

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado



ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE  
REFRIGERACIÓN EN  
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019





# AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco a todas las personas que de manera desinteresada me han apoyado durante este proceso de formación académica, en especial a:

Equipo FSULL, por los datos y conocimientos aportados y la colaboración en este TFG.

Don Ignacio Osio, ingeniero de la empresa Covestro LLC, por su charla sobre “Electric Vehicle Battery Packaging” impartida en la Universidad de La Laguna.

Don Marcos, ingeniero de Mercedes Benz en Tenerife. Comunicación personal.

Don Brian González Arbelo, estudiante de Monlau Repsol Technical School. Comunicación personal.

Don Sergio, propietario de Caniamotor, por sus conocimientos aportados.

Don Saulo Real García, ingeniero de la multinacional Ferrovial, por sus conocimientos y contactos aportados.

Don Augusto González Quintero, Área de Informática del Ayuntamiento de Arona. Comunicación personal.

Don Víctor Castañeyra González, estudiante de Motorsports Engineering Bachelor Degree en Coventry University. Comunicación personal.

Don Ángel Pérez, técnico de Endesa. Comunicación personal.

Don Ricardo, profesor del Ciclo Superior de Mecánica de Geneto. Comunicación personal.

Don Francisco Javier Rodríguez Rodríguez, Don Jose (ingeniero de CIATESA), Don Iván Díaz Álvarez y Don Daniel Falciano García, por los contactos aportados.

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## ÍNDICE GENERAL

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019

# ÍNDICE GENERAL

---

## 1. MEMORIA

<b>1.0 Hoja de identificación.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Objeto.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.1 Objeto del Trabajo de Fin de Grado.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.2 Abstract.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Alcance.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Antecedentes.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Normas y referencias.....</b>	<b>29</b>
<b>1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.2 Bibliografía.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.3 Programas de cálculo.....</b>	<b>36</b>
<b>1.5 Definiciones y abreviaturas.....</b>	<b>36</b>
<b>1.6 Requisitos de diseño.....</b>	<b>38</b>
<b>1.6.1 Requisitos de diseño sobre la prueba impuestos por el Equipo     FSULL.....</b>	<b>38</b>
<b>1.6.2 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración de la     batería.....</b>	<b>39</b>
<b>1.6.3 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración del motor... </b>	<b>40</b>
<b>1.6.4 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración de la     controladora.....</b>	<b>40</b>

<b>1.7 Análisis de soluciones</b> .....	41
<b>1.7.1 Análisis de soluciones para el sistema de refrigeración de la batería</b> .....	41
<b>1.7.2 Análisis de soluciones para el sistema de refrigeración del motor y la controladora</b> .....	51
<b>1.7.3 Análisis de soluciones para el enfriamiento del agua del sistema de refrigeración</b> .....	54
<b>1.8 Resultados finales</b> .....	59
<b>1.8.1 Acceso del aire al vehículo FSULL</b> .....	64
<b>1.8.2 Enfriamiento del aire ambiente mediante el Intercambiador de Calor</b> .....	64
<b>1.8.3 Sistema de refrigeración de la batería</b> .....	65
<b>1.8.4 Sistema de refrigeración del motor</b> .....	65
<b>1.8.5 Sistema de refrigeración de la controladora</b> .....	66
<b>1.8.6 Sistema de refrigeración por compresión de vapor</b> .....	66
<b>1.9 Orden de prioridad de los documentos</b> .....	69
<b>1.10 Conclusiones</b> .....	69
<b>1.11 Conclusion</b> .....	70

## **2. ANEXOS**

### **2.1 Anexo-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos**

<b>2.1.1 Resumen</b> .....	18
----------------------------	----

<b>2.1.2 Introducción</b> .....	18
---------------------------------	----

2.1.2.1 Coche eléctrico.....	19
2.1.2.2 Historia.....	20
2.1.2.3 Ventajas.....	21
2.1.2.4 Inconvenientes.....	22
2.1.2.5 Energía.....	23
2.1.2.6 Fuentes de energía.....	25
2.1.2.7 Contaminación y electricidad.....	29
2.1.2.8 Consumo.....	32
2.1.2.9 Partes de un vehículo eléctrico.....	33
<b>2.1.3 Batería de un vehículo eléctrico.....</b>	<b>34</b>
2.1.3.1 Terminología.....	37
2.1.3.2 Proceso químico.....	38
2.1.3.3 Pack de baterías.....	39
2.1.3.4 Acondicionamiento del pack de baterías.....	39
2.1.3.5 Configuraciones del pack de baterías.....	41
2.1.3.6 Diseño estructural.....	42
2.1.3.7 Conexiones eléctricas y protección.....	43
2.1.3.8 Partes de la batería.....	46
2.1.3.9 Tipos de baterías.....	38
2.1.3.10 Tipos de baterías más usuales para vehículos eléctricos...55	
2.1.3.11 Batería de iones de litio.....	57
2.1.3.12 Ejemplo de baterías ión-litio utilizadas por los distintos fabricantes de vehículos.....	61

<b>2.1.4 Sistemas de gestión térmica.....</b>	<b>69</b>
2.1.4.1 Efectos de las temperaturas críticas.....	71
2.1.4.2 Tipos de sistemas de refrigeración.....	73
2.1.4.3 Otros sistemas de refrigeración menos usuales en vehículos eléctricos.....	77
2.1.4.4 Ubicación del sistema de refrigeración.....	88
2.1.4.5 Tipos de refrigerantes.....	90
2.1.4.6 Componentes del sistema de refrigeración.....	95
2.1.4.7 Problemas accidentales.....	98
2.1.4.8 Mantenimiento.....	98
<b>2.1.5 Legislación ambiental.....</b>	<b>99</b>
<b>2.2 Anexo-Batería FSULL</b>	
<b>2.3 Anexo-Motor EMRAX 228 Medium Voltage CC FSULL</b>	
<b>2.4 Anexo-Controladora Bamocar D3 FSULL</b>	
<b>2.5 Anexo-Cálculos</b>	
2.5.0 Resumen.....	7
2.5.1 Datos.....	10
2.5.2 Circuito de agua.....	13
2.5.2.1 Motor.....	16
2.5.2.2 Controladora.....	17
2.5.2.3 Circuito de agua del sistema de refrigeración.....	20
2.5.2.4 Intercambiador de calor.....	24
2.5.3 Circuito de aire.....	29

<b>2.5.4 Ciclo de compresión de vapor.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.5 Resultados.....</b>	<b>42</b>
<b>2.5.5.1 Datos.....</b>	<b>42</b>
<b>2.5.5.2 Circuito de agua del sistema de refrigeración.....</b>	<b>45</b>
<b>2.5.5.3 Circuito de aire del sistema de refrigeración.....</b>	<b>46</b>
<b>2.5.5.4 Ciclo de compresión de vapor.....</b>	<b>47</b>
<b>2.5.5.5 Conclusión.....</b>	<b>48</b>

## **3. PLANOS**

### **3.0 DISEÑO DEL VEHÍCULO FSULL**

#### **3.0.1 VISTA 3D Y ALZADO DEL VEHÍCULO FSULL**

#### **3.0.2 PERFIL DERECHO DEL VEHÍCULO FSULL**

#### **3.0.3 VISTA 3D DE LA BATERÍA Y LA CONTROLADORA**

#### **3.0.4 VISTA 3D DE LA BATERÍA Y EL MOTOR**

#### **3.0.5 VISTA 3D Y PLANTA DEL PACK DE BATERÍAS**

#### **3.0.6 VISTA 3D Y PLANTA DE UNA CELDA DE LA BATERÍA**

#### **3.0.7 ALZADO Y ALZADO POSTERIOR DEL MOTOR**

#### **3.0.8 VISTA 3D DE LA CONTROLADORA**

### **3.1 ANÁLISIS DE SOLUCIONES PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

#### **3.1.1 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL**

### **3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL**

### **3.1.3 OPCIÓN A-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA**

### **3.1.4 OPCIÓN B-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA**

### **3.1.5 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

### **3.1.6 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

## **3.2 ESQUEMAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

### **3.2.1 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

### **3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**



Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## MEMORIA

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019



# ÍNDICE-MEMORIA

---

## 1. MEMORIA

<b>1.0 Hoja de identificación.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Objeto.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.1 Objeto del Trabajo de Fin de Grado.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.2 Abstract.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Alcance.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3 Antecedentes.....</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Normas y referencias.....</b>	<b>29</b>
<b>1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.2 Bibliografía.....</b>	<b>30</b>
<b>1.4.3 Programas de cálculo.....</b>	<b>36</b>
<b>1.5 Definiciones y abreviaturas.....</b>	<b>36</b>
<b>1.6 Requisitos de diseño.....</b>	<b>38</b>
<b>1.6.1 Requisitos de diseño sobre la prueba impuestos por el Equipo FSULL.....</b>	<b>38</b>
<b>1.6.2 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración de la batería.....</b>	<b>39</b>
<b>1.6.3 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración del motor... </b>	<b>40</b>
<b>1.6.4 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración de la controladora.....</b>	<b>40</b>

<b>1.7 Análisis de soluciones</b> .....	41
<b>1.7.1 Análisis de soluciones para el sistema de refrigeración de la batería</b> .....	41
<b>1.7.2 Análisis de soluciones para el sistema de refrigeración del motor y la controladora</b> .....	51
<b>1.7.3 Análisis de soluciones para el enfriamiento del agua del sistema de refrigeración</b> .....	54
<b>1.8 Resultados finales</b> .....	59
<b>1.8.1 Acceso del aire al vehículo FSULL</b> .....	64
<b>1.8.2 Enfriamiento del aire ambiente mediante el Intercambiador de Calor</b> .....	64
<b>1.8.3 Sistema de refrigeración de la batería</b> .....	65
<b>1.8.4 Sistema de refrigeración del motor</b> .....	65
<b>1.8.5 Sistema de refrigeración de la controladora</b> .....	66
<b>1.8.6 Sistema de refrigeración por compresión de vapor</b> .....	66
<b>1.9 Orden de prioridad de los documentos</b> .....	69
<b>1.10 Conclusiones</b> .....	69
<b>1.11 Conclusion</b> .....	70

## Índice de Figuras-Memoria

**Figura 1: Vehículo eléctrico antiguo.....10**

Fuente: [www.google.es/images](http://www.google.es/images) [1]

**Figura 2: Partes del vehículo eléctrico.....11**

Fuente: [www.google.es/images](http://www.google.es/images) [2]

**Figura 3: Diseño del vehículo FSULL.....12**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 4: Vista 3D de la batería, el motor y la controladora.....18**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 5: Sistema de refrigeración de la batería mediante aire.....23**

Fuente: [www.google.es/images/](http://www.google.es/images/) [3]

**Figura 6: Sistema de refrigeración de la batería mediante líquido.....24**

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/> [4]

**Figura 7: Sistema de refrigeración de la batería mediante un evaporador.....25**

Fuente: <https://www.actualidadmotor.com/> [5]

**Figura 8: Sistema de refrigeración directa de la batería.....26**

<https://www.motor.es/> [6]

**Figura 9: Sistema de refrigeración del Mercedes S400 BlueHybrid 2009...26**

Fuente: Don Marcos, ingeniero de Mercedes Benz en Tenerife. Comunicación personal.

**Figura 10: Sistema de refrigeración del Tesla Model S.....27**

Fuente: [www.hibridoselectricos.com](http://www.hibridoselectricos.com) [7]

**Figura 11: Batería de polímero termorresponsa.....29**

Fuente: <https://movilidadelectrica.com/> [8]

**Figura 12: Plano 3.0.5 VISTA 3D Y PLANTA DEL PACK DE BATERÍAS.....39**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 13: Plano 3.0.7 ALZADO Y ALZADO POSTERIOR DEL MOTOR.....40**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 14: Plano 3.0.8 VISTA 3D DE LA CONTROLADORA.....41**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 15: Plano 3.0.1 VISTA 3D Y ALZADO DEL VEHÍCULO FSULL.....42**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 16: Estudio climatológico de la ciudad de Barcelona.....42**

Fuente: [Ayuntamiento de Barcelona](#). [9]

**Figura 17: Gráfico sobre de temperaturas máximas en Barcelona en Agosto.....44**

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.

**Figura 18: Plano 3.1.1 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL.....46**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 19: Plano 3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL.....48**

Fuente: Elaboración propia.

<b>Figura 20: Plano 3.1.3 OPCIÓN A-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA.....</b>	<b>49</b>
---	-----------

Fuente: Elaboración propia.

<b>Figura 21: Plano 3.1.4 OPCIÓN B-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA.....</b>	<b>50</b>
---	-----------

Fuente: Elaboración propia.

<b>Figura 22: Plano 3.2.1 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL.....</b>	<b>53</b>
---	-----------

Fuente: Elaboración propia.

<b>Figura 23: Plano 3.1.5 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....</b>	<b>55</b>
--	-----------

Fuente: Elaboración propia.

<b>Figura 24: Esquema básico del Ciclo de compresión de vapor.....</b>	<b>56</b>
--	-----------

Fuente: [Ciclo de compresión de vapor](#) [10]

<b>Figura 25: Plano 3.1.6 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....</b>	<b>58</b>
--	-----------

Fuente: Elaboración propia.

<b>Figura 26: Plano 3.2.1 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL.....</b>	<b>63</b>
---	-----------

Fuente: Elaboración Propia.

<b>Figura 27: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL.....</b>	<b>68</b>
--	-----------

Fuente: Elaboración propia.

## Índice de Tablas-Memoria

<b>Tabla 1: Puntuaciones máximas en eventos estáticos.....</b>	<b>13</b>
--	-----------

Fuente: Reglamento FS Rules 2019.

<b>Tabla 2: Puntuaciones máximas en eventos dinámicos.....</b>	<b>14</b>
--	-----------

Fuente: Reglamento FS Rules 2019.

<b>Tabla 3: Estudio climatológico de Barcelona en Agosto.....</b>	<b>43</b>
---	-----------

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.



## 1.0 Hoja de identificación

### PROYECTO

**TÍTULO:** Estudio de los sistemas de refrigeración en vehículos eléctricos

**APLICACIÓN:** Vehículo eléctrico FSULL

### PETICIONARIO

**NOMBRE:** Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

**DIRECCIÓN:** Avenida Astrofísico Francisco Sánchez, s/n.  
San Cristóbal de La Laguna – Tenerife.

### AUTOR

**NOMBRE:** Martins Rodríguez González

**DNI:** 78647849-Q

**DOMICILIO:** Calle Domingo Pérez Bethencourt N°40,  
Carmenaty, La Orotava.

**EMAIL:** [alu0100884029@ull.edu.es](mailto:alu0100884029@ull.edu.es)  
martins.rodriguez.gonzalez@gmail.com

## 1.1 Objeto

### 1.1.1 Objeto del Trabajo de Fin de Grado

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo diseñar el sistema de refrigeración de un vehículo Fórmula Student eléctrico para la Universidad de La Laguna.

Este proyecto surgió para dar respuesta a un problema de funcionamiento del vehículo FSULL: la elevada temperatura del motor, la controladora y el pack de baterías debido al flujo de la corriente eléctrica. Por lo tanto, a través de este Trabajo de Fin de Grado, la intención es diseñar el sistema de refrigeración necesario para mantener la temperatura óptima de funcionamiento en dichas partes, con la finalidad de que la duración y el rendimiento no se degraden. Para ello, se diseñó un sistema de refrigeración empleando aire como fluido de enfriamiento de la batería; y agua para el motor y la controladora; ambos mediante convección forzada.

En primer lugar, se llevo a cabo una fundamentación teórica sobre las partes de un vehículo eléctrico, especialmente de la batería, el motor y la controladora; además de un estudio sobre los diferentes sistemas de refrigeración para estos equipos.

A continuación, se realizó la elección del sistema de refrigeración más idóneo para el vehículo FSULL entre las diferentes propuestas existentes.

Finalmente, se elaboraron los cálculos necesarios para la elección de los equipos que constituyen el sistema.

### 1.1.2 Abstract

This End of Degree Work aims to design the cooling system of an electric Formula Student vehicle for the University of La Laguna.

This project arose to respond to a FSULL vehicle malfunction: the high engine temperature, controller and battery pack. Therefore, through this End-of-Grade Work, the intention is to design the cooling system necessary to maintain the optimum operating temperature in those parts, so that the duration and performance do not degrade. To do this, a cooling system was designed using air as a battery cooling fluid; and water for the engine and controller; both by forced convection.

First, a theoretical basis was carried out on the parts of an electric vehicle, especially the battery, engine and controller; in addition to a study on the different cooling systems for this equipment.

Next, the most suitable cooling system for the FSULL vehicle was made among the different existing proposals.

Finally, the necessary calculations were developed for the choice of equipment that constitutes the system.

## **1.2 Alcance**

Este Trabajo de Fin de Grado tiene el objetivo de dar al equipo FSULL una propuesta de diseño del sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

No forma parte del mismo, la elección de los equipos del sistema de refrigeración ni la instalación/ubicación del sistema de refrigeración en el vehículo FSULL, ya que se desconoce el diseño del interior del vehículo y el espacio disponible para el mismo. Así pues, no es objeto de este Trabajo de Fin de Grado el cálculo y dimensionado de las conducciones por las cuales circularán los fluidos, ni las áreas de intercambio de calor necesarias ya que no se dispone de información acerca de la geometría de dichas zonas.

El equipo FSULL proporcionó los datos que ellos estiman necesarios para la realización de la prueba más exigente. Para dicha prueba, el equipo calculó la potencia que debe almacenar la batería, la potencia consumida en el motor y la controladora y el calor generado en la batería, el motor y la controladora, los cuales hay que disipar. El equipo FSULL se hizo cargo de la elección del modelo de la batería, el motor y la controladora necesarios para realizar la prueba.

No forma parte del alcance de este Trabajo de Fin de Grado esos cálculos proporcionados por el equipo FSULL y se asume que se han calculado correctamente. Así pues, este Trabajo de Fin de Grado se basa en dichos valores para diseñar el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

Dicho sistema servirá para enfriar las baterías, el motor y la controladora. Así pues, el sistema se dividirá según las diferentes partes a refrigerar.

Este TFG se limita al estudio del sistema de refrigeración del motor y de la controladora, el cuál empleará agua como fluido de enfriamiento; y al estudio del sistema de refrigeración de la batería, que empleará aire para su refrigeración. Para ello, se especificó la temperatura de entrada y salida del fluido a su paso por el equipo correspondiente, la potencia consumida o disponible por el mismo y el caudal másico de fluido necesario para su refrigeración.

A modo de conclusión, se indicaron los equipos necesarios y los parámetros más relevantes para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración del vehículo eléctrico FSULL.

### 1.3 Antecedentes

Para encontrar información más detallada sobre el vehículo eléctrico, acudir al Anexo 2.1-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos.

Los primeros coches eléctricos surgieron en la década de 1880; de hecho, fueron muy populares hasta que los avances en los motores de combustión interna y la producción en masa de coches de gasolina más baratos llevaron al declive su uso. Tras varias décadas en el olvido, la crisis del petróleo de 1973 produjo un breve renacimiento en el interés por los vehículos eléctricos, aunque tampoco llegaron a alcanzar la comercialización en masa. Hasta que nos trasladamos a la actualidad, donde la preocupación global por la contaminación nos obliga al uso de este medio de transporte.

#### Figura 1: Vehículo eléctrico antiguo

Fuente: [www.google.es/images](http://www.google.es/images) [1]



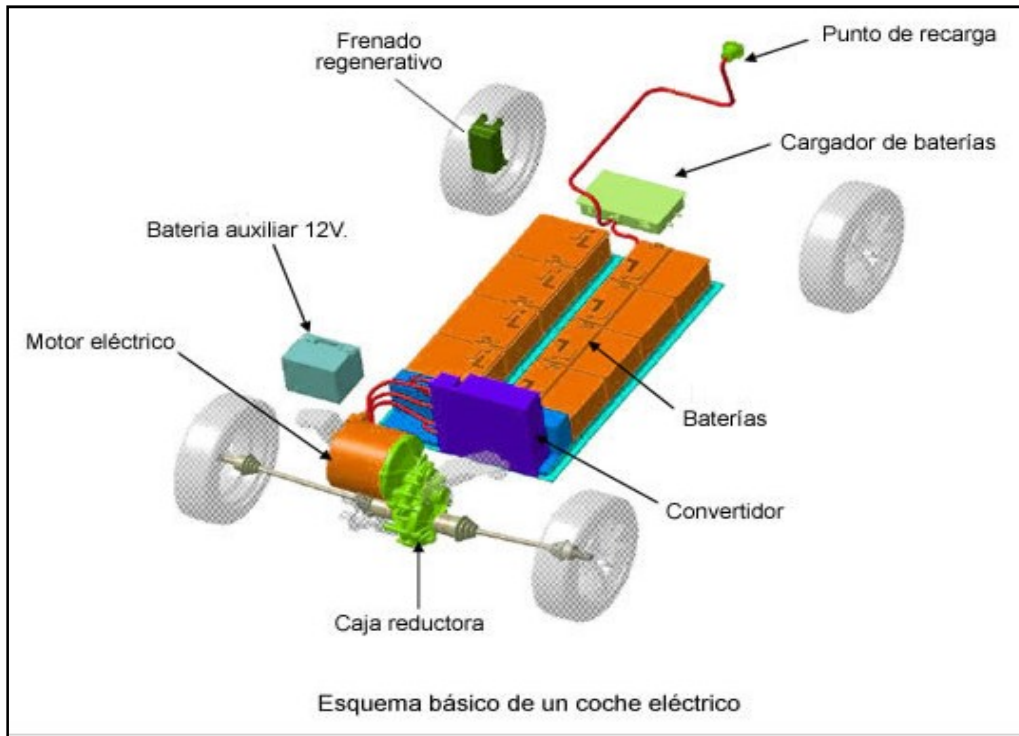
Un automóvil eléctrico es un vehículo que, a diferencia de los vehículos de combustión interna, que funcionan quemando combustible, obtiene la tracción por medio de uno o más motores eléctricos que emplea la energía eléctrica almacenada en baterías recargables y la transforma en cinética; es decir, consumen la energía eléctrica almacenada para su desplazamiento.

Las principales partes que componen el sistema eléctrico de este tipo de vehículos son:

- Cargador o transformador: absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua.
- Baterías. Las más usuales en el automovilismo son las de iones de litio, y almacenan la energía proveniente del cargador.
- Inversores: en caso de disponer de un motor de corriente alterna, necesitamos un inversor que transforman la corriente continua de la batería en corriente alterna para el motor.
- Motor: como hemos dicho, puede ser de corriente alterna o continúa y puede tener uno o varios, dependiendo del diseño.
- Controladores: comprueban el correcto funcionamiento por eficiencia y seguridad y regulan la energía que recibe o recarga el motor.

### **Figura 2: Partes del vehículo eléctrico**

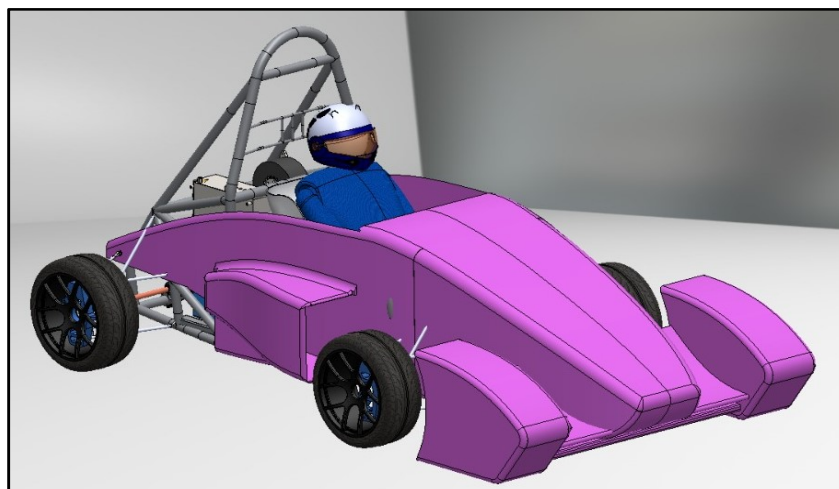
Fuente: [www.google.es/images](http://www.google.es/images) [2]



Como se ha comentado anteriormente, el vehículo eléctrico es el futuro. Fruto de ello, hace unos años surgió “Formula Student”, una competición entre universidades de diferentes países para fabricar un vehículo eléctrico de competición. La ULL está poniendo las bases para participar en dicha competición, diseñando el vehículo eléctrico FSULL.

### Figura 3: Diseño del vehículo FSULL

Fuente: Equipo FSULL



Fórmula Student es una reconocida e importante competencia automovilística de alto rendimiento en cuanto a ingeniería, diseño y construcción de vehículos prototipo tipo formula, los cuales deberán ser competentes entre los demás vehículos participantes prestando las garantías de fiabilidad y seguridad a la hora de ser sometido a las distintas pruebas estáticas y dinámicas. Mediante esta competencia se busca estimular a los estudiantes universitarios a poner en práctica las teorías y conceptos adquiridos e impulsándolos a convertirse en profesionales emprendedores e innovadores.

- Descripción de la competencia FS eléctrico:

Los eventos de FS eléctrico se realizan anualmente desde el año 2010 y hoy en día han adquirido gran nombradía a nivel mundial, estas competiciones se llevan a cabo en distintos países como España, Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Australia, Brasil e Italia. Las universidades de los distintos continentes que acuden a estas competiciones exponen su vehículo prototipo en los distintos eventos, con el propósito de que los mismos sean juzgados y evaluados con los puntajes ya establecido en el reglamento 2019 FS RULES.

**Tabla 1: Puntuaciones máximas en eventos estáticos**

Fuente: Reglamento FS Rules 2019.

<b>EVENTOS</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>
Inspección Técnica	Sin Puntos
Costos y Fabricación	100 Puntos
Presentación	75 Puntos
Diseño	150 Puntos
Total	325 Puntos

**Tabla 2: Puntuaciones máximas en eventos dinámicos**

Fuente: Reglamento FS Rules 2019.

<b>EVENTOS</b>	<b>PUNTUACIÓN</b>
Aceleración	75 Puntos
Skid Pad	50 Puntos
Autocross	150 Puntos
Eficiencia	100 Puntos
Endurance	300 Puntos
Total	675 Puntos

Las pruebas dinámicas mencionadas anteriormente se efectúan en circuitos de renombre a nivel mundial tales como Silverstone, Hockenheim, Montmeló entre otras. El jurado por su parte es el encargado de dictaminar los resultados y está conformado por varios miembros destacados en el ámbito de la automoción e ingeniería nacional e internacional.

- Reglamento FS 2019 para la refrigeración de baterías HV:

Para la elaboración del presente proyecto es indispensable conocer el reglamento impuesto por la FS en el cual están expuestos los parámetros y normas a los que se debe regir el diseño y construcción de cada uno de los sistemas que en su conjunto conformarán el vehículo prototipo tipo formula. Dicho reglamento está disponible en la página oficial de la FS dentro de sus diversos artículos se han seleccionado los referentes a la batería HV y su sistema de refrigeración, los mismos fueron traducidos al español y especifican lo siguiente:

- Requisitos técnicos generales:

\* Artículo 8: Tren de potencia

T8.1 Limitaciones del fluido refrigerante



Los motores refrigerados por agua sólo deben utilizar agua pura. Los motores eléctricos, acumuladores o la electrónica de alta tensión pueden utilizar agua o aceite como refrigerante. Base de glicol anticongelante, lubricantes de la bomba de agua de cualquier tipo, o cualquier otro aditivo están estrictamente prohibidos.

## T8.2 Sistema de sellado

T8.2.1 Cualquier sistema de refrigeración o de lubricación debe ser sellado para evitar fugas.

## T8.5 Integridad de los sistemas que transportan fluidos - Prueba de inclinación

### T8.5.1 Prueba de basculación - Fluidos

Durante la inspección técnica, el vehículo debe ser capaz de ser inclinado a un ángulo de cuarenta y cinco grados (45°) sin pérdida de fluido de cualquier tipo.

T8.5.2 La prueba de inclinación se llevará a cabo con el vehículo conteniendo la máxima cantidad de fluidos que llevará durante cualquier prueba o evento.

## \* Artículo 9: Dispositivos aerodinámicos

### T9.6 Dispositivos de efecto suelo

Ningún dispositivo de alimentación puede ser utilizado para mover o eliminar el aire de debajo del vehículo excepto ventiladores diseñados exclusivamente para la refrigeración.

Se prohíben los efectos de alimentación de tierra.

## \* Artículo 11: Sujetadores

### T11.1 Requisitos de calidad de sujetadores

T11.1.1 Todos los elementos roscados de fijación empleados en la estructura del vehículo deben cumplir o superar SAE grado 5, Grado 8.8 métrico o especificaciones

AN/MS “Ejército Naval-Estándares Militares”

## T11.2 Seguridad de los sujetadores

T11.2.1 Todo perno crítico y otros sujetadores sobre la dirección, frenos, seguridad del conductor y la suspensión deben ser asegurados de aflojamiento involuntario por el empleo de mecanismos de cierre positivo. Mecanismos de cierre positivos incluyen:

- Correcta instalación de alambrado de seguridad.
- Pasadores de chaveta.
- Tuercas con bloqueo de nylon.
- Tuercas de bloqueo de par.

Nota: Arandelas de seguridad y compuesto de rosca de cierre, por ejemplo, Loctite, no cumplen con el requisito de bloqueo.

T11.2.2 Debe existir un mínimo de dos hilos de proyección que se visualice desde cualquier tuerca de bloqueo.

- Reglamento técnico - vehículos eléctricos:

\* Artículo 3: Sistema de tracción - Almacenamiento de energía

### EV3.1 Acumuladores del sistema tracción permitidos

EV3.1.1 Se permiten todos los tipos de acumuladores excepto la sal fundida y baterías térmicas. Por ejemplo: baterías, súper-condensadores, etc. Están prohibidas las pilas de combustible.

EV3.1.2 No hay restricciones para el uso de células LiFePO<sub>4</sub> química.

### EV3.2 Contenedor del acumulador del sistema de tracción - Requisitos generales

EV3.2.1 Todas las celdas o súper -condensadores que almacenan la energía del sistema de tracción se construirán en segmentos de acumuladores y deben estar entre un (unos) recipiente (s) acumulador (es).

### EV3.4 Contenedor del acumulador del sistema de tracción - Configuración mecánica

EV3.4.1 Todos los recipientes acumuladores deben estar dentro de la estructura principal del marco.

EV3.4.12 Agujeros, tanto internos como externos, en el contenedor sólo se permiten para el cableado del arnés, ventilación, refrigeración o sujetadores. Orificios externos deben ser sellados de acuerdo con EV4.5.

EV3.4.15 Cualquier acumulador que pueda ventilar un gas explosivo debe tener un sistema de ventilación o válvula de alivio de presión para evitar que el gas ventilado alcance una concentración explosiva.

\* Artículo 4: Sistema de tracción - Requisitos generales

EV4.1 Separación del sistema de tracción y del sistema de baja tensión a tierra

EV4.1.5 Cuando los sistemas de tracción como el GLV están presentes en un recinto, deben estar separados por barreras aislantes hechas de materiales reconocidos como UL o equivalentes, resistentes a la humedad, calificados para 150 °C o más (por ejemplo, aislamiento eléctrico basado en Nomex) siguiendo el espaciamiento a través del aire, o sobre una superficie (similar a los definidos en UL1741):

- $U < 100 \text{ VDC}$                       10 mm (0,4 pulgadas)
- $100\text{VDC} < U < 200\text{VDC}$         20 mm (0,75 pulgadas)
- $U > 200 \text{ VDC}$                       30 mm (1,2 pulgadas)

EV4.5 Aislamiento, cables y conductos del sistema de tracción

EV4.5.3 Componentes y contenedores del sistema de tracción deberán ser protegidos de la humedad en forma de lluvia o charcos.

NOTA: Se recomienda una calificación de IP65 para la prueba de lluvia.

\* Artículo 8: Procedimientos y herramientas de alta tensión

EV8.2 La carga

EV8.2.2 Los acumuladores deben ser retirados del vehículo para su carga dentro de un contenedor extraíble y se coloca el contenedor del acumulador en el carro transportador de mano.

Cabe destacar que la competición FS 2019 tendrá lugar en el circuito de Montmeló en Barcelona, en el mes de agosto.

A priori, el vehículo FSULL aún no ha visto la luz ya que está en fase de diseño y aún no se ha fabricado. A pesar de ello, se ha estudiado que el principal problema de funcionamiento del vehículo eléctrico es el calentamiento de sus partes eléctricas.

Así pues, este Trabajo de Fin de Grado surgió como respuesta a dicho problema y el objetivo es proporcionar al equipo del FSULL una propuesta de diseño del sistema de refrigeración de la batería, el motor y la controladora, partes de vital importancia para el rendimiento del vehículo eléctrico.

#### **Figura 4: Vista 3D de la batería, el motor y la controladora**

Fuente: Equipo FSULL.



Cabe destacar que la batería es el principal componente del vehículo eléctrico. Así pues, existen diversos tipos de baterías empleadas en el mercado automovilístico:

- Batería de plomo-acido:

Es el tipo de batería más utilizada y, al mismo tiempo, la más antigua de todas, permaneciendo casi inalterada desde su invención en el Siglo XIX. Su bajo coste las hace ideales para las funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico, siendo utilizadas como acumuladores en vehículos de pequeño tamaño. Sus desventajas son el

excesivo peso, la toxicidad del plomo y su lenta recarga, por ello no son las baterías ideales para el coche eléctrico.

- Batería níquel-cadmio:

Bastante utilizadas en la industria del automóvil, el alto coste de adquisición de sus elementos hace que no sean la solución elegida por los fabricantes, estando más orientadas a aviones, helicópteros o vehículos militares, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas. Poseen efecto memoria, por lo que su capacidad se ve reducida con cada recarga.

- Batería níquel-hierro:

Desarrolladas por Thomas Edison y patentada en 1903, estas baterías llamadas de “ferróníquel” no son montadas en la actualidad en los vehículos ya que tienen una escasa potencia y eficiencia. Su densidad energética es similar a las de plomo-acido.

- Batería níquel-hidruro metálico:

Similares a las de níquel-cadmio, mejoran la capacidad de estas, y reducen el efecto memoria, además de ser menos agresivas con el medio ambiente. En contra tienen su constante mantenimiento y su deterioro frente a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecargas. Estas baterías generan demasiado calor y se recargan lentamente.

- Batería Ion-litio: (LiCoO<sub>2</sub>)

Baterías de reciente creación formada por un electrolito de sal de litio y electrodos de litio, cobalto y oxido. El uso de nuevos materiales como el litio ha permitido conseguir altas energías específicas, alta eficiencia, la eliminación del efecto memoria, ausencia de mantenimiento y facilidad a la hora de reciclar los desechos de Ion-litio. Disponen del doble de densidad energética que las baterías níquel-cadmio con una tamaño del orden de un tercio más pequeñas. Pero también tienen desventajas, el principal es su alto coste de producción, aunque poco a poco este se va reduciendo, son frágiles, pueden explotar por el sobrecalentamiento y deben ser almacenadas con mucho cuidado, tanto por necesitar un ambiente frío como porque debe estar parcialmente cargada. Aún así, las baterías de Ion-litio representan a día de hoy la mejor elección para montar en un

vehículo eléctrico. Al no ser una tecnología totalmente madura, y encontrarse en continuo desarrollo, los avances las hacen tener un gran margen de mejora.

- Batería LiFePO<sub>4</sub>:

Este tipo de batería Ion-litio es parecida a la anterior, con la diferencia de que no usa el cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad y seguridad de uso. Otras ventajas son un ciclo de vida más largo y una mayor potencia. Como inconvenientes a destacar su menor densidad energética y su alto coste.

- Batería Polímero de litio:

Otra variación de las Ion-litio que cuenta con algunas mejoras como una densidad energética mayor y una potencia más elevada. Son ligeras, eficientes y no tienen efecto memoria. En cambio, su alto coste y bajo ciclo de vida hacen de estas baterías, con aspecto “blando” debido a sus componentes litio y polímero, una opción no muy extendida en la actualidad.

- Batería Zebra:

Estas baterías, también llamadas de sal fundida, trabajan a 250°C y tienen como electrolito cloroaluminato de sodio triturado. Es una batería compleja, de mayor contenido químico, pero que consigue unas características de energía y potencia interesantes. En desuso, el electrolito se solidifica, por lo que necesita un tiempo de fundición que puede llegar a ser de dos días para que alcance la temperatura óptima y ofrezca plenamente su carga. Tienen el mejor ciclo de vida de todas las baterías, pero requieren ocupar mucho espacio y su potencia es baja.

- Batería de Aluminio-aire:

Consideradas “pilas de combustible” por la necesidad de sustituir los electrodos de metal gastados por unos nuevos. Con una capacidad de almacenamiento de hasta diez veces más que las de tipo Ion-litio y una densidad energética fuera del alcance del resto, este tipo de batería no ha tenido una buena aceptación comercial debido a sus problemas de recarga y de fiabilidad. Se encuentran en fase experimental.

- Batería Zinc-Aire:

Desarrolladas por una compañía suiza, y en fase experimental, pero más avanzada que las de Aluminio-Aire, estas baterías necesitan obtener el oxígeno de la atmósfera para generar una corriente. Tiene un alto potencial energético, fiabilidad y son capaces de almacenar el triple de energía que las de Ion-litio en el mismo volumen y con la mitad del coste. Según algunos expertos, el zinc se posiciona como el combustible eléctrico del futuro.

Entre los diferentes tipos de baterías que hay, la más empleada en vehículos eléctricos suele ser la batería de iones de litio.

El litio es el más ligero de los metales y además tiene el mayor potencial electroquímico que hace que sea uno de los metales más reactivos. En referencia a estas propiedades, las baterías a base de ion de litio ofrecen una alta densidad de energía y potencia, por lo que son las más apropiadas para vehículos eléctricos.

La reacción electroquímica reversible de una batería de iones de litio se produce entre el cátodo y el ánodo, asimismo para su proceso emplea como electrolito una sal de litio. Estas baterías no admiten descargas completas, por lo que suelen llevar acoplados circuitos protectores adicionales para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva, como la descarga completa.

Los procesos químicos de la batería son afectados por la temperatura debido a que los átomos de litio se convierten en óxido de litio y ya no participan en las reacciones entre el cátodo y el ánodo; de tal manera que se pierde capacidad de acumular energía, es decir la batería trabaja más lenta en los transcurros de recargar, porque los átomos de litio se mueven más despacio.

Dentro de las baterías de iones de litio hay a su vez diferentes subtipos de estas, con pequeñas diferencias químicas, al emplear diferentes elementos en el cátodo y el ánodo, o diferentes proporciones entre estos (por ejemplo las baterías de litio-hierro-fosfato son las más económicas, aunque tienen también menos capacidad por unidad de volumen y masa).

Cuando se encuentra cargada y se le conecta un aparato a alimentar, el circuito eléctrico del conjunto es cerrado. Esto provoca una reacción química logrando la circulación de partículas ionizadas de un electrodo a otro, arrastrando la producción de electrones a los bornes de la batería, es decir la producción de

corriente. En cambio, si se conecta un cargador a los bornes de la batería, se produce un proceso químico inverso. Las partículas circulan entonces en la otra dirección, y la batería se recarga.

El salto más importante para pasar de autonomías homologadas de unos 150 a 200 km, hasta los actuales 400 a 500 km, ha sido gracias al empleo de nuevas celdas de batería de iones de litio con níquel y cobalto (aunque también ha ayudado una distribución de las celdas y componentes internos de la batería más compacta, que aprovecha mejor el volumen del paquete de batería).

Normalmente se emplean ánodos de grafito, o grafito y silicio, y cátodos de litio, níquel, cobalto y aluminio, por ejemplo Panasonic, para Tesla, o de litio, níquel, manganeso y cobalto, por ejemplo LG Chem, para Renault, Chevrolet, Opel, Volkswagen y otros fabricantes.

Estas últimas tienen además la ventaja de que tienen también una mayor vida útil (aproximadamente el doble) que las batería de iones de litio "antiguas", mientras que mantienen o mejoran ligeramente la velocidad de recarga y apenas aumentan el peso de la batería (algo menos de un 10 %). Eso sí, son algo más caras, aunque el impacto en el precio final de venta del coche se quede entre un 5 y un 10 % aproximadamente.

Hemos pasado por tanto de una densidad energética de algo más de 250 Wh/l (y una energía específica de unos 100 Wh/kg) de las primeras baterías de iones de litio, hasta aproximadamente entre 400 Wh/l (180 Wh/kg) y 650 Wh/l (250 Wh/kg). Esta es la realidad presente en la que se basan la mayoría de los fabricantes para proponer nuevos modelos de coches eléctricos con una autonomía bastante digna, alrededor de los 500 km.

Los avances en la tecnología Li-ion presentan una oportunidad de duplicar la densidad energética desde 100Wh/kg a 250Wh/kg a través del uso de nuevos cátodos de alta capacidad, electrolitos de alto voltaje y el uso de nuevos materiales anódicos. Actualmente, está claro que casi se ha logrado el objetivo... por Tesla con baterías de densidad energética de 233 Wh/kg. El Nissan Leaf se conforma con 155 Wh/kg y el Renault Zoe 157 Wh/kg.



El diseño actual P90D de Tesla utiliza un bloque de baterías situado bajo el suelo de su chasis “monopatín” (figura inferior). Esto hace que el vehículo pueda almacenar un gran volumen de células de baterías maximizando el espacio interior del vehículo, aunque deja la batería indefensa en caso de accidente.

El nuevo pack de baterías P100D tiene la misma apariencia exterior y a primera vista también utiliza dos filas de células de iones de litio y, sin embargo, consigue almacenar 100kwh de densidad energética en el mismo modelo de batería que anteriormente contaba con 90kwh y pesaba solo un 4 % menos. Se trata de más de 11 veces la energía que un hogar británico medio utiliza en un día normal.

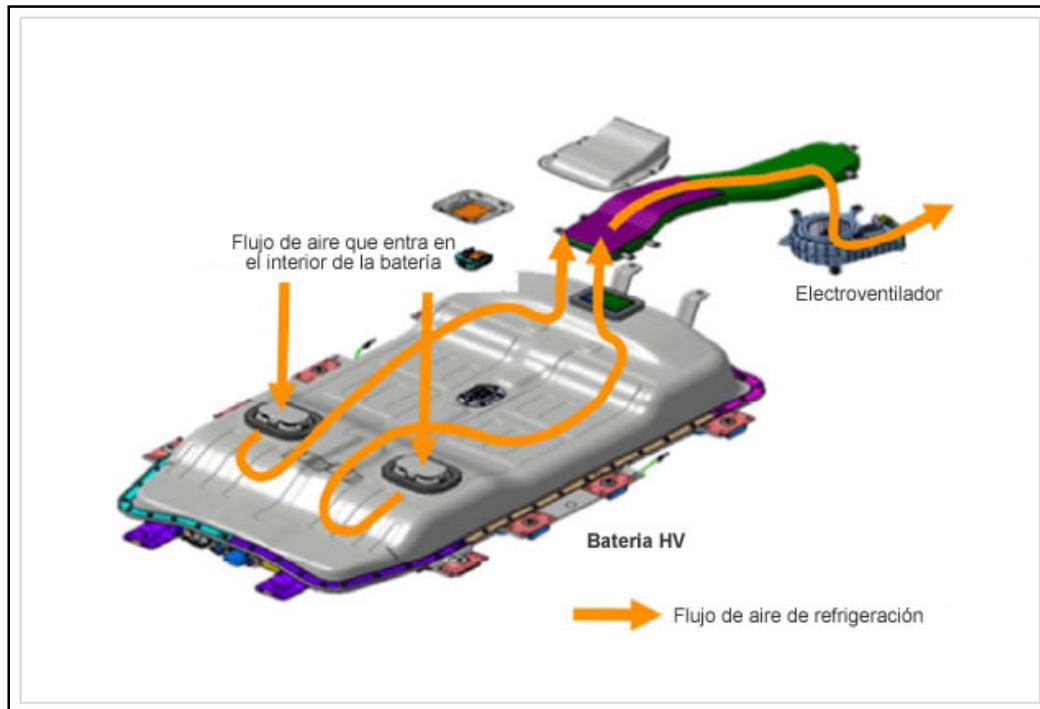
Cabe destacar que la batería es el equipo que presenta más complicaciones a la hora de refrigerarlo debido al limitado espacio existente entre sus celdas. Actualmente las tres técnicas más usuales de refrigeración térmica son las siguientes:

-Por convección del aire, ya sea de forma pasiva o forzada.

Este sistema de refrigeración consiste en tomar aire ambiente y dirigirlo por medio de toberas (refrigeración pasiva) o mediante ventiladores (refrigeración activa) hacia el interior del espacio a refrigerar. Una vez que el aire ha circulado por el interior y se ha calentado debido a la transferencia de calor, otro conducto lo expulsa a la atmósfera.

### **Figura 5: Sistema de refrigeración de la batería mediante aire**

Fuente: [www.google.es/images/](http://www.google.es/images/) [3]



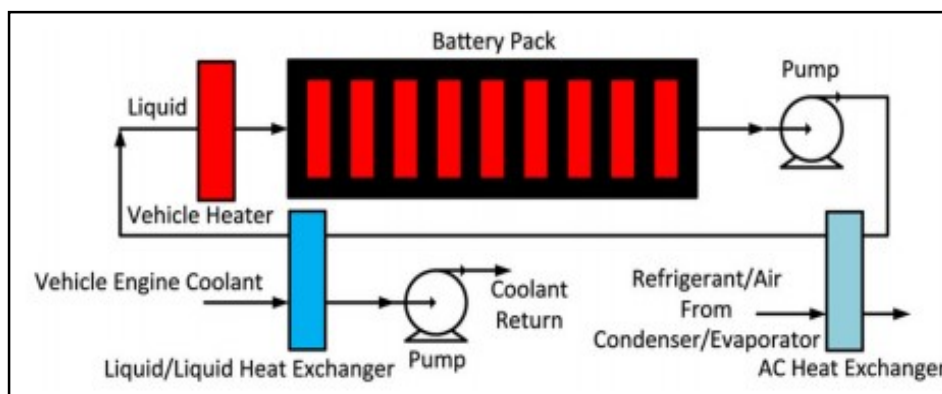
El enfriamiento por aire no es el ideal para la mayor parte de las aplicaciones de alto rendimiento debido a su incapacidad de hacer frente a un amplio rango de temperaturas ambiente; es decir, no es posible eliminar el suficiente calor con este sistema de enfriamiento.

Otros sistemas de refrigeración muy usuales en el mercado serían:

- La utilización como refrigerante un aceite dieléctrico que se bombea a un sistema intercambiador de calor.
- O bien, enfriamiento por circulación de un refrigerante a base de agua a través de conductos de refrigeración ubicados dentro de la estructura.

### Figura 6: Sistema de refrigeración de la batería mediante líquido

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/> [4]



Un sistema de enfriamiento con aceite dieléctrico como refrigerante normalmente enfría extrayendo calor de la superficie. Dicho enfriamiento se mejora con un refrigerante a base de agua o con un refrigerante orgánico. Tradicionalmente, la refrigeración líquida por inmersión en la industria del automóvil se ha basado en una mezcla de agua gliconada.

La refrigeración por inmersión con fluidos basados en hidrocarburo es otra alternativa que funciona bien en muchas aplicaciones, pero la inflamabilidad de este método supone un grave inconveniente. Además, la combinación del bajo coeficiente de expansión térmica y la elevada viscosidad de los lubricantes hace que las propiedades convectivas sean menos favorables y que el proceso de mantenimiento sea más complicado.

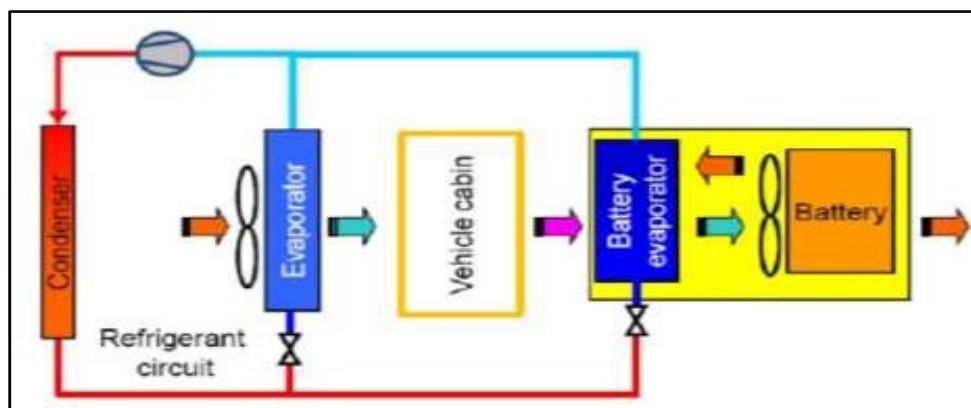
Otros sistemas de refrigeración novedosos en el mercado serían:

- Sistema de refrigeración mediante un evaporador:

Este sistema de refrigeración puede aumentar la autonomía gracias a un sistema de enfriamiento directo de las celdas consistente en un evaporador integrado en el módulo de la batería y conectado al circuito de climatización convencional del vehículo. Así pues, el evaporador está formado por un sistema tubos de aluminio, similar a un radiador, que están en contacto con las celdas de la batería, produciéndose el intercambio de calor.

### **Figura 7: Sistema de refrigeración de la batería mediante un evaporador**

Fuente: <https://www.actualidadmotor.com/> [5]

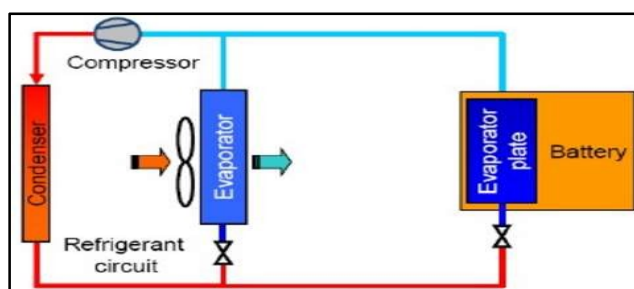


- Sistema de refrigeración directa:

Funciona mediante la conexión de una placa de evaporador en paralelo con el actual evaporador del sistema de aire acondicionado del vehículo. Dicha placa del evaporador entra en contacto directo con las celdas de la batería y la transferencia de calor desde la celda de la batería para el refrigerante.

**Figura 8: Sistema de refrigeración directa de la batería**

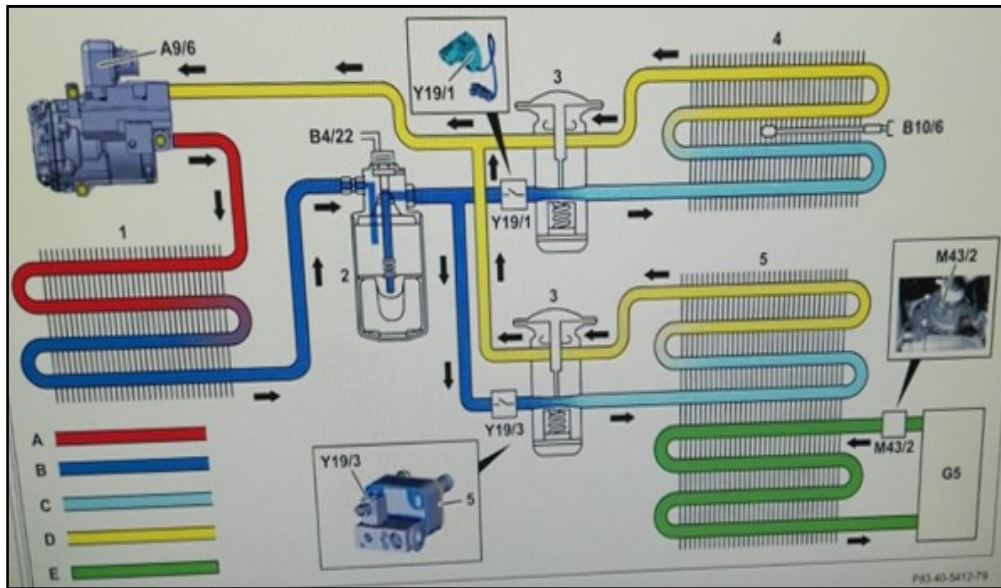
Fuente: <https://www.motor.es/> [6]



Un ejemplo de un sistema de refrigeración directa es el Mercedes S400 BlueHybrid 2009. Este Trabajo de Fin de Grado se ha basado en este sistema para la propuesta de diseño del sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

**Figura 9: Sistema de refrigeración del Mercedes S400 BlueHybrid 2009**

Fuente: Don Marcos, ingeniero de Mercedes Benz en Tenerife. Comunicación personal.

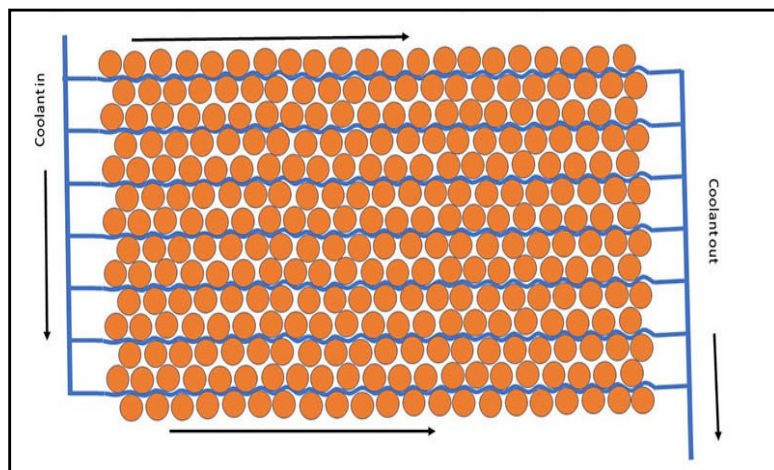


- Sistema de refrigeración con aletas de aluminio (Tesla Model S):

Tesla ha recurrido a un innovador sistema de refrigeración que aprovecha los espacios existentes entre las celdas cilíndricas para integrar un novedoso entramado de bucles con conductos aplanados por donde fluye el líquido refrigerante (glicol). Además, cada hilera de celdas está separada por una fina chapa de aluminio con forma alabeada, que no solo sirve para asegurar el apilado de las celdas, sino también para disipar la temperatura de las mismas por contacto físico.

**Figura 10: Sistema de refrigeración del Tesla Model S**

Fuente: [www.hibridoselectricos.com](http://www.hibridoselectricos.com) [7]



- Refrigeración con agentes químicos:

Muchas organizaciones del sector están a la búsqueda de la próxima generación de refrigeración líquida por inmersión, basada en agentes químicos especialmente fluorados. Estos elementos cuentan con el beneficio de permitir el contacto directo y, por lo tanto, la gestión térmica resulta más rápida y eficiente. Y, por si fuera poco, permiten la inmersión completa, ya que no producen daños ni dejan residuos. Estos fluidos tampoco son corrosivos ni suelen necesitar equipos auxiliares, por lo que su impacto en el tamaño de la batería es mínimo. En competición por ejemplo, se suele usar helio, ya que sus propiedades son idóneas para refrigerar altas temperaturas. Sin embargo, muchos químicos dieléctricos como los HFC se encuentran en fase de eliminación gradual bajo la regulación F-gas.

- Batería de polímero termorrespuesta:

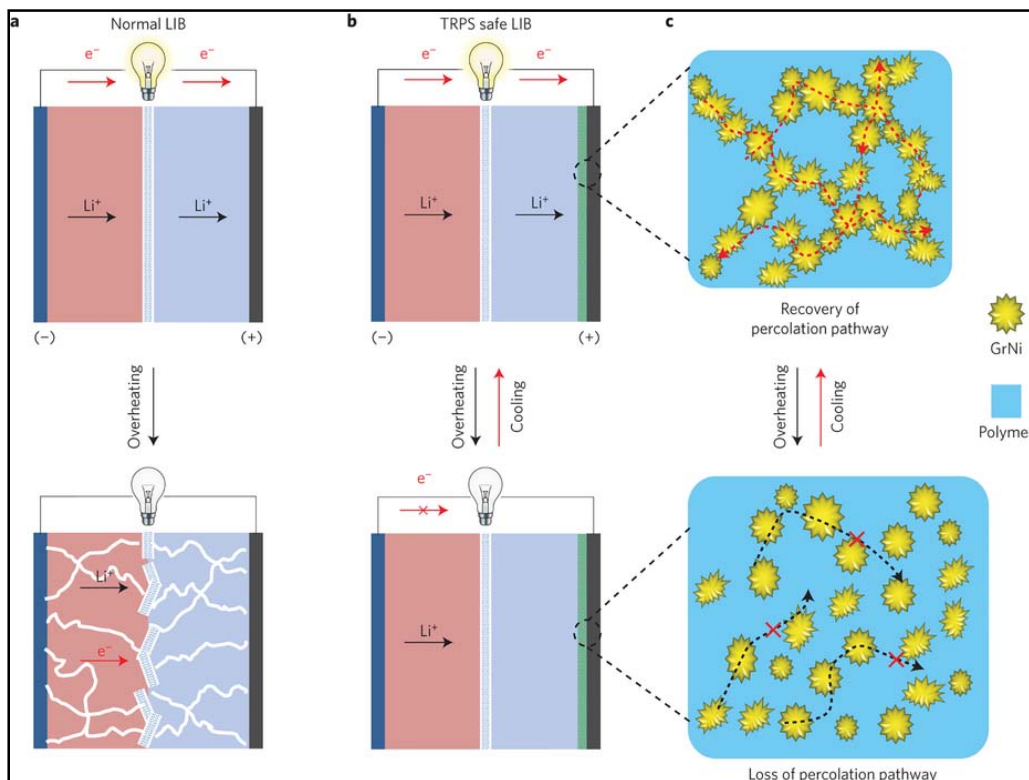
Y por último, destacar que investigadores de la Universidad de Stamford han desarrollado una batería de iones de litio que “se apaga” antes de que se produzca el recalentamiento de las celdas, reiniciándose de nuevo cuando la temperatura vuelve a bajar; es decir, se auto regulan.

Estos investigadores han desarrollado una película de polietileno con un alto coeficiente de expansión térmica, en la que se incrusta una matriz de nanopartículas de níquel espigadas recubiertas con grafeno estables electroquímicamente. La película de polietileno se adjunta a uno de los electrodos de la batería, de manera que la corriente eléctrica pueda fluir a través de él. Para poder conducir la electricidad las nanopartículas tiene que tocarse físicamente entre ellas. Durante la expansión térmica la lámina plástica se estira obligando a las partículas a separarse, haciendo que la película no sea conductora de la electricidad y se detiene el flujo eléctrico. Cuando se produce el enfriamiento se reúnen de nuevo y para permitir el paso de la electricidad.



**Figura 11: Batería de polímero termorresponsa**

Fuente: <https://movilidadelectrica.com/> [8]



Así pues, existen diferentes sistemas de refrigeración entre los que elegir para realizar una propuesta de diseño para el vehículo FSULL.

#### 1.4 Normas y referencias

- Lista de referencias:

##### Vehículo eléctrico antiguo

Fuente: [www.google.es/images](http://www.google.es/images) [1]

##### Partes del vehículo eléctrico

Fuente: [www.google.es/images](http://www.google.es/images) [2]

##### Sistema de refrigeración de la batería mediante aire

Fuente: [www.google.es/images/](http://www.google.es/images/) [3]

### **Sistema de refrigeración de la batería mediante líquido**

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/> [4]

### **Sistema de refrigeración de la batería mediante un evaporador**

Fuente: <https://www.actualidadmotor.com/> [5]

### **Sistema de refrigeración directa de la batería**

Fuente: <https://www.motor.es/> [6]

### **Sistema de refrigeración del Tesla Model S**

Fuente: [www.hibridoselectricos.com](http://www.hibridoselectricos.com) [7]

### **Batería de polímero termorrespuesta**

Fuente: <https://movilidadelectrica.com/> [8]

### **Estudio climatológico de la ciudad de Barcelona**

Fuente: [Ayuntamiento de Barcelona](http://Ayuntamiento de Barcelona). [9]

### **Esquema básico del Ciclo de compresión de vapor**

Fuente: [Ciclo de compresión de vapor](#) [10]

## **1.4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas**

- Formula Student Rules 2019.

Cabe destacar que no existe ninguna normativa ni reglamentación que regule el sistema de refrigeración de los vehículos eléctricos.

## **1.4.2 Bibliografía**

- Proyecto Técnico: “Diseño y montaje del pack de baterías del vehículo Formula Student eléctrico del equipo FSULL”.

- User’s Manual for Advanced Axial Flux Synchronous Motors and Generators-Motor Emrax 228 Medium Voltage CC.

- Manual Digital three-phase Servo Amplifier BAMOCAR D3 (Controladora).



- "Review on battery thermal management system for electric vehicles".
- Formula Student Rules 2019.
- Proyecto Técnico: “Diseño y montaje del pack de baterías del vehículo Formula Student eléctrico del equipo FSULL”.

Fuente: Equipo FSULL.

- User’s Manual for Advanced Axial Flux Synchronous Motors and Generators-Motor Emrax 228 Medium Voltage CC.

Fuente: Equipo FSULL.

- Manual Digital three-phase Servo Amplifier BAMOCAR D3 (Controladora).

Fuente: Equipo FSULL.

- "Review on battery thermal management system for electric vehicles".

Disponible: <https://www.sciencedirect.com>

- Formula Student Rules 2019.

Disponible: <https://www.formulastudent.de>

- “Vehículo F SAE NC State University.”

Available: <http://www.coroflot.com/formula-sae>.

- “Bateria Litio Polimero”.

Available: <https://www.bgelectronica.com.ar/Bateria-Litio-Polimero>

- Master Ana Isabel, “e-REdING. Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.”

Disponible: <http://bibing.us.es/proyectos>

- “Ciencia y tecnología: Baterías de Ion-Litio”.

Disponible: <http://architecnologia.blogspot.com/la-bateria-de-iones-de-litio.html>.

- “La Batería de Iones de Litio,”.

Disponible: <http://documentslide.com/la-bateria-de-iones-de-litio.html>.

- Alfred Piggott, “Battery Cooling System Layout Thermal Manager”.

Disponible: <http://www.slideshare.net/battery-cooling-system-layout-thermal-management>.

- Gonzalo Lara, “Una filial de Toyota incrementa la producción de baterías NiMH a 1.4 millones anuales.”.

Disponible: <https://www.motorpasionfuturo.com>

- Peña Ordoñez Carlos, “Estudio de baterías para vehículos eléctricos,” Universidad Calos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, 2011.

- A123 Systems Solutions, “Battery Pack Design, Validation and Assembly Guide using A123 Systems.”

- “Batterie Fluence Z.E.”.

Disponible: <http://4.bp.blogspot.com>

- “Electrónica de mando y control TOYOTA PRIUS ZVW30.”.

Disponible: <http://es.slideshare.net/>

- “Ac motor eléctrico ventilador de refrigeración.”.

Disponible: <https://spanish.alibaba.com>

- EcuRed, “Ventiladores automotrices.”

Disponible: [http://www.ecured.cu/Ventiladores\\_automotrices](http://www.ecured.cu/Ventiladores_automotrices).

- Elithion, “Leading manufacturer of Lithium-ion Battery Management Systems (BMS).”

Disponible: <https://www.xatakandroid.com>

- “Lithium Battery Design and Manufacture,” Lithium Power Inc.

Disponible: <http://www.lithiumpowerinc.com>

- “Funcionamiento del rele,”

Disponible: <http://www.taringa.es>

- “Automotive Training and Resource Site.”

Disponible: <http://www.autoshop101.com/>.

- “MAHLE Group.”

Disponible: <http://www.mahle.com>

- “GM-VOLT : Chevy Volt Electric Car, real time news, information, and discussion about the Chevrolet,”

Disponible: <http://gm-volt.com/>.

- A. Ujjwal, R. Bishav, and K. Abhishek, “DESIGN AND FABRICATION OF AN ACCUMULATOR CONTAINER/ BATTERY PACK FOR A FORMULA STUDENT VEHICLE.”

- M. Alisson, B. Bidwell, S. Hopson, J. Smith, and C. Streegan, “Formula electric : powertrain,” Santa Clara University, California, 2013.

- “Cooling System for Race Car Produced with EOS Additive Manufacturing,” EOS e-Manufacturing Solutions.

Disponible: <https://www.eos.info>

- H. Yin, “Cooling and Packaging of Batteries for Formula SAE Electric Racecar,” Thesis Defense, Universidad de Texas, Arlington.

- “Axial DC fans cool ETSEIB Motorsport electric formula car,”.

Disponible: <http://www.designfax.net>

- R. Norton, Diseño de Maquinaria, Cuarta. México.

- “Muratori\_thesis.pdf,” Politécnica de Milan, Milan, 2009.

- “ePLB C High Energy Product,” EiG.

Disponible: <http://www.ebaracus.com>

<https://www.peugeot.es/que-es-un-coche-electrico.html>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico)

[https://www.google.es/search?q=partes+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH2rjM8JXfAhVDXhoKHan8C3cQ\\_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=jKMpqCcOec\\_6yM:](https://www.google.es/search?q=partes+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH2rjM8JXfAhVDXhoKHan8C3cQ_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=jKMpqCcOec_6yM:)

[https://www.google.es/search?q=partes+de+la+bateria+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFoov-\\_JXfAhUNsxUIHZOVCaAQ\\_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=95IuLo5vxneQpM:](https://www.google.es/search?q=partes+de+la+bateria+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFoov-_JXfAhUNsxUIHZOVCaAQ_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=95IuLo5vxneQpM:)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)

<http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>

[https://www.google.com/search?q=partes+de+una+bateria+para+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjCl6aa38zgAhVqzoUKHaSyDHoQ\\_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=23AOvYA0limC0M:](https://www.google.com/search?q=partes+de+una+bateria+para+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjCl6aa38zgAhVqzoUKHaSyDHoQ_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=23AOvYA0limC0M:)

[http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_bateria.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_bateria.htm)

<https://forococheselectricos.com/2018/01/cual-es-el-mejor-sistema-de-refrigeracion-para-las-baterias-de-un-coche-electrico.html>

[http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_bateria.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_bateria.htm)

<https://espaciocoches.com/sistema-de-refrigeracion-de-un-vehiculo/>

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/nueva-tecnologia-baterias-coches-electricos-audi/20160105194508010634.html>

<https://www.motor.es/noticias/valeo-refrigeracion-baterias-coches-electricos-201851688.html>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Model\\_S#Especificaciones](https://es.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S#Especificaciones)

[http://www.blogmecanicos.com/2017/04/entresijos-de-un-pack-de-baterias-de\\_27.html](http://www.blogmecanicos.com/2017/04/entresijos-de-un-pack-de-baterias-de_27.html)

<https://forococheselectricos.com/2016/01/sistema-de-refrigeracion-de-la-bateria-del-chevrolet-bolt.html>

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/tesla-duplica-capacidad-refrigeracion-bateria-model-3/20180829194023021438.html>

<https://urbantecno.com/motor/por-que-refrigeracion-tesla-model-3-es-eficiente-model-s>

[https://www.google.com/search?q=tesla+model+s+sistema+de+refrigeracion&source=lms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiQq\\_CI5czgAhVDrHEKHfJdDxIQ\\_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=-eHIG29kvFnjxM:](https://www.google.com/search?q=tesla+model+s+sistema+de+refrigeracion&source=lms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiQq_CI5czgAhVDrHEKHfJdDxIQ_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=-eHIG29kvFnjxM:)

<https://forococheselectricos.com/2017/07/porsche-primer-supercargador-de-350-kw.html>

<https://movilidadelectrica.com/baterias-que-evitan-su-recalentamiento/>

[https://youtu.be/Mk7DHn\\_DxUw](https://youtu.be/Mk7DHn_DxUw)

<https://www.nature.com/articles/nenergy20159>

<https://www.gas-servei.com/es/componentes/sustitutos-directos-del-r-22/r-134a>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Difluorometano>

<https://forococheselectricos.com/2017/06/la-importancia-del-sistema-de-refrigeracion-de-la-bateria-del-jaguar-pace-mantener-prestaciones-y-hasta-50-kilometros-extra-de-autonomia.html>

<https://youtu.be/ZKIJgFGweng>

<https://movilidadelectrica.com/por-que-es-tan-importante-refrigerar-las-baterias-de-los-coches-electricos/>

<https://forococheselectricos.com/2015/12/tesla-patenta-un-nuevo-sistema-de-calefaccion.html>

<https://www.actualidadmotor.com/el-sistema-de-refrigeracion/>

<https://forococheselectricos.com/2017/04/tesla-patente-recarga-automatica-refrigerada.html>

[http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_control.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm)

[https://www.google.com/search?biw=1280&bih=881&tbm=isch&sa=1&ei=kJpuXIqJL6eLlwSdqK6ICg&q=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&oq=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&gs\\_l=img.3...635982.645442..645637...0.0..1.614.2913.16j1j2j1j0j1.....1....1..gws-wiz-img.....0j0i30.ulT9rTE-UFE#imgsrc=pstUA45KpVTY1M:](https://www.google.com/search?biw=1280&bih=881&tbm=isch&sa=1&ei=kJpuXIqJL6eLlwSdqK6ICg&q=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&oq=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&gs_l=img.3...635982.645442..645637...0.0..1.614.2913.16j1j2j1j0j1.....1....1..gws-wiz-img.....0j0i30.ulT9rTE-UFE#imgsrc=pstUA45KpVTY1M:)

[http://www.blogmecanicos.com/2017/04/entresijos-de-un-pack-de-baterias-de\\_27.html](http://www.blogmecanicos.com/2017/04/entresijos-de-un-pack-de-baterias-de_27.html)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico)

<https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigerante>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Difluorometano>

<https://www.gas-servei.com/es/componentes/sustitutos-directos-del-r-22/r-134a>

### **1.4.3 Programas de cálculo**

En la elaboración de este proyecto, se han empleado la siguiente relación de software informático:

- Autodesk AutoCAD 2019.
- SolidWorks CAD 3D 2019.
- Microsoft Office Word 2019.
- Microsoft Office Excel 2019.

### **1.5 Definiciones y abreviaturas**

- TFG: Trabajo de Fin de Grado.
- FSULL: vehículo Formula Student de la Universidad de La Laguna.
- IC: Intercambiador de Calor.
- COP: Coeficiente de Operación del Ciclo.
- CG: Compresor de Gas.

- Qrefri: Capacidad de refrigeración del ciclo, Potencia calorífica del espacio a refrigerar.
- Qced: Potencia calorífica de extracción del ciclo.
- Evap: Evaporador.
- Cond: Condensador
- T: Temperatura.
- atm: Atmósferas, unidad de presión.
- bar: unidad de presión.
- h: Entalpía.
- s: Entropía.
- m: Caudal másico: cantidad de masa de fluido que circula por una tubería por unidad de tiempo. Flujo de fluido que circula por una tubería por unidad de tiempo.
- Portones: aperturas realizadas en el chasis de un vehículo generalmente realizadas para la entrada de aire a su interior.
- Sangrado: derivación de una tubería en paralelo por la que se dividirá el flujo o caudal másico de fluido en dos caudales diferentes.
- Ciclo de compresión de vapor: ciclo termodinámico que realiza la refrigeración por compresión: método de refrigeración que consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado dividido en dos zonas: de alta y de baja presión, con el propósito de que el fluido absorba calor del ambiente, en el evaporador en la zona de baja presión y lo ceda en la de alta presión, en el condensador.
- Título de la mezcla bifásica: tanto por ciento de vapor presente en la mezcla bifásica (vapor y líquido) de nuestro fluido.
- Potencia calorífica: calor generado en el equipo durante un periodo de tiempo.

- Rendimiento isoentrópico: es el rendimiento ideal para un equipo que realiza un proceso adiabático reversible (no se produce transferencia de calor con el entorno y la entropía se mantiene constante).

## **1.6 Requisitos de diseño**

A continuación, se especifican los requisitos de diseño empleados durante la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado. Destacar que únicamente se han tenido en cuenta requisitos de diseño en el sistema de refrigeración. No forma parte de este Trabajo los requisitos de diseño del vehículo FSULL, de su interior, ni del espacio disponible para el sistema de refrigeración. Así pues, no es objeto de este Trabajo de Fin de Grado el cálculo y dimensionado de las conducciones por las cuales circularán los fluidos, ni las áreas de intercambio de calor necesarias ya que no se dispone de información acerca de la geometría de dichas zonas.

Los requisitos de diseño que se han de tener en cuenta para el estudio del sistema de refrigeración del vehículo FSULL han sido impuestos por el propio equipo y el Reglamento del FS Rules 2019.

### **1.6.1 Requisitos de diseño sobre la prueba impuestos por el Equipo FSULL**

El equipo FSULL ha proporcionado los datos que ellos estiman necesarios para la realización de la prueba más exigente. Para dicha prueba, el equipo calculó la potencia que debe almacenar la batería, la potencia consumida en el motor y la controladora y el calor generado en la batería, el motor y la controladora, los cuales hay que disipar. El equipo FSULL se hizo cargo de la elección del modelo de la batería, el motor y la controladora necesarios para realizar la prueba.

No es responsabilidad de este Trabajo de Fin de Grado esos cálculos proporcionados por el equipo FSULL y se asume que se han calculado correctamente. Así pues, este Trabajo de Fin de Grado se basa en dichos valores para diseñar el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

El equipo FSULL estimó que la prueba de mayor duración será de 25 minutos. Según este dato, calcularon que la batería debe almacenar 7,42 kWh para poder realizar la prueba sin dificultades. Calcularon que el motor consumiría 5,72 kWh y que la controladora consumiría un 10% de la potencia almacenada en la batería durante la



realización de la prueba. Además, calcularon que el calor generado en la batería durante la celebración de la misma sería 205 W y estimaron que la eficiencia de la controladora será la misma que la del motor.

El equipo FSULL estimó que estos 3 equipos se van a calentar hasta los 60 °C durante la realización de la prueba debido al flujo de corriente eléctrica. Así pues, imponen que el sistema de refrigeración enfríe estos equipos hasta los 25°C, temperatura que el equipo FSULL estima como óptima de funcionamiento para que el rendimiento no se degrade.

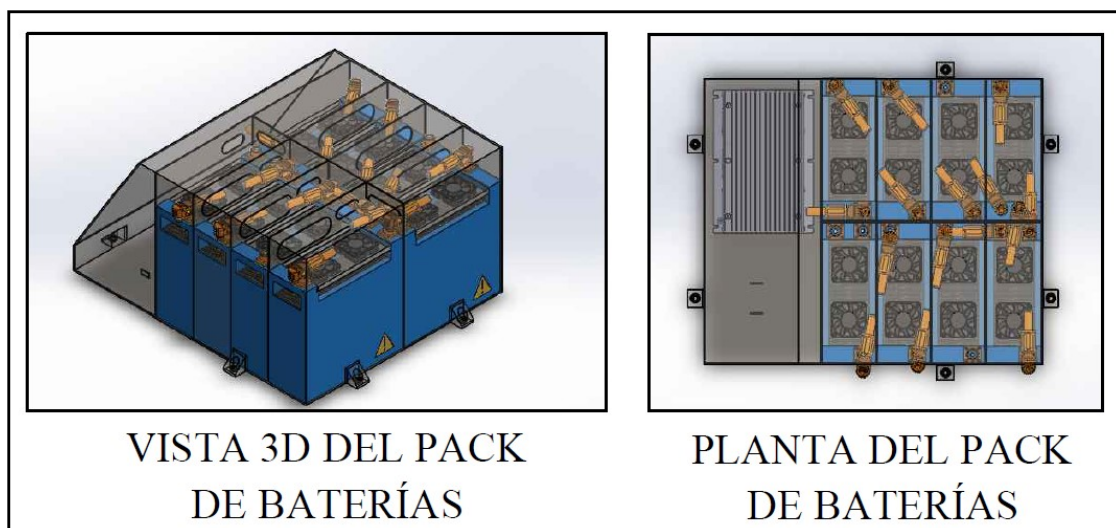
El sistema de refrigeración del FSULL servirá para enfriar la batería, el motor y la controladora. Así pues, el sistema se dividirá según las diferentes partes a refrigerar.

### 1.6.2 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración de la batería

Fue un requisito impuesto por el equipo del FSULL que el sistema de refrigeración de las baterías emplease aire como fluido de refrigeración. Esto se debe al poco espacio libre en el interior del pack de las baterías, lo cual imposibilita la instalación de tuberías para líquidos. Además, el uso de un líquido como fluido refrigerante conllevaría un riesgo importante ya que en caso de fuga, los componentes más cercanos a las tuberías serían electrónicos.

### Figura 12: Plano 3.0.5 VISTA 3D Y PLANTA DEL PACK DE BATERÍAS

Fuente: Equipo FSULL.

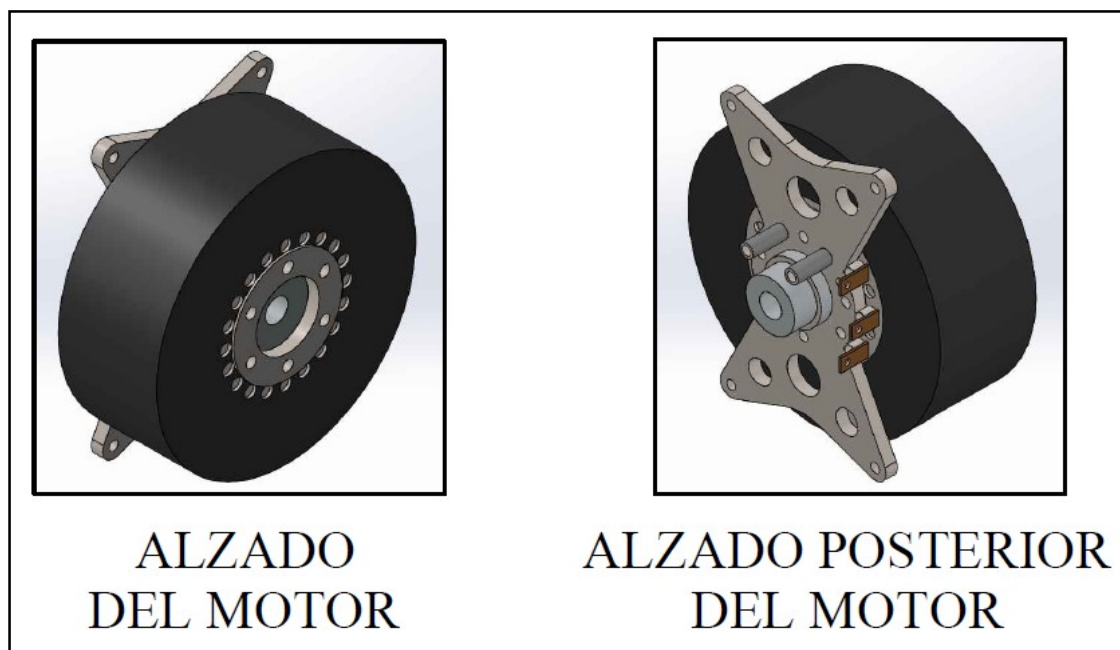


### 1.6.3 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración del motor

Fue un requisito impuesto por el equipo del FSULL que el sistema de refrigeración del motor emplease un líquido como fluido de refrigeración. Esto se debe a que el motor viene instalado en el interior de una carcasa hermética de la que sobresalen las tuberías para poder introducir líquido en su interior.

#### Figura 13: Plano 3.0.7 ALZADO Y ALZADO POSTERIOR DEL MOTOR

Fuente: Equipo FSULL.



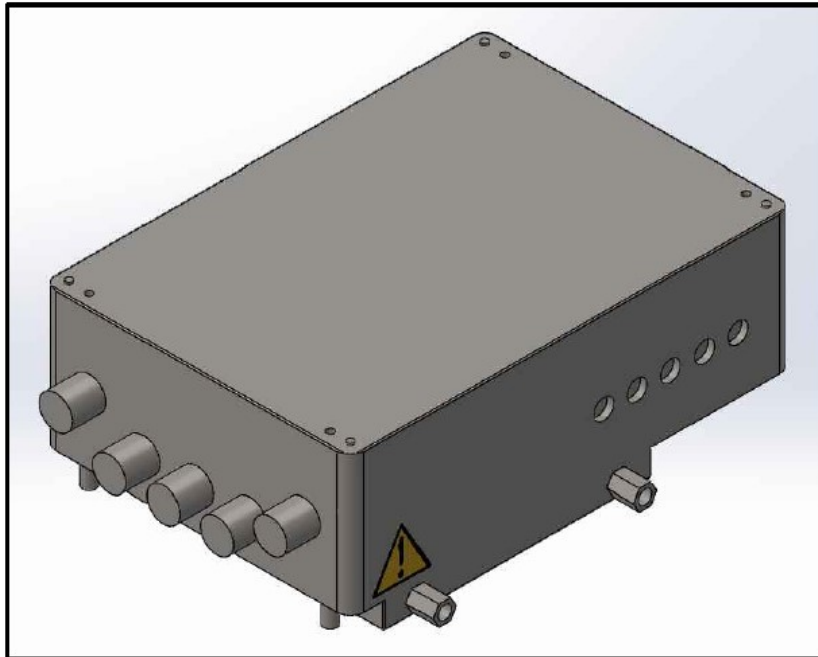
Es un requisito impuesto por el Formula Student Rules 2019 que la refrigeración líquida se realice mediante agua, quedando terminantemente prohibido emplear una mezcla de agua gliconada por motivos de seguridad.

### 1.6.4 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración de la controladora

Al igual que ocurre con el motor, fue un requisito impuesto por el equipo del FSULL que el sistema de refrigeración de la controladora emplease un líquido como fluido de refrigeración. Esto se debe a que la controladora viene instalada en el interior de una carcasa hermética de la que sobresalen las tuberías para poder introducir líquido en su interior.

### Figura 14: Plano 3.0.8 VISTA 3D DE LA CONTROLADORA

Fuente: Equipo FSULL.



Es un requisito impuesto por el Formula Student Rules 2019 que la refrigeración líquida se realice mediante agua, quedando terminantemente prohibido emplear una mezcla de agua gliconada por motivos de seguridad.

#### 1.7 Análisis de soluciones

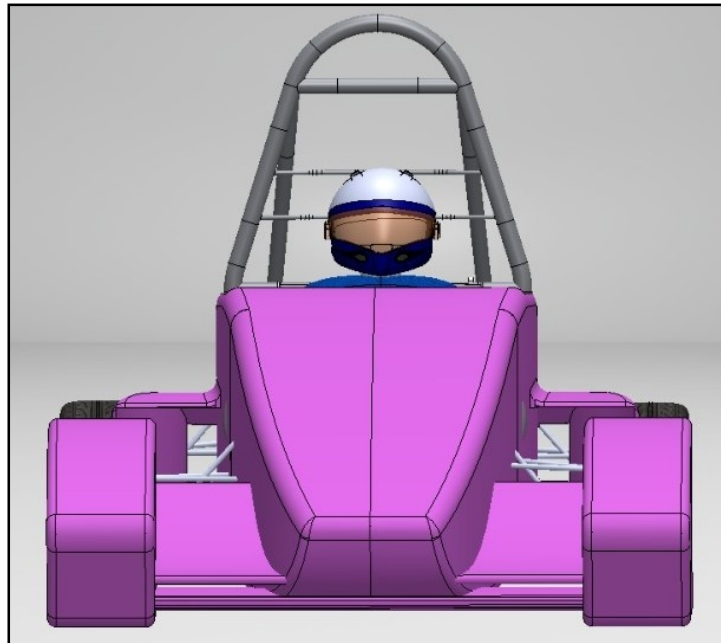
Teniendo en cuenta los estudios realizados acerca de los sistemas de refrigeración más usuales en vehículos eléctricos, en especial de la batería, motor y controladora; y teniendo en cuenta los requisitos de diseño impuestos por el equipo del FSULL y del Formula Student Rules 2019, se ha realizado el siguiente análisis de soluciones para las diferentes propuestas de diseño del sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

##### 1.7.1 Análisis de soluciones para el sistema de refrigeración de la batería

El Formula Student Rules 2019 se celebrará en el mes de agosto en el Circuito de Montmeló, en la ciudad de Barcelona. Según un estudio climatológico en dicha ciudad durante ese mes, se ha considerado como requisito de diseño que la temperatura de entrada del aire ambiente por los portones ubicados en la parte frontal del vehículo FSULL a ambos lados del cockpit del piloto sea de 35°C.

### **Figura 15: Plano 3.0.1 VISTA 3D Y ALZADO DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Equipo FSULL.



### **Figura 16: Estudio climatológico de la ciudad de Barcelona**

Fuente: [Ayuntamiento de Barcelona](#). [9]

Ajuntament de Barcelona

La Ciudad | Ayuntamiento | Turismo | Negocios | Trámites | Más ▾

## Estadística

Inicio > Cifras de la ciudad > Anuario Estadístico de la Ciudad de Barcelona 2018 > Territorio, clima y medio ambiente

Seleccionar tabla:

←

### 2. Clima

#### 2.1. Temperatura. 2013-2017

	Observatorio Can Bruixa					Observatorio Fabra				
	Medias °C			Extremas °C		Medias °C			Extremas °C	
	Medias	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Medias	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
2013	17,7	20,7	14,7	33,4	1,4	15,8	20,0	11,7	35,1	-1,6
2014	18,3	21,3	15,4	33,0	5,0	16,3	20,0	12,5	31,7	0,6
2015	18,4	21,5	15,4	34,7	2,1	16,6	20,6	12,7	35,0	-1,3
2016	18,4	21,4	15,4	32,6	3,9	16,5	20,6	12,4	32,4	0,6
2017	18,4	21,5	15,3	34,2	1,6	16,4	20,3	12,5	33,8	-0,8
Enero	10,4	13,4	7,4	18,1	1,6	7,9	11,1	4,7	16,6	-0,8
Febrero	13,7	16,7	10,7	19,9	7,0	11,4	14,8	8,0	18,7	4,2
Marzo	15,1	18,6	11,5	23,0	5,0	13,3	17,2	9,4	21,6	1,6
Abril	15,9	19,2	12,6	23,9	7,8	14,2	18,0	10,3	23,2	4,4
Mayo	20,0	23,2	16,8	29,2	11,3	18,3	22,8	13,8	29,7	7,8
Junio	25,2	28,3	22,1	32,6	16,7	23,6	27,7	19,4	32,8	13,0
Julio	25,6	28,3	22,9	30,6	17,3	24,2	28,8	19,6	32,4	13,4
Agosto	26,2	28,9	23,4	34,2	17,5	24,6	28,9	20,2	33,8	13,8
Septiembre	21,9	24,9	18,9	29,7	13,3	19,5	23,4	15,6	28,2	10,3
Octubre	20,7	23,5	17,8	26,2	14,0	18,7	22,3	15,0	25,4	10,6
Noviembre	14,7	18,3	11,0	22,9	6,0	12,5	16,2	8,8	21,4	3,3
Diciembre	11,4	14,5	8,3	20,8	3,1	8,6	12,0	5,1	17,2	-0,4

Departament d'Estadística i Difusió de Dades. Ajuntament de Barcelona.  
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Delegación Territorial en Cataluña.

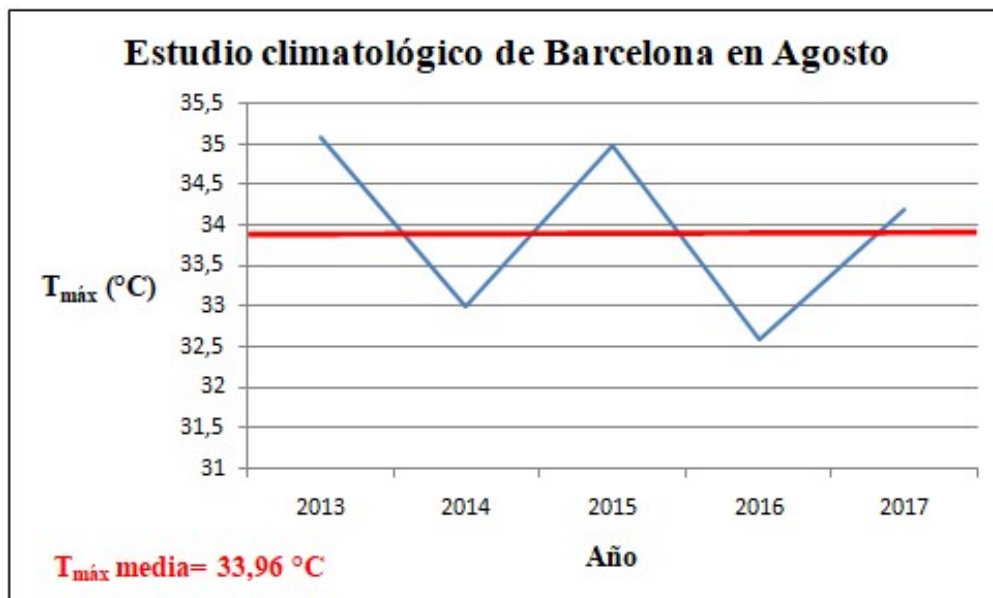
**Tabla 3: Estudio climatológico de Barcelona en Agosto**

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.

Año	T <sub>máx</sub> (°C) en Agosto	T <sub>máx</sub> media (°C) en Agosto
2013	35,1	33,96
2014	33	
2015	35	
2016	32,6	
2017	34,2	

**Figura 17: Gráfico sobre de temperaturas máximas en Barcelona en Agosto**

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.



El enfriamiento se realizará mediante un Intercambiador de Calor. Usaremos el agua fría procedente del Ciclo por compresión de vapor para realizar una transferencia de calor con el flujo de aire. Así pues, el aire entrará a 35°C al IC. Se ha realizado la estimación de que el agua entrará a 7°C al IC. Se producirá la transferencia de calor entre ambos flujos y se ha estimado que el aire saldrá a 15°C mientras que el agua lo hará a 12°C.

En cuanto a la transferencia de calor, destacar que se han estudiado dos propuestas diferentes:

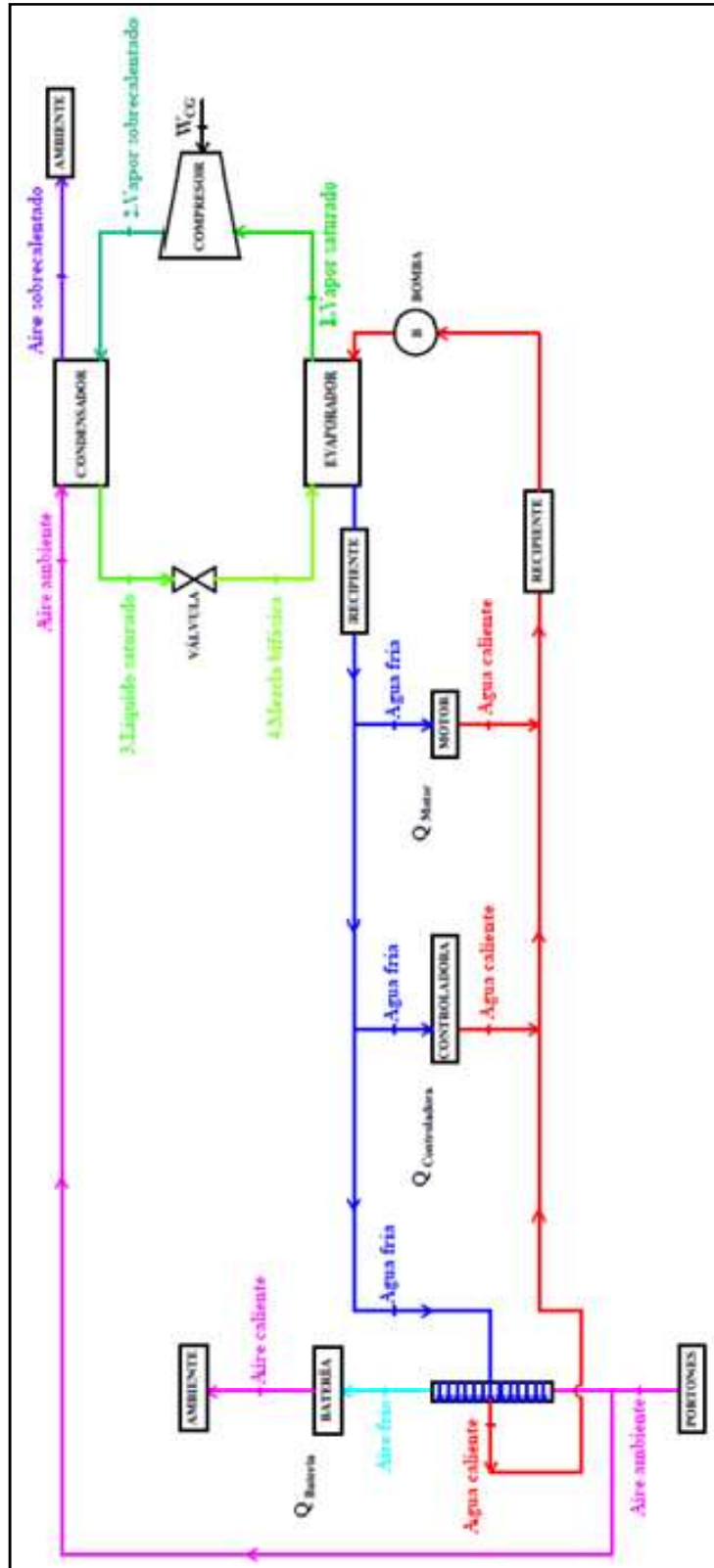
- Realizar la transferencia de calor por medio de un sistema de pulverización de gotas de agua fría. El sistema se compone de un tramo de tubería por el cual circularía el aire procedente del ambiente hacia la batería. En dicho tramo de tubería, existiría un sistema de pulverización del agua fría procedente del Ciclo de compresión de vapor que produciría una lluvia de gotas sobre el flujo de aire. Se produciría una transferencia de calor entre ambos flujos y el aire se enfriaría de los 35°C del ambiente a 15°C para introducirlo en la batería. En cuanto al agua, cabe destacar que entraría al sistema de pulverización a 7°C y sería necesario disponer de una tubería que recoja las gotas de

agua caliente (se ha estimado que su temperatura será de 12°C) y las dirija al Ciclo de compresión de vapor para su enfriamiento.



**Figura 18: Plano 3.1.1 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.

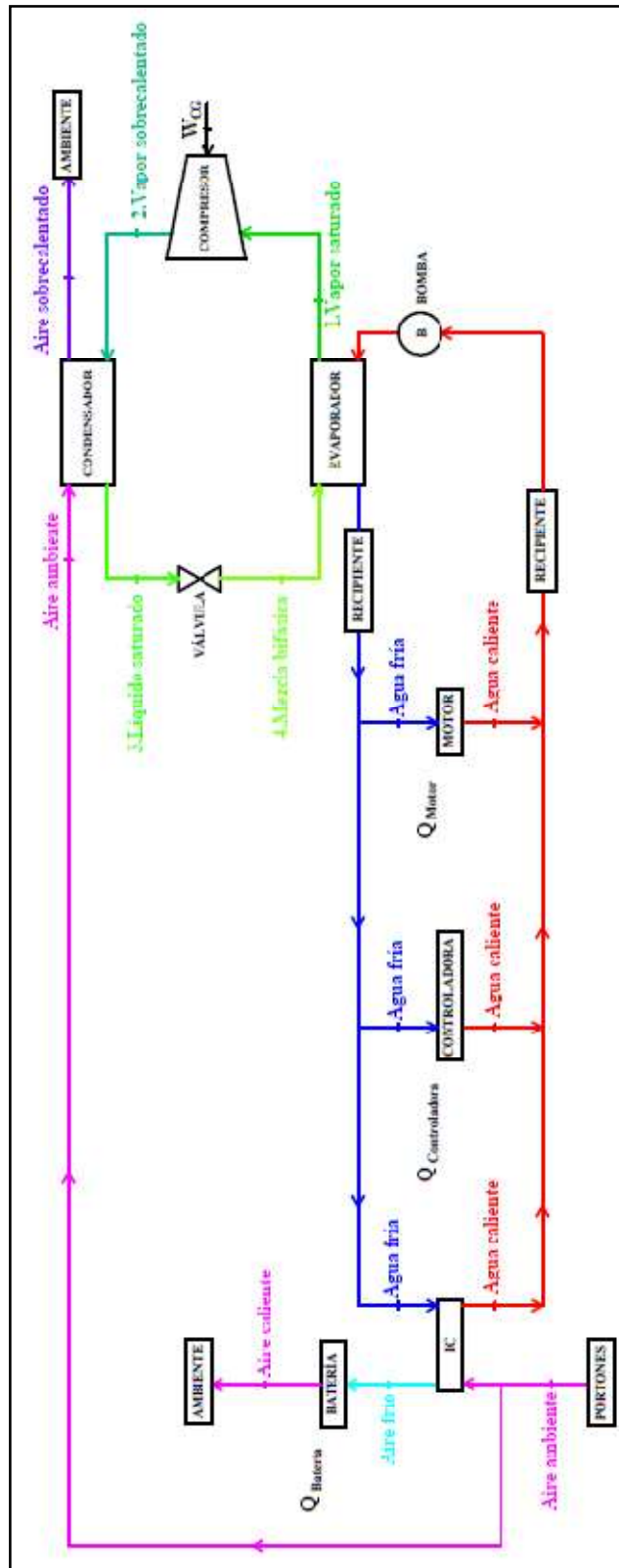




- Realizar la transferencia de calor por medio de un sistema de radiador, en el cuál circula el agua fría por el interior de una red de tubería que serpentea. El flujo de aire circularía transversalmente a la tubería y se produciría la transferencia de calor mediante convección forzada.

**Figura 19: Plano 3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.



En cuanto a ambas propuestas, se ha llegado a la conclusión que la transferencia de calor mediante el radiador es la ideal, ya que su diseño e instalación en el vehículo FSULL sería menos costosa y, además, se correría menos riesgo, ya que en la propuesta de pulverizar el agua fría para enfriar el aire, dicho flujo aumentaría su humedad, lo cual no sería conveniente ya que luego circularía a través de componentes electrónicos y se podría producir la condensación de pequeñas gotas de agua.

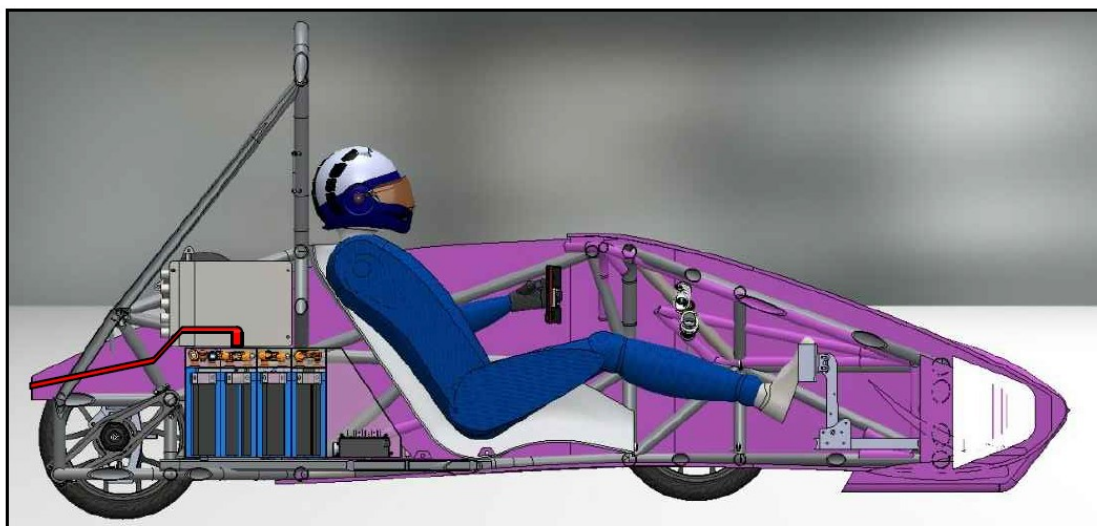
Por tanto, el aire frío a 15°C se dirigirá hacia el pack de baterías mientras que el agua a 12° lo hará hacia el Ciclo de compresión de vapor para su enfriamiento. El aire frío circulará por el interior del pack de baterías, produciéndose una transferencia de calor con las celdas, que disminuirán su temperatura de 60°C a 25°C (temperatura óptima de funcionamiento). Se ha estimado que el aire abandonará el pack de baterías a 35°C y se expulsará al ambiente.

En cuanto a la expulsión del aire hacia el exterior, destacar que se han estudiado dos propuestas diferentes:

- La primera consistiría en expulsar el aire caliente por la parte trasera del vehículo FSULL. Para ello, se instalaría una tubería por la que circulara el aire desde la parte superior de la batería hacia la parte trasera del vehículo FSULL.

### **Figura 20: Plano 3.1.3 OPCIÓN A-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA**

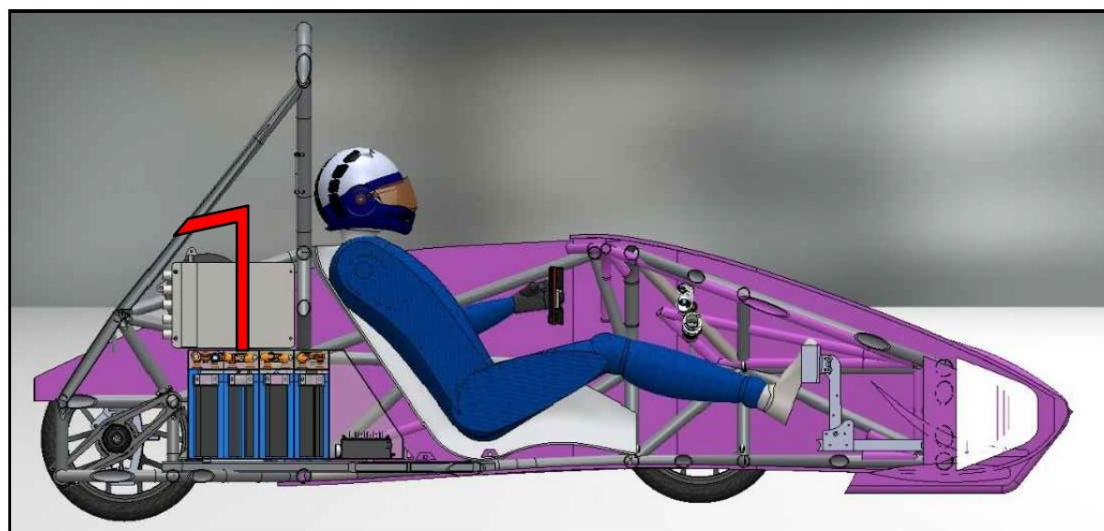
Fuente: Elaboración propia.



- La otra posibilidad sería expulsar el aire caliente por el chasis del vehículo FSULL. Para ello se instalaría un pequeño tramo de tubería por el cual circularía el aire desde la parte superior de la batería, habría un codo y otro pequeño tramo de tubería con una pendiente descendente del 2-3% que llegaría hasta una apertura circular en el chasis del vehículo FSULL, expulsando el aire caliente al ambiente. Destacar que este diseño del tramo de tuberías expulsaría una posible condensación de la humedad del aire, a la vez que impediría que entrara líquido o pequeñas partículas por medio de la apertura en el chasis hacia el interior de la batería.

### **Figura 21: Plano 3.1.4 OPCIÓN B-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA**

Fuente: Elaboración propia.



A pesar de que se desconoce el diseño del interior del vehículo del FSULL, se ha llegado a la conclusión que expulsar el aire a través del chasis es la solución más sencilla de diseño e instalación. Expulsar el aire por la parte trasera del vehículo FSULL conllevaría un diseño complejo, ya que se necesitaría una tubería que recorriese de forma longitudinal el vehículo FSULL, esquivando cualquier elemento que se encontrase. Además, en caso de mantenimiento o rotura de dicha tubería, sería complejo tratar de sustituirla. Así pues, expulsar el aire por medio de un pequeño tramo de tubería ascendente hacia el chasis del vehículo FSULL es un diseño más sencillo, tanto desde el punto de vista de la instalación como del posterior mantenimiento.

### **1.7.2 Análisis de soluciones para el sistema de refrigeración del motor y la controladora**

El sistema de refrigeración del motor y la controladora empleará agua como fluido de refrigeración. Se producirá agua fría a 7°C por medio del Ciclo de compresión de vapor. Dicho flujo de agua se dirigirá a un sistema de tres tuberías en paralelo: un tramo se dirigirá hacia el Intercambiador de Calor, otro hacia el motor y el último para la controladora.

- Tubería de agua fría hacia el Intercambiador de Calor:

Como se ha mencionado anteriormente, es necesario enfriar el aire ambiente que entra al vehículo FSULL para introducirlo en el pack de baterías a 15°C. Para ello, se ha diseñado un sangrado del caudal másico de agua fría que sale del Ciclo de compresión

de vapor. Este pequeño flujo de agua, circulará por una red de tuberías que serpentea, simulando a un radiador. Se producirá la transferencia de calor y el agua caliente a 12°C se recirculará hacia el Ciclo de compresión de calor para su enfriamiento.

- Tubería de agua fría hacia el motor:

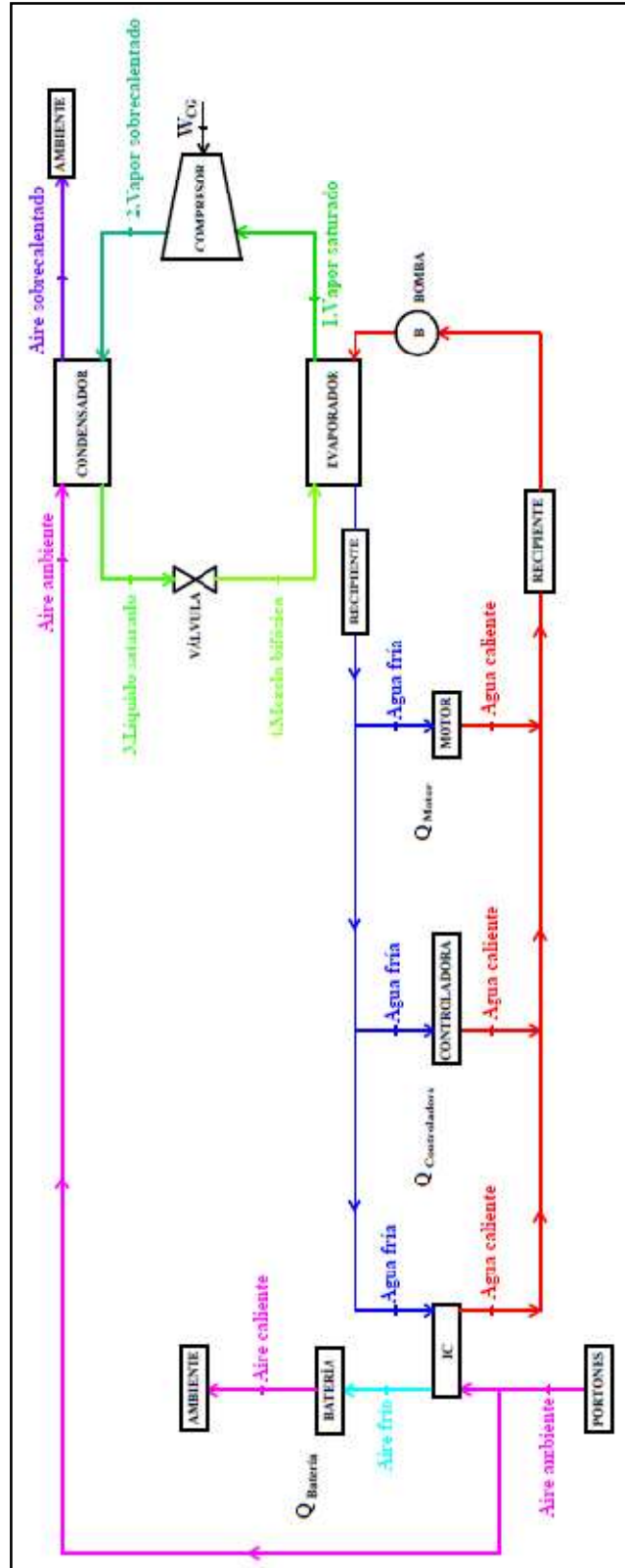
Se ha diseñado un sangrado del caudal másico de agua fría que sale del Ciclo de compresión de vapor. Dicho flujo se dirigirá al motor, en cuyo interior se producirá una transferencia de calor, enfriando dicho espacio de 60°C a 25°C. El agua a la salida del motor estará a 12°C y se dirigirá mediante un circuito de tuberías de retorno al Ciclo de compresión de vapor para su enfriamiento.

- Tubería de agua fría hacia la controladora:

Al igual que para el motor, se ha diseñado un sangrado del caudal másico de agua fría que sale del Ciclo de compresión de vapor. Dicho flujo se dirigirá a la controladora, en cuyo interior se producirá una transferencia de calor, enfriando dicho espacio de 60°C a 25°C. Se ha estimado que la temperatura del agua a la salida de la controladora será 12°C y se dirigirá mediante un circuito de tuberías de retorno al Ciclo de compresión de vapor para su enfriamiento.

**Figura 22: Plano 3.2.1 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.



### **1.7.3 Análisis de soluciones para el enfriamiento del agua del sistema de refrigeración**

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema de refrigeración del vehículo FSULL necesitará un flujo de agua fría que se dirigirá al Intercambiador de Calor para enfriar el aire y al motor y a la controladora para refrigerarlo.

Se producirá la transferencia de calor y el agua se calentará. Así pues, se debe volver a enfriar dicho flujo de agua para garantizar el funcionamiento cíclico del sistema.

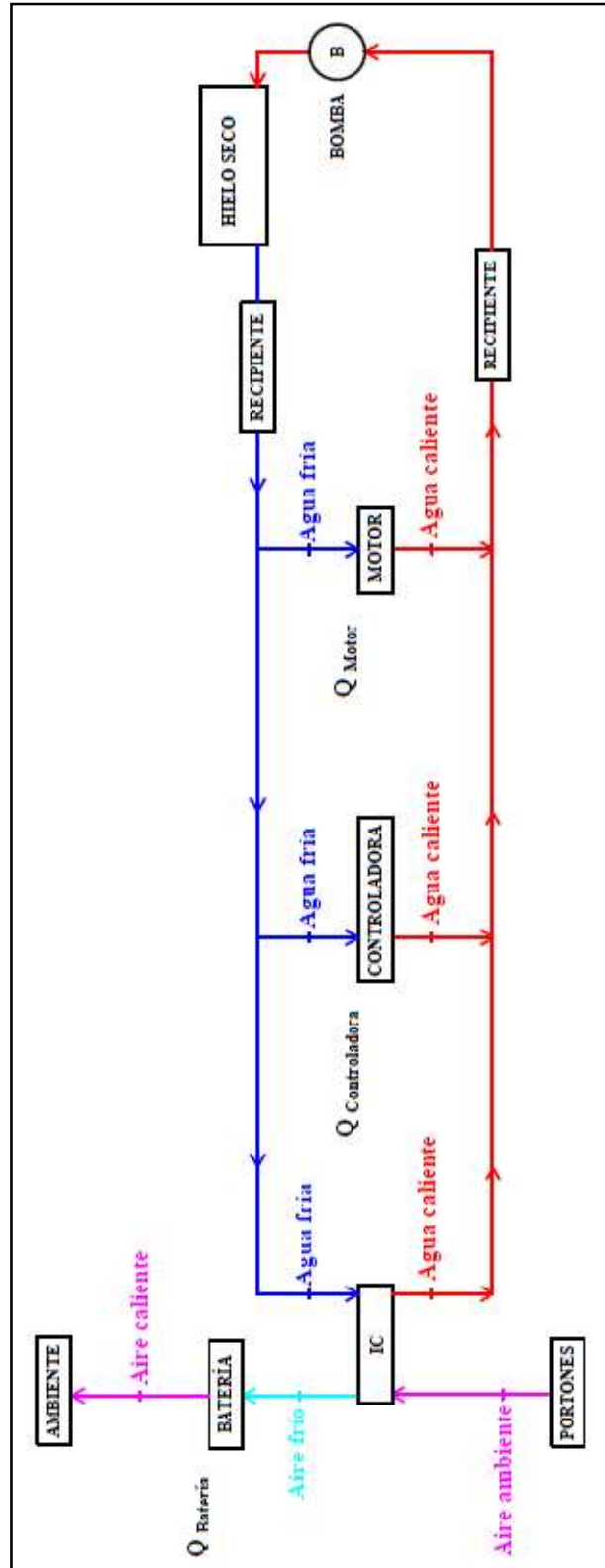
Se han estudiado dos propuestas diferentes para enfriar el flujo de agua:

- La primera propuesta era instalar un recipiente con un enfriador artificial: “Hielo seco”. Así pues, el agua caliente procedente del motor, la controladora y el Intercambiador de Calor se dirigiría a dicho recipiente, se produciría una transferencia de calor con el hielo seco y el agua se enfriaría. Posteriormente, dicho caudal de agua fría se dirigiría nuevamente hacia el motor, la controladora y el Intercambiador de Calor.



**Figura 23: Plano 3.1.5 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Fuente: Elaboración propia.



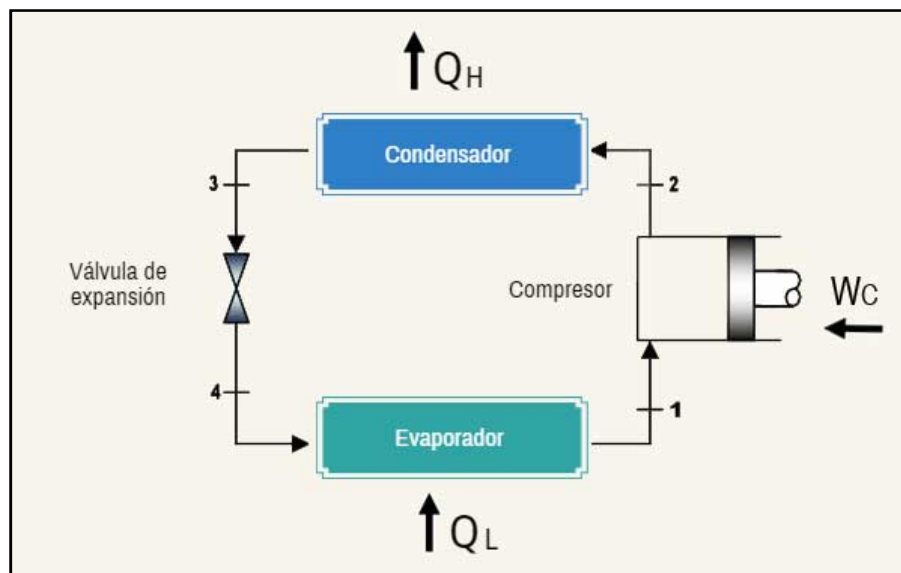
No obstante, esta propuesta es insuficiente, ya que no garantiza el funcionamiento cíclico del sistema de refrigeración, ya que el hielo seco acabaría consumiéndose y se debería reponer. Además, el instalar un recipiente con gran cantidad de hielo seco en su interior aumentaría enormemente el peso del vehículo FSULL, el cual se necesita que sea lo más ligero y veloz posible (se estima que el 40% del peso de un vehículo eléctrico corresponde al pack de baterías y su sistema de refrigeración).

-Así pues, se ha diseñado un sistema alternativo para enfriar el agua basado en el principio de funcionamiento del Ciclo de compresión de vapor.

La refrigeración por compresión es un método de refrigeración que consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado dividido en dos zonas: de alta y de baja presión, con el propósito de que el fluido absorba calor del ambiente, en el evaporador en la zona de baja presión y lo ceda en la de alta presión, en el condensador.

**Figura 24: Esquema básico del Ciclo de compresión de vapor**

Fuente: [Ciclo de compresión de vapor](#) [10]

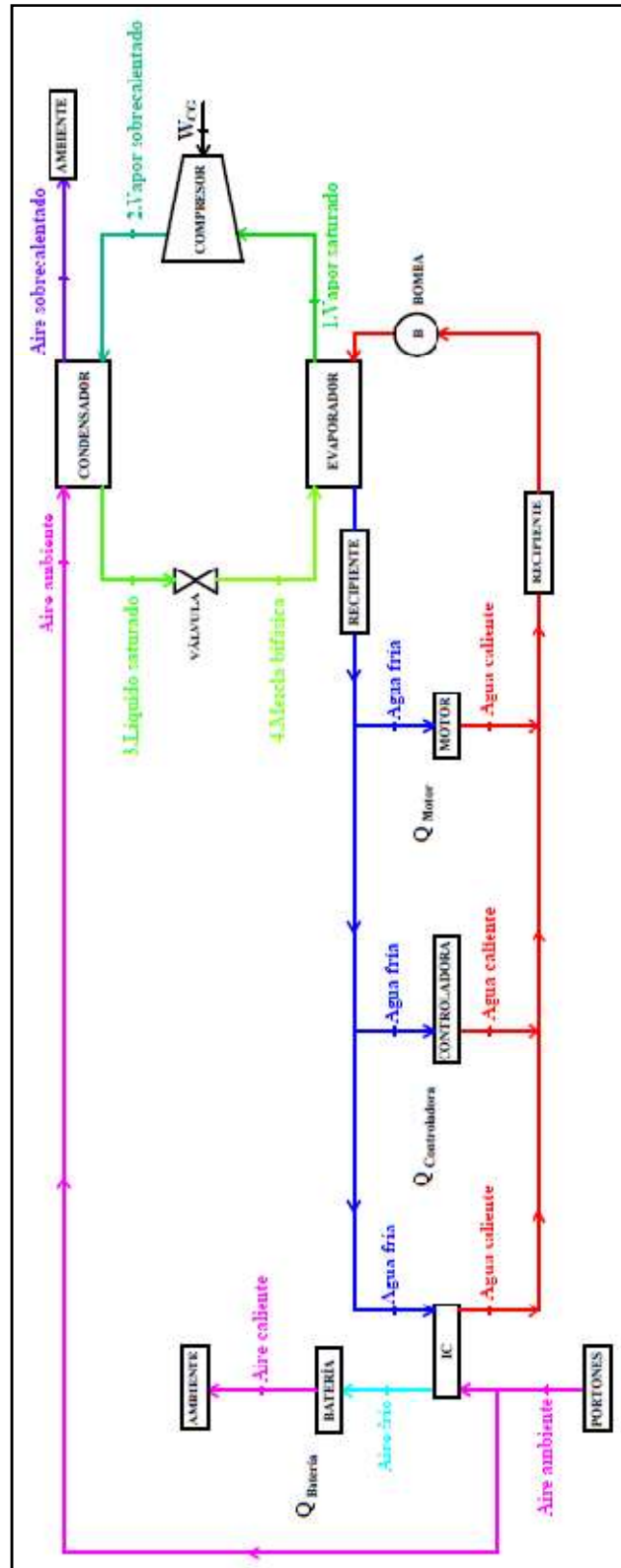


Así pues, circulará agua caliente a 12°C por el evaporador, produciéndose una transferencia de calor entre el flujo de refrigerante que pasa por el evaporador (entra el refrigerante en forma de mezcla bifásica y sale como vapor saturado), por lo que el flujo de agua caliente cederá calor y se enfriará, saliendo del evaporador como agua fría a

7°C. La transferencia de calor debe ser suficiente como para equilibrar la potencia calorífica generada en la batería, el motor y la controladora.

