

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

“Diseño de la batería de un vehículo eléctrico para Formula Student ULL.”

Autor: Amairany Katiuska Francisco Lucena

Tutor: Manuel Jesús Rodríguez Valido

Departamento de Ingeniería Industrial

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Universidad de La Laguna

Tenerife, marzo de 2021

Agradecimientos

“Parecía que este día no iba a llegar nunca, pero llegó.”

Mi agradecimiento más sincero a mi tutor de Trabajo Fin de Grado, Manuel Jesús Rodríguez Valido (Zacarías), ya que sin su extremada paciencia esto no hubiese salido adelante. Por animarme y empujarme a terminar siempre, aunque tuviera épocas de desánimo.

Y como no, a toda mi familia, en especial: abuela, mamá, papá, espero que en este día tan especial estéis por fin orgullosos de todo lo que hemos conseguido, porque esta “carrera” no ha sido sólo mía, si no nuestra.

A ti abuelo, que, aunque ya no estás, siempre te llevaré presente y porque sin ti todo esto no habría empezado.

Y al resto, gracias a todos esos compañeros/as y amigos/as que siempre estuvieron ahí para darme un último “empujoncito” y por siempre creer en mí, a veces incluso más que yo misma.

A todos, gracias.

Índice de contenidos

1	Introducción	10
1.1	Antecedentes	12
1.2	Importancia y alcances	13
1.3	Límites del proyecto	13
1.4	Objetivos	14
1.4.1	Objetivo general	14
1.4.2	Objetivos específicos	14
1.5	Estructura de la memoria	14
2	Baterías: Revisión de la literatura y fundamentos teóricos	17
2.1	Introducción. Concepto de batería	17
2.1.1	Definiciones	17
2.1.2	Configuraciones	17
2.1.3	Comparativa. Químicas. Características.	19
2.1.4	Revisión del reglamento	20
2.2	Baterías para vehículos eléctricos	21
2.2.1	Características de las baterías para tracción	22
2.2.2	Sistema de batería de un vehículo. Componentes	24
3	Diseño de un pack de baterías para el vehículo formula student ULL	26
3.1	Requerimientos	27
3.2	Cálculo de la batería de alto voltaje.	28
3.2.1	Teóricos	28
3.2.2	Optimum Lap	31
3.2.3	Cálculos de potencia y temperaturas del pack:	45
3.3	Selección de componentes	51
3.3.1	Fabricación: Construcción y ensamblaje	60
3.3.2	Conexiones entre celdas	62
3.3.3	Integración de la batería al vehículo	63
4	Conclusiones	65
5	Referencias bibliográficas	67
6	Anexos	69
6.1	Anexo I. Baterías. Definiciones.	69
6.2	Anexo 2. Presupuestos.	73

6.3	Anexo 3. Datasheets.....	78
6.3.1	Celdas.....	78
6.3.2	BMS.....	79
6.3.3	IMD.....	81
6.3.4	Cargador.....	87

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Relación de componentes	7
Ilustración 2. Circuito skidpad	11
Ilustración 3. Circuito endurance FSG.....	12
Ilustración 4. Logos FS	13
Ilustración 5. Metodología de diseño	15
Ilustración 6. Conexión serie	18
Ilustración 7. Conexión paralelo	18
Ilustración 8. Conexión serie-paralelo	19
Ilustración 9. Circuito general de conexiones	26
Ilustración 10. Esquema requerimientos	28
Ilustración 11. Página web optimumlap.....	31
Ilustración 12. Modelo de diseño OptimumLap	32
Ilustración 13. Circuito Endurance Montmeló.....	33
Ilustración 14. Parámetros del vehículo introducidos en el programa	33
Ilustración 15. Resumen de datos arrojados por el programa	34
Ilustración 16. Coordenadas del circuito.....	34
Ilustración 17. Gráfica V-x	35
Ilustración 18. Gráfica V-t	35
Ilustración 19. Gráfica A-x	36
Ilustración 20. Gráfica A-t	36
Ilustración 21. Gráfica AI-t	37
Ilustración 22. Gráfica AI-x	37
Ilustración 24. Gráfica Par-x.....	38
Ilustración 23. Gráfica Par-t.....	38
Ilustración 25. Gráfica P-t.....	39
Ilustración 26. Gráfica P-x	39
Ilustración 28. Gráfica Ec-x	40
Ilustración 27. Gráfica Ec-x	40
Ilustración 29. Variación Ec-x	41
Ilustración 30. Variación EC-t	41
Ilustración 32. Gráfica I-t.....	42
Ilustración 31. Gráfica I-x.....	42

Ilustración 33. Track Map Endurance-V.....	43
Ilustración 35. Track Map Endurance-AI	44
Ilustración 34. Track Map Endurance-T	44
Ilustración 36. Track Map Endurance-A.....	44
Ilustración 37. Track Map Endurance-P	45
Ilustración 38. Fotografía prueba aceleración FSS	45
Ilustración 39. Resultados V-t OptimumLap	47
Ilustración 40. V-x	49
Ilustración 41. Celda dimensiones	51
Ilustración 42. Celda carga.....	51
Ilustración 43. Celda descarga	51
Ilustración 44. BMS	52
Ilustración 45. Cargador.....	53
Ilustración 46. Datos del cargador	53
Ilustración 47. Conectores de alto voltaje	54
Ilustración 48. Conector de carga VE	54
Ilustración 49. Relé aislamiento.....	55
Ilustración 50. Fusible de HV	55
Ilustración 51. Conexión IMD.	56
Ilustración 52. IMD.....	56
Ilustración 53. Lámina kapton	57
Ilustración 54. Circuito de pre carga	58
Ilustración 55. Convertidor DC/DC Pulsepower	59
Ilustración 56. Herramientas trabajo en tensión.....	60
Ilustración 57. Vistas del contenedor	61
Ilustración 58. Diseño componentes y módulo individual.....	62
Ilustración 59. Chásis con caja de baterías	63

Índice de tablas

Tabla 1. Principales químicas estudiadas.....	20
Tabla 2. Ventajas y desventajas litio.....	23
Tabla 3. Datos generales teóricos	28
Tabla 4. Resultados OptimumLap	29
Tabla 5. Características de las celdas.....	29
Tabla 6. Dimensiones de las celdas	29
Tabla 7. Configuración celdas	30
Tabla 8. Resumen.....	30
Tabla 9. Constantes.....	46
Tabla 10. Datos de las celdas	46
Tabla 11. datos cobre y niquel	63
Tabla 12. Presupuestos.....	76
Tabla 13. Presupuestos más elevados	77

Resumen

En este documento se detalla el proceso de investigación, diseño y fabricación del pack de baterías para un vehículo Formula Student Eléctrico que se materializará en el periodo comprendido entre 2019-2021 en la Universidad de La Laguna.

La Formula Student es un proyecto educativo, que consiste en una competición que se realiza mundialmente a nivel universitario y que trata del diseño, desarrollo y construcción de un monoplaza (eléctrico o de combustión) por parte de los estudiantes, cuya finalidad es superar una serie de pruebas establecidas. De esta competición se espera que los estudiantes adquieran las destrezas necesarias en el ámbito de los vehículos de competición para enfrentarse posteriormente al mundo laboral.

El equipo FSULL ha optado por el diseño de un monoplaza eléctrico. Por ello, uno de los elementos más importantes del vehículo es el sistema de baterías (energía), el cual es el encargado de suministrar la energía necesaria al sistema de tracción del coche y cumplir satisfactoriamente las pruebas.

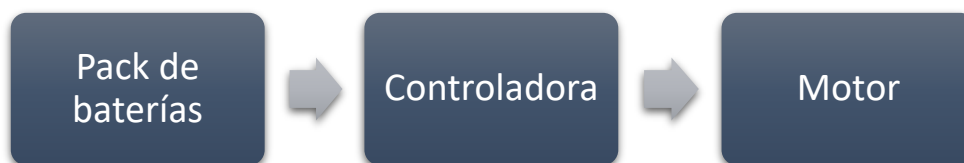


ILUSTRACIÓN 1. RELACIÓN DE COMPONENTES

En esta memoria, hablaremos de los requerimientos y necesidades iniciales del vehículo, los cálculos teóricos necesarios para establecer las características de las celdas, el proceso de selección de las baterías, las condiciones en las que se encontrará el vehículo, y todos los pasos seguidos hasta llegar al diseño final del pack.

El pack de baterías tiene como principio almacenar y proporcionar la energía necesaria del vehículo para superar todas las pruebas a las que se someterá una vez construido. Además, debe ser capaz de dar la potencia dinámica necesaria durante el desarrollo de todo el evento (superar todas y cada una de las pruebas a las que se verá sometido el vehículo).

Según los resultados teóricos de la investigación y diseño, se seleccionan los componentes del mercado para la construcción de este pack, y se adjunta la información también en este documento, así como un análisis comparativo de nuestra propuesta final del pack con otros diseños posibles.

Abstract

This document details the process of researching, designing and manufacturing of the battery pack for a Formula Student Electric vehicle that will materialize in the period 2019-2021 at the University of La Laguna.

The Formula Student is an educational project, consisting on a competition that takes place worldwide at the university level and deals with the design, development and construction of a formula car (electric or combustion) by students, whose purpose is to pass a series of established tests. This competition is expected for students to acquire the necessary skills in the field of racing vehicles to face the world of work later.

The FSULL team has opted for the design of an electric car. Therefore, one of the most important elements of the vehicle is the battery system (power train), which is responsible for supplying the necessary energy to the traction system of the car and satisfactorily complying with the tests.

In this memory, we will talk about the initial requirements and needs of the vehicle, the theoretical calculations necessary to establish the characteristics of the cells, the process of selecting the batteries, the conditions in which the vehicle will be located, and all the steps followed until reaching the final design of the pack.

The battery pack is intended to store and provide the necessary energy of the vehicle to pass all the tests to which it will undergo once built. In addition, it must be able to give the necessary dynamic power during the development of the entire event (overcome each and every test to which the vehicle will be subjected).

According to the theoretical results of research and design, the market components for the construction of this pack are selected, and the information is also attached in this document, as well as a comparative analysis of our final proposal of the pack with other possible designs.

1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de los vehículos eléctricos es fundamental que estos cuenten con un pack de baterías óptimo ya que será el encargado de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento del vehículo.

Este proyecto consiste en una revisión del reglamento de las baterías y sus sistemas de refrigeración y de protección, así como un repaso, a modo de comparativa donde se expondrán las soluciones que han dado otros equipos a esta parte tan importante del vehículo.

Seguidamente, detallaremos la solución final que hemos decidido implementar y los pasos que hemos seguido hasta llegar al dimensionamiento definitivo. Durante el proceso de diseño teórico y cálculos, hemos utilizado software de simulación para ayudarnos tal como Matlab, SolidWorks y OptimumLap, con el fin de poder adivinar el funcionamiento y eficacia de nuestro pack de baterías en una futura puesta en marcha real para el evento de Formula Student.

¿QUÉ ES LA FORMULA STUDENT?

La Formula Student es un evento universitario que se realiza en diferentes lugares del mundo en el que equipos formados por alumnos diseñan, fabrican y conducen un monoplaza de competición. Estos vehículos se dividen en dos modalidades: de combustión o eléctricos.

El evento en sí es una competición en la que los equipos intentan obtener las mejores puntuaciones en las diferentes pruebas de las que se compone.

Esta competición, está dividida en dos tipos de pruebas principalmente: las estáticas y las dinámicas. A continuación, se hace un breve resumen de ambas:

→ Eventos estáticos:

1. Presentación del Plan de negocio.
2. Fabricación y costo.
3. Diseño de ingeniería.

Estos eventos consisten en pequeñas presentaciones que realizan los alumnos en la que, frente a los jueces, explican partes del proyecto como el proceso de fabricación, el diseño final al que han llegado, el presupuesto utilizado para la realización del proyecto, etc.

→ Eventos dinámicos:

1. **Skid Pad:** consta de un par de círculos concéntricos en forma de 8, separados a 18.25 m de distancia. Los círculos interiores tienen 15,25 m de diámetro y los exteriores 21,25 m. Se colocan 16 conos en cada círculo tal como se muestra en la figura 2. La línea entre los centros de los círculos define la línea de salida y llegada. Una vuelta se define como el viaje alrededor de uno de los círculos, empezando y terminando en la línea de salida y llegada. Consiste en dar 4 vueltas.

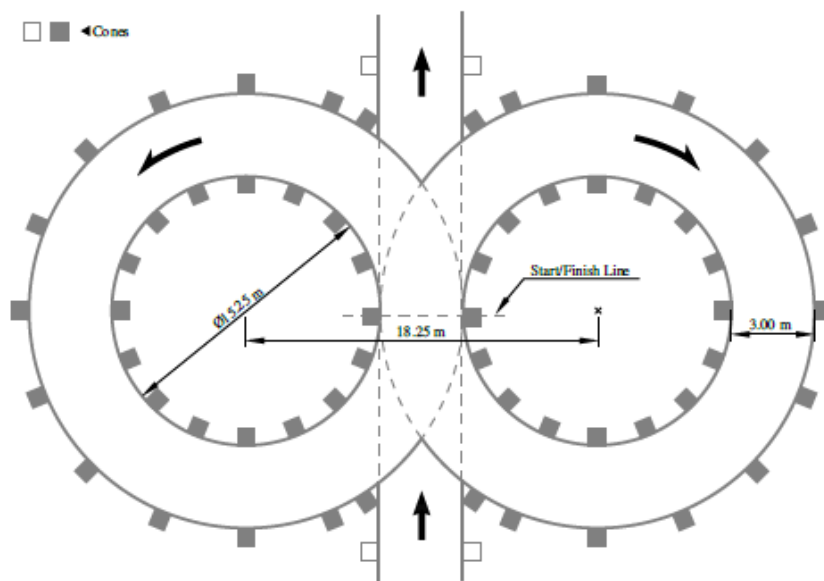


ILUSTRACIÓN 2. CIRCUITO SKIDPAD

2. **Aceleración:** Consiste en recorrer una línea recta de 75 m de longitud y 3 m de ancho, con conos colocados cada 5 m de distancia. Cada equipo tiene 4 oportunidades
3. **Autocross:** circuito en el que el diseño de la pista consta de:
 - a. Rectas: No más de 80 m
 - b. Giros constantes: hasta 50 m de diámetro
 - c. Horquilla da vuelta: mínimo de 9 m de diámetro exterior (de vuelta)
 - d. Slalom: conos en línea recta con 7,5 m a 12 m de espaciamiento
 - e. Otros: Chicanes, giros múltiples disminuyendo el radio de vueltas, etc. La mínima anchura de pista es 3 m.
 - f. La longitud de la pista de autocross es menor de 1,5 km.

- 4. Resistencia (endurance):** circuito cerrado de 22 vueltas de 1 km cada una. Es la prueba más importante del evento, donde se demuestran todas las capacidades del coche, si el diseño desempeña el máximo rendimiento y cómo responde el vehículo a este esfuerzo tan prolongado. Esta prueba consta de un periodo de 22 vueltas, un cambio de piloto y otras 22 vueltas.



ILUSTRACIÓN 3. CIRCUITO ENDURANCE FSG

1.1 Antecedentes

Este proyecto nace de la inquietud de algunos alumnos de Ingeniería de la ULL por el mundo del motor. Desde un primer momento, se decide que el vehículo será de tipo eléctrico siempre favoreciendo al desarrollo de nuevas tecnologías y la innovación en el ámbito estudiantil. Durante un año se lleva a cabo la creación de este equipo gracias al apoyo del profesor Manuel Jesús Rodríguez Valido que hizo de nexo entre estudiantes y el organismo universitario. Actualmente la ULL también ha adquirido el compromiso de sacar adelante el proyecto de Moto Student, así conjuntamente se están llevando a cabo estos dos proyectos incluso favoreciendo la comunicación y apoyo entre los estudiantes que forman cada grupo.

Puesto que se trata de la primera vez que en la Universidad de La Laguna se plantea la fabricación de un prototipo de monoplaza eléctrico, ha sido necesario empezar desde cero la mayoría de sistemas eléctricos y electrónicos del vehículo. También se ha tenido que realizar un estudio de cada componente y circuito partiendo de parámetros a priori desconocidos, comenzando siempre desde simulaciones y suposiciones. El principal requisito para que todo funcione una vez implementado será ceñirse en todo momento a la normativa que regula el

proyecto de Formula Student, que cada año se publica en la página de “Formula Student Germany” y que, aunque las variaciones de un año a otro no son tan extremas, sí que habrá que consultarla y respetarla.

1.2 Importancia y alcances

Se trata de un proyecto de gran importancia a nivel comunitario, ya que es la primera vez que en las Islas Canarias una universidad apoya un proyecto como este. Por todo esto, será decisivo para nosotros como equipo que todo el proyecto esté realizado correctamente, tanto el diseño como los cálculos necesarios para que todos los sistemas de nuestro monoplaza funcionen correctamente entre sí y podamos participar en la competición sin inconvenientes y con éxito.

Además, todo esto asentará las bases de un proyecto que esperemos que se mantenga en años futuros en nuestra universidad, siempre con afán de mejorar año tras año tanto el diseño como el rendimiento de nuestro vehículo, obteniendo así una mejor reputación como equipo.

1.3 Límites del proyecto

Todo este proyecto se ha realizado atendiendo a la normativa vigente que rige las competiciones de Formula Student. Es requisito indispensable para la participación que se cumpla en todo momento con estas reglas y que el diseño y fabricación de este vehículo, así como cada uno de sus componentes, estén siempre dentro de éstas. Los objetivos propuestos serán de cumplimiento en el plazo estimado por el equipo FSULL, para así lograr competir en próximas competiciones como son Formula Student UK y Formula Student Spain ambas en el año 2021, ya que el pasado 2020 se han visto todas las competiciones suspendidas a causa de la crisis sanitaria.

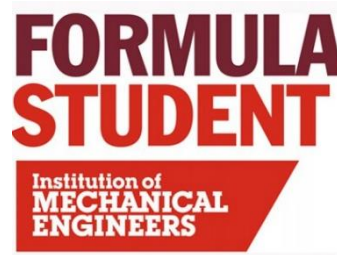


ILUSTRACIÓN 4. LOGOS FS



1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseño y fabricación del pack de baterías que alimentará al monoplaza eléctrico del equipo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Revisión de la normativa Formula Student. Síntesis de las partes más importantes que afectan al apartado del sistema de alto y bajo voltaje.
- Requerimientos técnicos o parámetros del diseño
- Estudio de los diferentes tipos de celdas disponibles, así como sus diferentes químicas.
- Cálculos teóricos y dimensionamiento de las celdas, de cada módulo por individual, del pack completo, cableado y conexiones.
- Ensamblaje de componentes, si bien no disponemos de los elementos necesarios, se hará un modelo 3D con la herramienta SolidWorks.
- Comprobaciones mediante simulaciones del funcionamiento de las celdas, y de la seguridad del sistema completo.
- Si es posible, realización de pruebas del funcionamiento del pack una vez colocada en el vehículo para comprobar que todo lo supuesto, se cumple.

1.5 Estructura de la memoria

La memoria consta de cuatro partes bien diferenciadas:

- En primer lugar, una introducción, de la que venimos, en la que se exponen un poco los antecedentes que han llevado a la fabricación de este pack de baterías, así como la descripción del evento Formula Student.
- En segundo lugar, una descripción de qué son las baterías, todo su fundamento teórico, la normativa que las regula dentro de la competición, así como las principales químicas existentes y sus características principales.
- En tercer lugar, cálculos teóricos, simulaciones y procesos llevados a cabo para el diseño y fabricación del pack.

- Por último, un apartado en el que se encuentran las conclusiones del proyecto, la solución propuesta y las recomendaciones futuras para mejorar el rendimiento del pack y optimizar su diseño.



ILUSTRACIÓN 5. METODOLOGÍA DE DISEÑO

2 BATERÍAS: REVISIÓN DE LA LITERATURA Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1 Introducción. Concepto de batería.

Para comprender todo lo que en este proyecto se redacta, es necesario saber:

- Qué es una batería.
- Cómo funciona internamente.
- Qué química la conforma.
- Principales características.

2.1.1 Definiciones

“Una batería es un elemento que acumula energía a través de procesos electroquímicos. También conocidas como acumuladores, trabajan como generadores secundarios de electricidad ya que su funcionamiento depende de una carga eléctrica previa.”

Sus definiciones más importantes para facilitar la lectura de este documento, se hallan en el anexo I. A pesar de que son muchos los parámetros que definen a las baterías, es indispensable tener claro siempre la definición breve de los dos siguientes conceptos, ya que será de vital importancia manejarlos con soltura para comprender el contexto en el que se utilizan:

- Carga (capacidad suministrada a la batería).
- Descarga (capacidad extraída de la batería).

2.1.2 Configuraciones

Las baterías pueden agruparse en dos configuraciones denominadas serie y paralelo. Estas asociaciones se realizan para alcanzar los voltajes o capacidades deseadas. Para las agrupaciones en serie y paralelo es indispensable que las celdas utilizadas sean del mismo modelo, es decir, que tengan las mismas características de voltaje y amperaje para evitar desequilibrios en las conexiones.

- **Conexión en serie:** consiste en unir dos o más celdas con el objetivo de aumentar la tensión. En este tipo de conexiones las pérdidas son menores a lo largo de los cables. Las tensiones se suman y la capacidad a la salida permanece igual.

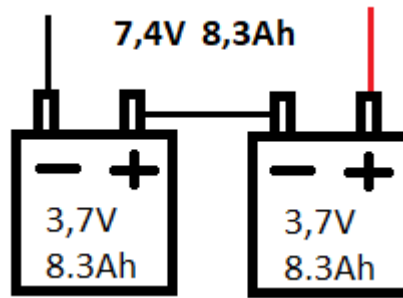


ILUSTRACIÓN 6. CONEXIÓN SERIE

En el ejemplo de la imagen se muestran dos celdas unidas en serie, que dan como resultado un doble de tensión pero que mantienen la capacidad de la celda en individual.

- **Conexión en paralelo:** consiste en unir dos o más celdas de forma que se aumenta su capacidad. Cuanto mayor sea la capacidad mayor será la cantidad de carga que puede almacenarse.

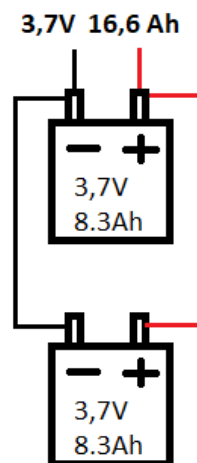


ILUSTRACIÓN 7. CONEXIÓN PARALELO

En el ejemplo de la imagen se muestran dos celdas unidas en paralelo, que dan como resultado un doble de capacidad pero que mantienen el mismo voltaje de la celda en individual.

- **Conexión serie/paralelo:** este tipo de conexión es la más flexible en cuanto a diseño porque permite alcanzar los valores de voltaje y capacidad deseados según la aplicación que demos a las baterías. En este tipo de agrupación de celdas al ser más complejo, es necesario un sistema de monitoreo que permita mantener las celdas dentro de sus límites

de funcionamiento seguro, y además saber en cada instante en qué condiciones se encuentran las baterías.

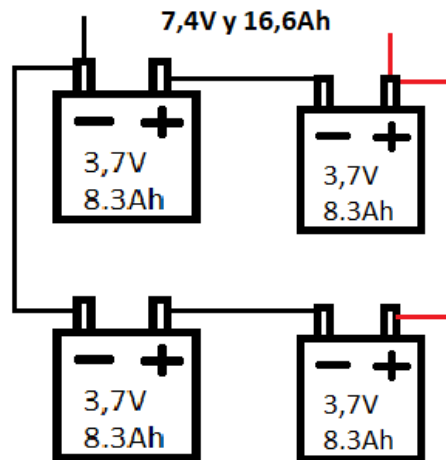


ILUSTRACIÓN 8. CONEXIÓN SERIE-PARALELO

Además de conocer los diferentes tipos de conexiones existentes, es fundamental tener en cuenta que ya sea por agotar su vida útil o por algún fallo en el sistema, el acceso a las celdas tiene que ser “fácil” por si en algún momento es necesario sustituir alguna celda. Por este motivo y porque se especifica en la normativa, consideraremos la importancia de dividir el pack en módulos, ya que estos hacen posible un mejor acceso a las celdas y una más rápida actuación en caso de ser necesaria la sustitución de alguna de ellas.

2.1.3 Comparativa. Químicas. Características.

Tras haber realizado una búsqueda de las principales químicas utilizadas en baterías para vehículos eléctricos, llegamos a este apartado, en el que se expondrá brevemente las características de cada tipo, así como sus parámetros más relevantes.

Así, al final de este apartado se realizará una comparativa entre las particularidades más decisivas de cada química que determinarán la elección final del tipo de las celdas que utilizaremos para nuestro pack.

A continuación, se muestra una tabla con las características más importantes según el tipo de química de las celdas:

Tipo	Energía específica (Wh/kg)	Densidad de energía (Wh/l)	Potencia Específica (W/kg)	Ciclos de vida	Tiempo de carga rápida
Baterías de plomo ácido	30 - 40	60 – 75	180 - 250	500 - 1000	8 - 16
Níquel-Cadmio	45 - 80	80	150	500 - 2000	1
Níquel-Hidruro metálico	60 - 120	150	200	600 - 3500	2 - 4
Azufre de sodio	150	50 – 200	150 - 240	2500	2 - 4
Iones de litio	110 - 250	250 – 620	250 - 340	1000 - 8000	2 - 4
Polímero de iones de litio	130 - 200	300	10000	+ 1000	1 – 1.5

TABLA 1. PRINCIPALES QUÍMICAS ESTUDIADAS

Debido a que están en constante evolución y a que tienen unas mejores prestaciones si las comparamos con el resto, las más utilizadas actualmente para este tipo de propósitos son las baterías de polímero de litio, pues presentan una altísima potencia específica, durabilidad media y carga muy rápida en comparación con las demás químicas disponibles.

2.1.4 Revisión del reglamento

En este apartado exponemos brevemente los puntos más importantes de la revisión de la normativa:

- Máximo voltaje permitido entre dos conexiones eléctricas: 600V DC.
- Están permitidas todo tipo de celdas excepto MOLTEN SALT y THERMAL BATTERIES.
- Las celdas de combustible están prohibidas.
- El pack o packs de baterías debe estar correctamente contenido en un elemento diseñado para ello.
- Cada segmento del acumulador no debe exceder de los siguientes valores:
 - máximo voltaje de 120 V DC
 - máxima energía de 6 MJ
 - masa máxima de 12 kg.
- Cada compartimento debe estar marcado con el nombre de la universidad y el número de teléfono del ESO con una letra y tamaño específico.
- Las baterías de recambio han de tener las mismas características que las reemplazadas.

- Debe ser posible abrir el contenedor de las baterías para su inspección.
- Debe ser posible extraer del vehículo el contenedor de las baterías sin necesidad de instalar componentes extras (Fácil desmontaje).
- Debe estar claramente identificado el contenedor de las baterías.
- Si el contenedor está hecho de un material eléctricamente conductor, la barrera de aislamiento debe protegerse adecuadamente contra penetraciones conductoras.
- Cada recipiente acumulador debe contener al menos un fusible y al menos dos acumuladores relés de aislamiento.
- Necesarios indicadores leds rojos visibles para indicar tensiones superiores a 60V.
- Todos los materiales del contenedor de las baterías deben ser resistentes al fuego según las normativas descritas.
- El contenedor de las baterías debe estar protegido de choques o impactos por la estructura.
- El contenedor de las baterías debe estar dividido internamente en secciones respetando dimensiones especificadas.

