaquetamiento debido a su configuración por capas. A pesar de ser más difíciles y costosas de fabricar, tienen una mayor capacidad para soportar la sobrecarga y la descarga excesiva. Igualmente, presentan una mayor densidad energética con respecto a las celdas cilíndricas.
- Celdas tipo Pouch: Aportan ventajas en su diseño y fabricación gracias a su geometría y flexibilidad. Otra de sus grandes ventajas es su ligereza. Pese a esto, este tipo de celdas deben ir acompañadas de un buen sistema de refrigeración previniendo problemas ocasionados por la generación de gases y el aumento de temperatura.

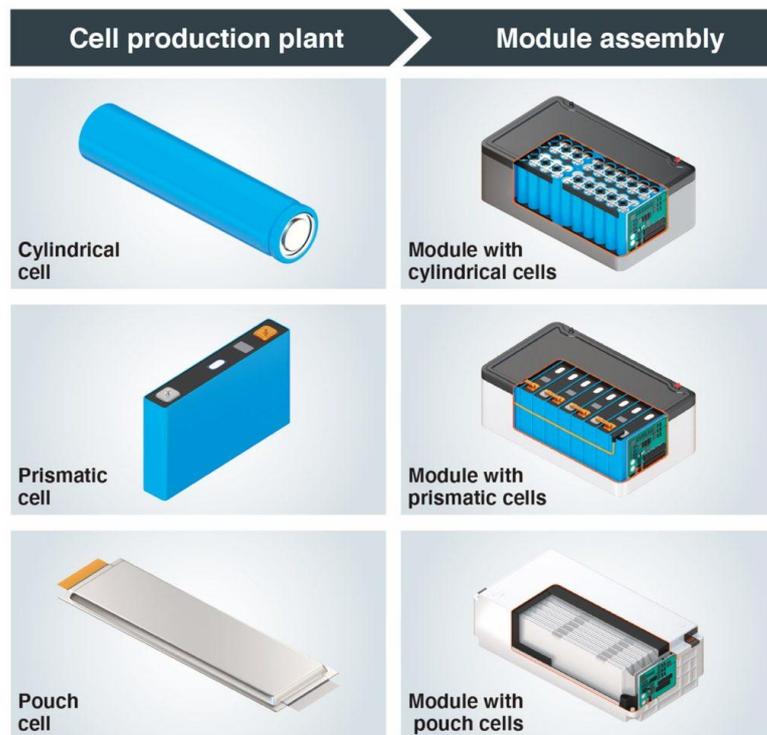


Figura 23: Tipos de celdas y su distribución en la batería [14]

2.2 CARGADOR

El cargador es un mecanismo que permite la recarga de la batería de un vehículo eléctrico mediante la conexión a la red eléctrica. Los lugares a los que se encuentra conectado el cargador se denominan puntos de recarga.

La energía se puede suministrar tanto en corriente continua (DC) como en corriente alterna (AC), por lo que los cargadores pueden ser de estos dos tipos de corriente. La batería, sin embargo, debe cargarse exclusivamente en corriente continua. Los cargadores DC son más simples, teniendo como desventaja un mayor tiempo de recarga, al ser necesaria la conversión de energía dentro del coche. Por el contrario, los cargadores AC presentan una mayor potencia y rapidez de carga, pero a un mayor coste. Estos últimos, realizan la conversión de energía directamente y proporcionan mejores estimaciones del tiempo restante de carga y del estado de la batería.

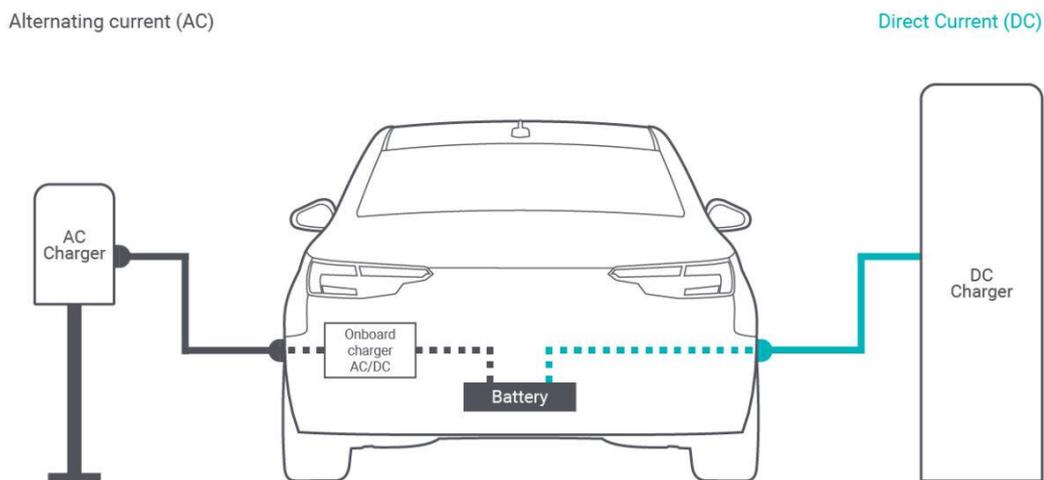


Figura 24: Tipos de cargadores [15]

2.3 MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico es el conjunto de piezas encargadas de transformar la energía eléctrica en energía mecánica. A diferencia de los motores de combustión, este tipo de motores no tienen pistones ni gases de escape. Su funcionamiento se basa en la generación de un campo magnético en la parte fija del motor (estator) que, al rotar, arrastre el campo magnético de la parte móvil del motor (rotor) y en consecuencia el giro del inducido. [16]

Los motores se dividen en motores de corriente continua (DC) y motores de corriente alterna (AC), teniendo como principal diferencia su alimentación. Por lo que se refiere a los motores de corriente alterna se subdividen en motores síncronos y motores asíncronos.

Los motores asíncronos, o comúnmente conocidos como motores de inducción, son alimentados por el estator, induciendo una corriente sobre el rotor. Este tipo de motores presentan un deslizamiento, es decir, una pequeña diferencia entre la velocidad de rotación campo magnético del estator y la velocidad de rotación del rotor.

Los motores síncronos, a diferencia de los de inducción, no tienen deslizamiento. Esto implica que la velocidad angular del rotor y del campo magnético son la misma, es decir, son síncronas. Nuevamente, estos motores se vuelven a dividir en motores de motores síncronos de reluctancia variable y motores síncronos de imanes permanentes.

Los motores síncronos de reluctancia variable son robustos y económicos, presentando gran potencia y par a altas revoluciones. No obstante, son poco eficientes y presentan oscilaciones a bajas revoluciones. A diferencia de este, el motor síncrono de imanes permanentes es ligero, silencioso y altamente eficiente con revoluciones bajas. [17]

En función de la posición del rotor, los motores se clasifican en Inrunner (rotor dentro del estator) o Outrunner (rotor fuera del estator). Finalmente, también se pueden catalogar según el sentido del flujo magnético en radiales y axiales. Seguidamente, se muestra un esquema que simplifica todo lo explicado anteriormente.

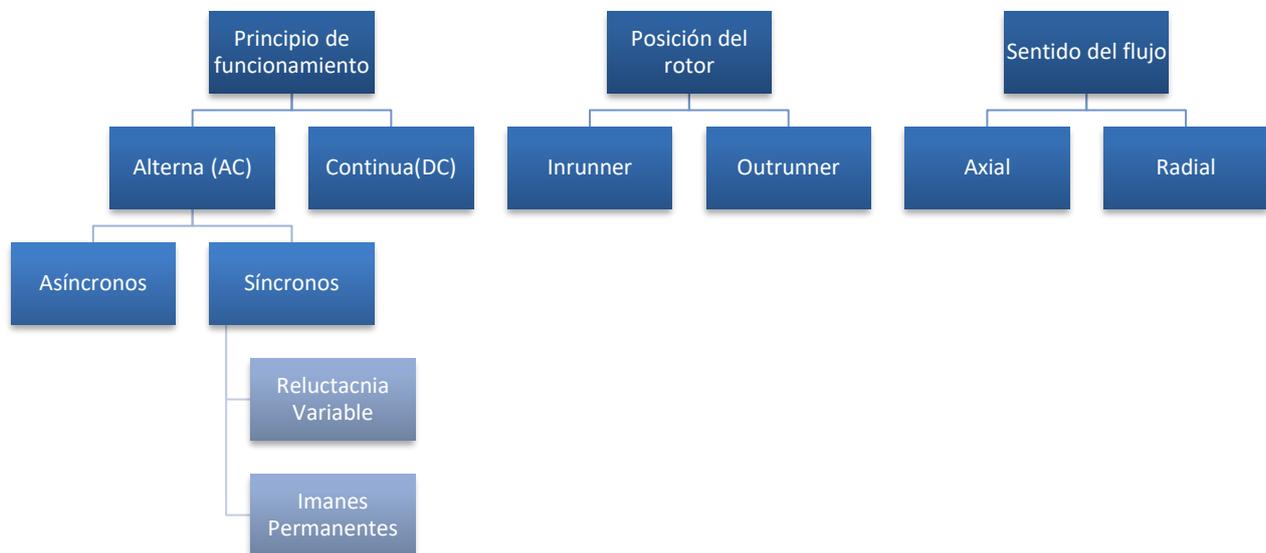


Figura 25: Esquema de los tipos de motores eléctricos [18]

Entre las características fundamentales de un motor eléctrico encontramos el par, la potencia, la corriente y la velocidad angular, tanto nominal como de pico. También destacan la tensión nominal la temperatura de trabajo y el caudal necesario de refrigeración del motor para su correcto funcionamiento. [19]

2.4 INVERSOR

El inversor es el dispositivo encargado de la transferencia de energía, en función de su necesidad, a las distintas partes del vehículo. Para ello, modula el voltaje y varía el tipo de corriente entre alterna y continua. Además, este equipo es capaz de modificar el par, ajustando la amplitud de corriente, o la potencia del motor, adecuando la tensión. [20]

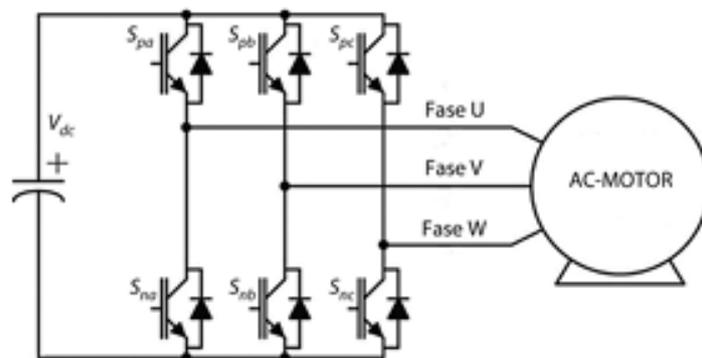


Figura 26: Esquema de un inversor trifásico conectado a un motor [21]

Los parámetros principales del inversor son el rango de tensiones de alimentación, las intensidades máxima y nominal de fase, las temperaturas de trabajo y la refrigeración, pudiendo ser esta por aire o por agua.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En los últimos años, el estudio de los componentes eléctricos ha cogido gran importancia en la movilidad del ámbito urbano y de competición. Esto ha provocado el nacimiento de gran variedad de tecnologías en los distintos elementos que se comentaron a lo largo del capítulo 2, y que serán comentados a lo largo de este.

3.1 BATERÍAS

Como ya se ha comentado, existen gran variedad de tipos de celda, siendo el ion-Litio la química más empelada. Según un estudio realizado por ADDIONICS, en 2020 la cuota de mercado se repartía en $\approx 40\%$ de celdas prismáticas, $\approx 35\%$ las celdas tipo “Pouch” y un 10% las cilíndricas. El 15% restante corresponden a otras tecnologías emergentes como las celdas de estado sólido y las celdas de litio-titanato, o de químicas distintas como las antiguas basadas en plomo-ácido.

En el campo del vehículo eléctrico, en cambio, las más dominantes son las celdas prismáticas junto con las cilíndricas, dejando en un segundo plano a las celdas tipo “Pouch”. Aun así, los fabricantes de coches seleccionan el tipo de batería según lo que consideren óptimo para sus vehículos. [22]

La celda cilíndrica presenta varios formatos, destacando las 18650, las 21700 y las 4680. Las celdas 18650, con 18 mm de diámetro y 65 mm de altura, en un principio eran empleadas en dispositivos electrónicos. Gracias a Tesla, empresa referente en el vehículo eléctrico, estas celdas fueron aplicadas en sus coches Tesla Roadster, X y S. En cuanto a motocicletas, Cleveland Cyclewerks presentó en 2020 su Falcon 01 y su Falcon BLX que incorporaban estas celdas. [23]

Las celdas 21700, con 21 mm de diámetro y 70 mm de altura, ganaron gran popularidad en la industria del vehículo eléctrico. En su momento Elon Musk las consideró como las más baratas y con mayor energética del mundo, empleándolas en sus Tesla model 3 e Y. En 2024, en el CES de las Vegas, se presentaron el Segway Xafari, considerado ciclomotor en Europa, y el Segway Xyber, con singularidades propias de una motocicleta todoterreno. [24]

Por último, encontramos las celdas cilíndricas 4680, con 46 mm de diámetro y 80 mm de altura. Tesla aplicó estas celdas en su camión Semi y en la pick-up Cybertruck. Estas celdas reducían los costes un 14% y aumentaban la autonomía un 16% con respecto a sus predecesoras. Además, estas celdas emplean el diseño de “electrodo sin lengüeta”, prestando, gracias a ello, de las pestañas del ánodo y cátodo para la conexión a los terminales de la carcasa.

Además de Tesla, otras empresas como Ray Electric Motors y Rimac Alta Motors apuestan por este tipo de celda, gracias a fácil fabricación en masa y refrigeración, que son debidas a su relación favorable de superficie-volumen. BMW, a pesar de haber basado sus vehículos

en las celdas prismáticas, ha comenzado la transición desde este mismo año a las celdas cilíndricas. [25]

Las celdas prismáticas son ampliamente utilizadas en el mercado gracias a su eficiencia espacial, que acaba suponiendo una reducción de peso en la batería. Recientemente, la empresa israelí Storedot ha conseguido desarrollar unas celdas prismáticas capaces de cargarse en 10 minutos, sin impacto en su vida útil. Sus principales desventajas son su fabricación y sus costes, dificultando su producción a gran escala. A pesar de ello, empresas como Volkswagen, Hyundai o General motor apuestan por ellas. [26]

Las celdas tipo “Pouch” fueron bastante comunes conformando los acumuladores de distintas marcas. Hoy en día, este tipo de celdas ha pasado a un segundo plano debido a que no ha conseguido ser lo suficientemente fiable y con un complicado montaje. Además de esto, se le suma el gran avance del resto de celdas, en concreto, las celdas cilíndricas. General Motors fue una de las empresas que confió en esta tecnología, sin embargo, en 2023 anunciaron su transición a las celdas cilíndricas. [27]

En competición destacan principalmente las celdas cilíndricas. En la Ducati de MotoE encontramos una batería formada por 1152 celdas cilíndricas 21700 consiguiendo una capacidad de 18 KWh y una potencia de carga de 20 KW. En cuanto a MotoStudent, se encuentran baterías que emplean celdas cilíndricas 18650 o 21700, siendo pocos equipos los que se desmarcan de este tipo de tecnología. [28]

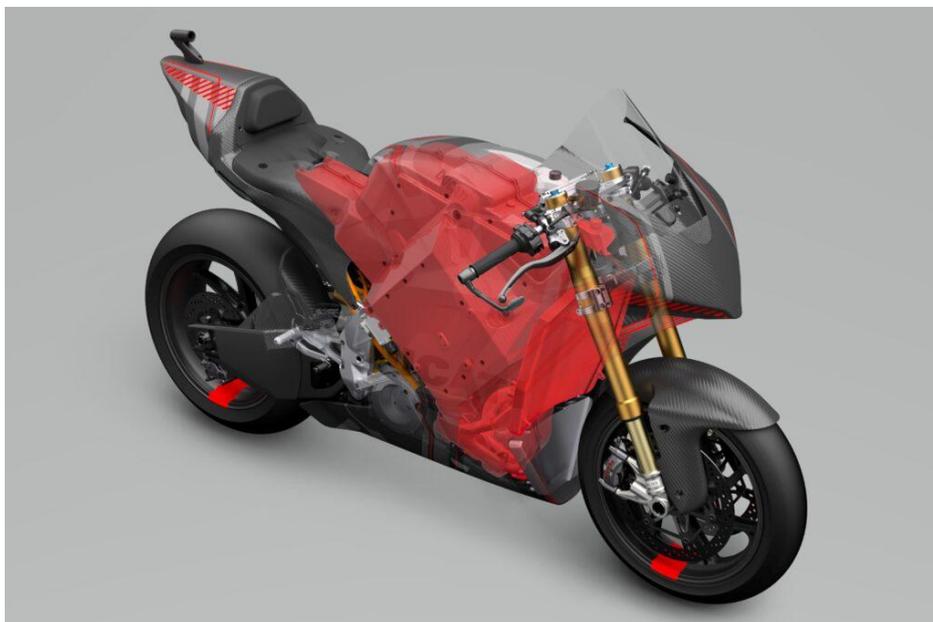


Figura 27: Vista transparente de la batería instalada de la Ducati de MotoE [29]

Dentro de este campo, existen gran variedad de estudios y proyectos que han aportado conocimiento en el diseño de la batería de vehículos de competición. Destaco principalmente el TFG “Diseño y fabricación de un acumulador para motocicletas eléctricas de competición” de Enrique Vacas Omatos, que estudió y diseñó el acumulador para el MotoStudent 21-23 del equipo ISC Racing Team.

3.2 CARGADOR

Existen gran variedad de cargadores en el vehículo eléctrico convencional, con distintos estándares en función del país en el que nos encontremos. Recientemente, han surgido carreteras capaces de cargar coches al mismo tiempo que estos circulan por ellas.

En competición, existen cargadores diseñados específicamente para la carga del vehículo en cuestión. En Formula E utilizan el Enel X JuicePump 80 FE. Este cargador cuenta con una capacidad de 80 KW, permitiendo una carga del coche en 75 minutos aproximadamente. En MotoE, desde 2021, se utiliza el Enel X JuiceRoll Race Edition, con una unidad semimóvil y otra móvil que permite cargar una moto en 40 minutos.



Figura 28: Equipo de MotoE utilizando el cargado Enel X JucieRoll Race Edition [30]

3.3 MOTOR ELÉCTRICO

En la industria del vehículo urbano se utilizan motores de corriente alterna, tanto síncronos como de inducción. Es común encontrar estos últimos en vehículos 100% por su menor coste. En vehículo híbridos generalmente encontramos motores síncronos de imanes permanentes por su eficiencia en bajas revoluciones, aunque existen algunas excepciones como Tesla Model 3, que utiliza este tipo de motor siendo 100% eléctrico.

En materia de competición el reglamento de Formula E permite que los equipos puedan producir sus propios motores. Aun así, los equipos emplean un motor síncrono de imanes permanentes que trabaja alrededor de las 17000 rpm. La actual Gen 3 de estos motores tiene una potencia de 350 KW, muy superior a los 200 KW iniciales de la Gen 1. [31]

En MotoE todos los equipos tiene el mismo motor. Inicialmente, aportados por Energética Ego Corsa y hoy por Ducati. El motor Ducati V21L, tiene una potencia de 150 CV y un par de 140 Nm. Su principal ventaja no viene de sus prestaciones sino de una gran reducción de peso respecto a su antecesor.

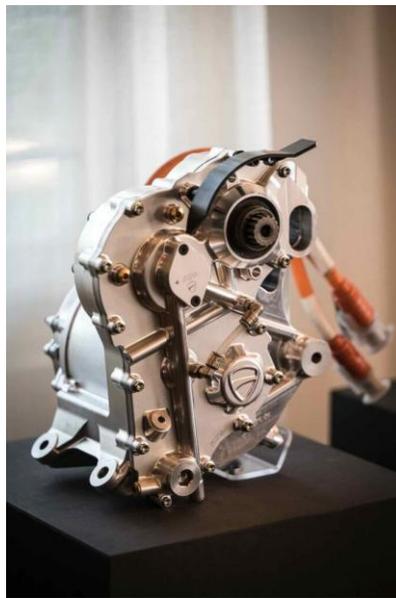


Figura 29: Motor Ducati V21L [32]

El motor empleado en MotoStudent es aportado por la competición. El CIRCE-MS2223 fue el motor utilizado en la última edición de MotoStudent. Este motor síncrono de imanes permanentes aporta una potencia y par máximos de 48 KW y 120 Nm, respectivamente.



Figura 30: CIRCE-MS2223 [33]

3.4 INVERSOR

Existen gran variedad de inversores en función de las necesidades cada vehículo. El inversor empleado en la Ducati V21L tiene una eficiencia del 99% y un peso de 5kg, algo mejor que los diseñados por Energetica Ego Corsa. [34]

Entre los trabajos destacados en este campo encontramos el “Desarrollo de una metodología para identificar parámetros de control para la motocicleta del ISC” de Alejandro Castelló Díez. En él, ajusto el inversor para las demandas de la motocicleta diseñada por el ISC Racing Team en la edición 21-23 del MotoStudent.



Figura 31: Inversor Sevcon Gen 4 [35]

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

La justificación de este trabajo surge de la necesidad del diseño del powertrain de la motocicleta eléctrica desarrollada por el ISC Racing Team, que competirá en el MotorLand Aragón en octubre de 2025 contra universidades provenientes de todas las partes del mundo. A su vez, actualmente el equipo no tiene documentos en los que se desarrolle todo el conexionado del powertrain de manera esquemática. Ligado a esto, el proyecto está también motivado por servir de referencia para futuras ediciones, de tal manera que se eviten errores y sirva de base para la continua mejora del sistema eléctrico de la moto.

4.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este proyecto es diseñar el powertrain de una motocicleta de competición de la manera más eficiente, sostenible y económica posible. Para ello se realizará un estudio de los componentes que conforman este sistema, para su diseño y elección.

4.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elección de las celdas de la batería. Se estudiarán sus propiedades tanto técnica como económicamente, buscando la tecnología que mejor se adapte a la moto.
2. Estudio del motor y elección del inversor, buscando el que mejor se adapte a las demandas de la moto y en base a la normativa de la competición.
3. Diseño de esquemas y rutado del cableado de la motocicleta, cumpliendo con las condiciones establecidas en la normativa de la competición.

4.3 METODOLOGÍA

Los métodos que se emplearán a lo largo del proyecto con el propósito de completar los objetivos establecidos anteriormente son los siguientes:

1. En primer lugar, se estudiarán las distintas posibilidades de celda estudiando sus fichas técnicas. Se elegirán y se adaptarán a las necesidades de la moto, siendo estas expuestas a lo largo del trabajo. Para ello, se empleará Excel, con el objetivo de mostrar en tablas los resultados obtenidos.
2. Se hará un estudio del motor proporcionado por la competición, con el objetivo de elegir el inversor que mejor se adecue a las características de este.
3. Se realizarán los esquemas de conexionado y el rutado de los cables en la motocicleta. En primer lugar, se realizarán los esquemas eléctricos teóricos de alta y baja tensión, con la herramienta AUTOCAD Electrical. Se analizarán estos esquemas

y los componentes que lo conforman. Posteriormente, se realizará un croquis de la moto en el que se mostrará el rutado de los cables para su posterior aplicación en la realidad.

4. En último lugar, se detallarán el resto de los componentes que forman parte del powertrain, adaptándolos tanto técnica como económicamente a las demandas de la moto.

4.4 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA

La planificación de este proyecto es fundamental ya que al tratarse de un trabajo de equipo se deben establecer y finalizar los objetivos con la mayor exactitud posible. De esta manera se asegura cumplir con los plazos exigidos por la competición y se evitan retrasos en otros departamentos que puedan depender de determinadas partes del proyecto.

En cuanto a la estimación económica no se puede precisar un número, dependiendo esta de las conclusiones que se obtengan en el proyecto, así como las necesidades que surjan durante el mismo.

A continuación, se detalla un cronograma con la planificación que se desea seguir.

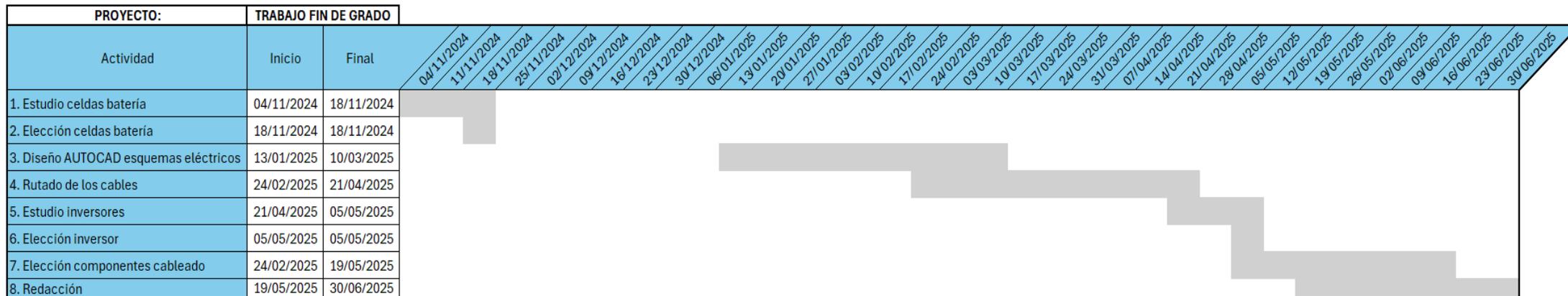


Figura 32: Cronograma del proyecto

Capítulo 5. MODELO DESARROLLADO

5.1 ESTUDIO DE LAS CELDAS

5.1.1 DATOS DE PARTIDA

Como bien se comentó en el apartado de Metodología, en primer lugar, se estudiarán los distintos tipos de celdas presentes en el mercado, con el objetivo de elegir la que mejor se adapte a las condiciones de la motocicleta.

Durante la Descripción de las Tecnologías se expuso que las celdas de ion litio son las más empleadas por su gran densidad energética, por lo que en este apartado únicamente se estudiarán las celdas con este tipo de química. Existen gran variedad de marcas y celdas, siendo estudiadas las que se muestran a continuación:

Tabla 3: Celdas que serán estudiadas

<i>Tipos de celdas</i>
Sony/Murata US1850VTC6 3120 mAh – 30 A
Sony / Murata US21700VTC6A
Molicel INR18650-P28A 2800 mAh – 35 A
Molicel INR21700-P42A
Molicel INR21700-P45B
Samsung INR21700-50E
Samsung INR21700-40T3

La tensión e intensidad máxima vienen definidas por el inversor. En la edición anterior el inversor se estableció con una tensión de 120 V y una intensidad máxima de 550 A, sin embargo, en esta edición se pretende subir su tensión a 126 V, con el objetivo de aprovechar al máximo los límites de la normativa, mostrándose esto en el artículo 1 de la Sección D de la normativa. [36]

ARTICLE 1: DEFINITIONS AND GENERAL ASPECTS

D.1.1 High Voltage - HV, Low Voltage - LV, Volts Direct Current – VDC.