**Figura 25: Plano 3.1.6 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Fuente: Elaboración propia.



En cuanto al fluido que circulará por el Ciclo de Compresión de Calor, destacar que se trata de refrigerante R134a, el cuál posee las características idóneas para el correcto funcionamiento del ciclo, además de su amplio uso en el mercado.

El refrigerante sale como vapor saturado a la temperatura de evaporización del evaporador y se dirigirá hacia el compresor, que mediante el consumo de potencia eléctrica almacenada en la batería, elevará su presión y temperatura, saliendo como vapor sobrecalentado. Dicho vapor se hace pasar por el condensador, en el cuál se produce una transferencia de calor en forma de cesión de calor hacia un fluido que extrae el calor del ciclo. Se ha estimado aire ambiente como fluido de extracción, ya que permite un diseño sencillo para el sistema de refrigeración del vehículo FSULL. Así pues, se llevará a cabo un sangrado en la tubería de entrada de aire del ambiente (a 35°C) por los portones del vehículo FSULL, dirigiéndose hacia el condensador, donde absorbe el calor cedido por el vapor del refrigerante y se calienta. El aire abandonará el condensador a 45°C, ya que he estimado un incremento de temperatura de 10°C en el fluido de extracción del Ciclo. En cuanto al vapor de agua sobrecalentado, destacar que se enfriará, abandonando el condensador como líquido saturado a la temperatura de condensación. Seguidamente, el líquido se dirigirá a una válvula de expansión que hará disminuir su presión y temperatura hasta la de evaporación, transformándose en mezcla bifásica con un bajo título de vapor. Como se ha comentado anteriormente, la mezcla bifásica absorbe el calor procedente del motor, la controladora y la batería en el evaporador.

De esta forma se garantiza el funcionamiento cíclico de todo el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

## **1.8 Resultados finales**

Este Trabajo de Fin de Grado tiene el objetivo de dar al equipo FSULL una propuesta de diseño del sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

No forma parte del mismo, la elección de los equipos del sistema de refrigeración ni la instalación/ubicación del sistema de refrigeración en el vehículo FSULL, ya que se desconoce el diseño del interior del vehículo y el espacio disponible para el mismo. Así pues, no es objeto de este Trabajo de Fin de Grado el cálculo y dimensionado de las

conducciones por las cuales circularán los fluidos, ni las áreas de intercambio de calor necesarias ya que no se dispone de información acerca de la geometría de dichas zonas.

El equipo FSULL proporcionó los datos que ellos estiman necesarios para la realización de la prueba más exigente. Para dicha prueba, el equipo calculó la potencia que debe almacenar la batería, la potencia consumida en el motor y la controladora y el calor generado en la batería, el motor y la controladora, los cuales hay que disipar. El equipo FSULL se hizo cargo de la elección del modelo de la batería, el motor y la controladora necesarios para realizar la prueba.

No forma parte de este Trabajo de Fin de Grado esos cálculos proporcionados por el equipo FSULL y se asume que se han calculado correctamente. Así pues, este Trabajo de Fin de Grado se basa en dichos valores para diseñar el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

Dicho sistema servirá para enfriar las baterías, el motor y la controladora. Así pues, el sistema se dividirá según las diferentes partes a refrigerar.

En primer lugar, se diseñó y dimensionó el sistema de refrigeración del motor, el cuál empleará agua como fluido de enfriamiento. Se especificó la temperatura de entrada y salida del agua a su paso por el motor, la potencia consumida por el motor y el caudal másico de agua necesario para su refrigeración. Se calculó la potencia calorífica generada en el motor durante la prueba.

En segundo lugar, se diseñó y dimensionó el sistema de refrigeración del la controladora, que al igual que el motor, empleará agua como fluido de enfriamiento. Se especificó la temperatura de entrada y salida del agua de la controladora, se estimó la potencia que consume y se especificó el caudal másico de agua necesario para su refrigeración. Se calculó la potencia calorífica generada en la controladora durante la prueba.

Seguidamente, se diseñó y dimensionó el Intercambiador de Calor necesario para enfriar el aire que entra en el vehículo y que se destinará a refrigerar la batería. Para ello se calculó el caudal de agua necesario para enfriar dicho flujo de aire.

Se realizó el cálculo del caudal de agua total que necesitará el sistema de refrigeración, así como la capacidad de refrigeración que deberá tener el sistema.

A continuación, se diseñó y dimensionó el sistema de refrigeración del pack de baterías, el cuál empleará aire como fluido de enfriamiento. Se especificó la temperatura de entrada de dicho aire, la potencia almacenada en la batería, el tiempo estimado de duración de la prueba más exigente y la potencia calorífica que se genera en la batería durante dicho tiempo. A su vez, se calculó la temperatura de salida del aire caliente y el caudal másico de aire necesario para disipar el calor generado.

Por último, se llevó a cabo el análisis termodinámico del sistema de refrigeración por compresión de vapor necesario para enfriar el agua. Para ello se empleará el refrigerante R134a como fluido que realizará el ciclo de compresión de vapor y aire como fluido de extracción de calor del ciclo. Se especificó la temperatura de entrada y salida de dicho aire, así como la temperatura de evaporación y condensación, el salto térmico en la transferencia de calor de los intercambiadores de calor y el incremento de temperatura del fluido de extracción. Se calculó el caudal másico de refrigerante, la potencia consumida por el compresor, el coeficiente de operación del ciclo, el caudal másico de aire de extracción, el calor cedido por el condensador y la destrucción de exergía de los equipos empleados.

A modo de conclusión, se indicaron los equipos necesarios y los parámetros más relevantes para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración del vehículo eléctrico FSULL.

A continuación, se especifica el funcionamiento del sistema de refrigeración para la batería, el motor y la controladora del vehículo FSULL, así como datos calculados de especial interés como temperaturas, caudales, potencias, consumos y rendimientos de los equipos empleados.

Para una explicación más detallada sobre el procedimiento de realización de los cálculos, acudir al Anexo 2.5-Cálculos.

Cabe destacar que esta propuesta de diseño estará calculada y dimensionada en basa a los datos proporcionados por el Equipo FSULL para la prueba más exigente del Fórmula Student Rules 2019.

Para dicha prueba, el equipo FSULL estimó que la prueba de mayor duración será de 25 minutos. Según este dato, calcularon que la batería debe almacenar 7,42 kWh para poder realizar la prueba sin dificultades. Calcularon que el motor consumiría 5,72 kWh

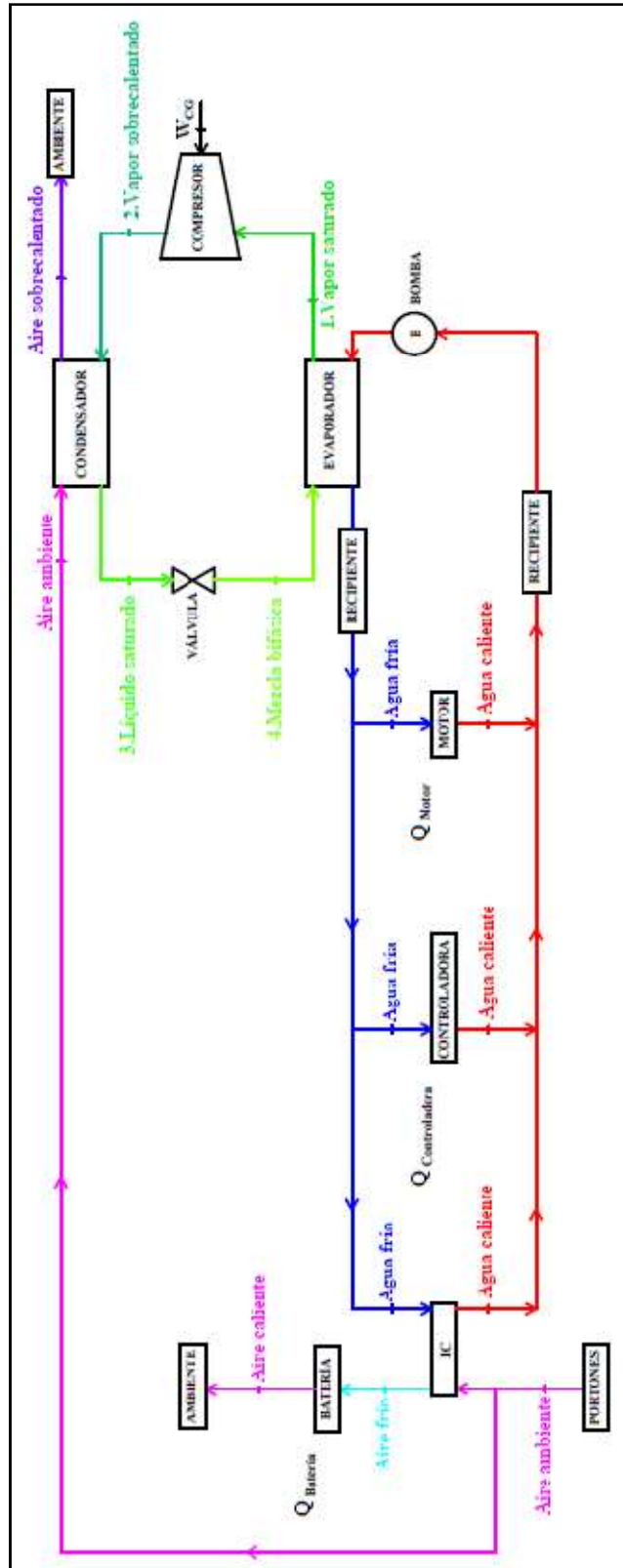
y que la controladora consumiría un 10% de la potencia almacenada en la batería durante la realización de la prueba. Además, calcularon que el calor generado en la batería durante la celebración de la misma sería 205 W y estimaron que la eficiencia de la controladora será la misma que la del motor.

El equipo FSULL estimó que estos 3 equipos se van a calentar hasta los 60 °C durante la realización de la prueba debido al flujo de corriente eléctrica. Así pues, imponen que el sistema de refrigeración enfríe estos equipos hasta los 25°C, temperatura que el equipo FSULL estima como óptima de funcionamiento para que el rendimiento no se degrade.



**Figura 26: Plano 3.2.1 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración Propia.



### 1.8.1 Acceso del aire al vehículo FSULL

El sistema de refrigeración comienza con la entrada de aire a temperatura ambiente a través de los portones dispuestos a ambos lados del cockpit del piloto, en la parte frontal del vehículo FSULL.

Fue un requisito impuesto por el Formula Student Rules 2019 que la competición se celebrará en el mes de agosto en la ciudad de Barcelona. Según un estudio climatológico en dicha ciudad durante ese mes (se puede observar en **1.6.2 Requisitos de diseño del sistema de refrigeración de la batería**), se ha considerado como requisito de diseño que la temperatura de entrada del aire ambiente por los portones ubicados en la parte frontal del vehículo FSULL a ambos lados del cockpit del piloto sea de 35°C.

Este aire tiene la función de refrigerar las celdas de las baterías, que se encuentran a una temperatura de 60°C, mientras que su temperatura óptima debería de ser 25°C para que su duración y rendimiento no se degraden. Así pues, es necesario utilizar un sistema de enfriamiento para el aire ambiente que entra al vehículo FSULL.

En relación a los cálculos, se ha calculado que deberían acceder un total de 0,3314 kg/s (20 kg/min) de aire a 35°C y 1 atm de presión por los portones del vehículo FSULL. Este flujo se dividirá en dos:

- Se necesitarían 0,0102 kg/s (612 g/min) para el enfriamiento de la batería.
- Los 0,3211 kg/s (19 kg/min) de aire restante se dirigirán como fluido de extracción de calor del Ciclo de compresión de vapor.

### 1.8.2 Enfriamiento del aire ambiente mediante el Intercambiador de Calor

Como se ha mencionado anteriormente, es necesario enfriar los 0,0102 kg/s (612 g/min) de aire ambiente a 35°C que se emplearán para refrigerar el pack de baterías. Se ha estimado que debemos enfriar el caudal de aire hasta los 15°C para poder enfriar la batería de 60°C a 25°C.

Así pues, al Intercambiador de Calor accederán 0,0098 kg/s (588 g/min) de agua fría a 7°C procedente de la salida del evaporador del Ciclo de compresión de calor. Dicha agua circulará por una red de tuberías que serpentea, simulando un radiador. A su vez,

entrarán 0,0102 kg/s (612 g/min) de aire ambiente a 35°C. Así pues, se producirá una transferencia de calor mediante convección forzada entre ambos flujos.

Se ha estimado que el aire abandonará el Intercambiador de Calor a 15°C mientras que el agua lo hará a 12°C, por lo que se dirigirá hacia la entrada del evaporador del Ciclo de compresión de vapor para su enfriamiento.

### **1.8.3 Sistema de refrigeración de la batería**

El departamento de electrónica del equipo FSULL ha proporcionado el dato de la potencia calorífica que se genera en el pack de baterías durante la celebración de la prueba más restrictiva. Dicho valor será de 205 W.

Así pues, 0,0102 kg/s (612 g/min) aire entran a 15°C por la parte inferior de la batería, circulando entre los espacios libres de las pestañas de las celdas y produciéndose una transferencia de calor mediante convección forzada que enfriará la batería de 60°C a 25°C. Por último, se ha realizado el cálculo de la temperatura del aire de salida de la batería, el cual se elevará a 35°C.

El caudal másico de 0,0102 kg/s (612 g/min) de aire a 35°C circulará por una tubería desde la parte superior de la batería hacia un pequeño tramo con pendiente descendente de 2-3% y se expulsará al ambiente por medio de una apertura circular en el chasis del vehículo FSULL. Destacar que este diseño del tramo de tuberías expulsaría una posible condensación de la humedad del aire, a la vez que impediría que entrara líquido por medio de la apertura en el chasis hacia el interior de la batería. Dicha apertura contaría con un filtro para evitar la entrada de suciedad o pequeñas partículas hacia el interior de la tubería.

### **1.8.4 Sistema de refrigeración del motor**

Se ha calculado que es necesario un caudal de agua de 5,4913 l/min (5,5 kg/s) para refrigerar el motor de 60°C a 25°C, temperatura óptima para que su rendimiento no se degrade. Así pues, este caudal de agua procederá de la salida del evaporador del Ciclo de compresión de calor a una temperatura estimada de 7°C. Se hará circular por el interior de las tuberías del motor, produciéndose una transferencia de calor por convección forzada. El agua abandonará el motor a 12°C y se dirigirá a la entrada del

evaporador para su enfriamiento. Se ha calculado que en el motor se genera una potencia calorífica de 2 kW.

### **1.8.5 Sistema de refrigeración de la controladora**

Se ha calculado que es necesario un caudal de agua de 0,7 l/min (714 g/min) para refrigerar la controladora de 60°C a 25°C, temperatura óptima para que su rendimiento no se degrade. Así pues, este caudal de agua procederá de la salida del evaporador del Ciclo de compresión de calor a una temperatura estimada de 7°C. Se hará circular por el interior de las tuberías de la controladora, produciéndose una transferencia de calor por convección forzada. El agua abandonará la controladora a 12°C y se dirigirá a la entrada del evaporador para su enfriamiento. Se ha calculado que en la controladora se genera una potencia calorífica de 250 W.

### **1.8.6 Sistema de refrigeración por compresión de vapor**

Se tendrá en cuenta una capacidad de refrigeración de 2,38 kW, procedentes de la suma de las potencias caloríficas de la batería (205 W), el motor (2 kW) y la controladora (250 W). A su vez, se tiene un caudal de agua a enfriar de 6,8 kg/min (6,79 l/min), procedentes de la suma de los caudales máxicos de agua necesarios en Intercambiador de Calor (0,59 l/min), en el motor (5,5 l/min) y en la controladora (0,7 l/min).

Así pues, al evaporador del Ciclo de compresión de calor entrarán 6,8 kg/s (6,8 l/min) de agua a 12°C por medio de una red de tuberías que serpentea, se producirá una transferencia de calor mediante convección forzada con el caudal de refrigerante que circula por el evaporador y se expulsará el caudal de agua a una temperatura de 7°C que se dirigirá hacia el Intercambiador de Calor, el motor y la controladora.

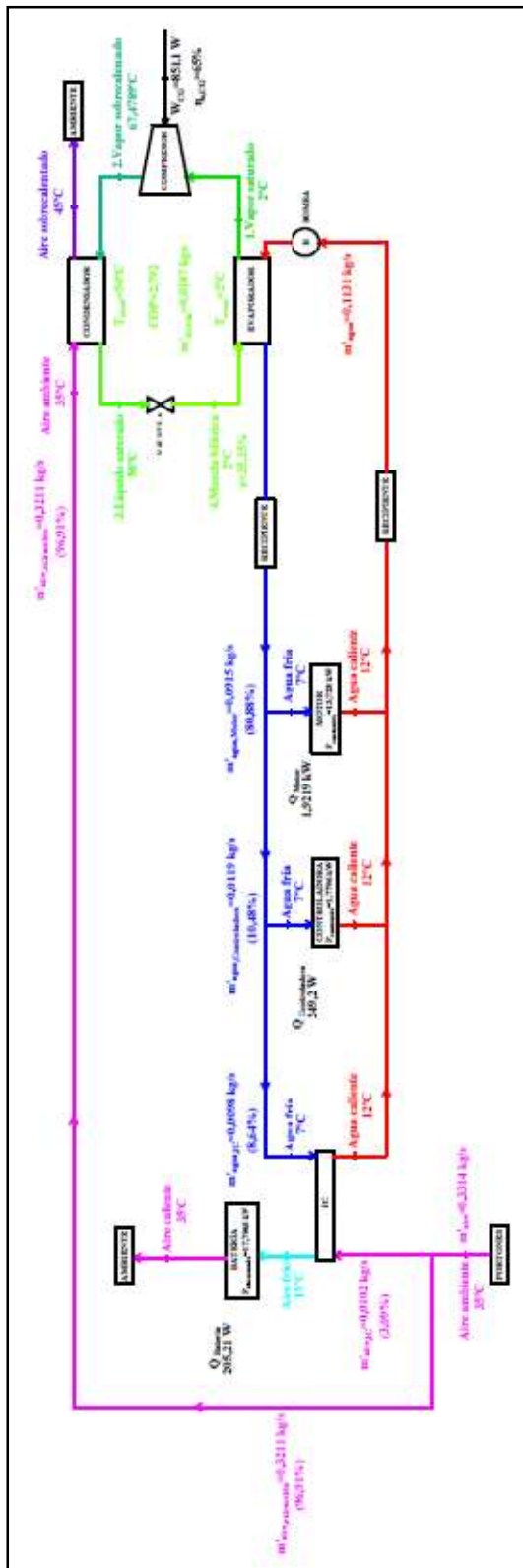
Se ha estimado un salto térmico de 5°C en los Intercambiadores de Calor del Ciclo de compresión de Calor (evaporador y condensador), así como un incremento térmico de 10°C en el fluido de extracción de calor del ciclo, que será aire ambiente a 35°C. Así pues, la temperatura de salida del aire de extracción de calor será de 45°C, la temperatura de evaporización será de 2°C y la de condensación asciende a 50°C. Se ha considerado emplear el refrigerante R134a como fluido que realizará el Ciclo de compresión de vapor, ya que posee las características idóneas para el correcto funcionamiento del ciclo, además de su amplio uso en el mercado. Por último, se ha estimado un rendimiento isoentrópico del compresor del 65%.

Así pues, a la salida del evaporador se encuentra el Estado 1: vapor saturado a la temperatura de evaporización del evaporador ( $T_1=T_{\text{evap}}=2\text{ °C}$ ) y se dirigirá hacia el compresor, que mediante el consumo de potencia eléctrica almacenada en la batería, elevará su presión y temperatura, saliendo como Estado 2: vapor sobrecalentado ( $T_2=67,5\text{ °C}$ ). Dicho vapor se hace pasar por el condensador, en el cuál se produce una transferencia de calor, mediante convección forzada, hacia el aire de extracción de calor del ciclo. El caudal de refrigerante cederá 3,2 kW al caudal másico de 20 kg/min de aire ambiente a 35°C procedente de los portones del vehículo FSULL. El aire abandonará el condensador a 45°C, como se ha mencionado anteriormente. En cuanto al vapor de agua sobrecalentado, destacar que se enfriará, abandonando el condensador como Estado 3: líquido saturado a la temperatura de condensación ( $T_3=T_{\text{cond}}=50\text{ °C}$ ). Seguidamente, el líquido se dirigirá a una válvula de expansión que hará disminuir su presión y temperatura hasta la de evaporación, transformándose en Estado 4: mezcla bifásica con un bajo título de vapor ( $T_4=2\text{ °C}$ ,  $x=35\%$ ). La mezcla bifásica absorbe el calor procedente del agua a 12°C que entra al evaporador.

De esta forma, se garantiza el funcionamiento cíclico de todo el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

### Figura 27: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL

Fuente: Elaboración propia.



En cuanto a otros parámetros calculados, destacar que el caudal másico de refrigerante R134a que circulará por el ciclo será de 1,12 kg/min, la potencia consumida por el compresor asciende a 851 W, el coeficiente de operación del ciclo (COP) será de 2,8, valor relativamente alto (“Por cada kW consumido en el compresor se evaporan 2,8 kW”) y el calor cedido en el condensador será de 3,2 kW.

Si se hace la suposición de unas condiciones ambientales de 25°C de temperatura y 1 atm de presión, la destrucción de exergía en el compresor sería de 31 %; mientras que en la válvula rondaría el 15%. No obstante, son valores relativamente bajos.

Cabe destacar, que el equipo FSULL ha estimado un tiempo de duración de la prueba más exigente de 25 min, la potencia almacenada en la batería será 7,5 kWh (17,8 kW), la potencia consumida por el motor será 5,72 kWh (13,73 kW) y la potencia consumida por la controladora será el 10% de la potencia almacenada en la batería; es decir, 741,5 Wh (1,78 kW). Así pues, si a estos consumos se le añade la potencia consumida por el compresor (851 W), se tiene un total de potencia consumida por el vehículo FSULL de 16,36 kW.

Dado que se dispone de 17,8 kW para realizar la prueba, no hará falta un incremento de la potencia almacenada en la batería para poder cumplir con las exigencias del sistema de refrigeración.

### **1.9 Orden de prioridad de los documentos**

Si en la ejecución del proyecto existiera algún tipo de ambigüedad o discrepancia en diferentes documentos, el orden de prioridad es el siguiente:

1. Planos
2. Anexos
3. Memoria

### **1.10 Conclusiones**

Con la realización de este Trabajo de Fin de Grado ha quedado claro las partes del vehículo eléctrico FSULL a las cuales es imprescindible refrigerar para que su duración y rendimiento no se degraden. Además, se han estudiado diferentes sistemas para ello, con diferentes fluidos y posibles soluciones de diseño según convenga. Por último, se ha

diseñado y dimensionado una propuesta para el sistema de refrigeración del vehículo FSULL siguiendo los requisitos de diseño impuestos por el equipo FSULL y Formula Student Rules 2019, indicando los equipos necesarios y los parámetros a tener en cuenta para el correcto funcionamiento del sistema.

### **1.11 Conclusion**

With the realization of this End of Degree Work, it has become clear the parts of the FSULL electric vehicle to which it is essential to refrigerate so that its duration and performance are not degraded. In addition, different systems have been studied for this purpose, with different fluids and possible design solutions as appropriate. Finally, a proposal for the FSULL vehicle cooling system has been designed and sized following the design requirements imposed by the FSULL and Formula Student Rules 2019 team, indicating the necessary equipment and parameters to take into account for the proper functioning of the system.



Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## ANEXOS

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019



# ÍNDICE-ANEXOS

---

## 2. ANEXOS

### 2.1 Anexo-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos

2.1.1 Resumen.....	18
2.1.2 Introducción.....	18
2.1.2.1 Coche eléctrico.....	19
2.1.2.2 Historia.....	20
2.1.2.3 Ventajas.....	21
2.1.2.4 Inconvenientes.....	22
2.1.2.5 Energía.....	23
2.1.2.6 Fuentes de energía.....	25
2.1.2.7 Contaminación y electricidad.....	29
2.1.2.8 Consumo.....	32
2.1.2.9 Partes de un vehículo eléctrico.....	33
2.1.3 Batería de un vehículo eléctrico.....	34
2.1.3.1 Terminología.....	37
2.1.3.2 Proceso químico.....	38
2.1.3.3 Pack de baterías.....	39
2.1.3.4 Acondicionamiento del pack de baterías.....	39
2.1.3.5 Configuraciones del pack de baterías.....	41
2.1.3.6 Diseño estructural.....	42

2.1.3.7 Conexiones eléctricas y protección.....	43
2.1.3.8 Partes de la batería.....	46
2.1.3.9 Tipos de baterías.....	38
2.1.3.10 Tipos de baterías más usuales para vehículos eléctricos...55	
2.1.3.11 Batería de iones de litio.....	57
2.1.3.12 Ejemplo de baterías ión-litio utilizadas por los distintos fabricantes de vehículos.....	61
2.1.4 Sistemas de gestión térmica.....	69
2.1.4.1 Efectos de las temperaturas críticas.....	71
2.1.4.2 Tipos de sistemas de refrigeración.....	73
2.1.4.3 Otros sistemas de refrigeración menos usuales en vehículos eléctricos.....	77
2.1.4.4 Ubicación del sistema de refrigeración.....	88
2.1.4.5 Tipos de refrigerantes.....	90
2.1.4.6 Componentes del sistema de refrigeración.....	95
2.1.4.7 Problemas accidentales.....	98
2.1.4.8 Mantenimiento.....	98
2.1.5 Legislación ambiental.....	99
<b>2.2 Anexo-Batería FSULL</b>	
<b>2.3 Anexo-Motor EMRAX 228 Medium Voltage CC FSULL</b>	
<b>2.4 Anexo-Controladora Bamocar D3 FSULL</b>	
<b>2.5 Anexo-Cálculos</b>	
2.5.0 Resumen.....	7

<b>2.5.1 Datos</b> .....	10
<b>2.5.2 Circuito de agua</b> .....	13
<b>2.5.2.1 Motor</b> .....	16
<b>2.5.2.2 Controladora</b> .....	17
<b>2.5.2.3 Circuito de agua del sistema de refrigeración</b> .....	20
<b>2.5.2.4 Intercambiador de calor</b> .....	24
<b>2.5.3 Circuito de aire</b> .....	29
<b>2.5.4 Ciclo de compresión de vapor</b> .....	31
<b>2.5.5 Resultados</b> .....	42
<b>2.5.5.1 Datos</b> .....	42
<b>2.5.5.2 Circuito de agua del sistema de refrigeración</b> .....	45
<b>2.5.5.3 Circuito de aire del sistema de refrigeración</b> .....	46
<b>2.5.5.4 Ciclo de compresión de vapor</b> .....	47
<b>2.5.5.5 Conclusión</b> .....	48

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## ANEXO-FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA SOBRE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019



# ÍNDICE-ANEXO-FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA SOBRE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

---

## 2. ANEXOS

### 2.1 Anexo-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos

2.1.1 Resumen.....	18
2.1.2 Introducción.....	18
2.1.2.1 Coche eléctrico.....	19
2.1.2.2 Historia.....	20
2.1.2.3 Ventajas.....	21
2.1.2.4 Inconvenientes.....	22
2.1.2.5 Energía.....	23
2.1.2.6 Fuentes de energía.....	25
2.1.2.7 Contaminación y electricidad.....	29
2.1.2.8 Consumo.....	32
2.1.2.9 Partes de un vehículo eléctrico.....	33
2.1.3 Batería de un vehículo eléctrico.....	34
2.1.3.1 Terminología.....	37
2.1.3.2 Proceso químico.....	38
2.1.3.3 Pack de baterías.....	39
2.1.3.4 Acondicionamiento del pack de baterías.....	39
2.1.3.5 Configuraciones del pack de baterías.....	41



2.1.3.6	Diseño estructural.....	42
2.1.3.7	Conexiones eléctricas y protección.....	43
2.1.3.8	Partes de la batería.....	46
2.1.3.9	Tipos de baterías.....	38
2.1.3.10	Tipos de baterías más usuales para vehículos eléctricos...55	
2.1.3.11	Batería de iones de litio.....	57
2.1.3.12	Ejemplo de baterías ión-litio utilizadas por los distintos fabricantes de vehículos.....	61
2.1.4	Sistemas de gestión térmica.....	69
2.1.4.1	Efectos de las temperaturas críticas.....	71
2.1.4.2	Tipos de sistemas de refrigeración.....	73
2.1.4.3	Otros sistemas de refrigeración menos usuales en vehículos eléctricos.....	77
2.1.4.4	Ubicación del sistema de refrigeración.....	88
2.1.4.5	Tipos de refrigerantes.....	90
2.1.4.6	Componentes del sistema de refrigeración.....	95
2.1.4.7	Problemas accidentales.....	98
2.1.4.8	Mantenimiento.....	98
2.1.5	Legislación ambiental.....	99

## Índice de Figuras-Anexo-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos

**Figura 1: Esquema básico de un coche eléctrico**.....33

Fuente: [Partes de un vehículo eléctrico](#) [1]

**Figura 2: Batería**.....34

Fuente: [Batería](#) [2]

**Figura 3: Pack de baterías**.....38

Fuente: [Pack de baterías](#) [3]

**Figura 4: Pack de baterías en serie**.....40

Fuente: [Pack en serie](#) [4]

**Figura 5: Pack de baterías en paralelo**.....41

Fuente: [Pack en paralelo](#) [5]

**Figura 6: Diseño estructural del pack de baterías**.....42

Fuente: [Diseño del pack](#) [6]

**Figura 7: Partes de la batería**.....43

Fuente: [Partes de la batería](#) [7]

**Figura 8: Sistema de gestión de la batería (BMS)**.....44

Fuente: [BMS](#) [8]

**Figura 9: Sistema BMS**.....45

Fuente: [Sistema BMS](#) [9]

**Figura 10: Relé automotriz**.....46

Fuente: [Relé](#) [10]

**Figura 11: Valores característicos de cada tipo de batería.....57**

Fuente: [Tipos de baterías](#) [11]

**Figura 12: Batería de iones de litio.....58**

Fuente: [Batería de iones de litio](#) [12]

**Figura 13: Funcionamiento básico de una celda ión-litio.....59**

Fuente: [Funcionamiento celda ion-litio](#) [13]

**Figura 14: Procedimiento de carga y descarga de la batería ión-litio...60**

Fuente: [Carga y descarga](#) [14]

**Figura 15: Pack de baterías del i-MiEv.....62**

Fuente: [Pack i-MiEv](#) [15]

**Figura 16: Citroën C-Zero.....63**

Fuente: [C-Zero](#) [16]

**Figura 17: Batería del Tesla Model S.....64**

Fuente: [Batería Tesla Model S](#) [17]

**Figura 18: Batería de ión-litio del Nissan Leaf.....65**

Fuente: [Batería Nissan Leaf](#) [18]

**Figura 19: Vista interior de la batería Zebra.....67**

Fuente: [Batería Zebra](#) [19]

**Figura 20: Batería de hidruro metálico de níquel.....69**

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/> [20]

**Figura 21: Simulación del calentamiento de la batería.....70**

Fuente: [Calentamiento-batería](#) [21]

<b>Figura 22: Pack de baterías de un vehículo eléctrico.....</b>	<b>71</b>
Fuente: <a href="#">Pack</a> [22]	
<b>Figura 23: Gráfica de la velocidad de descarga de la batería en función de la temperatura.....</b>	<b>73</b>
Fuente: <a href="#">Velocidad de descarga</a> [23]	
<b>Figura 24: Sistema de refrigeración del KIA Soul EV.....</b>	<b>75</b>
Fuente: <a href="#">KIA Soul EV</a> [24]	
<b>Figura 25: Sistema de refrigeración mediante aceite dieléctrico.....</b>	<b>76</b>
Fuente: <a href="#">Aceite dieléctrico</a> [25]	
<b>Figura 26: Sistema de refrigeración del Tesla Model S.....</b>	<b>77</b>
Fuente: <a href="#">Refrigeración-Tesla</a> [26]	
<b>Figura 27: Sistema de refrigeración con placas prismáticas y serpenteo....</b>	<b>80</b>
Fuente: <a href="#">Placas prismáticas</a> [27]	
<b>Figura 28: Sistema de refrigeración con evaporador.....</b>	<b>83</b>
Fuente: <a href="#">Evaporador</a> [28]	
<b>Figura 29: Sistema de refrigeración directa.....</b>	<b>84</b>
Fuente: <a href="#">Refrigeración directa</a> [29]	
<b>Figura 30: Sistema de refrigeración del Mercedes S400 BlueHybrid.....</b>	<b>84</b>
Fuente: Don Marcos, ingeniero de Mercedes Benz en Tenerife. Comunicación personal	
<b>Figura 31: Batería de polímero termorrespuesta.....</b>	<b>87</b>
Fuente: <a href="#">Batería autorregulable</a> [30]	
<b>Figura 32: Ubicación del sistema de refrigeración.....</b>	<b>89</b>

Fuente: [Ubicación](#) [31]

**Figura 33: Sistema de control BMS.....96**

Fuente: [BMS](#) [32]

**Figura 34: Componentes de la batería del Audi Q7 e-tron 3.0 TDI quattro.....97**

Fuente: [Audi Q7](#) [33]

## Índice de Tablas-Anexo-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos

<b>Tabla 1: Balance eléctrico y emisiones de España 2010 (hasta el 20 de abril).....</b>	<b>26</b>
--	-----------

Fuente: [Emisiones](#) [34]

<b>Tabla 2: kWh<sub>Batería</sub>/100km que consumen los principales vehículos eléctricos.....</b>	<b>29</b>
--	-----------

Fuente: [Consumo](#) [35]

<b>Tabla 3: Rendimiento/Eficiencia del Vehículo Eléctrico en España.....</b>	<b>30</b>
--	-----------

Fuente: [Rendimiento](#) [36]

<b>Tabla 4: Consumo coche eléctrico por cada 100km en cada parte del sistema.....</b>	<b>31</b>
---	-----------

Fuente: [Consumo-100 km](#) [37]

<b>Tabla 5: Tabla comparativa de los diferentes tipos de baterías eléctricas...54</b>	
---	--

Fuente: [Tipos de baterías](#) [38]

## **Lista de referencias-Anexo-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos**

### **Esquema básico de un coche eléctrico**

Fuente: [Partes de un vehículo eléctrico](#) [1]

### **Batería**

Fuente: [Batería](#) [2]

### **Pack de baterías**

Fuente: [Pack de baterías](#) [3]

### **Pack de baterías en serie**

Fuente: [Pack en serie](#) [4]

### **Pack de baterías en paralelo**

Fuente: [Pack en paralelo](#) [5]

### **Diseño estructural del pack de baterías**

Fuente: [Diseño del pack](#) [6]

### **Partes de la batería**

Fuente: [Partes de la batería](#) [7]

### **Sistema de gestión de la batería (BMS)**

Fuente: [BMS](#) [8]

### **Sistema BMS**

Fuente: [Sistema BMS](#) [9]

### **Relé automotriz**

Fuente: [Relé](#) [10]

## **Valores característicos de cada tipo de batería**

Fuente: [Tipos de baterías](#) [11]

## **Batería de iones de litio**

Fuente: [Batería de iones de litio](#) [12]

## **Funcionamiento básico de una celda ión-litio**

Fuente: [Funcionamiento celda ion-litio](#) [13]

## **Procedimiento de carga y descarga de la batería ión-litio**

Fuente: [Carga y descarga](#) [14]

## **Pack de baterías del i-MiEv**

Fuente: [Pack i-MiEv](#) [15]

## **Citröen C-Zero**

Fuente: [C-Zero](#) [16]

## **Batería del Tesla Model S**

Fuente: [Batería Tesla Model S](#) [17]

## **Batería de ión-litio del Nissan Leaf**

Fuente: [Batería Nissan Leaf](#) [18]

## **Vista interior de la batería Zebra**

Fuente: [Batería Zebra](#) [19]

## **Batería de hidruro metálico de níquel**

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/> [20]

## **Simulación del calentamiento de la batería**

Fuente: [Calentamiento-batería](#) [21]



### **Pack de baterías de un vehículo eléctrico**

Fuente: [Pack](#) [22]

### **Gráfica de la velocidad de descarga de la batería en función de la temperatura**

Fuente: [Velocidad de descarga](#) [23]

### **Sistema de refrigeración del KIA Soul EV**

Fuente: [KIA Soul EV](#) [24]

### **Sistema de refrigeración mediante aceite dieléctrico**

Fuente: [Aceite dieléctrico](#) [25]

### **Sistema de refrigeración del Tesla Model S**

Fuente: [Refrigeración-Tesla](#) [26]

### **Sistema de refrigeración con placas prismáticas y serpenteo**

Fuente: [Placas prismáticas](#) [27]

### **Sistema de refrigeración con evaporador**

Fuente: [Evaporador](#) [28]

### **Sistema de refrigeración directa**

Fuente: [Refrigeración directa](#) [29]

### **Batería de polímero termorrespuesta**

Fuente: [Batería autorregulable](#) [30]

### **Ubicación del sistema de refrigeración**

Fuente: [Ubicación](#) [31]

### **Sistema de control BMS**

Fuente: [BMS](#) [32]

### **Componentes de la batería del Audi Q7 e-tron 3.0 TDI quattro**

Fuente: [Audi Q7](#) [33]

### **Balance eléctrico y emisiones de España 2010 (hasta el 20 de abril)**

Fuente: [Emisiones](#) [34]

### **kWh<sub>Batería</sub>/100km que consumen los principales vehículos eléctricos**

Fuente: [Consumo](#) [35]

### **Rendimiento/Eficiencia del Vehículo Eléctrico en España**

Fuente: [Rendimiento](#) [36]

### **Consumo coche eléctrico por cada 100km en cada parte del sistema**

Fuente: [Consumo-100 km](#) [37]

### **Tabla comparativa de los diferentes tipos de baterías eléctricas**

Fuente: [Tipos de baterías](#) [38]

## **Bibliografía-Anexo-Fundamentación teórica sobre vehículos eléctricos**

- Proyecto Técnico: “Diseño y montaje del pack de baterías del vehículo Formula Student eléctrico del equipo FSULL”.
- User’s Manual for Advanced Axial Flux Synchronous Motors and Generators-Motor Emrax 228 Medium Voltage CC.
- Manual Digital three-phase Servo Amplifier BAMOCAR D3 (Controladora).
- "Review on battery thermal management system for electric vehicles".
- Formula Student Rules 2019.
- Proyecto Técnico: “Diseño y montaje del pack de baterías del vehículo Formula Student eléctrico del equipo FSULL”.

Fuente: Equipo FSULL.

- User’s Manual for Advanced Axial Flux Synchronous Motors and Generators-Motor Emrax 228 Medium Voltage CC.

Fuente: Equipo FSULL.

- Manual Digital three-phase Servo Amplifier BAMOCAR D3 (Controladora).

Fuente: Equipo FSULL.

- "Review on battery thermal management system for electric vehicles".

Disponible: <https://www.sciencedirect.com>

- Formula Student Rules 2019.

Disponible: <https://www.formulastudent.de>

- “Vehículo F SAE NC State University.”

Available: <http://www.coroflot.com/formula-sae>.

- “Bateria Litio Polímero”.

Available: <https://www.bgelectronica.com.ar/Bateria-Litio-Polimero>

- Master Ana Isabel, “e-REDING. Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.”

Disponible: <http://bibing.us.es/proyectos>

- “Ciencia y tecnología: Baterías de Ion-Litio”.

Disponible: <http://arquitectologia.blogspot.com/la-bateria-de-iones-de-litio.html>.

- “La Batería de Iones de Litio,”.

Disponible: <http://documentslide.com/la-bateria-de-iones-de-litio.html>.

- Alfred Piggott, “Battery Cooling System Layout Thermal Manager”.

Disponible: <http://www.slideshare.net/battery-cooling-system-layout-thermal-management>.

- Gonzalo Lara, “Una filial de Toyota incrementa la producción de baterías NiMH a 1.4 millones anuales,”.

Disponible: <https://www.motorpasionfuturo.com>

- Peña Ordoñez Carlos, “Estudio de baterías para vehículos eléctricos,” Universidad Calos III de Madrid, Escuela Politécnica Superior, 2011.

- A123 Systems Solutions, “Battery Pack Design, Validation and Assembly Guide using A123 Systems.”

- “Batterie Fluence Z.E.”.

Disponible: <http://4.bp.blogspot.com>

- “Electrónica de mando y control TOYOTA PRIUS ZVW30,”.

Disponible: <http://es.slideshare.net/>

- “Ac motor eléctrico ventilador de refrigeración.”.

Disponible: <https://spanish.alibaba.com>

- EcuRed, “Ventiladores automotrices.”

Disponible: [http://www.ecured.cu/Ventiladores\\_automotrices](http://www.ecured.cu/Ventiladores_automotrices).

- Elithion, “Leading manufacturer of Lithium-ion Battery Management Systems (BMS).”

Disponible: <https://www.xatakandroid.com>

- “Lithium Battery Design and Manufacture,” Lithium Power Inc.

Disponible: <http://www.lithiumpowerinc.com>

- “Funcionamiento del rele,”

Disponible: <http://www.taringa.es>

- “Automotive Training and Resource Site.”

Disponible: <http://www.autoshop101.com/>.

- “MAHLE Group.”

Disponible: <http://www.mahle.com>

- “GM-VOLT : Chevy Volt Electric Car, real time news, information, and discussion about the Chevrolet,”

Disponible: <http://gm-volt.com/>.

- A. Ujjwal, R. Bishav, and K. Abhishek, “DESIGN AND FABRICATION OF AN ACCUMULATOR CONTAINER/ BATTERY PACK FOR A FORMULA STUDENT VEHICLE.”

- M. Alisson, B. Bidwell, S. Hopson, J. Smith, and C. Streegan, “Formula electric : powertrain,” Santa Clara University, California, 2013.

- “Cooling System for Race Car Produced with EOS Additive Manufacturing,” EOS e-Manufacturing Solutions.

Disponible: <https://www.eos.info>

- H. Yin, “Cooling and Packaging of Batteries for Formula SAE Electric Racecar,” Thesis Defense, Universidad de Texas, Arlington.

- “Axial DC fans cool ETSEIB Motorsport electric formula car,”.

Disponible: <http://www.designfax.net>

- R. Norton, Diseño de Maquinaria, Cuarta. México.

- “Muratori\_thesis.pdf,” Politécnica de Milan, Milan, 2009.

- “ePLB C High Energy Product,” EiG.

Disponible: <http://www.ebaracus.com>

<https://www.peugeot.es/que-es-un-coche-electrico.html>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico)

[https://www.google.es/search?q=partes+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH2rjM8JXfAhVDXhoKHan8C3cQ\\_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=jKMpqCcOec\\_6yM:](https://www.google.es/search?q=partes+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiH2rjM8JXfAhVDXhoKHan8C3cQ_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=jKMpqCcOec_6yM:)

[https://www.google.es/search?q=partes+de+la+bateria+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFoov-\\_JXfAhUNsxUIHZOVCaAQ\\_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=95IuLo5vxneQpM:](https://www.google.es/search?q=partes+de+la+bateria+de+un+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiFoov-_JXfAhUNsxUIHZOVCaAQ_AUIDigB&biw=1422&bih=980#imgrc=95IuLo5vxneQpM:)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_el%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica)

<http://electromovilidad.net/tipos-de-bateria-para-coche-electrico/>

[https://www.google.com/search?q=partes+de+una+bateria+para+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjCl6aa38zgAhVqzoUKHaSyDHoQ\\_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=23AOvYA01imC0M:](https://www.google.com/search?q=partes+de+una+bateria+para+vehiculo+electrico&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjCl6aa38zgAhVqzoUKHaSyDHoQ_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=23AOvYA01imC0M:)

[http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_bateria.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_bateria.htm)

<https://forococheselectricos.com/2018/01/cual-es-el-mejor-sistema-de-refrigeracion-para-las-baterias-de-un-coche-electrico.html>

[http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_bateria.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_bateria.htm)

<https://espaciocoches.com/sistema-de-refrigeracion-de-un-vehiculo/>

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/nueva-tecnologia-baterias-coches-electricos-audi/20160105194508010634.html>

<https://www.motor.es/noticias/valeo-refrigeracion-baterias-coches-electricos-201851688.html>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Model\\_S#Especificaciones](https://es.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S#Especificaciones)

<http://www.blogmecanicos.com/2017/04/entresijos-de-un-pack-de-baterias-de-27.html>

<https://forococheselectricos.com/2016/01/sistema-de-refrigeracion-de-la-bateria-del-chevrolet-bolt.html>

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/tesla-duplica-capacidad-refrigeracion-bateria-model-3/20180829194023021438.html>

<https://urbantecno.com/motor/por-que-refrigeracion-tesla-model-3-es-eficiente-model-s>

[https://www.google.com/search?q=tesla+model+s+sistema+de+refrigeracion&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiQq\\_CI5czgAhVDrHEKHfJdDxIQ\\_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=-eHIG29kvFnjxM:](https://www.google.com/search?q=tesla+model+s+sistema+de+refrigeracion&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiQq_CI5czgAhVDrHEKHfJdDxIQ_AUIDigB&biw=1280&bih=881#imgrc=-eHIG29kvFnjxM:)

<https://forococheselectricos.com/2017/07/porsche-primer-supercargador-de-350-kw.html>

<https://movilidadelectrica.com/baterias-que-evitan-su-recalentamiento/>

[https://youtu.be/Mk7DHn\\_DxUw](https://youtu.be/Mk7DHn_DxUw)

<https://www.nature.com/articles/nenergy20159>

<https://www.gas-servei.com/es/componentes/sustitutos-directos-del-r-22/r-134a>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Difluorometano>

<https://forococheselectricos.com/2017/06/la-importancia-del-sistema-de-refrigeracion-de-la-bateria-del-jaguar-pace-mantener-prestaciones-y-hasta-50-kilometros-extra-de-autonomia.html>

<https://youtu.be/ZKIJgFGweng>

<https://movilidadelectrica.com/por-que-es-tan-importante-refrigerar-las-baterias-de-los-coches-electricos/>

<https://forococheselectricos.com/2015/12/tesla-patenta-un-nuevo-sistema-de-calefaccion.html>

<https://www.actualidadmotor.com/el-sistema-de-refrigeracion/>

<https://forococheselectricos.com/2017/04/tesla-patente-recarga-automatica-refrigerada.html>

[http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico\\_control.htm](http://www.aficionadosalamecanica.com/coche-electrico_control.htm)

[https://www.google.com/search?biw=1280&bih=881&tbm=isch&sa=1&ei=kJpuXIqJL6eLlwSdqK6ICg&q=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&oq=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&gs\\_l=img.3...635982.645442..645637...0.0..1.614.2913.16j1j2j1j0j1.....1....1..gws-wiz-img.....0j0i30.uIT9rTE-UFE#imgrc=pstUA45KpVTY1M:](https://www.google.com/search?biw=1280&bih=881&tbm=isch&sa=1&ei=kJpuXIqJL6eLlwSdqK6ICg&q=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&oq=esquema+del+sistema+de+refrigeracion+de+tesla&gs_l=img.3...635982.645442..645637...0.0..1.614.2913.16j1j2j1j0j1.....1....1..gws-wiz-img.....0j0i30.uIT9rTE-UFE#imgrc=pstUA45KpVTY1M:)

[http://www.blogmecanicos.com/2017/04/entresijos-de-un-pack-de-baterias-de\\_27.html](http://www.blogmecanicos.com/2017/04/entresijos-de-un-pack-de-baterias-de_27.html)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil\\_el%C3%A9ctrico](https://es.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vil_el%C3%A9ctrico)

<https://es.wikipedia.org/wiki/Refrigerante>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Difluorometano>

<https://www.gas-servei.com/es/componentes/sustitutos-directos-del-r-22/r-134a>



### **2.1.1 Resumen**

En la presente investigación se estudian los diferentes sistemas de refrigeración presentes en un vehículo eléctrico; en especial, los sistemas de refrigeración de las baterías eléctricas.

En primer lugar, se realizará una fundamentación teórica concerniente al vehículo eléctrico y sus principales componentes, para seguidamente adentrarnos en una investigación sobre los diferentes tipos de baterías, su funcionamiento, principales características...

A continuación, estudiaremos los diferentes sistemas de refrigeración para baterías de vehículos eléctricos. El sistema de refrigeración para el pack de baterías tiene como principal objetivo mantener la temperatura óptima de sus celdas, con la finalidad de que la duración y el rendimiento no se degraden.

Finalmente, daremos nuestra conclusión sobre la tecnología más apropiada.

### **2.1.2 Introducción**

#### **2.1.2.1 Coche eléctrico**

Un automóvil eléctrico es un vehículo que, a diferencia de los vehículos de combustión interna, que funcionan quemando combustible, obtiene la tracción por medio de uno o más motores eléctricos que emplea la energía eléctrica almacenada en baterías recargables y la transforma en cinética; es decir, consumen la energía eléctrica almacenada para su desplazamiento.

La tracción puede ser proporcionada por ruedas o hélices impulsadas por motores rotativos, o en otros casos utilizar otro tipo de motores no rotativos, como los motores lineales, los motores inerciales, o aplicaciones del magnetismo como fuente de propulsión, como es el caso de los trenes de levitación magnética.

También son automóviles eléctricos los híbridos enchufables, que combinan un motor eléctrico con otro de combustión.

Los motores eléctricos proporcionan a los automóviles eléctricos un torque instantáneo, creando una aceleración fuerte y continua. Son también hasta tres veces más eficientes que un motor de combustión interna.

### 2.1.2.2 Historia

Los primeros coches eléctricos prácticos surgieron en la década de 1880. De hecho, los coches eléctricos fueron populares a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, hasta que los avances en los motores de combustión interna, sobre todo con la introducción del dispositivo de arranque automáticos, y la producción en masa de coches de gasolina más baratos llevaron al declive el uso de coches eléctricos.

Tras varias décadas en el olvido, la crisis del petróleo de 1973 produjo un breve renacimiento en el interés por los vehículos eléctricos durante la década de 1970 y 1980, aunque tampoco llegaron a alcanzar la comercialización en masa, como sí los vehículos eléctricos debido a los avances en las baterías y en la gestión de la energía, la preocupación global acerca del aumento de precios del petróleo, y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Varios gobiernos nacionales y locales han establecido incentivos para los vehículos eléctricos o híbridos enchufables, exenciones de impuestos y otras ayudas para promover la introducción y la adopción en el mercado de este tipo de vehículos. Los vehículos eléctricos son significativamente más silenciosos que los vehículos de combustión interna. No emiten contaminantes durante su circulación, posibilitando una gran reducción de la contaminación local y dependiendo del método usado para la generación de la electricidad empleada, pueden comportar una significativa reducción de la emisión de gases de efecto invernadero).

También proporcionan independencia energética respecto a las importaciones de petróleo, lo que en ciertos países es causa de preocupación debido a su vulnerabilidad por la volatilidad del precio del petróleo y su posible efecto en la disrupción del suministro.

La recarga de un automóvil eléctrico puede requerir varias horas. Para recorridos de larga distancia, muchos coches permiten un modo de carga rápida que puede proporcionar un 80% de la carga en media hora, usando cargadores públicos. Aunque el coste de las baterías está descendiendo rápidamente, todavía es alto, y debido a ello la mayor parte de los modelos tienen todavía una autonomía reducida y un mayor coste que los vehículos convencionales. Con estos modelos los conductores también pueden experimentar ansiedad por falta de autonomía: el miedo a que las baterías se gasten antes de llegar a su destino. También hay algunos modelos que ofrecen una gran autonomía como por ejemplo el Tesla Model S que tiene más de 500 km de autonomía.

En 2016, existen más de 10.000 modelos de automóviles eléctricos y furgonetas para venta al público, principalmente en Estados Unidos, China, Japón y los países europeos. Las ventas globales acumuladas de vehículos eléctricos superaron el millón de unidades en septiembre de 2016. El modelo con mayor ventas es el Nissan Leaf, puesto en el mercado en diciembre de 2010, con cerca de 240 000 unidades vendidas en todo el mundo hasta septiembre de 2016. El Tesla Model S, puesto a la venta en junio de 2012, ocupa el segundo lugar en ventas globales con cerca de 150 000 unidades hasta noviembre de 2016.

### 2.1.2.3 Ventajas

- No producen contaminación atmosférica in situ.
- No producen contaminación sonora.
- Su uso permite prescindir de combustible y así ahorra petróleo, una materia prima limitada y se puede dedicar a otras materias también necesarias.
- Su mantenimiento y costo del "combustible" es mucho menor al de uno convencional. El Tesla Model S, por ejemplo, gasta 700 USD de electricidad al año; el Porsche Panamera Turbo gasta 3400\$ de combustible al año.
- Mayor eficiencia y para el motor a partir de 0 revoluciones y la total ausencia de marchas (en caso de tener transmisión la misma puede aprovechar la potencia de manera más eficiente sin retardo alguno), lo que se traduce en mejor respuesta en aceleración.
- En los deportivos, el uso de potencia distribuida en las ruedas y control del par motor de cada uno proporciona una mayor estabilidad en las curvas, y por tanto, en seguridad.
- Según Francisco Laverón, Miguel Ángel Muñoz y Gonzalo Sáenz de Miera, dos economistas y un ingeniero de la compañía Iberdrola, un coche consigue una eficacia de un 77 % si la electricidad procede de fuentes renovables, mientras que 42 % si procede de energía eléctrica basada en gas natural. Además estos autores aseguran que un coche eléctrico podría recorrer casi el doble de kilómetros que uno de gasolina.
- Pueden recargar su batería mediante el frenado regenerativo, prolongando así la vida útil de las balatas del sistema de frenado (lo cual aumenta su autonomía de cierta forma

aunque la misma solo presente un aumento insignificante pero aun así es una ventaja ya que con el pasar del tiempo y las mejoras tecnológicas el frenado regenerativo podría ayudar a extender la autonomía)

- Con el pasar de los años la tecnología de las baterías ha mejorado para ofrecer una autonomía casi similar a algunos vehículos de combustión interna de reducida cilindrada, en modelos más grandes incluso pueden tener las mismas comodidades pero también se acostumbran los dueños de los mismos a nuevos hábitos de conducción.

- Se prevé también que en un futuro los mismos vehículos puedan suministrar energía suplementaria a la red eléctrica en caso necesario o también proveer suministro para un hogar promedio durante ciertos periodos de tiempo como contingencias eléctricas (para esta modalidad se desarrollan los sistemas "Vehicle 2Grid" o V2G).

- Casi todos los hogares poseen enchufes eléctricos para recargar de manera lenta, por lo que el encontrar una recarga en cualquier lugar ya no es tanto problema, además las estaciones de recarga están comenzando a aumentar.

- Tienen el potencial de limpiar las emisiones, si las energías usadas para recargarlos provienen de fuentes alternativas a la quema de combustibles fósiles (Solar, Geotérmica, Eólica, Mareomotriz, Undimotriz, Hidroeléctrica entre otras alternativas que podrían darle ventaja para brindar movilidad cero emisiones de manera total).

#### **2.1.2.4 Inconvenientes**

- Carga de las baterías y precio. Las baterías de más de 400 km de autonomía son muy costosas y se recargan en unas 9 horas sin mermar su capacidad. Para evitar este problema sería necesario cambiar las baterías descargadas por otras con carga de manera inmediata, de forma tal que al repostar en una estación de servicio el vehículo ingresara casi sin energía eléctrica y saliera de allí total o parcialmente cargado pocos minutos más tarde. Para ello las baterías deberían adaptarse perfectamente de manera de poder cambiarse rápidamente y que esto pudiese hacerse tanto de forma total como fraccionada.

- En ciertos casos, la electricidad utilizada para recargar las baterías se produce mediante materias primas contaminantes como el carbón. En España, por ejemplo, la

electricidad utilizada para las baterías supone unas emisiones de dióxido de carbono de 0,276 kg/kWh generado.

- Menor autonomía que un coche convencional dado que necesita recargas frecuentes.
- El fuerte costo de compra inicial. En algunos casos el precio de un coche eléctrico triplica al de uno coche convencional. Ejemplo: un Toyota Corolla, gama alta de Toyota, puede costar en torno a 17 000 euros con lo básico, un vehículo eléctrico como el THINK City alcanza en el mercado los 30.114 euros. Esto podría solucionarse si los fabricantes lo decidieran pues ya se ha comprobado con los vehículos híbridos que estos tienden a bajar de precio y ganar mercado rápidamente.
- La poca accesibilidad que existe en cuanto a las recargas. Problema que se irá solucionando poco a poco, al suministrar los puntos de recarga "electrolineras" por parte del país. Pero para ello quizás sea imprescindible que las estaciones de servicio puedan cambiar las baterías descargadas (total o parcialmente) por otras con carga de manera inmediata. De esta forma la empresa se interesaría por el nuevo negocio y el usuario se vería compensado al pagar por un servicio que le ahorraría mucho tiempo de espera.

#### **2.1.2.5 Energía**

A diferencia de un vehículo con un motor de combustión interna (abreviadamente denominado vehículo de combustión) que está diseñado específicamente para funcionar quemando combustible, un vehículo eléctrico obtiene la tracción de los motores eléctricos, pero la energía puede ser suministrada de los modos siguientes:

- Alimentación externa del vehículo durante todo su recorrido, con un aporte constante de energía, como es común en el tren eléctrico y el trolebús.
- Energía proporcionada al vehículo en forma de un producto químico almacenado en el vehículo que, mediante una reacción química producida a bordo, produce la electricidad para los motores eléctricos. Ejemplo de esto es el coche híbrido no enchufable, o cualquier vehículo con pila de combustible.
- Energía generada a bordo usando energía nuclear, como son el submarino y el portaaviones nuclear.

- Energía generada a bordo usando energía solar generada con placas fotovoltaicas, que es un método no contaminante durante la producción eléctrica, mientras que los otros métodos descritos dependen de si la energía que consumen proviene de fuentes renovables para poder decir si son o no contaminantes.

- Energía eléctrica suministrada al vehículo cuando está parado, que es almacenada a bordo con sistemas recargables, y que luego consumen durante su desplazamiento. Las principales formas de almacenamiento son:

\* Energía química almacenada en las baterías como en el llamado vehículo eléctrico de batería, especialmente en baterías de litio que parece ser la tecnología más desarrollada hoy. Es preciso destacar las nuevas inversiones que se están haciendo en el mayor yacimiento de litio (Salar de Uyuni-Bolivia) para la fabricación de estas baterías, aunque hay otros tipos de baterías recargables que se pueden utilizar.

\* Energía eléctrica almacenada en grandes condensadores. Tecnología aún muy experimental.

\* Almacenamiento de energía cinética, con volante de inercia sin rozamiento.

- También es posible disponer de vehículos eléctricos híbridos, cuya energía proviene de múltiples fuentes, tales como:

\* Almacenamiento de energía recargable y un sistema de conexión directa permanente.

\* Almacenamiento de energía recargable y un sistema basado en la quema de combustibles, incluye la generación eléctrica con un motor de explosión y la propulsión mixta con motor eléctrico y de combustión.

#### **2.1.2.6 Fuentes de energía**

Es importante distinguir entre fuente de energía y vector energético. Las fuentes de energía son convertibles en formas de energía aprovechable y se encuentran de manera natural en el planeta, mientras que los vectores energéticos también son convertibles en energía aprovechable, en los que es menester invertir energía proveniente de una fuente energética para fabricarlos, para posteriormente recuperarla a voluntad.

Las fuentes de energía las hay de cuatro clases:

- Las fuentes gratuitas de energía (energía renovable) son aquellas en las cuales la fuerza de conversión de energía proviene del entorno. Esta fuente incluye la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, gradiente térmico y energía azul, generalmente no contaminan.

- Las fuentes de energía renovable contaminante son aquellas que liberan agentes tóxicos durante el proceso de obtención de energía, pero son agentes que habían sido absorbidos del entorno por las plantas y animales de los que se obtiene la energía, por lo que al final no se han añadido sustancias tóxicas al entorno. Ejemplos de esta fuente son el aceite vegetal, el metano de la composta, las heces de los animales, la leña o el carbón de madera.

- Las fuentes de energía atómica se basan en el principio de convertir materia en energía, proveniente de la transformación del núcleo atómico; mediante la fisión o la fusión atómicas. Pueden producirse residuos peligrosos, y enormes cantidades de energía, por lo que se requiere un mayor conocimiento científico para su manejo apropiado.

- Las fuentes de energía fósil de combustión, extraídas de yacimientos naturales finitos acumulados durante largo tiempo, es una forma de energía química, producto de millones de años de la vida terrestre, como son el petróleo, el gas natural y el carbón mineral, hasta ahora la energía se ha obtenido por pirolisis.

Como productos de la descomposición de los compuestos orgánicos al quemarlos, se obtiene dióxido de carbono en combustión completa; o monóxido de carbono si es incompleta, además de óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros. Los cuales pueden alcanzar dosis letales en la atmósfera.

Estas fuentes de energía están ordenadas de menos a más contaminantes durante el proceso de obtención de energía, pero hay que puntualizar que absolutamente todas las fuentes producen alguna contaminación, algunas solo en la fabricación del mecanismo de obtención de la energía, y otras durante todo el proceso de obtención, de modo que un vehículo eléctrico será más o menos contaminante en función de cuál de estas haya sido su fuente última de energía.

En el caso de vehículos que utilizan un vector energético, como es por ejemplo el hidrógeno, su grado de contaminación dependerá de cómo se haya obtenido ese

hidrógeno, porque en estado natural solo se encuentra combinado con otros elementos, y para aislarlo hay que invertir mucha energía. Los métodos actuales de producción son la hidrólisis del agua, mediante electricidad, el refinado del gas natural para aislar el hidrógeno, proceso que libera el CO<sub>2</sub> del gas. Además, algunas compañías investigan otros métodos para obtener el hidrógeno, como la fotosíntesis de algas especiales que lo liberan del agua o a través de placas solares, como investiga el fabricante de automóviles japonés Honda, la única firma que ha obtenido la homologación para empezar a comercializar su vehículo eléctrico de pila de combustible de hidrógeno, el FCX Clarity, en Japón y Estados Unidos en 2008.

Las electrolineras (o QuickDrop) son estaciones de servicio donde los coches u otros vehículos eléctricos pueden cambiar las baterías y el conductor no tiene ni siquiera que bajarse del vehículo, todo este proceso en menos de dos minutos. Pretenden completar las necesidades de autonomía de los coches eléctricos para distancias largas, principalmente interurbanas.

#### **2.1.2.7 Contaminación y electricidad**

En el año 2009, el sector del transporte fue responsabilizado del 39 por ciento del consumo de energía final en España, con una intensidad energética que supera en más de un 40 por ciento la media europea (EU-27). El sector del transporte sigue siendo enormemente dependiente de los productos petrolíferos (en un 98 por ciento). En el caso del transporte por carretera, este representa más de la cuarta parte de las emisiones totales de CO<sub>2</sub> en España (25,4 %), correspondiéndole del orden del 80 por ciento del consumo energético del sector transporte y el 90 por ciento de sus emisiones de CO<sub>2</sub>.

Desde la perspectiva medioambiental, no cabe duda de la eficacia del vehículo eléctrico, tanto para reducir la emisión de los gases de efecto invernadero como para la reducción de la contaminación local tanto atmosférica como sonora.

La contaminación de todo vehículo (eléctrico o no) debe contabilizarse sumando las emisiones directas, que son las emisiones que produce el propio motor del vehículo, y las emisiones indirectas, que son las emisiones producidas en sistemas externos al vehículo pero fundamentales para este por proporcionarle la energía necesaria para funcionar. Aunque un vehículo eléctrico no produce emisiones contaminantes durante su funcionamiento, la generación de energía eléctrica necesaria para mover el vehículo



eléctrico da lugar a emisiones contaminantes y al consumo de recursos no renovables en mayor o menor medida, dependiendo de cómo se haya generado esa energía eléctrica. Un caso particular es el de los vehículos que utilizan electricidad renovable como fuente de energía primaria (este es el caso de los vehículos recargados por electricidad solar, también conocidos como solar-charged vehicle). Asimismo, durante la generación, el transporte y la transformación de energía eléctrica se pierde parte de la energía, por lo que la energía útil es inferior a la energía primaria, como se ha visto antes. Lo mismo sucede con el petróleo, que además de los gastos de transporte debidos a la diferencia geográfica de los lugares de producción y de consumo, es necesario transformar en refinerías en los diferentes productos derivados del petróleo, incluyendo los carburantes.

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de energía que produce cada tipo de central de la Red Eléctrica Española, su relevancia, los kg de CO<sub>2</sub> que se emiten por cada kWh producido en cada tipo de central y los kg de CO<sub>2</sub> que es necesario emitir en la central para que un vehículo eléctrico recorra 100 km, de acuerdo con que (como figura en tablas anteriores) para que un vehículo eléctrico recorra 100 km es necesario producir 15,35 kWh en la central eléctrica.

**Tabla 1: Balance eléctrico y emisiones de España 2010 (hasta el 20 de abril)**

Fuente: [Emisiones](#) [34]

<b>Tabla 1: Balance eléctrico y emisiones de España 2010 (hasta el 20 de abril)</b>				
<b>Centrales REE</b>	<b>Energía (MWh)</b>	<b>Energía (%)</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>/kWh</b>	<b>kgCO<sub>2</sub>/100km</b>
<b>Hidráulica</b>	17.360.755	19,93	0,000	0,000
<b>Nuclear</b>	18.055.812	20,72	0,000	0,000
<b>Carbón</b>	4.551.776	5,22	0,950	0,762
<b>Fuel + Gas</b>	414.844	0,48	0,700	0,051
<b>Ciclo Combinado</b>	17.158.538	19,69	0,370	1,118
<b>Eólica</b>	15.316.833	17,58	0,000	0,000
<b>Resto Régimen Especial</b>	14.271.036	16,38	0,270	0,679

<b>TOTAL</b>	87.129.594	100,00	0,170	2,610
--------------	------------	--------	-------	-------

En el caso de España, el aprovechamiento de las fuentes de energías renovables, libres de emisiones de CO<sub>2</sub>), representan en 2011 el 20 por ciento de la generación eléctrica y se pretende llegar en 2020 a solo el 40 por ciento.

Siendo las emisiones de la red eléctrica de España en 2010 (del 1 de enero al 20 de abril) de 0,17 kgCO<sub>2</sub>/kWh, un vehículo eléctrico tendrá unas emisiones indirectas (y totales) de 2,61 kgCO<sub>2</sub>/100km. Por otro lado, en Europa se estima que la media de emisiones de la red eléctrica es actualmente (2009) de unos 0,43 kg CO<sub>2</sub>/kWh lo que conlleva unas emisiones del vehículo eléctrico en Europa de unos 6,6 kg CO<sub>2</sub>/100km. No obstante, se calcula que desde ahora estas cifras descendan gradualmente, de forma que en 2030 las emisiones medias de la red eléctrica en Europa sean de 0,13 kgCO<sub>2</sub>/kWh (frente a los 0,43 actuales), lo que, unido al mayor rendimiento de los motores en esa época (unos 11 kWh/100km en 2030), conseguirá que en 2030 las emisiones medias europeas del vehículo eléctrico sean de unos 1,43 kgCO<sub>2</sub>/100km (frente a los 6,6 actuales).

Cabe apuntar que las emisiones de CO<sub>2</sub>/kWh de la Red Eléctrica Española están teniendo un rápido y repentino descenso desde 2007, año en el que se emitieron 0,368 kgCO<sub>2</sub>/kWh, que comparado con los 0,170 kgCO<sub>2</sub>/kWh de 2010, supone una reducción del 53,8% de las emisiones por kWh en solo 3 años. En 2007 un vehículo eléctrico en España habría emitido 5,64 kgCO<sub>2</sub>/100km, frente a los 2,61 de 2010. Este rápido descenso en las emisiones de CO<sub>2</sub>/kWh en España se debe principalmente al desuso de las centrales de carbón (las más contaminantes), que de 1995 al 2007 han pasado de suponer el 41,6% a suponer solo el 25,6% de la producción total de energía eléctrica, para luego reducir drásticamente este porcentaje desde entonces hasta el 2010, quedando en su relevancia actualmente (2010) en el 5,2%. Las centrales nucleares mantienen una relevancia constante en torno al 20%, las eólicas mantienen un ascenso casi lineal y las de ciclo combinado modifican su producción según abunde o escasee la energía procedente de las centrales hidráulicas (cuya producción depende de factores climáticos no controlables).

Conviene comparar las cifras anteriores de contaminación del vehículo eléctrico con las del vehículo de motor de gasolina para hacernos una idea de la relación entre unos y otros en términos de emisiones. Tal y como se ha calculado con el vehículo eléctrico (solo que este no tiene emisiones directas, solo indirectas), las emisiones que se exponen a continuación son las emisiones totales del vehículo de motor de combustión, es decir, las directas (las que proporciona el fabricante) más las indirectas (que son aproximadamente una adición de un 15%, debido a emisiones en el refinamiento del petróleo, transporte, etc. ). Así, las emisiones totales de un utilitario pequeño de motor diesel (Renault Clio dci) son de 13,8 kgCO<sub>2</sub>/100km (12 de emisiones directas), las de las nuevas matriculaciones en España en 2009 son de unos 16,0 kgCO<sub>2</sub>/100km (13,9 de emisiones directas) y las emisiones del parque automovilístico medio actual (2009) de Europa son de unos 18,4 kgCO<sub>2</sub>/100km (16,0 de emisiones directas).

Existe controversia respecto al uso de vehículos eléctricos y la fuente de generación de la electricidad. Para Jeff Guyton, “un motor de combustión combinado con un motor eléctrico es más sostenible que un vehículo eléctrico puro”. Así, un coche eléctrico recargado con energía procedente del carbón emite 200 g de contaminantes por km recorrido, 165 g si ésta procede del petróleo y 100 si procede de gas licuado de petróleo (GNL); mientras que un coche híbrido emite la misma cantidad de CO<sub>2</sub> que un coche que utilice energía generada por GNL. Por lo tanto, habría que hacer una verdadera reconversión hacia las energías renovables antes que sustituir todo el parque móvil.

#### **2.1.2.8 Consumo**

Los vehículos eléctricos destacan por su alto rendimiento en la transformación de la energía eléctrica de la batería en la energía mecánica con la que se moverá el vehículo (60-85%), frente al rendimiento de la transformación de la energía del depósito de gasolina en la energía mecánica que mueve un vehículo de gasolina (15-20%). El presente y futuro de las baterías del vehículo eléctrico parece pasar por la batería de ion de litio, que cada vez se fabrica con mayor densidad de carga y longevidad permitiendo mover motores más potentes, aunque por ahora la autonomía media de un utilitario eléctrico se encuentra en torno a los 150 km. No obstante, deportivos eléctricos más caros han conseguido aumentar esa autonomía hasta los 483 km, como el modelo de 70 kWh del Tesla Roadster. Con el objetivo de saber el consumo que supone el vehículo eléctrico, existen distintas herramientas, como el programa CEVNE o el usar tablas de

consumo cada 100 km de los principales vehículos eléctricos salidos y por salir en un corto plazo de tiempo y el consumo de kWh de la batería por cada 100 km de cada uno de ellos y de la media.

**Tabla 2: kWh<sub>Batería</sub>/100km que consumen los principales vehículos eléctricos**

Fuente: [Consumo](#) [35]

<b>Tabla 2: kWh<sub>Batería</sub>/100km que consumen los principales vehículos eléctricos</b>			
<b>Modelo</b>	<b>(kWh)</b>	<b>Autonomía (km)</b>	<b>kWh<sub>Batería</sub>/100km</b>
<b>Mega e-City</b>	9	100	9
<b>Reva L-ion</b>	11	120	9,17
<b>Think City</b>	25	200	12,50
<b>Mitsubishi i-Miev</b>	16	130	12,31
<b>Citröen C-Zero</b>	16	130	12,31
<b>Renault Fluence ZE</b>	24	175	13,71
<b>Nissan Leaf</b>	24	160	15,00
<b>Tesla Roadster 42</b>	42	257	16,34
<b>Tesla Roadster 70</b>	70	483	14,49
<b>MEDIA</b>	26,11	193	12,76

Entendemos con esto (sin tomar en cuenta el Mega e-City que fue añadido a la tabla después), que el consumo medio cada 100 km de un vehículo eléctrico actualmente es de 13,78 kWh. Sin embargo, solo es el consumo de los kWh que contiene la batería. Como el proceso de carga de la batería o el transporte y distribución de la electricidad tienen pérdidas causadas por no tener un rendimiento perfecto, la cantidad de kWh que necesitan extraerse de una toma de corriente o que se fabrican en la central eléctrica es algo superior. Para obtenerlos debemos atender a la siguiente tabla de rendimiento del paso de la electricidad por cada elemento del sistema que va desde la energía del medio hasta la energía mecánica que mueve el vehículo.

### Tabla 3: Rendimiento/Eficiencia del Vehículo Eléctrico en España

Fuente: [Rendimiento](#) [36]

Tabla 3: Rendimiento/Eficiencia del Vehículo Eléctrico en España		
Sistema	Notación	Rend. (%)
Central (Ponderación)	$\eta_g$	48,47
Transporte y Distrib.	$\eta_t$	93,70
Convertidor Eléctrico	$\eta_c$	97,00
Batería	$\eta_b$	98,80
Rend. Enchufe-Batería	$\eta_c \cdot \eta_b$	95,84
Rend. Central-Batería	$\eta_t \cdot \eta_c \cdot \eta_b$	89,80
Sist. Mec. Vehículo	$\eta_{mec}$	80,00
Motor y Sist. Eléc.	$\eta_m$	88,30
Rend. Batería- $E_{Mec}$	$\eta_{mec} \cdot \eta_m$	70,64
Rend. Central- $E_{Mec}$	$\eta_t \cdot \eta_c \cdot \eta_b \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_m$	63,43
TOTAL (Medio- $E_{Mec}$ )	$\eta = \eta_g \cdot \eta_t \cdot \eta_c \cdot \eta_b \cdot \eta_{mec} \cdot \eta_m$	30,75

Cabe apuntar que  $\eta_g$  hace referencia al rendimiento medio de la Red Eléctrica Española, que ha sido corregida siguiendo datos extraídos la propia web, ya que recientemente se ha situado sobre la media europea, que está en torno al 38%. Con esto podemos calcular la energía real que debe pasar por cada elemento del sistema para que lleguen esos 13,78 kWh a la batería de un coche eléctrico cada 100km.

**Tabla 4: Consumo coche eléctrico por cada 100km en cada parte del sistema**

Fuente: [Consumo-100 km](#) [37]

<b>Tabla 4: Consumo coche eléctrico por cada 100km en cada parte del sistema</b>				
<b>kWh<sub>EMec</sub>/100km</b>	<b>kWh<sub>B</sub>/100km</b>	<b>kWh<sub>E</sub>/100km</b>	<b>kWh<sub>C</sub>/100km</b>	<b>kWh<sub>M</sub>/100km</b>
Son los kWh que cada 100km se transforman en energía mecánica aprovechable, a partir de los 13,78 kWh de la batería	Son los kWh que cada 100km se consumen de la batería	Son los kWh que cada 100km es necesario extraer del enchufe de carga para proporcionar los 13,78 kWh a la batería. Son los kWh que pagamos cada 100 km	Son los kWh que cada 100km se han producido en la central para proporcionar los 13,78 kWh a la batería. Son los kWh empleados para los cálculos de contaminación de kgCO <sub>2</sub> /kWh de las centrales	Son los kWh que cada 100km es necesario extraer del medio para proporcionar los 13,78 kWh a la batería
9,73	13,78	14,38	15,35	31,66

Así, de esos 13,78 kWh consumidos de la batería de un coche eléctrico cada 100 km: se transforman en energía mecánica para desplazar el vehículo 9,73 kWh, será necesario extraer de una toma de corriente 14,38 kWh, será necesario producir en una central eléctrica 15,35 kWh y será necesario extraer del medio 31,66 kWh. Por los motivos antes apuntados (diferente  $\eta_g$  respecto de Europa) el dato de los 31,66 kWh es solo válido para España, mientras que como media Europea sería algo superior, en torno a 40 kWh.

Debido a que se necesita extraer de la toma de corriente 14,38 kWh para recorrer 100km en un vehículo eléctrico, este será el número de kWh que aparecerá en la factura por cada 100km recorridos. Y, estando en España el costo por kWh para pequeños

consumidores en aproximadamente 0,115 €. El costo que supone proporcionar la energía necesaria a un vehículo eléctrico en España es de unos 1,65€/100km.

Este dato es uno de los puntos fuertes de los vehículos eléctricos a baterías. Comparándolo con el consumo de un vehículo equipado con un motor de combustión interna, es verdaderamente ventajoso. Por ejemplo: un pequeño utilitario con un motor diesel (Renault Clío dci), combinando recorrido urbano y extra-urbano consume 4,7 L/100 km. Lo cual, con el coste actual del gasóleo (unos 1,35 €/L), supone 6,35 €/100 km.

Incluso es un gasto por kilómetro muy pequeño comparándolo con un vehículo híbrido. El Toyota Prius tiene un consumo medio homologado en circuito combinado de 3,9 L/100km, un poco inferior al del utilitario convencional. En euros supondría un coste de 5,27 €/100km.

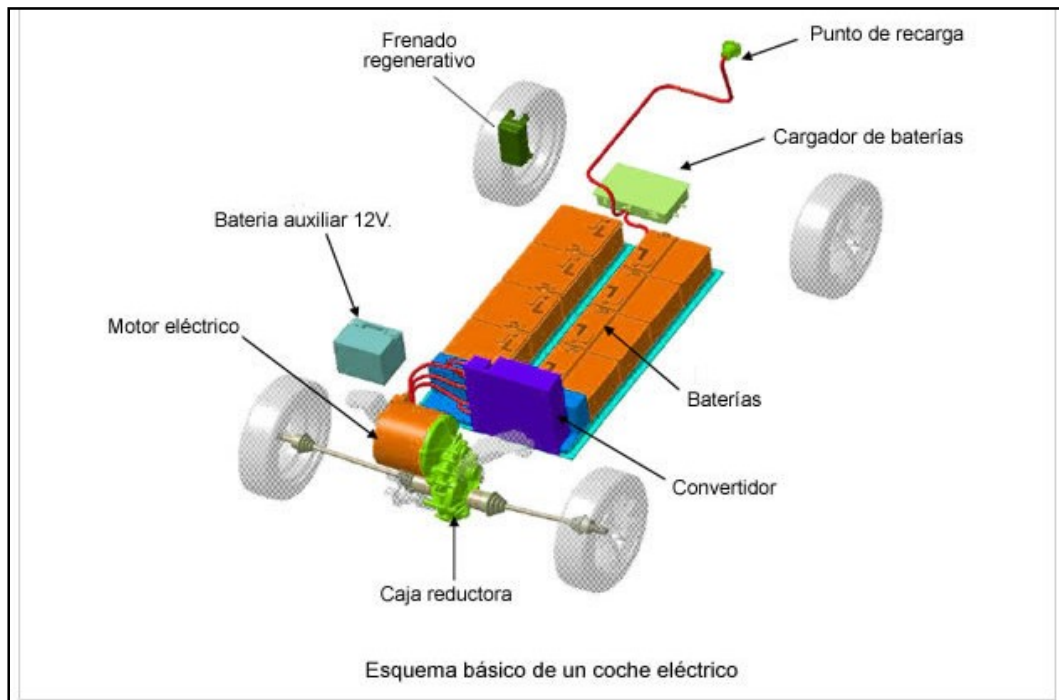
#### **2.1.2.9 Partes de un vehículo eléctrico**

Las principales partes que componen el sistema eléctrico de este tipo de vehículos son:

- Motor: puede ser un motor de corriente alterna o de corriente continua. Puede tener uno o varios, dependiendo del diseño. También recupera energía.
- Cargador: absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua, para de este modo poder cargar la batería principal.
- Baterías. Las baterías de iones de litio almacenan la energía proveniente del cargador en forma de corriente continua. Así se alimenta todo el coche eléctrico. En los coches eléctricos que tienen un motor eléctrico de corriente alterna, la batería va conectada a un inversor.
- Transformadores: convierten la corriente alterna, que es la que se suministra por la red, en corriente continua, que es la que se acumula en las baterías.
- Inversores: transforman la corriente continua en corriente alterna.
- Controladores: comprueban el correcto funcionamiento por eficiencia y seguridad y regulan la energía que recibe o recarga el motor.

## Figura 1: Esquema básico de un coche eléctrico

Fuente: [Partes de un vehículo eléctrico](#) [1]



### 2.1.3 Batería de un vehículo eléctrico

El componente de mayor importancia de un vehículo eléctrico es su pack de baterías.

En la construcción de vehículos eléctricos es de vital importancia contar con una buena fuente de alimentación primaria de energía ya que esta es la principal encargada de impulsar el vehículo. Por esta atribución las baterías de alto voltaje (HV) empleadas en dicha construcción deben satisfacer distintas prestaciones tales como: durabilidad, eficiencia, y ligereza en cuanto a peso.

Una batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente pila, batería o acumulador, es un dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en corriente eléctrica. Cada celda consta de un electrodo positivo, o ánodo, un electrodo negativo, o cátodo, y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, permitiendo que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función, alimentar un circuito eléctrico.



## Figura 2: Batería

Fuente: [Batería](#) [2]



Se conocen también como celdas secundarias, ya que pueden ser recargadas sin más que revertir las reacciones químicas en su interior mediante el suministro de energía eléctrica a la celda hasta el restablecimiento de su composición original. Las celdas secundarias (recargables) se pueden descargar y recargar varias veces, debido a que la composición original de los electrodos puede ser restaurado por la corriente inversa.

### 2.1.3.1 Terminología

En esta sección se detalla la terminología que hace referencia a los parámetros e índices que definen las características de un pack de baterías, proporcionando mediante esta una base fundamental para el entendimiento de las condiciones de funcionamiento y las especificaciones denominadas por distintos fabricantes.

- Celda: Menor elemento que en conjunto y de acuerdo a una configuración (Serie o paralelo) forma un pack de baterías para alcanzar valores de corriente o tensión deseados.
- Estado de carga (SOC) %: Hace referencia al estado de carga de la batería en unidades porcentuales, teniendo como referencia al cien por cien de la capacidad cuando la batería está completamente cargada.
- Profundidad de descarga (DOD): Es la relación entre la capacidad en amperios/hora (Ah) entregada por una batería durante su descarga y la capacidad

nominal de la misma.

- Capacidad: Se refiere a la cantidad medida de amperios/hora (Ah), que puede suministrar o aceptar una batería. Una capacidad de carga de 1 amperio-hora significa que la batería puede suministrar una intensidad de corriente de 1 A durante 1 hora antes de agotarse. Especial importancia tiene en algunos casos la intensidad de corriente máxima que puede suministrar la batería, medida en amperios (A). Por ejemplo, los motores de arranque de los automóviles, cuando se ponen en funcionamiento, exigen intensidades de corriente muy grandes a la batería (centenas de A) durante un breve tiempo.

- Capacidad nominal: Capacidad posible que puede entregar una batería desde su plena carga, hasta alcanzar una tensión en descarga determinada a una temperatura ambiente fijada y utilizando una razón de descarga específica.

- Tensión: La tensión o diferencia de potencial (en voltios) es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso al cual se le destina. Viene fijado por el potencial de reducción del par redox utilizado; suele estar entre 1 V y 4 V por elemento. Se la define como el trabajo realizado sobre la unidad de carga circulante.

- Intensidad de corriente: Es la carga eléctrica neta (medida en culombios) transferida a través de una sección transversal de un conductor por unidad de tiempo. En motores de corriente continua cuanto mayor es la corriente mayor será el par motor que puede suministrar el motor. Siendo simplista más potencia podrá desarrollar dicho motor.

- Resistencia: La resistencia de las baterías es muy inferior a la de las pilas, lo que les permite suministrar intensidades de corriente mucho más intensas que las de estas, sobre todo de forma transitoria. Por ejemplo, la resistencia interna típica de una batería de plomo-ácido es del orden de 6 mΩ (miliohmios) y la de otra de Ni-Cd, de 9 mΩ.

- Máxima corriente de descarga continua: Máxima corriente a la que una batería puede descargarse de forma continua. Este límite es establecido por los diferentes fabricantes con el fin de evitar daños o una 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), esta corriente suele ser sensiblemente más alta que la máxima corriente continua.
- Autodescarga: Pérdida de capacidad de una batería, cuando se mantiene en circuito abierto.
- Sobrecarga: Se produce cuando se continúa cargando una batería, después de que se pierde la eficiencia de las reacciones electroquímicas al cargar.
- Constante de carga/descarga “C”: es una constante creada por los fabricantes que depende de los miliamperios-hora especificados en la batería y que se usa para poder señalar más fácilmente la intensidad a la que debe cargarse o descargarse una batería sin que ésta sufra daños.

En el mercado, por ejemplo, las pilas LiPo vienen rotuladas con 20C o similares, este número indica la máxima capacidad de descarga y se destaca en los rótulos porque según el uso que se les dé, por ejemplo para radioaficionados que compiten en carreras de auto o aviones les indicará el tiempo de vuelo, la duración variará.

Ejemplo: Para una pila LiPo de 1200 mAh. Luego el fabricante colocaría «No cargue la batería a más de 1C», entonces  $1 \cdot 1,2 = 1,2$ , por lo que no se debería cargar a más de 1,2 A. También señala «No descargue la batería a más de 7C», entonces  $7 \cdot C = 7 \cdot 1,2 = 8,4$ , por lo que no deberíamos descargar la LiPo del ejemplo con una intensidad mayor de 8,4 A.

- Efecto memoria: El efecto memoria es un efecto no deseado que afecta a las baterías y por el cual en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada). La consecuencia es la reducción de su capacidad para almacenar energía.
- Masa: Otra de las características importantes de una batería es su masa y la relación entre ella y la capacidad eléctrica (Ah/kg) o la energía (Wh/kg) que puede suministrar. En algunos casos puede ser también importante el volumen que ocupe (Ah/m<sup>3</sup>) o (Ah/litro).

- Densidad de Energía: Cantidad de 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).
- Rendimiento: El rendimiento es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga. La batería de plomo-ácido tiene un rendimiento de más del 90 %. Las baterías Ni-Cd un 83 %.
- Vida útil: Tiempo máximo en el que la batería puede mantener sus prestaciones, o el número de veces que la batería puede ser recargada.

### 2.1.3.2 Proceso químico

El principio de funcionamiento de un acumulador está basado esencialmente en un proceso químico reversible llamado reducción-oxidación (también conocida como redox), en el que uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y el otro se reduce (gana electrones); es decir, un proceso cuyos componentes no resulten consumidos ni se pierdan, sino que meramente cambian su estado de oxidación y, que a su vez pueden retornar a su estado original en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son, en el caso de las baterías y pilas recargables, el cierre del circuito externo durante el proceso de descarga y la aplicación de una corriente externa durante la carga.

Estos procesos son comunes en las relaciones entre los elementos químicos y la electricidad durante el proceso denominado electrólisis y en los generadores voltaicos o pilas. Los investigadores del siglo XIX dedicaron numerosos esfuerzos a observar y a esclarecer este fenómeno, que recibió el nombre de polarización. Un acumulador es, así, un dispositivo en el que la polarización se lleva a sus límites alcanzables, y consta, en

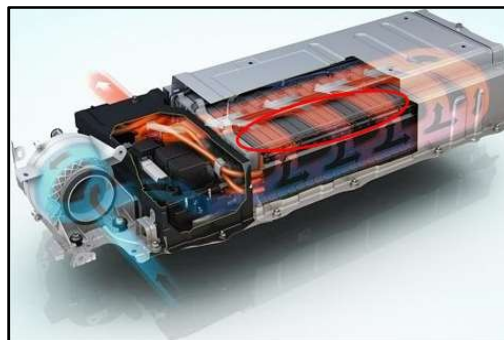
general, de dos electrodos, del mismo o de distinto material, sumergidos en un electrolito.

### 2.1.3.3 Pack de baterías

Un pack de baterías es la unión de varias celdas electrolíticas configuradas en serie o paralelo de manera tal que aumente su voltaje o amperaje. Para su diseño se aplican conocimientos que están enfocados a los campos electroquímicos, eléctricos, mecánicos, termodinámica, y de control. El pack está ideado básicamente para proporcionar una tensión de alto voltaje que sea capaz de impulsar un tren motriz, es por ello que generalmente se encuentra sellado en una caja metálica que conserva un aislamiento contra las altas tensiones que produce el mismo. Asimismo, los paquetes de baterías pueden variar dependiendo del fabricante ya sea en tamaño o en prestaciones, estos además se encuentran divididos en varios módulos de igual cantidad de celdas electrolíticas que a su vez poseen un aislamiento plástico entre sí.

### Figura 3: Pack de baterías

Fuente: [Pack de baterías](#) [3]



Para prevenir que el pack de baterías se sobrecargue de gases que son emitidos de los distintos módulos, es necesario dirigirlos a estos hacia afuera a través de una manguera de ventilación, mientras que la disipación térmica del pack se lleva a cabo a través de algún sistema de refrigeración por líquido o aire.

Por último, posee un sistema de gestión de la batería (BMS) que es el encargado de monitorear y gestionar la información de las celdas y consecuentemente de los

módulos para mantener el equilibrio térmico de los mismos obteniendo así su máximo rendimiento.

#### **2.1.3.4 Acondicionamiento del pack de baterías**

En un pack de baterías tanto la tensión como la corriente en sus bornes deben coincidir con los del dispositivo con que se encuentra interactuando. Debido a los requerimientos de disponer mayor energía en un sistema se han elegido distintas combinaciones de interconexiones entre celdas electrolíticas, proporcionando la tensión y corriente requerida.

Los principales parámetros para un acondicionamiento adecuado de pack de baterías son los siguientes:

-Configuraciones del pack de baterías

\*Serie

\*Paralelo

-Diseño estructural del pack de baterías

\*Conexión eléctrica y protección

#### **2.1.3.5 Configuraciones del pack de baterías**

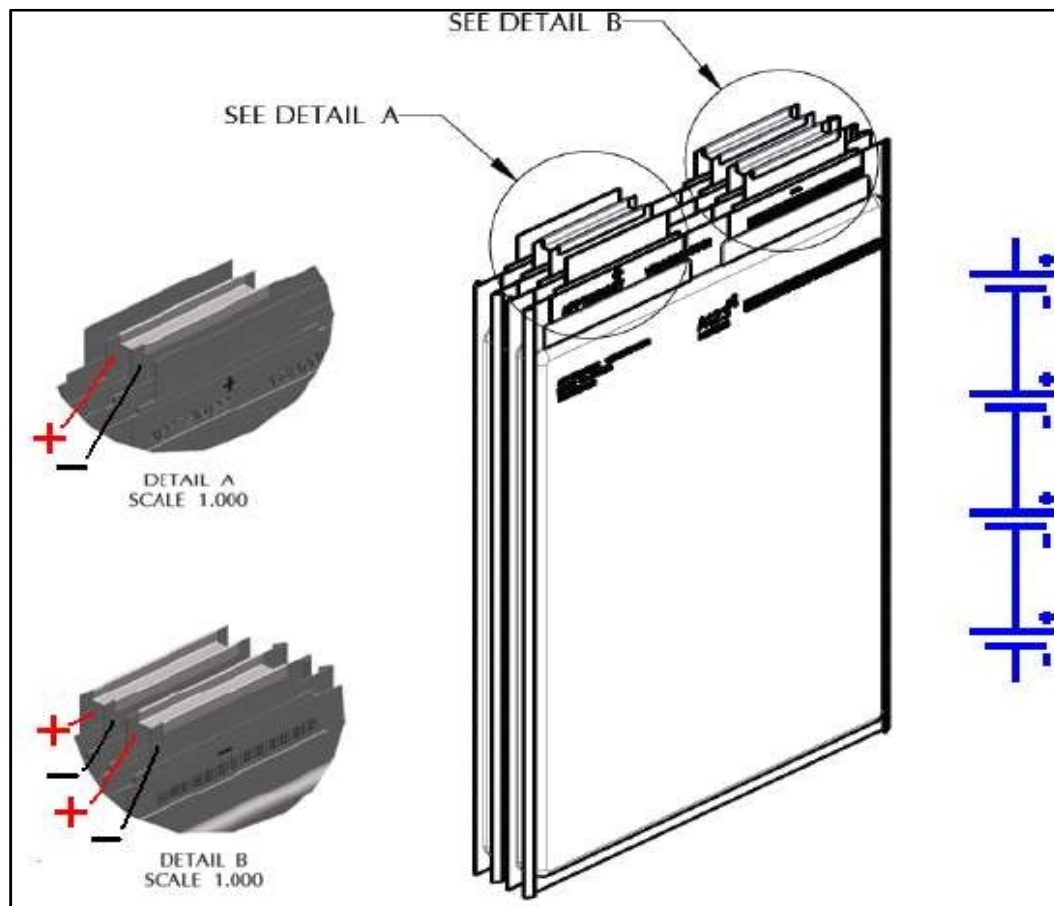
En un acumulador de energía las celdas se pueden combinar ya sea en serie o en paralelo con el fin de obtener mayores tensiones de funcionamiento y de alimentación.

- Configuración en serie:

En este caso las celdas combinadas en serie lograrán mayores tensiones de funcionamiento mediante la conexión del terminal positivo de una celda a la terminal negativa de la siguiente celda. El voltaje nominal será la resultante del producto entre el número de celdas y el voltaje de cada celda.

**Figura 4: Pack de baterías en serie**

Fuente: [Pack en serie](#) [4]

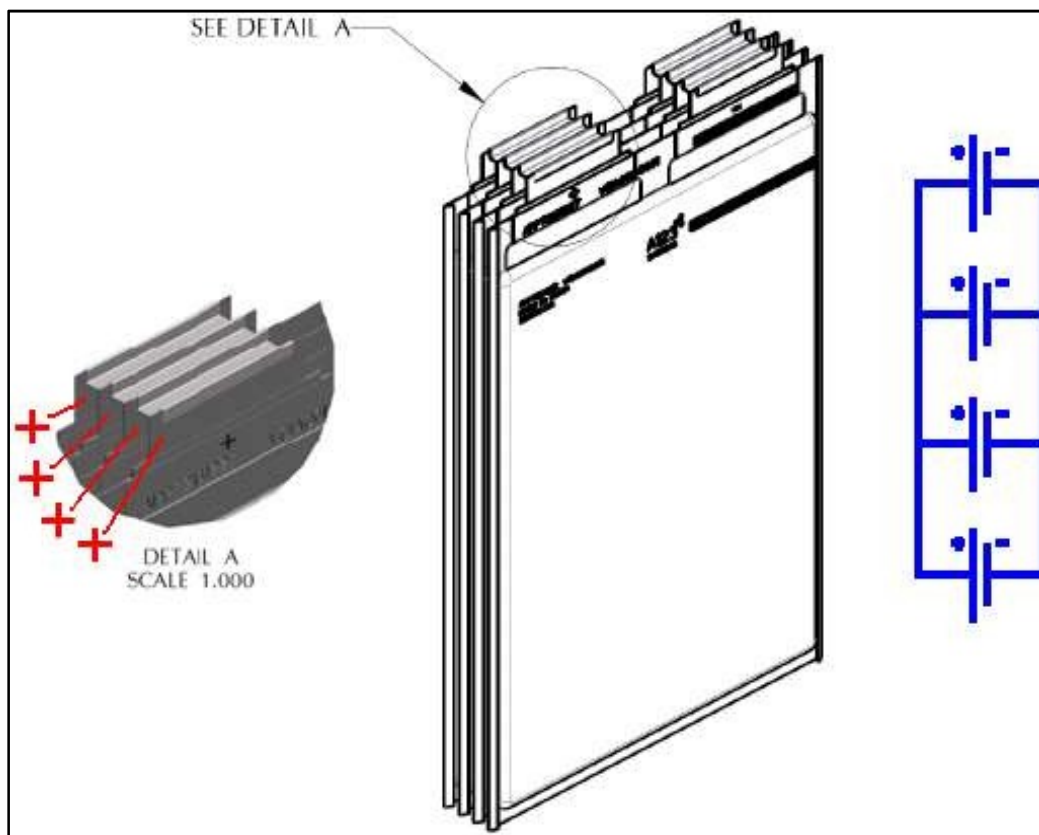


-Configuración en paralelo:

Las celdas configuradas en paralelo por su parte pueden alcanzar mayores valores de corriente a través de la conexión de los terminales de una misma polaridad. Su corriente nominal será la resultante del producto entre el número de celdas y el amperaje de cada celda.

### Figura 5: Pack de baterías en paralelo

Fuente: [Pack en paralelo](#) [5]



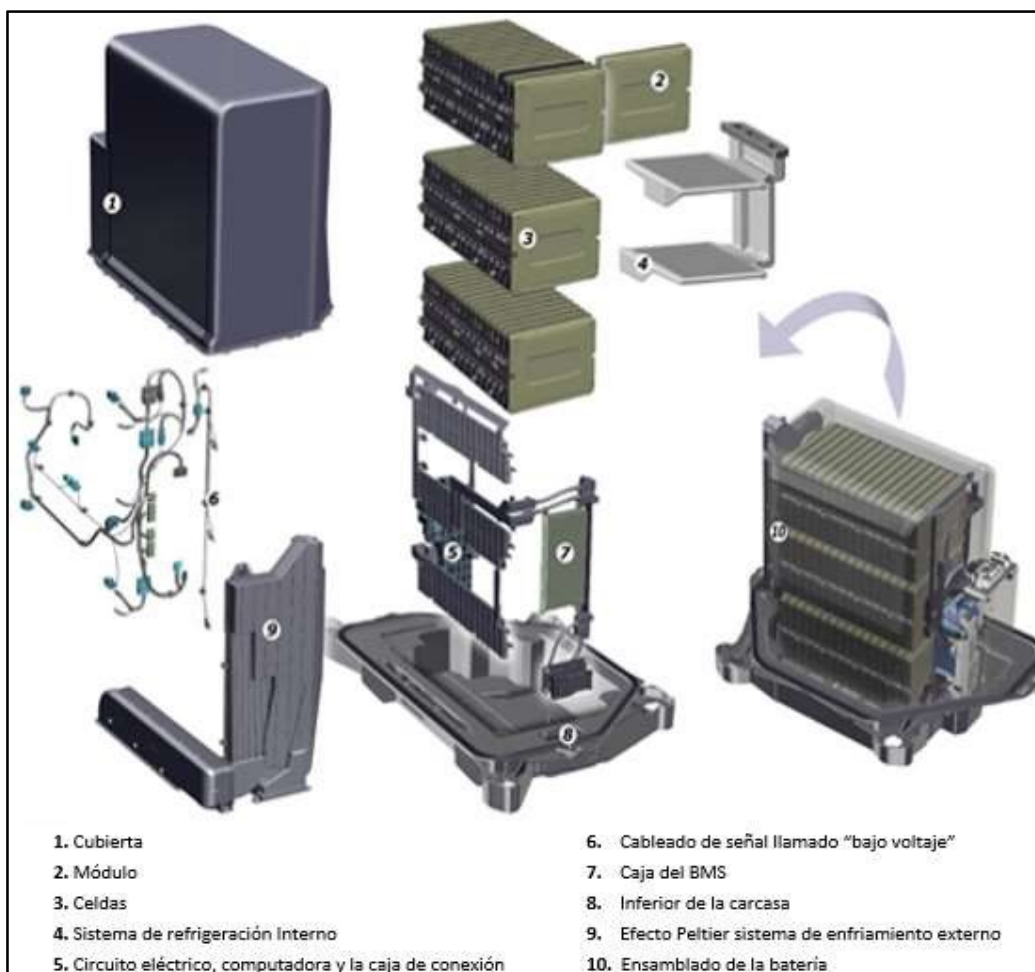
#### 2.1.3.6 Diseño estructural

Un excelente diseño de pack de baterías protege y replica el rendimiento de las celdas individuales y a su vez el de múltiples celdas en el pack. Un buen diseño estructural proporciona además una gran protección mecánica y eléctrica, así como también la integridad y estabilidad térmica.



## Figura 6: Diseño estructural del pack de baterías

Fuente: [Diseño del pack](#) [6]



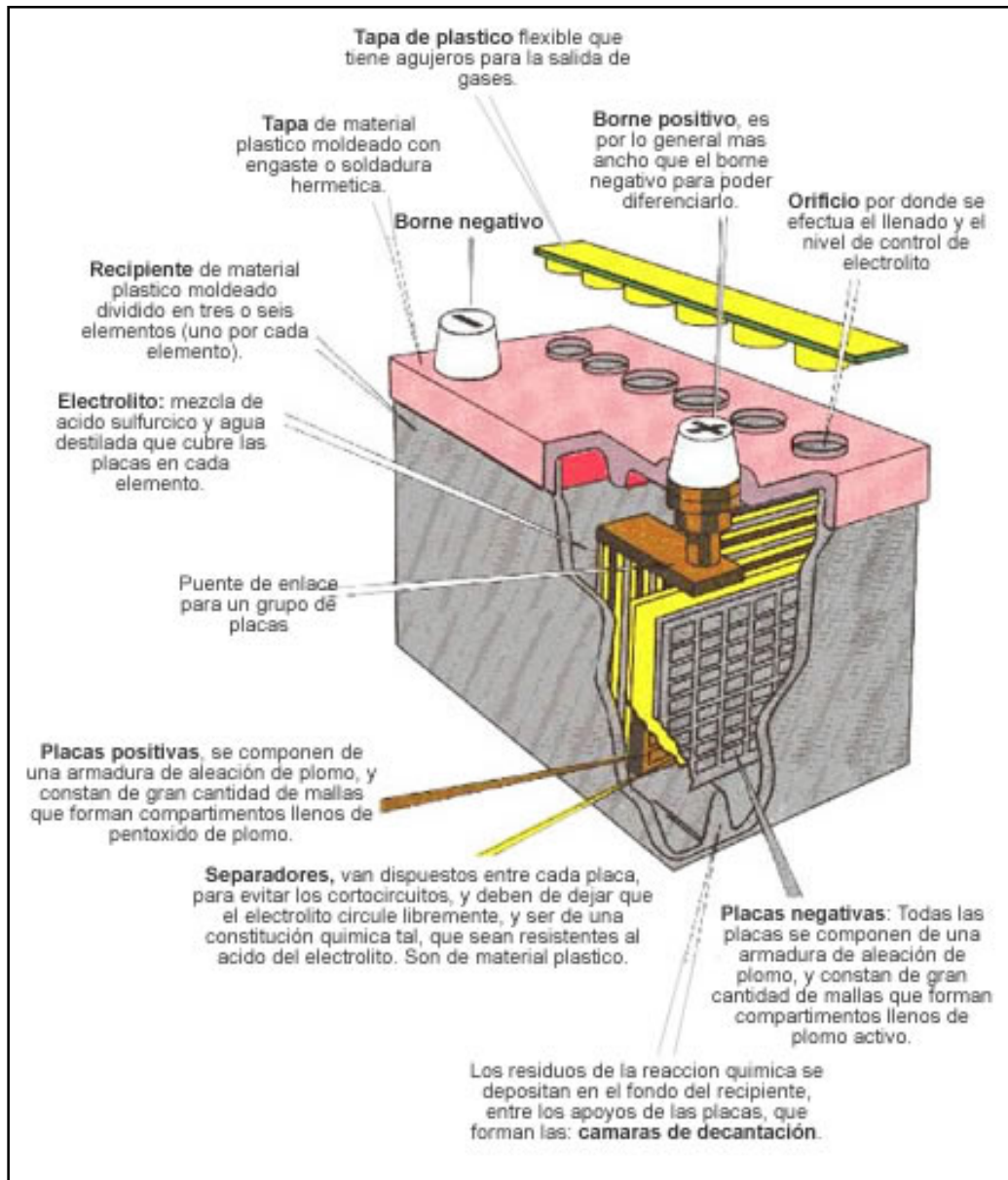
### 2.1.3.7 Conexiones eléctricas y protección

Las conexiones eléctricas son esenciales en el diseño estructural de la batería ya que estas deben estar diseñadas con exactitud, para soportar las corrientes máximas en la duración más extendida de tiempo de funcionamiento. Asimismo, deberán estar estrictamente diseñadas para evitar cortocircuitos ocasionales producidos por la vibración del vehículo.

### 2.1.3.8 Partes de la batería

Figura 7: Partes de la batería

Fuente: [Partes de la batería](#) [7]



-Sistema de gestión de baterías (BMS): han sido un factor importante en el éxito de la integración de las baterías para todo tipo de aplicaciones. Una de estas aplicaciones es vehículos eléctricos, que representan una tendencia en la movilidad favorable al medio ambiente.

Sistema de gestión de la batería (BMS) es cualquier sistema electrónico que gestiona una batería recargable para proteger la batería cuando esta ópera fuera de su área segura de funcionamiento. Además realiza el seguimiento de su estado, el cálculo de los datos secundarios, información de los datos y el control de su medio ambiente para asegurar el equilibrio de la misma.

### Figura 8: Sistema de gestión de la batería (BMS)

Fuente: [BMS](#) [8]



Además de equilibrar las celdas, un BMS:

- Evitará la sub tensión en las celdas desconectando la carga cuando sea necesario.
- Evitará la sobretensión en las celdas reduciendo la corriente de carga o deteniendo el proceso de carga.
- Desconectará el sistema en caso de sobrecalentamiento.

Por lo tanto, un BMS es indispensable para evitar que se produzcan daños en baterías de gran tamaño.

El sistema consiste de:

- Un controlador maestro

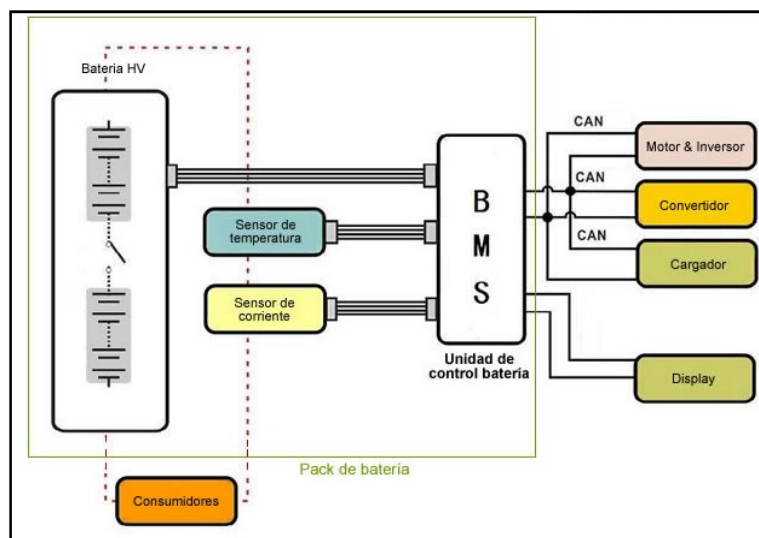
- Un número de tarjetas de celdas igual al número de celdas

Un sistema también puede incluir:

- Uno o más sensores de corriente para detectar la corriente de carga y la fuente.
- Un sensor de alto voltaje para detectar el voltaje del paquete y la pérdida del aislamiento.
- Impulsadores de balance para aumentar el nivel de corriente de equilibrio por parte de una tarjeta de celdas.

### Figura 9: Sistema BMS

Fuente: [Sistema BMS](#) [9]



El controlador BMS es capaz de realizar la regulación de la temperatura de diferentes maneras, teniendo en cuenta que no todas estas características están disponibles para todo software.

El ventilador de salida puede ser utilizado para comandar al enfriamiento de la batería cuando está demasiado caliente o para hacer funcionar un calefactor cuando la batería está demasiado fría. Las cargas de equilibrio de las celdas pueden ser utilizadas para calentar dichas celdas cuando la batería está demasiado fría.

- Relé automotriz: El relé o relevador es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico; en el que por medio de una

bobina y un electroimán se acciona un juego de uno o varios contactos, permitiendo abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

### Figura 10: Relé automotriz

Fuente: [Relé](#) [10]



#### 2.1.3.9 Tipos de baterías

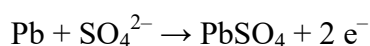
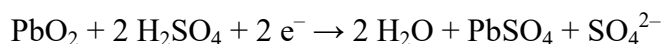
\*Baterías de plomo-ácido:

Está constituida por dos electrodos de plomo, de manera que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (II) ( $\text{PbSO}_4$ ) incrustado en una matriz de plomo metálico en el elemento metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico.

Su funcionamiento es el siguiente:

Carga: Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo (II) pierde electrones o se reduce a plomo metal en el polo negativo (cátodo), mientras que en el ánodo se forma óxido de plomo (IV) ( $\text{PbO}_2$ ). Por lo tanto, se trata de un proceso de dismutación. No se libera hidrógeno, ya que la reducción de los protones a hidrógeno elemental está cinéticamente impedida en la superficie de plomo, característica favorable que se refuerza incorporando a los electrodos pequeñas cantidades de plata. El desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronasen mecánicamente partes del mismo, alteraciones irreversibles que acortarían la duración del acumulador.

Descarga: Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo (IV), que ahora funciona como cátodo, se reduce a sulfato de plomo (II), mientras que el plomo elemental se oxida en el ánodo para dar igualmente sulfato de plomo (II). Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo. Se trata, por lo tanto, de una conmutación. Los procesos elementales que transcurren son los siguientes:



En la descarga baja la concentración del ácido sulfúrico, porque se crea sulfato de plomo (II) y aumenta la cantidad de agua liberada en la reacción. Como el ácido sulfúrico concentrado tiene una densidad superior a la del ácido sulfúrico diluido, la densidad del ácido puede servir de indicador para el estado de carga del dispositivo.

Ciclos y vida: No obstante, este proceso no se puede repetir indefinidamente, porque, cuando el sulfato de plomo (II) forma cristales, ya no responden bien a los procesos indicados, con lo que se pierde la característica esencial de la reversibilidad. Se dice entonces que la batería se ha “sulfatado” y es necesario sustituirla por otra nueva. Las baterías de este tipo que se venden actualmente utilizan un electrolito en pasta, que no se evapora y hace mucho más segura y cómoda su utilización.

Ventajas:

- Bajo costo.
- Fácil fabricación.

Desventajas:

- No admiten sobrecargas ni descargas profundas, viendo seriamente disminuida su vida útil.
- Altamente contaminantes.
- Baja densidad de energía: 30 Wh/kg.



- Peso excesivo, al estar compuesta principalmente de plomo; por esta razón su uso en automóviles eléctricos se considera poco lógico por los técnicos electrónicos con experiencia. Su uso se restringe por esta razón.

Características:

- Voltaje proporcionado: 2 V/elemento.

Cuando varias celdas se agrupan para formar una batería comercial, reciben el nombre de vasos, que se conectan en serie para proporcionar un mayor voltaje. Dichos vasos se contienen dentro de una caja de polipropileno copolímero de alta densidad con compartimientos estancos para cada celda. La tensión suministrada por una batería de este tipo se encuentra normalizada en 12 voltios si posee 6 elementos o vasos para vehículos ligeros y 24 Voltios para vehículos pesados con 12 vasos. En algunos vehículos comerciales y agrícolas antiguos todavía se utilizan baterías de 6 voltios, de 3 elementos o vasos.

- Densidad de energía: 30 Wh/kg.

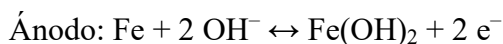
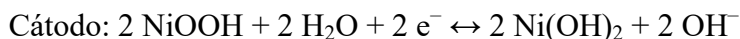
Usos:

Este tipo de acumulador se sigue utilizando en muchas aplicaciones: en los automóviles (para el arranque), sistemas fotovoltaicos y en aplicaciones estacionarias como acumuladores para fuentes de alimentación ininterrumpidas para equipos médicos, informáticos, equipos de seguridad, etc.

\*Batería de níquel-hierro:

La batería de níquel-hierro, también denominada de ferróníquel, fue inventada por Waldemar Jungner en 1899, posteriormente desarrollada por Thomas Alva Edison y patentada en 1903. En el diseño original de Edison el cátodo estaba compuesto por hileras de finos tubos formados por láminas enrolladas de acero niquelado, estos tubos están rellenos de hidróxido de níquel u oxi-hidróxido de níquel (NiOOH). El ánodo se componía de cajas perforadas delgadas de acero niquelado que contienen polvo de óxido ferroso (FeO). El electrolito es alcalino, una disolución de un 20 % de potasa cáustica (KOH) en agua destilada.

Carga y descarga: Los electrodos no se disuelven en el electrolito, las reacciones de carga/descarga son completamente reversibles y la formación de cristales de hierro preserva los electrodos por lo cual no se produce efecto memoria lo que confiere a esta batería gran duración. Las reacciones de carga y descarga son las siguientes:



(Descarga se lee de izquierda a derecha y carga de derecha a izquierda.)

Ventajas:

- Bajo costo.
- Fácil fabricación.
- Admite sobrecargas, repetidas descargas totales e incluso cortocircuitos sin pérdida significativa de capacidad.
- No es contaminante, no contiene metales pesados y el electrolito diluido se puede usar en aplicaciones agrícolas.
- Muy larga vida útil, algunos fabricantes hablan de más de 100 años de esperanza de vida en los electrodos y 1000 ciclos de descarga 100 % en el electrolito. El electrolito se debe cambiar cada 20 años según instrucciones de uso redactadas por el propio Edison.
- Compuesta de elementos abundantes en la corteza de la tierra (hierro, níquel, potasio)
- Funciona en un mayor rango de temperaturas, entre  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $46 \text{ }^\circ\text{C}$

Desventajas:

- Solo posee una eficiencia del 65 %.

Características:

- Voltaje proporcionado:  $1,2 \sim 1,4 \text{ V}$



- Densidad de energía: 40 Wh/kg

- Energía/volumen: 30 Wh/l

- Potencia/peso: 100 W/kg

\*Batería de níquel-cadmio:

Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada, para su reutilización. Sin embargo, su densidad de energía es de tan sólo 50 Wh/kg, lo que hace que tengan poca capacidad.

Ventajas:

- Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento.
- Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena.

Desventajas:

- Efecto memoria muy alto.
- Densidad de energía baja.

Características:

- Voltaje proporcionado: 1,2 V
- Densidad de energía: 50 Wh/kg
- Capacidad usual: 0,5 a 1,0 A (en pilas tipo AA)
- Efecto memoria: muy alto

\*Baterías de níquel-hidruro metálico:

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico.

#### Ventajas:

- Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria.

#### Desventajas:

- No admiten bien el frío extremo, reduciendo drásticamente la potencia eficaz que puede entregar.

#### Características:

- Voltaje proporcionado: 1,2 V
- Densidad de energía: 80 Wh/kg
- Capacidad usual: 0,5 a 2,8 A (en pilas tipo AA)
- Efecto memoria: bajo

#### \*Baterías de iones de litio:

Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina ( $\text{LiFePO}_4$ ) u óxido de manganeso. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas y sufren mucho cuando éstas suceden; por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva como la descarga completa.

#### Ventajas:

- Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil.
- Altas densidades de capacidad.

#### Desventajas:

- No admiten bien los cambios de temperatura.
- No admiten descargas completas y sufren mucho cuando estas suceden.

#### Características:

- Voltaje proporcionado:

A plena carga: entre 4,2 V y 4,3 V dependiendo del fabricante.

A carga nominal: entre 3,6 V y 3,7 V dependiendo del fabricante.

A baja carga: entre 2,65 V y 2,75 V dependiendo del fabricante (este valor no es un límite, se recomienda).

- Densidad de energía: 115 Wh/kg

- Capacidad usual: 1,5 a 2,8 A (en pilas tipo AA)

- Efecto memoria: muy bajo

Usos: Móviles, tabletas, libros electrónicos, etc.

#### \*Baterías de polímero de litio:

Son una variación de las baterías de iones de litio (Li-ion). Sus características son muy similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño más reducido respecto a las de otros componentes.

Cada celda tiene un voltaje nominal de 3,7 V, voltaje máximo 4,2 V y mínimo 3,0 V. Este último debe respetarse rigurosamente ya que la pila se daña irreparablemente a voltajes menores a 3 voltios. Se suele establecer la siguiente nomenclatura XSYP que significa X celdas en serie, e Y en paralelo. Por ejemplo 3s2p son dos baterías en paralelo, donde cada una tiene tres celdas o células. Esta configuración se consigue conectando ambas baterías con un cable paralelo.

#### Ventajas:

- Mayor densidad de carga, por tanto tamaño reducido.

- Buena tasa de descarga, bastante superior a las de iones de litio.

#### Desventajas:

- Quedan casi inutilizadas si se descargan por debajo del mínimo de 3 voltios.

Tipos:

Las baterías LiPo se venden generalmente de 1S a 4S lo que significa:

- Li-PO 1S: una celda, 3,7 V.
- Li-PO 2S: dos celdas, 7,4 V.
- Li-PO 3S: tres celdas, 11,1 V.
- Li-PO 4S: cuatro celdas, 14,8 V.

Usos: Su tamaño y peso las hace muy útiles para equipos pequeños que requieran potencia y duración, como manos libres Bluetooth.

\*Pila de combustible:

La pila de combustible no se trata de un acumulador propiamente dicho, aunque convierte energía química en energía eléctrica y es recargable. Funciona con hidrógeno (Se usan otros combustibles como el metano o el metanol para obtener el hidrógeno).

\*Condensador de alta capacidad:

Aunque los condensadores de alta capacidad no sean acumuladores electroquímicos en sentido estricto, en la actualidad se están consiguiendo capacidades lo suficientemente grandes (varios faradios, F) como para que se los pueda utilizar como baterías cuando las potencias a suministrar sean pequeñas, en relación a su capacidad de almacenamiento de energía.

Por ello se usan como batería en algunos relojes de pulsera que recogen la energía en forma de luz a través de células fotovoltaicas, o mediante un pequeño generador accionado mecánicamente por el muelle de la cuerda del reloj.

Aunque funcionan como acumuladores se les suele llamar condensadores, ya que condensan o almacenan la corriente eléctrica aunque esta fluctúe en el circuito.

**Tabla 5: Tabla comparativa de los diferentes tipos de baterías eléctricas**

Fuente: [Tipos de baterías](#) [38]

<b>Tipo</b>	<b>Energía/ peso</b>	<b>Tensión por elemento (V)</b>	<b>Duración (número de recargas)</b>	<b>Tiempo de carga</b>	<b>Auto- descarga por mes (% del total)</b>
<b>Plomo</b>	30-40 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
<b>Ni-Fe</b>	30-55 Wh/kg	1,2 V	+ de 10 000	4-8h	10 %
<b>Ni-Cd</b>	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30 %
<b>Ni-Mh</b>	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
<b>Li-ion</b>	110-160 Wh/kg	3,7 V	4000	2h-4h	25 %
<b>Li-Po</b>	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10 %

Las baterías de níquel se pueden cargar hasta en 30 minutos, con cargas rápidas, pero disminuye su vida y se calientan en exceso, siendo las únicas que admiten este tipo de cargas.