2.2 Baterías para vehículos eléctricos

Sabemos que la tecnología progresa a pasos agigantados, es por ello que actualmente y cada vez más se apuesta por una movilidad más sostenible. En el ámbito de los vehículos eléctricos, han sido muchas las innovaciones que se han sucedido a lo largo de los últimos años. A pesar de que el coche eléctrico es una idea que ha ido rondando por la mente de algunas personas desde hace muchísimos años, son muchos los cambios y mejoras que han sufrido en todo este tiempo, sobre todo en los últimos años ya que verdaderamente nos encontramos en su mayor auge, dado que cada vez hay más concienciación sobre el medio ambiente y la sostenibilidad. Implantar las energías “limpias” en el ámbito de la movilidad ha sido una tarea difícil, pero ha dado pie a la búsqueda de nuevas químicas y nuevos componentes, así ha generado investigación y desarrollo, lo que nos ha beneficiado enormemente.

Por todo esto y dado que el equipo FSULL apuesta por una movilidad sostenible, nos vemos inmersos en la decisión de qué componentes formarán nuestro prototipo eléctrico, más concretamente qué química será la elegida para nuestro pack de baterías.

2.2.1 Características de las baterías para tracción

En este apartado, nos centraremos en las principales ventajas y desventajas de las baterías de *iones de litio* y *polímero de litio*, por ser las que más uso tienen en el ámbito de la Formula Student. Como ya hemos visto en apartados anteriores, en comparación con otras químicas, son las que más se ajustan a lo que buscamos: mayores densidades de energía, mayores potencias específicas y tiempos de carga más rápidos. Estos parámetros de prioridad para escoger la química adecuada de nuestras celdas se plantean siempre atendiendo a las especificaciones de diseño, nuestros objetivos y sobre todo enfocados a poder terminar de forma eficiente y sin inconvenientes las pruebas dinámicas de la competición.

Principales diferencias entre ambas químicas, ventajas y desventajas:

- El litio es utilizado como elemento principal puesto que ocupa un tamaño reducido y no tiene *efecto memoria*, esto es, si realizamos una carga incompleta de nuestras baterías, no se reducirá la capacidad de nuestras celdas.
- Al ser una química en auge, y que avanza cada día, son más baratas de producir.
- Tienen una vida útil relativamente larga (generalmente un máximo de 1000 ciclos de carga, aunque cabe mencionar que lo más común es que sobrevivan durante aproximadamente 500 ciclos sin alterar mucho sus virtudes).
- Otra ventaja y a la vez diferencia entre estas dos químicas sería que unas poseen un líquido y las otras un gel a modo de electrolito, esto se explica a continuación: las baterías de Li-Ion usan como electrolito una sal de Litio contenida en un líquido que proporciona los iones que circularán entre el cátodo hasta el ánodo durante la descarga de la celda. Esta circulación genera una diferencia de potencial que hace moverse a los electrones por el circuito al que está conectada la batería (en este movimiento es cuando proporcionan energía). Durante la carga de las celdas se invierte la polaridad, los iones se mueven del ánodo al cátodo. En el caso de las baterías LiPo, el proceso es muy parecido, salvo que la sal de Litio está contenida en una especie de gel (se trata de un compuesto polimérico) lo que hace menos probable un derrame o al menos más controlable en caso de ocurrencia.

- Otra diferencia que presentan entre los dos tipos de química es que las baterías de LiPo suelen ser más flexibles, pero más inflamables.
- Una batería LiPo puede almacenar una gran cantidad de energía y puede fabricarse en medidas personalizadas, además, ofrecen una tasa de descarga más alta.
- Las baterías LiPo disponen de un mayor voltaje por celda que otros tipos. Pueden llegar a los 4,2V cuando están completamente cargadas, cosa que con otras químicas no se consigue.

	Ventajas	Desventajas
Li-ión	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño reducido - Más baratas - Más durabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Solvente orgánico, más probabilidad de derrame. - Menos controlable en caso de producirse una emergencia.
LiPo	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño reducido - Más baratas - Más durabilidad - Compuesto polimérico - Más flexibilidad - Almacenan gran cantidad de energía - Tasa de descarga alta - Mayor voltaje por celda 	<ul style="list-style-type: none"> - Más inflamables

TABLA 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS LITIO

2.2.2 Sistema de batería de un vehículo. Componentes

En este apartado definiremos brevemente cada uno de las funciones fundamentales de cada elemento del pack de baterías.

- Celdas: son el componente principal, son las encargadas de almacenar la energía que posteriormente va a alimentar el vehículo. Varias celdas dispuestas en serie o paralelo, forman una batería.
- BMS: dispositivo que se encarga de obtener datos de tensión, temperatura y flujo de corriente de cada celda para asegurar su correcto funcionamiento y darnos en cada instante datos sobre su estado.
- Circuito de precarga: circuito de arranque suave formado por una resistencia y un relé.
- Conexiones: cableado interno de la batería.
- Conectores de alto voltaje: conectarán cada módulo del pack de baterías con los otros y servirán para dar la salida del pack total. Además, permiten la conexión y desconexión de los componentes de alto voltaje.
- Fusibles de HV: Interrumpen el flujo de corriente en caso de producirse un cortocircuito.
- Relés de HV: Cierran los contactos en caso de detectar condiciones anormales de funcionamiento.
- IMD: Monitorea la resistencia de aislamiento entre los conectores de alto voltaje y los de bajo voltaje. Es un elemento de seguridad obligatorio en este tipo de aplicaciones.
- Aislantes: protección de aislamiento eléctrico que sirve de separación entre los elementos de alto voltaje, principalmente para evitar cortocircuitos.
- Convertidor DC/DC: transforma el alto voltaje continuo de la batería en un voltaje nominal de 12V o 24V. Se utiliza para alimentar elementos de alto consumo.

Los resultados teóricos del diseño se obtendrán con un estimado entre los datos arrojados por la simulación que se realizará en OptimumLap y los cálculos teóricos de partida. Seguidamente se obtendrá la energía necesaria que debería proporcionar la batería, la corriente máxima y el voltaje, para así realizar una correcta elección de las celdas y su configuración

Una vez obtenido todo esto, realizamos una búsqueda de las celdas que cumplieran nuestros requisitos teóricos. También procedimos a una revisión de diferentes documentos que redactaban las soluciones propuestas por otros equipos participantes en este evento.

Después, se realizó un diseño mecánico del recinto estanco que contendría las baterías, llevado a cabo con la herramienta SolidWorks, y que mostraba la posible situación y asociación de nuestro pack de baterías.

Partiendo de los elementos anteriormente mencionados, se realizaron varias propuestas de diseño y montaje para el pack, de las cuales escogimos la más adecuada y que mejor cumplía con los requisitos del evento y los requerimientos del vehículo.

3.1 Requerimientos

El diseño está principalmente condicionado por:

1. Normativa que regula la competición Formula Student. Es indispensable realizar una revisión de la misma antes de comenzar a establecer parámetros de diseño para tener claras las limitaciones.
2. Pruebas de las que se compone el evento. Influirán sobre todo las pruebas dinámicas, puesto que, aunque las estáticas también son un factor limitante (plan de negocios y presupuesto), lo que más va a limitar nuestro diseño es el comportamiento del monoplaza a la hora de desarrollar las pruebas.
3. Características del vehículo.
4. Modo de conducir del piloto.



ILUSTRACIÓN 10. ESQUEMA REQUERIMIENTOS

3.2 Cálculo de la batería de alto voltaje.

3.2.1 Teóricos

A continuación, se muestra la tabla de resultados, estimados en la simulación, que se ha tenido en cuenta para el posterior cálculo de las características principales de las celdas. Concretamente, el cálculo que va a definir todo el proceso de diseño es la capacidad necesaria que han de entregar las baterías al motor para la ejecución de la prueba más restrictiva, el Endurance.

Voltaje	400
Alcance (km)	22
Eficiencia(kW/km)	0,26
Capacidad (kWh)	5,72
Carga (Ah)	32,18

TABLA 3. DATOS GENERALES TEÓRICOS

J	Resultados OptimumLap	
		844745,6438
Factor de Conversión	2,77778E-07	
kWh	0,234651568	Para la mejor vuelta
	5,16233449	Para toda la Endurance
Calculado con Pérdidas	6,452918112	Energía necesaria

TABLA 4. RESULTADOS OPTIMUMLAP

Partiendo del dato de capacidad obtenida con un valor entre 5,16 y 6,45 kWh (arrojada por los cálculos teóricos y los simulados en el OptimumLap , procedí al cálculo de las características de las celdas, siempre teniendo en cuenta que el valor calculado está con margen para las pérdidas, con un sobredimensionado de valor 25%.

Para ello hemos tenido en cuenta que el motor escogido tiene una potencia máxima de 80 kW, y una potencia suministrada de 40 kW. Partiendo de esto, se han obtenido las siguientes características para las celdas:

Tensión nominal celda (V)	3,7
C celda	15
Capacidad nominal celda (Ah)	8,3

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE LAS CELDAS

Luego, hemos iniciado una búsqueda en las principales páginas de distribuidores de celdas de este tipo de características buscando la que cumpliera con los requisitos de capacidad y tensión propuestos en la tabla 2, encontramos que la empresa E-Propulsion Systems tiene un modelo que se ajustaba a los requerimientos. La tabla 5 muestra las características físicas.

Grosor (mm)	6,1
Ancho (mm)	65
Largo (mm)	189
Peso (g)	170

TABLA 6. DIMENSIONES DE LAS CELDAS

Una vez seleccionadas las celdas, procedí a la configuración del pack, para la que obtuve:

Celdas serie	108
Celdas Paralelo	2
Total, Celdas	216

TABLA 7. CONFIGURACIÓN CELDAS

Por último, se muestra un resumen de la configuración total del pack en base a nuestros cálculos:

Intensidad máxima pack (A)	200
Tensión máxima pack (V)	399,6
Energía suministrada por el pack (kWh)	6,63336
Dimensión pack, sólo celdas (m3)	0,01619
Peso pack, sólo celdas (kg)	36,72

TABLA 8. RESUMEN

Una vez obtenidos todos los números, el siguiente paso fue pensar cómo se distribuirían estas 216 celdas dentro del pack según normativa. las normas correspondientes a este periodo de competición, las celdas han de ir distribuidas en distintos módulos en los que no se ha de superar ninguno de los siguientes valores de energía, tensión y peso:

“EV5.3 Tractive System Energy Storage – General Requirements”

$$\text{Energía} < 6 \text{ MJ}$$

$$\text{Voltaje} < 60 \text{ V}$$

$$\text{Peso} < 12 \text{ kg}$$

Partiendo de estas restricciones y para hacer las conexiones internas más sencillas, se decide distribuir el pack en ocho módulos.

Al llegar a este punto del diseño, me he dado cuenta de que, si hago esta división de módulos, las celdas al ser impares no me permitirían una buena y fácil configuración, por lo que he decidido, disminuir 8 celdas del cálculo inicial. Así, cada módulo contará con 26 celdas en vez de 27, configuradas internamente como 13S2P y con una conexión global de 104S2P. Esto nos da una tensión máxima a 384,8V y una energía de 6,4 kWh, lo que modifica ligeramente nuestros cálculos anteriores.

A continuación, se detallan los cálculos que comprueban el cumplimiento del punto EV5.3 de la normativa vigente:

Energía por módulo:

$$E = \frac{3,7 * 8,3 * 13 * 2}{1000} = 0,79846 \text{ kWh} \approx 0,80 \text{ kWh}$$

$$E = 0,8 \text{ kWh} * \frac{3,6 \text{ MJ}}{1 \text{ kWh}} = 2,88 \text{ MJ} < 6 \text{ MJ}$$

Tensión por módulo:

$$V = 13 * 3,7 = 48,1 \text{ V} < 60 \text{ V}$$

Masa por módulo:

$$m = 13 * 2 * 170 \text{ g} = 4,42 \text{ kg} < 12 \text{ kg}$$

En el siguiente cuadro observamos que se cumple con todos los requisitos:

“EV5.3 Tractive System Energy Storage – General Requirements”

Energía obtenida por módulo: 2,88MJ < 6 MJ

Voltaje obtenido por módulo: 48,1V < 60 V

Peso obtenido por módulo: 4,42kg < 12 kg

Como vemos, el diseño con las celdas escogidas cumple con los tres requerimientos principales de la normativa si las distribuimos por módulos. Además, se observa que aún seguirá siendo suficiente para completar la prueba más restrictiva. También se considera un pequeño margen de error de cálculos o circunstancias que puedan surgir durante el desarrollo de las pruebas.

3.2.2 OptimumLap

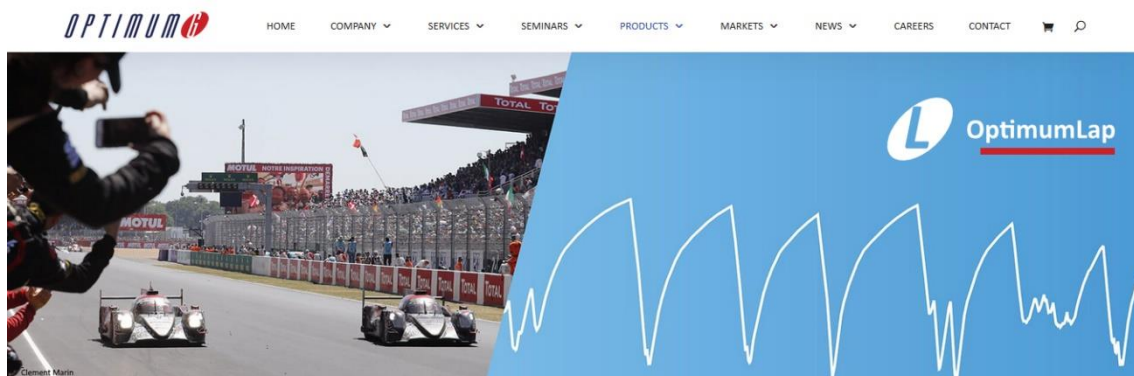


ILUSTRACIÓN 11. PÁGINA WEB OPTIMUMLAP

OptimumLap es un software de simulación gratuito y de gran utilidad en este tipo de proyectos. Se emplea principalmente para simular el comportamiento de diferentes vehículos con determinadas condiciones en un circuito seleccionado. Este programa permite obtener datos de velocidad, aceleración y potencia partiendo de un modelo del vehículo y un circuito que puede ser: o bien diseñado por el usuario o bien utilizando uno de las librerías disponibles del programa. Los datos obtenidos de esta simulación son fiables casi al 100% y nos permiten hacernos una idea bastante aproximada de cómo se comportará nuestro vehículo. Es de uso sencillo, gratuito y se descarga desde la página oficial: <http://www.optimumg.com>.

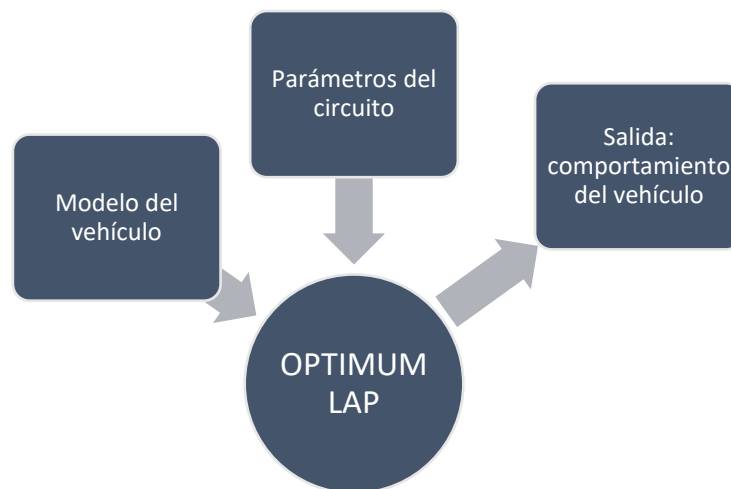


ILUSTRACIÓN 12. MODELO DE DISEÑO OPTIMUMLAP

En nuestro caso, y dado que la prueba más restrictiva se realiza en parte del circuito Montmeló en Cataluña, lo que hicimos fue realizar un modelo aproximado de este circuito en el programa.

Esta prueba consiste en dar 22 vueltas a un circuito de 1 km aproximadamente, delimitado por conos. Visualizando videos de la prueba, buscando información y dado que tuve la oportunidad de ver el circuito personalmente, se pudo hacer un diseño bastante aproximado del mismo, que quedó como se muestra en la Ilustración 13:

Endurance, Barcelona, España

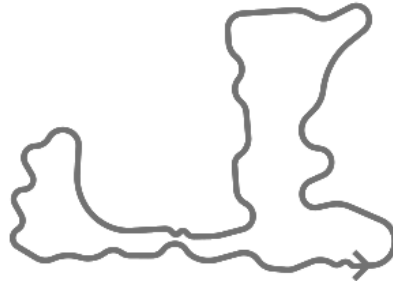


ILUSTRACIÓN 13. CIRCUITO ENDURANCE MONTMELÓ

Hemos simulado este modelo por ser la prueba que nos delimitará los requisitos necesarios de energía que tendremos que tener en cuenta a la hora de diseñar nuestro pack de baterías.

Para el modelo del vehículo se ha partido de una serie de datos teóricos, como el peso, datos de la aerodinámica del vehículo, tipo de ruedas, tipo de química que utilizarían las baterías, etc. Todo esto se muestra a continuación [Ilustración 14]:

Vehicle Configuration









	Parameter	Value
	Total Mass	300 kg
	Max Torque	63,4 N.m @ 10549 rpm
	Type of Fuel	Lithiumlon
	Type of Transmission	Sequential Gearbox
	Max Power	97,24 hp @ 11351 rpm
	Power Mass Ratio	0,32 hp/kg
	Downforce @ 100 km/h	-6,17 N
	Drag @ 100 km/h	458,25 N

ILUSTRACIÓN 14. PARÁMETROS DEL VEHÍCULO INTRODUCIDOS EN EL PROGRAMA

Performance Metrics

	Metric	Value
	Top Speed	148,57 km/h
	Time for 0 to 100 km/h	3,28 s
	Time for 100 to 0 km/h	1,95 s
	Lateral Acceleration - Skidpad 50 m	14,69 m/s ²

ILUSTRACIÓN 15. RESUMEN DE DATOS ARROJADOS POR EL PROGRAMA

De esta simulación, pudimos obtener los parámetros necesarios para comenzar con algunos cálculos teóricos [Ilustración 15] y realizando comparativas entre estos datos obtenidos y los calculados pudimos comprobar que nuestros cálculos se ajustaban mucho a la realidad simulada.

A continuación, se muestra una relación de gráficas obtenidas con los programas RStudio, y OptimumLap, en los que se muestran los resultados y el comportamiento del vehículo, y finalmente un análisis a modo de resumen de los resultados obtenidos:

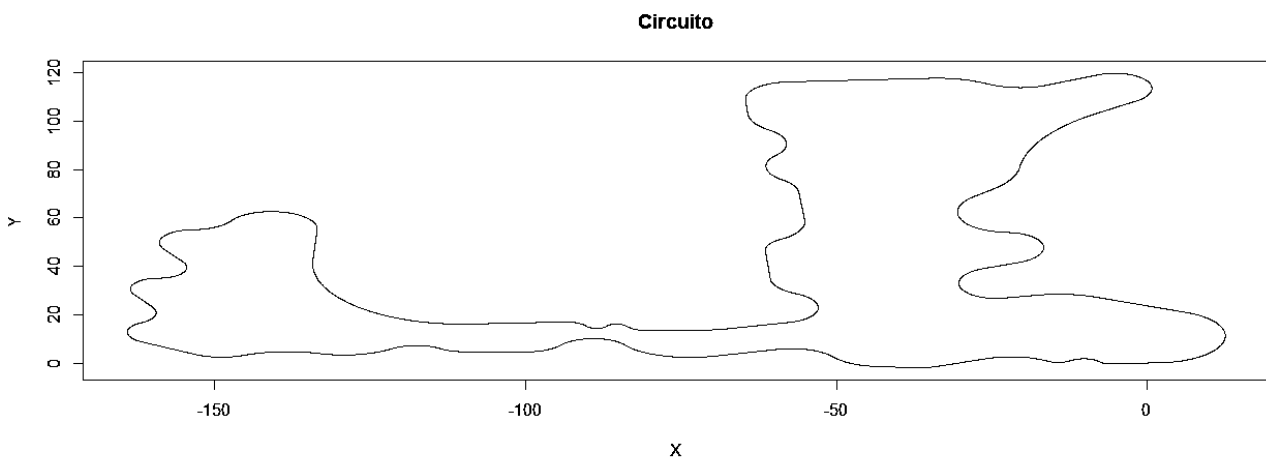
a) Coordenadas del circuito:

ILUSTRACIÓN 16. COORDENADAS DEL CIRCUITO

La Ilustración 16 muestra las coordenadas del circuito simuladas en el programa RStudio. Se han realizado a partir de los datos arrojados por la simulación en OptimumLap, al igual que todas las gráficas que se muestran en las páginas siguientes:

b) Comportamiento de la velocidad, frente al tiempo y la distancia:

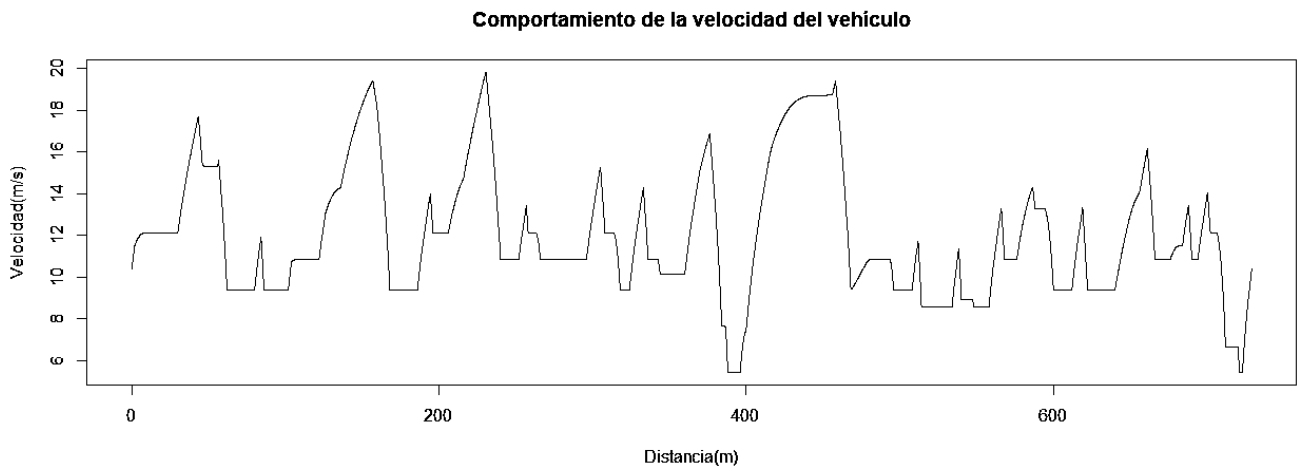


ILUSTRACIÓN 17. GRÁFICA V-X

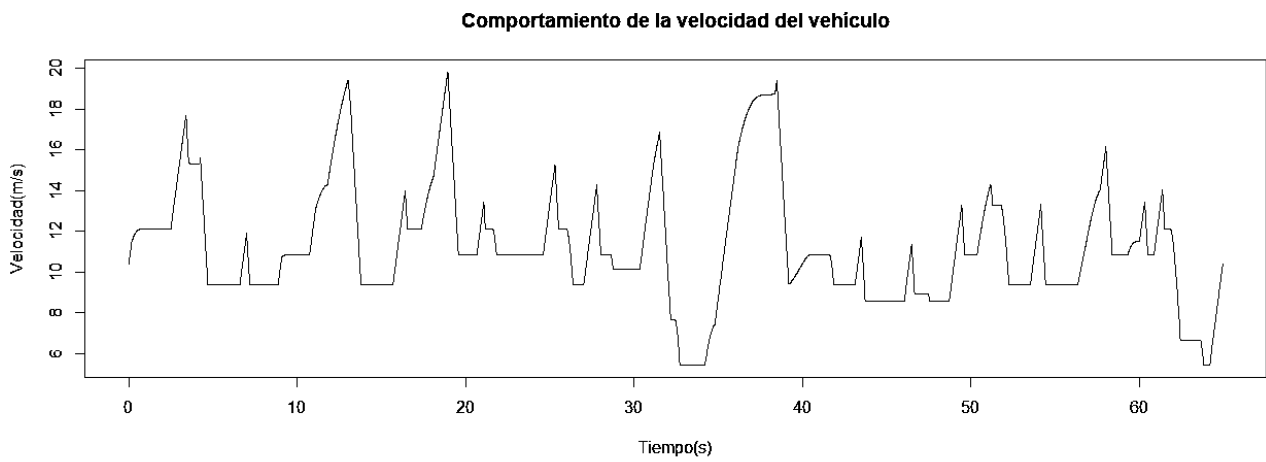


ILUSTRACIÓN 18. GRÁFICA V-T

c) Comportamiento de la aceleración longitudinal, frente al tiempo y la distancia:

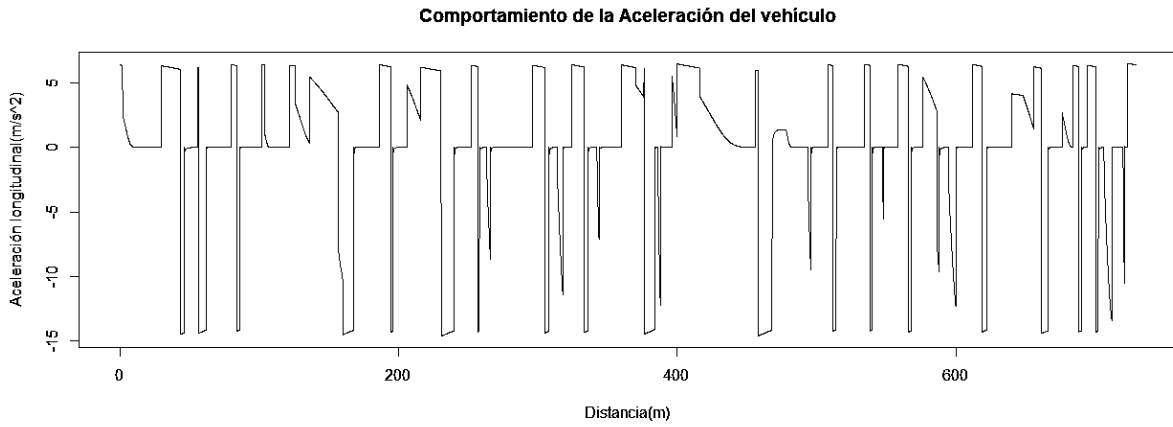


ILUSTRACIÓN 19. GRÁFICA A-X

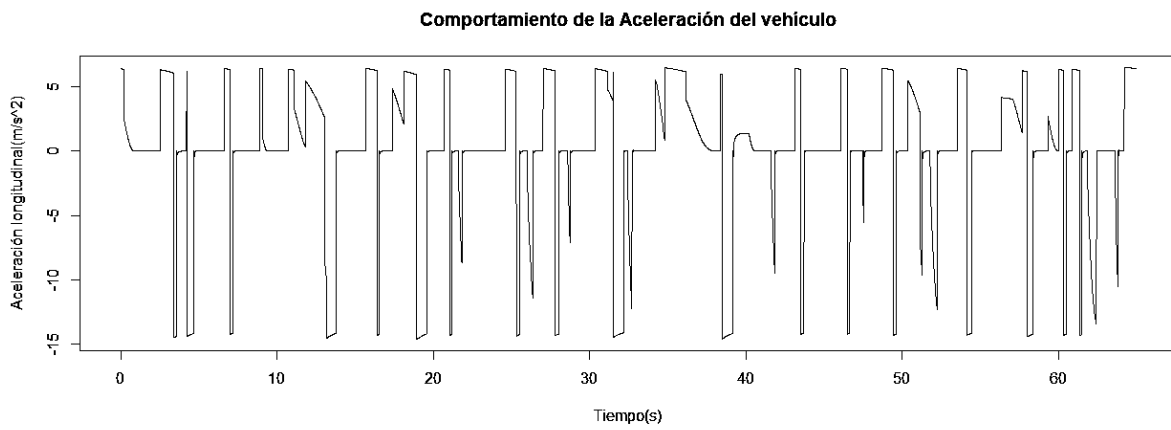


ILUSTRACIÓN 20. GRÁFICA A-T

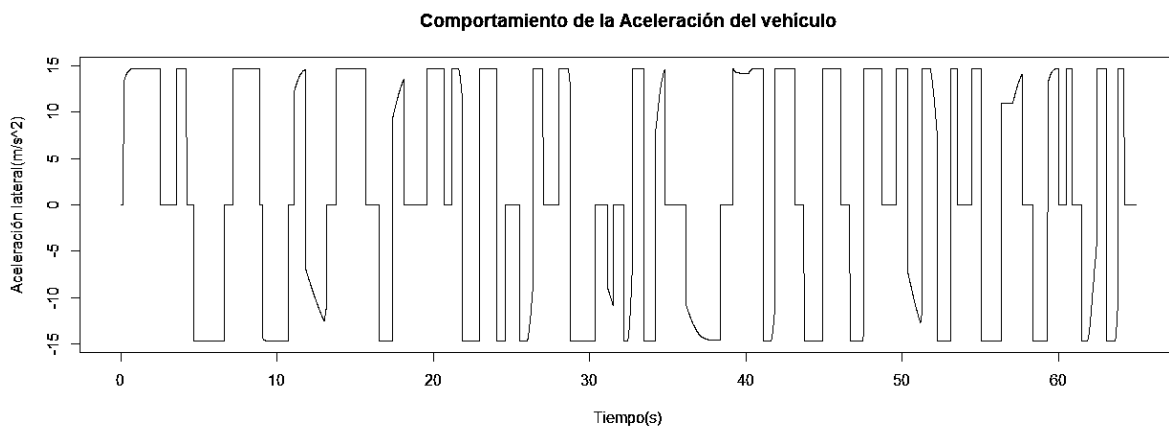
d) Comportamiento de la aceleración lateral, frente al tiempo y la distancia:

ILUSTRACIÓN 21. GRÁFICA AL-T

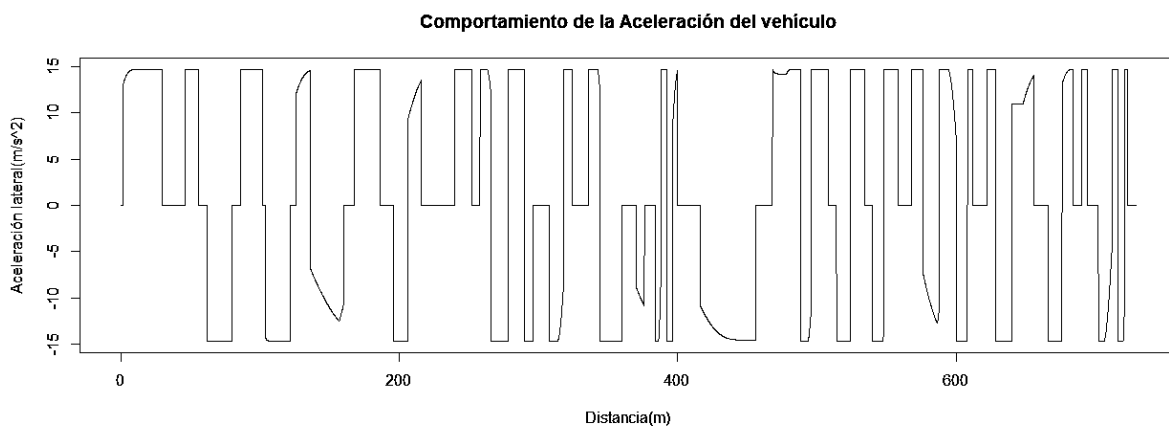


ILUSTRACIÓN 22. GRÁFICA AL-X

e) Par del motor, frente al tiempo y la distancia:

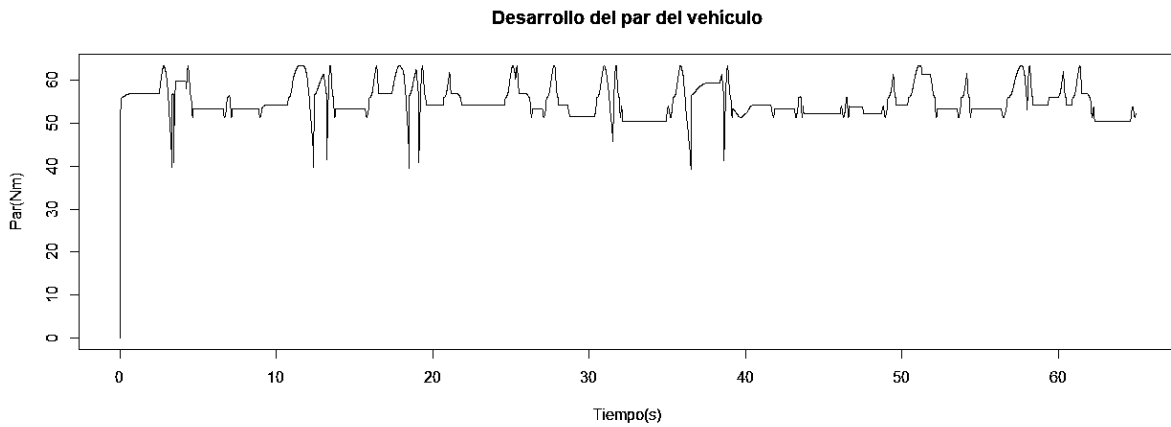


ILUSTRACIÓN 24. GRÁFICA PAR-T

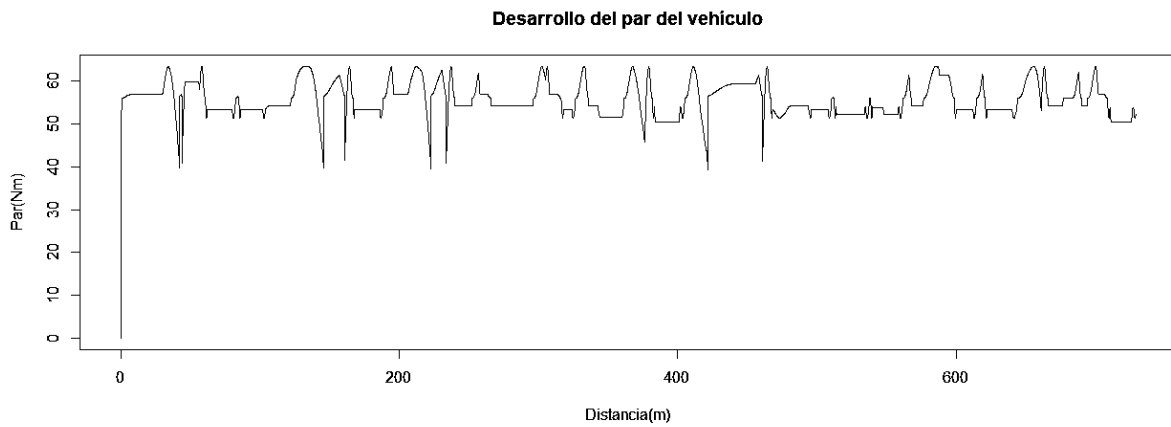


ILUSTRACIÓN 23. GRÁFICA PAR-X

f) Potencia, frente al tiempo y la distancia:

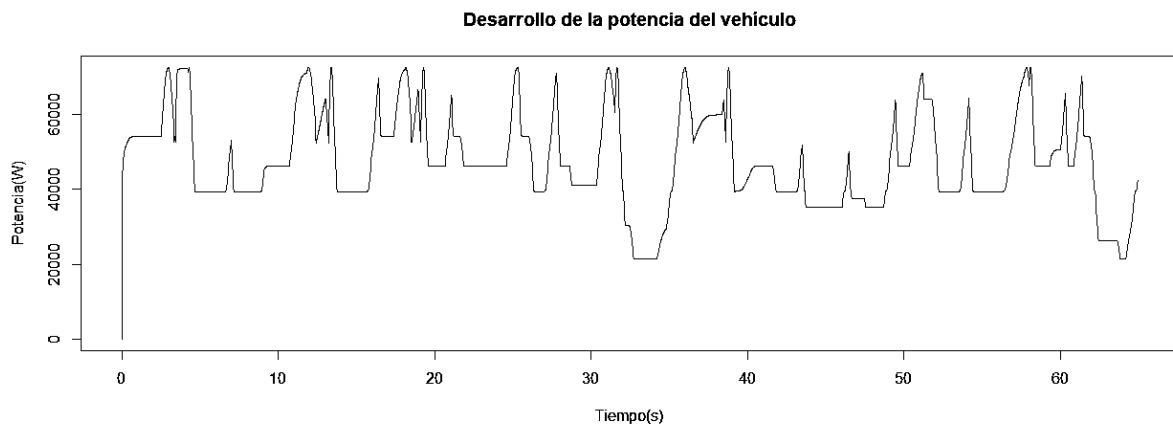


ILUSTRACIÓN 25. GRÁFICA P-T

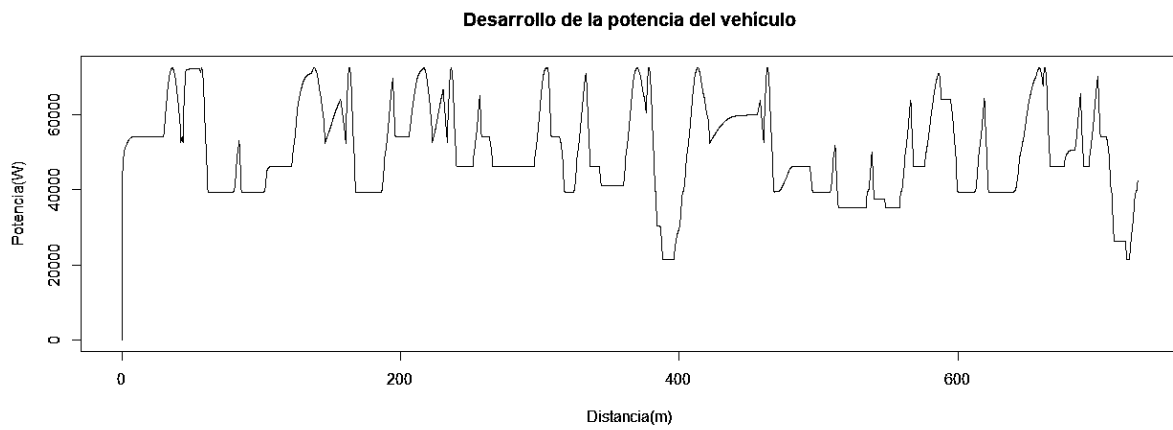


ILUSTRACIÓN 26. GRÁFICA P-X

g) Energía cinética, frente al tiempo y la distancia:

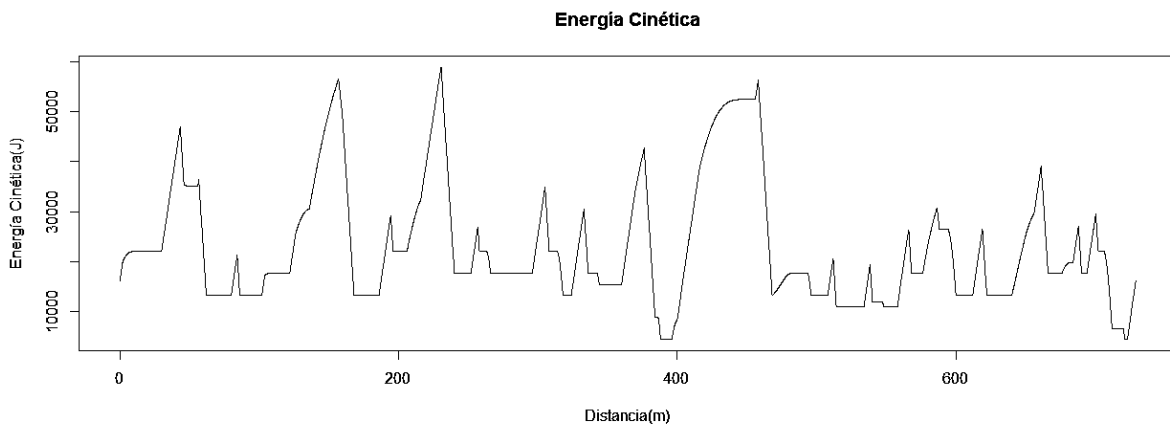


ILUSTRACIÓN 28. GRÁFICA EC-X

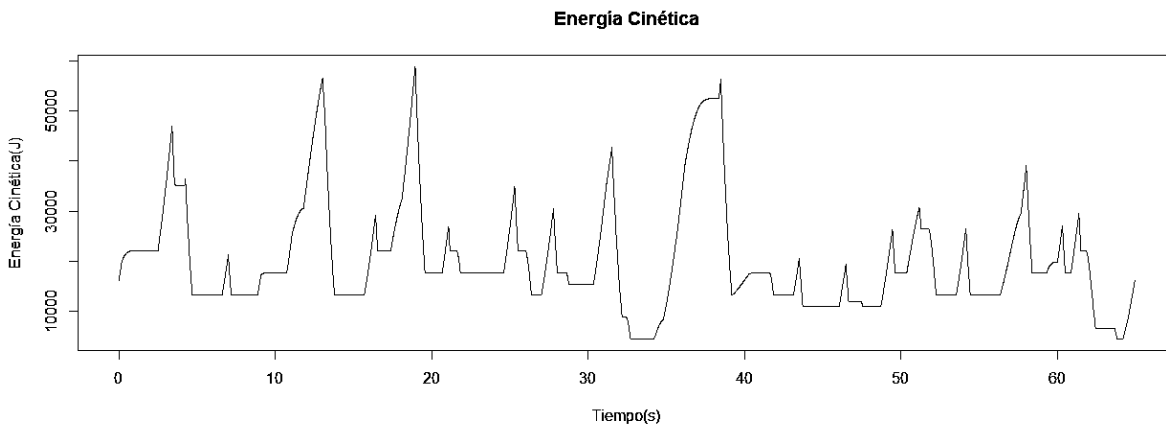


ILUSTRACIÓN 27. GRÁFICA EC-X

h) Variación de la energía cinética, frente al tiempo y la distancia:

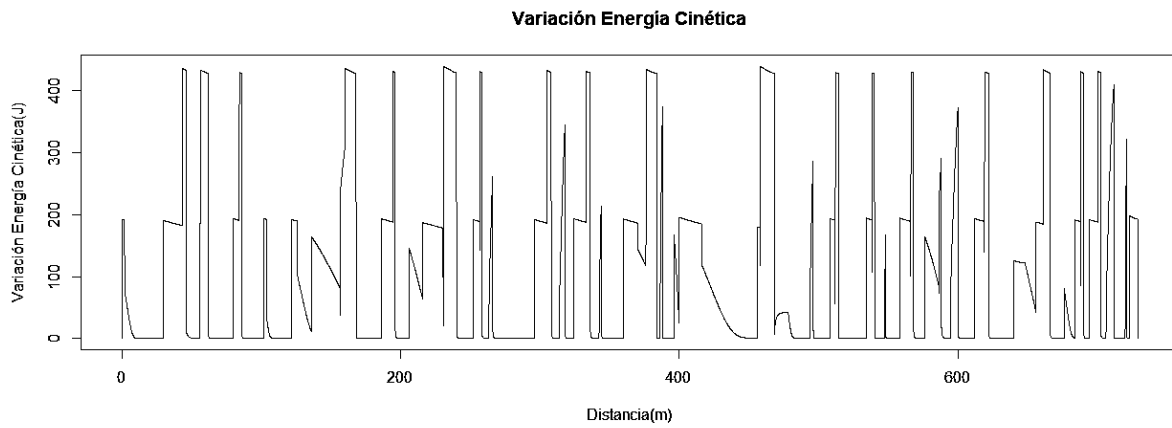


ILUSTRACIÓN 29. VARIACIÓN EC-X

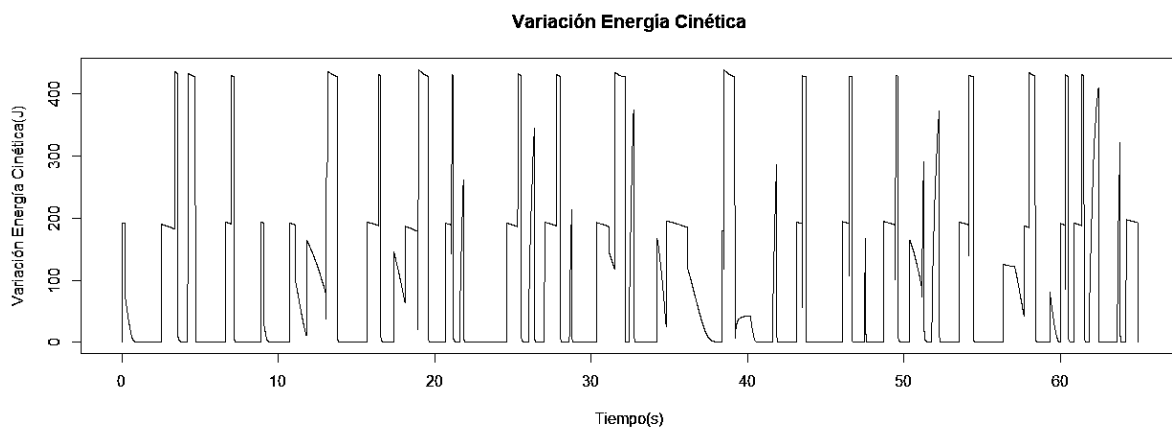


ILUSTRACIÓN 30. VARIACIÓN EC-T

i) Intensidad requerida, frente al tiempo y la distancia.

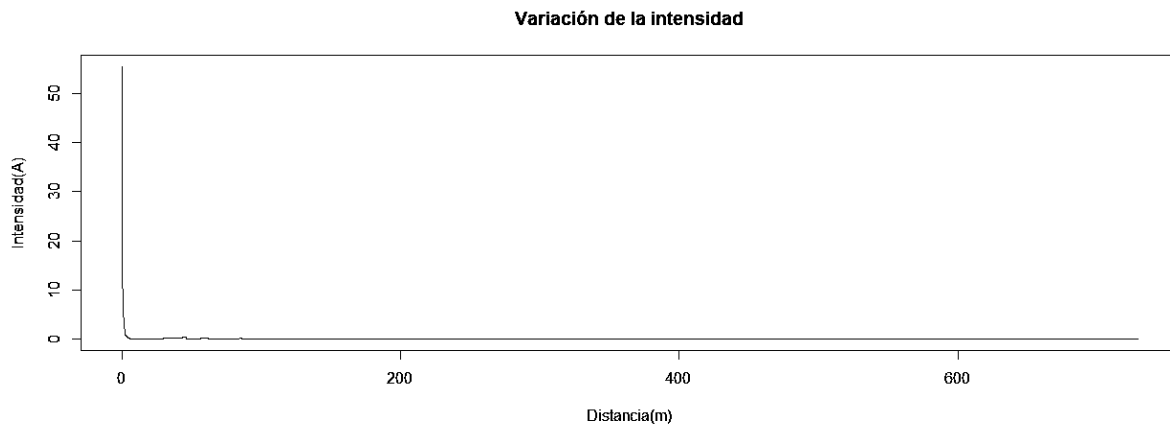


ILUSTRACIÓN 32. GRÁFICA I-X

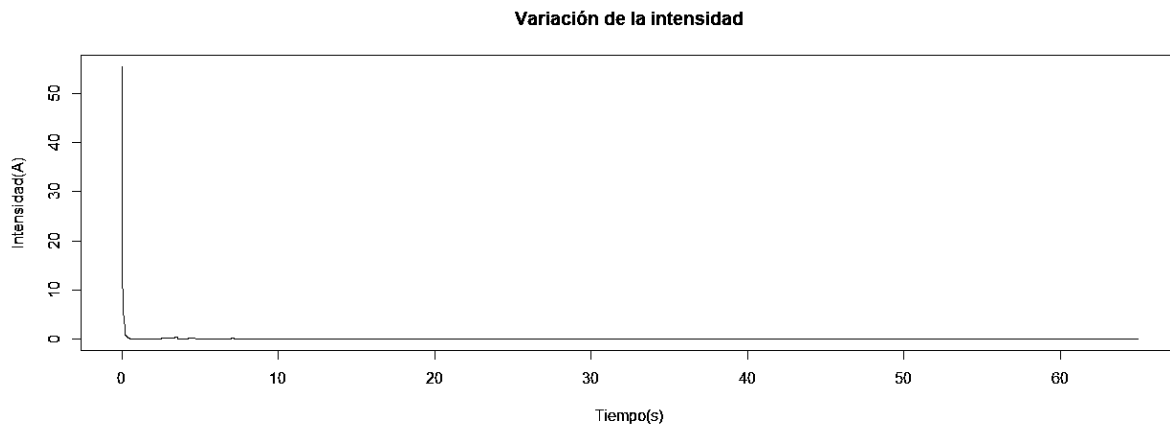


ILUSTRACIÓN 31. GRÁFICA I-T

- **Resumen de los resultados:**

Partiendo de una tabla Excel arrojada por el programa OptimumLap de las simulaciones realizadas para la prueba más restrictiva, hemos realizado los gráficos en el RStudio, y hemos obtenido los resultados arriba señalados. En ellos, vemos el comportamiento idealizado que tendrá el vehículo frente a las diferentes variables que son objeto de estudio.

En nuestro caso y dado que nuestro objetivo es realizar el cálculo de lo requerido para el diseño del pack de baterías, nos centramos en los resultados de velocidad, aceleración, potencia y par [Ilustraciones 16 a 26].

Como podemos observar en las gráficas mencionadas en el párrafo anterior, obtendremos velocidades máximas en ciertas coordenadas del circuito de alrededor de 72km/h (20m/s) como

se observa en las ilustraciones 17 y 18; así como valores de aceleración entre 5 y 15 m/s² para la aceleración longitudinal y la lateral respectivamente, como vemos en las ilustraciones 19,20,21 y 22. Por otro lado, podemos observar un valor máximo de par del motor de 63Nm y una potencia máxima de 72kW, recogido en las ilustraciones 23,24,25 y 26.

Una vez obtenidos los resultados anteriores, se ha calculado los valores de energía cinética [Ilustraciones 27-28], su variación [Ilustraciones 29-30] y la intensidad requerida [Ilustraciones 31-32], de lo que podemos decir que hemos obtenido un máximo de energía cinética de valor aproximado 60 kJ en algunos puntos del circuito y así mismo se observa que la intensidad sufrirá un pico en los segundos de arranque del vehículo y luego se mantendrá estable con valores bajos.

Todas las gráficas obtenidas con el software utilizado se complementan. En las gráficas del OptimumLap que a continuación se detallan, podemos identificar los tramos donde se producen los máximos y los mínimos de los valores, pues cada valor se representa con colores diferentes, haciendo énfasis en las zonas donde los valores obtenidos son más altos. Se trata de una función de bastante utilidad que contribuye a la correcta lectura de los datos obtenidos. A continuación, se muestran las imágenes obtenidas de la funcionalidad Track-Map de OptimumLap:

Endurance - Speed



Speed [km/h]	
■	19,506
■	24,690
■	29,874
■	35,057
■	40,241
■	45,424
■	50,608
■	55,792
■	60,975
■	66,159
■	71,342

ILUSTRACIÓN 33. TRACK MAP ENDURANCE-V

Endurance - Longitudinal Acceleration

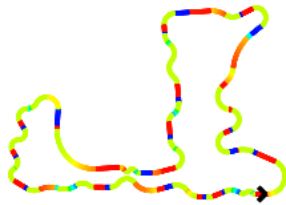


ILUSTRACIÓN 35. TRACK MAP ENDURANCE-T

Longitudinal Acceleration [m/s ²]	
■	-14,637
■	-12,520
■	-10,404
■	-8,288
■	-6,172
■	-4,056
■	-1,940
■	0,177
■	2,293
■	4,409
■	6,525

Endurance - Lateral Acceleration

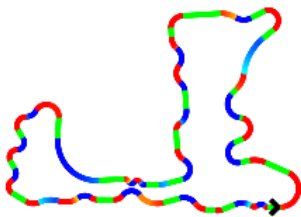


ILUSTRACIÓN 34. TRACK MAP ENDURANCE-AL

Lateral Acceleration [m/s ²]	
■	-14,713
■	-11,770
■	-8,827
■	-5,885
■	-2,942
■	0,001
■	2,943
■	5,886
■	8,829
■	11,771
■	14,714

Endurance - Engine Torque



ILUSTRACIÓN 36. TRACK MAP ENDURANCE-A

Engine Torque [N.m]	
■	0,000
■	6,340
■	12,680
■	19,020
■	25,359
■	31,699
■	38,039
■	44,379
■	50,719
■	57,059
■	63,398

Endurance - Engine Power (1)

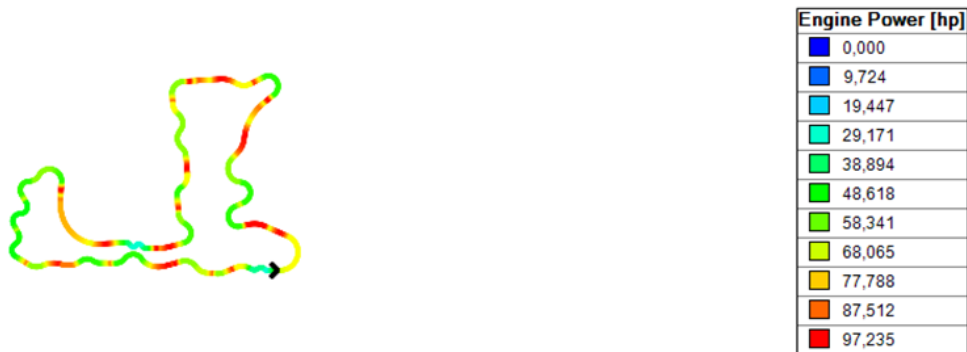


ILUSTRACIÓN 37. TRACK MAP ENDURANCE-P

La única diferencia que se observa entre los “Track Map” y las gráficas del apartado anterior es que en el caso de la potencia el programa OptimumLap trabaja con unidades de caballos de vapor, mientras que en RStudio hemos convertido las unidades a W. Con respecto a lo demás este tipo de gráfico sólo nos muestra de una forma más precisa el comportamiento del vehículo.

3.2.3 Cálculos de potencia y temperaturas del pack:

Para este apartado, hemos partido de la simulación de la prueba de aceleración, que consiste en ver cómo se comporta el vehículo en una recta de longitud total 100m y también los datos que ya teníamos de la endurance.