D.1.1.1 Any circuit with a potential difference over 60 VDC (included) will be defined as High Voltage (HV). The maximum voltage allowed in the prototype at any time cannot be over 126 VDC (not included).

Figura 33: Normativa sobre los límites de tensión [37]

En la edición pasada la celda empleada fue la Samsung INR21700-40T3, que tiene las siguientes características.

Tabla 4: Datasheet de la celda Samsung INR21700-40T3 [38]



Dimensiones	Peso	67 g
	Altura	71,5 mm
	Diámetro	21 mm
Margen de tensiones	Tensión nominal	3,6 V
	Tensión máxima	4,2 V
	Tensión mínima	2,5 V
Corriente máxima de descarga continuada	Sin corte de T ^a	35 A
Capacidad	Capacidad típica	4000 mAh
	Capacidad mínima	3950 mAh

El número de celdas que emplea el pack completo de baterías variará según la celda empleada. La tensión, como se comentó anteriormente, viene determinada por el número de celdas serie.

$$E. 1 \quad n^{\circ} \text{ serie} = \frac{\text{Tensión máxima}}{\text{Máxima tensión de la celda}}$$

Una vez conocido el número de celdas serie podemos determinar el número de celdas paralelo. Para ello, es necesario conocer la capacidad total necesaria y las capacidades de cada celda.

$$E. 2 \quad n^{\circ} \text{ paralelo} = \frac{\text{Capacidad total pack}}{\text{capacidad indivial de la celda}}$$

Por último, conocida la cantidad de celdas total del pack, se calcula la intensidad máxima de descarga.

$$E. 3 \quad \text{Máxima intensidad de la celda} = \frac{550 A}{n^{\circ} \text{ celdas paralelo}}$$

En la edición anterior, con la celda Samsung INR21700-40T3 aplicando E. 1 y sabiendo que la tensión máxima determinada por el inversor era de 120 V, se obtuvo como resultado 28,57 celdas y se tomó la decisión por tanto de establecer 28 celdas serie.

En la edición anterior, el equipo realizó una simulación del circuito basada en modelos dinámicos, con el objetivo de conseguir una estimación de la capacidad necesaria durante la carrera. Los resultados obtenidos mostraban 10000 mAh para completar una vuelta al circuito, es decir, para la carrera de 6 vueltas serían necesarios por tanto 60000 mAh.

Con este valor obtenido en las simulaciones multiplicado por un factor de seguridad, se estableció una capacidad de 65000 mAh de manera teórica. A pesar de ello, la capacidad final de la batería fue de 64000 mAh, que aplicando la E. 2 se obtienen 16 celdas. No obstante, durante la carrera se observó de manera experimental que dicha capacidad no era suficiente como se comentará más adelante.

Por último, aplicando la E. 3 con esta celda se obtuvo una intensidad máxima de descarga de 34,37 A, que se encontraba dentro del rango establecido por el fabricante de 35 A. [36]

Respecto al peso, este se calcula como:

$$\text{Peso (Kg)} = n^{\circ} \text{ total celdas} * \text{peso celda}$$

Sabiendo esto, la batería de la edición anterior estaba compuesta por tres módulos que en total formaban un pack de 28s16p (28 celdas serie y 16 celdas paralelo), lo que supone un total de 448 celdas. Según la Tabla 4, el peso de la celda era de 67 g, lo que supone un peso total de 30,016 Kg.

Conocidos estos datos, se realizarán comparaciones para observar que tipo de celda es la más adecuada para esta edición, teniendo como propósitos los siguientes puntos:

- Mínimo peso posible
- Mínimo volumen posible
- Aumento de la capacidad
- Elección en base a un equilibrio técnico-económico

5.1.2 COMPARACIÓN DE CELDAS

A continuación, se muestran las características del resto de celdas que se analizarán.

Tabla 5: Datasheet de las celdas estudiadas [39]



		Sony/Murata US18650VTC6	Sony / Murata US21700VTC6A	Molicel INR18650- P28A
Dimensiones	Peso	46,6 g	73 g	46 g
	Altura	65 mm	69,8 mm	65,2 mm
	Diámetro	18,2 mm	21,3 mm	18,6 mm
Margen de tensiones	Tensión nominal	3,6 V	3,6 V	3,6 V
	Tensión máxima	4,2 V	4,2 V	4,2 V
	Tensión mínima	2,8 V	2,8 V	2,8 V
Corriente máxima de descarga continuada	Sin corte de T ^a	30 A	40 A	35 A
Capacidad	Capacidad típica	3120 mAh	4100 mAh	2800 mAh
	Capacidad mínima	3000 mAh	4000 mAh	2750 mAh

Tabla 6: Datasheet de las celdas estudiadas [39]



		Molice INR21700-P42A	Molice INR21700-P45B	Samsung INR21700-50E
Dimensiones	Peso	68 g	68 g	69 g
	Altura	70 mm	70,2 mm	70,6 mm
	Diámetro	21,4 mm	21,7 mm	21,1 mm
Margen de tensiones	Tensión nominal	3,6 V	3,6 V	3,6 V
	Tensión máxima	4,2 V	4,2 V	4,2 V
	Tensión mínima	2,8 V	2,8 V	2,8 V
Corriente máxima de descarga continuada	Sin corte de T ^a	45 A	45 A	9,8 A
Capacidad	Capacidad típica	4200 mAh	4500 mAh	4900 mAh
	Capacidad mínima	4000 mAh	4350 mAh	4850 mAh

Una vez conocidos los datos de cada celda, se realiza el mismo proceso que se realizó en el apartado de Datos de Partida. Al haber cambiado la tensión del inversor debemos realizarlo con todas las celdas, incluida la Samsung INR21700-40T3, para conseguir una comparación bajo las mismas condiciones.

El número de celdas serie será igual en todos los casos, ya que como se acaba de comentar depende de la tensión del inversor. A su vez, se observa que la tensión máxima de todas las celdas es la misma, 4,2 V. Por todo ello, aplicando la E. 1 y sustituyendo sus valores obtenemos:

$$n^{\circ} \text{ celdas serie} = \frac{126 \text{ V}}{4,2 \text{ V}} = 30 \text{ celdas}$$

Conocido este valor, se realiza una primera estimación del número de celdas paralelo y de la máxima intensidad que sufre la celda. Para ello, supondremos una capacidad de 64000 mAh, siendo este el valor que queremos mejorar. A su vez, la intensidad máxima en esta edición viene limitada por el motor, siendo en este caso 500 A. Por ellos la E. 3 realmente quedará como:

$$E. 4 \quad \text{Máxima intensidad de la celda} = \frac{500 \text{ A}}{n^{\circ} \text{ celdas paralelo}}$$

Tabla 7: Cálculos preliminares en la comparación de las celdas

	Nº celdas paralelo	Máxima intensidad de la celda
Samsung INR21700-40T3	16 celdas	31,25 A
Sony/Murata US18650VTC6	20,51 celdas	24,38 A
Sony/Murata US21700VTC6A	15,61 celdas	32,03 A
Molicel INR18650-P28A	22,86 celdas	21,87 A
Molicel INR21700-P42A	15,24 celdas	32,81 A
Molicel INR21700-P45B	14,22 celdas	35,16 A
Samsung INR21700-50E	13,06 celdas	38,28 A

Observando la Tabla 7, se observa que la intensidad máxima que soportará la celda Samsung INR21700-50E es de 38,28 A, siendo esta muy superior a los 9,8 A que puede soportar de manera continuada. Debido a esta razón, se decide dejar de tener en cuenta esta celda para su posible elección.

Otra conclusión obtenida es que aquellas celdas en las que no se han obtenido números enteros en las celdas paralelo, únicamente pueden tener sus números enteros posteriores, consiguiendo con ello un aumento de la capacidad y una disminución en la corriente máxima que deberán soportar las celdas. A pesar de ello, se debe tener paralelamente en consideración el volumen ocupado por la batería y el peso de esta.

El volumen ocupado por la batería dependerá del tamaño de los holders. Estos son las sujeciones y protecciones de las celdas en la batería, asegurando la distribución uniforme de la carga. Existen gran variedad de formas. En la edición anterior se utilizaron con forma de panal, sin embargo, en esta edición se pretenden fabricar de manera cuadrada mediante impresión 3D.



Figura 34: Holder batería [40]

Por tanto, el volumen ocupado por la celda se calcula como

$$E. 5 \quad V_{batería}(\text{Litros}) = \left(l_{holder}^2 \cdot (Altura_{celda} + 2 \cdot Grosor_{holder}) \right) \cdot n^{\circ} \text{ total celdas}$$

Se sabe que el holder tendrá distintas dimensiones en función de la celda que contenga, es por ello por lo que se decide establecer unos valores contantes, permitiendo la comparación del volumen. Estos valores son:

$$E. 6^1 \quad l_{holder} (mm) = Diametro_{celda} + 0,3 + 1,45$$

$$E. 7 \quad Grosor_{holder} (mm) = 1,5$$

¹ Los 0,3 mm se aplican como margen para que la celda entre el holder

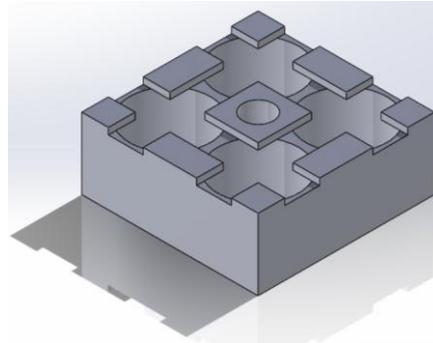


Figura 35: Holder diseñado en el ISC

Conocido esto, se elige el número de celdas paralelo para cada tipo de celda.

Tabla 8: Comparación de las celdas

	Nº celdas paralelo	Máxima intensidad de la celda	Capacidad	Nº total celdas Batería	Volumen	Peso
Samsung INR21700-40T3	16 celdas	31,25 A	64000 mAh	480 celdas	18,51 L	32,16 kg
Sony/Murata US18650VTC6	21 celdas	23,81 A	65520 mAh	630 celdas	17,05 L	29,36 kg
Sony/Murata US21700VTC6A	16 celdas	31,25 A	65600 mAh	480 celdas	18,57 L	32,64 kg
Molicel INR18650-P28A	23 celdas	21,74 A	64400 mAh	690 celdas	19,49 L	31,74 kg
Molicel INR21700-P42A	16 celdas	31,25 A	67200 mAh	480 celdas	18,78 L	32,64 kg
Molicel INR21700-P45B	15 celdas	33,33 A	67500 mAh	450 celdas	18,11 L	30,60 kg

Analizando la Tabla 8 se obtienen las siguientes conclusiones

- En todos los casos, la máxima intensidad soportada por la celda se encuentra por debajo del límite de funcionamiento establecido por el fabricante.

- La celda Samsung INT21700-40T3 presenta la menor capacidad, sin embargo, su peso es de los mayores. Es por ello, que a pesar de que esta celda fue empleada en la edición anterior, se decide descartarla en la VII edición del MotoStudent.
- La celda Sony/Murata US21700VTC6A es la más pesada junto con la Molicel INR21700-P42A. A pesar de ello, existe una gran diferencia de capacidad entre ambas, por lo que a pesar de tener un volumen algo inferior la Sony/Murata US21700VTC6A, se decide no seguir teniéndola en cuenta.
- La celda Molicel INR18650-P28A a pesar de presentar un peso inferior a las comentadas anteriormente, no presenta una mejora en la capacidad y es la de mayor volumen. Por estas razones, esta celda se elimina entre las posibles candidatas.
- La Molicel INR21700-P42A ofrece una gran capacidad, sin embargo, esta no alcanza por poco la capacidad de la Molicel INR21700-P45B. Además, esta última celda es más ligera y ocupa un menor volumen, provocando el descarte de la Molicel INR21700-P42A.

Durante la edición anterior de MotorLand, la carrera se inició con una tensión de 114 V y se terminó con una tensión de 95 V. La tensión mínima admisible por la batería era de 78,4 V. A pesar de ello, faltaron por dar la warm up lap, la vuelta de regreso y la última vuelta de la carrera.

Suponiendo una relación lineal, con estas tres vueltas se perderían 11,4 V extra. Con esto se tendría una tensión final 83,6 V, siendo este superior al mínimo de la batería. A pesar de ello, en esta ecuación no se tiene en cuenta la posible carrera de repesca que puede ser necesaria correr.

Como se ha comentado anteriormente, la capacidad en la edición anterior fue de 64000 mAh. A pesar de que en la Tabla 8 la Sony/Murata US18650VTC6 ya presenta una mayor capacidad, se realiza una última iteración aumentando el número de paralelos en la celda con el fin de buscar algo más de holgura en la capacidad, aprovechando el bajo peso y volumen obtenidos.

Tabla 9: Iteración extra de la celda Sony/Murata US18650VTC6

	Nº celdas paralelo	Máxima intensidad de la celda	Capacidad	Nº total celdas Batería	Volumen	Peso
Sony/Murata US18650VTC6	22 celdas	22,73 A	68640 mAh	660 celdas	17,86 L	30,76 kg

Una vez conocidos los datos técnicos más relevantes para la elección de la celda se deben calcular los costes económicos que supondrá cada celda que todavía se encuentre entre las posibles elegidas.

A pesar de que cada celda tiene su propio coste unitario, al tratarse de grandes volúmenes, se escogen los precios acordes a estos con el fin de reducir el gasto. Además, se debe tener en

cuenta que es necesario la compra del número de celdas que conformen la batería junto con las que equivalen a módulo extra, utilizado como sustituto en caso de fallo.

Tabla 10: Datos económicos de las celdas [38]

	Precio celda²	Nº total celdas (Batería)	Precio Batería	Nº total celdas	Precio Total
Sony/Murata US18650VTC6	3,65 €	630 celdas	2299,5 €	840 celdas	3066 €
Molicel INR21700-P45B	7,05 €	450 celdas	3172,5 €	600 celdas	4230 €
Sony/Murata US18650VTC6	3,65 €	660 celdas	2409 €	880 celdas	3212 €

² Los precios pueden variar en el tiempo

5.1.3 ELECCIÓN FINAL DE LA CELDA

Durante este aparatado se han realizado los cálculos más relevantes para la elección de la celda adecuada para la próxima edición de MotoStudent. Este estudio engloba tanto cálculos técnicos como económicos. Mientras se realizaba el proceso, se han ido obtenido conclusiones y descartando las celdas más desfavorables, quedando finalmente dos tipos de celdas. A continuación, se muestra una tabla resumen que muestra los cálculos más relevantes de estas dos celdas.

Tabla 11: Tabla resumen de las celdas

	Sony/Murata US21700VTC6	Sony/Murata US18650VTC6	Molicel INR21700- P45B
Nº celdas serie	30 celdas	30 celdas	30 celdas
Nº celdas paralelo	21 celdas	22 celdas	15 celdas
Nº Total celdas Batería	630 celdas	660 celdas	450 celdas
Nº Total celdas	840 celdas	880 celdas	600 celdas
Máxima intensidad de la celda	23,81 A	22,73 A	33,33 A
Capacidad	65520 mAh	68640 mAh	67500 mAh
Volumen	17,05 L	17,86 L	18,11 L
Peso	29,36 Kg	30,76 Kg	30,60 Kg
Precio Batería	2299,5 €	2409€	3172,5 €
Precio Total	3066 €	3212 €	4230 €

Se realiza un análisis de la Tabla 11, de la que se obtienen las siguientes conclusiones:

- La Sony/Murata US18650VTC6 con 21 celdas en paralelo, tiene una máxima intensidad de la celda inferior al máximo establecido por el fabricante. A su vez, es la que presenta menor volumen, menor peso y el precio más bajo. A pesar de ello, y aun teniendo una capacidad superior a la establecida en la edición anterior, existe una gran diferencia entre su capacidad con las otras dos posibilidades.
- La Molicel INR21700-P45B también se encuentra en los rangos de intensidad aceptados por el fabricante. Además, presenta una buena característica de capacidad. No obstante,

es la que presenta mayor volumen y, sobre todo un aumento considerable en el precio del pack completo.

- La Sony/Murata US18650VTC6 con 22 celdas en paralelo, al igual que el resto tiene una intensidad máxima de descarga por debajo del límite máximo establecido por el fabricante. Esta opción es la que ofrece la mayor capacidad, siendo este considerado el factor más determinante para la siguiente edición. Es cierto que presenta el mayor peso de las tres opciones, sin embargo, no se encuentra alejado de la Molicel INR21700-P45B y presta un mejor peso con respecto a otras opciones consideradas. El volumen se encuentra en un punto intermedio, pero tiene la ventaja de conseguir una batería más estrecha, y en consecuencia una moto más estrecha que en la edición anterior, característica que demandaba el piloto. Por último, el precio no se dispara con respecto a la opción con 21 celdas en paralelo.

Con todas estas conclusiones, se decide que la celda más idónea para la batería de la edición 23-25 de MotoStudent, que representará al ISC MotoStudent es la Sony/Murata US18650VTC6.

5.1.4 CONEXIÓN DE LAS CELDAS

La conexión de las celdas se realizará mediante tiras de níquel. Estas presentan alta conductividad, además de ser altamente resistivo a la oxidación y la corrosión. Asimismo, son fáciles de soldar por puntos, método que se ha empleado en la elaboración de los packs de celdas de la VIII edición de MotoStudent.

En concreto se han empleado 2 tiras de níquel, una superpuesta sobre la otra. Esto presenta las ventajas de reducir la resistencia, permitiendo una menor caída de tensión y calentamiento. Igualmente, tener 2 tiras de níquel permiten soportar una mayor corriente de forma segura, con una mejor distribución de la misma.



Figura 36: Módulo de la batería del ISC MotoStudent

5.2 MOTOR Y ELECCIÓN DEL INVERSOR

5.2.1 MOTOR

El motor empleado en la competición es el ME1616, siendo este común de manera obligatoria para todos los equipos. Dicho propulsor, aportado por la competición, está sellado con el objetivo de impedir su manipulación interna tal como se detalla en el artículo 2.2 de la sección D del reglamento.

D.2.2 Sealing

D.2.2.1 The use of the engine provided by the Organization is compulsory. The motor provided by the Organization will be sealed and it is strictly forbidden to manipulate it. Any broken or damaged seal shall be reason to declare a technical nonconformity.

D.2.2.2 In case of breakdown or malfunction of any internal part to which the team is not allowed to access, the team shall inform the Organization, who shall take the convenient steps.

Figura 37: Artículo 2.2 de la sección D de la normativa MS [37]

El ME1616 es un motor de imanes permanentes que puede o debe ser refrigerado por aire o agua en función de la tensión de trabajo. Este motor, diseñado tanto para baterías de 96V como de 120V presenta las siguientes características técnicas:

Tabla 12: Valores nominales del ME1616 [41]

Valores nominales		
Par	55	Nm
Potencia	30	kW
Velocidad	4600	Rpm
Corriente por fase (RMS)	250	A
Tensión de la batería (DC)	120	V

Tabla 13: Valores máximos del ME1616 [41]

Valores máximos		
Par	120	Nm
Potencia	66	kW
Velocidad	6000	Rpm
Corriente por fase (RMS)	500	A
Temperatura	140	°C

Tabla 14: Información adicional del ME1616 [41]

Información adicional		
Nº de fases	3	fases
Nº de polos	10	polos
Constate T/I	0.22	Nm/A
Constante U/n	0.026	V/rpm
Peso	24,4	Kg
Rendimiento	92	%

El motor, al trabajar a 120V debe ser refrigerado mediante líquido. El fabricante permite la refrigeración por agua, sin embargo, especifica que lo óptimo es la refrigeración por Glycol. Este motor además tiene incorporado el sensor de temperatura KTY84-130 y un encoder Sin/Cos. Este encoder es alimentado con 5V y presenta una resolución de una onda seno/cose por revolución.

El fabricante también presenta unas gráficas con los ensayos de caracterización realizados al motor. Estas gráficas no se encuentran del todo completas, al estar únicamente realizadas a 72V y llegando hasta 5000 rpm.

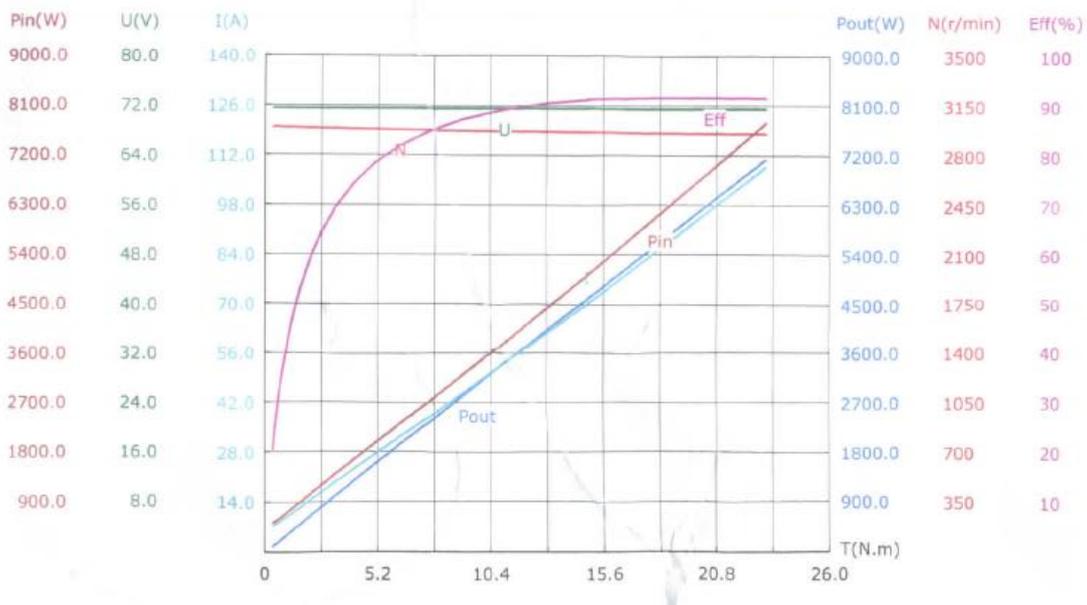


Figura 38: Curvas características del motor ME1616 [41]

En cuanto a sus dimensiones mecánicas, el fabricante presenta unos planos con las dimensiones de dicho motor. En este caso, como bien se ha comentado anteriormente, se muestra aquel que tiene la refrigeración líquida.

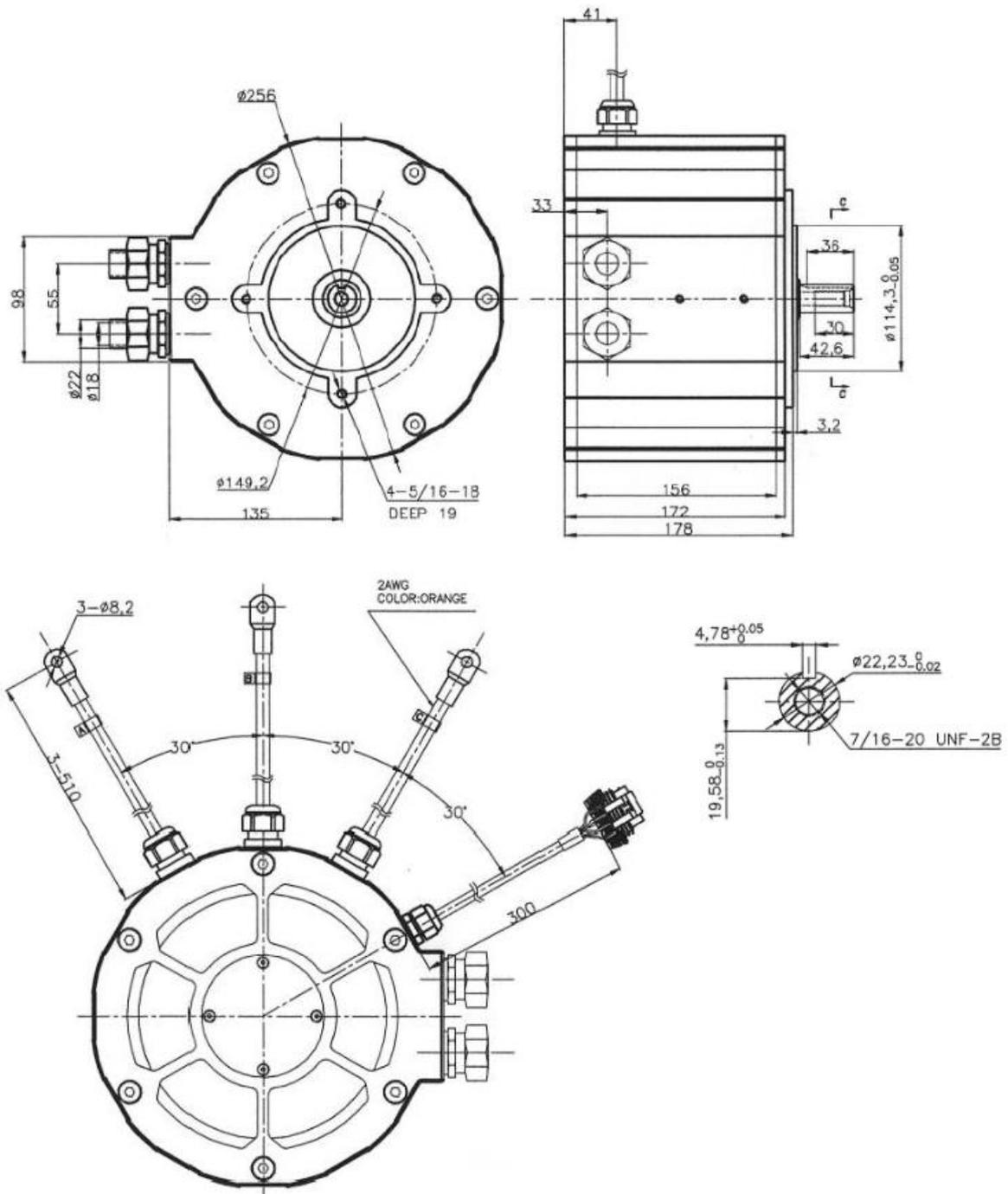


Figura 39: Dimensiones mecánicas del motor ME1616 [41]

Más adelante, en el apartado de Rutado de Cables, se detallarán sus conexiones con el resto de los elementos del sistema.

5.2.2 INVERSOR

El inversor es definido según la normativa como el dispositivo hardware que controla el torque y la velocidad del motor eléctrico. Su uso es estrictamente obligatorio, estado completamente prohibida la conexión directa entre el motor y el acumulador. A su vez, en la normativa se especifica que puede ser tanto comercial como de diseño propio, así como su software.

En la anterior edición, el inversor empleado fue el SEVCON GEN 4. En esta edición, en función de las características del motor se decide que el inversor que se empleará en la edición ZAPI ACE 4, en concreto su versión baseplate. A pesar de que ambos presentan características muy similares, la elección de este último radica en la posibilidad de soporte por la empresa fabricante en caso de problemas durante su configuración.

D.2.3 Inverter

D.2.3.1 | The inverter is defined as the hardware device controlling the speed and torque of the electric motor. It can be either commercial or self-developed as well as its control software.