### 2.1.3.10 Tipos de baterías más usuales para vehículos eléctricos

A continuación se detalla los diferentes tipos de batería para coche eléctrico usados en la actualidad:

#### - Batería de plomo-acido:

Es el tipo de batería más utilizada y, al mismo tiempo, la más antigua de todas, permaneciendo casi inalterada desde su invención en el Siglo XIX. Su bajo coste las hace ideales para las funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico, siendo utilizadas como acumuladores en vehículos de pequeño tamaño. Sus desventajas son el excesivo peso, la toxicidad del plomo y su lenta recarga, por ello no son las baterías ideales para el coche eléctrico.

#### - Batería níquel-cadmio:

Bastante utilizadas en la industria del automóvil, el alto coste de adquisición de sus elementos hace que no sean la solución elegida por los fabricantes, estando más orientadas a aviones, helicópteros o vehículos militares, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas. Poseen efecto memoria, por lo que su capacidad se ve reducida con cada recarga.

#### - Batería níquel-hierro:

Desarrolladas por Thomas Edison y patentada en 1903, estas baterías llamadas de “ferróníquel” no son montadas en la actualidad en los vehículos ya que tienen una escasa potencia y eficiencia. Su densidad energética es similar a las de plomo-acido.

#### - Batería níquel-hidruro metálico:

Similares a las de níquel-cadmio, mejoran la capacidad de estas, y reducen el efecto memoria, además de ser menos agresivas con el medio ambiente. En contra tienen su constante mantenimiento y su deterioro frente a altas temperaturas, altas corrientes de descarga o sobrecargas. Estas baterías generan demasiado calor y se recargan lentamente.

#### - Batería Ion-litio: (LiCoO<sub>2</sub>)

Baterías de reciente creación formada por un electrolito de sal de litio y electrodos de litio, cobalto y oxido. El uso de nuevos materiales como el litio ha permitido conseguir altas energías específicas, alta eficiencia, la eliminación del efecto memoria, ausencia de mantenimiento y facilidad a la hora de reciclar los desechos de Ion-litio. Disponen del doble de densidad energética que las baterías níquel-cadmio con una tamaño del orden de un tercio más pequeñas. Pero también tienen desventajas, el principal es su alto coste de producción, aunque poco a poco este se va reduciendo, son frágiles, pueden explotar por el sobrecalentamiento y deben ser almacenadas con mucho cuidado, tanto por necesitar un ambiente frío como porque debe estar parcialmente cargada. Aún así, las baterías de Ion-litio representan a día de hoy la mejor elección para montar en un vehículo eléctrico. Al no ser una tecnología totalmente madura, y encontrarse en continuo desarrollo, los avances las hacen tener un gran margen de mejora.

- Batería LiFePO<sub>4</sub>:

Este tipo de batería Ion-litio es parecida a la anterior, con la diferencia de que no usa el cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad y seguridad de uso. Otras ventajas son un ciclo de vida más largo y una mayor potencia. Como inconvenientes a destacar su menor densidad energética y su alto coste.

- Batería Polímero de litio:

Otra variación de las Ion-litio que cuenta con algunas mejoras como una densidad energética mayor y una potencia más elevada. Son ligeras, eficientes y no tienen efecto memoria. En cambio, su alto coste y bajo ciclo de vida hacen de estas baterías, con aspecto “blando” debido a sus componentes litio y polímero, una opción no muy extendida en la actualidad.

- Batería Zebra:

Estas baterías, también llamadas de sal fundida, trabajan a 250°C y tienen como electrolito cloroaluminato de sodio triturado. Es una batería compleja, de mayor contenido químico, pero que consigue unas características de energía y potencia interesantes. En desuso, el electrolito se solidifica, por lo que necesita un tiempo de fundición que puede llegar a ser de dos días para que alcance la temperatura óptima y ofrezca plenamente su carga. Tienen el mejor ciclo de vida de todas las baterías, pero requieren ocupar mucho espacio y su potencia es baja.

- Batería de Aluminio-aire:

Consideradas “pilas de combustible” por la necesidad de sustituir los electrodos de metal gastados por unos nuevos. Con una capacidad de almacenamiento de hasta diez veces más que las de tipo Ion-litio y una densidad energética fuera del alcance del resto, este tipo de batería no ha tenido una buena aceptación comercial debido a sus problemas de recarga y de fiabilidad. Se encuentran en fase experimental.

- Batería Zinc-Aire:

Desarrolladas por una compañía suiza, y en fase experimental, pero más avanzada que las de Aluminio-Aire, estas baterías necesitan obtener el oxígeno de la atmosfera para generar una corriente. Tiene un alto potencial energético, fiabilidad y son capaces de almacenar el triple de energía que las de Ion-litio en el mismo volumen y con la mitad del coste. Según algunos expertos, el zinc se posiciona como el combustible eléctrico del futuro.

**Figura 11: Valores característicos de cada tipo de batería**

Fuente: [Tipos de baterías](#) [11]

Tipo de baterías recargables	Energía (Wh/kg)	Energía/volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética-%
Zebra (NaNiCl)	125	300		1.000	92,5
Polímero de litio	200	300	>3.000	1.000	90,0
Iones de litio	125	270	1.800	1.000	90,0
Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)	70	140-300	250-1.000	1.350	70,0
Níquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1.350	72,5
Plomo-ácido	40	60-75	150	500	82,5

**2.1.3.11 Batería de iones de litio**

El litio es el más ligero de los metales y además tiene el mayor potencial electroquímico que hace que sea uno de los metales más reactivos. En referencia a estas propiedades, las baterías a base de ion de litio ofrecen una alta densidad de energía y potencia, por lo que son las más apropiadas para vehículos eléctricos.

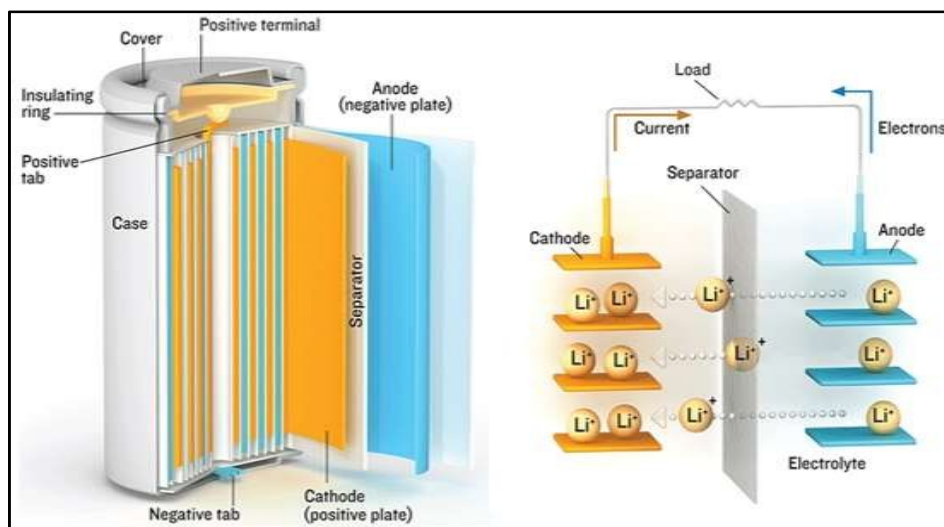
La reacción electroquímica reversible de una batería de iones de litio se produce entre el



cátodo y el ánodo, asimismo para su proceso emplea como electrólito una sal de litio. Estas baterías no admiten descargas completas, por lo que suelen llevar acoplados circuitos protectores adicionales para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva, como la descarga completa.

### Figura 12: Batería de iones de litio

Fuente: [Batería de iones de litio](#) [12]



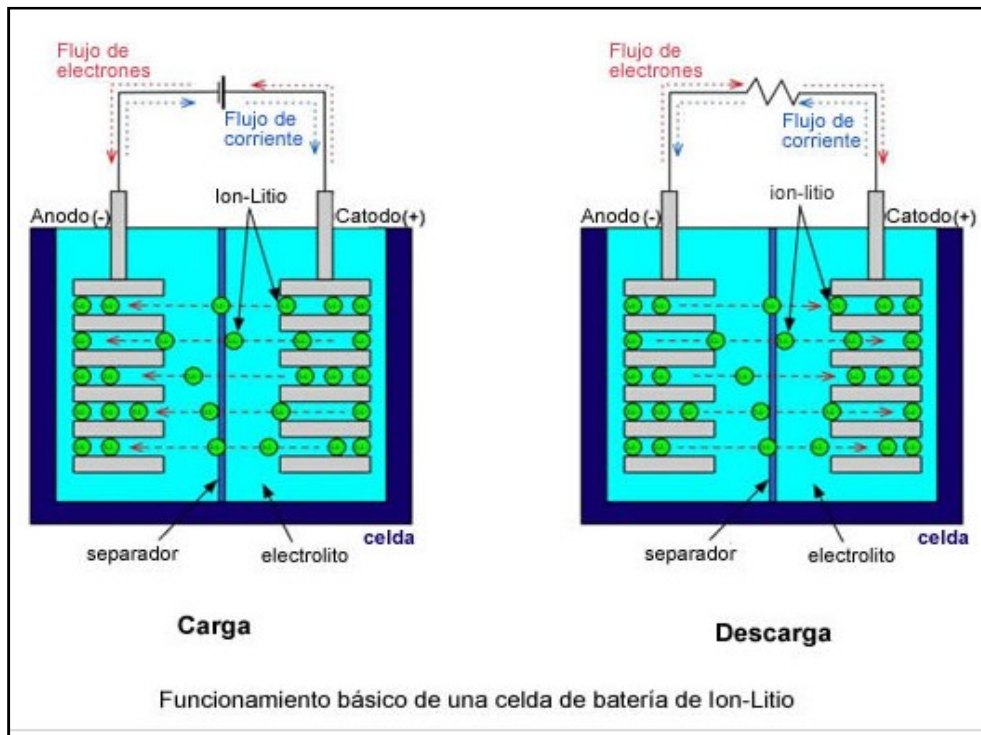
Los procesos químicos de la batería son afectados por la temperatura debido a que los átomos de litio se convierten en óxido de litio y ya no participan en las reacciones entre el cátodo y el ánodo; de tal manera que se pierde capacidad de acumular energía, es decir la batería trabaja más lenta en los transcurros de recargar, porque los átomos de litio se mueven más despacio.

Dentro de las baterías de iones de litio hay a su vez diferentes subtipos de estas, con pequeñas diferencias químicas, al emplear diferentes elementos en el cátodo y el ánodo, o diferentes proporciones entre estos (por ejemplo las baterías de litio-hierro-fosfato son las más económicas, aunque tienen también menos capacidad por unidad de volumen y masa).

En la figura inferior se puede ver la estructura y funcionamiento básico de una celda (célula) de baterías de Ion-Litio. La tensión que proporcionan es de 3,6V, aunque este valor depende mucho de la temperatura ambiente y de la carga.

### Figura 13: Funcionamiento básico de una celda ión-litio

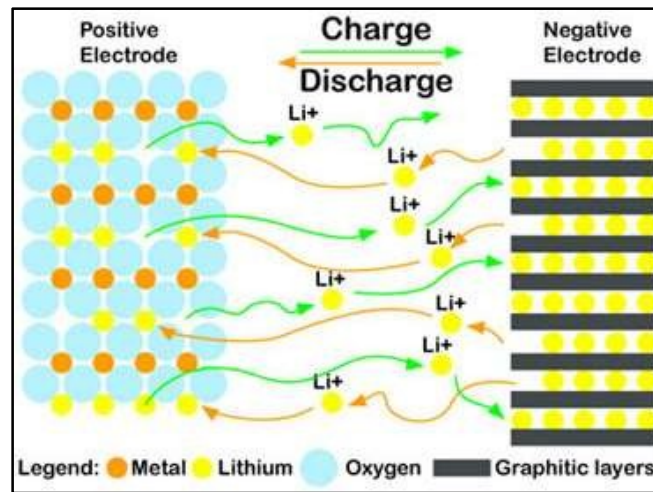
Fuente: [Funcionamiento celda ion-litio](#) [13]



Cuando se encuentra cargada y se le conecta un aparato a alimentar, el circuito eléctrico del conjunto es cerrado. Esto provoca una reacción química logrando la circulación de partículas ionizadas de un electrodo a otro, arrastrando la producción de electrones a los bornes de la batería, es decir la producción de corriente. En cambio, si se conecta un cargador a los bornes de la batería, se produce un proceso químico inverso. Las partículas circulan entonces en la otra dirección, y la batería se recarga.

### Figura 14: Procedimiento de carga y descarga de la batería ión-litio

Fuente: [Carga y descarga](#) [14]



El salto más importante para pasar de autonomías homologadas de unos 150 a 200 km, hasta los actuales 400 a 500 km, ha sido gracias al empleo de nuevas celdas de batería de iones de litio con níquel y cobalto (aunque también ha ayudado una distribución de las celdas y componentes internos de la batería más compacta, que aprovecha mejor el volumen del paquete de batería).

Normalmente se emplean ánodos de grafito, o grafito y silicio, y cátodos de litio, níquel, cobalto y aluminio, por ejemplo Panasonic, para Tesla, o de litio, níquel, manganeso y cobalto, por ejemplo LG Chem, para Renault, Chevrolet, Opel, Volkswagen y otros fabricantes.

Estas últimas tienen además la ventaja de que tienen también una mayor vida útil (aproximadamente el doble) que las batería de iones de litio "antiguas", mientras que mantienen o mejoran ligeramente la velocidad de recarga y apenas aumentan el peso de la batería (algo menos de un 10 %). Eso sí, son algo más caras, aunque el impacto en el precio final de venta del coche se quede entre un 5 y un 10 % aproximadamente.

Hemos pasado por tanto de una densidad energética de algo más de 250 Wh/l (y una energía específica de unos 100 Wh/kg) de las primeras baterías de iones de litio, hasta aproximadamente entre 400 Wh/l (180 Wh/kg) y 650 Wh/l (250 Wh/kg). Esta es la realidad presente en la que se basan la mayoría de los fabricantes para proponer nuevos

modelos de coches eléctricos con una autonomía bastante digna, alrededor de los 500 km.

Los avances en la tecnología Li-ion presentan una oportunidad de duplicar la densidad energética desde 100Wh/kg a 250Wh/kg a través del uso de nuevos cátodos de alta capacidad, electrolitos de alto voltaje y el uso de nuevos materiales anódicos. Actualmente, está claro que casi se ha logrado el objetivo... por Tesla con baterías de densidad energética de 233 Wh/kg. El Nissan Leaf se conforma con 155 Wh/kg y el Renault Zoe 157 Wh/kg.

El diseño actual P90D de Tesla utiliza un bloque de baterías situado bajo el suelo de su chasis “monopatín” (figura inferior). Esto hace que el vehículo pueda almacenar un gran volumen de células de baterías maximizando el espacio interior del vehículo, aunque deja la batería indefensa en caso de accidente.

El nuevo pack de baterías P100D tiene la misma apariencia exterior y a primera vista también utiliza dos filas de células de iones de litio y, sin embargo, consigue almacenar 100kwh de densidad energética en el mismo modelo de batería que anteriormente contaba con 90kwh y pesaba solo un 4 % menos. Se trata de más de 11 veces la energía que un hogar británico medio utiliza en un día normal.

#### **2.1.3.12 Ejemplo de baterías ión-litio utilizadas por los distintos fabricantes de vehículos**

- Batería de Ion-Litio utilizada por el Mitsubishi i-MiEV:

Partimos de la célula Yuasa LEV50. Cada célula de Litio-ion (más exactamente Lithium Manganese Oxide,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ), proporciona una tensión de 3,7V nominales, 50 Ah, todo ello empaquetado en un recipiente rectangular de 17 cm de largo, 11 de ancho y 4,5 de grueso, de algo menos de 2 kg.

Se ponen 88 de estas células en serie, ni más ni menos. Estas células se agrupan en módulos de 4 unidades conectadas en serie, de modo que cada uno tiene unos 14,7 V y 50 A·h.

## Figura 15: Pack de baterías del i-MiEV

Fuente: [Pack i-MiEV](#) [15]



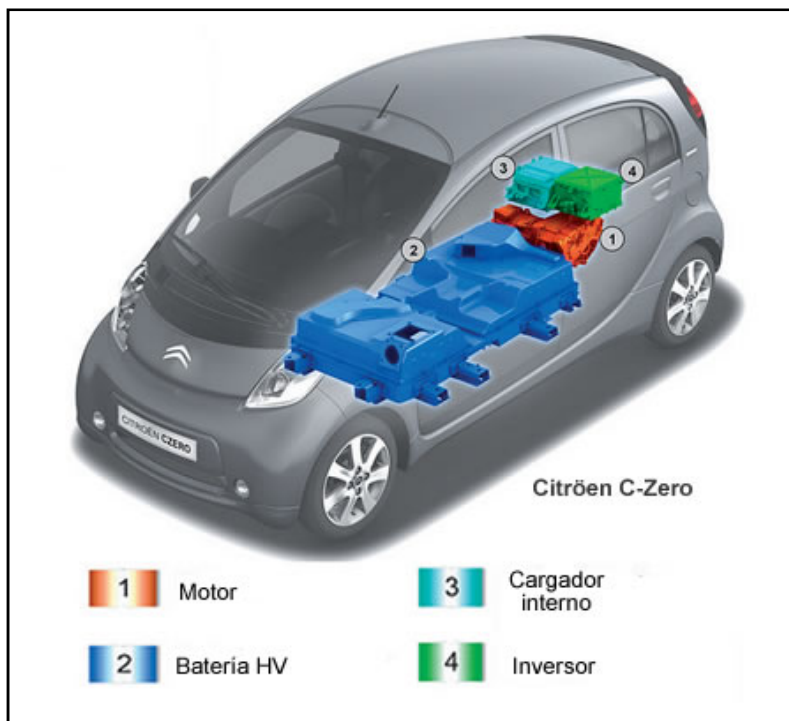
La batería se distribuye por los bajos de los asientos.

En junio de 2011 el fabricante original del vehículo, Mitsubishi, anunció que instalará baterías de Toshiba con tecnología SCIB, basada en un ánodo de titanato de litio ( $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  o LTO). Dicha tecnología permite una intensidad de carga/descarga 2.5 veces superior a una batería típica de litio-ión y proporciona hasta 1.7 veces más autonomía, con un menor calentamiento que elimina la necesidad de refrigerarlas cuando la potencia consumida o aportada es alta. Además, es más resistente a un cortocircuito interno y mantiene los niveles de rendimiento incluso en temperaturas de hasta  $-30\text{ }^\circ\text{C}$ . Con esta tecnología el i-MiEV será capaz de realizar una carga rápida bajo estándar CHAdeMO hasta el 80% en 15 minutos, 50% en 10 minutos y 25% en 5 minutos, lo cual acercará al pequeño coche eléctrico japonés a la rapidez de un repostaje convencional.

El Mitsubishi i-MiEV comparte estética y tecnología con sus hermanos, el Citroën C-Zero y Peugeot iOn. Es decir utiliza la misma batería, motor eléctrico y la parte electrónica para la gestión del funcionamiento del vehículo.

## Figura 16: Citroën C-Zero

Fuente: [C-Zero](#) [16]



- Batería de Ion-Litio de TESLA:

El Tesla Model S coloca el paquete de baterías plano, con poca altura, bajo el suelo del habitáculo, ocupando al máximo el espacio disponible entre los dos ejes. La batería colabora con la rigidez torsional del coche y al suponer mucho peso, muy abajo, ayuda a rebajar el centro de gravedad del coche, y mejorar la estabilidad.

Emplea celdas cilíndricas de iones de litio Panasonic NCR18650A de 3070mAh y 3,6 V (nominal) colocadas en vertical y separadas entre sí para disipar mejor el calor.

Es un poco difícil decir cuántas celdas hay, porque los 85kWh de la batería son de capacidad útil, y no se precisa cuál es la capacidad bruta de la batería. Tesla, como otros fabricantes, es celoso de decir con exactitud cuánto margen de seguridad dejan, pero algo de margen tiene que haber, pues para alargar la vida útil de las baterías no se recargan al 100% ni se descargan al 0%.



Si el margen es similar al que dejaban en las baterías del Tesla Roadster, se venía a aprovechar el 93% de la capacidad bruta de las baterías, y eso implicaría tener una batería de unos 91,4 kWh brutos, con lo que debería de haber cerca de 8.300 celdas (unas 7.690 como mínimo para los 85 kWh). Sí confirmó Tesla que la batería lleva más de 7.000 celdas (para no pillarse los dedos y no contar demasiado). Solo las celdas pesarían entre 358 y 383 kg aproximadamente.

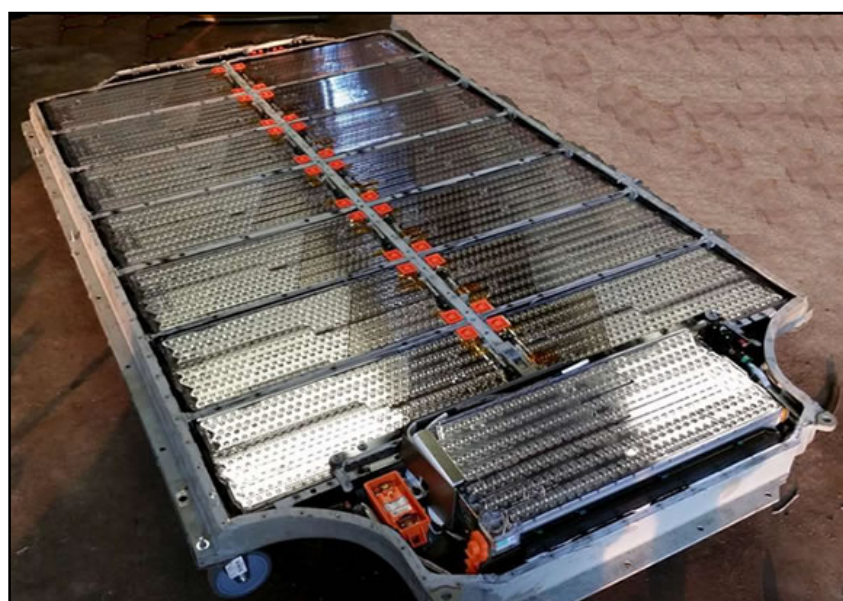
La batería del Tesla Model S está climatizada, tanto en refrigeración como en calefacción por líquido, con una mezcla de agua y glicol (para evitar el congelamiento en invierno con temperaturas bajo cero).

En principio esta estructura de batería con muchas celdas pequeñas con intersticios entre ellas, y la refrigeración por líquido, permite soportar mejor las altas temperaturas de las recargas a muy alta potencia de los supercargadores.

Tesla Motors da una garantía de ocho años y kilometraje ilimitado a la batería de 85 kWh (la de 60 kWh se queda con 200.000 km). El resto del coche viene con una garantía más convencional de cuatro años y 80.000 km. En la figura inferior se puede ver el interior de una batería de un Tesla Model S.

### Figura 17: Batería del Tesla Model S

Fuente: [Batería Tesla Model S](#) [17]



El Tesla Model S se puede pedir con dos capacidades de baterías. El más barato, viene con el paquete de baterías de 60 kWh, que homologa en Europa, en ciclo combinado (NEDC) 375 km de autonomía. Con el paquete de baterías de 85 kWh, homologa en Europa en ciclo NEDC 500 km de autonomía. Este modelo además e más potente, e incluye el uso de la recarga ultra-rápida de los supercargadores.

- Batería Ion-litio del Nissan Leaf:

El Nissan Leaf, tiene una batería de 48 módulos conectados en serie, y cada uno de esos módulos lleva cuatro celdas y es de 7,6 V (2 celdas en serie de 3,8V) y 66,2 Ah (dos grupos en paralelo de 33,1 Ah). Su nomenclatura es 48S 2P 2S. En resumen, obviando los módulos el Leaf lleva dos grupos paralelos de 33,1 Ah y cada uno de esos grupos lleva 96 celdas de 3,8 V en serie. En total 3,8 V x 96 celdas son los 364,8 V del pack y 364,8 V x 33,1 Ah x 2 son los 24 kWh de capacidad del pack (24.150 Wh). En total esta batería lleva 192 celdas.

### Figura 18: Batería de ión-litio del Nissan Leaf

Fuente: [Batería Nissan Leaf](#) [18]





- Batería de Ion-Litio del BMW i3:

Dispone de una batería de iones de litio de 22 kWh y 204 kg. Situada en la parte baja del vehículo, haciendo así más bajo su centro de gravedad. La capacidad útil es de 18,8 kWh.

Un sistema de refrigeración basado en gas mantiene la batería en la temperatura ideal de funcionamiento para aumentar las prestaciones y la vida de la batería. Los 22 kWh de la batería del i3 le permiten recorrer entre 130 y 160 kilómetros.<sup>4</sup>

- Baterías Zebra (NaNiCl):

El THINK City coche eléctrico pequeño de fabricación en Noruega, tiene una batería de cloruro de sodio y níquel (NaNiCl), también conocidas como Zebra. En algunos países se vende este coche también con una batería de iones de litio, del mismo tipo que usan otros automóviles eléctricos, como el Mitsubishi i-MiEV.

La batería del THINK City está ubicada en la zona inferior del habitáculo, debajo de los asientos. El motor está delante, junto con el resto de los elementos mecánicos. La tracción es delantera.

La batería de este coche (figura inferior), cuya identificación completa es ZEBRA Z36-371-ML3X-76 (habitualmente abreviada como ZEBRA Z36), tiene un voltaje nominal de 371 voltios, su energía total son 28,2 kWh y su energía aprovechable 23 kWh. Pesa 243 kg. Es decir, tiene una densidad energética de 116 Wh/Kg. La batería de un Mitsubishi i-MiEV, que es de iones de litio, pesa 230 kg y almacena 16 kWh; esto es, tiene una densidad energética de 70 Wh.

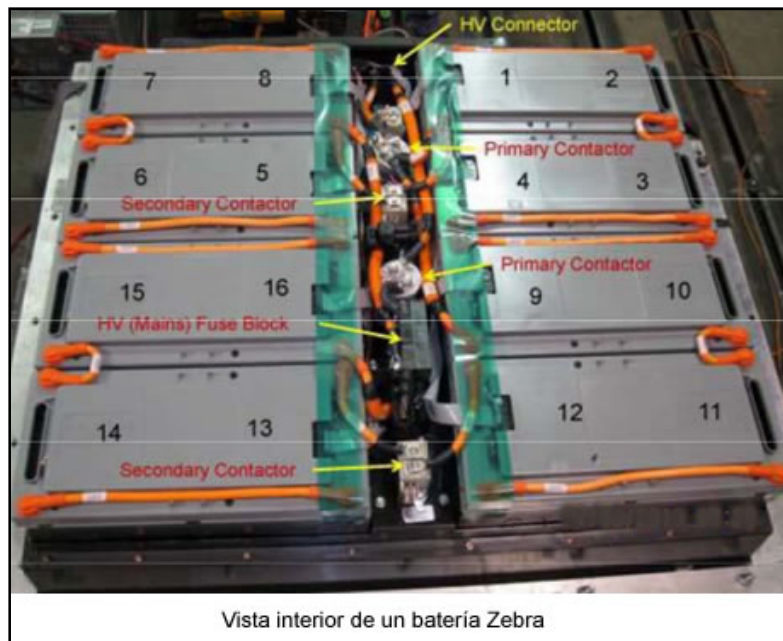
Esta batería de cloruro de sodio y níquel tiene algunas ventajas con respecto a las de iones de litio: es más robusta, puede funcionar en un rango de temperatura ambiente más amplio y su fabricación es más económica. Además, —al contrario de lo que sucede con las de iones de litio— la temperatura ambiente no afecta apenas a su rendimiento. Esto se debe a que este tipo de baterías funcionan a una temperatura interna de entre 260 y 350° C.

Por eso, tiene un gran aislamiento térmico y cuando no se usa una parte de la energía que almacena se destina constantemente a mantenerla caliente. Una vez que la batería ya está caliente, se utilizan constantemente 100 W para mantener la temperatura de

funcionamiento. Cuando está en funcionamiento, la propia reacción química de la batería desprende el calor necesario para mantener esa temperatura.

### Figura 19: Vista interior de la batería Zebra

Fuente: [Batería Zebra](#) [19]



Esto hace que, si no se usa el THINK City y se tiene sin enchufar, la batería se vaya descargando. El manual especifica que en estas condiciones la batería dura «más de una semana» y aconseja que se tenga enchufado siempre que no se utilice.

En caso de que se no vaya a usarse durante un tiempo y no se pueda (o no se quiera) dejarlo enchufado, el auto calentamiento y el consumo de energía se puede desconectar mediante un botón en la caja de fusibles. Esto hace que la batería poco a poco llegue a la temperatura ambiente. El manual advierte de que es mejor evitar este ciclo térmico, aunque la batería lo tolera. Cuando se quiera volver a utilizar el coche, habrá que enchufarlo previamente para que la batería vuelva a alcanzar la temperatura de funcionamiento. Si la temperatura ambiente son 20° C, este proceso tarda 30 horas.

El cargador que viene con el coche puede ajustarse mediante un botón para que cargue con 10 ó 16 A de intensidad. Así, la batería del THINK City puede cargarse aunque se tenga poca potencia disponible (se necesita una potencia disponible de 2.200 W como

mínimo). Partiendo de una batería totalmente descargada, con 16 A de corriente tarda 11 horas en cargarse totalmente; en 7 horas se carga a un 80% de su capacidad. Si se carga a 10 A, los tiempos aumentan alrededor de un 30% (14,3 y 9,1 horas, respectivamente).

- Batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH):

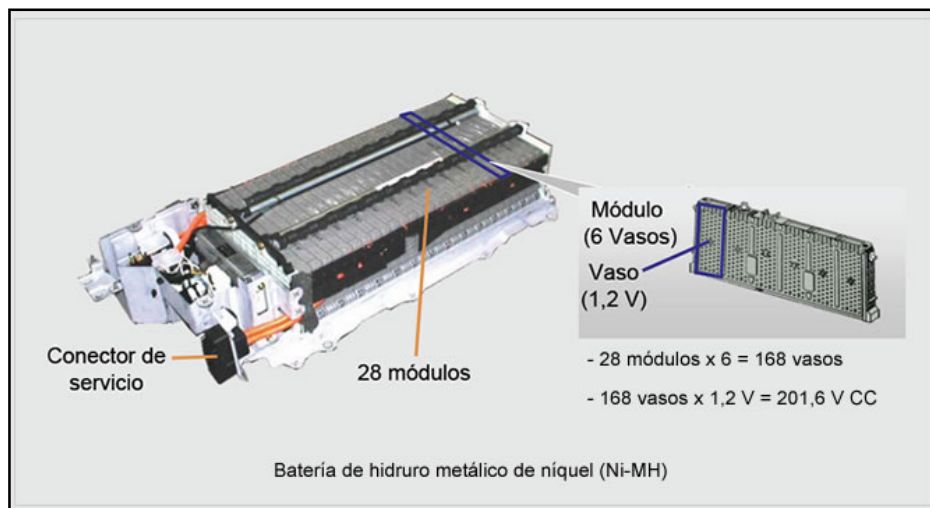
Esta batería ampliamente utilizada por Toyota en sus modelos híbridos como el Prius, Auris, etc, no es una batería comparable con las de Ion-litio que hemos visto, en cuanto a tamaño y capacidad, pero nos sirve para conocerla.

Una batería de níquel-hidruro metálico (Ni-MH) es un tipo de batería recargable que utiliza un ánodo de oxidróxido de níquel (NiOOH), como la batería de níquel cadmio, pero su cátodo es de una aleación de hidruro metálico. Esto permite eliminar el cadmio, que es muy caro y, además, representa un peligro para el medio ambiente. Asimismo, posee una mayor capacidad de carga (entre dos y tres veces más que la de una pila de NiCd del mismo tamaño y peso) y un menor efecto memoria. Por el contrario, presentan una mayor tasa de auto descarga que las de NiCd (un 30% mensual frente a un 20%), lo cual relega a estas últimas a usos caracterizados por largos periodos entre consumos (como los mandos a distancia, las luces de emergencia, etc.), mientras que son desplazadas por las de NiMH en el de consumo continuo.

Cada celda de Ni-MH puede proporcionar un voltaje de 1,2 voltios y una capacidad entre 0,8 y 2,9 amperio-hora. Su densidad de energía llega a los 80 Wh/kg. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria, en el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), imposibilitando el uso de toda su energía. Algunos de sus inconvenientes son las “altas” temperaturas que alcanzan durante la carga o el uso. Para alargar la vida de la batería y aumentar sus ciclos de carga, la batería se mantiene entre un 20% y un 80% de la carga para optimizar su vida útil.

## Figura 20: Batería de hidruro metálico de níquel

Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/> [20]



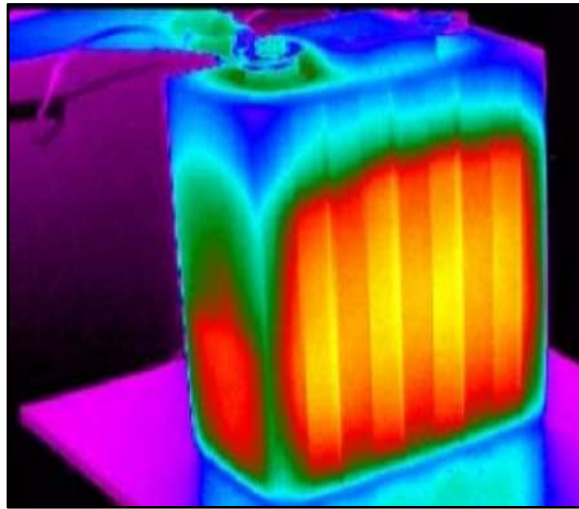
### 2.1.4 Sistemas de gestión térmica

El flujo de corriente en las baterías de los coches eléctricos produce el calentamiento de sus celdas. Cuanto mayor es el flujo de la corriente, mayor es el calentamiento. Las baterías de iones de litio empleadas en los vehículos eléctricos se encuentran expuestas a elevadas temperaturas y al no existir una refrigeración adecuada, se limita su capacidad de almacenamiento y provoca una mayor pérdida de potencia eléctrica.

Otro de los principales inconvenientes que presentan las baterías para vehículos eléctricos y que provocan cambios en las resistencias internas, es la elevada generación de calor interno específico, el cual se deriva del producto de las aceleraciones bruscas, lapsos extendidos de aceleración, así como también durante los periodos de recarga y descarga.

## Figura 21: Simulación del calentamiento de la batería

Fuente: [Calentamiento-batería](#) [21]



Por lo tanto, las temperaturas elevadas son perjudiciales para su ciclo de vida causando envejecimiento prematuro debido al calor; además se puede llegar a un estado inestable de una celda individual o de toda la batería, pudiendo propagarse y causar que este falle violentamente. Asimismo, la inflamabilidad y consecuentemente las explosiones en el peor de los casos es otro de los inconvenientes que afectan drásticamente a una batería.

Se suelen encerrar en carcasas metálicas, con el fin de aumentar más si cabe su protección e incluso en muchos casos, el electrolito utilizado es de tipo gel con lo que se minimiza en gran medida el riesgo de fugas que por ejemplo podría existir con el mismo producto pero en estado líquido.

## Figura 22: Pack de baterías de un vehículo eléctrico

Fuente: [Pack](#) [22]



El rendimiento de las baterías depende en gran parte de su temperatura de funcionamiento: sufren el efecto Goldilocks, es decir, exponerlas a temperaturas demasiado bajas o demasiado elevadas puede provocar daños permanentes en las baterías y una degradación acelerada.

### 2.1.4.1 Efectos de las temperaturas críticas

Las elevadas temperaturas y diferencias de voltaje en las celdas pueden provocar desequilibrios eléctricos entre ellas y reducir la eficiencia hasta un 25%, limitando la entrega de potencia eléctrica, la cual afecta al rendimiento del motor.

Las temperaturas alcanzadas en cada celda podrán diferir unas de otras, lo que se traducirá en un comportamiento distinto en cuanto a la carga y/o descarga de las mismas, estas diferencias provocarán que el pack no esté equilibrado.

Es destacable el hecho de que la temperatura de la batería afecta en el momento en que se produce la descarga de energía, y esto se ve reflejado en el arranque o cuando se necesita acelerar el vehículo.

Por otro lado, al no disiparse homogéneamente el calor generado en las baterías, se



limita a que las mismas operen de manera eficaz a su temperatura determinada, y al existir una variación de temperatura por encima de la de su diseño se reducirá su ciclo de vida, pudiendo presentarse la regla de la mitad de vida por variaciones continuas de temperatura.

Así por ejemplo, las baterías son capaces de operar en descarga con temperaturas desde 20 °C hasta 50 °C y en carga desde 0 °C hasta 45 °C aproximadamente. Si nos encontramos fuera de estos límites, tendremos que o bien calentar o bien refrigerarlas para así mantenerlas en las condiciones óptimas de funcionamiento.

Decir que la temperatura ambiente también influye en el rendimiento de la batería. Con temperaturas bajo cero se pierde densidad energética. A -10 grados, la autonomía cae casi un 25%, pero la potencia o aceleración hasta un 60%. Con calor extremo las pérdidas no son tan dramáticas como con frío, aunque sí notorias.

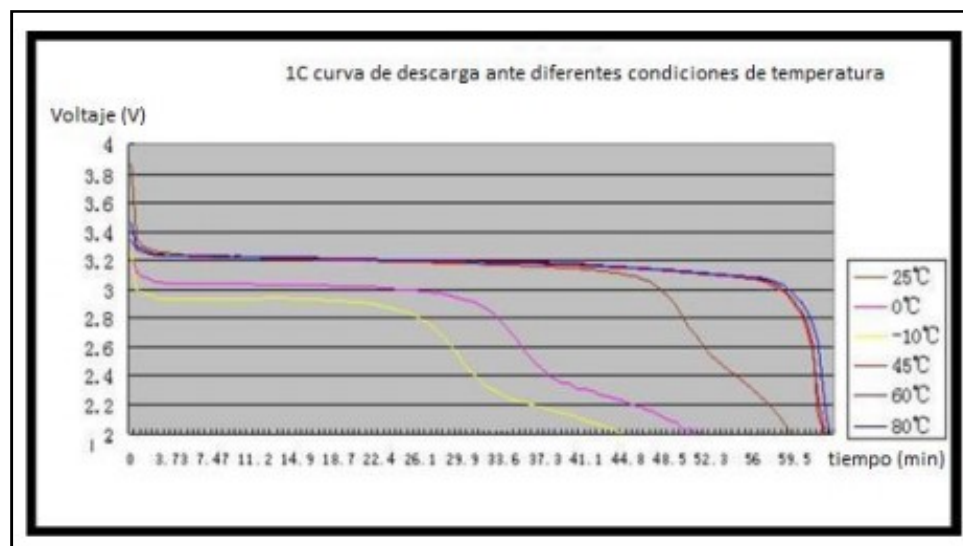
Decir que mientras las temperaturas frías disminuyen la capacidad de la batería, pero no afecta a la vida útil de esta. Las temperaturas muy altas, además de afectar a la capacidad de la batería, también afecta a su vida útil. El calor extremo puede degradar la electroquímica interior de la batería,

En resumen, la mayoría de las baterías no se pueden cargar rápido cuando están a menos de 5° C, y no se pueden cargar de ninguna forma cuando están por debajo de 0° C. Además, las celdas comienzan a degradarse rápidamente cuando su temperatura es superior a 45° C. Por lo tanto, es necesario un sistema de control de temperatura para las baterías, que las enfríen o calienten cuando sea necesario, logrando optimizar su funcionamiento y aumentando la autonomía bajo cualquier situación climatológica. El rango de temperatura ideal para lograr su mejor rendimiento tanto en eficiencia como en entrega de potencia estaría entre 15-30°C.

En esta gráfica podemos observar que conforme aumentamos la temperatura, la velocidad de la descarga de la batería será más lenta; es decir, tendremos más autonomía.

### Figura 23: Gráfica de la velocidad de descarga de la batería en función de la temperatura

Fuente: [Velocidad de descarga](#) [23]



Así pues, es necesaria la implantación de un sistema de refrigeración del pack de baterías para que estas trabajen a una temperatura óptima y no se degraden sus prestaciones.

El sistema de refrigeración es un conjunto de elementos y fluidos, cuya misión es regular la temperatura de partes críticas de un dispositivo; además de proteger las partes del mismo, garantizando el correcto funcionamiento y reduciendo pérdidas por generación de calor.

#### 2.1.4.2 Tipos de sistemas de refrigeración

Si la temperatura decae por debajo del valor mínimo fijado por el fabricante, la solución es muy fácil: sólo hay que dotar el compartimento de la batería con una serie de resistencias térmicas y, por ejemplo, un ventilador que haga circular aire caliente por su interior de forma que reparta el calor homogéneamente.

Cuando se oye hablar de sistema de refrigeración de la batería, parece que hablamos de un sistema común para todos los coches eléctricos. Pero la realidad es que hay grandes diferencias entre los métodos para refrigerar la batería de unos fabricantes a otros.



Actualmente las tres técnicas más usuales de refrigeración térmica de la batería son las siguientes:

-Por convección del aire, ya sea de forma pasiva o forzada.

El sistema de refrigeración consiste en tomar aire del exterior y hacerlo circular por el interior. Cuatro sensores de temperatura se distribuyen a lo largo del sistema de refrigeración, uno en la zona del aire de entrada y los otros tres a lo largo de los módulos de la batería de forma que se controla uniformemente su temperatura y se regula el flujo de aire.

Las tomas de ventilación se encuentran en los asientos traseros y nunca deben encontrarse obstruidas (por ejemplo con una chaqueta, un paraguas, una bolsa, etc.). Sirven para la refrigeración del sistema de baterías, que normalmente va alojado en la zona del maletero, justo encima del eje posterior o en su defecto en el centro del vehículo entre los asientos, ya que son los lugares más seguros en caso de colisión.

Una vez que el aire ha circulado por el interior de la batería, otro conducto lo lleva al exterior, en este caso a la zona del maletero, donde existe una salida de aire para tal fin.

En la refrigeración pasiva se redirige el aire que entra por la toma de ventilación mediante toberas hasta la batería.

La refrigeración por convección activa se realiza de la misma manera, pero en este caso se emplean ventiladores que serán los encargados de mandar el flujo de aire forzado hacia los conductos de la batería diseñados para tal fin.

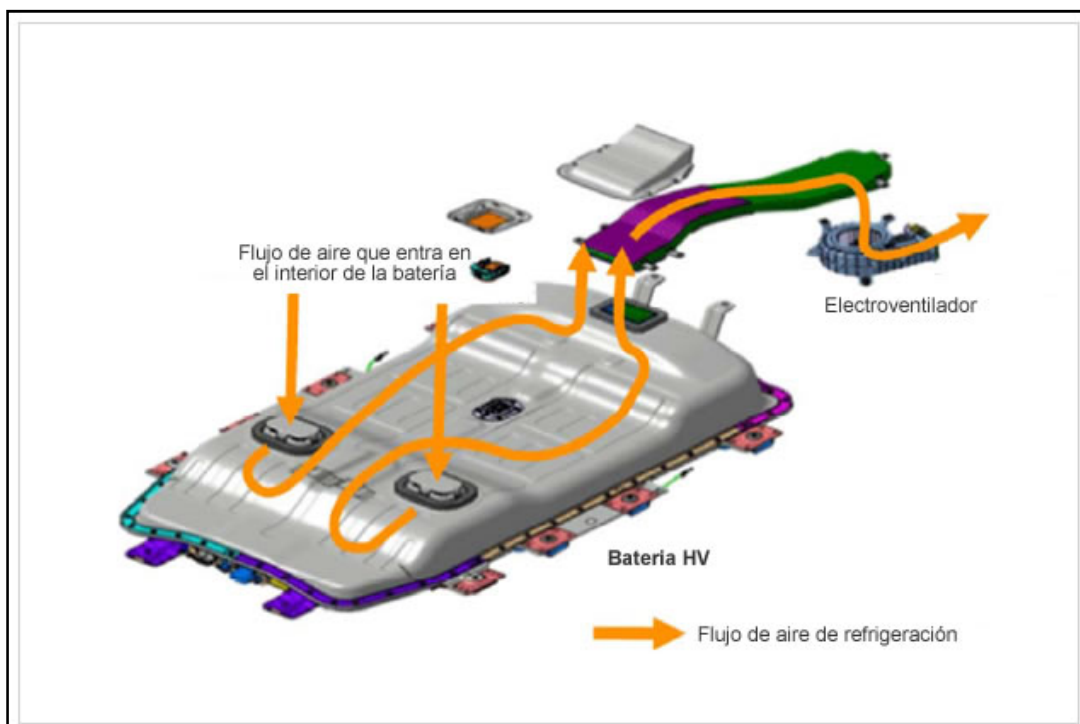
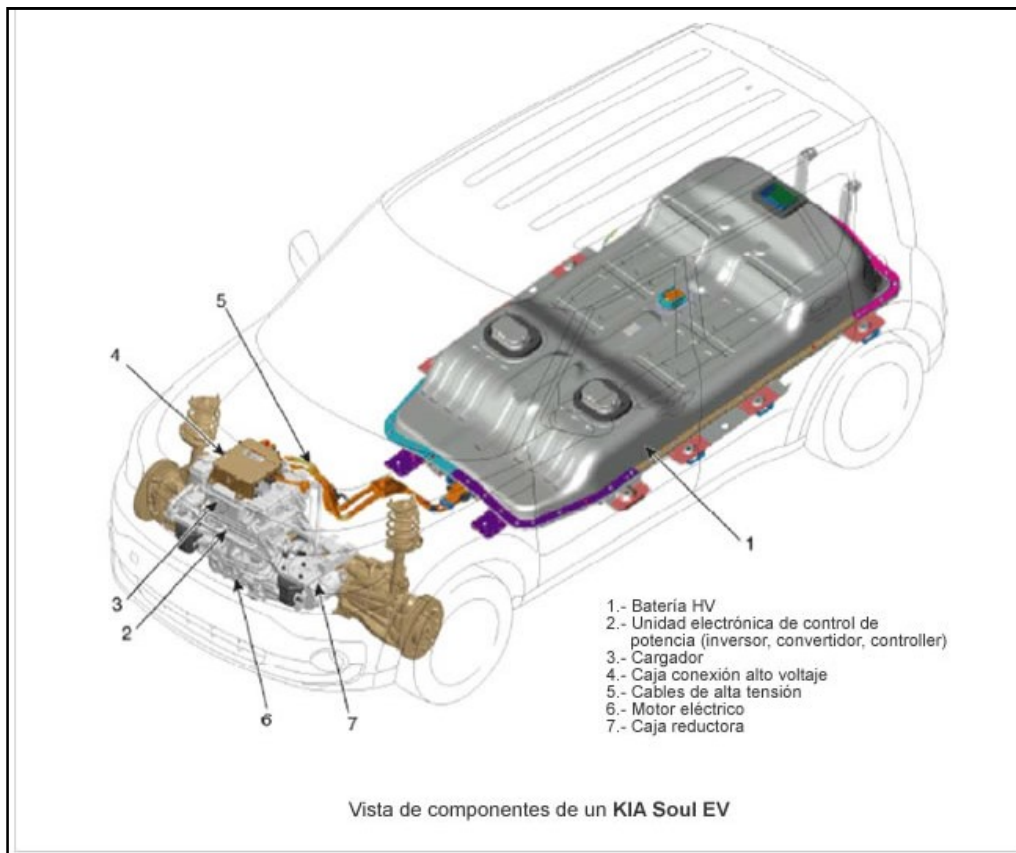
Un claro ejemplo es el Toyota Prius.

Toyota en sus híbridos, monta en su batería HV, un sistema de refrigeración de aire forzado. La BMS de la batería supervisa el estado de la batería HV y controla el ventilador de refrigeración para mantener la batería a una temperatura predeterminada. Para controlar la temperatura utiliza una serie de sensores distribuidos por las celdas de la batería.

En la figura inferior se puede ver el sistema de refrigeración de la batería HV, montada en un KIA Soul EV.

**Figura 24: Sistema de refrigeración del KIA Soul EV**

Fuente: [KIA Soul EV](#) [24]



El enfriamiento por aire no es el ideal para la mayor parte de las aplicaciones de alto rendimiento debido a su incapacidad de hacer frente a un amplio rango de temperaturas ambiente; es decir, no es posible eliminar el suficiente calor dentro de la batería con este sistema de enfriamiento.

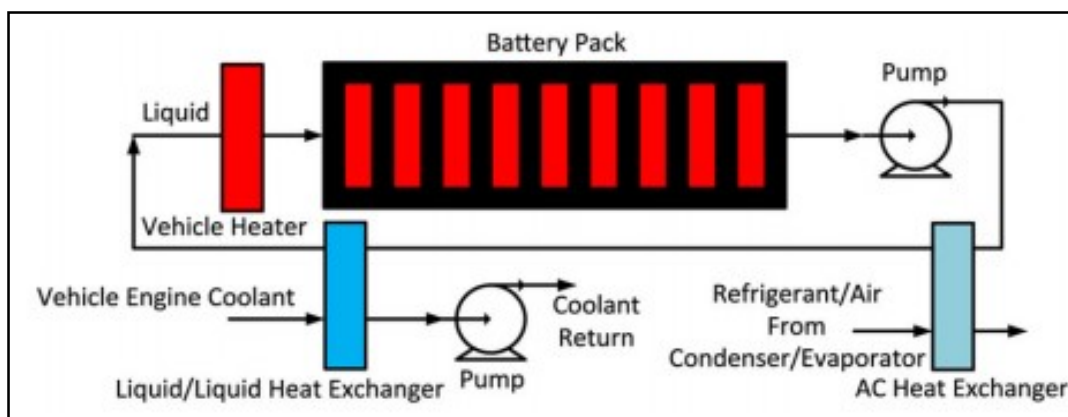
-Utilizando como refrigerante un aceite dieléctrico que se bombea a un sistema intercambiador de calor.

-Enfriamiento por circulación de un refrigerante a base de agua a través de conductos de refrigeración ubicados dentro de la estructura de la batería.

Un sistema de enfriamiento con aceite dieléctrico como refrigerante normalmente enfría extrayendo calor de la superficie de las celdas. Dicho enfriamiento se mejora con un refrigerante a base de agua o con un refrigerante orgánico. El refrigerante se puede usar para eliminar el calor del pack y también para proporcionarle calefacción durante una recarga rápida a baja temperatura.

**Figura 25: Sistema de refrigeración mediante aceite dieléctrico**

Fuente: [Aceite dieléctrico](#) [25]



Tradicionalmente, la refrigeración líquida por inmersión en la industria del automóvil se ha basado en mezcla de agua gliconada o solamente agua que, por naturaleza, es muy conductora y corrosiva. Para poder introducirse en el agua, los componentes a enfriar tienen que estar sellados para evitar cualquier riesgo de daño y esto limita la eficiencia de la refrigeración, ya que no existe un contacto directo.

La refrigeración por inmersión con fluidos basados en hidrocarburo es otra alternativa que funciona bien en muchas aplicaciones, pero la inflamabilidad de este método pone en cuestión su uso en el mercado de la automoción. Además, la combinación del bajo coeficiente de expansión térmica y la elevada viscosidad de los lubricantes hace que las propiedades convectivas sean menos favorables. También se requiere una bomba para eliminar el calor de los componentes; y la naturaleza de los aceites complica los procesos de mantenimiento, por no mencionar el peligro de exposición a líquidos inflamables.

#### **2.1.4.3 Otros sistemas de refrigeración menos usuales en vehículos eléctricos**

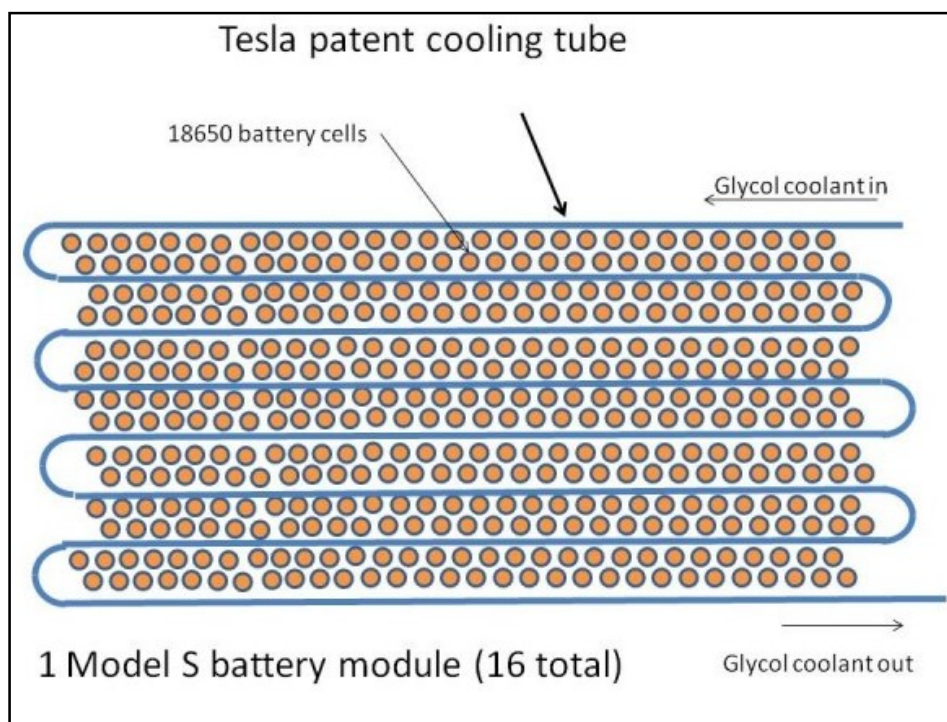
\* Sistema de refrigeración con aletas de aluminio (Tesla Model S)

Tesla ha recurrido a un innovador sistema de refrigeración donde en vez de utilizar corrientes de aire enfriadas por un evaporador para ventilar los módulos de las baterías (como es el caso de BMW, Renault o Nissan), aprovecha los espacios existentes entre las celdas cilíndricas para integrar un novedoso entramado de bucles con conductos aplanados por donde fluye líquido refrigerante (glicol). Además, cada hilera de celdas está separada por una fina chapa de aluminio con forma alabeada, que no solo sirve para asegurar el apilado de las celdas, sino también para disipar la temperatura de las mismas por contacto físico.

Este sistema consiste en un serpentín plano que va a través de las celdas. Como se observa en la imagen, se trata de un sistema muy simple. Al usar miles de celdas pequeñas, se facilita la refrigeración.

#### **Figura 26: Sistema de refrigeración del Tesla Model S**

Fuente: [Refrigeración-Tesla](#) [26]



La batería anterior de Tesla utilizaba una cinta llena de glicol, un líquido que se usa en anticongelantes, líquidos para frenos y muchos productos de consumo, para controlar el calor de las células de la batería de forma individual. Este sistema ha sido reemplazado por aletas de aluminio muy finas situadas entre las células que conducen el calor y lo transfieren a un circuito de refrigeración. Las aletas de aluminio son más delgadas que la cinta de glicol lo que libera espacio para más células.

Un inconveniente de este sistema es que elimina el calor de las celdas, pero no de las pestañas. Esto quiere decir que como sometamos a una conducción exigente a las baterías, estas se podrán sobrecalentar.

El paquete de baterías es plano y está bajo el coche. Pesa unos 540 kilogramos y proporciona 400 Voltios en corriente continua (DC). Está formado por miles de baterías de iones de litio sumando una capacidad de 60 kWh, 75 kWh, 90 kWh o 100 kWh según versiones. Está refrigerado por líquido para evitar su sobrecalentamiento y para optimizar su funcionamiento. La energía específica del paquete, incluyendo las celdas, la carcasa, electrónica y refrigeración, es de 156 Wh/kg.

El paquete de baterías tiene una estructura que le proporciona una enorme rigidez frente a la torsión, que se multiplica por 3 cuando se une al chasis.

El paquete de 85 kWh contiene 7 104 celdas repartidas en 16 módulos cableados en serie. El conjunto de las celdas pesan 325 kg en total.

El paquete está formado por baterías de iones de litio Panasonic 18650 de 3,1Ah de capacidad cada una. El paquete de 85 kWh contiene 7104 baterías agrupadas en 16 módulos. Cada batería pesa 46.5 gramos y tiene 18,2 mm. de diámetro y 65,1 mm. de largo con un voltaje nominal de 3,6 V. La capacidad nominal mínima es de 50 mAh y la capacidad nominal típica es de 70 mAh.

El sistema de refrigeración de las baterías trata de mantener la temperatura de las baterías siempre por debajo de 35° C para conseguir una temperatura media de 25° C. Para evitar los estados de carga muy altos o muy bajos el sistema de control no permite superar el 95% de la carga máxima ni bajar del 2%. Si la temperatura exterior está por debajo de 0° C el sistema de control calentará el paquete de baterías antes de proceder a la recarga.

En noviembre de 2012 Tesla anunció que el precio para reemplazar el paquete de baterías sería de 10 000 USD para el de 60 kWh y de 12 000 USD para el de 85 kWh. Aún se desconoce el coste para reemplazar los paquetes de 75 kWh, 90 kWh y 100 kWh.

Para la prevención y extinción de incendios en el paquete de baterías el Tesla Model S cuenta con las siguientes medidas:

- La batería está protegida por debajo con una plancha de aluminio blindado de 6,35 mm de grosor.
- La batería está compartimentada en 16 módulos separados por cortafuegos.
- Los módulos tienen conductos de ventilación que dirigirían las llamas hacia abajo.
- La energía de combustión del paquete es un 10% de la contenida en un depósito de gasolina.
- El potencial de combustión es del 1% comparado con un coche de gasolina del mismo segmento.

Desde el 6 de marzo de 2014 todos los Tesla Model S salen de fábrica con un triple escudo de protección de la batería compuesto por:



- Una barra hueca de aluminio diseñada para desviar los objetos o para absorber el impacto antes de que el objeto alcance el paquete de baterías.
  - Una plancha de titanio que protege los componentes de los bajos.
  - Una barra sólida de aluminio extruido en ángulo que absorbe energía del impacto y desvía el objeto.
- \* Sistema de refrigeración con placas prismáticas y serpenteo con placa inferior (Chevrolet Volt y Tesla Model 3)

El Chevrolet Volt utiliza placas prismáticas con refrigerante en su interior, que se adaptan perfectamente a la forma de las celdas. Se trata de un sistema muy efectivo.

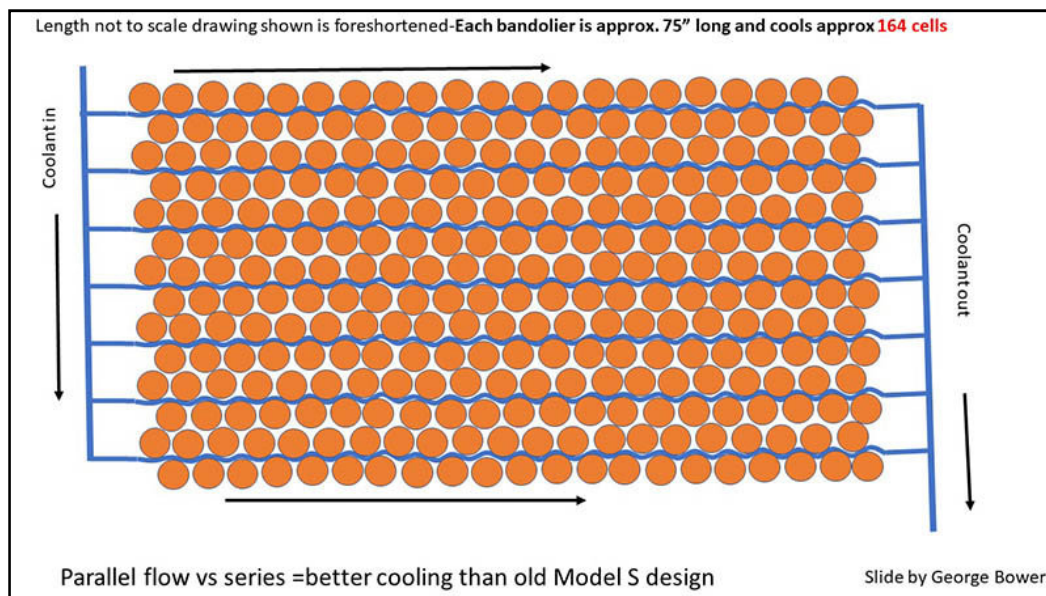
En las características técnicas pone claramente que el sistema de refrigeración del Chevrolet Volt es de líquido activo. Concretamente, 6,9 litros de líquido refrigerante se encargan de mantener la batería a la temperatura óptima.

En la foto se pueden ver los tubos por los que se mueve el refrigerante. Además, se puede ver un codo a través del cual lo más probable es que el líquido vaya a una placa de refrigeración que cubre toda la parte inferior de la batería.

El Tesla Model 3 también emplea este sistema:

### **Figura 27: Sistema de refrigeración con placas prismáticas y serpenteo**

Fuente: [Placas prismáticas](#) [27]



Así pues, este sistema combina la refrigeración del interior de la batería mediante el serpenteo con la refrigeración total de la batería mediante la placa inferior.

Para realizar este análisis térmico al detalle, InsideEVS realizó una modelización de las características de la batería del Model 3, teniendo en cuenta que su resistencia interna es un 10% menor que la del Model S gracias al nuevo diseño de las celdas 2170 de Panasonic. Este parámetro es clave en el diseño del TMS (Thermal Management System), el sistema de refrigeración activa de la batería, ya que aumenta con el cuadrado de la intensidad de corriente, un valor que se eleva cuando se procede a la recarga de la batería o cuando se circula a gran velocidad.

Las diferencias fundamentales en el diseño se refieren a los tubos de refrigeración y a la superficie de cada celda en contacto con ellos. En el Model S se utiliza un tubo continuo que refrigera 444 celdas en total. En cambio, en el Model 3, los tubos forman una red de conductos paralelos en la que cada tubo refrigera aproximadamente 164 celdas.

La superficie de contacto de los tubos de refrigeración de la batería del Model 3 es un 10% superior que en la del Model S. Por otro lado, el Model 3 utiliza un adhesivo delgado para unir las celdas de baterías a los tubos de refrigeración que conducen el líquido refrigerante (glicol), con gran capacidad de conducción térmica (conductancia). Este material tiene el doble de capacidad para conducir el calor que la almohadilla térmica gruesa de silicona que se usa en el Model S. Estos dos factores unidos permiten



una capacidad de refrigeración 2,3 veces superior en el Model 3 que en el Model S. El Model 3 es capaz de transferir líquido refrigerante por valor de 35 litros cada minuto. Esto choca de pleno con la concepción de los Model S y Model X, que, teóricamente, suelen transferir hasta unos 19-20 litros por cada minuto.

En consecuencia el sistema de conductos utilizados para el enfriamiento de la batería del Model 3 es capaz de hacer circular a través de las celdas el doble de volumen de líquido refrigerante que la batería del Model S. Esto se debe a que la batería del Model 3 tiene más tubos, situados en paralelo, y, además, cada uno de ellos con mayor sección transversal, lo que permite mayor caudal por unidad de longitud, reduciendo la caída de presión y el consumo de energía de la bomba que regula el circuito.

El análisis lo confirman las pruebas realizadas en el circuito de Laguna Seca en California. El Model 3 fue capaz de dar quince vueltas completas al circuito, de 3,5 kilómetros de longitud, sin apreciarse ningún tipo de recalentamiento en la batería, según describe la web de Teslarati.

#### \* Refrigeración con agentes químicos.

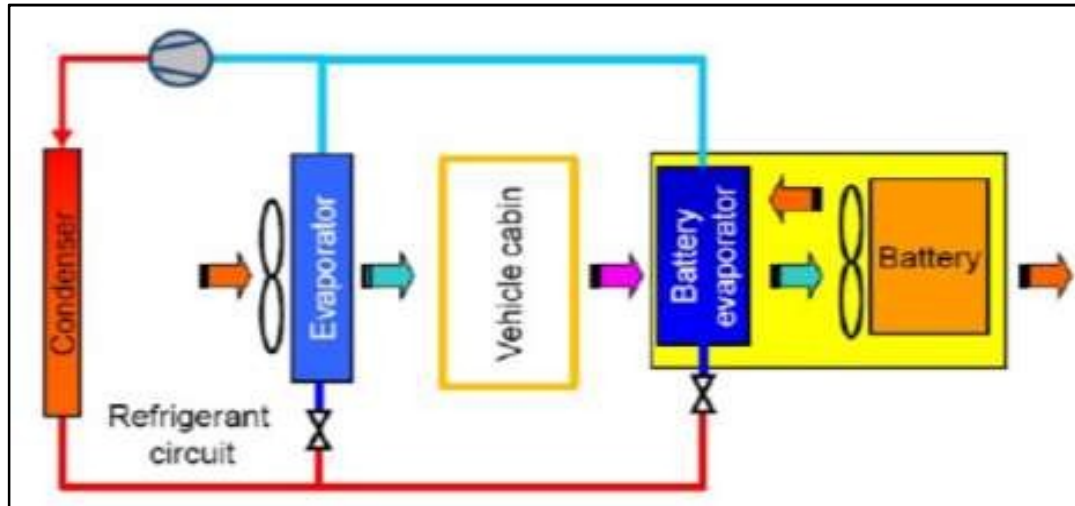
Muchas organizaciones del sector están a la búsqueda de la próxima generación de refrigeración líquida por inmersión, basada en agentes químicos especialmente fluorados. Estos elementos cuentan con el beneficio de permitir el contacto directo y, por lo tanto, la gestión térmica resulta más rápida y eficiente. Y, por si fuera poco, permiten la inmersión completa, ya que no producen daños ni dejan residuos. Estos fluidos tampoco son corrosivos ni suelen necesitar equipos auxiliares, por lo que su impacto en el tamaño de la batería es mínimo.

#### \* Sistema de refrigeración mediante un evaporador

Este sistema de refrigeración puede aumentar la autonomía de un vehículo eléctrico en un 30% en invierno y hasta un 20% en verano, gracias a un sistema de enfriamiento directo de las celdas consistente en un evaporador integrado en el módulo de la batería y conectado al circuito de climatización convencional del vehículo.

## Figura 28: Sistema de refrigeración con evaporador

Fuente: [Evaporador](#) [28]



El evaporador está formado por una multitud de tubos de aluminio que forman un radiador, de manera que los tubos se enrollan en el espacio disponible entre cada celda y liberan frío, mientras que unas aletas del mismo material permiten que se mantenga un intercambio de calor entre las celdas y las dos bobinas que hay por celda (una en el circuito exterior y la otra en el circuito de retorno) garantizando que la temperatura sea uniforme.

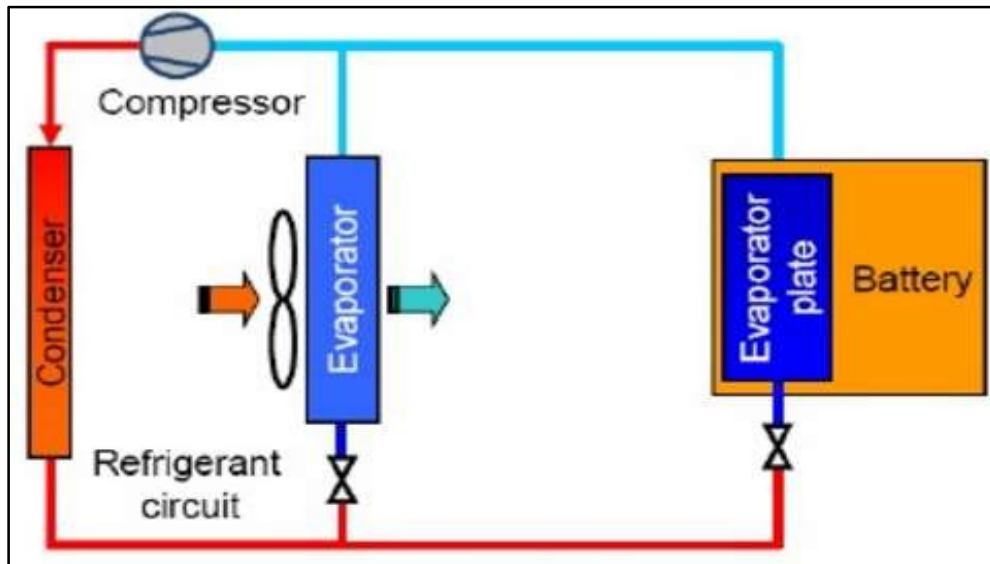
Este es el elemento diferenciador del sistema de Valeo comparado con el que emplean otros fabricantes que cuentan con dos radiadores (uno en el módulo de la batería y otro en el sistema de refrigeración del habitáculo) y circuitos secundarios de agua o glicol, por lo que como el sistema de Valeo utiliza el compresor existente, elimina la necesidad de una bomba adicional, no necesita una unidad de distribución y es muy compacto, con un peso de 2,2 kilogramos para baterías de 42 celdas. Valeo dice que el sistema se puede adaptar a cualquier modelo con una configuración de batería de cuatro filas de nueve celdas, de 3 filas y 12 celdas o de dos filas y 6 celdas.

\* Sistema de refrigeración directa: Los sistemas de refrigeración directa funcionan mediante la conexión de una placa de evaporador en paralelo con el actual evaporador del sistema de aire acondicionado del vehículo. Dicha placa del evaporador entra en

contacto directo con las celdas de la batería y la transferencia de calor desde la celda de la batería para el refrigerante.

### Figura 29: Sistema de refrigeración directa

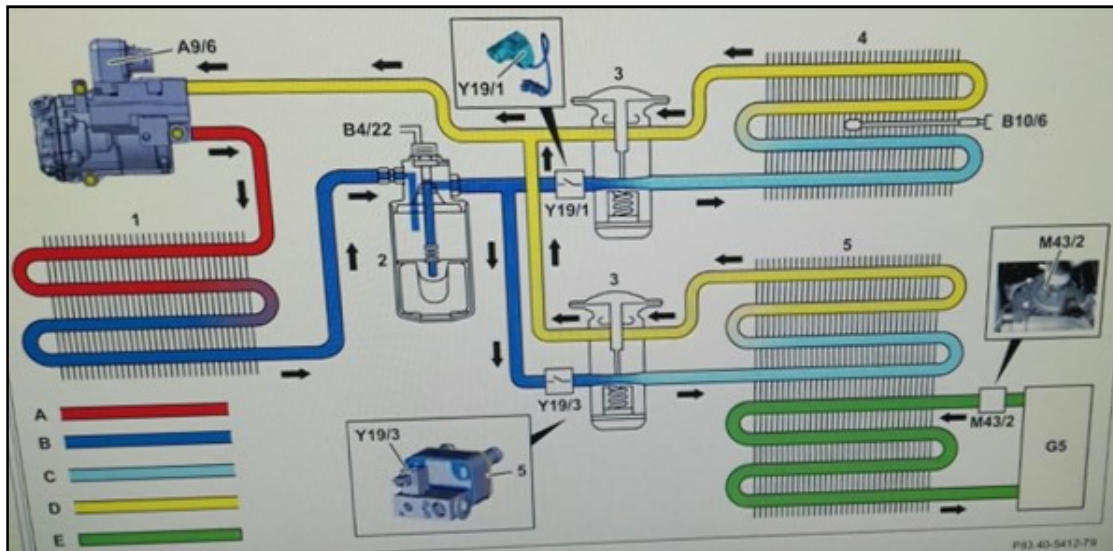
Fuente: [Refrigeración directa](#) [29]



Un ejemplo de un sistema de refrigeración directa es el Mercedes S400 BlueHybrid 2009.

### Figura 30: Sistema de refrigeración del Mercedes S400 BlueHybrid

Fuente: Don Marcos, ingeniero de Mercedes Benz en Tenerife. Comunicación personal



**Representación esquemática del circuito de agente frigorígeno**

1	Condensador	E	Líquido refrigerante del circuito de baja temperatura de la batería de alto voltaje
2	Depósito de líquido (secador)	A9/6	Compresor de agente frigorígeno eléctrico
3	Válvulas de expansión	B4/22	Sensor de presión del líquido refrigerante
4	Evaporador	B10/6	Sensor de temperatura del evaporador
5	Intercambiador de calor (con código V03 (Refrigeración de la batería))	G5	Batería de alto voltaje
A	Alta presión, gaseoso	M43/2	Bomba de líquido refrigerante refrigeración de la batería
B	Alta presión, líquido	Y19/1	Válvula eléctrica de expansión (espacio interior del vehículo)
C	Baja presión, líquido	Y19/3	Válvula de expansión eléctrica (batería) (con código V03 (Refrigeración de la batería))
D	Baja presión, gaseoso		

**Condiciones previas para el funcionamiento - Generalidades**

- Cadena cinemática lista para el funcionamiento (estado "READY") o preclimatización activa

**Circuito de agente frigorígeno - Generalidades**

El circuito de agente frigorígeno genera el frío necesario para la climatización del espacio interior del vehículo, cambiando el estado físico del agente frigorígeno de líquido a gaseoso. Asimismo, a través del circuito de agente frigorígeno de la batería de alto voltaje (con código V03 (refrigeración de la batería)) se puede bajar la temperatura del líquido refrigerante del circuito de baja temperatura, en caso de temperatura excesiva del líquido refrigerante del circuito de baja temperatura. La regulación del circuito de agente frigorígeno se efectúa por medio de la unidad de control del accionamiento eléctrico (N127). La activación eléctrica de las válvulas de expansión eléctricas se efectúa a través de la unidad de control de la climatización (N22/1). Los requerimientos de los ocupantes del vehículo para regulación de la climatización del espacio interior del vehículo son leídos a través de la unidad de mando del aire acondicionado (N20).

- El climatizador automático está conectado

- Válvula eléctrica de expansión (espacio interior del vehículo)
- Evaporador

Los diversos componentes del circuito de agente frigorígeno están unidos entre sí mediante tuberías flexibles y tuberías rígidas y forman un sistema cerrado.

El circuito de agente frigorígeno se distribuye como sigue:

- Lado de alta presión
- Lado de baja presión

Para información más detallada sobre la función de regulación de la climatización, véase la descripción del funcionamiento "Regulación de climatización". Para información detallada sobre el circuito de líquido refrigerante y sobre el circuito de agente frigorígeno de la refrigeración de la batería de alto voltaje, véase la descripción del funcionamiento separada "Gestión térmica - Funcionamiento".

El circuito de agente frigorígeno para la climatización del espacio interior del vehículo está compuesto básicamente de los componentes siguientes:

- Compresor de agente frigorígeno eléctrico
- Condensador
- Depósito de líquido (secador)

---

**Lado de alta presión**

Si el aire acondicionado (instalación frigorífica) está conectado a través de la unidad de mando del aire acondicionado (N20), entonces el compresor eléctrico de agente frigorígeno es conectado y regulado por la unidad de control a través del LIN del accionamiento eléctrico. Asimismo, el aire acondicionado puede estar conectado a través de la función "Preclimatización". El compresor eléctrico de agente frigorígeno aspira el agente frigorígeno gaseiforme del evaporador, lo comprime, con lo que se calienta, y lo impulsa hacia el condensador. El agente frigorígeno comprimido y caliente es enfriado en el condensador por el aire del exterior circulante o aspirado por el motor del ventilador (M4/7). Cuando se alcanza la temperatura de punto de rocío dependiente de la presión, el agente frigorígeno se condensa y pasa del estado gaseoso al líquido.

El agente frigorígeno fluye a continuación hacia el depósito de líquido (secador). Al pasar por el depósito de líquido, se extrae humedad del agente frigorígeno, se separan burbujas de vapor y se filtran impurezas mecánicas a fin de proteger los componentes siguientes. El agente frigorígeno limpio fluye hasta la válvula de expansión eléctrica (espacio interior del vehículo). La válvula de expansión eléctrica (espacio interior del vehículo) está compuesta de la válvula de expansión y de una válvula electromagnética, dispuesta en la tubería de alta presión delante de la válvula de expansión (espacio interior del vehículo), que regula la entrada de agente frigorígeno a la válvula de expansión. La válvula electromagnética está abierta sin corriente. El agente frigorígeno líquido, sometido a una elevada presión, puede fluir hacia la válvula de expansión y es inyectado en el evaporador (espacio interior del vehículo) por la válvula de expansión.

---

**Lado de baja presión**

El agente frigorígeno líquido se descomprime en el evaporador y cambia su estado de grupo de líquido a gaseoso. El calor necesario para la evaporación se sustrae del aire que fluye junto a las aletas del condensador, con lo que el aire se enfría. El agente frigorígeno, ahora en estado completamente gaseiforme, vuelve a ser aspirado y comprimido por el compresor eléctrico de agente frigorígeno. El aire enfriado entra en el habitáculo con la activación del motor del soplador (M2).

Para evitar un congelamiento del evaporador, la unidad de control de la cadena cinemática disminuye la potencia o desconecta el compresor eléctrico de agente frigorígeno si la temperatura del evaporador queda por debajo de un valor determinado. La temperatura del evaporador es registrada por el sensor térmico del evaporador. Las señales del sensor de la temperatura del evaporador son leídas directamente por la unidad de control de la climatización.

#### \* Refrigeración en el circuito eléctrico.

La marca de vehículos Porsche ha realizado un estudio de investigación en el cual añade un sistema de refrigeración formado por una solución de glicol y agua que circulará en las inmediaciones de los cables que forman el circuito eléctrico que une las baterías, el motor, los cargadores, el convertidor... Con este sistema pretenden enfriar todo el circuito eléctrico del vehículo para que trabajen a una temperatura óptima, aumentando sus prestaciones y eficiencias.

#### \* Batería de polímero termorresponsa

Investigadores de la Universidad de Stamford han desarrollado una nueva tecnología que es capaz de evitar el recalentamiento que sufren las baterías de alta densidad energética que utilizan los vehículos eléctricos.

En el estudio "Fast and reversible thermoresponsive polymer switching materials for safer batteries", publicado en la revista Nature Energy por el profesor Zhenan Bao y un grupo de investigadores, se describe una batería de iones de litio que "se apaga" antes de que se produzca este recalentamiento, reiniciándose de nuevo cuando la temperatura

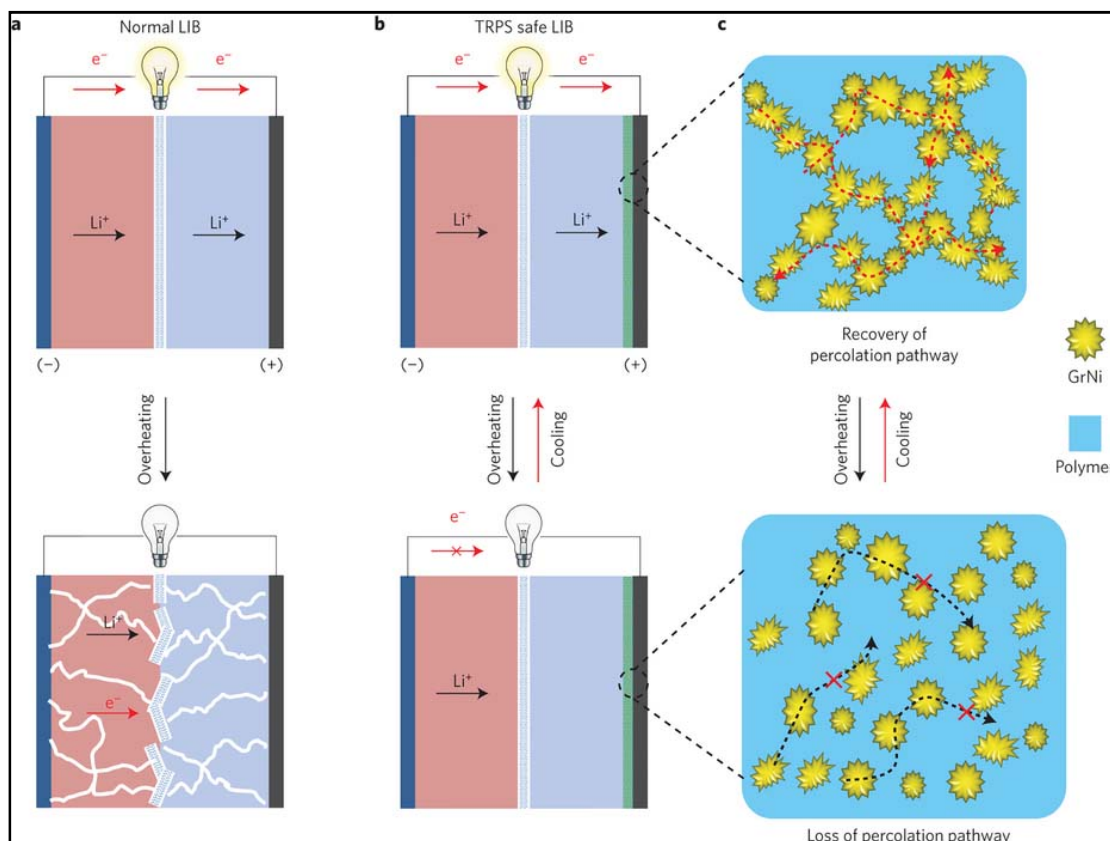


vuelve a bajar. “Se han intentado diversas estrategias para resolver el problema de los incendios accidentales en las baterías de litio. Nosotros hemos diseñado la primera batería capaz de apagarse y encenderse en los ciclos de calentamiento y enfriamiento de forma repetida sin comprometer el rendimiento”.

Las técnicas anteriores a esta han utilizado diversos mecanismos para mejorar la seguridad de la batería como añadir retardadores a los electrolitos o sistemas de aviso de recalentamiento que advierten al usuario antes de que la temperatura sea excesivamente alta.

### Figura 31: Batería de polímero termorresponsa

Fuente: [Batería autorregulable](#) [30]



Estas técnicas hasta ahora no han funcionado con la fiabilidad necesaria. Esto tiene una doble implicación. Por un lado las baterías pueden resultar inservibles en caso de un calentamiento excesivo y en segundo lugar hay un importante problema de seguridad que sigue siendo una preocupación muy importante y que requiere enfocarlo de otra manera.

Para abordar el problema los investigadores de Stamford han desarrollado un material plástico en el que se incrustan nanopartículas de níquel espigadas recubiertas con grafeno estables electroquímicamente, mezcladas en una matriz de polímero con un alto coeficiente de expansión térmica. Las películas compuestas de polímero fabricado muestran una alta conductividad eléctrica de hasta 50 S cm<sup>-1</sup> a temperatura ambiente. Es importante destacar que la conductividad disminuye dentro de un segundo entre siete y ocho órdenes de magnitud al alcanzar la temperatura de transición y se recupera espontáneamente a temperatura ambiente.

La película de polietileno se adjunta a uno de los electrodos de manera que la corriente eléctrica pueda fluir a través de él. Para poder conducir la electricidad las nanopartículas tiene que tocarse físicamente entre ellas. Durante la expansión térmica la lámina plástica se estira obligando a las partículas a separarse, haciendo que la película sea no conductora de la electricidad y se detiene el flujo eléctrico. Cuando se produce el enfriamiento se reúnen de nuevo y para permitir el paso de la electricidad.

Las baterías con este material de autorregulación incorporado en el electrodo pueden apagarse rápidamente en condiciones anormales, como el sobrecalentamiento y el cortocircuito, y pueden reanudar su funcionamiento normal sin comprometer el rendimiento o un desbordamiento térmico perjudicial. Nuestro enfoque ofrece una sensibilidad 10<sup>3</sup>-10<sup>4</sup> veces mayor a los cambios de temperatura que los dispositivos de conmutación. Se puede ajustar la temperatura, el número de partículas e incluso el material de la lámina plástica.

Según Yi Cui, coautor del estudio, “en comparación con otros sistemas de refrigeración de baterías, nuestro sistema proporciona un diseño confiable, rápido y reversible que puede lograr un alto rendimiento de la batería y mejorar la seguridad”.

#### **2.1.4.4 Ubicación del sistema de refrigeración**

La ubicación de los sistemas de refrigeración también es importante, pues optimizará la eficacia del enfriamiento de las lengüetas de las celdas.

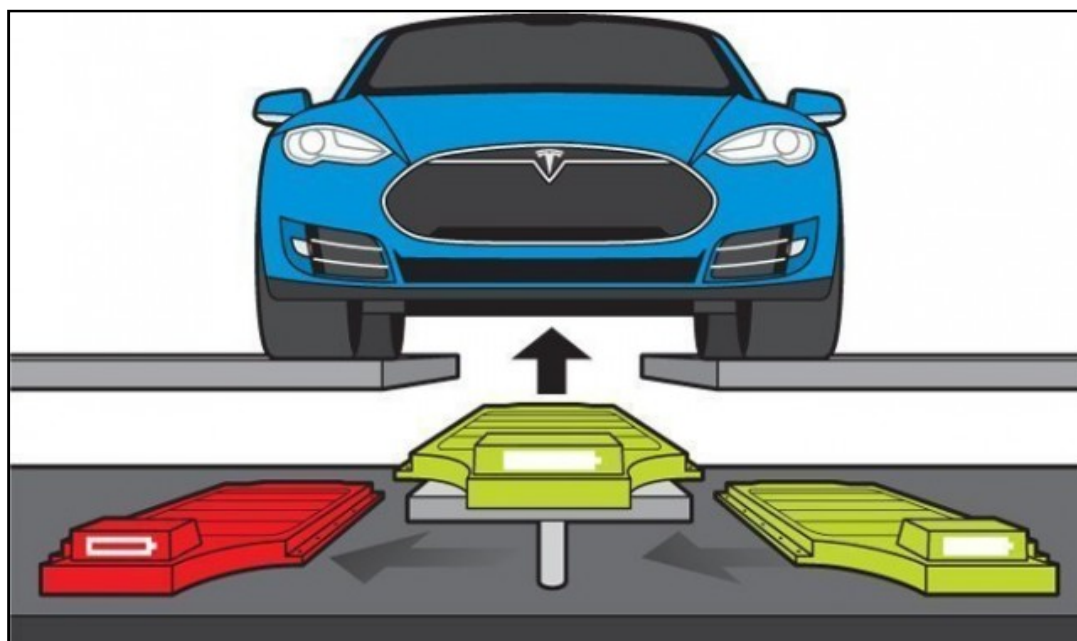
Tanto el BMW i3 como el Chevrolet Bolt utilizan una placa de refrigeración inferior en su batería. La instalación de la placa de refrigeración en la parte inferior del pack probablemente esté motivada por su construcción más sencilla, así como por la mayor facilidad para realizar análisis cuando haya fugas dentro del sistema de baterías. Las

lengüetas del BMW están situadas en la parte superior de la batería y no en la inferior, mientras que las del Chevrolet Bolt se encuentran en los laterales. Por ello, ninguno de los dos sistemas de refrigeración está situado en la que sería su ubicación ideal para conseguir un rendimiento óptimo.

Por otra parte, el sistema de enfriamiento de la batería de los Tesla Model S y Model X, que consiste en un tubo de enfriamiento patentado que serpentea a través del pack de baterías (contiene un flujo de refrigerante de glicol en agua), consigue el contacto directo con las células mediante el material de transferencia térmica. De nuevo, esto elimina el calor del costado de las celdas en lugar de las pestañas, por lo que es fácil sobrecalentar un pack de baterías.

### Figura 32: Ubicación del sistema de refrigeración

Fuente: [Ubicación](#) [31]



El enfriamiento de las lengüetas es difícil, debido a la necesidad de aislar eléctricamente el sistema de enfriamiento para evitar un cortocircuito en el pack, y también para asegurar que ningún fallo del sistema de enfriamiento en una junta dé como resultado la liberación del refrigerante dentro de la batería.

Un diseño eficaz del sistema de refrigeración generalmente conlleva una menor capacidad de la batería, debido a la longitud de los canales de refrigeración necesarios.



Además, es necesaria una bomba de refrigerante eléctrica que pueda mover altos caudales de flujo.

El diseño más eficaz es, por tanto, el de hacer circular el refrigerante por la batería, el cual una vez haya pasado a través de ella se hará circular a través de un intercambiador de calor. Allí el calor se transfiere al flujo de aire ambiental que está siendo soplado gracias a un ventilador. Además, a veces se utiliza un sistema de enfriamiento del refrigerante para lograr un enfriamiento secundario.

Esto último es importante si el vehículo está destinado a ser vendido de forma global, pues la temperatura ambiente puede variar muchísimo de un país a otro (véase España y Rusia). Por lo tanto, se necesita un enfriamiento de dos fases para conseguir que la batería se mantenga a una temperatura óptima de funcionamiento.

Debido al alto coeficiente de rendimiento de los sistemas con bomba de calor de refrigerante, se reduce el consumo total de energía del sistema. Por contra, supone añadir más piezas y por tanto aumentar los costes. Debido a que los ventiladores y las bombas tienen un alto potencial de consumo de energía parasitaria, lo que afecta al rendimiento general del vehículo, hay que seleccionar componentes muy eficientes para el sistema de refrigeración de las baterías. El consumo total de energía parasitaria se puede reducir en más de un 75% mediante el uso de bombas y ventiladores eficientes.

#### **2.1.4.5 Tipos de refrigerantes**

Se denomina refrigerante o fluido frigorígeno al utilizado en la transmisión de calor que, en un sistema de refrigeración, absorbe calor a bajas temperatura y presión, cediéndolo a temperatura y presión más elevadas. Este proceso tiene lugar, generalmente, con cambios de fase del fluido.

En principio, podría ser refrigerante cualquier sustancia que cambie de fase de líquido a vapor a una temperatura baja, en función de las condiciones de presión, pero para su utilización en un ciclo de refrigeración por compresión, debe tener la mayoría de las siguientes características.

\*Características que afectan al rendimiento:

- Presión de evaporación superior a la atmosférica para evitar infiltraciones de aire en el sistema.

- Presión de descarga no muy alta. Para evitar la necesidad de un equipo robusto, y desde luego por debajo de la presión crítica.
- Relación de compresión baja. La potencia del compresor aumenta con la relación de compresión.
- Temperatura de descarga no muy alta. Para evitar la descomposición del aceite lubricante o del refrigerante o la formación de contaminantes.
- Calor latente de vaporización lo más alto posible. Cuanto mayor, mejor producción frigorífica específica y menor caudal másico.
- Temperatura de ebullición, por debajo de la temperatura ambiente a presión atmosférica, fácilmente controlable y por encima de la temperatura de congelación.
- Volumen específico. Debe ser lo más bajo posible para evitar grandes tamaños en las líneas de aspiración y en el desplazamiento de compresor
- Calor específico. Debe ser lo más alto posible en el vapor, para que absorba una gran cantidad de calor y lo más bajo posible en estado líquido para reducir el vapor en la vaporización súbita
- Punto de congelación. Debe ser inferior a la temperatura mínima del sistema, para evitar congelamientos en el evaporador.
- Densidad. Debe ser elevada para requerir pequeñas dimensiones en las líneas líquido.

\*Características de seguridad:

- Estabilidad química dentro de la gama de temperaturas de trabajo.
- Inactividad química: que no reaccione con ninguno de los materiales con los que pueda tener contacto.
- No deben ser líquidos inflamables, corrosivos ni tóxicos.
- Dado que deben interactuar con el lubricante del compresor, deben ser miscibles en fase líquida y no nocivos con el aceite.
- No tendencia a las fugas. Los refrigerantes con bajo peso molecular escapan con mayor facilidad.

- Los refrigerantes, se aprovechan en muchos sistemas para refrigerar también el motor del compresor, normalmente un motor eléctrico, por lo que deben ser buenos dieléctricos, es decir, tener una baja conductividad eléctrica.

\* Refrigerantes comúnmente usados:

- El agua.

- El amoníaco o R717.

- El glicol

- R11.

- R12

- R22.

- R23.

- R32.

- R123.

- R124.

- R134a.

- R502.

- R404.

- R404a.

- R407C.

- R410A.

- R507.

- R517.

- R600a.

En cuanto a los refrigerantes más usados en automoción, cabe destacar:

\* R134a: es un gas refrigerante HFC puro que sustituye al R-12 en instalaciones nuevas. El R-134a es un excelente refrigerante utilizado en una gran variedad de aplicaciones e incluso como componente de muchas de las mezclas HFC existentes en el mercado. Permite trabajar a presiones más bajas que el resto de HFC y es un producto muy eficiente energéticamente para temperaturas positivas y medias.

#### Aplicaciones:

- Aire acondicionado del auto.
- Frigoríficos domésticos.
- Enfriadores de agua centrífugos.
- Bombas de calor.
- Cámaras de conservación.
- Transporte frigorífico.
- Refrigeración comercial.
- Temperaturas Altas
- Temperaturas Medias
- Instalaciones nuevas
- Retrofit

#### Características:

- No daña la capa de ozono, ODP = 0.
- Pueden rellenarse los equipos en caso de fuga.
- Alcanzan una capacidad frigorífica ligeramente inferior al R-12.
- Muy eficiente energéticamente aunque precisa de un compresor mayor respecto otros refrigerantes HFC.
- Potencial de calentamiento atmosférico PCA (GWP) = 1430

- Punto ebullición a 1,013 bar (°C): -26,1
- Deslizamiento de temperatura ó glide (°C): 0
- Densidad vapor saturado a -26,1°C (kg/m<sup>3</sup>): 5,28
- N° ONU: 3159
- Clasificación seguridad: A1. Baja toxicidad y no inflamable.

\* R32: El fluoruro de metileno, R32 es un producto químico orgánico gaseoso del grupo de los Hidrocarburos fluorados (HFC). El fluoruro de metileno es un gas inflamable usado en aparatos de aire acondicionado. Puede ser explosivo al mezclarse con el aire. La explosión se puede producir cuando la proporción esté entre el 13,5% de Volumen como límite inferior de Explosividad (LEL) y el 27,5% como límite superior de Explosividad (UEL). Es más pesado que el Aire y con 3,65 g/l, poco soluble en agua. El R32 no se enciende cuando la concentración en la habitación permanece por debajo del límite inferior de ignición (0,306 kg / m<sup>3</sup>). Las normas y estándares de seguridad internacionales y europeos, como EN 60335-2-40 y EN 378, estipulan que la concentración en caso de que se libere accidentalmente debe mantenerse muy por debajo del límite inferior de ignición. Supongamos se tiene una sala de estar con 35m<sup>2</sup> y una unidad interior de refrigeración partida (split). Incluso si todo el refrigerante del conjunto interior y exterior tuviera una carga de 1 kg de R32 y se escapara completamente dentro de la habitación, la concentración resultante de 0.011 kg / m<sup>3</sup> sería 27 veces menor que el límite de ignición. El R32 también es ignífugo. Las chispas de los relés y conmutadores en los electrodomésticos y la electricidad estática habitual no tienen energía suficiente para prender fuego al R32. El fluoruro de metileno (R32) se clasifica como Clase 2L según la ANSI/ASHRAE Standard 34-2010. La Clase 2L comprende refrigerantes con una velocidad de propagación de la llama igual o menor de 10 m/s. La clasificación completa es: Clase 1 - sin propagación de la llama; Clase 2L – difícilmente inflamable; Clase 2 - inflamable; Clase 3: fácilmente inflamable. El propano (R-290) o el isobutano (R-600a) pertenecen a la clase 3. En los frigoríficos domésticos el refrigerante estándar utilizado es la llamada "mezcla de Dortmund" que se compone principalmente de ambos. Es decir una mezcla más peligrosa es de uso habitual. En España la instalación de acondicionadores de aire conteniendo gases fluorados está regulada por el RD115/2017.

#### 2.1.4.6 Componentes del sistema de refrigeración

- La bomba: que es la encargada de que el líquido refrigerante circule por el circuito de refrigeración.
- El vaso de expansión: que contiene el anticongelante, los aditivos y el líquido refrigerante.
- El termostato: es el encargado de mantener la temperatura en el rango adecuado. Para ello, se regula el flujo de refrigerante que accede al radiador.
- El radiador: donde se enfría el líquido caliente proveniente del motor.
- Ventiladores automotrices: Los ventiladores funcionan para mantener la temperatura ideal de la batería, los mismos se activan mientras el vehículo está en marcha. Existen ventiladores de entrada para la refrigeración en zonas específicas, garantizando un flujo determinado de aire homogéneo y óptimo. También hay conductos conectados entre las entradas y las cajas de las baterías; éstos deben estar conectados para garantizar que pase aire frío por el sistema.

Las características técnicas de un ventilador son:

- \* Regular las corrientes de aire a medida del régimen y de la necesidad del motor.
  - \* Suministración eficiente del aire de refrigeración.
  - \* Minimizar la potencia de consumo.
  - \* Mantener la temperatura del líquido refrigerante dentro de un rango óptimo.
  - \* Minimización de ruido.
- Sistema de gestión de baterías (BMS): han sido un factor importante en el éxito de la integración de las baterías para todo tipo de aplicaciones. Una de estas aplicaciones es vehículos eléctricos, que representan una tendencia en la movilidad favorable al medio ambiente.

Sistema de gestión de la batería (BMS) es cualquier sistema electrónico que gestiona una batería recargable para proteger la batería cuando esta opera fuera de su área segura de funcionamiento. Además realiza el seguimiento de su estado, el cálculo de los datos

secundarios, información de los datos y el control de su medio ambiente para asegurar el equilibrio de la misma.

Además de equilibrar las celdas, un BMS:

- Evitará la sub tensión en las celdas desconectando la carga cuando sea necesario.
- Evitará la sobretensión en las celdas reduciendo la corriente de carga o deteniendo el proceso de carga.
- Desconectará el sistema en caso de sobrecalentamiento.

Por lo tanto, un BMS es indispensable para evitar que se produzcan daños en baterías de gran tamaño.

El sistema consiste de:

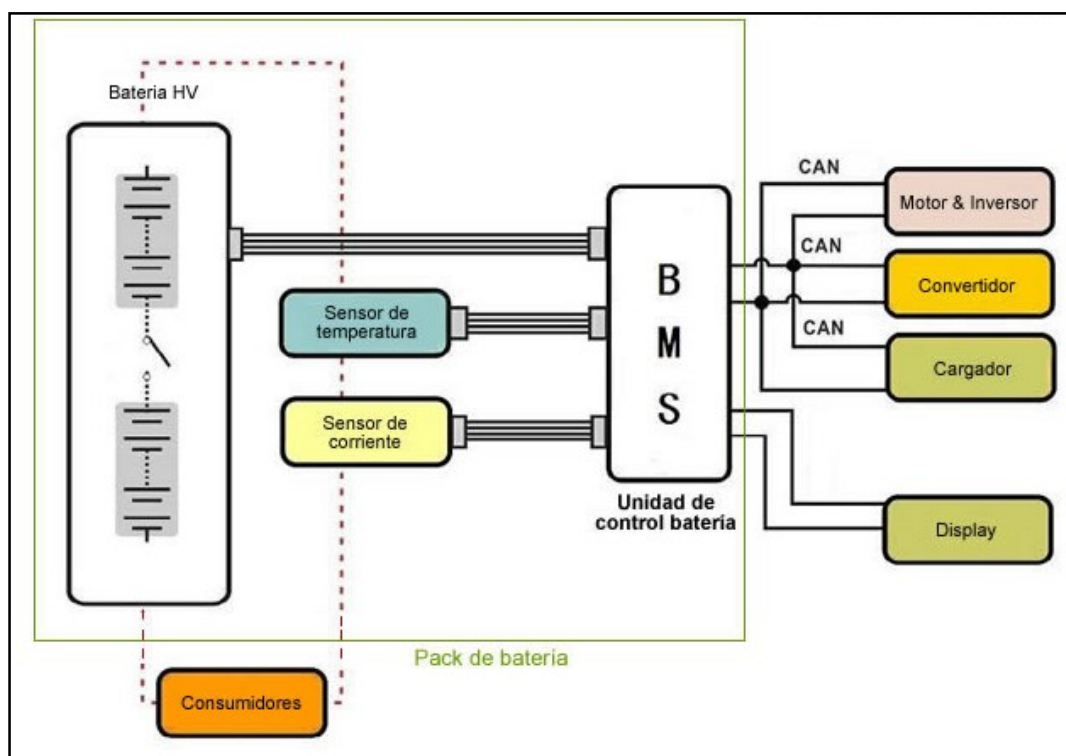
- Un controlador maestro
- Un número de tarjetas de celdas igual al número de celdas

Un sistema también puede incluir:

- Uno o más sensores de corriente para detectar la corriente de carga y la fuente.
- Un sensor de alto voltaje para detectar el voltaje del paquete y la pérdida del aislamiento.
- Impulsadores de balance para aumentar el nivel de corriente de equilibrio por parte de una tarjeta de celdas.

### **Figura 33: Sistema de control BMS**

Fuente: [BMS](#) [32]



El controlador BMS es capaz de realizar la regulación de la temperatura de diferentes maneras, teniendo en cuenta que no todas estas características están disponibles para todo software.

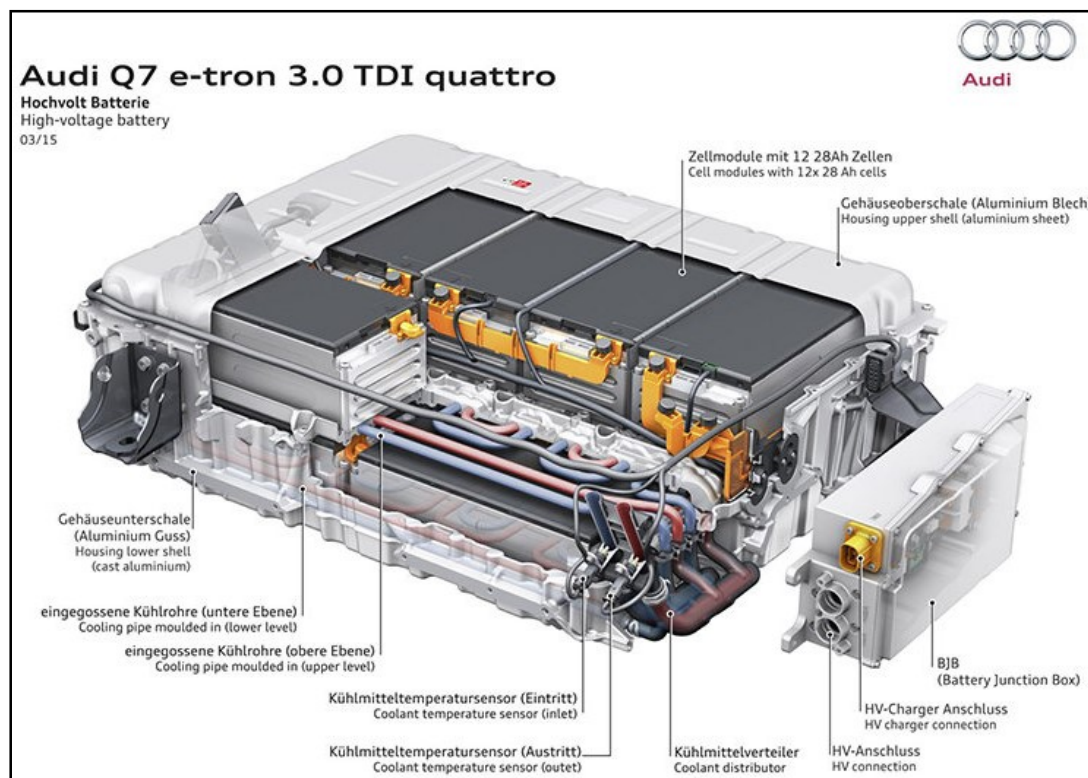
El ventilador de salida puede ser utilizado para comandar al enfriamiento de la batería cuando está demasiado caliente o para hacer funcionar un calefactor cuando la batería está demasiado fría. Las cargas de equilibrio de las celdas pueden ser utilizadas para calentar dichas celdas cuando la batería está demasiado fría.

- Relé automotriz: El relé o relevador es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico; en el que por medio de una bobina y un electroimán se acciona un juego de uno o varios contactos, permitiendo abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.

**Figura 34: Componentes de la batería del Audi Q7 e-tron 3.0 TDI quattro**

Fuente: [Audi Q7](#) [33]





#### 2.1.4.7 Problemas accidentales

Algunos de los problemas más comunes que pueden surgir en el sistema de refrigeración del coche son las fugas o roturas en la bomba, un ventilador que no funciona correctamente, los radiadores obstruidos, problemas en el termostato, sobrecalentamiento, usar un líquido refrigerante inadecuado, etc.

#### 2.1.4.8 Mantenimiento

A la hora de aparcar un coche eléctrico también se hacen las siguientes recomendaciones. Si vas a estacionar en días en los cuales el clima es adverso, tanto por altas como por bajas temperaturas, se recomienda dejar el coche conectado para que de esta forma pueda funcionar el sistema de refrigeración constantemente y proteja la batería. Por ejemplo, en un día de verano se recomienda dejar el coche en un lugar sombrío o garaje, y que entre en funcionamiento el climatizador para el habitáculo y el sistema de refrigeración para la batería. En el caso de que se vayan a realizar estacionamientos largos, es aconsejable dejar el vehículo conectado para que se mantenga la batería en su punto óptimo.

Se aconseja cambiar el filtro de aire del habitáculo sobre los 10.000-15.000 km. Además como novedad en estos tipos de vehículos se recomienda revisar el nivel de líquido de refrigerante de las baterías por primera vez a los 170.000 km y después cada 120.000 km.

También es muy importante revisar:

- El tensado de la correa trapezoidal.
- El estado y sujeción de los manguitos.
- Las pérdidas de líquido (estanqueidad).
- La verificación del ventilador eléctrico del radiador.
- El estado del termostato (comprobar que esté en buen estado)
- El nivel del refrigerante
- En climas fríos, vigilar atentamente que el anticongelante no llega a congelarse.

### **2.1.5 Legislación ambiental**

Otro aspecto a tener en cuenta con cualquier refrigerante de batería es la legislación ambiental, que puede afectar en su uso en el futuro.

Aunque los químicos dieléctricos tienen sus ventajas, muchos de ellos son mirados con lupa por las normativas. Por ejemplo, los HFC, unas sustancias químicas normalmente empleadas en aplicaciones de transferencia de calor, se encuentran en fase de eliminación gradual bajo la regulación F-gas. Se espera que en 2030 su producción y su uso se hayan reducido un 79% (con respecto a ahora).

\* Reciclaje de baterías:

La generalización de las baterías recargables debe evitar los errores del pasado, y para ello se debe considerar todo el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas al reciclaje o eliminación, pasando por la fabricación y la operación, evitando o minimizando en todas las fases la contaminación y el vertido, y muy especialmente de metales pesados.

Las tasas actuales de reciclaje de baterías de vehículos alcanzan o superan el 90%, tasas mucho más elevadas que las pequeñas baterías empleadas en usos domésticos (menos del 10%), y que en gran parte acaban en los vertederos. Dado que el litio es totalmente reciclable, cabe esperar que las tasas del 90% se mantengan e incluso aumenten ligeramente.

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## ANEXO-BATERÍA FSULL

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019





# Universidad de La Laguna

## *Proyecto Técnico:*

“Diseño y montaje del pack de baterías del vehículo Formula Student eléctrico del equipo FSULL”

## *Autores:*

Guillermo Coba Afonso

Amairany Katuska Francisco Lucena

Carolina León Mesa



## ***Resumen***

En este trabajo se documenta el proceso de cálculo, elección y configuración del pack de baterías que alimentará el vehículo Formula Student eléctrico diseñado por los estudiantes de la Universidad de La Laguna.

Este pack de baterías se encargará de proporcionar la energía necesaria a nuestro vehículo para realizar con éxito las pruebas de las que se compone la participación en el evento de Formula Student.

Para conseguir nuestro propósito, se diseñará y montará un pack utilizando el número de baterías que de los cálculos teóricos obtengamos como necesarias para alimentar el vehículo, atendiendo a las limitaciones en cuanto a componentes presentes en la normativa.



## Contenido

Resumen .....	1
Índice de imágenes .....	3
Índice de tablas .....	4
Introducción .....	5
Objetivos .....	6
1. Revisión del reglamento de la Formula Student. ....	7
2. Proceso.....	9
3. Pack de baterías del prototipo .....	10
4. Análisis de resultados finales obtenidos .....	11
5. Conclusiones y presupuesto .....	18
6. Bibliografía .....	19
7. Anexos .....	20





## *Índice de imágenes*

1	Compartimentos caja de baterías	Página 11
2	Dimensiones celda	Página 13
3	IMD	Página 14
4	BMS	Página 15
5	Cargador	Página 15
6	Relés de aislamiento	Página 16



## *Índice de tablas*

1	Cálculos del Skidpad	Página 10
2	Cálculos del Endurance	Página 10
3	Cálculos de la prueba de Aceleración	Página 10
4	Cálculos del Autocross	Página 10
5	Cálculos del pack	Página 10
6	Tabla resumen baterías	Página 11
7	Datos batería	Página 12
8	Datos compartimento	Página 12
9	Cálculos espacio baterías	Página 12
10	Cálculos espacio compartimentos	Página 12
11	Cálculos packs individuales	Página 12
12	Presupuesto	Página 17



## *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.

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 OptimunLap, con el fin de poder preveer el funcionamiento y eficacia de nuestro pack de baterías en una futura puesta en marcha real para el evento de Formula Student.



## *Objetivos*

- Revisión de la normativa.
- Realización de cálculos teóricos previos al diseño.
- Realizar un diseño del pack de baterías para un prototipo de Formula Student.
- Elección del BMS y cargador, ambos comerciales.



## *1. Revisión del reglamento de la Formula Student.*

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

- Están permitidas todo tipo de celdas excepto las baterías de sal fundida y las baterías de energía térmica.
- 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 el máximo voltaje de 120 V DC ni la máxima energía de 6 MJ ni exceder una masa máxima de 12 kg.
- Los packs de repuestos de elementos del pack de baterías deben ser presentados en la inspección técnica y deben tener las mismas características que los reemplazados.
- Cada compartimento debe estar marcado con el nombre de la universidad y el número de teléfono del ESO con una letra y tamaño específico descrito en la normativa.
- Debe ser posible abrir el contenedor de las baterías para su inspección. También extraer del vehículo el contenedor de las baterías sin necesidad de instalar componentes extras (Fácil desmontaje).
- El contenedor de las baterías debe estar claramente identificado.
- 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 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 contra choques o impactos por la estructura.
- El contenedor de las baterías debe estar dividido internamente en secciones respetando dimensiones especificadas.
- Es necesario atender a las especificaciones descritas en el párrafo EV 5.4 de la normativa sobre las configuraciones eléctricas y los leds indicadores de la configuración eléctrica de la batería.
- El contenedor de las baterías debe ser de acero o aluminio. Consultar en la normativa algunos materiales alternativos permitidos.



- El contenedor de las baterías debe estar debidamente marcado con una etiqueta acorde a la normativa “ISO 7010-W012”.
- El 100% de las celdas deben ser monitoreadas.
- El IMD elegido debe cumplir la normativa asociada.
- El cargador elegido debe ser presentado en la inspección técnica y bajo ningún concepto tener partes conductoras expuestas.



## 2. Proceso

En primer lugar, procedimos a la lectura de la normativa del evento, luego hicimos una primera búsqueda por la web de los diferentes modelos de las celdas disponibles y sus diferentes características para ir ampliando nuestra información.

En segundo lugar, realizamos los cálculos de la capacidad que tenía que tener el pack de baterías para los eventos de endurance, skidpad, aceleración y autocross (en kWh), así como su carga (en Ah). Una vez obtenidos esos resultados, con los datos de la prueba más restrictiva, que en nuestro caso se trata del endurance, procedimos a realizar el cálculo del pack de baterías, que engloba:

- Número de celdas necesarias.
- Numero de celdas necesarias en serie.
- Número de celdas necesarias en paralelo.
- Peso total del pack.
- Dimensión total del pack.

Todo esto fue obtenido partiendo de la energía consumida por el motor, la potencia suministrada por el mismo, y la energía necesaria. Otros parámetros obtenidos en esta fase de cálculos fueron la energía total que da el pack y su autonomía. Una vez obtenido todo esto, realizamos una segunda búsqueda de las celdas que cumplieran nuestros requisitos teóricos.

En tercer lugar, y partiendo de la base de los cálculos realizados, se realizó un diseño principal de la caja 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 prototipo del pack, de las cuales tras una valoración por parte de varios integrantes del equipo, escogimos la propuesta más adecuada y que mejor cumplía con los requisitos del evento y los requerimientos del vehículo.

### 3. Pack de baterías del prototipo

Una vez realizados los cálculos se han obtenido los cálculos que se detallan a continuación:

- Resultados requerimientos de potencia:

SKIDPAD	
Dm (m)	18,25
Longitud/unidad	57,3340659
Longitud circuito	114,668132
Alcance (km)	0,45867253
Eficiencia (kW(km))	0,26
Capacidad(kWh)	0,11925486
Carga (Ah)	0,67

Tabla 1.

ENDURANCE	
Voltaje	400
Alcance (km)	22
Eficiencia(kW/km)	0,26
Capacidad (kWh)	5,72
Carga(Ah)	32,18
P (kW)	45

Tabla 2.

AUTOCROSS	
Alcance (km)	1,5
Capacidad (kWh)	0,39
Carga (Ah)	2,19

Tabla 3.

ACELERACIÓN	
Alcance (km)	0,075
Capacidad (kWh)	0,0195
Carga (Ah)	0,11

Tabla 4.

- Cálculos para el pack

Energía necesaria, kWh	8362,5731	8,362573099
Celdas en serie,min	108	
Celdas en serie, max	108,108108	
Celdas en serie final	108	
Voltaje cubierto por el pack	399,6	
Immax, A	200,2002	
Celdas en paralelo	2	
Total celdas	216	
Et que da el pack, kWh	6,63336	
Área celda (cm3)	74,9385	7,49385E-05
Área pack (cm3)	16186,716	0,016186716
Peso total pack (kg)	36,72	En m3

Tabla 5.



#### 4. Análisis de resultados finales obtenidos

Los resultados finales obtenidos del pack de baterías serían:

Celdas serie	108
Celdas Paralelo	2
Total Celdas	216
Et pack, kWh	6,63336
Dimensión pack, m3	0,016186716
Peso pack, kg	36,72

Tabla 6.

Por tanto tenemos un pack configurado por un total de 216 celdas, que nos suministrarán un total de 6,6 kWh aproximadamente, unas dimensiones razonables, y un peso total neto de baterías de 37,152 kg, sin incluir peso del BMS y cableado.

Las celdas se agruparán en 8 compartimentos, de 27 celdas cada uno, dispuestos como se muestra a continuación:

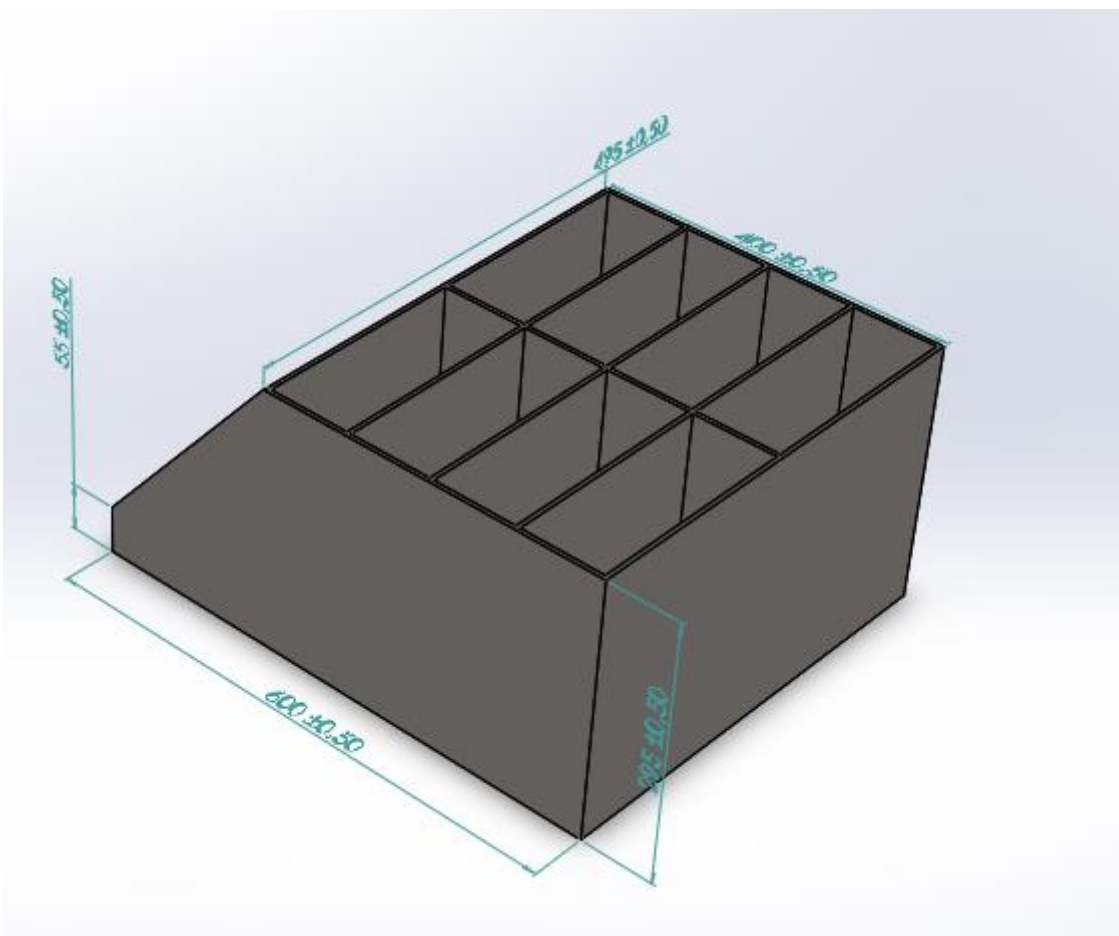


Imagen 1.



Se contemplará una separación mínima entre celdas para su correcta refrigeración de 0,3 mm.

Para calcular los espacios ocupados y sobrantes a la hora de introducir las celdas en las cajas, hemos utilizado hojas de cálculo con los siguientes resultados:

- Baterías (datos celda individual):

	<b>EPS 8300 1S15</b>
<b>Espesor</b>	5,8 ± 0.3 mm
<b>Ancho</b>	64 ± 1 mm
<b>Largo</b>	187 ± 2.0 mm
<b>Peso</b>	170 g

Tabla 7.

Cada compartimento tiene las siguientes dimensiones:

	<b>Compartimento</b>
<b>Ancho</b>	9,375 cm
<b>Largo</b>	24,25 cm
<b>Alto</b>	29 cm

Tabla 8.

Cada compartimento llevará un total de 27 celdas en serie, por lo tanto, si calculamos dimensiones:

<b>Celdas</b>	<b>En mm</b>	<b>En cm</b>
Ancho	65	6,5
Largo	188	18,8
Espesor	6	0,6

Tabla 9.

<b>Compartimentos</b>	<b>En mm</b>	<b>En cm</b>
Ancho	93,75	9,375
Largo	242,5	24,25
Alto	290	29

Tabla 10.

<b>Packs pequeños</b>	<b>mm</b>	<b>cm</b>
Nº unidades	27	
Espesor	6	0,6
Total	162	16,2
Sobra para espaciar	80,5	8,05
Ancho sobra	28,75	2,875
Alto sobra	102	10,2

Tabla 11.