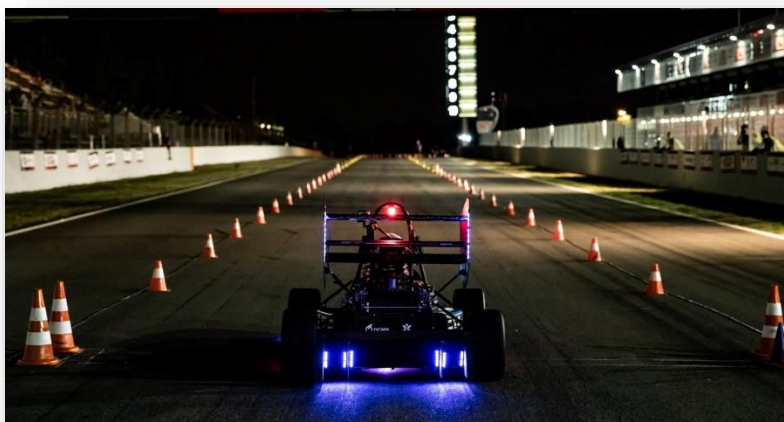


ILUSTRACIÓN 38. FOTOGRAFÍA PRUEBA ACELERACIÓN FSS

Los datos utilizados en este apartado son los correspondientes a las celdas seleccionadas para la configuración inicial del pack:

Datos:

CONSTANTES

Voltaje del pack	399,6 V
Temperatura ambiente	25 °C
$C_{p\ celda}$	$895 \frac{J}{kg * ^\circ C}$
$C_{p\ aire}$	$1000 \frac{J}{kg * ^\circ C}$
Densidad ρ_{aire}	$1,22\ kg/m^3$
Número de celdas por módulo	27

TABLA 9. CONSTANTES

DATOS DE LA CELDA

Peso de la celda	0,170 kg
Impedancia	0,0035 Ω
Capacidad de almacenamiento	8,3 Ah
Factor de descarga máximo	15 C
(Continua)	

TABLA 10. DATOS DE LAS CELDAS

- **Prueba de Aceleración:**

Partiendo del cálculo de la velocidad inicial y final expresada en m/s obtenida de la simulación [Ilustración 39], procedimos a hallar el valor de la energía cinética. Una vez obtenida la energía cinética al inicio y al final, calculamos su variación:

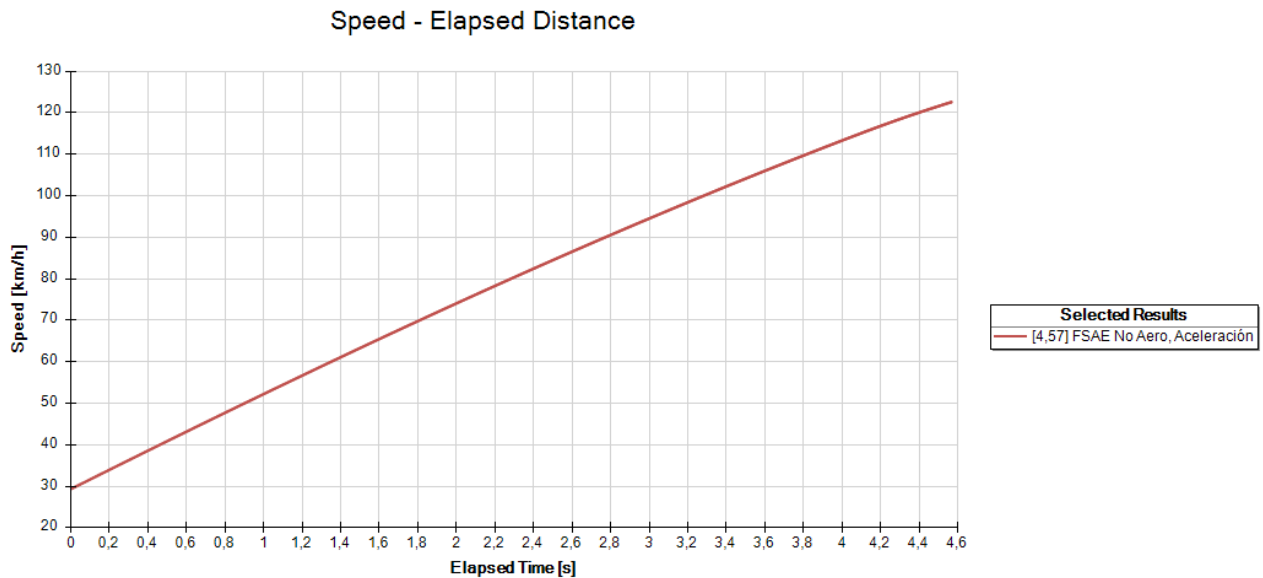


ILUSTRACIÓN 39. RESULTADOS V-T OPTIMUMLAP

Cálculos:

$$V_1 = 0 \frac{km}{h} = 0 \frac{m}{s} ; V_2 = 122,77 \frac{km}{h} = 34,11 \frac{m}{s}$$

$$E_{c1} = \frac{1}{2} m_{veh} * V^2 = \frac{1}{2} * 300 * 0^2 = 0$$

$$E_{c2} = \frac{1}{2} m_{veh} * V^2 = \frac{1}{2} * 300 * 34,11^2 = 174,52 \text{ kJ}$$

$$\Delta Ec = E_{c2} - E_{c1} = 174,52 - 0 = 174,52 \text{ kJ}$$

Siendo:

$V_1 =$ velocidad inicial

$V_2 =$ velocidad final

$E_{c1} =$ energía cinética inicial

$E_{c2} =$ energía cinética final

$m_{veh} =$ masa del vehículo

$\Delta Ec =$ variación de energía cinética

Aplicando la eficiencia de la batería a la hora de convertir la energía eléctrica en energía cinética calcularemos la potencia y la intensidad necesarias:

Suponiendo un rendimiento del 90%

$$E_{\text{aceleración}} = \frac{\Delta E_C}{n} = \frac{174,52 \text{ kJ}}{0,9} = 193,39 \text{ kJ}$$

$$P_{\text{aceleración}} = \frac{E_{\text{aceleración}}}{t_{\text{aceleración}}} = \frac{193,39 \text{ kJ}}{4,57 \text{ s}} = 42,32 \text{ kW}$$

$$I_{\text{aceleración}} = \frac{P_{\text{aceleración}}}{V_{\text{pack}}} = \frac{42,32 \text{ kW}}{399,6 \text{ V}} = 105,91 \text{ A}$$

$$\text{Factor de descarga Máxima} = \frac{I_{\text{aceleración}}}{\text{Capacidad nominal}} = \frac{105,91 \text{ A}}{8,3 \text{ Ah}} = 12,75 \text{ C}$$

Siendo:

$E_{\text{aceleración}}$ = Energía durante la aceleración

$P_{\text{aceleración}}$ = Potencia durante la aceleración

$I_{\text{aceleración}}$ = Intensidad de corriente máxima de la aceleración

n = rendimiento

V_{pack} = voltaje del pack de baterías

- **Prueba Endurance:**

Para obtener los datos en el caso de la prueba más restrictiva, hemos realizado nuevamente los mismos cálculos mencionados en el apartado anterior partiendo de los resultados arrojados por la Ilustración 40, con la diferencia de que en este caso hemos tenido que tomar un promedio de todos los resultados ya que el circuito no es sólo un tramo recto si no que está compuesto por muchos cambios de trayectoria, para ello además de los datos obtenidos en la simulación, nos hemos ayudado de una hoja de cálculo Excel para simplificar nuestros cálculos y resultados y hacer las conversiones de unidades correspondientes.

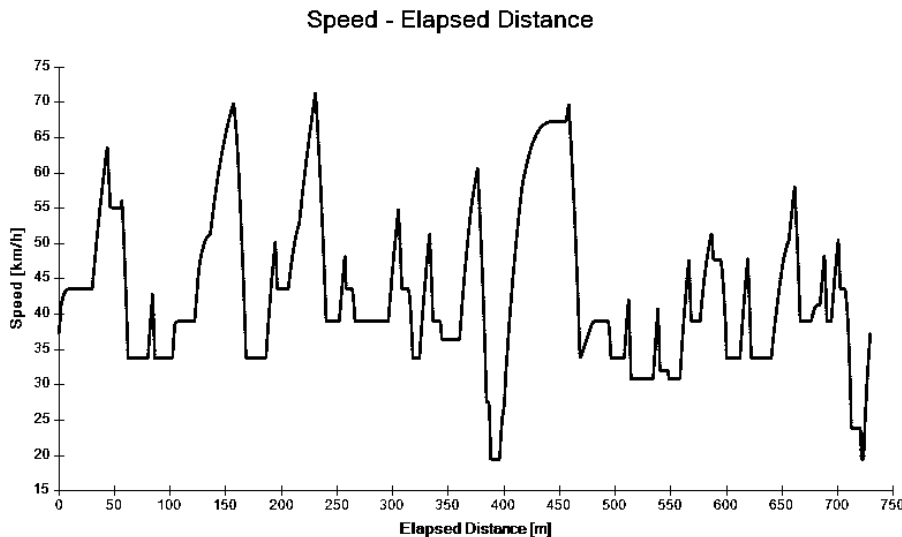


ILUSTRACIÓN 40. V-X

Identificando en el Excel los valores necesarios, he procedido al cálculo de los promedios de potencia, del pico de intensidad (que podemos contrastar con los valores obtenidos en la hoja de cálculo), y el factor de descarga máximo necesario:

$$P_{endurance} = 15,179 \text{ kW}$$

$$I_{endurance} = \frac{P_{endurance}}{V_{pack}} = \frac{15,179 \text{ kW}}{399,6} = 37,99 \text{ A}$$

$$\text{Factor de descarga Máxima} = \frac{I_{endurance}}{\text{Capacidad nominal}} = \frac{37,99 \text{ A}}{8,3} = 4,57 \text{ C}$$

Siendo:

$P_{endurance}$ = Potencia durante la Endurance

$I_{endurance}$ = Intensidad de corriente máxima de la Endurance

V_{pack} = voltaje del pack de baterías

- **Cálculos para la descarga de un módulo; cálculos en base a una vuelta del endurance y por módulo:**

Para hallar el calor generado por las celdas durante su funcionamiento y para poder diseñar posteriormente una buena refrigeración para nuestros módulos, he hallado la variación de temperatura en las celdas, así como su temperatura máxima, los cálculos se muestran a continuación:

$$\dot{Q}_{gen} = I^2 * R_{interna} * N_{celdas} = (37,99 \text{ A})^2 * 0,0035 * 27 = 136,39 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} q_{almacenamiento} &= m * C_{p_{celda}} * \Delta T = \int \dot{Q}_{gen} dt \\ &= \int_0^{t_{final}} I(t)^2 * R_{interna} dt \\ &= \int_0^{64,94} 136,39 \text{ W} dt = [136,39 \text{ W}]_0^{64,94} = 8,857 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\Delta T = \frac{q_{almacenamiento}}{m_{modulo} * C_{p_{celda}}} = \frac{8,857 \text{ kJ}}{0,170 \text{ kg} * 27 * 895 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}}} = 2,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T_{maxCelda} - T_{inicialAire} = 2,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{maxCelda} = 2,16 \text{ }^\circ\text{C} + 25 \text{ }^\circ\text{C} = 27,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

(ejemplo con $T_{inicialAire} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)

Siendo:

$\dot{Q}_{gen} = \text{calor generado}$

$q_{almacenamiento} = \text{energía almacenada}$

$I^2 = I_{endurance} = \text{Intensidad de corriente máxima de la endurance}$

$R_{interna} = \text{resistencia interna de la celda}$

$N_{celdas} = \text{número de celdas por módulo}$

$C_{p_{celda}} = \text{calor específico de la celda}$

$m = \text{masa de la celda}$

$\Delta T = \text{variación de temperatura}$

Este último cálculo sólo refleja que, partiendo de una temperatura inicial del aire exterior, el incremento de temperatura que sufrirá cada celda tendrá un valor de 2,16°C; por tanto, para estimar la temperatura máxima de las mismas en diferentes condiciones sólo habría que sumar este valor obtenido a la temperatura ambiente inicial del entorno en el que nos encontremos.

3.3 Selección de componentes

Para llevar a cabo la selección de los componentes que conformarían la caja de baterías, se partió primero de saber en qué consistían y qué pedía la normativa sobre los elementos del interior de la caja de baterías. A continuación, se hace una breve descripción de los elementos que irán colocados dentro de la caja de baterías, así como algunas descripciones obtenidas de sus datasheet:

- **Celdas:**

Como ya se ha mencionado anteriormente, hemos decidido trabajar con las celdas EPS8300 1S15, del datasheet suministrado por el fabricante podemos obtener la siguiente información:

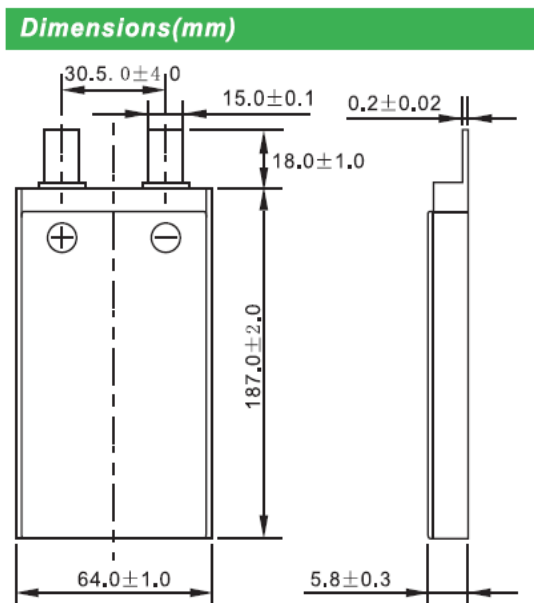


ILUSTRACIÓN 41. CELDA DIMENSIONES

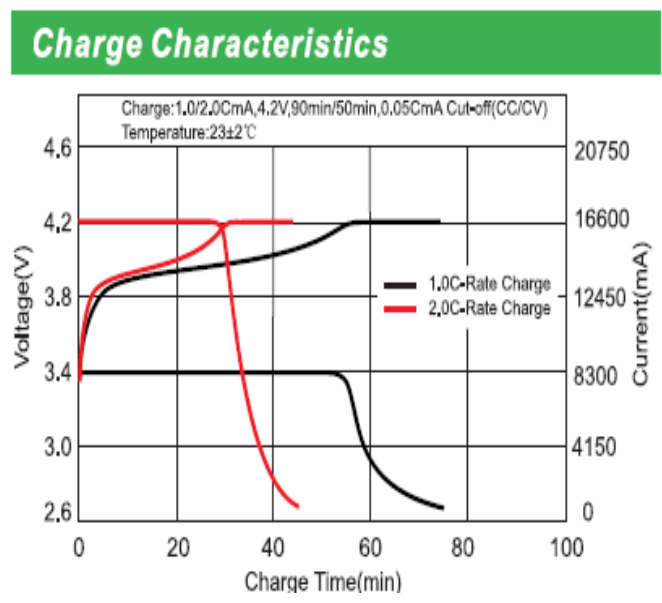


ILUSTRACIÓN 42. CELDA CARGA

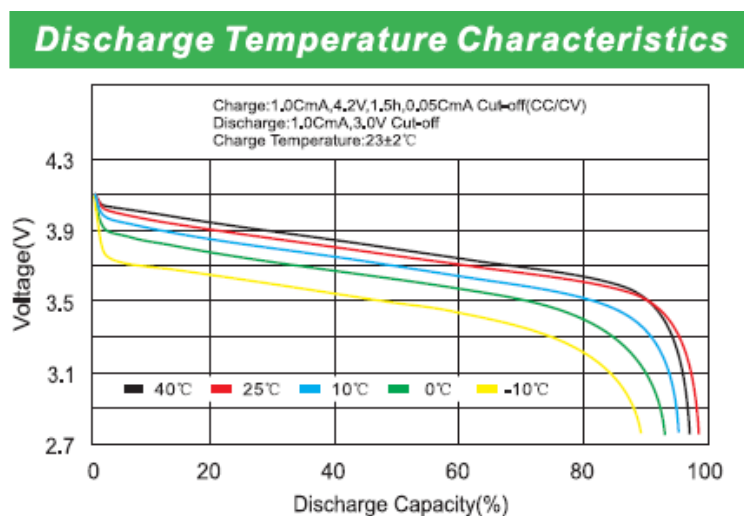


ILUSTRACIÓN 43. CELDA DESCARGA

Estas celdas permitirían que al conectarlas en la configuración 108 serie 2 paralelo, un total de 216 celdas, nos den los siguientes valores de capacidad y voltaje:

Voltaje: $108 \times 3,7 = 399,6 \text{ V}$

Capacidad: $2 \times 8,3 = 16,6 \text{ Ah}$

Aunque como se mencionó anteriormente, eso sería en el caso ideal, y para facilitar las conexiones entre celdas hemos quitado 8 celdas del total, entonces los números se verían ligeramente modificados como:

Voltaje: $104 \times 3,7 = 384,8 \text{ V}$

Capacidad: $2 \times 8,3 = 16,6 \text{ Ah}$

- **BMS y cargador:**

El BMS es un dispositivo que se encarga de monitorear el correcto funcionamiento de las celdas, informando en cada momento de los valores individuales de tensión, intensidad y temperatura. Por ser nuestro primer contacto con la Formula Student, hemos decidido utilizar un cargador y BMS comerciales. Hemos encontrado la empresa EVOLVE ELECTRICS que nos proporcionará el cargador y BMS adecuados. Por simplicidad, hemos elegido un BMS que monitoreará el total de 104 celdas (y las que están conectadas en paralelo), ya que es más sencillo que controlar cada 26 celdas de los packs individuales. En un futuro, implementaremos BMS para cada compartimento.



ILUSTRACIÓN 44. BMS

Además, hemos elegido el cargador externo, también de la empresa EVOLVE ELECTRICS, se trata de un elemento, que admite un máximo de 430V y que es compatible con nuestras celdas y BMS. Se trata del modelo EVO11KL, que, tras varias conversaciones con el departamento de la empresa, se presenta como el más adecuado para nuestro propósito.

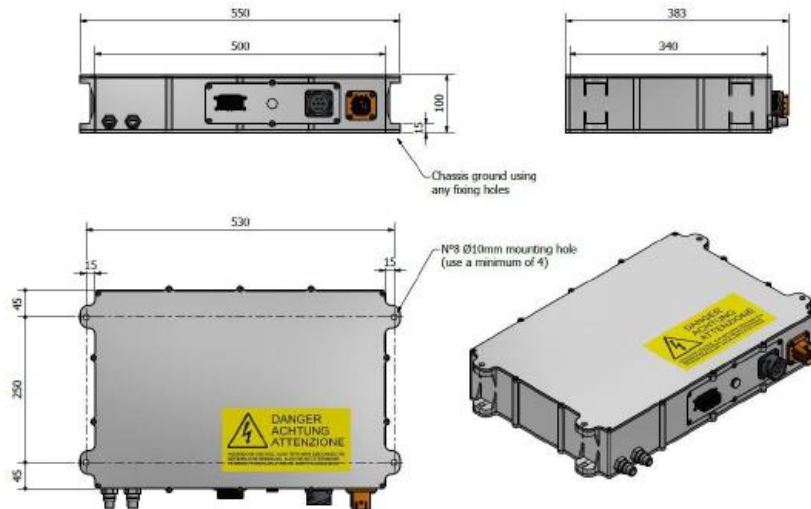


ILUSTRACIÓN 45. CARGADOR

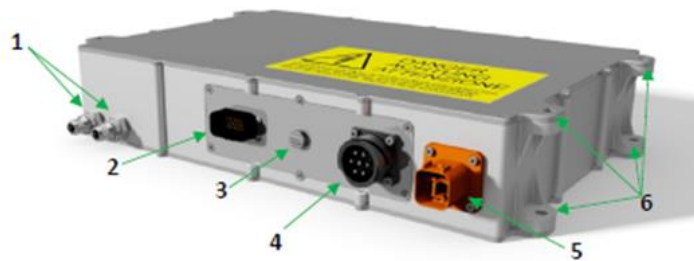


Fig. 3 Main Structural EVO11KL

1. Cooling port	4. AC input connector (J1)
2. I/O control connector (J2)	5. HVDC output connector (J3)
3. Pressure equalization membrane	6. Mounting holes (ø 10 mm)

ILUSTRACIÓN 46. DATOS DEL CARGADOR

- **Conectores de alto voltaje:**

Este tipo de conector es usado para la unión segura entre el pack de baterías y las líneas de alimentación de la energía que posteriormente se enlazan al controlador del motor. También para la conexión entre módulos.



ILUSTRACIÓN 47. CONECTORES DE ALTO VOLTAJE

- **Conector de carga para vehículos eléctricos:**



ILUSTRACIÓN 48. CONECTOR DE CARGA VE

- **Relés de HV:**

Para nuestro pack de baterías es necesario la adquisición de 2 relés de aislamiento, en este caso hemos elegido un modelo de la página RS Components:



ILUSTRACIÓN 49. RELÉ AISLAMIENTO

- **Fusibles de HV:**

Estos elementos se añaden al pack para que, en caso de producirse un corto circuito, interrumpan el flujo de corriente. Los fusibles se seleccionan de acuerdo a las siguientes características:

- Rango de corriente o amperaje.
- Rango de voltaje.
- Capacidad de corte.
- Temperatura de operación.



ILUSTRACIÓN 50. FUSIBLE DE HV

- **IMD:**

Se trata de un dispositivo de seguridad de pequeño tamaño que monitorea el aislamiento entre los sistemas de alto voltaje y los de bajo voltaje. Se encarga de controlar la resistencia de aislamiento entre los conductores de alta tensión del sistema eléctrico y la tierra de referencia (masa del chasis). En caso de producirse un fallo este dispositivo se encarga de desconectar el sistema de alto voltaje para evitar riesgos mayores.

El IMD que utilizaremos es de la empresa BENDER, modelo IR155 3204. Este dispositivo de aislamiento es de obligatorio uso según la normativa de la Fórmula Student.



ILUSTRACIÓN 52. IMD

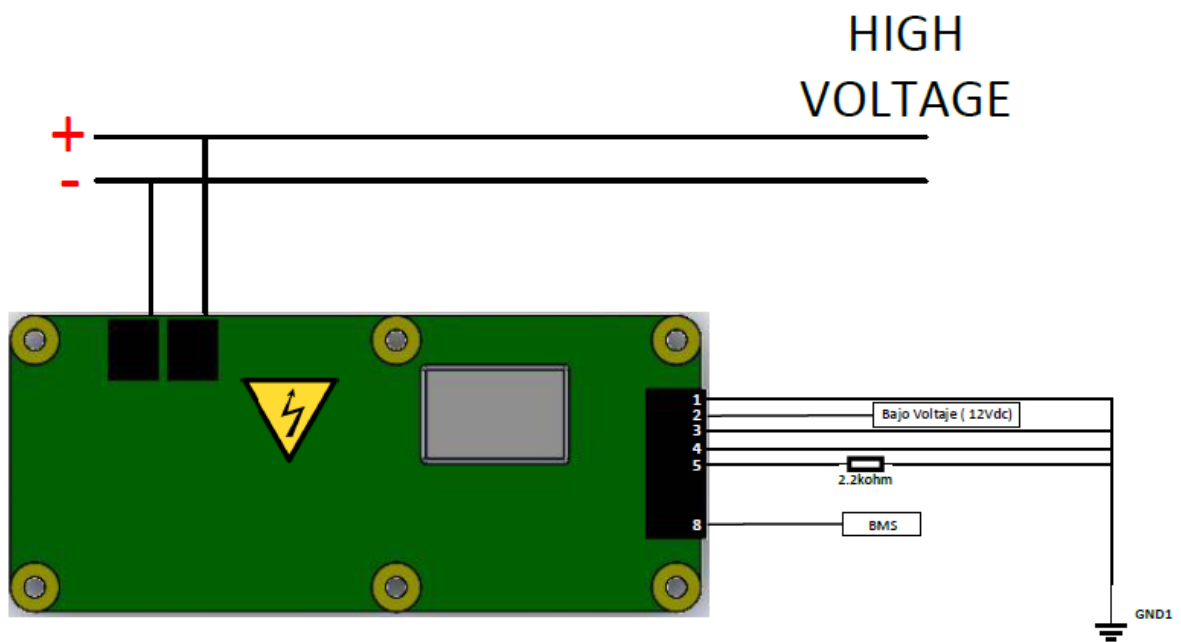


ILUSTRACIÓN 51. CONEXIÓN IMD.

- **Aislantes:**

Como aislante principal hemos escogido la lámina Kapton, en este caso también suministrada por la empresa RS. También será importante disponer de una cinta aislante adecuada para la sujeción de las partes de esta lámina que recubrirán la caja y los componentes.



ILUSTRACIÓN 53. LÁMINA KAPTON

- **Circuito de pre carga:**

Este circuito se incluye solucionar el inconveniente de que la batería no puedan ser conectada a cargas capacitivas grandes, y además prevenir deterioros por corrientes dañinas. Se compone de una resistencia y un relé principalmente y se conecta como se muestra a continuación:

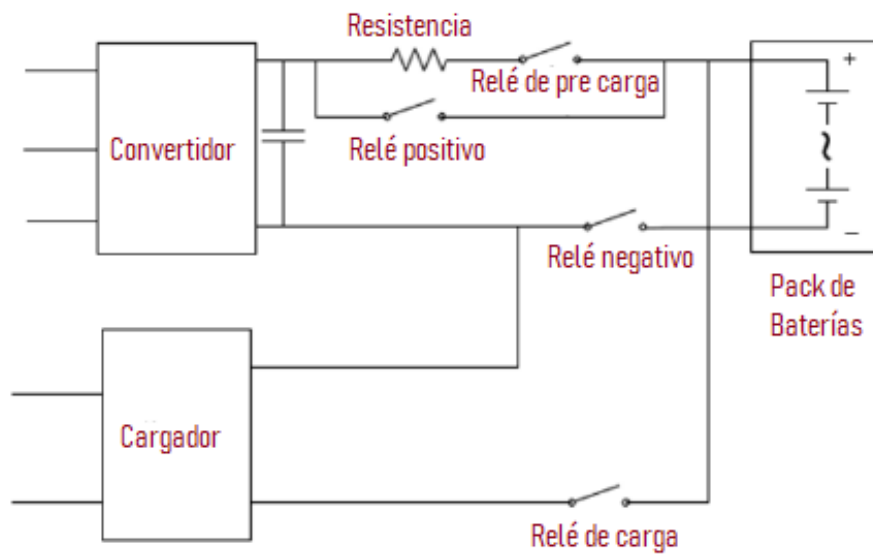


ILUSTRACIÓN 54. CIRCUITO DE PRE CARGA

- **Conexiones:**

Con esto nos referimos a las conexiones de alto voltaje dimensionadas de acuerdo a las características de la batería. Estas conexiones deben estar diseñadas ajustándose a los parámetros de seguridad que permitan que los integrantes del equipo puedan realizar sin peligro las tareas de mantenimiento del pack.

- **Convertidores DC/DC:**

Estos convertidores se utilizan para transformar el alto voltaje continuo del acumulador a un voltaje nominal de 12V o 24V, según el modelo escogido. El uso de convertidores permite que la batería auxiliar que alimenta el sistema de bajo voltaje tenga una menor capacidad lo que se traduce en unas menores dimensiones de la misma. Por ser de nuestros primeros años en la competición, mi propuesta es un convertidor comercial. La empresa PULSPower comercializa varios tipos de convertidores DC/DC para este propósito.



ILUSTRACIÓN 55. CONVERTIDOR DC/DC PULSEPOWER

Elementos de seguridad para la manipulación del pack:

Para la fabricación de este pack, es importante tener siempre presente que se trata de trabajos con cierto nivel de peligrosidad dado que se trabaja con voltajes altos, por lo que se hace necesario recordar las principales normas relacionadas con los trabajos en tensión que dicta la normativa de Prevención de Riesgos Laborales y, además, el uso de elementos de seguridad adecuados para evitar cualquier tipo de incidente (EPIs como: guantes aislantes, botas aislantes y gafas de protección).

Recordemos que, en este tipo de manipulaciones, se producen principalmente dos tipos de accidentes:

- Por contacto directo: cuando la persona toca o se pone en contacto (voluntario o involuntario) con elemento que tiene tensión.
- Por contacto indirecto: cuando la persona tiene contacto con masas puestas accidentalmente bajo tensión, ya sean carcasas, tapas...

Por todo esto es necesario siempre comprobar que los elementos no se encuentran bajo tensión a la hora de manipularlos.

