



Universidad de
Oviedo



ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ÁREA DE INGENIERÍA E INFRAESTRUCTURA DE LOS TRANSPORTES

DISEÑO DE TREN MOTRIZ ELÉCTRICO EN UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN

D. Álvaro Maradona Tuero
TUTOR: D. Pablo Luque Rodríguez

FECHA: Julio de 2020

ÍNDICE

1.- Objetivos y alcance:	3
2.- Antecedentes:	5
2.1.- Competiciones de montaña:	5
2.1.1.- Campeonatos organizados por la FIA:	5
2.1.2.- Clasificación de vehículos participantes:	5
2.1.3.- Pruebas independientes:	8
2.2.- Normativa y reglamentación aplicable:	10
2.2.1.- Normativa armonizada:	10
2.2.2.- Instrucciones técnicas:	11
2.2.3.- Normativa emitida por federaciones:	11
2.3.- Modos de utilización del vehículo eléctrico:	13
2.3.1.- Tecnologías híbridas en el transporte:	14
2.3.2.- Tecnologías eléctricas en el transporte:	18
2.3.3.- Tecnologías eléctricas en competiciones del motor:	22
2.4.- Tecnología del vehículo eléctrico:	24
2.4.1.- Motores eléctricos en el transporte por carretera:	26
2.4.2.- Tecnologías de almacenamiento de energía:	28
2.4.3.- Tecnologías en el control de sistemas de almacenamiento:	32
3.- Bases de cálculo:	34
3.1.- BRC B49:	34
3.2.- Prestaciones objetivo:	36
3.3.- Prueba base:	37
4.- Diseño:	39
4.1.- Introducción:	39
4.2.- Esquema de funcionamiento:	40
4.3.- Selección de componentes comerciales:	41
4.3.1.- Selección del motor eléctrico:	42
4.3.2.- Selección de un inversor:	46
4.3.3.- Selección de baterías:	48

4.3.4.- Selección del BMS:	54
4.4.- Cálculo y diseño del Pack de baterías:	55
4.4.1.- Disposición de las celdas:	56
4.4.2.- Bus de potencia, uniones y control de celdas:.....	60
4.4.3.- Aislamiento, envolvente y estructura:	63
4.4.4.- Elementos auxiliares, refrigeración y conexiones exteriores. ...	67
4.5.- Lay-Out e interconexiones:	71
4.5.1.- Montaje del pack de baterías:.....	71
4.5.2.- Montaje del motor:.....	72
4.5.3.- Elementos conductores:	75
4.5.4.- Circuitos de refrigeración:.....	77
5.- Presupuesto:	81
5.1.- Presupuesto de ingeniería:	81
5.2.- Presupuesto de prototipo:.....	83
6.- Conclusiones:	85
7.- Anexos:.....	86
7.1.- Anexo I, BRC B49:.....	86
7.2.- Anexo II, dimensionado de celdas de batería:	90
7.3.- Anexo III, imágenes del modelo:.....	91
8.- Bibliografía:	96
9.- Planos:	99



1.- OBJETIVOS Y ALCANCE:

En las última dos décadas, la preocupación por el medio ambiente y su deterioro por los altos niveles de contaminación, se ha extendido y generalizado en la población. Este hecho ha mejorado la concienciación social hasta el hecho de que ya son numerosas las medidas adoptadas por gobiernos e instituciones, buscando en distintos frentes reducir y/o paliar las acciones derivadas de dicha contaminación.

Junto con la aparición de medidas paliativas de los efectos de la polución, surgen alternativas para reducir al máximo las emisiones y vertidos. Es el objeto de estas alternativas, eliminar focos contaminantes en los distintos sectores que mayores niveles generen. Uno de los focos con niveles más altos de contaminación localizada, culpable de altos niveles de emisión de CO₂, partículas, entre otros, es el sector del transporte, y más específicamente hablando vehículos personales de combustión interna.

Son numerosas las opciones actuales que tienen cabida como alternativa a los vehículos de combustión interna. Desde las, cada vez más populares, soluciones basadas en motores eléctricos, hasta otras basadas en pilas de hidrógeno, la conciencia social hace que el parque automovilístico europeo esté tibiamente cambiando.

Cuando se experimentan cambios en el pensamiento general de la sociedad, y se implementan cambios que afectan a todos los estratos de esta, es habitual que se extiendan otros aspectos. En el caso que atiende a este proyecto, se aprecia como la aparición de estas nuevas tecnologías del transporte, poco a poco se van introduciendo en el mundo de la competición.

Aun así, no es nada en demasía novedoso pues el uso de elementos eléctricos auxiliares como motores o generadores para la recuperación de la energía de la frenada, han sido utilizados con buenos resultados. Aunque aún hoy en día, el número de competiciones donde se exija un sistema de propulsión estrictamente eléctrico no es muy extenso, si está muy generalizado el uso de sistemas mixtos o híbridos en categorías o competiciones de distintos niveles.

Será objeto del presente proyecto el desarrollo de la ingeniería básica que describa el diseño de un sistema de propulsión eléctrica para un vehículo de competición de la categoría de subida de montaña, perteneciente a la escudería asturiana Bango Racing Competición.

En una primera instancia, se describirá un marco y contexto alrededor del cual se desarrolla el proyecto, así como un estado del arte que englobe las tecnologías existentes.



Tras esto, se definirán necesidades y objetivos del diseño, así como se presentará el vehículo base a estudio, sus prestaciones y características además de proyectos similares.

Finalmente, se procederá a la selección justificada de componentes, diseño de elementos auxiliares y lay-out de los mismos sobre el vehículo. Será en esta última parte donde se alcanzará la solución final descrita con el mayor detalle posible dentro de esta etapa de ingeniería básica.



2.- ANTECEDENTES:

2.1.- Competiciones de montaña:

Dentro del automovilismo, la categoría de subida de montaña o “Hill Climb” está recogida por la Federación Internacional de Automovilismo (o FIA), como una disciplina en la que los vehículos recorren distancias de entre 1 y 10 km, con grandes pendientes, generalmente a lo largo de puertos de montaña.

La naturaleza de la prueba es muy similar a la categoría de Rally, en la cual se compite en etapas o tramos cronometrados, donde la suma final de los tiempos de todos los tramos sirve como baremo para discernir las posiciones finales de los participantes.

En este caso, se presenta un tramo por carrera o evento, para el cual los pilotos cuentan con hasta 3 pasadas disponibles, una como sesión de entrenamientos, y otras dos cronometradas con tiempo válido para la prueba.

2.1.1.- Campeonatos organizados por la FIA:

Fue en el año 1930 cuando aparece la primera competición de subida de montaña, que fue organizada por la Federación Internacional de Automovilismo, y que se disputó hasta el año 1933. Se trata del campeonato europeo de montaña.

No sería hasta 1957 cuando se retomaría la prueba de forma ininterrumpida, convirtiéndose en una de las pruebas importantes en el calendario de pilotos y aficionados al motor. Han sido numerosos los pilotos que nacieron en esta categoría y continúan su carrera en otras categorías de circuito.

En el año 2014, la FIA propone la creación de un nuevo campeonato en el que englobaba las pruebas del campeonato de Europa con otra serie de pruebas independientes de la categoría.

La FIA permite a los competidores en ambas pruebas, así como aquellas de ámbito nacional que se acojan a sus estatutos, a correr con distintos tipos de vehículos, apareciendo de forma necesaria una clasificación de estos.

2.1.2.- Clasificación de vehículos participantes:

Como resultado de la libre participación de distintas clases de vehículos en las pruebas de montaña, se establecen una serie de clases que tienen permitida la participación en pruebas de esta categoría.

Existen dos categorías permitidas en las carreras de montaña, categoría I y categoría II, ambas engloban distintos grupos.



CATEGORÍA I:

Dentro de esta categoría se engloban aquellos vehículos basados en modelos vendidos y fabricados con cierto volumen, de cara a favorecer la cercanía de estos al público de la competición.

Grupo N: Se trata de un grupo basado en vehículos de calle, modificados según reglas en alto grado restrictivas, imponiendo mayores modificaciones en la seguridad y aguante del vehículo que en sus prestaciones de potencia y velocidad.

Para que un vehículo pueda ser homologado como Grupo N, es necesario que se fabriquen 2.500 unidades iguales al que compite, así como 25.000 unidades de calle estándar.



Ilustración 2-1 Citroën Saxo de la categoría I y grupo N

Grupo A: Este grupo de vehículos perteneciente a la categoría I está directamente derivado de la producción seriada. Su principal nicho es el uso por equipos privados no patrocinados o pertenecientes a una marca.

Están limitados en peso, potencia, tecnologías y coste final, siendo sus condiciones de homologación similares a las del grupo N. Dentro del grupo A, existen hasta cuatro subgrupos, siendo limitados cada uno en cilindrada, potencia y tipo de tracción.



Ilustración 2-2 Seat Ibiza en su versión Kit Car, subgrupo A8, grupo A y categoría I. (Fuente: Mercado Racing)

Grupo GT: También definidos como Gran Turismo, es la división de vehículos más exclusivos dentro de la categoría I. Con muy altas prestaciones y costes muy altos, se encuentran modelos de marcas de lujo.



Ilustración 2-3 Nissan GTR en el stand antes de su participación en la prueba de Pikes Peak.

CATEGORÍA II:

Esta categoría, engloba a los grupos de vehículos de fabricación exclusiva para la realización de la o las pruebas de un campeonato o varios. También se suele hacer referencia a ellos como prototipos.

Grupo CN: Se trata de una grupo alojado en la categoría II, se suelen referir como barcazas. Son vehículos monoplazas, muy ligeros en su construcción, con una aerodinámica que favorece la adherencia y motorizados con motores de combustión que los dotan de un favorable ratio de peso/potencia.



Ilustración 2-4 Modelo CN de la casa Bango Racing Competición.



Grupo D/E2: En este grupo, se encuentran los vehículos monoplazas, abiertos, muy similares a los fórmulas en sus distintas versiones. Son muy ligeros y rápidos, la cabina no va carenada y presentan superficies aerodinámicas delante y detrás.



Ilustración 2-5 Vehículo de la Clase D/E2, monoplaza de subida de montaña.

2.1.3.- Pruebas independientes:

Por la naturaleza de la categoría, inherentemente localizada en lugares concretos con una orografía muy definida, han aparecido a lo largo de los años una serie de pruebas, las cuales tienen el reconocimiento de eventos del motor por aficionados y participantes.

Subida a Pikes Peak:

Una de estas pruebas es la subida a Pikes Peak, cuyo nombre oficial es el de “Subida de montaña internacional de Pikes Peak”. Situada en el estado de Colorado en Estados Unidos se celebra todos los meses de julio desde el año 1916.

Transcurre a lo largo de 19.983 metros acabando a una cota superior a los 4300 metros, siendo esta una de sus características principales dada la complicación técnica de mantener la mezcla de los motores rica en oxígeno a lo largo de todo el tramo.

El récord de tiempo actual de realización del tramo está en 7:57.148. Esta marca fue realizada en la edición 2018 por el piloto francés Romain Dumas a bordo del vehículo de la casa Volkswagen. Este vehículo es reseñable, pues se trata del modelo Volkswagen IDR, siendo éste un vehículo prototipo eléctrico con diseño conjunto con la casa Porsche. En cierta manera, este récord valida el uso de la tecnología 100% eléctrica en estas pruebas, presentando numerosas ventajas frente a las tecnologías convencionales en cuanto a prestaciones.



- Altura de la meta: 366 m s. n. m.

La prueba se divide en 3 mangas distintas, una primera manga de práctica tras la cual se realizan otras 2 las cuales son cronometradas y cuentan para la clasificación de la prueba.

2.2.- Normativa y reglamentación aplicable:

La naturaleza novedosa y sin demasiados precedentes de un vehículo de competición en una categoría minoritaria 100% eléctrico, hace que esgrimir un marco legal sea relativamente difícil. Aun así, se puede acudir a normativas similares, reglamentación en categorías homólogas y buenas praxis de las tecnologías utilizadas.

Cuando se habla de normativa y reglamentación aplicable a vehículos de competición, se puede categorizar en:

- Leyes, Reales decretos, Jurisprudencia.
- Instrucciones técnicas.
- Normativas emitidas por federaciones.
- Normativas emitidas por competiciones.
- Normativa reguladora o armonizada.

A la vista de esta categorización, se ve que algunas de ellas no aplican, o al menos no de forma directa, al proyecto que se presenta.

2.2.1.- Normativa armonizada:

Siempre es recomendable al enfrentarse a todo proyecto de índole técnica, acudir a los organismos reguladores y de estandarización, a la búsqueda de normas referentes al proyecto que se quiere abarcar.

Primero, se acude al organismo regulador AENOR, donde se aloja normativa vigente y derogada con marco europeo y español. De la consulta de esta biblioteca, resulta la siguiente normativa con posible interés para el proyecto:

- Referente a baterías:
 - UNE-EN IEC 62902:2019: Baterías: Símbolos de marcado para la identificación de su química.
 - UNE-EN IEC 62840-2:2019: Sistema de intercambio de baterías para vehículos eléctricos. Parte 2: Requisitos de seguridad.
 - UNE-EN 50272-1: Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 1: Información general de seguridad.



- UNE-EN 50604-1:2016: Baterías de Litio para aplicaciones de vehículo eléctrico ligero. Parte 1: Requisitos generales de seguridad y métodos de ensayo.
- UNE-EN 62485-3: Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 3: Baterías de tracción.
- Referente a la carga de vehículos eléctricos:
 - UNE-EN ISO 15118-1:2019: Vehículos de carretera. Interfaz de comunicación entre el vehículo y la red eléctrica. Parte 1: Información general y definición de casos de uso.
 - UNE-EN ISO 15118-2: Vehículos de carretera. Interfaz de comunicación entre el vehículo y la red eléctrica. Parte 2: Requisitos del protocolo de red y de aplicación.
 - UNE-EN ISO 15118-3:2016: Vehículos de carretera. Interfaz de comunicación entre el vehículo y la red eléctrica. Parte 3: Requisitos de la capa física y la capa de enlace de datos.
 - UNE-EN 61851-21-1:2017: Sistema conductivo de carga para vehículos eléctricos. Parte 21-1: Requisitos de CEM del cargador embarcado en el vehículo eléctrico para conexión conductiva a una alimentación en corriente alterna o continua.
 - UNE-EN 62196-1:2015: Bases, clavijas, conectores de vehículo y entradas de vehículo. Carga conductiva de vehículos eléctricos. Parte 1: Requisitos generales.

2.2.2.- Instrucciones técnicas:

Dentro de la normativa aplicable a proyectos técnicos, siempre será necesario acudir a normativa vigente despachada por los ministerios competentes. En lo que a este proyecto aplica, se puede consultar la Instrucción Técnica Complementaria de baja tensión ITC-BT, como principal fuente de normativa referente a las instalaciones eléctricas.

De todas maneras, el ITC-BT solo hace referencia a instalaciones fijas, y en lo que refiere a este documento, solo aplicaría la ITC-BT 52 que se encabeza como: **INSTALACIONES CON FINES ESPECIALES. INFRAESTRUCTURA PARA LA RECARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.** En ella se hace referencia a las necesidades técnicas que se requieren a los puntos de recarga de vehículos eléctricos. Por tanto, su aplicación queda fuera del alcance de este proyecto.

2.2.3.- Normativa emitida por federaciones:

En lo referente a la normativa en competiciones del automóvil, es habitual que la reglamentación aplicable más restrictiva, sea la emitida por el propio comité de regulación de esta.



Es por esto por lo que será necesario ponderar la normativa existente en lo emitido por las federaciones de automovilismo en distintos niveles:

- Federación Internacional del Automóvil (Federation Internationale De L'Automobile o FIA): Se trata del organismo supranacional más importante del mundo del automovilismo, y el encargado de regular y organizar la mayoría de los eventos de gran calado en el sector de la competición. En cuanto a la normativa emitida, que puede tener cabida en el proyecto aquí presentado:
 - Prescripciones generales: Aplican a toda competición del motor que incluya la palabra "Championship". Enumera una serie de condiciones en materia de inscripciones, estándares de calidad, seguridad, normas de competición, entre otros. Se cumplimenta con una serie de Anexos que amplía información común a todas las competiciones cuya jurisdicción se ve recogida por dicha federación.
 - Homologación y seguridad: Otro bloque de documentos hace referencia a la homologación y seguridad exigida a los vehículos participantes en las competiciones. En general en esta sección se dan recomendaciones genéricas de diseño, así como otras más específicas sobre tecnologías específicas de diseño.
 - Listas técnicas: Conjunto de normas técnicas destinadas a definir las restricciones y baremos a cumplir por cualquier elemento susceptible de ser regulado tales como: ropa de seguridad, neumáticos, asientos, redes de seguridad, cascos, etc.
 - Normativa específica sobre categoría subida de montaña: La propia FIA impone una serie de reglas que regulan dicha competición, está repartido en 2 categorías:
 - Reglamento deportivo: Normativa relativa a la consecución de las pruebas.
 - Reglamento técnico: Normativa relativa a las condiciones técnicas que han de cumplir vehículos y equipos para poder correr en esta categoría.



Ilustración 2-8 Logo de la federación internacional de automovilismo. (Fuente: FIA)

- Real Federación Española de Automovilismo: Organismo nacional adscrito o dependiente de la FIA, presenta numerosa reglamentación genérica y específica dentro de la categoría de montaña:



- Reglamentos de seguridad: Contiene diferente normativa reguladora requerida para mantener la seguridad de pilotos, espectadores y organizadores.
- Reglamentos deportivos de montaña: Normativa reguladora del desarrollo, control y puntuación de la prueba. Cuenta con 10 anexos donde se describen distintos puntos para tener en cuenta para el correcto desarrollo de la prueba.



Real Federación Española de Automovilismo

Ilustración 2-9 Logo de la Real Federación Española de Automovilismo. (Fuente: RFEA)

- Federación de Automovilismo del Principado de Asturias: Organismo regional adscrito o dependiente de la real federación española de automovilismo. De nuevo presenta normativa general y específica:
 - Reglamento Común: Normativas comunes referentes a prescripciones técnicas genéricas, de seguridad, de pesos, licencias, etc.
 - Reglamento Campeonatos de montaña: normativa específica para la realización de pruebas en el territorio de la categoría de montaña.



Ilustración 2-10 Logo de la Federación de Automovilismo del Principado de Asturias.(Fuente: FAPA)

2.3.- Modos de utilización del vehículo eléctrico:

Sin duda, el mundo del transporte se ha visto revolucionado en la última década por la proliferación en el mercado, de vehículos basados en motorización o propulsión eléctrica pura o mixta. La mayor conciencia social en determinadas



regiones por la contaminación focal generada por los distintos medios de transporte, han proliferado dicha revolución.

Siendo una tecnología conocida, el modo de uso referente al transporte es aún incapaz de igualar en disponibilidad a los medios convencionales. Aun así, son muchas las líneas de investigación que se están desarrollando en el incremento de los rangos que estos vehículos son capaces de desarrollar, invirtiendo dinero y esfuerzos en mejorar sus sistemas de almacenamiento en baterías.

No solo se desarrollan vehículos con propulsión 100% eléctrica, de cara a aumentar sus rangos en distancia es habitual encontrar modelos donde se utilicen motores térmicos, combinando lo mejor de ambas tecnologías.

Esta línea de desarrollo es una de las muchas que actualmente se presentan como alternativas a los motores convencionales, junto con tecnologías de Gas Licuado o pila de Hidrógeno.

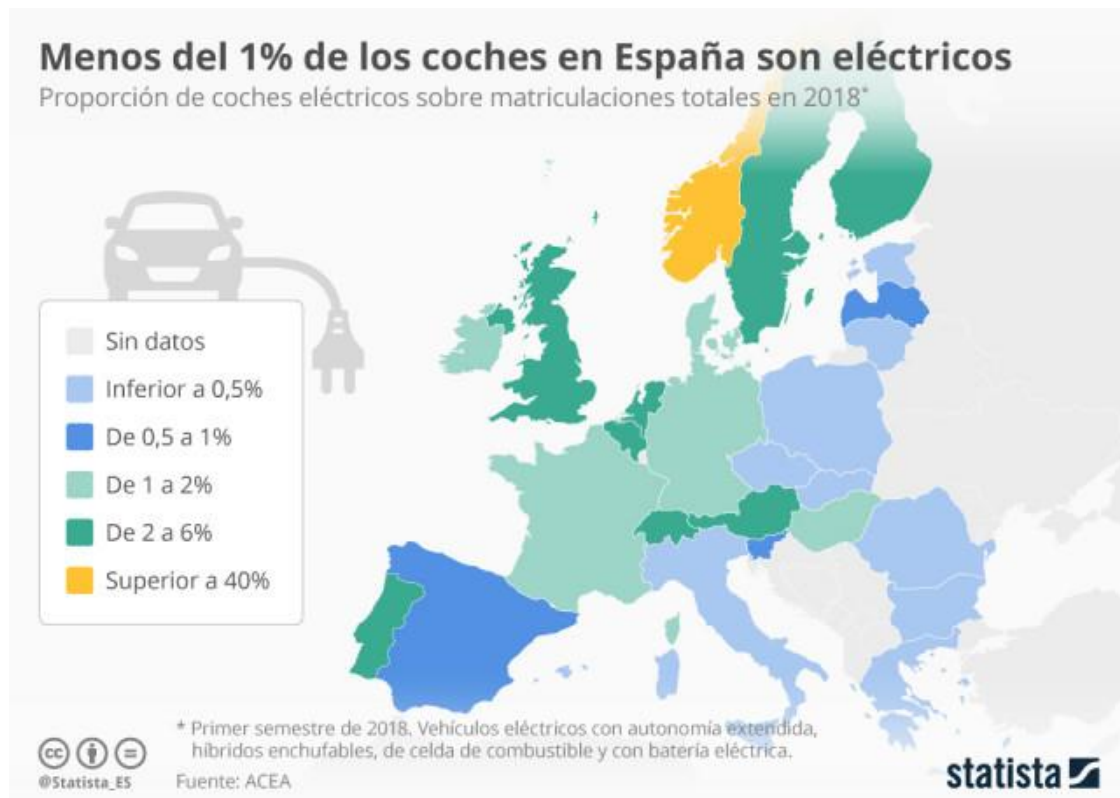


Ilustración 2-11 Porcentaje de vehículos eléctricos en los parques de los distintos países en la zona Euro. (Fuente: ACEA)

2.3.1.- Tecnologías híbridas en el transporte:

Las tecnologías híbridas (motor eléctrico + motor térmico) aplicadas al transporte han sido ampliamente reconocidas como un método fiable para impulsar vehículos.

Son numerosos los vehículos que basan sus trenes de propulsión en sistemas híbridos, siendo las combinaciones entre las fuentes de energía muy variadas:



- Motores térmicos diésel + Gas natural comprimido
- Motores térmicos diésel + Gas natural licuado
- Motores térmicos diésel + Propulsión eléctrica

Desde los inicios de las primeras locomotoras eléctricas, su funcionamiento era híbrido (Combustión interna + Motor eléctrico), en los cuales un motor de combustión interna, a través de un generador, alimentaba unas baterías. Éstas a su vez servían como fuente de energía para los motores eléctricos.

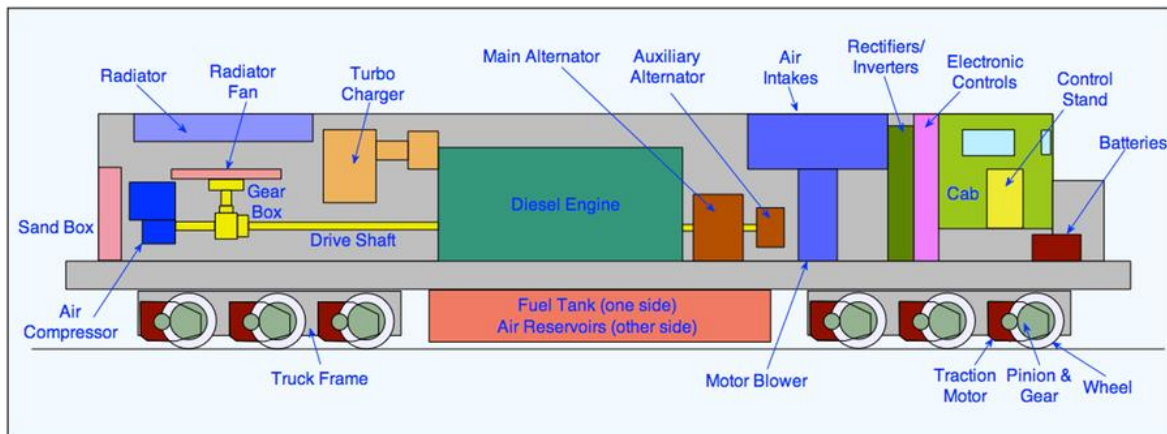


Ilustración 2-12 Esquema de funcionamiento de una locomotora Diesel-Eléctrica. (Fuente: railway-technical.)

Este método de propulsión de locomotoras se convirtió en el estándar más habitual para motorizar estos vehículos, hasta la proliferación de rutas electrificadas con catenaria. Aun así, sigue siendo la forma más habitual de diseñar locomotoras destinadas a composiciones de carga, o incluso admitiendo energía eléctrica desde una catenaria a través de un pantógrafo, llamadas entonces bi-modales. Se puede entender que, en esta aplicación, esta tecnología está más que probada, siendo fiable.

Otra aplicación donde los sistemas híbridos existen desde los inicios de la tecnología, son los submarinos. Desde los primeros diseños funcionales, durante la primera guerra mundial, los diseñadores superaron la problemática de la imposibilidad de extraer los humos de escape durante la inmersión, mediante el uso de motores eléctricos.

Éstos eran alimentados por bancos de baterías que se recargaban en superficie por los motores diésel que movían los submarinos cuando emergían.

A la vista de los ejemplos mostrados (entre muchos otros), las tecnologías híbridas han sido ampliamente utilizadas para sobrevenir distintas dificultades de diseño. Es por lo que, cuando empiezan a aparecer las primeras preocupaciones en cuanto a las emisiones, así como el interés por incrementar los rendimientos de los vehículos de carretera, se comienzan a diseñar los primeros sistemas de propulsión híbrida en dichos modelos de transporte.



Son numerosos los ejemplos actuales de vehículos híbridos de carretera, siendo numerosas sus ventajas. Así mismo, no todas las aplicaciones híbridas no tienen las mismas morfologías ni el mismo grado de hibridación.

Los vehículos pesados, suponen uno de los modos de transporte de mercancías y pasajeros más densos del mundo. Por ello, buscar una forma de reducir sus consumos e intrínsecamente sus emisiones, se vuelve necesario.

Generalmente estos vehículos de gran tonelaje, como autobuses de línea e interurbanos y camiones, disponen de un motor convencional Diésel el cual tiene para su apoyo un motor eléctrico, alimentado por baterías.

Estas tecnologías de transportes pesados de pasajeros y mercancías se suelen basar en dos morfologías:

- Alimentación por recuperación en frenada: El proceso de frenada, el motor eléctrico funciona como generador, imponiendo un par de frenada y además generando una corriente y recargando las baterías. Además, se alimenta a las baterías con el propio motor de explosión.
- Vehículos híbridos enchufables: Además de permitir los procesos de carga descritos anteriormente, existe la opción de recargar las baterías externamente, conectándolas a una red ajena al vehículo.

Dentro del marco de este estudio, es interesante discutir las distintas opciones encontradas en vehículos de competición.

Una de las aplicaciones más conocidas de la tecnología híbrida en competición, se sitúa en la aplicación en competición F1. Se trata del KERS, o por sus siglas en inglés "*Kinetic Energy Recovery System*". Se trata de un sistema sofisticado y optimizado al máximo de recuperación de frenada.

Esta tecnología se aplica en competición como una herramienta que utiliza el piloto en determinadas fases de un gran premio. Su funcionamiento se basa en que, a lo largo de la realización de la prueba, el sistema recoge una porción de la energía producida en las frenadas por el paso por curva. Esa energía se almacena en las baterías, y es en determinadas zonas del circuito y cuando el piloto lo considere necesario, cuando esta energía es trasladada de las baterías al motor eléctrico. En el momento en el que se hace uso de la carga eléctrica almacenada en las baterías, el motor eléctrico solidario con el motor térmico genera un impulso que incrementa la potencia y la velocidad punta del vehículo.

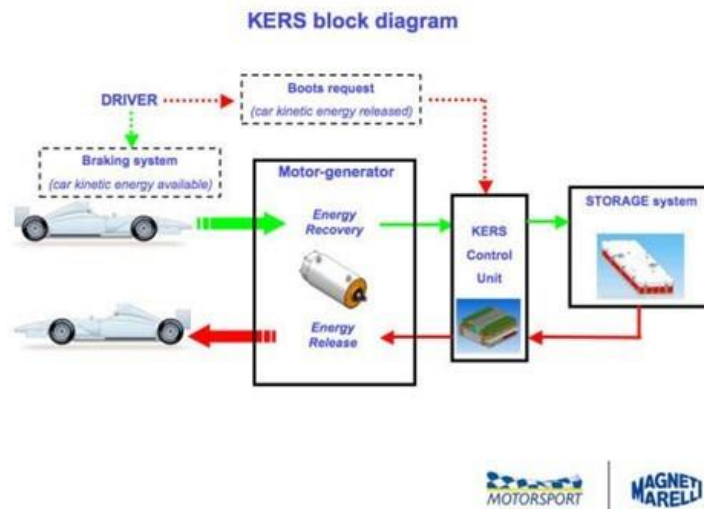


Ilustración 2-13 Ilustración explicativa del sistema KERS. (Fuente: Sttafordshire University)

Dentro de los vehículos de carreteras convencionales, se pueden diferenciar distintas tecnologías:

- **Híbrido Paralelo:** En esta disposición, el vehículo presenta dos sistemas independientes de tracción con diferentes fuentes de energía. Uno es un sistema convencional de motor térmico que habitualmente mueve el eje de tracción delantero. Paralelo a este, existe un sistema de tracción eléctrica que actúa sobre el otro eje de tracción, es decir, el trasero.
- **Híbrido Serie:** En esta disposición, un motor térmico mueve un generador, el cual a su vez alimenta a una batería. Esta batería alimenta a través de un inversor a un motor eléctrico, el cual mueve el único eje motriz del vehículo.
- **Híbrido Serie/Paralelo:** En esta disposición, son las dos fuentes de energía las que mueven al eje de tracción. Un motor térmico y un motor eléctrico actúan sobre el eje a través de una caja de transmisión planetaria.

Así mismo, todas estas tecnologías pueden tener la propiedad de ser enchufables.

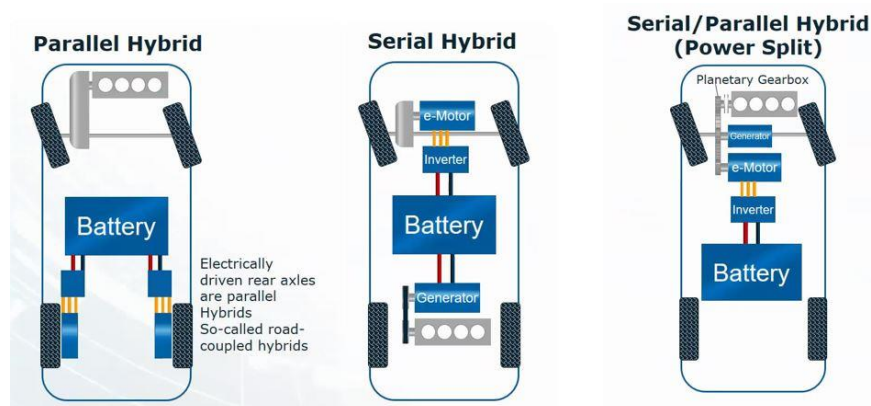


Ilustración 2-14 Esquema con las 3 configuraciones distintas.



2.3.2.- Tecnologías eléctricas en el transporte:

Los sistemas de propulsión eléctrica para vehículos surgen prácticamente a la par de la tecnología de actuadores eléctricos. Fue el desarrollo de las primeras baterías, lo que ralentizó la aparición de vehículos eléctricos al uso y con verdaderos usos prácticos. En 1828 el húngaro Ányos Jedlik, desarrolló un prototipo o maqueta de reducidas dimensiones de un vehículo movido por un motor eléctrico.

Simultáneamente entre el año 32 hasta el 39 del siglo XIX, aparecen prototipos de vehículos de carretera basados en motores eléctricos y los primeros diseños de pilas eléctricas.

Pese a estos primeros avances en la técnica, es sabido que la tecnología de motores a explosión o térmicos, se impuso frente a la eléctrica, por la proliferación de la extracción petrolífera, entre otros factores.

Más adelante, ya a mediados de los años 70 del siglo pasado, distintas corrientes a lo largo de todo el mundo hacen que se desarrollen los primeros vehículos verdes.