Por tanto, queda demostrado que no tenemos problema de espacio a la hora de controlar las celdas ni de ventilarlas, disponemos de un total de 10 cm aproximadamente para instalar los sistemas de gestión de las celdas y los ventiladores. Así como un total de 8,05 cm para espaciar las celdas entre sí.

Las celdas elegidas, han sido las EPS 8300 1S15:

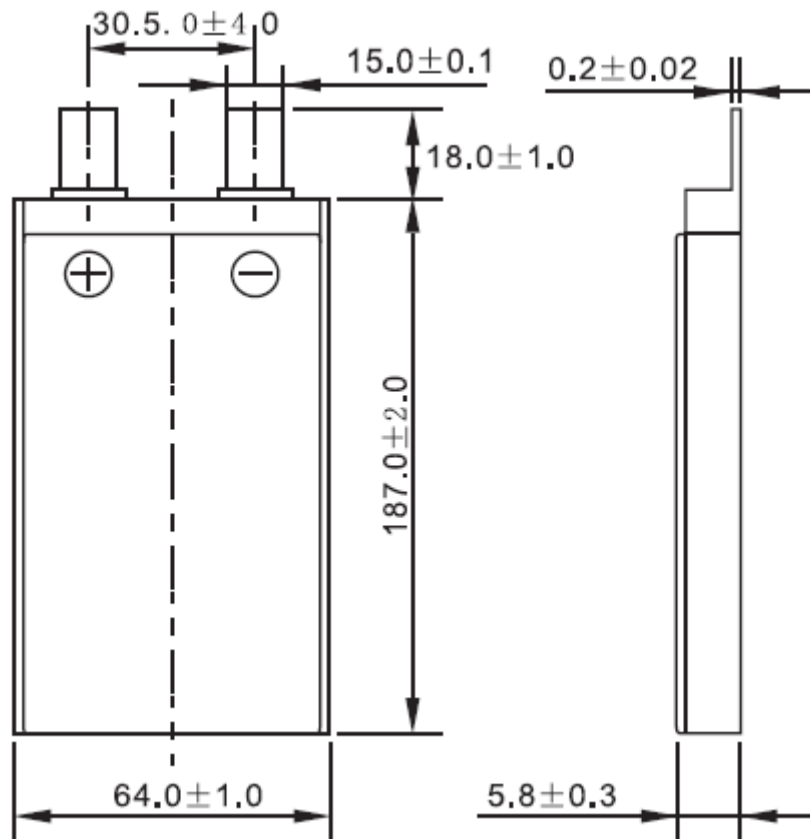


Imagen 2.

- **IMD**

En cuanto al resto de elementos del pack de baterías, también hemos elegido el IMD que utilizaremos, de la empresa BENDER, modelo IR155 3204. Este dispositivo de aislamiento es de obligatorio uso según la normativa de la Fórmula Student.



Imagen 3.

Este elemento es un dispositivo que se encargará de controlar la resistencia de aislamiento entre los conductores de alta tensión del sistema eléctrico y la tierra de referencia (masa del chasis).

- **BMS**

Por ser nuestro primer contacto con la Formula Student, hemos decidido utilizar un cargador y BMS comerciales. Tras la revisión de la normativa 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 108 celdas, es decir, tomaremos dos como este, ya que es más sencillo que controlar cada 27 celdas de los packs individuales. En un futuro, implementaremos BMS para cada compartimento.



Imagen 4.

Tendremos que añadir cableado a la hora de sacar las conexiones de cada compartimento al dispositivo BMS, por ser su configuración para un total de 108 celdas. Este dispositivo elegido, dispone de su propio software de configuración por lo que no tendremos que implementarlo nosotros.

- **Cargador**

Por último, hemos elegido el cargador, 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, por simplicidad al igual que con los BMS, lo hemos elegido comercial. Se trata del modelo EVO11KL.

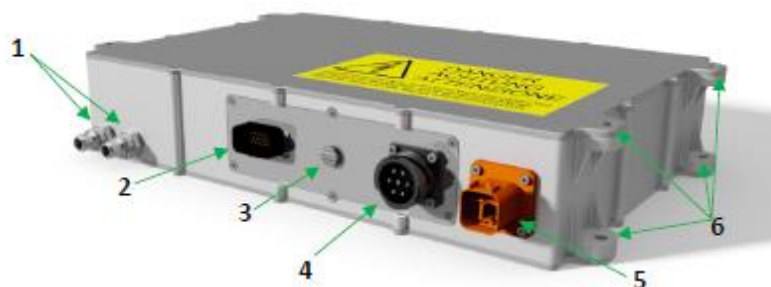


Fig. 3 Main Structural EVO11KL

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)

Imagen 5.

- **Relés de aislamiento:**

Para nuestro pack de baterías es necesario la adquisición de 4 relés de aislamiento, en este caso hemos elegido el modelo Kilovac LEV200, de la empresa MOUSER ELECTRONICS:



Imagen 6.

- **Cables de HV y conexiones:**

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.

En este caso hemos elegido unos conectores de la marca Molex, modelo 171466-9001 y 171467-1001 de la empresa DIGIKEY:



Imagen 7.  
Conector Molex 171466-9001



Imagen 8.  
Conector Molex 171467-1001

Características		
Modelo	171466-9001 (macho)	171467-1001 (hembra)
Aplicación	Alimentación	Alimentación
Tipo de impermeable / anti-polvo	IP6K9K	IP6K9K
Corriente máxima	250 A	250 A
Voltaje máximo	1000 V DC	1000 V DC

Tabla 12.

- **Terminales de conexión (circuito en alta tensión):**

Un terminal de tipo ojo, se denomina de esta manera por el agujero que tiene en su cuerpo y el cual sirve para el anclaje mediante un perno conductor en el punto de anclaje del circuito. Se eligió el modelo KSS C50-8, de la empresa KSS o de la empresa VIDRI:



Imagen 9.

Características	
	Tamaño en milímetro (mm)
Agujero para perno (diámetro)	8.4
Ancho	18
Largo	43
Cavidad para cable	9.7

Tabla 13.

- **Cables (circuito en alta tensión):**

Se necesita un cable que ofrezca una excelente flexibilidad y capacidad de carga. Por ello, se eligió un cable de la marca Radaflex A, empresa PREMIER CABLES LTD. Además, este cable proporciona una cubierta exterior con una envoltura ignífuga.



Imagen 10.

Características	
Voltaje máximo	600 V
Corriente máxima	350 A
Tipo de aislante	PE
Temperaturas nominales	-30°C a 90°C
Tipo de cable	No blindado
Normas	UL1072

Tabla 14.

## 5. Conclusiones y presupuesto

Nuestro prototipo de diseño cumple con los cálculos teóricos que hemos realizado, las especificaciones de la normativa y de diseño. Por tanto, estamos seguros de que obtendremos los resultados esperados en las pruebas si construimos este pack de baterías.

A continuación, adjuntamos una tabla detallada del presupuesto, aunque no es la definitiva puesto que falta consultar algunos cables de HV y conexiones:

Producto	Cantidad	Precio (Euros)	Empresa
<b>Celdas EPS8300 1S15</b>	246	4867,65	E-Propulsions
<b>* Orion BMS 2</b>	1	3198,97	Evolve Electric
<b>* Cargador Valeo Siemens 3.3kW OBC</b>			
<b>Relés KILOVAC L200</b>	5	694,90	Mouser Electronics
<b>IMD IR 155 3204</b>	1	Patrocinio	Bender
<b>TOTAL APROXIMADO</b>		8716,52 euros	

Tabla 12.





*\* Los datos de presupuestos y las negociaciones de patrocinio han sido consultadas personalmente por medio de correos electrónicos entre mi persona y las empresas mencionadas en este informe, por ello es posible que los precios no se ajusten a los descritos en las páginas webs de dichas empresas. (Amairany)*

## ***6. Bibliografía***

- <https://evolveelectrics.com>
- <https://www.epropulsionsystems.eu/>
- <https://www.mouser.es/>
- <https://www.bender-uk.com>

*\* Las hojas de cálculos y tablas son de autoría propia.*



## *7. Anexos*

Se adjuntan a este documento (drive del equipo) las fichas técnicas en formato PDF de los elementos y modelos anteriormente mencionados.

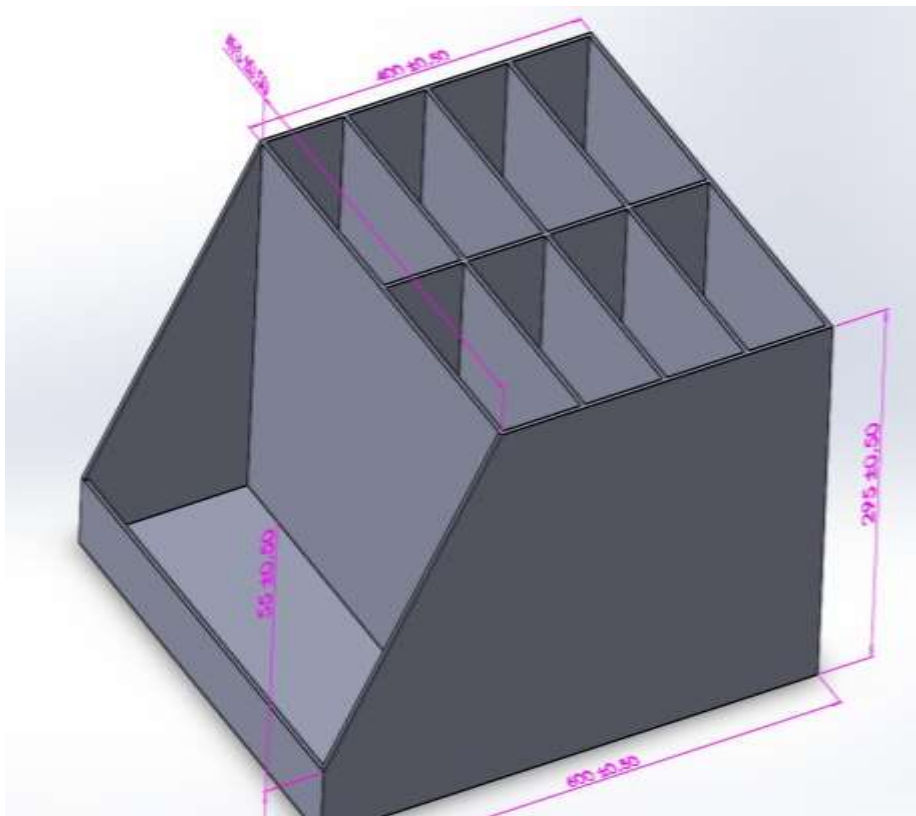
- Cargador
- Batería
- IMD
- BMS
- Relés de aislamiento

## 1. Tamaño contenedor, compartimentos y baterías:

- Baterías (datos celda individual):

	<b>EPS 8300 1S15</b>
<b>Espesor</b>	5,8 ± 0.3 mm
<b>Ancho</b>	64 ± 1 mm
<b>Largo</b>	187 ± 2.0 mm
<b>Peso</b>	170 g

- Contenedor:



\* Modelo de solid adjunto, con las baterías y el bms incluido.



Cada compartimento tiene las siguientes dimensiones:

	<b>Compartimento</b>
<b>Ancho</b>	9,375 cm
<b>Largo</b>	24,25 cm
<b>Alto</b>	29 cm

Cada compartimento llevará un total de 27 celdas en serie, por lo tanto, si calculamos dimensiones:

<b>Celdas</b>	<b>En mm</b>	<b>En cm</b>
Ancho	65	6,5
Largo	188	18,8
Espesor	6	0,6

<b>Compartimentos</b>	<b>En mm</b>	<b>En cm</b>
Ancho	93,75	9,375
Largo	242,5	24,25
Alto	290	29

<b>Packs pequeños</b>	<b>mm</b>	<b>cm</b>
Nº unidades	27	
Espesor	6	0,6
Total	162	16,2
Sobra para espaciar	80,5	8,05
Ancho sobra	28,75	2,875
Alto sobra	102	10,2

Por tanto, queda demostrado que no tenemos problema de espacio a la hora de controlar las celdas ni de ventilarlas, disponemos de un total de 10 cm aproximadamente para instalar los sistemas de gestión de las celdas y los ventiladores. Así como un total de 8,05 cm para espaciar las celdas uniformemente entre sí.



## 2. Elección de la química y características de las celdas.

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.

### Parámetros que caracterizan a una batería:

- **Celda:** El menor elemento que forma una batería, pueden ser asociada en serie o en paralelo con otras, con el objetivo de conseguir los valores de corriente o de tensión deseados.
- **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. DOD (Depth Of Discharge).
- **Tensión en vacío (Eo):** 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. Cuando una batería suministra energía a una carga, su tensión disminuye tanto o más, cuanto mayor sea la corriente de descarga.
- **Resistencia interna:** Se define como un concepto que ayuda a modelar las consecuencias eléctricas de las complejas 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. El valor de la capacidad de una batería (C), se calcula como la integral de la corriente a lo largo de un determinado periodo de tiempo.

Departamento de Baterías.  
Amairany Katiuska Francisco Lucena



- **Capacidad nominal:** Capacidad que puede entregar una batería desde plena carga, hasta alcanzar una tensión en descarga determinada, a una temperatura ambiente fijada y utilizando una razón de descarga específica. Por ejemplo, una batería tiene una capacidad nominal de 100 Ah, cuando descargándola desde su estado de plena carga, con una corriente constante de 20 A y a temperatura de 23°C, es capaz de mantener la tensión por encima de 1 V/celda durante al menos 5 horas.
- **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. La capacidad real puede ser menor o mayor que la capacidad nominal, dependiendo de la razón de descarga utilizada y de la temperatura ambiente del entorno donde está funcionando la batería.
- **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), límite que viene fijado por el fabricante con el fin de evitar daños y pérdidas de prestaciones. La máxima corriente por intervalos suele ser sensiblemente más alta que la máxima corriente continua.
- **Índice C:** El **culombio** o **coulomb** (símbolo **C**), es la unidad derivada del sistema internacional para la medida de la magnitud física “cantidad de electricidad” (carga eléctrica). Es la razón de carga o descarga expresada en amperios y hora. Con frecuencia se utilizan múltiplos y submúltiplos de este índice, para definir la magnitud de la corriente de carga o de descarga de la batería. Se define como la cantidad de carga transportada en un segundo por una corriente de un amperio de intensidad de corriente eléctrica.  $1 \times C = 1 \times A \times s$ .
- **Auto descarga:** Pérdida de capacidad de una batería, cuando se mantiene en circuito abierto. Generalmente, se expresa en términos de porcentaje de pérdida de capacidad, con respecto a la capacidad nominal en un periodo de tiempo de un mes.
- **Sobrecarga:** Proceso que tiene lugar cuando se continúa cargando una batería, después de que se pierde la eficiencia de las reacciones electroquímicas al 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. Cuanto más alta, mayor será su rendimiento, idealmente el 100%. También es importante que una batería mantenga su eficacia en función del tiempo de almacenamiento.
- **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. Este tipo de carga no está enfocado a las actuales baterías de litio, en la que su tiempo de carga ronda los 60 minutos o menos.
- **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 (subjetiva a cada fabricante).
- **Potencia máxima de un elemento** (en tecnología de 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° en su superficie, en el menor tiempo posible (subjetivo a cada fabricante).
- **Coste (E/kWh)**: el coste de la batería por unidad de energía almacenada, esencial para aplicaciones económicas.
- **Toxicidad**: no es fácil de cuantificar, pero es de vital importancia debido a que muchas tecnologías utilizan productos muy contaminantes. Es por ello que las



nuevas tecnologías desechan el uso de metales como el mercurio que ha causado importantes incidentes medioambientales.

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

### Ventajas y desventajas:

- Las baterías incorporan el Litio como elemento principal gracias su inexistente efecto memoria y su tamaño reducido.
- Más baratas de producir.
- Tienen una vida útil relativamente larga (normalmente un máximo de 1000 ciclos de carga, aunque lo más común es que sobrevivan durante unos 500 ciclos o poco más sin alterar mucho sus virtudes), un tamaño bastante pequeño para su capacidad y poco peso.
- Las baterías de Li-Ion usan como electrolito una sal de Litio contenida en un solvente orgánico (líquido) que proporciona los iones necesarios que circularán entre el cátodo hasta el ánodo durante la descarga. Esto genera una diferencia de potencial que hace moverse a los electrones (proporcionar energía) por el circuito al que está conectada la batería. Durante la carga se invierte la polaridad, el proceso es el inverso, es decir, 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 (un compuesto polimérico) en vez de un líquido, lo que hace menos probable un derrame o al menos más controlable.
- La principal diferencia entre ambas baterías es que las LiPo suelen ser más flexibles. Es decir se curvan más fácilmente para adaptarlas a diseños curvados y son más resistentes a esfuerzos de deformación. El problema principal de las baterías de LiPo es que son más inflamables.
- Una batería LiPo puede almacenar una gran cantidad de energía y puede fabricarse en medidas personalizadas. Ofrecen una tasa de descarga muy alta.
- Las baterías LiPo tienen la particularidad de disponer de un mayor voltaje por celda que otros tipos. Pueden llegar a los 4.2 v cuando están completamente cargadas.
- El rango de C que tenga una batería nos indica por tanto la máxima velocidad a la que podemos cargarla. Lo ideal es realizar una carga calculada que sea respetuosa con la batería.





### Elementos más importantes del pack:

\* IMD. Dispositivo de monitoreo de aislamiento. Es uno de los elementos principales de seguridad del vehículo. Evita cortocircuitos entre alto voltaje y el bajo voltaje. De uso obligatorio. Se encargará de controlar la resistencia de aislamiento entre los conductores de alta tensión del sistema eléctrico y la tierra de referencia (masa del chasis). Si detecta un fallo, este dispositivo desactiva el sistema de alto voltaje en menos de 30 segundos.

\* Cargador. Se elige de acuerdo a la compatibilidad con la química de las celdas y el BMS elegido.

\* BMS. Sistema de gestión de la batería. Su tarea básica es asegurar un uso óptimo de la energía dentro de la batería y minimizar los riesgos que estas puedan producir. Debe medir 3 parámetros básicos para determinar el estado de la batería: Voltaje, flujo de corriente y temperatura. En resumen, monitorean los datos de cada celda y calculan y controlan su rendimiento.

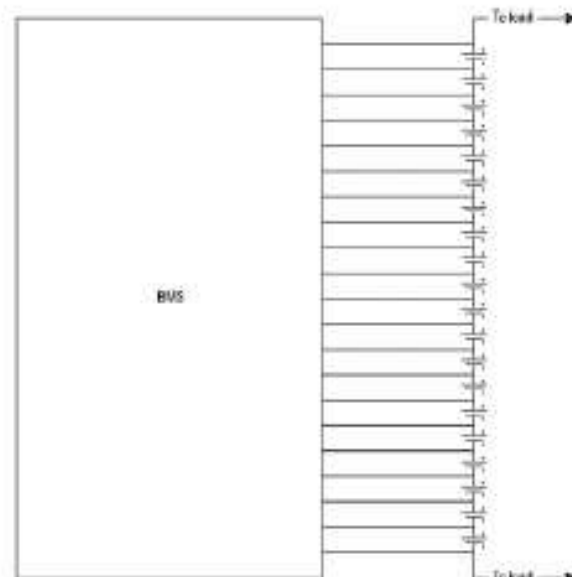
\*Convertidor DC/DC: será el elemento encargado de bajar la tensión de 400 V del sistema de alto voltaje, a unos 12V para alimentar el resto de la electrónica del vehículo. (Actualmente, en fase de diseño).

### **3. Análisis de mercado sobre bms:**

Ahora que ya disponemos del espacio total “sobrante” para refrigeración y bms, procederemos a buscar los más adecuados para nuestro proyecto.

- **Sobre BMS:**

- Monolítico: un solo módulo controla todo. Se trata de un solo elemento que controlará las 108 celdas serie que a su vez al estar en paralelo con otras 108 celdas, hará que se tenga un control absoluto de todo el módulo, ya que por normativa así debe ser.



Datos y especificaciones del BMS escogido en el datasheet adjunto.

#### 4. Otros datos:

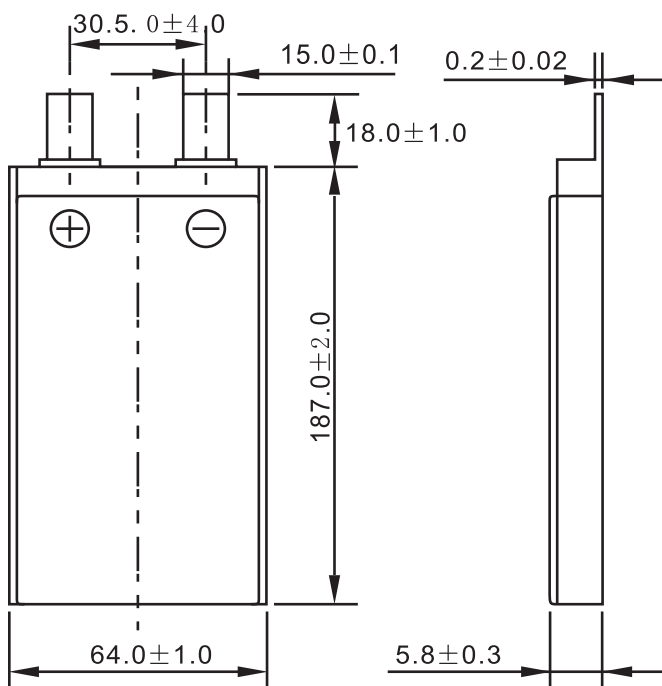
Te adjunto a este documento los datasheet de las celdas, del cargador, del BMS, sólo te he puesto lo que he considerado más importante.

Además, adjunto una simulación hecha en Matlab sobre el funcionamiento de una celda individual, donde se medían parámetros como la temperatura que alcanza, y el modelo en solid de la caja con las celdas y el bms.

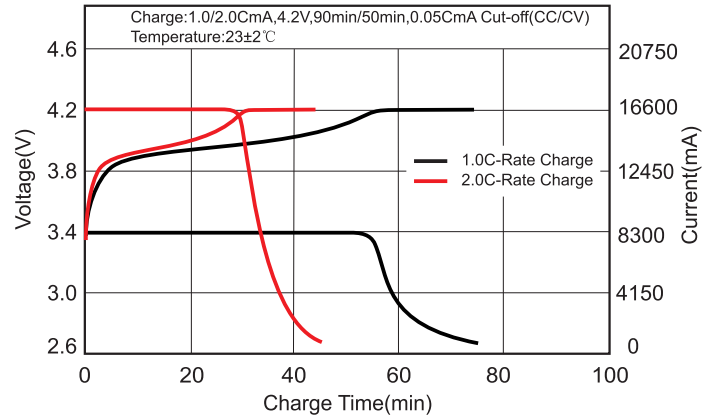
## Specifications

<b>Model</b>		EPS8300-1S15
<b>Nominal Capacity</b>		8300mAh
<b>Minimum Capacity(0.2C)</b>		7850mAh
<b>Nominal Voltage</b>		3.7V
<b>Weight</b>		Max170.0g
<b>AC-Impedance(mΩ) at 1KHz</b>		Max 3.5
<b>Dimensions</b>	<b>Thickness</b>	5.8±0.3mm
	<b>Width</b>	64.0±1.0mm
	<b>Length</b>	187.0±2.0mm
<b>Nominal Charge Condition</b>	<b>Current</b>	8300mA(1.0C)
	<b>Voltage</b>	4.2V
	<b>Cut-off Current</b>	415mA(C/20)
	<b>Ending Time</b>	1.5h
<b>Nominal Discharge</b>	<b>Current</b>	8300mA(1C)
	<b>Cut-off Voltage</b>	3.0V
<b>Max.Charge Current</b>		16.6 A(2C)
<b>Max Discharge Current</b>	<b>Continuous</b>	124.5A(15C)
	<b>Burst</b>	248.0A(30C)
<b>Temperature Condition</b>	<b>Charge</b>	10~45℃
	<b>Discharge</b>	15~50℃(15C Continuous) -10~15℃(15C Burst)
	<b>Storage</b>	-20~35℃

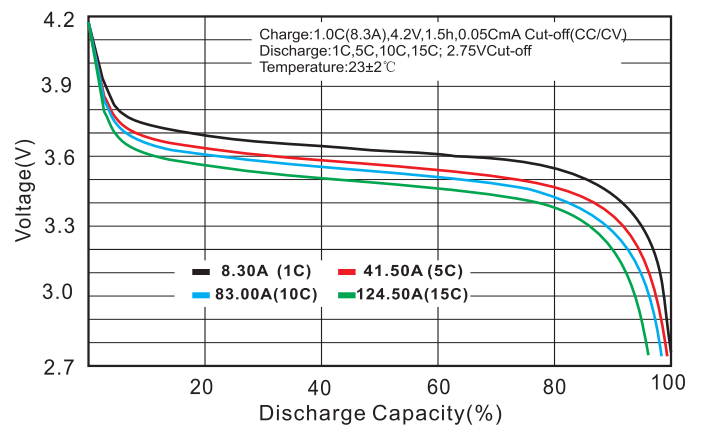
## Dimensions(mm)



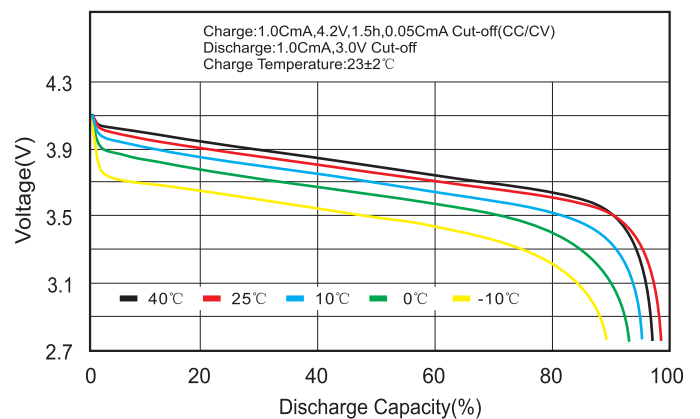
## Charge Characteristics



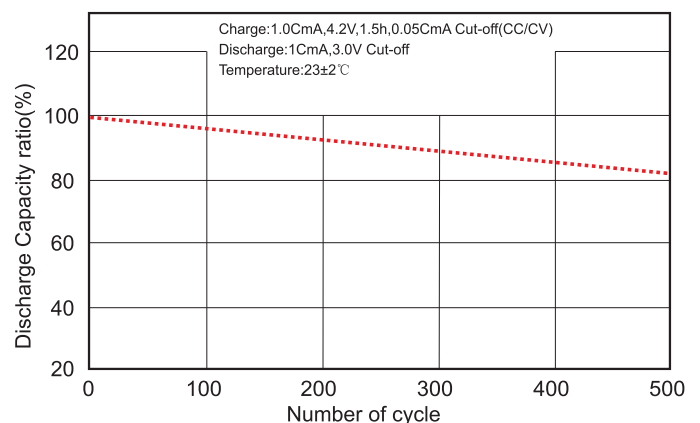
## Discharge Rate Characteristics



## Discharge Temperature Characteristics



## Cycle Life Characteristics



# ISOMETER® IR155-3203 / IR155-3204

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

**Version V004**





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 ( $\leq 1 \mu\text{F}$ )
- 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 ( $f = 10 \text{ Hz} \dots 50 \text{ Hz}$ ) 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 ( $U_n = \text{DC } 0 \text{ V} \dots 1000 \text{ V}$ ) 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 insulation 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.

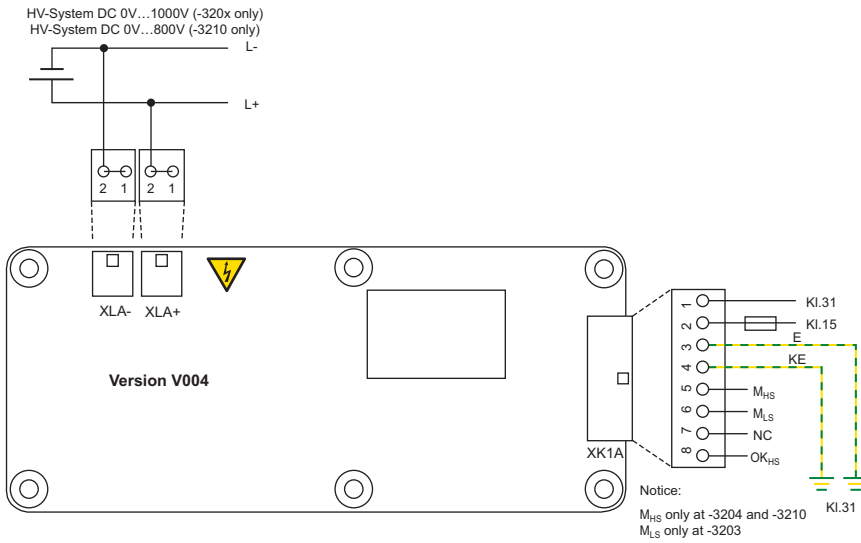
The norm IEC61557-8 will be fulfilled by creating the function for LED warning and test button at the customer site if necessary.

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

Wiring diagrams



Connector XLA+

Pin 1+2 L+ Line voltage

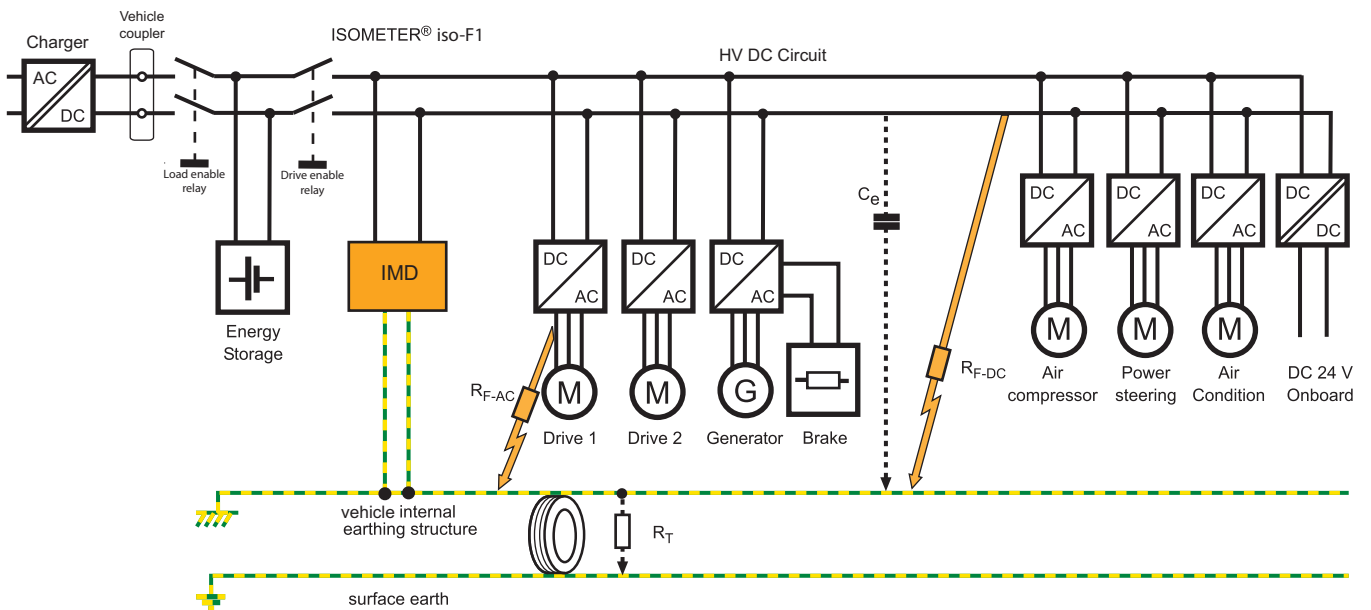
Connector XLA-

Pin 1+2 L- Line voltage

Connector XK1A

- Pin 1 KI. 31 Chassis ground
- Pin 2 KI. 15 Supply voltage
- Pin 3 KI. 31 Chassis ground
- Pin 4 KI. 31 Chassis ground (sep. line)
- Pin 5 M<sub>HS</sub> Data Out, PWM (high side)
- Pin 6 M<sub>LS</sub> Data Out, PWM (low side)
- Pin 7 n.c.
- Pin 8 OK<sub>HS</sub> 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-) – (KI.31, KI.15, E, KE,  $M_{HS}$ ,  $M_{LS}$ ,  $OK_{HS}$ )

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 $C_e$	$\leq 1 \mu F$
Reduced measuring range and increased measuring time at $C_e$	$> 1 \mu F$ (E.g. max. range 1 M $\Omega$ @ 3 $\mu F$ , $t_{an} = 68$ s @ change over $R_F$ 1 M $\Omega > R_{an}/2$ )
Measuring voltage $U_m$	+/- 40 V
Measuring current $I_m$ at $R_F = 0$	+/- 33 $\mu A$
Impedance $Z_i$ at 50 Hz	$\geq 1.2$ M $\Omega$
Internal resistance $R_i$	$\geq 1.2$ M $\Omega$
Measurement range	0...10 M $\Omega$
Measurement method	Bender DCP technologie

Factor averaging	
$F_{ave}$ (Output M)	1...10 (default: 10; EOL Bender)
Relative error at SST ( $\leq 2$ s)	Good $> 2 * R_{an}$ ; Bad $< 0.5 * R_{an}$
Relative error at DCP	0...85 k $\Omega$ $\blacktriangleright$ +/-20 k $\Omega$ 100 k $\Omega$ ...10 M $\Omega$ $\blacktriangleright$ +/-15 %

Relative error Output – M (base frequencies)  
(10 Hz; 20 Hz; 30 Hz; 40 Hz; 50 Hz)  
+/- 5 % at each frequency

Relative error under voltage detection  
 $U_n \geq 100$  V  $\blacktriangleright$  +/-10 %;  
at  $U_n \geq 300$  V  $\blacktriangleright$  +/-5 %

Response value hysteresis (DCP)	25 %
Response value $R_{an}$	100 k $\Omega$ ...1 M $\Omega$ $\blacktriangleright$ higher tolerances at $R_{an} < 85$ k $\Omega$ ; (Default: 100 k $\Omega$ )

Response time $t_{an}$ ( $OK_{HS}$ ; SST)	$t_{an} \leq 2$ s (typ. < 1 s at $U_n > 100$ V)
Response time $t_{an}$ ( $OK_{HS}$ ; DCP)	(Changeover $R_F$ : 10 M $\Omega$ $\blacktriangleright$ $R_{an}/2$ ; at $C_e = 1 \mu F$ ; $U_n = 1000$ V DC)

- $t_{an} \leq 20$  s (at  $F_{ave} = 10^*$ )
  - $t_{an} \leq 17.5$  s (at  $F_{ave} = 9$ )
  - $t_{an} \leq 17.5$  s (at  $F_{ave} = 8$ )
  - $t_{an} \leq 15$  s (at  $F_{ave} = 7$ )
  - $t_{an} \leq 12.5$  s (at  $F_{ave} = 6$ )
  - $t_{an} \leq 12.5$  s (at  $F_{ave} = 5$ )
  - $t_{an} \leq 10$  s (at  $F_{ave} = 4$ )
  - $t_{an} \leq 7.5$  s (at  $F_{ave} = 3$ )
  - $t_{an} \leq 7.5$  s (at  $F_{ave} = 2$ )
  - $t_{an} \leq 5$  s (at  $F_{ave} = 1$ )
- during self test  $\blacktriangleright t_{an} + 10$  s

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

Switch-off time  $t_{ab}$  ( $OK_{HS}$ ; DCP)

(Changeover  $R_F$ :  $R_{an}/2$   $\blacktriangleright$  10 M $\Omega$ ; at  $C_e = 1 \mu F$ ;  $U_n = 1000$  V DC)

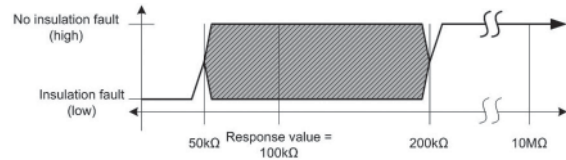
- $t_{ab} \leq 40$  s (at  $F_{ave} = 10$ )
  - $t_{ab} \leq 40$  s (at  $F_{ave} = 9$ )
  - $t_{ab} \leq 33$  s (at  $F_{ave} = 8$ )
  - $t_{ab} \leq 33$  s (at  $F_{ave} = 7$ )
  - $t_{ab} \leq 33$  s (at  $F_{ave} = 6$ )
  - $t_{ab} \leq 26$  s (at  $F_{ave} = 5$ )
  - $t_{ab} \leq 26$  s (at  $F_{ave}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

Self test time

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

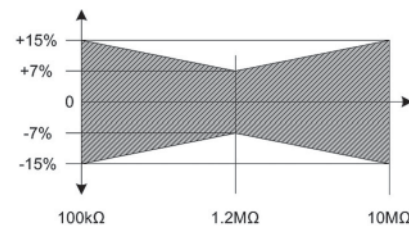
Relative error (SST)

"Good-Value"  $\geq 2 * R_{an}$   
"Bad-Value"  $\leq 0.5 * R_{an}$



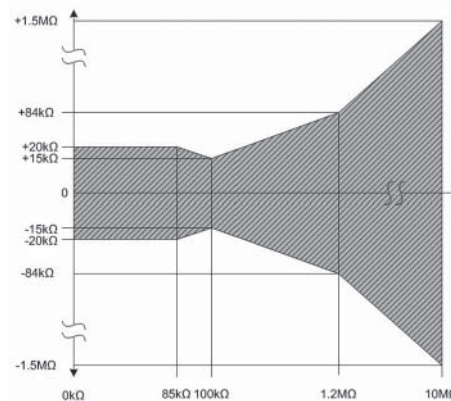
Relative error (DCP)

- 100 k $\Omega$   $\blacktriangleright$  +/-15 %
- 100 k $\Omega$ ...1.2 M $\Omega$   $\blacktriangleright$  +/-15 % to +/-7 %
- 1.2 M $\Omega$   $\blacktriangleright$  +/-7 %
- 1.2 M $\Omega$ ...10 M $\Omega$   $\blacktriangleright$  +/-7 % to +/-15 %
- 10 M $\Omega$   $\blacktriangleright$  +/-15 %



Absolute error (DCP)

0  $\Omega$ ...85 k $\Omega$   $\blacktriangleright$  +/-20 k $\Omega$





**Measurement Output (M)**

**M<sub>HS</sub> switches to U<sub>S</sub> – 2 V (3204)**

(external load to ground necessary → 2.2 kΩ)

**M<sub>LS</sub> switches to KI.31 + 2 V (3203)**

(external load to U<sub>b</sub> necessary → 2.2 kΩ)

**0 Hz** ▶ Hi > short to U<sub>b</sub>+ (KI.15); 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<sub>HS</sub>)**

**OK<sub>HS</sub> switches to U<sub>S</sub> – 2 V**

(external load to ground necessary → 2.2 kΩ)

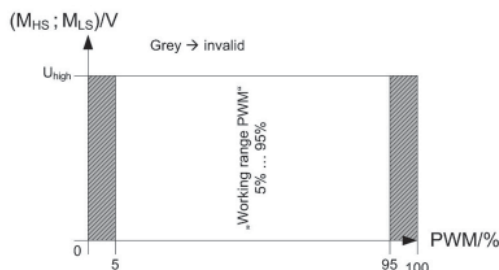
High ▶ No fault; R<sub>F</sub> > response value  
Low ▶ Insulation resistance ≤ response value detected; IMD error; ground error, under voltage detected or IMD off (ext. pull-down resistor required)

**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

$$R_F = \frac{90\% \times 1200 \text{ k}\Omega}{d_{c_{meas}} - 5\%} - 1200 \text{ k}\Omega$$

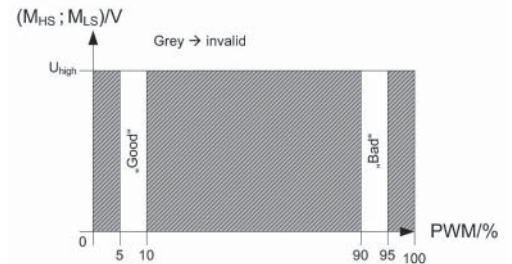
d<sub>c<sub>meas</sub></sub> = measured duty cycle (5 % ... 95 %)



**Operating principle PWM- driver**

- Condition "SST" (30Hz)

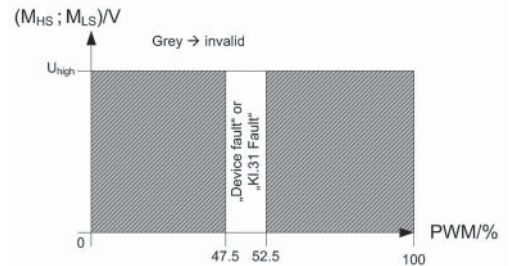
Duty cycle ▶ 5 % ... 10 % ("Good")  
90 % ... 95 % ("Bad")



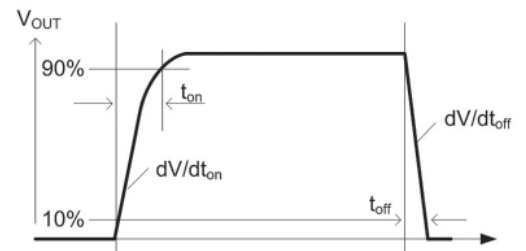
**Operating principle PWM- driver**

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

Duty cycle ▶ 47.5 % ... 52.5 %



Load current I <sub>L</sub>	80 mA
Turn-on time ▶ to 90 % V <sub>OUT</sub>	Max. 125 μs
Turn-off time ▶ to 10 % V <sub>OUT</sub>	Max. 175 μs
Slew rate on ▶ 10 to 30 % V <sub>OUT</sub>	Max. 6 V/μs
Slew rate off ▶ 70 to 40 % V <sub>OUT</sub>	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, M <sub>HS</sub> , M <sub>LS</sub> , OK <sub>HS</sub> ) 2 x 2-1445088-2 (L+, L-)
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 (KI.31; 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 $R_{an}$ : 100 k $\Omega$ Under voltage detection: 300 V $F_{ave}$ : 10 Measurement output low side	B 9106 8138V4
IR155-3203	Parameters can be customised $R_{an}$ : 100 k $\Omega$ ...1 M $\Omega$ Under voltage detection: 0 V...500 V $F_{ave}$ : 1...10 Measurement output low side	B 9106 8138CV4
IR155-3204	Fixed default parameters $R_{an}$ : 100 k $\Omega$ Under voltage detection: 0 V (inactive) $F_{ave}$ : 10 Measurement output high side	B 9106 8139V4
IR155-3204	Parameters can be customised $R_{an}$ : 100 k $\Omega$ ...1 M $\Omega$ Under voltage detection: 0 V...500 V $F_{ave}$ : 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

IR155-3204-100k $\Omega$ -0V + B 9106 8139V4

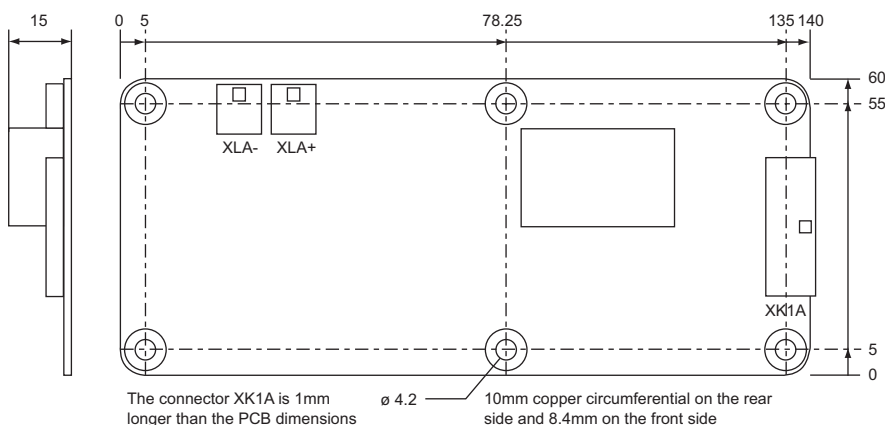
IR155-3204-200k $\Omega$ -100V + B 9106 8139CV4

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

# User's Manual



## EVO Series

## Legal notice

<b>Publisher</b>	<b>EDN Group SRL</b> <b>Via dell'Artigianato 8</b> <b>20835 Muggiò (MB)</b> <b>Italy</b> <b>Internet:</b> <a href="http://www.edngroup.com">www.edngroup.com</a> <b>Support:</b> <a href="mailto:support@edngroup.com">support@edngroup.com</a> <b>Sales:</b> <a href="mailto:sales@edngroup.com">sales@edngroup.com</a>
<b>Date of issue</b>	02/29/2016
<b>Updates</b>	Given our continuous technology development and commitment to facilitate the use of our products, the EDN Group SRL reserves the right to review the User's Manual when deemed appropriate.
<b>Writer</b>	Mauro Scupilliti

## Document revision

Revision	Date	Name	Change
A	02/29/2016	Mauro Scupilliti	First Release
B	25/01/2017	Daniele Prativiera	Updated the following chapters: 2.4.3, 2.4.4, 3.3, 5.1, 5.1.3, 5.7, 5.9.1/2/3/4/6, 5.11, 7, 7.4.3/4. Added the following chapters: 5.1.2, 5.8, 5.10, 7.4.4, 9 Updated the EVO pictures
C	14/05/2018	Daniele Prativiera	Updated the following chapters: 3.2, 5.9.1, 5.9.4.1 Added the following chapters: 5.1.1, 5.1.2

## Document validity

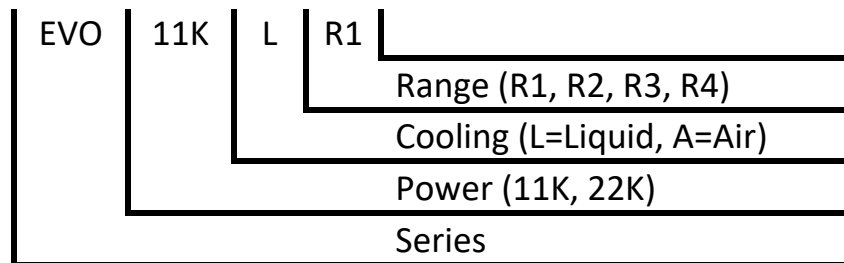
EVO11KL

EVO11KA

EVO22KL

## Product coding

EVO Series



Range	R1	R2	R3	R4	
Output Voltage range	100—420	125—500	160—670	210—840	Vdc
Output Current MAX	40	33	25	20	Adc

## Table of contents

Cover.....	i
Legal notice .....	ii
Document revision.....	ii
Document validity.....	iii
Product coding .....	iii
Table of contents .....	iv
Table of figure .....	vii
1. List of acronyms, abbreviations and terms.....	1
2. Safety and warning instruction .....	2
2.1. Symbols and their meaning.....	2
2.2. Danger levels.....	2
2.3. Generally applicable safety measures .....	3
2.3.1. Safety instruction for cooling water system .....	3
2.3.2. Safety instruction for mechanical system.....	3
2.3.3. Safety instruction for Handling and Operation.....	3
2.3.4. Safety instruction for Electrical System .....	4
2.4. Safety Installation / Protection Installation.....	5
2.4.1. Control Pilot (CP).....	5
2.4.2. Proximity (PP) .....	5
2.4.3. Interlock (HVIL) .....	6
2.4.4. Over-voltage protection and Neutral disconnection.....	6
2.4.5. Reverse polarity protection.....	6
2.5. Power limiter (De-rating).....	7
2.6. Requirements of the Start-up Personnel .....	7
3. General .....	8
3.1. Content and Scope of this Manual .....	8
3.2. Delivery Contents.....	8
3.3. Optional Delivery Contents .....	9
3.4. EU/US Guide lines.....	11
3.5. Contact Information of the Manufacturer.....	11
4. Use and limits of the products .....	12
4.1. Proper use .....	12
4.2. Improper Use / Limitation of the Product .....	12

5.	General specification .....	13
5.1.	Technical Data .....	13
5.1.1.	Thermal dissipation information .....	15
5.1.2.	Pressure drop characterization .....	16
5.1.3.	Constant power .....	17
5.1.4.	Charger efficiency .....	17
5.1.5.	Start-up .....	18
5.1.6.	Output diode .....	18
5.2.	Warnings on Device .....	19
5.3.	Technical Properties .....	19
5.4.	Basic function of the EVO charger .....	20
5.5.	Main Structural Components Overview of the Liquid Cooled Charger .....	21
5.6.	Main Structural Components Overview of the Air Cooled Charger .....	22
5.7.	Liquid Cooling System Connections .....	23
5.8.	Air Cooling System Connections .....	24
5.9.	Electrical Connections .....	25
5.9.1.	Pin Assignement AC Input connector (J1) .....	27
5.9.2.	Pin Assignement HVDC Output connector (J3) .....	31
5.9.3.	Grounding .....	31
5.9.4.	Pin Assignement Control connector (J2) .....	32
5.10.	Pin Assignement for FAN connector (J4) .....	44
5.10.1.	Summary .....	45
5.11.	Dimensions and Installation Information .....	46
5.11.1.	Dimensions and Mounting Points EVO11KL .....	46
5.11.2.	Dimensions and Mounting Points EVO22KL .....	47
5.11.3.	Dimensions and Mounting Points EVO11KA .....	48
5.10.	Minimum connections for setting .....	49
5.11.	Minimum connections for operation .....	50
5.12.	Power limitations .....	51
6.	Chargers parallel .....	52
6.1.	A control for several chargers .....	52
6.2.	A indipendent control for each charger .....	53
6.3.	EVO22KL working models .....	54
7.	Installation / start-UP .....	55
7.1.	Installing and Connecting the Charger .....	55

# User's Manual: EVO Series

Pag vi – viii

7.2.	Maintenance of the Fan.....	56
7.3.	Precautions for crimping .....	56
7.4.	Malfunctions solved by the customer.....	57
7.4.1.	CAN bus does not transmit.....	57
7.4.2.	The device goes into derating after a short time.....	57
7.4.3.	CAN bus ok but not charging .....	57
7.4.4.	CAN bus parameters value uncorrect .....	57
8.	Warranty and guarantee .....	58
8.1.	In case of the failure? .....	58
9.	Appendix A.....	59

## Table of figure

<b>Fig. 1</b> Costant power.....	17
<b>Fig. 2</b> Warning label on Device .....	19
<b>Fig. 3</b> Main Structural EVO11KL.....	21
<b>Fig. 4</b> Main Structural EVO22KL.....	21
<b>Fig. 5</b> Main Structural EVO11KA .....	22
<b>Fig. 6</b> Cooling System EVOxxKL.....	23
<b>Fig. 7</b> a) Mating connection b) Quick connector already screwed on the charger (cooling port).....	23
<b>Fig. 8</b> Supply FAN voltage .....	24
<b>Fig. 9</b> Air flux of the EVO11KARx .....	24
<b>Fig. 10</b> Electrical Connections EVO11K.....	25
<b>Fig. 11</b> Electrical Connections EVO22KL .....	25
<b>Fig. 12</b> Electrical Connections EVO11KA.....	26
<b>Fig. 13</b> Particular of AC input Connector .....	27
<b>Fig. 14</b> Y 3-phase configuration <b>Fig. 15</b> Delta 3-phase configuration.....	27
<b>Fig. 16</b> 1-phase configuration <b>Fig. 17</b> 1-phase split configuration .....	27
<b>Fig. 18</b> Particular of HVDC output connector .....	31
<b>Fig. 19</b> Particular of Control connector .....	32
<b>Fig. 20</b> Schematic of Liquid Pump Control , Fan Control and Allarm .....	33
<b>Fig. 21</b> Schematic of Enable key .....	35
<b>Fig. 22</b> Schematic of Control Pilot (CP).....	36
<b>Fig. 23</b> Schematic of Proximity Detection .....	36
<b>Fig. 24</b> Schematic of LV battery always hot.....	37
<b>Fig. 25</b> Schematic of Digital I/O .....	37
<b>Fig. 26</b> Schematic of BMS Wake-up.....	38
<b>Fig. 27</b> Schematic of Led.....	39
<b>Fig. 28</b> Schematic of Ground (GND) for EVO11K* <b>Fig. 29</b> Schematic of Ground(GND) for EVO22KL.....	40
<b>Fig. 30</b> Schematic of Supply FAN .....	40
<b>Fig. 31</b> Supply FAN voltage .....	41
<b>Fig. 32</b> Schematic of Temperature sensor .....	41
<b>Fig. 33</b> Schematic of CAN Shield .....	41
<b>Fig. 34</b> Schematic of CAN Service .....	42
<b>Fig. 35</b> Schematic of CAN Main .....	43
<b>Fig. 36</b> Particular of Fan connector .....	44
<b>Fig. 37</b> Mechanical data of EVO11KL.....	46
<b>Fig. 38</b> Mechanical data of EVO22KL.....	47
<b>Fig. 39</b> Mechanical data of EVO11KA .....	48
<b>Fig. 40</b> Minimum connections for setting .....	49
<b>Fig. 41</b> Minimum connections for operation.....	50
<b>Fig. 42</b> Power Limitations .....	51
<b>Fig. 43</b> Unique control for several chargers .....	52
<b>Fig. 44</b> A control for each charger .....	53
<b>Fig. 45</b> One control message for all EVO22KL .....	54
<b>Fig. 46</b> One control message for each output of the EVO22KL.....	54





## 1. List of acronyms, abbreviations and terms









Throughout this manual, some specific technical abbreviations are used. In the table you can find an overview of the main abbreviations and their meanings:

<b>BMS</b>	<b>Battery Management System</b>	<b>GND</b>	<b>Ground</b>
<b>CAN</b>	<b>Controller Area Network</b>	<b>HVDC</b>	<b>High Voltage Direct Current</b>
<b>CEE</b>	<b>Commission for Electrical Equipment</b>	<b>HVIL</b>	<b>High Voltage Interlock Loop</b>
<b>CP</b>	<b>Control Pilot</b>	<b>IP</b>	<b>Ingress Protection</b>
<b>De-rating</b>	<b>De-rating</b> is the operation of a device at less than its maximum rated power in order to protect and prolong its life	<b>LV Battery</b>	Service <b>LV Battery</b> inside vehicle
<b>EMI</b>	<b>Electromagnetic Interference</b>	<b>PE</b>	<b>Power Earth</b>
<b>EMC</b>	<b>Electromagnetic Compatibility</b>	<b>PI</b>	<b>Power Indicator</b>
<b>EVSE</b>	<b>Electric Vehicle Supply Equipment</b>	<b>PP</b>	<b>Proximity</b>
<b>RCD</b>	<b>Residual Current Device</b>	<b>PT1000</b>	<b>Platinum resistance temperature sensor 1000Ω@0°</b>
<b>GFD</b>	<b>Ground Fault Detector</b>	<b>THD</b>	<b>Total Harmonic Distortion</b>
<b>GFI</b>	<b>Ground Fault Interrupter</b>	<b>VP</b>	<b>Vehicle Pilot</b>

## 2. Safety and warning instruction

For your safety, please read this chapter carefully. These instructions refer to assembly, start-up and running operations in the vehicle. Before using the battery charger, read all instructions and cautionary markings on the charger, battery, and battery product.

### 2.1. Symbols and their meaning

Symbol	Meaning	Symbol	Meaning
	General prohibition		Warning high voltage, don't touch
	General hazard warning		Hot surface warning
	High voltage warning		High pressure warning
	Disconnect device from Connector		Important information for the good using and avoidance damage to the device

### 2.2. Danger levels



**Danger:** to describe anything that can potentially cause serious harm.



**Warning:** to describe anything that can potentially cause harm.



**Instruction and Information:** Important information to properly apply the product and avoid damage to the device.

## 2.3. Generally applicable safety measures

The security measures mentioned in this manual are based on the knowledge of the manufacturer. They can be supplemented by country-specific safety instructions and guidelines for accident prevention!



### Follow the instructions!

Failure to install and failure to use the charger in accordance with this manual and data may impair the protection provided by the charger and void the manufacturer's warranty.

### 2.3.1. Safety instruction for cooling water system



#### Leaking coolant!

Check the sealing of the cooling system, in particular pipes, screw joints and pressure tanks.

### 2.3.2. Safety instruction for mechanical system



#### Hot surfaces!

The operating charger produces heat. Touching the hot charger can lead to injuries and burns.



If the charger failure or malfunction could cause personal injury or material damage, use additional safety and operational measures, such as limit switches, guards, etc.

### 2.3.3. Safety instruction for Handling and Operation



#### Damage to the HV Battery:

Make sure the battery pack is compatible with the charger's technical data.

Before starting the first charging process, ensure that the charging profile of the device is compatible with the HV battery!

Never disconnect the battery Connector without breaking the battery pack connection first.



## Damage to the Charger:

Make sure the mains AC power characteristics are compatible with the charger's technical data.

For Liquid cooled units: cool the device with proper cooling liquid and within the temperature range specified in Chapter 5.7.

For Air cooled units: mount the device in a well ventilated location and apart from other surfaces as is described in Chapter 5.11.

Keep it far from heat sources and direct sunlight.

Although the device has high IP protection, if possible, avoid placing it in direct contact with water (rain, high pressure water).

## 2.3.4. Safety instruction for Electrical System



### Don't open the charger!

Do not attempt to open the charger. There is risk of electric shock even if the charger is unplugged. No user serviceable components inside.



### High voltage!

The High voltage may be dangerous and/or lethal. The lack of installation or compliance with these instructions may cause injury to the operator or damage to the charger.

Never touch the charger battery connector when it is disconnected from the unit without removing the battery safety disconnect.

The charger should be installed and made operational by a skilled technician.

The charger cannot operate without a safety ground connection. The use of a Ground Fault Interruption circuit is mandatory.

Remove the AC mains/AC charging Connector from the mains inlet before breaking the battery pack circuit.

If safe operation can not be ensured, STOP and disable the charger from operating.

## 2.4. Safety Installation / Protection Installation

### 2.4.1. Control Pilot (CP)

The Control Pilot is part of a standard safety system, introduced by SAE J1772 and EN 61851, which increases the reliability of the process of charging an electric vehicle. It is an electrical signal provided by the Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE).

The Control Pilot, with Proximity, is the primary control signal; it is connected to the equipment ground through control circuitry on the vehicle and performs the following functions:

- a. verifies that the vehicle is present and connected
- b. permits energization/de-energization of the supply
- c. transmits supply equipment current rating to the vehicle
- d. monitors the presence of the equipment ground
- e. establishes vehicle ventilation requirements

When SAE J1772 is enabled, the charger is fully compliant with SAE J1772 Power Station (EVSE SAE J1772 compliant, level 1 and 2).

When EN 61851 is enabled, the charger is fully compliant with EN 61851 Power Station.

### 2.4.2. Proximity (PP)

The Proximity is part of a standard safety system, introduced by SAE J1772 and EN 61851, which increases the reliability of the process of charging an electric vehicle. It is an electrical signal provided by the Electric Vehicle Supply Equipment (EVSE).

Proximity, with The Control Pilot, is the primary control signal; it is connected to the equipment ground through control circuitry on the vehicle and performs the following functions:

- a. verifies that the vehicle is present and connected with SAE J1772 or EN 61851.
- b. defines the capacity of the charging cable (for EN 61851 only)

When the function SAE J1772 is enabled, the charger is fully compliant with SAE J1772 Power Station (EVSE SAE J1772 compliant, level 1 and 2).

When the function EN 61851 is enabled, the charger is fully compliant with EN 61851 Power Station.

### **2.4.3. Interlock (HVIL)**

In order to guarantee the safety for DC High Voltage, an interlock system, connected in series to EVO's interlock, has to be implemented. The Interlock 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 5.9.2). 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).

### **2.4.4. Over-voltage protection and Neutral disconnection**

The charger, in order to ensure a safe operation, senses the presence of the neutral connection and AC grid Over-voltage.

The protection detects if there is a disconnection of the Neutral during the powering up or during charger operation.

Moreover protection detects if an undervoltage occurs.

In case of overvoltage or undervoltage, the charger turns off (stops providing output power) and, after 30 seconds, it verifies the possibility to turn on.

### **2.4.5. Reverse polarity protection**

In order to prevent damage at the device during installation, a Internal Diode protects the charger from reversing the output polarity.

In order to provide protection, an external fuse (chapter 5.1) must be installed on positive of HVDC output.

For EVO22KL, two fuses must be installed on each positive of HVDC output or one post the union of positive.

## 2.5. Power limiter (De-rating)

The charger, in order to ensure safe operation, controls: input current, output current, output voltage, power, heatsink and internal temperature. The charging power is reduced if critical limits are reached.

## 2.6. Requirements of the Start-up Personnel



The service information provided in this instruction manual is intended only for qualified staff with proper training, knowledge and experience in the field of electronics as well as knowledge of relevant requirements and dangers associated with High Voltage systems. An electric shock can be fatal. Please do not carry out any activities other than those referred to in the documentation.



### 3. General




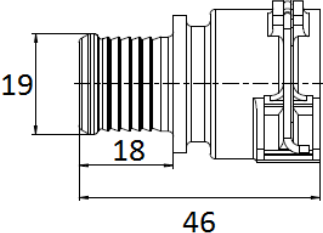

#### 3.1. Content and Scope of this Manual

This User's Manual provides directions to help users operating devices safely and effectively.

Moreover, you can find technical and handling information, a basic description of the charger and information about its specific components.

The operation and safety instructions should be strictly adhered to ensure the optimum function of the charger and to meet the warranty requirements of the manufacturer.

#### 3.2. Delivery Contents





1.	Charger	1	EVO11KL	
			EVO11KA	
			EVO22KL	
2.	Cooling water connector piece* (NOTE: It is also available the 90° version, to be noticed during the order emission)	2		
3.	Protective cap for cooling water connector piece*	2		

\*Only for EVO11KL and EVO22KL




### 3.3. Optional Delivery Contents

These accessories can be obtained optionally from EDN Group.

For 11K:


1.	Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4) Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1) Qty:1 - HVDC output mating connector and 2x6mm <sup>2</sup> cable assembly 2 m (chapter 5.9.2) Qty:1 - superseal connector + N.2 superseal pins + N.1 cable gland (only for air cooled version) (chapter 5.10)	PCA11K-02	
2.	Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4) Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1) Qty:1 - HVDC output mating connector and 2x6mm <sup>2</sup> cable assembly 3 m (chapter 5.9.2) Qty:1 - superseal connector + N.2 superseal pins + N.1 cable gland (only for air cooled version) (chapter 5.10)	PCA11K-03	
3.	Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4) Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1) Qty:1 - HVDC output mating connector and 2x6mm <sup>2</sup> cable assembly 4 m (chapter 5.9.2) Qty:1 - superseal connector + N.2 superseal pins + N.1 cable gland (only for air cooled version) (chapter 5.10)	PCA11K-04	
4.	Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4) Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1) Qty:1 - HVDC output mating connector and 2x6mm <sup>2</sup> cable assembly 5m (chapter 5.9.2) Qty:1 - superseal connector + N.2 superseal pins + N.1 cable gland (only for air cooled version) (chapter 5.10)	PCA11K-05	

For 22K:

1.	Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4) Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1) Qty:2 - HVDC output mating connector and 2x6mm <sup>2</sup> cable assembly 2 m (chapter 5.9.2)	PCA22K-02	
2.	Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4) Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1) Qty:2 - HVDC output mating connector and 2x6mm <sup>2</sup> cable assembly 3m (chapter 5.9.2)	PCA22K-03	
3.	Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4) Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1) Qty:2 - HVDC output mating connector and 2x6mm <sup>2</sup> cable assembly 4m (chapter 5.9.2)	PCA22K-04	

# User's Manual: EVO Series

Pag 10 – 53

4.	<p>Qty:1 - 23-pole control mating connector + N.24 pins (chapter 5.9.4)          Qty:1 - AC input mating connector + N.7 pins + cable gland (chapter 5.9.1)          Qty:2 - HVDC output mating connector and 2x6mm<sup>2</sup> cable assembly 5 m (chapter 5.9.2)</p>	PCA22K-05	
----	--	-----------	---

 <p>TE connectivity 23-pole control mating connector,          Code: 770680-1          Pins, Code: 770520-1</p>	 <p>VAN SYSTEM AC input mating connector + Pins,          Code: CVB 96DA 24-10S M32 CR F16          LAPP Cable gland, Code: 53112677</p>
 <p>TE connectivity HVDC output mating connector,          Code:          1-2282291-2 (2m length)          1-2282291-3 (3m length)          1-2282291-4 (4m length)          1-2282291-5 (5m length)</p>	 <p>COPAT KIT, Code: 6597          AMP Superseal connector, Code: 282080-1          Pins, Code: 183025-1          AMP Cable gland, Code: 281934-2</p>

### 3.4. EU/US Guide lines

This manual has been prepared in accordance with and in consideration of the Guidelines, and national harmonized standards (EN) in force at the time of production relevant to the EVO charger product.

### 3.5. Contact Information of the Manufacturer

**EDN Group SRL**

**Via dell'Artigianato 8**

**20835 Muggiò (MB) Italy**

**Internet:** [www.edngroup.com](http://www.edngroup.com)

**Support:** [support@edngroup.com](mailto:support@edngroup.com)

**Sales:** [sales@edngroup.com](mailto:sales@edngroup.com)

## **4. Use and limits of the products**

### **4.1. Proper use**

The EVO charger is designed for the uses described in this manual. In case of operation in other applications, please contact the EDN Group SRL beforehand at the manufacturer address as given in chapter 3.5.

Properly programmed, the device can charge different types of batteries: NiCd batteries, Pb batteries, Li-Ion batteries and Sodium batteries, etc.

The user must ensure that during the entire charging process the specific operating limits of the connected battery is never exceeded.

The charger can be used only within the limits specified in chapter 5.3.

### **4.2. Improper Use / Limitation of the Product**

The using of the product in applications that do not comply with the conditions and requirements stated in the technical documents and manufacturer's datasheets is viewed as improper use.

The operation outside the limit values defined in chapter 5.3 can endanger the user and the device!

## 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			
<b>for EVO11K only</b>					
	Max. input current (eff)	48	28	16	A
	Max input power	11			kVA
	External fuses	20 Aac fast acting, Diode I <sup>Δ</sup> 2t: 1130 $\frac{A}{V}$ @ 50Hz, 1030 $\frac{A}{V}$ @ 60Hz			
	INRUSH current	< 20 @ 240 Vac			A
	Y capacity L → PE ****	75	50	25	nF
	Y capacity N → PE ****	75	–	75	nF
<b>for EVO22K only</b>					
	Max. input current (eff)	96	56	32	A
	Max input power	22			kVA
	External fuses	40 Aac fast acting, Diode I <sup>Δ</sup> 2t: 1130 $\frac{A}{V}$ @ 50Hz, 1030 $\frac{A}{V}$ @ 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	%	
<b>for EVO11K only</b>							
	Max. output power	10				kW	
	Max. charging current	40	33	25	20	Adc	
	Output capacitance	20 (film capacitors) + 110 (electrolytic capacitors)				μF	
	External fuses	50*	40*	30**	25**	Adc	
<b>for EVO22K only</b>							
	Max. output power	20				kW	
	Max. charging current	80	66	50	40	Adc	
	Output capacitance (for each module)	20 (film capacitors) + 110 (electrolytic capacitors)				μF	
	External fuses	Each***	2x50*	2x40*	2x30**	2x25**	Adc
		Union***	100*	80*	60**	50**	

\* Fast acting, min 600 Vdc, Diode I<sup>Δ</sup>2t: 2310  $\frac{A}{V}$ @ 50Hz, 2250  $\frac{A}{V}$ @ 60Hz

\*\* Fast acting, min 1000 Vdc, Diode I<sup>Δ</sup>2t: 2310  $\frac{A}{V}$ @ 50Hz, 2250  $\frac{A}{V}$ @ 60Hz

\*\*\* See Chapter 2.4.5

\*\*\*\* Leakage current < 3.5mA

# 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

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).

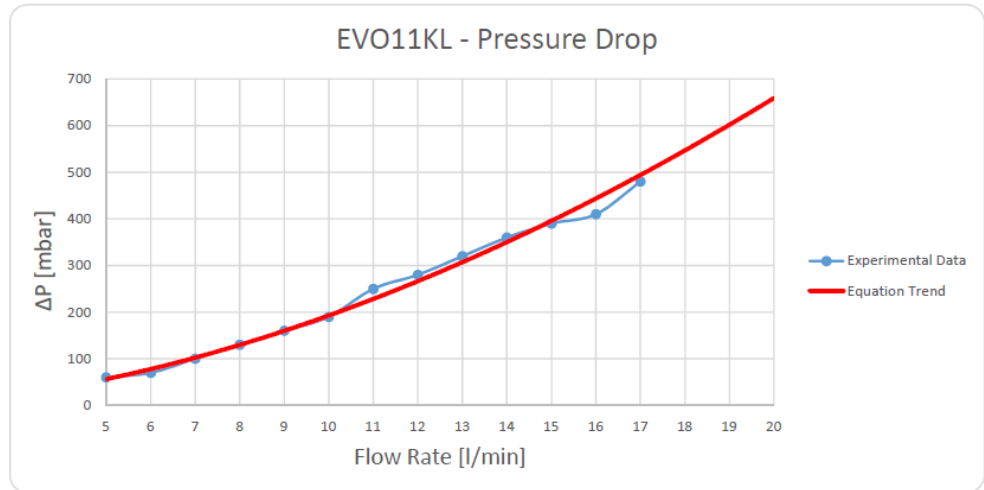
The difference between the inlet and output temperature is at maximum equal to 2,5°C with 6l/min and inlet temperature equal to 50°C.



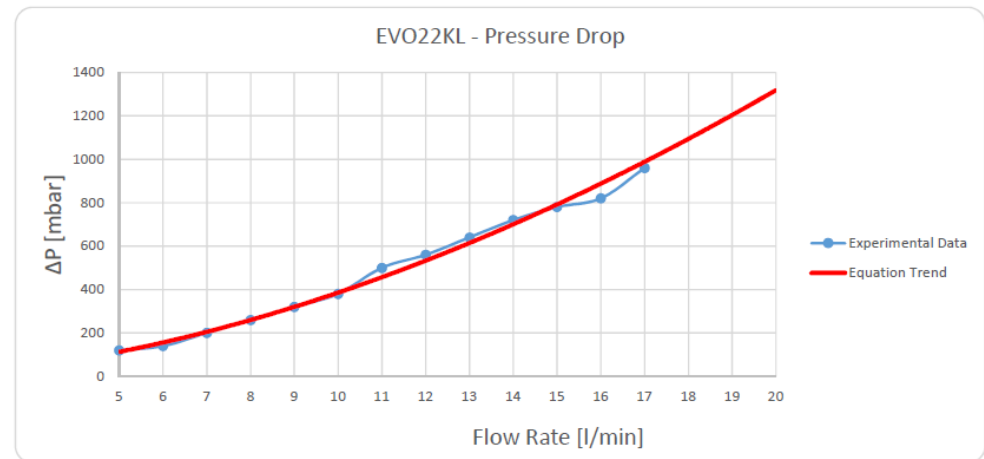
### 5.1.2. Pressure drop characterization

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

EVO11KL	
Flow [l/min]	ΔP [mbar]
5	60
6	70
7	100
8	130
9	160
10	190
11	250
12	280
13	320
14	360
15	390
16	410
17	480

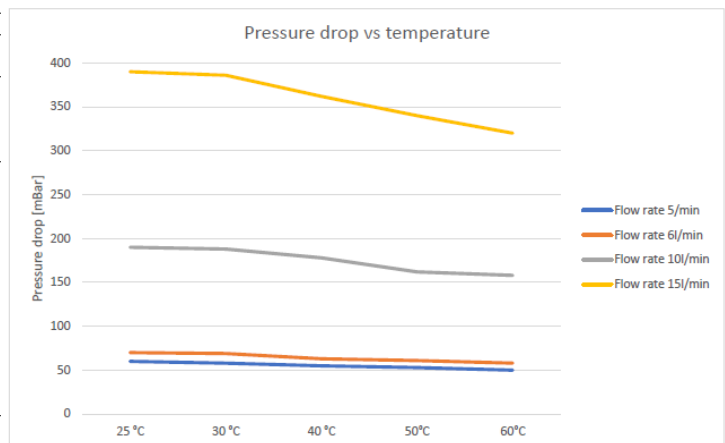


EVO22KL	
Flow [l/min]	ΔP [mbar]
5	120
6	140
7	200
8	260
9	320
10	380
11	500
12	560
13	640
14	720
15	780
16	820
17	960



Below the variation of the pressure drop vs the temperature.

EDN group srl					
Pressure drop vs temperature					
Flow [l/min]	ΔP [mbar] @ T = 25 °C	ΔP [mbar] @ T = 30 °C	ΔP [mbar] @ T = 40 °C	ΔP [mbar] @ T = 50°C	ΔP [mbar] @ T = 60°C
5	60	58	55	53	50
6	70	69	63	61	58
10	190	188	178	162	158
15	390	386	362	340	320



### 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%.

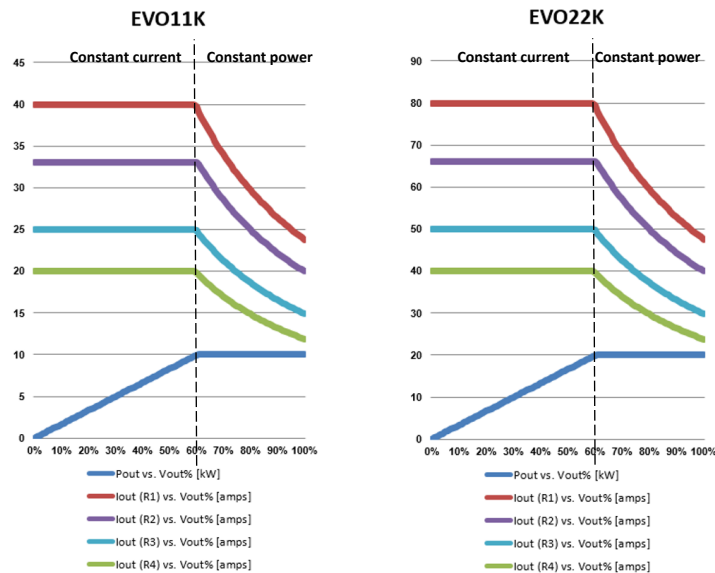
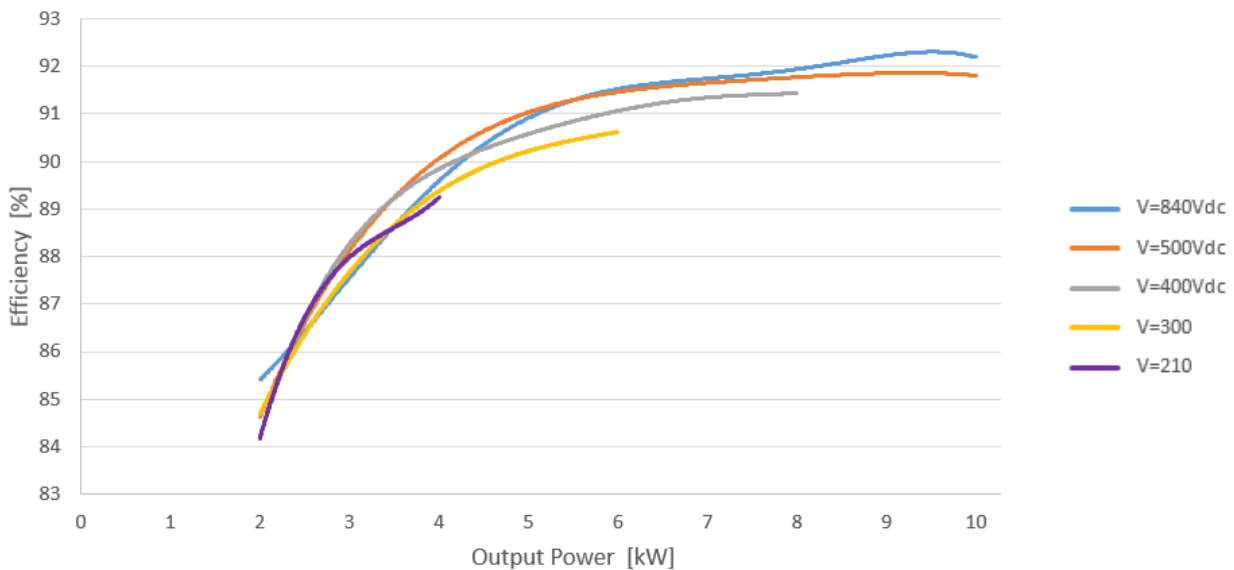


Fig. 1 Costant power.

### 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.

## 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:

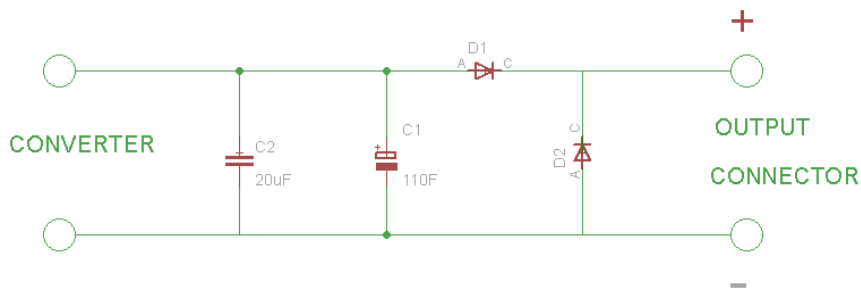
0. Provide LV Battery always hot (only if SAE J1772 or EN61851 is enabled)
1. Proximity and Pilot check (only if SAE J1772 or EN61851 is enabled)
2. S2 close (only if SAE J1772 or EN61851 is enabled)
3. AC main provided to the charger
4. Bootload timeout (10s)
5. Charger starts to communicate (Main CAN 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 redondant 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

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

### 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).

## 5.5. Main Structural Components Overview of the Liquid Cooled Charger

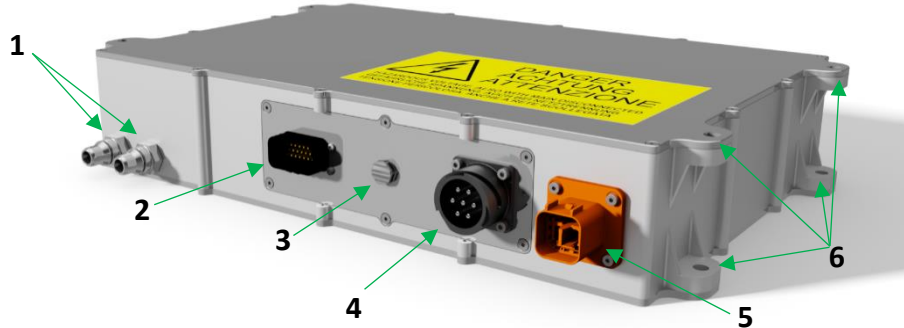


Fig. 3 Main Structural EVO11KL

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)

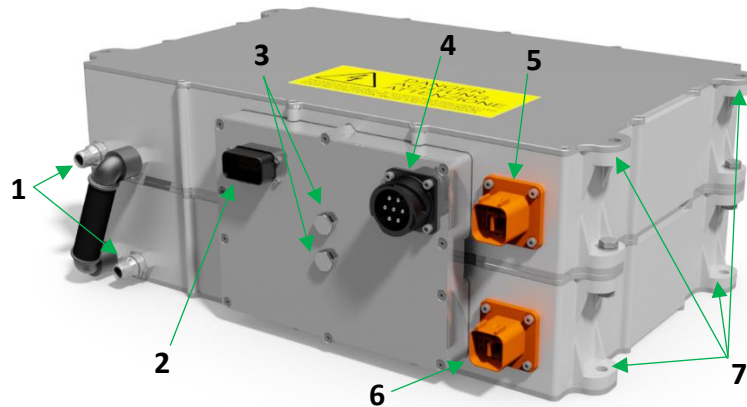


Fig. 4 Main Structural EVO22

1. Cooling port	5. HVDC output connector (J3a)
2. I/O control connector (J2)	6. HVDC output connector (J3b)
3. Pressure equalization membrane	7. Mounting holes (Ø 10 mm)
4. AC input connector (J1)	

## 5.6. Main Structural Components Overview of the Air Cooled Charger

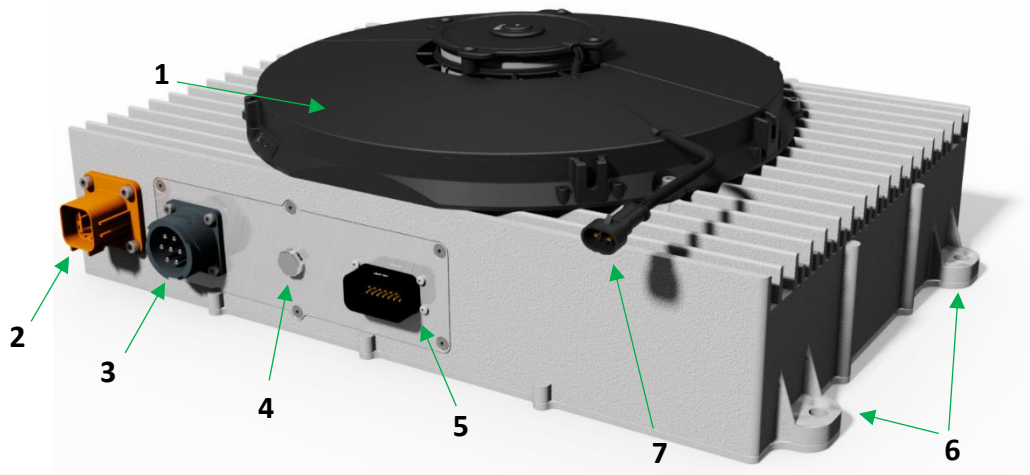


Fig. 5 Main Structural EVO11KA

1. Fan	5. I/O control connector (J2)
2. HVDC output connector (J3)	6. Mounting holes ( ±10 mm)
3. AC input connector (J1)	7. FAN connector (J4)
4. Pressure equalisation membrane	

## 5.7. Liquid Cooling System Connections

The charger's baseplate has an Aluminium pipe used as water cooling loop.

The coolant requirements is: 50% ethylene glycol and 50% of demineralized water and the water flow rate must be about 10lt/min;

It is recommended to use glycol with aluminum corrosion inhibitor and establish a good grounding fixing to avoid corrosion process. In particular we suggest to use an OAT Glycol (organic acid technology).

If this inhibitor is not present in the coolant, the cooling system could be damaged.

The pressure drop of the charger's pipe is about 0,2bar@10lt/min for EVO11KL and 0,4bar@10lt/min for EVO22KL.

In the charger are already screwed the quick connector cooling ports. The cooling ports can be used interchangeably as inputs or outputs. The mating connections are used in order to connect to the cooling ports. As standard is provided te straight version but on request it is also available the 90° version.

For the input and output mating connections you can use a hose with a nominal internal diameter of 18 mm.



Fig. 6 Cooling System EVOxxKL

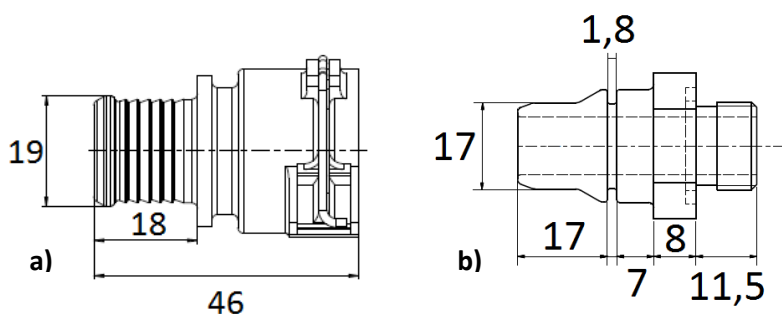


Fig. 7 a) Mating connection b) Quick connector (screwed on the charger cooling port)

- |    |   |
|----|---|
| 1. | Cooling port (extern $\varnothing$ 17 mm) |
|----|---|



Make sure that the coolant system design ensures a vent sufficient to eliminate air pockets. Air pockets in the cooling system can cause the device to overheat! When installing the vent can also be done in pressure or vacuum-filling. Please note the maximum allowable pressure of the system.



## 5.8. Air Cooling System Connections

In the air cooled version 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 supplied 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

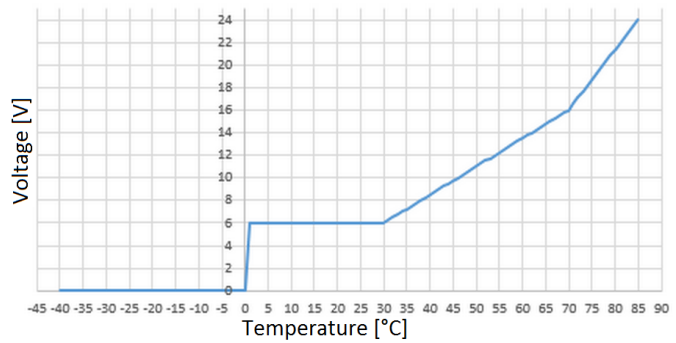


Fig. 8 Supply FAN voltage

The Fan draws air from the top and directs it to the heatsink.

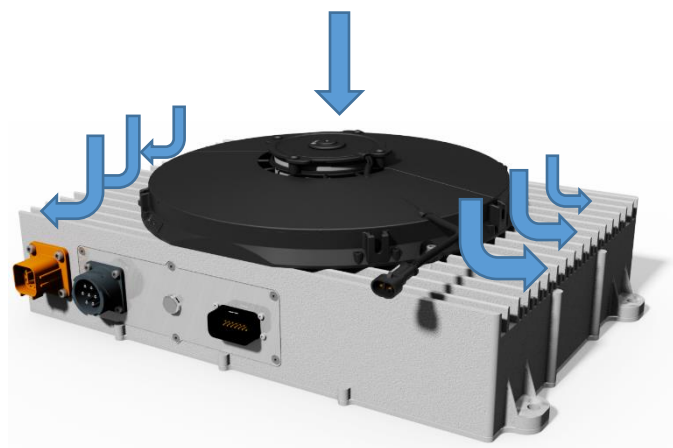


Fig. 9 Air flux of the EVO11KARx

## 5.9. Electrical Connections

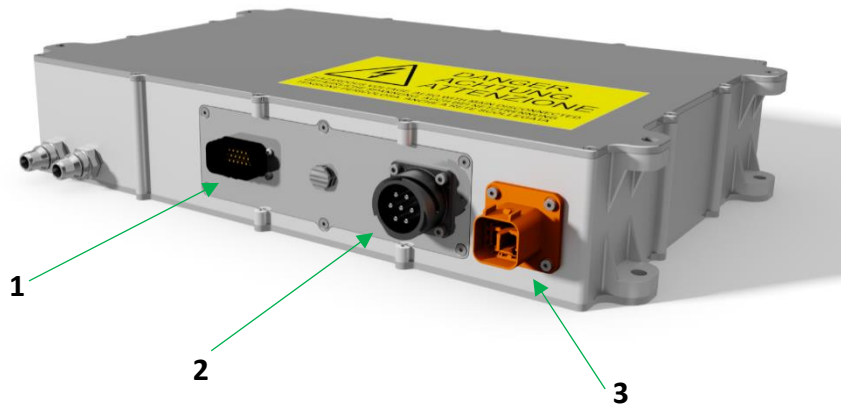


Fig. 10 Electrical Connections EVO11K

1. 23-pole control connector (J2) (Chapter 5.9.4)	3. HVDC output connector (J3) (Chapter 5.9.2)
2. AC input connector (J1) (Chapter 5.9.1)	

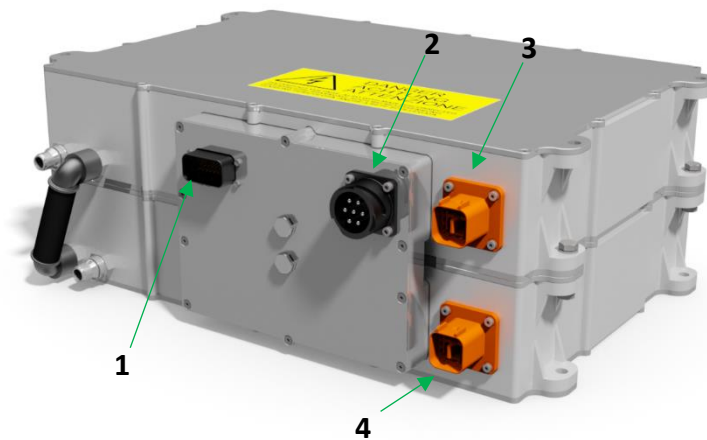
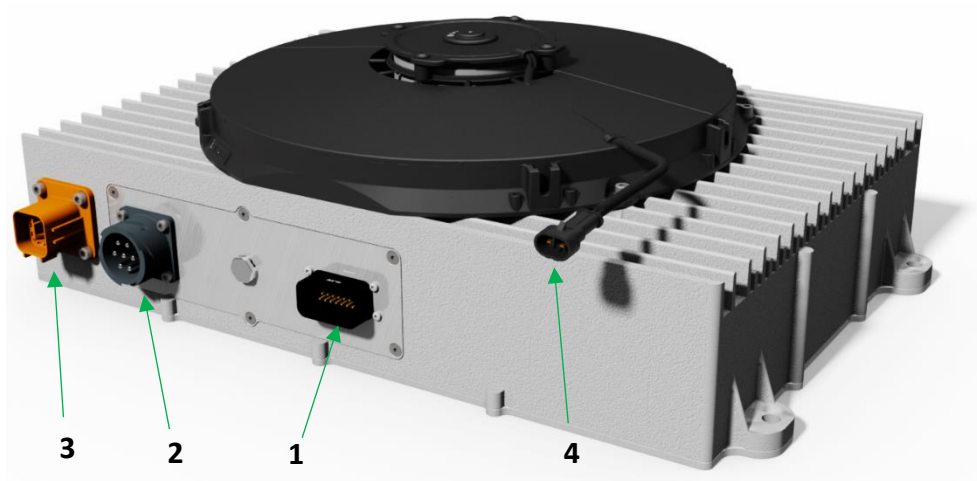


Fig. 11 Electrical Connections EVO22KL

1. 23-pole control connector (J2) (Chapter 5.9.4)	3. HVDC output connector (J3a) (Chapter 5.9.2)
2. AC input connector (J1) (Chapter 5.9.1)	4. HVDC output connector (J3b) (Chapter 5.9.2)



**Fig. 12** Electrical Connections EVOKA

1.	23-pole control connector (J2) (Chapter 5.9.4)	3.	HVDC output connector (J3) (Chapter 5.9.2)
2.	AC input connector (J1) (Chapter 5.9.1)	4.	Fan connector (J4) (Chapter 5.9.5)

### 5.9.1. Pin Assignment AC Input connector (J1)

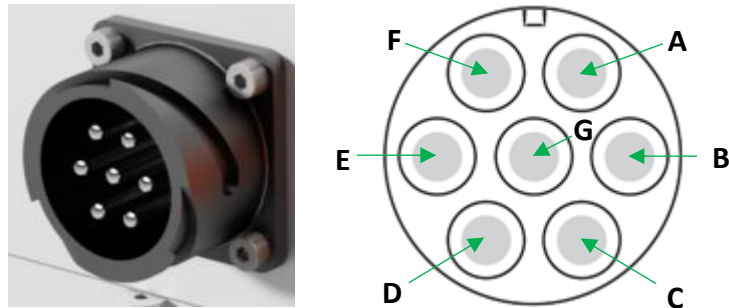


Fig. 13 Particular of AC input Connector

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

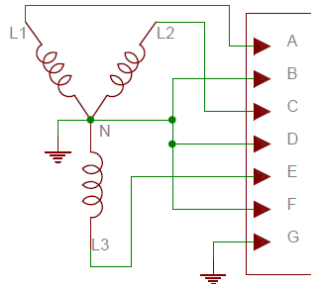


Fig. 14 Y 3phase configuration

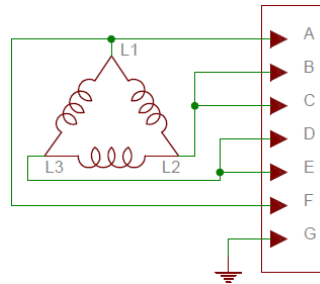


Fig. 15 Delta 3phase configuration

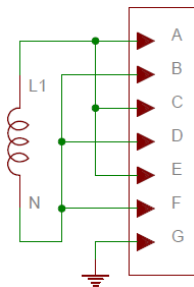


Fig. 16 1-phase configuration

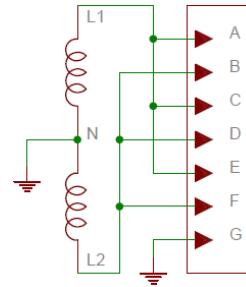
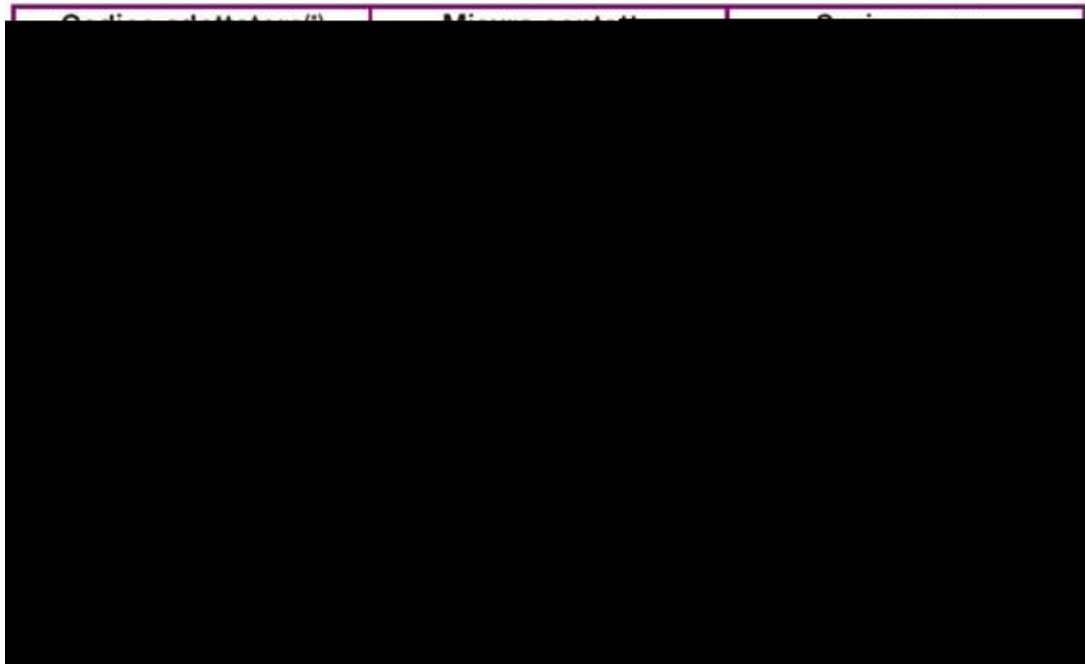


Fig. 17 1-phase split configuration

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.



An example could be the following.

If a 6mm<sup>2</sup> cable is used, you can use the AP485 8-38 adapter in order to crimp the 6mm<sup>2</sup> wire inside the 8 AWG contact.



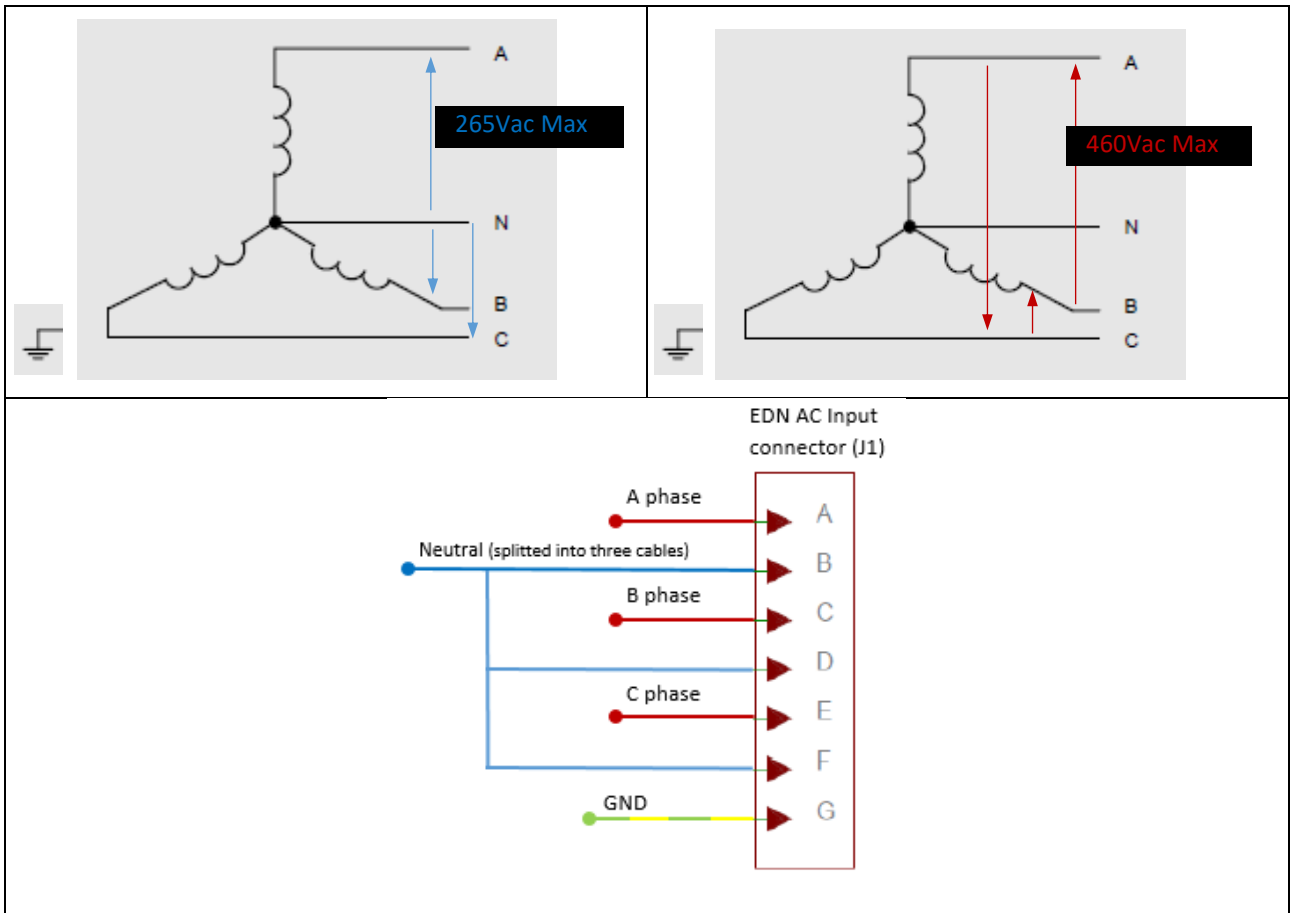
All ungrounded (hot) legs need to be protected with a external fuse.



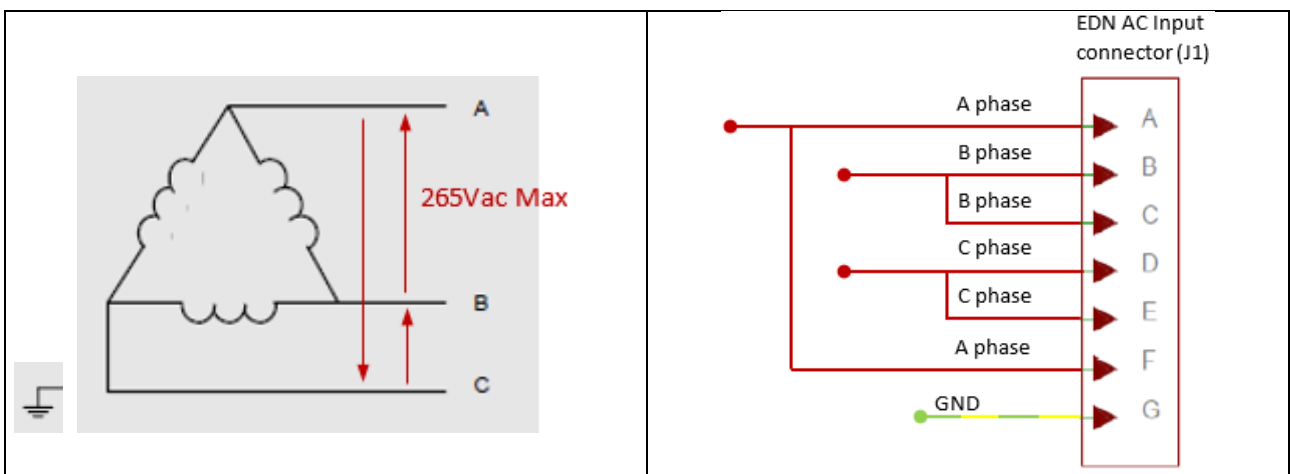
In 1-phase configuration and in Y 3-phase configuration all the neutral pins (B,D,F) must be connected, otherwise the charger will not work.

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

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



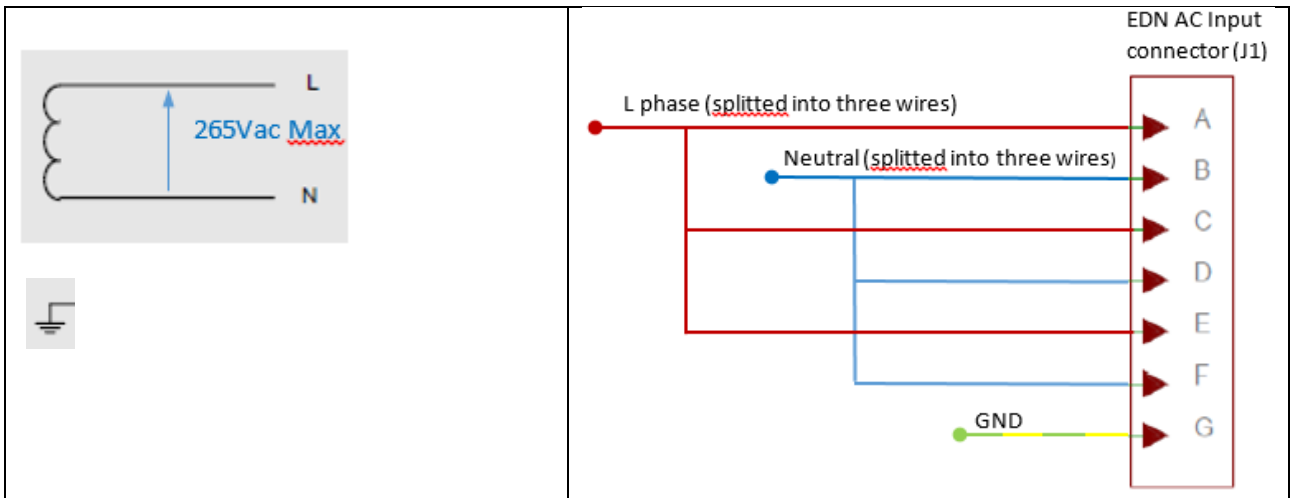
**Δ 3-phase configuration: (this configuration is used for the 208/120Vac or 240/120Vac grid)**



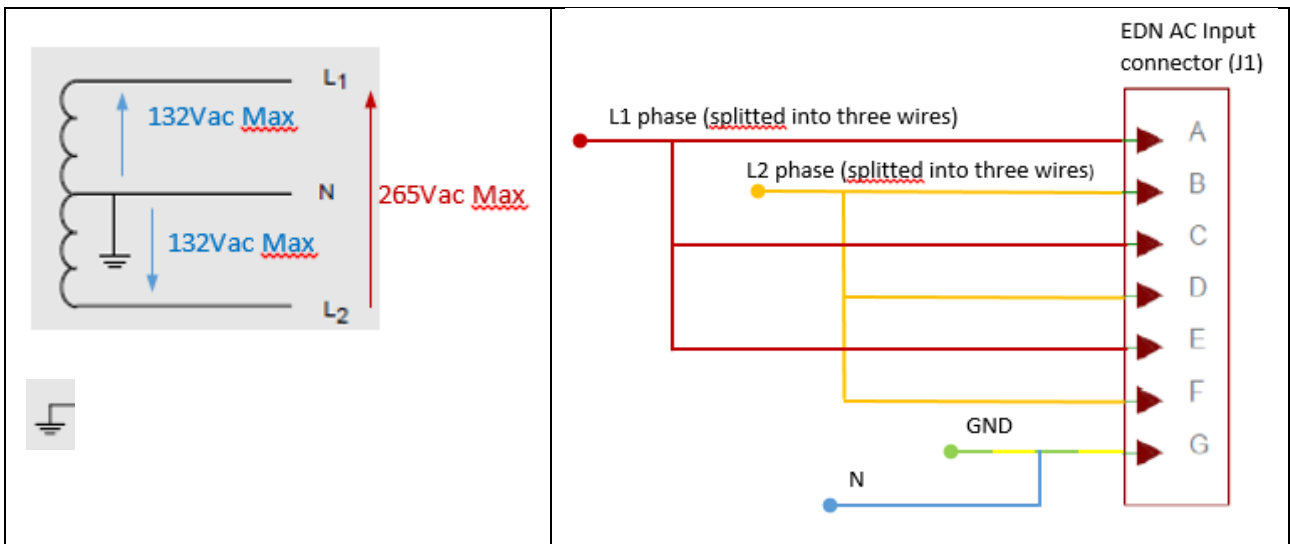
# User's Manual: EVO Series

Pag 30 – 53

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



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



### 5.9.2. Pin Assignment HVDC Output connector (J3)

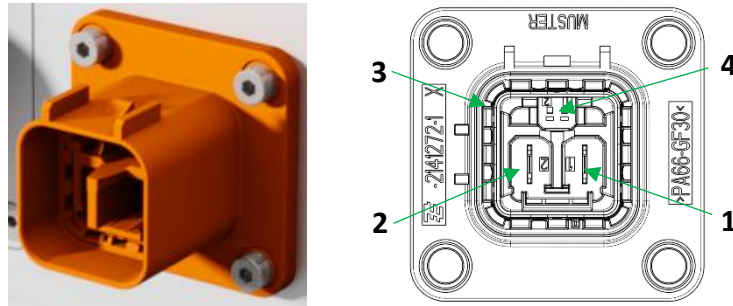


Fig. 18 Particular of HVDC output connector

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 Graunding 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.



### 5.9.4. Pin Assignment Control connector (J2)

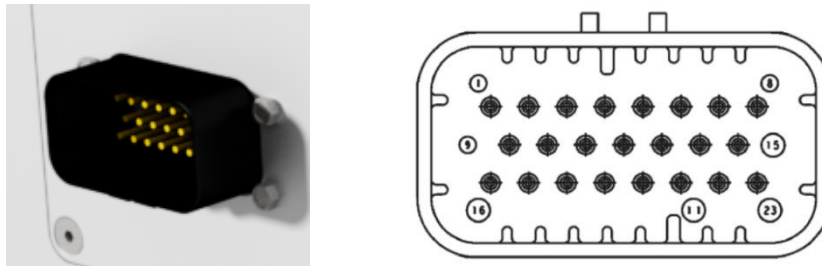


Fig. 19 Particular of Control connector

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.

### 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.

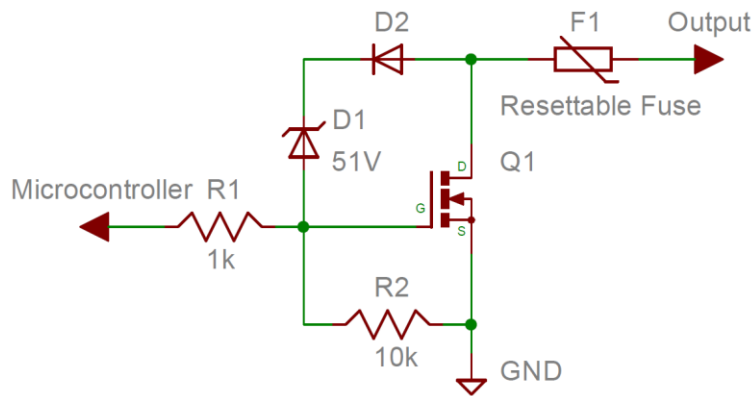
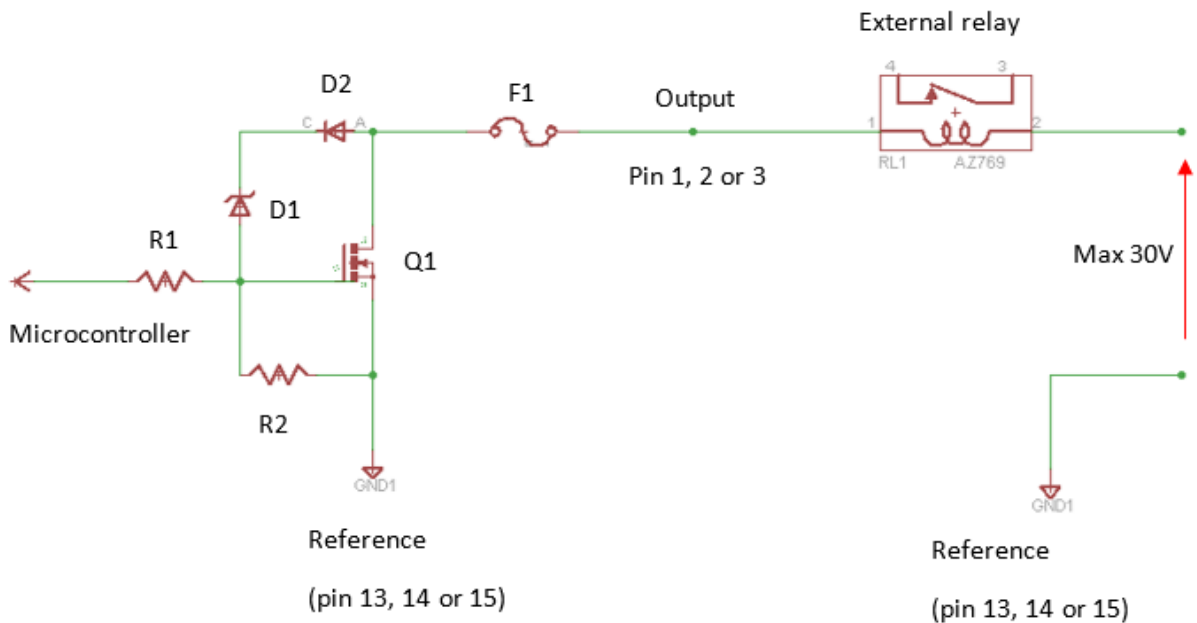


Fig. 20 Schematic of Liquid Pump Control , Fan Control and Allarm

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.



## User's Manual: EVO Series

Pag 34 – 53

When the Q1 internal Mosfet is closed, you can supply and control an external relay. So, for example, you can supply up to 30V between pin 1 and one of pins 13, 14 or 15. When the internal temperature is above 35°C (only for EVO\*\*KL) Q1 is closed and you can energize the coil of an external relay. In this way you can control the activation of an external Liquid Pump.

So, this functionality allow you to activate automatically an external Fan or Liquid pump when the condition above described occurs.

The Alarm signal is similar. When a fault is present, it can be reported in hardware way using an external LED that can be supplied only when Q1 is closed.

### 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.

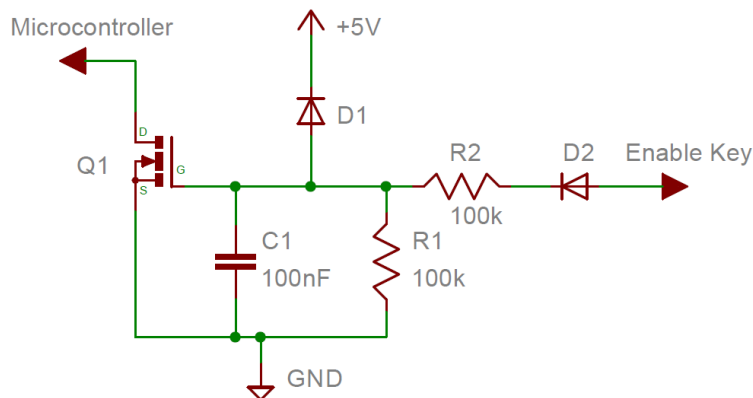


Fig. 21 Schematic of Enable key

### 5.9.4.3. Pin 5 – Control Pilot (CP)

SAE J1772 or EN 61851 compliant Control Pilot signal.

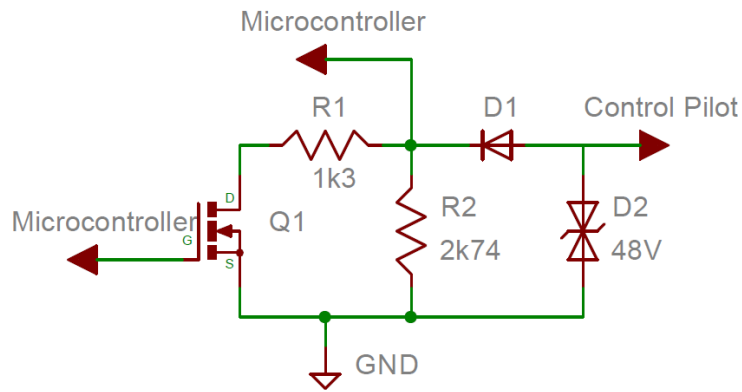


Fig. 22 Schematic of Control Pilot (CP)

### 5.9.4.4. Pin 6 – Proximity Detection

SAE J1772 or EN 61851 Proximity Detection compliant signal.

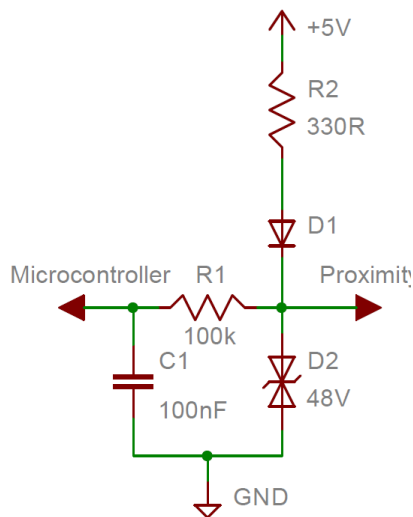


Fig. 23 Schematic of Proximity Detection

### 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.

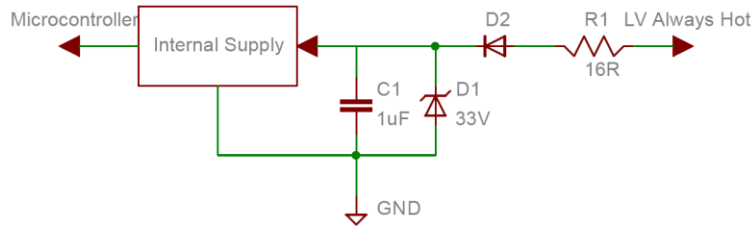


Fig. 24 Schematic of LV battery always hot



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.

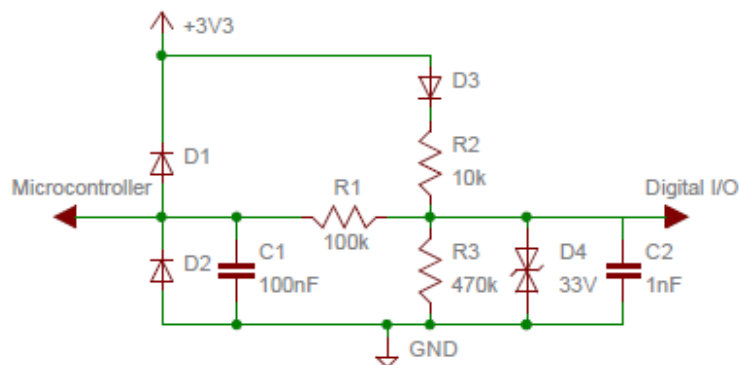


Fig. 25 Schematic of Digital I/O

### 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.

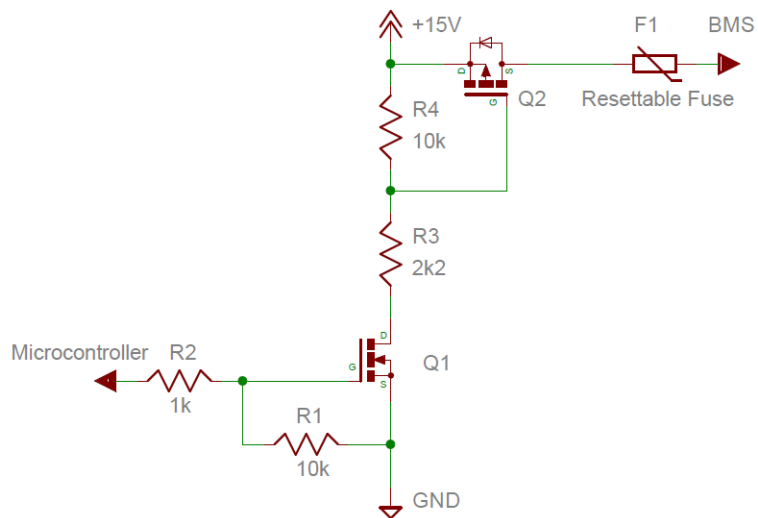


Fig. 26 Schematic of BMS Wake

### 5.9.4.8. Pin 10 – Led

Digital programmable output led.

(Fully compliance with mennekes plug)

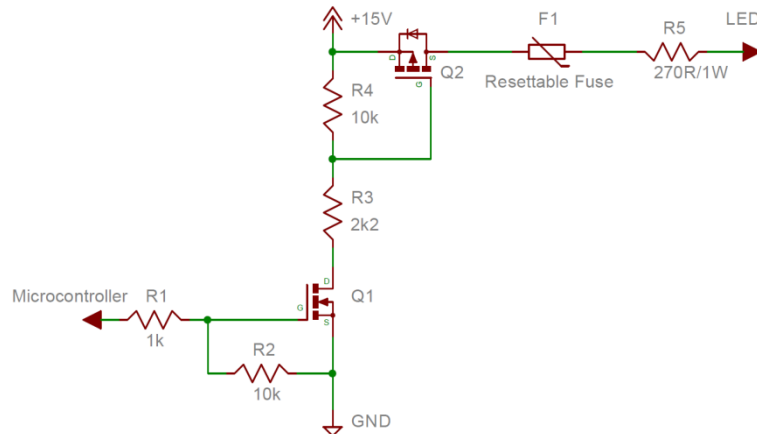


Fig. 27 Schematic of Led

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).





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

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

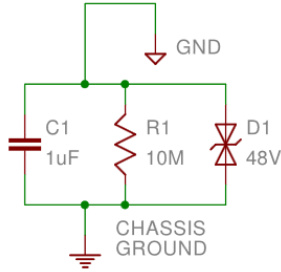


Fig. 28 Schematic of Ground (GND) EVO11K\*

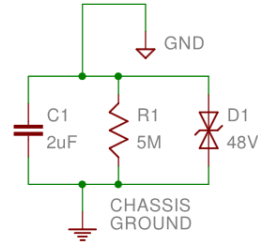


Fig. 29 Schematic of Ground(GND) EVO2KL

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.