D.2.3.2 | The inverter must be fitted in between the motor and the accumulator, so that there cannot be a direct connection between the motor and the accumulator.

Figura 40: Artículo 2.3 de la sección D de la normativa MS [37]

El ZAPI ACE 4, es un inversor diseñado para el control de la inducción de la corriente alterna en motores síncronos de imanes permanentes (PMSM), motores de reluctancia conmutada (SRP) y motores síncronos de reluctancia con imanes permanentes (SRPM). Además, este inversor es compatible con sensores de velocidad y posición como el encoder Sin/Cos que se encuentra en el motor empleado en esta edición.



Figura 41: ZAPI ACE 4 [42]

El ZAPI ACE4 presenta los siguientes modelos, con las siguientes características:

Tabla 15: Valores de corriente de los distintos modelos del inversor

Valores de corriente				
Tensión nominal (V)	36	48	72/80	96
Corriente nominal (Arms)	480	460	355	295
Máxima corriente 2' (Arms)	950	800	630	545
Máxima corriente (Arms)	1000	800	700	700

Tabla 16: Valores de tensión de los distintos modelos del inversor

Valores de tensión					
Tensión nominal (V)	36	48	72	80	96
Rango de trabajo convencional (V)	28.8 - 43.2	38.4 - 57.6	57.6 - 86.4	64 - 96	76.8 - 115.2
Rango de no-operacional (V)	10 - 65	10 - 65	30 - 115	30 - 115	30 - 130

En la edición actual se elige el de 96 V, ya que cumple con los márgenes necesarios de tensión establecidos durante el trabajo.

El inversor presenta varias protecciones. Entre ellas se encuentran:

- Protección contra inversión de polaridad
- Protección contra error de conexión
- Protección contra subtensiones y sobretensiones
- Protección contra exceso de temperatura. A partir de los 85°C se produce una caída en la intensidad.

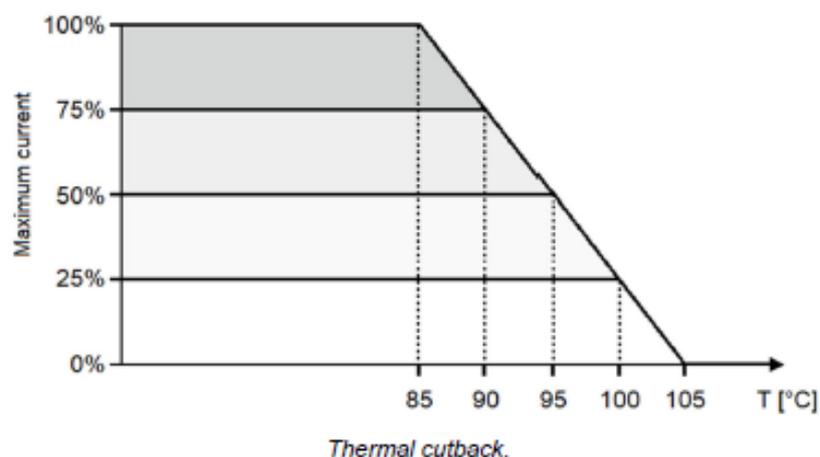


Figura 42: Gráfica T° vs I_{max} aportada por el fabricante

- Protección contra polvo y líquidos según la normativa IP65.

- Protección contra movimientos no controlados. En concreto, los siguientes:
 - o La unidad de potencia no está funcionando
 - o La placa lógica no está funcionando correctamente
 - o El voltaje del acelerador es más de 1 V inferior al mínimo valor establecido.
- Protección contra baja batería
- Protección contra encendido accidental.

El ZAPI ACE 4 baseplate versión, tiene las siguientes dimensiones mecánicas:

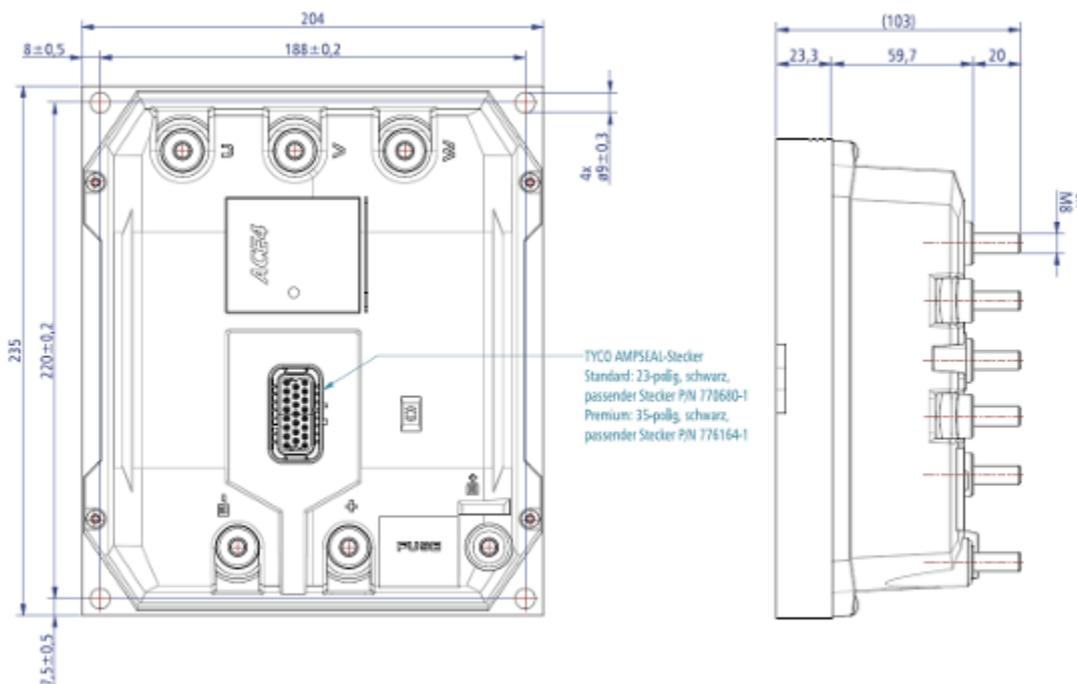


Figura 43: Dimensiones mecánicas del ZAPI ACE4 [43]

Este inversor, además tiene la posibilidad de trabajar en dos modos: Modo velocidad y modo par o torque.

- En el modo velocidad, es el modo por defecto en los inversores ZAPI. Este modo mantiene la velocidad constante en el motor para una determinada posición en el puño acelerador, siempre que haya suficiente par disponible.
- El modo torque, mantiene un par de salida del motor constante para una determinada posición del puño acelerador. Para evitar un exceso de velocidad con bajos pares de cargas, permite limitar la velocidad máxima del vehículo. Este es el modo que se empleará durante esta edición.

La conexión de este inversor se puede realizar mediante conectores de 23 o 35 pines, que se detallarán más adelante en el apartado de Rutado de Cables. [44]

5.3 DISEÑO ELÉCTRICO

Durante este apartado, que supone el último de los Objetivos Específicos que se establecieron al inicio del proyecto, se explicarán los esquemas eléctricos en base a la normativa impuesta por la competición. Además, se presentarán planos en los que se muestre tanto los cables de manera física y su pinout, como el rutado de dichos cables en la motocicleta. Por último, se detallarán más concretamente los elementos empleados que conforman los circuitos y los cables, previamente explicados.

Un objetivo añadido en este apartado es servir de referencia en la presentación de los planos eléctricos del equipo, con el fin de mantener un orden y organización para el desarrollo de la motocicleta en futuras ediciones.

5.3.1 ESQUEMAS ELÉCTRICOS

Durante el desarrollo de este proyecto, la organización de MotoStudent solicitó una serie de planos que reflejasen los distintos circuitos presentes en la motocicleta. Para ello, los equipos fuimos informados del contenido que debía aparecer en dichos planos y de que circuitos debían mandarse en la entrega del MS1. En concreto destacan 4 circuitos:

- HVS Disconnection circuit
- Power Circuit
- Cell Electric Scheme
- LV Cell Electric Scheme

Los planos presentados, se ciñen meramente a lo solicitado para esta entrega, siendo los esquemas básicos de partida para el desarrollo de la motocicleta. No obstante, con el objetivo de reflejar de la manera más fiel posible el estado real de la motocicleta, se mostrarán planos adicionales que muestren detalles obviados durante los planos entregados.

Respecto a los componentes que conforman estos sistemas, durante este apartado únicamente serán mencionados, debido a su necesidad u obligación en los distintos circuitos. Sus funciones se detallarán en el apartado de Componentes Eléctricos.

5.3.1.1 HVS DISCONNECTION CIRCUIT

El High Voltage Disconnection Circuit (HVS Disconnection circuit), es definido por la normativa, como el circuito encargado de la apertura y cierre del circuito de precarga, establecido de manera obligatoria por la competición, y del contactor de línea. Este control debe realizarse de forma analógica.

Como podemos diferenciar en la Figura 44, el circuito está formado por una parte de alta tensión (naranja) y otra de baja tensión (rojo). La tensión máxima permitida es de 126 VDC y la normativa diferencia estos circuitos de la siguiente manera en su artículo D.1.1.

- Todo circuito con una diferencia de potencial superior a 60 VDC (incluido), será definido como High Voltage (HV), siendo la máxima tensión permitida de 126 VDC (sin incluir).
- Todo circuito con una potencial comprendido entre 0 VDC y 60 VDC (sin incluir), será definido como Low Voltage (LV).

Observando el plano, podemos distinguir dos circuitos: El circuito de alimentación para la poner la motocicleta en funcionamiento (Run Circuit) y el circuito que permite la carga de la batería (Charge Circuit). Ambos comparten una serie de componentes en común en el lado de baja tensión hasta el selector, que determina el circuito activo en cada momento. Entre estas componentes destacamos:

- Low Voltage System Master Switch (LVSMS)
- Convertidor DC/DC
- Emergency Shutdown Button (ESDB)
- Insulation Monitoring Device Relay (IMD Relay)
- Battery Management System Relay (BMS Relay)

Según el artículo D.4.8.2, se obliga a que el circuito de carga este compuesto por:

- Dos botones de emergencia (ESDB). El primero de ellos es el que comparten ambos circuitos de manera común. Este se debe situar el vehículo, mientras que el segundo se debe colocar en el propio cargador.
- El relé mecánico tanto del IMD como del BMS. Estos dos relés son compartidos como se ha mencionado anteriormente.
- Un relé mecánico controlado directamente por el cargador.

En caso de fallo en alguna de estas protecciones el circuito debe quedar abierto. Además, la normativa no prohíbe la posibilidad de añadir nuevos componentes, sin embargo, hace especial énfasis en que la incorporación de estos no debe afectar al comportamiento de los otros. Asimismo, la organización se reserva el derecho de solicitar cualquier tipo de cambio que precise.

El funcionamiento de este circuito es simple. La batería de baja tensión alimenta a las protecciones. Estas determinan si hay fallo o no y van cerrando secuencialmente. El selector situado en el circuito de carga permite el paso de corriente por dicho circuito, suministrando energía al resto de sus protecciones. En caso de correcto funcionamiento, el contactor de carga cierra, permitiendo con ello la carga de la batería.

En segundo lugar, encontramos el “circuito de carrera” (Run circuit), definido en el artículo D.4.6 de la normativa. En él se detalla que este circuito está constituido de los elementos comunes comentados anteriormente, junto con los siguientes:

- Contactor de línea
- Tractive System Master Switch (TSMS). Se debe encontrar en el rango del piloto y protegido contra contacto indirecto. Además, debe ser el último elemento que se cierra, asegurando así que el resto de las protecciones han actuado correctamente.

Dentro de este circuito, se encuentra el denominado circuito de precarga del inversor, definido en el artículo D.4.5 de la normativa. Este circuito se define como el sistema encargado de alimentar gradualmente al inversor, con el fin de igualar los voltajes y prevenir de altas corrientes internas cuando el contactor de línea se cierra. Es por ello, que este circuito es exigido por la competición.

Este circuito está formado por un relé mecánico, definido por la normativa como el contactor precarga, a su vez conectado con el Key³. El mínimo nivel de precarga admisible es del 90% del voltaje real de batería o de un máximo de 10 V entre terminales.

Este circuito se puede establecer de 2 formas. La primera opción es la programación del cierre del contactor de línea un cierto tiempo después del cierre del circuito de precarga, mientras que la segunda añade un segundo relé mecánico con el objetivo de garantizar la correcta precarga del inversor. En la normativa, se establece en el artículo D.4.5.5 que el tiempo máximo entre el cierre del relé de precarga y el contactor de línea debe ser de 1 minuto.

En la edición anterior, se empleó el primer método. A pesar de que la precarga debía realizarse en el tiempo establecido correctamente, en caso de error suponía un grave problema de seguridad. Es por ello, que en esta edición se opta por añadir el segundo relé, con objeto de minimizar los fallos y garantizar la seguridad de las personas.

El funcionamiento de ambos circuitos es similar al circuito de carga. En primer lugar, se alimentan las protecciones comunes. El selector, situado en el “circuito de carrera”, alimenta el

³ El Key es un interruptor perteneciente al inversor, cuya tensión es monitoreada por el inversor.

circuito precarga que alimenta el inversor hasta los valores óptimos establecidos. Una vez finalizado, se cierra el contactor de línea, estando la motocicleta alimentada y lista para correr.

El proceso de precarga con este segundo método es el siguiente:

- Se alimenta el relé de precarga, el cuál realiza la precarga de los contactores del inversor.
- Una vez el inversor se cerciora de que se ha realizado correctamente la precarga, se genera una señal en el NLC que genera una diferencia de tensión en la bobina, produciéndose su excitación y en consecuencia la alimentación de un relé intermedio que una vez se cierra permite el cierre del contactor de línea. Ese relé intermedio se emplea debido a que el contactor de línea debe estar alimentado por baja tensión.

Por último, en el plano de la Figura 44 encontramos el denominado LED Cluster, claramente explicado en el artículo D.7.1.

5.3.1.2 POWER CIRCUIT

El Circuito de Potencia (Power Circuit), pretende reflejar todas las conexiones de aquellos componentes que requieren de energía para funcionar, para en consecuencia poner en marcha la moto. En la edición 23-25 de MotoStudent se envió en la entrega MS1 el plano mostrado en la Figura 26.

En este plano se puede observar que viene integrado el HVS Disconnection Circuit comentado anteriormente con distintos elementos añadidos. Entre ellos destacan el IMD y el BMS, de los cuales se representaron sus relés de desconexión.

En el lado izquierdo, encontramos las baterías, tanto la batería principal como la de baja tensión. En cada una de ellas se ha detallado el número de módulos, así como el número total de celdas totales como de cada módulo. En la batería principal se ha detallado la tensión (126 V) y la capacidad total de la batería (68 Ah) de acuerdo con los resultados obtenidos en el apartado Elección Final de la Celda.

En el eje central encontramos el panel de carga (Charge panel). Este está compuesto por dos conectores. El primero de ellos, conectado a los bornes positivo y negativo de la batería, permite su carga cuando el segundo conector, conectado a la alimentación y al contactor de carga, es suministrado eléctricamente desde la baja tensión.

En ese mismo eje, encontramos el Voltage Measuring Point (VMP), definido en el artículo D.7.3 de la normativa. Los pines de carácter obligatorios establecidos en la normativa son:

- El terminal normalmente abierto del contactor de línea, referido como B+.
- El terminal normalmente abierto del relé de carga, referido como C+.
- La “tierra” del HVS, referido como B-.
- El terminal del contactor de línea referido como HV+. Este pin debe ser protegido mediante un resistor definido por la competición.

En la normativa también se especifica que este componente debe estar localizado en cada uno de módulos de la batería y en un lugar accesible para los miembros tanto del equipo como de la organización sin el uso de ninguna herramienta.

Además, en la Figura 45 se puede ver la alimentación del IMD y BMS. El IMD necesita tanto alimentación de alta como de baja tensión, mientras que el BMS únicamente requiere de baja tensión. En este último, destaca su conexión con el inversor a través de comunicación CAN (Controlled Area Network).

La comunicación CAN permite la interacción entre dispositivos sin la necesidad de una computadora central. Respecto a sus cables, deben ir trenzados. Esto se realiza con el objetivo

de reducir el ruido y mejorar la inmunidad electromagnética, consiguiendo una comunicación más estable y fiable.

Por último, encontramos el potenciómetro o puño acelerador, el encoder y el motor conectado al inversor. Respecto al encoder, tiene cinco terminales, entre los que resaltan los que determinan la posición del motor y su temperatura en cada momento.

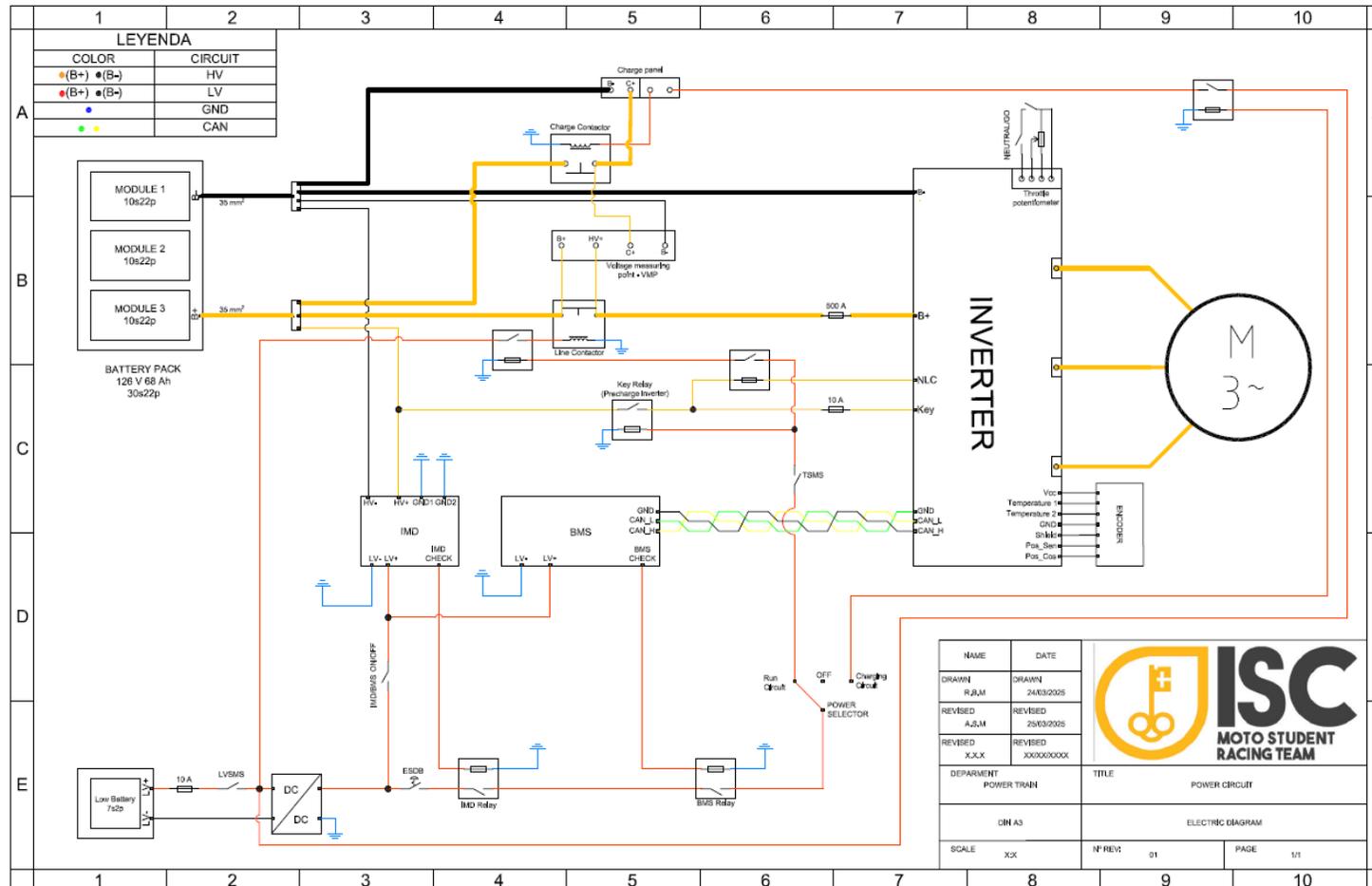


Figura 45: Power Circuit

5.3.1.3 CELL ELECTRIC SCHEME Y LV CELL ELECTRIC SCHEME

En la Figura 47 encontramos el esquema eléctrico de la batería principal o acumulador. Esta es la encargada de alimentar al resto de elementos de alta tensión de la motocicleta. La Figura 47 es el plano enviado a la competición, sin embargo, en este caso, se decide hacer un segundo plano que refleje como es realmente la conexión. Este plano es el representado en la Figura 48.

Como se observa en la Figura 48, el BMS realmente está formado por 3 unidades, cada uno de ellos conectado a uno de los módulos de la batería y a sus unidades contiguas. En última instancia, el último módulo está conectado a la máster, del que recibe la alimentación de baja tensión necesaria para su funcionamiento.

Respecto a la conexión entre las distintas unidades, se debe tener especial cuidado, al estar invertidos los pines de entrada y de salida de cada unidad. El fabricante también detalla que la última unidad debe conectar una resistencia de $120\ \Omega$ entre el CAN_H y el CAN L.

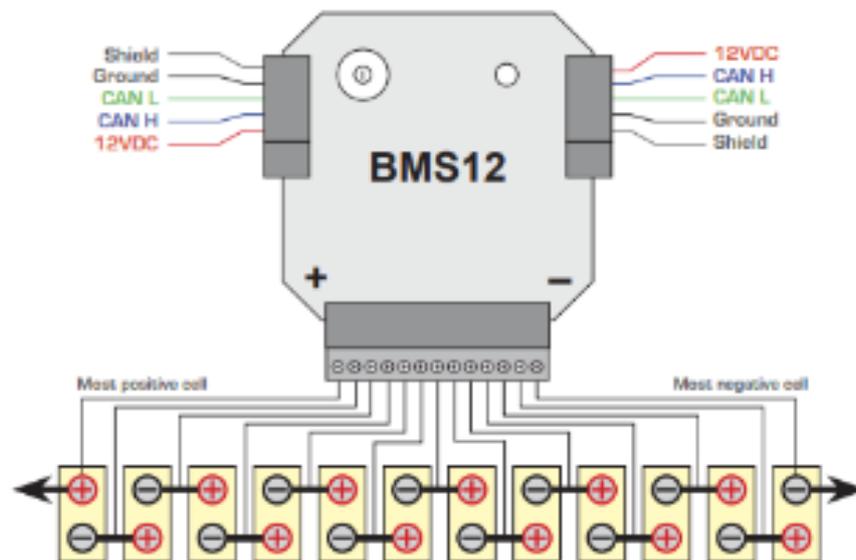


Figura 46: Conexión típica de un módulo de BMS [45]

El fabricante, recomienda que los cables CAN vayan trenzados y apantallados, con el objetivo de reducir las interferencias electromagnéticas que aparecen en la tracción de vehículos eléctricos al máximo posible. Respecto a la alimentación del BMS se realiza también mediante un par de hilos trenzados, de nuevo por recomendación del fabricante.

En cuanto a los termistores que encontramos en cada unidad del BMS, a pesar de ser opcionales según el fabricante, la normativa establece en su artículo D.3.5.4 que es necesario monitorizar la temperatura de interior de la batería, por lo que se incluyen en nuestro prototipo.

Por último, analizando la Figura 47 y la Figura 48 se observan las señales “BMS OK” y “IMD OK”, que activan sus respectivos relés⁴ en caso de funcionamiento correcto. A su vez, observamos como el IMD se conecta con ambos extremos de la batería, con el fin de verificar su correcto aislamiento.

En la Figura 49 se encuentra el circuito de alimentación de baja tensión. En él se observa una batería de 7s2p (7 celdas en serie con 2 en paralelo). Esta batería de baja tensión está conectada a un BMS, denominado BMS LV, totalmente independiente del BMS comentado en los esquemas anteriores.

Observamos que la batería alimenta dos circuitos. En el circuito principal, en el que se encuentran todos aquellos componentes que requieren de la alimentación de baja tensión, se convierten los 24 V aportados por este pequeño acumulador a 12 V a través de un convertidor DC/DC. En cuanto al circuito de refrigeración, la bomba es alimentada a través de otro convertidor DC/DC. Idealmente, este último convertidor debería ser regulable con el fin de poder regular el caudal de agua circulante y conseguir que la refrigeración fuese lo más óptima posible.

⁴ Realmente estos relés se encuentran en un circuito interno de la PCB de la máster, es por ello que se envían dichas señales a la misma.