Entre los elementos principales de seguridad de los que ya dispone el equipo, cabe destacar que se ha realizado la compra de herramientas con adecuado aislamiento eléctrico, y de guantes aislantes como los que se muestran a continuación:



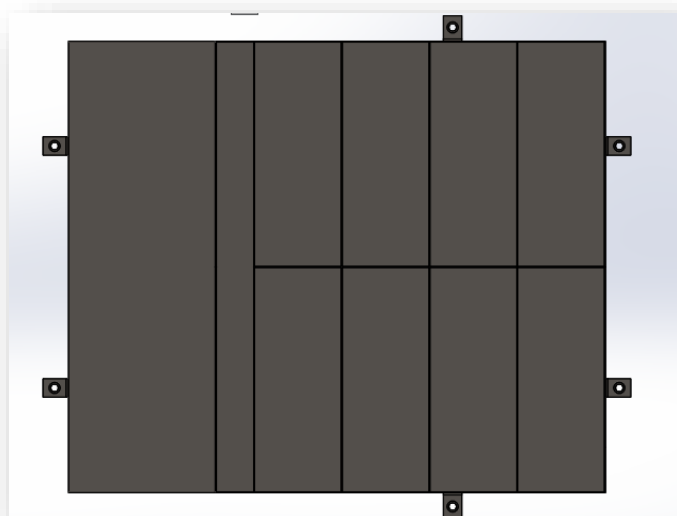
ILUSTRACIÓN 56. HERRAMIENTAS TRABAJO EN TENSIÓN.

3.3.1 Fabricación: Construcción y ensamblaje

Una vez hecho todo lo anterior pasaremos al diseño mecánico del recinto donde se aloja la batería y su electrónica. Esta caja está condicionada al espacio disponible en el vehículo, diseñado y escogido entre los encargados del departamento de baterías y el diseñador del chasis.

El diseño inicial queda como se muestra a continuación, en base a el espacio del que se dispone se eligió la distribución de las celdas, y como podemos observar, en el diseño de la caja que contiene las celdas, ya se tiene en cuenta la división en módulos del pack necesaria para cumplir con la normativa.

En primer lugar, se muestran varias imágenes de la caja vacía: vista isométrica, lateral y superior.



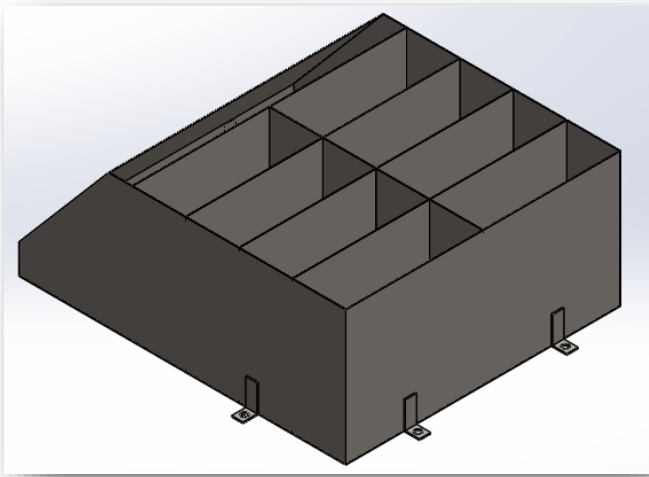


ILUSTRACIÓN 57. VISTAS DEL CONTENEDOR

En segundo lugar, se muestran las vistas del contenedor de las celdas con algunos elementos ya introducidos como son las celdas, los ventiladores y los conectores de alto voltaje. También se muestra el detalle de cómo sería el diseño de un módulo individual.

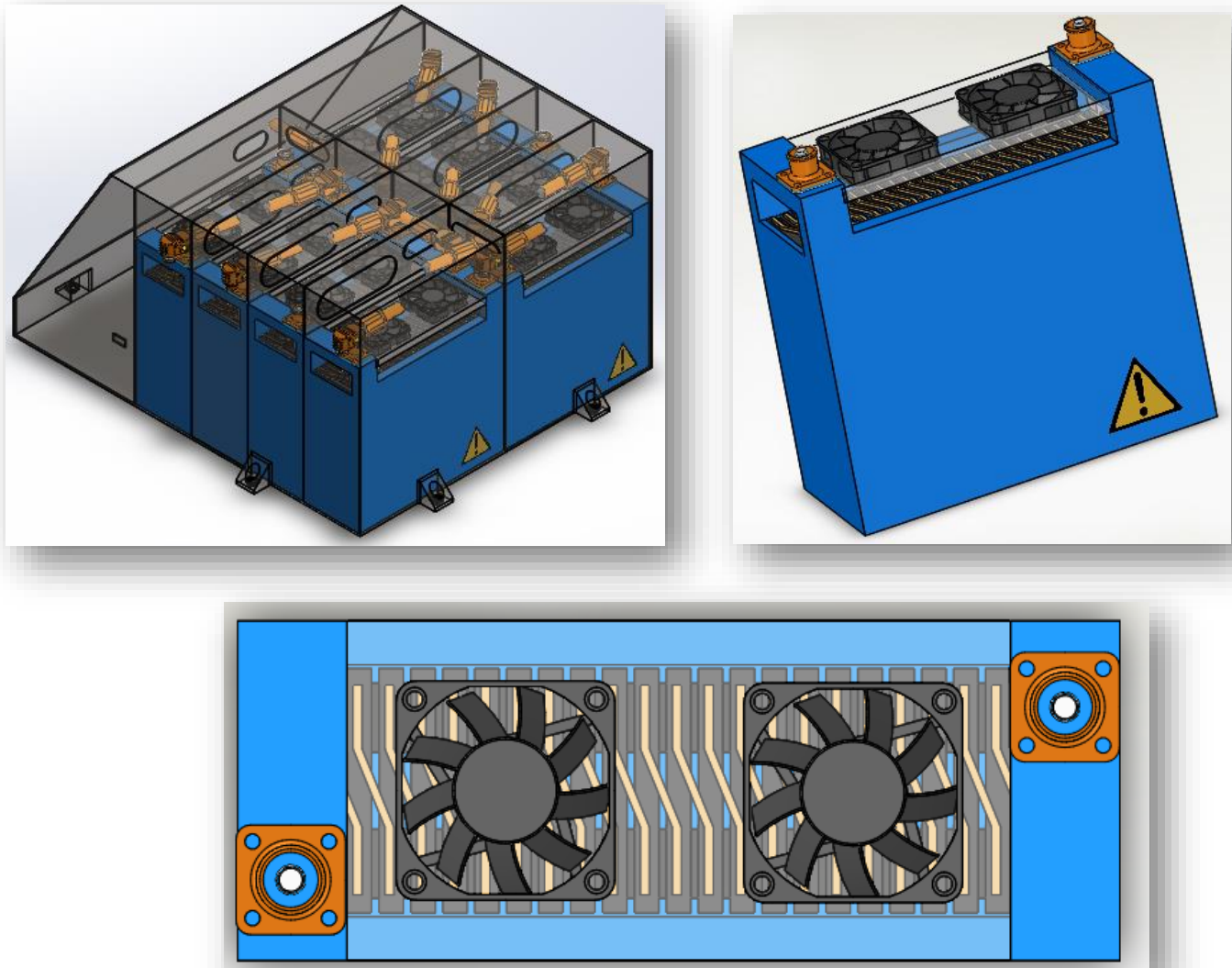


ILUSTRACIÓN 58. DISEÑO COMPONENTES Y MÓDULO INDIVIDUAL.

3.3.2 Conexiones entre celdas

Como podemos observar en el diseño, las celdas se conectarán entre sí por láminas de níquel o de cobre, puesto que son los conductores más adecuados para esta aplicación por ofrecer poca resistencia al paso de la electricidad.

Las dimensiones de estas láminas se decidirán en función del material escogido en cada caso y las características del mismo, pero generalmente serán láminas con un espesor entre los 0,3 y 1mm. Para hacer las conexiones entre las celdas y los conductores se utilizará generalmente la

técnica de soldadura por puntos (buena conexión entre celda-níquel) y/o soldadura de plata (para el caso del cobre). En la tabla 11 se detallan algunas de las principales características de este tipo de materiales.

	Cobre	Níquel
Conductividad ($S \cdot \frac{m}{mm^2}$)	58,5	14,6
Resistividad ($\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}$)	0,0171	0,070
Coef. de resistencia térmica ($\frac{10^{-6}}{K}$)	3800-4100	
Soldabilidad	Buena	Buena

TABLA 11. DATOS COBRE Y NIQUEL

3.3.3 Integración de la batería al vehículo

En un primer momento se barajaron varias posibilidades de colocación del pack de baterías, una de ellas era dividir el pack en dos partes y colocarlo a los lados del vehículo, pero se consideró mejor opción no separar los módulos de baterías.

Teniendo en cuenta el peso considerable del pack, se estudiaron las diferentes posibilidades y para un mejor reparto del peso del vehículo llegamos a la conclusión siguiente:

Puesto que por normativa el pack de baterías ha de ser de “fácil” extracción, este estará situado en la parte trasera del vehículo, justo detrás del asiento del piloto, siendo necesario para sacarlo extraer primero el asiento del conductor.

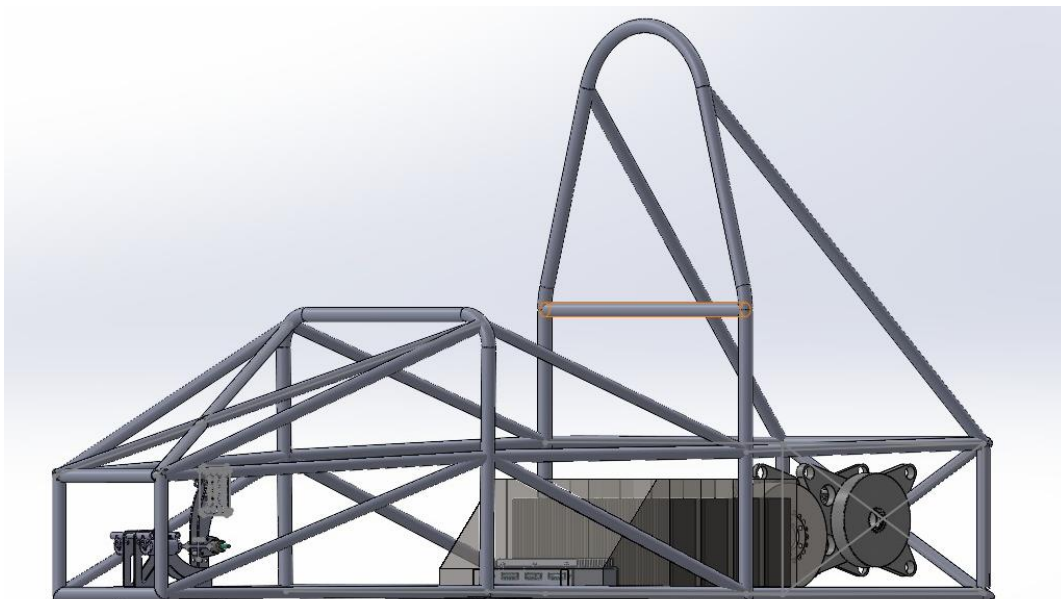


ILUSTRACIÓN 59. CHÁSIS CON CAJA DE BATERÍAS

4 CONCLUSIONES

A consecuencia de todo lo expuesto en el presente documento, se concluye:

La propuesta de realización de un pack de baterías para el vehículo formula student ULL compuesto por 208 celdas con una configuración final de 104S2P, utilizando las celdas EPS8300.

Internamente, el pack de baterías irá dividido en 8 módulos de 26 celdas cada uno en configuración 13S2P. Con este diseño se pretende conseguir un estimado de 6,4 kWh de energía y una tensión máxima del pack de 384,8V, lo cual sería suficiente para cumplir los requerimientos de las pruebas de la competición.

La caja de baterías además contendrá: un relé de precarga + resistencia, los relés positivo y negativo, un fusible, un convertidor DC-DC comercial, una batería auxiliar de 12V para alimentar los sistemas de baja tensión, el conector de alto voltaje, el conector de alto voltaje del cargador y el BMS. Las conexiones y características de los elementos más importantes del pack están detalladas en los anexos de este proyecto.

En cuanto a la localización del pack de baterías en el vehículo, y ya que se trata de un componente de gran importancia y tamaño, el mismo irá situado en la parte trasera del vehículo justo detrás del asiento del conductor, siendo necesaria la extracción del asiento para la manipulación de las celdas. Esta organización del diseño se ha realizado en conjunto con los demás departamentos del equipo FSULL siempre estudiando las mejores opciones y considerando la mejor posición para que su peso no afecte a la estabilidad del vehículo (peso sólo de las celdas 35,36kg, con todos los componentes se estima un valor de entre 40 y 50 kg).

Todo este estudio se ha realizado tomando como principal guía las normas que rigen la competición Formula Student y los requerimientos de las pruebas más restrictivas del evento, además de la simulación y realización de cálculos estimativos para este fin.

Con todo esto se espera que nuestro vehículo supere todas las revisiones técnicas basadas en la normativa que se realizan durante la competición y que pueda terminar sin dificultades las pruebas dinámicas que conforman el evento de Formula Student.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOSH, R. (1999). *Manual de la técnica del automóvil*. España: Editorial Reverté S.A.
- PEÑA ORDOÑEZ, C. (2011). *Estudio de baterías para vehículos eléctricos*. Proyecto final de carrera. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- VERDAGUER DOT, J. (2019). *Disseny del tren de potència per a un cotxe de Formula Student amb motor a roda*. Trabajo Fin de Grado. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- BRYAN SULLIVAN, Q. (2016). *The Design, Implementation, Evaluation and Results of a Race Car for the Collegiate Formula SAE Electric Competition*. Dissertations and Theses. Portland State University.
- WENLIANG ZHANG, Z. (2014). “*Battery System Matching and Design for a Formula Student Electric Racecar*”. Beijing Institute of Technology. ITEC Asia-Pacific (2014 1569889247)
- ASHISH, U. “*Design and fabrication of fan accumulator container/battery pack for a formula student vehicle*”. IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology. (e-ISSN: 2319-1163)
- KOROBKOV, D. (2016). “*Choice of the Traction Motor for the Electric Racing Car Formula Student*”. ScienceDirect. Federación Rusa: South Ural State University.
- PANTHAKKALAKATH N., LEE T., MOUNTFORD A. (2017). *Physical integration of engine systems and generator*. [Google Scholar](#)
- FORMULA STUDENT GERMANY. FSG. < <https://www.formulastudent.de/fsg/> > [Consulta: Formula Student Rules 2020/21]
- FORMULA STUDENT SPAIN. FSS. < <https://www.formulastudent.es/> > [Consulta: Formula Student]
- ENERGY EV: *Controlador Motor*. <<https://www.youtube.com/watch?v=C0R1niAwSaM&feature=youtu.be> >
- EVOLVE ELECTRICS. < <https://evolveelectronics.com/> > [Consulta: Material]
- RS COMPONENTS. < <https://es.rs-online.com/web/> > [Consulta: Material]
- UKAI. < <https://www.ukai.com/coches-electricos/> > [Consulta: Material]
- EMSISO. < <https://www.emsiso.com/products> > [Consulta: Material]

6 ANEXOS

6.1 Anexo I. Baterías. Definiciones.

- **Celda:** El menor elemento que forma una batería.
- **Módulo de baterías:** consiste en la asociación de varias celdas. Se agrupan con el objetivo de obtener mayores tensiones o mayores capacidades.
- **Electrodo:** elemento terminal de un circuito. Cada celda consta de un electrodo positivo y otro negativo.
- **Ánodo:** electrodo positivo. Es donde se produce la reacción de oxidación.
- **Cátodo:** electrodo negativo. Es donde se produce la reacción de reducción.
- **Electrolito:** da la conductividad iónica entre los electrodos positivo y negativo de una celda.
- **Estado de carga (SOC) %:** Expresión que indica el estado de carga de la batería de manera porcentual, respecto al cien por cien de la capacidad cuando la batería está completamente cargada.
- **Profundidad de descarga:** Relación entre la capacidad en amperios-hora (Ah) entregada por una batería durante su descarga y la capacidad nominal de la misma.
- **Tensión en vacío (E_o):** La tensión que una batería tiene entre sus terminales, cuando no se cierra un circuito a través de ellos, su valor depende de la naturaleza de la química que se utilice.
- **Tensión en circuito cerrado (E):** Tensión que aparece entre los terminales de una batería cuando está conectada a una carga.
- **Resistencia interna:** ayuda a modelar las consecuencias eléctricas de las reacciones químicas que se producen dentro de una batería. Es imposible medir directamente la resistencia interna de una batería, pero ésta puede ser calculada mediante los datos de corriente y voltaje medidos sobre ella. Así, cuando a una batería se le aplica una carga, la resistencia interna se puede calcular mediante cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$R_B = \frac{V_S - V}{I} \quad \text{o} \quad R_B = \frac{V_S}{I} - R_L$$

R: Resistencia interna de la batería.

VS: Voltaje de la batería en vacío.

V: Voltaje de la batería con la carga.

RL: Resistencia de la carga.

I: Intensidad suministrada por la batería

La resistencia interna varia con la edad de la batería, pero en la mayoría de baterías comerciales la resistencia interna es del orden de 1 ohmio.

- **Capacidad:** La capacidad de una batería es la cantidad medida de amperios hora (Ah), que puede suministrar o aceptar una batería.
- **Capacidad nominal:** Capacidad que puede entregar una batería desde plena carga.
- **Capacidad real:** Capacidad que puede entregar una batería desde su estado de plena carga y en condiciones de funcionamiento diferentes a las establecidas para definir la capacidad nominal de la batería, excepto la tensión de finalización de la descarga.
- **Capacidad retenida:** Capacidad conservada por la batería después de un periodo de reposo o inactividad.
- **Máxima corriente de descarga continua:** Máxima corriente que la batería puede descargar de forma continuada. Este límite viene definido por el fabricante para evitar daños o una posible reducción de la capacidad de la batería.
- **Máxima corriente en intervalos:** Corriente máxima a la que la batería puede ser descargada en intervalos de tiempo (en torno a 10 ms), limite que viene fijado por el fabricante con el fin de evitar daños y pérdidas de prestaciones.
- **Índice C:** El **culombio** o **coulomb** (símbolo **C**), es la unidad derivada del sistema internacional para la medida de la “cantidad de electricidad” (carga eléctrica). Se expresa en amperios y hora y se define como la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad.
- **Auto descarga:** Pérdida de capacidad de una batería, cuando se mantiene en circuito abierto.

- **Sobrecarga:** Proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando una batería, después de que se pierde la eficiencia de las reacciones electroquímicas a la carga.
- **Densidad de Energía:** Energía que puede almacenar una batería por unidad de volumen (Wh/l).
- **Densidad de Potencia:** Potencia que puede entregar una batería por unidad de volumen (W/l).
- **Energía Específica:** Energía que puede almacenar una batería por unidad de peso (Wh/kg).
- **Potencia Específica:** Potencia que puede entregar una batería por unidad de peso (W/kg).
- **Vida útil:** Tiempo que la batería puede mantener sus prestaciones por encima de unos límites mínimos predeterminados. Definido también como el número de veces que la batería puede ser recargada, para recobrar su capacidad completa después de su uso.
- **Eficacia (%):** Es la fracción de energía eléctrica que devuelve la batería, en proporción a la energía que ha sido necesaria para cargarla.
- **Tiempo de recarga normal (h):** es el tiempo necesario para recargar completamente la batería.
- **Tiempo de recarga rápida:** son los tiempos necesarios para recargar la batería a la mitad o al 99% de su capacidad.
- **Curvas de carga y descarga:** gráfica utilizada para definir el funcionamiento y prestaciones de una batería.
- **Descargas anormales:** son aquella que se separa al menos un 10% de la normal teórica estimada para su curva de descarga (subjativa a cada fabricante).

- **Potencia máxima de un elemento** (litio): aquella en la que el elemento es capaz de entregarnos al menos un 80% de su capacidad nominal, antes de bajar de 3V y no superar 50°C en su superficie, en el menor tiempo posible (subjetivo a cada fabricante).
- **Coste (€/kWh)**: el coste de la batería por unidad de energía almacenada.

6.2 Anexo 2. Presupuestos.

En este anexo presentaremos los elementos que ya se han pedido, con los presupuestos finales dados por las empresas, hasta mi estancia final en el equipo.

Hemos de tener en cuenta que aquí se han incluido algún material también necesario para el testeo y pruebas con las celdas, así como material de seguridad (EPIS).

En primer lugar, se presenta la hoja de pedido correspondiente al pedido realizado en el mes de Julio del presente año en la que se adjuntan modelos, cantidades y precios de los elementos escogidos para la compra:

Producto	Descripción	Precio	Enlace
Guantes Sibille GLE36-0/09	Guantes de alta tensión, hasta 1000V (la normativa exige al menos 2)	100€	https://es.rs-online.com/web/p/products/9182255/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_Seguridad_And_Control_De_Esd_Y_Sala_Limpia-_-Personal_Protection_Clothing_And_Footwear-_-PRODUCT_GROUP&matchtype=&aud-387545889100:pla-764085508977&gclid=Cj0KCQjwjr vpBRC0ARIsAFrFuV- Xu8mYWcBOPpx371ZLXX2WDsjsHkV6SpHirf0_h8Fp-oA4I_JfisaAmqNEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
Cortacables, Longitud 250mm, 32mm de capacidad de corte	Cizallas para cables aislados	200 €	https://es.rs-online.com/web/p/products/2222583/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_CatchAll-_-Ad+Group+Catch+All-_-PRODUCT_GROUP&matchtype=&aud-387545889020:pla-293946777986&gclid=Cj0KCQjwjr vpBRC0ARIsAFrFuV8y8S-nQiYuYICFq6LjhLAJ5ITx9TD3HRAIL0KP1O1SIFOJmZVyWDoaAh4kEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
Juego de alicates aislados y destornillador		200€	https://es.rs-online.com/web/p/products/1253100/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_CatchAll-_-Ad+Group+Catch+All-_-PRODUCT_GROUP&matchtype=&aud-387545889020:pla-

			293946777986&gclid=Cj0KCQjwjr vpBRC0ARIsAFrFuV9z2rkKTbOq8RfEXasZejC7wIlnspbN13Zso48g9Z5LsufHFbRJAD4aAseIEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
Multímetro digital Fluke FLUKE 175, 10A ac, 1000V ac, De Mano	Multímetro con puntas de sonda protegidas y dos cables de prueba de conector banana de 4 mm clasificados para 1000 V CAT III o mejor	250€	https://es.rs-online.com/web/p/products/3944470/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_Prueba_Y_Medida-_-Mult%C3%ADmetros_Y_Accesorios-_-PRODUCT_GROUP&matchtype=&aud-343510635812:pla-170154427521&&cm_mmc=ES-PLA-_-google-_-PLA_ES_ES_Prueba_Y_Medida-_-Mult%C3%ADmetros_Y_Accesorios&mkwid=s_dc%7cpcrid%7c88860966801%7cpkw%7c%7cpmt%7c%7cprd%7c3944470&gclid=Cj0KCQjw1MXpBRDjARIsAHtdN-OurJWLR_WLUB6RCbRaIsYT9prWW6izUkQM7qKL-sxLGCTcRTU3xT4aAo-YEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
Cables multímetro	Juego de Cable de Prueba RS PRO con Pinza de Cocodrilo, Conector en Ángulo de 90°, 10A, long. 1.2m, CAT III 1000 V	13,5€ c/u 27€	https://es.rs-online.com/web/p/cables-de-prueba-para-multimetros/2432998/
Protector facial RS PRO, Transparente, Policarbonato (visor), polipropileno (protección de frente), Basculante	Careta	20 €	https://es.rs-online.com/web/p/products/1248244/?grossPrice=Y&cm_mmc=ES-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_ES_ES_Seguridad_And_Control_De_Esd_Y_Sala_Limpia-_-Equipos_De_Protecci%C3%B3n_Individual-_-PRODUCT_GROUP&matchtype=&aud-343510635972:pla-629771179845&gclid=Cj0KCQjwjr vpBRC0ARIsAFrFuV_GcpVrX3dxo4pONzDTyIYk9UgEyYEnYg6hRU8kcqYGuMy-J9DMYB8aAvtsEALw_wcB&gclsrc=aw.ds
Alfombrilla aislante, Gris,	Dos mantas aislantes HV de al menos 1,0 m2. cada	128,0 € c/u 236 €	https://es.rs-online.com/web/p/alfombrillas-de-seguridad-electrica/9182511/

Elastómero, 1m x 1m x 1.5mm			
Silverline 868628	Gafas de seguridad con protectores laterales para todos los miembros del equipo que puedan trabajar en la zona de tracción. sistema o acumulador	6,88 € c/ 103€	https://es.rs-online.com/web/p/products/7401450/?tpr=2
Conector hembra batería	Conectores para vehículos eléctricos Amphenol Socapex UPC R 012A LS1, Naranja 2 contactos, Hembra Recto	33€	https://es.rs-online.com/web/p/conectores-de-vehiculos-electricos/1237560/
Conector macho batería	Conectores para vehículos eléctricos Amphenol Socapex UPC P 012A LS2, Naranja 2, 3 contactos, Macho Ángulo de 90°	63€	https://es.rs-online.com/web/p/conectores-de-vehiculos-electricos/1237556/
Conector macho módulos	Conectores para vehículos eléctricos Amphenol Socapex C10-730190-0801, Naranja 1 contactos, Macho Ángulo de 90°	20,81 € c/u 416,2 €	https://es.rs-online.com/web/p/conectores-de-vehiculos-electricos/1244001/

Conector hembra módulos	Conectores para vehículos eléctricos Amphenol Socapex C10-730191-0801, Naranja 1 contactos, Hembra Recto	15, 88 € c/u 320,6€	https://es.rs-online.com/web/p/conectores-de-vehiculos-electricos/1243983/
HVD carcasa	Cable de carga para vehículos eléctricos TE Connectivity 1-2103172-1, Negro Recto Manual Service Disconnect, 350A	150€	https://es.rs-online.com/web/p/conectores-de-vehiculos-electricos/8086762/
HVD enclave	Desconexión de servicio de vehículo eléctrico TE Connectivity 1-1587987-1, Naranja, Hembra Recto, Montaje en Panel	40 €	https://es.rs-online.com/web/p/conectores-de-vehiculos-electricos/8086768/?relevancy-data=636F3D3126696E3D4931384E53656172636847656E65726963266C753D6573266D6D3D6D61746368616C6C7061727469616C26706D3D5E5B5C707B4C7D5C707B4E647D2D2C2F255C2E5D2B2426706F3D31333326736E3D592673723D4175746F636F727265637465642673613D313538373938372673743D4B4559574F52445F53494E474C455F414C5048415F4E554D455249432673633D592677633D4E4F4E45267573743D313538373938373926&searchHistory=%7B%22enabled%22%3Atrue%7D
Relés de desconexión	Contactador TE Connectivity, Serie EVC500, 500A	120 € c/u 360 €	https://es.rs-online.com/web/p/accesorios-de-los-conectores-de-vehiculos-electricos/8086774/
Película de Aislamiento Térmico	Lámina Kapton 0,05 mm	71,55 € c/u 143,1 €	https://es.rs-online.com/web/p/películas-termicas-aislantes/5363952/
TOTAL		2661,3€	

TABLA 12. PRESUPUESTOS

Además, los presupuestos enviados por las empresas para las celdas, cargador y BMS, son los siguientes:

Producto	Cantidad	Precio	Empresa
Celdas EPS8300 1S15	246	4867,65 €	E-Propulsions
BMS	1	3630,66 €	Evolve Electrics
Cargador			Evolve Electrics
TOTAL		8498,31 €	