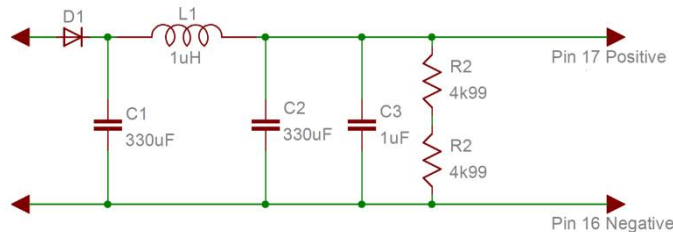


Fig. 30 Schematic of Supply FAN

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

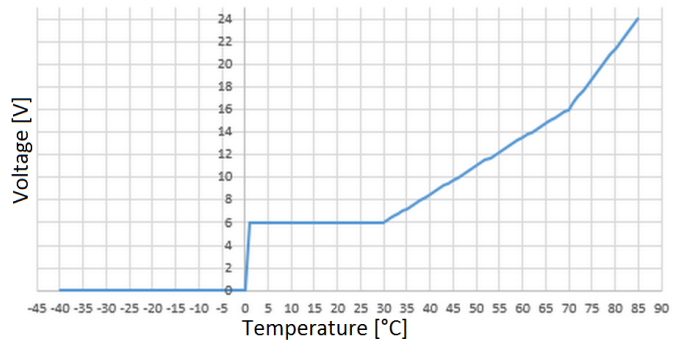


Fig. 31 Supply FAN voltage

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.

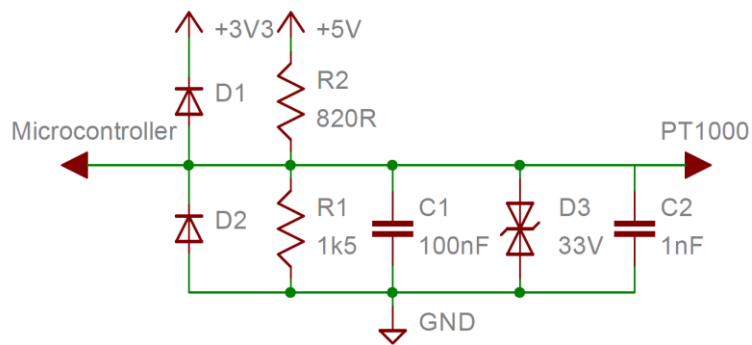


Fig. 32 Schematic of Temperature sensor

### 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

### 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:

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

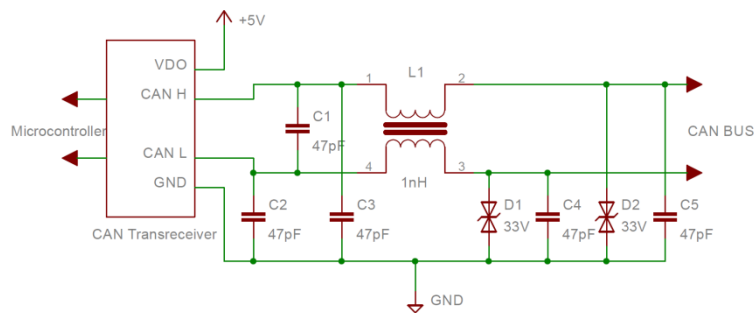


Fig. 34 Schematic of CAN Service



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:

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

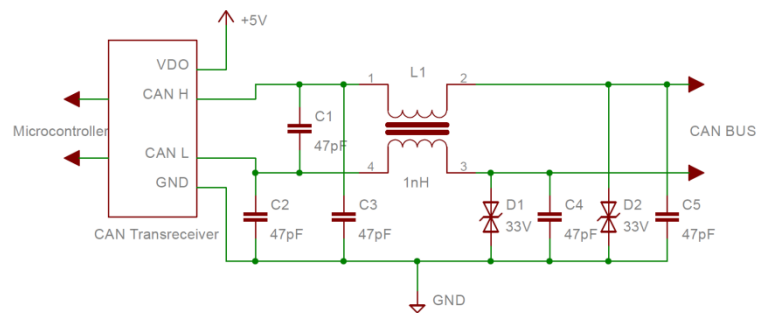


Fig. 35 Schematic of CAN Main



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.

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

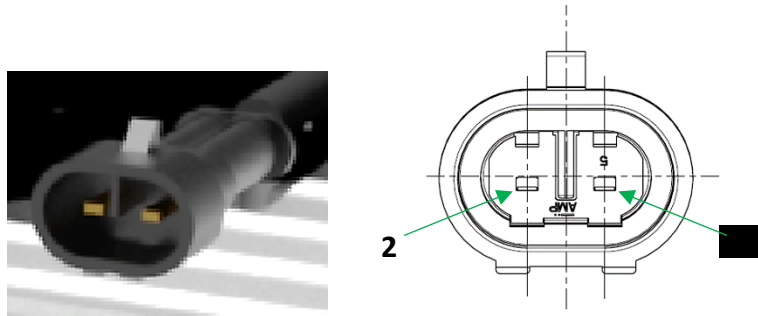


Fig. 36 Particular of fan connector

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.

## 5.10.1. Summary

<b>AC Input Connector (J1) (chapter 5.9.1)</b>			
A.	Phase 1	E.	Phase 3
B.	Neutral 1	F.	Neutral 3
C.	Phase 2	G.	Ground (KL31)
D.	Neutral 2		
<b>HVDC Output Connector (J3) (chapter 5.9.2)</b>			
1.	Output Positive	3.	Ground shield
2.	Output Negative	4.	Interlock (already wired in the connector)
<b>Control Connector (J2) (chapter 5.9.4)</b>			
1.	Liquid Pump Control (only with EVOxxKL)	13.	Ground (KL31)
2.	Liquid Fan Control (only with EVOxxKL)	14.	Ground (KL31)
3.	Alarm	15.	Ground (KL31)
4.	Enable Key	16.	Supply Fan – Negative (only with EVO11KA)
5.	Control Pilot (CP)	17.	Supply Fan – Positive (only with EVO11KA)
6.	Proximity Detection	18.	Temperature sensor
7.	LV Battery always hot	19.	CAN Shield
8.	Digital I/O	20.	CAN L – Service
9.	BMS Wake-Up	21.	CAN H – Service
10.	Led 3	22.	CAN L – Main
11.	Led 2	23.	CAN H – Main
12.	Led 1		
<b>FAN Connector (J4) (chapter 5.9.5)</b>			
1.	Supply Fan – Negative pin (only with EVO11KA)		
2.	Supply Fan – Positive pin (only with EVO11KA)		

## 5.11. Dimensions and Installation Information

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

- x Despite the IP protection provided, the charger should be installed in a dry location, protected from splashing water.
- x 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).
- x 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.
- x The cable feeds and cooling liquid pipes should have sufficient space for routing and should not come into contact with sharp-edged components.
- x the mounting bolts must be tightened to a torque setting of 10 Nm.
- x The device can be mounted with any orientation.

### 5.11.1. Dimensions and Mounting Points EVO11KL

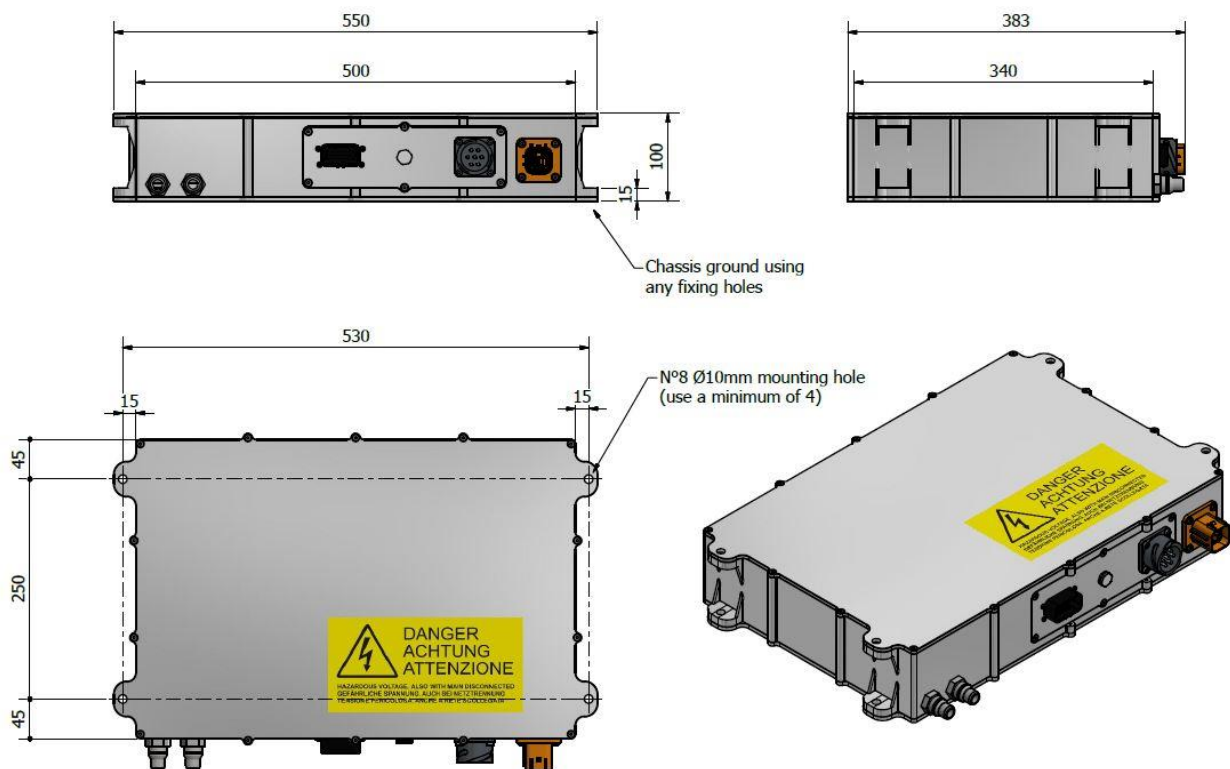


Fig. 37 Mechanical data of EVO11KL

### 5.11.2. Dimensions and Mounting Points EVO22KL

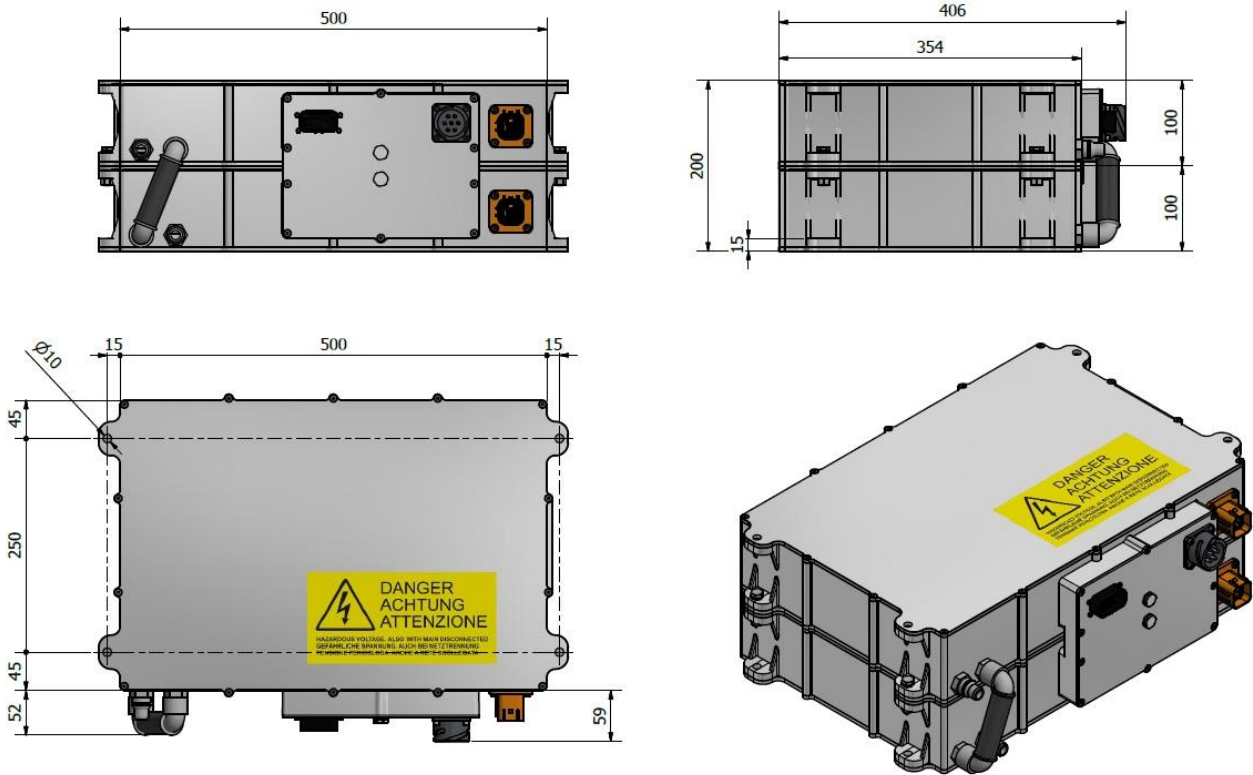


Fig. 38 Mechanical data of EVO22KL



### 5.11.3. Dimensions and Mounting Points EVO11KA

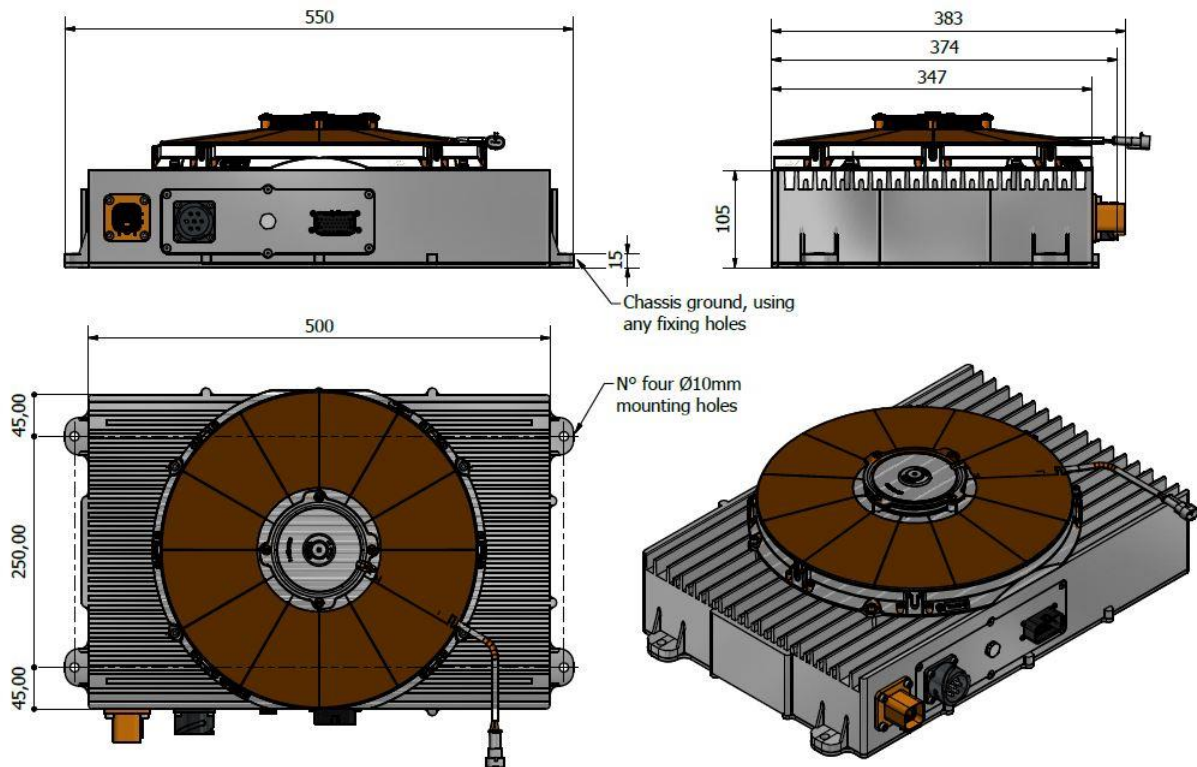


Fig. 39 Mechanical data of EVO11KA

## 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.

## 5.11. Minimum connections for operation

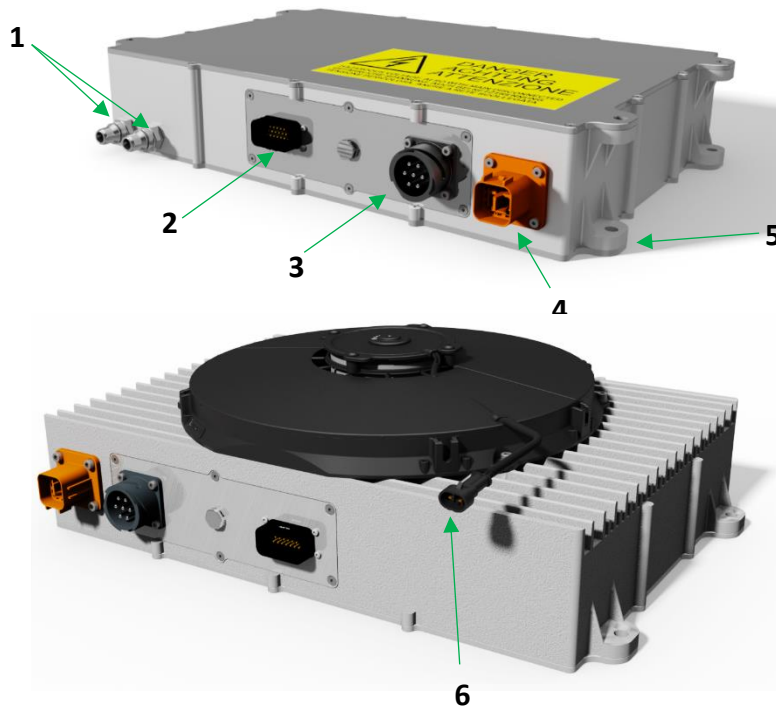


Fig. 41 Minimum connections for operation

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.

## 5.12. Power limitations

The charger, in order to ensure safe operation, controls: input current, output current, output voltage, power, heatsink and internal temperature. The charging power is reduced if critical limits are reached.

In particular the de-rating feature limits the power when:

- x Device operating temperature limits are exceeded, the output current is reduced when the heat sink temperature is in the range from +65°C to +85°C.  
For safety and durability a heatsink temperature above +85°C will cause the unit to switch off.
- x In order to prevent the device overheating, the output current is reduced when the internal temperature is in the range from +65°C to +85°C.  
A Higher internal temperature causes the unit to switch off .
- x The input voltage falls below the 230 Vac, for maintain the AC input current under the limit.
- x The EVSE Proximity (PP) value defines the maximum AC input current.

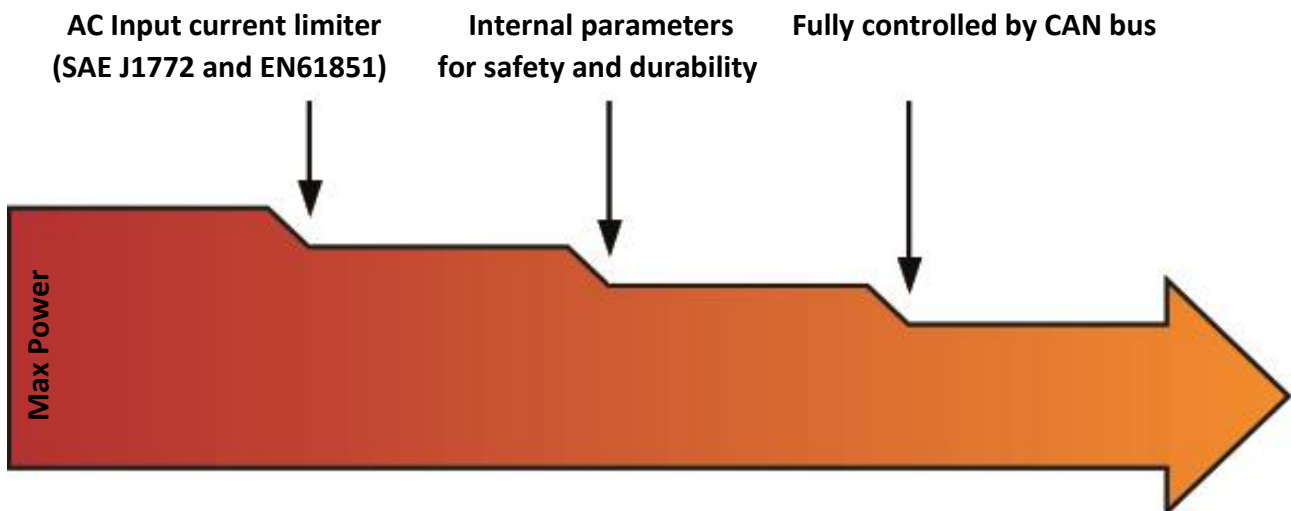


Fig. 42 Power Limitations

## 6. Chargers parallel

The EVO charger is designed with the possibility to connect up to 12 EVO11K or 6 EVO22K in parallel (for more details call the sales).

Each device in parallel must be set with a different CAN ID identification.

Depending on the customer's charging strategy, the parallel operation can be performed in two different ways. The parallel operation can be defined with the setup message.

### 6.1. A control for several chargers

In this mode, all devices are controlled by a single control message but each device is monitored by independent messages.

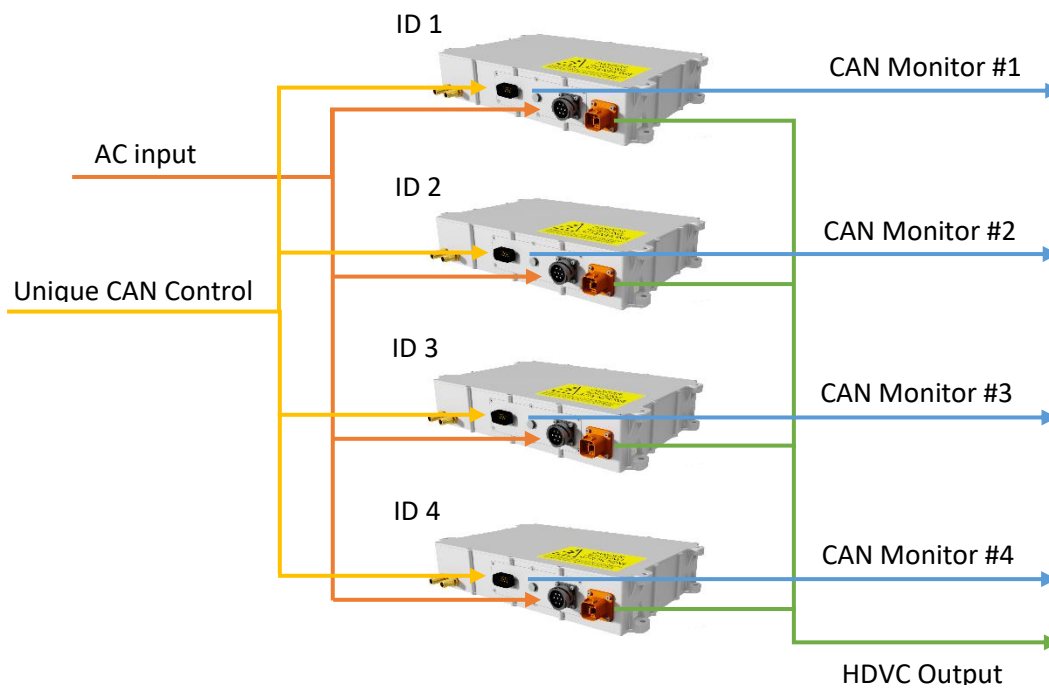


Fig. 43 Uniquecontrol for several charger

## 6.2. A independent control for each charger

In this mode, each device is independently controlled by a different control message and monitored by an own monitor message.

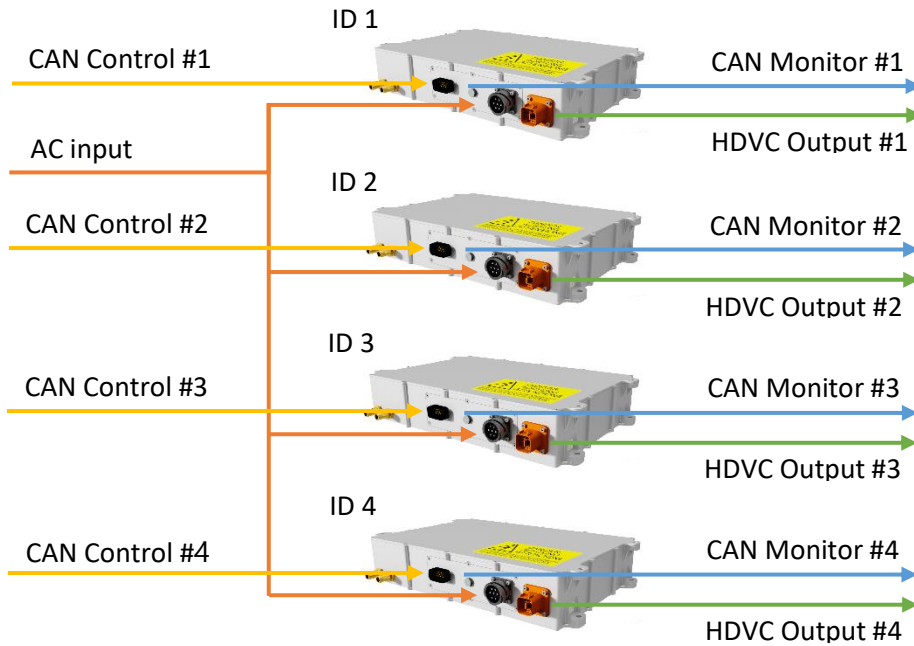


Fig. 44 A control for each charger

### 6.3. EVO22KL working models

The EVO22KL can be used as a unique 22kW charger or as two fully independent 11kW output.

Its architecture permits to charge one battery pods or two isolated battery pods, to optimize the charging algorithms and balancing.

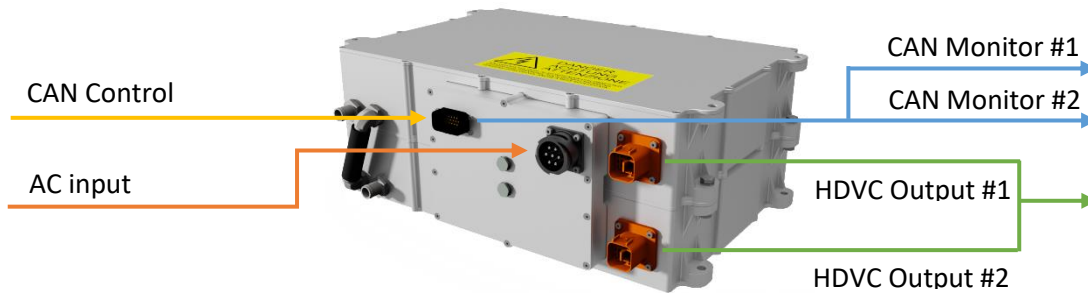


Fig. 45 One control message for all EVO22KL

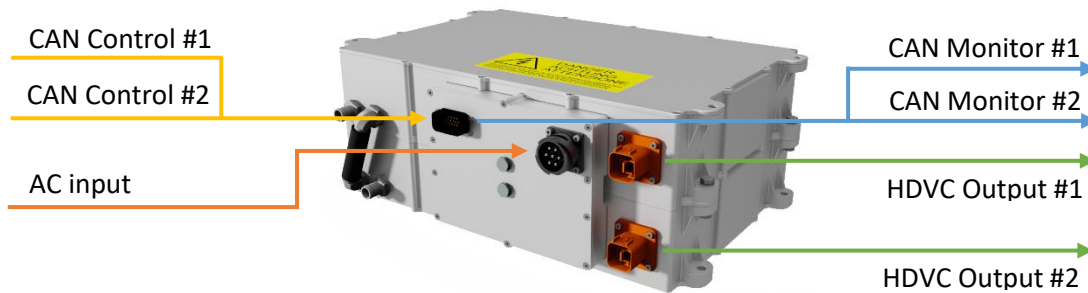


Fig. 46 One control message for each output to the EVO22KL

## 7. Installation / start-UP

### 7.1. Installing and Connecting the Charger

PROCEDURE STEP	
1.	Open the box, taking care not to damage the charger.
2.	Pull out the charger. Do not take it from the connectors.
3.	Integrate the charger mechanically into the specified position of the vehicle. Use the screws and torques stated, see chapter 5.11.
4.	Connect to the cooling water pipes (only for EVO**KL). See chapter 5.7 Cooling System.
5.	Activate the cooling water system (only for EVO**KL). Make sure that no air pockets are available in the cooling system!
6.	Build the mating control connector. See chapter 5.9.4 for the pin assignment of the Control connector (J2). See chapter 7.3 Precautions for crimping.
7.	Connect the pins 16 and 17 of the Control connector (J2) to the FAN connector (J4) (only fo EVO11KA).
8.	Connect the mating control connector to the charger control connector (J2). Ensure that the mating control connector clicks into place and sits firmly.
9.	Configure the charger. See CAN manual
10.	Wire up the modular plug to the battery cable. See chapter 5.9.2 Pin Assignment HVDV Output Connector.
11.	Place the battery cable in the vehicle. Do not build any of the electrical connections yet!
12.	Connect the HVDC output connector (J3). Ensure that the HVDC output connector clicks into place and sits firmly.
13.	Build the mating AC input connector. See chapter 5.9.1 for the pin assignment AC input connector. See chapter 7.3 Precautions for crimping.
14.	Connect the AC mains cable to the charger. Ensure that the circular connector complete rotate coupling-nut.
15.	Connect the charging cable to the charging socket of the vehicle.
16.	Connect the battery cable to the HV battery.
17.	Proceed when the charger over CAN bus.



## Handling and operation

### 7.2. Maintenance of the Fan



Periodically, the fan and the heat sink must be checked and cleaned avoiding usage of solvents, diesel and gasoline.

In case of fan malfunction it needs to be replaced.

Brand	Mate connector
SPAL	VA13-BP51_C-35S

### 7.3. Precautions for crimping



For AC input connector (J1) is recommended to consult the document:

“CVB series of the Van- system:

[http://www.vansystem.eu/downx12345/cat\\_baio\\_2008\\_1\\_light2.pdf](http://www.vansystem.eu/downx12345/cat_baio_2008_1_light2.pdf)



For control connector (J2) is recommended to consult the document:

“Ampseal Automotive Plug Connector and Header Assembly 16016 of the TE connectivity

[www.te.com/catalog/pn/en/770680-1](http://www.te.com/catalog/pn/en/770680-1)



The HVDC connector (J3) is supplied already crimped.

## 7.4. Malfunctions solved by the customer

### 7.4.1. CAN bus does not transmit

- x Check the wiring control connector (J2).
- x Check supply (mains or always hot).
- x Check if termination resistor is present on CAN bus.
- x Check if CAN-L and CAN-H are swapped.
- x Check if CAN-L and CAN shield are swapped.

### 7.4.2. The device goes into derating after a short time

- x Check the cooling system (Fan or liquid system).
- x Verify the Ambient temperature Outside the charger
- x Check the AC current available from AC grid (Check Pilot and Proximity signal)

### 7.4.3. CAN bus ok but not charging

- x Check the correctness of the messages over CAN:
  - o check if command message is present (ID 0x618)
  - o check if the charger is enabled (see CtICANEnable equal to 1)
  - o check output Voltage and output Current value in the control message and in the charger configuration message
  - o check input Current value in the control message and in the charger configuration message
  - o check the value of the charger configuration message (ID 0x616)
- x Check the connection of DC output connector for HVIL
- x Check the configuration of AC input mating connector:
  - o check that all the neutral pins (B,D,F) are connected, otherwise the charger doesn't work

### 7.4.4. CAN bus parameters value incorrect

- x Check the correctness of the scaling and offset value indicated in the Can Bus Specification document

## 8. Warranty and guarantee

(See Limited Warranty Document)

### 8.1. In case of the failure?

PROCEDURE STEP	
1.	Contact Customer Support <a href="mailto:support@edngroup.com">support@edngroup.com</a> that will provide the authorization code to repair.
2.	In order to reduce repair time please fill the RMA document.
3.	Pack the device possibly in its box or equivalent.
4.	Place the device packed on a pallet sizes appropriate to prevent damage during transportation.
5.	Send the pallet to the address that you can find in RMA file.

## 9. Appendix A

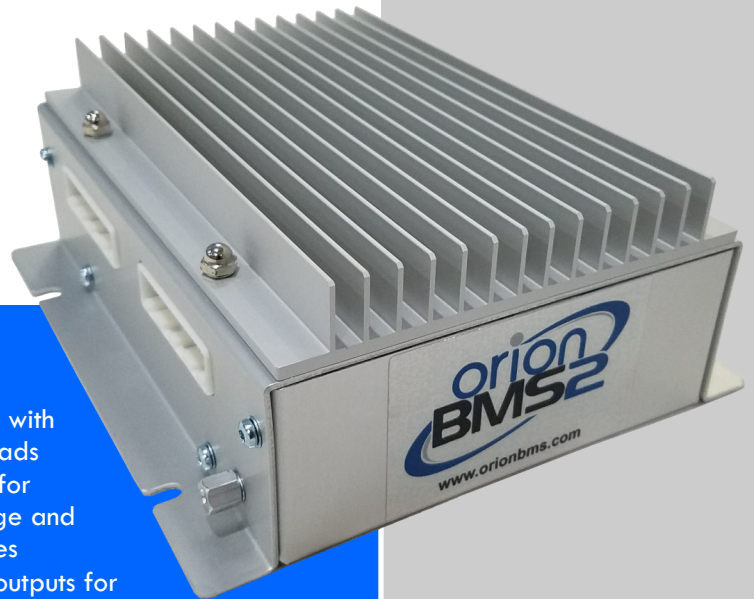
Below are listed the ECN (Engineering Change Notification) realized by EDN:

ECN #	Issue Date	Description
252	26 October 2016	Introduction of quick connection coolant ports in the EVO liquid cooled series
254	25 July 2016	New HVIL signal management

In order to have the document contact the Customer Support [support@edngroup.com](mailto:support@edngroup.com).



## 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

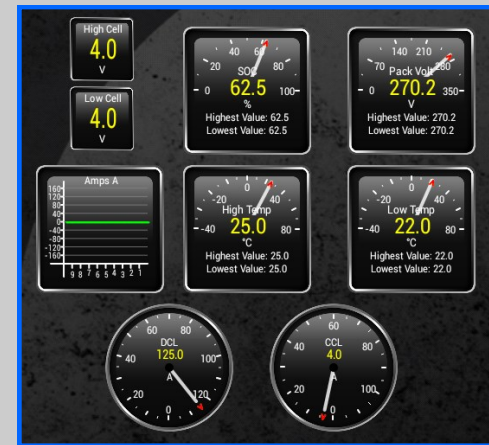
- 2 Digital signal outputs for enabling charge and discharge.
- 1 Digital signal output to control a battery charger
- 5 Digital programmable multi-purpose outputs
- 2 Digital programmable CANBUS (CAN2.0B) interfaces.
- 3 Analog 0-5v outputs that represent the following signals: Charge / Discharge Current 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

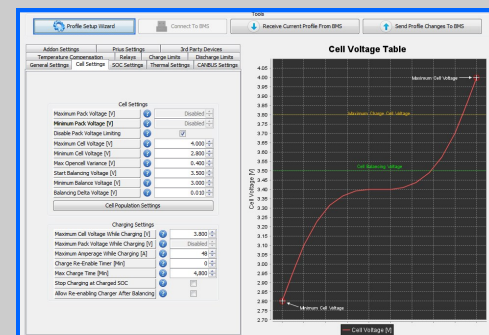
- 3 redundant 12V—24V DC power supplies for reliability
- BMS retains data and settings without power
- Low power sleep mode

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 ( <b>Some outputs can pulse up to 4A for contactors</b> —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

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## ANEXO-MOTOR EMRAX 228 MEDIUM VOLTAGE CC FSULL

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

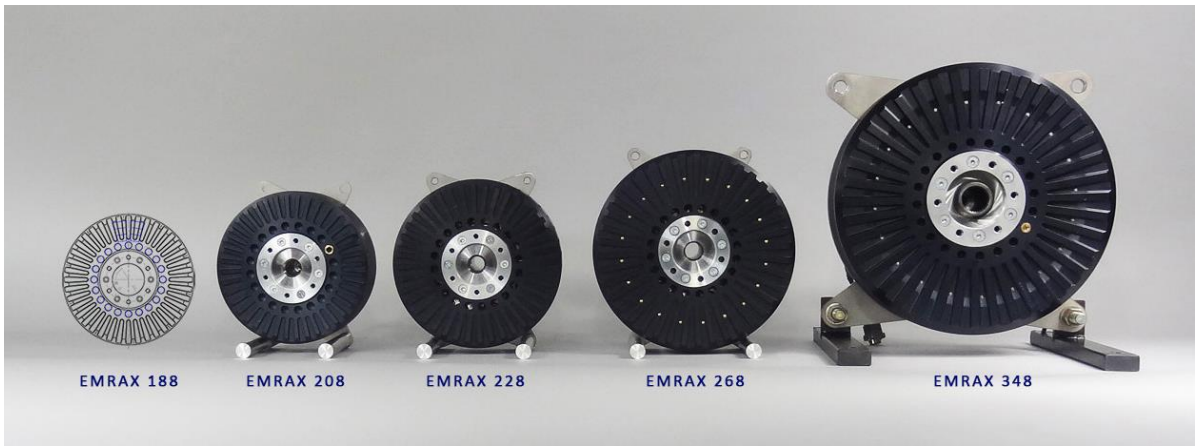
Curso académico 2018/2019





# User's Manual for Advanced Axial Flux Synchronous Motors and Generators

**EMRAX**  
INNOVATIVE E-MOTORS



## Contents

1. Technical data of EMRAX motors.....	7
EMRAX 188 Technical Data Table.....	12
EMRAX 208 Technical Data Table (dynamometer test data).....	13
EMRAX 228 Technical Data Table (dynamometer test data).....	15
EMRAX 268 Technical Data Table (dynamometer test data).....	17
EMRAX 348 Technical Data Table.....	21
2. Intended usage of the EMRAX motor/generator .....	22
3. Motor types and additional motor parts.....	22
4. Order codes, tariff (HTS) codes, weights of EMRAX motors and additional motor parts.....	25
5. 3D drawings of EMRAX motors.....	27
6. Mounting the motor.....	27
7. Power/torque transmission and shafts.....	28
8. Controlling direction, position and rotation speed of EMRAX motors.....	33
9. Suitable controllers for EMRAX motors .....	38
10. Two same sized EMRAX motors connected serially (EMRAX TWIN) – stacking capability of EMRAX motors .....	40
11. Redundancy .....	42
12. EMRAX motor working as a generator and its integration into the hybrid system .....	43
13. EMRAX motor ingress protection (IP CODE).....	43
14. Motor cooling.....	44
15. EMRAX motor materials, quality and reliability .....	46
16. EMRAX motor bearings and life expectancy .....	47
17. EMRAX motors as in-wheel motors .....	49
18. Maintenance and protection of EMRAX motor against environmental disturbances .....	49
19. Starting EMRAX motor (connecting the motor with controller): .....	50
20. How to choose the correct EMRAX motor type for every application: .....	52
21. Usage of EMRAX motors for electric vehicles (EV) .....	53
How to calculate power and torque for EV?.....	53
Mounting options of EMRAX motor for electric car:.....	54
Example of calculation for electric Audi ETT:.....	55
22. EMRAX Certificates.....	56
23. EMRAX disclaimer .....	56
24. Service.....	57

## Table of Figures

Figure 1: EMRAX testing at Letrika d.d. Company .....	6
Figure 2: Scheme of EMRAX motor.....	6
Figure 3: EMRAX 188 drawing .....	7
Figure 4: EMRAX 188 (IP21).....	7
Figure 5: EMRAX 208 drawing .....	8
Figure 6: EMRAX 208 (IP65).....	8
Figure 7: EMRAX 228 drawing .....	9
Figure 8: EMRAX 228 (IP21).....	9
Figure 9: EMRAX 268 drawing .....	10
Figure 10: EMRAX 268 (IP21).....	10
Figure 11: EMRAX Very High Mechanical Loads (VHML) drawing. EMRAX VHML Low Voltage needs doubled phase connectors (2xUVW). .....	10
Figure 12: EMRAX 348 drawing .....	11
Figure 13: EMRAX 348 (IP65) with encoder .....	11
Figure 14: Mounting holes on front and back side of the motor .....	27
Figure 15: Mounting options (air propeller / in-wheel).....	27
Figure 16: X shape brackets for EMRAX motors .....	28
Figure 17: EMRAX transmission shafts.....	29
Figure 18: Standard motor shaft vs. extended shaft with outer splines (ESO) .....	30
Figure 19: ESO and FSI .....	30
Figure 20: Standard motor shaft vs. EMRAX 268 VHML shaft .....	30
Figure 21: FSI.....	30
Figure 22: EMRAX with ESO and FSI.....	31
Figure 23: Power/torque transmission from front motor side .....	31
Figure 24: Power/torque transmission from front (FSI) and/or back motor side (ESO) .....	32
Figure 25: Power/torque transmission from front motor side to the transmission gear .....	32
Figure 26: Motor with extended shaft from back motor side.....	33
Figure 27: Resolver / encoder on back motor side .....	34
Figure 28: Resolver / encoder on front motor side .....	35
Figure 29: Encoder with bracket.....	35
Figure 30: Resolver with bracket .....	35
Figure 31: EMRAX with hall sensors.....	36
Figure 32: Motor phase connectors – normal (UVW) and doubled (2xUVW) .....	37
Figure 33: EMRAX TWIN drawing .....	40
Figure 34: EMRAX TWIN with encoder .....	41
Figure 35: EMRAX TWIN with tandem resolver.....	41
Figure 36: Coolant fittings for EMRAX TWIN .....	41
Figure 37: EMRAX TWIN shafts – ESO is mounted in the first motor and FSI on the front side of the second motor .....	42
Figure 38: Motor with extended shaft and flanged shaft on the extended shaft (for EMRAX TWIN) .....	42
Figure 39: EMRAX IP21 .....	43
Figure 40: EMRAX IP65 .....	44
Figure 41: Motor cooling options .....	44
Figure 42: Motor coolant fittings for one motor .....	45
Figure 43: Combinations of bearings for EMRAX motors .....	47
Figure 44: Pull-push (PP) bearing outer ring fixation.....	49
Figure 45: Straight connection of motor phase connectors to controller cables. ....	50

Figure 46: Angular connection of motor connectors to controller cables. Connections must be isolated with shrink hose! ..... 51  
Figure 47: Isolation of electrical phase connectors with shrink hose ..... 51

***Dear Customer,***

Congratulations on your purchase of the EMRAX high performance electric motor.

This drive is a Slovenian product of a completely new type of pancake axial flux synchronous permanent magnet electric motor, which will keep its capability for a long time if treated properly. It can also work as a generator with the same performance characteristics. The drive was developed for airplanes, where reliability is extremely important. Therefore, our target was to build a reliable, low weight, high power direct drive electric motor with high efficiency.

The drive was developed and tested by Roman Sušnik, dipl. ing. (Company EMRAX d.o.o., till March 2016 company name was Enstroj d.o.o.). The first prototype was mounted onto the glider airplane Apis EA2 in 2008, when also the 1st electric flight in Slovenia and the 3<sup>rd</sup> in the world was made. The motor was also laboratory tested in Piktronik d.o.o (January 2011), Siemens GmbH (May 2012) and Letrika d.d. (November 2014). Furthermore, our customers give us test results from their projects to confirm our test data. In February 2014 thermal tests were performed on EMRAX motors. The motor was exposed to shock tests from -40°C to +160°C for 17 days (24h/day), this means 408 hours non-stop. EMRAX passed this examination with excellent results, without any damages.

Meaning of EMRAX name:

- EM stands for the Electric Motor,
- R is the first letter of the innovator's name, who is Roman
- AX stand for the axial magnetic flux

EMRAX motor features:

- Axial Flux
- Permanent magnet synchronous motor
- Input type: sinusoidal three phase
- Lightweight - best in class power density (up to 10 kW/kg)
- High torque at low RPM
- Highly efficient (up to 98%)
- Reliable (developed and produced for the airplane industry)
- Compact and high-quality product
- IP21 or IP65
- EMC Compliant – E marked (complies with essential protection requirements of 89/336/EEC)
- Low cost
- 3 Cooling options (Air/Liquid/Combined)
- Low noise
- No vibrations
- Stacking capability (two same sized motors connected on the same shaft)

The EMRAX engine can achieve high power even at relatively low rotation speeds due to high torque. It allows a gearless drive without the usual step-down gear unit which causes power losses, additional weight, complexity and maintenance. In the case where the lower output rotation is needed the reduction drive can be used, which allows even higher torque (power stays the same).

The EMRAX motor ranks as the best high power density motor in the global market. Its power density is very high – up to 10 kW/kg. EMRAX motors have the best-in-class power density. The mechanical and no load electrical losses are very small, so EMRAX can run on high RPM – in which case very high motor power can be achieved (up to 300 kWp – e.g. EMRAX 348 type). EMRAX motors use less material more efficiently to provide higher power densities than any comparable motor or generator.

Though many intensive tests have already been made and despite the parts being produced by modern CNC machines, the motor is still not a real series product. Many manufacturing processes are still made by hand, which makes every drive unique. Therefore, our customers are and will be part of the field test, thus we are already excited about the experiences they will make with the new motor.

EMRAX engines have been sold since the year 2008. Through the years of experiences we have made many improvements. The development is a never ending story, therefore improvements will still be made. The customer assumes responsibility to share the experiences made with the drive with the manufacturer, in order for the manufacturer to gather the know-how and identify possible weaknesses.

The usage of EMRAX motors is in automotive, motorsport, off road, marine, industrial, aerospace applications.

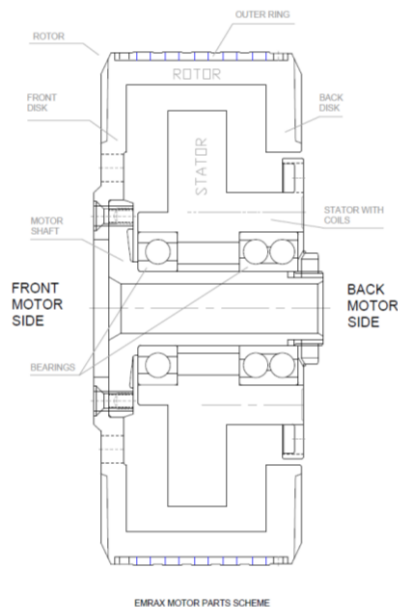
The orders are rising monthly, consequently we are prepared to raise the production quantity by multiplying the existing production cells and also start mass production. Even though motors are not made in high volumes, the advanced materials and proprietary construction techniques enable significant customer cost benefits. Therefore EMRAX motors have a very competitive price in their class.

Applications where EMRAX motors can be used:

- Traction motors for on, off-road, rail and marine transport (hybrid or full electric).
- Generators (especially where size and weight are important).
- Integrated starter Generators (ISG) (start, generate and power boost from a small volume).
- Hydraulic replacement (compact and efficient alternatives for hydraulic motors and starters).



**Figure 1: EMRAX testing at Letrika d.d. Company**



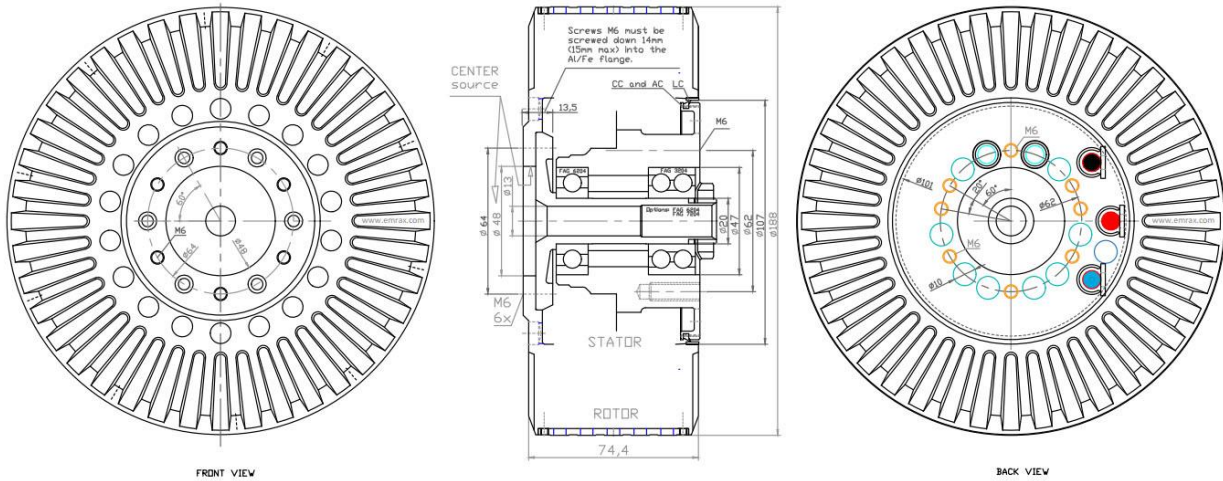
**Figure 2: Scheme of EMRAX motor**

## 1. Technical data of EMRAX motors

EMRAX motors/generators are **advanced axial flux synchronous (BLAC) electric motors/generators**. EMRAX motors are available in a range of torque and speed combinations and with variety of cooling options. EMRAX motor types (the number in the name means the diameter of the motor in mm):

**EMRAX 188:** is being developed. It will be available for sale at the end of 2016. Orders are being collected.

- High Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))
- Medium Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))
- Low Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))



Bearings 6204-6204 - Front and back bearing are for radial forces (standard).  
 Bearings 6204/7204 - Front bearing is for radial forces, back bearing is for axial-radial forces. Bearing combination is for pull mode (For e.g. air propeller).  
 Bearings 6204-3204 - Front bearing is for radial forces, back bearing is for axial-radial forces. Bearing combination is for pull-push mode. 'D' bearing orientation.

**EMRAX 188**  
100Nmp, 70kWp at 7000RPM; weight: 7,0kg

**Figure 3: EMRAX 188 drawing**

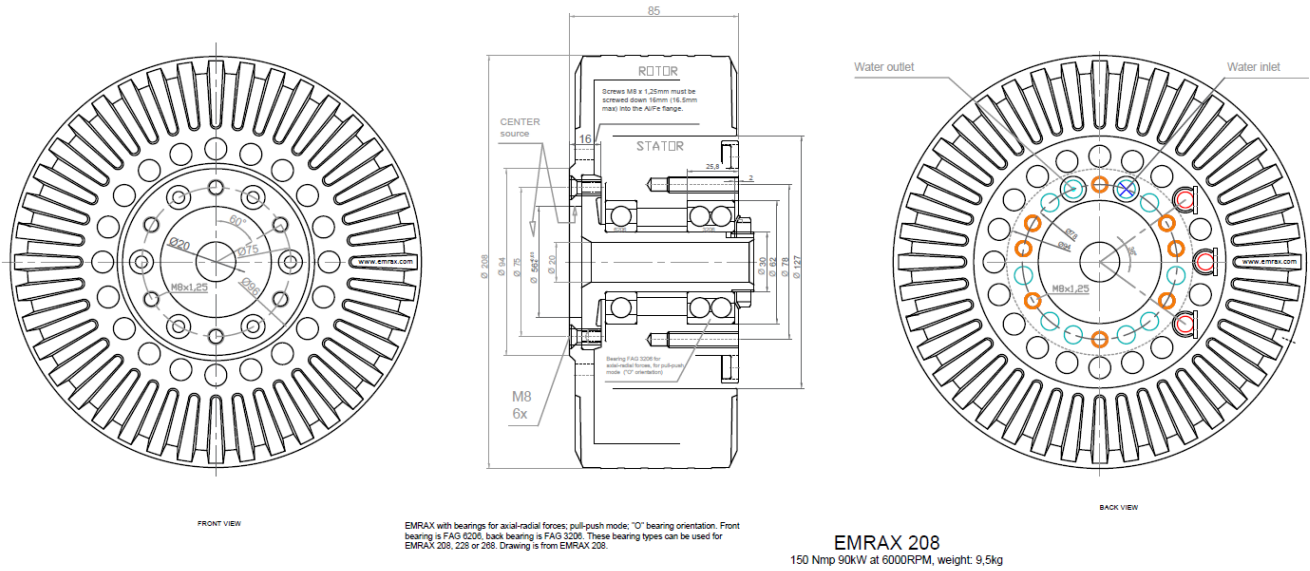


**Figure 4: EMRAX 188 (IP21)**

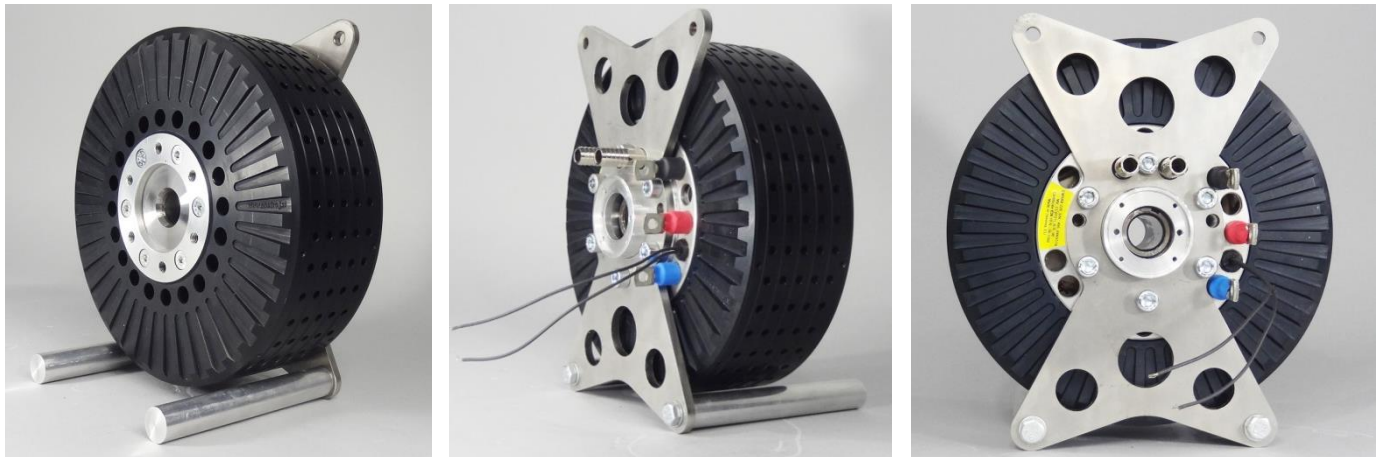
**EMRAX 208:** In production.

- High Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))
- Medium Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))
- Low Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))





**Figure 5: EMRAX 208 drawing**

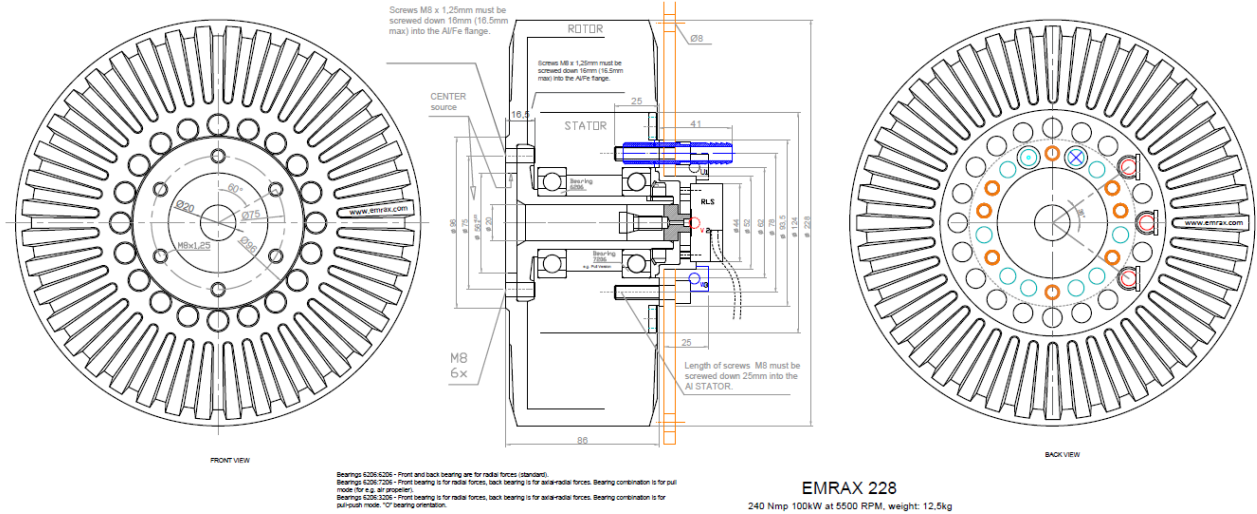


**Figure 6: EMRAX 208 (IP65)**

**EMRAX 228:** In production.

- High Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21)
- Medium Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21)
- Low Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21)





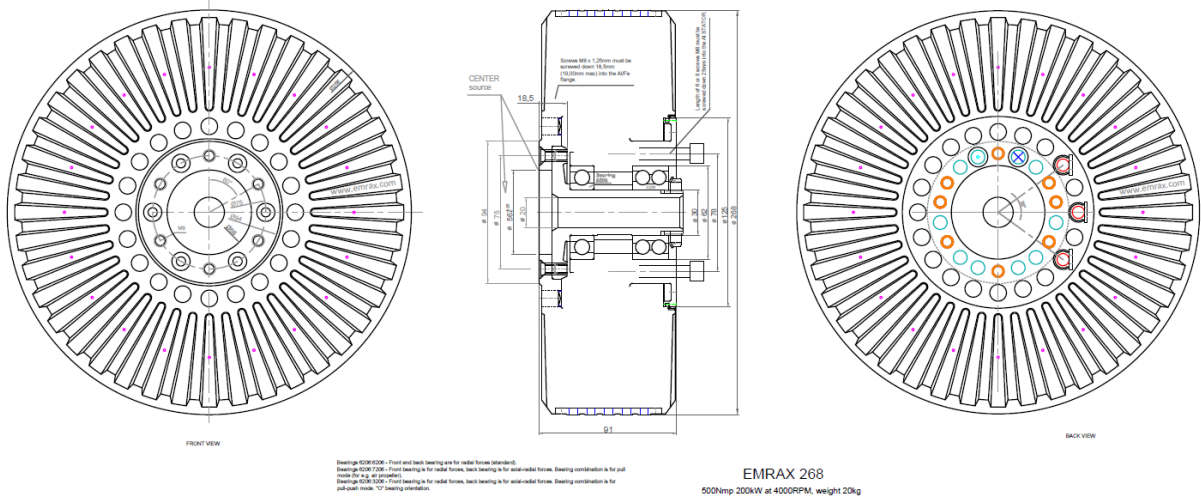
**Figure 7: EMRAX 228 drawing**



**Figure 8: EMRAX 228 (IP21)**

**EMRAX 268:** In production.

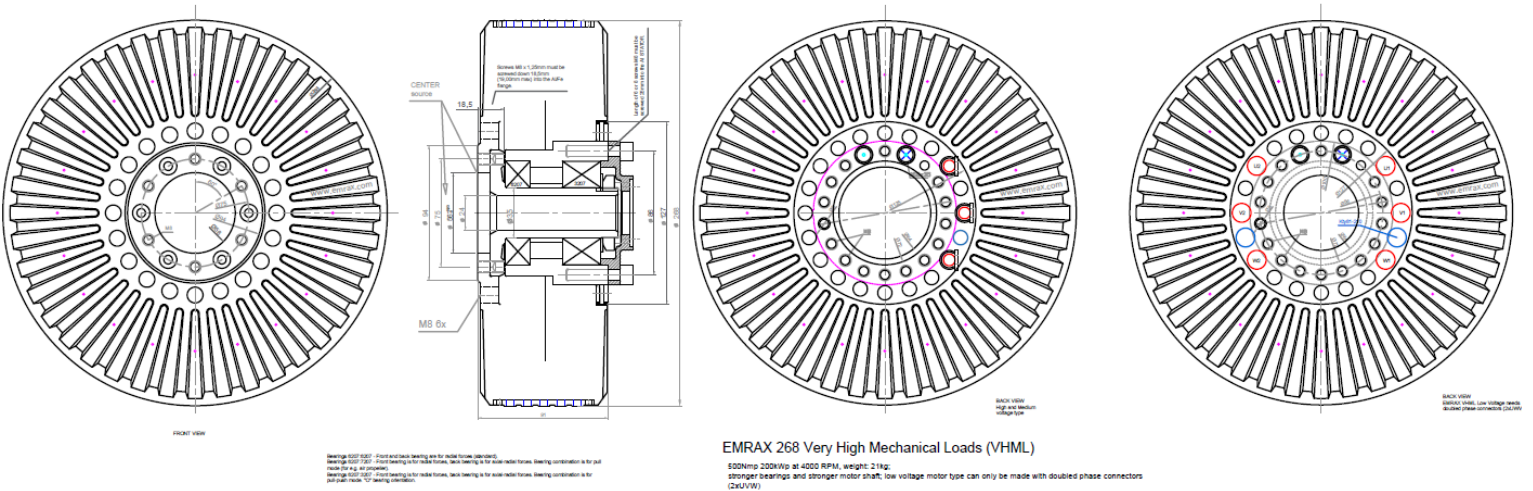
- High Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21)
  - Medium Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21)
  - Low Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21)
- \*Customisations: EMRAX 268 Very High Mechanical Loads (VHML)



**Figure 9: EMRAX 268 drawing**



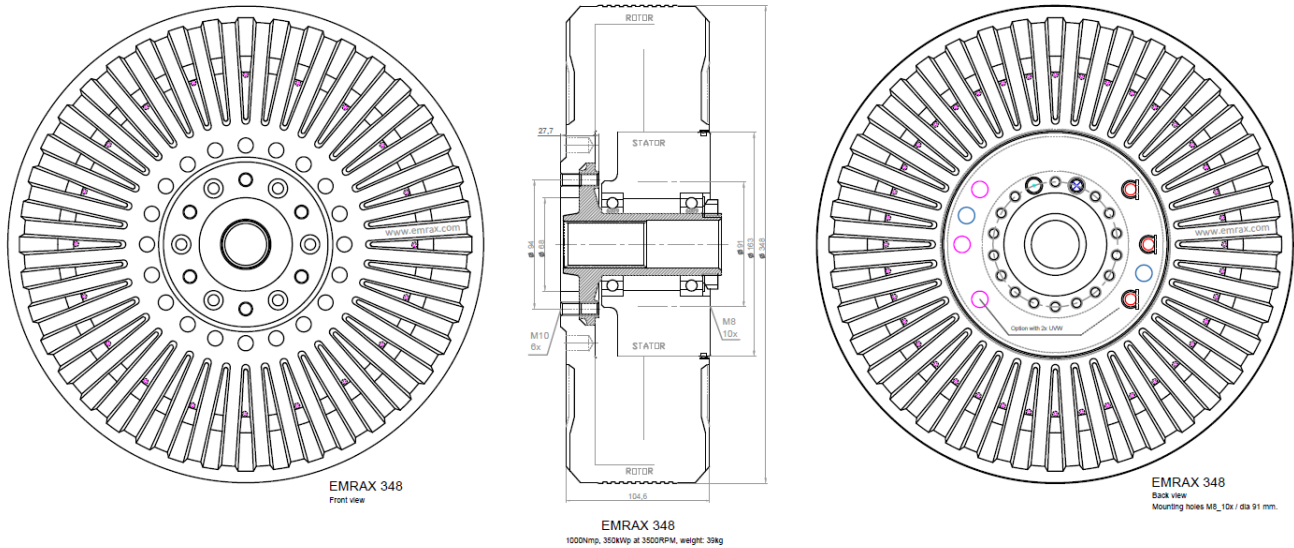
**Figure 10: EMRAX 268 (IP21)**



**Figure 11: EMRAX Very High Mechanical Loads (VHML) drawing. EMRAX VHML Low Voltage needs doubled phase connectors (2xUVW).**

**EMRAX 348:** Prototype is being tested. It will be available for sale at the end of 2016. Orders are being collected.

- High Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))
- Medium Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))
- Low Voltage (Air Cooled / Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21))



**Figure 12: EMRAX 348 drawing**



**Figure 13: EMRAX 348 (IP65) with encoder**

**CUSTOM MADE EMRAX MOTORS**

- Customized motor winding: Even though we offer low/medium/high voltage motors, we can still make some winding modification for the customers that need higher/lower RPM according to their battery voltage.
- Customized motor shaft:
  - hollow shaft with bigger hole diameter
  - shaft with multi splines.
- Special bearings for different magnitude and orientation of the force.
- Doubled phase connectors (UVW): One motor can be fitted with two controllers to gain enough motor current. In this case the motor also has a redundancy option.
- Longer phase connectors (UVW): Up to 150 mm.
- Phase connectors on the opposite side (on the left side instead on the right side).
- Customized weight: Lighter motors for example aero applications.



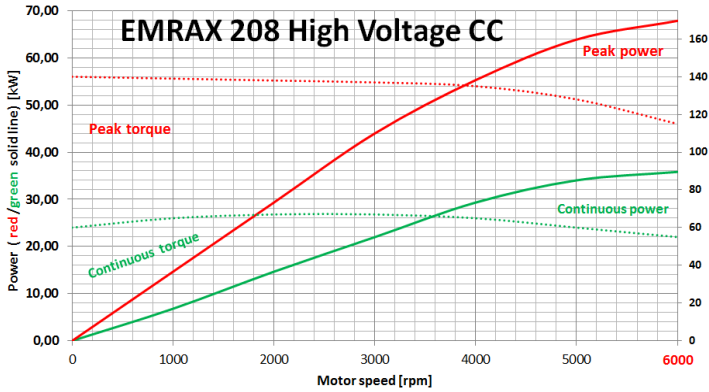
EMRAX 188 Technical Data Table

Type	EMRAX 188 High Voltage			EMRAX 188 Medium Voltage			EMRAX 188 Low Voltage		
<b>Technical data</b>									
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Ingress protection	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]	6,8	7,0	7,0	6,8	7,0	7,0	6,8	7,0	7,0
Diameter $\phi$ / width [mm]	188 / 77								
Maximal battery voltage [Vdc] and full load/no load RPM	400 Vdc (6400/7600 RPM)			270 Vdc (6750/7830 RPM)			100 Vdc (7000/7800 RPM)		
Peak motor power at max RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]	70								
Continuous motor power (at 3000-6000 RPM) depends on the motor RPM [kW]	15 - 28	15 - 30	17 - 35	15 - 28	15 - 30	17 - 35	15 - 28	15 - 30	17 - 35
Maximal rotation speed [RPM]	7000 (8500 peak for few seconds)								
Maximal motor current (for 2 min if cooled as described in Manual) [Arms]	200			300			800		
Continuous motor current [Arms]	100			150			400		
Maximal peak motor torque [Nm]	100								
Continuous motor torque [Nm]	50								
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]	0,60			0,39			0,15		
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temperature of the magnets [°C]	120								
Motor efficiency [%]	92-98%								
Internal phase resistance at 25 °C [m $\Omega$ ]	/			/			/		
Input phase wire cross-section [mm <sup>2</sup> ]	10,2			15,2			38		
Wire connection	star								
Induction Ld/Lq [ $\mu$ H]	/			/			/		
Controller / motor signal	sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]	0,0384			0,0252			0,0055		
Specific idle speed (no load RPM) [RPM/1Vdc]	19			29			78		
Specific load speed (depends on the controller settings) [RPM/1Vdc]	16 – 19			25 – 29			70 – 78		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]	up to 100								
Magnetic flux – axial [Vs]	/			/			/		
Temperature sensor in the motor	kty 81/210								
Number of pole pairs	10								
Rotor Inertia (mass dia=160mm, m=3,0kg) [kg*cm <sup>2</sup> ]	/								
Bearings (front:back) - SKF/FAG	6204:6204 (for radial forces) or 6204:7204 (for axial-radial forces; for pull mode; focusing on very high axial load, e.g. for air propeller) or 6204:3204 (for axial-radial forces; for pull-push mode; »O« orientation, $\alpha=25^\circ$ ); other bearings are possible (exceptionally)								

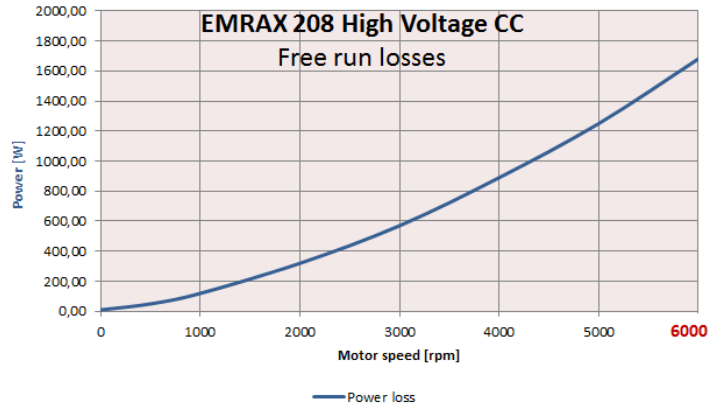
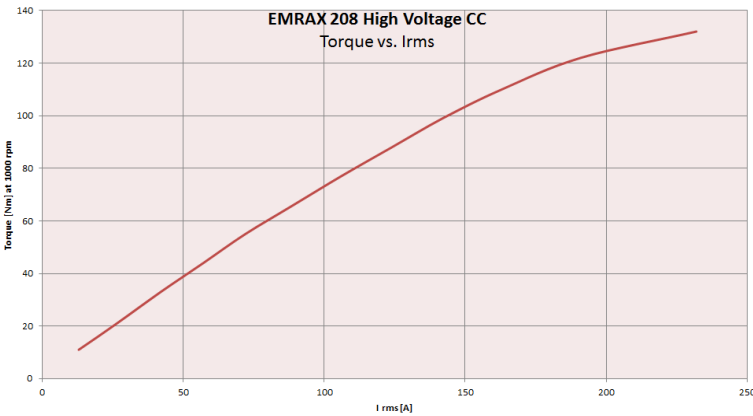
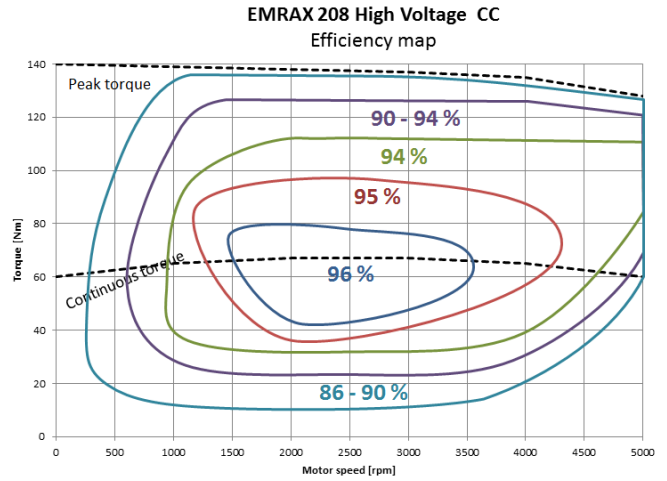
EMRAX 208 Technical Data Table (dynamometer test data)

Type	EMRAX 208 High Voltage			EMRAX 208 Medium Voltage			EMRAX 208 Low Voltage		
<b>Technical data</b>									
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Ingress protection	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]	9,1	9,4	9,3	9,1	9,4	9,3	9,1	9,4	9,3
Diameter $\phi$ / width [mm]	208 / 85								
Maximal battery voltage [Vdc] and full load/no load RPM	470 Vdc (5170/7050 RPM)			320 Vdc (5760/7040 RPM)			125 Vdc (6250/7250 RPM)		
Peak motor power at max RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]	80								
Continuous motor power (at 3000-5000 RPM) depends on the motor RPM [kW]	20 - 32	20 - 32	25 - 40	20 - 32	20 - 32	25 - 40	20 - 32	20 - 32	25 - 40
Maximal rotation speed [RPM]	6000 (7000 peak for a few seconds)								
Maximal motor current (for 2 min if cooled as described in Manual) [Arms]	200			320			800		
Continuous motor current [Arms]	100			160			400		
Maximal peak motor torque [Nm]	150								
Continuous motor torque [Nm]	80								
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]	0,83			0,54			0,20		
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temperature of the magnets [°C]	120								
Motor efficiency [%]	92-98%								
Internal phase resistance at 25 °C [m $\Omega$ ]	12,0			5,7			0,8		
Input phase wire cross-section [mm <sup>2</sup> ]	10,2			15,2			38		
Wire connection	star								
Induction Ld/Lq [ $\mu$ H]	125/130			52/56			7,2/7,5		
Controller / motor signal	sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]	0,0487			0,0319			0,0117		
Specific idle speed (no load RPM) [RPM/1Vdc]	15			22			58		
Specific load speed (depends on the controller settings) [RPM/1Vdc]	11 – 15			18 – 22			50 – 58		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]	up to 100								
Magnetic flux – axial [Vs]	0,0393			0,0257			0,095		
Temperature sensor in the motor	kty 81/210								
Number of pole pairs	10								
Rotor Inertia (mass dia=160mm, m=4,0kg) [kg*cm <sup>2</sup> ]	256								
Bearings (front:back) - SKF/FAG	6206:6206 (for radial forces) or 6206:7206 (for axial-radial forces; for pull mode; focusing on very high axial load, e.g. for air propeller) or 6206:3206 (for axial-radial forces; for pull-push mode; »O« orientation, $\alpha=25^\circ$ ); other bearings are possible (exceptionally)								

**Graphs valid for EMRAX High Voltage Combined Cooled (CC) motor type:**



Note 1: for determining peak or continuous power (kW) you should choose motor speed and then read power from chosen power curve (in the left graph side)  
 Note 2: for determining peak or continuous torque (Nm) you should choose motor speed and then read torque from chosen torque curve (in the right graph side)



**Graphs of the EMRAX 208 Medium and Low voltage motor type:**

Graphs of EMRAX 208 Low Voltage and EMRAX 208 Medium Voltage are similar to graphs of EMRAX 208 High Voltage. The only differences are the DC voltage and motor current. These two parameters can be read from the Technical data table for the EMRAX 208 Low and Medium Voltage motor.

Low Voltage motor needs 4 x higher motor current and 4 x lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to EMRAX 208 High Voltage motor.

Medium Voltage motor needs 1.52 x higher motor current and 1/3 lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to EMRAX 208 High Voltage motor.

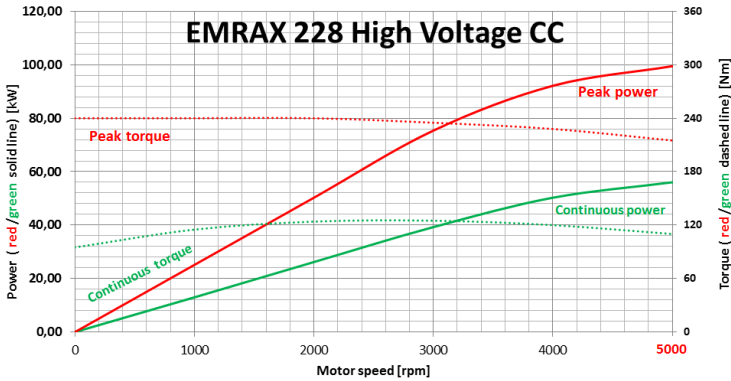
**Graphs of the EMRAX 208 Liquid cooled (LC) and EMRAX 208 Air Cooled (CC):**

Continuous power of the liquid cooled or air cooled motor is 20% lower than continuous power of the combined cooled motor. The peak power is the same. Data is presented in the Technical Data Table.

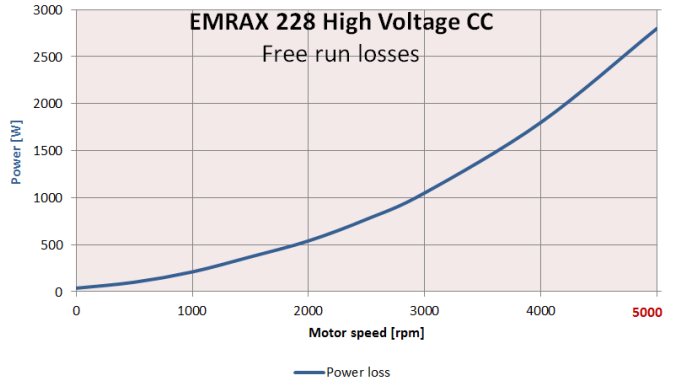
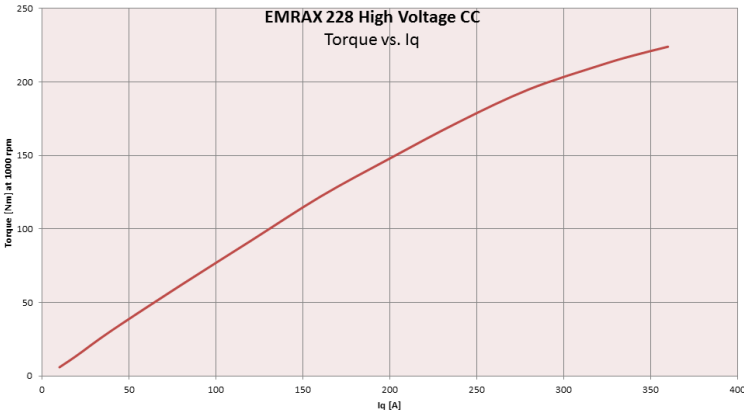
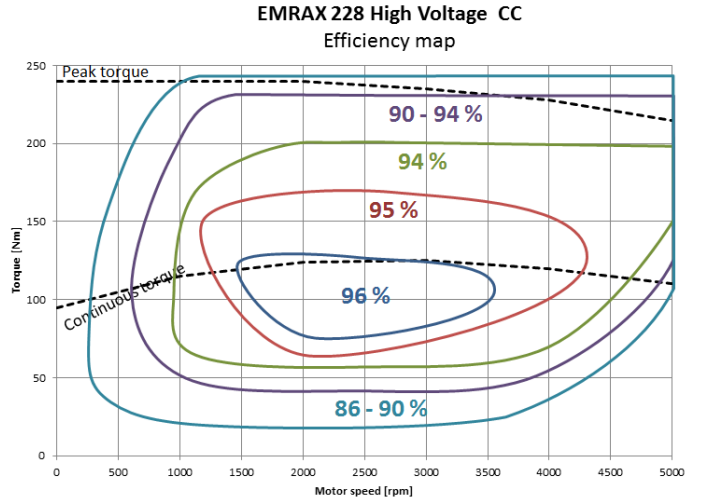
EMRAX 228 Technical Data Table (dynamometer test data)

Type	EMRAX 228 High Voltage			EMRAX 228 Medium Voltage			EMRAX 228 Low Voltage		
<b>Technical data</b>									
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Ingress protection	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.	AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]	12,0	12,3	12,3	12,0	12,3	12,3	12,0	12,3	12,3
Diameter $\phi$ / width [mm]	228/86								
Maximal battery voltage [Vdc] and full load/no load RPM	670 Vdc (5300/6500 RPM)			470 Vdc (5170/6500 RPM)			130 Vdc (4400/5200 RPM)		
Peak motor power at max RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]	100								
Continuous motor power (at 3000-5000 RPM) depends on the motor RPM [kW]	28 - 42	28 - 42	35 - 55	28 - 42	28 - 42	35 - 55	28 - 42	28 - 42	35 - 55
Maximal rotation speed [RPM]	5500 (6500 RPM peak for a few seconds)								
Maximal motor current (for 2 min if cooled as described in Manual) [Arms]	240			340			900		
Continuous motor current [Arms]	115			160			450		
Maximal motor torque (for a few seconds) [Nm]	240								
Continuous motor torque [Nm]	125								
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]	1,1			0,75			0,27		
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temperature of the magnets [°C]	120								
Motor efficiency [%]	92 – 98								
Internal phase resistance at 25 °C [m $\Omega$ ]	18			8,0			1,12		
Input phase wire cross-section [mm <sup>2</sup> ]	10,2			15,2			38		
Wire connection	star								
Induction in Ld/Lq [ $\mu$ H]	177/183			76/79			10,3/10,6		
Controller / motor signal	sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]	0,0730			0,0478			0,0176		
Specific idle speed (no load RPM) [RPM/1Vdc]	9,8			14			40		
Specific load speed (depends on the controller settings) [RPM/1Vdc]	8 – 9,8			11 – 14			34 – 40		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]	up to 100								
Magnetic flux – axial [Vs]	0,0542			0,0355			0,0131		
Temperature sensor in the motor	kty 81/210								
Number of pole pairs	10								
Rotor inertia (mass dia=175mm, m=5,5kg) [kg*cm <sup>2</sup> ]	421								
Bearings (front:back) - SKF/FAG	6206:6206 (for radial forces) or 6206:7206 (for axial-radial forces; for pull mode; focusing on very high axial load, e.g. for air propeller) or 6206:3206 (for axial-radial forces; for pull-push mode; »O« orientation, $\alpha=25^\circ$ ); other bearings are possible (exceptionally)								

**Graphs valid for EMRAX 228 High Voltage Combined Cooled (CC):**



Note 1: for determining peak or continuous power (kW) you should choose motor speed and then read power from chosen power curve (in the left graph side)  
 Note 2: for determining peak or continuous torque (Nm) you should choose motor speed and then read torque from chosen torque curve (in the right graph side)



**Graphs of the EMRAX 228 Medium and Low voltage motor type:**

Graphs of EMRAX 228 Low Voltage and EMRAX 228 Medium Voltage are similar to graphs of EMRAX 228 High Voltage. The only differences are the DC voltage and motor current. These two parameters can be read from the Technical data table for the EMRAX 228 Low and Medium Voltage motor.

Low Voltage motor needs 4 x higher current and 4 x lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to EMRAX 228 High Voltage motor.

Medium Voltage motor needs 1.52 x higher motor current and 1/3 lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to EMRAX 228 High Voltage motor.

**Graphs of the EMRAX 228 Liquid cooled (LC) and EMRAX 228 Air Cooled (CC):**

Continuous power of the liquid cooled or air cooled motor is 20% lower than continuous power of the combined cooled motor. The peak power is the same. Data is presented in the Technical Data Table.



EMRAX 268 Technical Data Table (dynamometer test data)

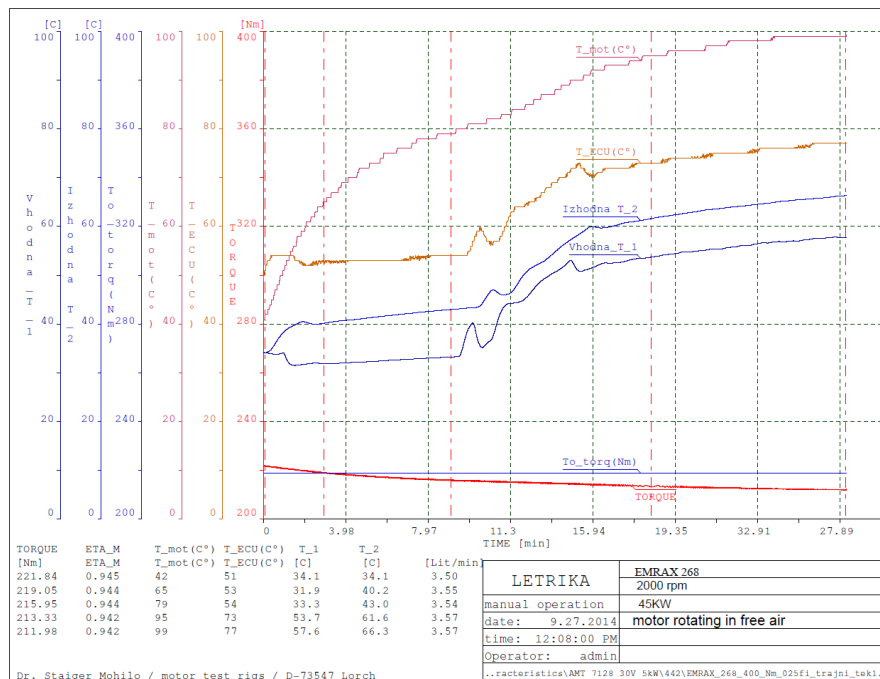
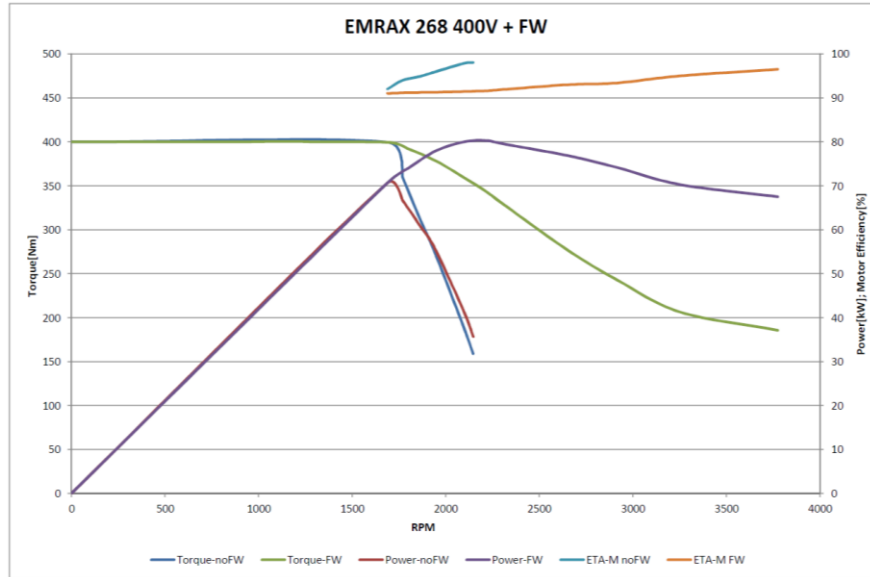
Type Technical data	EMRAX 268 High Voltage			EMRAX 268 Medium Voltage			EMRAX 268 Low Voltage or EMRAX 268 Low Voltage**		
	AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC									
Ingress protection	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]	19,9	20,3	20,3	19,9	20,3	20,3	19,9	20,3	20,3
Diameter $\phi$ / width [mm]	268/91								
Maximal battery voltage [Vdc] and full load/no load RPM	700 Vdc (3200/3800 RPM)			680 Vdc (4700/5500 RPM)			130 Vdc (2300/2900 RPM) 250 Vdc (4500/5500 RPM)		
Peak motor power at max RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]	160			230			115 (at 2300 RPM load); 220 (at 4500 RPM load)		
Continuous motor power (at 2000-4000 RPM) depends on the motor RPM [kW]	40 - 75	40 - 80	50 - 85	40 - 80	40 - 90	50 - 110	40 - 75	40 - 80	50 - 90
Maximal rotation speed [RPM]	4500 RPM (5500 RPM peak for a few seconds)								
Maximal motor current (for 2 min if it is cooled as described in Manual) [Arms]	270			400			1000		
Continuous motor current [Arms]	125			190			500		
Maximal motor torque (for a few seconds) [Nm]				500					
Continuous motor torque [Nm]				250					
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]	2,0			1,4			0,5		
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temperature of the magnets [°C]				120					
Motor efficiency [%]				92 - 98					
Internal phase resistance at 25 °C [m $\Omega$ ]	26			11,5			1,7		
Input phase wire cross-section [mm <sup>2</sup> ]	10,2			15,2			38		
Wire connection	star								
Induction in Ld/Lq [ $\mu$ H]	292/273			126/118			17/15,9		
Controller / motor signal	sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]	0,2320			0,1520			0,0560		
Specific idle speed (no load RPM) [RPM/1Vdc]	5,4			8,2			22,2		
Specific load speed (depends on the controller settings) [RPM/1Vdc]	4,5 - 5,4			7 - 8,2			18 - 22,2		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]				up to 100					
Magnetic flux – axial [Vs]	0,1014			0,0664			0,0245		
Temperature sensor in the motor	kty 81/210								
Number of pole pairs	10								
Rotor inertia (mass dia=195mm, m=9,8kg) [kg*cm <sup>2</sup> ]	932								
Bearings (front:back) – SKF/FAG	6206:6206 (for radial forces) or 6206:7206 (for axial-radial forces; for pull mode; focusing on very high axial load , e.g. for air propeller) or 6206:3206 (for axial-radial forces; for pull-push mode; »O« orientation, $\alpha=25^\circ$ ); other bearings are possible (exceptionally)								
EMARX 268 Very High Mechanical Loads (VHML)	6207:6207 (for radial forces) or 6207:7207 (for axial-radial forces; for pull mode; focusing on very high axial load, e.g. for air propeller) or 7206:3207 (for axial-radial forces; for pull-push mode; »O« orientation, $\alpha=25^\circ$ ); other bearings are possible (exceptionally)								

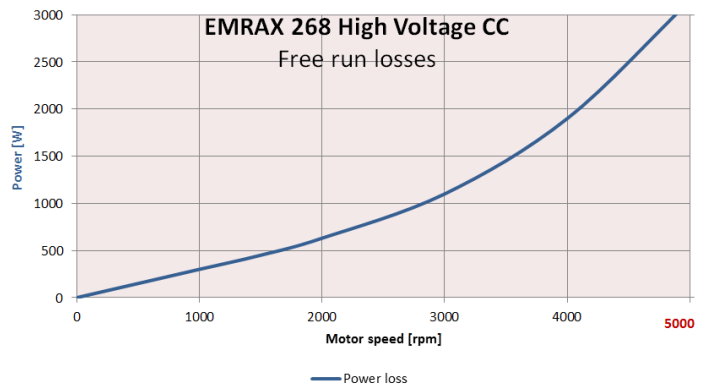
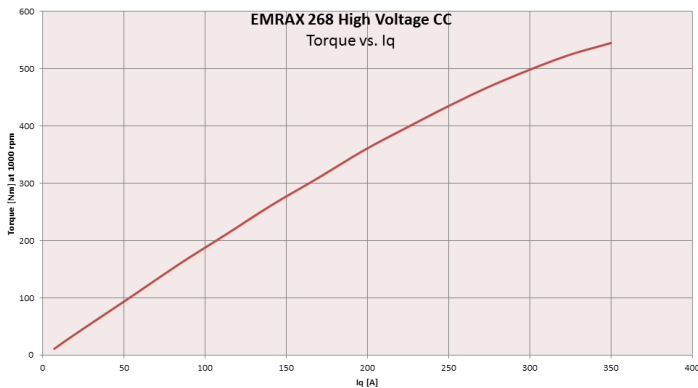
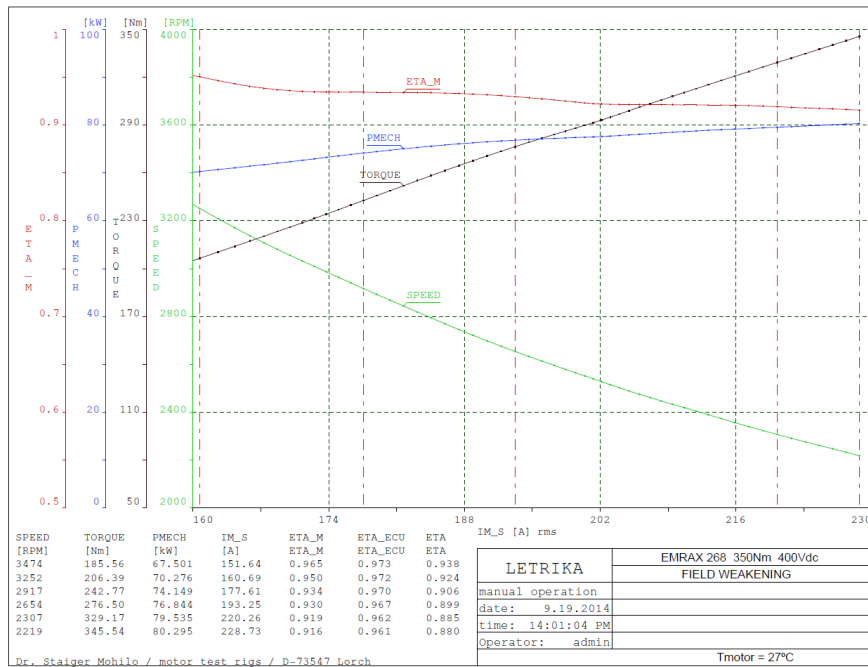
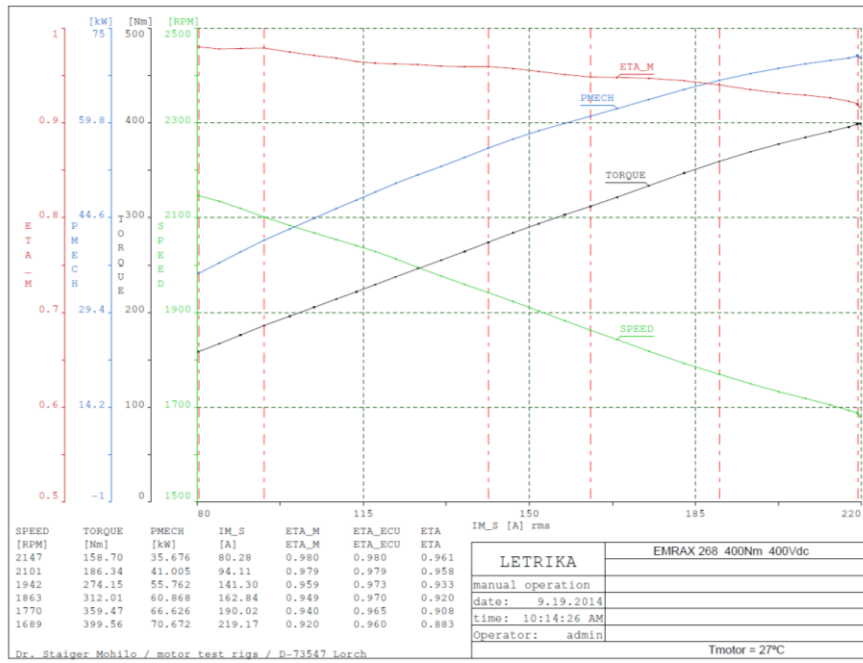
\*EMRAX 268 VHML Low Voltage version always has 2 sequences of phase connectors (2x UVV).

\*\*Controller for EMRAX 268 Low Voltage motor should have very high peak and continuous motor current (1000 Arms peak and 500 Arms continuous). It is difficult to find such a high current controller in the global market. The most suitable is emDrive 500 from the Emsiso Company, which has 500 Arms continuous and 800 Arms peak motor current. Another possibility to get a high enough motor current is to connect 1 motor with 2 controllers by using 2 set of phase connectors (2x UVV) on the motor.

**Graphs valid for EMRAX 268 High Voltage Combined Cooled (CC):**

Graphs were made from tests, which were made by Letrika d.d. in 2014. The motor was tested only up to 400 Nm of torque, because the opposite generator on the test bench generated only 400 Nm of torque. DC voltage from the batteries was only 400 V, so we were able to run the EMRAX motor only at lower speed than the maximal motor speed. The motor was also tested with magnet field weakening setting in the controller – in this case we achieve significantly higher speed at the same power. Water/glycol flow was only 3,5 l/min, but it must be 6-8 l/min as it is written in the Technical Data Table.





**Graphs of the EMRAX 268 Medium and Low voltage motor type:**

Graphs of EMRAX 268 Low Voltage and EMRAX 268 Medium Voltage are similar to graphs of EMRAX 268 High Voltage. The only differences are in the DC voltage and motor current. These two parameters can be read from the Technical Data Table for the EMRAX 268 Low and Medium Voltage motor.

Low Voltage motor needs 4 x higher current and 4 x lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to the EMRAX 268 High Voltage motor.

Medium Voltage motor needs 1.52 x higher motor current and 1/3 lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to the EMRAX 268 High Voltage motor.

**Graphs of the EMRAX 268 Liquid cooled (LC) and EMRAX 268 Air Cooled (CC):**

Continuous power of the liquid cooled or air cooled motor is 20% lower than continuous power of the combined cooled motor. The peak power is the same. Data is presented in the Technical Data Table.

EMRAX 348 Technical Data Table

Technical data	Type	EMRAX 348 High Voltage			EMRAX 348 Medium Voltage			EMRAX 348 Low Voltage		
		AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC										
Ingress protection		IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Water/glycol Flow = WF – if inlet water/glycol temperature and/or ambient temperature are lower, then continuous power is higher)		AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]		39	40	40	39	40	40	39	40	40
Diameter $\phi$ / width [mm]		348/107								
Maximal battery voltage [Vdc] and full load/no load RPM		800 Vdc (1800/2200 RPM)			800 Vdc (2800/3400 RPM)			130 Vdc (1200/1500 RPM) 340 Vdc (3200/4000 RPM)		
Peak motor power at max RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]		190			290			125 kW (at 1200 RPM load #) 330 kW (at 3200 RPM load ##)		
Continuous motor power at load RPM [kW]		90	100	100	140	150	170	70 at #; 170 at ##	70 at #; 180 at ##	80 at #; 200 at ##
Maximal rotation speed [RPM]		4000 (with maximal battery voltage or magnetic field weakening)								
Maximal motor current (for 2 min if it is cooled as described in Manual) [Arms]		280			450			1100		
Continuous motor current [Arms]		140			210			550		
Maximal motor torque (for a few seconds) [Nm]		1000								
Continuous motor torque [Nm]		500								
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]		3,8			2,5			0,9		
Cogging torque [Nm]		5								
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temp. of the magnets [°C]		120								
Motor efficiency [%]		92 - 98								
Internal phase resistance at 25 °C [m $\Omega$ ]		32			14			5		
Input phase wire cross-section [mm <sup>2</sup> ]		10,2			15,2			38		
Wire connection		star								
Induction in Ld/Lq [ $\mu$ H]		418/452			180/195			24,3/26,3		
Controller / motor signal		sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]		0,2320			0,1520			0,0560		
Specific idle speed (no load) [RPM/1Vdc]		2,8			4,3			11,8		
Specific - load speed (depends on the controller settings) [RPM/1Vdc]		2,3 – 2,8			3,5 – 4,3			9,5 – 11,8		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]		up to 100 %								
Magnetic flux – axial [Vs]		N/A			N/A			N/A		
Temperature sensor in the motor		kty 81/210								
Number of pole pairs		10								
Rotor inertia (mass dia=270 mm, m=20kg) [kg*cm <sup>2</sup> ]		N/A								
Bearings (front:back) – SKF/FAG		6009:6009 (for radial forces) for axial-radial forces contact EMRAX Company								

\*Controller for EMRAX 348 Low Voltage should have very high peak and continuous motor current (1100 Arms peak and 550 Arms continuous). It is difficult to find such a high current controller in the global market. The most suitable would be the emDrive 500 from the Emsiso Company, which has 500 Arms continuous

and 800 Arms peak motor current. Another possibility to get a high enough motor current is to connect 1 motor with 2 controllers by using 2 set of phase connectors (2x UWV) on the motor.

## 2. Intended usage of the EMRAX motor/generator

Before selling the EMRAX motor, every EMRAX is tested at standard ambient and motor cooling conditions (described in Technical Data Tables) in our Company, operating as a generator and as a motor with the Unitek GmbH BAMOCAR D3 controller.

The drive is built according to the state of the art and approved safety-related rules. However, dangerous situations for the user or other parties as well as damages to the device or other material assets can arise.

Only use the system in technical soundness, safety-conscious, according to the intended usage and be aware of dangers! Especially faults that can affect safety should be cleared immediately!

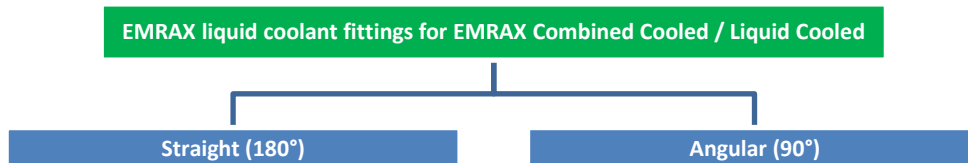
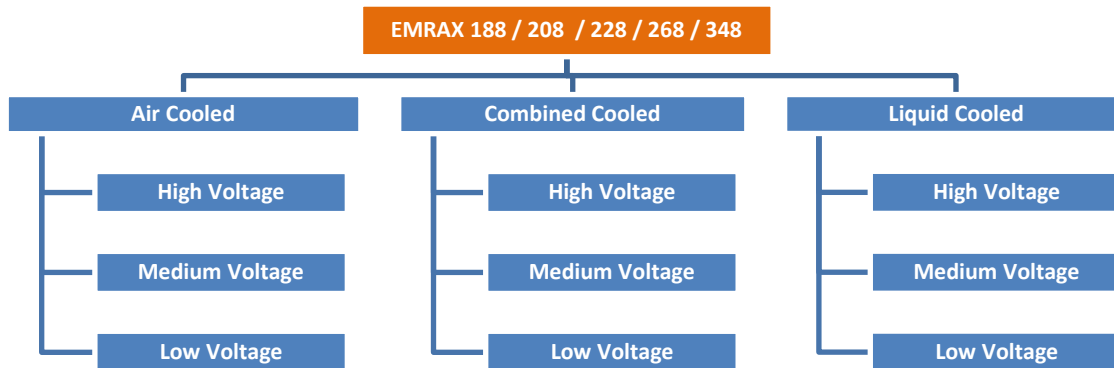
Do not to use the motor in direct salt environment.

Avoid full throttle idle running at higher voltages. Speed (motor rotation) must be limited by the controller SW according to the Technical Data Table for each EMRAX type.

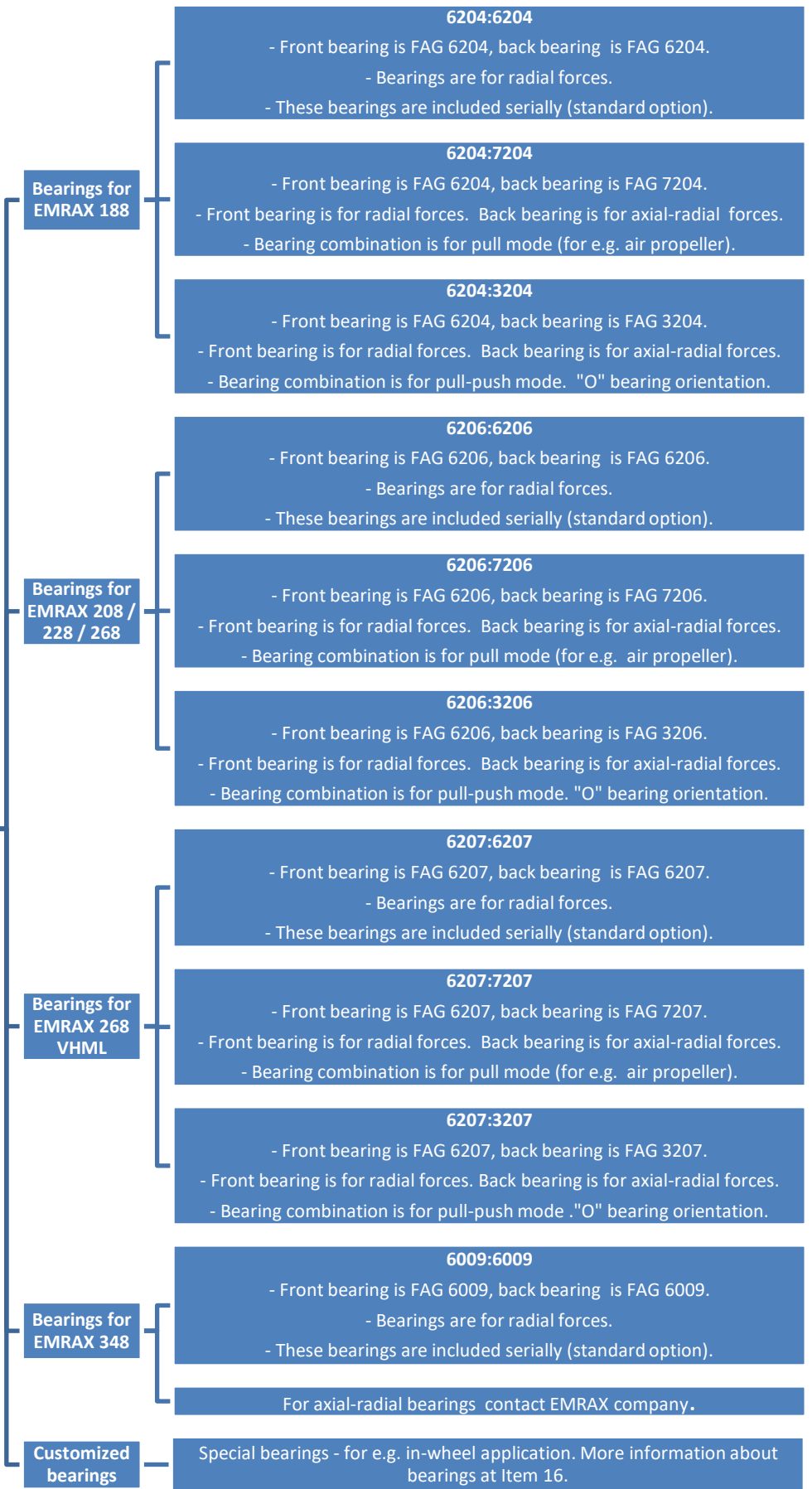
**The EMRAX motor must be used in accordance with the ambient and motor cooling conditions, which are described in the Technical Data Table for each EMRAX motor type, otherwise the warranty does not apply.**

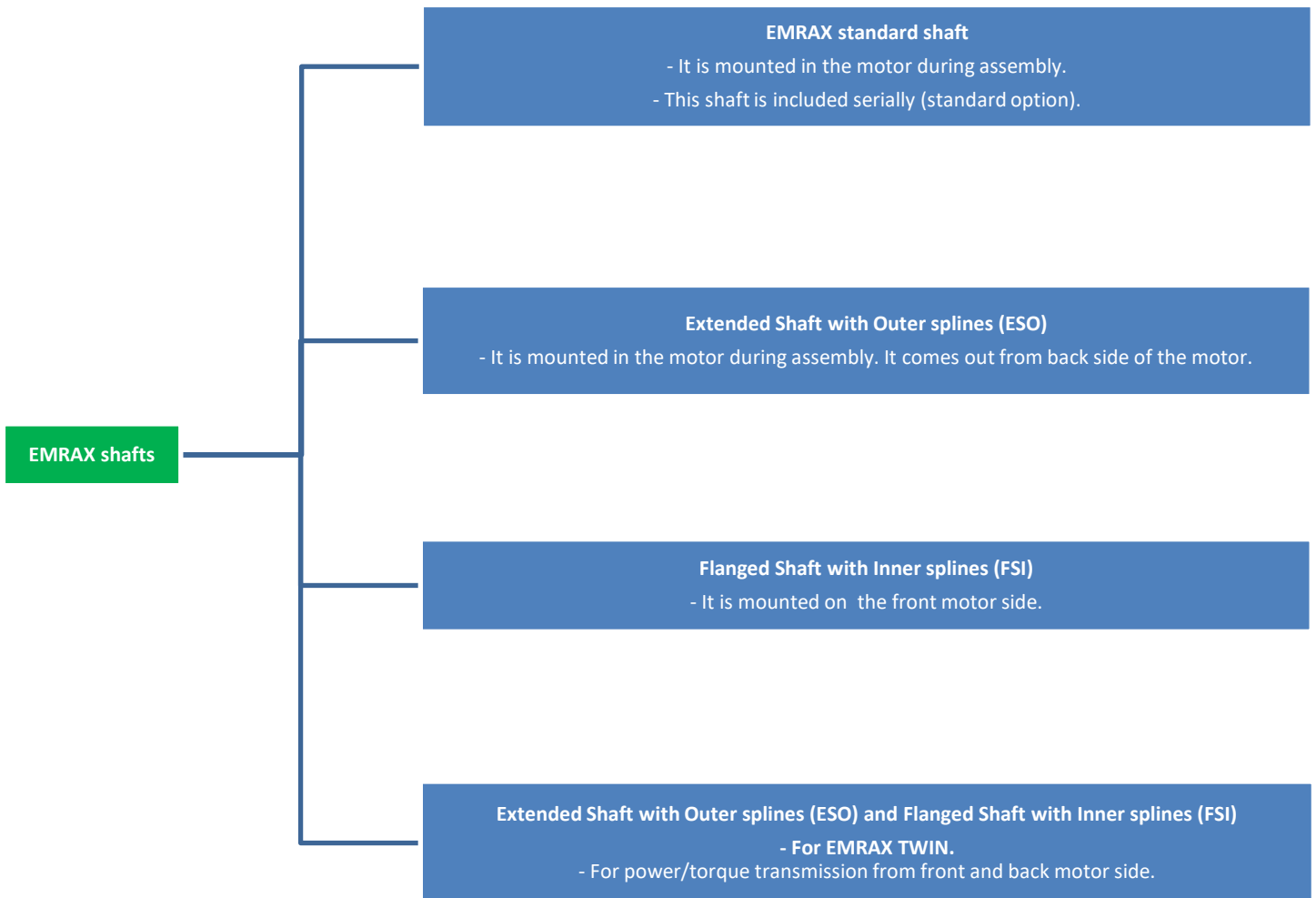
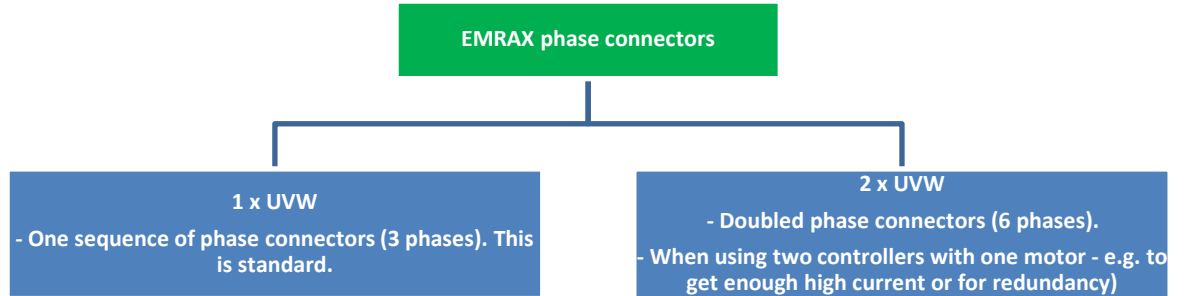
## 3. Motor types and additional motor parts

The EMRAX motor family consists of 5 different motor sizes: 188 mm, 208 mm, 228 mm, 268 mm and 348 mm diameter. Each motor size can be air, combined or liquid cooled and each of them can also be made for high, medium or low voltage.

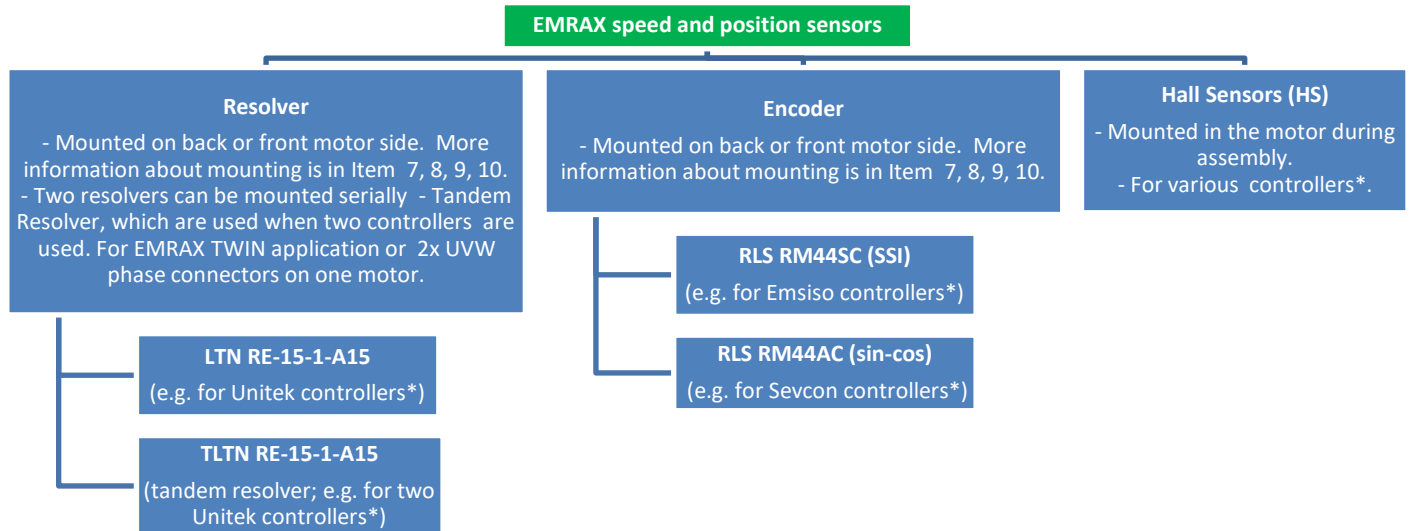


**EMRAX bearings according to motor size (more information in Item 16)**

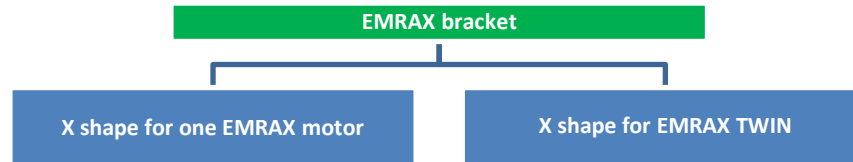








\*For more information about suitable sensors, for each controller, contact the controller producer.



#### 4. Order codes, tariff (HTS) codes, weights of EMRAX motors and additional motor parts

Sample of order code: EMRAX\_228\_HV\_LC(IP65)\_R\_LTN\_180

Item code:	Explanation:	Weight (kg)	Tariff (HTS) codes and description
<b>EMRAX</b>	Motor name	7 / 9 / 12 / 20 / 40	8501.52.9; electric motor
<b>188 / 208 / 228 / 268 / 348</b>	Motor diameter in mm		
<b>LV / MV / HV</b>	Voltage type (Low Voltage / Medium Voltage / High Voltage)		
<b>LC(IP65) / CC(IP21) / AC(IP21)</b>	Liquid Cooled (IP65) / Combined Cooled (IP21) / Air Cooled (IP21)		
<b>R</b>	Bearings for radial forces.		
<b>P</b>	Front bearing is for radial forces. Back bearing is for axial-radial forces, focusing on very high axial load. Bearing combination is for <b>pull mode</b> . For e.g. air propeller.		
<b>PP</b>	Front bearing is for radial forces. Back bearing is for axial-radial forces. Bearing combination is for <b>pull-push mode</b> .		
<b>2xUVW</b>	2 sequences of phase connectors (6 motor phases). When using one motor with two controllers to get a high enough current.		
<b>VHML</b>	Bearings and motor shaft made for Very High Mechanical Loads (VHML). Stronger bearings and stronger shaft. Possible only for EMRAX 268.		
<b>LTN(back)</b>	Resolver LTN RE-15-1-A15 (e.g. for Unitek Bamocar D3 controller) with bracket mounted on back side of the motor.	0,2	9031.80.98; speed and position sensor
<b>LTN(front)</b>	Resolver LTN RE-15-1-A15 (e.g. for Unitek Bamocar D3 controller) mounted on the front motor side by a special bracket. This bracket has to be connected with X shape bracket, which is mounted on the back motor side. Special bracket, X shape bracket and connecting parts are included.	0,3	

TLTN	Tandem resolver LTN RE-15-1-A15 (e.g. for two Unitek Bamocar D3 controllers) with bracket mounted on the back side of the motor. For EMRAX TWIN (mounted on back side of the second motor) and when using two controllers with one motor (in this case two sequences of phase connectors are needed; 2xUVW).	0,3	
RLS RM44SC(back)	Encoder RLS RM44SC (SSI; e.g. for Emsiso controller) with bracket mounted on back side of the motor.	0,2	
RLS RM44SC(front)	Encoder RLS RM44SC (SSI; e.g. for Emsiso controller) mounted on the front motor side by a special bracket. This bracket has to be connected with X shape bracket, which is mounted on the back motor side. Special bracket, X shape bracket and connecting parts are included.	0,3	
RLS RM44AC(back)	Encoder RLS RM44AC (sin-cos; e.g. for Sevcon controller) with bracket mounted on back side of the motor.	0,2	
RLS RM44AC(front)	Encoder RLS RM44AC (sin-cos; e.g. for Sevcon controller) mounted on the front motor side by a special bracket. This bracket has to be connected with X shape bracket, which is mounted on the back motor side. Special bracket, X shape bracket and connecting parts are included.	0,3	
HS	Hall Sensors mounted inside the motor. Suitable for some other controllers; cable length is app 1m).	0,2	
180	Coolant fittings - 180° (straight tubes). Two in one package (for 1 motor).	0,1	7411.21.90; coolant fittings
90	Coolant fittings - 90° (angular tubes). Two in one package (for 1 motor).	0,1	
ESO	Extended motor Shaft with Outer splines comes out from back motor side (mounted in the motor during assembly). Possibilities for mounting the sensors: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resolver / encoder should be mounted on the front motor side by a special bracket, which can be ordered at EMRAX Company.</li> <li>- Resolver / encoder can be mounted on the tailored elongated shaft (adapter shaft), which is added to ESO. Resolver / encoder is mounted after drive wheel (for pulley, chain etc.) at the end of adapter shaft by tailor made bracket, which has to be provided by a customer.</li> <li>- A special resolver / encoder with bigger internal diameter of the rotor can be mounted on the ESO. This special sensor* has to be provided by a customer.</li> <li>- Instead of resolver / encoder hall sensors can be used.</li> </ul> * Resolvers / encoders with bigger inner diameter of the rotor are bigger and a lot more expensive. These bigger sensors also need more space for mounting.	1,1	
FSI	Flanged Shaft with Inner splines is mounted on front motor side.	0,6	
ESO and FSI	Extended motor Shaft with Outer splines comes out from back motor side (mounted in the motor during assembly) and Flanged Shaft with Inner splines is mounted on front motor side. <u>In case both shafts are mounted in one motor:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hall sensors should be used.</li> <li>- Resolver / encoder is mounted at the end of tailored elongated shaft (adapter shaft) after the drive wheel (for pulley, chain etc.) on the back or front motor side (on the FSO or ESO) by using a tailor made bracket. This adapter shaft and bracket have to be provided by a customer.</li> <li>- A special resolver / encoder with bigger internal diameter of the rotor can be mounted on the ESO. This special sensor* has to be provided by a customer.</li> </ul> * Resolvers / encoders with bigger inner diameter of the rotor are bigger and a lot more expensive. These bigger sensors also need more space for mounting. <u>In case of EMRAX TWIN:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- In case using ESO in the second motor both motors should use hall sensors.</li> <li>- Tandem resolver (TLTN) or encoder can be mounted at the end of tailored elongated shaft (adapter shaft) after the drive wheel (for pulley, chain etc.) on the back or front motor side (on ESO or FSI) by a tailor made bracket. Tailored shaft and bracket have to be provided by a customer.</li> <li>- Special tandem resolver or encoder with bigger internal diameter of the rotor can be mounted on the ESO. These special sensors* have to be provided by a customer.</li> </ul> * Resolvers / encoders with bigger inner diameter of the rotor are bigger and a lot more expensive. These bigger sensors also need more space for mounting.	1,7	8483.10.95; shaft
X	X shaped iron bracket. For one motor 1 pc is needed. For EMRAX TWIN 2 pcs are needed.	1	7326.90.98; steel bracket

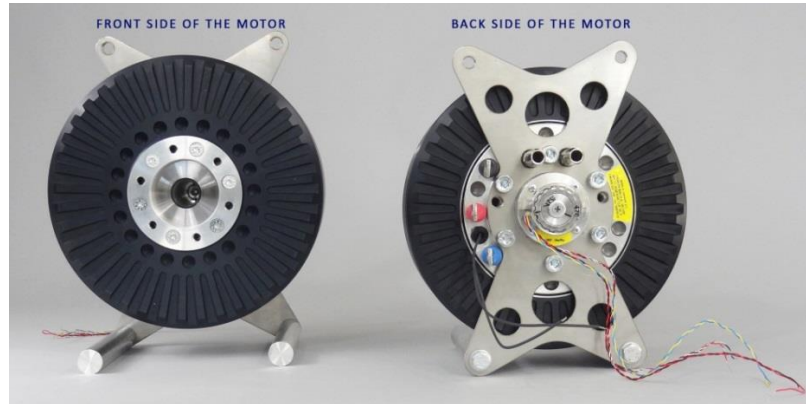
## 5. 3D drawings of EMRAX motors

EMRAX 3D drawings can be downloaded from [www.emrax.com](http://www.emrax.com)

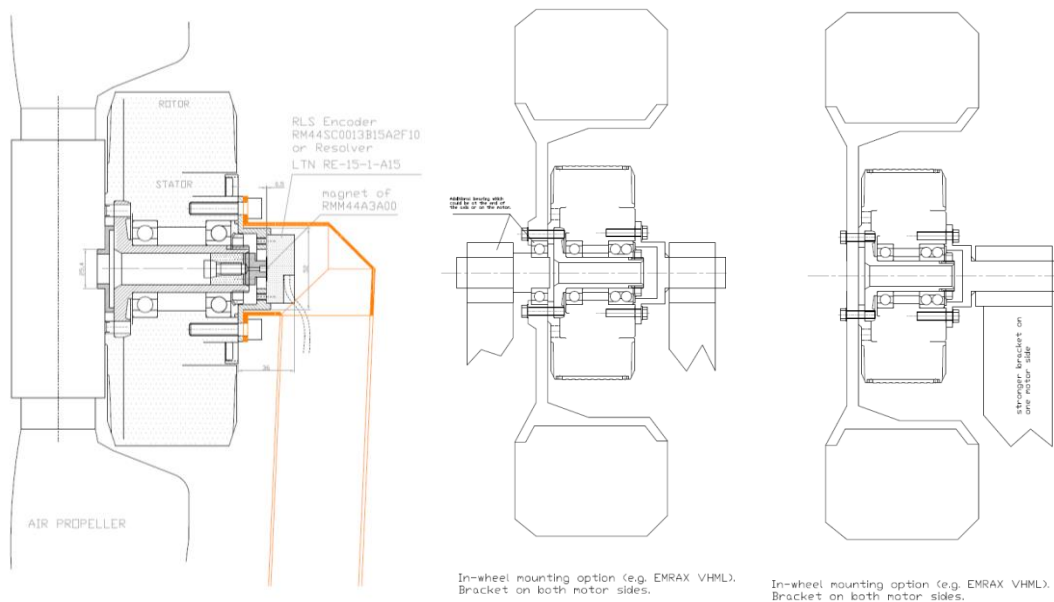
## 6. Mounting the motor

Only use the drive if properly mounted on threaded bores intended for in the stator. Take a look at EMRAX drawings, where you can see mounting holes for each EMRAX model. EMRAX has an external rotor, which must not under any condition, not even for testing, be connected to the frequency converter or the power source, if the motor is not fixed in the manner described above. Propeller, Flanged Shaft with Inner Splines (FSI) some other drive shaft can be mounted on the front motor side with six M8 threaded bores intended for in the rotor. These screws must be screwed down into the rotor:

- at least 14 mm and not more than 15 mm – for EMRAX 188 (M6 instead of M8 threaded boreholes)
- at least 15 mm and not more than 16,0 mm - for EMRAX 208
- at least 15,5 mm and not more than 16,5 mm - for EMRAX 228
- at least 17,5 mm and not more than 18,5 mm - for EMRAX 268
- at least 27 mm and not more than 28 mm – for EMRAX 348 (M10 instead of M8 threaded boreholes)



**Figure 14: Mounting holes on front and back side of the motor**



**Figure 15: Mounting options (air propeller / in-wheel)**

Brackets for mounting EMRAX motors are X shape brackets or they can be custom made. The X shape bracket is available for any motor size. It is made from stainless steel. Two X shape brackets can be connected together and used for mounting the EMRAX TWIN.