Son los primeros modelos de vehículos 100% eléctricos de carretera que, pese a su publicidad y ventaja competitiva en los primeros años de crecimiento en los precios de la gasolina, no supusieron ningún competido real frente a sus homólogos de combustión interna.



Ilustración 2-15 Imagen del vehículo modelo City Car, de la casa Sebring-Vanguard Inc. (Fuente: America on Wheels Auto Museum)

Se trata de vehículos que intentan cubrir un sector que en el parque automovilístico de los años 70 no estaba cubierto, principalmente compactos urbanos de bajo consumo.



Durante los años 80, el mercado del automóvil se inunda de vehículos turbo, donde el consumo (gracias a los precios más admisibles del consumo) son menos importantes de cara a la popularidad de los modelos.

Será a finales de los años 90 cuando el Toyota Prius rompe la tendencia con el primer vehículo híbrido producido en masa y con gran éxito de ventas. Más de 18.000 unidades fueron vendidas en su primer año en el mercado.

Desde principios de este siglo, son numerosas las marcas que intentaron entrar en un nicho de mercado que hasta aquel momento era inexistente.

Es en los primeros años de la década del 2010 cuando aparecía en el mercado los primeros modelos de la casa Tesla Motors con sus modelos Tesla Roadster y Tesla Roadster Sport. Sus altas prestaciones en velocidad punta y aceleración, sorprendieron al mercado, obteniendo unos muy buenos resultados de venta.



Ilustración 2-16 Modelo Roadster Sport en su versión inicial. (Fuente: Vehículoeléctrico.info)

Pese a la expectación y altos volúmenes de venta en sus primeros estadios, el proyecto no caló suficiente ni supuso un cambio en los cánones establecidos del sector. Su elevado precio unitario y su limitado alcance o rango, relegó ambos modelos al sector de vehículos de lujo y/o circuito.

Posteriores modelos, presentaron mayor número de ventas en los Estados Unidos como en países de la zona euro, como Noruega, siendo este último uno de los mayores compradores de vehículos de esta categoría. Dichos modelos son:

- Tesla Model S: Con su versión mejorada de hasta 500 km de autonomía, rompía una barrera muy importante en cuanto a las prestaciones de los vehículos eléctricos. Aun así, estos valores son medidos a velocidades relativamente bajas y el precio del vehículo seguía siendo muy elevado.
- Tesla Model X: Se trata del primer modelo donde se quiere ofrecer un precio más “accesible”, reduciendo algunas de sus prestaciones, pero manteniendo unos decentes 465 km de autonomía.
- Tesla Model 3: Uno de los modelos más vendidos, se trata de una berlina de lujo, con altas prestaciones y autonomías entre los 400 km y 500 km.



- Tesla Model Y: Modificación del modelo 3 en un modelo más cercano a un crossover o SUV.

Sin duda Tesla Motors, es uno de los principales fabricantes de vehículos eléctricos en todo el mundo. Pese a esto, sus elevados precios, falta de disponibilidad en Europa y otros continentes más allá de América, suponen una barrera a la entrada en este sector de la mayoría de los clientes en el mercado.

Cada vez más fabricantes convencionales, dedican esfuerzos de diseño y/o productivos a desarrollar vehículos eléctricos, bien a partir de modelos existentes rediseñados o partiendo de cero.

Son cada vez mayores las restricciones impuestas por administraciones públicas a distintos niveles, que limitan el uso de vehículos de combustión interna, en según qué zonas de los municipios. Este es uno de los factores que más ha ayudado a la proliferación de vehículos eléctricos, junto con (también promovido por determinadas administraciones públicas) la aparición de ayudas económicas a la compra de estos automóviles.

Otras formas de transporte, basadas en los coches eléctricos, están apareciendo en grandes núcleos urbanos. Tales como los servicios de alquiler a pie de calle, que permiten de forma dinámica e instantánea (sin intermediario físico), el alquiler de vehículos eléctricos, para realizar desplazamientos dentro de determinadas áreas.

Las múltiples ventajas que presentan los vehículos eléctricos, frente a su contrapuesta en motor térmico, se ven amplificadas en determinadas aplicaciones. Aplicaciones con rutas conocidas, repetidas en el tiempo, en zonas congestionadas, con paradas y arranques continuos, zonas urbanas, altas aceleraciones, problemas para mantener mezclas ricas, aplicaciones de bajo kilometraje, etc. Algunas aplicaciones que se pueden enmarcar en este pretexto son:

- Redes de transporte “Last Mile”: Se trata del nivel más bajo de la cadena de distribución de bienes. Estas rutas suelen ser conocidas y repetidas, en vehículos de pesos medios y con cargas similares, muchas de ellas en entornos urbanos y con paradas y arranques (consecuencia del tráfico, semáforos, incidencias, cargas/descargas, etc.). Es fácil apreciar cómo un vehículo eléctrico optimizado para una serie de rutas similares específicas puede suponer un ahorro notable, una reducción en los niveles de carbono equivalentes emitidos en la ruta.



Ilustración 2-17 3 Vehículos eléctricos de distintas morfologías, destinados a transporte en "Last Mile" de la empresa DPD UK. (Fuente: MotorTransport)

- Redes de transporte público: Similar al caso anterior, existe una red de transporte localizada en los centros urbanos que realiza rutas preestablecidas con alta precisión. De esta manera, el uso de autobuses, microbuses y/o taxis eléctricos supone una serie de ventajas como la reducción de emisiones focalizadas en los municipios (deslocalizándola a los centros de generación eléctrica), reducción de contaminación sonora, entre otros.



Ilustración 2-18 Imagen del nuevo Scania CityWide, un autobús urbano 100% eléctrico. (Fuente: Scania)

Cuando se trata de mejorar la rentabilidad de un sistema de transporte, los vehículos eléctricos mejoran aspectos como la fiabilidad y la mantenibilidad de los sistemas de tracción, por ser mucho más sencillos. Sus altas prestaciones son superiores a los homólogos en tecnologías convencionales. Pese a esto, la inversión inicial es muy superior y la evolución de la tecnología puede dejar obsoleto un modelo en poco ejercicios.

Son muchas otras las aplicaciones que no buscan directamente la rentabilidad sino el rendimiento. Aquellas modalidades de uso que intentan incrementar las prestaciones de los vehículos, con el uso de sistemas de tracción eléctrico.

Algunas de éstas ya se han descrito, como el uso en vehículos de alta gama. Otros, relacionados con ésta, son los vehículos de competición.

2.3.3.- Tecnologías eléctricas en competiciones del motor:

Consecuentemente a lo expuesto anteriormente, y en el marco de este proyecto, es importante definir el estado del arte en el que se encuentra la tecnología de vehículos eléctricos en el sector de la competición del automóvil.

Son numerosas las competiciones convencionales que se han interesado o que incluso han llegado a desarrollar vertientes con tecnologías eléctricas (Fórmula E). Otras tantas se han decantado por la hibridación o el uso de sistemas híbridas en sus competiciones oficiales (Fórmula 1).

No cabe duda de que el modelo de vehículo eléctrico se adapta por sus prestaciones al mundo de la competición. Dichas prestaciones lo hacen muy interesante de cara a categorías de alta velocidad tales como las categorías fórmula en sus diferentes clases.

Incluso, la conciencia por la normalización de la tecnología ha llevado a distintas organizaciones a la realización de Ralis con vehículos eléctricos. Así mismo, de la colaboración de entidades privadas y fabricantes del automóvil, surgen competiciones de rally con vehículos 100% eléctricos, como la ADAC Opel e-Rally Cup (Álvarez, 2019).



Ilustración 2-19 Imagen del modelo Opel Corsa e-Rally (Fuente: Motorpasion)

Quizás la competición mas avanzada protagonizada por vehículos eléctricos, es la Formula E. Transcurrida por primera vez en el año 2014, lleva realizandose de forma continuada, hasta la temporada anterior (18-19) siendo la actual paralizada a principios del año 2020.



En esta competición, un gran número de fabricantes de automóviles desarrollan monoplazas con las tecnologías eléctricas más punteras. Sus principales equipos en la presente temporada son:

- Audi Sport ABT Schaeffler: Escudería del grupo ABT Schaeffler habitual colaboradora de la casa Audi, con la que también participa de forma conjunta en esta competición.
- BMW i Andretti Motorsport: Unión entre Andretti Motorsport (Clásico equipo de la Indy Car) y la división eléctrica de BMW.
- Dragon Racing: Único equipo de nacionalidad americana, presenta gran experiencia en el mundo de la competición convencional.
- Techeetah Formula E Team: Equipo de la casa DS (o la división de lujo del grupo Citroen), tras adquirirlo y fusionarse con sus creadores Chinos.
- Virgin Racing Formula E Team: Se trata de la escudería perteneciente al famoso Virgin Group. Anteriormente estaba asociada con la casa DS, hasta que se rescindió el pacto y esta fue al equipo Techeetah.

Estos son algunas de las escuderías presentes en la competición. A la vista de estos, se ve como las casas fabricantes de vehículos (sobre todo europeas) muestran un interés alto por mostrar su capacidad de desarrollar tecnologías eléctricas en automóviles de altísimas prestaciones.

La tecnología actual de los monoplazas, se resume en los siguientes valores (FIA Formula E, s. f.):

- Batalla: 3100 mm
- Masa mínima: 900 kg
- Masa de batería: 385 kg
- Potencia máxima: 250 kw
- Velocidad máxima: 280 km/h



Ilustración 2-20 Imagen del Fórmula E de segunda generación o GEN II (Fuente: Auto10).



Un ejemplo ya comentado en capítulos anteriores es el del Volkswagen I.D. R. Se trata de un prototipo eléctrico, desarrollado por Volkswagen y Porsche de forma conjunta, con el objetivo principal de competir en la edición de 2018 de la subida “Pikes Peak”. Su éxito fue tal, que batió el récord absoluto de la prueba. Así mismo, ha superado en circuito marcas tales como la del vehículo eléctrico más rápido en el circuito de Nürburgring-Nordschleife.

Sus principales prestaciones son (Álvarez, 2019a):

- Dos motores eléctricos
- Potencia máxima: 500 kW
- Par máximo: 650 Nm
- Masa media: 1100 kg



Ilustración 2-21 Imagen del Volkswagen ID. R (Fuente: Motorpasión).

Sin duda, este hecho marca un precedente y valida el uso de la tecnología eléctrica en el sector de la competición, no solo en categorías homogéneas (solo vehículos eléctricos) sino en pruebas mixtas.

Cabe destacar lo adecuado de esta prueba y categoría para esta tecnología. La naturaleza de la prueba se ajusta a las prestaciones que un vehículo eléctrico presenta y por las que destaca. Dado el remarcado éxito del primer prototipo, Volkswagen ya está trabajando en el desarrollo de una segunda versión.

2.4.- Tecnología del vehículo eléctrico:

Existen numerosas soluciones técnicas y configuraciones distintas presentes en el funcionamiento de un vehículo eléctrico. Adecuado a cada uso que se le vaya a dar a un vehículo, desde un vehículo ligero para transportes en una planta industrial, hasta un vehículo de transporte de varias toneladas. En función de las prestaciones requeridas, sus componentes y conexionado variará.



La configuración física puede variar según la posición del motor o motores con respecto al eje o a los ejes motrices. También tiene gran influencia la posición de las baterías, si es necesario un sistema de refrigeración y si este es por fluido líquido o por aire. La existencia o no de un sistema de recuperación de energía, si existe integrado o no un sistema de carga.

Todos estos factores, añadidos a la volatilidad de la tecnología (cambiante en cortos periodos de tiempo), hacen que existan distintas soluciones presentadas por distintos fabricantes. La modularidad y “sencillez” de la tecnología permite adaptar ésta al uso que se le quiera dar al vehículo.

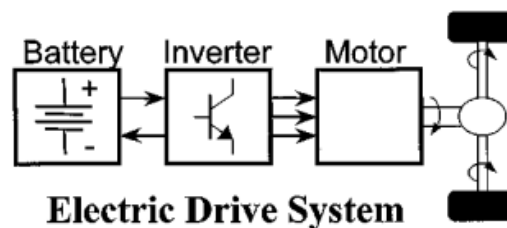


Ilustración 2-22 Esquema de funcionamiento de un vehículo eléctrico (Soong, 2002, p 1256)

Es importante conocer los distintos elementos que componen los distintos subsistemas que componen estos vehículos:

- Subsistema de potencia: Compuesto por uno o varios motores eléctricos. Puede variar en su tecnología entre motores de corriente continua, alterna, asíncronos, entre otros. Alguno de los motores, requieren de inversores que controlen la potencia y adapten el formato a corriente alterna en 1 o 3 fases.
- Subsistema de control: Se trata del subsistema encargado de recibir las lecturas de los sensores presentes en el vehículo y controlar las salidas necesarias en consecuencia a las lecturas. En algunos casos, el inversor actúa como sistema de control, en consonancia con el gestor de batería (BMS).
- Subsistema de almacenamiento de energía: Generalmente es un conjunto de celdas (de múltiples tecnologías). Así mismo dispone de todos los elementos accesorios necesarios para su correcto funcionamiento. Algunas tecnologías (como las de base Litio), requieren de un control para el consumo controlado de cada una de las celdas que componen el pack.
- Subsistema de refrigeración: Este sistema se torna necesario en numerosas configuraciones, para un correcto y óptimo funcionamiento del tren de potencia. La refrigeración afecta a los tres subsistemas anteriores bien sea refrigeración por aceite, agua o aire.

Antes de comenzar el diseño de una solución para el problema propuesto, se identificarán todas las soluciones existentes y con viabilidad.



2.4.1.- Motores eléctricos en el transporte por carretera:

Las tecnologías de motores eléctricos han evolucionado de forma exponencial durante los últimos años. El incremento en uso de estos accionamientos en sistemas de transporte ha hecho que cada vez se desarrollen nuevos modos de uso adaptados al transporte de forma específica.

Los motores presentan distintas tecnologías, y en función del uso que se le requiera al mismo, unas son más adecuadas que otras. Es muy habitual que, en vehículos eléctricos de calle, se disponga de 2 o más motores, dotando al vehículo de tracción total sin la necesidad de disponer de ejes que transmitan el movimiento desde el motor a cada rueda.

En este caso, se presenta la solución de un único motor que, a través de un diferencial autoblocante, reparte el movimiento a las dos ruedas traseras. Para ello, se ha de seleccionar un motor capaz de obtener las necesidades exigidas.

Los motores eléctricos utilizados en vehículos son habitualmente más compactos que los industriales. En cuanto a las tecnologías utilizadas, se pueden diferenciar dos grandes grupos, motores de corriente continua y motores de corriente alterna.

- Motores de corriente continua: Son motores que dependen altamente de un mantenimiento generalmente exigente, debido en gran medida a el uso de elementos en fricción como las escobillas. Aun así, presentan una ventaja sustancial por la facilidad que existe en el control del comportamiento de estos. Existen variaciones distintas de la tecnología, dentro de la categoría de motores DC, tales como motores con escobillas, sin escobillas, motores de imanes permanentes, entre otros.

En cuanto a su uso en el sector del vehículo eléctrico, es extendido y amplio, justificándose por la sencillez en su uso y control. Se suelen ver instalados en vehículos de pequeña potencia y/o ligeros, tales como carritos de golf, vehículos industriales ligeros, aparte de otros. Son capaces de generar altos niveles de par, utilizan voltajes menores que sus homólogos en alterna.

Independientemente de esto, hay que recordar que el mantenimiento de estos motores presenta un inconveniente, así como en ocasiones, sus dimensiones y peso.



Ilustración 2-23 Motor de corriente continua de la casa OEM para un carrito de golf (Fuente: Buggie Part Direct).

- Motores de corriente alterna: Estos motores han sido utilizados de forma generalizada en la industria, gracias a sus requisitos bajos de mantenimiento y altos de fiabilidad. Presentan unos precios mayores a sus competidores en corriente continua, pero aun así también su popularización ha hecho que estos precios no sean tan altos.

En lo referente al uso en vehículos eléctricos, estos motores presentan un rendimiento idóneo, tienen la posibilidad de actuar como generadores para recuperar energía y ofrecen valores de aceleración mayores. Aunque su control es más complejo, esto lo hace perfecto para un control más fino de su comportamiento de forma que gran número de compañías venden los sistemas de control programables para los motores de alterna. La capacidad para invertir el sentido de giro es más sencilla en estos motores, así como la ya mencionada facilidad y sencillez en el mantenimiento.



Ilustración 2-24 Modelo de motor eléctrico radial Magnax (Fuente: Magnax).

Dentro de las tecnologías de motorización eléctrica en los transportes, requiere un lugar especial los sistemas de electrónica de potencia. Éstos son los encargados de transformar y controlar la energía recibida de las baterías y dirigida hacia el motor. Generalmente, ya sea de forma integrada o externa, un control se encarga de monitorizar como y cuanta corriente circula a través del motor/motores.

El caso más habitual, es el del uso de inversores inteligentes, capaces de monitorizar el estado del motor, recibir información de las baterías y procesar estos



datos de cara a imponer un ciclo de trabajo correcto al circuito de inversión. Otros sistemas de transformación de potencia pueden ser aquellos que trabajen en continua, utilizando circuitos para aumentar o reducir tensiones.

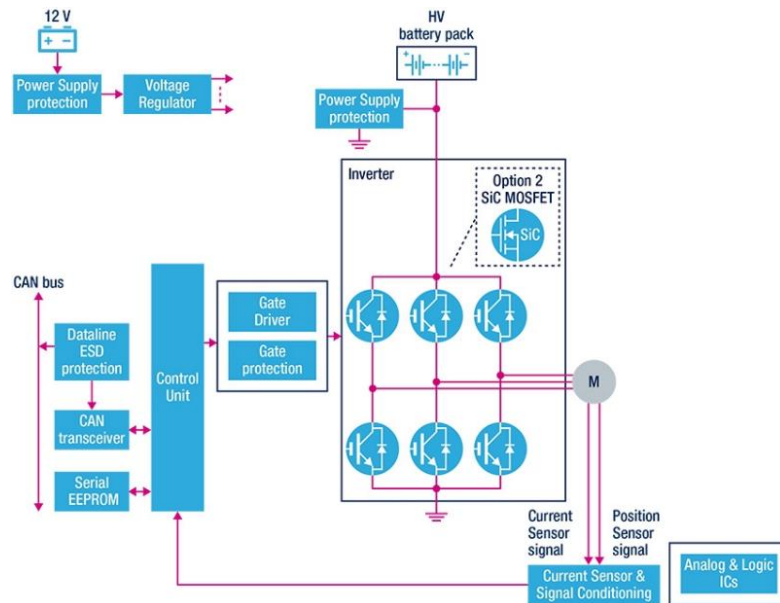


Ilustración 2-25 Esquema detallado de un inversor y sus entradas/salidas en una configuración habitual de un vehículo eléctrico de carretera (Fuente: ST).

2.4.2.- Tecnologías de almacenamiento de energía:

Con el incremento en las ventas y popularización de vehículos basados en motores eléctricos, van apareciendo nuevas formas de almacenar la energía necesaria para alimentarlos. Bien conocido es que, el mayor inconveniente de estas tecnologías es la capacidad limitada de almacenamiento, que reduce (en comparación con tecnologías convencionales) el rango factible de estos vehículos.

Las principales limitaciones de una batería, en un sistema eléctrico como el de un vehículo de carretera son:

- Su rango se ve limitado, frente a sus homólogos de combustión interna.
- Si se requiere de un almacenado de energía mayor, se recae en un incremento alto de peso.
- Las temperaturas de trabajo de las baterías hacen necesario el uso de sistemas de refrigeración/calentamiento.
- Los procesos de carga de estas suelen ser largo para ciclos de carga completos.
- Es necesario contar, en algunas tecnologías, con un controlador que disponga los procesos de carga y descarga de las celdas.



Pese a esto, el avance en las tecnologías de las baterías está reduciendo las problemáticas relacionadas con este componente.

En cuanto a las tecnologías existentes en el almacenamiento de energía en baterías, actualmente existen distintas soluciones. Se suelen agrupar según su composición química en:

- NiCd o Níquel Cadmio: Son baterías ampliamente utilizadas, pero relegadas dado su alto poder contaminante y su efecto memoria.
- De plomo: Estas baterías son muy utilizadas en el sector de la automoción, debido a su facilidad de desprender altas corrientes, necesarias para los arranques de vehículos de combustión interna.
- NiMH o Níquel-Hidruro metálico: Tiene unos niveles de efecto memoria menores a las de Níquel Cadmio.
- NiZn o Níquel Zinc: Son baterías cuyo campo de aplicación reside en todo aquel uso que requiera de cierta ligereza y sin demasiadas solicitaciones en cantidad de energía.
- LiFePO o Litio ferrofosfato: Estas baterías son utilizadas en vehículos eléctricos, así como en toda aquella aplicación que requiera de unos niveles altos de seguridad en su uso. Es ampliamente utilizada.
- Iones de Litio: Presentan una alta capacidad energética y un efecto memoria reducido, lo que las hace ideales para su uso en tecnología de consumo, como telefonía móvil, y en vehículos eléctricos.

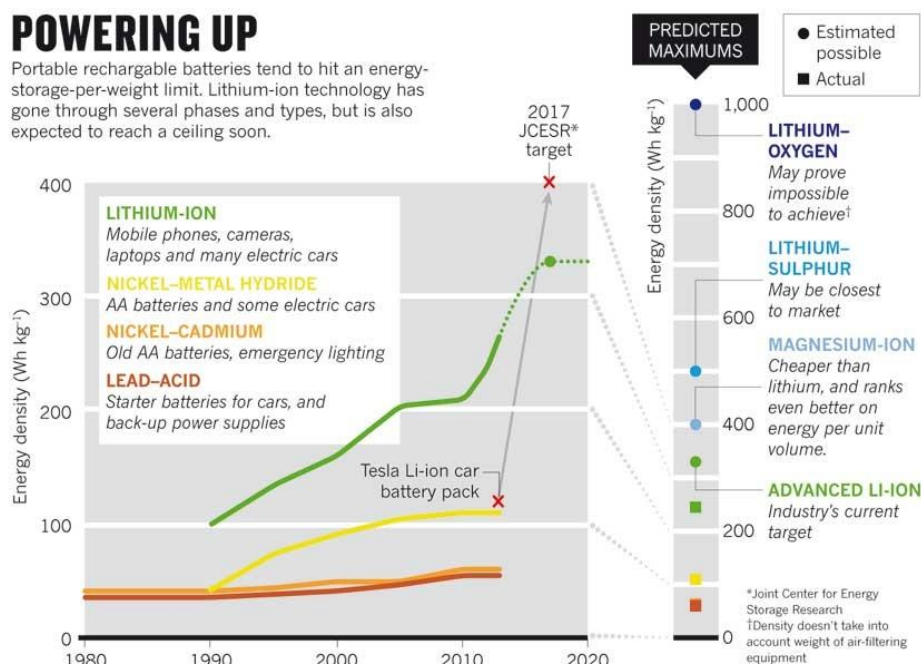


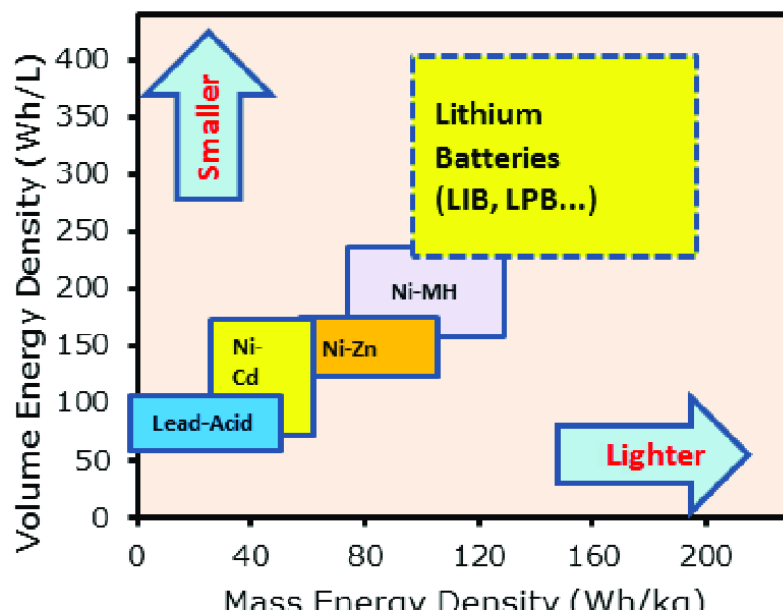
Ilustración 2-26 Representación esquemática de la evolución de las tecnologías de almacenamiento en los últimos 40 años (Fuente: Song, 2014).



El uso de estas tecnologías en los vehículos eléctricos ha variado con el tiempo. En un principio, los vehículos eléctricos utilizaban baterías de plomo como fuente de energía. Hoy en día, y gracias a los avances en la tecnología, es muy popular el uso de baterías de iones de litio y de ferrofosfato.

Cuando se habla de la capacidad de almacenamiento eléctrico en baterías, es importante describir que es la densidad energética. Ésta puede referirse en masa o en volumen, y se entiende como la relación de la energía almacenada por cada una de estas unidades. Sus unidades más habituales son el vatio hora partido por litro (Wh/L en el caso de densidad volumétrica de energía) y el vatio hora partido por kilogramo (Wh/kg en el caso de densidad en masa de energía).

Cuanto mayor sea la densidad volumétrica y en masa, menor será el volumen y el peso, respectivamente, de baterías con igual energía almacenada.



Gráfica 2-1 Valores habituales de densidades energéticas asociadas a cada tecnología (Fuente: Deployment et al., 2015, pp. 1–3)

Algunas de estas tecnologías más modernas, necesitan el uso de sistemas de control, que aseguren una correcta carga y descarga de las numerosas celdas que en las baterías se alojan. Estos sistemas de control reciben su nombre por las siglas en inglés BMS o “Battery Management System”.

Así mismo, es habitual que los packs de baterías (compendio de celdas situadas en el vehículo y los subsistemas necesarios para su correcto funcionamiento) requieran de elementos para la refrigeración y/o calentamiento, en función de los ciclos requeridos.

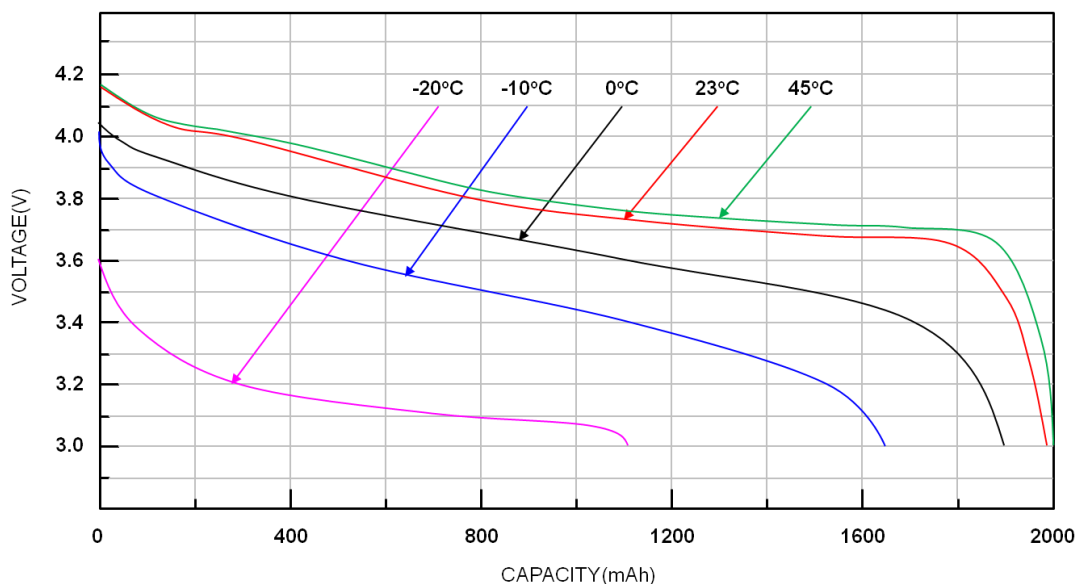
Las tecnologías más utilizadas hoy en día en vehículos eléctricos son las de iones de litio. En vehículos donde se esperan recorrer largas distancias, se está haciendo habitual ver complejos sistemas de refrigeración por aire o incluso por líquido.



Los valores de temperatura del pack son especialmente importantes. Son necesarios para la monitorización del riesgo intrínseco de incendio químico y posible explosión. De todas maneras, la temperatura es un factor decisivo en el rendimiento de una celda, pues, valores muy bajos o altos de temperatura de esta (ya sea por el entorno o por su propio proceso de carga/descarga), varía ampliamente su ratio y/o capacidad de descarga.

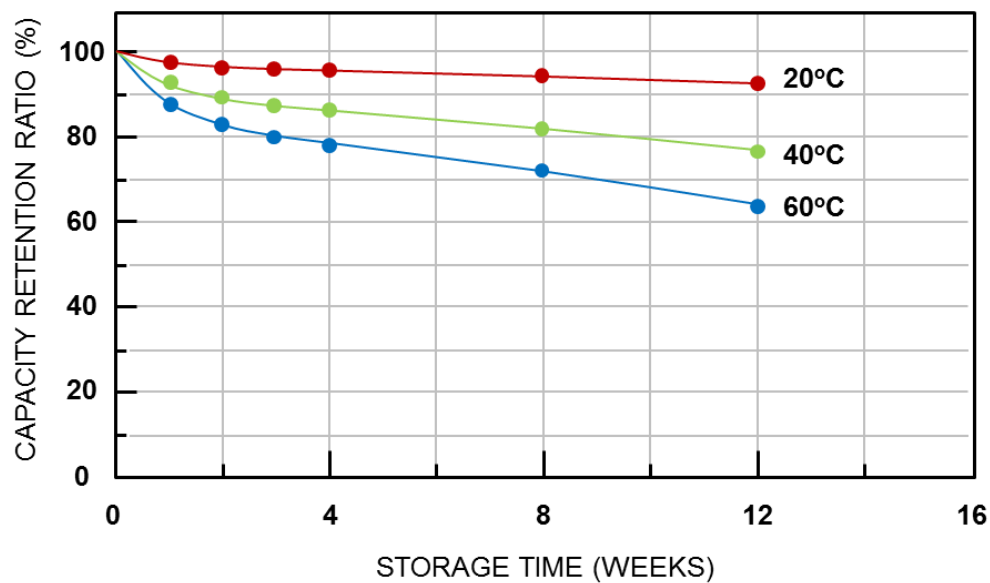
Según diversos fabricantes, las consecuencias de la temperatura pueden ser ambiguas o en función del uso que se le quiera dar pueden ser beneficiosas o contraproducentes (Richtek & Ho, 2014).

En la siguiente figura se aprecia como, para una misma batería, los ratios de descarga o la intensidad que es capaz de mantener una batería en su descarga, está altamente relacionada con la temperatura.



Gráfica 2-2 Representación de un ciclo de descarga de una celda de Ion Litio a 5 temperaturas distintas (Fuente: Richtek).

Aun así, se podría pensar que un sobrecalentamiento controlado, o incluso la imposición de una alta temperatura a una celda dentro de sus límites puede ser beneficioso para obtener altos ratios de descarga. Existe la contra partida a esta cualidad relacionada con las altas temperaturas, y es que el mismo autor indica como, la capacidad de almacenamiento a lo largo del tiempo (una batería cargada que se deja sin descargar durante un periodo de días, semanas o meses) disminuye, perdiéndose parte de la energía. Cuanto mayor es la temperatura a la que se expone el vehículo, mayor son estas pérdidas a lo largo del tiempo.



Gráfica 2-3 Representación de la energía retenida en una celda de Ion Litio a lo largo del tiempo para 3 temperaturas distintas (Fuente: Richtek).

2.4.3.- Tecnologías en el control de sistemas de almacenamiento:

Como ya se indicó, la tecnología más habitual hoy en día en sistemas de almacenamiento de energía eléctrica es la de Iones de Litio. Esta energía, es controlada en su carga y su descarga por un BMS, un dispositivo electrónico de control, encargado de monitorizar la energía almacenada en cada celda, de manera que sus ciclos se realicen controlada y organizadamente, evitando así la descarga o carga en exceso de alguna de las unidades que conforman el pack de baterías.

Este dispositivo electrónico es vital para preservar la vida útil de las baterías, así como para que éstas trabajen en su punto de trabajo adecuado. Generalmente se suele monitorizar las siguientes variables:

- Tensión en bornes del pack.
- Tensión de cada celda.
- Temperatura del pack.
- Temperatura de la celda.
- Corriente de salida del pack.
- Estado de carga o SOC.

Algunos de estos valores no se monitorizan exclusivamente por incrementar la eficiencia del sistema. Esta tecnología es sensible a los cambios y un mal uso puede repercutir en su vida útil drásticamente, llegar a inutilizarla y en última instancia a que exploten o se prendan fuego.