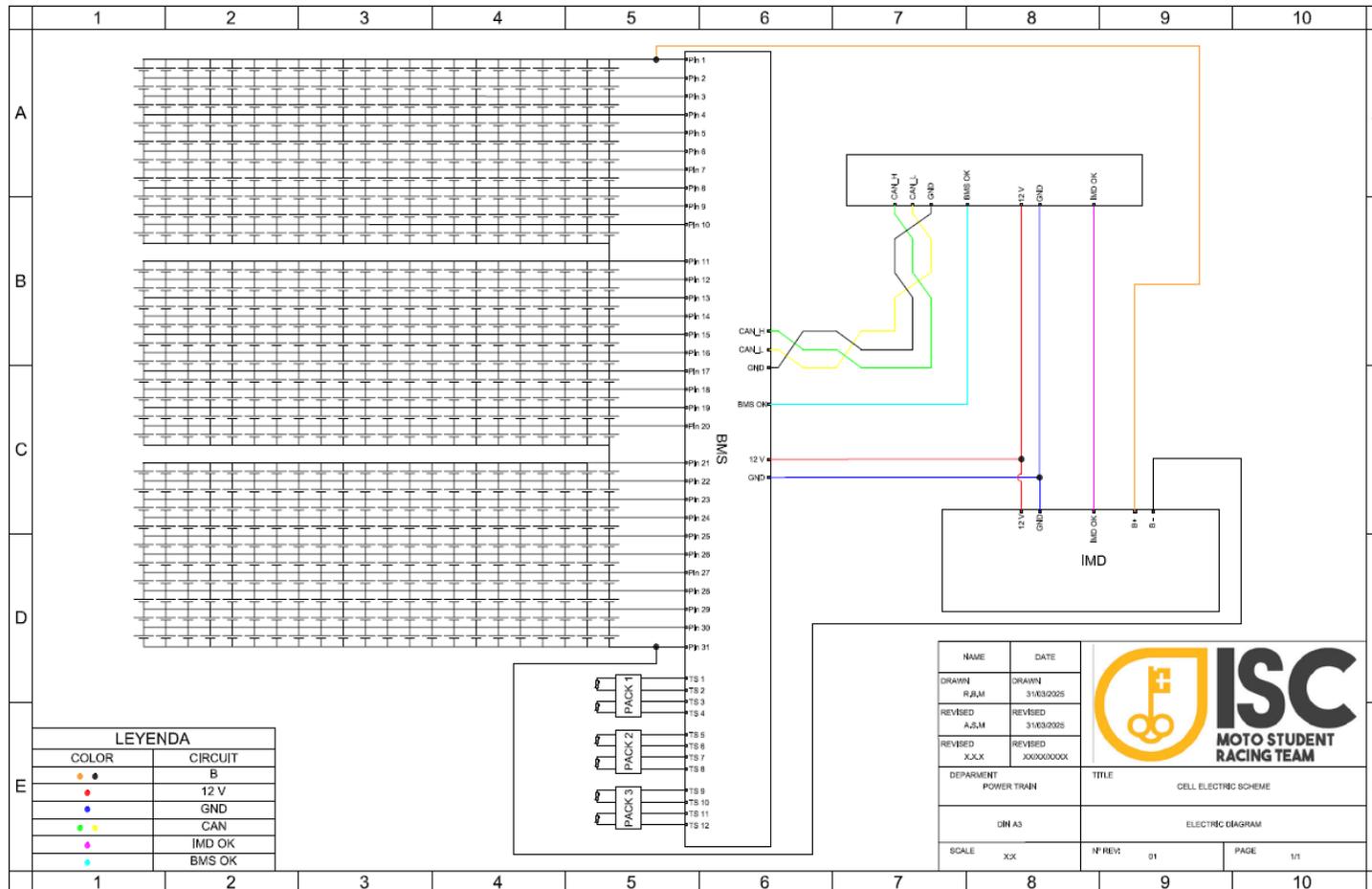


Figura 47: Cell Electric Scheme enviado a la competición

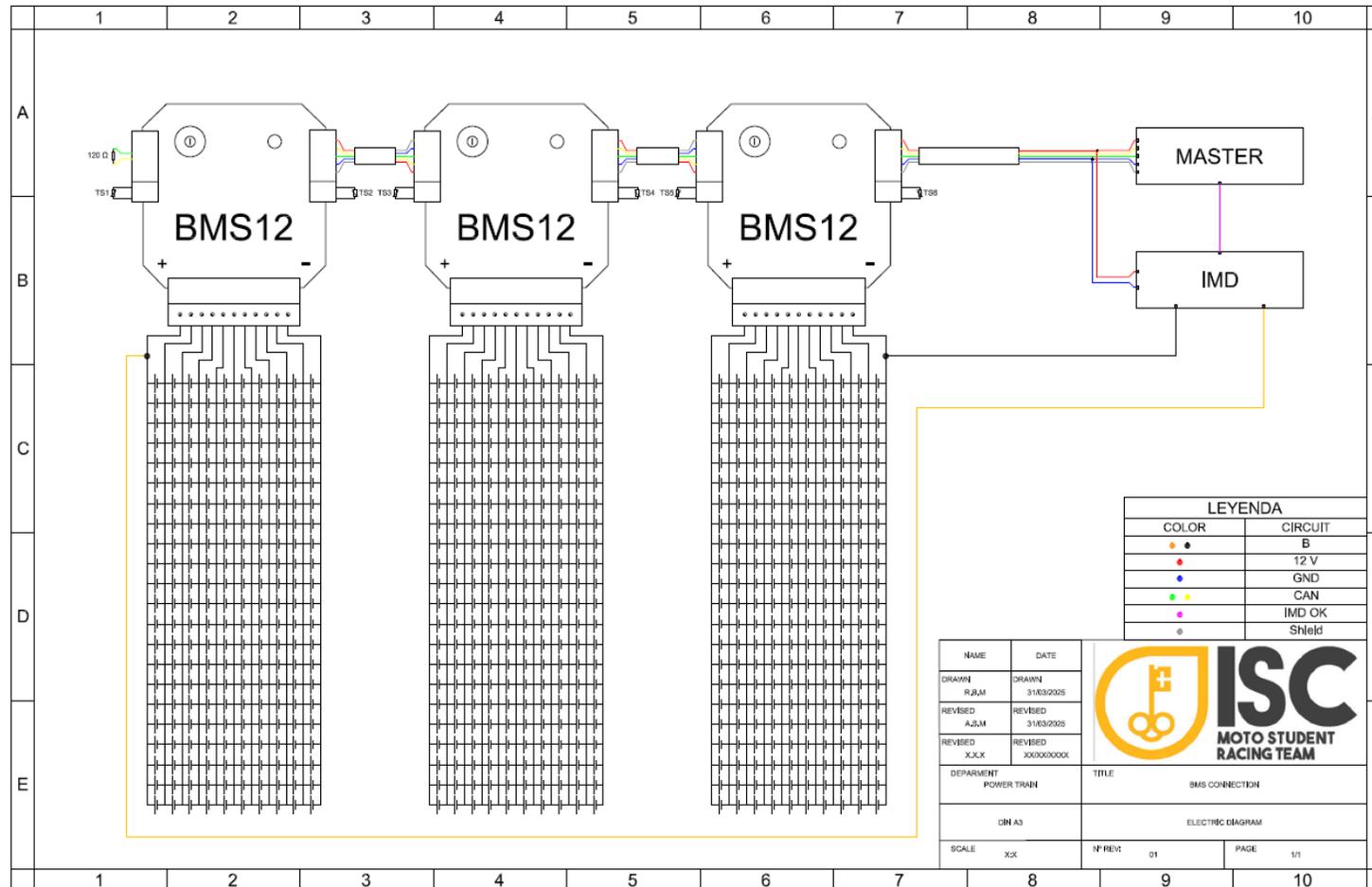


Figura 48: Cell Electric Scheme

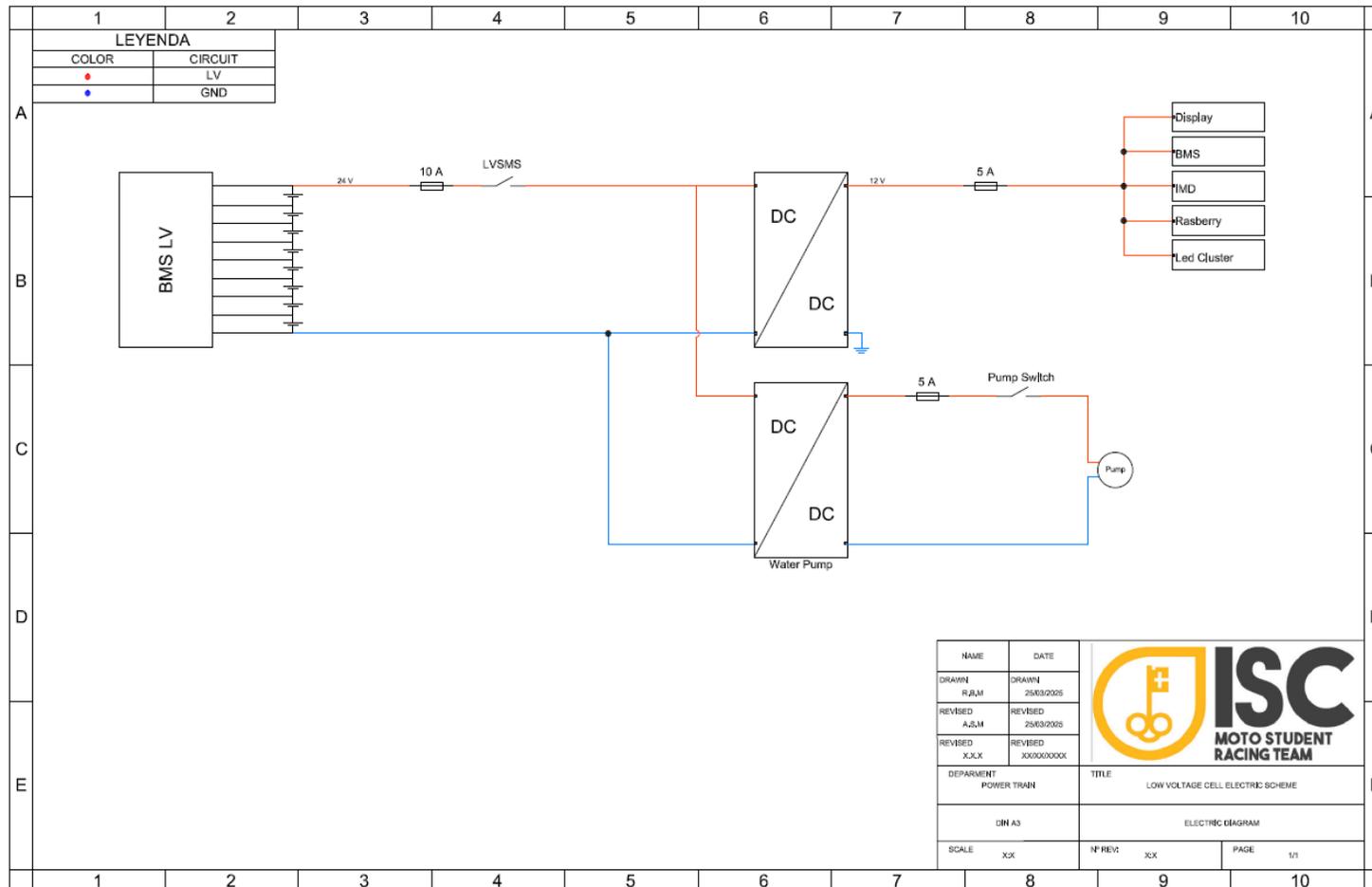


Figura 49: Low Voltage Cell Electric Scheme

5.3.2 RUTADO DE CABLES

En esta sección se pretende mostrar el diseño del harness de la motocicleta, así como su rutado en la misma. El “Harness” se define como el conjunto de cables y conectores organizados de manera que se puedan alimentar o transmitir señales eléctricas entre los distintos componentes del sistema eléctrico de la moto.

En ediciones anteriores, no se diseñaba un harness específico para la motocicleta, sino que se realizaba el conexionado según convenía en cada caso. En esta edición, se propuso el diseño de un harness que unificará todo el cableado externo de la moto, y que supusiese un nuevo avance en el desarrollo de la misma. Esta idea, fue la que dio la importancia a este proyecto y principalmente sobre la que se quiere establecer una primera base.

Tener un harness bien diseñado permite extraer el mismo en caso de que se desea trabajar en la motocicleta. Esta idea es fundamental, pues tener la capacidad de apartar el cableado externo en cualquier momento aporta seguridad a las personas que se encuentran trabajando en la motocicleta y evita errores que puedan dañar el cableado durante estos trabajos.

Una vez conocido qué es el harness y su utilidad, es imprescindible marcar la ruta que seguirá para su diseño. Para ello, se debe realizar un análisis de la mecánica o de los elementos que se interponen en el camino de los cables.

El principal problema en el diseño del harness en la motocicleta es el espacio. Existen zonas por las que el espacio es muy reducido, en concreto en las zonas laterales de la batería, lo que supone un punto crítico. Por todo ello, es clave la optimización del harness, con el fin de conseguir la menor sección posible.

En esta edición, además se tiene la ventaja de que la batería es más estrecha que en la edición anterior, con lo que se gana un espacio clave. En concreto la diferencia es de unos 10 mm por lado, que, aunque pueda parecer poco en estas condiciones supone una gran diferencia.

Por todo ello, en las siguientes figuras se muestra el camino que se pretende seguir con el harness. A su vez, se muestran los componentes que conforman el harness, junto con las vistas frontales de los conectores y las etiquetas externas que se situaran en dicho harness, con el fin de evitar errores en la conexión de este. Asimismo, se muestra tanto el cable físicamente como internamente, y la distribución de los cables dentro del mismo.

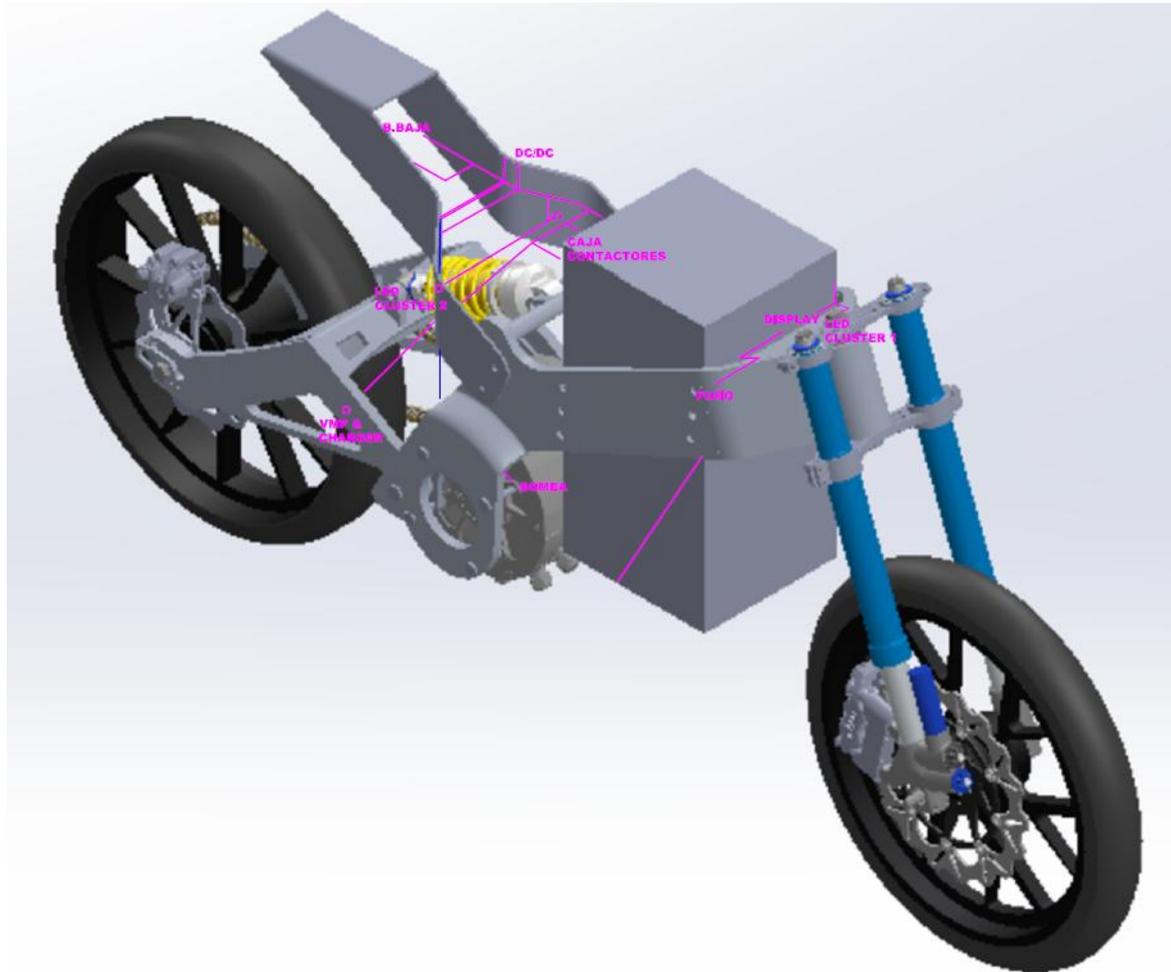


Figura 50: Vista isométrica del rutado del harness

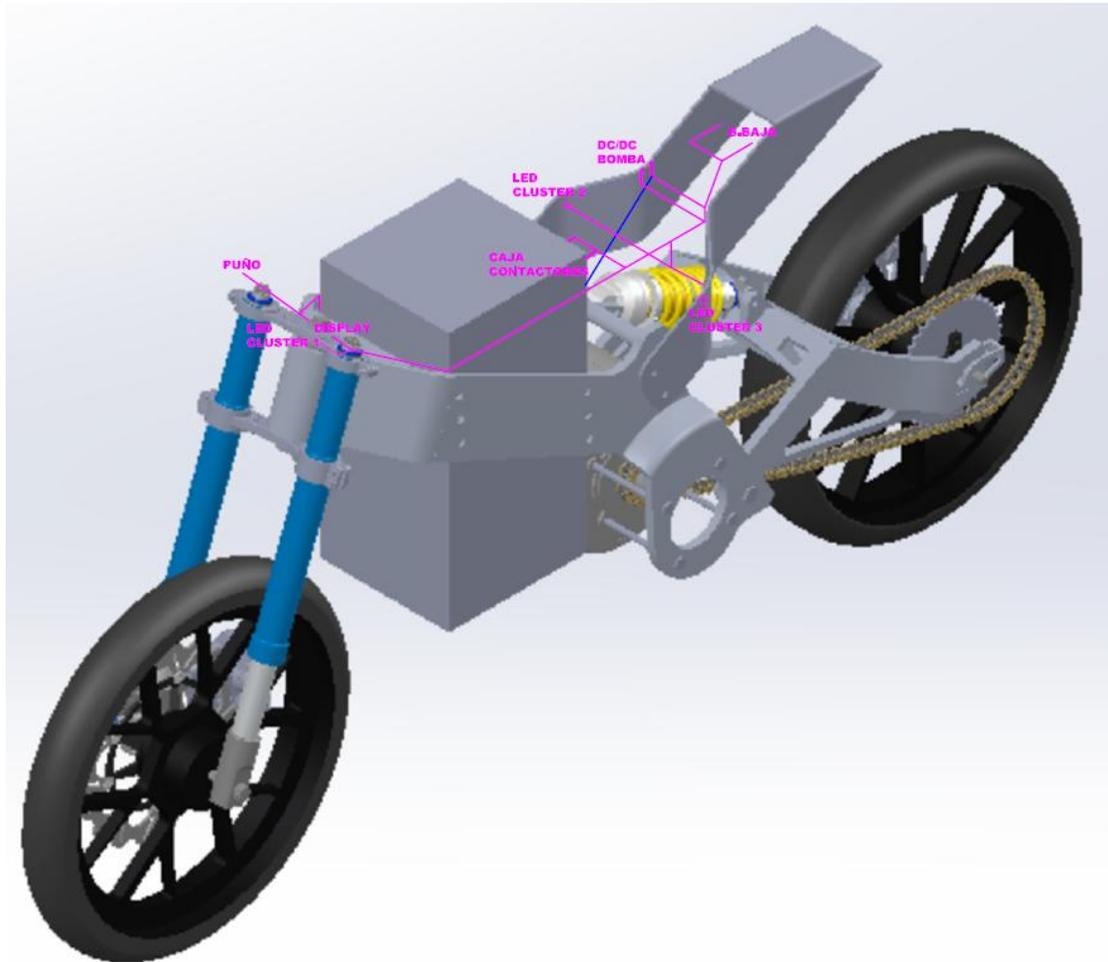


Figura 51: Vista isométrica del rutado del harness

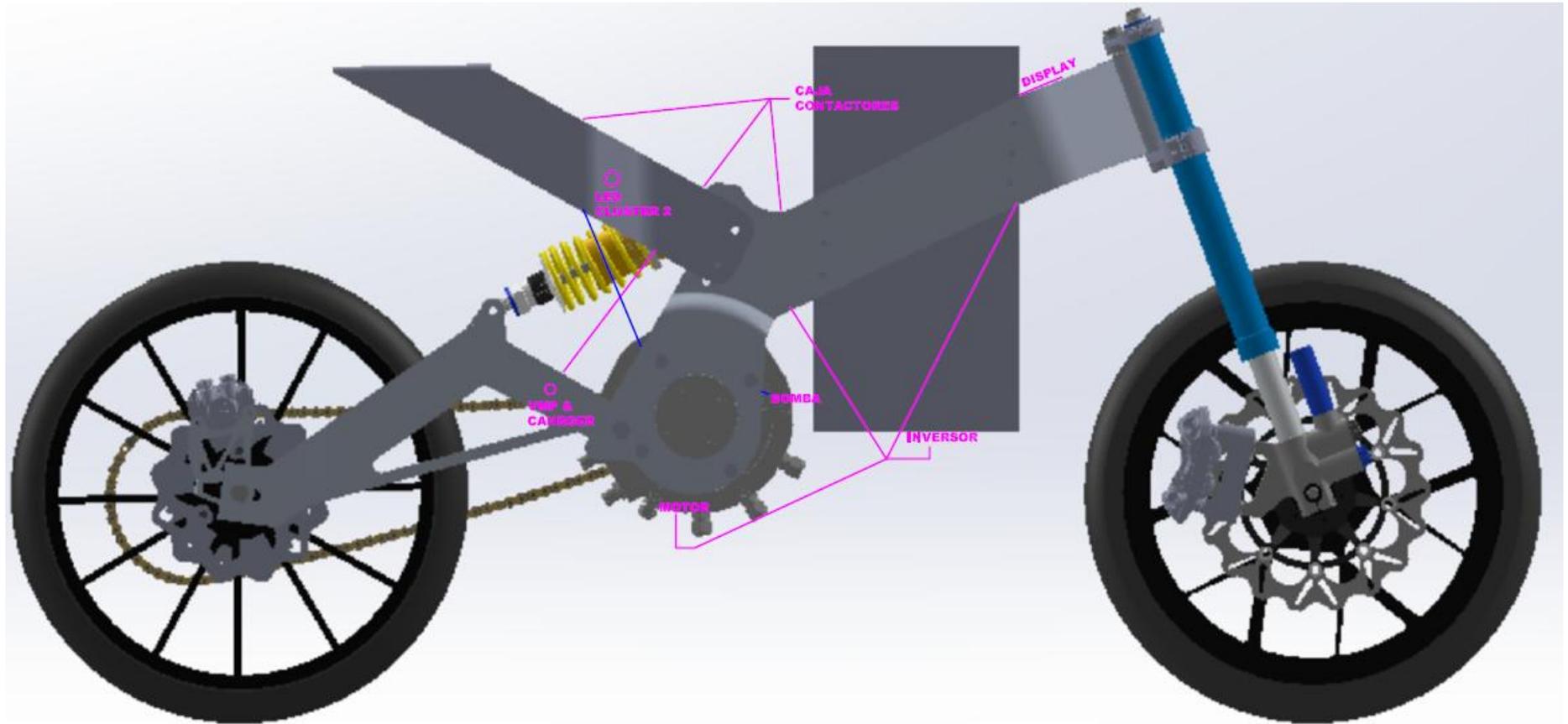


Figura 52: Vista lateral del rutado del harness

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ITEM	REF. MANUFACTURER	DESCRIPCIÓN			CANTIDAD		UN		
1	T4201005x5	SINGLE WIRE AWG16			6930		MM		
2	9572	TWISTED WIRE AWG16			9100		MM		
3	400R0111-24-9	SINGLE WIRE AWG24			3000		MM		
4	M27500-22ML2T08	TWISTED SHIELDED WIRE AWG22			1100		MM		
5	M27500-22ML3T08	TWISTED SHIELDED WIRE AWG22 3 CORES			4250		MM		
6	74005 GR002	TWISTED SHIELDED WIRE AWG22 4 CORES			3900		MM		
7	55A0111-22-3	SINGLE WIRE AWG22			2100		MM		
8	250-6135	12 PIN CONNECTOR			5		UN		
9	250-6139	17 PIN CONNECTOR			3		UN		
10	APTIV 12047937	MOTOR CONNECTOR			1		UN		
11	Amphenol 776164-1	INVERTER CONNECTOR			1		UN		
12		RAY SHIELD			5500		MM		
13		LABEL			10		UN		

LABEL A	LABEL B	LABEL C	LABEL D	LABEL E	LABEL F	LABEL G	LABEL H	LABEL J	LABEL K

Vista A	Vista B	Vista C	Vista D

NAME	DATE	
DRAWN RJJM	DRAWN 10/06/2025	
REVISED AJM	REVISED 11/06/2025	
REVISED XJLX	REVISED XXXXX/XXXX	
DEPARTMENT POWER TRAIN	TITLE HARNESS MOTOSTUDENT	
DIN A3	ELECTRICAL DIAGRAM	
SCALE XX	Nº REV: 00	PAGE 10X