**Figure 16: X shape brackets for EMRAX motors**

## 7. Power/torque transmission and shafts

Every EMRAX motor has a serially included standard shaft. In this case the power/torque must be transmitted by using flanged shaft on the front motor side. All shafts for EMRAX motors are hollow. Therefore EMRAX motors have trough-shaft mounting and stacking capability.

The motor power/torque transmission can be made from the front side and/or back side of the motor:

- If the power/torque transmission is from front side of the motor, then the Flanged Shaft with Inner splines (FSI) is needed. It can be ordered from the EMRAX Company or the customer provides it in case custom made splines are needed (inner, outer etc.). The shaft is mounted on the front motor side on six screws (M6/M8/M10 – depends on the motor size).
- If the power/torque transmission is from back side of the motor the customer needs the Extended motor Shaft with Outer splines (ESO). It can be ordered from the EMRAX Company. If the custom made shaft is needed, the customer can provide it. In this case the extended motor shaft from back motor side must be sent to the EMRAX Company before the motor assembly (this shaft has to be made precisely for EMRAX motors according to drawings, which are sent to customer by email). Before sending the shaft the customer must contact the EMRAX Company.

**!Note:** If the extended shaft from back motor side is used the six screws (M6/M8/M10 – depending on the motor size) must be screwed down into the rotor on the front side of the motor, because they carry the torque from the rotor disks to the extended shaft. Screws must be screwed down in the rotor as it is described in Item 6.

**!Note:** If the power/torque transmission is from the back motor side ESO should be mounted in the motor during motor assembly. Possibilities for mounting the sensors in case of ESO:

- Resolver / encoder should be mounted on the front motor side by a special bracket, which can be ordered at EMRAX Company.

- Resolver / encoder can be mounted on the tailored elongated shaft (adapter shaft), which is added to ESO. Resolver / encoder is mounted after drive wheel (for pulley, chain etc.) at the end of adapter shaft by tailor made bracket, which has to be provided by a customer.

- A special resolver / encoder with bigger internal diameter of the rotor can be mounted on the ESO. This special sensor\* has to be provided by a customer.

- Instead of resolver / encoder hall sensors can be used.

\* Resolvers / encoders with bigger inner diameter of the rotor are bigger and a lot more expensive. These bigger sensors also need more space for mounting.

- If the motor power/torque transmission is from the front and back motor side, then the motor needs a flanged shaft with 6 inner splines (FSI) from the front motor side and an extended motor shaft (ESO) from back motor side. These shafts can be ordered from the EMRAX Company. If custom made shafts are needed, the customer can be provided with them – in this case the extended motor shaft from back motor side must be send to the EMRAX Company before the motor assembly (this shaft has to be made precisely for our motors according to drawings that are sent to the customer). Before sending the shaft the customer must contact the EMRAX Company.

**!Note:** If the power/torque transmission is from front and back motor side ESO should be mounted during motor assembly and FSI should be mounted afterwards on the front motor side.

Possibilities for mounting the sensors in case of ESO and FSI:

- Hall sensors should be used.

- Resolver / encoder is mounted at the end of tailored elongated shaft (adapter shaft) after the drive wheel (for pulley, chain etc.) on the back or front motor side (on the FSO or ESO) by using a tailor made bracket. This adapter shaft and bracket have to be provided by a customer.

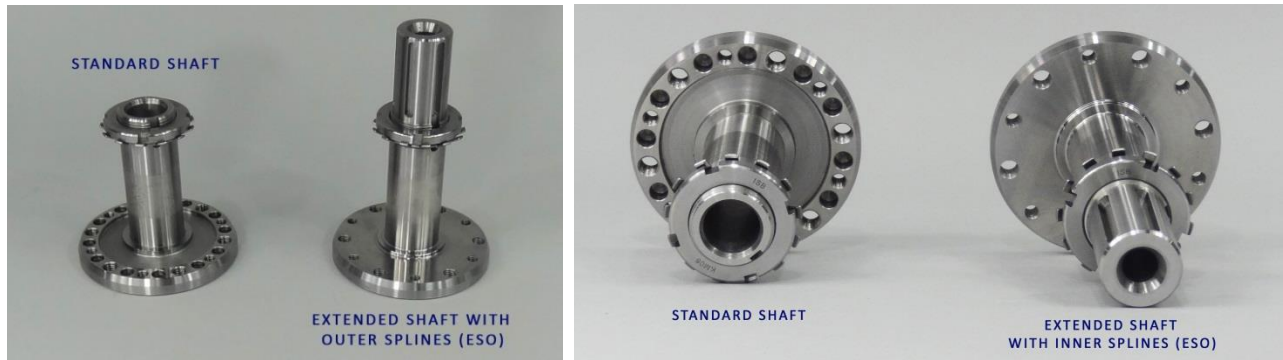
- A special resolver / encoder with bigger internal diameter of the rotor can be mounted on the ESO. This special sensor\* has to be provided by a customer.

\* Resolvers / encoders with bigger inner diameter of the rotor are bigger and a lot more expensive. These bigger sensors also need more space for mounting.



**Figure 17: EMRAX transmission shafts**





**Figure 18: Standard motor shaft vs. extended shaft with outer splines (ESO)**



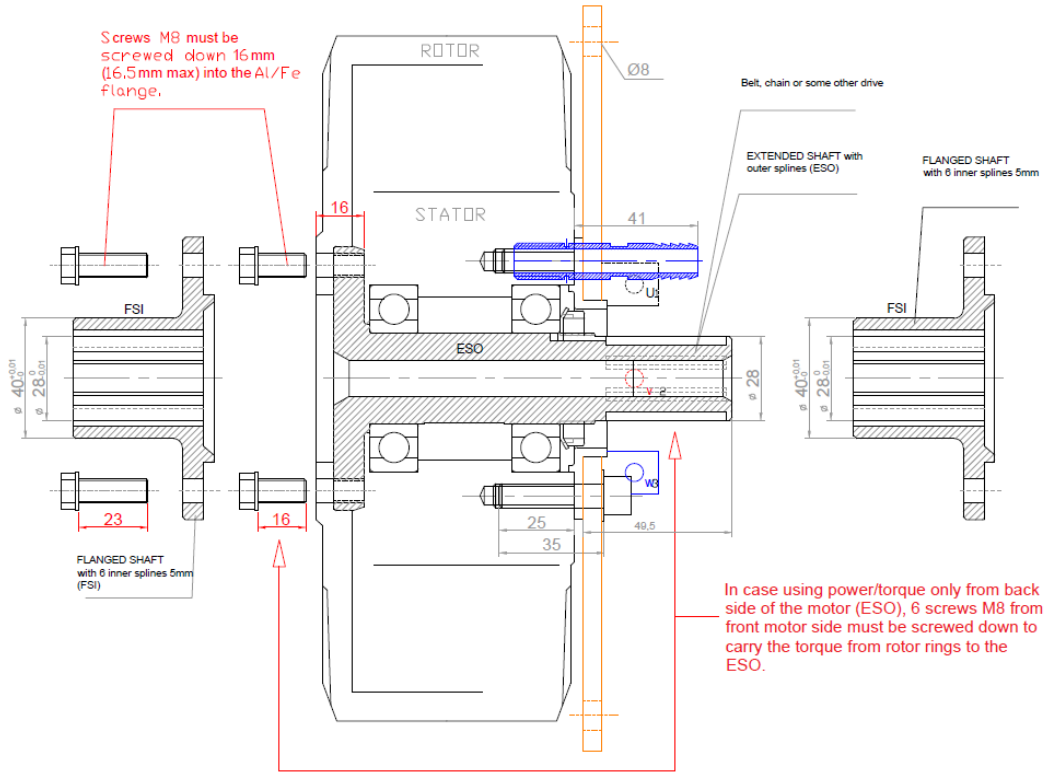
**Figure 19: ESO and FSI**



**Figure 20: Standard motor shaft vs. EMRAX 268 VHML shaft**

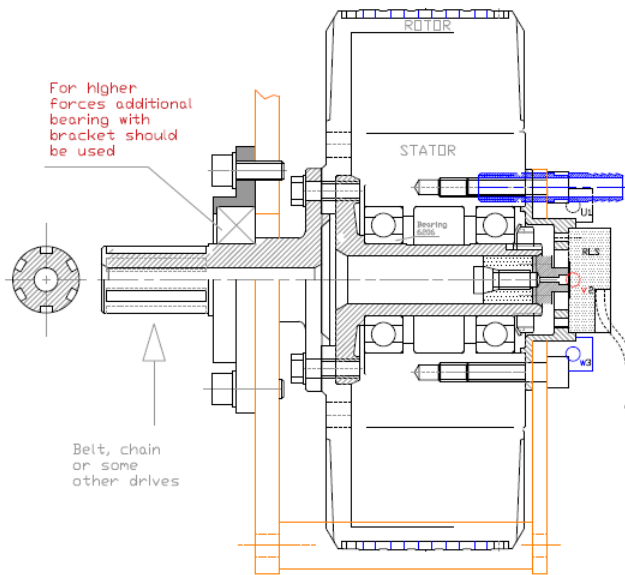


**Figure 21: FSI**

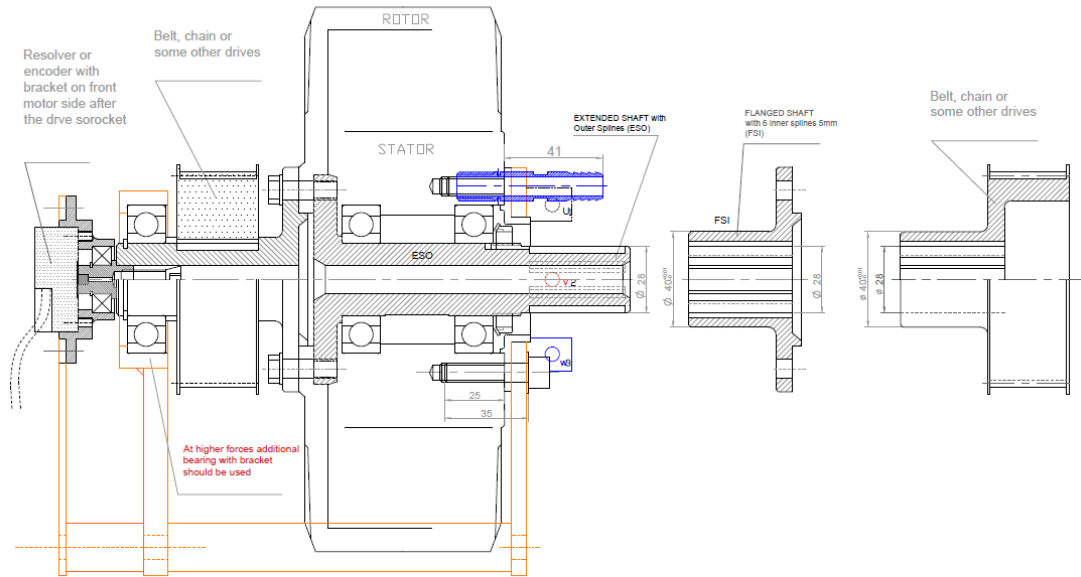


EMRAX with Extended Shaft with Inner splines (ESO) and/or with Flanged Shaft with Inner splines (FSI)

**Figure 22: EMRAX with ESO and FSI**

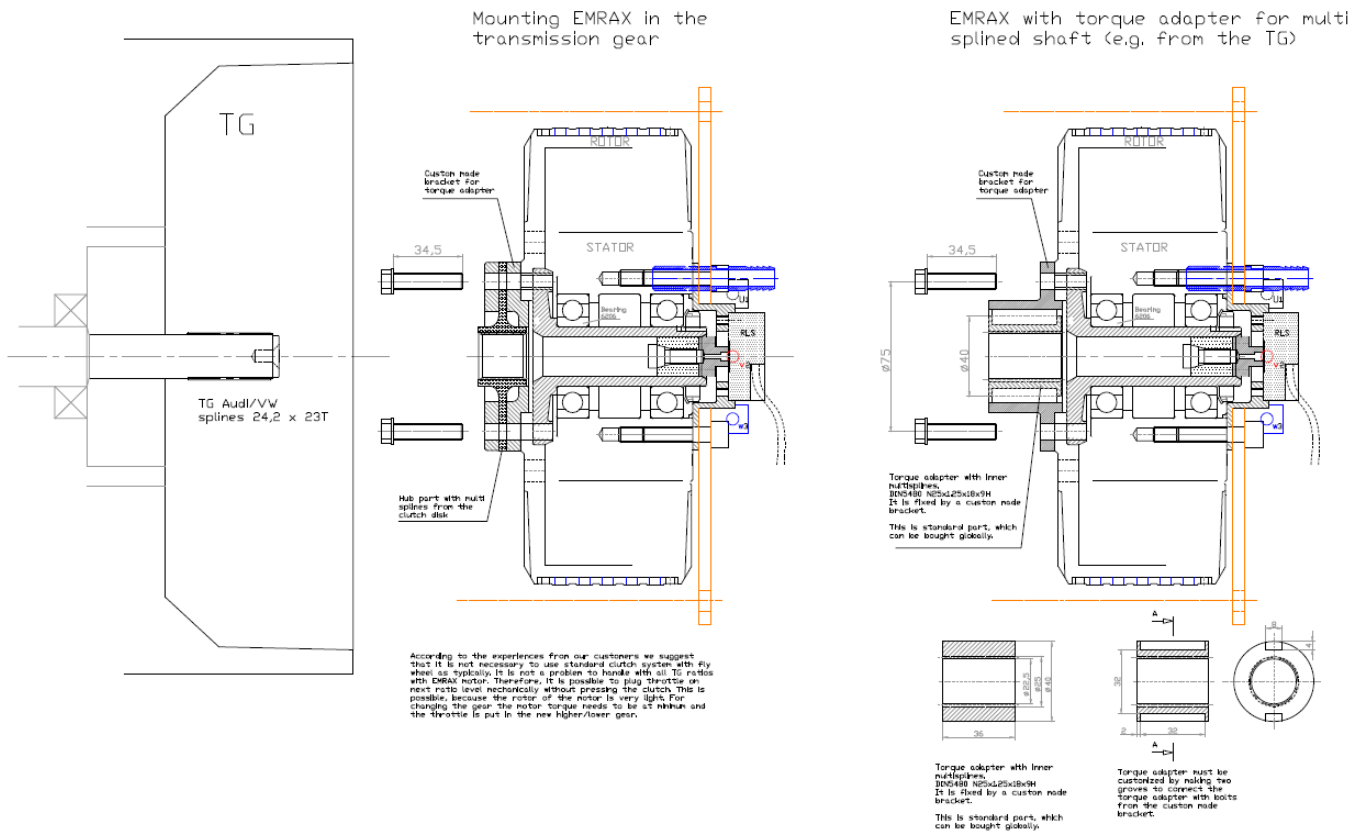


**Figure 23: Power/torque transmission from front motor side**



Power/torque transmission from front and/or back motor side

**Figure 24: Power/torque transmission from front (FSI) and/or back motor side (ESO)**



**Figure 25: Power/torque transmission from front motor side to the transmission gear**



The extended motor shaft and the standard motor shaft cannot be replaced once the motor is assembled.

Our shafts are made from hardened steel (42CrMo4).

If custom made shafts are needed, customer can provide a shaft, which must be made precisely according to EMRAX drawings. The customer can provide a motor shaft or an extended motor shaft. The shaft dimensions must be discussed with the EMRAX Company before sending the shaft and mounting it in the motor during assembly. The customer can also make a special flanged shaft for the motor (e.g. with special splines). Another option is to use standard torque adapter (globally available) and mount it in on the front side of the motor by using special brackets.



**Figure 26: Motor with extended shaft from back motor side**

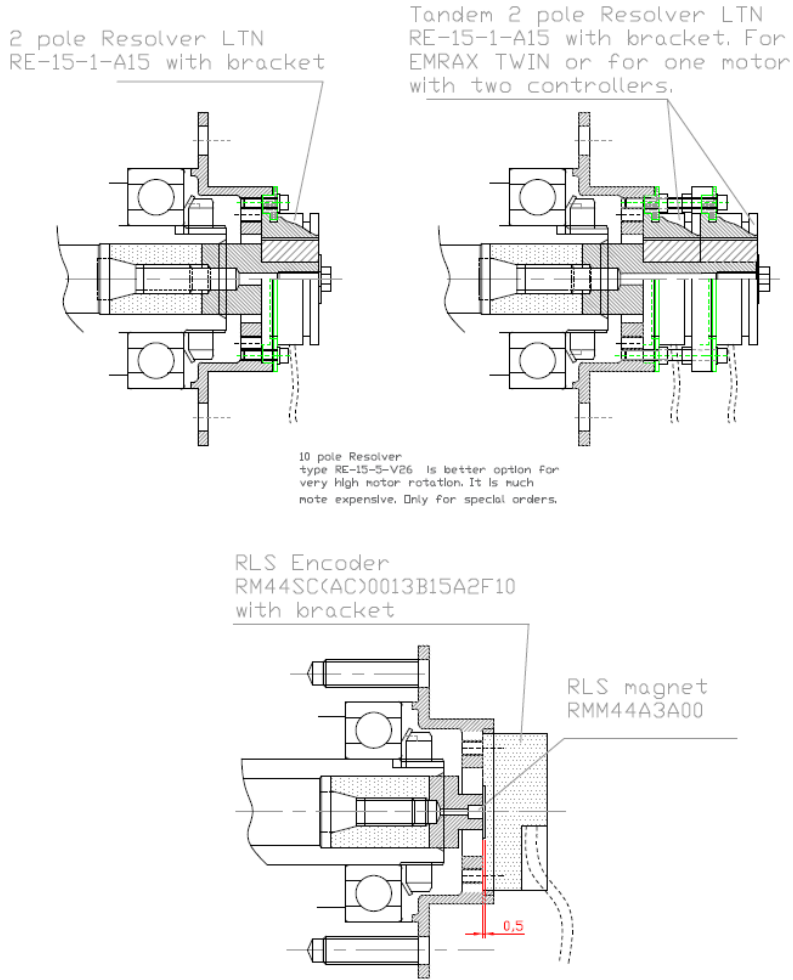
## 8. Controlling direction, position and rotation speed of EMRAX motors

a) Drive control with sensor:

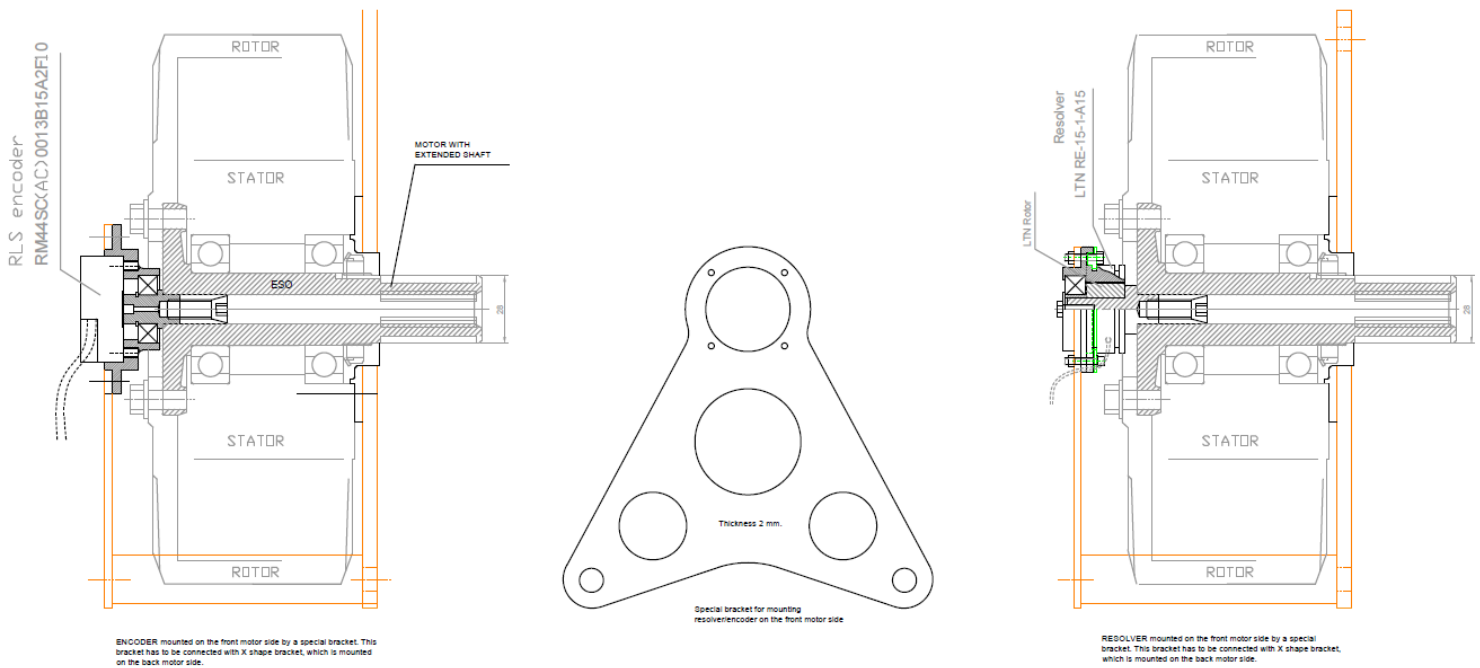
- For controlling direction, position and rotation speed of the motor a sensor should be used. Sensor types that can be used are: resolvers, encoders or hall sensors.
- Sensors must be used for e.g. electric vehicles and propellers that have to stop at the exact position (glider planes, where the propeller has to be put into the fuselage).
- Resolver/encoder has to be precisely mounted onto the motor by a special bracket. Hall sensors have to be mounted in the motor during assembly of the motor. Sensors with brackets can be ordered from the EMRAX Company, where they are also mounted. If sensors are not mounted in the EMRAX Company no warranty applies.

!Note:

- It is important that auto tuning (synchronising the electrical and mechanical motor angle) and pre-setting of controller software is done first. Here is a video, which shows auto-tuning EMRAX motor with Unitek controller: [https://youtu.be/yuyPS\\_RCWQ8](https://youtu.be/yuyPS_RCWQ8)
- For every motor one sensor (encoder/resolver/hall) is needed if the motor is used with one controller. When one motor is used with two controllers (2 sequences of motor phase connectors – 2xUVW) then two sensors should be used (e.g. tandem resolver). This is when a very high motor current has to be ensured.
- For the EMRAX TWIN application two sensors (tandem resolver mounted on the second motor) and two controllers are needed. Some controllers (rare controllers) have an option to split the signal from two controllers in only one sensor (usually encoder), which is mounted on the second motor.
- For more information about sensors, please consult with the controller producers.



**Figure 27: Resolver / encoder on back motor side**



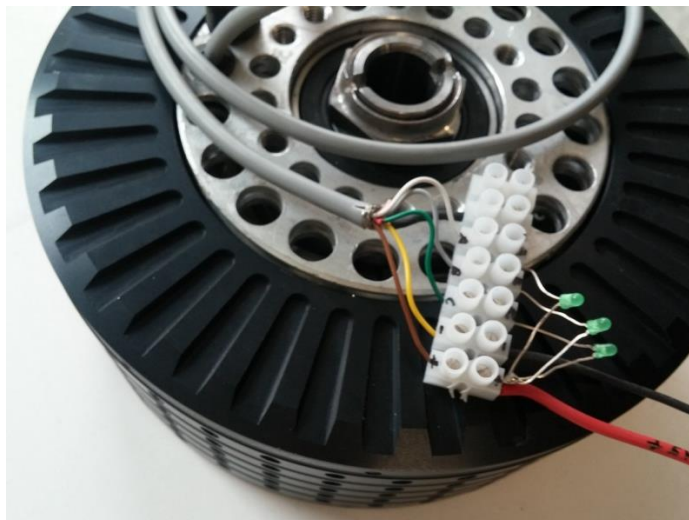
**Figure 28: Resolver / encoder on front motor side**



**Figure 29: Encoder with bracket**



**Figure 30: Resolver with bracket**



Hall sensors type:	SS411P
--------------------	--------

Power supply wires:	
---------------------	--

BROWN	+ 5 V
YELLOW	- 5 V

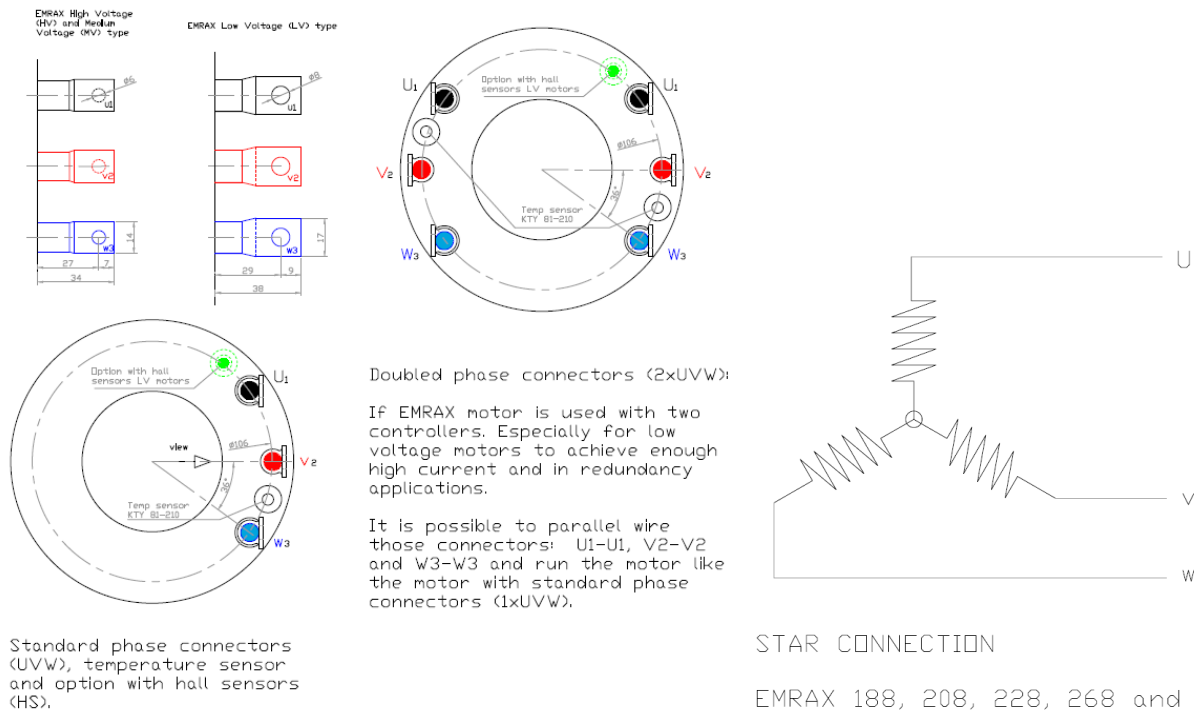
  

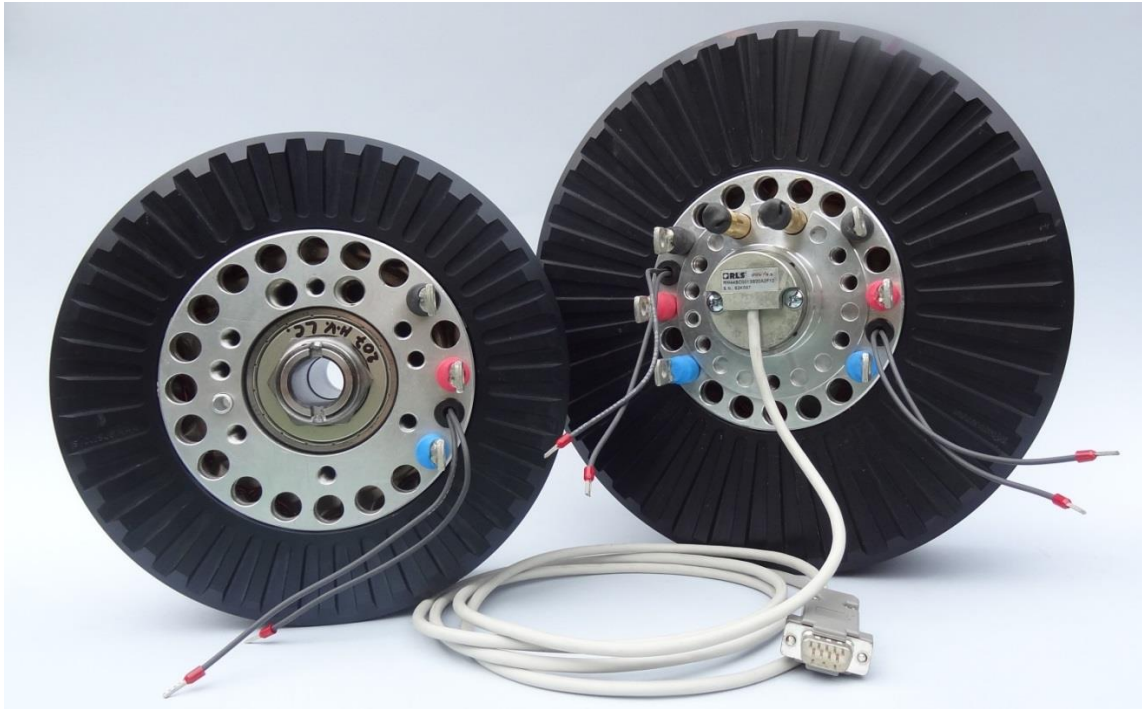
Hall sensors signal wires:	
WHITE	A
GRAY	B
GREEN	C

**Figure 31: EMRAX with hall sensors**

**b) Drive control without sensor (sensor-less):**

- Direction of motor rotation (clockwise/counter clockwise) can also be defined without a sensor, if the controller has a sensor-less option. It can be defined by pole reversal, which can be achieved by a change of two motor phase cables. Three phase power connectors UVW are shown below in this Item. Position and rotation speed cannot be defined without a sensor.
- Sensor-less can be used for e.g. boats, airplanes and for applications that do not need a high torque at the start (applications with propellers).





**Figure 32: Motor phase connectors – normal (UVW) and doubled (2xUVW)**

## 9. Suitable controllers for EMRAX motors

Controllers have to be bought directly from the producers. The most suitable controllers for EMRAX motors are from the following companies:

- Unitek GmbH, Germany
- Emsiso d.o.o., Slovenia
- Sevcon Ltd., United Kingdom
- Reinhart Motion Systems LLC (RMS), USA

The controller has to be selected according to the Technical Data Table of each motor (high motor current and voltage is very important). For some EMRAX motor types it is difficult to find a suitable controller even in the global market. It is especially difficult to find a controller with enough high current, which enables low voltage motors performances listed in the Technical Ddata Tables. If the motor current is not high enough, then performances are inferior to the performances in the Technical Data Tables. For this reason two controllers can be used with one motor, therefore the motor can perform with its full performance. In this case the motor windings are wind in two phase sequences (2xUVW). The customer has to order doubled phase connector sequences on one motor when placing an order.

EMRAX motors should be used with the **sinusoidal commutation** controllers. If the controller with trapezoidal commutation is used, the motor would not work at its best performance, and it would also be louder.

Every motor is tested with the Unitek Bamocar D3 controller before dispatch. Stator windings are tested at 1500 Vac.

In the table below controllers are listed that are recommended for each motor type (performances of the motor should be calculated according to controller characteristics – current, voltage!):

Motor type	Recommended controller
EMRAX 188 High Voltage	Unitek; Sevcon
EMRAX 188 Medium Voltage	Emsiso emDrive 500 Unitek; Sevcon
EMRAX 188 Low Voltage	Emsiso (2x emDrive 150 or 1x emDrive 500)
EMRAX 208 High Voltage	Unitek (Bamocar D3 400 V) Emsiso (emDrive H300) Sevcon; RMS
EMRAX 208 Medium Voltage	Unitek (Bamocar D3 400 V) Emsiso (emDrive H300) Sevcon; RMS
EMRAX 208 Low Voltage	Emsiso (emDrive 500) Sevcon; RMS
EMRAX 228 High Voltage	Unitek (Bamocar D3 700 V) Sevcon; RMS
EMRAX 228 Medium Voltage	Unitek (Bamocar D3 400 V) Emsiso (emDrive H300) Sevcon; RMS
EMRAX 228 Low Voltage	Emsiso (emDrive 500) Sevcon; RMS
EMRAX 268 High Voltage	Unitek (Bamocar D3 700 V) Emsiso (emDrive H300, for up to 450Vdc - for high torque at lower RPM) Sevcon; RMS
EMRAX 268 Medium Voltage	Unitek (Bamocar D3 700 V) Emsiso (emDrive H300) Sevcon; RMS
EMRAX 268 Low Voltage	Emsiso (emDrive 500 - only up to 130 Vdc → lower RPM → lower power or 2x emDrive H300)



	Unitek (2x Bamocar D3 400 V) Sevcon, RMS
EMRAX 348 High Voltage	Unitek (2x Bamocar D3 700 V) Sevcon; RMS
EMRAX 348 Medium Voltage	Emsiso (emDrive H300 - only up to 450 Vdc, lower RPM, lower power) Unitek (2x Bamocar D3 700V) Sevcon; RMS
EMRAX 348 Low Voltage	Emsiso (2x emDrive 500 - up to 1200 RPM)

**!Note:** For the correct type of the controller consult with the controller producer – especially for Sevcon and RMS controllers.

Most controllers use sensors for controlling position, direction and rotation speed of the motor. If the controller has the sensor-less option, then a sensor is not needed, but in this case only the direction of motor rotation can be defined (by changing positions of two phase cables). More information about sensors is written in Item 8.

**Recommended sensors for different controllers:**

- Most controllers can drive the EMRAX motor with encoder, 2 poles resolver or hall sensors. Sensors that are available from the EMRAX Company are (they are mounted on the motor by a special bracket or in the motor):

- **LTN RE15\_1\_A15** (2 poles resolver) for Unitek Bamocar D3 controller
- **TLTN RE15\_1\_A15** (2 poles tandem resolver) for two Unitek Bamocar D3 controllers; when using two controllers with one motor (doubled phase connectors - 2xUVW are needed) or for EMRAX TWIN
- **RLS RM44SC** (encoder) for Emsiso emDrive 500 and emDrive H300
- **RLS RM44AC** (encoder) for Sevcon controllers
- **HS SS411P** (three hall sensors; possibility of doubled hall sensors) for Emsiso controllers

- Some controllers (e.g. RMS) require 10 poles resolvers, which are more accurate and can deliver a better signal to the controller. Then the controller can deliver a better current commutation to the motor. These sensors are especially required for higher speeds. The 2 poles resolver can be replaced by the 10 poles resolver by using the same resolver bracket. 10 poles resolvers are more expensive than 2 poles resolvers.

For more information about suitable sensors, consult with the controller producer.

Every sensor has to be mounted on the motor by a special bracket. If the resolver / encoder is bought from the EMRAX Company it is already precisely mounted on the motor by a special bracket when the customer receives the motor. Hall sensors are mounted in the motor during the motor assembly.

**!Note:**

- Controllers can usually deliver very high peak power and lower continuous power, especially if the controller is air cooled.
- Performance of the motor also depends on the controller boost current and voltage (especially peak).
- Batteries should have very high C (Current) rating – very high boost discharging current from the batteries at high motor load.
- For EMRAX TWIN application two sensors (tandem resolver mounted on the second motor) and two controllers are needed. Some controllers (rare controllers) have an option to split the signal from two controllers in only one sensor (usually encoder), which is mounted on the second motor.
- Separated EMRAX motors which are not connected together mechanically (are not on the same shaft), cannot be driven with one controller.

**Motor RPM depends on battery DC voltage and magnetic field weakening:**

Maximal battery DC voltage delivers maximal motor RPM which should not be exceeded. Take a look at specific load speed in the Technical Data Table – RPM/1Vdc. In the case of using the magnetic field weakening option in the controller settings the maximal motor RPM can be achieved even at lower DC voltage from the batteries.

**Achieving higher RPM with magnetic field weakening (MFW):**

Most controllers have an option to set the magnetic field weakening in the controller software program. This setting enables the motor to achieve higher RPM at the same battery voltage. All EMRAX motors can weaken the magnetic field up to 100%. In this case the rotation speed increases, but the power stays at the same level. Torque is lower at higher speed. Efficiency drops only for 1-2 %.

Magnetic field weakening can be set in the controller software. EMRAX motors have 10 pole pairs, therefore it is recommended to weaken the magnetic field 15-20% to achieve the best performance. With higher % of magnetic field weakening the motor can run faster with very good efficiency, which drops only for 1, 5% at 80% MFW. We recommend MFW only for a short time (few min in case of full motor power), because of a very high current phase between the motor and controller.

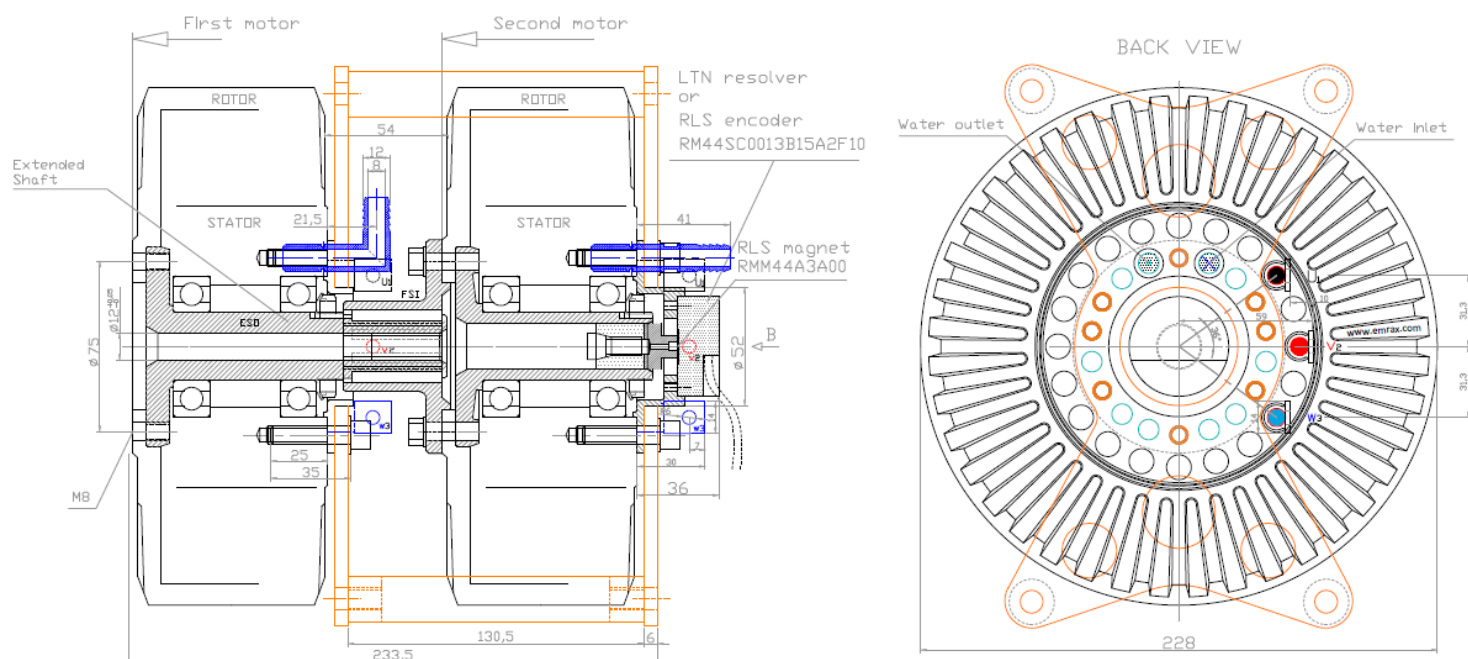
**!Note:**

- Maximal motor RPM should not be exceeded. Maximal motor RPMs are listed in the Technical Data Tables for each motor type.
- EMRAX motor has 10 pole pairs, which results in very high motor rotation frequency, especially at higher motor speed. Therefore the controller for an EMRAX motor has to be made for high rotation frequencies.

For example: at 6000 RPM the rotation frequency is 1000 HZ. Consequently, the controller must deliver a stable and smooth signal even at a high rotation frequency with high PWM.  $RPM = 60 * Hz / PP$ .

## 10. Two same sized EMRAX motors connected serially (EMRAX TWIN) – stacking capability of EMRAX motors

Two same sized EMRAX motors can be connected serially – this is EMRAX TWIN. All EMRAX motor types can be connected into TWIN.



EMRAX TWIN (e.g. size 228) – two same sized wired serial (stacking capability of EMRAX motors)

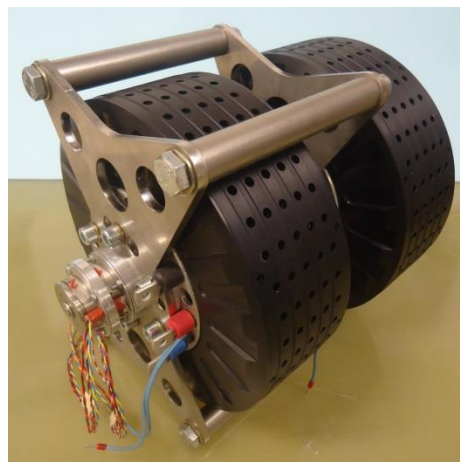
The first motor has Extended Shaft with Outer splines (ESD). This shaft is connected to Flanged Shaft with Inner splines (FSI), which is connected to the second motor. At the front side of the first motor customer can add another FSI for sprocket or some custom made drive option. EMRAX TWIN needs two special original iron brackets (X-shape).

**Figure 33: EMRAX TWIN drawing**

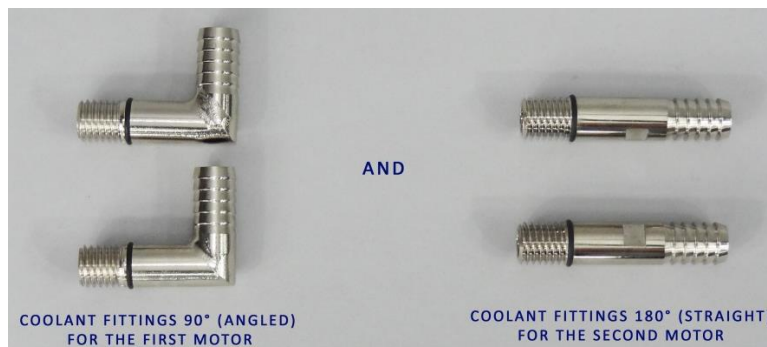




**Figure 34: EMRAX TWIN with encoder**



**Figure 35: EMRAX TWIN with tandem resolver**



**Figure 36: Coolant fittings for EMRAX TWIN**

Parts for EMRAX TWIN:

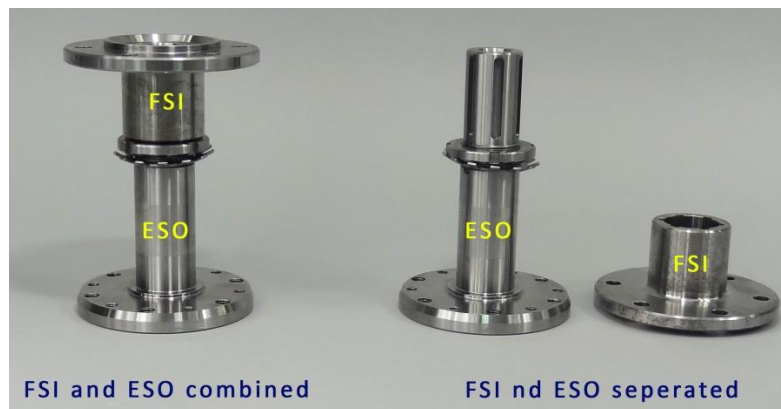
- First motor needs the Extended shaft with outer splines (ESO)
- Second motor needs the Flanged shaft with inner splines (FSI)
- 2 pcs of X shape brackets made from stainless steel
- If direction, position and rotation speed of the motor need to be controlled sensors are needed (more information in Item 8). Sensors that can be used are: tandem resolver (two resolvers wired serially – recommended), one encoder if the controller has an option to split the signal (rare controllers) or hall sensors in every motor. For more information about sensors, please consult with controller producers.

Possibilities for mounting the sensors in case of EMRAX TWIN:

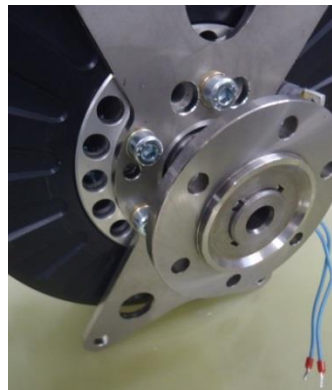
- In case using ESO in the second motor both motors should use hall sensors.
- Tandem resolver (TLTN) or encoder can be mounted at the end of tailored elongated shaft (adapter shaft) after the drive wheel (for pulley, chain etc.) on the back or front motor side (on ESO or FSI) by a tailor made bracket. Tailored shaft and bracket have to be provided by a customer.
- Special tandem resolver or encoder with bigger internal diameter of the rotor can be mounted on the ESO. These special sensors\* have to be provided by a customer.

\* Resolvers / encoders with bigger inner diameter of the rotor are bigger and a lot more expensive. These bigger sensors also need more space for mounting.

**The first motor is connected to the second motor by using the ESO shaft, FSI shaft and two X shape brackets. ESO and FSI shaft must be made by the EMRAX Company, otherwise the warranty does not apply.**



**Figure 37: EMRAX TWIN shafts – ESO is mounted in the first motor and FSI on the front side of the second motor**



**Figure 38: Motor with extended shaft and flanged shaft on the extended shaft (for EMRAX TWIN)**

## 11. Redundancy

2 options:

- EMRAX TWIN, which needs to be driven with two controllers and needs a tandem resolver (TLTN) or hall sensors in every motor. In case of one controller/motor failure the others are still working.
- One EMRAX motor can be driven with two controllers. In this case the EMRAX motor needs doubled phase connectors (2xUVW). In case of one controller failure, the other still drives the motor (performances are lower). Sensors: tandem resolver (TLTN) encoder if the controller can split the signal or doubled hall sensors.

Redundancy may be considered for airplane applications.

## 12. EMRAX motor working as a generator and its integration into the hybrid system

EMRAX motors can be used as generators for electricity production. The same performance characteristics can be achieved in the motor and generator modes of operation. Technical data and graphs for the generator application are the same as for the motor application if the generator is driven by the controller. In case the generator is driven without a controller the power / torque is approximately 50% lower, because there is no control of the correct electrical-mechanical angle at load. Also an additional controller for converting generator three phase alternating signal to grid signal (230V/50Hz) is needed.

The EMRAX motor can be used in a hybrid propulsion system as a generator, which generates energy and charge the batteries in regeneration mode by using the controller and battery management system (BMS). The controller and BMS at the same time drive the diesel engine on the right power/RPM for charging the batteries at optimal level. At the end of charging they also balance the battery cells and turn off the diesel engine. Emsiso emDrive controllers and BMS system from the REC Company, can be done in Slovenia.

## 13. EMRAX motor ingress protection (IP CODE)

- **IP21:**
  - a) Air Cooled (AC): only air cooled
  - b) Combined Cooled (CC): air and liquid cooled (water/glycol mixture)

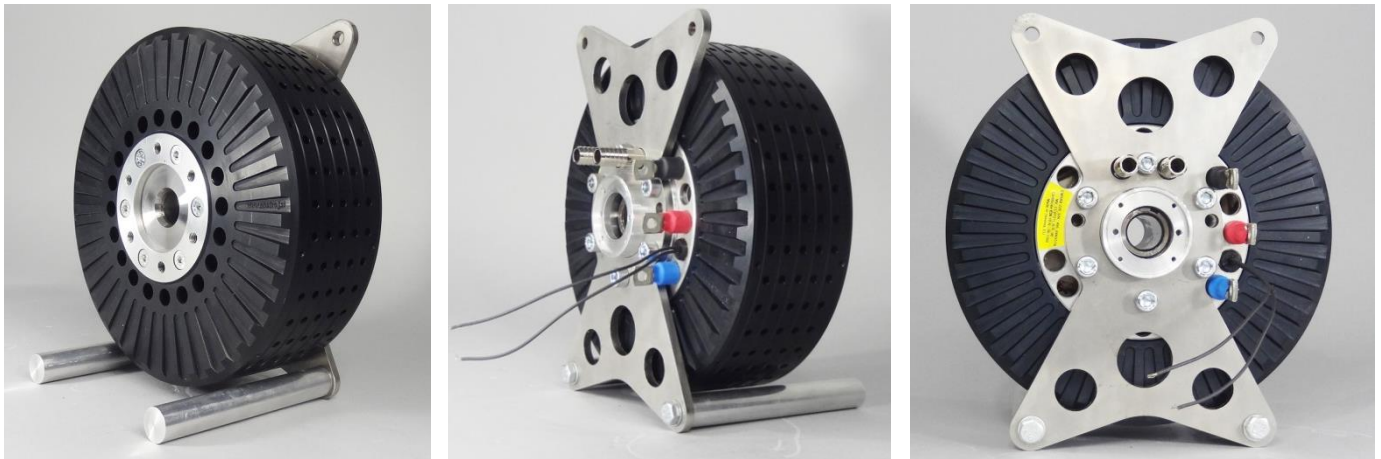


Figure 39: EMRAX IP21

- **IP65:**  
Liquid cooled (LC): Totally closed motor. Dimensions and weight of this motor are the same as for EMRAX with IP21. Continuous power / torque are up to 20% lower, peak is the same compared to EMRAX with IP21.

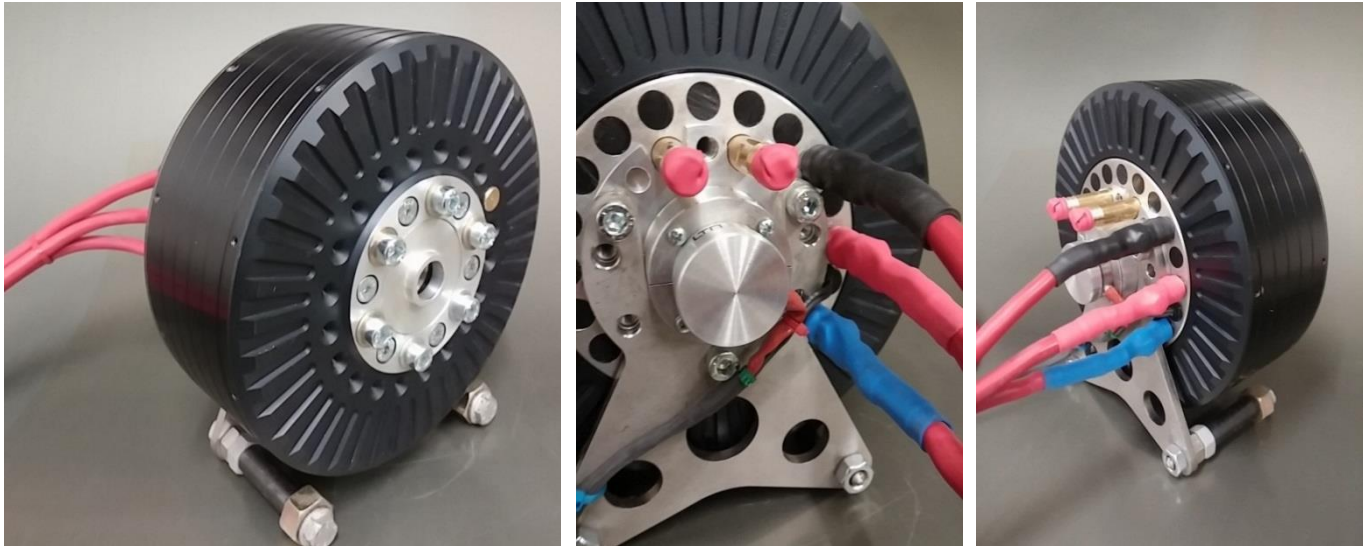


Figure 40: EMRAX IP65

### 14. Motor cooling

It is important to enable sufficient cooling of the motor at any time. In every case, the temperature sensor that is mounted in the controller must be connected to the controller. This sensor protects the motor from overload. In case temperature is too high and not stable the controller drives the motor with lower current until the temperature becomes stable under the limit. The standard temperature sensor mounted into the motor is KTY 81-210. Other types can be mounted (e.g. PT1000) if the customer consults with the EMRAX Company in advance. EMRAX motors can be air cooled (IP21), liquid cooled (IP65) or combined cooled (IP21).

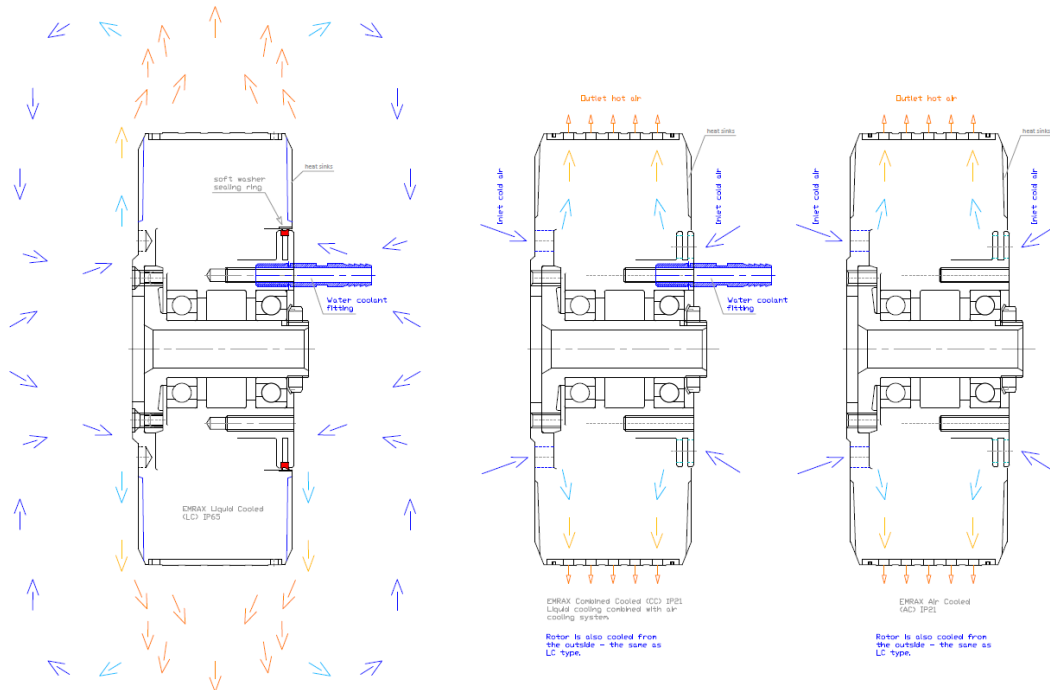


Figure 41: Motor cooling options



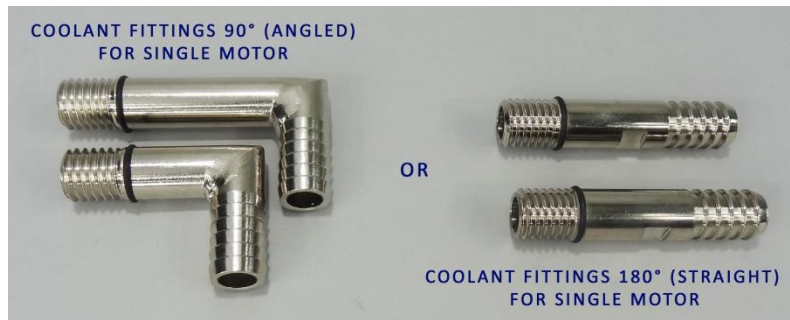


Figure 42: Motor coolant fittings for one motor

EMRAX motors have to be used under ambient and motor cooling conditions, which are described in the Technical Data Tables. Failure to comply with these conditions will void the warranty. .

- The EMRAX motor **must not exceed the temperature below -30°C and above 120°C on cooper windings and on the magnets. These values are also valid for the bearings.** If the temperature exceeds these values, it causes a void of warranty. The indicator for exceeded temperature is placed in the motor. In case of disconnection of the temperature sensor, which has to be on the cooper windings, the controller has to stop the motor. The motor temperature sensor detector in the controller must always be enabled, during motor operation. **The temperature sensor in the motor only measures the temperature of the stator, not the temperature of the magnets, consequently the magnets' temperature (outer/surface temperature of the motor) has to be measured with the thermal camera.** It must be considered that the surface temperature is lower compared to the magnet temperature – difference is approximately 10-20 °C (depends on the load).
- **IP21 motor:**
  - **EMRAX Air Cooled AC (air cooled):**  
Fresh air has to be served to the drive symmetrically and sufficiently. Air speed must be **20 m/s at maximal 25°C air temperature and at maximal 200 kPa pressure.** This has to be ensured by intake ports or other air conduction measures. The motor can be protected with some net against the dirt.
  - **EMRAX Combined Cooled CC (air and liquid cooled):**  
Liquid cooling flow must be **6 to 8 litres per minute at maximal 50 °C inlet water/glycol temperature and ambient air temperature has to be 25°C or less.** Inlet water/glycol temperature and ambient temperature can also be lower – in this case the continuous motor power is higher. This is valid for all EMRAX motor sizes.

To achieve a good inlet water/glycol flow rate which is recommended (from 6 to 8 l/min) the inlet pressure for the different motor types must be:

Motor size	Water/glycol flow pressure (pressure drop)	Water/glycol flow rate
188 CC	0,5 bar	7 l/min
208 CC	0,6 bar	7 l/min
228 CC	0,9 bar	7 l/min
268 CC	1,0 bar	6 l/min
348 CC	1,0 bar	6 l/min

**!Note:**

- Maximum inlet water/glycol flow pressure must not exceed 2 bars.
- Inlet water/glycol flow pressures are valid if the tube length between the motor coolant fittings and the pump is up to 2 meters (diameter is 12 mm). If the tube is longer higher pressure in accordance with the pressure drop must be used.
- For the combined cooled motor it is important that beside liquid cooling also air cooling is assured – this means that the air around the motor must be exchanged (air circulation) and that the ambient air temperature must be 25°C or less (as described in the Technical Data Tables) to achieve the best motor performance.
- The motor must not be closed into some box without possibility of exchanging air. Liquid cooling is important for the stator, air cooling is important for the rotor. The motor can be protected with some net against the dirt.

- Liquid flow must be filtered through the filter which openings' diameter or diagonal must not exceed 2 mm.
- We recommend original coolant fittings, which have a special O sealing ring. If the tubes are sealed with some other sealing material, we do not guarantee that the system is waterproof.
- We do not recommend cooling the motor with salt water, because long-term exposure of the motor cooling system might lead to mineral deposits. Therefore we recommend a heat exchanger. Motors were not tested in a salt environment and cooled with salt water.

- **IP65 motor:**

- **EMRAX Liquid Cooled LC (liquid cooled):**

This motor is totally closed. Liquid cooling flow must be **6 to 8 litres per minute at maximal 50 °C inlet water/glycol temperature and ambient air temperature has to be 25°C or less**. Inlet water/glycol temperature and ambient temperature can also be lower – in this case the continuous motor power is higher. This is valid for all EMRAX motor sizes.

To achieve good inlet water/glycol flow rate the recommended (from 6 to 8 l/min) inlet pressure for the different motor types must be:

Motor size	Water/glycol flow pressure (pressure drop)	Water/glycol flow rate
188 LC	0,5 bar	7 l/min
208 LC	0,6 bar	7 l/min
228 LC	0,9 bar	7 l/min
268 LC	1,0 bar	6l/min
348 LC	1,0 bar	6 l/min

**!Note:**

- Maximum inlet water/glycol flow pressure must not exceed 2 bars.
- Inlet water flow pressures are valid if the tube length between the motor coolant fittings and the pump is up to 2 meters (diameter is 12 mm). If the tube is longer higher pressure in accordance with the pressure drop must be used.
- Even though the motor is liquid cooled only the ambient temperature is an important factor for achieving high constant power. The ambient temperature must be 25°C or less (as described in Technical Data Tables).
- The motor must not be closed into some box without the possibility of exchanging air.
- Liquid flow must be filtered through the filter which openings' diameter or diagonal must not exceed 2 mm.
- We recommend original coolant fittings, which have a special O sealing ring. If the tubes are sealed with some other sealing material, we do not guarantee that the system is waterproof.
- We do not recommend cooling the motor with salt water, because long-term exposure of the motor cooling system might lead to mineral deposits. Therefore we recommend a heat exchanger. Motors were not tested in a salt environment and cooled with salt water.

## 15. EMRAX motor materials, quality and reliability

EMRAX motors are quality made and consist of quality advanced materials. Materials are able to withstand extremely high power / torque (high temperature resistant, shatterproof, stiff) and are corrosion resistant.

Stator part, outer ring, front and rear disk are made of aluminium quality 6082. Minimum aluminium thickness is 3.0 mm which is on the outer ring. The outer ring, front and rear aluminium disk are anodized in black.

Even though rotors with magnets represent approximately 40% of the motor weight, the direction of motor rotation can be changed in a fraction of a second. This is possible due to a very high quality motor shaft, which is made from hardened steel (42CrMo4) and quality bearings, which are chosen for long time duration.

Stator with cooper windings has an additional epoxy coating.

Magnets have a UH grade 180°, which means they are resistant up to 180°C. They are chemically and mechanically fixed to perfection, therefore EMRAX motors are very reliable. EMRAX motors are sold to the airplane industry where reliability is

extremely important. Due to adequate fixation of the magnets and quality advanced materials as well as motor design, EMRAX motors can be rotated even up to 8000 RPM (EMRAX 188 and 208 types).

The generator voltage of EMRAX may vary for 1-2% at the same rotation speed. This is due to the difference of the magnetic field of the magnets (tolerance 1-2%). The difference in voltage also depends on the other materials of the motor.

## 16. EMRAX motor bearings and life expectancy

Bearings of the rotor are not qualified for forces higher than bearings of the EMRAX motors included can transfer. Bearings used are FAG or SKF models, which are listed in the Technical Data Tables for every EMRAX type and in Item 3. All technical information about listed bearings is publicly available.

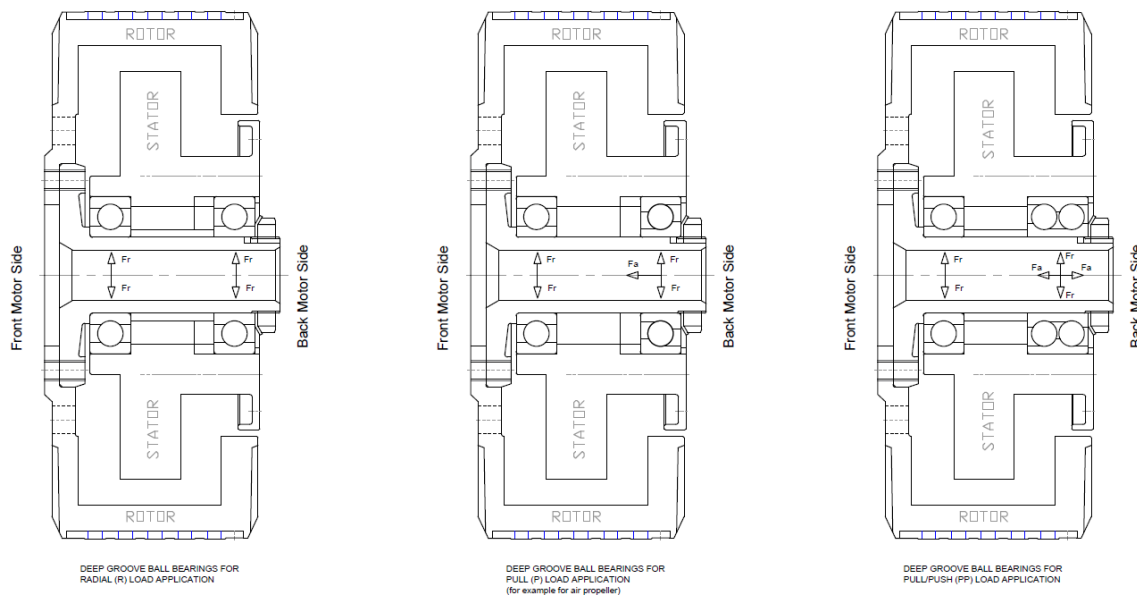
Every EMRAX motor includes two bearings – front and back. The distance between the front and back bearing can be measured from drawings. The bearing type depends on the load (direction and amplitude of the force applied on the motor shaft).

Bearings for EMRAX motors are listed in the tree structure of Item 3 and in the table below this paragraph. Bearing types, which are described, are used for most applications. If special bearings are needed (e.g. for in-wheel application), customer must consult with the EMRAX technical support before placing an order. Bearings are mounted in the motor during motor assembly. The bearing type must be calculated and selected by customer.

EMRAX motor size	Bearings for EMRAX motors (FAG bearings)		
	For radial forces (standard) (R)	For radial-axial	
		For pull mode (P)*	For pull-push mode ("O" orientation) (PP)**
208 / 228 / 268	6206:6206	6206:7206	6206:3206
268 VHML	6207:6207	6207:7207	6207:3207
348	6009:6009	on request	on request

\* Front bearing is for radial forces. Back bearing is for axial-radial forces, focusing on very high axial load. Bearing combination is for pull mode. Suitable for e.g. air propeller.

\*\* Front bearing is for radial forces. Back bearing is for axial-radial forces. Bearing combination is for pull-push mode.



**Figure 43: Combinations of bearings for EMRAX motors**

To choose the correct bearings, the calculator on the link below should be used. Size of the bearing must be correct (according to EMRAX motor drawings). We offer FAG and SKF bearings.

To check if the bearing is suitable for forces applied on the shaft you can use publicly available **FAG bearing calculator**:  
[http://medias.ina.de/medias/en!hp.ec/1\\_R\\*0\\*C](http://medias.ina.de/medias/en!hp.ec/1_R*0*C)

1. First, enter the type of the bearing in the box on the right side (e.g. 6206).
2. New window opens with the search results. Choose the product (e.g. 6206-2z, which means that it is closed from the front and back side).
3. Now you can choose the *Calculation* tab.
4. Double click on *Loadcase 1* on the right side of the window.
5. In the window that opens enter the magnitude of axial force ( $F_a$ ), magnitude of radial force ( $F_r$ ), rotation speed and operating temperature. Click on the calculator icon in the top row (5<sup>th</sup> icon from the left). Under the picture of bearing you will see the rating life in hours.

Life expectancy of the EMRAX motor is the same as life expectancy of the bearings that are mounted in the motor. If the bearings are overloaded than the bearing life time is shorter. They can be replaced.

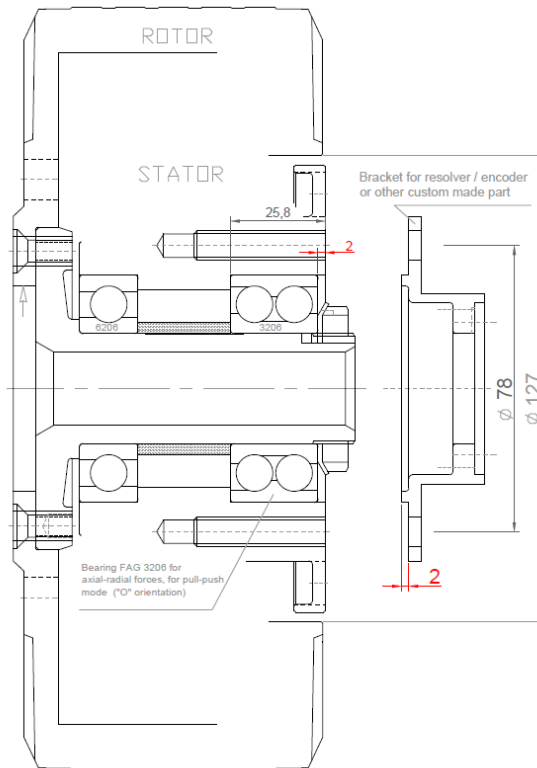
In case of doubt, the circumstances of operation shall be discussed with the manufacturer of the bearings or the EMRAX Company. If the radial or axial load is higher than the bearings can bear, then the system must have an additional shaft with stronger bearings (belt transmission, chain transmission, gear transmission, direct drive applications). The EMRAX Company can insert some customized bearings' combinations (e.g. with tapered rolling bearings with additional sealing rings). This has to be discussed by the EMRAX Company in advance.

A static redundant dimensioning caused by the thrust bearing must be avoided in any case. Certain resilience in the mount of the drive or the thrust bearing is satisfactory. Required is a clean rotation of the extension shaft. The shaft must be able to rotate smoothly and easily by hand after mounting.

Tapered bearings must be lubricated according to the bearings lubrication instructions from the bearing producer.

Bearings are mounted in the motor during assembly. They can be replaced only at the EMRAX Company. Any opening and/or bearing replacement not done by the EMRAX Company causes a void of warranty! Also opening an EMRAX motor can cause health damage. Therefore please avoid opening the motor.





When bearing for axial-radial forces (for e.g. FAG 3206, FAG 3207 - "O" orientation) is used the outer ring of this bearing must be fixed with original encoder / resolver bracket or with other custom made part. Distance is 2 mm.

**Figure 44: Pull-push (PP) bearing outer ring fixation**

## 17. EMRAX motors as in-wheel motors

All EMRAX motor types can be used as in-wheel motors. Important considerations before placing an order are:

- Bearings selection according to forces applied on the shaft (torque, weight of the vehicle) – more information about bearings in Item 16.
- Motor shaft selection according to forces applied on the shaft (torque, weight of the vehicle) – more information in Item 7.

EMRAX motor for in-wheel application must be totally closed (IP65; Liquid cooled).

For most in-wheel applications EMRAX 268 VHML is appropriate. In every case forces that will be applied to the shaft and bearings should be discussed before placing an order.

In-wheel mounting options for EMRAX can be seen in Item 6.

## 18. Maintenance and protection of EMRAX motor against environmental disturbances

- The drive does not need any maintenance during lifetime. The lifetime of EMRAX motors is the same as the lifetime of the bearings that are included in each motor.
- However it has to be considered that no foreign objects at all can enter the interior of the drive. This is especially important for EMRAX motors with IP21 (Air Cooled and Combined Cooled). Furthermore, it is necessary to protect the motor from humidity, dirt, paint, glues, salt, iron particles, etc. If this is ignored, a proper functionality of the motor cannot be guaranteed and irreparable damages are possible. To prevent objects falling inside the motor (especially iron chips, iron fillings), **the motor ventilation holes (ring and side holes) MUST be protected with some tape during the time the motor is being assembled into the system and during the time the drive is not in use. The drive must be**

**protected from these objects even when it is already mounted in the system (especially if the motors are mounted close to the ground and if there are iron particles). In this case the motor should be protected with some fine net in order for the cooling to remain sufficient at the same time! In the event a foreign object enters the motor, do not by any means simply keep on using the drive!** In this case contact the EMRAX Company and explain what happened.

Unintended handling leads to secondary damages. **Opening or disassembling of the motor causes a void of warranty!**

Also for opening the motor, special tools are needed to prevent any damages to the motor and to the person who opens the motor. Opening of the motor must be avoided in any case. The EMRAX Company can remove the foreign object from the motor and also checks the interior of the motor at the same time as well as protects it again. Removing particles from the motor, inspection and protection of the stator costs approximately 190 euros per motor. The customer also has to pay shipping costs and duty costs that may incur.

- In case of damage, ship the drive back to the EMRAX Company for repairs. It is important, that you contact the EMRAX Company before sending the motor back.
- Keep magnetic memory cards or electronic devices out of the rotor's close range, because the alternating magnetic field can cause a delete of data. Be careful with medical devices (e.g. pacemakers) which are sensitive to alternating magnetic fields.

## 19. Starting EMRAX motor (connecting the motor with controller):

1. Firstly, it is important to read the manuals for the EMRAX motors and for the controllers!
2. Be aware of the following safety instructions before starting:
  - It is essential to permanently check the loads driven by the motor for damages, cracks etc. The use of damaged loads can lead to heaviest injuries.
  - The frequency converter needs to be mounted jacked up, so that a vibration free use is unconditionally guaranteed. If this is not the case, vibrations can cause contact faults and furthermore the breakdown of devices. This may lead to damages to the electronic system or to components in its environment.

### 3. Connecting the EMRAX motor, controller and batteries:

- Before starting, the right direction of rotation has to be checked and if necessary changed – motor connectors UVW must be set according to the controller phase positions. UVW (1, 2, and 3) connectors of the motor are parallel to UVW output phases from the controller. If sensor (encoder / resolver / hall) is used it has to be properly connected to the controller. Instructions can be provided by the sensor producer or the controller producer. For connecting instructions of the RLS encoder / LTN resolver / hall sensors please contact the EMRAX Company.

The drive should be, if possible, directly connected to the frequency controller, without any inserted connectors. If this is not possible, only use high current capable, low-impedance, best quality connectors. Shoddy connectors lead to voltage peaks and can destroy the frequency converter. Oftentimes unplugging the connector can cause contact problems which may also lead to a destruction of the converter. We also recommend a main vacuum switch between the batteries and controller and a suitable DC fuse.

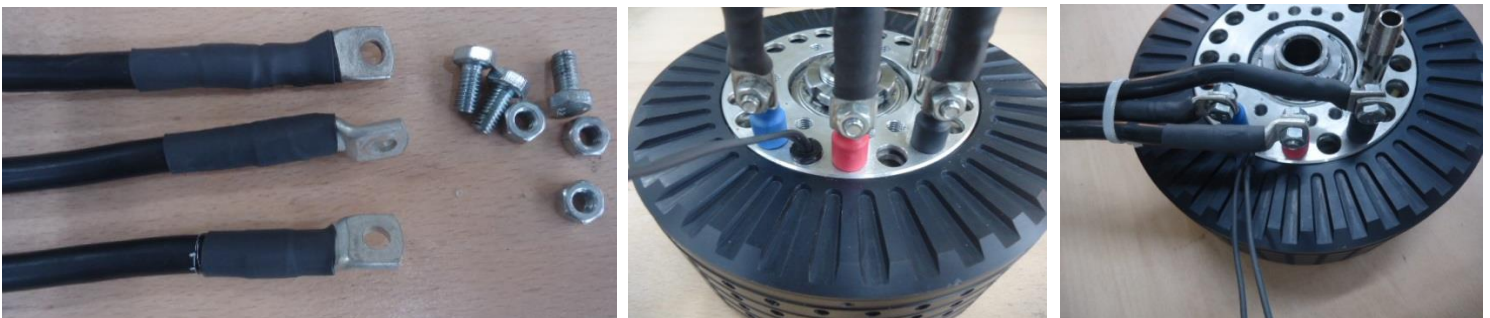
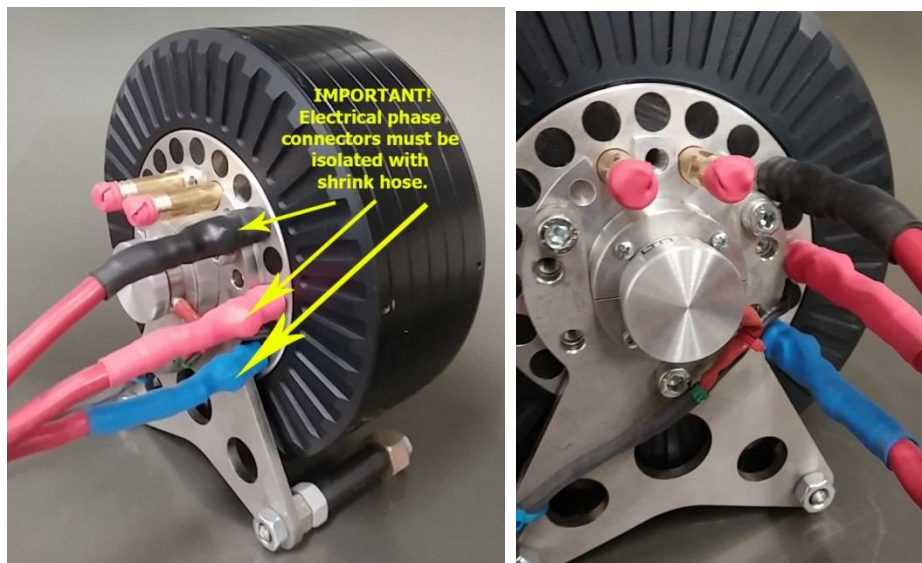


Figure 45: Straight connection of motor phase connectors to controller cables.



**Figure 46: Angular connection of motor connectors to controller cables. Connections must be isolated with shrink hose!**

- Only use high current connector systems between the motor, converter and the battery. The connectors have to be checked before every use. If the coating is used up, the internal discs and the jacks may be damaged or lose their resilience, and they have to be replaced.
- Shoddy or used up connectors are the most common reason for destructions of the drive, the controller and possible components around it.
- **The electric connectors and cables must be connected professionally and have to be isolated with a shrink hose.**



**Figure 47: Isolation of electrical phase connectors with shrink hose**

- Mixing up the polarity of the battery or a short circuit leads to a destruction of the drive and means an acute fire hazard and danger of life!

- The cables should be as short as possible. For longer cables the diameter of the cable must be bigger. **Power cables must be shielded and distant enough from the communication cables.**
- 4. Setting the controller software:**
- Basic controller software settings must be set in the controller software. Basic controller settings are published on our web site: link. These files are for the Unitek controller. Other controllers use similar parameters, which can be set by using these parameters and the Technical Data Table of the motor.
  - Afterwards auto-tuning must be made. This means automatic adjustment of electrical angle according to the mechanical rotor position. This is a very important step for proper operation of the engine! When auto-tuning starts the motor slowly rotates for 360 mechanical degrees. Every controller has different system for automatic adjustment of electrical angle, so make sure you read the manual of the controller or consult with the controller producer. Here is a video, which shows auto-tuning EMRAX motor with Unitek controller: [https://youtu.be/yuyPS\\_RCWQ8](https://youtu.be/yuyPS_RCWQ8)
  - Now you can start the motor and adjust software parameters according to your application. Be sure you enter the parameters that are in accordance with the Technical Data Table! Otherwise it causes a void of warranty.

## 20. How to choose the correct EMRAX motor type for every application:

1. First you need to know what RPM and torque you will need for your application. You have to make sure, that the desired RPM and torque (without transmission gear) do not exceed maximal RPM and torque listed in the Technical Data Table for the specific EMRAX motor. You also need to make sure, to consider the Torque/RPM graph! The torque also depends on the controller current of the motor, therefore the controller needs to have enough high phase current to get enough high torque.
2. In the Technical Data Table you can find Specific load speed (RPM/1Vdc). With this data you can calculate how many RPM you will get at desired battery voltage (Vdc) at load application.  
\*It is possible to achieve higher RPM with magnetic field weakening (MFW). You can use magnetic field weakening when torque is at maximal value. At magnetic field weakening the torque slightly decreases, but the RPM rises and consequently the power stays the same (take a look at the equation below). Magnetic field weakening can be set in the controller software. EMRAX motors have 10 pole pairs, therefore it is recommended to weaken the magnetic field for 15-20% to achieve the best performances. With higher % of magnetic field weakening the motor can run faster with very good efficiency, which drops only for 1, 5% at 80% MFW. We recommend MFW only for a short time (few min in case full motor power), because of a very high phase current between the motor and the controller.
3. Now you can calculate the power, using this equation:

$$P [kW] = n [RPM] * Mt [Nm] / 9550$$

At a lower RPM (motor rotation), you can expect lower motor power at the same torque. At a higher motor speed you can expect higher motor power at the same torque.

Mt.....torque [Nm]

P.....power [kW]

n.....motor rotation [RPM]

In case you need higher power we recommend you to increase battery voltage (Vdc) instead of increasing motor current – because cables with bigger diameter are needed and consequently the weight is bigger. It is better to use a High Voltage motor if you need higher speed (RPM).

4. Example for 228 MV:



Customer has battery voltage 365 Vdc at load.

228 MV motor can deliver 11 to 14 RPM per 1 Vdc at no load. At full load it can deliver 11 RPM/1Vdc.

This means that you can get  $365 [Vdc] * 11 = 4015 [RPM]$  only.

Therefore at 180 Arms peak from controller from Bamocar D3, the motor power is:

$4015 [RPM] * 180 Nm \div 9550 = 75 [kW]$  This is the maximum which you can expect with this controller.

If you

want more power you need higher dc voltage to get higher RPM and also higher motor current. You need app 280 Arms peak (which gives app 230 to 240 Nm of torque). So if you can increase the current you will be closer to 100 kW. But we recommended that you increase the battery voltage to get higher RPM and consequently higher power.

## 21. Usage of EMRAX motors for electric vehicles (EV)

### How to calculate power and torque for EV?

1. First you have to calculate the torque that will be needed for the vehicle (torque on the wheels):

Example:

EV weight:	G = 1700 kg
Acceleration time from 0 km to 100 km/h (= 27,78 m/s):	t = 5 sec

Acceleration:

$$a = v \div t = 27,778 \text{ m/s} \div 5 \text{ s} = 5,55 \text{ m/s}^2$$

Force for acceleration:

$$F = 1700 \text{ kg} * 5,55 \text{ m/s}^2 = 9444,5 \text{ N}$$

Torque on the wheels (wheel diameter 0,64 m):

$$Mt = 9444,5 \text{ N} * 0,32 \text{ m} = 3022,2 \text{ Nm}$$

3000 Nm is a torque on the wheels, which is needed to accelerate the vehicle (EV weight is 1700 kg) from 0 km/h to 100km/h.

2. Now you need to consider the transmission gear (TG) ratio and calculate the torque:

Example:

Differential ratio is approximately 3:1, TG ratio is approximately 4:1. Therefore total ratio in the first gear is:

$$\text{total ratio} = 3 * 4 = 12$$

For example, one EMRAX 228 motor can deliver 240 Nm peak torque and 120 Nm continuous torque. Therefore peak torque on the wheels in first gear is:

$$\text{total peak torque on the wheels in first gear} = 12 * 240 \text{ Nm} = 2880 \text{ Nm}$$

In this case close to 3000 Nm of peak torque in first gear can be expected. In the second gear the torque is lower. Only higher gear can deliver higher and finally end speed of EV.

End speed also depends on the maximal battery voltage (Vdc) and magnetic field weakening (MFW) – more information in Item 9. Final EV speed can be even higher if magnetic field of the motor is weakened. This can be done in the controller settings. Power stays the same at higher speed. Power of EV is rising at higher speed because of the air drag.

EV needs enough high torque for starting EV and driving up the hill. 15% slope is minimal for torque calculation.

### 3. Torque, power calculation:

$$P [kW] = n [RPM] * Mt [Nm] / 9550$$

At lower RPM (motor rotation), you can expect lower motor power at the same torque. At higher motor speed you can expect higher motor power at the same torque.

Mt.....torque [Nm]

P.....power [kW]

n.....motor rotation [RPM]

Very important considerations when calculation power and torque for EV:

- acceleration
- air drag at higher speed
- driving up the hill

Usually there is no need to add higher torque for climbing up the hill, because there is enough high torque in the first gear in the case of using TG. Only EV speed is lower. Normally we do not need to drive up the hill at full speed.

EV must start with good acceleration even at very low RPM or at zero speed. Therefore the most important are motor torque and reduction drive ratio (belt drive, chain drive, differential or transmission gear etc.).

### Mounting options of EMRAX motor for electric car:

- In-wheel (in Item 6)
- On the differential
- In the transmission gear (TG).

Firstly, you should know how much torque you need on the driven wheels.

- 1.) If you use the transmission gear then one EMRAX 208 gives enough power:  
1900 Nm peak / 900 Nm continuous in the first gear.
- 2.) EMRAX 228 mounted in the TG is better option. You can expect much better EV acceleration, also you will be able to drive up the hill at higher gear:  
3800 Nm peak / 1900 Nm continuous in the first gear .
- 3.) EMRAX 228 is useable for lighter EV if mounted directly on the differential:  
nearly 1000 Nm peak / 500 Nm continuous on the wheels at full range of motor RPM.
- 4.) EMRAX 268 is useable for heavier vehicles if mounted directly on the differential:  
approximately 1600 Nm peak / 800 Nm continuous on the wheels at full range of motor RPM.
- 5.) If EMRAX 268 is mounted in the TG, than you can expect very high torque:  
6000 Nm peak / 3000 Nm continuous on the wheels at full range of motor RPM.  
You can also use EMRAX TWIN (torque/power is doubled). Peak torque means that the power lasts 1-2 minutes.

**Example of calculation for electric Audi ETT:**

Engine:	1x EMRAX 268 MV CC(IP21)
Differential gear ratio:	i = 2,65 (BMW differential)
EV weight:	G = 1500 kg
Peak / continuous motor torque:	500 Nm / 250 Nm
Wheel diameter:	D = 0,64 m
Battery capacity:	Qbat = 30 kWh

**Acceleration:**

Maximal torque on the front wheels:

$$M_w = 500 \text{ Nm} * 2,65 = 1325 \text{ Nm}$$

Force that is needed for this torque:

$$F = M \div r = 1325 \text{ Nm} \div 0,32 \text{ m} = 4140,6 \text{ N}$$

Acceleration is:

$$a = F \div m = 4140,6 \text{ N} \div 1500 \text{ kg} = 2,76 \text{ m/s}^2$$

Acceleration time from 0 to 100 km/h (=27, 77 m/s):

$$t = v \div a = 27,77 \text{ m/s} \div 2,76 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ s}$$

**Final EV speed:**

Nominal DC battery voltage:	384 Vdc
Specific load motor speed:	7,5 RPM/1Vdc at full load

Maximal motor RPM according to specific load motor speed:

$$N_{mot} = 348 Vdc * 7,5 RPM/1Vdc = 2880RPM$$

Maximal wheel rotating at full load:

$$Nw = 2880 RPM \div 2,65 = 1087 RPM$$

Circumference of the wheel:

$$Cr = 2 * 3,14 * 0,32 m = 2,01 m$$

Maximal EV speed without magnetic field weakening:

$$V_{max} = 1087 RPM * 60 * 2,01 m \div 1000 = 131,1 km/h$$

!Note: Maximal EV speed can be much higher at the same power with magnetic field weakening (MFW). This setting can be made in the controller software.

### Travel range with 30 kWh of battery capacity:

Average power, which is needed to drive EV approximately 100 km/h, is approximately 12 kW motor power. Therefore theoretically expected travel range is close to 250 km with one charging of the batteries. In practice the producer of the batteries does not recommend 100% discharging of the batteries, therefore 200 km is what can be expected in reality.

## 22. EMRAX Certificates

EMRAX motors are in the process of obtaining certificates.

Until now the EMRAX motor obtained the EMC certificate (E26) – electromagnetic field testing. This means that the motor complies with essential protection requirements of EMC Directive 2014/30/EU. EMRAX approval number is: **E26 10 R 05 1160**. EMC certificate is important for electric vehicles.

## 23. EMRAX disclaimer

The EMRAX Company does not assume any responsibility for difficulties, which are the result of inappropriate configuration, electric system structure and settings that are not in accordance with the latest version of the Manual for EMRAX motors. Every motor is tested before shipping at ambient conditions and parameters, which are described in the Technical Data Tables. If EMRAX motors are not used in accordance with this manual it causes a void of warranty. Products of the EMRAX Company have been developed for usage on electric vehicles, planes, boats, power plants. Company EMRAX assumes no liability in case a customer uses components for the purposes for which they have not been developed or tested, and especially not for the purpose of presenting a direct threat to human life or health. The EMRAX Company does not assume any responsibility for damages caused by using the motors for testing purposes in circumstances which differ from standard usage of the motor. Any responsibility of the EMRAX Company expires in one year after the delivery of the motor. For maintenance and usage standards see Manual for EMRAX motors. The EMRAX Company does not take any responsibility on damages, injuries or other consequential losses caused by product failure of the user or any third person.

General Terms and Conditions of the EMRAX Company are available here: [www.emrax.com](http://www.emrax.com)



## 24. Service

In case of a fault or damage, contact Company EMRAX:

EMRAX d.o.o.  
Pod hribom 4  
1235 Radomlje  
Slovenia, Europe

Phone: +386 8 2053850  
E-mail: [info@emrax.com](mailto:info@emrax.com)  
Web site: [www.emrax.com](http://www.emrax.com)

We now wish you lots of fun and success with your high performance EMRAX engine.

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## ANEXO-CONTROLADORA BAMOCAR D3 FSULL

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019



# MANUAL

## Digital three-phase Servo Amplifier

### BAMOCAR D3

EC synchronous servo motors

AC asynchronous servo motors



**UNITEK**

Industrie Elektronik  
G m b H

Hans-Paul-Kaysser-Straße 1  
71397 Leutenbach – Nellmersbach

Tel.: 07195 / 92 83 – 0  
Fax: 07195 / 92 83 – 129  
[info@unitek-online.de](mailto:info@unitek-online.de)  
[www.unitek-online.de](http://www.unitek-online.de)

**Edition / Version**

01 / 2016 V 2

1	Contents	
2	Basic information .....	3
2.1	History .....	3
2.2	Further UNITEK products .....	3
2.3	Engineering instructions (MANUAL) .....	3
2.4	Validity.....	4
2.5	Designations and symbols.....	4
2.6	General product information .....	5
2.7	Applications/build/features .....	6
2.8	Safety regulations.....	8
2.9	Commissioning .....	10
2.10	Safety advices.....	11
2.11	Intended applications.....	12
2.12	Regulations and guidelines .....	13
2.13	Risks.....	14
2.14	Technical data .....	15
3	Mechanical installation .....	18
3.1	Important notes .....	18
3.2	Dimensions BAMOCAR.....	19
3.3	Mounting onto mounting rails .....	21
3.4	Mounting onto a mounting surface .....	21
4	Electrical installation .....	22
4.1	Important advices .....	22
4.2	Circuit diagram .....	23
4.3	Connection diagram.....	25
4.4	EMC advice.....	26
4.5	Connectors Standard version .....	27
4.6	Power connections 1000V / 400A.....	30
4.7	Battery connection.....	31
4.8	Auxiliary voltage connection.....	32
4.9	Motor power connection .....	33
5	Control connections .....	34
5.1	Digital inputs .....	34
5.2	Safety input RFE (Rotating field enable) Stop class 0.....	35
5.3	Digital outputs (open emitter) .....	36
5.4	Analog input +/- 10V .....	37
5.5	Serial interface RS 232.....	38
5.6	CAN-BUS.....	39

- 5.7 Resolver connection ..... 40
- 5.8 Encoder connection TTL ..... 41
- 5.9 SIN COS 1Vss connection..... 43
- 5.10 Rotor position encoder - connection via a bl-tacho..... 44
- 5.11 Option - State displays..... 45
- 5.12 Option - Error displays..... 46
- 5.13 Option - Warning signals ..... 47
- 6 Measured data ..... 48
  - 6.1 Bus circuit battery voltage..... 48
- 7 Bus circuit dc bus voltages (battery voltage) ..... 49
  - 7.1 Bus circuit dc / bus voltages ..... 49
- 8 Output stage temperature ..... 50
  - 8.1 Output stage temperatur ..... 50
- 9 Warranty ..... 51
  - 9.1 Warranty ..... 51



## 2 Basic information

### 2.1 History

Version	Modifications	Date
01/2016 – V1	Complete revision	28.01.2016
01/2016 – V2	Electrical installation / Connector added	30.08.2016

### 2.2 Further UNITEK products

For synchronous and asynchronous motors			
Digital AC servo amplifiers (mains up to 480V~)		UNITEK	DS205, DS403, DPCxx
Digital AC servo amplifiers for battery operation		UNITEK	Serie BAMOBIL-D3
Analog three-phase servo amplifier (mains 400V~)		UNITEK	Serie TVD
For dc motors			
Analog DC servo amplifier for battery operation			Serie BAMOBIL-A
Analog DC servo amplifier (operation via the mains)		UNITEK	Serie TV
Thyristor current converter 1Q, 4Q, servo		UNITEK	Classic serie 200W bis 800kW

### 2.3 Engineering instructions (MANUAL)

- |    |        |                       |                               |
|----|--------|-----------------------|-------------------------------|
| 1. | MANUAL | BAMOCAR               | Hardware                      |
| 2. | MANUAL | NDrive x              | Software                      |
| 3. | MANUAL | Commissioning BAMOCAR | Commissioning - error detect. |

**Use all three MANUALS for the engineering, the installation, and the commissioning!**

CD (UNITEK-DOKU-SOFT) supplied with the delivery of the units.

Online available as download version on the UNITEK website ([www.unitek-online.de](http://www.unitek-online.de) or [www.unitek.eu](http://www.unitek.eu)).




The hardware MANUAL comprises warning and safety advices, explanations of standards, mechanical and electrical installation advices.

The MANUAL must be available for all persons who are concerned with the unit.

**2.4 Validity**

Hardware state:	TMS 2-3d, driver 1-8
Firmware state:	FW 460

**2.5 Designations and symbols**

<b>Unit:</b>	BAMOCAR D3
<b>User:</b>	Manufacturers or operators of machines or installations in the industrial sector (B2B, secondary environment).
<b>Manufacturer:</b>	UNITEK Industrie Elektronik GmbH
<b>Dealer:</b>	
	<b>Caution – Danger to life! High voltage!</b>
	<b>Warning! Important!</b>
	<b>Dangerous electric fields!</b>

**Scope of delivery**

BAMOCAR- D3-x device, documentation, CD UNITEK DOKU-SOFT in the box.

Not included (to be ordered as accessories):

Power connector: Pfisterer P1 350205-101

Control connectors:

X1 ..( In/Out) = Binder 99-5662-15-19

X7 (Feedback) = Binder 99-5661-15-19

X9 (CAN BUS) = Binder 99-0436-14-05

Programming cable X10 = Article no. 2390 Connector Binder 79-3464-52-06



## 2.6 General product information

The digital 3-phase current servo amplifiers **BAMOCAR D3xx** in combination with the motor provide a 4-quadrant drive which can be used in both rotation directions for drive operations and brake operations with energy feed-back.

According to the installed parameter components the amplifiers are suitable for EC synchronous motors, ac asynchronous motors, or dc motors.

The individual drive versions have different advantages and disadvantages.

The **EC drive** (synchronous motors) has the highest efficiency and performance per weight and volume and provides a drive solution free of maintenance and with a wide dynamic control range. However, the high braking torque in case of motor short-circuits is a disadvantage and it is also difficult to control the field weakening range.

From the electrical view, the EC synchronous motor (brushless dc motor) is a synchronous motor with a permanent magnet rotor and a three-phase current stator.

The physical characteristics correspond to those of dc motors, i.e., the current is proportional to the torque and the voltage is proportional to the speed. The speed is steadily controlled up to the current limit (max. torque). In case of an overload the speed drops and the current remains constant.

The speed/torque characteristic is rectangular.

Current, speed, and position are precisely measured. The field frequency is not controllable, it is automatically adjusted.

The motor voltages and the motor currents are sinusoidal.

The **ac drive** (asynchronous motors) has the widest speed range due to the single field weakening and there is no braking torque in case of a motor circuit. However, the unit size and the worse efficiency is a disadvantage. The rotating field frequency can be controlled in due consideration of the motor specific parameters (field-based control). The motor voltages and motor currents are sinusoidal.

With both 3-phase current systems there will be no motor movement neither when the rotating field is switched off nor in case of an output stage damage. Most of the heat losses are generated in the motor stator.

The **dc drive** (dc motor) has the most uniform running and a wide control range. It is possible to provide an emergency operation by directly connecting the battery voltage. The carbon brushes and the heat development in the armature are disadvantages. The drive may run at high speed in case of an output stage damage.

The current is proportional to the torque and the voltage is proportional to the speed.

Current, speed, and position are precisely measured. The speed is steadily controlled up to the current limit (max. torque). In case of an overload the speed drops and the current remains constant. The speed/torque characteristic is rectangular. Field weakening might occur with separately excited motors.

The **BAMOCAR D3xx** can be used as position amplifier or torque or speed amplifier.

The speed actual value is generated in the encoder unit (resolver or others) or internally generated (without sensors). It is necessary to provide an encoder system for wide control ranges and high control dynamics.

### Warning/Attention:

For dc, ac, or bl-servo amplifiers which are supplied via the dc mains, it must be checked that the energy is fed back into the bus during brake operation.

(External ballast circuit)



## 2.7 Applications/build/features

**Application** in all kinds of vehicles, boats, machines, and installations with a drive power of 140kW under hard application conditions, especially as 4Q-servo-drive for

- highly dynamic acceleration and braking cycles
- a wide control range
- a high efficiency
- small motor dimensions
- a uniform, accurate and smooth running
- for the speed or torque control or combined speed/torque control incorporated within or independent of position control loops. For drives with constant speed as in conveyors, spindle drives, pumps, transversal or longitudinal pitch drives, synchronous multiple motor drives.

### Particularly suitable for:

Battery-driven vehicles such as electric vehicles and boats, forklifts, transportation systems as well as battery-supplied machines and installations such as assembly machines, metal working machines, food processing machines, robots and handling systems, conveyors, stone working machines, and for many other battery-supplied applications.

### Build:

- Robust unit for switch cabinet mounting according to the VDE, DIN and EC regulations, protection rating **IP65**
- for rough ambient conditions and high dynamic overloads
- maintenance-free
- power connections protected against accidental contact with exposed parts
- power electronics for (S1 operation) 125A, 200A
- power input range nom. 12 to 700V=
- liquid cooling (special version air cooling)
- standard digital control electronics
- Independent 12/24V chopper power supply unit for the auxiliary voltages

### Galvanic isolation between:

- power connection, motor connection, and all other control connections
- auxiliary connection and all other voltages
- housing and heat sink
- the distances of air gaps and leakage paths adhere to the EU standards
- no internal isolation watchdog, Y2 capacitors to the housing

### Components:

- Completely isolated IGBT power semi-conductors, comfortably over-dimensioned
- Only components customary in trade and industrially standardised are used
- SMD equipment

**Characteristics:**

Battery connection 12V= to 700V= (dc mains, take restrictions into account)

- 9 Independent auxiliary voltage connection 24V= or 12V=
- 9 Digital interfaces RS232, CAN BUS (further option)
- 9 2 analogue inputs, programmable differential inputs
- 9 Digital inputs/outputs, programmable, optically de-coupled
- 9 Linear command value ramp, non-linear (s-function)
- 9 Logic for enable and the output stage switch, emergency stop function, safety
- 9 BTB ready for operation, solid state relay contact
- 9 Position, speed and torque control
- 9 Feedback encoder systems: resolver, incremental encoder, SINCOS 1 Vss, rotor position + bl  
tacho
- 9 Static and dynamic current limiting
- 9 Uniform, completely digital control unit
- 9 Processor-independent hardware switch-off in case of over-voltage, under-voltage, short-  
circuits, circuits to earth, and over-temperature at the amplifier or motor
- 9 Intrinsically safe and short-circuit proof power section (EN50178)

**Attention: Braking energy**

The braking energy is fed to the battery.  
The battery must absorb the braking energy.

**Note:**

Pay particular attention when used with laboratory power supplies.

For dc mains the braking energy must be absorbed in the mains without the voltage exceeding the permissible value. If this cannot be guaranteed, a ballast circuitry must be used.

**Note:****For non-earthed systems (vehicles, boats, machines)**

the isolation between parts accessible to touching and high voltages must be guaranteed and monitored by using independent isolation monitors.

## 2.8 Safety regulations

In principle electronic equipment is not fault proof!

### Caution - High voltage

**DC 800V=**

**Shock hazard! / Danger to life!**

**Discharge time of the bus circuit >4min.**



Before installation or commissioning begins, this manual must be thoroughly read and understood by the skilled technical staff involved. It must be ensured that the documentation (manuals) and thus, the knowledge of the unit and especially the safety advices must be available for all persons who are concerned with the unit

If any uncertainty arises or if any function is not or not sufficiently described in the documentation, the manufacturer or dealer should be contacted.

Any incorrect installation/connection may damage the device!

Any incorrect programming may cause dangerous movements!

#### Intended applications:

The devices of the BAMOBIL-D3 are power electric parts used for regulating energy flow. They are designed as components to control EC synchronous motors, ac asynchronous motors in vehicles, machines, or installations.

For applications in residential areas additional EMC measures are necessary.

Any other type of application must be approved by the manufacturer.

The user must draw up a hazard analysis for his end product.

Protection rating IP65

#### Connection only to batteries

**Operation only allowed when the device is closed!**

**The control and power connections can be charged with high voltage without an active operation!**

**The minimum discharge time of the bus circuits is at least 4 minutes!**

**Measure the voltage before any disassembly!**



The user must draw up a hazard analysis for his machine, vehicle, or installation.

**The user must ensure that in the event of:**

- device failure
- incorrect operation,
- loss of regulation or control

the axis will be safely de-activated.

It must also be ensured that the vehicles, machines, equipment, or vehicles are fitted with device independent monitoring and safety features.

The user must take appropriate measures so that man as well as property are not exposed to danger due to incorrect or improper movements at any time!



Im Betrieb muss das Gerät geschlossen sein.

All plugged connectors must be snapped properly or secured by screws.

The safety systems must be enabled.

When the device is open and/or the safety systems are de-activated, it must be ensured by the operator that only skilled and suitably trained personnel has access to the units.



**Assembly**

- should only be carried out when all voltages have been removed and the units are secured
- should only be carried out by suitably trained personnel

**Installation**

- should only be carried out when all voltages have been removed and the units are secured
- should only be carried out by suitably trained personnel for electricians
- should only be carried out in accordance with health and safety guidelines

**Adjustments and programming**

- should only be carried out by suitably trained personnel with knowledge in electronic drives and their software
- should only be carried out in accordance with the programming advice
- should only be carried out in accordance with health and safety guidelines

## 2.9 Commissioning

The battery servo amplifiers BAMOBIL D3 are components of the electronic drive technology. They are functional only in connection with an electrical consumer (e.g. a motor). Their use is limited for commercial applications.

When mounting the units into vehicles, boats, machines, and installations the proper operation of the units may not be started until it is ensured that the machine, the installation, or the vehicle comply with the regulations of the EC machinery directive 2006/42/EG and the EMC guideline 2004/108/EG.

On the installation and test conditions described in the chapter 'EMV advices' it is adhered to the EC guideline 2004/108/EG including the EMC standards EN61000-2 and EN61000-4.

For applications in residential areas additional EMC measures are necessary.

A manufacturer's declaration can be requested.

The manufacturer of the machine or installation is responsible for observing the threshold values demanded by the EMC laws.

## 2.10 Safety advices

### Machinery directive

The manufacturer of the machine or installation must draw up a hazard analysis for his product. He must make sure that any unpredictable movements do not cause damage neither to persons nor to property.

### Skilled personnel

#### Hardware

The skilled qualified personnel must feature a training and instruction for an assignment in the field of electronic drive engineering. They must have knowledge of the standards and accident prevention regulations for drive engineering applications and they must be familiar with this field of activity. Eventually occurring dangerous situations are realized.

The local regulations (IEC, VDE, VGB) are known to the qualified personnel and they are observed during the works.

#### Software

The skilled qualified personnel for handling the software must be trained to safely program the units in the machines and installations. Incorrect parameter settings may cause improper and impermissible movements. Any parameter settings have to be checked for faulty operation. Acceptance tests must be thoroughly carried out according the four-eyes principle

### Working environment

Incorrect handling of the units may cause damage to persons or property.

The units must be closed during operation.

Any unit covers must not be removed!

Disconnect the power supply prior to any works on electric connections. It must be ensured the battery voltage is safely switched off.

Any voltages and residual voltages (buffer circuit) must be measured prior to any works on the unit. Max. permissible voltage <42V.

High temperatures (> 70°C) may arise.

The working environment may be dangerous for persons having electronic medical aids or appliances (e.g. cardiac pacemakers). Sufficient distance to these electrical parts must be observed.

### Exposure

During transport and storage the prescribed and specified climatic conditions must be adhered to. The units must not be mechanically damaged. Warped and bent housing parts may influence or damage the isolation distances. Damaged units must never be installed!

The units comprise parts which may be damaged by electrostatic discharge. The general recommendations for handling electrostatic devices must be observed. Special attention should be paid to strongly isolating plastic films and synthetic fiber.

For the operation it must be ensured that the environmental conditions in the switch cabinet are adhered to. This applies in particular to the impermissible condensation on the units.

### 2.11 Intended applications

The devices are designed as components to control EC synchronous motors and ac asynchronous motors in vehicles, boats, machines, or installations.

Any other type of application must be approved by the manufacturer.

Protection rating IP65.

The devices must only be mounted in vehicles, boats, machines, or installations.

For applications in residential areas additional EMC measures are necessary.

The user must draw up a hazard analysis for his end product.

Power connection only to batteries. Isolation watchdogs must be installed for voltages >60V.

The capacities between clocked power modules and the housing (0.022µF Y2 capacitors). Use external insulation measuring instruments.

The control connections (terminal X1, plugs X7, X8, X9, X10) of the unit comply with the "safe electrical isolation SELV" acc. to EN 61800-5-1. The user must ensure that the complete control wiring complies with the standards.

It must be paid attention to the equipotential bonding for components which are connected to the unit and which do not have isolated inputs and outputs (equalizing connection GND). The equalizing currents may destroy components and parts.

When measuring the isolation the units must be disconnected or the power connections must be bridged together and the control connections must be bridged together.

Non-observance will cause damage to the semi-conductors in the unit.

Repeating circuits to earth and short circuits the values of which are all below the response threshold for short circuits may cause damage to the output stages (conditionally short-circuit proof acc. to standard EN 50178, EN61800-5-1).

#### **Impermissible applications**

- in life-sustaining medical devices or machines
- connection to power supply units or dc power supplies without protection circuits
- on ships
- in explosive environments
- in environments with acrid fumes



### 2.12 Regulations and guidelines

The device and its associated components can only be installed and switched on where the local regulations and technical standards have been strictly adhered to:

EG Guidelines	2004/108/EG, 2006/95/EG, 2006/42/EG, 2002/96/EG
EG Standards	EN60204-1, EN292, EN 50178, EN60439-1, EN61800-3, ECE-R100
International standards	ISO 6469, ISO 26262, ISO 16750, ISO 20653, ISO 12100
IEC/UL	IEC 61508, IEC364, IEC 664, UL508C, UL840
VDE Regulations and TÜV Regulations	VDE 100, VDE 110, VDE 160
Regulations of the statutory accident insurance and prevention institution	VGB4

#### EU standards and regulations observed for the components of the unit

Standard	Description	Version
EN 60146-1,-2	Semiconductor converters	2010
EN 61800-1,-2,-3	Speed-variable electrical drives	2010
EN 61800-5-1	Electric power drive systems	2010
EN 60664-1	Isolation coordinates - low voltage	2012
EN 61010	Safety regulations - control units	2011
EN 61508-5	Functional safety of electric, electronic systems	2011
EN 60068-1,-2	Environmental influences	2011
ISO 20653	Type of protection of the electrical equipment of vehicles	
ECE-R100	Conditions for battery-driven electric vehicles	
UL 508 C	UL Regulations - converter	2002
UL 840	UL Regulation - clearance and creepage distances	2005

#### EU standards and regulations which must be observed by the user

Standard	Description	Version
EN 60204	Safety and electrical equipment of machines	2011
EN 50178	Equipment of power plants	1998
EN 61800-3	Speed-variable electric drives - EMC	2010
EN 60439	Low voltage switching device combinations	2011
EN 1175-1	Safety of electric industrial trucks	2011
ISO 6469	Electric road vehicles	2009
ISO 26262	Functional safety of electric road vehicles	2011
ISO 16750	Electrical components - vehicles	2010
ISO 12100	Safety of machines	2011
ISO 13849	Safety of machines and controls	2011
IEC 364	Protection against electric shocks	2010
IEC 664	Isolation coordinates - low voltage	2011

### 2.13 Risks

The manufacturer aims to keep the remaining risks emanating from the unit as low as possible by means of constructive, electrical, and software measures.

In the field of drive engineering the following known remaining risks must be considered regarding the risks arising from machines, vehicles, and installations.

#### Impermissible movements

caused by:

- failure of safety watchdogs or switched-off safety watchdogs during commissioning or repair works
- software errors in upstream controls, errors in bus systems
- non-monitored hardware and software errors in actuating elements and connecting cables
- inverted sense of control
- faults during the parameter setting and wiring
- limited response time of the control features. Ramps, limits
- operations not permitted in the specifications
- electromagnetic interferences
- electrostatic interferences, lightning strikes
- failure of components
- failure in the brakes



#### Dangerous temperatures

caused by:

- faults during the installation
- faulty connections, bad contacts, aging
- faults in the electric safety system, incorrect types of fuses
- operations not permitted in the specifications
- negative climatic conditions, lightning strikes
- failure of components

#### Dangerous voltages

caused by:

- faulty earthing of the unit or motor
- faulty connections, bad contacts, aging
- faulty potential isolation, failure of components
- conductive contamination, condensation



#### Dangerous fields

The units, the inductive and capacitive accessories as well as the power wiring can generate strong electric and electromagnetic fields. These fields may be dangerous for persons having electronic medical aids or appliances (e.g. cardiac pacemakers). Sufficient distance to these electrical parts must be observed.

The switch cabinet must be labeled accordingly.



## 2.14 Technical data

## For three-phase current motors

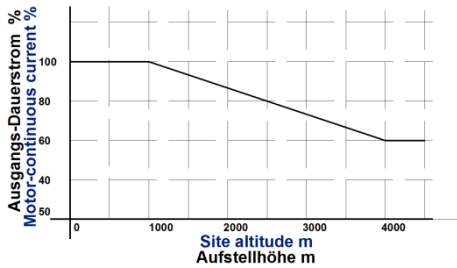
Auxiliary voltage connection	12V= to 700V=
Auxiliary voltage connection	12V= or 24V= $\pm 10\%$ / 4A (2A) residual ripple <10%, regenerating fuse

Data BAMOCAR D3-400-(700)	Dim.	125/250	200/400	125/250	200/400
Supply voltage, rated value	V=	24 up to max. 400		24 up to max. 700	
Max. output voltage, rated value	V~eff	up to 3x260		up to 3x450	
Continuous current	A <sub>eff</sub>	125	200	125	200
Max. peak current	A <sub>lo</sub>	250	400	250	400
Max. power loss	kW	2	3	2.6	4
Pulse frequency	kHz	8-24		8-16	
Over-voltage switching threshold	V=	440		800	
Input fuse	A	160	250	160	250
Weight	kg	8.5			
Dimensions h x w x d	mm	403x250x145			
Size		2			

Control signals		V	A	Function	Connector
Analogue inputs		$\pm 10$	0.005	Differential input	X1
Digital inputs	ON OFF	10-30 <6	0.010 0	Logic IO	X1
Digital outputs		+24	1	Transistor output open emitter	X1
Resolver / TTL / SINCOS				Differential input	X7
CAN interface				Logic IO	X9
RS232 interface				Logic IO	X10

<b>Ambient conditions</b>	
<b>Protection rating</b>	IP 65
<b>Standards</b>	EN60204, ISO 16750 , EN61800, IEC60146
<b>Protection class</b>	
<b>Over-voltage</b>	+10%
<b>Operating temperature range</b>	-10 to +45°C
<b>Extended operating temperature range</b>	-30 to 65°C from +45°C to +65°C performance reduced by 2%/°C
<b>Storage and transport</b>	-30°C to +80°C EN60721
<b>Installation altitude</b>	≤ 1000m above sea level 100 %, >1000m performance reduced by 2%/100m
<b>Cooling</b>	Liquid cooling unit max. 65°C, 12 l/min, pressure max. 1.3 bar
<b>Mounting position</b>	independent
<b>Contamination</b>	Contamination degree 2 acc. to EN 61800-5-1
<b>Vibration</b>	10Hz to 58Hz ampl. 0.075mm (IEC 60068-2-3) 58Hz to 200Hz 1g
<b>Shock</b>	15g for 11ms
<b>Environmental conditions</b>	<b>Not permissible:</b> condensation (dew), ice formation, oil mist, salt spray, water
<b>Humidity</b>	class F, humidity <85% <b>condensation not allowed!</b>

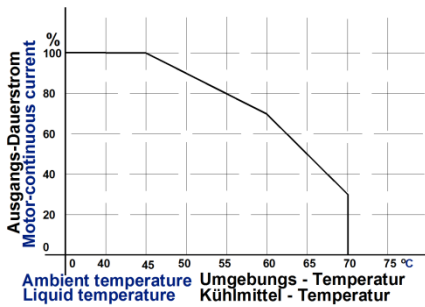
Current reduction (torque reduction)



Only with air cooling

Permissible current limit depending on the installation altitude

2-1 ED-Ired-Höhe-5



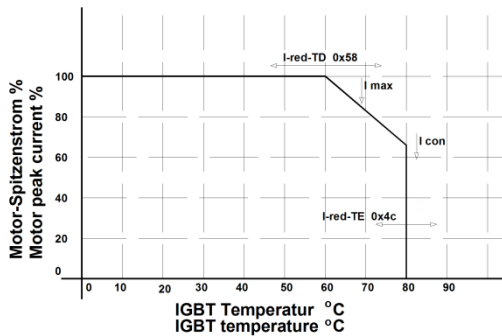
With air cooling

Permissible current limit depending on the ambient temperature

With liquid cooling

Permissible current limit depending on the temperature of the cooling agent

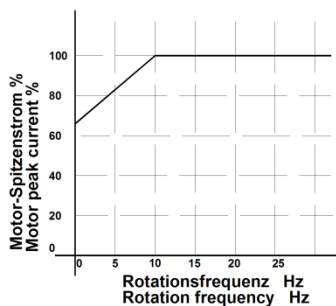
2-2 ID-Ired-Um-temp-5



Programmable current reduction depending on the IGBT module temperature. Starting temperature of the reduction I-red-TD 0x58

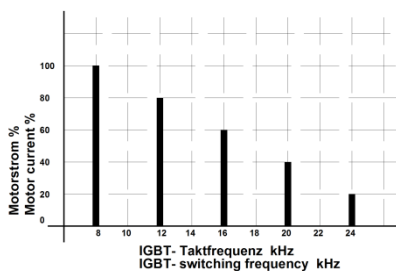
Final temperature of the reduction I-red-TE 0x4c

2-3 ED-Ired-IGBT-Temp-5



Automatic current reduction depending on the rotation frequency (motor speed)

2-4 ED-Ired-rot-5



Automatic current reduction depending on the pulse frequency

2-5 ED-Ired-IGBT-takt-5

### 3 Mechanical installation

#### 3.1 Important notes

Check the device for mechanical damage.  
Only devices in perfect working order can be mounted.