Valores como la tensión en cada celda, permite una carga y descarga equilibrada y sin llegar a los extremos. Una carga en exceso puede desembocar en el inicio de un foco de incendio. En el caso de una descarga en exceso, de forma reiterada, puede llevar a la inutilización de la celda.



3.- BASES DE CÁLCULO:

De cara a la realización del proceso de cálculo y diseño del sistema de tracción, se dedicará este capítulo a identificar las variables a tener en cuenta en dicho proceso. Tales como las prestaciones buscadas, las alternativas comerciales y las secuencias de cálculo que garanticen un correcto funcionamiento y dimensionado correcto, todo ello en consecuencia al estadio en el que se encuentra el proyecto, y el alcance actual del mismo.

Siendo el objeto último de este proyecto, el diseño de un tren motriz eléctrico funcional para la conversión de un vehículo de combustión interna será necesario definir las características de dicho vehículo y las prestaciones buscadas para el nuevo sistema.

3.1.- BRC B49:

El vehículo utilizado como base para el proyecto, es el modelo B49 de la escudería asturiana Bango Racing Cars, con base en Langreo. Se trata de un vehículo con chasis multitubular de acero al carbono, carrocería de fibra de vidrio en tres piezas y motor Suzuki 4 cilindros 1L 16V con una potencia de 200CV (150kW) (BRC, s. f.).

Sus dimensiones son:

- Largo: 3750 mm
- Ancho: 1750 mm
- Alto: 1030 mm
- Batalla: 2600 mm
- Masa: 460 kg

En cuanto al resto de sus componentes:

- Frenos de disco delanteros: 265 mm
- Frenos de disco traseros: 265 mm
- Pinzas AP de doble pistón
- Dirección cremallera de una vuelta de tope a tope
- Suspensión doble con PushRod y amortiguador TecnoShock regulable en tres vías



Ilustración 3-1 BRC B49 en una competición de subida de montaña (Fuente: BRC)

Este modelo de la casa Bango Racing Car ha logrado varias veces el campeonato de España de subida de montaña en categoría 2 en las temporadas 2013, 2014, 2015, 2016 y 2018.

Su diseño se centra en correr tramos de montaña, siendo ligero y con una relación peso potencia muy beneficiosa.

Del análisis de su chasis y, sobre todo, la disposición de sus sistema de propulsión por motor convencional, se aprecia que existe espacio presumiblemente suficiente para disponer el nuevo modelo de propulsión eléctrica.

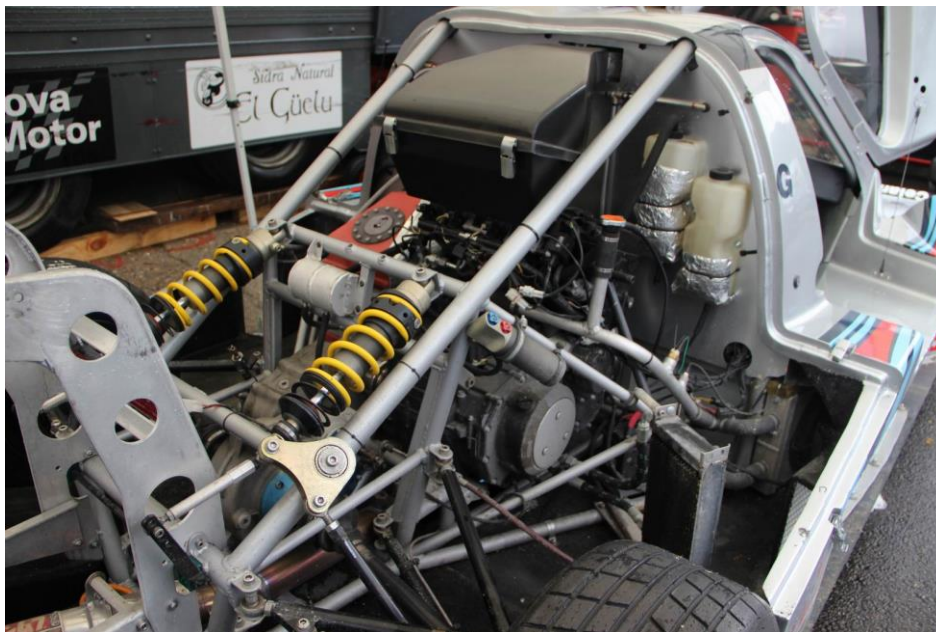


Ilustración 3-2 Imagen del sistema actual de propulsión de motor Suzuki en el modelo B49 (Fuente: BRC).



Su más que probada viabilidad como vehículo ganador en sendas pruebas, su ligereza, el tipo de pruebas en las que compite, entre otros factores, hacen que este chasis sea más que adecuado y óptimo para realizar una conversión eléctrica de su sistema de tracción.

Tras estudiar el vehículo, y sus elementos mecánicos existentes, se decide que la modificación se centrará en modificar el elemento que almacene y genere la energía y potencia. Quedan fuera por tanto los elementos mecánicos que adapten dicha potencia y que la transportan a las ruedas (Caja de cambios o reductora si fuera necesario, diferencial, ejes palieres, frenos, entre otros).

Se estima que los componentes necesarios para realizar la conversión y, asegurar un correcto funcionamiento del nuevo prototipo, pueden situarse en la parte trasera del vehículo. Siendo este el lugar donde se sitúan los componentes del sistema actual se evita de esta manera la problemática de desviar el centro de masas del vehículo.

3.2.- Prestaciones objetivo:

De cara a afrontar el diseño, es necesario identificar y definir de forma precisa, que prestaciones se buscan, dentro de que rangos son admisibles y como se espera que sea la nueva operativa del vehículo.

Cuando se propuso de forma primera este proyecto, se definió como clave principal, mantener las prestaciones actuales del vehículo con un nuevo tren motriz 100% eléctrico intentando en la medida de lo posible reducir el coste de la inversión necesaria para cumplir dichos requisitos.

Si se repasan las prestaciones actuales del vehículo, se puede atisbar la siguiente relación potencia a peso (Re):

$$Re = \frac{w(kW)}{m(kg)} = \frac{150 kW}{460 kg} = 0.3261 kW/kg \quad (1)$$

Como se aprecia en la ecuación anterior, el vehículo con su configuración actual responde a un ratio de potencia a peso de $0.3261 kW/kg$ lo que lo dota de una alta aceleración, así como velocidad punta.

Se establece así un primer parámetro, esencial, que comparar y mantener como objetivo mínimo en el diseño del nuevo tren motriz. Se ha de tener en cuenta la nueva potencia instalada, así como el peso por exceso o por defecto que se imponga en el nuevo sistema.

Otro aspecto necesario de cara a mantener las prestaciones obtenidas con el motor de combustión interna. Actualmente, éste motor ronda a la salida de la caja, una



velocidad que ronda las 10.000 rpm. Se intentará en medida de lo posible mantener esta relación de velocidad de giro en el nuevo sistema motriz eléctrico.

También es necesario, evitar las modificaciones estructurales y/o del carenado del vehículo, manteniendo así sus prestaciones y respuestas en la conducción ya conocidas y contrastadas, también evitando modificar su respuesta aerodinámica.

Otro aspecto fundamental e indispensable mantener para la viabilidad del vehículo, es el del alcance de este. Actualmente, su depósito de combustible le permite realizar entre 1 y 2 mangas completas de subida, lo que lo hace ligero estando éste optimizado para ello. Se ha de buscar un pack de baterías que almacene la suficiente energía para permitir la subida de 2 tramos (los reglamentarios), evitando la necesidad de cargarlas entre uno y otro, pudiendo dejar el vehículo cargando entre un día y otro de la competición.

Será en la medida de lo posible objeto en el diseño, intentar obtener un pack de baterías extraíble, que permita la sustitución del conjunto sin necesidad de herramientas de cara a mantenimientos e incluso de intercambio entre packs.

Se ha de mantener la capacidad de realizar las pruebas en climas con temperaturas superiores a la media, disponiendo de sistemas de refrigeración para todos los subsistemas que supongan fuente de calor. Siempre que fuera posible, se deberían utilizar los intercambiadores o radiadores dispuestos para el sistema actual.

Los sistemas de control necesario se seleccionarán siempre que sea posible con la posibilidad de interconexión y comunicación con centralitas programables estándar, generalmente con opción de comunicación por BUS CAN.

3.3.- Prueba base:

A la hora de diseñar un vehículo de competición para una clase específica como es la clase de montaña, es importante conocer los aspectos fundamentales de las pruebas específicas. De esta manera, se pueden conocer aspectos que se le han de exigir a los vehículos que en ellas compitan. Una prueba ejemplar en esta categoría, en la cual ha competido en numerosas ocasiones el vehículo modificado en su modo de propulsión actual, es la subida internacional al Fito. Se tomarán los datos y resultados expuestos en la siguiente referencia (Luque et al., 2020):

Las características principales de este tramo son:

- Longitud total: 5.260 km
- Pendiente máxima: 6.65 %
- Pendiente media: 5.96%
- Altura inicial: 46 m
- Altura final: 359 m



Como resultado de diferentes análisis de la telemetría resultante del paso por el tramo indicado por el vehículo en cuestión, se obtiene la siguiente información:

- Tiempo de referencia: 168.5 s
- Aceleración máxima: 13 m/s²
- Aceleración lateral máxima: 6G

Para la determinación de los valores requeridos de energía, se calcula mediante un modelo de cálculo basado en la telemetría indicada anteriormente. Se imponen unos valores de motor eléctrico indicados a continuación:

- Potencia máxima: 120 kW
- Par máximo: 350 N/m
- Revoluciones máximas: 12000 rpm

De la simulación del tramo, para dichas condiciones de motor eléctrico, se obtienen los siguientes resultados:

- Energía consumida: 2.73 kWh
- Tiempo del recorrido: 168.5 s

Como conclusión a las bases impuestas por el tramo, será necesario tener en cuenta el valor de energía consumida por tramo, así como los valores referencia del motor eléctrico optimizado para sustituir la versión de combustión interna.



4.- DISEÑO:

4.1.- Introducción:

Será objeto de este capítulo de la memoria describir aspectos como prestaciones buscadas, métodos de cálculo, recopilación y selección de componentes, disposición y conexionado de elementos, diseño de elementos auxiliares, entre otros.

Han sido varias las iteraciones de diseño necesarias para encontrar la solución actual y óptima para el estado del proyecto. Finalmente, el diseño se basa en un esquema habitual y sencillo, en el que los elementos se conexionan en serie.

Se basa en el uso de un motor eléctrico, controlado y conectado a un inversor. Éste está energizado por un pack de baterías cuyo diseño preliminar corresponde al espectro de este proyecto, dispondrá éste de un BMS.

Todo esto estará refrigerado por sus correspondientes sistemas de refrigeración. Aun así, estos sistemas no serán dimensionados en detalle, aunque si seleccionados.

En el caso de aquellos componentes comerciales, se comenzará por recopilar una lista de aquellas opciones posibles que encajen con lo que se propone. Una vez recopilado, se seleccionará aquel que más se acerque a lo que se busca según los distintos parámetros de selección.

Antes de comenzar a redactar el proceso de diseño, se enumeran algunos de los requisitos más importantes desde el punto de vista del diseño:

- Ha de mantener las prestaciones esperadas del modelo original con propulsión convencional.
- Ha de ser propulsado por un sistema o tren motriz 100% eléctrico.
- Ha de ser capaz de recorrer un tramo al menos en 2 mangas con margen para imprevistos.
- Ha de tener un coste reducido, siendo el coste económico uno de los conceptos de selección con mayor peso.
- Ha de tener un peso reducido, intentando no superar el peso original del vehículo.
- Ha de mantener la geometría y distribución de pesos, siempre dentro de lo posible.
- Ha de ser diseñado buscando una facilidad para la fabricación y para el montaje, teniendo en cuenta los procesos necesarios posteriores durante el diseño.



4.2.- Esquema de funcionamiento:

Antes de abordar de forma detallada la descripción de las soluciones finales y el proceso para llegar a ellas, es necesario exponer una idea general de que componentes están presentes y como interactúan entre sí.

Los componentes y su disposición responden a una estructura común y sencilla muy extendida en vehículos eléctricos. Se basa en el uso de únicamente los elementos necesarios para el correcto funcionamiento. En esta disposición se eliminan redundancias, se limita el uso de componentes referidos a la comodidad de los pasajeros, entre otros.

Los componentes presentes son:

- Motor eléctrico
- Inversor/Control
- Pack de baterías:
 - Envoltura/Cierre
 - Celdas
 - Buses de potencia
 - Control de temperatura
- BMS
- Sistemas de refrigeración
- Inversor de continua (12V CC)
- Contactores y elementos de seguridad

Dentro de la configuración, el esquema

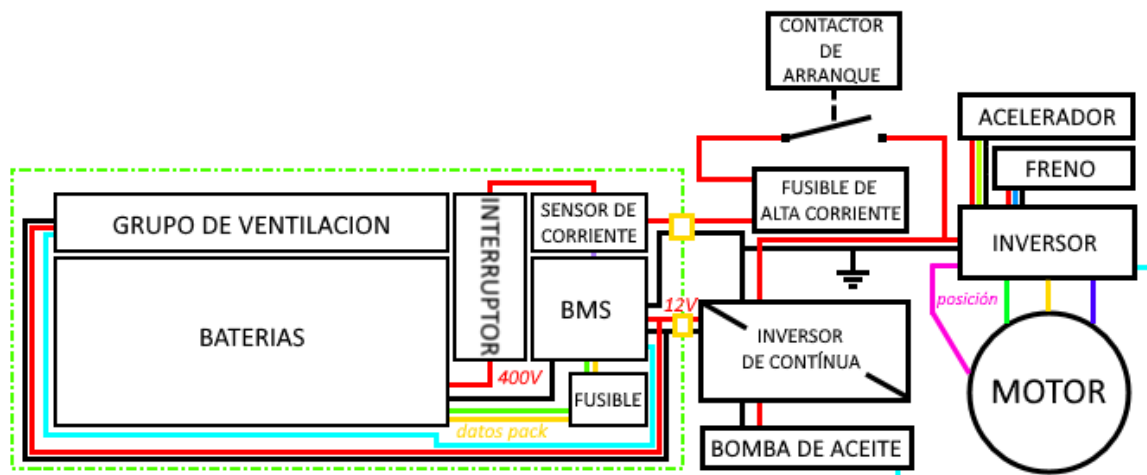


Ilustración 4-1 Esquema propuesto para el nuevo tren motriz eléctrico (Fuente: Propia).



Como resultado de la interpretación del esquema expuesto anteriormente, se desprende el siguiente funcionamiento del tren motriz.

- El sistema se divide en 4 subsistemas principales, los elementos de almacenamiento y transporte de energía (Pack de baterías) representado dentro de una línea de puntos verde así como los elementos conductores, elementos de potencia donde se incluye el motor principalmente, elementos de control entre los cuales destaca el inversor aunque también podría clasificarse en los elementos de potencia y los elementos auxiliares, encargados de aspectos como la refrigeración, seguridad, interfaz, entradas/salidas, entre otros.
- El pack de baterías almacena la energía, la cual se ha de “recargar” de forma externa a través de un cargador externo (así se elimina el peso de un elemento extra innecesario durante la competición).
- Cada una de las celdas se ha de monitorizar de forma independiente en los parámetros de temperatura y tensión, siendo éstos controlados por el BMS.
- La energía de las celdas fluye a través de placas de aluminio/cobre, que componen el bus de potencia, las cuales terminan en dos cables de potencia. Éstos atraviesan sendos elementos de seguridad (fusibles, ICPs, interruptor, etc.).
- La corriente generada por el pack de baterías sale a través de sendos conductores hacia los inversores de continua y alterna.
- Del inversor de continua, se genera una línea de tensión a 12V que alimenta elementos auxiliares (Bombas, ventilación, BMS, la línea de control del inversor, etc.)
- Del inversor de alterna, salen las 3 líneas de trifásica que alimentan al motor.
- Al inversor llegan las líneas de datos de la cabina del piloto, así como la retroalimentación del motor.

4.3.- Selección de componentes comerciales:

En el proceso de diseño de un sistema como el objeto de este proyecto, existen numerosos elementos comerciales. Éstos requieren de un proceso estudiado y justificado de selección, basado en las necesidades que cada uno de ellos debe cumplir.

Además de cumplir correctamente con su funcionalidad, ha de ceñirse a aspectos como el volumen o el coste. Este último factor es determinante en este caso, pues es expresamente necesario reducir, dentro de los límites lógicos, el coste final del proyecto.



4.3.1.- Selección del motor eléctrico:

Sin duda, la selección del elemento actuador del sistema determina el resto de los aspectos necesarios para el dimensionado. La selección del motor viene referida a los aspectos y requerimientos mecánicos, que se esperan del nuevo tren.

Para la correcta elección de un motor adecuado a la aplicación que se busca, se recopilan opciones aceptables dentro de los aspectos comentados:

Motores de corriente continua:

La primera opción serán los motores de corriente continua, por su prominente bajo coste y buenas características.

- TZ205XS50C: De la casa china McMotor, presenta unas características muy cercanas a las que se buscan:
 - Voltaje DC: 330 [V]
 - Potencia pico: 120 [kW]
 - Par máximo: 312 [Nm]
 - Velocidad máxima: 12000 [rpm]
 - Masa: 49 [kg]



Ilustración 4-2 Imagen del motor modelo TZ205XS50C (Fuente: MC Motors)

Motores de corriente alterna:

Estos motores presentan un comportamiento más suave y adecuado para el uso en vehículos eléctricos. Generan unas altas aceleraciones, y altas potencias en motores más ligeros y compactos. Dentro de estas premisas, encontramos:

- Zytek 170kW 460Nm: Modelo de la casa Zytek, con unas características más que suficientes a los requerimientos exigidos:



- Voltaje AC: 350 [V]
- Potencia pico: 170 [kW]
- Par máximo: 510 [Nm]
- Velocidad máxima: 12200 [rpm]
- Masa: 75 [kg]



Ilustración 4-3 Imagen del motor Zytek 170kW 460Nm (Fuente: Zytek).

- Emrax 268: Modelo de motor axial, con alta densidad energética para sus dimensiones. Sus características en su versión de tensión baja principales son:
 - Voltaje AC: 250 [V]
 - Potencia pico: 220 [kW]
 - Par máximo: 500 [Nm]
 - Velocidad máxima: 5500 [rpm]
 - Masa: 75 [kg]



Ilustración 4-4 Imagen del motor EMRAX 268 (Fuente:EMRAX).



- YASA P400 R: Este motor de flujo axial es de los mejores en el mercado, así lo refleja su alto precio. En este caso está muy cerca del punto de trabajo que se busca. Aun así, tiene un límite superior en revoluciones algo bajo.
 - Voltaje AC: 700 [V]
 - Potencia pico: 160 [kW]
 - Par máximo: 370 [Nm]
 - Velocidad máxima: 8000 [rpm]
 - Masa: 24 [kg]



Ilustración 4-5 Imagen del motor YASA P 400 R (Fuente: YASA).

- HVH 250-090: Motor de la casa BorgWarner, aunque algo mayor en tamaño y peso, presenta unas prestaciones que se adaptan a las sollicitaciones de la aplicación.
 - Voltaje AC: 350 [V]
 - Potencia pico: 175 [kW]
 - Par máximo: 350 [Nm]
 - Velocidad máxima: 12000 [rpm]
 - Masa: 40 [kg]



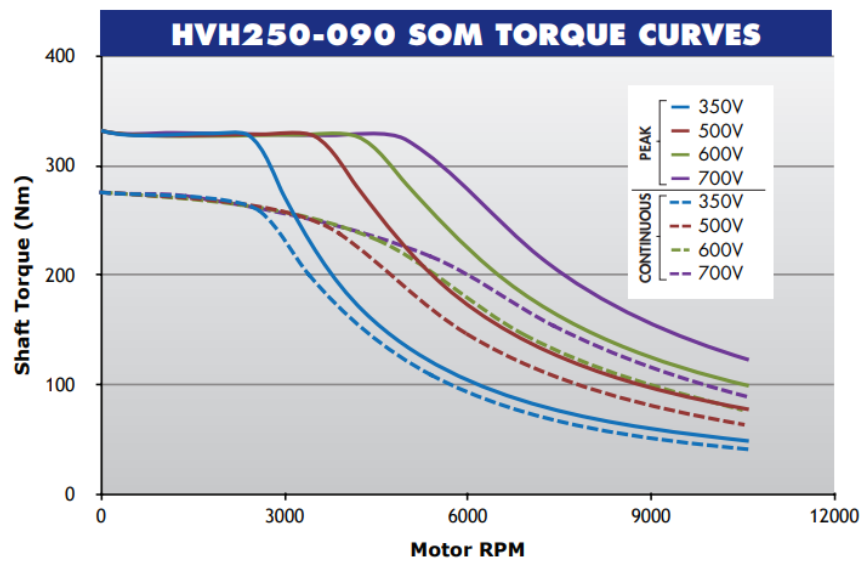
Ilustración 4-6 Imagen del motor HVH 250-090 (Fuente: BorgWarner).



Tras comparar las opciones viables, que entraban dentro de los marcos establecidos de par, potencia y velocidad, el modelo más económico y con mejor comportamiento es el HVH 250-090 de la casa BorgWarner.

Se trata de un motor con extenso uso en proyecto de conversiones eléctricas de deportivos clásicos por su disponibilidad, potencia, velocidad, peso, refrigeración, etc.

En cuanto a su comportamiento se puede apreciar por sus curvas la adecuación a la aplicación buscada:



Gráfica 4-1 Representación de la velocidad angular del motor (rpm) frente al par generado por este (Nm) (Fuente: BorgWarner).

Como se aprecia en la curva par velocidad, el par máximo está muy cercano al calculado como requisito, así mismo su par de régimen es bastante bueno y alimentado a una tensión alta se consiguen los valores buscados. Así mismo, el rango de velocidades es lo suficientemente alto.

OPERATING CONDITIONS	
Typical Coolant Inlet Temperature	up to 90 C
Typical Coolant Flow Rate	5 to 30 LPM
DC Bus Voltage	up to 700 V
Peak Current	300*/600** Arms
Rated Peak Operating Time	60 sec
Standard Cooling Medium	Dexron VI
MOTOR MASS DATA	
Motor Assembly	57.2 kg
Motor Rotational Inertia	0.086 kg·m ²

Tabla 4-1 Resumen de las condiciones de operativa del motor indicado (Fuente: BorgWarner).



4.3.2.- Selección de un inversor:

A la hora de seleccionar un inversor adecuado, capaz de alimentar al motor seleccionado. Es necesario entender el funcionamiento básico de un inversor antes de poder elegir un modelo que se adapte.

El voltaje de salida de un inversor es función de la tensión a la entrada de este en corriente continua (CC) así como el rendimiento que a este se le asocie. Esta relación sigue la siguiente fórmula.

$$V_{CA} = \frac{V_{CC}}{\sqrt{2}} \cdot \eta_{inversor} \quad (2)$$

De esta manera, se procederán a identificar modelos en el mercado para, a posteriori, elegir uno que se adapte a dichas necesidades.

- Rinehart PM100DX: Uno de los modelos más utilizados en vehículos eléctricos producidos en series pequeñas. Dada sus altas prestaciones relacionadas con largos periodos de funcionamiento, presenta un precio relativamente alto. Sus principales características son:
 - Voltaje en continua VCC: 360 [V]
 - Intensidad máxima Imáx: 350 [A]
 - Rendimiento máximo: 95%
 - Voltaje en alterna VCA: 242 [V]



Ilustración 4-7 Inversor modelo Rinehart PM100DX (Fuente: Rinehart).

- HV-500: Modelo de la casa Drive Train Innovation, es muy utilizado en los vehículos de competición en categoría Formula SAE, presenta un coste relativamente bajo frente a los competidores principales en la gama presente. Sus características son:
 - Voltaje en continua VCC: 700 [V]
 - Intensidad máxima Imáx: 500 [A]



- Rendimiento máximo: 95%
- Voltaje en alterna VCA: 470 [V]



Ilustración 4-8 Imagen del inversor HV-500 (Fuente: DTI).

- Z2K-EHV: Modelo capaz de manejar altas corrientes a una tensión media. Sus principales características son:
 - Voltaje en continua VCC: 530 [V]
 - Intensidad máxima $I_{m\acute{a}x}$: 2000 [A]
 - Rendimiento máximo: 95%
 - Voltaje en alterna VCA: 356 [V]



Ilustración 4-9 Imagen del inversor modelo Z2K-EHV (Fuente: Zilla).

Según los distintos modelos expuestos aquí, el modelo por coste y prestaciones que más se adapta a las necesidades indicadas anteriormente, será el modelo HV-500 de la casa Drive Train Innovation.



4.3.3.- Selección de baterías:

Uno de los componentes críticos de un vehículo eléctrico, y que definen en gran medida el comportamiento de este, sus prestaciones y/o limitaciones, es el pack de baterías. Su diseño y selección no es tan directo como los componentes anteriores.

Proceso de selección y dimensionado de las baterías:

Para su selección, se procederá en primera instancia a definir los parámetros de la instalación, en cuanto a los aspectos relacionados con la energía:

Datos de partida 1 manga		
Energía demandada	2,73	kWh
Densidad	128,0	Wh/kg
Masa máxima	21,3	kg
Voltaje	400,0	V
Potencia máxima	120,0	kW
Intensidad mínima	300,0	A
Margen energía	20%	
Amperios Hora	9,1	Ah

Tabla 4-2 Datos tomados como referencia para el dimensionado del pack de baterías (Fuente: Propia).

Estos datos hacen referencia a:

- Energía demandada en una manga completa al tramo de referencia.
- Densidad energética óptima ideal y/o recomendada.
- Masa óptima ideal.
- Voltaje seleccionado.
- Potencia máxima demandada por el motor.
- Intensidad máxima demandada por el motor.
- Margen de energía estimado para el diseño.
- Amperios hora estimados para el diseño.

A lo que compete a la selección de las baterías y posterior dimensionado del pack de baterías, el proceso se desarrolla en la siguiente secuencia:

- Recopilación de opciones: en un primer paso, se buscan las opciones que se crean más viables en cuanto al mercado actual, teniendo en cuenta aspectos relacionados con la tecnología, energía, corrientes de descarga, tensión en bornes, dimensiones, masa y coste.



- Cálculo de la configuración: Una de las variables más restrictivas en el diseño del pack de baterías, es definir cuantas unidades se requieren para hacer frente a los parámetros energéticos, de corriente y de tensión solicitados.
- Cálculo de densidades: Para la estimación de la eficiencia de la batería es de ayuda conocer sus densidades energéticas por unidad de masa y volumen, así como estimar el valor económico del kilovatio hora en cada configuración.
- Cálculo del pack de baterías: Conocidas todas las variables anteriores, será sistemático conocer los valores de tensión, corriente nominal, corriente máxima, número de celdas, volumen, masa y coste total de las distintas opciones de packs de baterías.

Por su relevancia, es importante reseñar de forma concreta como se realiza el cálculo del pack de baterías, en función a las opciones de celdas que se han extraído del mercado.

Inicialmente, se parten de los valores exigidos o solicitados por la instalación eléctrica. En función de la potencia máxima consumida por el motor, la energía consumida durante el tramo, la eficiencia de la batería, un margen de energía extra, el voltaje de la instalación, entre otros.

A continuación, se procede a enlistar todas las opciones sopesadas y viables en una primera instancia. En esta base de datos, se deben reunir datos suficientes para el correcto cálculo de las variables asociadas al dimensionado del pack. Estas son:

- Tensión nominal, U_0 [V]: Tensión en bornes de la batería.
- Energía almacenada, E_0 [A/h]: Energía disponible en cada batería.
- Corriente nominal, I_0 [A]: Corriente nominal de descarga de la batería.
- Corriente máxima, $I_{m\acute{a}x}$ [A]: Corriente máxima de descarga de la batería, durante un instante de tiempo menor a medio minuto.
- Masa [kg]: Masa de la batería.
- Volumen [m³]: Volumen de la batería.
- Coste de unidad [€/ud]: Coste unitario de una batería.

Conocidos estos datos, se procederá en un primer cálculo, a estimar el número de celdas, así como su disposición. Este método es habitual y queda contrastado en diversos artículos relacionados y/o enfocados al diseño de packs de batería para vehículos de competición (Kalmakov, Andreev, & Salimonenko, 2016, p. 1393).

Para ello, es necesario saber cómo se comporta un grupo de baterías cuando se conecta en serio, en paralelo o ambas:



Conexión en serie: Dadas n baterías conectadas en serie, cada una con una tensión nominal U_0 , una corriente nominal I_0 y una energía almacenada E_0 , los valores en bornes del pack de n baterías de estas variables serán:

$$U_0^t = n \cdot U_0 \quad (3)$$

$$I_0^{total} = I_0 \quad (4)$$

$$E_0^{total} = E_0 \quad (5)$$

Conexión en paralelo: Dadas m baterías conectadas en paralelo, cada una con una tensión nominal U_0 , una corriente nominal I_0 y una energía almacenada E_0 , los valores en bornes del pack de n baterías de estas variables serán:

$$U_0^t = U_0 \quad (6)$$

$$I_0^{total} = m \cdot I_0 \quad (7)$$

$$E_0^{total} = m \cdot E_0 \quad (8)$$

Conexión en serie/paralelo: Dadas m filas conectadas en paralelo de n baterías conectadas en serie cada una con una tensión nominal U_0 , una corriente nominal I_0 y una energía almacenada E_0 , los valores en bornes del pack de n baterías de estas variables serán:

$$U_0^t = n \cdot U_0 \quad (9)$$

$$I_0^{total} = m \cdot I_0 \quad (10)$$

$$E_0^{total} = m \cdot E_0 \quad (11)$$

En el caso que compete a este proyecto, la tensión, la corriente y la energía total del pack de batería, vienen impuestos por el sistema eléctrico. Por tanto, con los valores requeridos, y los valores de cada una de las baterías disponibles, se puede conocer para cada una de ellas, cuantas y en que disposición se necesitan. El número total de baterías por pack será igual a:

$$Unidades\ totales = m \cdot n \quad (12)$$

Opciones comerciales recopiladas:

Tras recopilar más de 30 modelos distintos en el mercado de celdas y/o baterías, se definió la existencia de distintos modelos capaces de dar energía en las condiciones requeridas al sistema. Aun así, se puede apreciar que su masa es más elevada a la esperada en el prediseño y optimización, dadas las exigencias de corriente.



Dentro de todas las opciones calculadas, las más cercanas a las óptimas son:

- Li8(2x4)P25RT: Modelo de la casa Energus, presenta unas características muy buenas en lo que respecta a unos ratios de descarga altos de hasta 360 Amperios. Así como su ligereza y volumen reducido, la hacen una opción más que aceptable para realizar el pack.

Aun así, su disposición en celdas requiere del diseño de un encapsulado adecuado. Su alto coste para el alto número de celdas requerido es otro obstáculo grande para su selección, así como la necesidad de seleccionar un BMS adecuado.

Los datos de esta celda son:

- Tensión en bornes: 3.6 [V]
- Energía almacenada: 20.8 [A/h]
- Corriente máxima de descarga: 360 [A]
- Los resultados del pack para este modelo son:

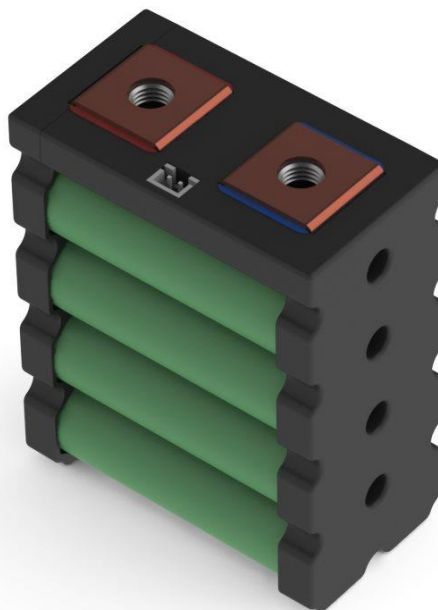


Ilustración 4-10 Modelo Li2x4p25R de la casa Energus (Fuente: Energus).

En caso de utilizar estas celdas, el pack de baterías resultaría en:

- Unidades en serie: 112 [uds/fila]
- Filas en paralelo: 1 [fila]
- Unidades totales: 112 [uds]
- Masa total: 47.82 [kg]
- Coste total: 7.616,00€



- STKE 72-60: En este caso, un modelo de la casa Jiangsu Stark New Energy, muy económico y con unas prestaciones que hacen de ella una opción más que viable. Incluye encapsulado y BMS en cada unidad. Presenta suficiente energía, ratios de descarga y tensiones para hacer frente a las necesidades impuestas.

Aun así, el peso es su principal restricción pues, aunque el fabricante no da de primera mano este dato, se estima un peso entorno a los 10 kilogramos.