Figura 53: Plano harness

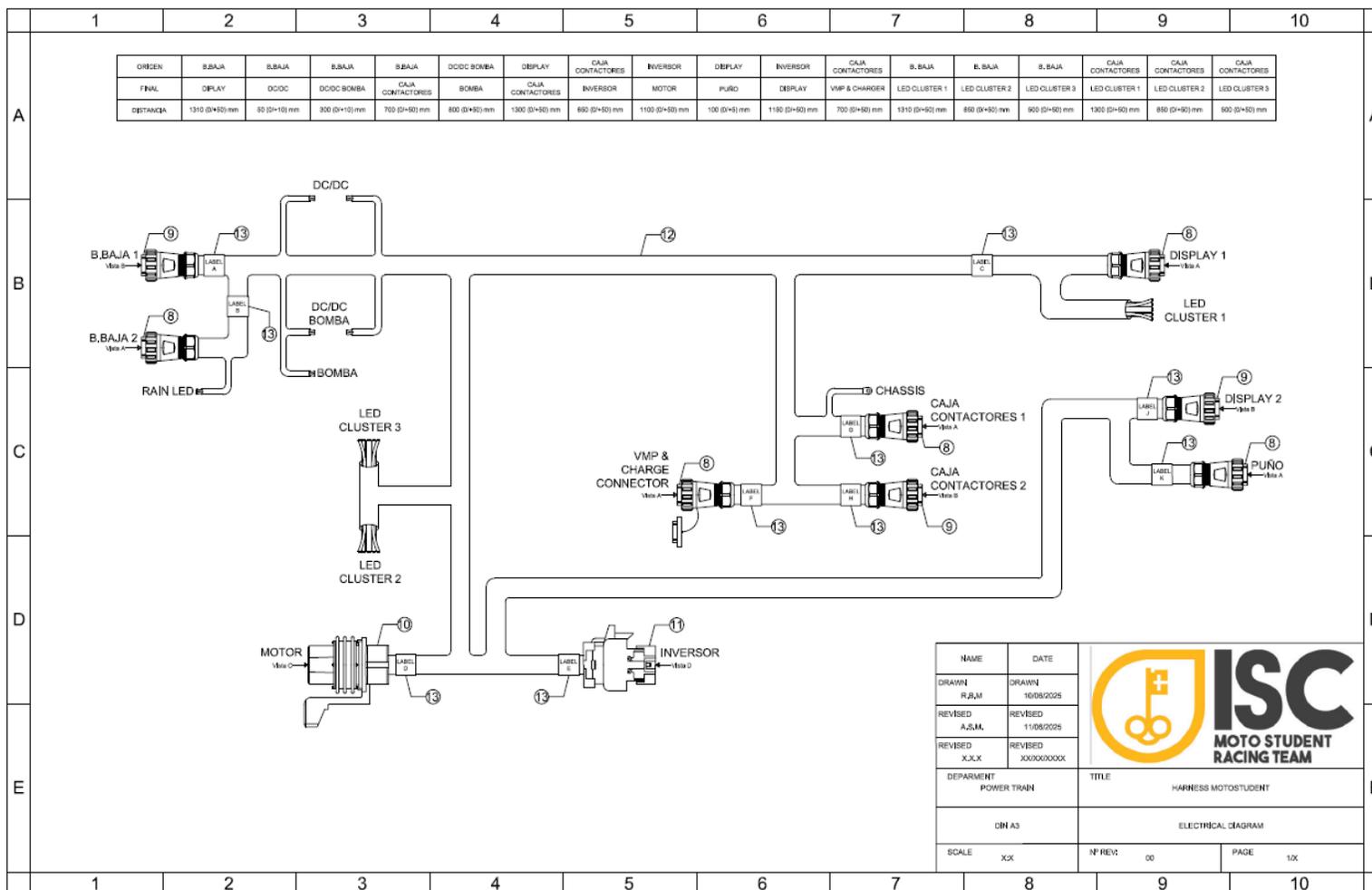


Figura 54: Plano harness

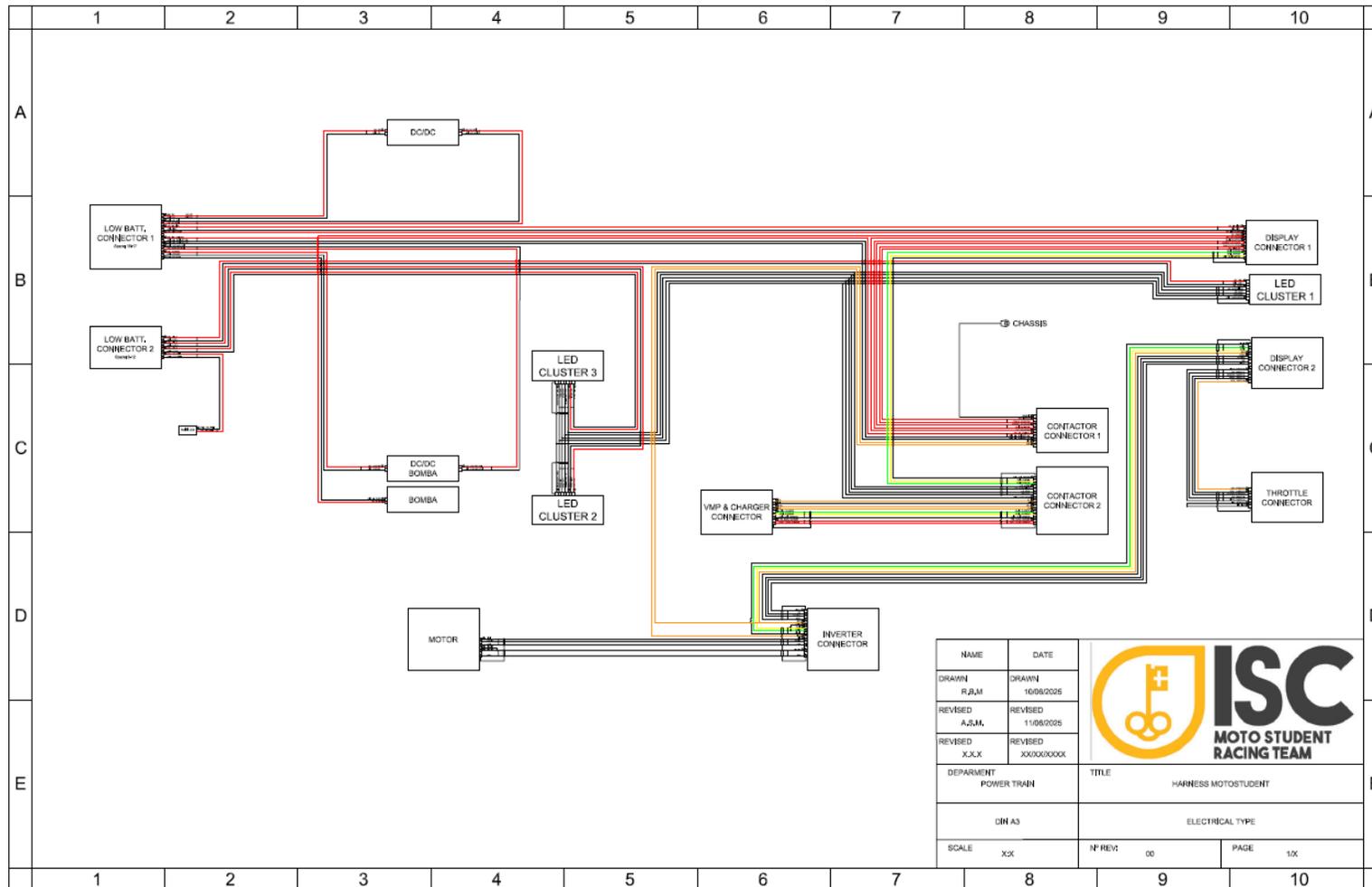


Figura 55: Plano harness

5.3.3 COMPONENTES ELÉCTRICOS

En esta sección se van a explicar todos los componentes que forman parte del PowerTrain de la motocicleta eléctrica, profundizando en su funcionamiento y en el modelo empleado para el desarrollo de la moto que competirá en la edición VIII de MotoStudent. Se desarrollarán las protecciones, los elementos eléctricos establecidos en la normativa y los componentes que permiten su conexionado.

En esta competición, todos los componentes de HVS deben ser capaces de soportar tanto agua como polvo, pues han de pasar una prueba establecida por la competición.

- D.1.2.10 | Any component or container of the HVS must be protected against moisture and water in the form of rain or puddles.

Figura 56: Tipo de protección que deben tener los componentes

- E.5.4.4 | Water will be projected simulating the effect of fine rain over the prototype in different directions for a minimum period of 60 seconds. Under no circumstances will high pressure jets be projected towards the prototype.

Figura 57: Prueba de rain check

5.3.3.1 MÁSTER

La máster es una tarjeta PCB (Printed Circuit Board) desarrollada por el propio equipo. Aunque en este trabajo no se vaya a detallar el proceso de diseño de esta, y los componentes que la forman, a excepción de los relés, es importante mencionarla. Si se explicará su conexión y pineado con el resto de los elementos del sistema.

La máster se podría considerar como el cerebro de la motocicleta. Esta placa es la que controla todos los circuitos desarrollados mediante códigos internos previamente codificados. Además, tiene la ventaja de poder compactar gran cantidad de componentes y funciones en un espacio muy reducido. Esto la convierte en un elemento clave para el desarrollo de la moto.



Figura 58: Ejemplo de una tarjeta PCB [46]

5.3.3.2 VOLTAGE MESURING POINT (VMP)

El Voltage Measuring Point (VMP) consiste en un conjunto de terminales con el objetivo de comprobar el estado del sistema eléctrico de alta tensión. Es por ello que debe estar situado de manera externa, con el propósito de facilitar la medición de las tensiones, ya comentadas anteriormente, a los miembros de la organización.

Como se comenta en el artículo D.7.3.1 de normativa, para la conexión de dichas tensiones se debe emplear un conector de al menos 4 pines, con un mínimo de clasificación de IP66D⁵ y una tensión nominal superior a 500 VDC. Además, también se detalla que es obligatorio proteger el pin “HV+” con un resistor de 120 K Ω .

La resistencia empleada es la típica empleada en electrónica y será dispuesta en serie desde el pin HV+. Esta resistencia no permitirá la circulación de grandes intensidades incluso en caso de cortocircuito.



Figura 59: Resistencia 120 K Ω

⁵ Grado de protección total contra contacto y hermeticidad contra polvo y chorros de agua potentes. [84]

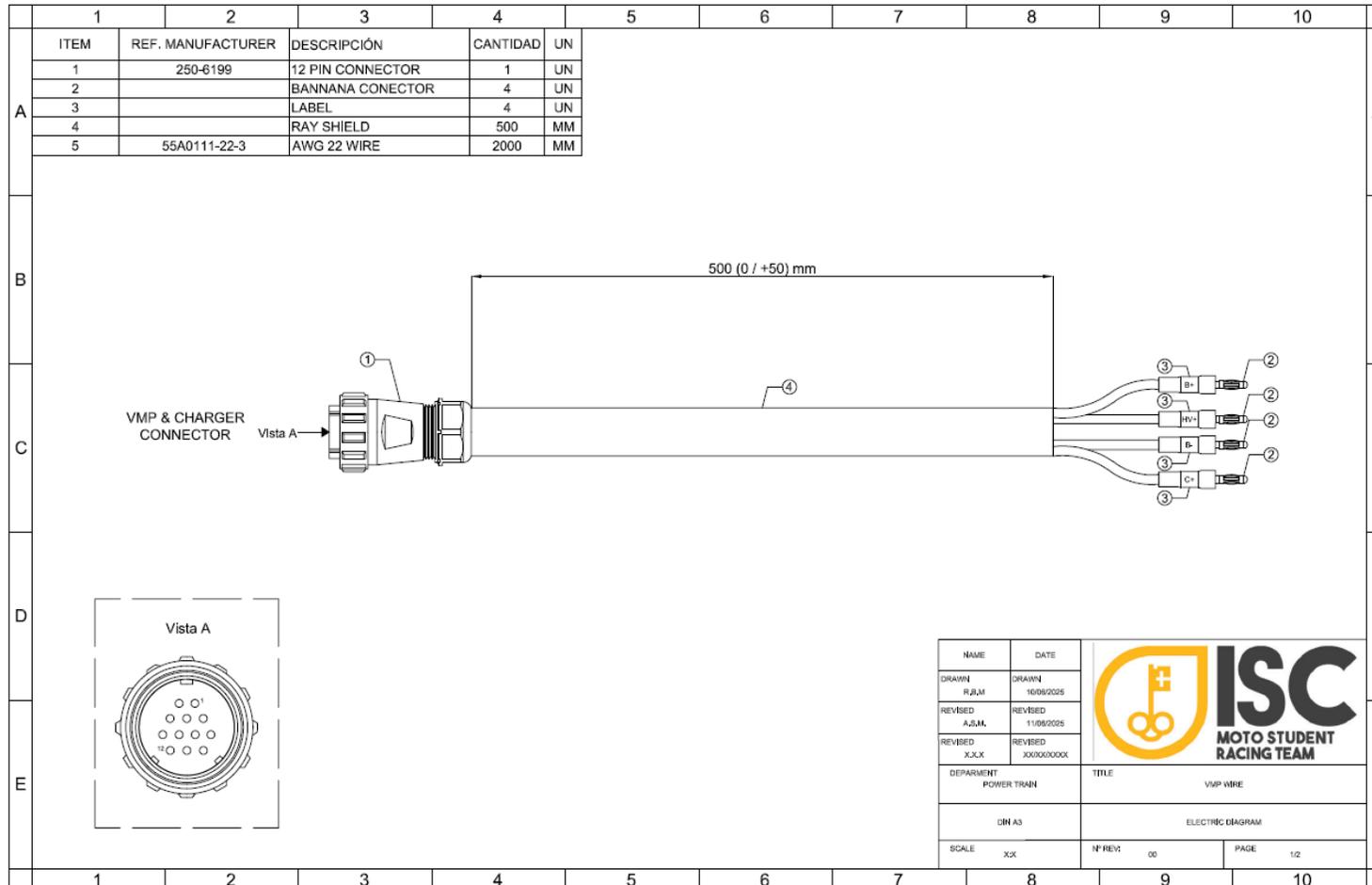


Figura 60: Forma física VMP

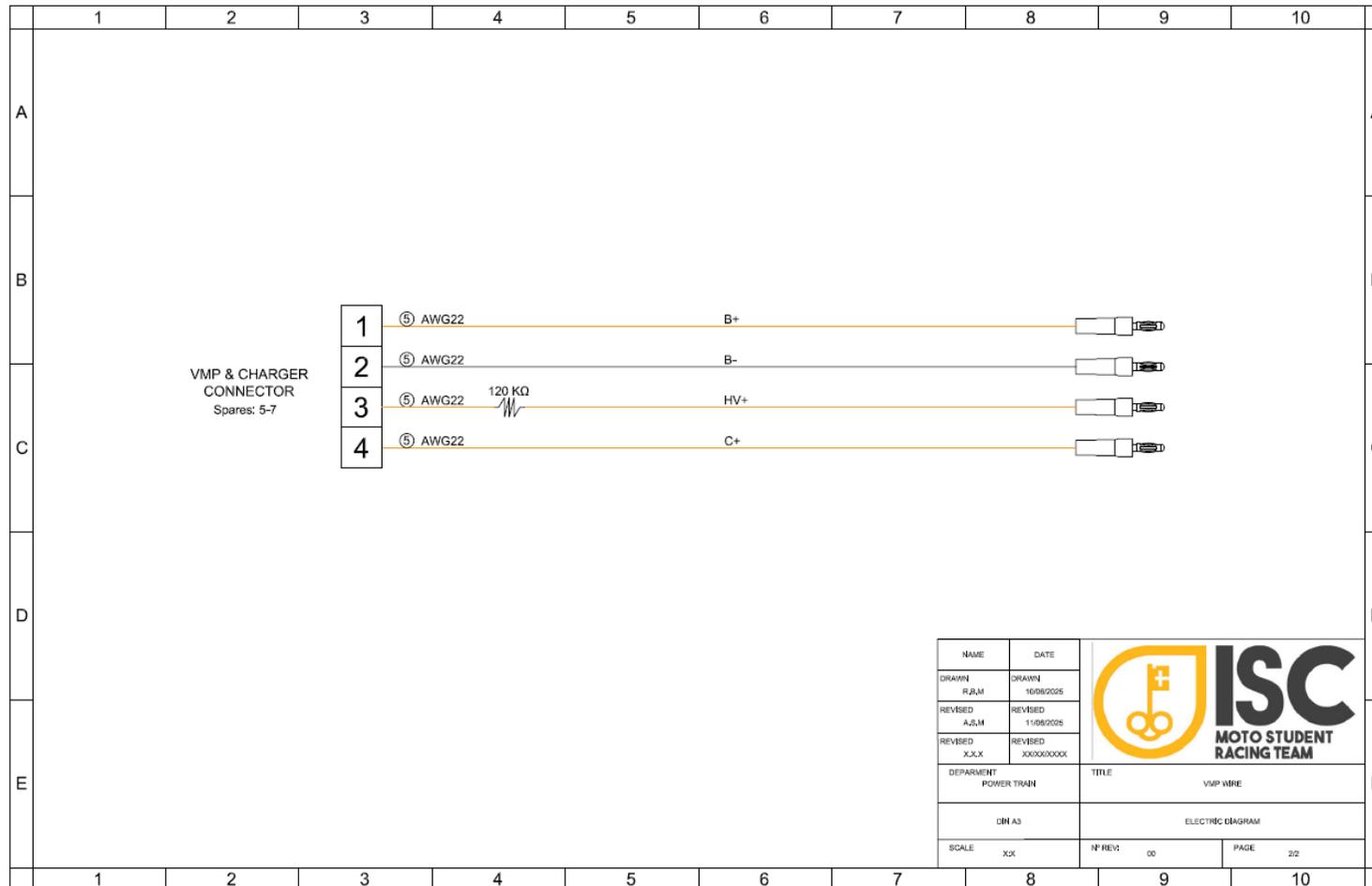


Figura 61: Cableado interno VMP

5.3.3.3 PROTECCIONES

Las protecciones eléctricas son aquellos elementos encargados de proteger tanto a los distintos elementos del vehículo como a las personas. Son de carácter obligatorio por la normativa, por lo que no se pueden obviar en el diseño de la motocicleta de competición.

5.3.3.3.1 BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS)

El componente conocido como BMS (Battery Management System), es un elemento electrónico fundamental para el correcto funcionamiento, el máximo rendimiento y protección de la batería. Entre sus funciones destacan:

- Monitoreo del voltaje de cada celda con el fin de verificar que se encuentran en los límites seguros de funcionamiento.
- Control de la corriente entrante y saliente del acumulador.
- Supervisión de la temperatura de la batería, para protegerla de sobretemperaturas que puedan dañar su estado.
- Estimación de la energía restante en la batería, así como de su vida útil en el momento.
- Equilibrio de carga de las celdas, con el objetivo de prologar su vida útil y asegurar el rendimiento más uniforme posible. Realmente este proceso lo realizan los balanceadores, que pueden ser tanto internos como externos al BMS, e incluso no estar presentes, sin embargo, esto no es lo común.

Por todas estas razones, y con el propósito constante de protección del acumulador, el BMS es capaz de desconectar la batería en caso de estado anómalo, como sobrecargas, cortocircuitos o sobre temperaturas. A su vez, este componente se conecta con otros sistemas, reportando constantemente el estado de la batería en cada momento.

Existen diferentes topologías de BMS, pudiendo diferenciarse por arquitectura y por tipo de balanceo de carga. En cuanto a la arquitectura, se dividen en BMS centralizado, BMS distribuido y BMS modular, mientras que, por tipo de balanceo, podemos diferenciarlos en balanceo pasivo y balanceo activo. Cada uno de ellos presenta sus propias características y sus ventajas.

En primer lugar, la clasificación por arquitectura se refiere a la distribución interna de este componente. Como se ha mencionado existen 3 tipos:

Arquitectura centralizada: Unifica el monitoreo y control de la batería en una única unidad. Esto permite que se realice el control de la manera más equilibrada posible con un diseño simple y eficiente. A su vez gracias a su control individual, asegura que las celdas contribuyan de la manera más idónea prolongando así la vida útil de la batería.

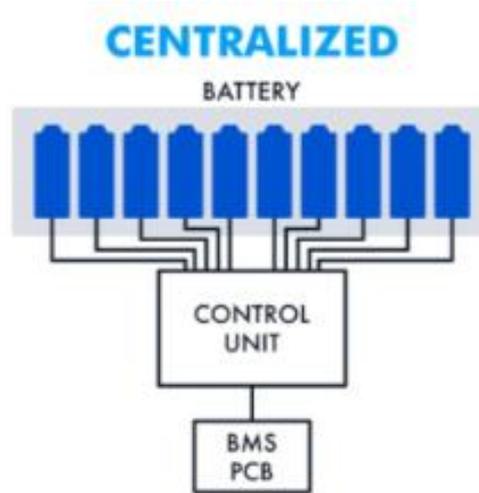


Figura 62: Estructura de un BMS centralizado [47]

- **Arquitectura distribuida:** Al contrario que la topología centralizada, este tipo de BMS distribuye sus funciones en varias unidades y destaca por su redundancia y escalabilidad⁶. Esto es de gran ayuda, ya que permite que el sistema sea más robusto, permitiéndole manejar altas densidades de carga.

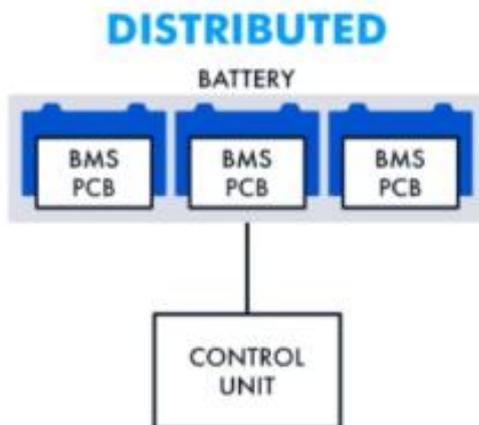


Figura 63: Estructura de un BMS distribuido [47]

- **Arquitectura modular:** Este tipo de arquitectura combina los elementos de los anteriores, permitiendo un escalado sin límites junto con un fácil mantenimiento y actualización. Su mayor ventaja se encuentra en su control granular sobre cada módulo de la batería, asegurando la mayor protección, rendimiento y eficiencia de la manera más óptima.

⁶ La escalabilidad se refiere a la capacidad que tiene el BMS para controlar mayor número de celdas o voltaje.

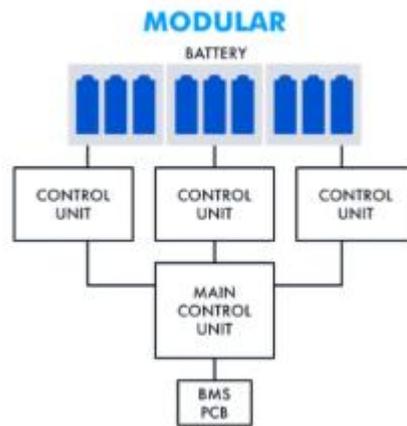


Figura 64: Estructura de un BMS modular [47]

En segundo y último lugar, el tipo de balanceo es necesario para alargar al máximo la vida útil de la batería y su maximizar su rendimiento. Como bien se comentó, realmente lo realizan los balanceadores, que son circuitos físicos que distribuyen la energía por orden del BMS. Como también se mencionó, existen los tipos de balanceo activo y balanceo pasivo.

- Balanceo activo: Este método consiste en una redistribución de la energía entre celdas. Con ello se consigue una mayor eficiencia y mejor mantenimiento de la capacidad de la batería. Como inconvenientes encontramos un mayor coste y complejidad.
- Balanceo pasivo: Su funcionamiento se basa en la disipación de energía en forma de calor a través de resistencias externas. Al realizarse este proceso, se tiene una menor eficiencia, contrarrestada por diseño más simple y económico. [48]

La conexión del BMS es más simple de lo que parece. Al monitorear las celdas de manera individual el número de cables total será igual al número de celdas en serie más uno. Entre ellos encontramos un cable negativo común para todo el acumulador y se conectará un cable “positivo” conectado a cada punto intermedio entre las celdas. [49]

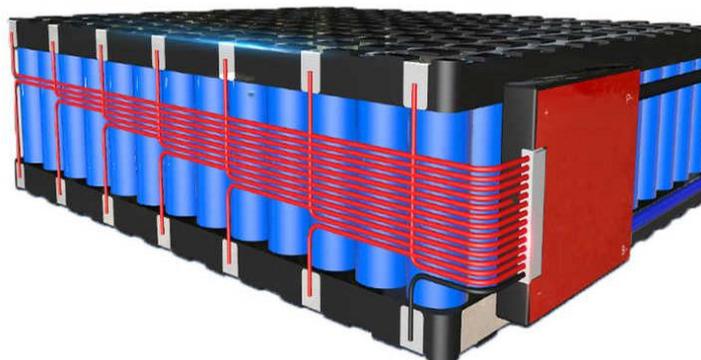
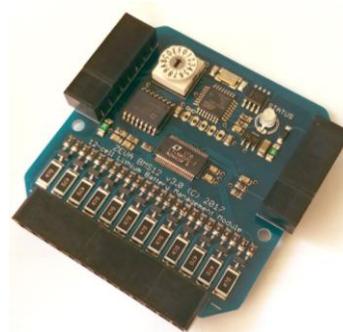


Figura 65: Conexión del BMS a la batería [50]

En las últimas ediciones se empleó el ZEVA BMSv3. Según el artículo D.3.5.7, es obligatorio el balanceo de celdas, pudiéndose ser de manera externa o interna en el BMS y de manera activa o pasiva. Dado a su correcto funcionamiento se decide continuar utilizándolo en este nuevo proyecto. Sus especificaciones son:

Tabla 17: Datasheet del ZEVA BMSv3 [51]



Celdas serie	3 – 12 celdas
Máximo Voltaje Módulo	60 V
Rango de medición de celdas	0 – 5 V
Rango de temperatura	
Comunicación	CAN
Alimentación CAN	12 V
Dimensiones	67 x 67 x 11mm (excluyendo los conectores)
Peso	35 g

Este BMS, de tipo modular y con balanceo pasivo, se comunica mediante el protocolo CAN con un controlador maestro, en nuestro caso la máster. Debido a que los módulos son de 10 celdas en serie, serán necesarias 3 unidades de este BMS y no se realiza la conexión de todos sus pines. La conexión se debe realizar como se refleja en la Figura 66.

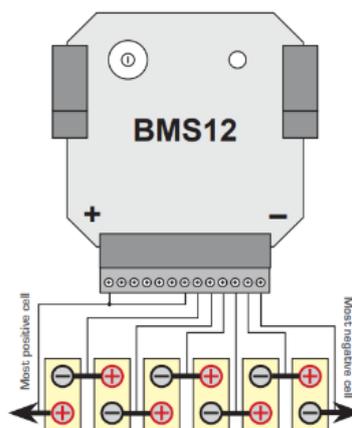


Figura 66: Conexión del BMS con menos de 12 celdas serie [51]

5.3.3.2 INSULATION MONITORING DEVICE (IMD)

El IMD (Insulation Monitoring Device) es un elemento esencial entre las protecciones eléctricas de un vehículo eléctrico. Su función consiste en monitorear continuamente la resistencia de aislamiento o como se define en el artículo D.4.2.1, asegurar el correcto aislamiento entre el circuito de alta tensión y el chasis de la motocicleta. Como en el caso del BMS, existen distintos métodos de funcionamiento de este componente.

- **Funcionamiento por puente equilibrado:** Este modo de funcionamiento se basa en la configuración del puente de Wheatstone. Este es un circuito eléctrico con cuatro resistencias, de las que tres son conocidas, y con el que se pueden medir resistencias desconocidas con gran precisión.

Su funcionamiento es siempre, el IMD establece una tensión conocida. En caso de un correcto aislamiento el puente permanecerá equilibrado, mientras que, si no es así, fluirá una corriente a través del medidor y que indicará falta.

Este método tiene la gran ventaja de tener un diseño simple y fiable en sistemas de resistencias de aislamiento estable, aunque es altamente sensible a cambios de temperatura y comete errores de medida con redes complejas o de alto voltaje. [52]

- **Funcionamiento por puente desequilibrado:** Su funcionamiento es el contrario al caso anterior. En este caso se introduce una tensión que provoque un desequilibrio en el puente. Interiormente, el IMD mide tanto las tensiones como las variaciones obtenidas y evalúa el estado del aislamiento. Este método es especialmente útil para resistencias de aislamiento con cambios dinámicos. [52]

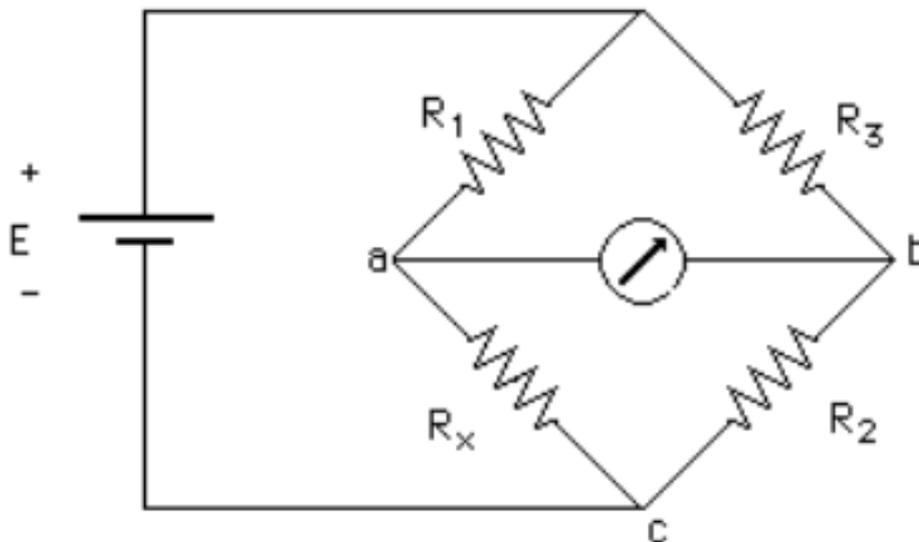


Figura 67: Puente de Wheatstone [53]

- **Funcionamiento por inyección de señal:** Este es el método más avanzado empleado por los IMD en vehículos eléctricos. Se basa en la inyección de una señal de corriente alterna o continua con el fin de monitorizar el estado del aislamiento de manera activa. En caso de un mal aislamiento, la señal se filtrará hacia tierra, mientras que, en el caso contrario, el aislamiento no permitirá su paso. En algunos casos, el IMD es capaz de detectar la localización exacta de la perturbación, aportando gran precisión. Otra de sus ventajas es la capacidad de trabajar de forma continua, pero requiere de circuitos complejos de procesamiento. [52]

Según el artículo D.4.2.2 de la normativa, el IMD es completamente obligatorio. Además, en este mismo documento, se indica que será aportado por la competición.