Disconnect the power supply prior to any assembly.  
Disconnect the positive and negative battery pole and the dc mains.  
The device must only be mounted by suitably trained personnel.

The mounting position of the devices with ground plate and those with additional cooling unit (air by means of fan, liquid) is arbitrary.

If the heat is not dissipated sufficiently the device switches off via its temperature watchdog.

Any bore hole dimensions for the fixation of the device must be taken from the dimension diagrams or from the drilling plan, not from the device.

The filter and the choke have to be mounted near to the device.

The line shields and the mounting plate must have surface-to-surface contact.  
The power supply lines (battery line and motor line) must be routed separately from each other.  
Observe the min. line cross-section.

A safe earth connection must be provided between the housing and the mass level (vehicle chassis earth, earth of the switch cabinet)

Unshielded cable heads must be kept short.

Only use specified connectors.

Use vibration-proof screw connections.

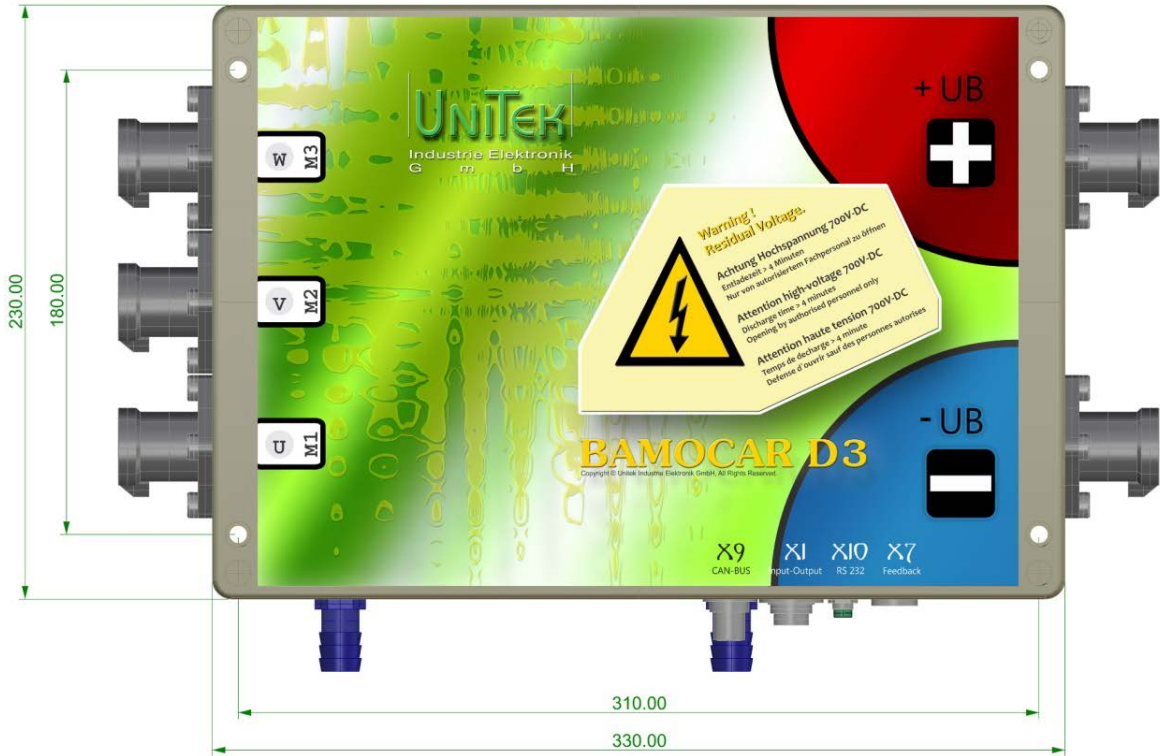
Power supply cables between the BAMOCAR and the battery must be as short as possible.

Long cables cause dynamic voltage drops due to the line impedance and as a consequence the service life of the installed capacitors would be reduced.

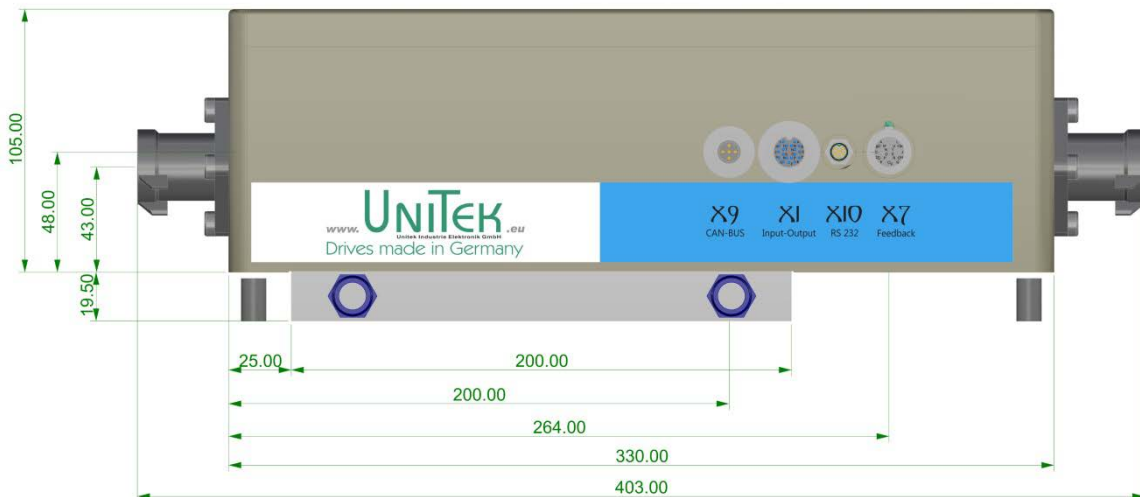


3.2 Dimensions BAMOCAR

Standard version (connectors partly equipped)



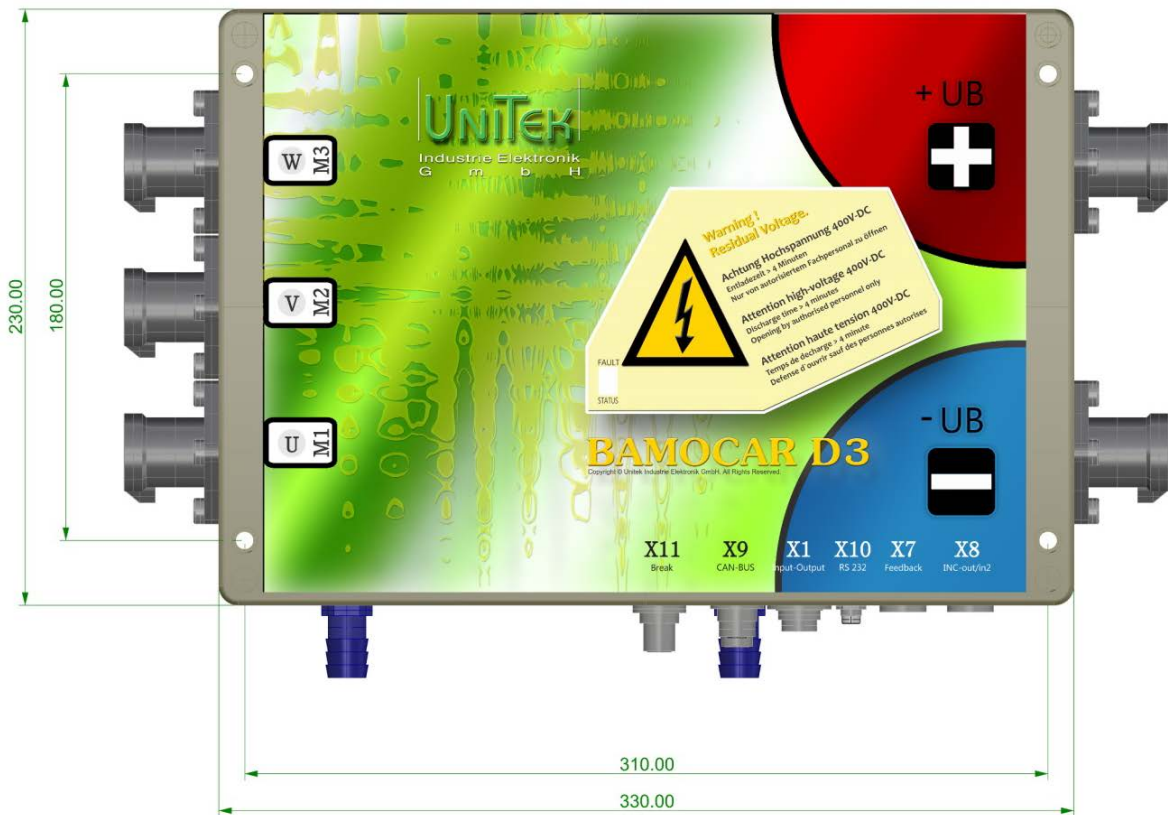
3-1 rh5-BAMOCAR-D3-V6-standard-oben



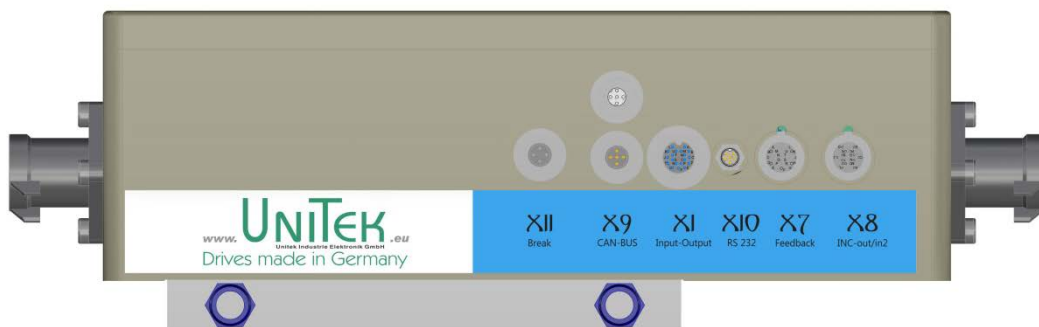
3-2 rh5-BAMOCAR-D3-V6-standard-seitlich

Option connectors completely equipped

Dimensions BAMOCAR



3-3 rh5-BAMOCAR-D3-V6-vollbestückt-oben



3-4 rh5-BAMOCAR-D3-V6-vollbestückt-seitl

**Liquid cooling**

**Connection**

**Hose connection:** metal ¼-13  
**Input temperature:** < 50°C  
**Flow rate:** max. 12l/min  
**Pressure:** max. 1.3 bar



### 3.3 Mounting onto mounting rails

4x screw M5x20

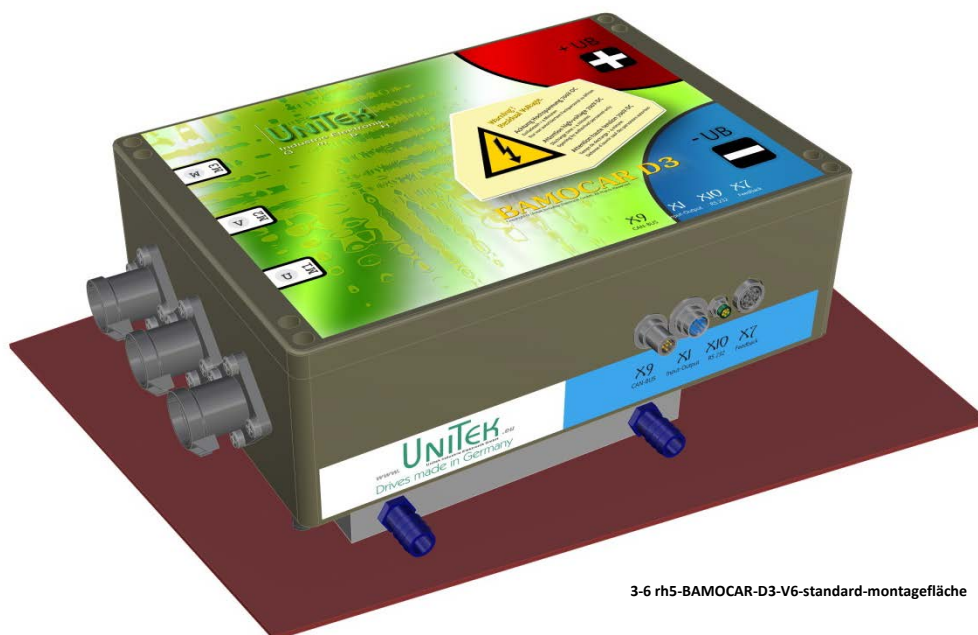


3-5 rh5-BAMOCAR-D3-V6-standard-montage

### 3.4 Mounting onto a mounting surface

4x distance pipe for M5 l = 20mm

4X screw M5x40



3-6 rh5-BAMOCAR-D3-V6-standard-montagefläche

## 4 Electrical installation

### 4.1 Important advices

The order of the connections to the connector or terminal numbers is obligatory!

All further advice is non-obligatory.

The input and output conductors may be altered or supplemented in accordance with the electrical standards and guidelines.

Adhere to:

- connection and operating instructions
- local regulations
- EU guideline 2996/42/EC
- guidelines for vehicles ECE-R100, ISO 6469, ISO 26262
- VDE and TÜV regulations and Trade body guidelines

Electrical installation should only be carried out when all voltages have been removed!

Ensure that the device is safely disconnected from the power supply

- place the short-circuit bracket
- affix warning signs

The installation should only be carried out by suitably trained personnel for electrical engineering.



Compare the connection data with those indicated on the type plate.

Ensure that the correct fuses have been provided for the power supply and the auxiliary voltage.

Power supply conductors and control lines must be routed separately from each other.

Connection shields and grounding must be carried out in compliance with the EMC guidelines.

Use the correct line cross-sections.

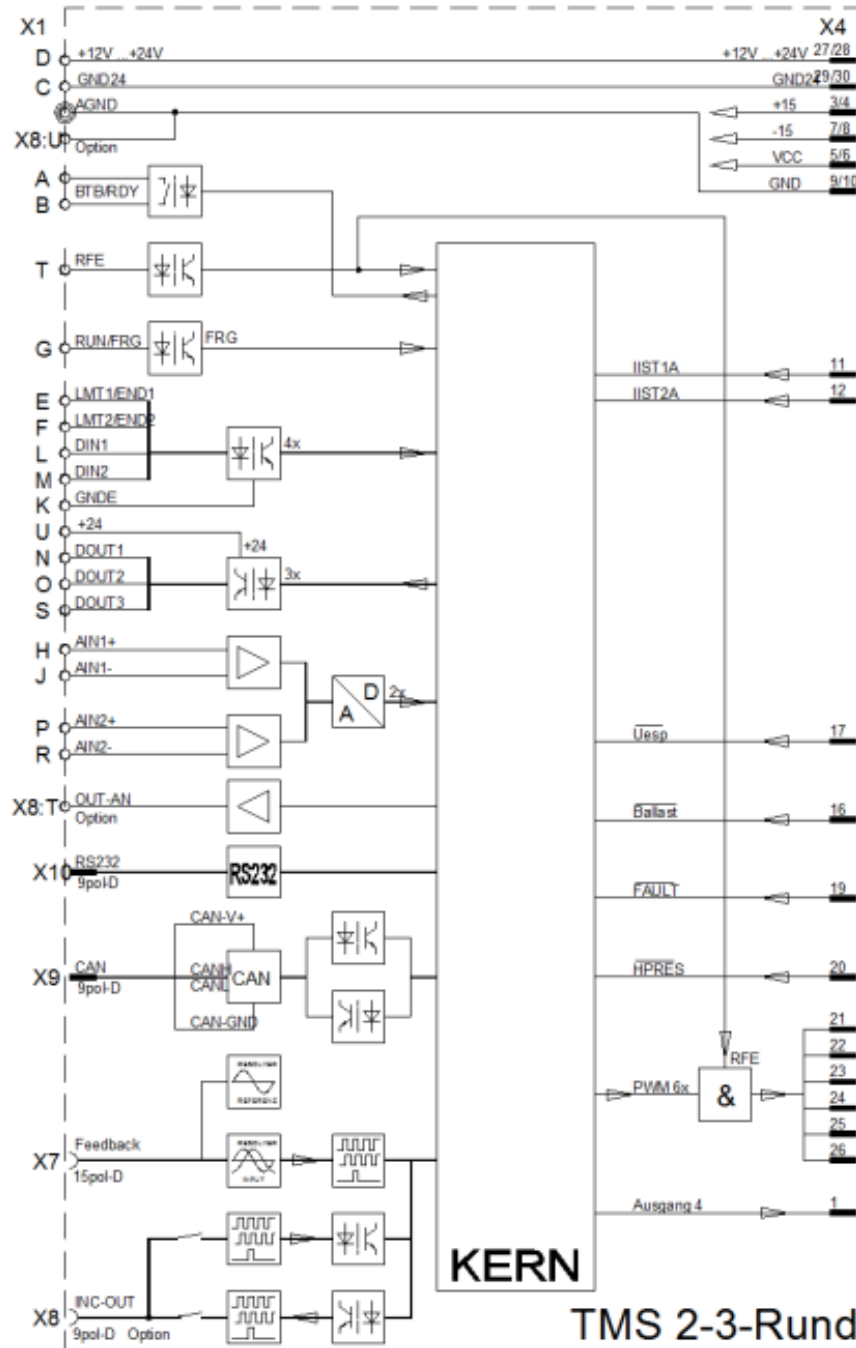
### Insert external isolation monitors!

**Note:** Bad or insufficiently rated cable connections between the battery and the device may cause damage to the device! (Brake energy)

**Note:** Power supply cables between the BAMOCAR-D3 and the battery must be as short as possible. Long cables cause dynamic voltage drops due to the line impedance and as a consequence the service life of the installed capacitors would be reduced.

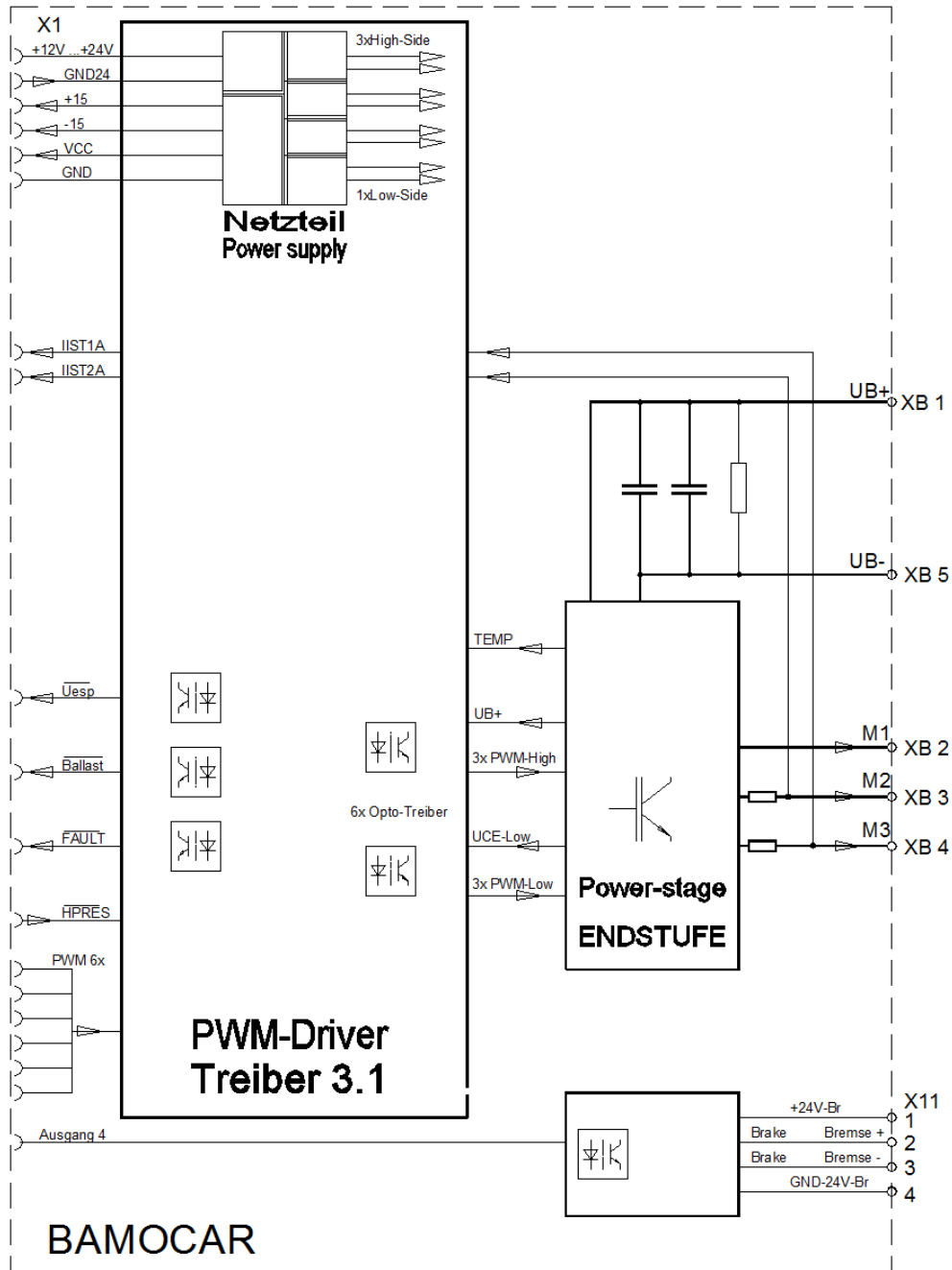


4.2 Circuit diagram



4-1 BAC-blockbild-3-TMS-rund

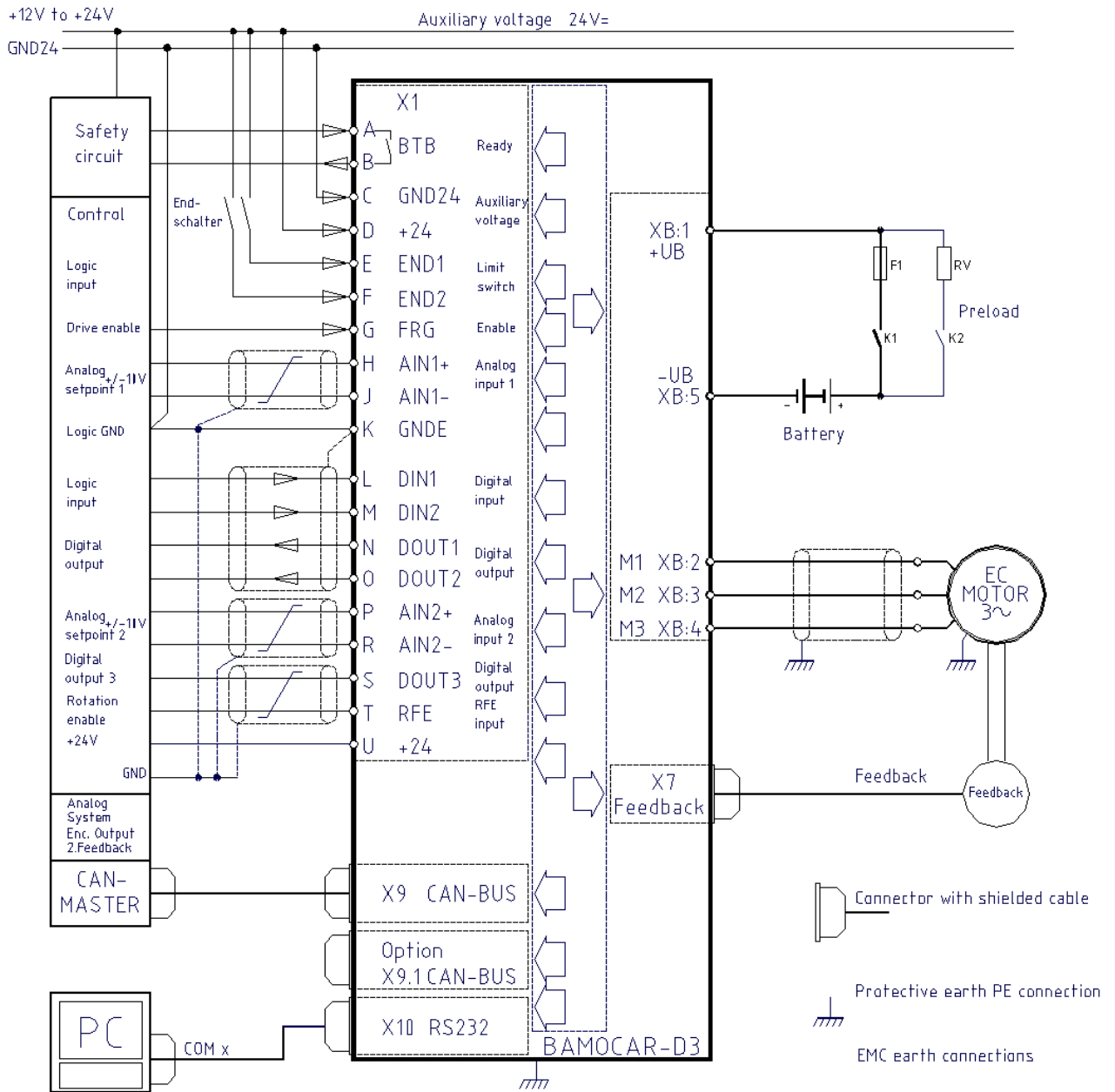
Circuit diagram



Circuit diagram

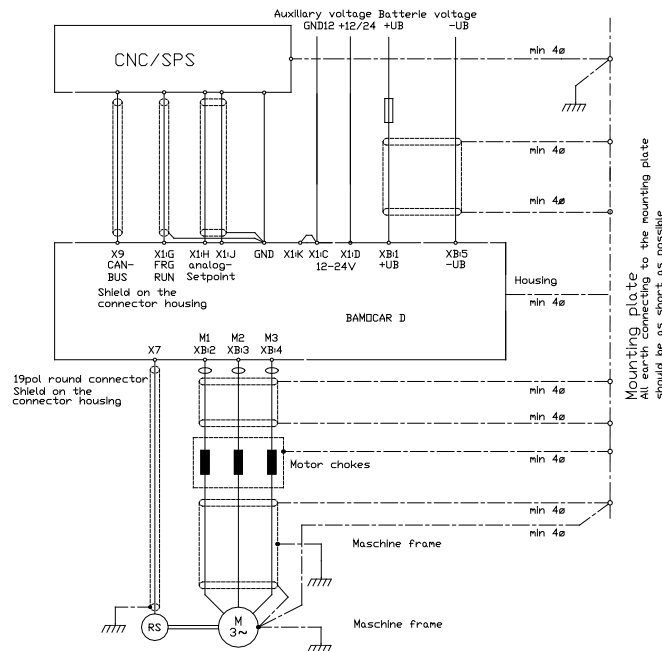
4-2 BAC-blockbild-3

### 4.3 Connection diagram



4-3 E-BAC-anschlussplan-1

4.4 EMC advice



4-4 E-BAC-emv-3

EMC advice

The devices adhere to the EU guidelines 2004/108/EC and the technical standard EN 61800-3 provided that the following conditions are observed:

**Mounting:**

- The device is conductively mounted on a 500x500x5 mm bright aluminium mounting plate.
- The mounting plate must be connected to earth using a 10mm<sup>2</sup> wire.
- The motor housing must be connected to earth using a 10mm<sup>2</sup> wire.
- The device ground X-AGND must be connected to the mounting plate using a 1.5mm<sup>2</sup> wire.
- Device PE screw X3:6 connected to the mounting plate using a 4mm<sup>2</sup> wire.

**Connection of the control conductors:**

All control conductors must be shielded. Analogue signal lines must be twisted and shielded. The shield must have surface-to-surface contact with the mounting plate (earth).

**Battery connection:**

360V dc voltage

**Motor connection:**

Motor lines must be shielded, and must have surface-to-surface contact

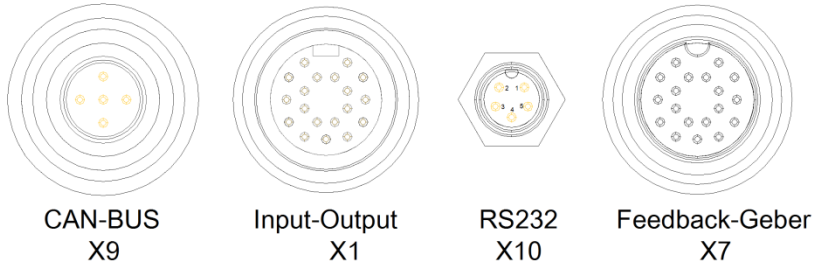
After having been mounted in machines and installations, the operation of the device must not be started until the machine or the installation has been approved of the regulations of the EC machine guideline 2006/42/EC and the EMC guideline 2004/108/EC, for vehicles ECE-R83 and ECE-R100.

A manufacturer's declaration can be asked for.



4.5 Connectors

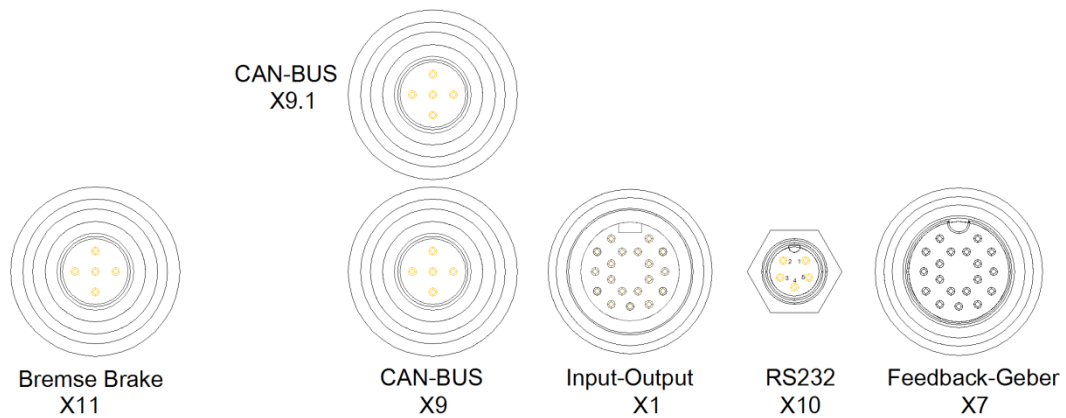
Standard version



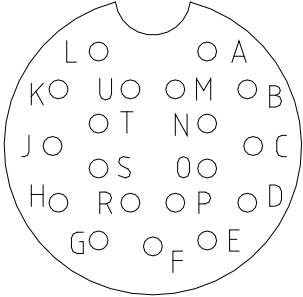
4-5 BAC-Steckerübersicht-teil-1

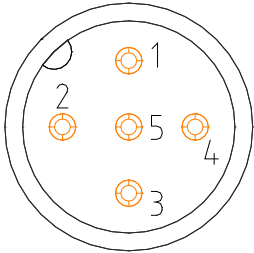
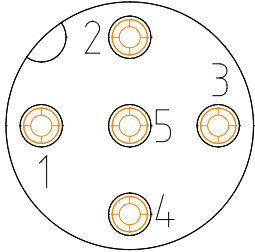
Option - completely equipped additionally installed:

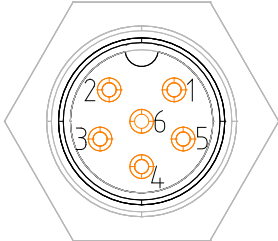
- X9.1 2nd CAN-Bus connector
- X11 Brake connector

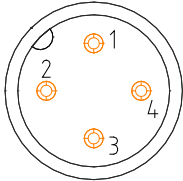


4-6 BAC-Steckerübersicht-voll-3

Connector X1		Control inputs/outputs		
A	brown	BTB	ready for operation	connector male
B	red	BTB		
C	pink	GND24	auxiliary voltage 0	 <p>4-7 binder-bu-14</p>
D	yellow	+24	auxiliary voltage +	
E	green	END1/LMT1	limit switch 1	
F	blue	END2/LMT2	limit switch 2	
G	violet	FRG/RUN	enable	
H	grey	AIN1+	analog input 1	
J	white	AIN1-		
K	black	GNDE	logic zero	
L	br-green	DIN1	digital input 1	
M	br-yellow	DIN2	digital input 2	
N	wh-green	DOUT1	digi-output 1	<p>Connector plug Binder 99-5662-15-19 connector female</p>
O	red-blue	DOUT2	digi-output 2	
P	wh-yellow	AIN2+	analog input 2	
R	wh-red	AIN2-		
S	wh-grey	DOUT3	digi-output 3	
T	wh-black	RFE	rotating field enable	
U	wh-blue	+24V	auxiliary voltage+	

Connector X9, X9.1	CAN	X9	Option X9.1
1	PE shield		
2	Supply IN		
3	CAN GND		
4	CAN H		
5	CAN L		
Connector plug		Binder 99-0436-14-05 (female)	Binder 99-0437-14-05 (male)

Connector X10	RS232	
1 brown	R2IN	
2 white	TxD	
3 blue	T2OU	
4 black	T2OU	
5 grey	RxD	
6 pink	GND	
		connector male device
		Connector plug Binder 79-3464-52-06 (connector female)

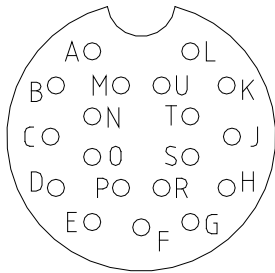
Option connector X11	brake	
1	+24 V-Br	
2	Brake +	
3	Brake -	
4	GND-24V-Br	
		connector male device
		Connector plug Binder 99-0429-15-04 (connector female)

4-11 binder-st-M12-5p    4-10 binder-bu-M12-5p    4-9 binder-st-M8-6p    4-8 binder-st-M12-4p



**Feedback encoder connector X7**

**Connector female device**



**Connector plug  
Connector male**

**Binder 99-5661-15-19**

4-12 binder-bu-19

Connector X7 Encoder plug Resolver		Connector X7 Encoeder plug INC-TTL		Connector X7 Encoder plus SIN/COS		Connector X7 Encoder plug bl	
A		A	channel A	A	channel ka+	A	MP tacho
B		B	channel /N	B	channel kr+	B	
C	SIN1	C	channel B	C	channel kb+	C	tacho 1
D		D	supply +5V	D	supply +5V	D	supply +15V
E	COS2	E	channel N	E	channel kr+	E	tacho 2
F		F	channel /B	F	channel kb-	F	
G	REF2	G	channel /A	G	channel ka-	G	tacho 3
H	temp signal	H	temp signal	H	temp signal	H	temp signal
J		J	temp GND	J	temp GND	J	temp GND
K	REF1	K	rotor position3	K	channel kd-	K	rotor positon3
L	temp GND	L	supply GND	L	supply GND	L	supply GND
M	COS1	M	rotor position2	M	channel kc+	M	rotor position2
N		N		N	channel kd+	N	
O	SIN2	O	rotor position1	O	channel kc-	O	rotor position1
P		P				P	
Encoder plug INC							

**For all connectors: connector view from the solder / crimp side**

4.6 Power connections 1000V / 400A

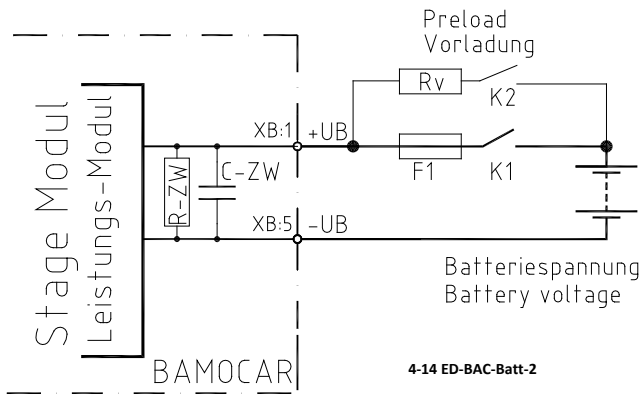
Connector socket pos. pole	Pfisterer P1 (350 205-301 (-Option -302))
Connector socket neg. pole	Pfisterer P1 (350 205-301)
Motor connectors	Pfisterer P1 (350 205-301)
Connector plug pos. pole	Pfisterer plug straight P1 (350205-001..) or plug twisted P1 (350205-101)
Connector plug neg. pole	Pfisterer Stecker straight P1 (350205-001...) or plug twisted P1 (350205-101)
Connector plug motor	Pfisterer Stecker straight P1 (350205-001) or plug twisted P1 (350205-101)

Power connections 1000V / 400A



4-13 Pfisterer-Stecker

4.7 Battery connection



**Note:**

Bus circuit capacitor C-ZW  
 at 400V 800µF  
 at 700V 320µF  
 Discharge resistance R-ZW 50kΩ

Series resistor  
 RV approx. 40 Ohm 50 W

Charging current via K2 <20A

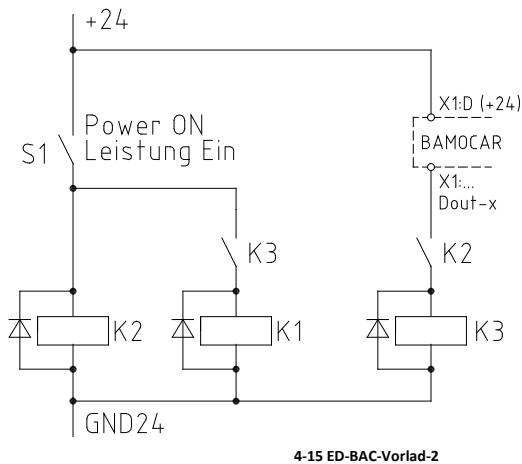
**Note:**

Enable (RUN) only after the main contactor K1 is activated.

The max. supply voltage (battery voltage) 450V= (780V=) must not be exceeded at any time (not even for short intervals)!  
 Danger of damage! / Error message: OVERVOLTAGE / F1 = safety fuse

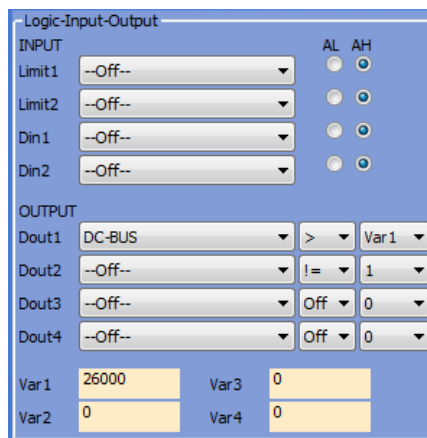


Block diagram of the pre-charging



Programming example:

The output Dout1 switches the relay K3 when the bus circuit voltage (DC-BUS) is greater than the variable 1.



**Warning:**

The power supply connection has no protection against reverse polarity. If the polarity of the connection is wrong, the device will be destroyed!



Type	Battery connection	Connector cross-section		Fuse AT	Drive contactor size
		mm <sup>2</sup>	AWG		
-125/250		25	2	160	
-200/400		35	1	250	

Battery connecting line <2m. For conductor lengths from 2 to 10m more powerful. Use an additional capacity for conductor lengths superior to 10m!

### 4.8 Auxiliary voltage connection

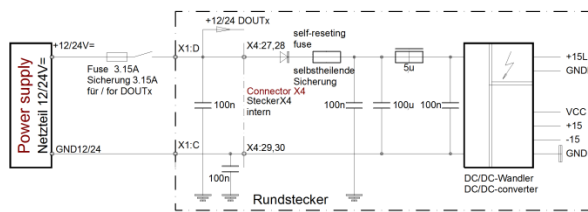
Mains potential-free auxiliary

dc voltage +12V= (4A) to +24V= (2A) ±10%

The auxiliary voltage

- is galvanically connected with the logic voltage
- is galvanically isolated from all internal supply voltages of the device and from the housing
- internal regenerating fuse
- EMC filter

External fuse only for the line protection



Input voltage	12-24V DC	X1:4
	GND24	X1:3
Residual ripple	10%	
Switch-on current	4A	
Nominal current	at 12V	1.4A
	at 24V	0.9A

Neg. connection of the power supply to earth

#### **Attention:**

In addition to the internal supply current (1.4A) the sum of the output currents (DOUT) must be provided by the mains module 12/24V.

**If the auxiliary voltage is inferior to 10.5V there will be the error message 'hardware error 1' (power fault)**

If the auxiliary voltage is inferior to 10V - even in case of short-time voltage drop-outs - the internal mains module is switched off. Temporary data of the RAM are deleted. The digital speed and the command torque values are set to zero. **The LED signal for the state 'OK' is dark.**



Firmware download only when the power supply is switched off!

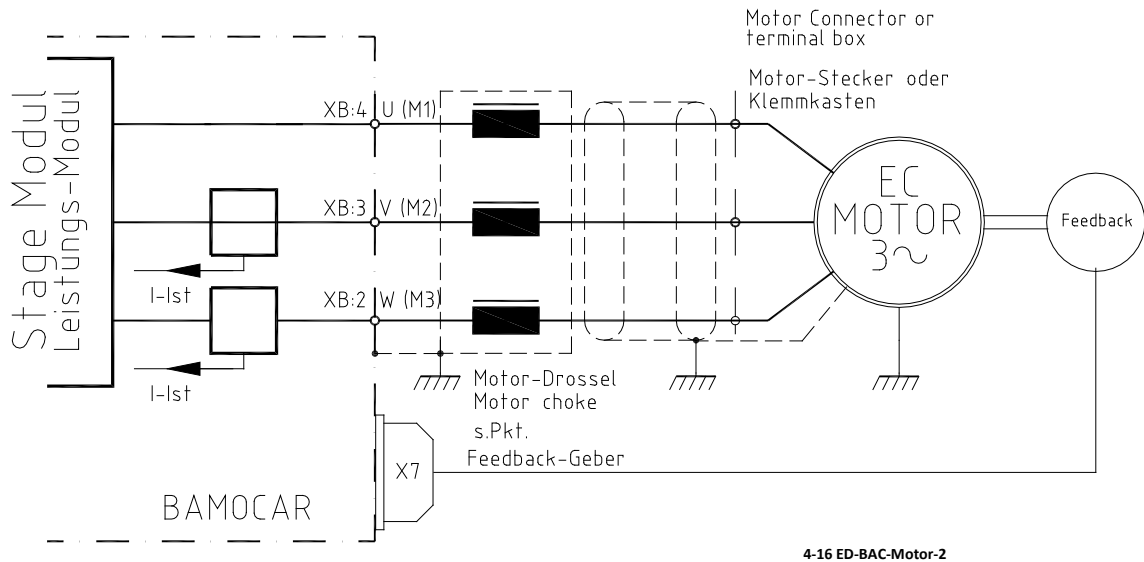
The auxiliary voltage and/or power supply voltage must only be switched when the BAMOCAR is disabled.

No disable.

Enable input X1:G = zero

### 4.9 Motor power connection

Only electronically commutating synchronous motors (brushless dc motors, EC motors) with resolver or incremental encoder must be used. These motors must be approved of by the manufacturer prior to any use.



4-16 ED-BAC-Motor-2

#### Sequence of connection

<b>Cable</b>	M1	M2	M3		Motor cable 3 cores + protective conductor single-shielded, for 1000V= shield capacity 150pF/m min. cross-section see table
<b>Motor phase</b>	U	V	W		
<b>Connecting bolt</b>	XB:2	XB:3	XB:4		
<b>Only one correct connecting sequence is possible!</b>					

#### Min. cable cross-section

<b>Type BAMOBIL D3-xx</b>	-125	-200		Motor choke, only necessary for shield capacities superior to >5nF. motor cable approx. 25m
<b>Cross-section mm<sup>2</sup></b>	25	35		
<b>AWG</b>	2	1		

#### Motor choke

Only necessary for a shield capacity of >5nF. Approx. 25m motor cable

#### Magnetic rings:

against HF failures of the sensor systems. Slide the rings onto the motor lines.

#### Connection of the shield

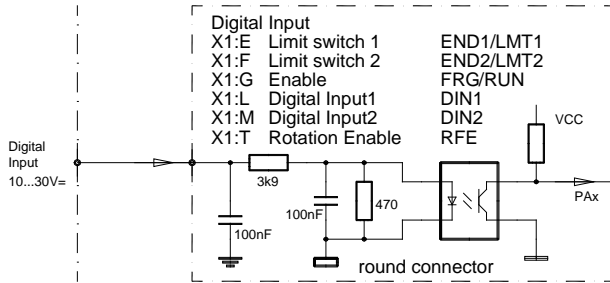
Surface-to-surface connection to the switch cabinet inlet.

Surface-to-surface connection as short as possible to the motor side.

**For long motor cables the motor cable shield must be connected at multiple times with the vehicle or machine frame (e.g. ground terminals every 5m).**

## 5 Control connections

### 5.1 Digital inputs



5-1 E-BAC-DIN-2

Input voltage		
Level ON		+10 to +30V
Level OFF		<+6V
Input current	Max.	7,5 mA
Nominal voltage/current		+24V/6mA
Ground reference	GNDE	(X1:K)

The enable input (FRG/RUN) and the input for the rotating field enable (RFE) are fixed, they cannot be programmed.

Without the enable FRG/RUN the servo-drive is electronically disabled (no PWM pulses).

Without the rotating field enable RFE the rotating field of the output stage is additionally disabled (2nd disable channel).

The drive is free of torque (no holding torque).

The remaining four digital inputs can be programmed.

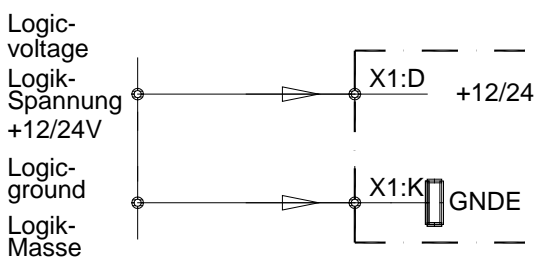
The inputs LMT1 (X1:E) and LMT2 (X1:F) are preferably to be used as inputs of the output stage switch.

Input	Connector	Function	State
FRG/RUN	X1:G	Enable	fixed
RFE	X1:T	Rotating field enable	fixed
END1/LMT1	X1:E	Output stage switch 1 / digital input	programmable
END2/LMT2	X1:F	Output stage switch 2 / digital input	programmable
DIN1	X1:L	Digital input 1	programmable
DIN2	X1:M	Digital input 2	programmable

The enable (FRG X1:G) must not be initiated before the auxiliary voltage (12-24V) and the power voltage have been switched on. Error message 5(POWERVOLTAGE).



#### External power supply for the inputs and outputs



+12 – 24V for logic and auxiliary voltage

GNDE logic ground

5-2 ED-BAC-Logic-2

## 5.2 Safety input RFE (Rotating field enable) Stop class 0

### Warning:

If the inputs of the enable or of the rotating field enable are switched off, the drive is free of torque. The drive could move if there is no mechanical brake or block provided.



The motor conductors are not dead. Only the rotating field is disabled. Prior to any work or maintenance on the motor or the BAMOCAR, the battery motor controller must be completely disconnected from the mains power supply of the battery.



### Operation with an RFE input

Two-channel disable of the enable via a safety switching device.

Enable input FRG/RUN +  
Rotating field enable input RFE.

### Switching-on

Contacts of the safety device closed, enable FRG/RUN 0.5s after RFE.

### Safety switch-off

Contacts of the safety device open:

- there is no FRG/RUN signal in the 1<sup>st</sup> disable channel to disable the PWM pulses in the processor
- there is no RFE signal in the 2<sup>nd</sup> disable channel to disable the PWM pulses at the output of the processor

### Restart

Release the safety switching device.

Contacts of the safety device closed.

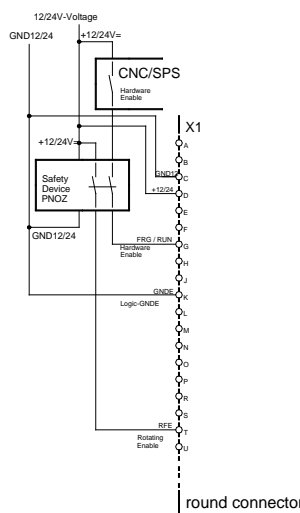
The motor can only move after a second disable FRG/RUN (after the rotating field enable).

### Operation without RFE input

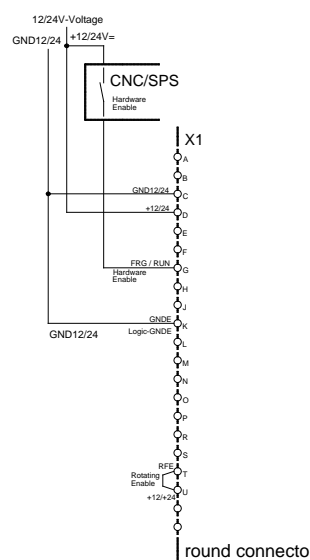
The input RFE must be bridged with the logic voltage.

If the logic voltage corresponds to the supply voltage, the RFE input is bridged with +12/+24V.

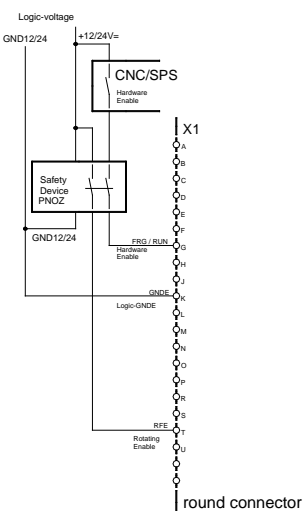
Enable FRG/RUN at least 0.5s after the RFE signal.



5-3 E-BAC-REF1-2

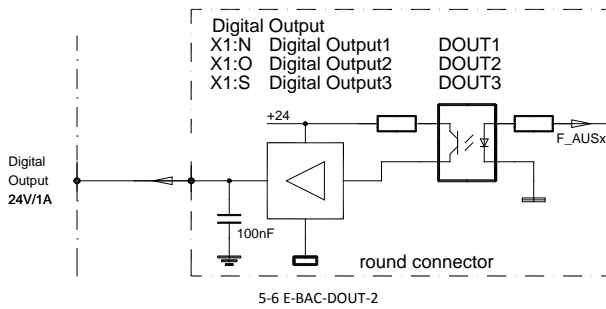


5-4 E-BAC-RFE2-2



5-5 E-BAC-RFE-4-2

### 5.3 Digital outputs (open emitter)

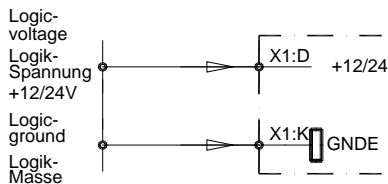


Output voltage	
Level ON	+12 to +24V=
Level OFF	<1V=
Output current	nom 1A
Output current	max. 2A,1s
Voltage reference	+24 (X1:D)
Ground reference	GNDE (X1:C)

Output	Connector	Function	State	Parameter
BTB/RDY	X1:A, X1:B	ready for operation	fixed /solid state relay	
DOUT1	X1:N	Digital output 1	programmable	
DOUT2	X1:O	Digital output 2	programmable	
DOUT3	X1:S	Digital output 3	programmable	
DOUT4	X11	Brake (option) 4	programmable	

**Note:**

The auxiliary voltage is also the supply voltage for the logic outputs.

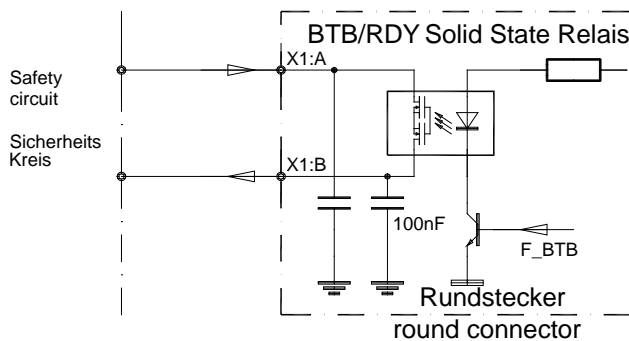


5-7 ED-BAC-Logic-2

+12 to + 24V for logic and auxiliary voltage  
Always pay attention to the total current of all outputs

GNDE logic ground

### Signal contact "Ready BTB/RDY" (Solid state relay)



5-8 ED-BAC-BTB-2

Contact for	max. 48V/0,5A
<b>(not short-circuit proof)</b>	
Capacitive load	max. 1 mF
Contact resistor	max. 2 Ohm
<p>The contact is closed when the device is ready for operation.</p> <p><b>Always install the BTB/RDY contact in the safety circuit!</b></p> <p><b>Install a fuse 0.5Af to secure the BTB/RDY signal path!</b></p> <p>In case of failures the contact is open. (Option)7segment-LED 'state' display</p>	



**Ready BTB opens** (open BTB relay contact, (option red LED))

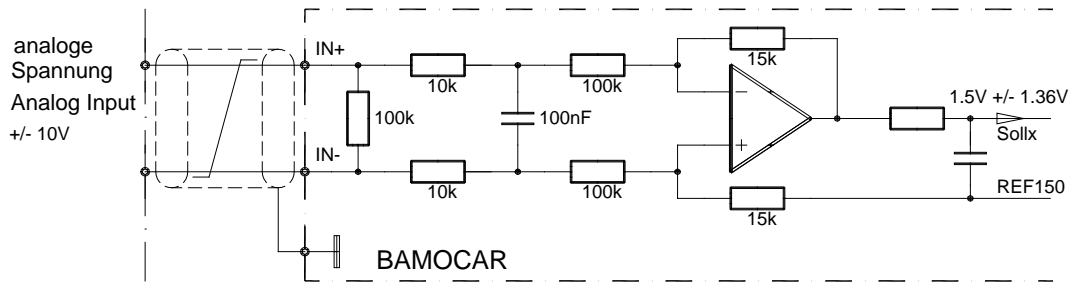
in case of error messages

BTB with or without under-voltage monitoring (BTB-Power).

The message "under-voltage in the bus circuit" can be programmed (see Manual NDrive-x)



### 5.4 Analog input +/- 10V



5-9 ED-BAC-AIN-2

Input	Connector	Basic function	Voltage	State	Parameter
AIN1+, AIN1-	X1:H, X1:J	Speed command value	+/- 10V	prog.	
AIN2+, AIN2-	X1:P, X1:R	Current limit	+/- 10V	prog.	

### Features

Differential input	AIN1+ / AIN1-	AIN2+ / AIN2-	
Input resistance	70kΩ		
Threshold voltage	+/- 12V		
Resolution	11Bit + sign		

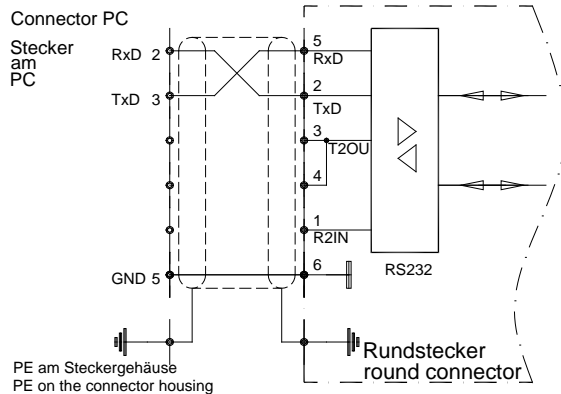
The direction of rotation of the motor can either be changed by swapping the +/- connections at the differential input, or by means of a logic input or by programming. (See NDrive-x)

The analog inputs can be assigned to different functions. (See NDrive-x)

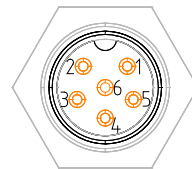
With a digital command value (RS232, x-bus) the analog input AIN1 can be programmed as external analog speed limit and the analog input AIN2 can be programmed as external analog current limit. (See NDrive-x)

### 5.5 Serial interface RS 232

The device is programmed and operated during commissioning via the serial pc interface RS232. There is a software description in the Manual DS NDrive.



The serial interface is galvanically connected with the device zero (GND/AGND).



5-10 ED-BAC-RS232-2

The controller (D-plug X10) and the serial interface (COMx) of the pc must only be connected using a null modem cable.

**Do not use a null modem link cable!**

Install the cable only after disconnecting the device from the mains.

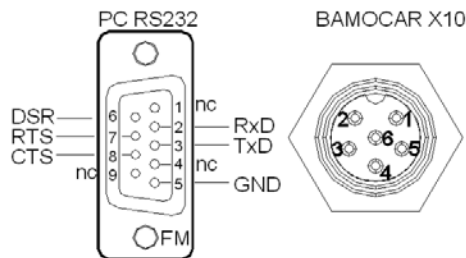
The interface is hard-coded to **115200Baud**.

Null modem connecting cable

View to the soldered side

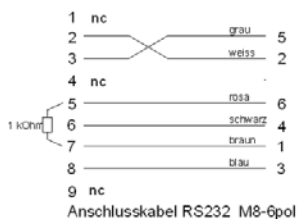
Shield on the housing

Max. cable length 10m



BAMOCAR

Connector X10	RS232
1	P/D (CTS) R2IN
2	TxD
3	V+ (RTS)
4	V+ (DTR)
5	RxD
6	GND



### 5.6 CAN-BUS

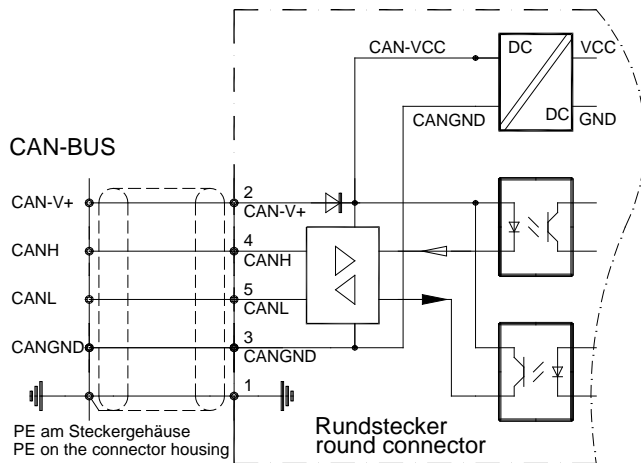
The CAN-BUS is a digital connection to the CNC control.

Optimum conditions are achieved with CNC controls and CAN components of LABOD electronic or CAN Open.

Programming and operation by means of the control panel via the CAN-BUS.

Interface complies with the standard ISO 11898.

Adjustment and programming see Manual NDrive and -CAN Manual.



The BUS interface is galvanically isolated from the internal device voltage.

The voltage is supplied via an internal, isolated DC-DC converter.

5-11 ED-BAC-CAN-2

#### CAN BUS cable

Use a shielded bus conductor with a low shielding capacity.

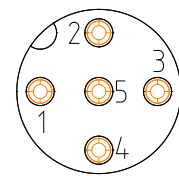
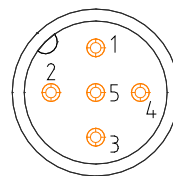
Signal plus GND (+internal supply DC/DC converter, galvanically isolated)

Circular connector M12-5p / LiYCY 4x0.25+shield

Designation	Connector no. X9 / X9.1 CAN-BUS	Cable colour
PE	1	green-white
CAN-V+	2	brown
CAN-GND	3	white
CAN-H	4	green
CAN-L	5	yellow

X9

Option X9.1



View on device side

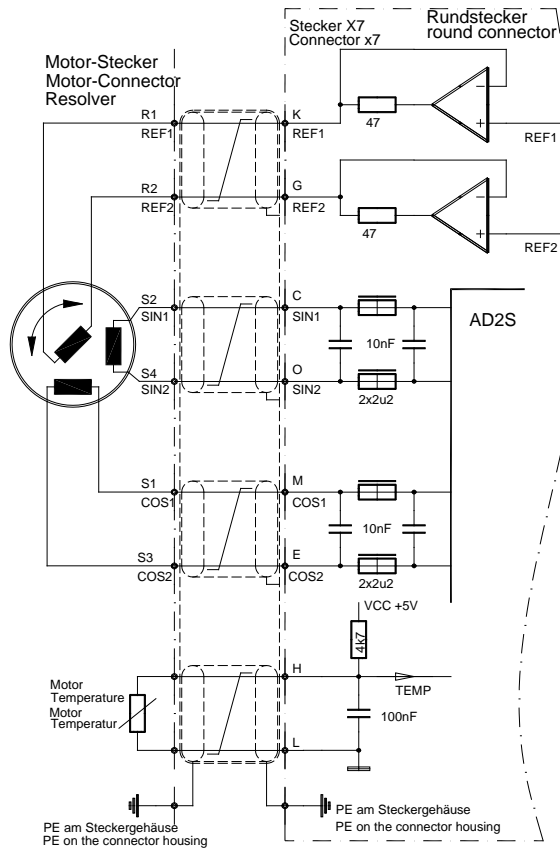
At the connector - view on the soldered crimp side

Terminating resistor at both ends of the bus line > 120Ohm between the CAN-H and CAN-L.

### 5.7 Resolver connection

#### Only with BAMOCAR D3-RS

5-12 ED-BAC-Reso-2



The resolver is an absolute measuring system for a motor revolution.

It is robust and not impaired by high motor temperatures.

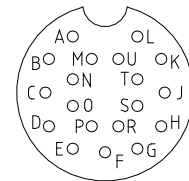
Its build corresponds to a revolving transformer. The rotor is supplied by the reference (10kHz). The stator supplies the sine and cosine signals modulated by the rotational frequency. The amplitudes of these signals are analyzed and digitalized in the servo-drive. The resolution is automatically set to an optimum of 10, 12, or 14 bit.

The max. possible speed is 50000 (10bit).

The digitalized signals are used for the polar wheel angle, the position and speed control, and the incremental output.

Connector X2 Encoder connector resolver

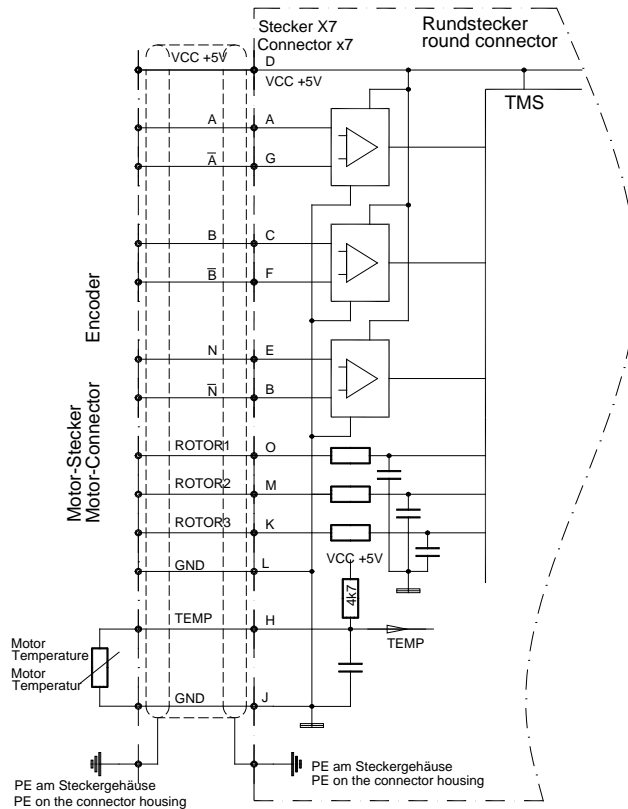
- A
- B
- C SIN1
- D
- E COS2
- F
- G REF2
- H Temperature signal
- J
- K REF1
- L Temperature GND
- M COS1
- N
- O SIN2
- P



Only use motors with a 2-, 4-, 6-, or 8-pole resolver which have been approved by the manufacturer. Observe the motor specific connection data sheet (RS)!		
Connector	X7	
Connecting cable	4 x 2 cores, twisted in pairs and shielded, additional overall shield.	
	For link chains use appropriate cables! Min. cross-section 0.25 mm	
Cable length	for >25m only use high-quality resolver cables with adequate shielding properties.	
Shield connection	across connector X7	combine all shields and connect them to the housing
	across the motor connector	connect the overall shield to the connector housing
Setting parameters	see software Manual NDrive	

### 5.8 Encoder connection TTL

Only with BAMOCAR D3-IN



5-13 EC-BAC-end-2

TTL incremental encoder (encoder) with 2 counter tracks and 1 zero track plus 3 rotor position tracks. Counter tracks with or without push-pull output.

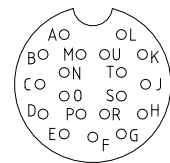
(For single connection A, B, N do not connect the negative inputs.)

The counter input corresponds to RS485. Max. counting frequency 500kHz.

The incremental encoder is galvanically connected with the device zero (GND).

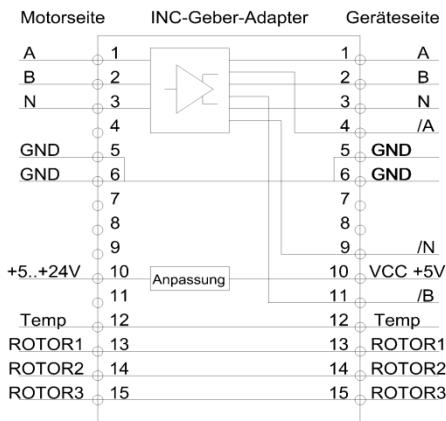
The voltage of 5V is supplied by the servo-drive.

- | ConnectorX7 | Encoder connector INC |
|-------------|-----------------------|
| A           | Channel A             |
| B           | Channel /N            |
| C           | Channel B             |
| D           | Supply +5V            |
| E           | Channel N             |
| F           | Channel /B            |
| G           | Channel /A            |
| H           | Temperature signal    |
| J           | Temperature GND       |
| K           | Rotor position 3      |
| L           | Supply GND            |
| M           | Rotor position 2      |
| N           |                       |
| O           | Rotor position 1      |
| P           |                       |



Only use motors with TTL incremental encoders which have been approved by the manufacturer. Observe the motor specific connection data sheet (IN)!		
Connector	X7	
Connecting cable	10 shielded signal conductors	min. cross-section 0.14mm
	2 supply lines	min. cross-section 0.5mm
	For link chains use appropriate cables!	
Cable length	for >25m the cross-section of the cable used must be increased	
Shield connection	across connector X7	connect the shield to the connector housing
	across the motor connector	connect the shield to the connector housing
Setting parameters	see software Manual NDrive	

**Adapter for INC encoder with A, B, N channel without push-pull signals**



The device input for the incremental counter signals requires the push-pull counter pulses for a reliable detection.

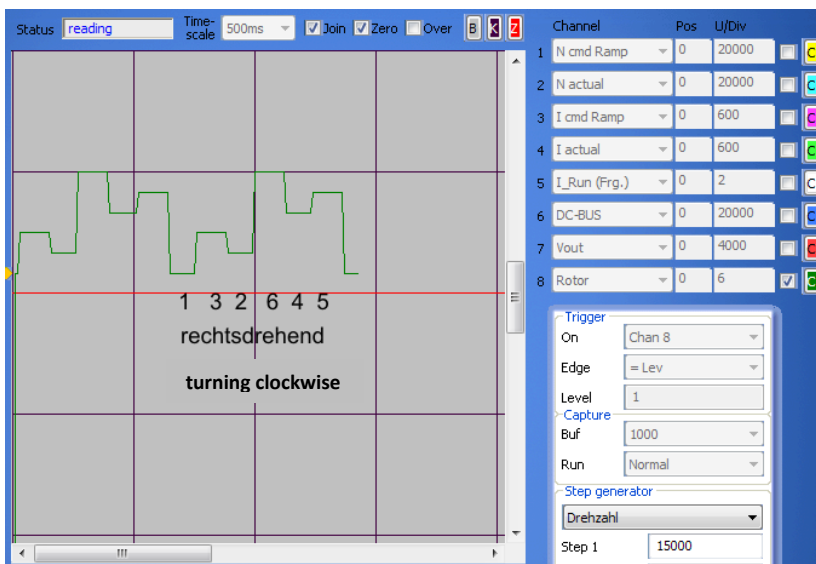
Encoders without push-pull signals (e.g. position encoders) with different supply voltages are used for many simple applications. For these applications the INC adapter must be installed.

The adapter converts the counter signals A, B, N to he push-pull signals A, /A, B, /B, N, /N.

For supply voltages which differ from 5V the voltage must be specified on order and externally be connected.

**Checking the correct connection**

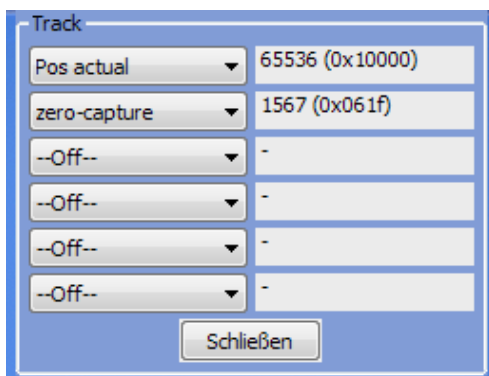
Rotor sequence



The correct sequence of the rotor signals with a motor turning clockwise is 1, 3, 2, 6, 4, 5.

If the sequence of numbers is different the encoder connection of the rotor position signals Rotor1, Rotor2, Rotor3 (U,V,W ) is not correct.

Use the connection diagram!



**Numerical value**

Turn motor clockwise for one revolution without enable.

One motor revolution corresponds to a position value of Num 65536. In case of different results the input of Feedback Inc-Mot (0xa6) is incorrect.

**Zero angle**

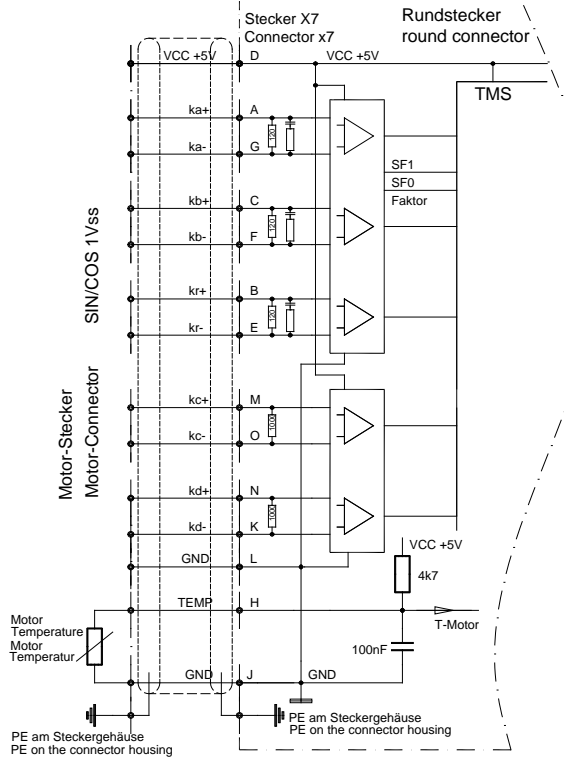
Motor turning clockwise and anti-clockwise at 10%-100% speed.

The value of zero-capture must remain constant.

### 5.9 SIN COS 1Vss connection

Only with BAMOCAR D3-SC

5-14 ED-BAC-SC-2



Incremental encoder (encoder) with 2 analog, sinusoidal counter tracks and 1 zero track plus 2 commutating tracks. Differential signals 1Vss

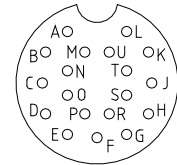
Max. counting frequency 500kHz.

The incremental encoder is galvanically connected with the device zero (GND). The voltage of 5V is supplied by the servo-drive.

The resolution is automatically set to an optimum.

**Connector X7 Encoder connector SIN/COS**

- A Channel ka+
- B Channel kr+
- C Channel kb+
- D Supply +5V
- E Channel kr+
- F Channel kb-
- G Channel ka-
- H Temperatur signal
- J Temperatur GND
- K Channel kd+
- L Supply GND
- M Channel kc+
- N Channel kd+
- O Channel kc-
- P

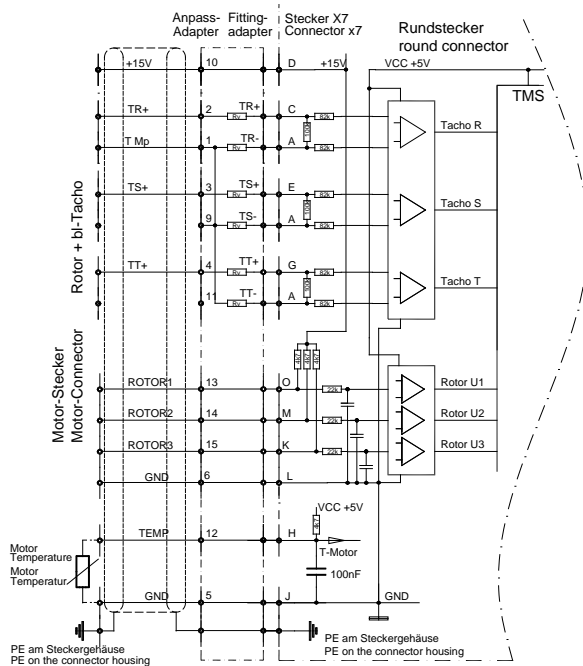


Only use motors with SIN/COS encoders (SC) which have been approved by the manufacturer. Observe the motor specific connection data sheet (SC)!		
Connector	X7	
Connecting cable	2x2 signal conductors, twisted and shielded	min. cross-section 0.14 mm
	3x2 signal conductors, twisted and shielded	min. cross-section 0.14 mm
	2x supply lines, 2x temp	min. cross-section 0.5 mm
Cable type	(4x(2x0.14)+(4x0.14)C+4x0.5)C For link chains use appropriate cables!	
Cable length	for >25m the cross-section of the cable used must be increased by one grade	
Shield connection	across connector X7	connect the shield to the connector housing
	across the motor connector	connect the shield to the connector housing
Setting parameters	see software Manual NDrive	

### 5.10 Rotor position encoder - connection via a bl-tacho

Only with BAMOCAR D3-bl

5-15 ED-BAC-bl-2



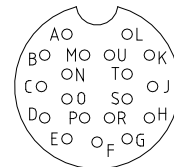
3 rotor position encoder signals (Hall sensors) for the commutation; with or without a brushless tacho.

The rotor position encoder is galvanically connected with the device zero (GND). The voltage of 15V is supplied by the servo-drive.

Provide an adapter in case the tacho voltage at rated speed is superior to 10V~.

For lower tacho voltages connect X7: pin 1, 9, and 11. Connect the tacho center point to X7:1.

- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| <b>Connector X7</b> | <b>Encoder connector bl</b> |
| A                   | MP-Tacho                    |
| B                   |                             |
| C                   | Tacho 1                     |
| D                   | Supply +15V                 |
| E                   | Tacho 2                     |
| F                   |                             |
| G                   | Tacho 3                     |
| H                   | Temp signal                 |
| J                   | Temp GND                    |
| K                   | Rotor position 3            |
| L                   | Supply GND                  |
| M                   | Rotor position 2            |
| N                   |                             |
| O                   | Rotor position 1            |
| P                   |                             |



Rotor position encoder - connection via a bl-tacho

Only use motors with rotor position encoders (bl) which have been approved by the manufacturer.		
Observe the motor specific connection data sheet (bl)!		
Connector	X7	
Connecting cable	12x signal conductors, supply lines, temp.	min. cross-section 0.25 mm
	For link chains use appropriate cables!	
Cable length	for >25m the cross-section of the cable used must be increased by one grade	
Shield connection	across connector X7	connect the shield to the connector housing
	across the motor connector	connect the shield to the connector housing
Setting parameters	see software Manual NDrive	










### 5.11 Option - State displays

The state "**normal**" is signalled by a bright green seven-segment display + decimal point (display of the state).

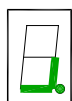
The state "**fault**" is signalled by a bright red fault LED and the seven-segment display indicates the error no.

The state "**warning**" is signalled by the flashing red fault LED and the seven-segment display indicates alternately the state and the warning no.

#### Display of the BAMOCAR states

Display	Point/segment	State	State of NDrive
	flashing dark	Processor active Auxiliary voltage missing or inherent hardware failure	
	flashing bright dark	Starting state after reset (auxil. voltage 24V off-on). The first enable stops the flashing display. Drive enable Drive disabled (not enabled)	OK = 0 OK = 1, ENA = 1 OK = 1, ENA = 0
	bright	Speed zero (standstill signal)	NO = 1
	bright	Drive revolves clockwise, N currently positive	NO = 0
	bright	Drive revolves anti-clockwise, N currently negative	NO = 0
	flashing bright dark	Motor current reduced to continuous current $I_{cns}$ Motor current at max. current limit $I_{max}$ Normal operation; Motor current within the current limits	$I_{cns} = 1$ $I_{cns} = 0$ $I_{cns} = 0$
	bright for 0.1 s	A new command (value) was received from the BUS or RS232.	

**Example:** Motor revolving clockwise



Point flashes = active processor  
Bottom segment = drive enabled  
Right segment = motor revolves clockwise

### 5.12 Option - Error displays

The red LED "fault" is bright and the fault no. is indicated by the green seven-segment display.

#### List of errors

Error display	Description	Display	Address
NOREPLY-No RS	RS232 interface not plugged or disturbed		
			<b>REGID 0x8f</b>
BADPARAS	Damaged parameter	0	Bit 0
POWER FAULT	Output stage error	1	Bit 1
RFE FAULT	Safety circuit fault (only active with RUN)	2	Bit 2
BUS TIMEOUT	Transmission fault BUS	3	Bit 3
FEEDBACK	Encoder signal faulty	4	Bit 4
POWERVOLTAGE	Encoder signal faulty	5	Bit 5
MOTORTEMP	Motor temperature too high	6	Bit 6
DEVICETEMP	Device temperature too high	7	Bit 7
OVERVOLTAGE	Overvoltage >1.8 x UN	8	Bit 8
I_PEAK	Over-current 300%	9	Bit 9
RACEAWAY	Drive races (without command value, wrong direction)	A	Bit 10
USER	User - choice of error	B	Bit 11
I <sup>2</sup> R	Overload	C	Bit 12
RESERVE		D	Bit 13
HW_FAIL	Firmware is not compatible with the hardware	E	Bit 14
BALLAST (device-dependent)	Ballast circuit overloaded	F	Bit 15

**Note:** With BAMOCAR the error F (BALLAST) has no function.

	<b>Fault</b>	<b>Example:</b>	POWERVOLTAGE (missing power voltage)
		FAULT LED red	
		Error no. 5	

**Note:**

When applying the auxiliary voltage with the enable closed (FRG/RUN X1:7 active) the red LED signals an error. There is no error signal displayed in the 7-segment display.


### 5.13 Option - Warning signals

The state "warning" is signalled by the flashing red fault LED and the seven-segment display indicates alternately the state and the warning no.

#### List of warning signals

Error display	Description	Address	
			<b>REGID 0x8f</b>
WARNING_0	No device identification	0	Bit 16
ILLEGAL STATUS	RUN signal, EMI	1	Bit 17
WARNING_2	RFE signal inactive, (without RUN)	2	Bit 18
		3	Bit 19
		4	Bit 20
POWERTVOLTAGE	Power voltage too small or missing	5	Bit 21
MOTORTEMP	Motor temperature >87 %	6	Bit 22
DEVICETEMP	Device temperature > 87%	7	Bit 23
OVERVOLTAGE	Overvoltage >1.5 x UN	8	Bit 24
I_PEAK	Overcurrent 200 %	9	Bit 25
		A	Bit 26
		B	Bit 27
I2R	Overload >87%	C	Bit 28
		D	Bit 29
		E	Bit 30
BALLAST (device-dependent)	Ballast circuit >87% overloaded	F	Bit 31

**Note:** With BAMOCAR the warning F (BALLAST) has no function.

	<b>Fault</b>	<p><b>Example:</b> flashing red, The display swaps between the state and the warning no., Warning no. 5</p>
---	--------------	---

## 6 Measured data

### 6.1 Bus circuit battery voltage

from firmware FW450

#### Bus circuit dc bus voltages, battery voltage (400V)

BAMOCAR D3-400	Bus circuit voltage	Parameter 0xeb
Max. voltage	460V	25158
Battery voltage	370V	20211
Overvoltage switch-off	440V	24059
Charging voltage	340V	18561
without power voltage	0V	0
Scaling	1	54,971
Tolerance		+/-2%

Parameter 0xeb = 54.971 x bus circuit voltage (tolerance +/-2%)

#### Bus circuit dc bus voltages, battery voltage (700V)

BAMOCAR D3-700	Bus circuit voltage	Parameter 0xeb
Max. voltage	800V	24045
Battery voltage	700V	20883
Overvoltage switch-off	780V	23413
Charging voltage	680V	20250
without power voltage	0V	0
Scaling	1	31,499
Tolerance		+/-2%

Parameter 0xeb = 31.499 x bus circuit voltage (tolerance +/-2%)

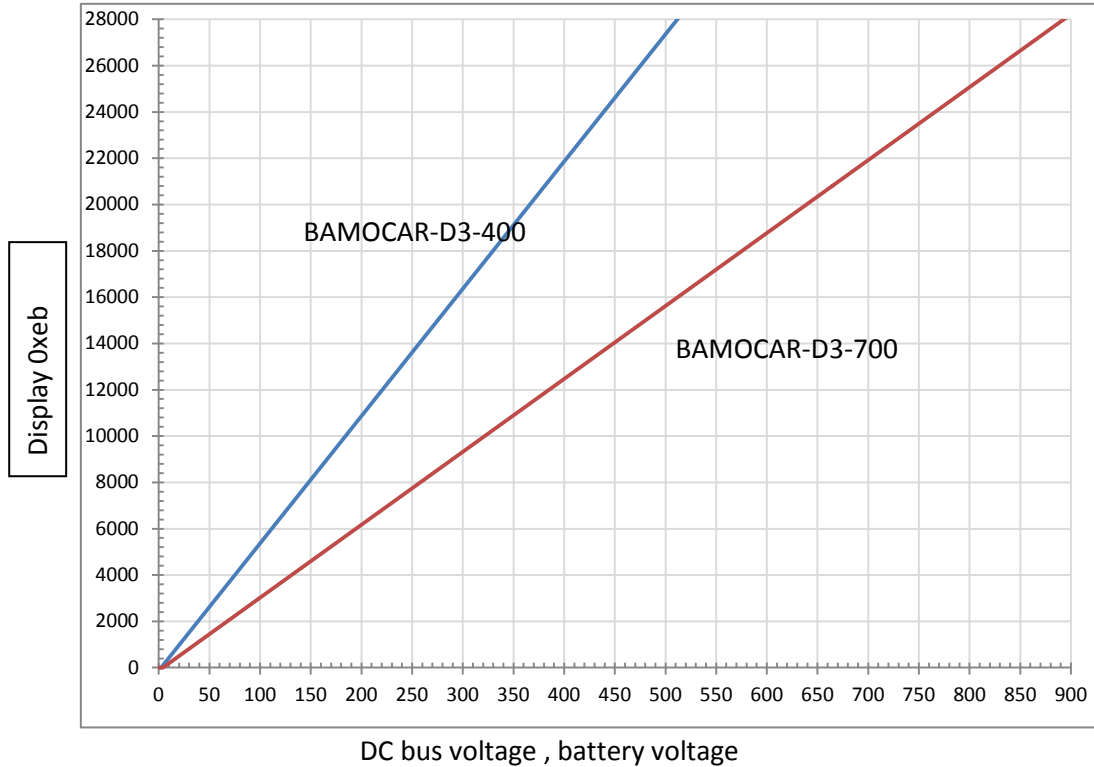
#### Current - actual value

BAMOCAR-D3	I 100%	Calibration rated current			Peak current	
		I-device			DC blocked	
Max. value +/- 11Bit	mV	Num	Aeff	A=pk	Num	A=pk
250/150	520	350	125	176	506	250
400/250	785	560	200	282	808	400

In the set of parameters the basic set-up data are protected.

## 7 Bus circuit dc bus voltages (battery voltage)

### 7.1 Bus circuit dc / bus voltages



Measuring tolerance +/-2%

**Note:** For dc bus voltages <50V (at 400V) or <100V (at 700V) the measured values are not linear!

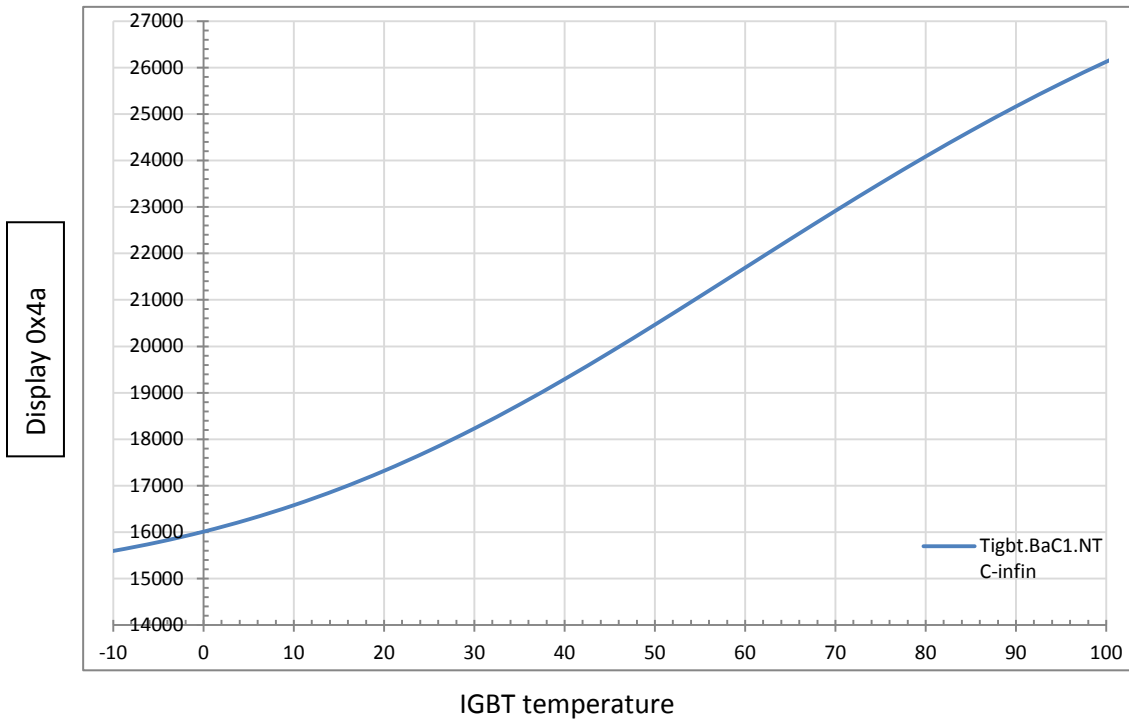
Settings for BAMOCAR 400/400			
DC bus max (0xa5H)	for threshold voltage	Num 0xeb	Note
72%	440V =	24059	
66%	400V =	21860	
DC bus min (0xa5L)	for undervoltage		
52%	320V	17462	
44 %	270V	14713	

Settings for BAMOCAR 700/400			
DC bus max (0xa5H)	for threshold voltage	Num 0xeb	Note
83%	750V =	23496 =	
78%	700V =	21921 =	
DC bus min (0xa5L)	for undervoltage		
63%	600V =	18771=	
52%	500V =	15621=	

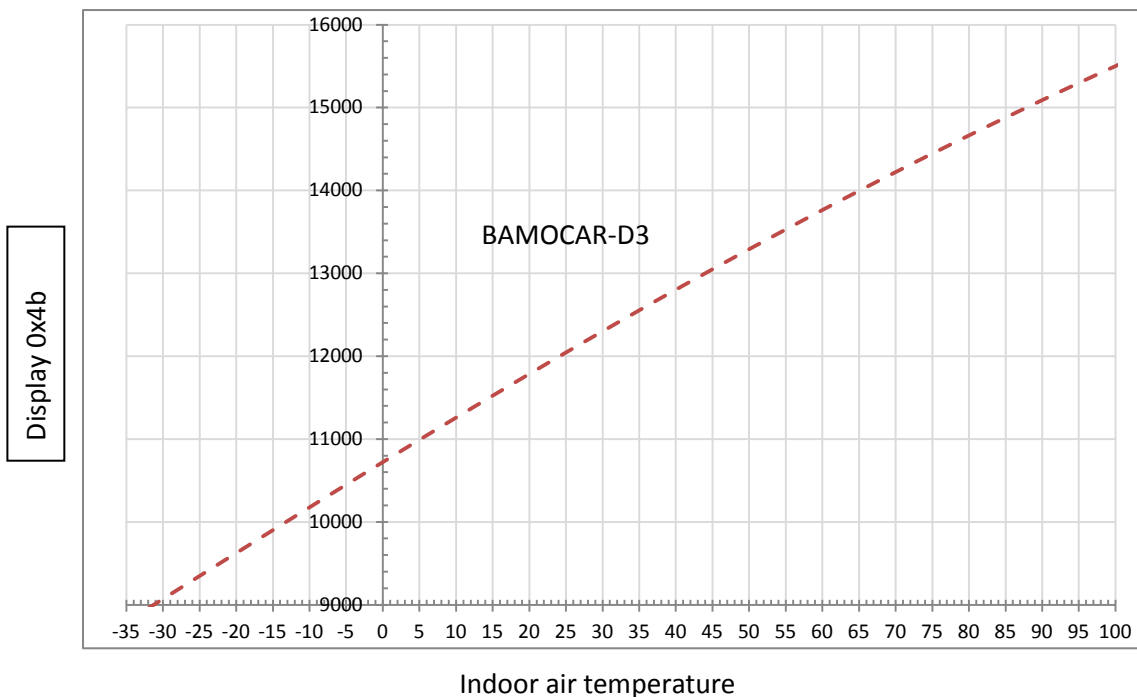
## 8 Output stage temperature

### 8.1 Output stage temperatur

IGBT – Module temperature	Parameter 0x4a
+80° C	24000 (FW>450)



Indoor air temperature	Parameter 0x4b
+45° C	13000 (FW>450)



## 9 Warranty

### 9.1 Warranty

**UNITEK** warrants that the device is free from material and production defects. Test results are recorded and archived with the serial number.

The warranty time begins from the time the device is shipped, and lasts two years.

**UNITEK** undertakes no warranties for devices which have been modified for special applications.

During the warranty period, **UNITEK** will, at its option, either repair or replace products that prove to be defective, this includes guaranteed functional attributes. **UNITEK** specifically disclaims the implied warranties or merchantability and fitness for a particular purpose. For warranty service or repair, this product must be returned to a service facility designated by **UNITEK**.

For products returned to **UNITEK** for warranty service, the buyer shall prepay shipping charges to **UNITEK** and **UNITEK** shall pay shipping charges to return the product to the buyer.

However, the buyer shall pay all shipping charges, duties and taxes for products returned to **UNITEK** from another country.

The foregoing warranty shall not apply to defects resulting from:

- improper or inadequate repairs effected by the buyer or a third party,
- non-observance of the manual which is included in all consignments,
- non-observance of the electrical standards and regulations,
- improper maintenance
- acts of nature.

All further claims on transformation, diminution and replacement of any kind of damage, especially damage, which does not affect the **UNITEK** device, cannot be considered. Follow-on damage within the machine or system, which may arise due to malfunction or defect in the device cannot be claimed. This limitation does not affect the product liability laws as applied in the place of manufacture (i.e. Germany).

**UNITEK** reserves the right to change any information included this MANUAL.

All connection circuitry described is meant for general information purposes and is not mandatory.

The local legal regulations, and those of the standards authorities have to be adhered to. **UNITEK** does not assume any liability, expressively or inherently, for the information contained in this MANUAL, for the functioning of the device or its suitability for any specific application.

**All rights are reserved.**

Copying, modifying and translations lie outside **UNITEK's** liability and thus are not prohibited.

**UNITEK's** products are not authorised for use as critical components in the life support devices or systems without express written approval.

The onus is on the reader to verify that the information here is current

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## ANEXO-CÁLCULOS

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019





# ÍNDICE-ANEXO-CÁLCULOS

---

## 2. ANEXOS

### 2.5 Anexo-Cálculos

2.5.0 Resumen.....	7
2.5.1 Datos.....	10
2.5.2 Circuito de agua.....	13
2.5.2.1 Motor.....	16
2.5.2.2 Controladora.....	17
2.5.2.3 Circuito de agua del sistema de refrigeración.....	20
2.5.2.4 Intercambiador de calor.....	24
2.5.3 Circuito de aire.....	29
2.5.4 Ciclo de compresión de vapor.....	31
2.5.5 Resultados.....	42
2.5.5.1 Datos.....	42
2.5.5.2 Circuito de agua del sistema de refrigeración.....	45
2.5.5.3 Circuito de aire del sistema de refrigeración.....	46
2.5.5.4 Ciclo de compresión de vapor.....	47
2.5.5.5 Conclusión.....	48

## Índice de Figuras-Anexo-Cálculos

**Figura 1: Diseño del vehículo FSULL.....7**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 2: Vista 3D de la batería, el motor Emrax 228 Medium Voltage CC y la controladora Bamocar D3.....8**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 3: Plano 3.0.7 ALZADO Y ALZADO POSTERIOR DEL MOTOR.....14**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 4: Plano 3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL.....15**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5: Plano 3.0.8 VISTA 3D DE LA CONTROLADORA.....18**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 6: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL.....23**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7: Plano 3.0.5 VISTA 3D Y PLANTA DEL PACK DE BATERÍAS.....24**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 8: Plano 3.0.1 VISTA 3D Y ALZADO DEL VEHÍCULO FSULL.....25**

Fuente: Equipo FSULL.

**Figura 9: Estudio climatológico de la ciudad de Barcelona.....25**

Fuente: [Ayuntamiento de Barcelona](#).

**Figura 10: Gráfico sobre de temperaturas máximas en Barcelona en Agosto.....26**

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.

**Figura 11: Plano 3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL.....27**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL.....30**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 13: Plano 3.1.4 OPCIÓN B-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA.....31**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 14: Esquema básico del Ciclo de compresión de vapor.....32**

Fuente: [Ciclo de compresión de vapor](#)

**Figura 15: Plano 3.1.6 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN.....33**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 16: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL.....38**

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 17: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL.....44**

Fuente: Elaboración propia.

## Índice de Tablas-Anexo-Cálculos

<b>Tabla 1: Estudio climatológico de Barcelona en Agosto.....</b>	<b>26</b>
---	-----------

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.

## Índice de Ecuaciones-Anexo-Cálculos

<b>Ec 1: Expresión de la potencia en función de la energía y el tiempo.....</b>	<b>11</b>
<b>Ec 2: Balance de energía del Motor.....</b>	<b>16</b>
<b>Ec 3: Expresión del caudal volumétrico en función del caudal másico y el volumen específico.....</b>	<b>17</b>
<b>Ec 4: Balance de energía de la Controladora.....</b>	<b>18</b>
<b>Ec 5: Expresión del caudal volumétrico en función del caudal másico y el volumen específico.....</b>	<b>18</b>
<b>Ec 6: Balance de energía del Evaporador.....</b>	<b>21</b>
<b>Ec 7: Balance de masa del agua del sistema de refrigeración.....</b>	<b>21</b>
<b>Ec 8: Balance de energía del Intercambiador de Calor.....</b>	<b>28</b>
<b>Ec 9: Balance de energía de la Batería.....</b>	<b>29</b>
<b>Ec 10: Expresión de la temperatura de evaporación.....</b>	<b>34</b>
<b>Ec 11: Expresión de la temperatura de condensación.....</b>	<b>34</b>
<b>Ec 12: Rendimiento isoentrópico de un compresor.....</b>	<b>35</b>
<b>Ec 13: Expresión del título de vapor de una mezcla bifásica.....</b>	<b>36</b>
<b>Ec 14: Balance de energía del Evaporador.....</b>	<b>39</b>
<b>Ec 15: Balance de energía del Compresor.....</b>	<b>39</b>
<b>Ec 16: Expresión del Coeficiente de Operación del Ciclo de compresión de vapor.....</b>	<b>39</b>
<b>Ec 17: Balance de energía del Condensador (fluido del Ciclo).....</b>	<b>40</b>
<b>Ec 18: Balance de energía del Ciclo de compresión de vapor.....</b>	<b>40</b>
<b>Ec 19: Balance de energía del Condensador (fluido de extracción de calor).....</b>	<b>40</b>

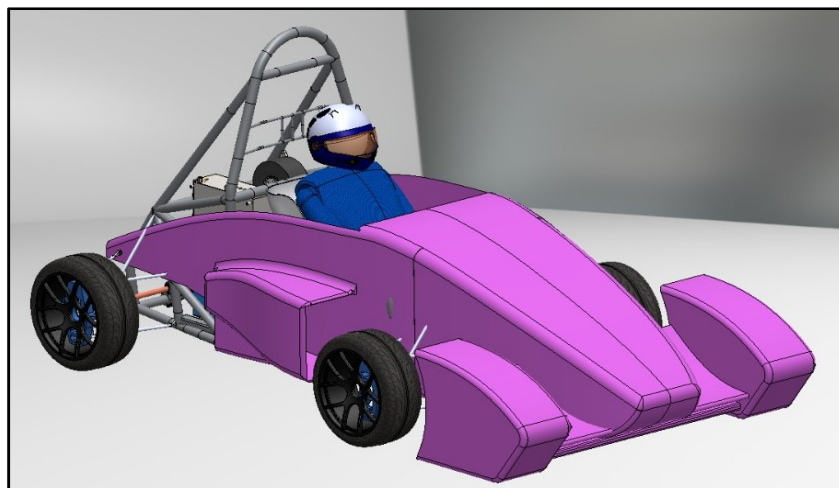
<b>Ec 20: Balance de exergía del Compresor.....</b>	<b>41</b>
<b>Ec 21: Balance de exergía de la Válvula.....</b>	<b>41</b>

## 2.5.0 Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo diseñar el sistema de refrigeración de un vehículo Fórmula Student eléctrico para la Universidad de La Laguna.

### Figura 1: Diseño del vehículo FSULL

Fuente: Equipo FSULL



Este proyecto surgió para dar respuesta a un problema de funcionamiento del vehículo FSULL: la elevada temperatura del motor, la controladora y el pack de baterías debido al flujo de la corriente eléctrica. Por lo tanto, a través de este Trabajo de Fin de Grado, la intención es diseñar el sistema de refrigeración necesario para mantener la temperatura óptima de funcionamiento en dichas partes, con la finalidad de que la duración y el rendimiento no se degraden.

No forma parte del alcance de este Trabajo de Fin de Grado, la elección de los equipos del sistema de refrigeración ni la instalación/ubicación del sistema de refrigeración en el vehículo FSULL, ya que se desconoce el diseño del interior del vehículo y el espacio disponible para el mismo. Así pues, no es objeto de este Trabajo de Fin de Grado el cálculo y dimensionado de las conducciones por las cuales circularán los fluidos, ni las áreas de intercambio de calor necesarias ya que no se dispone de información acerca de la geometría de dichas zonas.



El equipo FSULL proporcionó los datos que ellos estiman necesarios para la realización de la prueba más exigente. Para dicha prueba, el equipo calculó la potencia que debe almacenar la batería, la potencia consumida en el motor y la controladora y el calor generado en la batería, el motor y la controladora, los cuales hay que disipar. El equipo FSULL se hizo cargo de la elección del modelo de la batería, el motor y la controladora necesarios para realizar la prueba.

**Figura 2: Vista 3D de la batería, el motor Emrax 228 Medium Voltage CC y la controladora Bamocar D3**

Fuente: Equipo FSULL



No forma parte del alcance de este Trabajo de Fin de Grado esos cálculos proporcionados por el equipo FSULL y se asume que se han calculado correctamente. Así pues, este Trabajo de Fin de Grado se basa en dichos valores para diseñar el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

Dicho sistema servirá para enfriar las baterías, el motor y la controladora. Así pues, el sistema se dividirá según las diferentes partes a refrigerar.

En primer lugar, se diseñó y dimensionó el sistema de refrigeración del motor, el cuál empleará agua como fluido de enfriamiento. Se especificó la temperatura de entrada y salida del agua a su paso por el motor, la potencia consumida por el motor y el caudal másico de agua necesario para su refrigeración. Se calculó la potencia calorífica generada en el motor durante la prueba.

En segundo lugar, se diseñó y dimensionó el sistema de refrigeración de la controladora, que al igual que el motor, empleará agua como fluido de enfriamiento. Se

especificó la temperatura de entrada y salida del agua de la controladora, se estimó la potencia que consume y se especificó el caudal másico de agua necesario para su refrigeración. Se calculó la potencia calorífica generada en la controladora durante la prueba.

Seguidamente, se diseñó y dimensionó el Intercambiador de Calor necesario para enfriar el aire que entra en el vehículo y que se destinará a refrigerar la batería. Para ello se calculó el caudal de agua necesario para enfriar dicho flujo de aire.

Se realizó el cálculo del caudal de agua total que necesitará el sistema de refrigeración, así como la capacidad de refrigeración que deberá tener el sistema.

A continuación, se diseñó y dimensionó el sistema de refrigeración del pack de baterías, el cuál empleará aire como fluido de enfriamiento. Se especificó la temperatura de entrada de dicho aire, la potencia almacenada en la batería, el tiempo estimado de duración de la prueba más exigente y la potencia calorífica que se genera en la batería durante dicho tiempo. A su vez, se calculó la temperatura de salida del aire caliente y el caudal másico de aire necesario para disipar el calor generado.

Por último, se llevó a cabo el análisis termodinámico del sistema de refrigeración por compresión de vapor necesario para enfriar el agua. Para ello se empleará el refrigerante R134a como fluido que realizará el ciclo de compresión de vapor y aire como fluido de extracción de calor del ciclo. Se especificó la temperatura de entrada y salida de dicho aire, así como la temperatura de evaporación y condensación, el salto térmico en la transferencia de calor de los intercambiadores de calor y el incremento de temperatura del fluido de extracción. Se calculó el caudal másico de refrigerante, la potencia consumida por el compresor, el coeficiente de operación del ciclo, el caudal másico de aire de extracción, el calor cedido por el condensador y la destrucción de exergía de los equipos empleados.

A modo de conclusión, se indicaron los equipos necesarios y los parámetros más relevantes para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración del vehículo eléctrico FSULL.

### 2.5.1 Datos

A continuación, se especifica detalladamente el funcionamiento del sistema de refrigeración para la batería, el motor y la controladora del vehículo FSULL, así como datos calculados de especial interés como temperaturas, caudales, potencias, consumos y rendimientos de los equipos empleados.

Cabe destacar que esta propuesta de diseño estará calculada y dimensionada en basa a los datos proporcionados por el Equipo FSULL para la prueba más exigente del Fórmula Student Rules 2019, la cual se celebrará en el mes de agosto en el circuito de Montmeló en la ciudad de Barcelona.

Para dicha prueba, el equipo FSULL estimó que la prueba de mayor duración será de 25 minutos. Según este dato, calcularon que la batería debe almacenar 7,42 kWh para poder realizar la prueba sin dificultades. Calcularon que el motor consumiría 5,72 kWh y que la controladora consumiría un 10% de la potencia almacenada en la batería durante la realización de la prueba. Además, calcularon que el calor generado en la batería durante la celebración de la misma sería 205 W y estimaron que la eficiencia de la controladora será la misma que la del motor.

Tiempo duración prueba (min)	Tiempo duración prueba (h)
25	0,42

El equipo FSULL estimó que estos 3 equipos se van a calentar hasta los 60 °C durante la realización de la prueba debido al flujo de corriente eléctrica. Así pues, imponen que el sistema de refrigeración enfríe estos equipos hasta los 25°C, temperatura que el equipo FSULL estima como óptima de funcionamiento para que el rendimiento no se degrade.

No es responsabilidad de este Trabajo de Fin de Grado esos cálculos proporcionados por el equipo FSULL y se asume que se han calculado correctamente. Así pues, este Trabajo de Fin de Grado se basa en dichos valores para diseñar el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

Según los cálculos realizados por el equipo FSULL, la batería debería contener 7,42 kWh para poder llevar a cabo dicha prueba y la potencia calorífica generada sería 205

W. Se ha calculado la potencia almacenada en la batería para la realización de la prueba, de 25 minutos de duración, mediante la fórmula:

### Ec 1: Expresión de la potencia en función de la energía y el tiempo

$$P=E/t$$

Siendo:

P: Potencia almacenada en la batería (kW)

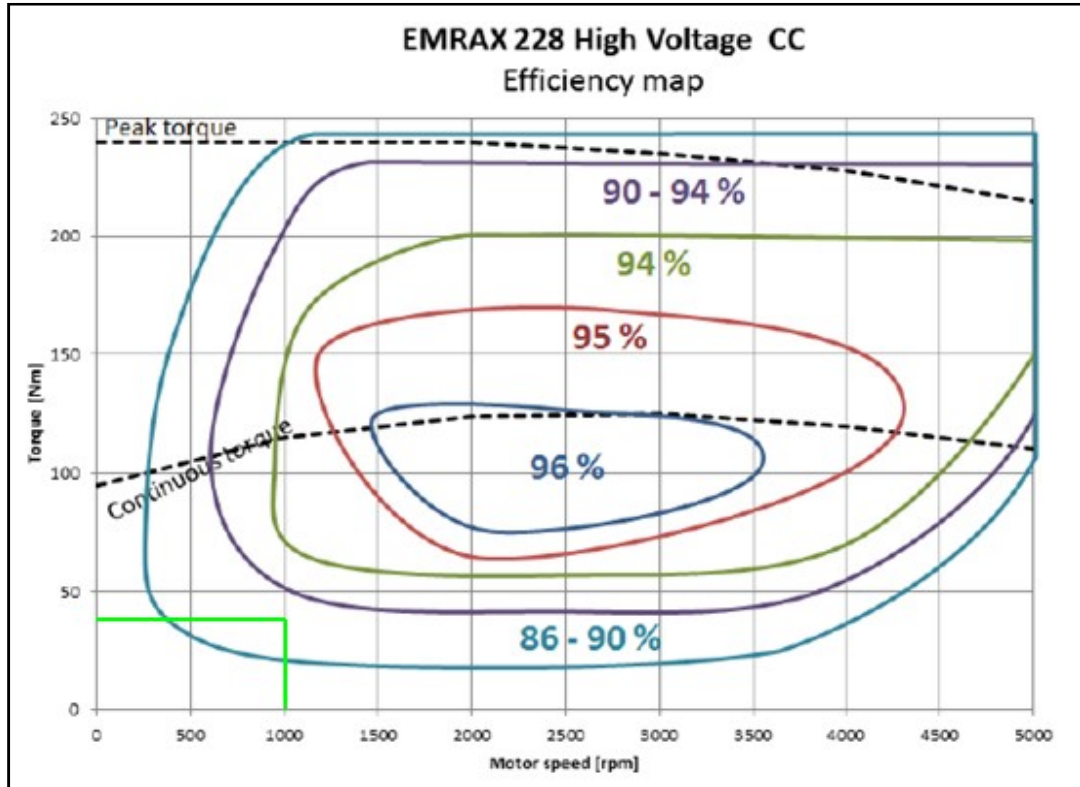
E: Energía almacenada en la batería (kWh)

t: Tiempo de duración de la prueba (h)

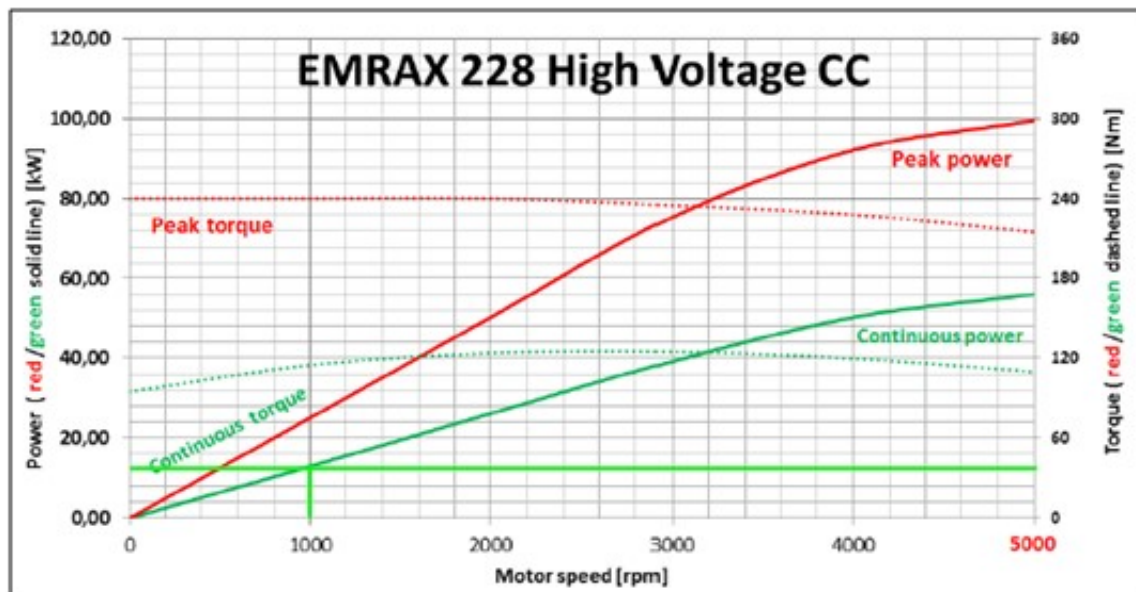
<b>Batería</b>		
Energía almacenada (kWh)	Potencia almacenada (kW)	Calor generado (W)
7,42	17,8	205

En cuanto al motor, el equipo FSULL calculó que consumiría 5,72 kWh, lo cual equivale a una potencia de 13,73 kW desarrollada durante los 25 minutos de duración de la prueba.

Se entra con dicho valor en el eje de ordenadas en la siguiente gráfica (pág.18 Anexo-Motor Emrax 228 Medium Voltage CC FSULL), obteniendo un par torsor de 40 N·m y 1000 rpm.



Si se acude con dichos valores a la siguiente gráfica (pág.18 Anexo-Motor Emrax 228 Medium Voltage CC FSULL), se obtiene una eficiencia del 86-90%. Así pues, se escoge el valor más restrictivo (Eficiencia= 86%).



Así pues, la potencia calorífica generada por el motor durante la prueba será de 1,92 kW.

<b>Motor</b>			
Energía consumida (kWh)	Potencia consumida (kW)	Eficiencia (%)	Calor generado (kW)
5,72	13,73	86	1,92

En cuanto a la controladora, el equipo FSULL estimó que consumiría el 10% de la potencia almacenada en la batería, con una eficiencia igual a la del motor. Así pues, se obtienen los siguientes datos:

<b>Controladora</b>			
Energía consumida (Wh)	Potencia consumida (W)	Eficiencia (%)	Calor generado (W)
741,5	41,7	86	5,8

Así pues, se extraen los siguientes datos: la potencia almacenada en la batería para la prueba será 17,8 kW, se consumirán 15,5 kW (el 87%) y el calor generado en la batería, el motor y la controladora será de 2,38 kW.

Potencia almacenada (kW)	Potencia consumida (kW)	Consumo (%)	Potencia calorífica total (kW)
17,8	15,5	87	2,38

### 2.5.2 Circuito de agua

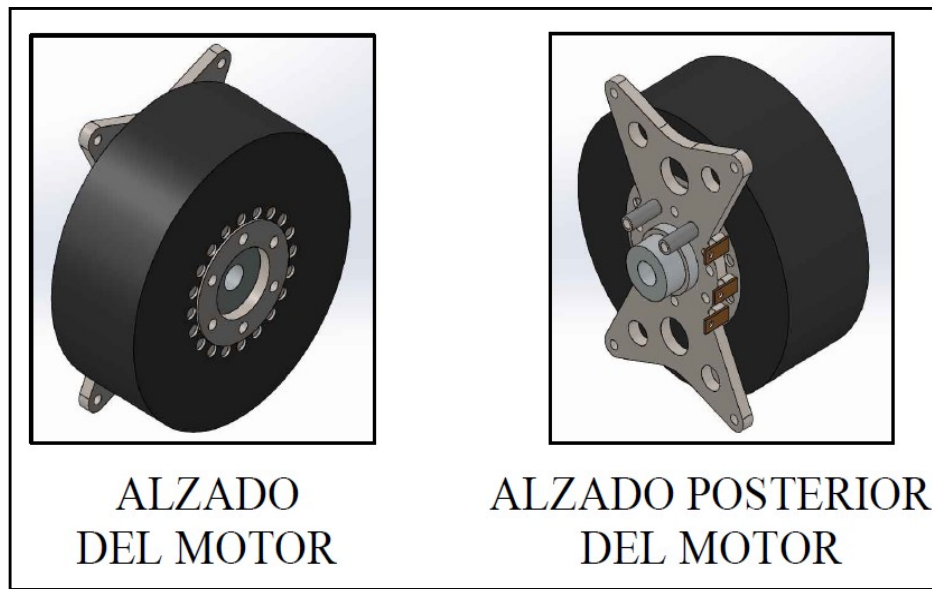
Según el equipo FSULL, el motor, la controladora y la batería se calentarán hasta los 60°C durante la prueba. Se deben enfriar hasta los 25°C, temperatura óptima de funcionamiento para que el rendimiento no se degrade.

Fue un requisito impuesto por el equipo del FSULL que el sistema de refrigeración del motor emplease un líquido como fluido de refrigeración. Esto se debe a que el motor

viene instalado en el interior de una carcasa hermética de la que sobresalen las tuberías para poder introducir líquido en su interior.

### Figura 3: Plano 3.0.7 ALZADO Y ALZADO POSTERIOR DEL MOTOR

Fuente: Equipo FSULL.



Es un requisito impuesto por el Formula Student Rules 2019 que la refrigeración líquida se realice mediante agua, quedando terminantemente prohibido emplear una mezcla de agua gliconada por motivos de seguridad.

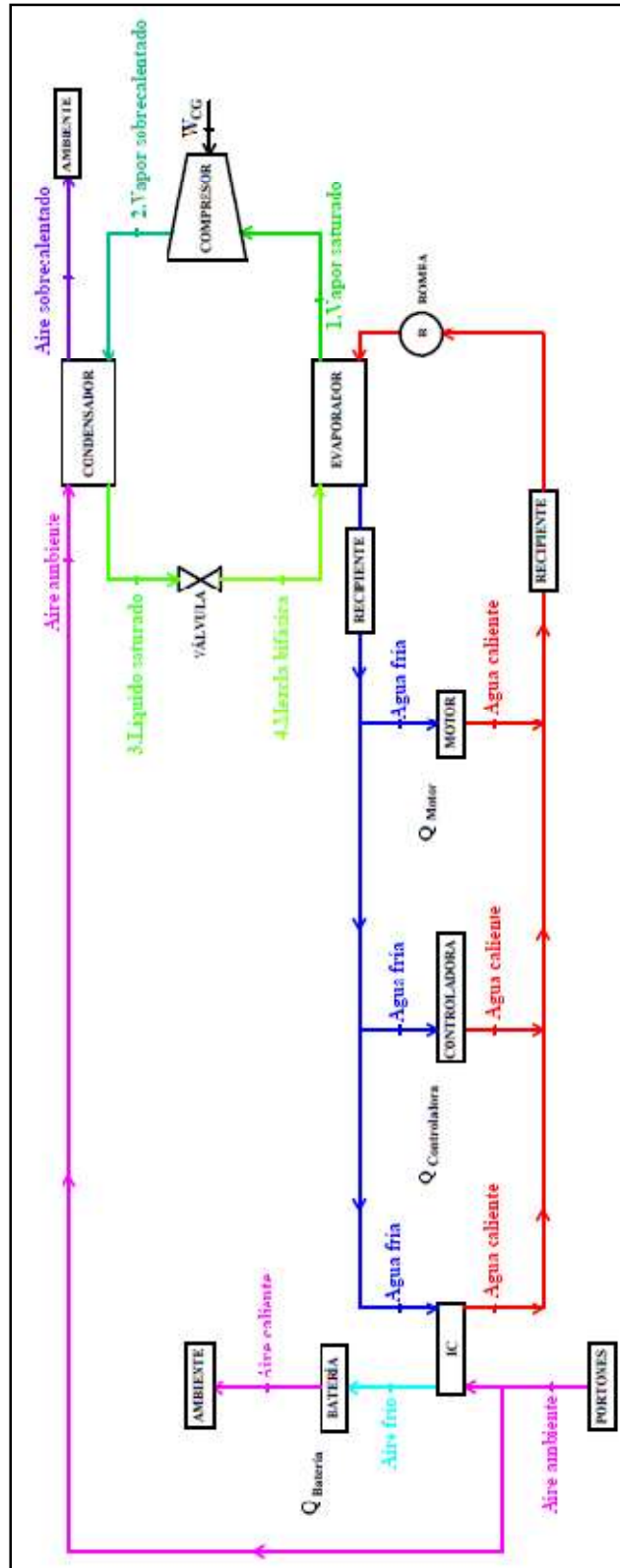
Así pues, se estimó que para refrigerar el motor será necesario que la temperatura del agua fría a la salida del evaporador del Ciclo de compresión de vapor sea de 7°C y la temperatura de entrada al evaporador sea de 12°C, valores típicos empleados en el Ciclo de compresión de vapor.

Al salir del evaporador, el agua se dirigirá a un sistema de 3 tramos de tuberías en paralelo (motor, controladora e Intercambiador de Calor), se producirán las transferencias de calor mediante convección forzada y el agua caliente se dirigirá a la entrada del evaporador del Ciclo de compresión de vapor para su enfriamiento.



**Figura 4: Plano 3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.





Así pues, el circuito de agua se dividirá en tres apartados:

### 2.5.2.1 Motor

Anteriormente se calculó que la potencia calorífica generada en el motor durante la prueba más exigente (de 25 minutos de duración) es 1,92 kW. La temperatura de entrada del agua al motor será de 7°C, se producirá una transferencia de calor mediante convección forzada y saldrá a 12°C.

Así pues, de la Tabla A.2 de Fundamentos de Termodinámica Técnica Moran-Shapiro se obtienen los siguientes valores: la entalpía del agua a 7°C será 29,4 kJ/kg y la entalpía del agua a 12°C será 50,41 kJ/kg.

Con estos datos, se calcula el caudal másico de agua necesario para refrigerar el motor. Para ello, se aplica un balance de energía (Volumen de Control= Motor):

#### Ec 2: Balance de energía del Motor

$$H_{\text{agua,entrada}} - H_{\text{agua,salida}} + Q_{\text{motor}} = 0$$

$$Q_{\text{motor}} = H_{\text{agua,salida}} - H_{\text{agua,entrada}} = \dot{m}'_{\text{motor}} * (h_{\text{agua,salida}} - h_{\text{agua,entrada}})$$

$$\dot{m}'_{\text{motor}} = Q_{\text{motor}} / (h_{\text{agua,salida}} - h_{\text{agua,entrada}})$$

<b>Motor</b>			
Calor generado (kW)	h agua 7°C (kJ/kg) (TABLA A.2)	h agua 12°C (kJ/kg) (TABLA A.2)	Volumen específico 12°C (m <sup>3</sup> /kg)
1,92	29,4	50,41	1,0005*10 <sup>-3</sup>

Una vez obtenido el caudal másico en kg/s, se calcula el caudal volumétrico. Para ello, se obtiene el valor del volumen específico del agua a 12°C, que es un poco superior al de 7°C, por lo que el caudal volumétrico dará un poco superior, aunque son iguales. Así pues, de la Tabla A.2 de Fundamentos de Termodinámica Técnica Moran-Shapiro se obtiene el volumen específico del agua a 12°C, que será de 1,0005\*10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/kg.