Los datos de esta celda son:

- Tensión en bornes: 72 [V]
- Energía almacenada: 100 [A/h]
- Corriente máxima de descarga: 300 [A]



Ilustración 4-11 Modelo STKE 72-60 de la casa Jiangsu Stark New Energy (Fuente: Jiangsu Stark New Energy).

Los resultados del pack para este modelo son:

- Unidades en serie: 6 [uds/fila]
- Filas en paralelo: 1 [fila]
- Unidades totales: 6 [uds]
- Masa total: 60 aprox. [kg]
- Coste total: 1.500,00€



- PU72-NH60-NA Prius 2ª GEN: La última opción viable, sería el uso de baterías recicladas o reutilizadas, procedentes de vehículos eléctricos. Es el caso de las baterías de los Toyota Prius de 2ª generación.

Esta opción depende altamente de la disponibilidad de las baterías, así como de los precios del distribuidor. De todas maneras, su alto peso para baja energía las hace, aunque muy robustas, muy pesadas en el pack objetivo.

Los datos de esta celda son:

- Tensión en bornes: 14,4 [V]
- Energía almacenada: 6,5 [A/h]
- Corriente máxima de descarga: 540 [A]



Ilustración 4-12 Modelo de batería PU72-NH60-NA perteneciente a un Honda Prius de 2ª generación.

Los resultados del pack para este modelo son:

- Unidades en serie: 28 [uds/fila]
- Filas en paralelo: 2 [fila]
- Unidades totales: 56 [uds]
- Masa total: 140 [kg]
- Coste total: 4.670,00€

Si se tienen en cuenta, como para los procesos de selección anteriores, los criterios económicos y de prestaciones de alta potencia y baja capacidad de almacenamiento, se entiende como mejor modelo el de Energus.

Se trata de modelos altamente reconocidos en el sector de la competición eléctrica a niveles medios. Son modulares y con una gran bibliografía técnica. Permiten configuraciones variadas, desde esquemas sencillos a más complejos.



4.3.4.- Selección del BMS:

De cara al buen uso de las baterías de litio, sea requisito indispensable disponer de un sistema de gestión de la carga y descarga de la misma. Generalmente este sistema recibe el nombre de BMS. Se trata de un sistema de electrónica de potencia donde se controla la tensión existente en tiempo real en cada celda, evitando así una carga o descarga desigual en las celdas.

Los modelos seleccionados son:

- Orion: De la casa EWERT, este modelo dota de gran popularidad en el sector de la competición eléctrica, sus prestaciones principales son:
 - Número máximo de celdas: 120 [uds]
 - Corriente máxima: 600 [A]
 - Coste: 1.345,00€ (2.690,00€ por dos Uds. necesarias)



Ilustración 4-13 Imagen del BMS de la casa ORION (Fuente: OrionBMS).

- ELITHION: Modelo de fabricación americana. Sus características son:
 - Número máximo de celdas: 120 [uds]
 - Corriente máxima: 900 [A]
 - Coste por módulo: 1.712,00€ (3.424,00€ por dos Uds. necesarias)



Ilustración 4-14 Imagen del BMS Elithion 2CN002EA de la casa Elithion (Fuente: Elithion)



- EMUS G1: Modelo de la casa Emus, con unas buenas prestaciones y un precio competitivo, así mismo incluye un sistema de relé para controlar la carga del pack:
 - Número máximo de celdas: 255 [uds]
 - Corriente máxima: 1200 [A]
 - Coste: 2.300,00€



Ilustración 4-15 BMS de la casa EMUS modelo G1 (Fuente: Emus).

Finalmente, se decide seleccionar como modelo óptimo, el BMS G1 de la casa EMUS. Presenta cualidades, siendo necesario un único módulo y por tanto un coste menor. Así mismo, los módulos para la monitorización individual de las celdas presentan un formato adecuado a las celdas de batería elegidas, por un precio asequible.

4.4.- Cálculo y diseño del Pack de baterías:

En este apartado, se recogerán todos los pasos recorridos para la obtención del modelo final propuesto como pack de baterías o elemento de almacenamiento de energía.

Sin duda, se trata de uno de los elementos básicos para la correcta funcionalidad del vehículo. Su diseño parte de la necesidad de alimentar los elementos de motorización y auxiliares, manteniendo su propia integridad, asegurando unas mínimas condiciones de funcionamiento, manteniendo independencia del resto de elementos permitiendo su extracción del vehículo, entre otros factores.

Son numerosos y cada vez más frecuentes los estudios referentes al diseño de packs de baterías, tanto desde un punto de vista más general o específico, es habitual que las condiciones de diseño de estos packs sean concurrentes y repetidos.

Tras revisiones y consultas con distintos expertos en la materia, revelan que estos packs requieren de (Arora, Kapoor, & Shen, 2018, p. 30):

- Ligereza
- Diseño compacto
- Ergonomía
- Rigidez estructural
- Modularidad
- Configurable y escalable
- Térmicamente estable
- Resistente a impactos

Estas entre otras, se consideran cualidades hasta cierto grado y de forma relativa a las potencias manejadas, necesarias en cualquier diseño.

4.4.1.- Disposición de las celdas:

Como se indicó anteriormente, las celdas seleccionadas para la configuración del pack son el modelo Li2x4P25RT de la casa Energus. Estas celdas presentan una geometría prismática, con conexión a los bornes a través de pernos o tornillos de métrica M8.

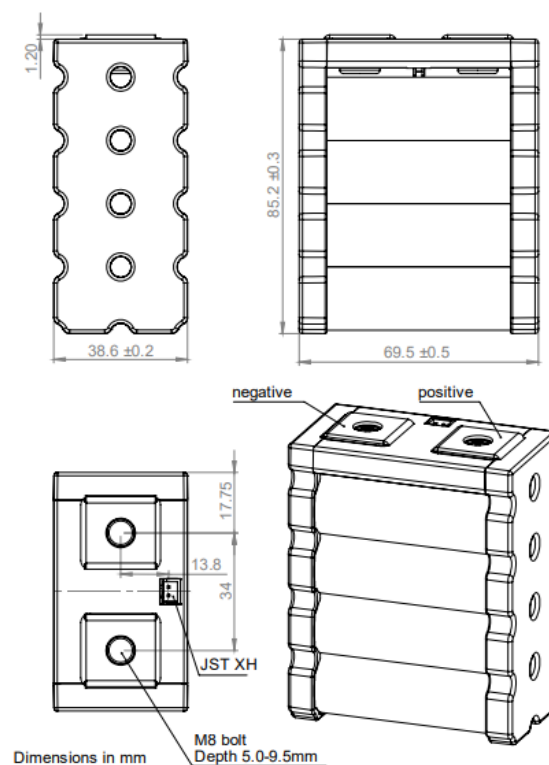


Ilustración 4-16 Vistas acotadas de la celda seleccionada, valores en mm (Fuente: Energus)



Cada una de estas celdas, se conectará en serie con la anterior y siguiente, así hasta lograr el número de celdas dispuestas como necesarias (112 Uds.).

La disposición de las celdas dentro de un pack de baterías define aspectos tan cruciales como la disipación de calor. La propia casa recomienda configuraciones o disposiciones donde se facilite el flujo de aire, ya sea forzado o por convección natural.

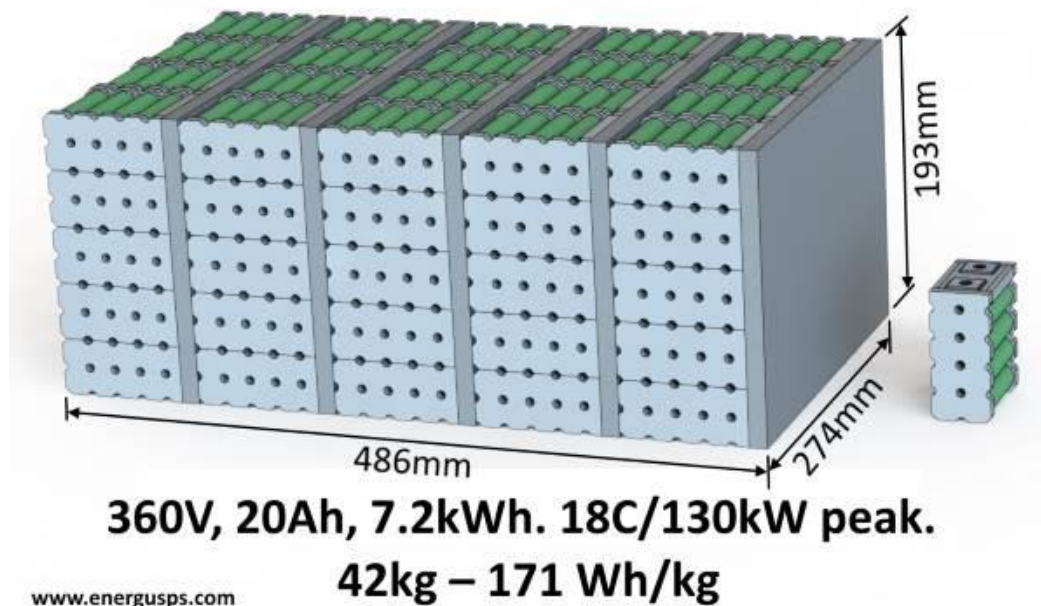


Ilustración 4-17 Configuración recomendada para disipación de calor por convección natural, configuraciones con los ranurados en vertical se recomiendan para disipaciones mixtas (Fuente: Energus).

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de definir la disposición de las celdas es su accesibilidad a el o los buses de potencia. Es necesario definir una configuración con las menores distancias de bus necesario, de manera que las pérdidas por efecto Joule sean mínimas.

Por último, cabe la consideración de realizar el pack, lo más compacto posible. Esto evitará entrar en esfuerzos por momentos mayores, ocupar más espacio del necesario, entre otros problemas.

Con estas consideraciones en mente, se decide que la disposición espacial de las celdas será dispuestas enfrentadas y tumbadas sobre uno de sus lados más largos. De esta manera se obtiene una gran superficie para la refrigeración de todas las celdas de manera homogénea. Así mismo, se dispone de dos grandes buses de potencia, unidos entre sí y cerrando el circuito en los dos conductores flexibles que llevan la potencia (a través de sistemas de seguridad y control) fuera del pack.

Esta conclusión se resolvió tras comparar distintas configuraciones las cuales fueron comparadas entre sí.



Conocidas las dimensiones individuales de las celdas que componen el pack, se pueden establecer medidas generales para cada una de las múltiples configuraciones existentes.

Algunas de estas configuraciones son:

- 28 filas y 4 columnas.
- 16 filas y 7 columnas.
- 14 filas y 8 columnas.

Otra forma de disponer las celdas es, apiladas en dos grupos, uno encima del otro. De esta forma, las dimensiones en el plano se reducen, incrementándose en la altura. Esta configuración, presenta mayor dificultad en el diseño y montaje, necesitando comunicar ambos grupos de celdas. Algunas de estas configuraciones son:

- 14 filas y 5 columnas más 14 filas y 3 columnas.
- 14 filas y 4 columnas más 14 filas y 4 columnas.
- 16 filas y 4 columnas más 16 filas y 3 columnas.

Se ha de buscar un equilibrio entre sencillez y volumen, de manera que el montaje no sea complejo llevando a errores y fallos, así como evitar que las dimensiones del pack sean demasiado altas, ocupando un espacio demasiado grande. Habrá que tener en cuenta también la disipación de calor, evitando una configuración con celdas rodeadas por demasiadas otras, que transmitan su calor.

Disponiendo en las columnas la dimensión de la celda mayor (69,5 mm) y para las filas la dimensión menor (38,6 mm) y conociendo que su altura es de 85,2 mm, se puede asociar una dimensión del conjunto de las celdas a cada configuración anterior.

En disposición plana:

- 28x4: 1080,8[mm] x 278[mm] x 85,2[mm]
- 16x7: 617,6[mm] x 486,5[mm] x 85,2[mm]
- 14x8: 540,4[mm] x 556[mm] x 85,2[mm]

En disposición apiladas:

- 14x5+14x3: [540,4[mm] x 347,5[mm] (Base) + 540,4 x 208,5 (Primera pila)] x 170 [mm]
- 14x4+14x4: [540,4[mm] x 278[mm] (Base) + 540,4[mm] x 278[mm] (Primera pila)] x 170 [mm]
- 16x4+16x3: [617,6[mm] x 278[mm] (Base) + 617,6[mm] x 208,5[mm] (Primera pila)] x 170 [mm]

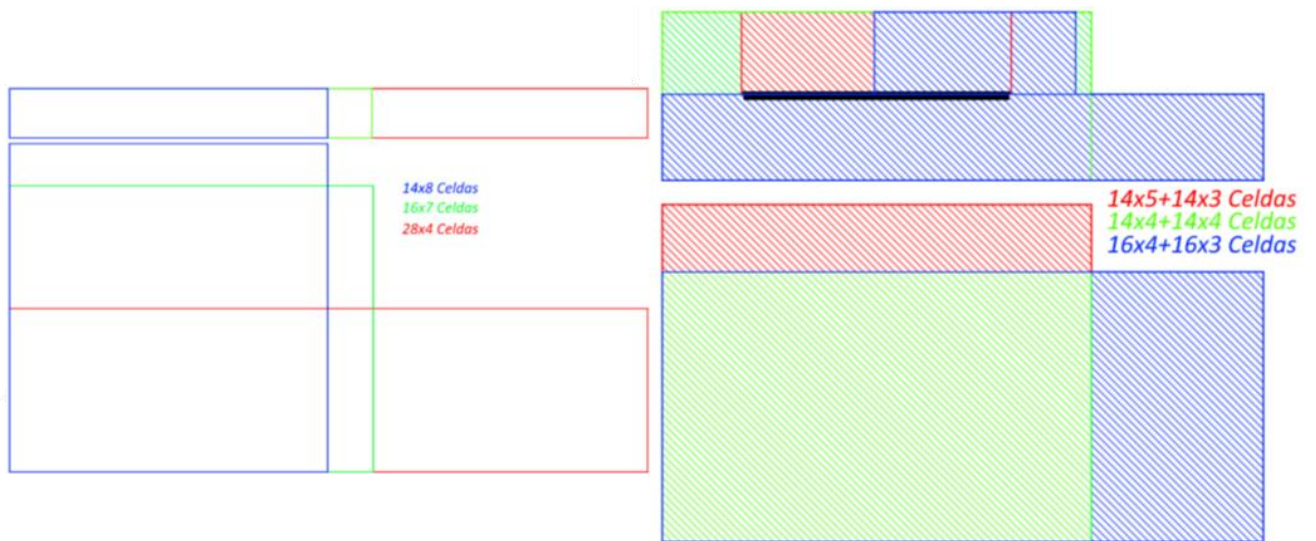


Ilustración 4-18 Imagen comparativa de las distintas configuraciones (Fuente: Propia).

Dado el alojamiento presente en el chasis base, se dispone una configuración 14x4+14x4 donde se mantienen las dimensiones reducidas y mantiene la estabilidad del paquete sin entrar en problemas demasiado grandes en aspectos de esbeltez.

Sus dimensiones finales (del conjunto de celdas en la disposición elegida) será de 170,4[mm] x 540,4[mm] x 278[mm].

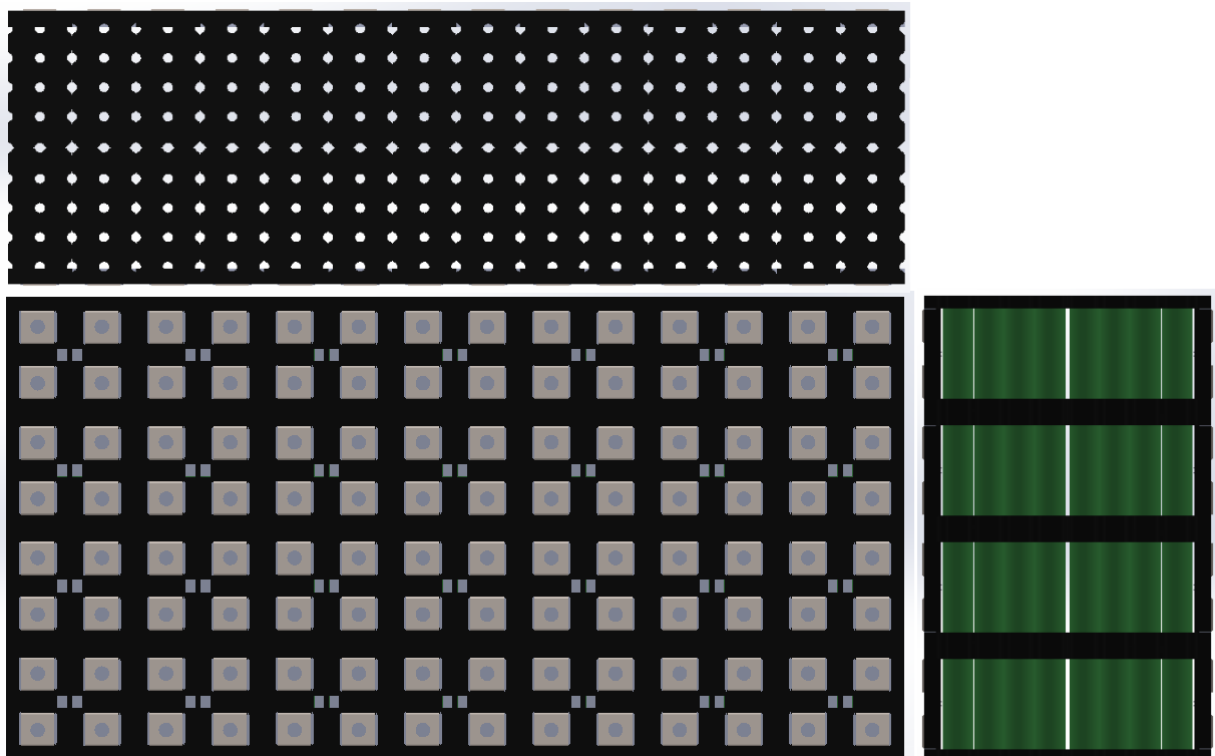


Ilustración 4-19 Imagen de la disposición final de las celdas en el pack (Fuente: Propia).



4.4.2.- Bus de potencia, uniones y control de celdas:

Una vez definida la configuración y disposición de las celdas, es el paso lógico siguiente el de definir los modelos de buses de potencia, uniones entre celdas y elementos necesarios para el control de estas.

Para el dimensionado y selección de las barras de bus, se han de recopilar las condiciones a las que van a trabajar:

- Tensión: 400 V DC
- Corriente: 300 A
- Corriente máxima: 350 A

Teniendo en cuenta estas especificaciones de tensión y corriente, se puede suponer el uso de pletinas de cobre. El uso de estas pletinas como conductores, queda recogido en la norma DIN 43671 o barras de cobre diseñadas para carga continua de corriente.

Según norma, la intensidad máxima admisible a atravesar por una pletina viene dado por:

- Dimensiones geométricas.
- Formato de corriente (Alterna o continua).
- Barra pintada o lacada.
- Número de barras en paralelo.
- Temperatura habitual de 35°C.
- Temperatura máxima de 60°C.

En el caso que compete a este proyecto, los valores de corriente pueden alcanzar hasta 350 A, se supondrá una corriente de diseño de 350 A. Según norma, la pletina mínima para esta aplicación será:

- Corriente admisible: 367 A CC
- 40 [mm] x 3 [mm]
- Barra lacada

Las barras seleccionadas, de cobre lacado, tendrán una dimensión final, según se adaptan al proyecto y cumpliendo los mínimos según norma en sección de 16 [mm] x 3 [mm].

Irán taladradas en sus extremos para recibir el perno, y realizar la conexión eléctrica correcta con las celdas. Tendrán pues, una sección resistiva de 120 mm². Así mismo, y según la norma IEC 61439-1, con una sección resistiva de 120 [mm²], se pueden esperar unas pérdidas de 8 [W/m].



En cuanto a la unión de estas barras con las celdas, se seguirá la recomendación del fabricante. Por ello se usarán tornillos según norma DIN 931 M8 de acero inoxidable. Éstos serán llevados hasta un par de apriete de 10 [Nm].

Por último, de cara a monitorizar la información individual de las celdas (temperatura y tensión) será necesario disponer de un cableado independiente y aislado con conectores del tipo JST XH. Éstos han de formar un grupo de cables que lleguen hasta el puerto correspondiente del BMS, estará aislado de este por sendos fusibles en el caso de un cortocircuito, contacto a masa o cualquier otra falta eléctrica que pueda dañar la integridad de la circuitería del control de la batería.

Entre la pletina del bus de potencia, y la superficie conductora (negativa) de la celda, se sitúa el elemento de monitorización de la tensión de la celda. Se trata de un módulo de la casa Emus misma fabricante del BMS.



Ilustración 4-20 Imagen del módulo de monitorización de celda G1 (Fuente: Emus).

Este módulo de control G1, es capaz de monitorizar la temperatura (en el conductor) y la tensión de la celda.

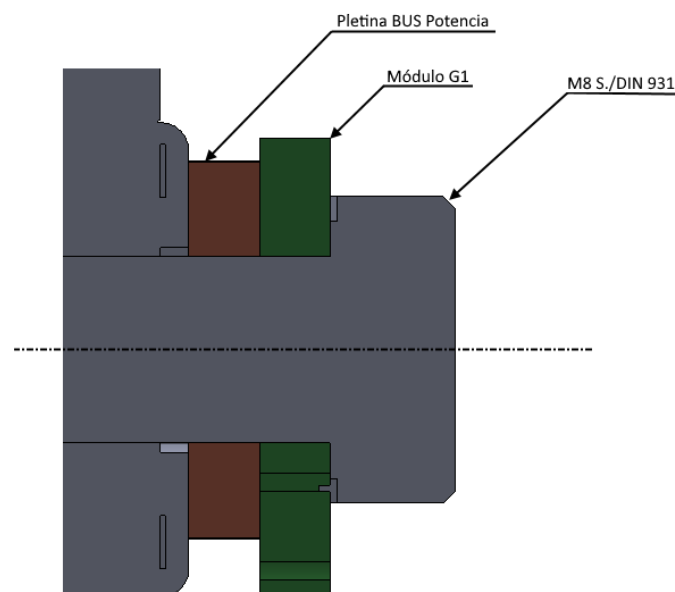


Ilustración 4-21 Sección de detalle de secuencia de montaje (Fuente: Propia).

La disposición del pack, incluyendo las barras de bus, los módulos de control y las uniones atornilladas, quedarán de la siguiente forma:

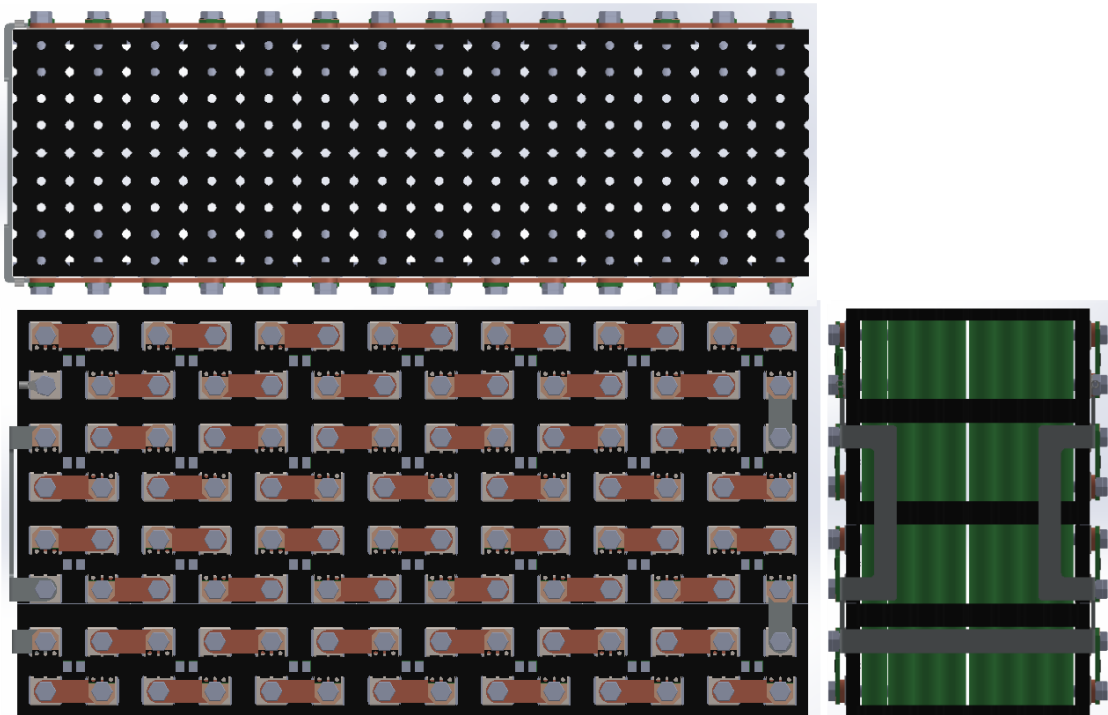


Ilustración 4-22 Imagen de la disposición final de las barras de bus con sus módulos de control (Fuente: Propia).

El esquema del sistema de control y gestión de la batería responde a:

EMUS Distributed Regular

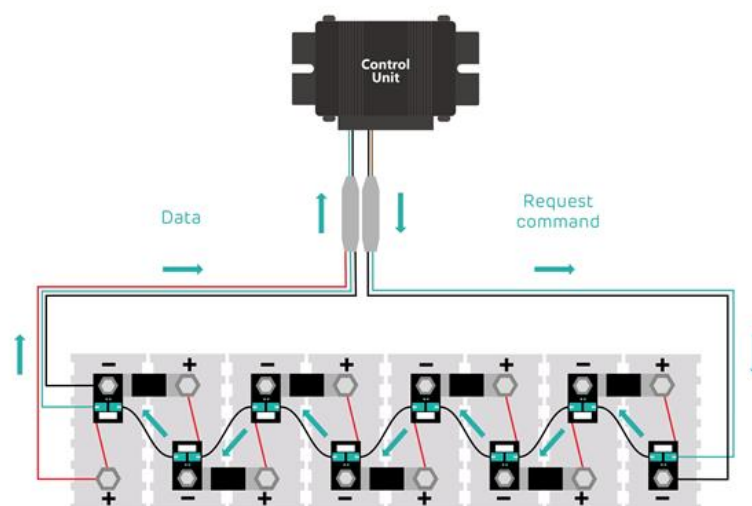


Ilustración 4-23 Esquema de conexión de los módulos de control con el BMS, nótese el uso de dos elementos de aislamiento o fusibles en la entrada a la unidad de control en los que también se sitúan elementos de conversión de la información (Fuente: Emus).



4.4.3.- Aislamiento, envolvente y estructura:

Una vez definido el conjunto de celdas, con sus conexiones de potencia y de control, se puede pasar a diseñar los elementos mecánicos destinados a contener dicho subconjunto, el cual presentará resistencia mecánica suficiente, dispondrá de aislamiento eléctrico y permitirá el acceso a las celdas.

En cuanto a la parte mecánica donde se alojen las celdas, deberá cumplir una serie de condiciones:

- Resistencia mecánica que evite roturas, contactos directos y que tenga resistencia a impactos.
- Resistencia ignífuga, debe ser capaz de aislar focos externos y/o internos de llama directa.
- Aislamiento térmico/eléctrico, procurando un entorno aislado para el funcionamiento correcto de las celdas.

Como primer elemento se dispondrán planchas de un material compuesto formado por capas de fibra de vidrio embebidas en resina epoxi y curado bajo alta presión y temperatura, su denominación es FR-4 (perteneciente al grupo de materiales compuesto del tipo G-10).

Se trata de un material altamente resistente a impactos, con buenas propiedades como aislante contra la humedad. Así mismo, tiene unas excelentes como aislante eléctrico y térmico incluso en ambientes con alta presencia de vapor de agua. Sus siglas FR responden (en inglés) a resistente al fuego, tal es así que es capaz de aguantar la presencia de llamas directas.

En este caso, se usarán planchas de G-10 FR-4 de manera que se aislen las paredes laterales del subconjunto de celdas, evitando contactos directos con los bornes expuestos y las barras del bus de potencia. Las dimensiones finales serán 600[mm] x 216 [mm] x 278 [mm].

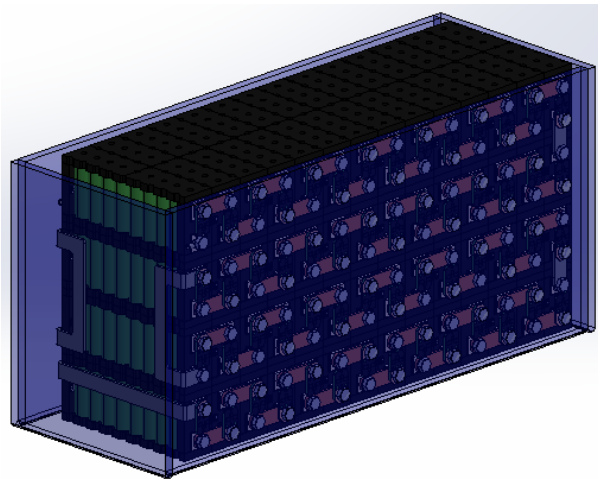


Ilustración 4-24 Imagen representativa de la disposición de las planchas de G-10 (Fuente: Propia).



Teniendo ya un bloque definido a alojar, aislado térmica y eléctricamente, así como frente a llamas (internas y/o externas) y protegido frente a impactos o golpes fuertes y/o impactos punzantes, se procede a diseñar el alojamiento mecánico que envuelva todo esto.

Ésta envolvente se puede dividir en dos partes principales, una base y una tapa. Así mismo, ambas presentan una estructura formada por perfiles estructurales y coberturas en chapa de acero.

En cuanto a la base, es el elemento que en sí aloja las celdas, presenta 4 de las 6 caras del pack, dispone de una chapa metálica plegada (como envolvente) y una estructura de perfilería soldada (como estructura).

La envolvente en su parte inferior presenta rendijas de ventilación (explicado el funcionamiento de este más adelante) para el acceso de aire exterior. Se realizan suficientes taladros para el montaje de elementos auxiliares, así como perforaciones para el mismo objeto. Se realiza en chapa de acero de espesor 3 [mm]. La estructura se compone de perfil de acero plano de 3 [mm] soldado.

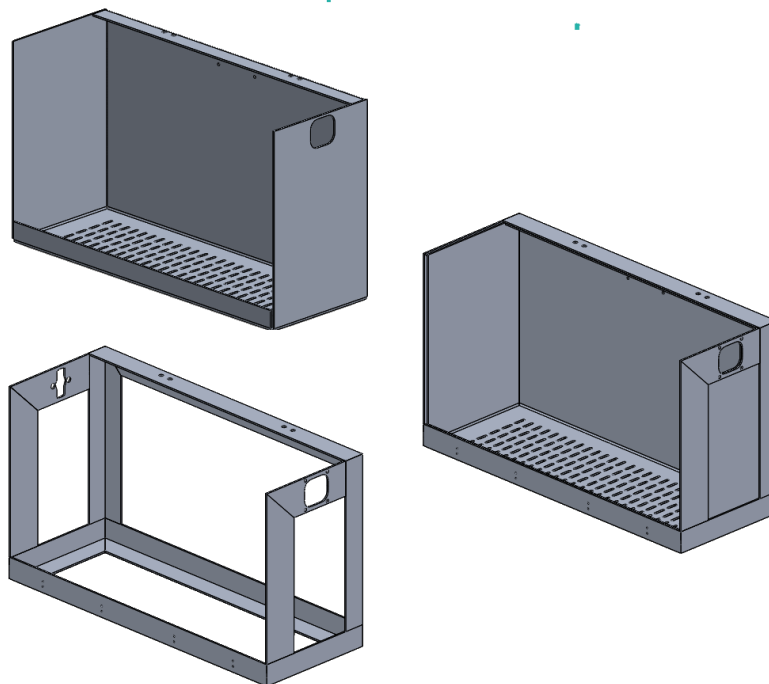


Ilustración 4-25 Imágenes (de arriba a abajo de izquierda a derecha) de la base, la estructura y la base en su conjunto (Fuente: Propia).

La tapa, presenta cobertura para 2 de las 6 caras del pack. Se dispone para permitir el acceso al grupo de celdas sin necesidad de desmontar el mismo. Se compone, de nuevo, de envolvente y estructura.

La envolvente se realiza también en chapa de acero de 3 [mm] y su principal peculiaridad es alojar los 3 elementos de ventilación forzada. Para ello dispone de



3 orificios con 4 taladros cara uno, en su parte superior. La estructura es similar al anterior.