El modelo suministrado es el BENDER ISOMETER IR155. Se puede emplear tanto para corriente alterna como para corriente continua, y gracias a su diseño optimizado, se consigue ahorrar gran cantidad de espacio, siendo por ello muy recomendado para vehículos eléctricos o híbridos. Además, este componente cumple con gran cantidad de requisitos ambientales.

Entre sus características más destacadas encontramos:

- Adecuado para sistemas de 12 V y 24 V
- Autotest automático
- Medición de la resistencia de aislamiento entre 0 – 10 M Ω
- Detección de derivaciones a tierra y de interrupciones del contacto a tierra
- Vigilancia de aislamiento en AC y DC para tensiones 0 – 1000 V
- Detección de subtensiones por debajo de 500 V



Figura 68: BENDER ISOMETER IR155 [54]

5.3.3.3 RELÉS

Los relés son interruptores electromecánicos o electrónicos que permiten el control de un circuito mediante señales de baja tensión. Estos se abren o cierran mediante la acción de una bobina y se clasifican en normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrados (NC). Por último, un resorte los devuelve a su posición de inicio cuando la bobina deja de ser alimentada.

- Contactores Normally Open (NO): Sus contactos se encuentran abiertos hasta su activación y, en consecuencia, el cierre de los mismo. Este tipo es el más común.
- Contactores Normally Closed (NC): Al contrario que el caso anterior, estos inicialmente se encuentran cerrados.

Los relés a su vez pueden clasificarse en:

- Relés electromecánicos: Estos son los más comunes y económicos. Se basan en la apertura y cierre de contactos de manera física.
- Relés de estado sólido: Estos no tienen partes móviles, funcionando mediante el uso de componentes electrónicos.

En esta edición de MotoStudent se necesitan dos relés en el circuito de alta tensión. El que en la Figura 45 se ha nombrado Key Relay, encargado de la precarga del inversor, y el que se encuentra previamente al contactor principal, a la salida de NLC.

En el circuito de baja tensión ha sido necesario implementar un relé extra para la alimentación de la bobina del contactor. Por último, los relés que del IMD y BMS, se encuentran rutados y programados dentro de la máster.

Todos los relés electromecánicos son del mismo tipo. En concreto el modelo usado es el relé RTE25012. Este es un relé con terminales tipo Faston, los cuales permiten una rápida y segura conexión o desconexión, al no ser necesario el uso de soldaduras. Esto hace que sean ideales para mantenimiento o en caso de sea necesario el cambio del relé por error. Sus características principales son:

Tabla 18: Datasheet RTE25012 [55]



Tipo	Electromecánico
Tensión nominal de la bobina	12 VDC
Corriente nominal del contacto	30 A
Tensión máxima de conmutación	75 VDC
Estado de los contactos	Terminales Faston
Tipo de conexión	Normalmente abierto (NO)
Temperatura de operación	-40° - 85°

5.3.3.4 CONTACTORES

El contactor es un dispositivo electromagnético empleado en la apertura y cierre de circuitos de potencia. Aunque su funcionamiento es similar a la de los relés, estos no son iguales, ya que permiten manejar corrientes mucho más elevadas. Su función principal es el control del flujo eléctrico, mediante el permiso o interrupción de la corriente.

Un contactor, consiste en una bobina electromagnética, que cuando es alimentada, en este caso por baja tensión (24 V), genera un campo magnético que provoca el cierre o apertura de los contactos internos, permitiendo de esta manera el paso o interrupción de la corriente. En caso de que dicho voltaje deje de aplicarse, se deja de excitar la bobina, volviendo a su estado original.

Los contactores pueden ser clasificados por varias características, entre las que destacan por tipo de corriente, por tecnología interna y por forma de control.

- Por tipo de corriente: Encontramos los contactores diseñados para corriente alterna y los diseñados para corriente continua:
 - Por AC: Tienen la ventaja de que, gracias al paso por cero de la corriente, su interrupción es más fácil.
 - Por DC: Al no producirse el cruce por cero, requieren un diseño específico para la misma capacidad de corte que los anteriores.

- Por tecnología interna: Podemos diferenciar de nuevo 4 tipos:
 - Contactores electromagnéticos convencionales: Basado en el campo magnético generado por una bobina al ser alimentada por un voltaje, provocando el cierre o apertura de los contactos de manera mecánica. Son los más comunes y de menos coste.
 - Contactores sellados herméticamente: Son la evolución del contactor electromecánico, con el cuerpo completamente cerrado y sellado. Presentan una mayor capacidad de ruptura que los anteriores, pero su precio es más elevado.
 - Contactores de retención o bistables: Son contactores que se quedan en su posición una vez reciben el pulso que los activa. Tienen la ventaja de no consumir energía mientras mantienen su estado, por lo que son ideales para equipos auxiliares pequeños.
 - Contactores de estado sólido: Son contactores que no tienen partes móviles, al tratarse de componentes electrónicos. Tiene la gran ventaja de ser extremadamente rápidos, sin embargo, no permiten el corte de grandes corrientes sin sufrir daños.
- Por forma de control: Dentro de esta categoría se subdividen en normalmente abiertos (NO) y normalmente cerrado (NC), con el mismo significado que en los relés.

Conociendo todo esto podemos realizar la elección de los dos contactores necesarios para esta edición de MotoStudent. En la normativa, en concreto el artículo D.4.4.1, se especifica que el contactor de línea debe ser del tipo electromecánico normalmente abierto, y controlado por el HVS Disconnection Circuit.

Por todo ello, para el contactor de línea que se empelarán los de la marca GIGAVAC. Estos contactores fueron empleados en la edición anterior, dando buenos resultados. Además, con ellos disminuyó el problema recurrente de ediciones anteriores de enclavamiento de los contactores por una mala precarga del inversor, aunque no los evito completamente, como ocurrió en las pruebas realizadas en el circuito del Jarama. A pesar de ello, como se ha comentado en el apartado de los Relés, con la implementación del nuevo relé intermedio se espera el correcto funcionamiento de este.

Para su elección, además se ha tenido en cuenta que la tensión máxima que deben soportar es de 126 V aproximadamente y una corriente máxima de 500 A, establecida por el motor. Además, se sabe que su bobina debe ser alimentada por 12 V.

El modelo empleado en esta edición será el GIGAVAC GV200CAB-1. Este contactor cumple con todas las características preestablecidas a excepción de la alimentación de 12 V en la bobina. En este caso se debe alimentar con 24 V para su correcto funcionamiento y es por ello,

que como se comentó en el apartado de los relés, es necesario añadir un relé extra en el circuito de baja tensión, como se refleja en la Figura 45.

Tabla 19: Características GIGAVAC GV200CAB-1 [56]



Tensión mínima bobina	16 V
Tensión nominal bobina	24 V
Tensión máxima bobina	32 V
Corriente de contacto máxima	500 A
Tensión máxima del contactor	800 V
Clasificación IP	IP67
Estado de los contactos	Normally Open (NO)
Tipo	Herméticamente sellado con supresión integrada de la bobina ⁷
Ciclos de vida	1000000
Precio	147,16 €

Para el contactor de carga, se ha seleccionado el mismo contactor al empleado el en contactor de línea. En la edición anterior se empleó un relé para esta función, sin embargo, en esta edición se decide el cambio de este con el objetivo de aumentar la seguridad, confinando el posible arco que aparecería en caso de cortocircuito en el interior del contactor.

La ventaja de no emplear el mismo contactor tanto para carga como para descarga es separar ambos circuitos, de tal manera que no se toque el conector de descarga cuando se cargue la moto. Gracias a esto, se evitan posibles fallos o errores. Además, una segunda ventaja que encontramos en el uso de dos contactores es la posibilidad de prolongar el número de ciclos de vida de los mismo.

⁷ Este tipo significa que el contactor tiene un circuito o componente interno que permite la reducción o eliminación de pico de tensión en la desconexión de la bobina.

Por último, hay que destacar que el número de ciclos de vida se ve afectado por la corriente que circula por el contactor. Esto afectará principalmente al contactor de línea, pues debe soportar altas intensidades.

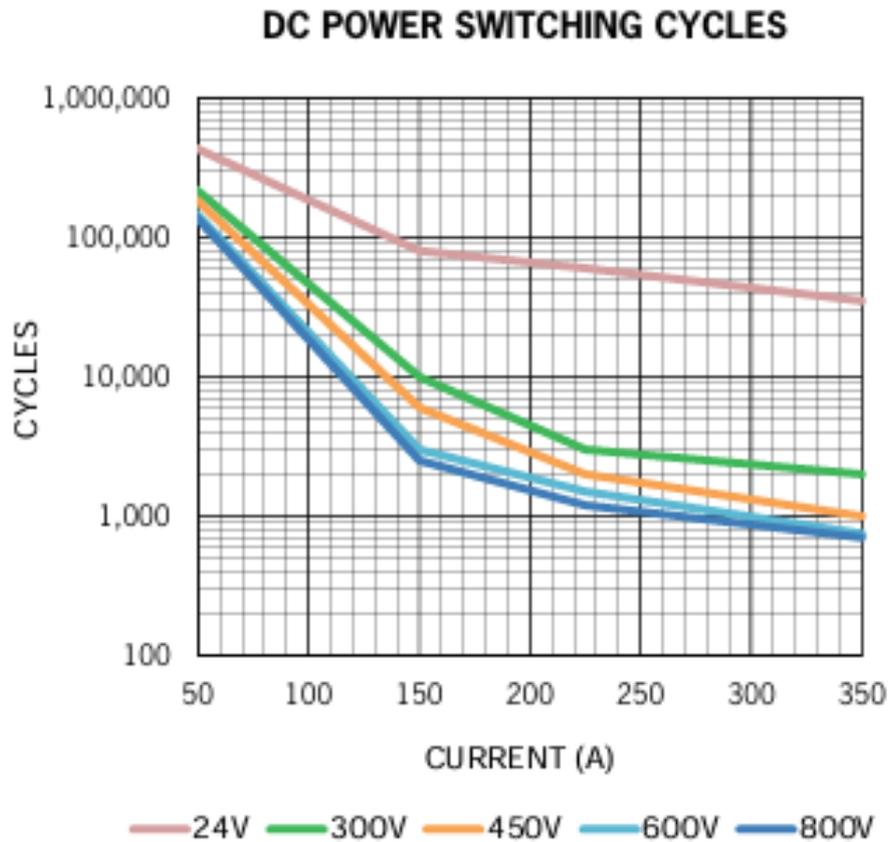


Figura 69: Ciclos de vida en función de la tensión del contactor y la corriente circulante

5.3.3.3.5 FUSIBLES

Los fusibles son protecciones pasivas fundamentales en los sistemas eléctricos, evitando daños en los equipos y protegiendo a las personas de posibles daños. Su función principal consiste la interrupción de corriente de manera rápida cuando esta supera el límite establecido, es decir, por sobre corrientes.

El funcionamiento básico de un fusible se basa en los efectos térmicos de la corriente eléctrica. En su interior, un elemento metálico de bajo punto de fusión y alta conductividad se calienta y derrite rápidamente en caso de condiciones superiores a las establecidas. Los puntos a partir de los cuales se produce esto vienen determinados por la curva característica del fusible.

A través de la curva característica podemos elegir el fusible adecuado para cada caso, asegurado la eficiencia y operación de este en caso de situación anómala. En esta misma gráfica se observa

el tiempo de actuación del fusible para distintas corrientes. No obstante, previamente también se debe tener en cuenta la tensión que debe soportar el fusible.

En resumen, para la elección de un fusible se deben tener en cuenta las siguientes propiedades:

- La clasificación actual es el parámetro más importante, pues determina la corriente máxima que un fusible puede soportar de manera segura. A la hora de seleccionar un fusible, se debe escoger uno con una corriente nominal un poco superior al valor nominal de corriente del circuito, evitando que salte en condiciones normales de funcionamiento, pero asegurando su operación en caso de sobreintensidad.
- La clasificación de voltaje es un parámetro referido al valor máximo de tensión que es capaz de soportar el fusible. Gracias a él, podemos asegurar la elección correcta del fusible asegurando su buen funcionamiento y protección contra la formación de arcos eléctricos. Esta clasificación debe coincidir o superar el máximo valor de tensión del circuito.
- La clasificación de interrupción especifica la máxima corriente de cortocircuito que un fusible puede soportar sin fallar.
- El tiempo de respuesta es el tiempo de actuación del fusible en función de la corriente, y viene determinado en la curva característica.

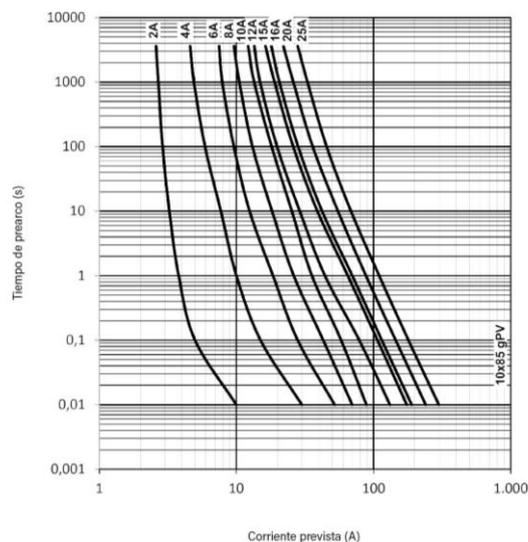


Figura 70: Curva característica de un fusible

En esta edición se emplearán dos fusibles para alta tensión. El primero de ellos es el que encontramos a la salida del contactor de línea, encargado de proteger el inversor en caso de sobreintensidades. El segundo, es el encargado de proteger al inversor en la precarga.

En la edición anterior, el fusible empleado a la salida del contactor de línea, fue el Multicomp PRO MP005692, sin embargo, en este proyecto se ha decidido cambiarlo debido al volumen de espacio que ocupaba este último. En concreto debe proteger contra intensidades superiores a 500 A, por ello, se decide emplear el BK-AMXL-300, cuyas características son:

Tabla 20: Datasheet BK-AMXL-300 [57]



Corriente nominal	300 A
Tensión nominal	125 V

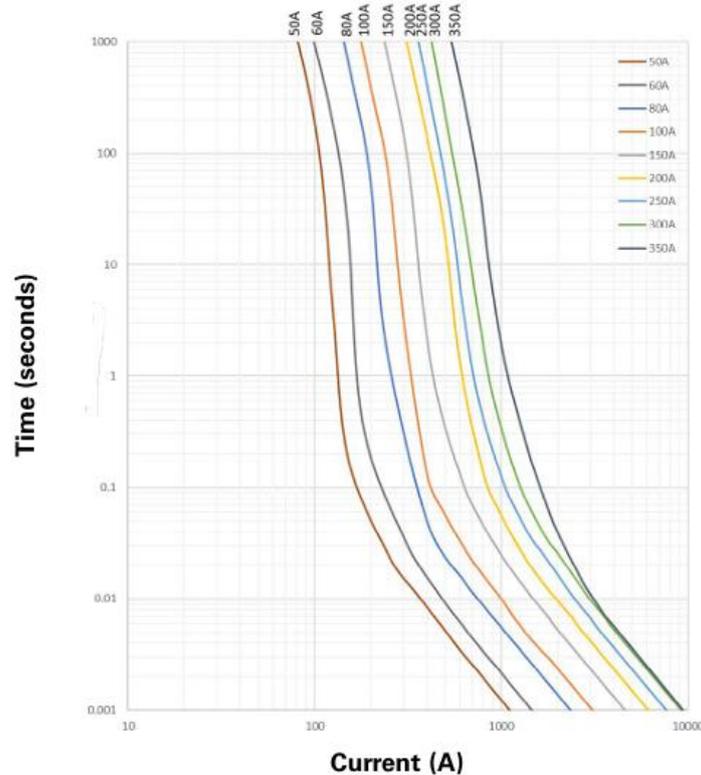


Figura 71: Curva característica del fusible BK-AMXL-300 [57]

Como bien se observa en la Figura 71, para una intensidad de 500 A el fusible aguantará unos 200 segundos. En caso de corrientes de cortocircuito, cuyos valores serán muy superiores a los 500 A actuará casi inmediatamente. De esta manera se asegura la protección tanto de componentes como cables.

El otro fusible empleado, es un fusible de 10 A. Este debe ir en un portafusibles de tipo en línea y en el que se ha mantenido el color naranja de los cables del circuito de alta tensión al ser obligatorio por la normativa.

Tabla 21: Datasheet Fusible 10 A [58]



Corriente nominal	10 A
Tensión nominal	32 V

Tabla 22: Datasheet Portafusibles en línea [59]



Corriente nominal	30 A
Tensión nominal	32 V

En cuanto a los fusibles del circuito de baja tensión, encontramos de dos tipos: 5 A y 10 A. Estos se encuentran físicamente encima de la batería de baja tensión, en un portafusibles, con el fin de mantener un orden y facilitar así su mantenimiento.

En este circuito, se necesitan en total tres fusibles. El primero de ellos es el de 10 A, cuyo modelo es el mismo que en alta tensión, a la salida de la batería de baja. Los otros dos son los de 5 A ubicados a la salida de cada convertidor DC/DC.

Tabla 23: Datasheet Fusible 5 A [60]



Corriente nominal	5 A
Tensión nominal	32 V



Figura 72: Portafusibles del circuito de baja tensión [61]

5.3.3.3.6 CONVERTIDORES DC/DC

Un convertidor DC/DC es un componente electrónico que transforma un voltaje en corriente continua a otro voltaje del mismo tipo. Esta tensión de salida puede ser mayor o inferior al valor de la entrada, y de esto es de donde aparecen los distintos tipos. En concreto, existen 3 tipos:

- Buck (reductor): Este tipo reduce el voltaje entrante.
- Boost (elevador): Este tipo tiene un voltaje superior a la salida que en la entrada.
- Buck-Boost: Este tipo puede reducir o aumentar el voltaje entrante en función de las necesidades que se tengan en cada caso.

En esta edición se emplearán dos convertidores DC/DC. Uno de ellos será empleado en el circuito de alimentación de baja tensión, mientras que el otro se utilizará exclusivamente para la alimentación de la bomba.

El convertidor DC/DC empleado es el COM-18732 y presenta las siguientes características:

Tabla 24: Datasheet COM-18732 [62]



Tipo de convertidor	Buck (reductor)
Mínima Tensión de entrada	8 V
Máxima Tensión de entrada	36 V
Tensión de salida	12 V
Potencia	72 W
Corriente máxima de salida	6 A
Temperatura de funcionamiento	-40°C – 50°C
Tamaño	74mm x 74mm x 32mm

5.3.3.3.7 EMERGENCY SHUTDOWN BUTTON (ESDB)

El Emergency Shutdown Button (ESDB) es un elemento de seguridad que permite el corte de la operación de un sistema de manera inmediata y segura, con el fin de proteger a las personas, los equipos o el entorno en caso de condiciones peligrosas.

Este componente, consiste en un interruptor de actuación rápida, que puede ser clasificado de las siguientes maneras:

- Funcionamiento eléctrico: Al igual que los relés y los contactores encontramos dos tipos:
 - Contactos NC (Normally Closed): Una vez se pulsan, el circuito queda abierto cortando la circulación de corriente.
 - Contactos NO (Normally Closed): Una vez pulsados, el circuito se cierra. Se suelen emplear para la activación de alarmas o luces indicadoras.
- Método de activación: Existen gran variedad de tipos, siendo el más común el tipo Push Button. Este tipo necesita ser pulsado para activarse y a su vez, se subdivide en tres tipos:
 - Push-Pull: Al pulsarse se abre el circuito y al tirar se cierra.
 - Push-Rotary: Pulsándolo se abre el circuito y rotándolo se vuelve a cerrar.

- Push-Key: Funciona igual que lo anteriores, con la diferencia de que para volver a cerrar el circuito se necesita una llave.

En el artículo D.4.1.1 se insta que esta protección debe ser tipo “seta” con método de activación del tipo push-rotary. Además, se especifica que debe estar en un lugar accesible para activarlo en caso de accidente.

Por último, en la normativa se menciona que debe estar protegido contra choques o contactos accidentales por el piloto o por un tercero. Asimismo, no debe instalarse en elemento de desmontaje rápido.



Figura 73: ESDB

5.3.3.3.8 TRACTION SYSTEM MASTER SWITCH (TSMS)

El Traction System Master Switch (TSMS), es la última protección manual antes de la puesta en marcha de la motocicleta. Esta consiste en un interruptor mecánico giratorio de dos posiciones que debe estar situada en el rango del piloto y protegida contra contactos indirectos.



Figura 74: TSMS

5.3.3.3.9 LOW VOLTAGE SYSTEM MASTER SWITCH (LVSMS)

Esta protección consiste en un interruptor a la salida de la batería de baja, cuyo cierre se realiza mediante una llave física. Es la primera de las protecciones, y sin ella no sería posible la alimentación desde esta batería al resto de elementos. Además, presenta la ventaja de que, al requerir la llave, se evitan encendidos accidentales.



Figura 75: Protección LVSMS [63]

5.3.3.4 LED CLUSTER

Este dispositivo consiste en un conjunto de diodos LED, cuya potencia mínima es de 1W, que recibe las señales de las distintas protecciones, con el propósito de indicar el estado de la motocicleta. En concreto, se establecen cuatro estados:

- Safe: Cuando el TSMS, contactor de línea y el relé precarga están abiertos y el relé IMD, relé BMS, relé de carga y ESDB están cerrados. Este estado se muestra en los leds con un verde parpadeante.
- Engaged: Cuando el contactor de línea y relé de precarga están cerrados. Este estado se muestra como un verde fijo.
- Not Safe: Cuando el relé IMD, relé BMS, relé de carga o ESDB están abiertos. Este estado se muestra como una luz roja de manera continua.
- Charging: Cuando el contactor de carga este cerrado. Este estado se muestra como una luz azul fija.

En la normativa, se establece que no pueden coincidir dos estados al mismo tiempo y que, en caso de fallo en alguna de las señales la motocicleta debe permanecer apagada. También establece que la distancia máxima entre leds debe ser de 10 mm y que los leds deben ser visibles por un tercero a una distancia de 5m, incluso con el piloto en la posición de salida. Destaca la

localización de tres leds. Dos de ellos a cada lado de la batería y el tercero en el dashboard del piloto, dentro de la cúpula.



Figura 76: LED Cluster

5.3.3.5 THROTTLE POTENCIOMETER

El Thottle Potenciometer Sensor (TPS) o potenciómetro acelerador es un sensor que envía una señal eléctrica proporcional a la posición de giro del puño acelerador, con el objetivo de determinar cuanta potencia debe entregar el motor en cada momento. Principalmente existen 2 tipos:

- Potenciometer-based TPS: Este tipo no son más que resistencias variables conectadas al eje del acelerador. Con el giro del acelerador, esta resistencia interna varía y envía una señal de voltaje, con la que se determina la posición del puño y en consecuencia el ajuste de inyección de potencia.
- Hall effect-based TPS: Este tipo es capaz de detectar la posición del puño a través de un campo magnético. Un pequeño imán es situado en el eje del puño, generado una señal de voltaje al girar este y ser detectado por un sensor de efecto Hall⁸.

Como se observa, ambos tienen funcionamientos similares. El primero de ellos es más común, mientras que el segundo de ellos está enfocado a la búsqueda de un rendimiento o de aplicaciones más avanzadas.

⁸ Instrumento empleado para la medición de campos electromagnéticos con el fin de conocer su posición.

Según el artículo D.2.4.1 de la normativa, es completamente obligatorio su uso y consiste en un interruptor con función de retorno automática. Igualmente se detalla que debe estar situado en el lado derecho del manillar.

En cuanto a su señal, se debe usar para configurar la demanda velocidad/par del motor y puede ser transmitida tanto digital como analógicamente. Así mismo, esta señal necesita estar directamente conectada al inversor, el cual deberá detectar cero en la demanda de velocidad/par en caso de:

- Circuito abierto
- Cortocircuito a tierra o a la tensión de alimentación
- Señal del potenciómetro fuera de rango
- Corrupción de datos
- Pérdida y/o retraso de mensajes



Figura 77: Acelerador Domino empleado [64]

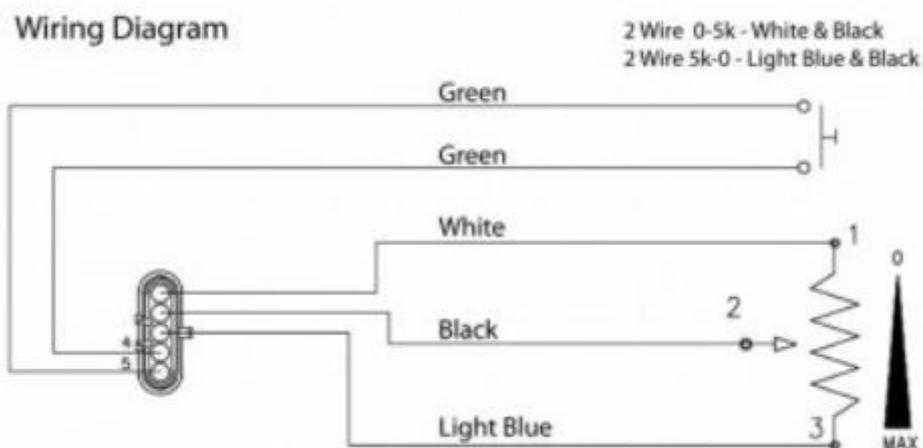


Figura 78: Conexión acelerador Domino [64]

5.3.3.6 VOLTAGE DISPLAY

El Voltage Display es un dispositivo que muestra el valor total de tensión restante de la batería. Gracias a él, una tercera persona será capaz de ver el estado en que se encuentra la motocicleta, en concreto si esta energizada o apagada, sin la necesidad de instrumentos externos. Además, en el artículo D.7.2.2 se detalla que el piloto debe ser capaz de leer este valor en las rectas.

En caso de que el valor de la tensión sea leído por el Voltage Display a través de una señal digital, esta debe estar protegida contra la corrupción de datos o la pérdida o retraso de mensajes.

Por último, se detalla en el artículo D.7.2.5 que este componente debe conectarse antes del contactor de lineal y contactor de carga. Por lo tanto, si nos fijamos en la Figura 45, vemos que siempre quedará representada la tensión de la batería en dicho momento.