TABLA 13. PRESUPUESTOS MÁS ELEVADOS

6.3 Anexo 3. Datasheets.

6.3.1 Celdas.



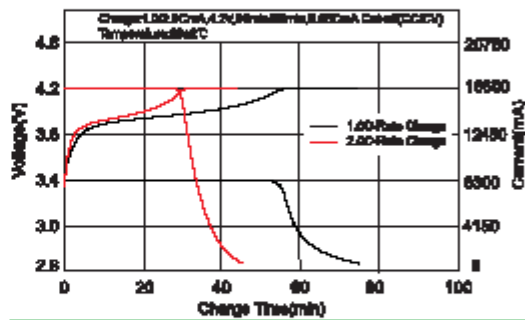
EPS8300-1S15

REV:A0
DATE:2015. 3. 13

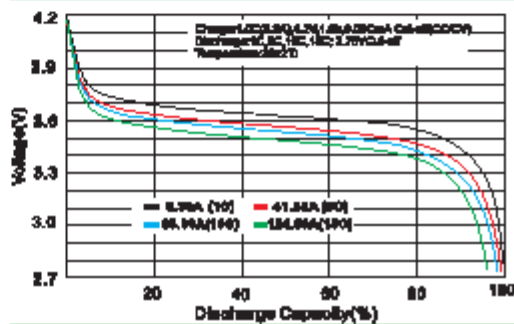
Specifications

Model	EPS8300-1S15	
Nominal Capacity	8300mAh	
Minimum Capacity(0.2C)	7850mAh	
Nominal Voltage	3.7V	
Weight	Max170.0g	
AC-Impedance(mΩ) at 1KHz	Max 3.5	
Dimensions	Thickness	5.8±0.3mm
	Width	64.0±1.0mm
	Length	167.0±2.0mm
Nominal Charge Condition	Current	8300mA(1.0C)
	Voltage	4.2V
	Cut-off Current	415mA(C/20)
	Ending Time	1.5h
Nominal Discharge	Current	8300mA(1C)
	Cut-off Voltage	3.0V
Max.Charge Current		18.6A(2C)
Max Discharge Current	Continuous	124.5A(15C)
	Burst	249.0A(30C)
Temperature Condition	Charge	10~45°C
	Discharge	15~50°C(15C Continuous) -10~15°C(15C Burst)
	Storage	-20~35°C

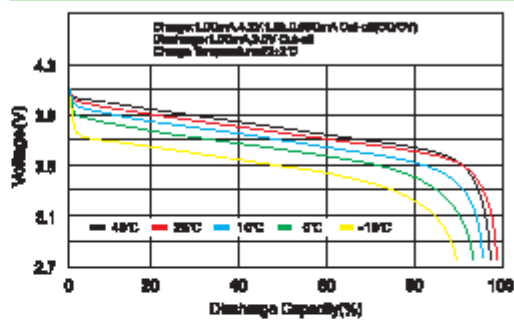
Charge Characteristics



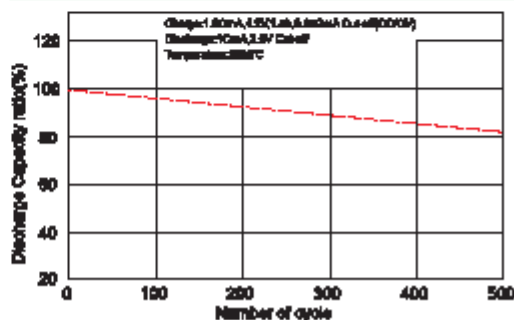
Discharge Rate Characteristics



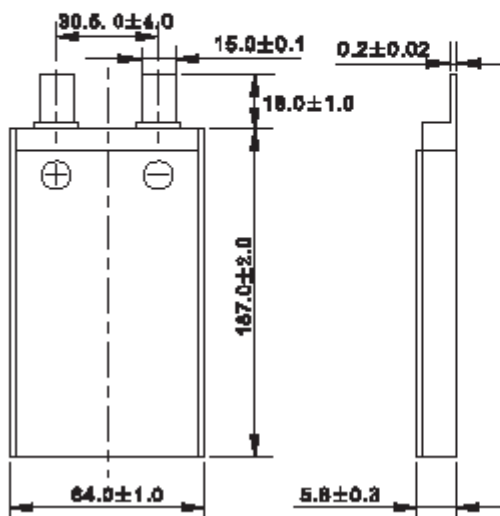
Discharge Temperature Characteristics



Cycle Life Characteristics



Dimensions(mm)

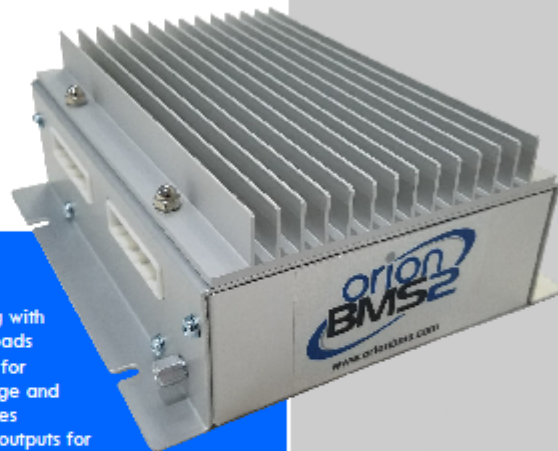


www.epulsions.com

6.3.2 BMS.



Lithium Ion Battery Management System



Main Features

- Monitors every cell voltage in series
- Field programmable and upgradeable
- Intelligent cell balancing (efficient passive balancing)
- Enforces min. and max. cell voltages
- Enforces maximum current limits
- Enforces temperature limits
- Professional and robust design
- Monitors state-of-charge
- Retains lifetime data about battery history
- Integration with 3rd party smartphone apps (Torque, EngineLink) and external displays

Battery Compatibility

- Compatible with almost all lithium-ion cells
- One-click setup for common battery types
- Supports 4-180 cells in series per BMS unit (2x additional remote units can be used in series)

Battery Calculations

- State of Charge (SOC) & Pack Health
- Open-Circuit (sitting) cell voltages
- Charge & Discharge current limits
- Internal resistance (for all cells and total pack)

Centralized Design

- No cell tap boards or external circuitry
- Fast cell voltage polling (every 25 mS typical)
- High immunity to EMI and other noise
- High accuracy cell voltage measurement

2x Programmable CANBUS Interfaces

- CAN2.0B (11-bit and 29-bit IDs supported)
- Independently operate at different baud rates
- Fully customizable message formatting
- Field upgradable firmware and settings using either CAN interface
- One-click setup for many common chargers and inverters
- ISO-15765 OBD2 protocol compatible
- Compatible with CAN-Open and J1939

Charger Support

- Integrated support for J1772 charging stations
- Works with J1772 proximity & pilot signals
- Supports CHAdeMO DC fast charging protocol

Input / Output

- Easy interfacing with chargers and loads
- On/off outputs for controlling charge and discharge sources
- 0 – 5V analog outputs for gradual current reduction (improves usable range of battery)
- Thermal management controls for battery cooling / heating

Diagnostic Features

- Diagnostic trouble codes quickly identify and diagnose battery problems
- Freeze frame data records exact conditions and battery data when a fault occurred
- Supports OBD2 automotive protocol for storing diagnostic trouble codes and polling live data

Data Logging

- Unit tracks total number of battery cycles
- Records detailed lifetime battery usage and environment conditions internally.
- All BMS parameters can be logged using PC utility software
- Optional WiFi Connect module can record any parameters to a memory card or Internet
- Internal event logging for easy troubleshooting

Other Features

- Integrated isolation fault detection circuit
- Multiple remote modules may be used in series
- Automotive grade locking connectors
- Temperature compensation for improved monitoring in different temperatures
- Integrated status LED for indicating faults

Common Applications

- Electric Vehicles (cars, trucks, busses, boats, heavy equipment, racing, etc)
- Hybrid & Plug-In Hybrid Vehicles
- Solar and wind energy storage
- UPS and peak shaving applications
- Research & Laboratory Testing

The Orion BMS is a product of Ewert Energy Systems, Inc.

Ewert Energy Systems is a research and development company focused on developing solutions for plug-in hybrid and electric vehicles and other energy storage applications.



Cell Voltage Monitoring Specs

- Cell voltage measurement resolution of 0.1mV.
- Maximum individual cell voltage rating: 0.5v to 5v per cell tap.
- Cell voltage measurement total error <0.25% across full product temperature range.
- Total pack voltages from 12vDC up to 800vDC (maximum).
- Supports from 4 to 340 cells per battery pack (requires remote modules for more than 180 cells, 800vDC maximum).

Reliability & EMI Immunity

- Operates through the highest class passenger vehicle load dump ISO 7637 Class IV (178V, 400ms, 0.5 ohm source.)
- Operates through ISO 7637 "cold crank" brownouts down to 5v on input supply rail and can operate > 100ms with no power (with initial voltage of at least 12v)
- Meets EN 50498: 2010 EMC Aftermarket Vehicle Directive
- Meets European UNECE Reg 10.05 (Replaced Road Vehicle Directive)

Product Dimensions & Weight (Typical, With Heatsink)

- 24-72 Cells: 7.15" (W) x 6.72" (L) x 2.37" (H) — 2.50 lbs
- 84-108 Cells: 9.50" (W) x 6.72" (L) x 2.37" (H) — 3.25 lbs
- 120-180 Cells: 15.52" (W) x 6.72" (L) x 2.37" (H) — 4.80 lbs

Isolation

- Cell taps isolated from input power supply, chassis and I/O
- 2.5kV isolation between each connector of cell taps
- Isolation allows for use of in-pack safety disconnects and fuses
- High voltage isolation fault detection circuit to monitor the breakdown of wire insulation

I/O Interfaces

- 2 Digital signal outputs for enabling charge and discharge.
- 1 Digital signal output to control a battery charger
- 5 Digital programmable multi-purpose outputs
- 2 Digital programmable CANBUS (CAN2.0B) interfaces.
- 3 Analog 0-5v outputs that represent the following signals: Charge / Discharge Current Limits and State of Charge (SOC)
- 1 PWM fan output and fan speed feedback monitor (external switch and relay required, uses MPO4)
- 8 Thermistor inputs (Can support up to 800 thermistors through external thermistor expansion modules (sold separately)
- 1 Dual range current sensor input (measures pack current)

Power Supply

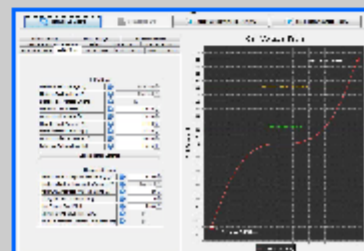
- 3 redundant 12V—24V DC power supplies for reliability
- BMS retains data and settings without power
- Low power sleep mode

Specification Item	Min	Typ	Max	Units
Input Supply Voltage	8		30	Vdc
Supply Current—Active (at 25 degrees Celsius)		< 2		Watts
Supply Current—Sleep (at 25 degrees Celsius, 12vDC)		450		µA
Operating Temperature	-40		80	C
Sampling Rate for Current Sensor		8		mS
Sampling Rate for Cell Voltages		25	40	mS
Isolation Between Cell Tap #1 and Chassis / Input Supply	1.5			kVrms
Isolation Between Cell Taps #2+ and Chassis / Input Supply	2.5			kVrms
Isolation Between Cell Tap Connectors	2.5			kVrms
Digital Output Switching Voltage (Open Drain)			30	V
Digital Output Sink Continuous Current (Some outputs can pulse up to 4A for contactors—see wiring manual for details)			175	mA
Cell Voltage Measurement Range	0.5		5	V
Cell Voltage Measurement Error (over 1-5v range)			0.25	%
Cell Balancing Current			200	mA
Cell Current (Operating)		0.5		mA
Cell Current (Low Power Sleep)		50		µA
Thermistor Accuracy		1		C
Cell Voltage Reporting Resolution		0.1		mV

Optional Specifications	
CAN bus speed	125, 250, 500, or 1000 Kbps
Current Sensor Values	+/- 200A, 500A, 800A, 1000A Available



Screenshot of Torque smartphone display



Screenshot of BMS utility

161 E. Saint Charles Road
Carol Stream, IL 60188

Phone: (630) 868-3173
Fax: (866) 657-5667

www.orionbms.com
www.ewertenergy.com

6.3.3 IMD

1



ISOMETER® IR155-3203 / IR155-3204

Insulation monitoring device (IMD) for unearthed DC drive systems (IT systems) in electric vehicles

Version V004

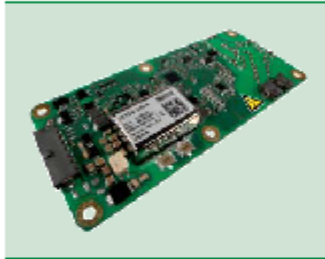


TD8106036en / 03.2012



ISOMETER® IR155-3203 / IR155-3204

Insulation monitoring device (IMD) for unearthed DC drive systems (IT systems) in electric vehicles



ISOMETER® IR155-3204

Device features

- Suitable for 12 V and 24 V systems
- Automatic device self test
- Continuous measurement of insulation resistance 0...10 MΩ
 - Response time < 2 s after power on for first estimated insulation resistance (SST)
 - Response time < 20 s for measured insulation resistance (DCP)
- Automatic adaptation to the existing system leakage capacitance (≤1 µF)
- Detection of ground faults and lost ground line
- Isolation monitoring of AC and DC insulation faults for unearthed systems (IT systems) 0 V...1000 V peak
- Low voltage detection for voltages below 500 V (value configurable EOL Bender)
- Short protected outputs for:
 - Fault detection (high side output)
 - Measurement value (PWM 5 % ... 95 %) & status (f = 10 Hz...50 Hz) at high or inverted low side driver (M_{HS} / M_{LS} output)
- Conformal coating (SL1301ECO-FLZ)

ATTENTION



Observe precautions for handling electrostatic sensitive devices. Handle only at safe work stations.

ATTENTION



The device is monitoring HIGH VOLTAGE. Be aware of HIGH VOLTAGE near to the device.

Product description

The ISOMETER® iso-F1 IR155-3203/-3204 monitors the insulation resistance between the insulated and active HV-conductors of an electrical drive system ($U_n = DC 0 V... 1000 V$) and the reference earth (chassis ground ▶ Kl.31). The patented measurement technology is used to monitor the condition of the insulation on the DC side as well as on the AC motor side of the electrical drive system. Existing insulations faults will be signalled reliably even under high system interferences which can be caused by motor control processes, accelerating, energy recovering etc.

Due to its space saving design and optimised measurement technology, the device is optimised for use in hybrid or fully electric vehicles. The device meets the increased automotive requirements with regard to the environmental conditions (e.g. temperatures and vibration, EMC...).

The fault messages (insulation fault at the HV-system, connection or device error of the IMD) will be provided at the integrated and galvanic isolated interface (high- resp. low-side driver). The interface consists of a status output (OK_{HS} output) and a measurement output (M_{HS} / M_{LS} output). The status output signals errors resp. the "good" condition. The measurement output signals the actual insulation resistance. Furthermore it's possible to distinguish between different fault messages and device conditions, which are base frequency encoded.

Function

The ISOMETER® iso-F1 IR155-3203/-3204 generates a pulsed measuring voltage, which is superimposed on the IT system by the terminals L+/L- and E/KE. The currently measured insulation condition is available as a pulse-width-modulated signal at the terminals M_{HS} resp. M_{LS}. The connection between the terminals E/KE and the chassis ground (▶ Kl.31) is continuously monitored. Therefore it's necessary to install two separated conductors from the terminals E resp. KE to chassis ground.

Once power is switched on, the device performs an initialisation and starts the SST measurement. The device provides the first estimated insulation resistance during a maximum time of 2 sec. The DCP measurement (▶ continuous measurement method) starts subsequently. Faults in the connecting wires or functional faults will be automatically recognised and signalled.

During operation, a self test is carried out automatically every five minutes. The interfaces will not be influenced by these self tests.

Standards

Corresponding norms and regulations*

IEC 61557-8	2007-01
IEC 61010-1	2010-06
IEC 60664-1	2004-04
ISO 6469-3	2001-11
ISO 23273-3	2006-11
ISO 16750-1	2006-08
ISO 16750-2	2010-03
ISO 16750-4	2010-04
e1 acc. 72/245/EWG/EEC	2009/19/EG/EC
DIN EN 60068-2-38	Z/AD:2010
DIN EN 60068-2-30	Db:2006
DIN EN 60068-2-14	Nb:2010
DIN EN 60068-2-64	Fh:2009
DIN EN 60068-2-27	Ea:2010

*** Normative exclusion**

The device went through an automotive test procedure in combination of multi customer requirements reg. ISO16750-x. The norm IEC61557-8 will be fulfilled by creating the function for LED warning and test button at the customer site if necessary. The device includes no surge and load dump protection above 60 V. An additional central protection is necessary.

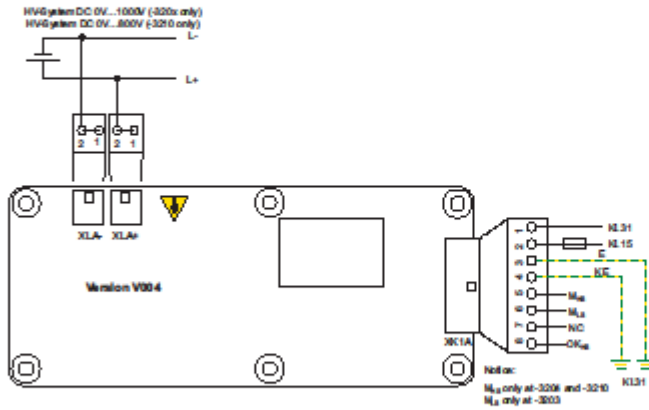
Abbreviations

DCP	Direct Current Pulse
SST	Speed Start Measuring



ISOMETER[®] iso-F1

Wiring diagrams



Connector XLA+

Pin 1+2 L+ Line voltage

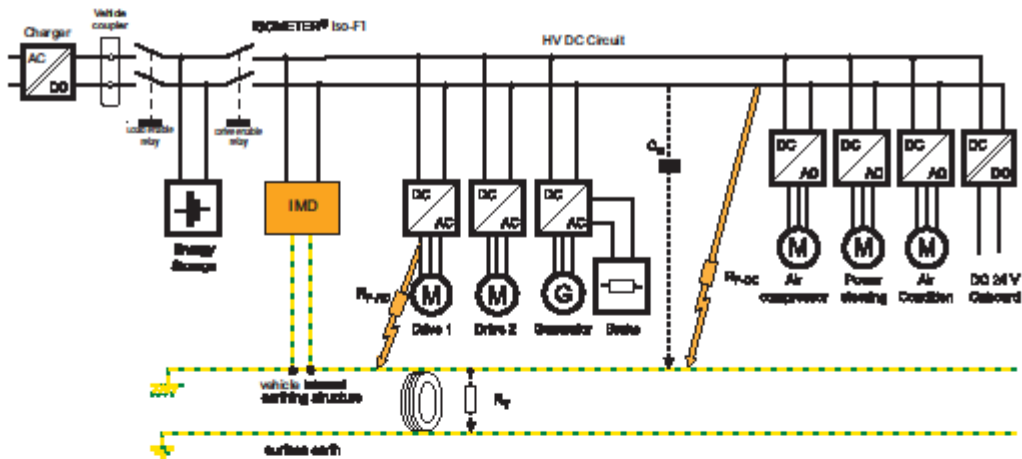
Connector XLA-

Pin 1+2 L- Line voltage

Connector XK1A

- Pin 1 KL 31 Chassis ground
- Pin 2 KL 15 Supply voltage
- Pin 3 KL 31 Chassis ground
- Pin 4 KL 31 Chassis ground (sep. line)
- Pin 5 M_{HS} Data Out, PWM (high side)
- Pin 6 M_{LS} Data Out, PWM (low side)
- Pin 7 n.c.
- Pin 8 OK_{HS} Status Output (high side)

Typical application



Technical data

Supply voltage U_s	DC 10...36 V
Nominal supply voltage	DC 12 V / 24 V
Voltage range	10 V...36 V
Max. operational current I_s	150 mA
Max. current I_k	2 A
	6 A / 2 ms Rush-In current
Power dissipation P_s	< 2 W
Line L+ / L- Voltage U_n	AC 0 V...1000 V peak; 0 V...660 V rms (10 Hz...1 kHz)
	DC 0 V...1000 V
Protective separation (reinforced insulation) between (L+ / L-) – (KL31, KL15, E, KE, M15, M15, OK15)	
Voltage test	AC 3500 V / 1 min
Load dump protection	< 60 V
Under voltage detection	0 V...500 V; Default: 0 V (inactive)
System leakage capacity C_d	≤ 1 µF
Reduced measuring range and increased measuring time at C_d	> 1µF (E.g. max. range 1 MΩ @ 3 µF, $t_{20} = 68$ s @ change over R_1 : 1 MΩ > $R_{20}/2$)
Measuring voltage U_m	+/- 40 V
Measuring current I_m at $R_1 = 0$	+/- 33 µA
Impedance Z_i at 50 Hz	≥ 1.2 MΩ
Internal resistance R_i	≥ 1.2 MΩ
Measurement range	0...10 MΩ
Measurement method	Bender DCP technologie
Factor averaging	
F_{200} (Output M)	1...10 (default: 10; EOL Bender)
Relative error at SST (≤ 2s)	Good > 2 * R_{20} ; Bad < 0.5 * R_{20}
Relative error at DCP	0...85 kΩ ▶ +/-20 kΩ 100 kΩ...10 MΩ ▶ +/-15 %
Relative error Output – M (base frequencies)	+/- 5 % at each frequency (10 Hz; 20 Hz; 30 Hz; 40 Hz; 50 Hz)
Relative error under voltage detection	$U_n \geq 100$ V ▶ +/-10 %; at $U_n \geq 300$ V ▶ +/-5 %
Response value hysteresis (DCP)	25 %
Response value R_{20}	100 kΩ...1 MΩ ▶ higher tolerances at $R_{20} < 85$ kΩ; (Default: 100 kΩ)
Response time t_{20} (OK15; SST)	$t_{20} \leq 2$ s (typ. < 1 s at $U_n > 100$ V)
Response time t_{20} (OK15; DCP)	
(Changeover R_1 : 10 MΩ ▶ $R_{20}/2$; at $C_d = 1$ µF; $U_n = 1000$ V DC)	
	$t_{20} \leq 20$ s (at $F_{200} = 10^*$) $t_{20} \leq 17.5$ s (at $F_{200} = 9$) $t_{20} \leq 17.5$ s (at $F_{200} = 8$) $t_{20} \leq 15$ s (at $F_{200} = 7$) $t_{20} \leq 12.5$ s (at $F_{200} = 6$) $t_{20} \leq 12.5$ s (at $F_{200} = 5$) $t_{20} \leq 10$ s (at $F_{200} = 4$) $t_{20} \leq 7.5$ s (at $F_{200} = 3$) $t_{20} \leq 7.5$ s (at $F_{200} = 2$) $t_{20} \leq 5$ s (at $F_{200} = 1$) during self test ▶ $t_{20} + 10$ s

* $F_{200} = 10$ is recommended for electric vehicles

Switch-off time t_{20} (OK15; DCP)

(Changeover R_1 : $R_{20}/2$ ▶ 10 MΩ; at $C_d = 1$ µF; $U_n = 1000$ V DC)

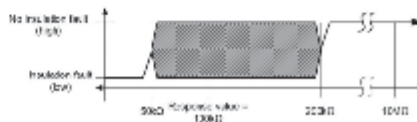
$t_{20} \leq 40$ s (at $F_{200} = 10$)
$t_{20} \leq 40$ s (at $F_{200} = 9$)
$t_{20} \leq 33$ s (at $F_{200} = 8$)
$t_{20} \leq 33$ s (at $F_{200} = 7$)
$t_{20} \leq 33$ s (at $F_{200} = 6$)
$t_{20} \leq 26$ s (at $F_{200} = 5$)
$t_{20} \leq 26$ s (at $F_{200} = 4$)
$t_{20} \leq 26$ s (at $F_{200} = 3$)
$t_{20} \leq 20$ s (at $F_{200} = 2$)
$t_{20} \leq 20$ s (at $F_{200} = 1$)
during self test ▶ $t_{20} + 10$ s

Self test time

10 s
(every 5 minutes; has to be added to t_{20} / t_{20})

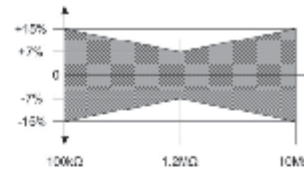
Relative error (SST)

Good-Value ≥ 2 * R_{20}
Bad-Value ≤ 0.5 * R_{20}



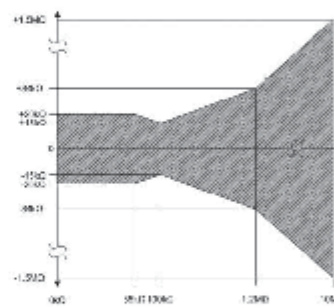
Relative error (DCP)

100 kΩ ▶ +/-15 %
100 kΩ...1.2 MΩ ▶ +/-15 % to +/-7 %
1.2 MΩ ▶ +/-7 %
1.2 MΩ...10 MΩ ▶ +/-7 % to +/-15 %
10 MΩ ▶ +/-15 %



Absolute error (DCP)

0 Ω...85 kΩ ▶ +/-20 kΩ





ISOMETER[®] iso-F1

Measurement Output (M)

M₁₅ switches to U₅ - 2 V (3204)
(external load to ground necessary → 2.2 kΩ)

M₁₅ switches to KI.31 +2 V (3203)
(external load to U₅ necessary → 2.2 kΩ)

0 Hz ▶ HI > short to U_b+ (KL15); Low > IMD off or short to KI.31

10 Hz ▶ Normal Condition
Insulation measuring DCP; starts 2 s after Power-On; first successful insulation measurement at ≤ 17.5 s
PWM active 5 %...95 %

20 Hz ▶ Under voltage condition
Insulation measuring DCP (correct measurement); starts 2 s after Power-On; PWM active 5 %...95 %
first successful insulation measurement at ≤ 17.5 s
Under voltage detection 0 V...500 V (EOL Bender configurable).