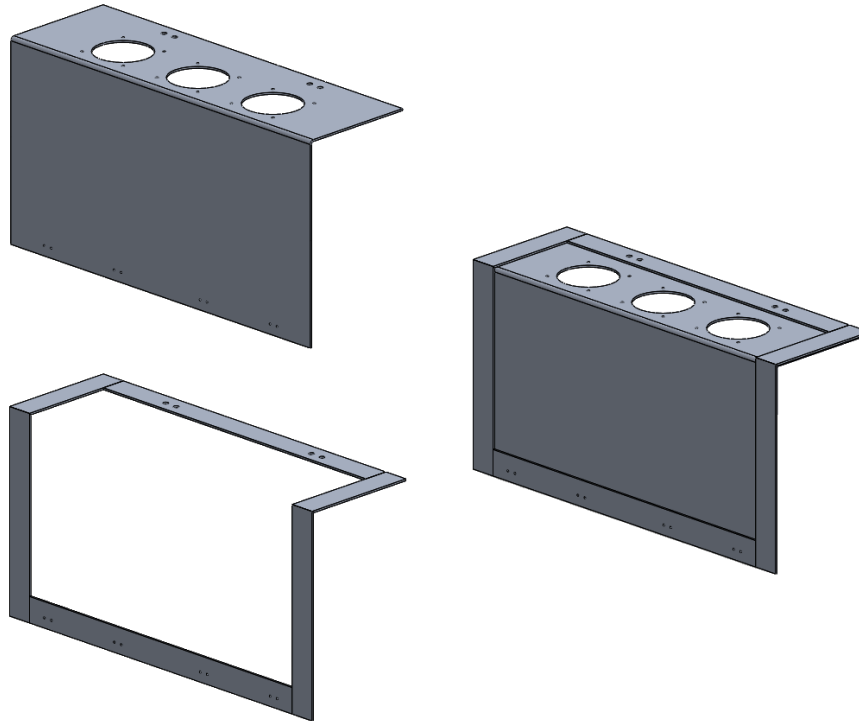


Ilustración 4-26 Imágenes (de arriba a abajo de izquierda a derecha) de la envolvente, la estructura y la tapa en su conjunto (Fuente: Propia).

El conjunto final, será la unión de la base y la tapa. Esta unión se realizará manteniendo la opción de abrirse sin el uso de herramientas. Para ello se utilizarán dos bisagras de altas prestaciones fabricadas en acero inoxidable, con la opción de dar imponer un par de apriete evitando aperturas en operación, así como mantener la tapa levantada durante mantenimientos. La opción elegida es el modelo con referencia "095ZF4045F00S" de la casa FATH.



Ilustración 4-27 Modelo elegido de bisagras (Fuente: Fath).



En el extremo opuesto de la tapa, será necesario de disponer de un sistema de cierre manual, capaz de mantener los esfuerzos y permitir abrir y cerrar el conjunto.

Para ello, se propone el uso de bridas de cierre de mano, en concreto el modelo de la casa Ganter, con referencia 832 de acero. Estas bridas, pueden aguantar esfuerzos de hasta 2000 [N] cada una, se dispondrán 4 bridas a lo largo de la cara inferior de la tapa. Se propone soldar el extremo fijo o gancho a la base, y su elemento móvil o cierre a la tapa.



Ilustración 4-28 Imagen de las bridas seleccionadas para el cierre del pack (Fuente: Ganter).

Con todo ello dispuesto, queda definido el pack de baterías desde el punto de vista de la envolvente mecánica.

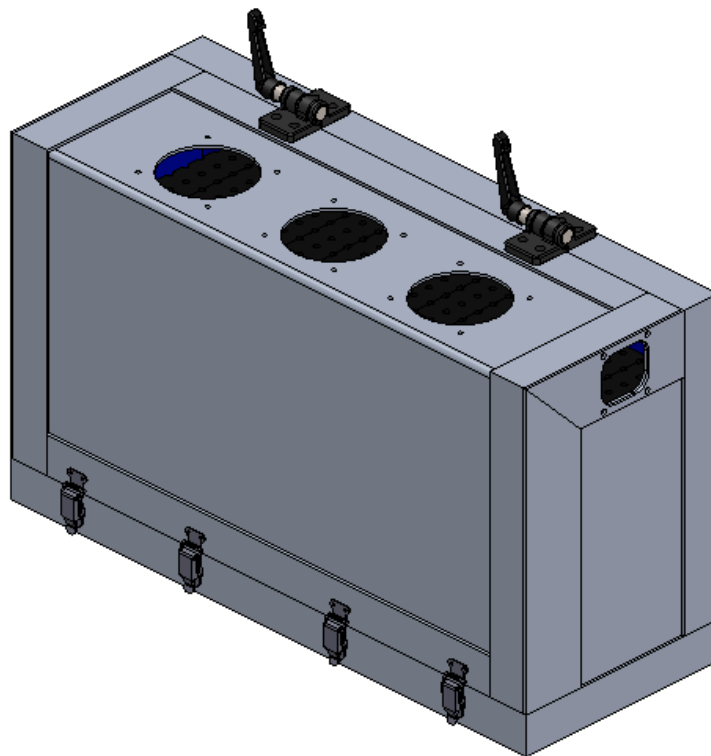


Ilustración 4-29 Imagen de la envolvente completa con el pack en su interior (Fuente: Propia).



4.4.4.- Elementos auxiliares, refrigeración y conexiones exteriores.

Lo único necesario para que el pack de baterías quede definido en su totalidad, es definir una serie de elementos auxiliares para su correcto funcionamiento. La enumeración de dichos elementos se resume en:

- Conductores flexibles.
- Conector rápido.
- Interruptor de seguridad.
- Ventiladores para refrigeración.

Empezando por los conductores flexibles, se requieren sendos cables para la transmisión de la potencia desde el final del bus de potencia, hasta el conector rápido de las baterías hacia el exterior del pack.

Para su dimensionado, se puede tener en cuenta una corriente y tensión máxima, longitud necesaria de cada conductor, la caída de tensión admisible y el material del conductor:

- Corriente máxima: 350 [A]
- Tensión máxima: 400 [V]
- Longitud de cada conductor: 700 [mm]
- Caída de tensión admisible: 0.4 [V] (0,1%)
- Conductor de cobre.

La fórmula utilizada para el dimensionado de conductores, en instalaciones de corriente continua será:

$$S = \frac{2 \rho_0 P L}{e U} \quad (13)$$

Siendo S la sección necesaria en [mm^2], ρ resistividad del conductor a la temperatura de servicio [$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$] (0,02 [$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$] a 40°C), P es la potencia activa de la instalación [W], L la longitud del conductor en [m], e es la caída de tensión máxima admisible [V] y U es la tensión nominal en la línea [V]. Como resultado se obtiene:

$$S = \frac{2 \cdot 0,02 \left[\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \right] \cdot 140000 [\text{W}] \cdot 0,7 [\text{m}]}{0.4 [\text{V}] \cdot 400 [\text{V}]} = 24,5 [\text{mm}^2] \quad (14)$$

El conductor seleccionado será un cable monopolar, RV-K de 25 [mm^2], con cubierta de PVC. Preferentemente se dispondrán dos conductores en colores según norma en rojo y negro para polaridad positiva y negativa respectivamente.



Tras los conductores flexibles, se puede definir el conector rápido que permita un acople manual y seguro entre el resto del tren de potencia con el pack de baterías.

Siendo los valores de tensión y corriente los dispuestos anteriormente, el conector seleccionado es el modelo UPC con calibre de 14 [mm] de la casa Amphenol, sus características son:

- Corriente máxima: 450 [A].
- Rango de temperaturas: -40°C/125°C.
- UL94 V-0 (Auto extinción de llamas vivas).
- Tensión de operación: 1000 [V]



Ilustración 4-30 Imagen del modelo UPC (Fuente: Amphenol).

Para el conector de seguridad, se siguen los mismos criterios de diseño. Se busca un conector que corte la corriente circulante fuera de la batería, aislando el conector de la tensión. A efectos operativos, esto permitirá eliminar el riesgo de arcos a la hora de extraer el conector rápido, mejorar el aislamiento en parada de los sistemas de control, entre otros.



Ilustración 4-31 Imagen del aislador de baterías o interruptor de seguridad seleccionado de la casa SwitchPanel (Fuente: SwitchPanelPro).



El elemento elegido es un interruptor con “llave”, lo que incrementa la seguridad frente a contactos no deseados. Sus características principales son:

- Corriente máxima: 400 [A]
- Resistente a ambientes adversos (Humedad, suciedad, golpes, entre otros).
- Uso de “llave” para su contacto.

Haciendo uso del puerto específico del BMS, es posible controlar un sistema de refrigeración por aire en convección forzada que utilice unos ventiladores. En este caso, se han dispuesto tres ventiladores alimentados a 12 V que generan una corriente del aire ascendente desde la base del pack.

El modelo elegido es de la casa EBMPapst, en concreto la referencia “4182 NX”. Sus características principales son:

- Alimentación: 12 [V] CC
- Flujo estable: 180 [m³/h]
- Temperaturas de operación: -30°C/75°C



Ilustración 4-32 Modelo 4182 NX de la casa EBMPapst (Fuente: EBMPapst).

La capacidad de refrigeración requeriría de un estudio en profundidad, conociendo las caídas de presión asociadas a la disposición de las celdas y sus orificios de refrigeración, coeficientes de transmisión térmica, fenómenos de turbulencias, temperatura media de operación, entre muchas otras variables. Se entiende que este estudio de optimización de la refrigeración queda fuera del alcance de este proyecto.

La capacidad de extracción de este sistema, se puede entender como la suma de los caudales de cada uno de los ventiladores, por tanto se puede suponer un caudal medio de 540 [m³/h] o lo que es lo mismo 150 [L/s]. Una estimación del volumen del pack de baterías, da un valor aproximado de 11,5 [L], por lo que cada segundo, se renovarían 13 veces el aire en su interior.

El flujo que atraviesa cada uno de los elementos o canales de refrigeración de las celdas, se puede calcular conociendo cuantos de estos existen (252 orificios con un diámetro de 6 [mm]) y el flujo total. El flujo por canal ascendería a 0,6 [L/s], lo que incurriría en una velocidad en el canal de 5,3 [m/s].

Finalmente, el pack terminado quedaría:

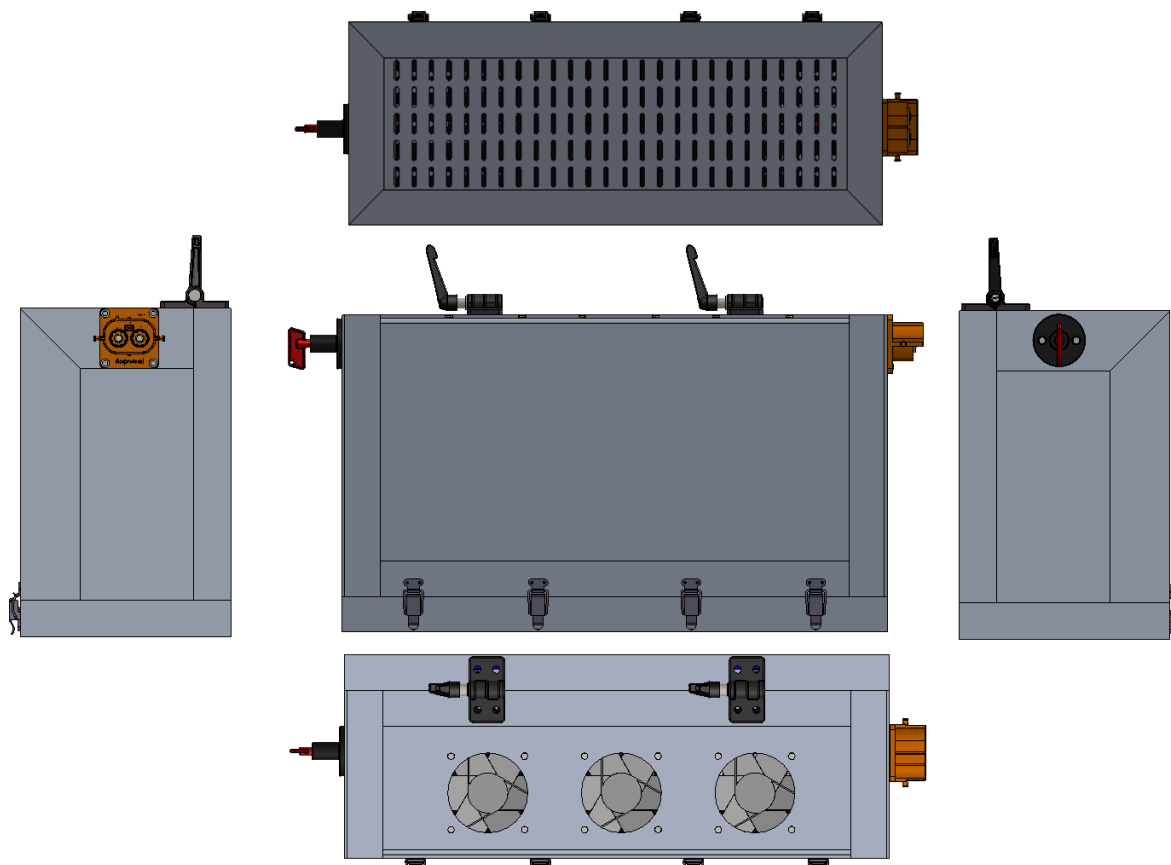


Ilustración 4-33 Imagen representativa del pack de baterías final con todos los componentes necesarios (Fuente: Propia).

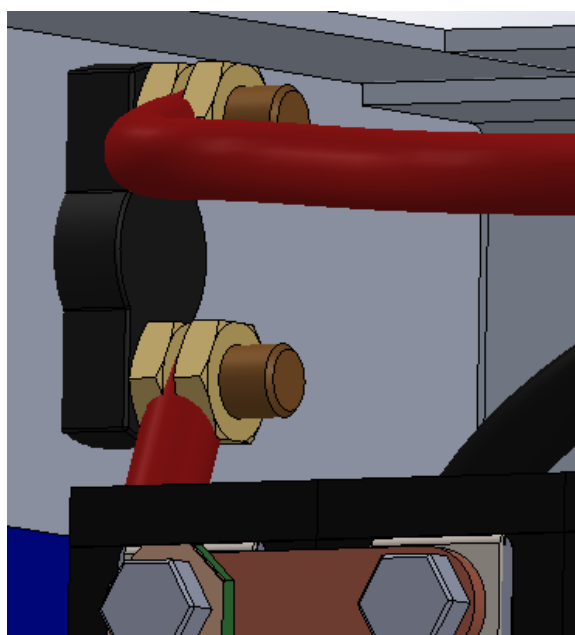


Ilustración 4-34 Detalle del conexionado del interruptor de seguridad (Fuente: Propia).

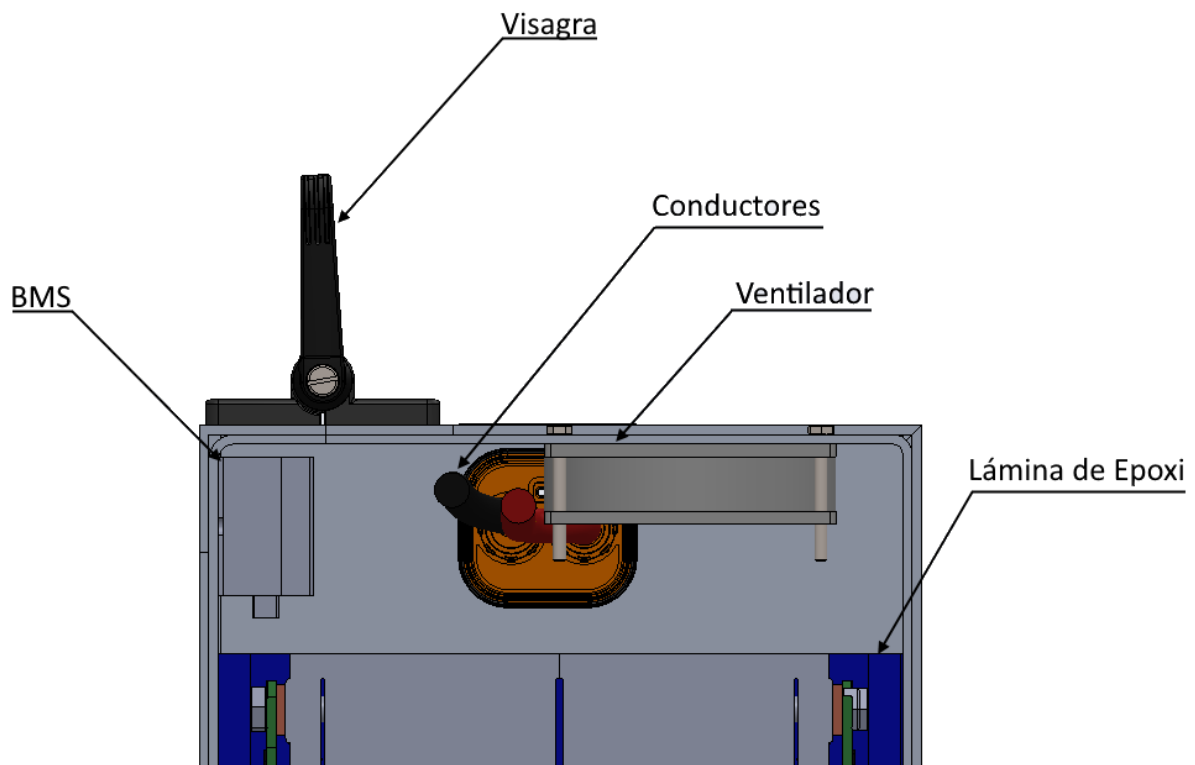


Ilustración 4-35 Detalle en sección transversal donde se aprecian algunos de los componentes (Fuente: Propio).

4.5.- Lay-Out e interconexiones:

Una vez definido el componente más complejo del tren motriz, se procederá a definir donde y como se sitúan cada uno de los elementos ya expuestos. El esquema de conexionado ya ha sido comentado, aun así, es importante definir en detalle cada uno de los componentes en referencia al lugar que ocupan en el sistema del tren.

4.5.1.- Montaje del pack de baterías:

El pack de baterías es uno de los elementos que más espacio ocupan y de gran importancia. Para su incorporación en el ensamblaje, se dispondrá de una subestructura fija al chasis. Ésta dispone de elementos de anclaje manuales, capaces de realizar una unión desmontable, que permita la extracción del pack sin necesidad de herramientas.

Así mismo, se situará elevada del suelo o superficie inferior del chasis permitiendo el acceso de aire para la refrigeración del pack. Los sistemas de anclaje son los mismos utilizados para el cierre del pack.

El marco en sí está compuesto por chapa de acero de 5 [mm], formando una base con 4 patas de chapa de acero de 3 [mm] que van soldadas directamente al chasis manteniendo la rigidez y capacidad estructural del mismo.



4.5.2.- Montaje del motor:

De cara a mantener una posición estable del motor relativa al chasis, se diseña una brida la cual se suelda al chasis, transmitiendo a este los esfuerzos del motor. En lo que a este diseño se refiere, se presenta un modo de carga especialmente solicitante.

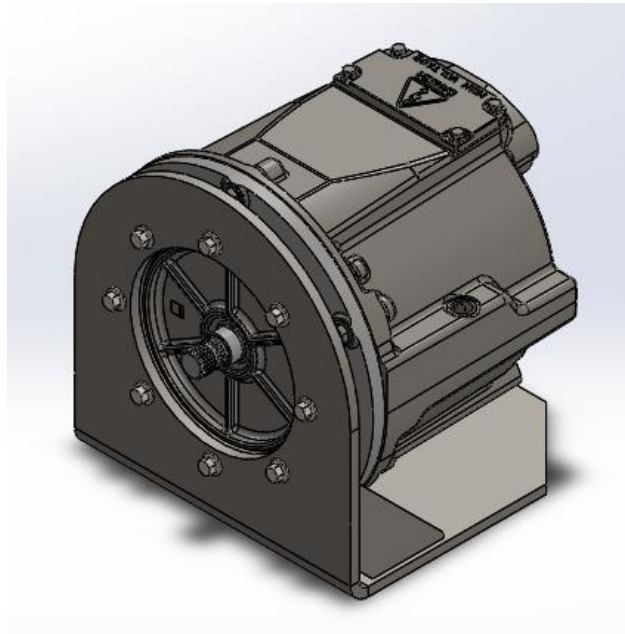


Ilustración 4-36 Montaje del motor sobre brida de diseño propio, basado en el diseño recomendado por el fabricante (Fuente: Propia).

Se trata del par transmitido por el motor, el cual es absorbido por la estructura portante del mismo. Sin duda serán los elementos roscados, los encargados de transmitir sus esfuerzos a la estructura.

Como se aprecia en la figura, el motor está anclado en su cara próxima a la rotación, sujeto por 8 tornillos según ISO 4162 M10x30. Estos se montan sobre los taladros roscados realizados de fabrica sobre el propio motor.

La brida consiste en una chapa de acero (S275) de 8 [mm], plegada a 90° en su parte media. En su parte vertical se realiza un vaciado para la cara del eje del motor, así como una matriz de 8xØ11 [mm]. El diámetro de estos taladros se selecciona en función de la norma DIN 69, agujero pasante, para tornillos de M10 con acabado medio.

En cuanto a las situaciones de carga se puede distinguir entre el peso propio del motor y el par generado por éste.

En cuanto al peso propio, para evitar momentos excesivos, se dispone de unas cartelas laterales para reforzar y reducir la altura libre. La masa del motor, según la información del fabricante, asciende a 40 [kg].



Este valor generará valores de momentos pequeños, en una hipótesis simplista más desfavorable, el motor impone un momento a la altura de 160 [mm], con valor igual a la distancia en el eje vertical del centro de gravedad de este.

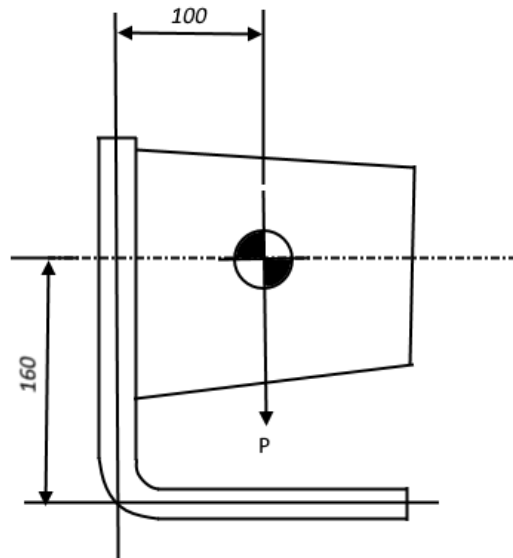


Ilustración 4-37 Esquema de fuerzas del peso propio (Fuente: Propia).

El valor de dicho momento será:

$$M_T = P \cdot 0,1 = m \cdot g \cdot 0.1 \approx 40 \text{ [Nm]} \quad (15)$$

Con ese valor del momento, se puede asumir que la chapa con un espesor de 8 [mm] tendrá la resistencia necesaria para soportar dichos esfuerzos.

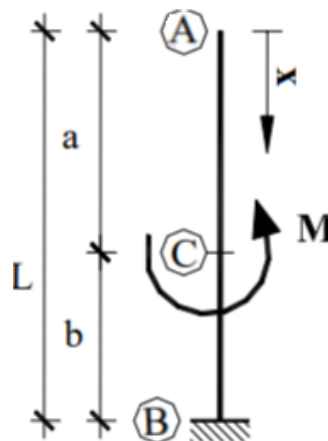


Ilustración 4-38 Hipótesis de carga simplificada (Fuente: Prontuario Resistencia de Materiales).

Suponiendo que esta simplificación es similar al caso real o al menos, mas desfavorable, se aprecia como el momento en su punto máximo (toda la longitud b) su valor es igual al del momento generado por el motor.



Conociendo el momento resistente de la chapa plegada en su punto de plegado (más débil) se obtiene un valor de la tensión máxima de:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W} = \frac{40}{\frac{0,8 \cdot 0,310^2}{6}} = 3121,8 \text{ [Pa]} \quad (16)$$

Cabe entender que es altamente improbable una falla producida por la carga estática con la configuración establecida.

Una carga que puede suponer un problema mayor es el momento producido por el motor, en situaciones de frenada donde la montura del motor ha de absorber todo el momento. Siendo el punto débil en este caso, las uniones roscadas.

La tensión de cortadura en un tornillo sometido a la presión diferencial entre dos superficies se calcula como:

$$\tau_a = \frac{F}{A} \quad (17)$$

Donde τ_a es el valor de la tensión de cortadura [N/mm²], F es la fuerza transversal del servicio de un tornillo [N] y A es la sección transversal sometida a cortadura en el tornillo [mm²].

En este caso, el par máximo transmitido por el motor tiene un valor de 350 [Nm], lo que teniendo en cuenta que la matriz de elementos roscados se dispone a una distancia radial 107,5 [mm], la fuerza soportada por un tornillo vendrá dado por:

$$F = \frac{T}{R} = \frac{350}{0,1075} = 3255,8 \text{ [N]} \quad (18)$$

La sección transversal sobre la que se ejerce el esfuerzo al tornillo, entendiéndola como la mitad de la superficie cilíndrica que rodea al perno/tornillo en cada superficie. Por tanto, la tensión de cortadura será igual:

$$\tau_a = \frac{3255,8}{2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{11 \cdot 10^{-3}}{2}\right) \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = 5,234 \text{ [MPa]} \quad (19)$$

Siguiendo la secuencia de cálculo (S./ DIN 1050), teniendo en cuenta que se trata de una máquina con fuerzas pulsatorias y alternativas, y el perno tiene una calidad 8.8 el esfuerzo máximo a cortadura será igual:

$$\tau_{max} = 0,4 \cdot \sigma_s = 0,4 \cdot 640 = 256 \text{ [MPa]} \quad (20)$$

Se cumple por tanto que los esfuerzos máximos que el tornillo ha de soportar se encuentran por debajo de su límite máximo y por tanto se corrobora su viabilidad en este uso concreto.



4.5.3.- Elementos conductores:

Dentro de los elementos necesarios en el Lay-Out para el correcto funcionamiento del sistema de tracción, se encuentran los conductores flexibles que conducen la corriente desde la batería al inversor y, de éste al motor.

El cálculo de estos conductores es necesario no solo para su correcto funcionamiento y no sobredimensionado, sino para evitar sobretensiones o cortocircuitos que deriven en sobrecalentamientos y posibles incendios.

Se distinguirán principalmente dos circuitos:

- Circuito de Corriente Continua (CC):
 - Tensión: 400 [V] CC
 - Corriente: 400[V]
- Circuito de Corriente Alterna (CA):
 - Tensión: 350 [V] CA Trifásica
 - Corriente: 300/400 [A]
 - Frecuencia media: 330[Hz]

Comenzando por el dimensionado del circuito de continua, se puede asimilar el conductor al utilizado en el interior del pack de baterías. Teniendo en cuenta que la longitud de conductor necesaria para este circuito de continua, son 700[mm], valor idéntico al utilizado en el interior del pack, así como se impone una caída de tensión máxima de 0,1%, el conductor será el mismo.

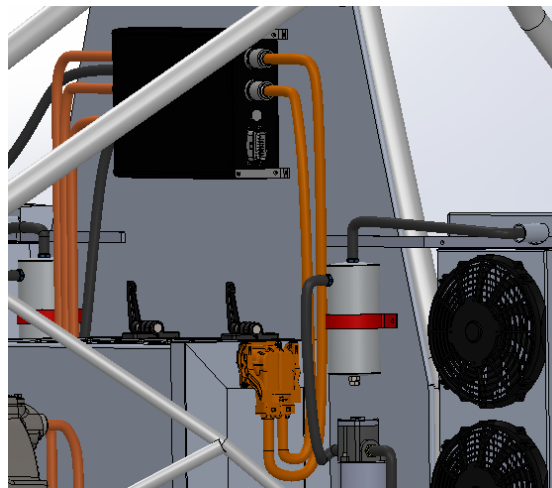


Ilustración 4-39 Detalle del circuito de continua, el cual une el pack de baterías con el inversor (Fuente: Propia).

Por tanto, el conductor seleccionado para el circuito de continua será cable monopolar, RV-K de 25 [mm²], con cubierta de PVC. Preferentemente se dispondrán dos conductores con aislante de color naranja, sirviendo como aviso de altas corrientes y tensiones.



En el caso del dimensionado del conductor elegido para el circuito de alterna, se dispone de la siguiente fórmula (S/ UNE 20460-5-523):

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{\Delta V \cdot \gamma_{\theta}} \quad (21)$$

Donde S es el valor de la sección de cable en [mm²], P es la potencia consumida en [W], L es la longitud del conductor en [m], γ_{θ} es la conductividad del conductor en [S m/mm²], ΔV es la caída de tensión máxima permitida en la línea [V] y U es la tensión de la línea en [V].

Aplicando la ecuación anterior a este caso donde:

- L = 1,800 [m]
- $\Delta V = 1\% = 3.5[V]$
- $\gamma_{\theta} = 48 [S \text{ m/mm}^2]$ (Cu a 70°C)
- $\cos \varphi = 0.9$
- I = 400[A]

Por tanto:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,8 \cdot 400 \cdot 0,9}{3,5 \cdot 48} = 6,7 [mm^2] \quad (22)$$

Se tomará una sección de 10 [mm²] (siguiente a la de 6 [mm²]), disponiendo de 3 conductores con dicha sección.

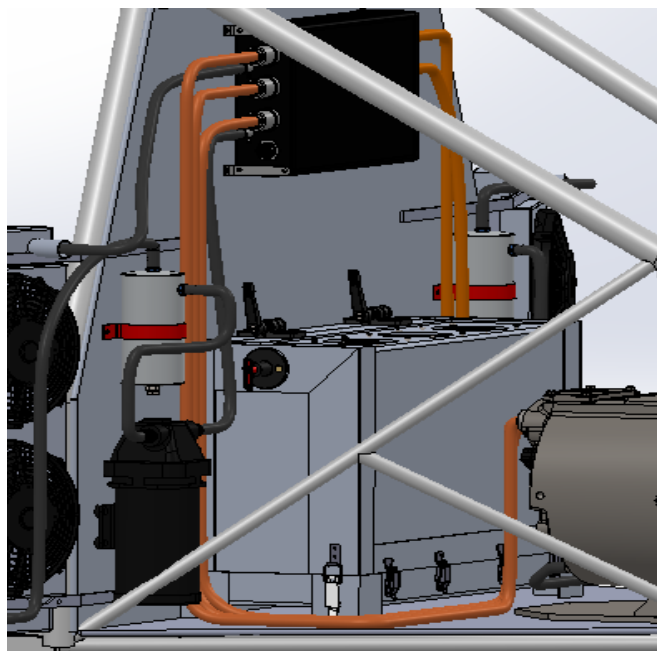


Ilustración 4-40 Imagen del circuito de alterna en trifásica (Fuente: Propia).



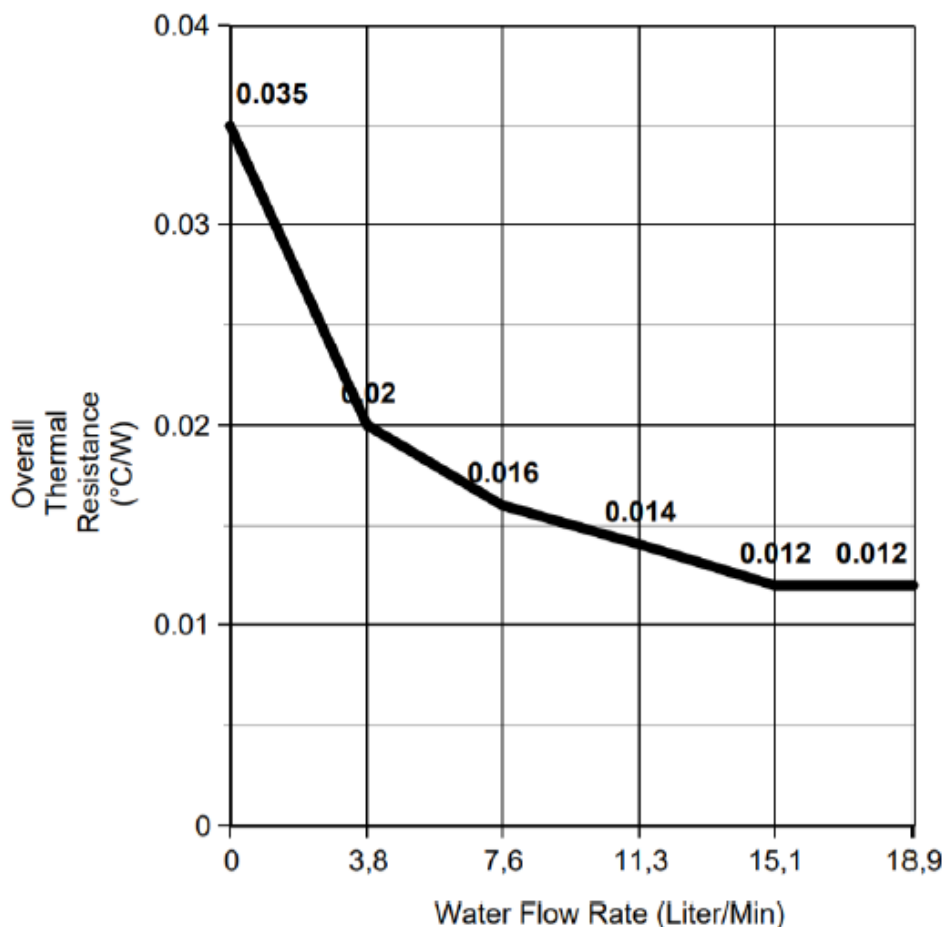
4.5.4.- Circuitos de refrigeración:

Dentro de los subsistemas necesarios para garantizar el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto, se encuentran los dos circuitos independientes de refrigeración líquida.