Para esta edición el equipo ha desarrollado una pantalla. Entre sus distintas funciones se encuentra el valor de tensión de la batería en cada instante, cumpliendo con lo establecido en la normativa. Otra de sus funciones más destacadas es la posibilidad de elegir el circuito de potencia en el que se debe encontrar la moto: Run, Charge y OFF.



Figura 79: Front Display desarrollado por el equipo

5.3.4 CABLES

La conexión entre los distintos elementos eléctricos y electrónicos que conforman la motocicleta es realizada mediante cables. Aunque parezca obvio, el aislamiento de los distintos cables debe ser acorde a las temperaturas y voltajes previstos, así como para la posibilidad de rayones. Por último, se debe tener en cuenta el uso de cada cable (alimentación o señales) y sus distintas características en función de la normativa.

5.3.4.1 CABLES ALTA TENSIÓN

Entre los cables de alta tensión, podemos distinguir dos categorías: Cables de potencia y cables de medida de alta tensión. Además, según el artículo D.1.2.7 de la normativa, se establece que todo conductor perteneciente al circuito de alta tensión debe ser de color naranja además de cumplir con ciertos grados de autoextinción de fuego, con el fin de evitar la propagación de este en caso de incendio.

D.1.2.7 | Any cable or conductor of the HVS must be orange (or clearly marked with orange all the way through it) and non-flammable grade UL-94 V0, FAR25, ISO 6722 or equivalent.

Figura 80: Artículo D.1.2.7 de la normativa

Los cables de potencia son aquellos que transportan gran cantidad de energía, por lo que su sección debe ser suficiente para soportar sus condiciones de trabajo. El método empleado para su cálculo es por caída de tensión. La fórmula empleada es:

$$E. 8 \quad S = \frac{2 \cdot \rho \cdot I \cdot L}{\Delta V}$$

Siendo: $\rho =$ resistividad del material $(\Omega \cdot \frac{mm^2}{m})$

$I =$ Intensidad que circula por el cable (A)

$L =$ Longitud del cable (Ida y vuelta) (m)

$\Delta V =$ Caída de tensión del cable (V)

Se sabe que la resistividad del cobre es $\rho = 0,0175 \Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$, que la longitud total del cable (ida y vuelta) es $L = 1100$ mm y que la intensidad máxima que circula por el cable es de 500 A. Respecto a la caída de tensión, se establece una caída de tensión máxima de 1% con respecto a los 126 V a los que se encuentra el circuito de alta tensión.

Aplicando la E. 8 se obtiene una sección de $30,55 \text{ mm}^2$. Por ello, se escoge una sección de 35 mm^2 , al ser este el siguiente valor normalizado. Asimismo, en caso de que estén los 500 A durante un tiempo elevado, estarían protegidos tanto el cable como el resto de los componentes por el fusible de 500 A.

Conocidos estos datos, el cable empleado es el OLFLEX FD 90 CY de la marca LAPP. Este cable fue empleado en la edición anterior, y no presentó ningún problema de sobrecalentamiento. Las características de son:

Tabla 25: Datasheet OLFLEX FD 90 CY [65]



Nº Conductores	1
Tamaño Conductor	2 AWG/ 35 mm ²
Tensión nominal	600 V
Rango de temperaturas	-5°C a 90°C
Aislamiento	Cloruro de Polivinilo (PVC)
Apantallamiento⁹	Sí
Certificaciones	UL File No. E63634
Precio	10,35 €/metro

Para la segunda categoría, al tratarse de cables de medida no requieren de grandes grosores, pues no habrá grandes circulaciones de corriente por ellos. El apantallamiento no es relevante, pues no se trata de señales delicadas en las que el ruido pueda provocar errores. Por esta razón, el cable empleado es 55A0111-22-3, cuyas características son:

Tabla 26: Datasheet 55A0111-22-3 [66]



Nº Conductores	1
Tamaño del conductor	22 AWG/ 0,326 mm ²
Tensión nominal	600 V
Rango de temperaturas	-65°C a 150°C
Aislamiento	Cloruro de Polivinilo (PVC)
Apantallamiento⁹	No
Certificaciones	UL
Precio	0,798 €/metro

⁹ En este caso el apantallamiento sería indiferente, pues no se trata de un cable con señales sensibles.

5.3.4.2 CABLES BAJA TENSIÓN

Los cables de baja tensión son aquellos que conforman todo el circuito de baja tensión de los distintos circuitos. En el artículo D.1.2.9 establece que estos cables no pueden ser de color naranja, por ello, para seguir el patrón establecido con los planos diseñados en el apartado de Esquemas Eléctricos se elegirán de color rojo el circuito positivo y de negro el negativo.

Al igual que en alta tensión, al tratarse de alimentación no estrictamente necesario su apantallamiento. Además, se sabe que la corriente por este circuito será de 5 A máximo, excepto en tramos cortos previos a los convertidores DC/DC en los que será como máximo 10 A. Por esta razón, se elige un cable de AWG 16 (1,31 mm²) capaz de soportar corrientes 8 – 13 A y hasta los 18 A en tramos cortos.

Tabla 27: Datasheet T4201005x5 [67]



Nº Conductores	1
Tamaño Conductor	16 AWG /1,31 mm ²
Tensión nominal	450 V
Rango de temperaturas	-40°C a 70°C
Aislamiento	Cloruro de Polivinilo (PVC)
Apantallamiento	No
Precio	0,45 €/metro

Tabla 28: Datasheet 9572 [68]



Nº Conductores	1
Tamaño Conductor	16 AWG /1,31 mm ²
Tensión nominal	300 V
Rango de temperaturas	-40°C a 70°C
Aislamiento	Cloruro de Polivinilo (PVC)
Apantallamiento	No
Precio	1,590 €/metro

5.3.4.3 CABLES SEÑALES

Estos cables transportan señales cruciales para el control, mando, comunicación y seguridad de los equipos electrónicos. Es por ello, que su probabilidad de fallo debe ser lo más bajo posible, con el fin de minimizar los errores, entre los que encontramos comportamientos erráticos o peligrosos que puedan dañar componentes críticos. Además, es clave que estos cables estén apantallados con el objetivo de reducir las interferencias electromagnéticas (EMI).

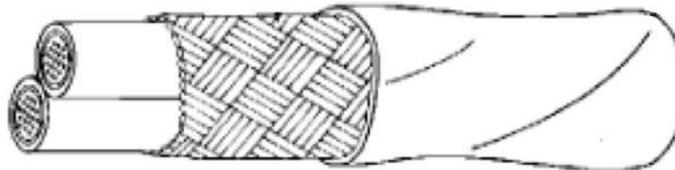
En nuestro caso, se emplearán 3 cables, que se emplearán en función de la cantidad de señales que se necesiten. Sus características se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 29: Datasheet 400R0111-24-9 [69]



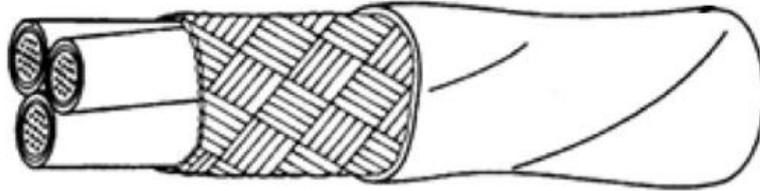
Nº Conductores	1
Tamaño Conductor	24 AWG/ 0,205 mm ²
Tensión nominal	600 V
Rango de temperaturas	-65°C a 125°C
Aislamiento	Polivinilo (PO)
Apantallamiento	No
Precio	3,08 €/metro

Tabla 30: Datasheet M27500-22ML2T08 [70]



Nº Conductores	2 trenzados
Tamaño Conductor	22 AWG/ 0,326 mm ²
Tensión nominal	600 V
Rango de temperaturas	-55°C a 150°C
Aislamiento	Fluoruro de polivinilo (PVF)
Apantallamiento	Sí
Precio	2,18€/metro

Tabla 31: Datasheet M27500-22ML3T08 [71]



Nº Conductores	3 trenzados
Tamaño Conductor	22 AWG / / 0,326 mm ²
Tensión nominal	600 V
Rango de temperaturas	-55°C a 150°C
Aislamiento	Fluoruro de polivinilo (PVF)
Apantallamiento	Sí
Precio	2,34€/metro

Tabla 32: Datasheet Cat5A 74005 GR002 [72]



Nº Conductores	4 trenzados
Tamaño Conductor	22 AWG / / 0,326 mm ²
Tensión nominal	300 V
Rango de temperaturas	-55°C a 150°C
Aislamiento	Politetrafluoroetileno (PTFE)
Apantallamiento	Sí
Precio	6,170 €/metro

5.3.4.4 MALLA PROTECTORA

La malla protectora de los cables, llamada coloquialmente piel de serpiente por su apariencia y flexibilidad, es una capa externa de hilos metálicos colocados alrededor de los conductores. Entre sus funciones encontramos la protección mecánica y el apantallamiento. En algunos casos es la propia malla la que se emplea como tierra o “chasis”.

En nuestro caso, dado que no hay gran cantidad de señales cruciales en el sistema que puedan verse afectadas por la EMI, se considera suficiente una malla que sirva de protección mecánica y en los puntos en los que se aparecen bifurcaciones de los cables, se emplea una cinta con propiedades similares a dicha malla y con el objetivo de juntar lo máximo posible la misma.



Figura 81: Malla protectora de cable

5.3.5 CONECTORES Y PINADO

Un conector es un dispositivo mecánico y eléctrico que se emplea para la unión y desconexión de dos partes de un circuito eléctrico sin la necesidad de soldaduras permanentes. Estos, transmiten la electricidad y las señales entre dos elementos, con la ventaja de un fácil montaje y desmontaje de este. Además, destacan por su capacidad de evitar errores de conexión gracias a su forma y su protección contra el ambiente mediante sus distintos sellados.

Al igual que el resto de los componentes, los conectores pertenecientes al circuito de HVS también deben ser capaces de asegurar la protección contra polvo y agua.

5.3.5.1 CONECTORES IMD

El IMD requiere de varios conectores, determinados en la normativa junto con su pineado. Todos los modelos son iguales, simplemente varía su color, con el fin de determinar la utilidad de cada uno de ellos. En concreto se usan los modelos de conector con 8 pines 171983-1, 171983-2 y 171983-3.

Las características de estos conectores son:

Tabla 33: Datasheet conectores 171983-1, 171983-2 y 171983-3 [73]



Número de pines	8
Tipo de conector	Socket
Método de terminación	Crimpado
Tamaño cable	AWG 18-22
Color	Negro/Azul/Blanco
Precio	1,08 €

En el caso del 171983-1 (modelo color negro) es un conector empleado en baja tensión para las siguientes funciones:

- Power Supply
- CAN Interface
- High-side driver
- Chassis loop

Su pineado se resume en la siguiente tabla:

Tabla 34: Pineado conector 171983-1

Pin ¹⁰	Señal
1	T_31_KE_3 (Vehicle internal earthing structure)
3	HST_2 (High-side driver 2)
4	HST_1 (High-side driver 1)
5	HS-CAN_L
6	HS-CAN_H
7	T_31_E_2 (Vehicle internal earthing structure)
8	T_30-12V Switched supply

En el caso del 171983-2 (modelo color blanco) es un conector empleado en alta tensión para las siguientes funciones:

- Insulation Monitoring
- Voltage Measurement HV1

Su pineado se resume en la siguiente tabla:

Tabla 35: Pineado conector 171983-2

Pin ¹⁰	Señal
1	HV1_POS
8	HV1_NEG

En el caso del 171983-3 (modelo color azul) es un conector empleado en alta tensión para medir el voltaje de HV2.

Su pineado se resume en la siguiente tabla:

Tabla 36: Pineado Conector 171983-3

Pin ¹⁰	Señal
1	HV2_NEG
8	HV2_POS

¹⁰ Los pines que no aparecen son SPARES

5.3.5.2 CONECTOR MOTOR

El conector empleado por el motor está determinado por la competición, al ser este motor aportado por la misma. En concreto se especifica que debe ser el conector complementario APTIV 12047937.

Las características de este conector son:

Tabla 37: Datasheet APTIV 12047937 [74]



Pines	8
Tipo de conector	Socket
Método de terminación	Crimpado
Tipo de protección	IP67/IP69K
Tamaño cable	AWG 14-22
Color	Negro
Precio	2,51 €

Su pineado y el color de los cables son especificados en la normativa, y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 38: Pineado conector APTIV 12047937

Pin ¹¹	Señal	Color cable
A	Coseno	Blanco
B	Seno	Azul
C	GND	Negro
E	Vpp (+5V)	Rojo
F	Shield	Verde
G	Temp 1	Negro (-)
H	Temp 2	Rojo (+)

¹¹ El pin D es un SPARE

5.3.5.3 CONECTOR INVERSOR

Como ya se comentó el inversor empleado es el ZAPI AC- E4. En concreto se usa su versión Premium – BL traction with sin/cos. Este requiere de un conector de Amphenol de 35 pines y es por ello, que se emplea el modelo 776164-1.

Las características de este conector se resumen en:

Tabla 39: Datasheet Amphenol 776164-1 [75]



Pines	35
Tipo de conector	Socket
Método de terminación	Crimpado
Tipo de protección	IP67 / IP69K
Tamaño cable	AWG 16-20
Color	Negro
Precio	12,76 €

Su pineado es el más complejo de todos y se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 40: Pineado Amphenol 776164-1 para el inversor ZAPI ACE4 [43]

Pin ¹²	Nombre	Tipo ¹³	Descripción
A1	SIN	Input	Señal seno del sensor sin/cos
A3	KEY	Input	Entrada de la llave de encendido
A4	PPOT	Output	Alimentación positiva para potenciómetros (+5V / +12V)
A5	ACC POT	Input	Entrada analógica. Referencia del acelerador
A6	FW	Input	Entrada digital. Solicitud de avance
A10	PSENS	Output	Alimentación positiva para sensor sin/cos (+5V / +12V)
A13	COS	Input	Señal coseno del sensor sin/cos
A15	NPOT	Output	Alimentación negativa para potenciómetros
A18	CANT	Output	Activación de terminación de 120Ω si se conecta A31

¹² Los pines no mostrados en la tabla son SPARES

¹³ Las señales input son en las que el inversor recibe la señal, mientras que las señales output son en las que el inversor envía la señal.

A21	NSENS	Output	Alimentación negativa para sin/cos, térmico y potenciómetro
A26	NLC	Output	Salida para contactor principal (Modulada por PWM)
A30	CANL	Output	Línea baja del bus CAN
A31	CANH	Output	Línea alta del bus CAN
A32	NCAN	Output	Referencia negativa del bus CAN
A33	PTH	Input	Entrada analógica para sensor térmico del motor

5.3.5.4 CONECTOR DESCARGA

Este conector es por el que salen los cables de 35 mm² desde la caja de contactores hasta el inversor. Deben cumplir tanto en el tamaño como en características técnicas. En la edición anterior se empleó un modelo que incluía ambos cables en el mismo conector, sin embargo, en esta edición se decide separarlos en dos conectores independientes al encontrarse un modelo que ocupa menos espacio.

Tabla 41: Datasheet SLPHPC95BSB2 [76]



Tipo de conector	Pin
Tipo de protección	IP67
Tensión máxima	1500 V
Rango de temperatura	- 40 °C a 150°C
Precio	23,65 €

Tabla 42: Datasheet SLPHIRCTPSB2 [77]



Tipo de conector	Socket
Tipo de protección	IP67
Tensión máxima	1500 V
Rango de temperatura	- 40 °C a 150°C
Precio	23,07 €

5.3.5.5 CONECTOR IXXAT

El IXXAT es un dispositivo empleado para comunicaciones con el vehículo. Entre sus funciones destaca la de traducir al usuario los mensajes CAN con el fin de facilitar la detección de errores y su corrección. Su conexión se realiza mediante un conector DB9.



Figura 82: Dispositivo IXXAT

Tabla 43: Conector DB9 [78]



Pines	9
Tipo de conector	Socket
Precio	1,40 €

Desde el dispositivo IXXAT, sale un cable que termina en un USB con el que se permite la comunicación por ordenador. En él, un programa ha sido desarrollado por la empresa fabricante para realizar todas las funciones de este dispositivo.

Su pinedado se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 44: Pineado conector DB9

Pin ¹²	Señal	Descripción
2	CANH	Línea alta del bus CAN
3	CANL	Línea baja del bus CAN
7	NCAN	Referencia negativa del bus CAN

5.3.5.6 CONECTOR HARNESS

El resto de los conectores empleados en esta edición de MotoStudent son de dos tipos. En función del número de señales empleadas se empleará un conector de 17 pines o un conector de 12 pines.

A continuación, se muestra tanto los modelos de conectores empleados como su pineado.

Tabla 45: Datasheet 250-6139 [79]



Pines	17
Tipo de conector	Pin
Método de terminación	Crimpado
Tensión nominal	500 V
Tipo de protección	IP67
Tamaño cable	≤ 14 AWG
Color	Negro
Precio	22,06 €

Tabla 46: Datasheet 250-6233 [80]



Pines	17
Tipo de conector	Socket
Método de terminación	Crimpado
Tensión nominal	500 V
Tipo de protección	IP67
Tamaño cable	≤ 14 AWG
Color	Negro
Precio	23,82 €

Tabla 47: Datasheet 250-6135 [81]



Pines	12
Tipo de conector	Pin
Método de terminación	Crimpado
Tensión nominal	500 V
Tipo de protección	IP67
Tamaño cable	≤ 14 AWG
Color	Negro
Precio	20,01 €

Tabla 48: Datasheet 250-6231 [82]



Pines	12
Tipo de conector	Socket
Método de terminación	Crimpado
Tensión nominal	500 V
Tipo de protección	IP67
Tamaño cable	≤ 14 AWG
Color	Negro
Precio	22,06 €

Tabla 49: Datasheet 250-6199 [83]



Pines	12
Tipo de conector	Socket
Método de terminación	Crimpado
Tensión nominal	500 V
Tipo de protección	IP67
Tamaño cable	≤ 14 AWG
Color	Negro
Precio	22,80 €

5.3.5.7 CONECTORES CAJA BAJA TENSIÓN

En la caja de baja tensión encontramos los dos conectores. El primero de ellos consiste en un conector de 17 pines enfocado en el circuito de potencia, mientras que el segundo es un conector de 12 pines focalizado en la alimentación de las luces.

El pineado de los conectores ha sido elegido por el equipo, intentando estructurarlo de la mejor manera posible. A continuación, se muestra dicho pineado:

Tabla 50: Pineado conector 17 pines B.Baja

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
1	24V_DC	Output	Alimentación positiva DC/DC (+24V)
2	GND_DC	Output	Alimentación negativa DC/DC (+24V)
3	GND_DC_RTN	Input	Alimentación negativa salida DC/DC (+12V)
4	12V_DC_RTN	Input	Alimentación positiva salida DC/DC (+12V)
5	12V_BB_DISP	Output	Alimentación positiva display (+12V)
6	GND_DISP	Output	Alimentación negativa display (+12V)
7	12V_DISP_PUMP	Output	Alimentación positiva del interruptor de la bomba en el display (+12V)
8	24V_BB_CONTACT	Output	Alimentación positiva caja de contactores (+24V)
9	GND_BB_CONTACT_24V	Output	Alimentación negativa caja de contactores (+24V)
10	GND_BB_CONTACT_12V	Output	Alimentación negativa caja de contactores (+12V)

11	GND_DCPUMP_RTN	Input	Alimentación negativa salida DC/DC Bomba (+12V)
12	12V_DCPUMP_RTN	Input	Alimentación positiva salida DC/DC Bomba (+12V)
13	24V_DCPUMP	Output	Alimentación positiva DC/DC Bomba (+24V)
14	GND_DCPUMP	Output	Alimentación negativa DC/DC Bomba (+24V)
15	GND_BB_PUMP	Output	Alimentación negativa bomba (+12V)

Tabla 51: Pineado conector 12 pines B.Baja

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
1	12V_LED_1	Output	Alimentación positiva led 1
2	GND_LED_1	Output	Alimentación negativa led 1
3	12V_LED_2	Output	Alimentación positiva led 2
4	GND_LED_2	Output	Alimentación negativa led 2
5	12V_LED_3	Output	Alimentación positiva led 3
6	GND_LED_3	Output	Alimentación negativa led 3
7	12V_LED_RAIN	Output	Alimentación positiva luz lluvia
8	GND_LED_RAIN	Output	Alimentación negativa luz lluvia

5.3.5.8 CONECTORES CAJA CONTACTORES

Al igual que en el caso de la caja de baja tensión, en esta también encontramos los dos tipos de conectores. En este caso, es al revés que anteriormente. El conector de 12 pines está dedicado a el circuito de potencia, mientras que el de 17 pines se enfoca a comunicaciones, carga y medidas. A continuación, se muestra el pineado elegido.

Tabla 52: Pineado conector 17 pines Caja Contactores

Pin	Señal	Tipo	Descripción
1	GND_CAN_MASTER	Output	Referencia negativa del bus CAN de la Master
2	CANL_MASTER	Output	Línea baja del bus CAN de la Master
3	CANH_MASTER	Output	Línea alta del bus CAN de la Master
4	LED_VERDE	Output	Señal led verde
5	LED_VERDEINTER	Output	Señal led verde intermitente
6	LED_ROJO	Output	Señal led rojo
7	LED_AZUL	Output	Señal led azul
8	GND_LEDCLUSTER	Output	Alimentación negativa led cluster
9	B+	Output	Terminal normalmente abierto del contactor de línea
10	HV+	Output	Terminal del contactor de línea (Debe protegerse con 120Ω)
11	B-	Output	Alimentación negativa HVS
12	C+	Output	Terminal normalmente abierto del contactor de carga
13	CANH_CHARGE	Output	Línea alta del bus CAN Carga

14	CANL_CAHRGE	Output	Línea baja del bus CAN Carga
15	NCAN_CHARGE	Output	Referencia negativa del bus CAN Carga
16	PRE_ESDB_C	Output	Alimentación positiva ESDB Carga (+12V)
17	POST_ESDB_C	Output	Alimentación positiva salida ESDB Carga (+12V)

Tabla 53: Pineado conector 12 pines Caja Contactores

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
1	CHASSIS	Output	Puesta a tierra
2	12V_DISP_CC	Input	Alimentación positiva caja contactores (+12V)
3	POWER_SELECTOR	Output	Alimentación positiva Power Selector (+12V)
4	CHARGE_SELECTOR	Input	Alimentación positiva circuito carga (+12V)
5	RUN_SELECTOR	Input	Alimentación positiva circuito carrera (+12V)
6	OFF_SELECTOR	Input	Alimentación positiva circuito de apagado (+12V)
7	24V_BB_CONTACT	Input	Alimentación positiva caja contactores (+24V)
8	GND_BB_CONTACT_24V	Input	Alimentación positiva caja contactores (+24V)
9	GND_BB_CONTACT_12V	Input	Alimentación negativa caja contactores (+12V)
10	NLC	Input	Salida para contactor principal (Modulada por PWM)
11	KEY	Output	Entrada de la llave de encendido

5.3.5.9 CONECTOR VMP Y CHARGE

Del conector de 17 pines de la caja de contactores se llevarán parte de las señales a otro conector de 12 pines. Este último conector se empleará como punto de medida para el VMP y como punto de carga. Para ello, se diseñarán dos conectores complementarios a este último de 12 pines que tendrán un pineado en función de lo que se desea realizar. Además, el conector de 12 pines será tapado por un tapón cuando no se use, como determina la normativa.

Tabla 54: Conector 12 pines VMP y Charge

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
1	B+	Input	Terminal normalmente abierto del contactor de línea
2	HV+	Input	Terminal del contactor de línea (Debe protegerse con 120Ω)
3	B-	Input	Alimentación negativa HVS
4	C+	Input	Terminal normalmente abierto del contactor de carga
8	CANH_CHARGE	Input	Línea alta del bus CAN Carga
9	CANL_CAHRGE	Input	Línea baja del bus CAN Carga
10	NCAN_CHARGE	Input	Referencia negativa del bus CAN Carga
11	PRE_ESDB_C	Input	Alimentación positiva ESDB Carga (+12V)
12	POST_ESDB_C	Input	Alimentación positiva salida ESDB Carga (+12V)

Tabla 55: Conector complementario VMP

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
1	B+	Output	Terminal normalmente abierto del contactor de línea
2	HV+	Output	Terminal del contactor de línea (Debe protegerse con 120Ω)
3	B-	Output	Alimentación negativa HVS
4	C+	Output	Terminal normalmente abierto del contactor de carga

Tabla 56: Conector complementario Charge

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
8	CANH CHARGE	Output	Línea alta del bus CAN Carga
9	CANL CAHRGE	Output	Línea baja del bus CAN Carga
10	NCAN CHARGE	Output	Referencia negativa del bus CAN Carga
11	PRE_ESDB_C	Output	Alimentación positiva ESDB Carga (+12V)
12	POST_ESDB_C	Output	Alimentación positiva salida ESDB Carga (+12V)

5.3.5.10 CONECTOR DISPLAY

Como ya se comentó, el display es un dispositivo con diversas funciones en función de las necesidades que se tengan. Para su conexión, se emplea un conector de 12 pines y otro de 17 pines.

Tabla 57: Pineado conector 12 pines Display

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
1	12V_BB_DISPLAY	Input	Alimentación positiva display (+12V)
2	GND_BB_DISPLAY	Input	Alimentación negativa display (+12V)
3	12V_DISPLAY_PUMP	Output	Alimentación positiva del interruptor de la bomba en el display (+12V)
4	12V_PUMP	Output	Alimentación positiva de la bomba (+12V)
5	OFF_SELECTOR	Output	Alimentación positiva circuito de apagado (+12V)
6	RUN_SELECTOR	Output	Alimentación positiva circuito carrera (+12V)
7	CHARGE_SELECTOR	Output	Línea alta del bus CAN Carga
8	POWER_SELECTOR	Input	Alimentación positiva Power Selector (+12V)
9	12V_DISP_CC	Input	Alimentación positiva caja contactores (+12V)
10	CANH_MASTER	Output	Línea alta del bus CAN de la Master
11	CANL_MASTER	Output	Línea baja del bus CAN de la Master
12	GND_CAN_MASTER	Output	Referencia negativa del bus CAN de la Master

Tabla 58: Pineado conector 17 pines Display

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
1	NCAN	Input	Referencia negativa del bus CAN
2	CANH	Input	Línea alta del bus CAN
3	CANL	Input	Línea baja del bus CAN
4	KEY	Output	Entrada de la llave de encendido
5	PPOT	Input	Alimentación positiva para potenciómetros (+5V / +12V)
6	ACC POT	Output	Entrada analógica. Referencia del acelerador
7	FW	Output	Entrada digital. Solicitud de avance
8	NPOT	Output	Alimentación negativa para potenciómetros
10	NPOT_THROTTLE	Output	Alimentación negativa para potenciómetros
11	FW_THROTTLE	Output	Entrada digital. Solicitud de avance
12	ACCPOT_THROTTLE	Output	Entrada analógica. Referencia del acelerador
13	PPOT_THROTTLE	Output	Alimentación positiva para potenciómetros (+5V / +12V)
14	KEY_THROTTLE	Output	Entrada de la llave de encendido

5.3.5.11 CONECTOR PUÑO

El puño empleará un conector de 12 pines. Como se observa en la Figura 78, el puño tiene un conexionado de 5 señales, sin embargo, en esta edición se añade un interruptor intermedio de encendido de la moto en el display, por lo que requiere de un total de 7 señales. Por tanto, su pineado es:

Pin ¹²	Señal	Tipo	Descripción
3	KEY_THROTTLE	Input	Entrada de la llave de encendido
4	PPOT_THROTTLE	Input	Alimentación positiva para potenciómetros (+5V / +12V)
5	ACCPOT_THROTTLE	Input	Entrada analógica. Referencia del acelerador
6	FW_THROTTLE	Input	Entrada digital. Solicitud de avance
7	NPOT_THROTTLE	Input	Alimentación negativa para potenciómetros
9 ¹⁴	INT_THROTTLE	Output	Alimentación interruptor puño
10 ¹⁴	INT_DISPLAY	Input	Alimentación interruptora display

¹⁴ El pin 9 y 10 están cortocircuitados.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante este proyecto se han estudiado las distintas partes que conforman el powertrain eléctrico de la motocicleta de competición que presentará el ISC MotoStudent Racing Team para la VII edición de MotoStudent.