Así pues, el caudal volumétrico será:

### Ec 3: Expresión del caudal volumétrico en función del caudal másico y el volumen específico

$$V' = m' * v_{\text{especific}}$$

Caudal másico (kg/min)	Caudal volumétrico (l/min)
5,5	5,5

Según la tabla de la pág.18 del Anexo-Motor Emrax 228 Medium Voltage CC FSULL, será necesario un caudal máximo de agua de 8 l/min para refrigerar el motor.

EMRAX INNOVATIVE E-MOTORS		User's Manual for Advanced Axial Flux Synchronous Motors and Generators								
EMRAX 228 Technical Data Table (dynamometer test data)		EMRAX 228 High Voltage			EMRAX 228 Medium Voltage			EMRAX 228 Low Voltage		
Type		AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Technical data										
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC										
Ingress protection		IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.		AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/mi n at 50°C; AA=25°C	WF=8l/mi n at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/mi n at 50°C; AA=25°C	WF=8l/mi n at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s ; AA=25°C	WF=8l/mi n at 50°C; AA=25°C	WF=8l/mi n at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]		12,0	12,3	12,3	12,0	12,3	12,3	12,0	12,3	12,3
Diameter ø / width [mm]		228/86								
Maximal battery voltage [Vdc] and full load/no load RPM		670 Vdc (5300/6500 RPM)			470 Vdc (5170/6500 RPM)			130 Vdc (4400/5200 RPM)		
Peak motor power at max RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]		100								
Continuous motor power (at 3000-5000 RPM)		7R . Δ3	7R . Δ3	2C . CC	7R . Δ3	7R . Δ3	2C . CC	7R . Δ3	7R . Δ3	2C . CC

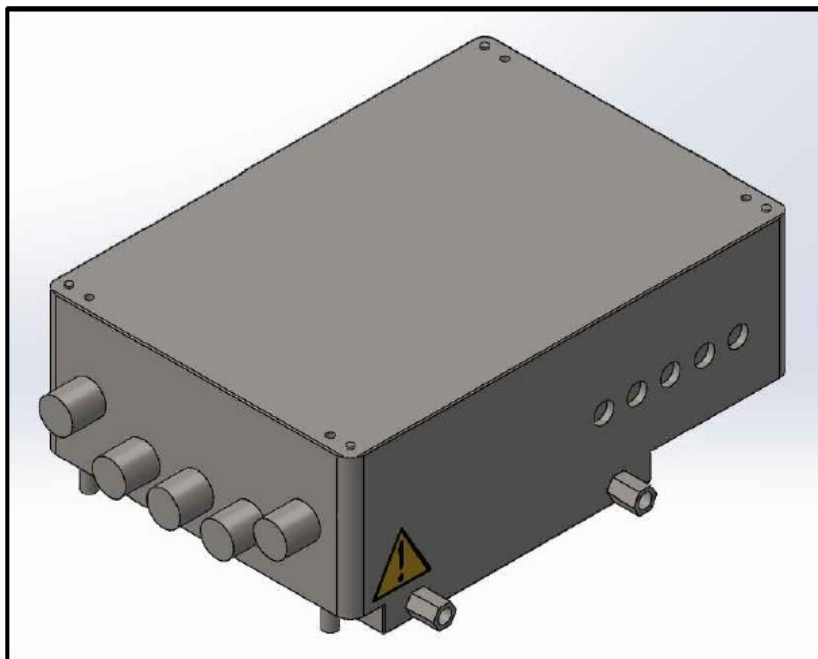
Así pues, los 5,5 l/min de agua serán suficientes para refrigerar el motor cuando funcione a estos parámetros.

#### 2.5.2.2 Controladora

Al igual que ocurre con el motor, fue un requisito impuesto por el equipo del FSULL que el sistema de refrigeración de la controladora emplease un líquido como fluido de refrigeración. Esto se debe a que la controladora viene instalada en el interior de una carcasa hermética de la que sobresalen las tuberías para poder introducir líquido en su interior.

### Figura 5: Plano 3.0.8 VISTA 3D DE LA CONTROLADORA

Fuente: Equipo FSULL



Es un requisito impuesto por el Formula Student Rules 2019 que la refrigeración líquida se realice mediante agua, quedando terminantemente prohibido emplear una mezcla de agua gliconada por motivos de seguridad.

Anteriormente se calculó que la potencia calorífica generada en la controladora durante la prueba más exigente es 249,2 W. La temperatura de entrada del agua a la controladora será de 7°C, se producirá una transferencia de calor mediante convección forzada y saldrá a 12°C.

Así pues, de la Tabla A.2 de Fundamentos de Termodinámica Técnica Moran-Shapiro se obtienen los siguientes valores: la entalpía del agua a 7°C será 29,4 kJ/kg y la entalpía del agua a 12°C será 50,41 kJ/kg.

Con estos datos, se calcula el caudal másico de agua necesario para refrigerar la controladora. Para ello, se aplica un balance de energía (Volumen de Control= Controladora):

#### Ec 4: Balance de energía de la Controladora

$$H_{\text{agua,entrada}} - H_{\text{agua,salida}} + Q_{\text{controladora}} = 0$$

$$Q_{\text{controladora}} = H_{\text{agua,salida}} - H_{\text{agua,entrada}} = m'_{\text{controladora}} * (h_{\text{agua,salida}} - h_{\text{agua,entrada}})$$

$$m'_{\text{controladora}} = Q_{\text{controladora}} / (h_{\text{agua,salida}} - h_{\text{agua,entrada}})$$

Controladora			
Calor generado (W)	h agua 7°C (kJ/kg) (TABLA A.2)	h agua 12°C (kJ/kg) (TABLA A.2)	Volumen específico 12°C (m <sup>3</sup> /kg)
249,2	29,4	50,41	1,0005*10 <sup>-3</sup>

Una vez se ha obtenido el caudal másico en kg/s, se calcula el caudal volumétrico. Para ello, se obtiene el valor del volumen específico del agua a 12°C, que es un poco superior al de 7°C, por lo que el caudal volumétrico dará un poco superior, aunque son iguales. Así pues, de la Tabla A.2 de Fundamentos de Termodinámica Técnica Moran-Shapiro se obtiene el volumen específico del agua a 12°C, que será de 1,0005\*10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/kg.

Así pues, el caudal volumétrico será:

#### Ec 5: Expresión del caudal volumétrico en función del caudal másico y el volumen específico

$$V' = m' * v_{\text{especific}}$$

Caudal másico (g/min)	Caudal volumétrico (l/min)
714	0,7119

Según la tabla de la pág.19 del Anexo-Controladora Bamocar 3D FSULL, se necesitará un caudal máximo de agua de 12 l/min para refrigerar la controladora.

Basic information		UNITEK
Technical data		
<b>Ambient conditions</b>		
Protection rating	IP 65	
Standards	EN60204, ISO 16750 , EN61800, IEC60146	
Protection class		
Over-voltage	+10%	
Operating temperature range	-10 to +45°C	
Extended operating temperature range	-30 to 65°C from +45°C to +65°C performance reduced by 2%/°C	
Storage and transport	-30°C to +80°C EN60721	
Installation altitude	≤ 1000m above sea level 100 %, >1000m performance reduced by 2%/100m	
Cooling	Liquid cooling unit max. 65°C, 12 l/min, pressure max. 1.3 bar	
Mounting position	independent	
Contamination	Contamination degree 2 acc. to EN 61800-5-1	
Vibration	10Hz to 58Hz ampl. 0.075mm (IEC 60068-2-3) 58Hz to 200Hz 1g	
Shock	15g for 11ms	
Environmental conditions	Not permissible: condensation (dew), ice formation, oil mist, salt spray, water	
Humidity	class F, humidity <85% condensation not allowed!	

Así pues, los 0,7119 l/min de agua serán suficientes para refrigerar la controladora cuando funcione a estos parámetros.

### 2.5.2.3 Circuito de agua del sistema de refrigeración

Se ha calculado que la potencia calorífica total generada durante la prueba en 25 minutos será la suma del calor generado en el motor, en la controladora y en la batería, lo cual hace un total de 2,38 kW a disipar en el evaporador del Ciclo de compresión de vapor, al cual entrará agua a 12°C y saldrá a 7°C mediante una transferencia por convección forzada con el refrigerante del ciclo.

Circuito de agua del sistema de refrigeración		
Potencia calorífica total (kW)	h agua 7°C (kJ/kg) (TABLA A.2)	h agua 12°C (kJ/kg) (TABLA A.2)
2,38	29,4	50,41

Se ha calculado que el motor y la controladora necesitan 6,2 kg/min (6,2 l/min) de agua para su refrigeración. Así pues, este valor es inferior al caudal máximo que puede circular por el motor y la controladora (8+12=20 l/min), según los Catálogos.

Caudal másico de agua Motor+Controladora (kg/min)	Volumen específico 12°C (m <sup>3</sup> /kg)	Caudal volumétrico de agua Motor+Controladora (l/min)
6,2	1,0005*10 <sup>-3</sup>	6,2

Con estos datos, se calcula el caudal másico de agua necesario para disipar el calor generado total. Para ello, se aplica un balance de energía (Volumen de Control=Batería+Motor+Controladora+Evaporador):

### Ec 6: Balance de energía del Evaporador

$$H_{\text{agua,entrada}} - H_{\text{agua,salida}} + Q_{\text{total}} = 0$$

$$Q_{\text{total}} = H_{\text{agua,salida}} - H_{\text{agua,entrada}} = m'_{\text{agua}} * (h_{\text{agua,salida}} - h_{\text{agua,entrada}})$$

$$m'_{\text{agua}} = Q_{\text{total}} / (h_{\text{agua,salida}} - h_{\text{agua,entrada}})$$

Caudal másico de agua total (kg/min)	Volumen específico 12°C (m <sup>3</sup> /kg)	Caudal volumétrico de agua total (l/min)
6,8	1,0005*10 <sup>-3</sup>	6,8

Así pues, se necesitarán 6,8 kg/s de agua para el sistema de refrigeración del vehículo eléctrico FSULL.

Se calcula el caudal másico de agua que se dirigirá al Intercambiador de calor como la diferencia del caudal de agua total y el necesario para refrigerar el motor y la controladora:

### Ec 7: Balance de masa del agua del sistema de refrigeración

$$m'_{\text{agua,IC}} = m'_{\text{agua,total}} - m'_{\text{agua,Motor+Controladora}}$$

Caudal másico de agua IC (g/min)	Volumen específico 12°C (m <sup>3</sup> /kg)	Caudal volumétrico de agua IC (l/min)
588	1,0005*10 <sup>-3</sup>	0,6

Así pues, al Intercambiador de Calor le llegarán 588 g/min de agua.

El circuito de agua para el sistema de refrigeración del vehículo FSULL quedará dimensionado de la siguiente forma:

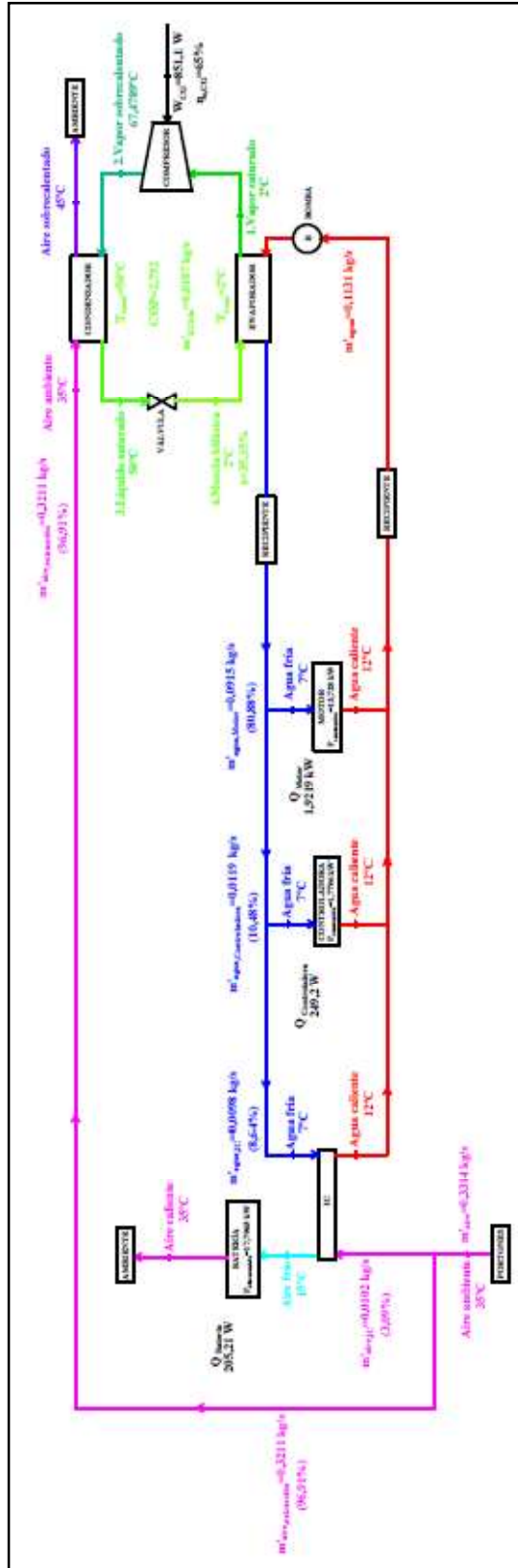
Caudal másico de agua total (kg/min)	Caudal másico- Motor (kg/min)	Caudal másico- Controladora (g/min)	Caudal másico de agua IC (g/min)
6,8	5,5	714	588

Caudal volumétrico-total (l/min)	Caudal volumétrico-Motor (l/min)	Caudal volumétrico- Controladora (l/min)	Caudal volumétrico-IC (l/min)
6,8	5,5	0,72	0,6

Caudal de agua- Motor (%)	Caudal de agua- Controladora (%)	Caudal de agua-IC (%)
80,9	10,5	8,6

**Figura 6: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.



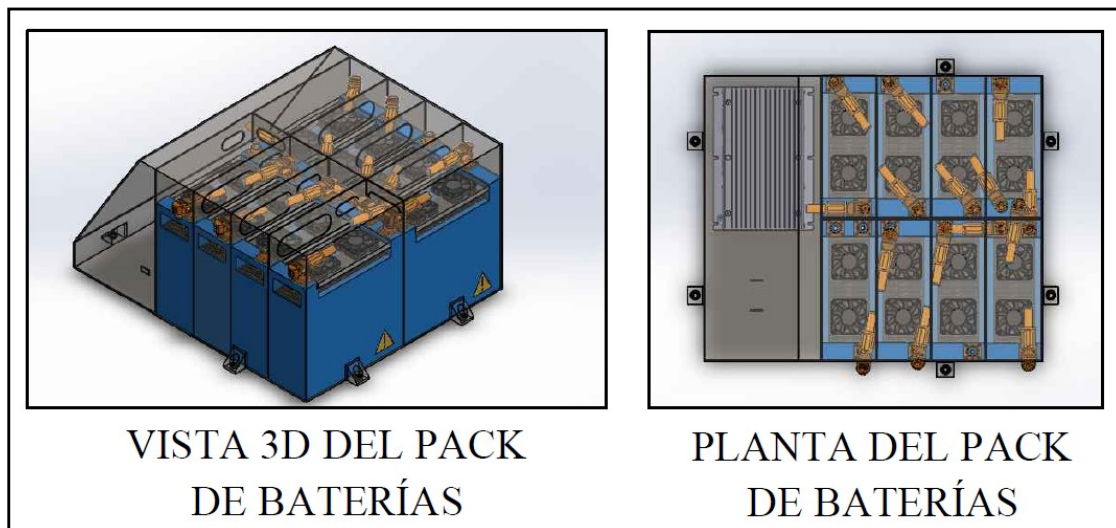


#### 2.5.2.4 Intercambiador de calor

Fue un requisito impuesto por el equipo del FSULL que el sistema de refrigeración de las baterías emplease aire como fluido de refrigeración. Esto se debe al poco espacio libre en el interior del pack de las baterías, lo cual imposibilita la instalación de tuberías para líquidos. Además, el uso de un líquido como fluido refrigerante conllevaría un riesgo importante ya que en caso de fuga, los componentes más cercanos a las tuberías serían electrónicos.

**Figura 7: Plano 3.0.5 VISTA 3D Y PLANTA DEL PACK DE BATERÍAS**

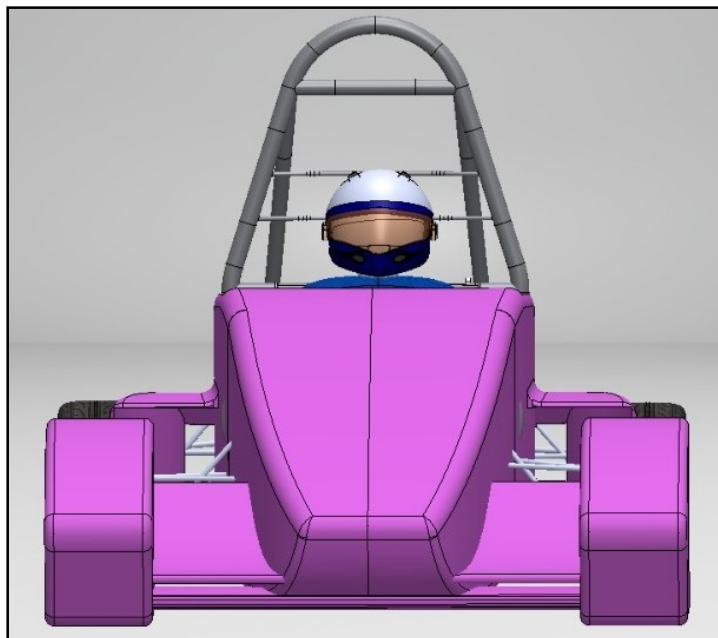
Fuente: Equipo FSULL.



Fue un requisito impuesto por el Formula Student Rules 2019 que la competición se celebrará en el mes de agosto en el circuito de Montmeló en la ciudad de Barcelona. Según un estudio climatológico en dicha ciudad durante ese mes, se ha considerado como requisito de diseño que la temperatura de entrada del aire ambiente por los portones ubicados en la parte frontal del vehículo FSULL a ambos lados del cockpit del piloto sea de 35°C.

**Figura 8: Plano 3.0.1 VISTA 3D Y ALZADO DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Equipo FSULL



**Figura 9: Estudio climatológico de la ciudad de Barcelona**

Fuente: [Ayuntamiento de Barcelona](http://www.barcelona.cat).

Ajuntament de Barcelona

La Ciudad | Ayuntamiento | Turismo | Negocios | Trámites | Más ▾

### Estadística

Inicio > Cifras de la ciudad > Anuario Estadístico de la Ciudad de Barcelona 2018 > Territorio, clima y medio ambiente

Seleccionar tabla:

←

#### 2. Clima

##### 2.1. Temperatura. 2013-2017

	Observatorio Can Bruixa					Observatorio Fabra				
	Medias °C			Extremas °C		Medias °C			Extremas °C	
	Medias	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Medias	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
2013	17,7	20,7	14,7	33,4	1,4	15,8	20,0	11,7	35,1	-1,6
2014	18,3	21,3	15,4	33,0	5,0	16,3	20,0	12,5	31,7	0,6
2015	18,4	21,5	15,4	34,7	2,1	16,6	20,6	12,7	35,0	-1,3
2016	18,4	21,4	15,4	32,6	3,9	16,5	20,6	12,4	32,4	0,6
2017	18,4	21,5	15,3	34,2	1,6	16,4	20,3	12,5	33,8	-0,8
Enero	10,4	13,4	7,4	18,1	1,6	7,9	11,1	4,7	16,6	-0,8
Febrero	13,7	16,7	10,7	19,9	7,0	11,4	14,8	8,0	18,7	4,2
Marzo	15,1	18,6	11,5	23,0	5,0	13,3	17,2	9,4	21,6	1,6
Abril	15,9	19,2	12,6	23,9	7,8	14,2	18,0	10,3	23,2	4,4
Mayo	20,0	23,2	16,8	29,2	11,3	18,3	22,8	13,8	29,7	7,8
Junio	25,2	28,3	22,1	32,6	16,7	23,6	27,7	19,4	32,8	13,0
Julio	25,6	28,3	22,9	30,6	17,3	24,2	28,8	19,6	32,4	13,4
Agosto	26,2	28,9	23,4	34,2	17,5	24,6	28,9	20,2	33,8	13,8
Septiembre	21,9	24,9	18,9	29,7	13,3	19,5	23,4	15,6	28,2	10,3
Octubre	20,7	23,5	17,8	26,2	14,0	18,7	22,3	15,0	25,4	10,6
Noviembre	14,7	18,3	11,0	22,9	6,0	12,5	16,2	8,8	21,4	3,3
Diciembre	11,4	14,5	8,3	20,8	3,1	8,6	12,0	5,1	17,2	-0,4

Departament d'Estadística i Difusió de Dades. Ajuntament de Barcelona.  
Fuente: Agencia Estatal de Meteorología. Delegación Territorial en Cataluña.

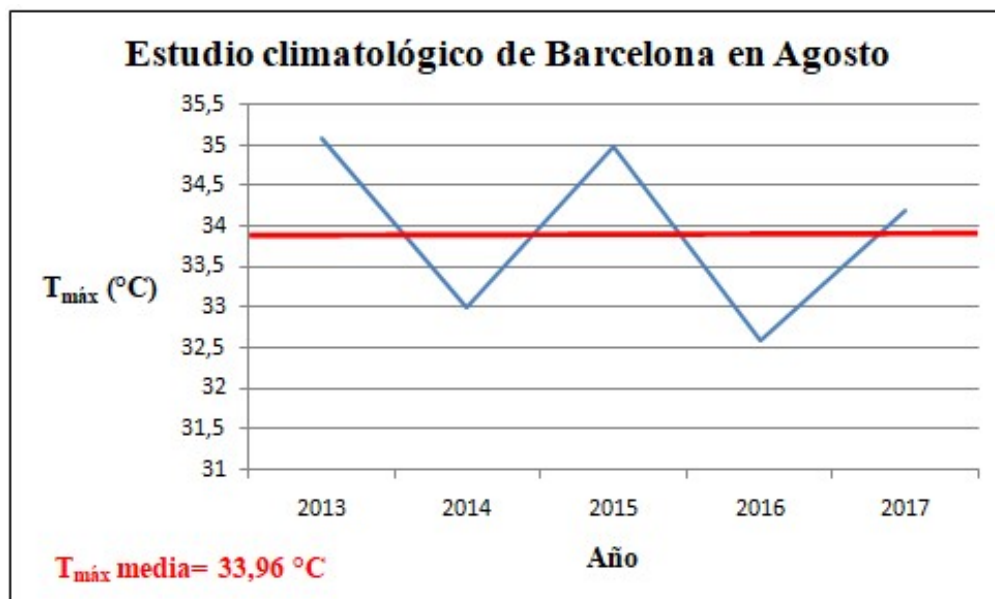
**Tabla 1: Estudio climatológico de Barcelona en Agosto**

Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.

Año	T <sub>máx</sub> (°C) en Agosto	T <sub>máx</sub> media (°C) en Agosto
2013	35,1	33,96
2014	33	
2015	35	
2016	32,6	
2017	34,2	

**Figura 10: Gráfico sobre de temperaturas máximas en Barcelona en Agosto**

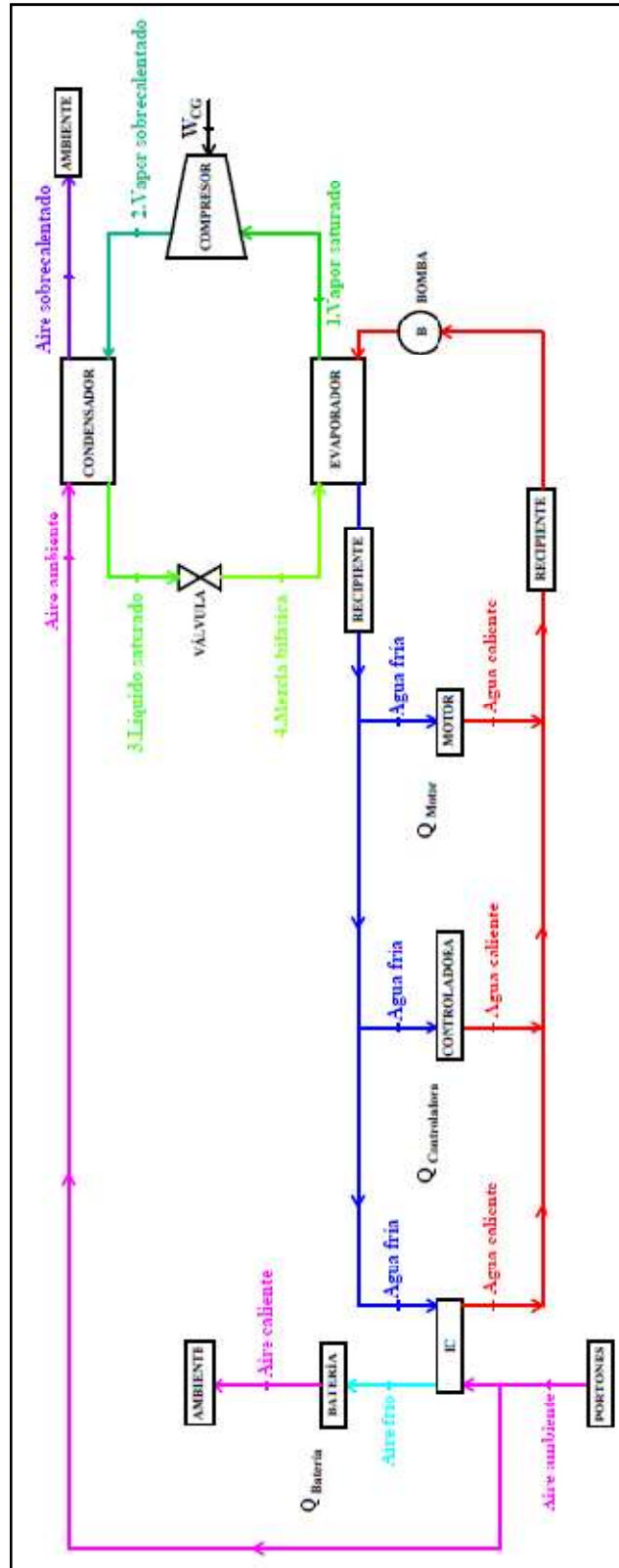
Fuente: Elaboración propia con los datos proporcionados por el Ayuntamiento de Barcelona.



Con este aire, se debe enfriar la batería de 60°C a 25°C, temperatura óptima de funcionamiento para que la duración y el rendimiento no se degraden. Así pues, el aire deberá entrar a una temperatura menor de 25°C para que se produzca de forma correcta la transferencia de calor y disipe el calor generado en la batería.

**Figura 11: Plano 3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.



Por tanto, es necesario un Intercambiador de Calor para enfriar el aire. Para ello, se empleará el flujo de agua fría procedente del evaporador del Ciclo de compresión de vapor. Así pues, al Intercambiador de Calor entrarán 588 g/min de agua a 7°C procedente de la salida del evaporador, se producirá la transferencia de calor por convección forzada con el flujo de aire y saldrá a 12°C hacia la entrada del evaporador.

Intercambiador de calor		
Agua		
h agua 7°C (kJ/kg) (TABLA A.2)	h agua 12°C (kJ/kg) (TABLA A.2)	Caudal másico de agua-IC (g/min)
29,4	50,41	588

En cuanto al aire, se ha estimado que entrará a 35°C y se enfriará hasta los 15°C. Así pues, de la Tabla A.22 de Fundamentos de Termodinámica Técnica Moran-Shapiro se obtienen los siguientes valores: la entalpía del aire a 35°C será 308,3826 kJ/kg y la entalpía del aire a 15°C será 288,3126 kJ/kg.

Con estos datos, se calcula el caudal másico de aire necesario. Para ello, se aplica un balance de energía (Volumen de Control=Intercambiador de Calor adiabático ( $Q_{IC}=0$  W)):

### Ec 8: Balance de energía del Intercambiador de Calor

$$H_{\text{agua,entrada}} - H_{\text{agua,salida}} + H_{\text{aire,entrada}} - H_{\text{aire,salida}} + Q_{IC} = 0$$

$$m'_{\text{agua}} * (h_{\text{agua,entrada}} - h_{\text{agua,salida}}) = m'_{\text{aire}} * (h_{\text{aire,salida}} - h_{\text{aire,entrada}})$$

$$m'_{\text{aire}} = m'_{\text{agua}} * (h_{\text{agua,entrada}} - h_{\text{agua,salida}}) / (h_{\text{aire,salida}} - h_{\text{aire,entrada}})$$

Aire		
h aire 35°C (kJ/kg) (TABLA A.22)	h aire 15°C (kJ/kg) (TABLA A.22)	Caudal másico de aire (g/min)
308,3826	288,3126	612

Así pues, serán necesarios 612 g/min de aire para que un caudal de agua de 588 g/min a 7°C y que se calienta hasta 12°C, enfríe el aire de 35°C a 15°C.

### 2.5.3 Circuito de aire

Se ha estimado que el aire va a entrar a 15°C a la batería procedente del Intercambiador de Calor, se producirá la transferencia de calor mediante convección forzada y disipará 205 W de potencia calorífica generada en la batería durante los 25 minutos de duración de la prueba.

Calor generado- Batería (W)	Caudal de aire (g/min)	h aire 15°C (kJ/kg) (TABLA A.22)
205	612	288,3126

Con estos datos, se calcula la entalpía del aire de salida de la batería. Para ello, se aplica un balance de energía (Volumen de Control= Batería):

#### Ec 9: Balance de energía de la Batería

$$H_{\text{aire,entrada}} - H_{\text{aire,salida}} + Q_{\text{Batería}} = 0$$

$$Q_{\text{Batería}} = \dot{m}'_{\text{aire}} * (h_{\text{aire, salida}} - h_{\text{aire,entrada}})$$

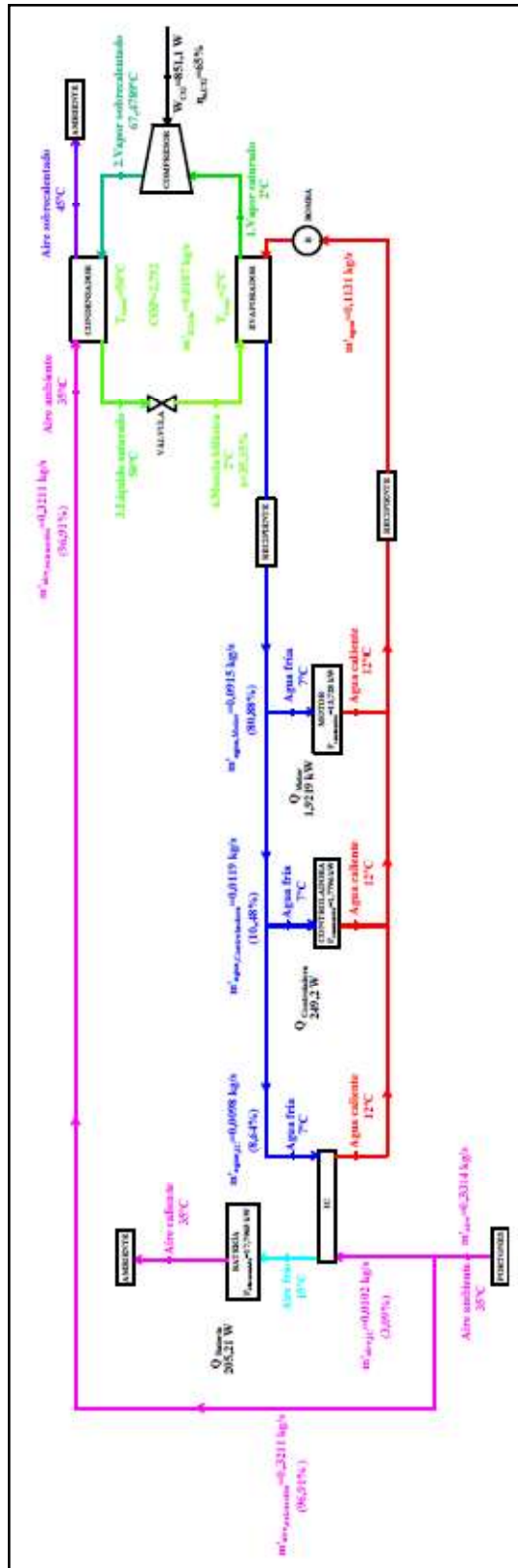
$$h_{\text{aire,salida}} = h_{\text{aire,entrada}} + (Q_{\text{Batería}} / \dot{m}'_{\text{aire}})$$

Una vez obtenida la entalpía del aire de salida, se acude con dicho valor a la Tabla A.22 de Fundamentos de Termodinámica Técnica Moran-Shapiro y se obtiene: la temperatura del aire de salida de la batería será 308,15 K = 35°C.

h aire salida (kJ/kg)	T aire salida (°C) (TABLA A.22)
308,3826	35

**Figura 12: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.

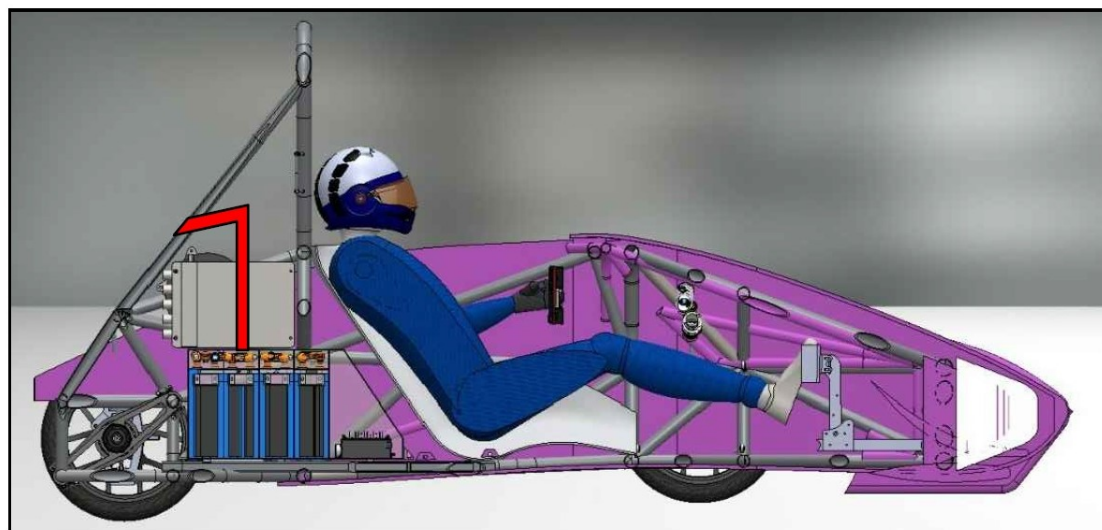




El aire caliente será expulsado por el chasis del vehículo FSULL. Para ello se instalaría un pequeño tramo de tubería por el cual circularía el aire desde la parte superior de la batería, habría un codo y otro pequeño tramo de tubería con una pendiente descendente del 2-3% que llegaría hasta una apertura circular en el chasis del vehículo FSULL, expulsando el aire caliente al ambiente. Destacar que este diseño del tramo de tuberías expulsaría una posible condensación de la humedad del aire, a la vez que impediría que entrara líquido o pequeñas partículas por medio de la apertura en el chasis hacia el interior de la batería.

### **Figura 13: Plano 3.1.4 OPCIÓN B-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA**

Fuente: Elaboración propia.



#### **2.5.4 Ciclo de compresión de vapor**

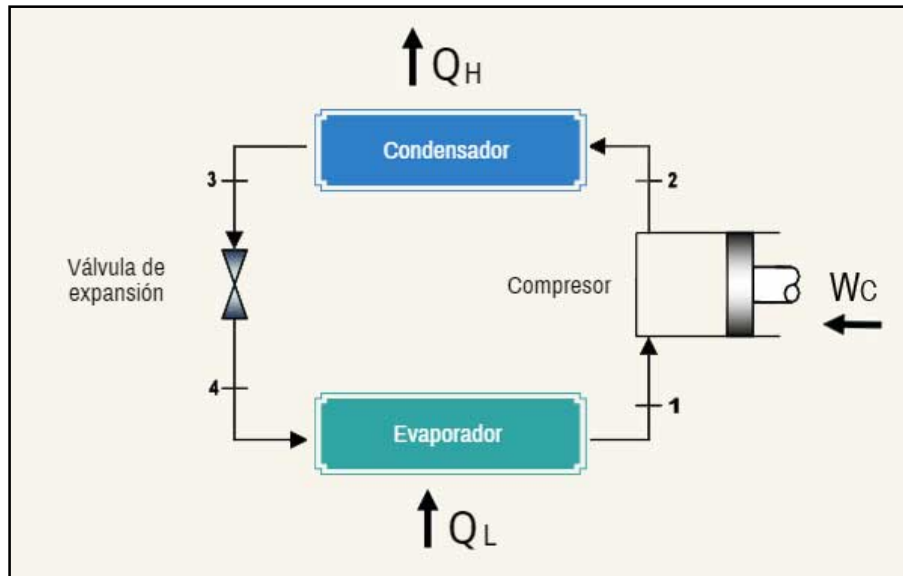
Una vez calculado el caudal de agua y de aire necesarios para refrigerar los sistemas electrónicos que dispone el vehículo FSULL, se debe buscar un método para refrigerar el agua. Para ello, se va a emplear el Ciclo de refrigeración por compresión de vapor.

La refrigeración por compresión es un método de refrigeración que consiste en forzar mecánicamente la circulación de un refrigerante en un circuito cerrado dividido en dos zonas: de alta y de baja presión, con el propósito de que el fluido absorba calor del ambiente, en el evaporador en la zona de baja presión y lo ceda en la de alta presión, en el condensador.



**Figura 14: Esquema básico del Ciclo de compresión de vapor**

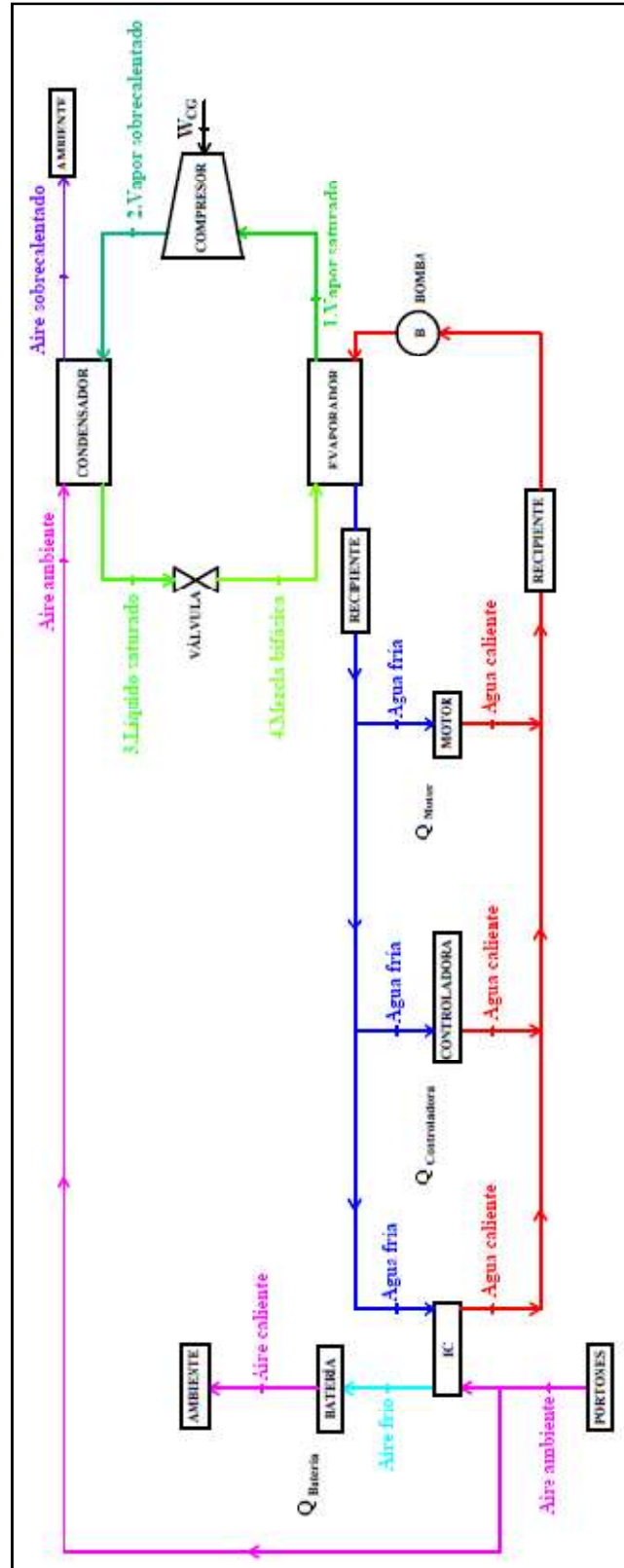
Fuente: [Ciclo de compresión de vapor](#)



Así pues, circulará agua caliente a  $12^{\circ}\text{C}$  por el evaporador, produciéndose una transferencia de calor entre el flujo de refrigerante que pasa por el evaporador (entra el refrigerante en forma de mezcla bifásica y sale como vapor saturado), por lo que el flujo de agua caliente cederá calor y se enfriará, saliendo del evaporador como agua fría a  $7^{\circ}\text{C}$ . La transferencia de calor debe ser suficiente como para equilibrar la potencia calorífica generada en la batería, el motor y la controladora.

**Figura 15: Plano 3.1.6 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

Fuente: Elaboración propia.



Dicho ciclo contará con una capacidad de refrigeración de 2,38 kW, que equivale al calor generado en la batería, el motor y la controladora. Se ha estimado unas pérdidas de 5°C en la transferencia de calor de los Intercambiadores de Calor (evaporador y condensador), así como un incremento de 10°C en la transferencia de calor con el fluido de extracción (en el condensador). Se ha supuesto un rendimiento isoentrópico del compresor del 65%.

Datos			
Capacidad de refrigeración (Q41) (kW)	Transferencia de calor-IC (°C)	$\Delta T$ fluido de extracción (°C)	Ren.isoentrópico-Compresor (%)
2,38	5	10	65

Así pues, al evaporador entrará un caudal de 6,8 kg/min de agua a 12°C, realizará una transferencia de calor mediante convección forzada con el fluido que circula por el ciclo y se enfriará hasta los 7°C. En cuanto, al fluido de extracción de calor del ciclo, destacar que se va a emplear aire ambiente a 35°C. Como se ha estimado un incremento de temperatura de 10°C en el condensador, el aire saldrá a 45°C hacia el ambiente.

Espacio a refrigerar: agua del sistema de refrigeración			Fluido de extracción de calor: Aire	
T agua entrada (°C)	T agua salida(°C)	Caudal másico de agua total (kg/min)	T aire entrada (°C)	T aire salida (°C)
12	7	6,8	35	45

Así pues, como se ha estimado unas pérdidas de 5°C en la transferencia de calor de los Intercambiadores de Calor (evaporador y condensador), la temperatura de evaporación y de condensación a las que trabaja el ciclo serían:

#### **Ec 10: Expresión de la temperatura de evaporación**

$$T_{\text{evaporación}} = T_{\text{salida,agua}} - \Delta T_{\text{evap}} = 7^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 2^{\circ}\text{C}$$

#### **Ec 11: Expresión de la temperatura de condensación**

$$T_{\text{condensación}} = T_{\text{salida,aire}} + \Delta T_{\text{cond}} = 45^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$$

T evaporización (°C)	T condensación (°C)
2	50

Destacar que se ha escogido el refrigerante R134a como fluido que realizará el Ciclo de compresión de vapor, el cuál posee las características idóneas para el correcto funcionamiento del ciclo, además de su amplio uso en el mercado.

Fluido del ciclo	Fluido de extracción
Refrigerante R134a (TABLA A.10)	Aire (TABLA A.22)

A continuación, se calculan las propiedades termodinámicas de los diferentes estados presentes en el ciclo:

A la salida del evaporador se encuentra el Estado 1: vapor saturado a la temperatura de evaporización del evaporador ( $T_1=T_{\text{evap}}=2\text{ °C}$ ) y se dirigirá hacia el compresor, que mediante el consumo de potencia eléctrica almacenada en la batería, elevará su presión y temperatura, saliendo como Estado 2: vapor sobrecalentado ( $T_2=67,5\text{ °C}$ ).

El rendimiento isoentrópico de un compresor se calcula como:

### Ec 12: Rendimiento isoentrópico de un compresor

$$\eta_s = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1)$$

1. Vapor saturado a $T_{\text{evap}}$			
$T_1=T_4=T_{\text{evap}}$ (°C)	$P_1$ (bar)	$h_1$ (kJ/kg)	$s_1$ (kJ/kgK)
2	3,15235	248,38	0,91795

2. Vapor sobrecalentado		
$P_2=P_{2s}=P_3$ (bar)	$s_{2s}=s_1$ (kJ/kgK)	$h_{2s}$ (kJ/kg) (TABLA A.12)
13,1885	0,91795	277,9272

h2 (kJ/kg)	s2 (kJ/kgK) (TABLA A.12)	T2 (°C) (TABLA A.12)
293,8372	0,9655	67,5

Dicho vapor se hace pasar por el condensador, en el cuál se produce una transferencia de calor, mediante convección forzada, hacia el aire de extracción de calor del ciclo.

3.Líquido saturado a Tcond			
T3=Tcond (°C)	P3 (bar)	h3 (kJ/kg)	s3 (kJ/kgK)
50	13,1885	121,465	0,43375

El caudal de refrigerante cederá 3,2 kW al caudal másico de 20 kg/min de aire ambiente a 35°C (estado 5) procedente de los portones del vehículo FSULL. El aire abandonará el condensador a 45°C (estado 6), como se ha mencionado anteriormente. En cuanto al vapor de agua sobrecalentado, destacar que se enfriará, abandonando el condensador como Estado 3: líquido saturado a la temperatura de condensación (T3=Tcond=50 °C).

5.Aire amb			
T5 (°C)	P5 (atm)	h5 (kJ/kg)	s5 (kJ/kgK)
35	1	308,3826	1,7289

6.Aire sobrecalentado			
T6 (°C)	P6 (atm)	h6 (kJ/kg)	s6 (kJ/kgK)
45	1	318,4326	1,76104

Seguidamente, el líquido se dirigirá a una válvula de expansión que hará disminuir su presión y temperatura hasta la de evaporación, transformándose en Estado 4: mezcla bifásica con un bajo título de vapor (T4=2 °C, x=35%). Sabemos que el título de vapor se calcula como:

### Ec 13: Expresión del título de vapor de una mezcla bifásica

$$x = (h_4 - h_f) / (h_g - h_f)$$

4. Mezcla bifásica a Tevap		
$T_4=T_1=T_{\text{evap}}$ (°C)	$P_4=P_1$ (bar)	$h_4=h_3$ (kJ/kg)
2	3,15235	121,465

$h_f$ (kJ/kg)	$h_g$ (kJ/kg)	$s_f$ (kJ/kgK)	$s_g$ (kJ/kgK)
52,685	248,38	0,2066	0,91795

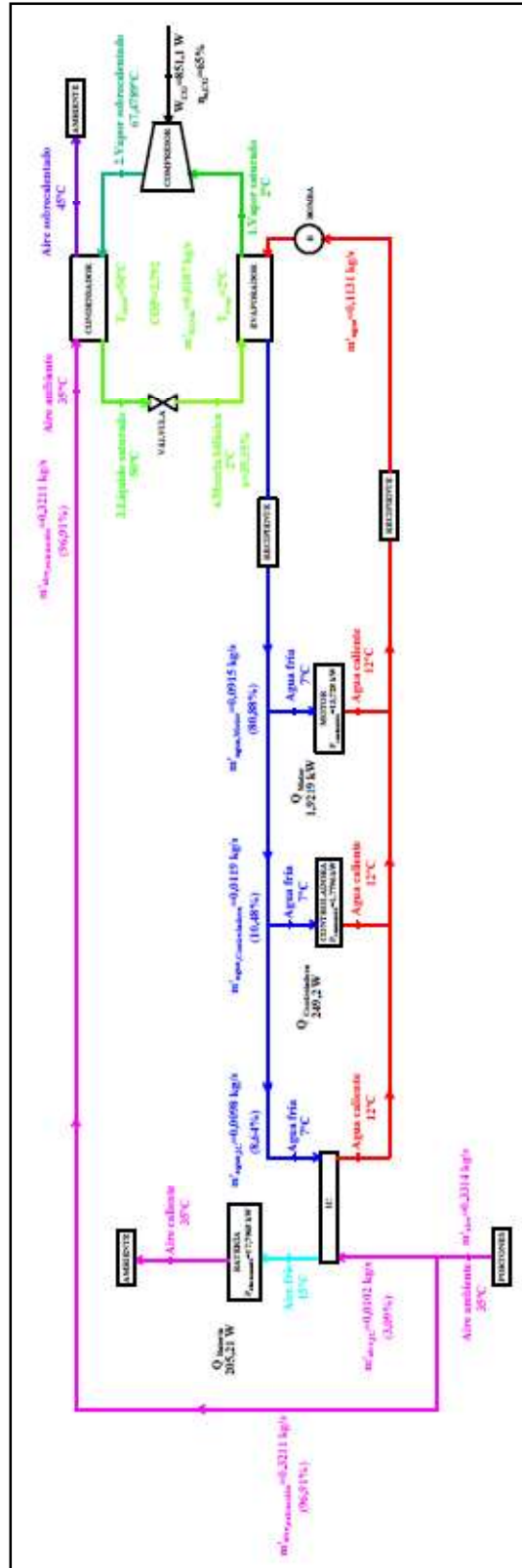
$x_4$ (%)	$s_4$ (kJ/kgK)
35	0,4566

La mezcla bifásica absorbe el calor procedente del agua a 12°C que entra al evaporador.

De esta forma, se garantiza el funcionamiento cíclico de todo el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

**Figura 16: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.



En cuanto a otros parámetros calculados, destacar que el caudal másico de refrigerante R134a que circulará por el ciclo será de 1,1 kg/min, la potencia consumida por el compresor durante los 25 minutos de duración de la prueba asciende a 851 W, el coeficiente de operación del ciclo (COP) será de 2,8, valor relativamente alto (“Por cada kW consumido en el compresor se evaporan 2,8 kW”) y el calor cedido en el condensador será de 3,2 kW.

El caudal másico de refrigerante se ha calculado aplicando un balance de energía (Volumen de Control= ½ Evaporador):

#### **Ec 14: Balance de energía del Evaporador**

$$H_4 - H_1 + Q_{\text{total}} = 0$$

$$Q_{\text{total}} = \dot{m}'_{\text{R134a}} * (h_1 - h_4)$$

$$\dot{m}'_{\text{R134a}} = Q_{\text{total}} / (h_1 - h_4)$$

El consumo del compresor se ha calculado aplicando un balance de energía (Volumen de Control=Compresor):

#### **Ec 15: Balance de energía del Compresor**

$$H_1 - H_2 + W_{\text{CG}} = 0$$

$$W_{\text{CG}} = \dot{m}'_{\text{R134a}} * (h_2 - h_1)$$

El coeficiente de operación del ciclo de compresión de vapor (COP) se define como el cociente entre objetivo y recurso: es decir, la capacidad de refrigeración del ciclo y el consumo de potencia del compresor:

#### **Ec 16: Expresión del Coeficiente de Operación del Ciclo de compresión de vapor**

$$\text{COP} = Q_{\text{total}} / W_{\text{CG}}$$



Resultados del Ciclo de compresión de vapor			
Relación de compresión (P2/P1)	Caudal másico R134a (kg/min)	Consumo del compresor (W12) (W)	COP (Objetivo/Recurso)
4,2	1,1	851	2,8
Por cada kW consumido en el compresor se evaporan 2,8 kW.			

El calor extraído del refrigerante se ha calculado aplicando un balance de energía (Volumen de Control= ½ Condensador):

**Ec 17: Balance de energía del Condensador (fluido del Ciclo)**

$$H_2 - H_3 - Q_{ced} = 0$$

$$Q_{ced} = m'_{R134a} * (h_2 - h_3)$$

También se puede calcular aplicando un balance de energía (Volumen de Control=Ciclo de compresión de vapor):

**Ec 18: Balance de energía del Ciclo de compresión de vapor**

$$Q_{total} + W_{CG} - Q_{ced} = 0$$

$$Q_{ced} = Q_{total} + W_{CG}$$

El caudal másico de aire necesario para extraer el calor del refrigerante se ha calculado aplicando un balance de energía (Volumen de Control= ½ Condensador):

**Ec 19: Balance de energía del Condensador (fluido de extracción de calor)**

$$H_5 - H_6 + Q_{ced} = 0$$

$$Q_{ced} = m'_{aire} * (h_6 - h_5)$$

$$m'_{aire} = Q_{ced} / (h_6 - h_5)$$

Extracción de calor del ciclo (Q23) (kW)	Balance de energía del ciclo (Q23=Q41+W12) (kW)	Caudal másico del aire de extracción (kg/min)
3,2	3,2	20

Si se suponen unas condiciones ambientales de 25°C de temperatura y 1 atm de presión, la destrucción de exergía en el compresor sería de 31%; mientras que en la válvula rondaría el 15%. No obstante, son valores relativamente bajos.

La destrucción de exergía en el compresor se ha calculado aplicando un balance de exergía (Volumen de Control= Compresor):

### Ec 20: Balance de exergía del Compresor

$$S_1 - S_2 + Ad_{CG} = 0$$

$$Ad_{CG} = m'_{R134a} * T_{amb} * (s_2 - s_1)$$

La destrucción de exergía en la válvula se ha calculado aplicando un balance de exergía (Volumen de Control= Válvula):

### Ec 21: Balance de exergía de la Válvula

$$S_3 - S_4 + Ad_{Válvula} = 0$$

$$Ad_{Válvula} = m'_{R134a} * T_{amb} * (s_4 - s_3)$$

Tamb (°C)	
25	
<b>Destrucción de exergía en el compresor (W)</b>	<b>Destrucción de exergía en el compresor (%)</b>
265	31
Por cada kW consumido en el compresor se pierden 310 W de exergía.	
<b>Destrucción de exergía en la válvula (W)</b>	<b>Destrucción de exergía en la válvula (%)</b>
128	15
Por cada kW consumido en el compresor se pierden 150 W de exergía en la válvula.	

## 2.5.5 Resultados

A continuación, se comentan los resultados a tener en cuenta para la propuesta de diseño del sistema de refrigeración del vehículo eléctrico FSULL.

Cabe destacar que los parámetros calculados están dimensionados para la prueba más restrictiva de la competición Formula Student 2019.

### 2.5.5.1 Datos

Según la estimación realizada por el equipo FSULL, dicha prueba tendrá una duración de 25 minutos aproximadamente.

Datos
Tiempo duración prueba (min)
25

Para dicha prueba, el equipo FSULL calculó que la batería almacenará 7,42 kWh (17,8 kW de potencia, desarrollados durante los 25 minutos de duración de la prueba) y se generará 205 W de potencia calorífica.

Batería		
Energía almacenada (kWh)	Potencia almacenada (kW)	Calor generado (W)
7,42	17,8	205

El motor consumirá 5,72 kWh (13,73 kW de potencia, desarrollados durante los 25 minutos de duración de la prueba), tendrá una eficiencia del 86% y se generará 2 kW de potencia calorífica.

Motor			
Potencia consumida (kWh)	Potencia consumida (kW)	Eficiencia (%)	Calor generado (kW)
5,72	13,73	86	2

La controladora consumirá 741,5 Wh (1,78 kW de potencia, desarrollados durante los 25 minutos de duración de la prueba), tendrá una eficiencia del 86% y se generará 250 W de potencia calorífica.

<b>Controladora</b>			
Potencia consumida (Wh)	Potencia consumida (kW)	Eficiencia (%)	Calor generado (W)
741,5	1,78	86	250

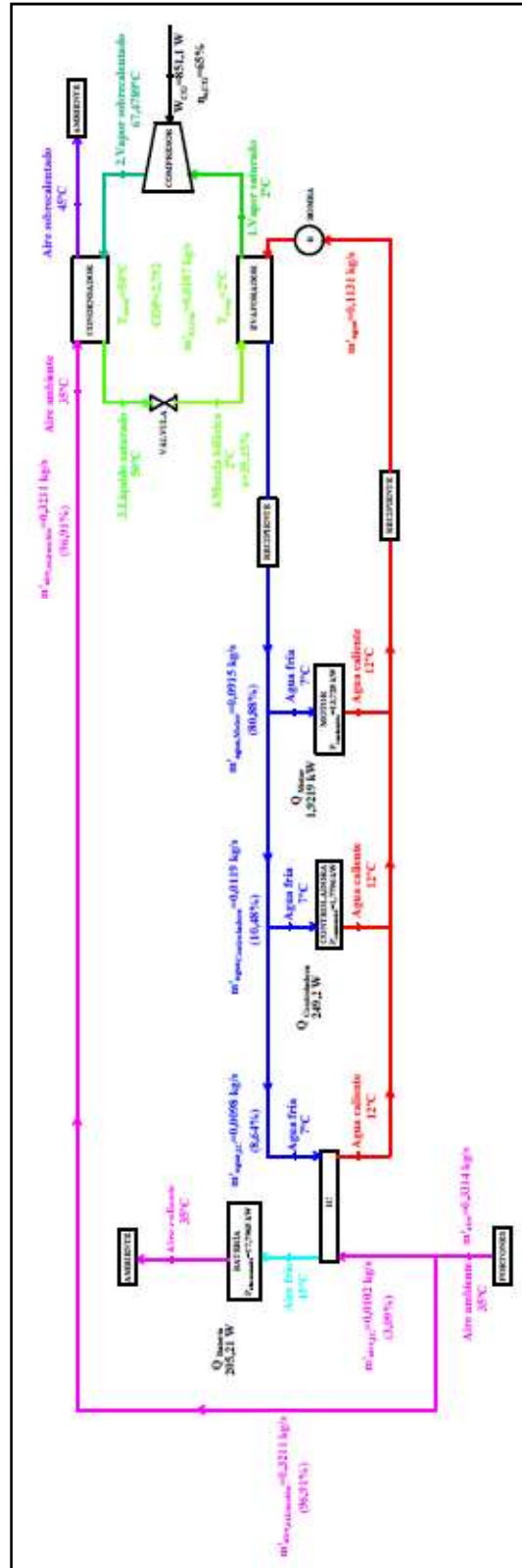
No forma parte del alcance de este Trabajo de Fin de Grado esos cálculos proporcionados por el equipo FSULL y se asume que se han calculado correctamente. Así pues, este Trabajo de Fin de Grado se basa en dichos valores para diseñar el sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

Así pues, como resumen de estos parámetros cabe destacar que la potencia disponible para realizar la prueba será 17,8 kW, se consumirán 15,5 kW (87 %) y se generarán 2,4 kW de potencia calorífica.

Potencia almacenada (kW)	Potencia consumida (kW)	Consumo (%)	Potencia calorífica total (kW)
17,8	15,5	87	2,4

**Figura 17: Plano 3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

Fuente: Elaboración propia.



### 2.5.5.2 Circuito de agua del sistema de refrigeración

Un caudal de agua de 6,8 kg/min saldrá del evaporador del Ciclo de compresión de vapor a 7°C y se dirigirá a un sistema de tres tramos de tuberías en paralelo:

- 5,5 kg/min refrigerarán el motor (80,9% del caudal de agua).
- 714 g/min refrigerarán la controladora (10,5% del caudal de agua).
- 588 g/min se dirigirán al Intercambiador de Calor para enfriar el aire (8,65% del caudal de agua).

El agua abandonará dichos equipos a 12°C y se dirigirá a la entrada del evaporador del Ciclo de compresión de vapor para su enfriamiento. De esta forma se garantiza el funcionamiento cíclico del sistema de refrigeración del vehículo FSULL.

Circuito de agua del sistema de refrigeración	
Tentrada, agua (°C)	Tsalida, agua (°C)
7	12

Motor	
Caudal másico-Motor (kg/min)	Caudal volumétrico-Motor (l/min)
5,5	5,5

Controladora	
Caudal másico-Controladora (g/min)	Caudal volumétrico-Controladora (l/min)
744	0,72

Intercambiador de Calor	
Caudal másico de agua IC (g/min)	Caudal volumétrico-IC (l/min)
588	0,6

Caudal másico de agua total (kg/min)	Caudal volumétrico de agua total (l/min)
6,8	6,8

Caudal de agua-Motor (%)	Caudal de agua-Controladora (%)	Caudal de agua-IC (%)
80,9	10,5	8,65

### 2.5.5.3 Circuito de aire del sistema de refrigeración

Un caudal de aire de 20 kg/min a 35°C entrará por los portones frontales del vehículo FSULL y se dirigirá a un sistema de dos tramos de tuberías en paralelo:

- 612 g/min se dirigirán al Intercambiador de Calor para su enfriamiento (3% del caudal de aire). Se enfriará hasta los 15°C y refrigerará la batería. Saldrá de la batería a 35°C y se expulsará al ambiente.

- 19,3 kg/min extraerán calor del Ciclo de compresión de vapor (97% del caudal de aire). Se calentará hasta los 45°C y se expulsará al ambiente.

Circuito de aire del sistema de refrigeración		
Intercambiador de Calor		
Caudal másico de aire-IC (g/min)	Tentrada,aire (°C)	Tsalida, aire (°C)
612	35	15

Batería		
Caudal másico de aire-IC (g/min)	Tentrada, aire (°C)	Tsalida,aire (°C)
612	15	35

Ciclo de compresión de vapor		
Caudal másico del aire de extracción (kg/min)	T aire entrada (°C)	T aire salida (°C)
19,3	35	45

Caudal másico de aire total (kg/min)	Caudal volumétrico de aire (m <sup>3</sup> /s)	Caudal volumétrico de aire (CFM)
20	0,29	605

Caudal de aire-IC (%)	Caudal de aire-Ciclo (%)
3	97

#### 2.5.5.4 Ciclo de compresión de vapor

Se empleará un Ciclo de refrigeración por compresión de vapor como método para refrigerar el agua.

Dicho ciclo contará con una capacidad de refrigeración de 2,38 kW, lo que equivale a enfriar un caudal de agua de 6,8 kg/min de 12°C a 7°C. Por el ciclo circulará 1,12 kg/min de refrigerante R134a. Se emplearán 19,3 kg/min de aire ambiente a 35°C para extraer calor del ciclo y se expulsará a 45°C al ambiente.

Se ha calculado que la temperatura de evaporación del ciclo será 2°C y la de condensación será 50°C.

El compresor del Ciclo de compresión de vapor consumirá 851 W de la batería durante los 25 minutos de duración de la prueba. Así pues, el coeficiente de operación del ciclo será 2,8 (“Por cada kW consumido en el compresor se evaporan 2,8 kW”).

Ciclo de compresión de vapor		
Capacidad de refrigeración (kW)	Fluido del ciclo	Caudal másico R134a (kg/min)
2,38	Refrigerante R134a	1,12

Espacio a refrigerar: agua del sistema de refrigeración		
T agua entrada (°C)	T agua salida(°C)	Caudal másico de agua total (kg/min)
12	7	6,8

Fluido de extracción de calor: Aire		
T aire entrada (°C)	T aire salida (°C)	Caudal másico del aire de extracción (kg/min)
35	45	19,3



T evaporación (°C)	T condensación (°C)
2	50

Consumo del compresor (W)	COP
851	2,8
Por cada kW consumido en el compresor se evaporan 2,8 kW.	

### 2.5.5.5 Conclusión

Al incluir el consumo del compresor, la potencia consumida asciende a 16,36 kW, lo cual supone un consumo del 92 %.

CONCLUSIÓN		
Potencia almacenada (kW)	Potencia consumida (kW)	Consumo (%)
17,8	16,36	92

Dado que se dispone de 17,8 kW para realizar la prueba, no hará falta un incremento de la potencia almacenada en la batería para poder cumplir con las exigencias del sistema de refrigeración.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene el objetivo de dar al equipo FSULL una propuesta de diseño del sistema de refrigeración del vehículo FSULL. Así pues, no es responsabilidad de este Trabajo, la elección de los equipos del sistema de refrigeración ni la instalación/ubicación del sistema de refrigeración en el vehículo FSULL, ya que se desconoce el diseño del interior del vehículo y el espacio disponible para el mismo. Así pues, no es objeto de este Trabajo de Fin de Grado el cálculo y dimensionado de las conducciones por las cuales circularán los fluidos, ni las áreas de intercambio de calor necesarias ya que no se dispone de información acerca de la geometría de dichas zonas.

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología

Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo de Fin de Grado

# ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

## PLANOS

Autor: Martins Rodríguez González

Tutor: Agustín Manuel Delgado Torres

Julio 2019

Curso académico 2018/2019



# ÍNDICE-PLANOS

---

## 3. PLANOS

### 3.0 DISEÑO DEL VEHÍCULO FSULL

3.0.1 VISTA 3D Y ALZADO DEL VEHÍCULO FSULL

3.0.2 PERFIL DERECHO DEL VEHÍCULO FSULL

3.0.3 VISTA 3D DE LA BATERÍA Y LA CONTROLADORA

3.0.4 VISTA 3D DE LA BATERÍA Y EL MOTOR

3.0.5 VISTA 3D Y PLANTA DEL PACK DE BATERÍAS

3.0.6 VISTA 3D Y PLANTA DE UNA CELDA DE LA BATERÍA

3.0.7 ALZADO Y ALZADO POSTERIOR DEL MOTOR

3.0.8 VISTA 3D DE LA CONTROLADORA

### 3.1 ANÁLISIS DE SOLUCIONES PARA EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL

3.1.1 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL

3.1.2 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL

3.1.3 OPCIÓN A-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA

3.1.4 OPCIÓN B-EXPULSIÓN DEL AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA

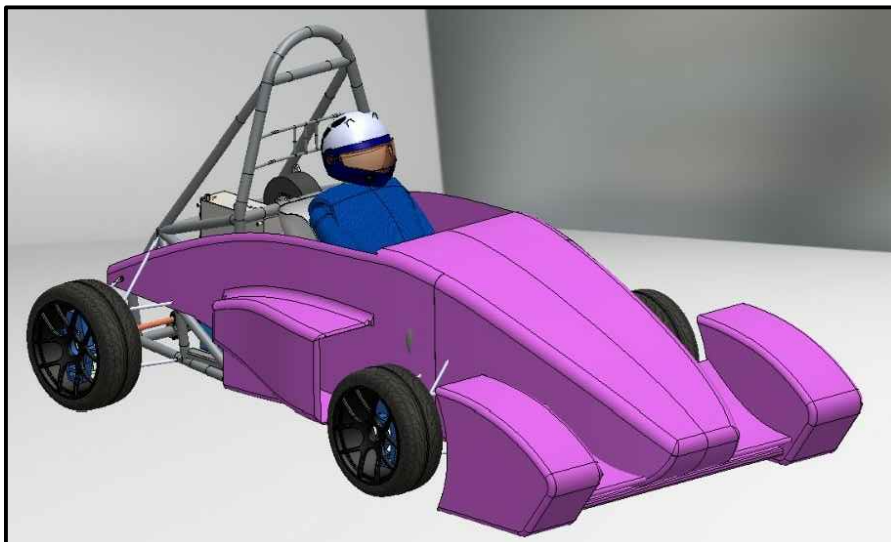
3.1.5 OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

### **3.1.6 OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

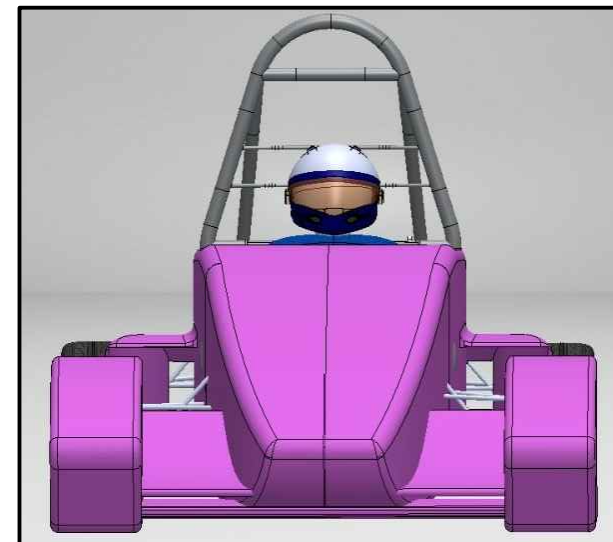
## **3.2 ESQUEMAS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

### **3.2.1 ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

### **3.2.2 ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL**

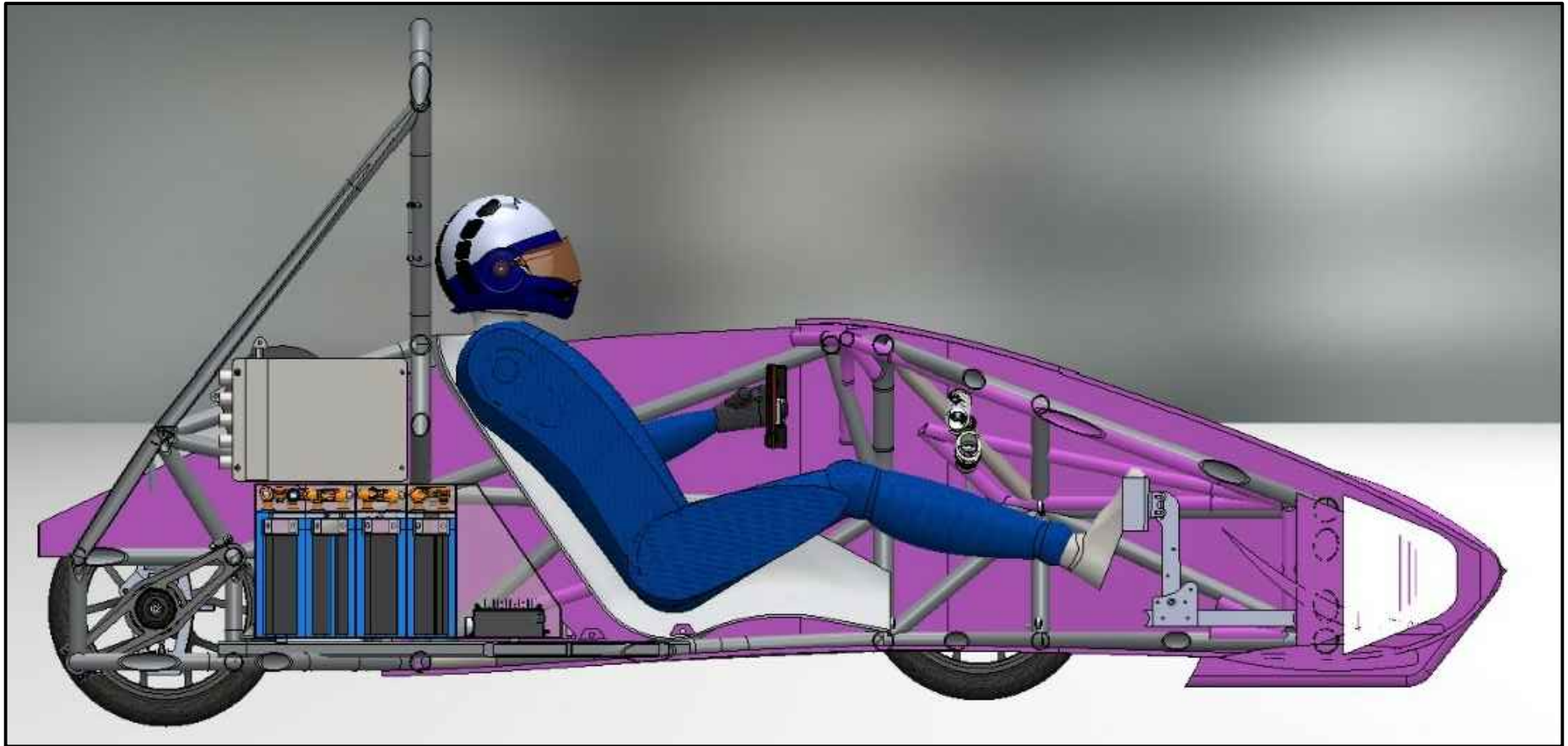


Vista 3D del vehículo FSULL



Alzado del  
vehículo FSULL

TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS			
Proporcionado por: Equipo FSULL	Id. s. normas: UNE-EN-DIN	 Universidad de La Laguna	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA <i>Grado Ingeniería Mecánica</i> <i>Universidad de La Laguna</i>
Comprobado: Julio 2019	<b>VISTA 3D Y ALZADO DEL VEHÍCULO FSULL</b>		Nº PLANO: 3.0.1
ESCALA: S / E			



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Proporcionado por:  
Equipo FSULL

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



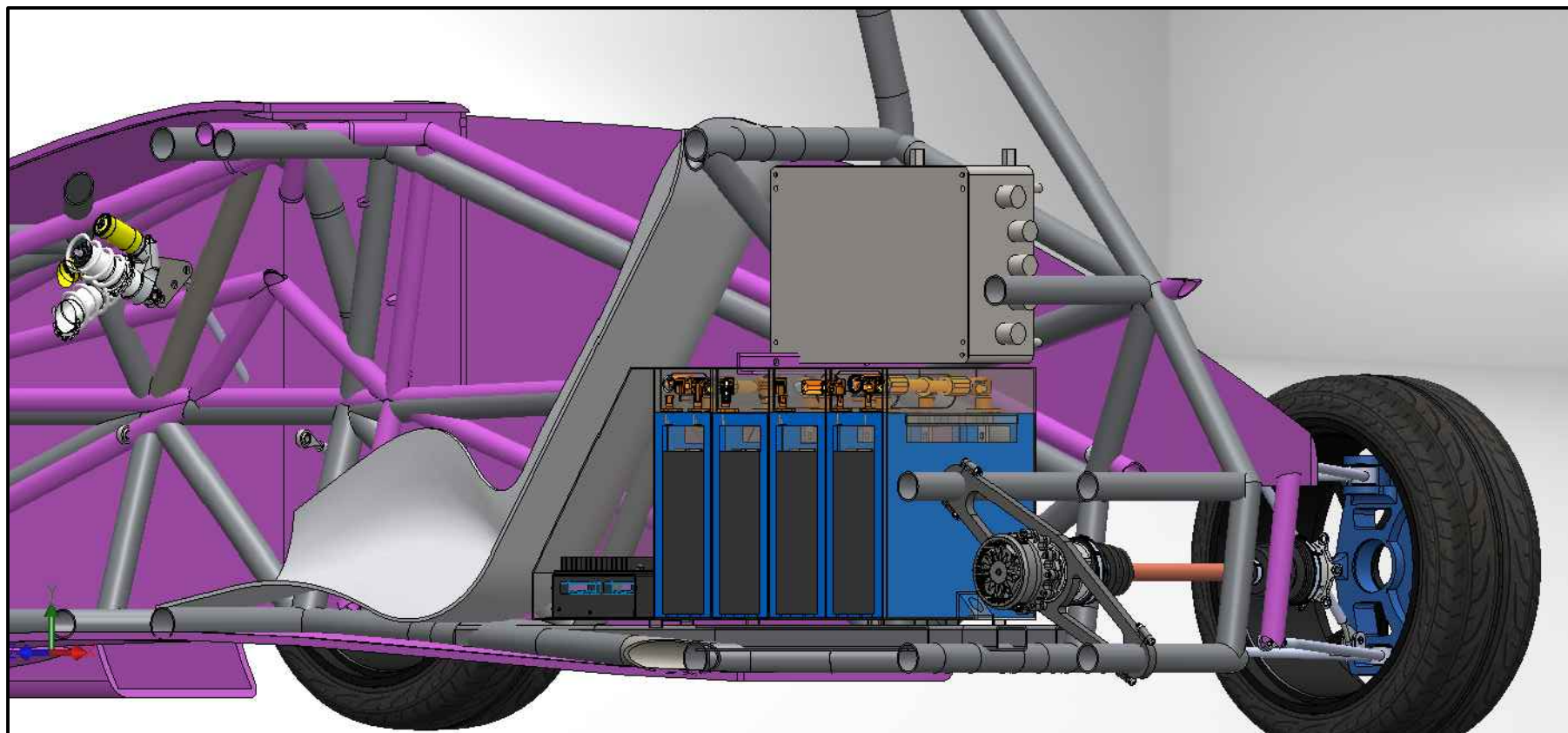
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

PERFIL DERECHO DEL  
VEHÍCULO FSULL

Nº PLANO:  
3.0.2



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Proporcionado por:  
Equipo FSULL

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

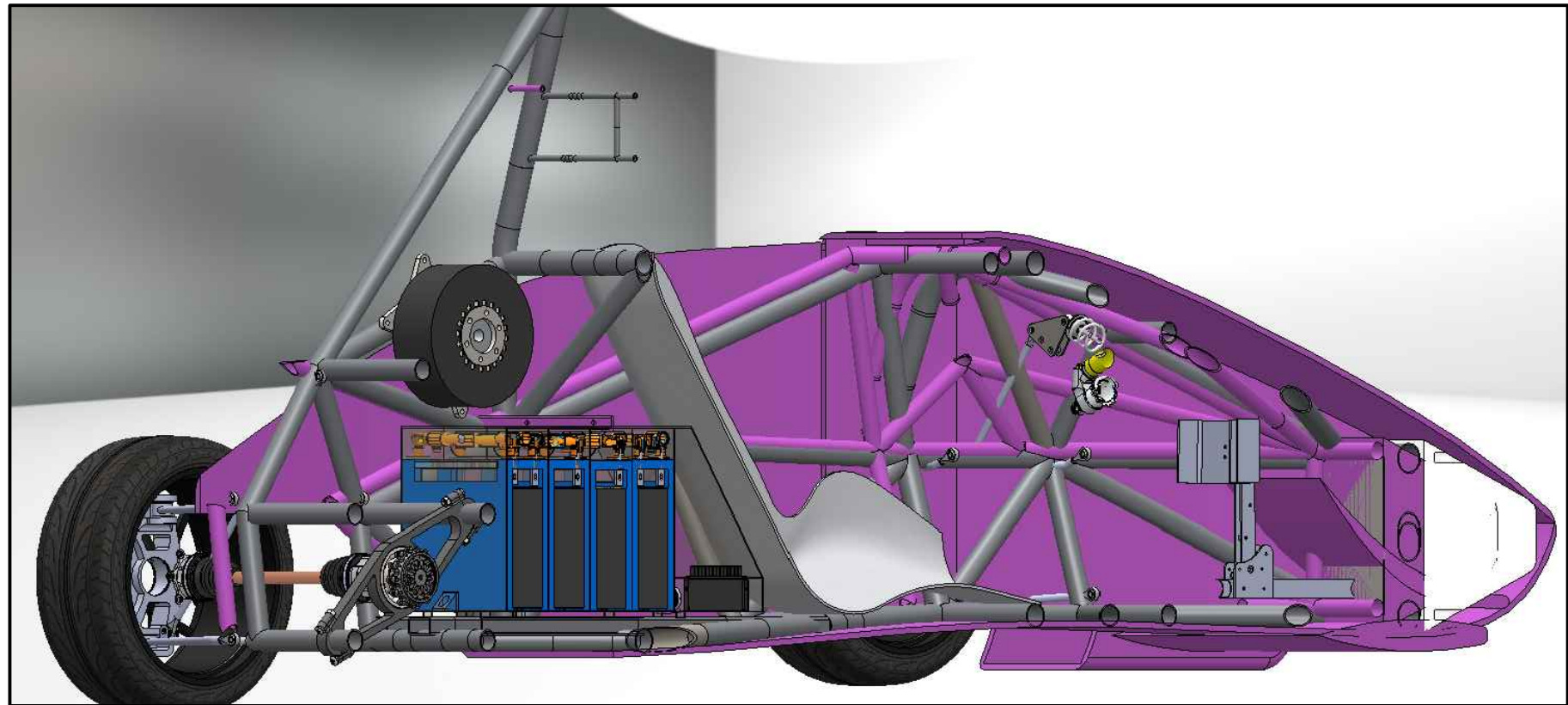
Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

VISTA 3D DE LA BATERÍA Y  
LA CONTROLADORA

Nº PLANO:  
3.0.3





TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Proporcionado por:  
Equipo FSULL

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



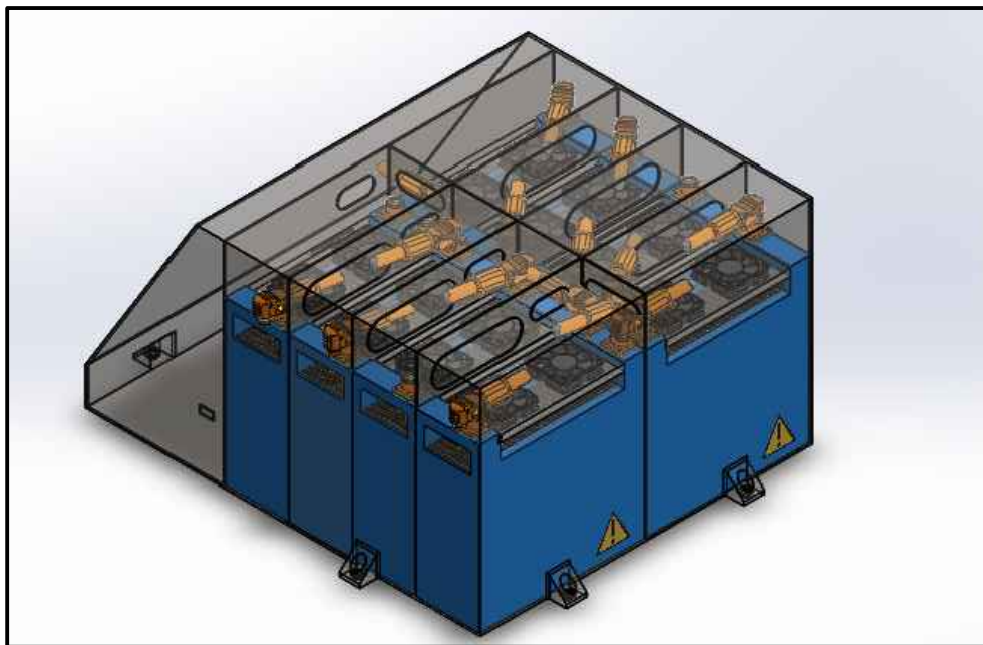
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

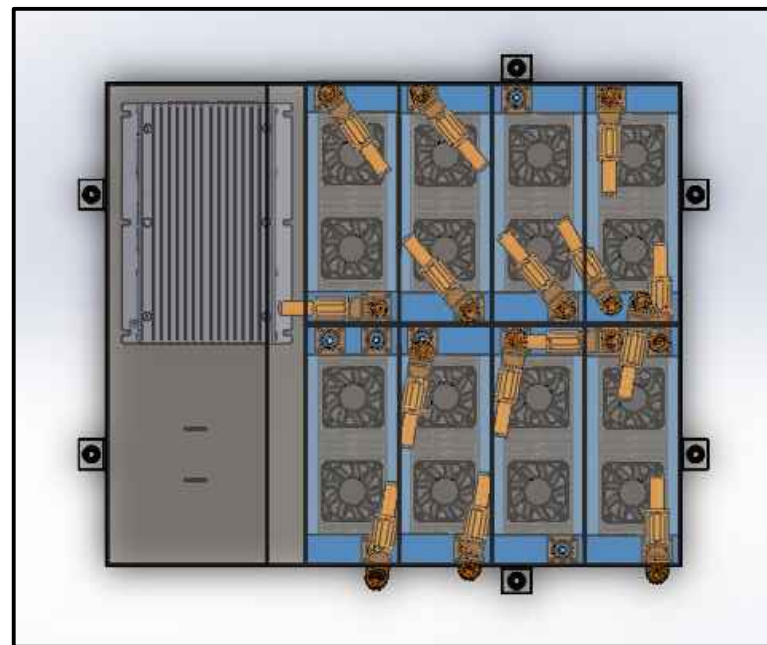
ESCALA:  
S / E

VISTA 3D DE LA BATERÍA Y  
EL MOTOR

Nº PLANO:  
3.0.4



VISTA 3D DEL PACK  
DE BATERÍAS



PLANTA DEL PACK  
DE BATERÍAS

TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Proporcionado por:  
Equipo FSULL

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



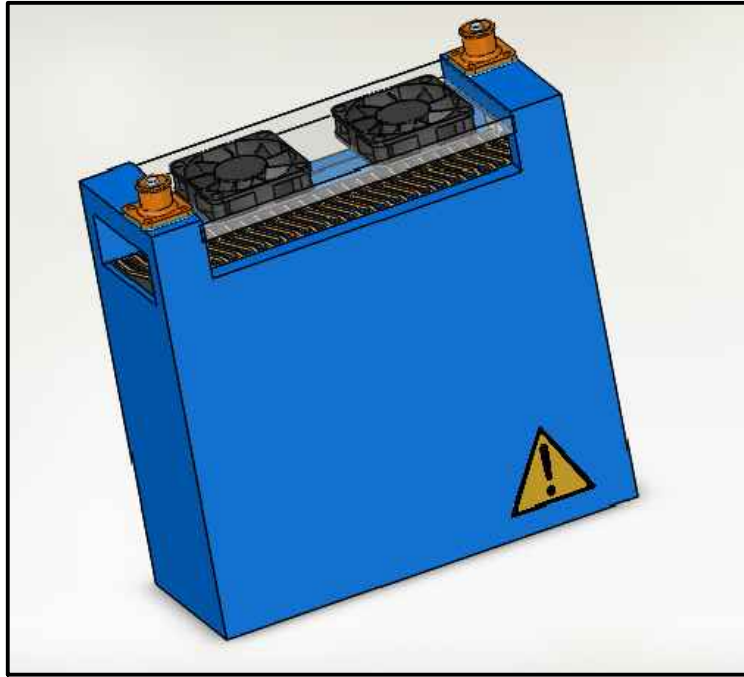
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

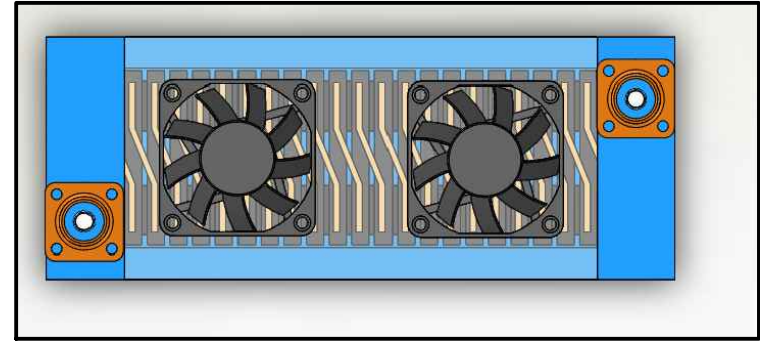
ESCALA:  
S / E

VISTA 3D Y PLANTA DEL  
PACK DE BATERÍAS

Nº PLANO:  
3.0.5



VISTA 3D DE UNA  
CELDA DE LA BATERÍA



PLANTA DE UNA  
CELDA DE LA BATERÍA

TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Proporcionado por:  
Equipo FSULL

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



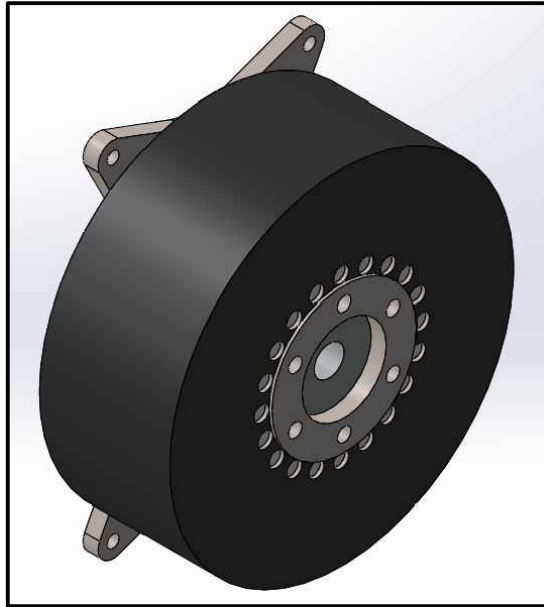
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

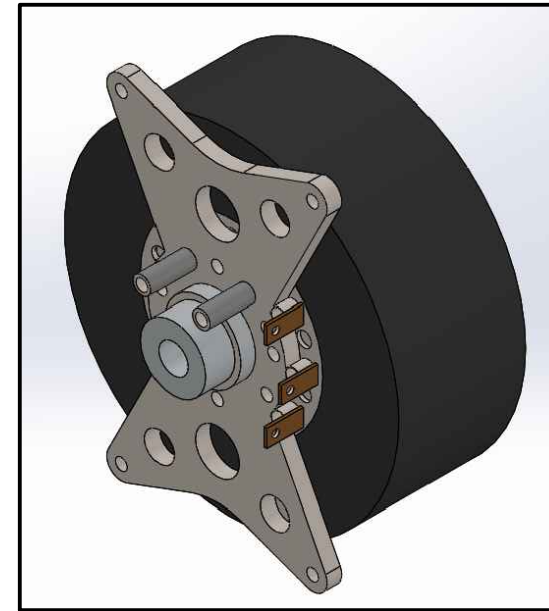
ESCALA:  
S / E

VISTA 3D Y PLANTA DE  
UNA CELDA DE LA BATERÍA

Nº PLANO:  
3.0.6



ALZADO  
DEL MOTOR



ALZADO POSTERIOR  
DEL MOTOR

TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Proporcionado por:  
Equipo FSULL

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



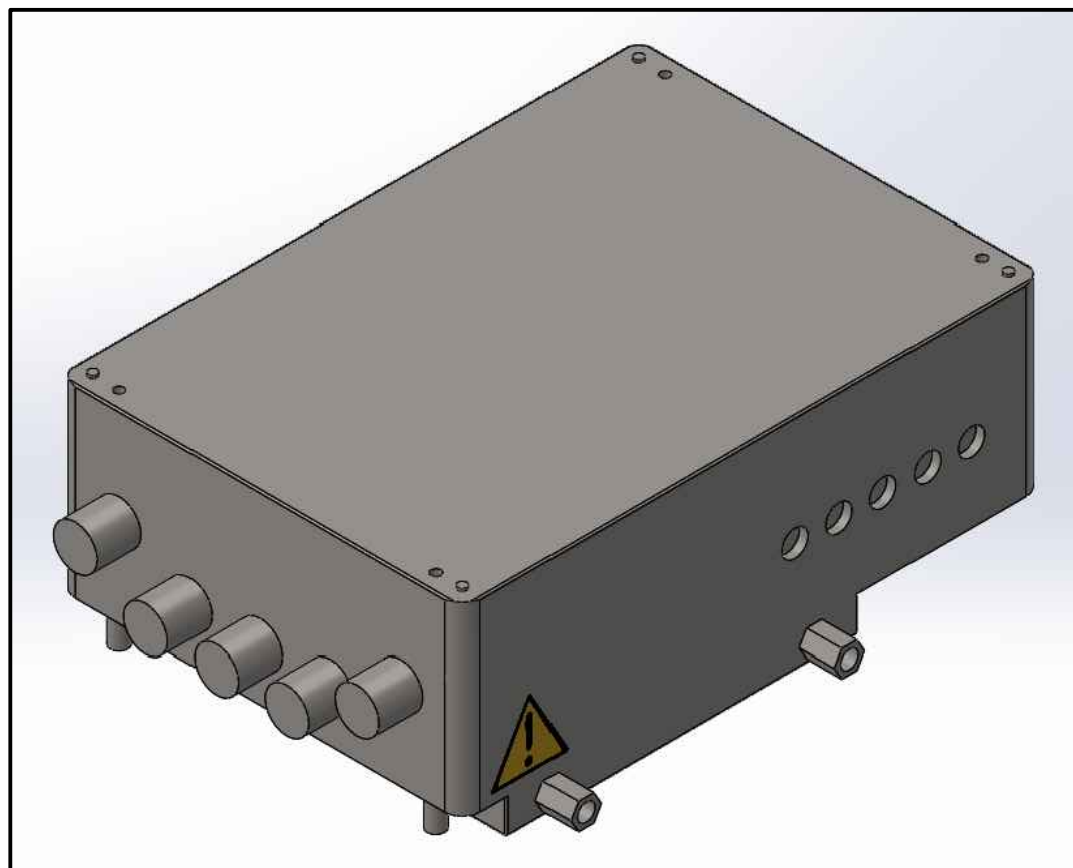
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

ALZADO Y ALZADO  
POSTERIOR DEL MOTOR

Nº PLANO:  
3.0.7



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Proporcionado por:  
Equipo FSULL

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



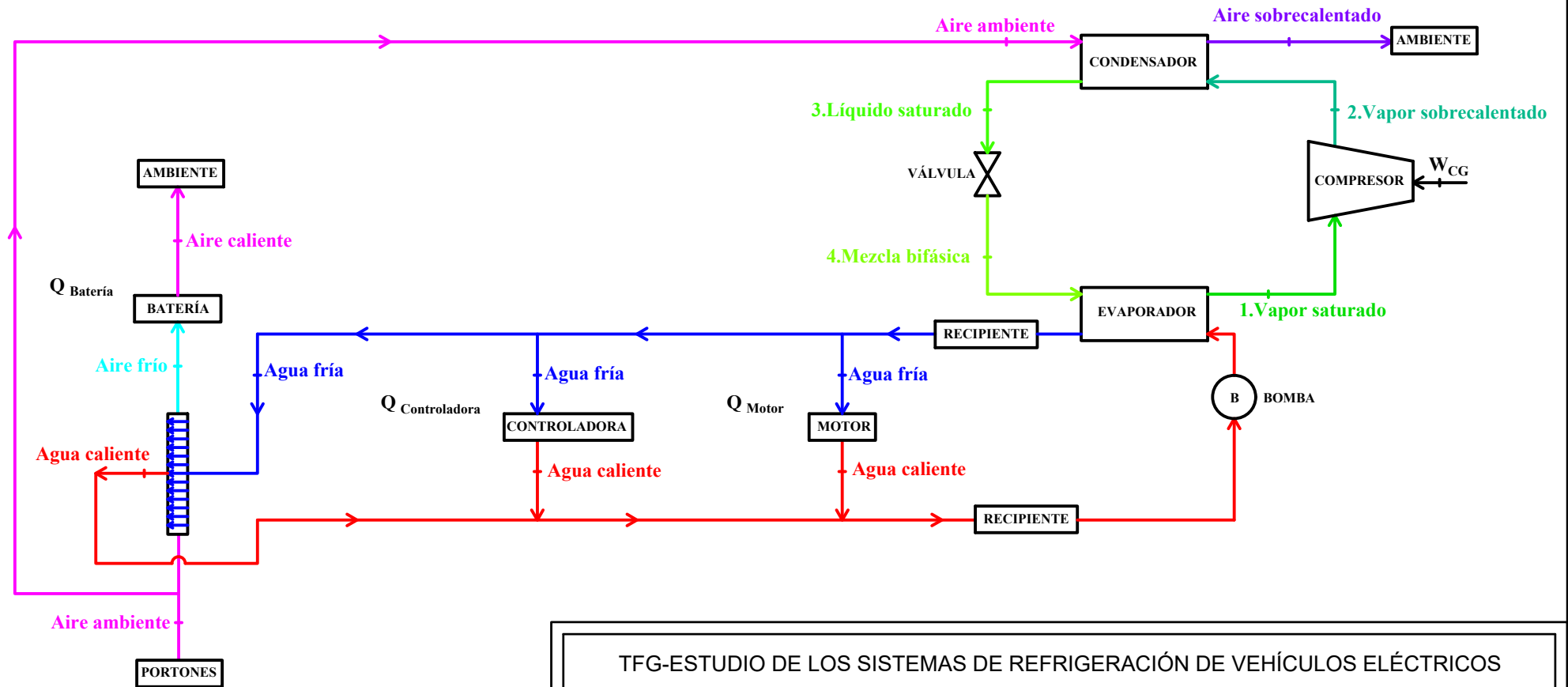
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

VISTA 3D DE LA  
CONTROLADORA

Nº PLANO:  
3.0.8



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



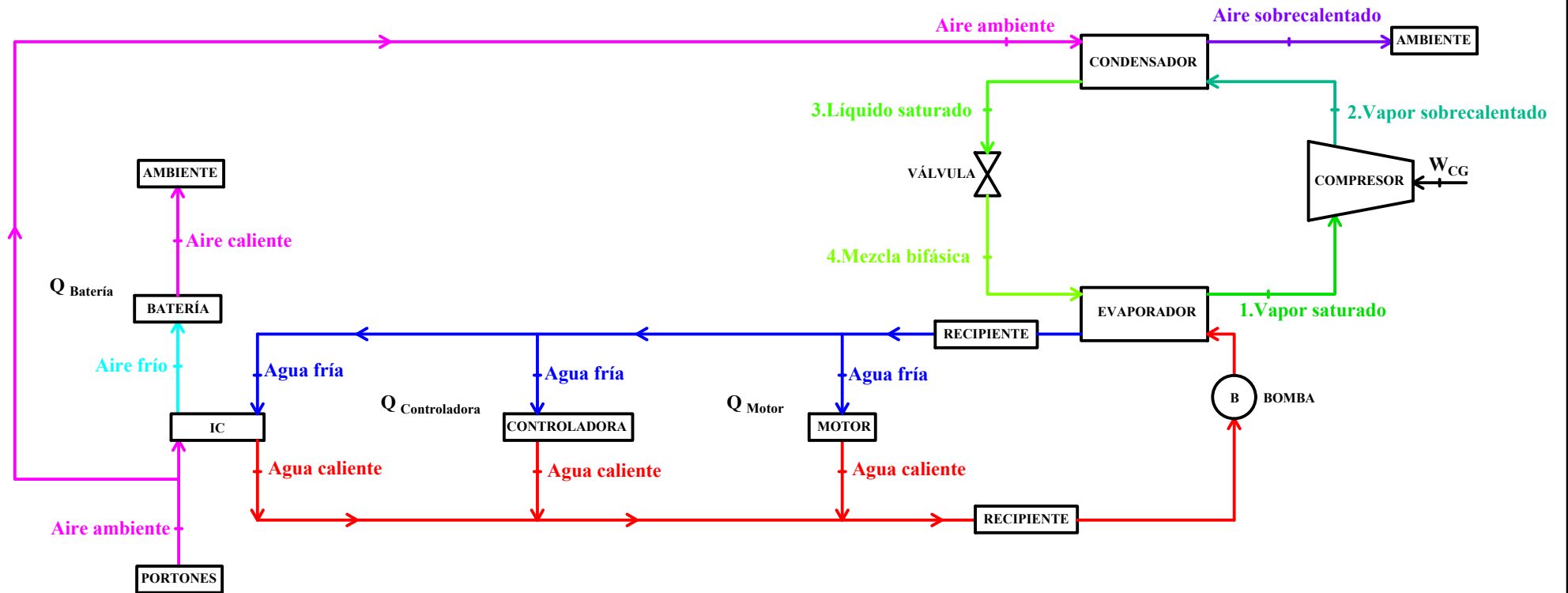
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AIRE  
DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL

Nº PLANO:  
3.1.1



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

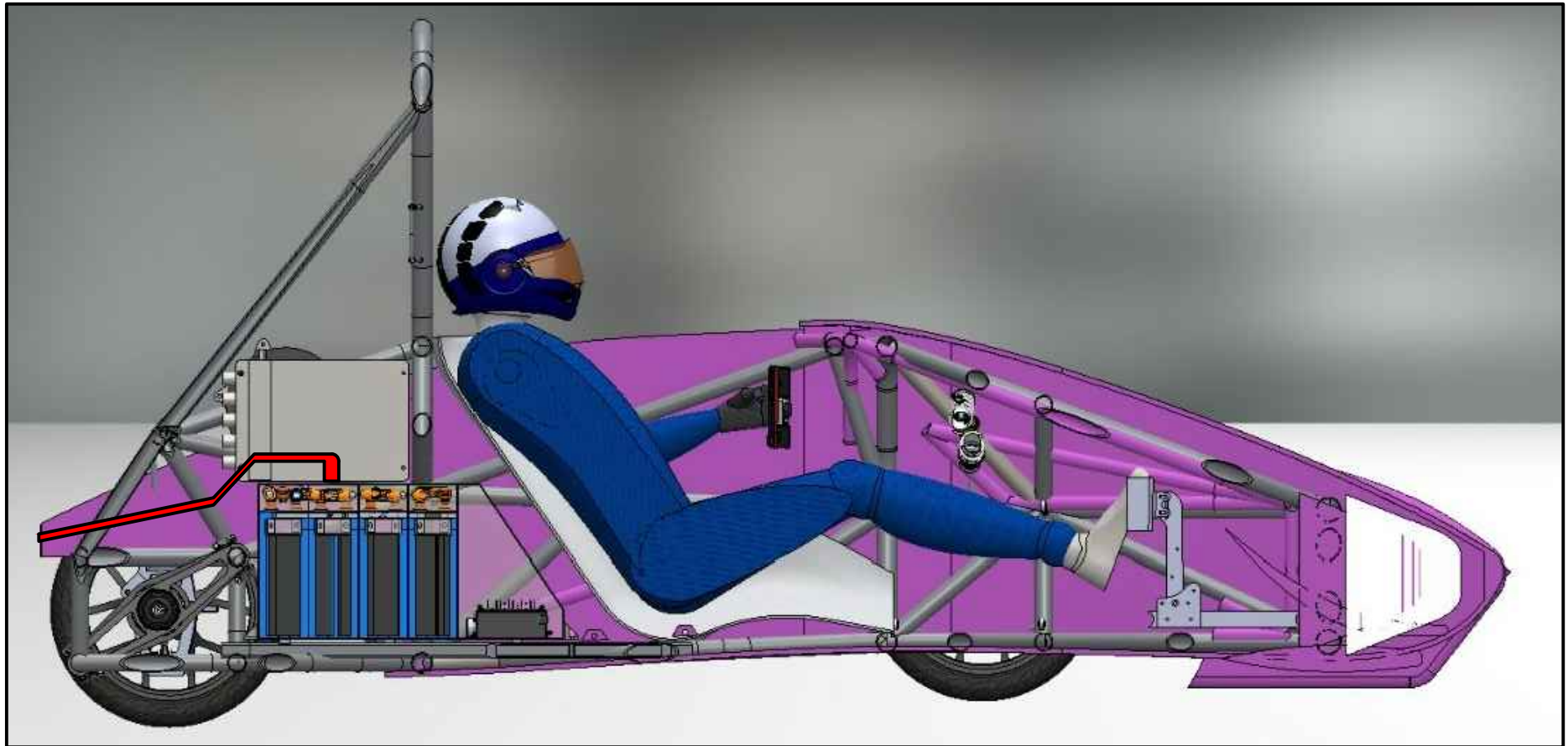
Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AIRE  
DE ENTRADA AL VEHÍCULO FSULL

Nº PLANO:  
3.1.2





TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

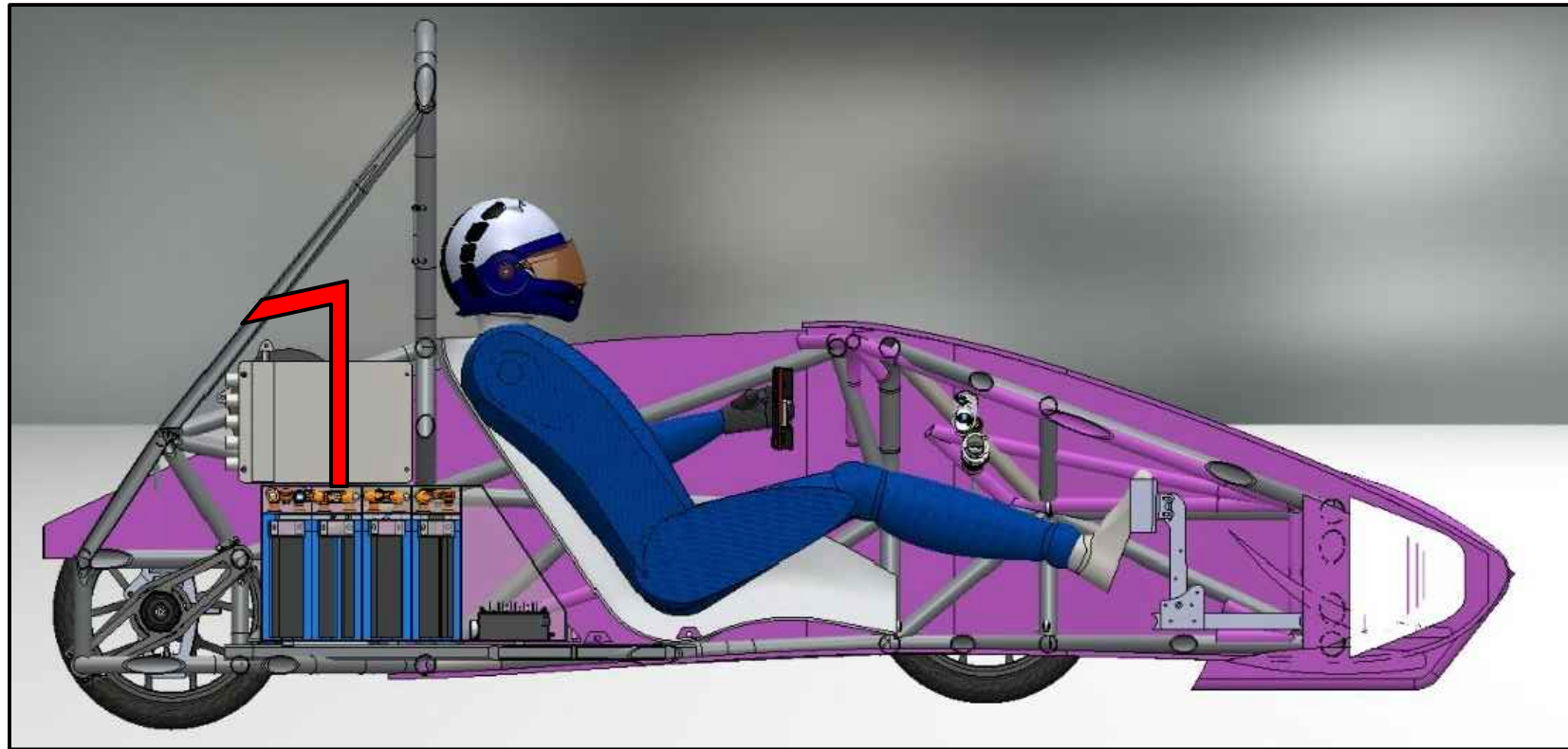
Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

OPCIÓN A-EXPULSIÓN DEL  
AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA

Nº PLANO:  
3.1.3





TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



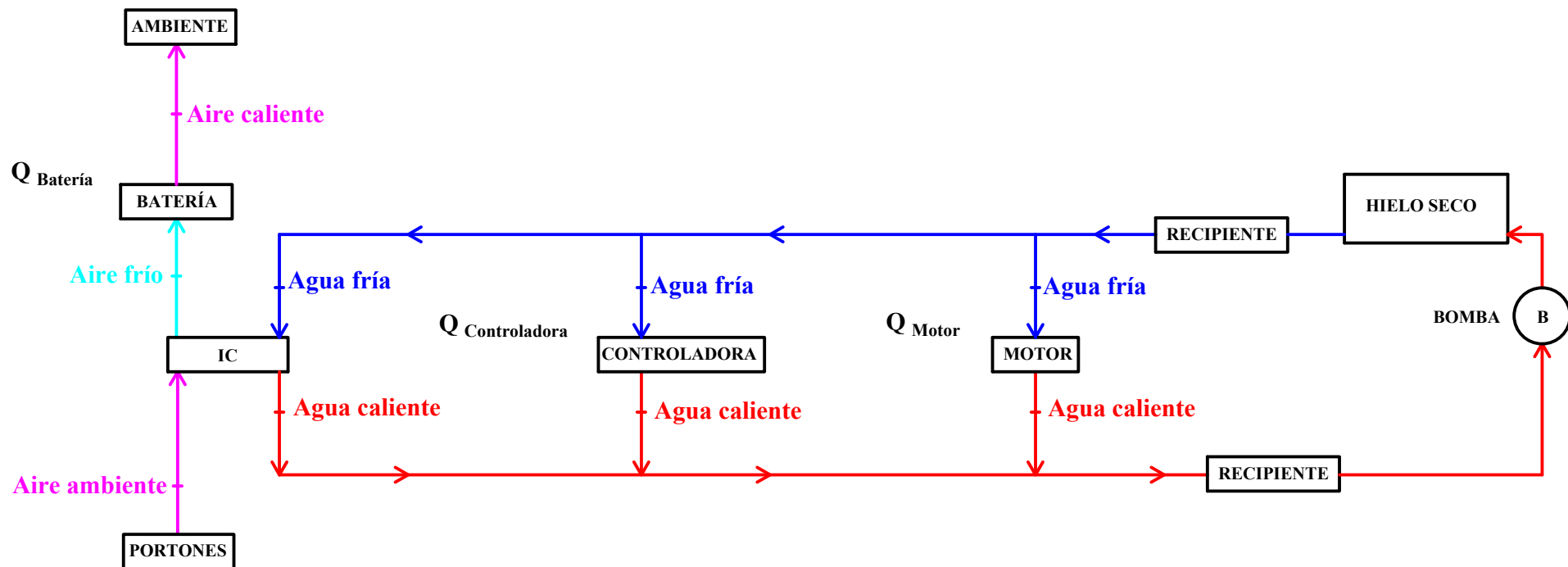
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

OPCIÓN B-EXPULSIÓN DEL  
AIRE CALIENTE DE LA BATERÍA

Nº PLANO:  
3.1.4



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



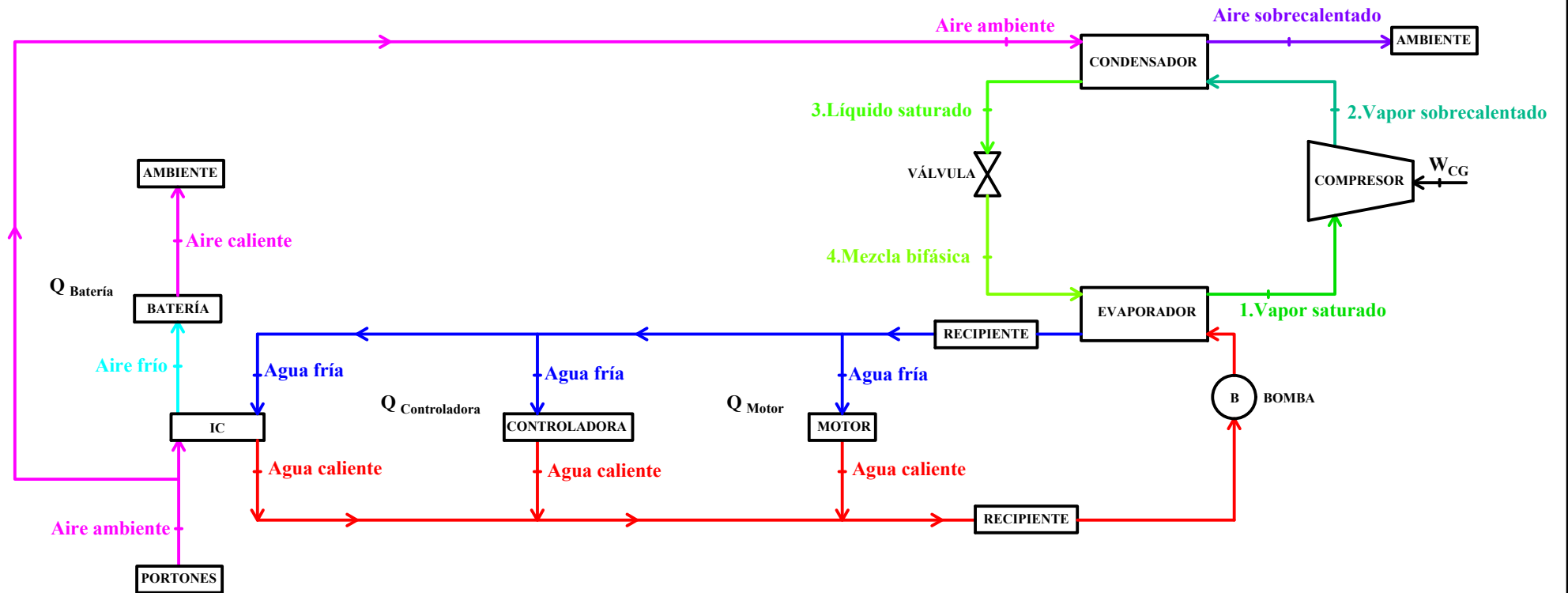
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

OPCIÓN A-ENFRIAMIENTO DEL AGUA  
DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Nº PLANO:  
3.1.5



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



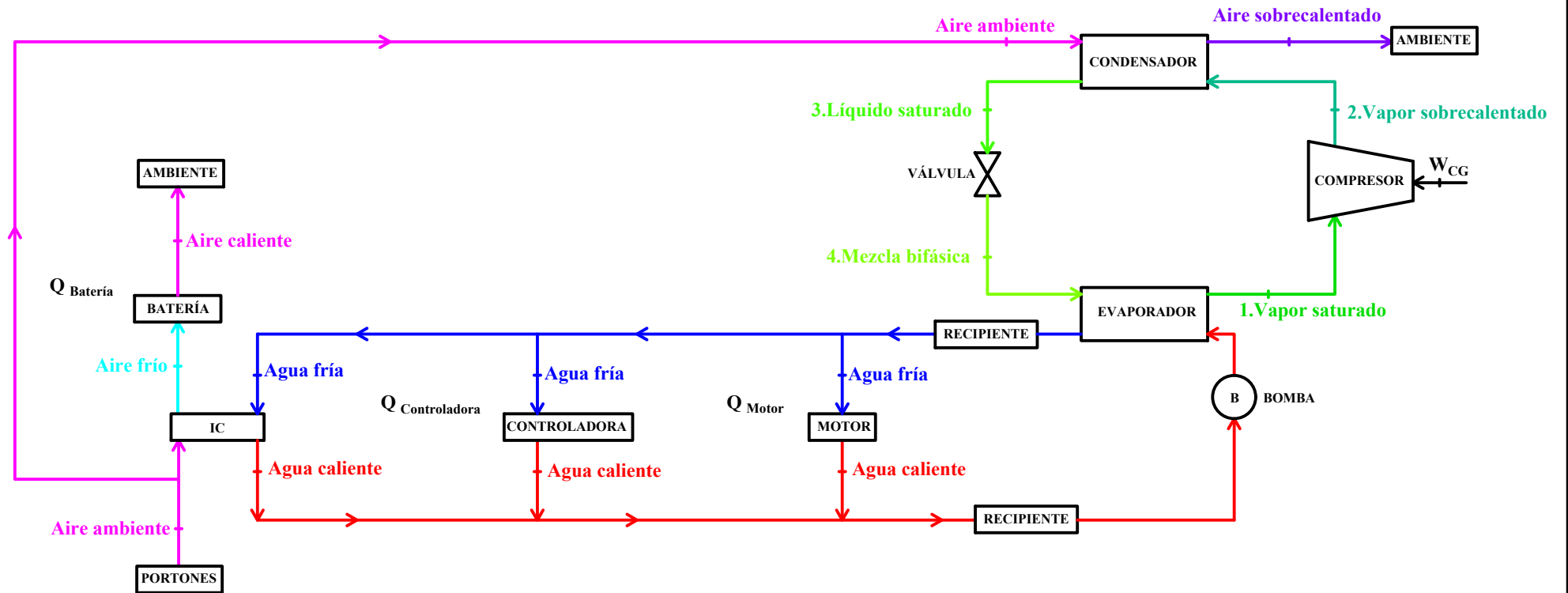
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

OPCIÓN B-ENFRIAMIENTO DEL AGUA  
DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Nº PLANO:  
3.1.6



TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



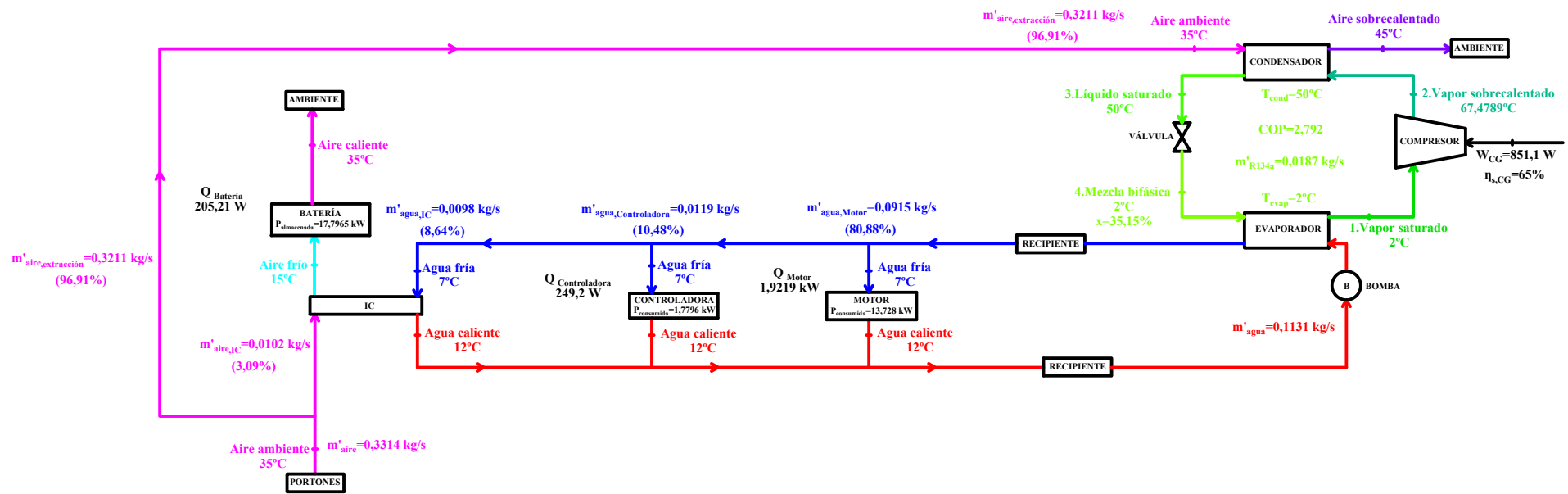
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

ESQUEMA BÁSICO DEL SISTEMA DE  
REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO FSULL

Nº PLANO:  
3.2.1



## TFG-ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Autor:  
Martins Rodríguez González

Id. s. normas:  
UNE-EN-DIN



ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA  
*Grado Ingeniería Mecánica*  
*Universidad de La Laguna*

Comprobado: Julio 2019

ESCALA:  
S / E

ESQUEMA DETALLADO DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL  
VEHÍCULO FSULL

Nº PLANO:  
3.2.2