Por un lado, está el circuito de refrigeración por aceite (que también actúa en la lubricación) del motor eléctrico. Por otro lado, se encuentra el circuito de refrigeración del inversor, en este caso refrigerado por agua.

Ambos dispositivos cuentan con sensorización de temperatura en tiempo real, lo que permite al control actuar como termostato manejando la actuación sobre las bombas.

Entrando a analizar en primera instancia el circuito, según la siguiente gráfica, se requiere un flujo refrigerado (menor a los 100°C) entre 11,3 y 15,1 [L/min] a una presión del entorno de los 0,9 [bar] para una sección del circuito interno con diámetro de 12 [mm].



Gráfica 4-2 Correlación entre el flujo de agua circulante de refrigeración y la resistencia térmica general del componente (Fuente: DTI).



Para obtener estos valores, se plantea un circuito de refrigeración basado en los siguientes componentes:

- Bomba (12V)
- Radiador
- Vaso de expansión
- Tubos para el conexionado aislados

Los requisitos principales del circuito son:

- Temperatura de operación: inferior a 80°C
- Flujo: 15,1 [L/min]
- Presión: 1 [bar]

El flujo y presión disponibles vienen dados por la bomba. La bomba seleccionada, adaptada a los requerimientos del circuito es:

- Modelo: Xylem Flotex R3521139A
- Flujo de trabajo: 15,1 [L/min]
- Presión máxima: 4,1 [bar]
- Tensión de alimentación: 12 [V]
- Diámetro de salida: 1/2" o 12,7 [mm]



Ilustración 4-41 Imagen de la bomba de agua seleccionada (Fuente: RS).

En el caso del radiador, se entiende suficiente el existente actualmente en el modelo del vehículo usado como base para la conversión.



Para obtener una aproximación del tamaño necesario del vaso de expansión se procede a definir los valores requeridos:

- Volumen de fluido: 4 [L]
- Temperatura máxima: 80°C
- Presión máxima: 1 [bar]
- Porcentaje de Glicol etílico en el agua: 30%

Se tomará un calculo aproximado, tomando la norma UNE100155 como referencia estimada (De Miranda, 2020):

Como los valores de temperatura en operación se encuentran comprendidos entre los 30°C y 120°C, se puede calcular el coeficiente de expansión como:

$$C_e = (3,24 \cdot t^2 + 102,13 \cdot t - 2708,3) \cdot 10^{-6} \quad (23)$$

Siendo para este caso t la temperatura máxima del circuito:

$$C_e = (3,24 \cdot 80^2 + 102,13 \cdot 80 - 2708,3) \cdot 10^{-6} = 0,0262 \quad (24)$$

Utilizando anticongelante, la norma pide aplicar un multiplicador de este coeficiente, basado en el porcentaje utilizado en tanto por ciento y la temperatura de servicio máxima. Según dicha norma, para una temperatura máxima de 80°C y un 30% de anticongelante, se obtiene un valor de 1,49.

$$C'_e = 0,0262 \cdot 1,49 = 0,039 \quad (25)$$

Para el cálculo del valor del coeficiente de presión se requieren los valores de presión máxima y mínima (absolutas) de la instalación en bares. Por tanto, en este caso:

$$C_p = \frac{P_{Max}}{P_{Max} - P_{Min}} = \frac{2}{2 - 1} = 2 \quad (26)$$

Finalmente, el volumen necesario para el vaso de expansión será:

$$V_t = V \times C'_e \times C_p = 4 \times 0,039 \times 2 = 0,312 [L]$$

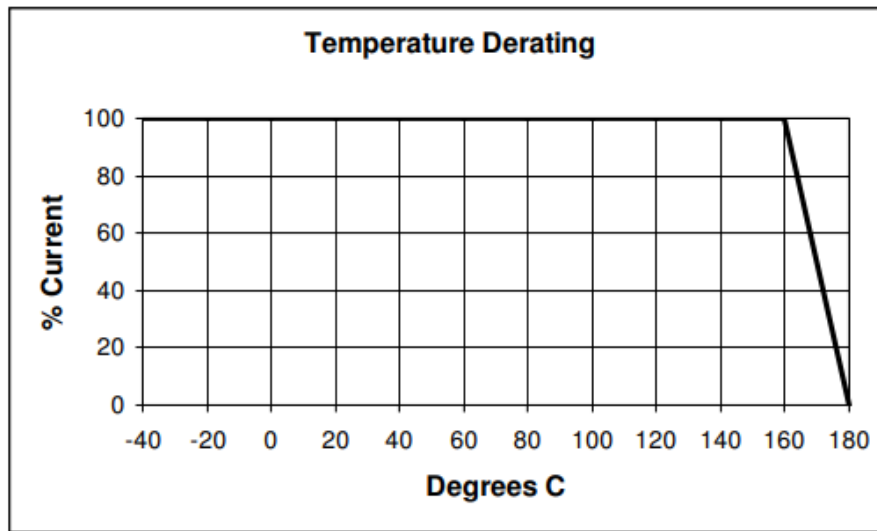
Se actúa de forma similar para la obtención de los valores del vaso de expansión del circuito del motor, variando los coeficientes de corrección para el caso del aceite y sin tener en cuenta la mayoración por presencia de glicol. Los valores resultantes son similares, definiendo el uso de vasos de expansión genéricos, con dimensiones de las tomas de entrada y salida de diámetros adecuados y un volumen de 0,5 [L].

Queda por definir el circuito de aceite utilizado para la refrigeración del motor que, ya habiendo definido su vaso de expansión, se pasa a seleccionar una bomba.



En las propiedades del motor, se requiere de una refrigeración por aceite, cuyos valores son:

- Flujos recomendados: 5/30 [L/min]
- Temperatura máxima: 90°C
- Presión media 0,8 [bar]
- Fluido: Dexron VI



Gráfica 4-3 Representación de la magnetización del rotor del motor en función de la temperatura, nótese la abrupta caída en menos de 20°C [Fuente: BorgWarner].

Tomando un valor de flujo de 10 [L/s], se selecciona el siguiente modelo:

- Modelo: Xylem Flotex R4300242A
- Flujo de trabajo: 12 [L/min]
- Presión máxima: 2,1 [bar]
- Tensión de alimentación: 12 [V]
- Diámetro de salida: 1/2" o 12,7 [mm]



Ilustración 4-42 Imagen de la bomba seleccionada para el circuito de refrigeración del motor (Fuente: RS).



5.- PRESUPUESTO:

Una vez definidos todos los elementos necesarios para la realización del proyecto, se pueden realizar los análisis y estimaciones económicas necesarias y oportunas en el alcance de este documento.

5.1.- Presupuesto de ingeniería:

Como primer análisis económico, se realizará una estimación de los aspectos relacionados con el proceso de diseño. Las partidas presentes serán:

- Personal [€/h]
- Costes de licencias software [€]
- Elaboración de documentos [€]
- Material fungible [€]
- Gastos generales (13% del total bruto)
- Beneficio industrial (6% del total después de gastos totales)
- IVA

Este anteproyecto, fue realizado por una persona en calidad de ingeniero superior titulado, se estimará un sueldo medio en euros hora, para lo que será necesario realizar una estimación de las horas dedicadas.

De cara a obtener una estimación fiable de las horas dedicadas al diseño, proyección, modelado, dibujo de planos y redacción del proyecto, se procede a la ayuda de un diagrama de Gantt.

Durante los meses finales del año 19, se dedicaron de media unas 15 horas semanales a la realización del proyecto, dedicado en su mayoría a la recopilación de información, identificación de las prestaciones objetivo, entre otros.

El inicio del año 20, se han destinado igualmente unas 15 horas semanales destinadas principalmente a una redacción del estado del arte, familiarización con las tecnologías, recopilación de información comercial y técnica, valoración de las opciones y dimensionado y diseño del pack de baterías.

A lo largo de los tres meses anteriores a julio, se incrementaron las horas a una media de 18 horas, dedicando la mayoría del tiempo al modelado de componentes y el modelo final de la disposición de las mismas sobre el chasis base, así como la redacción de los documentos presentes, definición de presupuestos, dibujado de planos, redacción de anexos y bibliografía, así como detalles finales y revisiones.



Año	2019			2020					
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Recopilación de literatura y documentación	█	█	█						
Recopilación de modelos y estado del arte	█	█	█						
Recopilación de patentes y normativa		█	█						
Redacción información recopilada				█					
Estudio genérico de prestaciones y esquema				█	█				
Recopilación de catálogos y productos					█				
Selección de elementos comerciales						█			
Diseño del pack de baterías						█	█		
Modelado del conjunto					█	█	█		
Redacción del proyecto						█	█	█	
Redacción de anexos, presupuestos y planos								█	█



Si se atiende a las distintas estimaciones horarias, según meses, destinadas al trabajo, se obtiene la siguiente estimación de presupuesto de ingeniería:

Presupuesto de Ingeniería	14.818,99 €
Coste de personal	12.960,00 €
Coste horario	30,00 €
Horas trabajadas	432,00
Coste de licencias	1.688,99 €
Licencia SolidWorks proporcional en tiempo	1.500,00 €
Licencia Microsoft Office Profesional	188,99 €
Presupuesto de elaboración del proyecto (para entrega a cliente)	160,00 €
4 Copias en CD	10,00 €
4 Copias de la memoria técnica	150,00 €
Presupuesto material fungible	10,00 €
Planos para revisiones	10,00 €

Tabla 5-1 Presupuesto de costes de Proyecto e Ingeniería sin beneficios ni costes generales (Fuente: Propia).

Costes totales de ingeniería y proyectos	14.818,99 €
Gastos generales (16%)	2.371,04 €
Beneficio industrial (6%)	889,14 €
Coste total	18.079,17 €
IVA (21%)	3.796,63 €
Coste total de proyecto	21.875,79 €

Tabla 5-2 Tabla de costes totales del proyecto referidos a la ingeniería (Fuente: Propia).

5.2.- Presupuesto de prototipo:

Como añadido al prediseño del tren motriz, se propone la realización de un presupuesto estimado (a falta de solicitar ofertas por piezas de diseño propio) asociado a la fabricación de un prototipo del diseño expuesto.

Para facilitar la identificación de elementos presentes en el prototipo, se definen 4 subsistemas y un grupo de elementos auxiliares:

- Subsistema de potencia.
- Subsistencia de control.
- Subsistema de almacenamiento.
- Subsistema de refrigeración.
- Elementos auxiliares.



ID	Concepto	Ref./Norma	Uds.	Coste Unitario	Coste Total
1.	Subsistema de Potencia	N/A			5.283,00 €
1.01	Motor eléctrico	HVH 250-150	1	5.000,00 €	5.000,00 €
1.02	Protección del motor	N/A			185,00 €
1.02.1	<i>Contactador de arranque</i>	N/A	1	35,00 €	35,00 €
1.02.2	<i>Fusible de potencia</i>	N/A	1	150,00 €	150,00 €
1.03	Conductores trifásicos	N/A	1,8	10,00 €	18,00 €
1.04	Brida de montaje	N/A	1	50,00 €	50,00 €
1.05	Brida de separación	N/A	1	30,00 €	30,00 €
2.	Subsistema de Control	N/A			2.806,69 €
2.01	Inversor de alterna	HV-500	1	2.400,00 €	2.400,00 €
2.02	Conductores monofásicos	RV-K	1	15,00 €	15,00 €
2.03	Conector Rápido	UPC	1	77,69 €	77,69 €
2.04	BUS CAN	N/A	2	157,00 €	314,00 €
3.	Subsistema de Almacenamiento	N/A			12.605,80 €
3.01	Celdas de Litio	Li8P25RT	112	68,00 €	7.616,00 €
3.02	Bus de Potencia	N/A	224	2,50 €	560,00 €
3.03	BMS	N/A			3.860,00 €
3.03.1	<i>Módulo de control</i>	EMUS G1	1	2.300,00 €	2.300,00 €
3.03.2	<i>Células de control</i>	G1 Cell	112	12,50 €	1.400,00 €
3.03.3	<i>Aislamiento del módulo</i>	EMUS Iso.	1	25,00 €	25,00 €
3.03.4	<i>Sensor de corriente</i>	G1 Loop	1	135,00 €	135,00 €
3.04	Planchas Epoxi	G-10	4	23,00 €	92,00 €
3.05	Envolvente	N/A	1	120,00 €	120,00 €
3.06	Tapa	N/A	1	90,00 €	90,00 €
3.07	Bisagras	FATH095ZF	2	12,00 €	24,00 €
3.08	Cierre	Ganter 832	4	18,00 €	72,00 €
3.09	Ventiladores	4182 NX	3	50,60 €	151,80 €
3.10	Interruptor de seguridad	N/A	1	20,00 €	20,00 €
4.	Subsistema de Refrigeración	N/A			731,00 €
4.01	Circuito de aceite	N/A			401,00 €
4.01.1	<i>Bomba de aceite</i>	R4300242A	1	341,00 €	341,00 €
4.01.2	<i>Mangueras</i>	N/A	3	15,00 €	45,00 €
4.01.3	<i>Vaso de expansión</i>	N/A	1	15,00 €	15,00 €
4.02	Circuito de agua	N/A			330,00 €
4.02.1	<i>Bomba de agua</i>	R3521139A	1	270,00 €	270,00 €
4.02.2	<i>Mangueras</i>	N/A	3	15,00 €	45,00 €
4.02.3	<i>Vaso de expansión</i>	N/A	1	15,00 €	15,00 €
5.	Elementos Auxiliares	N/A	1		186,62 €
5.01	Tornillería	N/A	1		186,62 €
5.01.1	<i>ISO 4032 M8</i>	4032M8	2	0,20 €	0,40 €
5.01.2	<i>ISO 4017 M8x16</i>	4017M8x16	2	0,35 €	0,70 €
5.01.3	<i>ISO 4162 M10x30</i>	4162M10x30	8	2,50 €	20,00 €
5.01.4	<i>DIN 931 M8x30</i>	931M8X30	442	0,31 €	137,02 €
5.01.5	<i>DIN 4762 M8X30</i>	4762M8X30	12	0,46 €	5,52 €
5.01.6	<i>DIN 6923 M8</i>	6923M8	12	0,54 €	6,48 €
5.01.7	<i>DIN 24014 M4X14</i>	24014M4X14	25	0,66 €	16,50 €
Montante total					21.613,11 €

Tabla 5-3 Presupuesto del prototipo propuesto (Fuente: Propia).

El montante total asciende a 21.613,11€ veintiún mil seiscientos trece euros con once céntimos.



6.- CONCLUSIONES:

Tras el desarrollo y explicación de la evolución del proyecto, cabe la oportunidad de recapitular la consecución de los objetivos presentados. Dentro del alcance del proyecto, se recuerda que quedaba dentro del mismo, la definición técnica preliminar de los elementos necesarios para la conversión del tren motriz de un vehículo de competición.

Dentro de los aspectos definidos como objetivos, se entiende que todos han resultado consecuentemente resueltos, en mayor o menor grado de detalle.

El desarrollo se inició con el dimensionado teórico de la potencia y energía necesaria para el sistema motriz. Una vez se definieron las prestaciones óptimas, se procedió a la recolección y lectura del estado del arte, así como catálogos y documentación técnica.

Se seleccionó como primer elemento el motor eléctrico, el cual define el resto de los subsistemas. La batería se mostró como uno de los elementos con mayor exigencia en el diseño. Se propone un modelo completo de pack de baterías funcional y cumpliendo con los requerimientos exigidos.

Teniendo presentes el motor y pack de baterías, se eligieron el resto de las componentes, terminando con el lay-out de todos estos componentes en el chasis elegido como base.

Con esto se finaliza la parte técnica y se da solución a la cuestión presentada en este proyecto. Se puede entender de esta manera que, el proyecto expone en una forma ordenada y justificada, una solución válida y sólida al problema presentado en un inicio.

Se pueden vislumbrar como futuras mejoras los siguientes puntos:

- Rediseño y optimización del pack de baterías, reduciendo y/o minimizando su tamaño y peso.
- Selección de un nuevo motor capaz de cumplir con las prestaciones indicadas, reduciendo su coste.
- Optimización del sistema de refrigeración, en una segunda iteración se podría mejorar el rendimiento de este adaptándolo a los elementos a refrigerar.
- Diseño de sistema de calefacción, destinado a el precalentamiento de las celdas de baterías, de cara a mejorar el rendimiento en las primeras instancias del tramo.



7.- ANEXOS:

Los siguientes anexos, presentan información relevante pero extensas e inconexas entre sí, para presentarse en el grueso del documento.

7.1.- Anexo I, BRC B49:

Documentación presentada por el fabricante del vehículo:

Chasis:

- Multitubular de acero al carbono.
- Dimensiones:
- Largo: 3.750 mm, Ancho: 1.750 mm alto: 1.030 mm, Batalla: 2.600 mm. Peso: 460 kgs.

Frenos:

- Discos delanteros: 265 mm, Discos traseros 265 mm, Pinzas AP de doble pistón.
- Dirección:
- Cremallera de una vuelta de tope a tope.

Transmisión:

- Cambio secuencial de seis velocidades, cut off y display de marcha engranada. Diferencial autoblocante y transmisión por engranajes (sin cadena).

Ruedas delanteras:

- Llantas de aluminio 7x13"

Ruedas traseras:

- Llantas de aluminio 8,5x13"

Suspensión delantera:

- Doble triángulo con PushRod y amortiguador TecnoShock regulable en tres vías.

Suspensión trasera:

- Doble triángulo con PushRod y amortiguador TecnoShock regulable en tres vías.

Carrocería:

- Fibra de vidrio en tres piezas.

Motor:

- Suzuki 4 cilindros, 1000cc 16 válvulas, inyección electrónica, 200 CV.

Opciones:

- Llantas delanteras de 8'5"
- Llantas traseras de 9'5"
- Motor BMW o Kawasaki 1000cc
- Cambio de levas en el volante.
- Telemetría.
- Escape de competición.
- Centralita Reprogramable.
- Coche Completo sin motor, sin instalación eléctrica y sin escape



Ilustración 7-1 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).



Ilustración 7-2 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).



Ilustración 7-3 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).



Ilustración 7-4 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).

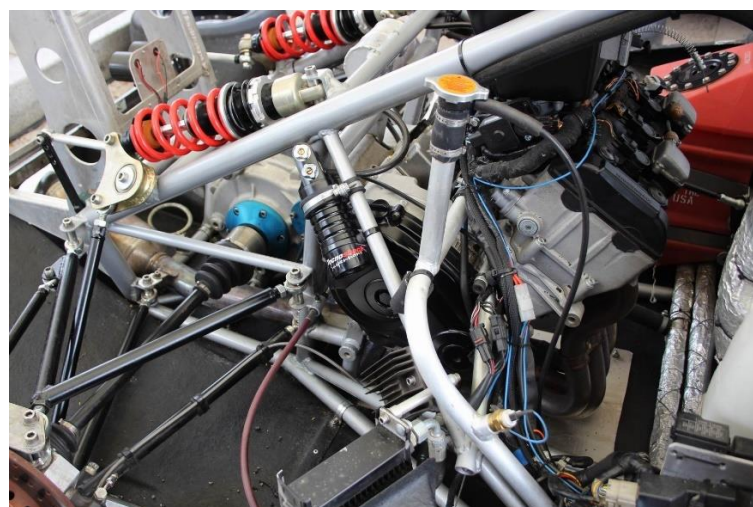


Ilustración 7-5 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).



Ilustración 7-6 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).

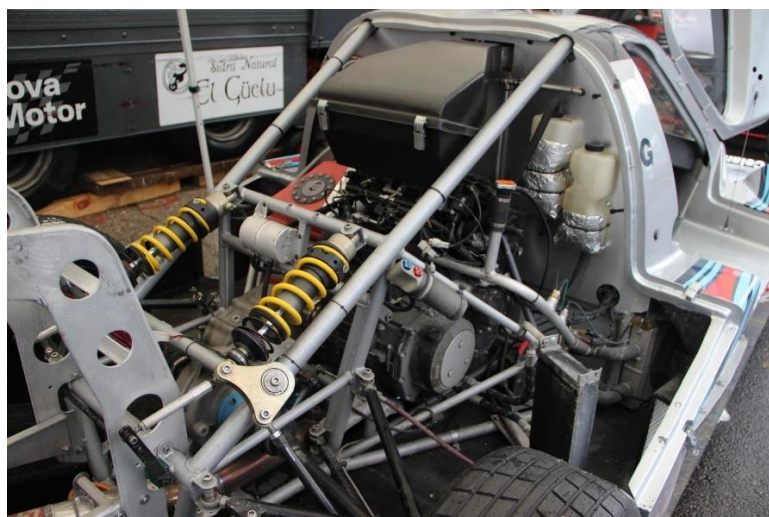


Ilustración 7-7 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).



Ilustración 7-8 Ilustración BRC B49 (Fuente: BRC).



7.2.- Anexo II, dimensionado de celdas de batería:

Dentro del proceso de selección de las celdas utilizadas en el pack de baterías, se acudió al uso de una tabla automatizada. En ella se recopilaban todos los modelos que caben sopesar para el uso estipulado.

Modelo	Uo [V]	Eo [A/h]	Io [A]	I max [A]	Masa [kg]	Volumen [m3]	kWh	Coste ud [€/ud]	Unidades en paralelo	Unidades en serie	Wh/kg	Wh/L	€/kWh	U total [V]	Io total [A]	I max total [A]	Eo total [Ah]	Unidades totales [uds]	Volumen total [m3]	Masa total [kg]	Coste total	Ratio
Li1x4p25RT	3,6	10,2	50	180	0,224	0,00013	0,037	51,00 €	2	112	163,93	291,43	1.388,89 €	403,20	100,00	360,00	20,40	224	0,028	50,18	11.424,00 €	6,87%
Li1x6p25R	3,6	15,0	75	270	0,323	0,00021	0,054	56,00 €	2	112	167,18	257,14	1.037,04 €	403,20	150,00	540,00	30,00	224	0,047	72,35	12.544,00 €	7,55%
Li1x4pVTC6T	3,6	12,4	62	186	0,224	0,00012	0,045	61,00 €	2	112	199,29	365,90	1.366,49 €	403,20	124,00	372,00	24,80	224	0,027	50,18	13.664,00 €	8,21%
Li1x5p25RT	3,6	12,5	63	225	0,266	0,00015	0,045	57,00 €	2	112	169,17	304,05	1.266,67 €	403,20	125,00	450,00	25,00	224	0,033	59,58	12.768,00 €	7,68%
Li2x10p25RT	3,6	50,0	250	750	1,050	0,00055	0,180	147,00 €	1	112	171,43	327,27	816,67 €	403,20	250,00	750,00	50,00	112	0,062	117,60	16.464,00 €	9,91%
Li2x4p25RT	3,6	20,0	200	360	0,427	0,00026	0,072	68,00 €	1	112	168,62	276,92	944,44 €	403,20	200,00	360,00	20,00	112	0,029	47,82	7.616,00 €	4,58%
Li1x5pVTC6T	3,6	15,5	155	232	0,266	0,00015	0,056	67,00 €	2	112	209,77	377,03	1.200,72 €	403,20	310,00	464,00	31,00	224	0,033	59,58	15.008,00 €	9,02%
Li2x4pVTC5AT	3,6	20,8	200	416	0,427	0,00026	0,075	100,60 €	1	112	175,36	288,00	1.343,48 €	403,20	200,00	416,00	20,80	112	0,029	47,82	11.267,20 €	6,77%
Li2x10pGA	3,6	66,0	200	325	1,050	0,00055	0,238	170,00 €	1	112	226,29	432,00	715,49 €	403,20	200,00	325,00	66,00	112	0,062	117,60	19.040,00 €	11,46%
Li2x4p25R	3,6	20,0	200	360	0,427	0,00026	0,072	68,00 €	1	112	168,62	276,92	944,44 €	403,20	200,00	360,00	20,00	112	0,029	47,82	7.616,00 €	4,58%
Li2x4pVTC5T	3,6	20,8	200	360	0,427	0,00026	0,075	87,00 €	1	112	175,36	288,00	1.161,86 €	403,20	200,00	360,00	20,80	112	0,029	47,82	9.744,00 €	5,86%
Li1x6p25RT	3,6	15,0	75	270	0,323	0,00017	0,054	63,00 €	2	112	167,18	310,34	1.166,67 €	403,20	150,00	540,00	30,00	224	0,039	72,35	14.112,00 €	8,49%
Li1x10p25RT	3,6	25,0	125	375	0,505	0,00028	0,090	87,00 €	1	112	178,22	324,91	966,67 €	403,20	125,00	375,00	25,00	112	0,031	56,56	9.744,00 €	5,86%
Li1x6pVTC6T	3,6	18,6	180	280	0,323	0,00017	0,067	78,00 €	2	112	207,31	384,83	1.164,87 €	403,20	360,00	560,00	37,20	224	0,039	72,35	17.472,00 €	10,50%
Li1x7p25RT	3,6	17,5	88	315	0,377	0,00020	0,063	69,00 €	1	112	167,11	316,58	1.095,24 €	403,20	87,50	315,00	17,50	112	0,022	42,22	7.728,00 €	4,65%
Li1x6pVTC6	3,6	18,6	180	280	0,322	0,00017	0,067	71,00 €	2	112	207,95	384,83	1.060,33 €	403,20	360,00	560,00	37,20	224	0,039	72,13	15.904,00 €	9,56%
MP320-049 Moxie	43,8	32,0	160	480	16,000	0,00958	1,402	620,00 €	1	10	87,60	146,36	442,35 €	438,00	160,00	480,00	32,00	10	0,096	160,00	6.200,00 €	3,77%
CE250-370 Moxie	3,7	25,0	75	125	0,470	0,00025	0,093	?	3	109	196,81	372,92	?	403,30	225,00	375,00	75,00	327	0,081	153,69	-	-
GBS 12.8V 40Ah	12,8	40,0	120	400	6,600	0,00468	0,512	313,00 €	1	32	77,58	109,40	611,33 €	409,60	120,00	400,00	40,00	32	0,150	211,20	10.016,00 €	6,07%
SLPB72216216 Kokam	3,7	31,0	155	248	0,665	0,00038	0,115	55,00 €	2	109	172,48	298,10	479,51 €	403,30	310,00	496,00	62,00	218	0,084	144,97	11.990,00 €	7,24%
WB-LYP40AHA	3,2	40,0	20	400	1,600	0,00099	0,128	45,61 €	1	125	80,00	129,41	356,33 €	400,00	20,00	400,00	40,00	125	0,124	200,00	5.701,25 €	3,48%
WB-LP12V40AH	12,0	40,0	20	400	8,300	0,00613	0,480	190,64 €	1	34	57,83	78,29	397,17 €	408,00	20,00	400,00	40,00	34	0,208	282,20	6.481,76 €	3,97%
Nissan Leaf GreenTecAuto	7,6	48,0	90	540	3,800	0,00032	0,365	80,00 €	1	53	96,00	1138,14	219,30 €	402,80	90,00	540,00	48,00	53	0,017	201,40	4.240,00 €	2,60%
58Ah Nissan Leaf Battery	7,6	58,0	240	540	3,800	0,00236	0,441	109,00 €	1	53	116,00	186,39	247,28 €	402,80	240,00	540,00	58,00	53	0,125	201,40	5.777,00 €	3,53%
Tesla Battery Modules 85-TYPE	22,2	233,0	233	1000	26,300	0,00236	5,173	1.039,00 €	1	19	196,68	2187,22	200,87 €	421,80	233,00	1000,00	233,00	19	0,045	499,70	19.741,00 €	11,99%
PU72-NH60-NA Prius 2ª GEN	14,4	6,5	30	540	2,500	0,03862	0,094	85,00 €	2	28	37,44	2,42	908,12 €	403,20	60,00	1080,00	13,00	56	2,163	140,00	4.760,00 €	2,90%
BMW i3 battery module	45,0	120,0	?	360	28,000	0,01907	5,400	1.250,00 €	1	9	192,86	283,24	231,48 €	405,00	#¡VALOR!	360,00	120,00	9	0,172	252,00	11.250,00 €	6,83%
AMITA 13,5AH CELL	3,7	13,7	13	40	0,260	0,00001	0,051	46,74 €	8	109	194,96	9947,02	922,08 €	403,30	107,20	320,00	109,60	872	0,004	226,72	40.757,28 €	24,52%
STKE48-12	48,0	12,0	12	36	6,000	0,00284	0,576	74,00 €	9	9	96,00	203,17	128,47 €	432,00	108,00	324,00	108,00	81	0,230	486,00	5.994,00 €	3,74%
STKE48-100	48,0	100,0	100	300	10,000	0,01536	4,800	250,00 €	1	9	480,00	312,58	52,08 €	432,00	100,00	300,00	100,00	9	0,138	90,00	2.250,00 €	1,38%
STKE48-10	48,0	10,0	10	20	3,000	0,00551	0,480	74,00 €	15	9	160,00	87,17	154,17 €	432,00	150,00	300,00	150,00	135	0,743	405,00	9.990,00 €	6,12%
STKE72-60	72,0	60,0	100	300	10,000	0,01536	4,320	250,00 €	1	6	432,00	281,32	57,87 €	432,00	100,00	300,00	60,00	6	0,092	60,00	1.500,00 €	0,92%
EC-N-SERIES-P-ALT-245V	245,0	6,5	120	180	36,000	0,02231	1,593	1.139,00 €	2	2	44,24	71,39	715,23 €	490,00	240,00	360,00	13,00	4	0,089	144,00	4.556,00 €	2,78%
EC-T-SERIES-AQUA-144V	144,0	6,5	120	195	22,000	0,01253	0,936	899,00 €	2	3	42,55	74,71	960,47 €	432,00	240,00	390,00	13,00	6	0,075	132,00	5.394,00 €	3,28%
EC-F-SERIES-ESC-300V	300,0	6,5	98	195	44,000	0,00039	1,950	1.800,00 €	2	2	44,32	4961,33	923,08 €	600,00	195,00	390,00	13,00	4	0,002	176,00	7.200,00 €	4,37%
EC-L-SERIES-P-ES300H-245V	245,0	6,5	60	90	36,000	0,02231	1,593	1.139,00 €	4	2	44,24	71,39	715,23 €	490,00	240,00	360,00	26,00	8	0,178	288,00	9.112,00 €	5,55%
SLPB98188216P	4,7	30,0	600	900	0,780	0,00042	0,142		1	85	181,73	338,29	- €	401,63	600,00	900,00	30,00	85	0,036	66,30	- €	0,02%
CALB	3,2	20,0	10	200	0,650	0,00039	0,064	32,50 €	2	125	98,46	163,43	507,81 €	400,00	20,00	400,00	40,00	250	0,098	162,50	8.125,00 €	4,92%

Tabla 7-1 Relación de modelos de celdas de Litio preseleccionadas como opciones viables, y sus valores comerciales y calculados para el proyecto (Fuente: Propia).

Tras la recopilación de los modelos y sus características físicas y eléctricas, se procesan estos datos para obtener la cantidad de celdas necesarias, la corriente y tensión suministradas, el volumen y la masa del pack final. Finalmente, se calcula el valor de un ratio, el cual pondera el peso el volumen y el coste de cada una de las opciones, dando una idea más genérica de que solución es más acertada y óptima.