En primer lugar, durante la sección Estudio de las Celdas se realizó el estudio de las celdas que conformarán los distintos módulos de la batería. Se obtuvo como resultado que el tipo de celda más óptima es la Sony/Murata US18650VTC6. Con ella se conseguía una reducción considerable del peso y precio del acumulador con un aumento de la capacidad.

Posteriormente, se realizaron los planos eléctricos sobre todos los circuitos presentes en la motocicleta. Estos se adaptaron tanto a las necesidades de la motocicleta como a las restricciones establecidas por la competición en la normativa. Además, en cada uno de ellos se explica su funcionamiento.

Sobre todos estos planos, destaca el Power Circuit. En él encontramos todas las interconexiones entre los distintos elementos de la motocicleta, integrando el HVS Disconnection Circuit. Asimismo, se observa cómo se integran dos nuevos relés. El primero de ellos con el fin de solucionar el problema presentado en la compra de los contactores de carga y descarga. Con él se consiguen aportar los 24 V necesarios para dichos contactores una vez todas las protecciones están correctamente comprobadas, mientras que el segundo tiene como objetivo evitar que cuando se produzca una mala precarga del inversor, los contactores generen problemas.

A continuación, se realizó el objetivo principal de este trabajo. Este era el rutado y el desarrollo del harness de la motocicleta. El principal problema que se presentaba era el espacio, sin embargo, gracias a la reducción de anchura de la batería se consiguió el espacio suficiente como para que entrase dicho cable correctamente. Con el desarrollo de este harness se conseguía unificar todo el cableado externo, pudiéndose extraer sin problema en caso de ser necesario. Este además se protegía con una malla externa destinada a alargar su duración.

Otro de los resultados de este harness es que todos los conectores son tipo macho. Con ello se consigue que sea imposible el contacto indirecto de elementos en tensión por error, aumentando la seguridad de las personas que trabajan con la motocicleta. En el caso del VMP & Charger Connector se diseña con un tapón que asegure su estanquidad y evite el contacto indirecto cuando el harness esté conectado, como bien determina la normativa. Por último, como complemento a este conector se diseña el cable de medida complementario según se establece en la normativa.

Seguidamente y para finalizar este proyecto, se comentan todos los elementos empleados en la parte eléctrica de esta motocicleta. Entre ellas, encontramos protecciones, cables y conectores. Del mismo modo, se establecen los distintos pines de cada conector, así como sus señales, determinando si estas son señales entrantes al componente o saliente del mismo.

En el anexo I se presenta el presupuesto que ha supuesto todos los componentes empleados en este proyecto. En él se refleja el precio unitario de cada componente, las unidades necesarias, el coste que supondría únicamente las unidades necesarias y el coste total con los repuestos de determinados componentes. Como resultado se obtiene que el gasto total de este proyecto supone es 7.421,77 €.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este proyecto ha sido desarrollado en el campo eléctrico de la ingeniería. También ha requerido de habilidades de diseño en base a una normativa establecida, cuyo estudio previo ha sido necesario.

Se ha desarrollado la batería de la motocicleta eléctrica de competición de la VII edición de MotoStudent, así como los planos eléctricos de la misma junto con su cableado y rutado. Para todo ellos, ha sido necesario la elaboración de cálculos e investigaciones con el fin de tomar las decisiones óptimas y buscando siempre el mayor rendimiento y seguridad. Asimismo, se han cumplido los siguientes objetivos:

- Se ha desarrollado la batería de la motocicleta de la manera óptima, en base a conocimientos obtenidos de ediciones anteriores y con el propósito de una mejora en la próxima edición.
- Se han elaborado los planos eléctricos de la motocicleta en función de los requisitos técnicos establecidos en la normativa de la competición.
- Se ha diseñado el “harness” del vehículo, facilitando su conexión con el resto de los elementos de este y obtenido un mayor orden del cableado.
- Se ha establecido una base para el futuro desarrollo de la moto en el departamento eléctrico del ISC MotoStudent, unificando todos los componentes eléctricos en un mismo proyecto.

7.1 TRABAJOS FUTUROS

Existen una serie de mejoras que podrían aplicarse con el fin de proseguir con el continuo desarrollo de la motocicleta eléctrica edición tras edición. En concreto, estas mejoras se basan en el campo eléctrico de la misma, aunque requieran de otros ámbitos para su aplicación. Entre estos futuros proyectos destacan:

- **Desarrollo del harness de la motocicleta eléctrica junto con la mecánica de esta:** Con este proyecto, se pretendería una mejor unión entre la parte eléctrica y mecánica, sin provocar la adaptación al completo del cableado de la motocicleta a la mecánica de la misma.
- **Estudio de las interferencias electromagnéticas entre componentes:** Con este proyecto se aspiraría a un mejor desarrollo del harness en base a las posibles interferencias que se puedan presentarse entre los componentes eléctricos y los cables.
- **Optimización del cableado interno de la motocicleta:** Con este trabajo se buscaría desarrollar el cableado interno de aquellos elementos que necesiten de cableado interno, como son la caja de contactores o el display.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] [En línea]. Available: <https://paleo-energetique.org/es/paleoinventions/el-triciclo-electrico-de-gustave-trouve/>.
- [2] [En línea]. Available: https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/quien-invento-el-primer-coche-electrico/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA4rK8BhD7ARIsAFe5LXIRGIAo-WtYlSA6p8U0xoauvS1Ono-wYT0XX06ks5yuhxWOQhzLV2kaAhjOEALw_wcB.
- [3] [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/historia-coche-electrico>.
- [4] [En línea]. Available: <https://arenamotor.es/curiosidades/historia-de-las-motos-electricas/>.
- [5] [En línea]. Available: <https://www.motorpasion.com/coches-hibridos-alternativos/historia-de-los-coches-electricos>.
- [6] [En línea]. Available: <https://revistascratch.com/otros-rallyes/noticia/7-campeonatos-que-demuestran-que-el-futuro-del-motorsport-es-electrico-56315>.
- [7] [En línea]. Available: <https://www.motostudent.com/about.php>.
- [8] [En línea]. Available: <https://www.motostudent.com/event.php>.
- [9] [En línea]. Available: <https://www.comillas.edu/noticias/isc-racing-team-cierra-una-temporada-de-hitos-automovilisticos/>.
- [10] [En línea]. Available: <https://www.diariomotor.com/que-es/celda/>.

- [11] [En línea]. Available: <https://www.renault.es/blog/actualidad/densidad-energetica-bateria.html>.
- [12] [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com/media/pg/SmartShunt/es/battery-capacity-and-peukert-exponent.html#:~:text=La%20capacidad%20de%20la%20bater%C3%ADa%20se%20expresa%20en%20amperios%20hora,totalmente%20descargada%20en%2020%20hora s..>
- [13] [En línea]. Available: <https://www.revistaautocrash.com/fabricacion-de-baterias-electricas-conozca-las-tecnologias-en-sus-componentes-y-materiales/>.
- [14] [En línea]. Available: https://bateriasyamperios.com/tipos-de-celdas-de-baterias-de-litio/#Factores_claves_al_elegir_una_celda_de_litio.
- [15] [En línea]. Available: <https://www.tsg-solutions.com/es/tipos-de-cargadores-coches-electricos/>.
- [16] [En línea]. Available: <https://www.renault.es/e-tech-electrico/motor.html>.
- [17] [En línea]. Available: <https://www.motor.es/coches-electricos/tipos-motores-coches-electricos-202287375.html>.
- [18] P. Esparza Ibañez, *Powertrain en vehículos eléctricos de competición - Módulo 3.1: Motores*.
- [19] [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/par%C3%A1metros-de-rendimiento-b%C3%A1sicos-y-caracter%C3%ADsticas-mec%C3%A1nicas-liu-ixi6c/>.
- [20] [En línea]. Available: <https://www.motor.es/que-es/inversor-coche-electrico>.

- [21] L. Faranna y L. Herrera, «Diseño e implementación de inversor trifásico tolerante a fallas».
- [22] [En línea]. Available: https://www.hibridosyelectricos.com/coches/tipos-celdas-baterias-que-marcas-decantan-cada-ellas-coches-electricos_53927_102.html.
- [23] [En línea]. Available: https://www.hibridosyelectricos.com/motos/falcon-blx-falcon-01-motocicletas-electricas-modo-bicicleta-modo-ciclomotor_34014_102.html.
- [24] [En línea]. Available: https://www.hibridosyelectricos.com/motos/iconico-segway-dos-espectaculares-motos-electricas-campo-ciudad_72507_102.html.
- [25] [En línea]. Available: <https://forococheelectricos.com/2023/01/general-motors-estrategia-baterias-coches-electricos.html>.
- [26] [En línea]. Available: <https://forococheelectricos.com/2024/09/storedot-celdas-prismaticas-carga-rapida.html>.
- [27] [En línea]. Available: https://www.reddit.com/r/Elektroautos/comments/1hkq5r5/sorge_wegen_pouchzellen/?tl=es-es.
- [28] [En línea]. Available: <https://www.epaddock.it/es/la-motoe-scheda-tecnica/specifich-e-scheda-tecnica-motoe/>.
- [29] [En línea]. Available: <https://www.motoplanete.es/ducati/9403/V21L-MotoE-2022/contact.html>.
- [30] [En línea]. Available: <https://movilidadelectrica.com/nueva-infraestructura-de-carga-de-enel-x-para-motoe/>.

- [31] [En línea]. Available: <https://es.motorsport.com/formula-e/news/formula-e-gen3-novedades-caracteristicas-datos/10263893/#:~:text=Los%20Gen3%20producir%C3%A1n%20600kW%20de,montado%20en%20la%20parte%20delantera..>
- [32] [En línea]. Available: <https://www.epaddock.it/es/la-motoe-T%C3%A9cnico/el-motor-ducatti-motoe/>.
- [33] «MS2223_Official_Electric_Motor_INFO».
- [34] [En línea]. Available: <https://www.ducati.com/es/es/company/product-innovation/motoe/prototype>.
- [35] [En línea]. Available: <https://electricdriveengineering.com.au/product/sevcon-gen4-size-6-80v/>.
- [36] E. Vacas Omatos, «Diseño y fabricación de un acumulador para motocicletas eléctricas de competición».
- [37] «MS_24-25_Regulations_D_SPECIFIC_TECHNICAL_REGULATIONS_MSE».
- [38] [En línea]. Available: <https://www.nkon.nl/es/samsung-inr21700-40t3-4000mah-50a.html>.
- [39] [En línea]. Available: <https://www.nkon.nl/es/>.
- [40] [En línea]. Available: https://www.amazon.es/sourcing-map-Di%C3%A1metro-Bricolaje-Bater%C3%ADas/dp/B0B252SZF3?source=ps-sl-shoppingads-lpcontext&ref_=fplfs&psc=1&smid=AQ1IBDB6G2RRD.
- [41] [En línea]. Available: <https://www.thunderstruck-ev.com/me1616.html>.

- [42] [En línea]. Available: <https://www.zapigroup.com/en/ac-evolution-series-inverters#ACE4-ACE4-PR>.
- [43] [En línea]. Available: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.atech-antriebstechnik.de/fileadmin/user_upload/Produkte/ZAPI_Inverter__Regler__Impulssteuerungen/Inverter_fu__r_Asynchronmotore/Datenblaetter/Datenblatt_ACE-4_BLE-4_de-en.pdf](https://www.atech-antriebstechnik.de/fileadmin/user_upload/Produkte/ZAPI_Inverter__Regler__Impulssteuerungen/Inverter_fu__r_Asynchronmotore/Datenblaetter/Datenblatt_ACE-4_BLE-4_de-en.pdf).
- [44] M. U. Z. ACE4.
- [45] 1.-c. L. B. M. V3. [En línea]. Available: <https://www.zeva.com.au/index.php?product=133>.
- [46] [En línea]. Available: <https://www.crs1.es/es/accesorios-y-repuestos/7866-ciser-system-csip-tarjeta-pcb-de-intercom-csip-ip-sip-1xethernet.html>.
- [47] [En línea]. Available: <https://tritekbattery.com/es/3-topologies-of-battery-management-system/>.
- [48] [En línea]. Available: https://www.hdibattery.com/blog/balanceo-activo-y-pasivo-%7C-baterias-litio_n492?srsltid=AfmBOoqqr6w116pX_q_DYuxJwHc_dwKIKelOUyBhZA dw8blC uH6vhp3W.
- [49] [En línea]. Available: <https://www.riggingdoctor.com/life-aboard/2021/8/25/vdqvf2qhxx0h4ue07nvw1zu39bqlan>.
- [50] [En línea]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/NCA-NCM-16S-60V-20A-30A-1600279906520.html>.

- [51] [En línea]. Available: <https://www.zeva.com.au/index.php?product=131>.
- [52] [En línea]. Available: <https://cqbluejay.com/what-is-the-dc-insulation-monitoring-device-working-principle/>.
- [53] [En línea]. Available: <https://electricidadipl.blogspot.com/2014/07/puente-de-wheatstone.html>.
- [54] [En línea]. Available: <https://www.bender.es/productos/vigilancia-del-aislamiento/isometer-ir155-3203-ir155-3204/>.
- [55] [En línea]. Available: https://www.mouser.es/ProductDetail/TE-Connectivity-Schrack/RTE25012?qs=IV6XMjzHksNJpZWWPlc1Rw%3D%3D&srsltid=AfmBOop-tpzusEZpSjH-F3k3yRBaIvDEEEWoJldkUYROK-t4z5Py_BrN.
- [56] [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/GIGAVAC/GV200BAB-1?qs=Y0Uzf4wQF3navT4cTHJihw%3D%3D&srsltid=AfmBOoqmJjYAbsBuQgUGHM8hliSSFonD5JCTNao8rw8FIBrByjaKVIV8>.
- [57] [En línea]. Available: https://www.digikey.es/es/products/detail/eaton-electronics-division/BK-AMXL-300/17279474?gad_source=1&gad_campaignid=20199916455&gbraid=0AAAAADrbLlhyBqloN_oWrd3Aba7uNLQl3&gclid=CjwKCAjwmenCBhA4EiwAtVjzmm0mOeFfu0II46_dLZD1fNqTKYsr7i9-81ru7aipwicraPgA0Lc-7.
- [58] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/fusibles-de-coche/8482558>.
- [59] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/portafusibles/8949613?gb=s>.
- [60] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/fusibles-de-coche/8482554>.

- [61] [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/Aiqueer-Portafusibles-Impermeable-Universal-Fusibles/dp/B08JC4N95S>.
- [62] [En línea]. Available: https://www.digikey.es/es/products/detail/sparkfun-electronics/COM-18732/15927228?gclid=aw.ds&gad_source=1&gad_campaignid=20199916455&gclid=Cj0KCQjw9O_BBhCUARIsAHQMjS5fIwl62czeAWe2MAjzwO0CICTjWkm13KpNMRNtO9NTfAQM8YMwhK4aAozsEALw_wcB.
- [63] [En línea]. Available: <https://www.amazon.es/Interruptor-Desconexi%C3%B3n-Universal-Desconecte-Caravanas/dp/B09TW15F86>.
- [64] [En línea]. Available: <https://ecoriders.eu/inicio/116-acelerador-domino.html>.
- [65] [En línea]. Available: <https://lappespana.lappgroup.com/productos/catalogo-online/cables-de-alimentacion-y-control/aplicaciones-en-cadenas-portacables/certificado-para-multiples-aplicaciones/oelflex-fd-90-cy.html>.
- [66] [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/TE-Connectivity-Raychem/55A0111-22-3?qs=JRGdcu81duLgmF4QCOKrvw%3D%3D&srsltid=AfmBOorcoC1CErcjgG-7XORcJ0imRo5DRjo--A6lFO2uXKgnjTG966vS>.
- [67] [En línea]. Available: <https://www.grupo-revi.com/es/cables/h07v-k>.
- [68] [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/belden/9572-00305/multipar-blindado-1-par-16awg/dp/2924974>.
- [69] [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/TE-Connectivity-Raychem/400R0111-24->

9?qs=w0nOqLG47Djc5S6xG92OIg%3D%3D&srsltid=AfmBOorsR-
kWx00SC3h9TzwOTLk5kBg7djCCqyA56FgulaLx4ELZJpa3.

[70] [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/TE-Connectivity-Raychem/M27500-22ML2T08?qs=bElAnHi1MbN2F8BQPsg4LQ%3D%3D&srsltid=AfmBOoq7PMpJpBoXqU8iGFPiMpPFtIxaE6koIZIxMZqFw8aphXYq0t-Y>.

[71] [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/TE-Connectivity-Raychem/M27500-22ML3T08?qs=bElAnHi1MbPvHOjfBbsghQ%3D%3D&srsltid=AfmBOopt3T0KMchjuMMWiH016V0ZiD4n1739FYvDKCIKtkXzoURMdEy>.

[72] [En línea]. Available: <https://es.farnell.com/alpha-wire/74005-gr002/cable-ethernet-4cond-22awg-152/dp/2776767>.

[73] [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/TE-Connectivity/1719183-1?qs=QWBbna5I2baEyP5KtmjqDA%3D%3D&srsltid=AfmBOooF1F40TdOJIMCKzHHlqZysFpMVcjuN5YmrC6NJtKxV6dQ-knnb>.

[74] [En línea]. Available: https://www.mouser.es/ProductDetail/Aptiv-formerly-Delphi/12047937?qs=xyz6lfZ1ktIkirODZz7tMQ%3D%3D&srsltid=AfmBOorKD-2yQ8bX2_-B3SiBosuXkq_GYhefLyk_fkIJ16149Hti0EEJ.

[75] [En línea]. Available: https://www.mouser.es/ProductDetail/TE-Connectivity/776164-1?qs=YqNA2qefETAUziSpjzx9mg%3D%3D&mgh=1&vip=1&utm_id=19103542967&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_marketing_tactic=emeacorp&gad_source=1&gad_campaignid=19103548274&gbraid=0AAAAADn_wflh8fvf_rky.

- [76] [En línea]. Available: https://www.mouser.es/ProductDetail/Amphenol-Industrial/SLPHPC95BSB2?qs=Znm5pLBrcALcU7lectpiuw%3D%3D&srsltid=AfmBOopCO2AsKsDPf6oV3PpkFXjeoIn5A7hpVi_jqY3HdI9FOUmUaqLu.
- [77] [En línea]. Available: <https://www.mouser.es/ProductDetail/Amphenol-Industrial/SLPHIRCTPSB2?qs=Znm5pLBrcAIGp4hUq6rOwA%3D%3D>.
- [78] [En línea]. Available: https://www.digikey.es/es/products/detail/w-rth-elektronik/61800924923/10484680?gad_source=1&gad_campaignid=20683036756&gbraid=0AAAAADrbLlgConAWkAiVXTBm6fF9MYYON&gclid=CjwKCAjw6ZTCBhBOEiwAqfwJd9_GHmYKtyJ1ilf5zQqemcvQXxM2TjHHMtC8I7r4CkO_jKHQkB8BcRoCnSMQAvD.
- [79] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-circulares-industriales/2506139>.
- [80] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-circulares-industriales/2506267>.
- [81] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-circulares-industriales/2506135>.
- [82] [En línea]. Available: https://sg.rs-online.com/web/p/industrial-circular-connectors/2506265?srsltid=AfmBOopTEUoa_GYXdEJPYLHc3wtc7FQ5C5zv8dQIWwTf0_bzy1xHHSIJ.
- [83] [En línea]. Available: <https://es.rs-online.com/web/p/conectores-circulares-industriales/2506199>.
- [84] [En línea]. Available: <https://traza.com/blog/post/que-significa-ip65-ip66-ip67-en-las-caracteristicas-de-un-lector-o-terminal-de-mano/>.

ANEXO I: PRESUPUESTO

Elemento	Coste unitario	Unidades necesarias	Unidades totales	Coste unidades necesarias	Coste total
Celda Sony/Murata US18650VTC6	3,65 €	660 celdas	880 celdas	2.409,00 €	3.212,00 €
Inversor Zapi ACE 4	1.726,30 €	1	1	1.726,30 €	1.726,30 €
BMS ZEVA BMSv3	160,00 €	3	4	480,00 €	640,00 €
Resistencias 120 kΩ	1,38 €	1	10	1,38 €	13,80 €
Relés RTE25012	11,48 €	3	6	34,44 €	68,88 €
Contactores GIGAVAC GV200CAB-1	147,16 €	2	3	294,32 €	441,48 €
Fusible BK-AMX-250	7,35 €	1	2	7,35 €	14,70 €
Fusible 10 A	1,08 €	2	5	2,16 €	5,40 €
Fusible 5 A	1,54 €	2	5	3,08 €	7,70 €
Portafusibles en linea	7,71 €	1	1	7,71 €	7,71 €
Portafusibles baja tensión	11,99 €	1	1	11,99 €	11,99 €
Convertidores DC/DC	22,33 €	2	3	44,66 €	66,99 €
Puño Acelerador	115,00 €	1	1	115,00 €	115,00 €
Cable OLFLEX FD 90 CY	10,35 €/metro	5 metros	7 metros	51,75 €	72,45 €
Cable 55A0111-22-3	0,798 €/metro	4,1 metros	6 metros	3,27 €	4,79 €
Cable T4201005x5	0,45 €/metro	6,9 metros	9 metros	3,11 €	4,05 €
Cable 9572	1,59 €/metro	9,1 metros	12 metros	14,47 €	19,08 €
Cable 400R0111-24-9	3,08 €/metro	3 metros	5 metros	9,24 €	36,96 €
Cable M27500-22ML2T08	2,18 €/metro	1,1 metros	3 metros	2,40 €	6,54 €
Cable M27500-22ML3T08	2,34 €/metro	4,3 metros	6 metros	10,06 €	14,04 €
Cable Cat5A 74005 GR002	6,17 €/metro	3,9 metros	6 metros	24,06 €	37,02 €
Malla protectora	0,70 €/metro	6 metros	20 metros	4,2 €	13,99 €
Conectores IMD	1,08 €	3	6	3,24 €	6,48 €
Conector APTIV 12047937	2,51 €	1	2	2,51 €	5,02 €
Conector Amphenol 776164-1	12,76 €	1	2	12,76 €	25,52 €
Conector SLPHPC95BSB2	23,65 €	1	2	23,65 €	47,30 €
Conector SLPHIRCTPSB2	23,07 €	1	2	23,07 €	46,14 €
Conector DB9	1,40 €	1	2	1,40 €	2,80 €
Conector 250-6139	22,06 €	3	6	66,18 €	132,36 €

Conector 250-6233	23,82 €	3	6	71,46 €	142,92 €
Conector 250-6135	20,01 €	5	10	100,05 €	200,10 €
Conector 250-6231	22,06 €	5	10	110,30 €	220,60 €
Conector 250-6199	22,08 €	1	2	22,08 €	44,16 €
Conectores Banana	0,75 €	4	10	3,00 €	7,50 €
Total				5.699,65 €	7.421,77 €

ANEXO II: ALINEACIÓN CON LOS ODS

En el año 2015, los líderes mundiales se unieron con el objetivo de establecer una serie de medidas para acabar con la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad. Estas medidas elaboradas por Naciones Unidas son los denominados Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), y se pretende que se cumplan para el año 2030. Seguidamente, se muestran los 17 objetivos que lo conforman:

- | | |
|--|--|
| 1. Fin de la pobreza | 9. Industria, innovación e infraestructura |
| 2. Hambre cero | 10. Reducción de las desigualdades |
| 3. Salud y bienestar | 11. Ciudades autónomas y sostenibles |
| 4. Educación de calidad | 12. Producción y consumo responsable |
| 5. Igualdad de género | 13. Acción por el clima |
| 6. Agua limpia y saneamiento | 14. Vida Submarina |
| 7. Energía asequible y no contaminante | 15. Vida de ecosistemas terrestres |
| 8. Trabajo decente y crecimiento económico | 16. Paz, justicia e instituciones sólidas |
| | 17. Alianzas para lograr los objetivos |

Aparte de estos objetivos, las Naciones Unidas explica mediante la “Guía de los Vagos para SALVAR el MUNDO” posibles acciones que pueden realizar los ciudadanos. Esta guía abarca distintos niveles desde las propias casas hasta el trabajo.

La movilidad eléctrica es uno de los sectores que más inversión está recibiendo, con el objetivo de crear modelos sostenibles, eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Gracias a esto, día a día la tecnología sigue en continua evolución, siendo esta la alternativa futura con la prohibición de ventas de coches de combustión en 2035.

El proyecto se alinea con los siguientes puntos:

Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante

En este objetivo se muestra la preocupación por garantizar energía limpia y asequible en los distintos campos de la vida cotidiana como el transporte, la sanidad, etc. Para ello, se anima tanto a gobiernos como empresas a realizar inversiones en fuentes de energía renovable, acelerando la transición hacia un sistema asequible, seguro y sostenible. Este proyecto pretenderá contribuir en la implantación de sistemas eléctricos para métodos de transporte no contaminantes

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura

Este objetivo tiene por propósito la construcción de infraestructuras resilientes, la promoción de una industrialización sostenible y el fomento de la innovación. Durante este trabajo se

buscará diseñar el powertrain de la motocicleta de competición de la manera más innovadora, sostenible y eficiente posible.

Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles

Este objetivo presenta el problema que tienen algunas ciudades para desarrollar la vivienda, las infraestructuras y los servicios, provocando la creación de barrios marginales o con condiciones semejantes. Para ello, muestra soluciones entre las que destaca con relación al proyecto, un desarrollo de un sistema de transporte funcional.

Objetivo 13: Acción por el clima

En el objetivo 13 se explica el cambio climático y las consecuencias que este puede tener en nuestro planeta. En este punto se expone la inmediata actuación que se ha de llevar a cabo con el fin de evitar futuros desastres naturales y el calentamiento global. Para ello propone soluciones bajo el prisma político y económico, y busca una mejora de la educación y de la sensibilización en estas materias.