30 Hz ▶ Speed Start
Insulation measuring (only good/bad estimation); Starts directly after Power-On; response time ≤ 2 s; PWM 5 %...10 % (good) and 90 %...95 % (bad)

40 Hz ▶ IMD Error
IMD error detected; PWM 47.5%...52.5%

50 Hz ▶ Ground error
Error on measurement ground line (KI.31) detected
PWM 47.5%...52.5%

Status Output (OK_{MS})

OK_{MS} switches to U₅ - 2 V
(external load to ground necessary → 2.2 kΩ)

High ▶ No fault; R_f > response value
Low ▶ Insulation resistance ≤ response value detected; IMD error; ground error, under voltage detected or IMD off (ext. pull-down resistor required)

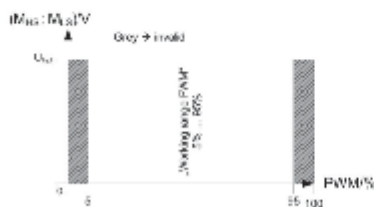
Operating principle PWM- driver

• Condition "Normal" and "Under voltage detected" (10Hz; 20Hz)

Duty cycle ▶ 5 % = >50 MΩ (∞)
Duty cycle ▶ 50 % = 1200 kΩ
Duty cycle ▶ 95 % = 0 kΩ

$$R_f = \frac{90\% \times 1200\text{ k}\Omega}{d_{\text{max}} - 5\%} - 1200\text{ k}\Omega$$

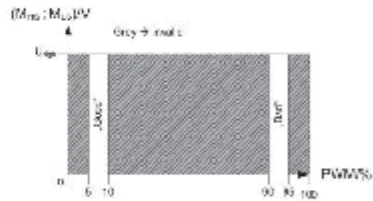
d_{max} = measured duty cycle (5 %...95 %)



Operating principle PWM- driver

• Condition "SST" (30Hz)

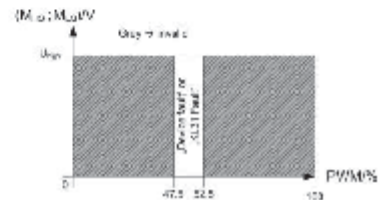
Duty cycle ▶ 5 %...10 % ("Good")
90 % 95 % ("Bad")



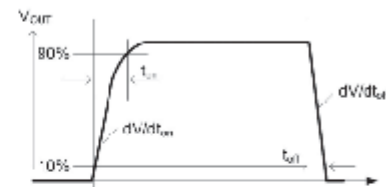
Operating principle PWM- driver

• Condition "Device error" and "KI.31 fault" (40Hz; 50Hz)

Duty cycle ▶ 47.5 %...52.5 %



Load current I _L	80 mA
Turn-on time ▶ to 90 % V _{OUT}	Max. 125 μs
Turn-off time ▶ to 10 % V _{OUT}	Max. 175 μs
Slew rate on ▶ to 30 % V _{OUT}	Max. 6 V/μs
Slew rate off ▶ to 40 % V _{OUT}	Max. 8 V/μs
Timing 3204 (Inverse of 3203)	



Connectors

TYCO-MICRO MATE-N-LOK
1 x 2-1445088-8
(KI.31, KI.15, E, KE, M₁₅, M₁₅, OK_{MS})
2 x 2-1445088-2 (I+, I-)

Crimp contacts

TYCO MICRO MATE-N-LOK Gold
14x 1-794606-1
Wire size: AWG 20...24

Necessary crimp tongs (TYCO)	91501-1
Operating mode / mounting	Continuous operation / any position
Temperature range	-40 °C...+105 °C
Voltage dropout	≤ 2 ms
Fire protection class acc. UL94	V 0

ESD protection

Contact discharge – directly to terminals	≤ 10 kV
Contact discharge – Indirectly to environment	≤ 25 kV
Air discharge – handling of the PCB	≤ 6 kV



Mounting

Screw mounting: M4 metal screws with locking washers between screw head and PCB.
Torx, T20 with a max. tightening torque of 4 Nm for the screws. Furthermore max. 10 Nm pressure to the PCB at the mounting points.

Mounting and connector kits are not included in delivery, but are available as accessories. The max. diameter of the mounting points is 10 mm.
Before mounting the device, ensure sufficient insulation between the device and the vehicle resp. the mounting points (min. 11.4 mm to other parts). If the IMD is mounted on a metal or conductive subsurface, this subsurface has to get ground potential (KL31; vehicle mass).

Deflection	max. 1 % of the length resp. width of the PCB
Conformal coating	Thick-Film-Lacquer
Weight	52 g +/-2 g

Ordering information

Type		Art.No
IR155-3203	Fixed default parameters R _{DS} : 100 kΩ Under voltage detection: 300 V F _{me} : 10 Measurement output low side	B 9106 8139V4
IR155-3203	Parameters can be customised R _{DS} : 100 kΩ... 1 MΩ Under voltage detection: 0 V... 500 V F _{me} : 1... 10 Measurement output low side	B 9106 8139CV4
IR155-3204	Fixed default parameters R _{DS} : 100 kΩ Under voltage detection: 0 V (inactive) F _{me} : 10 Measurement output high side	B 9106 8139V4
IR155-3204	Parameters can be customised R _{DS} : 100 kΩ... 1 MΩ Under voltage detection: 0 V... 500 V F _{me} : 1... 10 Measurement output high side	B 9106 8139CV4

Accessories

Mounting kit	B 9106 8500
Connecting kit IR155-32xx	B 9106 8501

Example for ordering

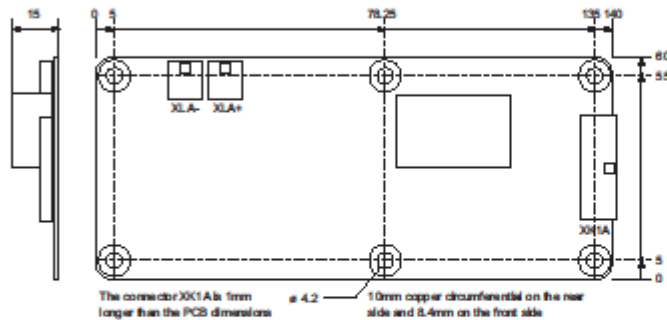
IR155-3204-100kΩ-0V + B 9106 8139V4
IR155-3204-200kΩ-100V + B 9106 8139CV4

The parameters acc. response value and under voltage protection have always to be added or included to an order.

Dimension diagram

Dimensions in mm

PCB dimensions (L x W x H) 140 mm x 60 mm x 15 mm



Bender GmbH & Co. KG
P.O.Box 1161 • 35301 Grünberg • Germany
Londorfer Straße 65 • 35305 Grünberg • Germany
Tel.: +49 6401 807-0 • Fax: +49 6401 807-259
E-Mail: info@bender-de.com • www.bender-de.com

BENDER Group

Subject to change - TD01 06036en / 03.2012 / Schw / © Bender GmbH & Co. KG, Germany

6.3.4 Cargador.

Para el caso del cargador, hemos prescindido de las páginas menos relevantes del datasheet por ser un documento largo. Para obtener el datasheet completo solicitarlo al correo electrónico.

User's Manual



EVO Series



User's Manual: EVO Series

Pag 13 – 53

5. General specification

5.1. Technical Data

AC Input (J1)		1-phase	3-phase Δ	3-phase Y	Unit
Input voltage range		100 – 265	100 – 265	175 – 460	V
Input frequency range		47 – 63 *****			Hz
AC current THD		< 10			%
Power factor		> 0.98			
Efficiency		> 90 @ from 50% to Max load			%
Pre-charging		internal			
for EVO11K only					
	Max. input current (eff)	48	28	16	A
	Max input power	11			kVA
	External fuses	20 Aac fast acting, Diode I ² t: 1130 A ² s @ 50Hz, 1030 A ² s @ 60Hz			
	INRUSH current	< 20 @ 240 Vac			A
	Y capacity L → PE ****	75	50	25	nF
	Y capacity N → PE ****	75	–	75	nF
for EVO22K only					
	Max. input current (eff)	96	56	32	A
	Max input power	22			kVA
	External fuses	40 Aac fast acting, Diode I ² t: 1130 A ² s @ 50Hz, 1030 A ² s @ 60Hz			
	INRUSH current	< 40 @ 240 Vac			A
	Y capacity L → PE	150	100	50	nF
	Y capacity N → PE	150	–	150	nF

DC output (J3)		R1	R2	R3	R4	Unit	
Voltage programmable range		100 – 420	125 – 500	160 – 670	210 – 840	Vdc	
Min. voltage Constant Power range		250	300	400	500	Vdc	
Charging voltage accuracy		±1	±1	±0.5	±0.5	%	
Charging current accuracy		±2				%	
Charging current ripple amplitude		±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	%	
for EVO11K only							
	Max. output power	10				kW	
	Max. charging current	40	33	25	20	Adc	
	Output capacitance	20 (film capacitors) + 110 (electrolitic capacitors)				μF	
	External fuses	50*	40*	30**	25**	Adc	
for EVO22K only							
	Max. output power	20				kW	
	Max. charging current	80	66	50	40	Adc	
	Output capacitance (for each module)	20 (film capacitors) + 110 (electrolitic capacitors)				μF	
	External fuses	Each***	2x50*	2x40*	2x30**	2x25**	Adc
		Union***	100*	80*	60**	50**	

* Fast acting, min 600 Vdc, Diode I²t: 2310 A²s @ 50Hz, 2250 A²s @ 60Hz** Fast acting, min 1000 Vdc, Diode I²t: 2310 A²s @ 50Hz, 2250 A²s @ 60Hz

*** See Chapter 2.4.5

**** Leakage current < 3.5mA

MT4184-C
www.edngroup.com

User's Manual: EVO Series

Pag 14 – 53

***** The charger can be supplied also providing a 400Hz supply. But, in this condition, consider that the internal circuitry that monitors the Neutral disconnection is not working. Thus, the neutral disconnection feature is not still active. Furthermore, in this condition there is a high leakage current and the power factor is reduced approximately to 90%.

Thermal / Cooling system	EVO11KL	EVO11KA	EVO22KL	Unit
Amount of coolant in device	1.2	-	2.4	l
External diameter of cooling water connection pieces	19	-	19	mm
Minimum coolant temperature at inlet	-25	-	-25	°C
Maximum coolant temperature at inlet	50	-	50	°C
Coolant pressure drop @ 10l/min, Tcoolant = 25°C (with a water to glycol mixture ratio of 50 / 50)	<0.2	-	<0.4	bar
Maximum cooling system pressure	1	-	1	bar
Cooling water flow rate	6 to 20	-	6 to 20	l/min
Ambient temperature range for storage	- 40 to + 95	- 40 to + 95	- 40 to + 95	°C
Ambient temperature range for extreme storage (less than 12 hours at a time)	- 40 to + 125	- 40 to + 125	- 40 to + 125	°C
Ambient temperature range in operation	- 40 to + 85	- 40 to + 85	- 40 to + 85	°C
Power stage temperature range full operation	- 40 to + 110	- 40 to + 110	- 40 to + 110	°C
Control stage temperature range full operation	- 40 to + 80	- 40 to + 80	- 40 to + 80	°C

Basic mechanical data	EVO11KL	Unit
Weight	24*	kg
IP protection	IP67 & IP6K9K	
Height	100	mm
Width	550	mm
Length	354 (383)	mm

*without coolant

Basic mechanical data	EVO11KA	Unit
Weight	24	kg
IP protection	IP67 & IP6K9K**	
Height	105 (166)	mm
Width	550	mm
Length	354 (383)	mm

**fan IP68

Basic mechanical data	EVO22KL	Unit
Weight	49*	kg
IP protection	IP67 & IP6K9K	
Height	100	mm
Width	550	mm
Length	354 (383)	mm

*without coolant

MT4184-C
www.edngroup.com



User's Manual: EVO Series

Pag 15 – 53

CAN interface	EVO11KL	EVO11KA	EVO22KL	Unit
CAN 2.0 b (11 STD/29 EXT)	STD as default			bit
CAN baud rate (125/250/500/1000)	500 as default			kbit/s
Max. CAN input voltage (ESD protection)	±24			V
CAN input capacity	47			pF
Termination resistor	Not present			

Warrenty and durability		
Warranty	See limited warrenties document	
Lifetime	duty 40%	15 years
MTBF	Gm (Ground Mobile), @ +50°C coldplate temperature	50'000 hours

5.1.1. Thermal dissipation information

The charger works providing full output power when the heatsink has a temperature included from -38°C to +65°C. Then, from +65°C the chargers works in derating condition. It means that from that temperature the charger decrease the output power from 100% to 0% (switched off) when the temperature is equal to 85°C.

But, the temperature of the cooling liquid is 10°C less than the heat sink temperature. So, the full power operation is performed at the following conditions:

	Full power operational	Derating power operational
Heatsink temperature range	-38°C to +65°C	+65°C to 85°C
Inlet Coolant temperature range	-38°C to +55°C	+55°C to 75°C

This was verified assuming the minimum flow rate.

The flow rate can be set from 6 to 20 l/min. If you increase the flow rate, you increase also the coolant temperature when the derating starts (if you provide a flow rate equal to 20 l/min, the derating coolant temperature can be increased of more or less 5°C).

Take into account that the thermal power that you have to dissipate is equal (more or less) to 0,8kW because the efficiency of the charger is approximately equal to 92% (see the efficiency curves in the Charger efficiency paragraph).

The difference between the inlet and output temperature is at maximum equal to 2,5°C with 6l/min and inlet temperature equal to 50°C.



MT4184-C
www.edngroup.com

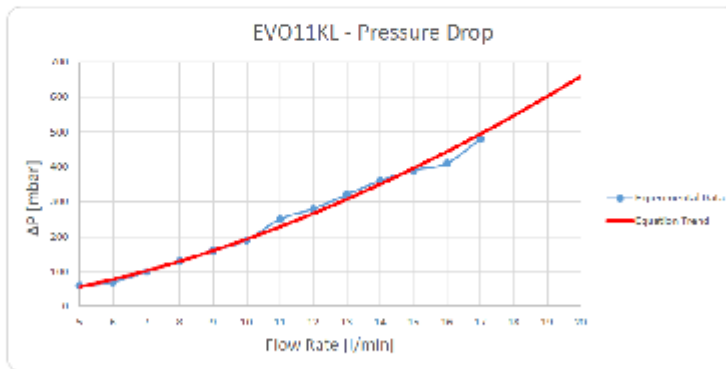
User's Manual: EVO Series

Pag 16 – 53

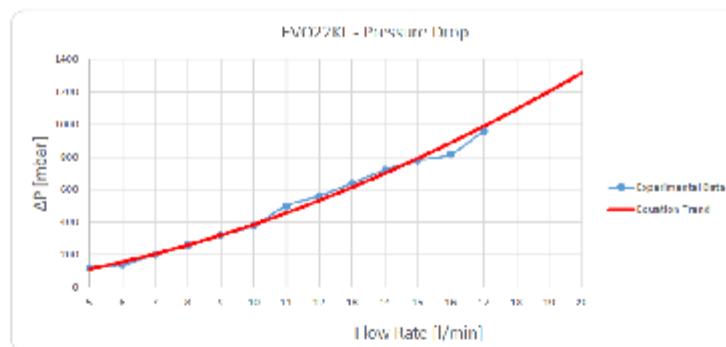
5.1.2. Pressure drop characterization

Below you can see the pressure drop vs coolant flow rate diagram for the EVO11K chargers and EVO22K chargers.

EVO11K	
Flow [l/min]	ΔP [mbar]
5	50
6	70
7	100
8	130
9	160
10	190
11	230
12	270
13	320
14	370
15	430
16	490
17	550

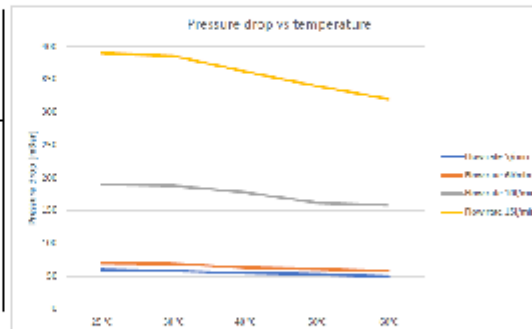


EVO22K	
Flow [l/min]	ΔP [mbar]
5	120
6	140
7	180
8	200
9	230
10	280
11	330
12	380
13	430
14	480
15	530
16	580
17	630



Below the variation of the pressure drop vs the temperature.

Flow [l/min]	Pressure drop vs temperature				
	ΔP [mbar] at 25 °C	ΔP [mbar] at 35 °C	ΔP [mbar] at 40 °C	ΔP [mbar] at 50 °C	ΔP [mbar] at 60 °C
5	60	58	55	53	50
6	70	68	65	63	60
10	160	158	155	153	150
15	250	248	245	243	240



5.1.3. Constant power

When the charger feeds a voltage greater than 60% of its maximum, the device operates at constant power.

In the constant power mode, the charger decreases output current with increasing voltage to maintain constant charging power to optimize the charging time.

In this way it uses the maximum power for more time during the charging cycle reducing the recharging time up to 25%.

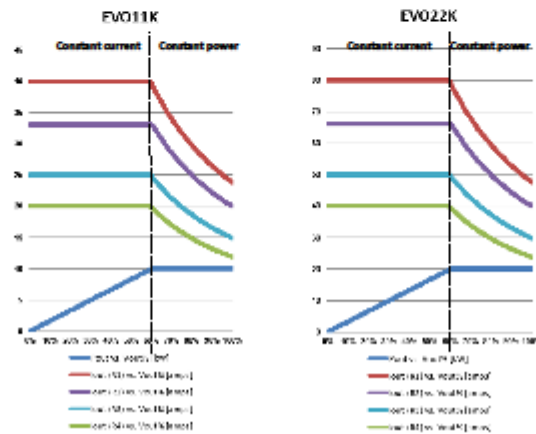
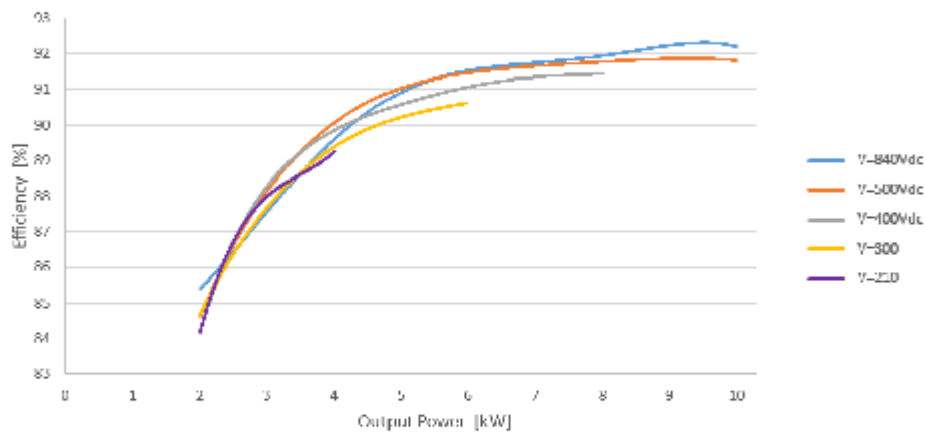


Fig. 1 Constant power.

5.1.4. Charger efficiency

Is shown below the efficiency curve of a EVO11KAR4 with variable voltage and output power.



The other charger ranges (liquid or air cooled version) present the same trend.



User's Manual: EVO Series

Pag 18 – 53

5.1.5. Start-up

During power up, the device monitors AC parameters and connections for protect itself from AC mains problems.

In the meantime, to avoid inrush current on the AC mains, the device performs an automatically pre-charge. The device finish the monitoring and it is ready for use after forty-five seconds from switching on.

Below the startup sequence:

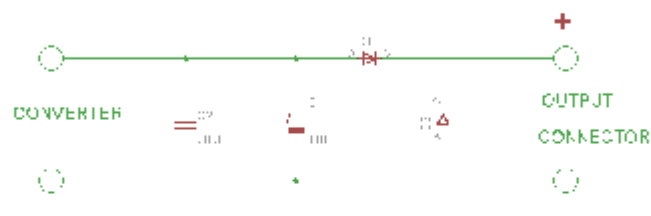
0. Provide LV Battery always hot (only if SAE J1772 or EN61851 is enabled)
1. Proximity and Pilot check (only if SAE J1772 or EN61851 is enabled)
2. S2 close (only if SAE J1772 or EN61851 is enabled)
3. AC main provided to the charger
4. Bootload timeout (10s)
5. Charger starts to communicate (Main CAN messages) (charger must have CAN communications to vehicle)
6. BMS Wake-up output is enabled
7. Wait 12s for internal check
8. Precharge (22s)
9. All the error flags are reset
10. Charger starts to communicate (Service CAN messages) (charger must have CAN communications to vehicle)
11. Starts providing output power with a ramp (it takes less than 45s from AC Mains is provided)

See the CAN Manual for more detail.

5.1.6. Output diode

The device have got an internal output decouple-diode. This diode permit redundant operation with chargers in parallel and to allow the operation even in case of failure.

Moreover, thanks to this, no external pre-charge circuitry is needed.



5.2. Warnings on Device

Warning labels are installed on the device to alert the operator of potential dangers. If any of these warning signs are missing or become illegible due to wear and tear, they must be replaced immediately. To obtain an original label, please contact EDN support at the manufacturer's address given in chapter 3.5.



Fig. 2 Warning label on Device

5.3. Technical Properties

- A wide battery voltage range with four voltage ranges available.
- It is possible to connect several EVO unit in parallel to achieve higher power.
- Provide galvanic isolation between AC mains and HV DC output.
- Compact and lightweight construction.
- Vibration-resistant and sealed construction for on-board use.
- It can be connected to single-phase or three-phase WYE or Delta AC mains.
- Programmable charging profile over CAN bus.
- Firmware upgradable over CAN bus.
- CAN interface integrated as standard.
- Safety installation programmable over CAN bus (SAE J1772, EN 61851).
- Meets international standard requirements (EMI, harmonics, etc.).
- DC High Voltage Interlock Loop (HVIL) protection.
- Precise and efficient charging power.
- Constant power charging capable.
- Programmable digital I/O signal.
- Digital output programmable for external LED.



User's Manual: EVO Series

Pag 20 – 53

5.4. Basic function of the EVO charger

The EVO series has been designed for use in off-highway, bus, marine, mining, commercial truck and automotive applications and can withstand harsh environments (vibration, thermal shock and extreme temperature ranges).

The EVO series is characterized by 11kW and 22kW power levels and comes available air cooled (EVO11KA) or liquid cooled (EVO11KL and EVO22KL); it is possible to connect several EVO in parallel to achieve higher power with a high degree of environmental protection, such as IP67 and IP6K9K (pressure wash) and with four output voltage ranges from 100VDC to 840VDC with constant power operation.

The chargers can be connected to single-phase AC mains and star or delta three-phase (100, 120, 208, 203, 240, 380, 400, 415, 420VAC) around the world in full compliance with international standards such as SAE J1772 and EN61851.

The focus is to realize a cost effective, compact and lightweight design to ensure the use in several applications and installation positions.

The processor-driven charging algorithms provides optimal results in efficiency and it contributes to a longer life of the battery charger and the HV battery.

The EVO series is programmable and can therefore be adapted to the individual needs of customers. With the included software, the charger can be adapted to the operating environment.

Safety and intelligent system design guarantees the immediate reaction of the charger in case of failure (eg over voltage, short circuit, overheating).

5.9.1. Pin Assignement AC Input connector (J1)

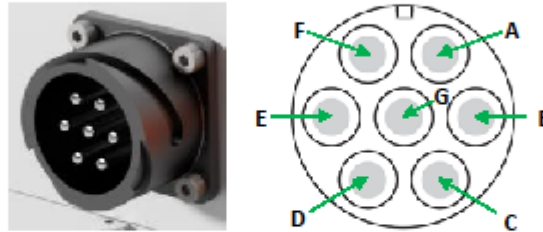


Fig. 13 Particular of AC input Connector

A. Phase 1	E. Phase 3
B. Neutral 1	F. Neutral 3
C. Phase 2	G. Ground (KL31)
D. Neutral 2	

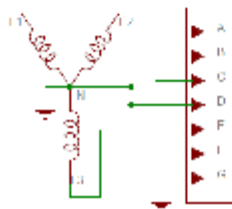


Fig. 14 Y 3-phase configuration

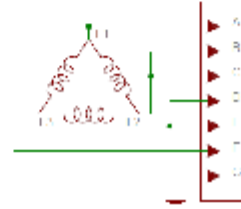


Fig. 15 Delta 3-phase configuration

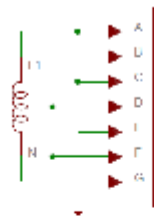


Fig. 16 1-phase configuration

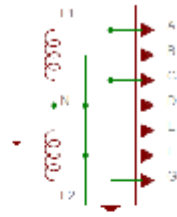


Fig. 17 1-phase split configuration

The VAN SYSTEM AC input connector has code CVB 02A 24-10P CR F16 G and its mating connector has code CVB 96DA 24-10S M32 CR F16. With the PCA are included 7 pins and the LAPP cable gland code 53112677. It is recommended to use wire AWG 8 or equivalent.

If you want to use a cable with a reduced diameter, it is suggested to use a suitable VAN SYSTEM adapter.

You can understand what is the proper adapter considering the following table.



User's Manual: EVO Series

Pag 28 – 53

Codice adattatore ⁽¹⁾ Adapter P/N ⁽²⁾	Misura contatto Contact size	Sezione cavo Wire section
AP485 16-13	16	20 AWG
AP485 12-17	12	16 AWG
AP485 8-26	8	12 AWG
AP485 8-17	8	1,5 mm ²
AP485 8-28	8	2,5 mm ²
AP485 8-30	8	4 mm ²
AP485 8-38	8	6 mm ²
AP485 4-15	4	8 AWG
AP485 4-17	4	1,5 mm ²
AP485 4-30	4	4 mm ²
AP485 4-38	4	6 mm ²
AP485 4-50	4	10 mm ²
AP485 4-82	4	18 mm ²
AP485 0-72	0	4 AWG
AP485 0-78	0	25 mm ²

An example could be the following.

If a 6mm² cable is used, you can use the AP485 8-38 adapter in order to crimp the 6mm² wire inside the 8 AWG contact.



All ungrounded (hot) legs need to be protected with a external fuse.



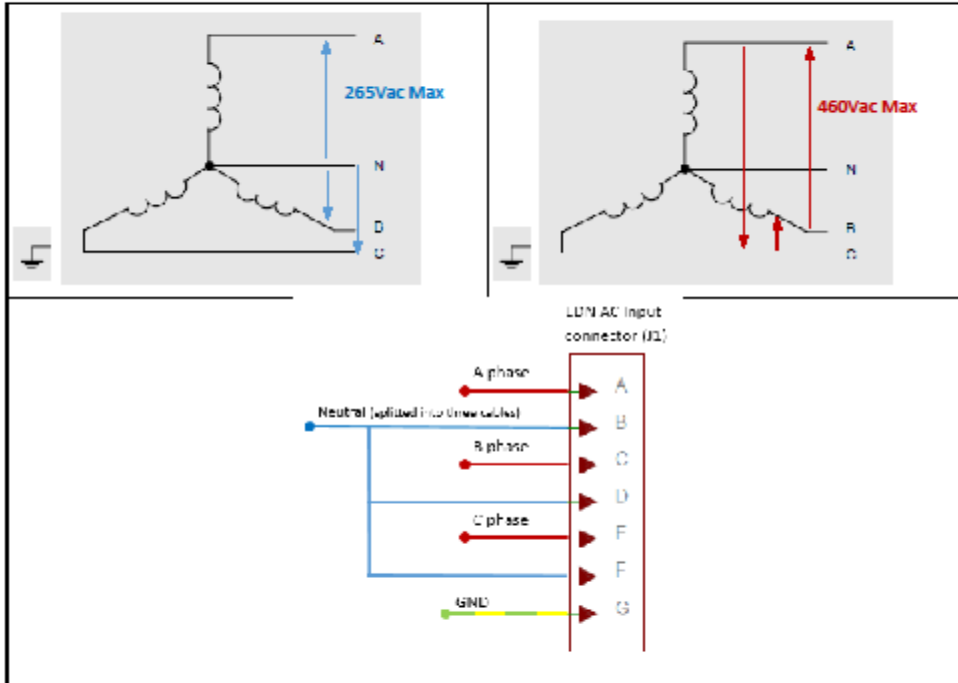
In 1-phase configuration and in Y 3-phase configuration all the neutral pins (B,D,F) must be connected, otherwise the charger will not work.

Below the three phase and single phase AC configuration are showed indicating the maximum AC voltage for each case.