7.3.- Anexo III, imágenes del modelo:

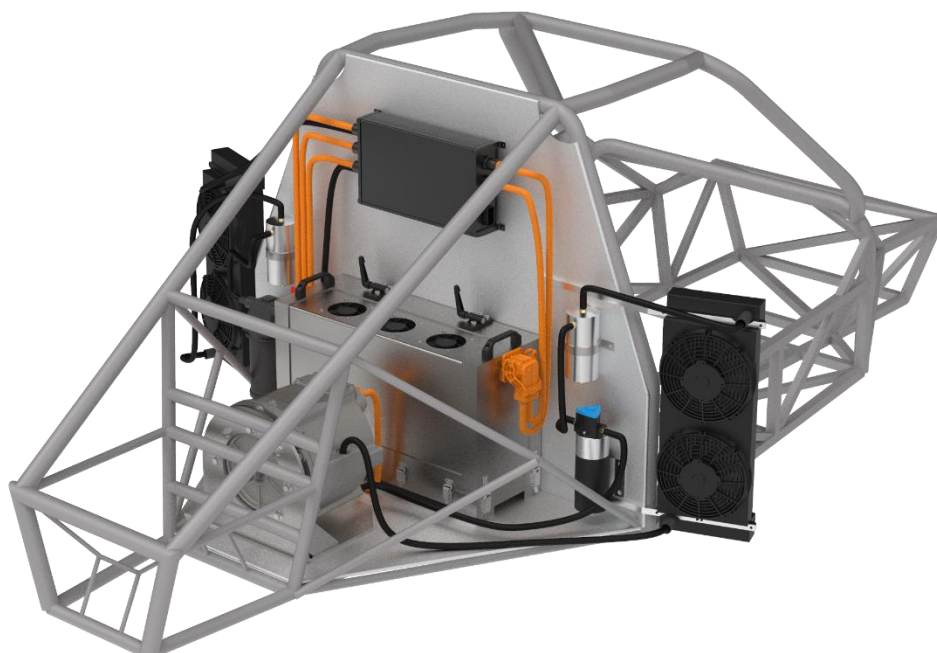


Ilustración 7-9 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).

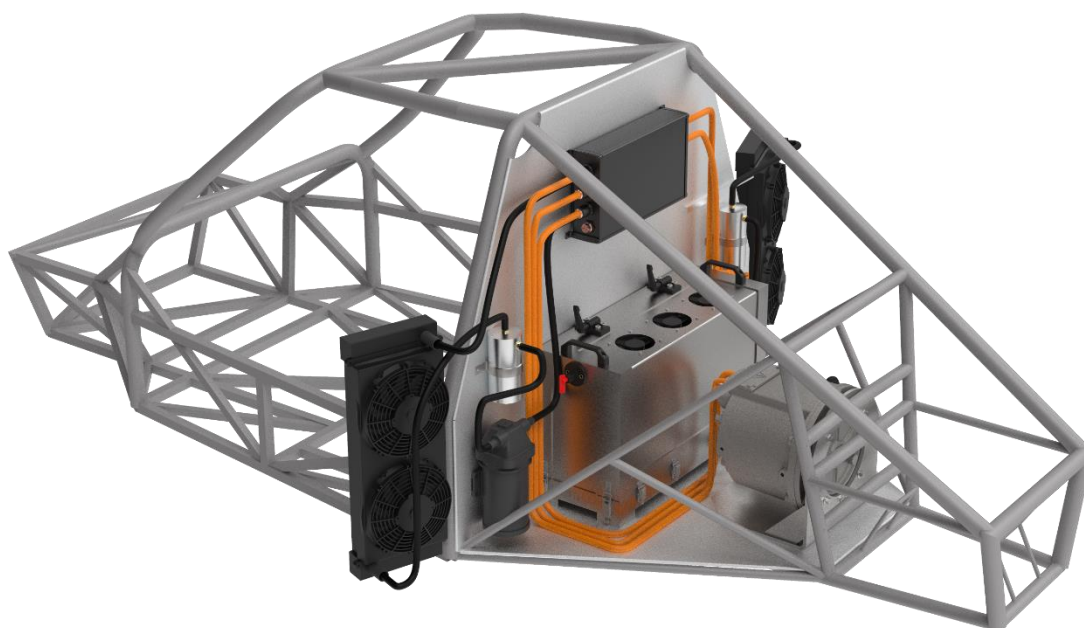


Ilustración 7-10 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).

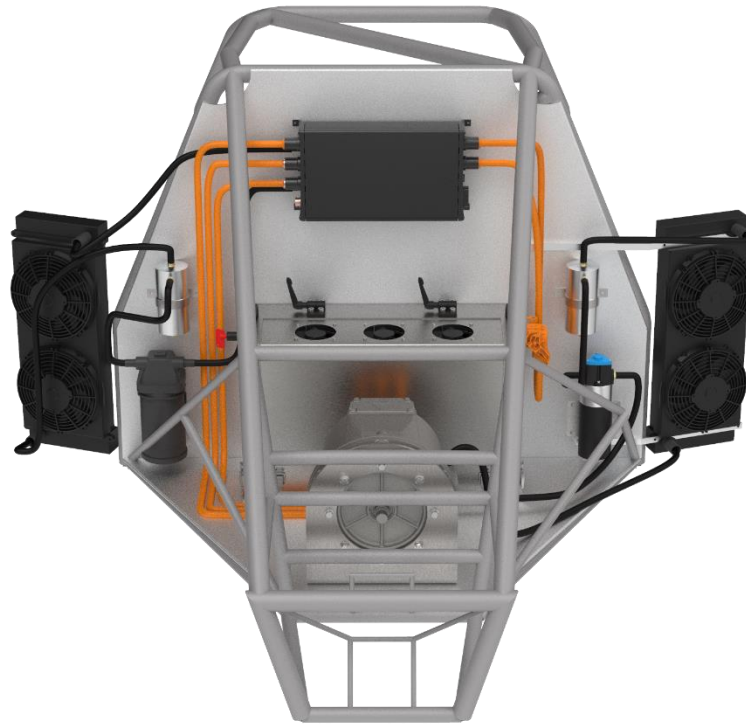


Ilustración 7-11 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).

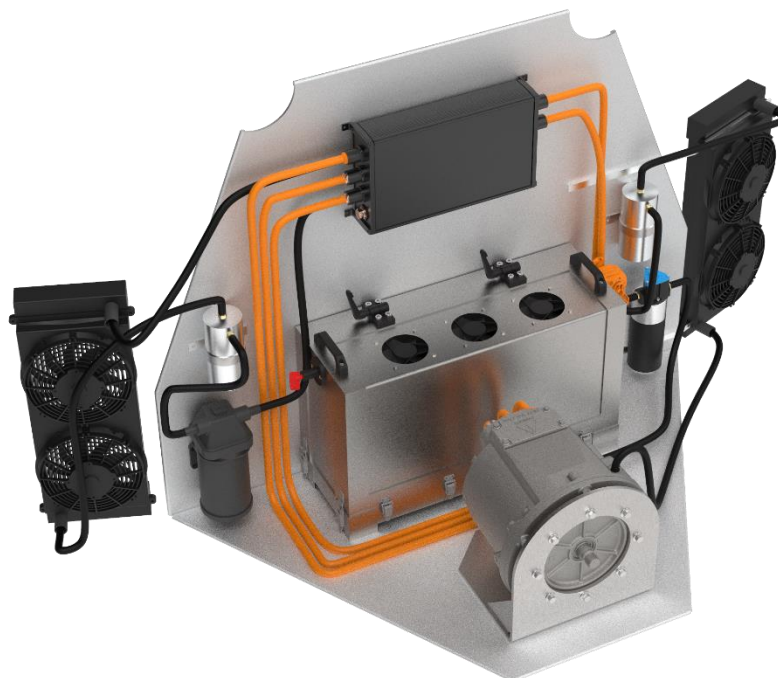


Ilustración 7-12 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).



Ilustración 7-13 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).

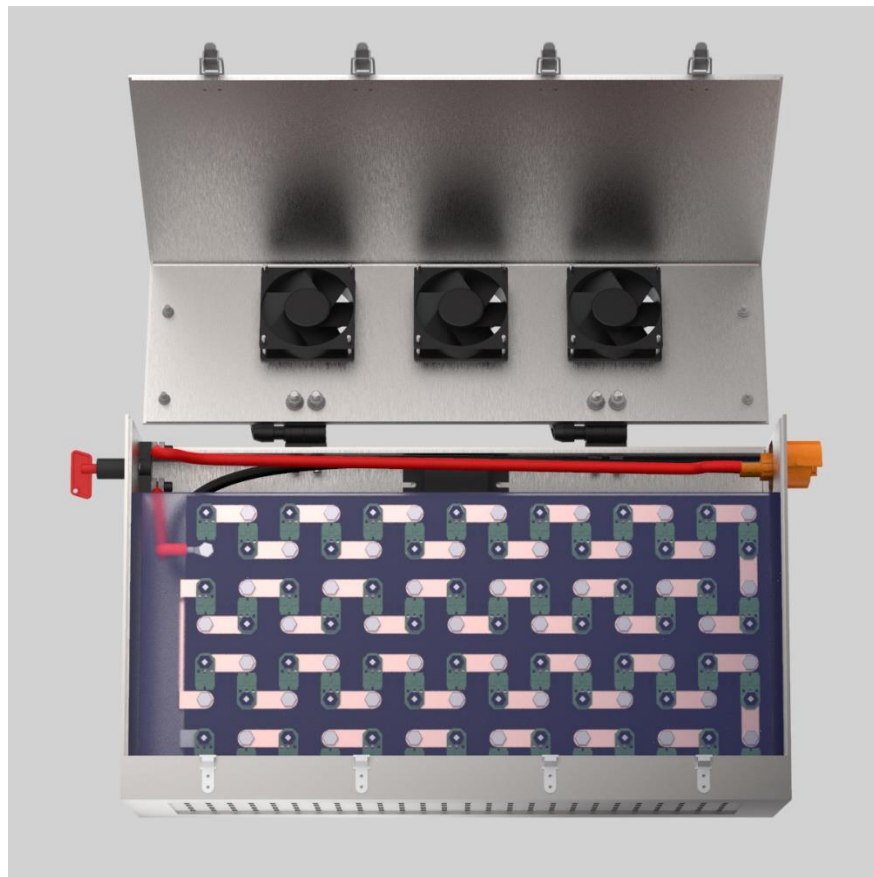


Ilustración 7-14 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).



Ilustración 7-15 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).



Ilustración 7-16 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).

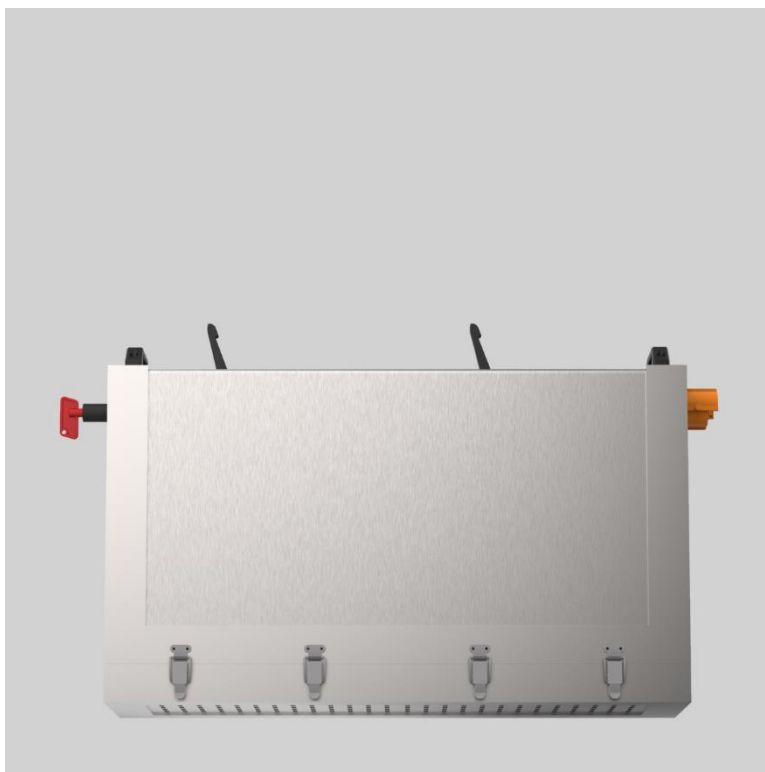


Ilustración 7-17 Imagen fotorrealista del modelo (Fuente: Propia).



8.- BIBLIOGRAFÍA:

Álvarez, J. (2019a, junio 4). La vuelta récord del Volkswagen ID.R eléctrico en Nürburgring. Recuperado 25 de mayo de 2020, de <https://www.motorpasion.com/volkswagen/vuelta-record-volkswagen-id-r-electrico-nurburgring-ahora-video>

Álvarez, J. (2019b, agosto 22). Opel Corsa-e Rally. Recuperado 25 de mayo de 2020, de <https://www.motorpasion.com/opel/opel-corsa-e-rally>

Arora, S., & Kapoor, A. (2018). Mechanical Design and Packaging of Battery Packs for Electric Vehicles. Behaviour of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles, 175-200. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69950-9_8

Arora, S., Kapoor, A., & Shen, W. (2018). Application of Robust Design Methodology to Battery Packs for Electric Vehicles: Identification of Critical Technical Requirements for Modular Architecture. Batteries, 4(3), 30. <https://doi.org/10.3390/batteries4030030>

BEHR HELLA Service. (2015). REFRIGERACIÓN DEL VEHÍCULO CONOCIMIENTOS BÁSICOS PARA EL TALLER. Recuperado de http://www.territoriohella.es/storage/gama_productos_documentos/7c49b68cf2bdb7d9c52257c45abb17d4.pdf

BRC. (s. f.). BRC B49. Recuperado 28 de mayo de 2020, de <https://www.bangoracingcars.com/B49.html>

De Miranda, B. (2020, 10 febrero). Cálculo de vasos de expansión cerrados. Recuperado 17 de junio de 2020, de <https://www.ingenierosindustriales.com/calculo-de-vasos-de-expansion-cerrados/>

Deployment, C. O. O. B. T. E., Systems, B. O. E. A. E., Sciences, D. O. E. A. P., Board, T. R., National Research Council, & National Research Council (U.S.). Committee on Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment. (2015). Overcoming Barriers to Deployment of Plug-in Electric Vehicles. Amsterdam, Países Bajos: Amsterdam University Press.



- FIA Formula E. (s. f.). CARS & TECHNOLOGY Forging the future of electric mobility. Recuperado 20d. C., de <https://www.fiaformulae.com/en/discover/cars-and-technology>
- HELLA. (2019, 18 marzo). Termocontrol en vehículos eléctricos e híbridos. Recuperado 17 de junio de 2020, de <https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Climatizacion-de-vehiculos/Termocontrol-en-vehiculos-electricos-e-hibridos-1725/>
- Kalmakov, V. A., Andreev, A. A., & Salimonenko, G. N. (2016). Development of Formula Student Electric Car Battery Design Procedure. *Procedia Engineering*, 150, 1391-1395. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.334>
- Luque, P., Álvarez Mántaras, D., Maradona, A., Roces, J., Sanchez, L., Castejón, L., & Malón, H. (2020). Multi-Objective Evolutionary Design of an Electric Vehicle Chassis. *Sensors (Pendiente)*, 1.
- Massachusetts Institute of Technology, & Reineman, S. (2013, junio). Design and Analysis of a Battery for a Formula Electric Car. Recuperado de <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/83741/864601926-MIT.pdf?sequence=2>
- Richtek, & Ho, V. (2014). Li-ion Battery and Gauge Introduction (AN024). Recuperado de <https://www.richtek.com/Design%20Support/Technical%20Document/AN024>
- Song, M. (2014, 6 marzo). The rechargeable revolution: A better battery. Recuperado 28 de mayo de 2020, de <https://www.nature.com/news/the-rechargeable-revolution-a-better-battery-1.14815>
- Soong, W. L. (2002). Field-weakening performance of interior permanent-magnet motors. *IEEE Xplore*, 1251-1258. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/3171442_Field-weakening_performance_of_interior_permanent-magnet_motors
- ST. (s. f.). Main Inverter (Electric Traction). Recuperado 28 de mayo de 2020, de <https://www.st.com/en/applications/electro-mobility/main-inverter-electric-traction.html>

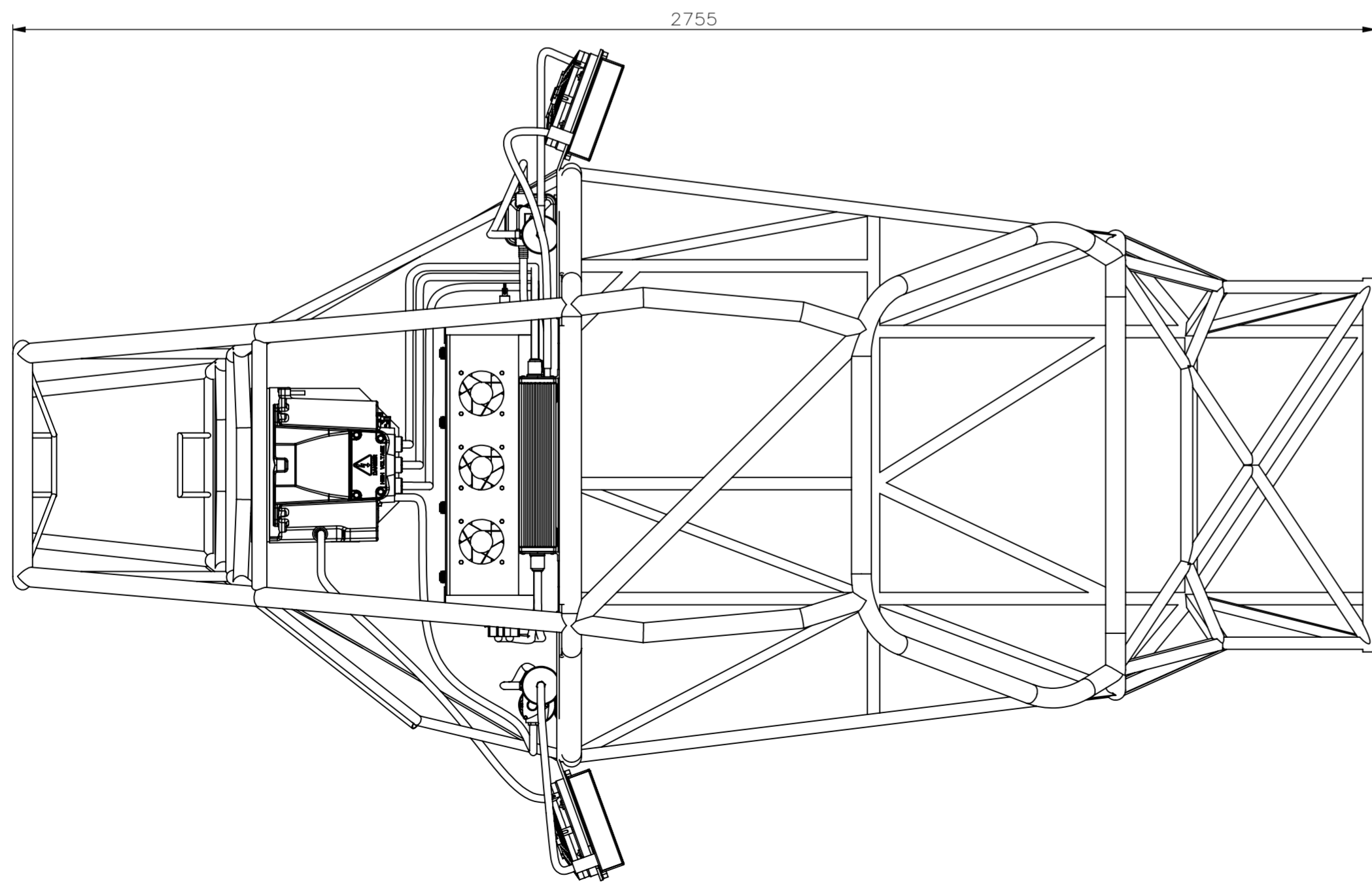
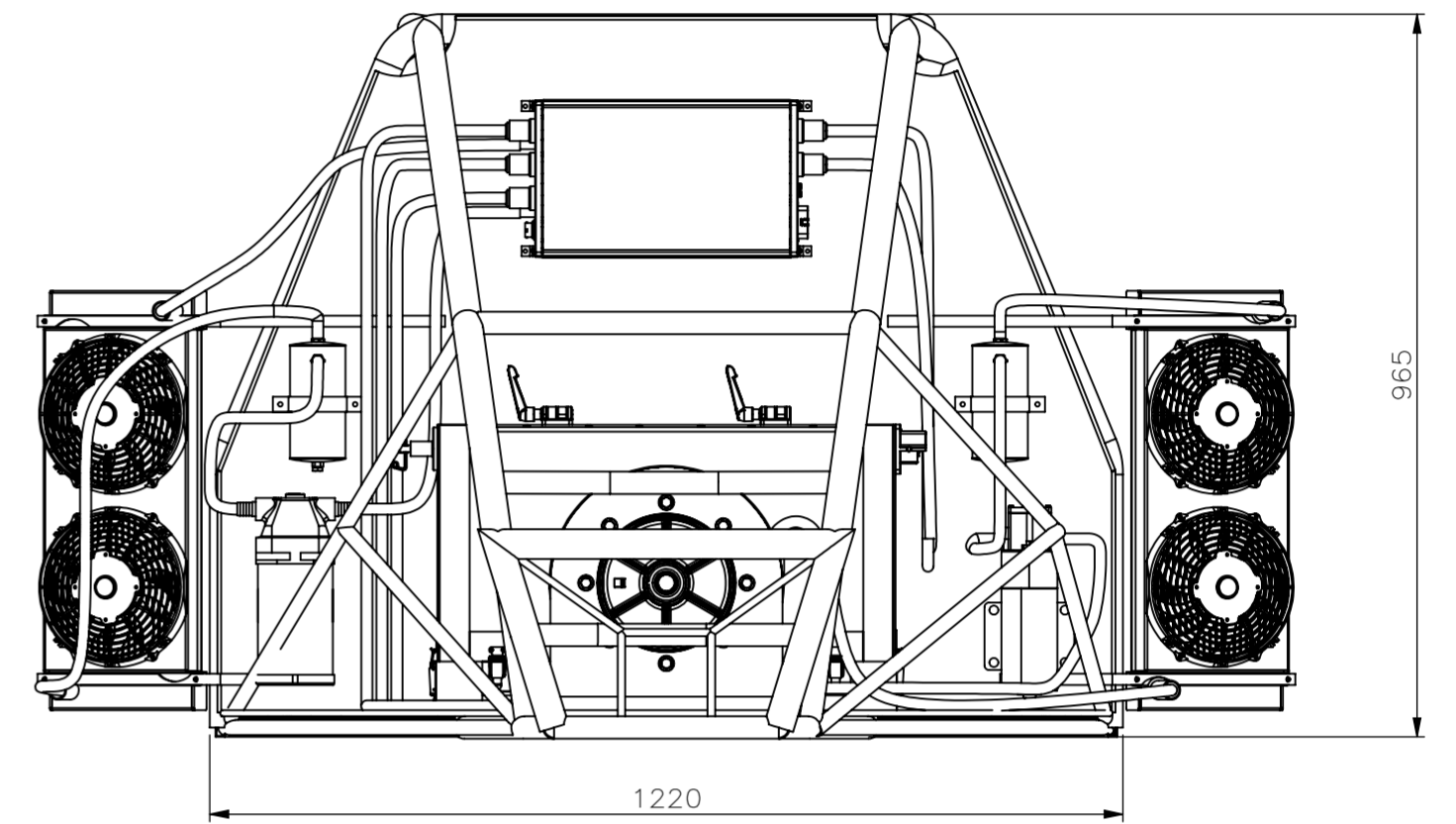
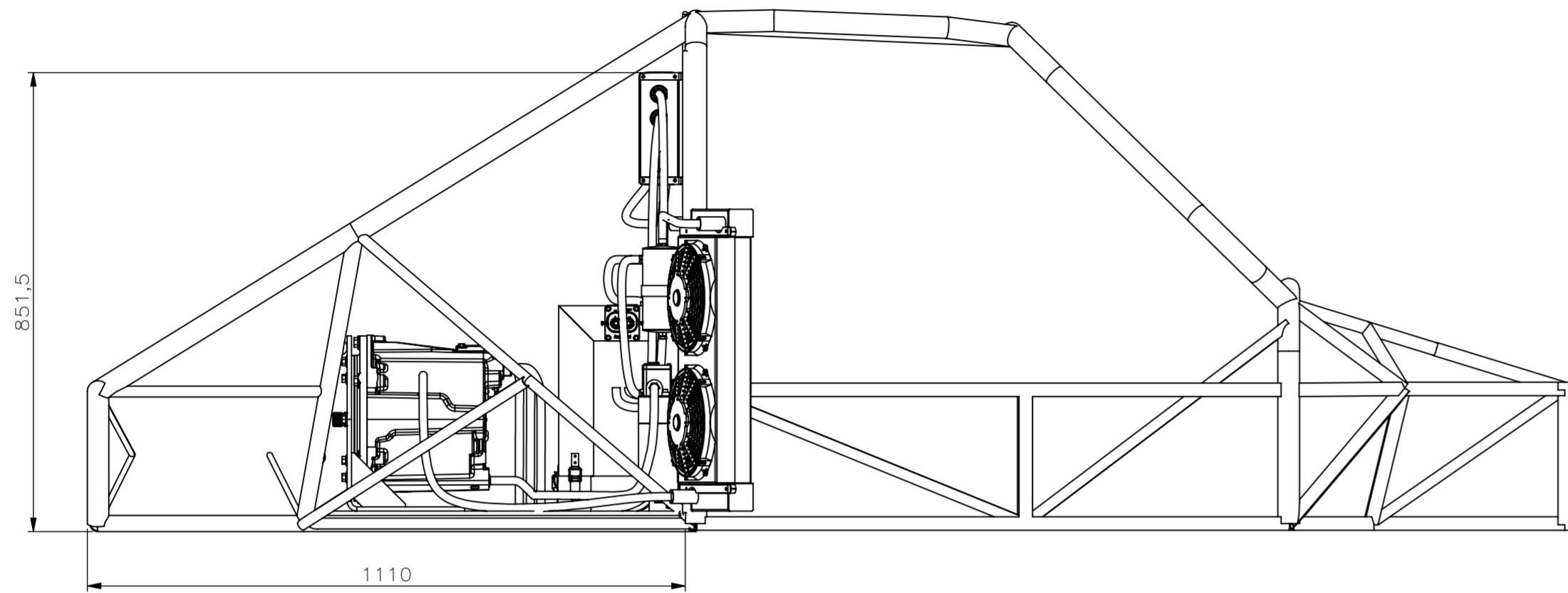


University of Wisconsin-Madison, West, L., Shepherd, B., Karabon, N., & Pyrtko, M. (16-12). Design Report of the High Voltage Battery Pack for Formula SAE Electric. Recuperado de <https://static1.squarespace.com/static/57e8888fc534a547699d733d/t/5966ef5dccb210f14d2582d2/1499918178064/WR-217e+Accumulator+Design.pdf>


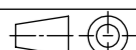


9.- PLANOS:

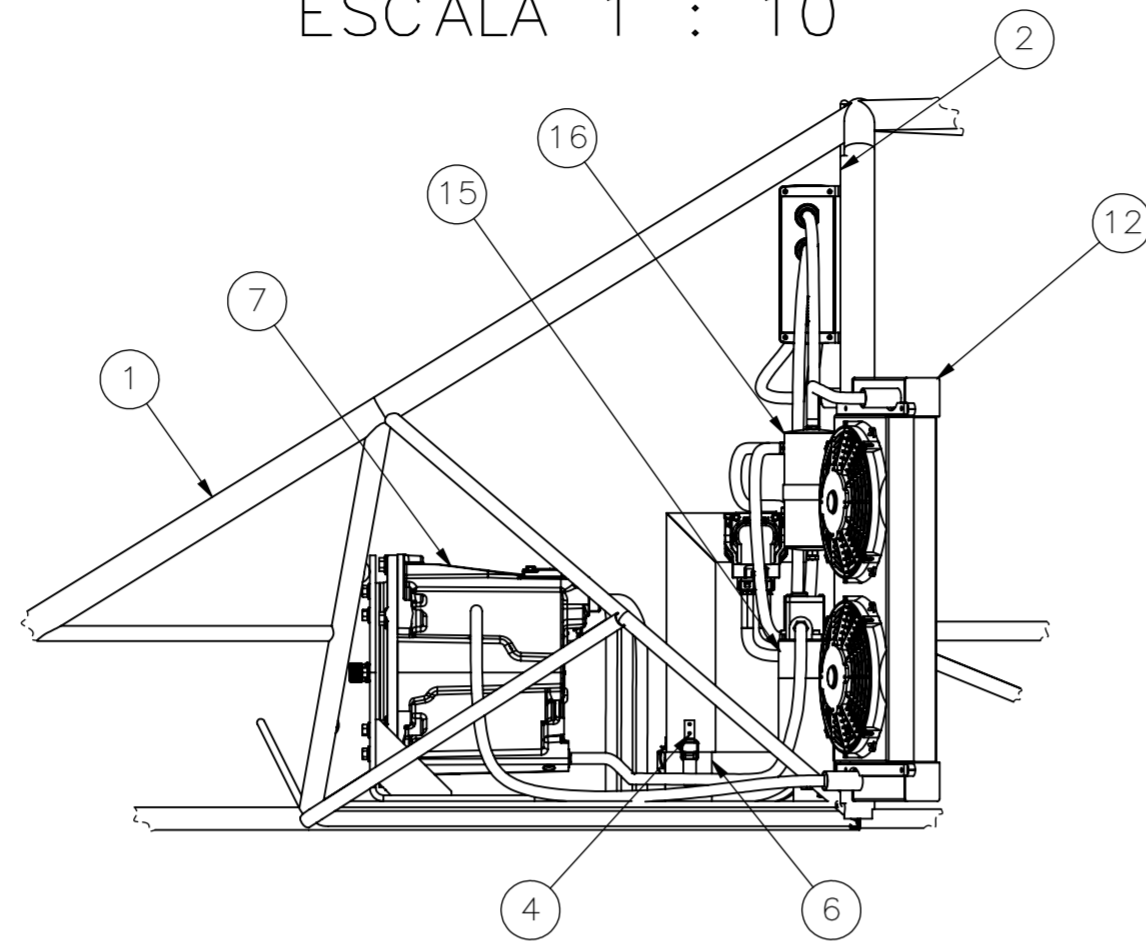
Consecución de planos indicativos del producto final obtenido.