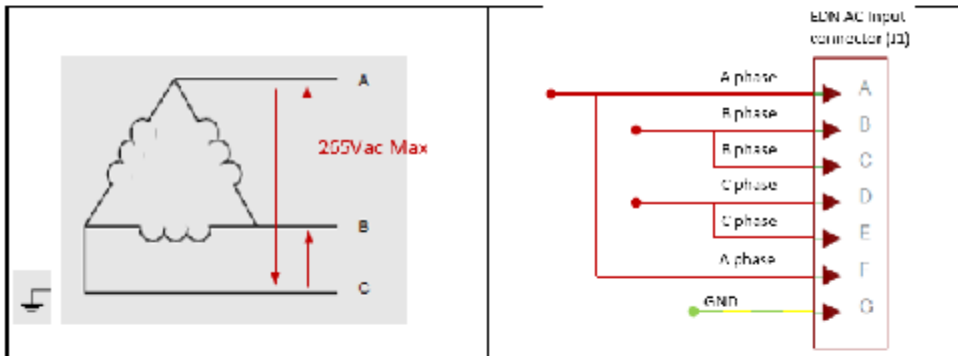
User's Manual: EVO Series

Pag 29 – 53

Y 3-phase configuration (example of not-grounded Neutral):



Δ 3-phase configuration: (this configuration is used for the 208/120Vac or 240/120Vac grid)

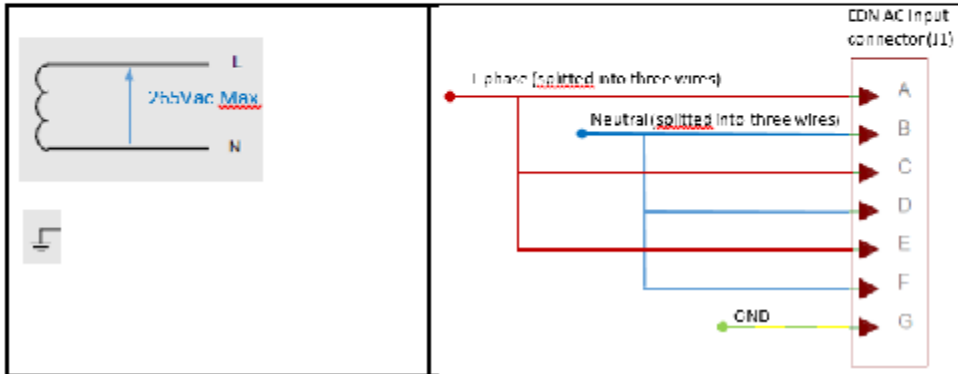


MT4184-C
www.edngroup.com

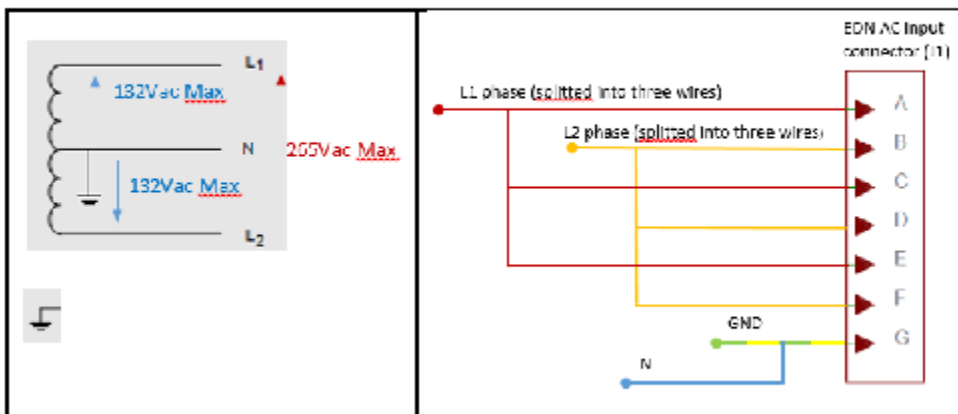
User's Manual: EVO Series

Pag 30 – 53

1-phase configuration (example of not-grounded Neutral):



1-phase split configuration (example of not-grounded Neutral):



5.9.2. Pin Assignement HVDC Output connector (J3)

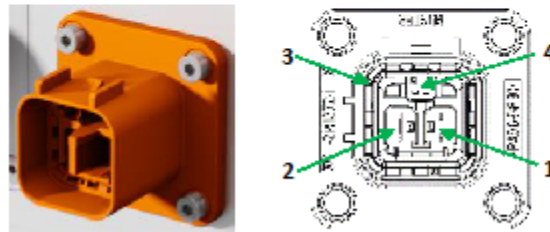


Fig. 18 Particular of HVDC output connector

1.	Output Positive pin	3.	Ground shield
2.	Output Negative pin	4.	Interlock pins

The TE connectivity control connector has code 1-2141272-1 and its mating connector has code 1-2282291- with final number depending from the cable length.

5.9.3. Grounding



The device use the fixing point as fixing ground.



Fig.1 Grounding label

In case SAE J1772 or EN61851 is enabled, the pins 13, 14 and 15 of the Control connector (J2) has to be connected to chassis ground.



User's Manual: EVO Series

Pag 32 – 53

5.9.4. Pin Assignement Control connector (J2)

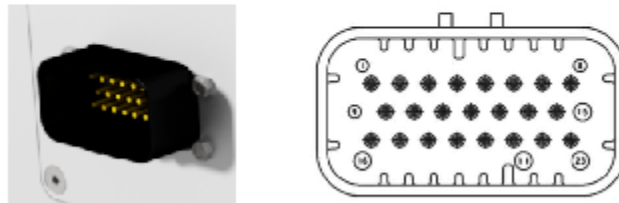


Fig. 19 Particular of Control connector

PIN	Description	Voltage	Current
1.	Liquid Pump Control	30 V	≤ 1 A
2.	Liquid Fan Control	30 V	≤ 1 A
3.	Alarm	30 V	≤ 1 A
4.	Enable Key (KL15)	8-30 V	≤ 1 A
5.	Control Pilot (CP)	max 12 V	
6.	Proximity Detection	5 V	10 mA
7.	LV Battery always hot (KL30)	8-30 V	
8.	Digital I/O	5 V	
9.	BMS Wake-Up	15 V	≤ 150 mA
10.	Led	max 12 V	≤ 50 mA
11.	HVIL 1	max 12 V	≤ 1 A
12.	HVIL 2	max 12 V	≤ 1 A
13.	Ground (KL31)	—	—
14.	Ground (KL31)	—	—
15.	Ground (KL31)	—	—
16.	Supply Fan - Negative	6-16 V	≤ 4 A
17.	Supply Fan - Positive	6-16 V	≤ 4 A
18.	Temperature sensor	5 V	10 mA
19.	CAN Shield	—	—
20.	CAN L - Service	max 5 V	
21.	CAN H - Service	max 5 V	
22.	CAN L - Main	max 5 V	
23.	CAN H - Main	max 5 V	

The TE connectivity control connector has code 776200-1, its mating connector has code 770680-1 and pin code 770520-1. With the PCA are included 24 pins. It is recommended to use wire AWG 18 or equivalent.



About assembling: pay attention that all the mating connector pins are properly inserted into their seat. The pins must be pushed up to the bottom in order to avoid any contact issue.

MT4184-C
www.edngroup.com



5.9.4.1. Pin 1, 2 and 3 – Liquid Pump Control , Fan Control and Allarm

Three open drain outputs connected to GROUND.

Liquid Pump signal activates the pump when an internal temperature is above 35°C. Only for EVO**KL.

Fan out signal activates the fan when an internal temperature is above 40°C. Only for EVO**KL.

Allarm indicates when a charger's fault is detected. It represents an hardware output warning.

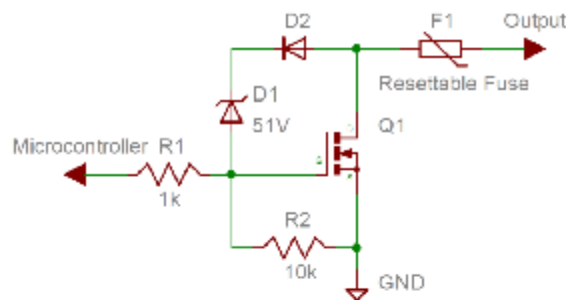
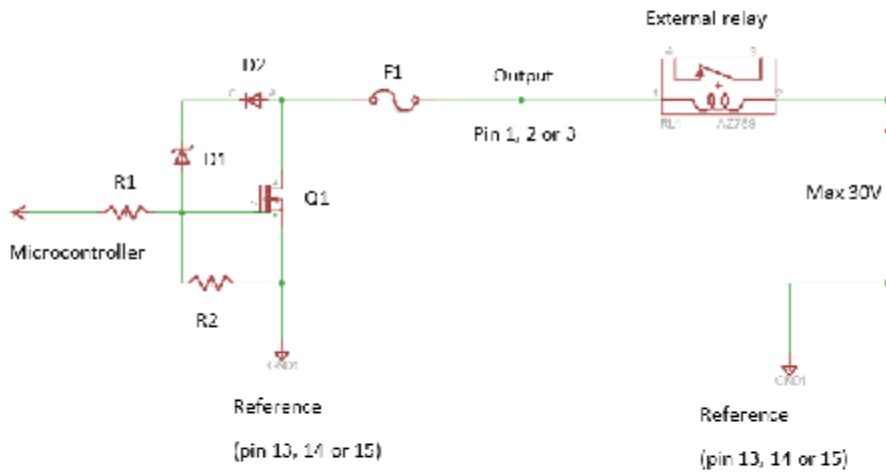


Fig. 20 Schematic of Liquid Pump Control , Fan Control and Allarm

These pins (1, 2 and 3) are three open drain outputs connected to GROUND and can be used like it is described in the picture below.



5.9.4.2. Pin 4 – Enable key

The Enable Key signal wakes up the charger from SLEEP.

Only if SAE J1772 or EN61851 is enabled there is a feature that reduce the current consumption of the internal Logic when AC mains is not present (sleep mode). When AC Mains is not present the consumption is less than 150mA. During the sleep mode, the maximum consumption is 10mA. In this way, if the Proximity signal (AC Mating plug unplugged) or the Enable key is not present, after 60s the internal Logic goes in a sleep mode.

Starting from this status you can provide the Enable key signal in order to wake up the internal Logic that starts to communicate. Otherwise you can wake up the internal logic providing directly AC Mains.

But, if you need to start the charge session you have to provide the Proximity, the pilot signal and the AC Mains (in this situation the Enable key signal state is not important).

If you want that the charger goes in sleep mode when the charger session is concluded, the Enable Key signal has to be "low" (zero voltage).

If EN6851/J1772 is not enabled, the input Enable key can be left not connected.

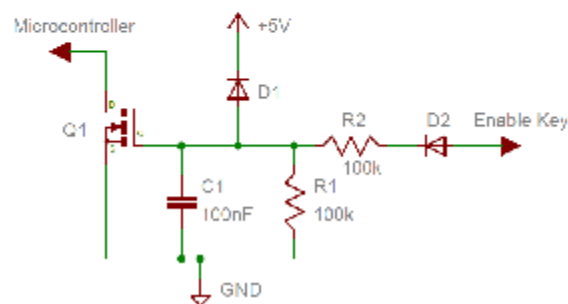


Fig. 21 Schematic of Enable key

User's Manual: EVO Series

Pag 36 – 53

5.9.4.3. Pin 5 – Control Pilot (CP)

SAE J1772 or EN 61851 compliant Control Pilot signal.

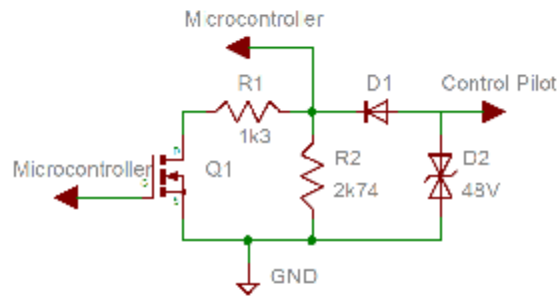


Fig. 22 Schematic of Control Pilot (CP)

5.9.4.4. Pin 6 – Proximity Detection

SAE J1772 or EN 61851 Proximity Detection compliant signal.

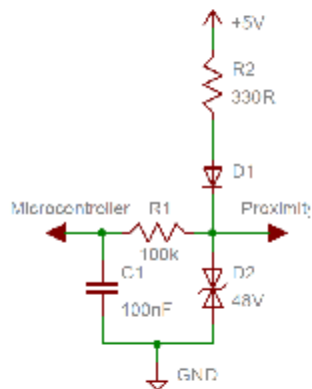


Fig. 23 Schematic of Proximity Detection

5.9.4.5. Pin 7 – LV chassis battery always hot

The LV battery always hot input supplies the charger's logic and permits CAN communication when AC power is not present (SAE J1772 & EN 61851 fully compliance). It is suggested to use an external fast resettable fuse in order to protect this input. Here are the ratings suggested: hold current of 250mA and trip current of 500mA.

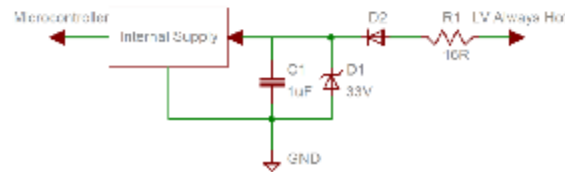


Fig. 24 Schematic of LV battery always hot



It is possible to modify the charger's Setup supplying the internal control logic only with the LV battery always hot (only for EVO11K Series).



This type of operation is not possible with the EVO22KL charger. In that case the charger's Setup can be modified only supplying the charger with AC Mains (don't provide the LV battery always hot during the setup operation).

5.9.4.6. Pin 8 – Digital I/O

Spare digital I/O port.

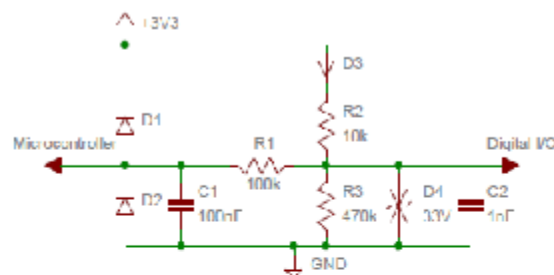


Fig. 25 Schematic of Digital I/O



User's Manual: EVO Series

Pag 38 – 53

5.9.4.7. Pin 9 – BMS Wake-up (V02)

The charger has an 15V/0.2A (V02) DC active output that can be used to wake up a BMS unit.

This output should go high as soon as the charger sees AC mains and after a CAN message is transmitted over CAN bus by the charger.

The time when the charger starts communicating is a trigger status to understand when the BMS wake-up signal goes up.

There isn't a CAN message dedicated to the Wake-up signal.

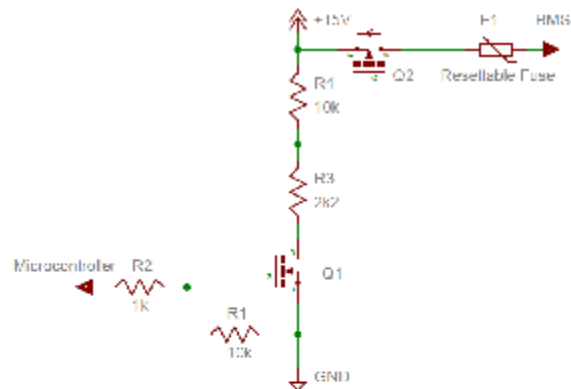


Fig. 26 Schematic of BMS Wake-up

5.9.4.8. Pin 10 – Led

Digital programmable output led.

(Fully compliance with mennekes plug)

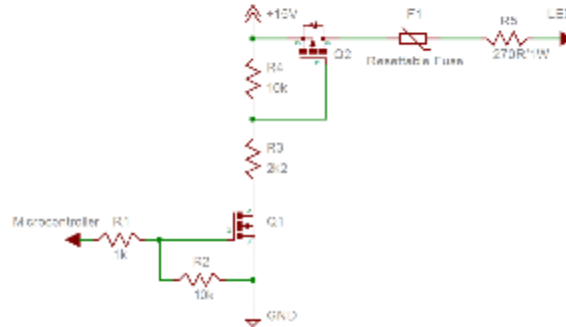


Fig. 27 Schematic of Led

The LED state (ON or OFF) is defined over Main Can. The LED has to be powered, providing AC Mains to the charger, in order to make it functional (it is not sufficient provide LV battery always hot only).

A typical usage of this LED could be the following. The LED is switched ON in accordance to the flag on command message (see Can Bus Specification Manual).

5.9.4.9. Pin 11 and 12 – HVIL

In order to guarantee the safety for High Voltage, an interlock system, connected in series to EVO's interlock, has to be implemented. The interlock is a safety means that allows to verify if the charger's HVDC connector is firmly connected. The HVIL pins of the control connector (chapter 5.9.4) are directly connected with the HVIL pins of the HVDC output connector (chapter 5.8.2). They are available to be used in an external HVIL loop.

When the output connector is plugged in the output stage, the two HVIL pins of the control connector are short-circuited.

The Electronic control unit (ECU) inside the vehicle has to monitor the HVIL continuity. ECU should disconnect the AC mains and the DC power to the Battery when an HVIL failure is detected.

Before 25 July 2016 (serial number ME292830152203) the HVIL signal management was active (see chapter 9).



User’s Manual: EVO Series

Pag 40 – 53

5.9.4.10. Pin 13, 14 and 15 – Ground (GND)

The GROUND signal is connected to the chassis ground as shown.

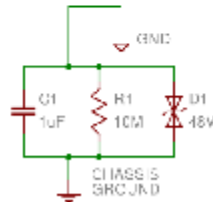


Fig. 28 Schematic of Ground (GND) for EVO011K*

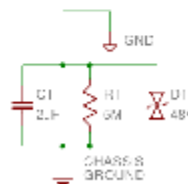


Fig. 29 Schematic of Ground(GND) for EVO22KL

For J1772 or EN61851 compliance, GND must be connected to CHASSIS GROUND externally (PIN 13, 14 and 15 should be connected to chassis ground).

5.9.4.11. Pin 16 and 17 – Supply Fan

Only for EVO11KA, this is the supply for the cooling fan.

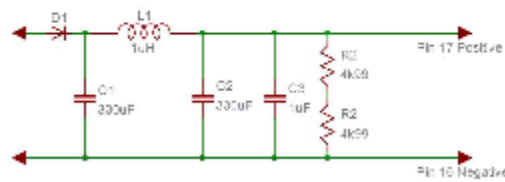


Fig. 30 Schematic of Supply FAN

The Fan is supplied from the charger itself. In order to do this the pins 16 and 17 of the Control connector (J2) have to be connected to the Fan connector (J4).

In particular, the connections to be implemented are the following:

Control connector (J2)	Fan Connector (J4)
Pin 16 (Negative)	Pin 1 (Negative) (Black wire connected)
Pin 17 (Positive)	Pin 2 (Positive) (Blue wire connected)

The Fan is powered depending from the internal temperature of the charger.

Four internal temperature operative ranges are defined:

Thermal range	Fan Voltage supply
-40 °C – 0 °C	0 V
1 °C – 30 °C	6 V
31 °C – 70 °C	6 V – 16 V
71 °C – 85 °C	16 V – 24 V

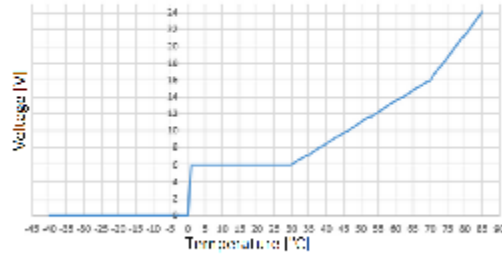


Fig. 31 Supply FAN voltage

The alarms worn in case of malfunction, for the maintenance see chapter 7.1.

5.9.4.12. Pin 18 – Temperature sensor

Interface for external PT1000 in order to monitor the external temperature. This feature is available on request.

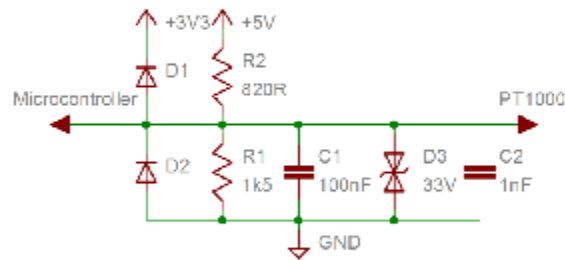


Fig. 32 Schematic of Temperature sensor

5.9.4.13. Pin 19 – CAN Shield

The CAN Shield signal is directly connected to the ground of the charger.



Fig. 33 Schematic of CAN Shield



User's Manual: EVO Series

Pag 42 – 53

5.9.4.14. Pin 20 and 21 – CAN Service

Auxiliary internal measures charger (for details see CAN Manual).

The CAN interface has the following characteristics:

- CAN V2.0B
- Fixed baud rate 500kbit/sec.
- Standard frame.
- Electrically isolated from battery pack potential.
- No terminating resistor is present.

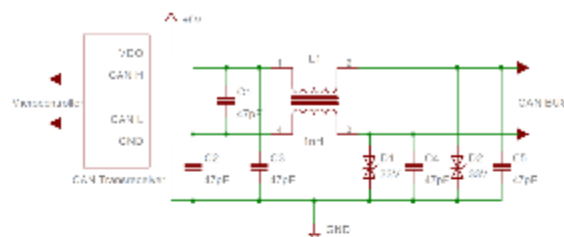


Fig. 34 Schematic of CAN Service



No terminating resistor is present. An external 120Ω resistor has to be mounted between CAN H – Service and CAN L – Service. The equivalent resistance between CAN H – Service and CAN L – Service must be 60Ω.

5.9.4.15. Pin 22 and 23 – CAN Main

Communication between the vehicle and charger (for details see CAN Manual)

The CAN interface has the following characteristics:

- CAN V2.0B
- Programmable baud rate.
- Programmable frame (Standard or Extended).
- Electrically isolated from battery pack potential.
- No terminating resistor is present.

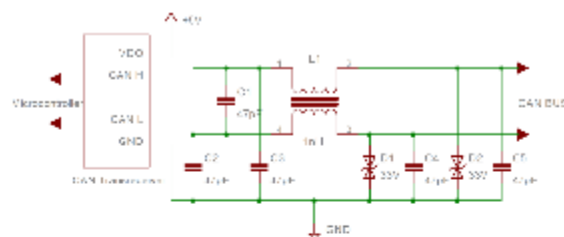


Fig. 35 Schematic of CAN Main



No terminating resistor is present. An external 120Ω resistor has to be mounted between CAN H – Main and CAN L – Main. The equivalent resistance between CAN H – Main and CAN L – Main must be 60Ω.

User's Manual: EVO Series

Pag 44 – 53

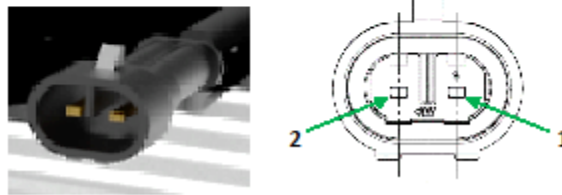
**5.10. Pin Assignment for FAN connector (J4)
(only for EVO11KA)**

Fig. 36 Particular of Fan connector

1. Supply Fan – Negative pin (black wire connected)	2. Supply Fan – Positive pin (blue wire connected)
--	---

The AMP connector has code 282104-1, its mating connector has code 282080-1.

User's Manual: EVO Series

Pag 46 – 53

5.11. Dimensions and Installation Information

For the installation of charger, the following points must be strictly adhered to:

- Despite the IP protection provided, the charger should be installed in a dry location, protected from splashing water.
- EVO11kA must be installed maintaining 15 cm between the fan and any object above. This has a direct influence on the power of the device (derating).
- The mechanical mounting must used at least 4 points and arranged so that the device is fitted firmly and in a manner to minimize vibration.
- The cable feeds and cooling liquid pipes should have sufficient space for routing and should not come into contact with sharp-edged components.
- the mounting bolts must be tightened to a torque setting of 10 Nm.
- The device can be mounted with any orientation.

5.11.1. Dimensions and Mounting Points EVO11KL

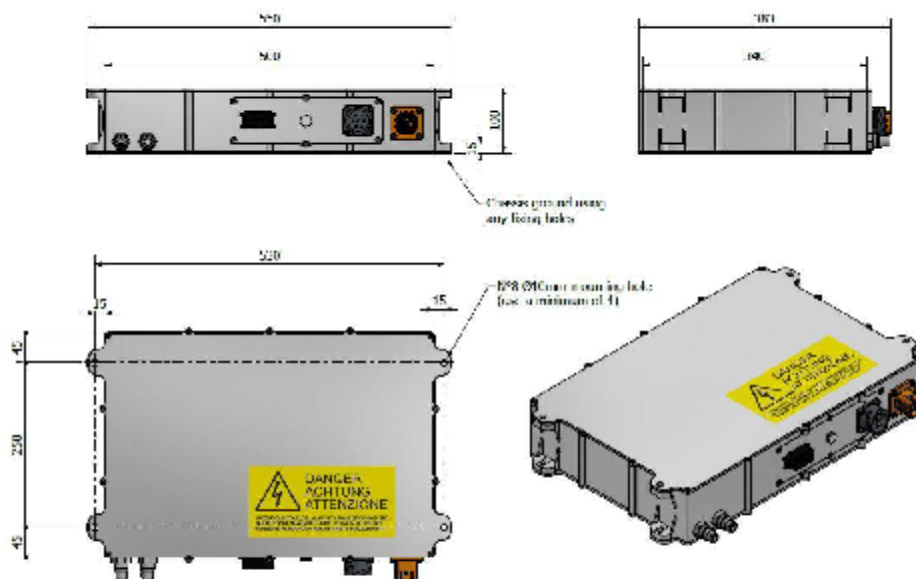


Fig. 37 Mechanical data of EVO11KL

5.10. Minimum connections for setting



Fig. 40 Minimum connections for setting

1.	Control Connector (J2)	Pin	Function
		5.	Control Pilot (CP)*
		6.	Proximity Detection*
		7.	LV Battery always hot
		13.	Ground
		14.	Ground
		15.	Ground
		19.	CAN Shield
		22.	CAN L – Main
		23.	CAN H – Main

* only with SAE J1772 or EN61851 activated.

User's Manual: EVO Series

Pag 50 – 53

5.11. Minimum connections for operation

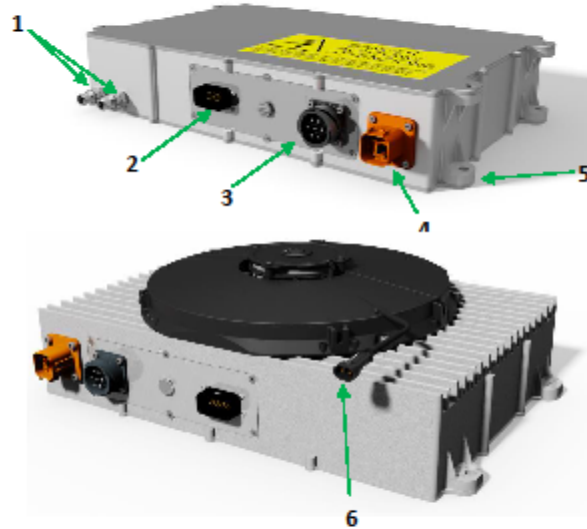


Fig. 41 Minimum connections for operation

1. Cooling port	The device must to be connected to cooling system	
2. Control Connector (J2)	Pin	Function
	5.	Control Pilot (CP)*
	6.	Proximity Detection*
	7.	LV Battery always hot*
	11,12	HVIL 1, HVIL 2 **
	13.	Ground
	14.	Ground
	15.	Ground
	16.	Supply Fan – Negative (only with EVO11KA)
	17.	Supply Fan – Positive (only with EVO11KA)
3. AC input Connector (J1)	Wired in accordance with the AC mains configuration	
4. HVDC Output Connector (J3)	Connection with a load for power operation(without a load for no load operation)	
	HVIL	
4b. HVDC Output Connector (J3b)	Second connection with a load for power operation(without a load for no load operation) (only with EVO22KL)	
5. Grounding point	In accordance with ECE100	
6. FAN connector (J4) (only for EVO11KA)	Connected to the Control connector (J2)	

* only with SAE J1772 or EN61851 activated.

** in order to be compliant with SAE J2344.