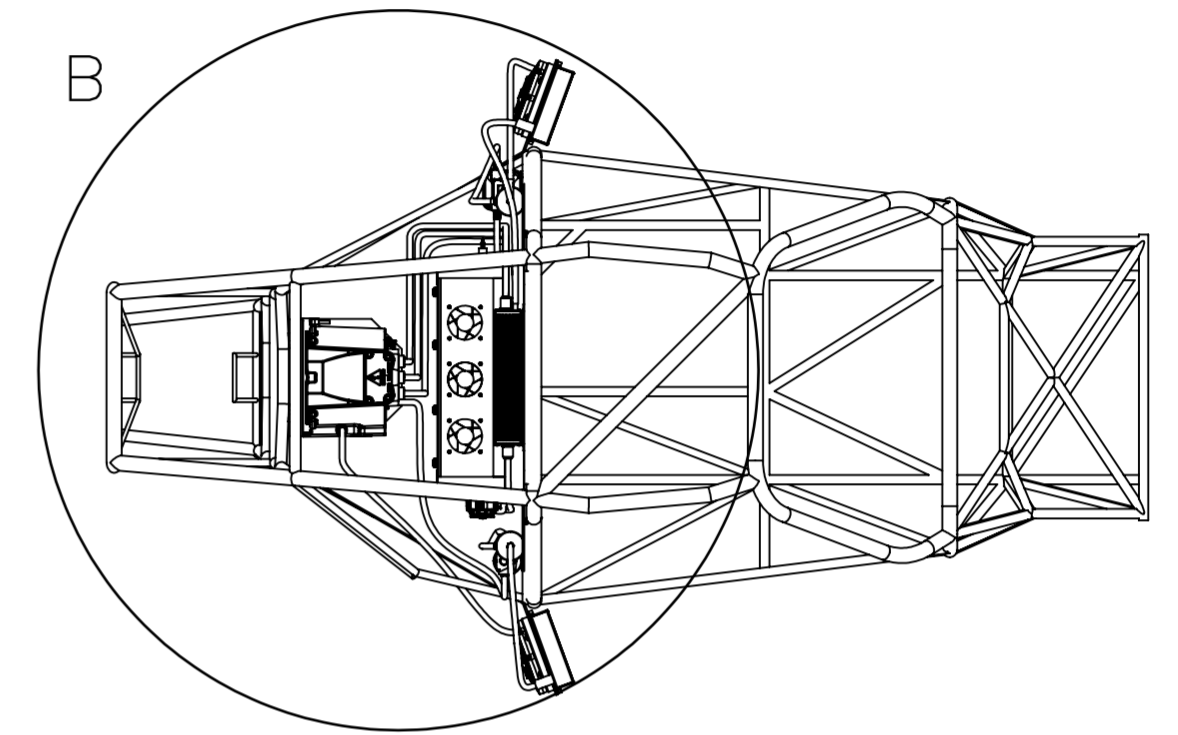
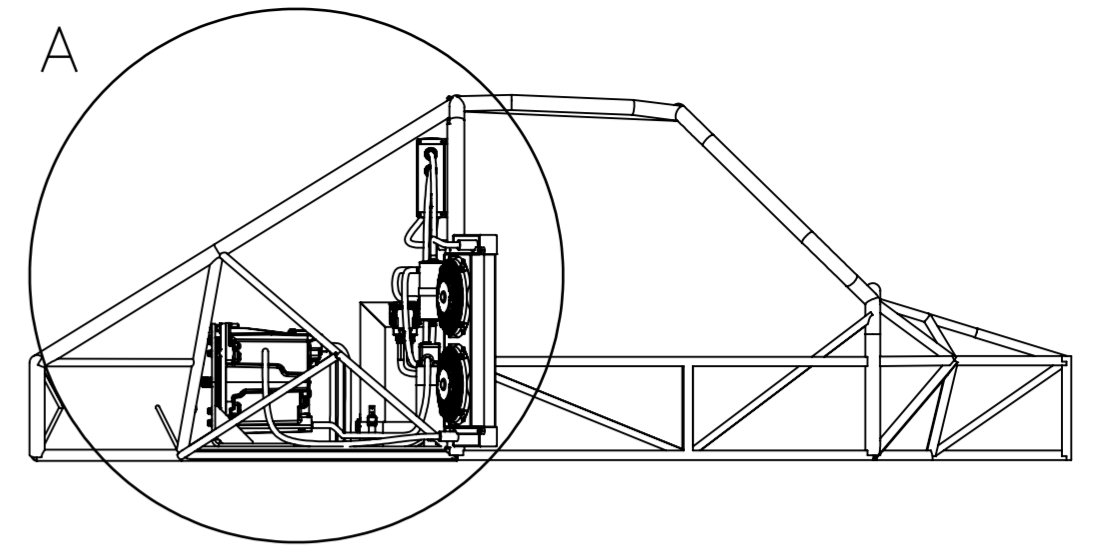
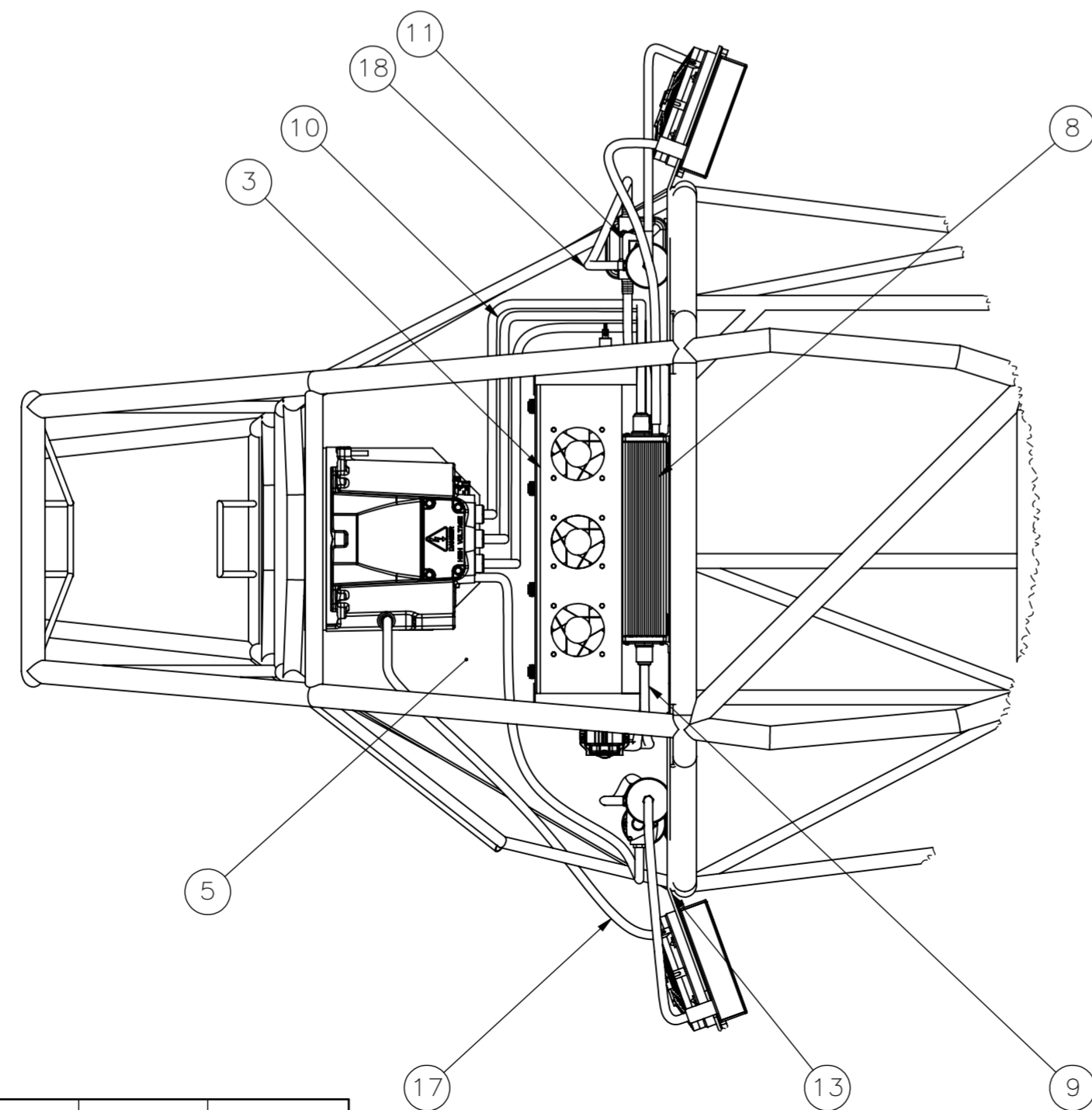
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición	 Universidad de Oviedo
	Dibujado	26/05/20	A.Maradona		
	Comprobado	26/05/20	A.Maradona		
	Aprobado	26/05/20			
Escola	Descripción			Plano de conjunto	Revisión
1:10	Dibujo general de conjunto			N° 1-00-000 (A)	0
	Proyección			Sustituye a	
				Sustituido por	

DETALLE A
ESCALA 1 : 10


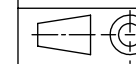


DETALLE B
ESCALA 1 : 10

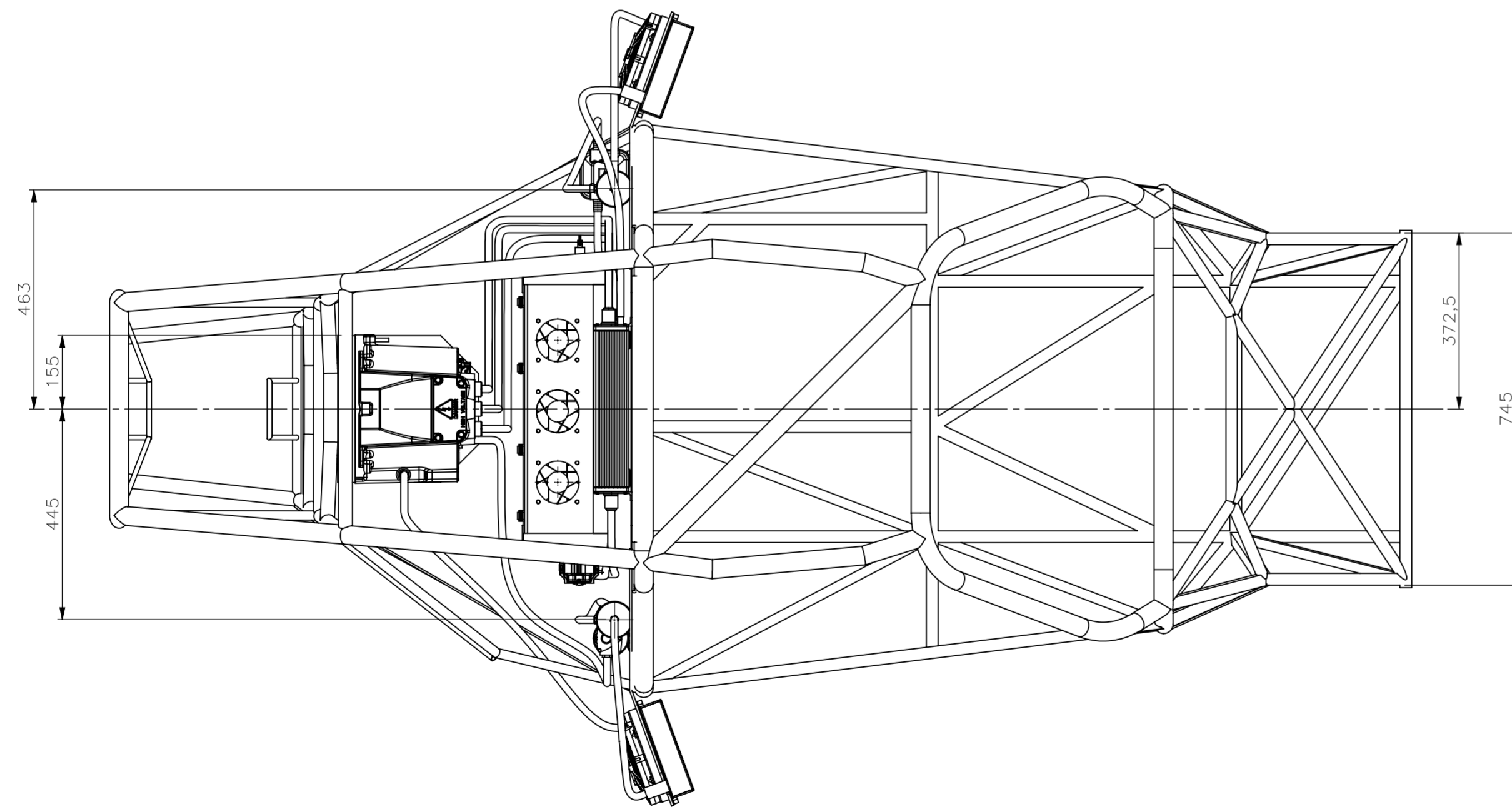
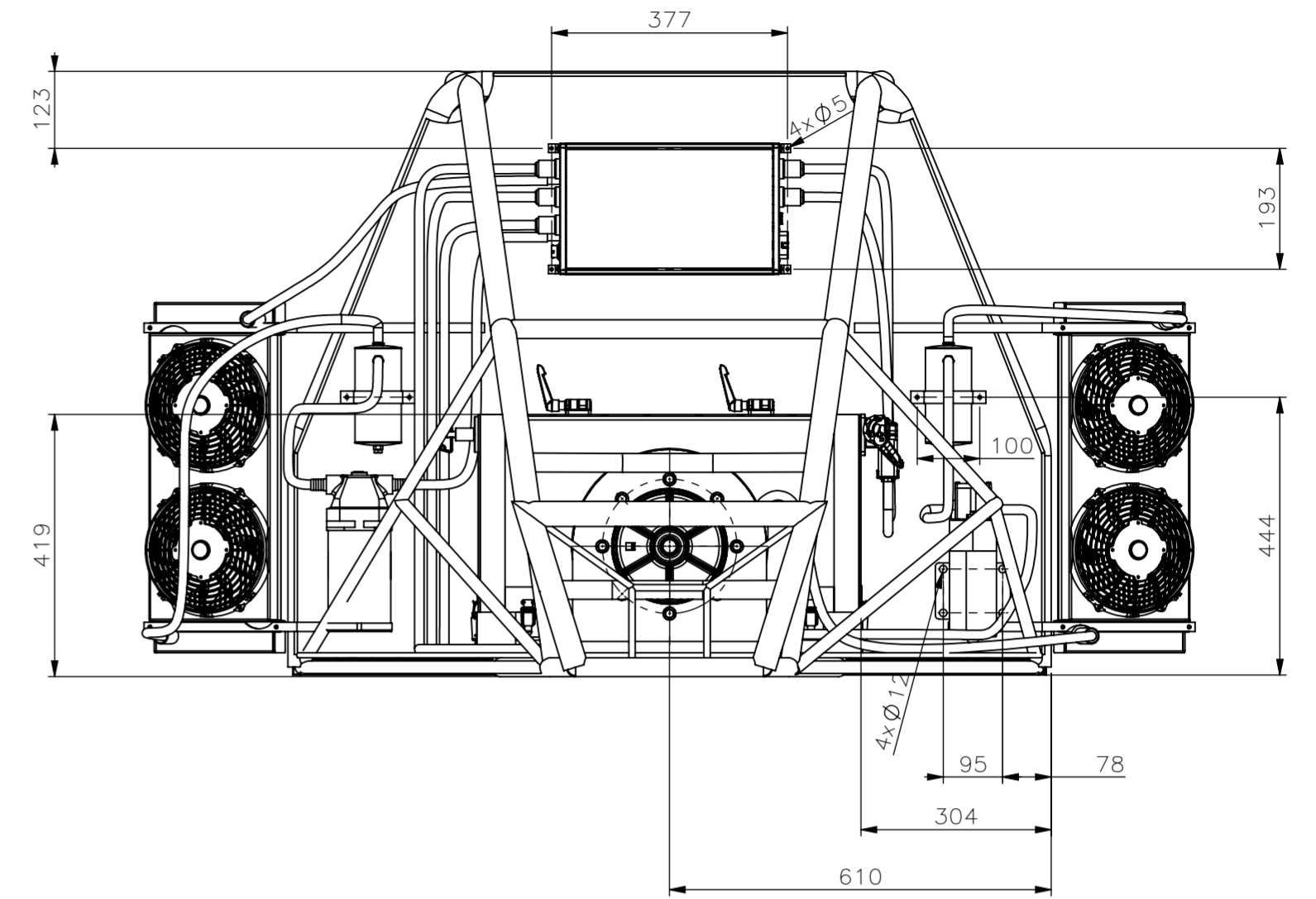
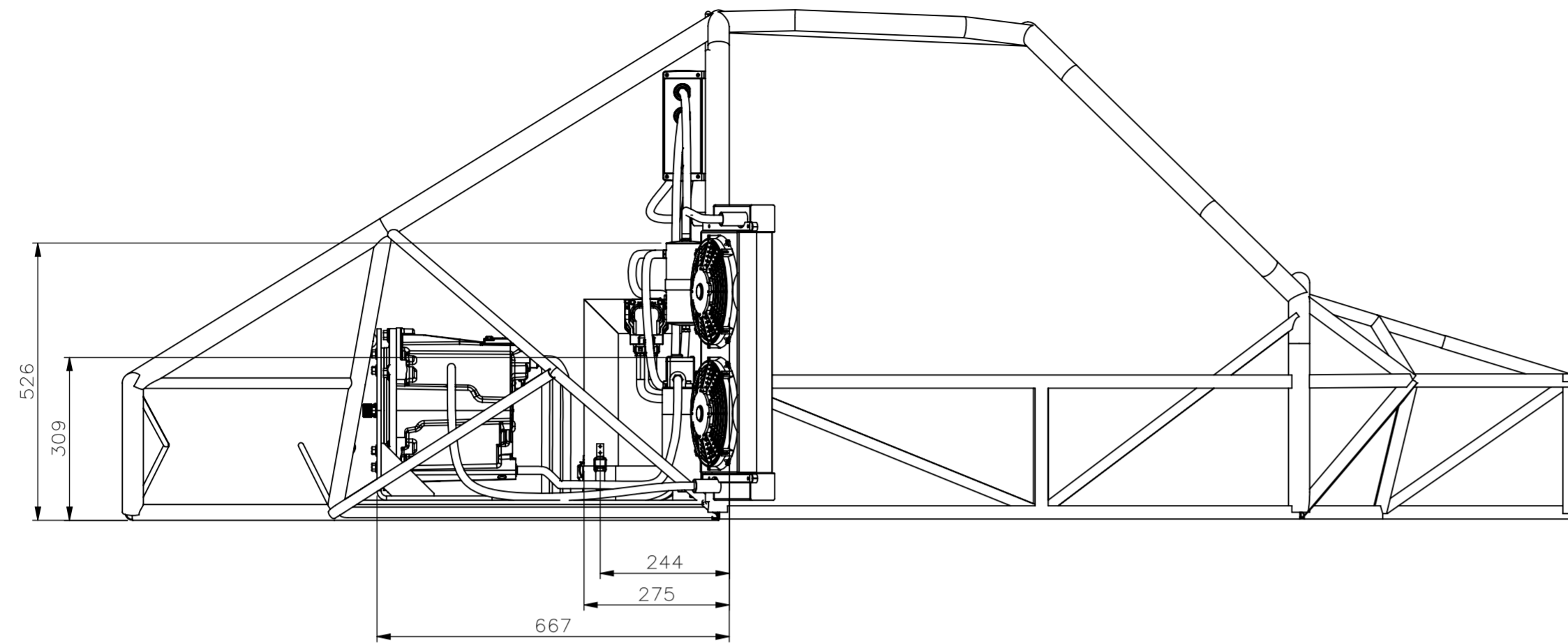


18	Circuito de agua	Refrigeración del inversor por agua	1
17	Circuito de aceite	Refrigeración del motor por aceite	1
16	Vaso de expansión	Vasos de expansión circuito de aceite/agua	2
15	Bomba del circuito aceite	Bomba de circuito de refrigeración del motor	1
14	Perfil de radiador Inferior	Ángulos para el montaje de los radiadores	2
13	Perfil de radiador Superior	Ángulos para el montaje de los radiadores	2
12	ENG-01-A-10	Modelo de ventilador similar al existente	2
11	Bomba del circuito de agua	Bomba de circuito de refrigeración del inversor	1
10	Cableado de alterna	Conductores desde el inversor al motor	1
9	Cableado de continua	Conductores desde la batería al inversor	1
8	DTI_HV-500	Inversor comercial de alterna	1
7	Montaje Motor	Subconjunto de Motor con brida de montaje	1
6	Marco Batería	Marco sobre el que se monta el pack	1
5	Chapa Base	Chapa de acero refuerzo del chasis	1
4	Brida GN-832	Brida de montaje del pack al marco	4
3	Pack de Baterías	Conjunto de baterías en su caja	1
2	Chapa Aislante	Chapa separadora de cabina y tren motriz	1
1	Chasis	Chasis tubular base	1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD


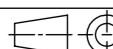
Lista de piezas

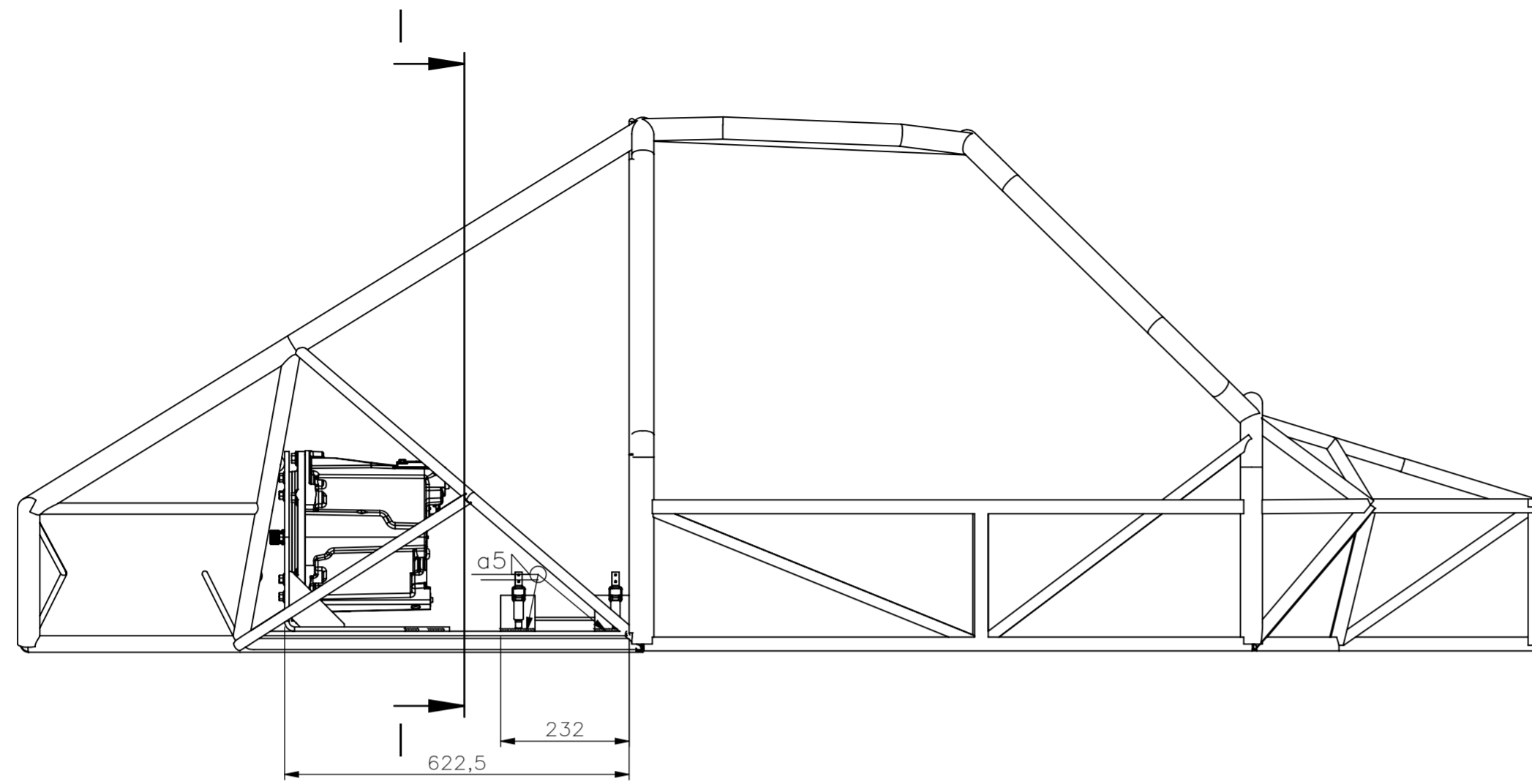
	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes Tren motriz eléctrico en un vehículo de competición	 Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona			
Comprobado	26/05/20	A.Maradona			
Aprobado	26/05/20				
Escola	Descripción		Plano de conjunto	Revisión	
1:10	Dibujo general de conjunto		Nº 1-00-000 (B)	0	
			Proyección	Sustituye a	
				Sustituido por	

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

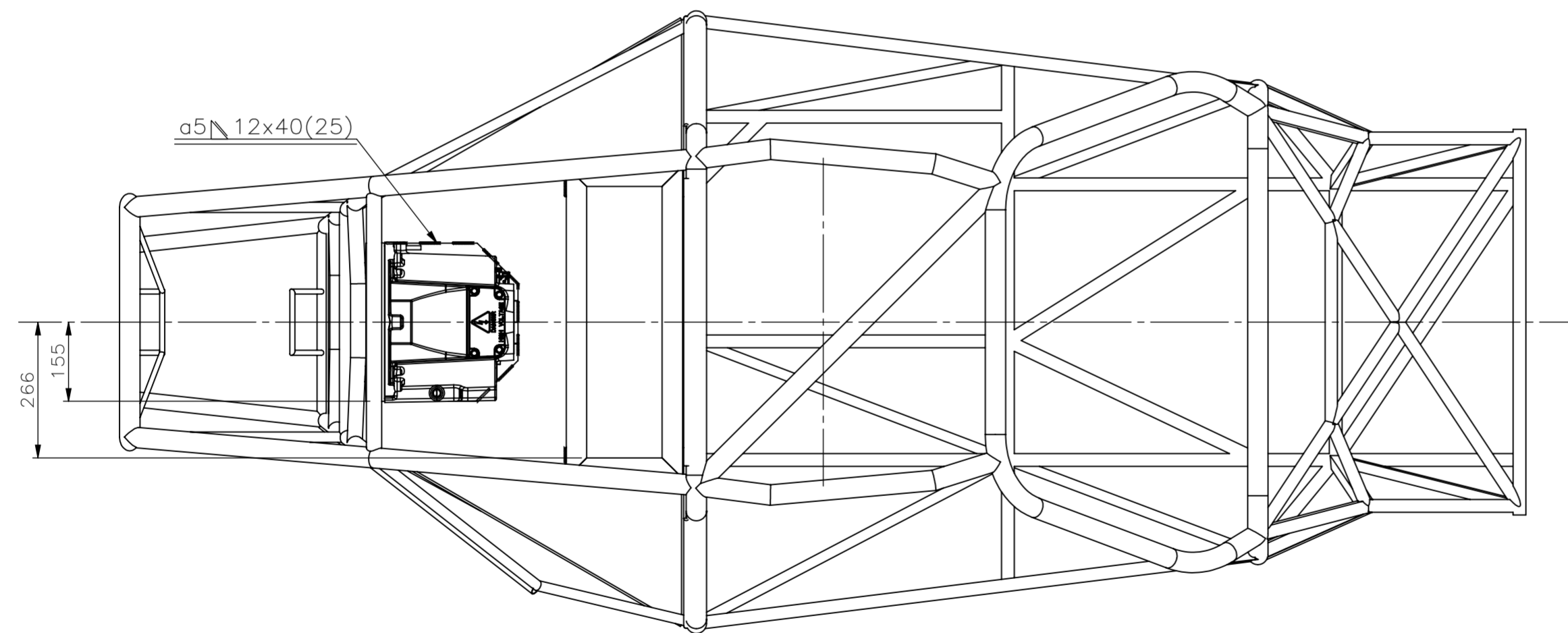
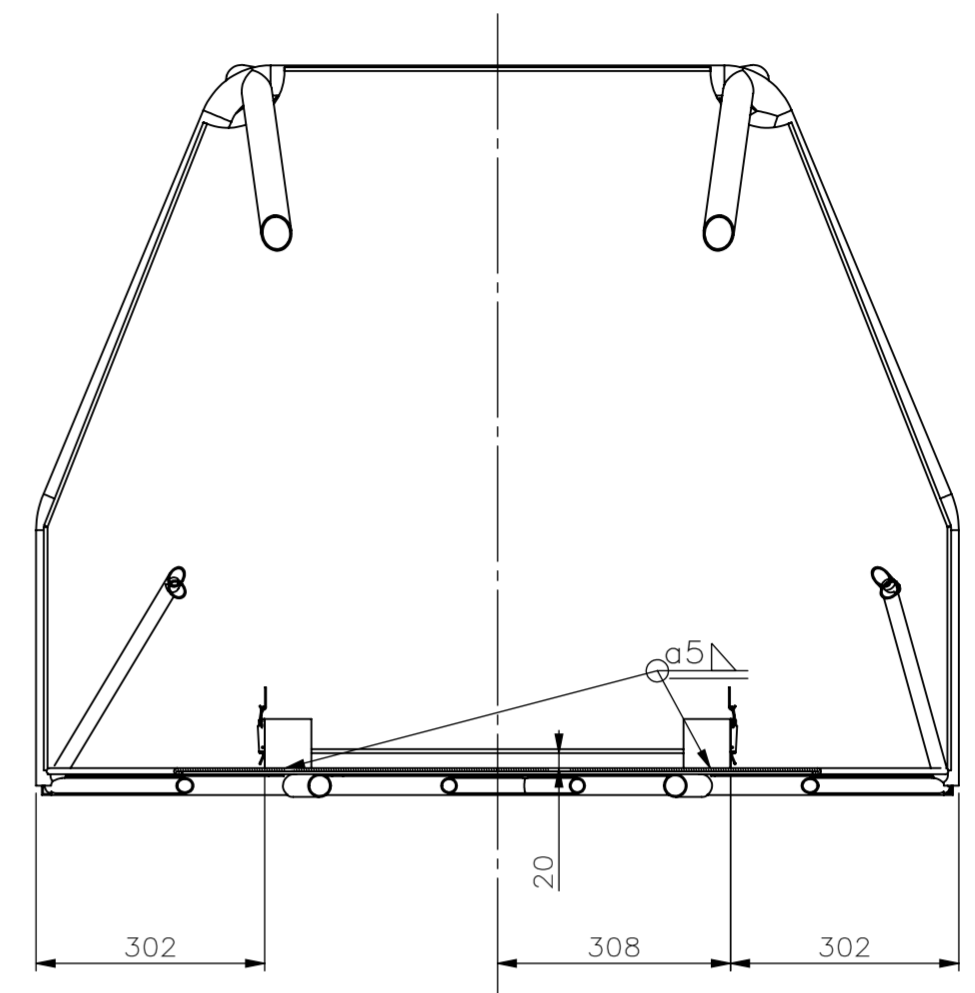


REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-


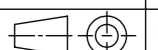
Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes		 Universidad de Oviedo
Dibujado 26/05/20	A.Maradona		Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición		
Comprobado 26/05/20	A.Maradona				
Aprobado 26/05/20					
Escola	Descripción		Plano de conjunto	Revisión	
1:10	Dibujo general de conjunto		N° 1-00-000 (C)	0	
			Proyección	Sustituye a	
				Sustituido por	

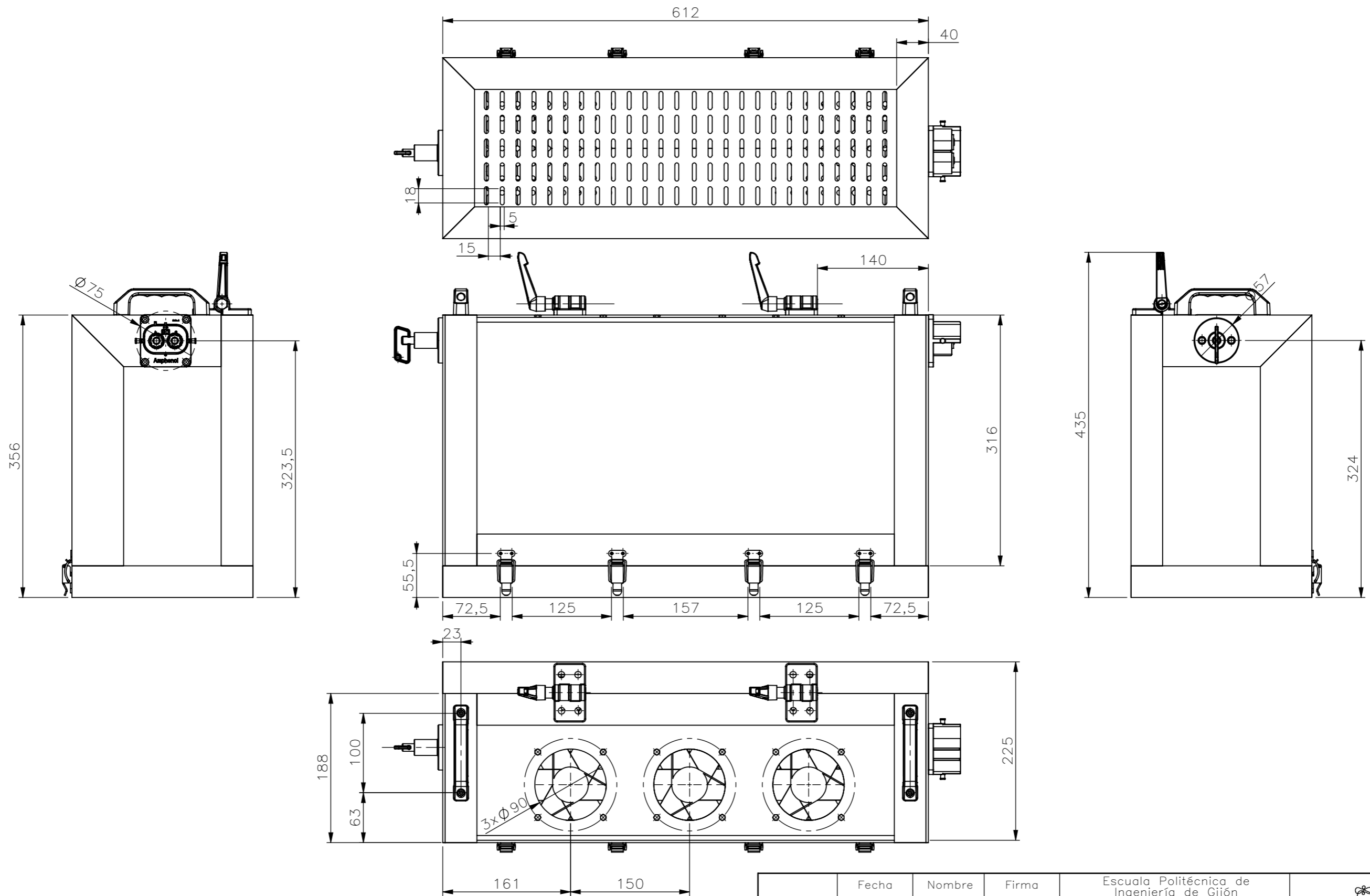


SECCIÓN I-I
ESCALA 1 : 10


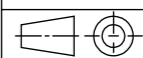


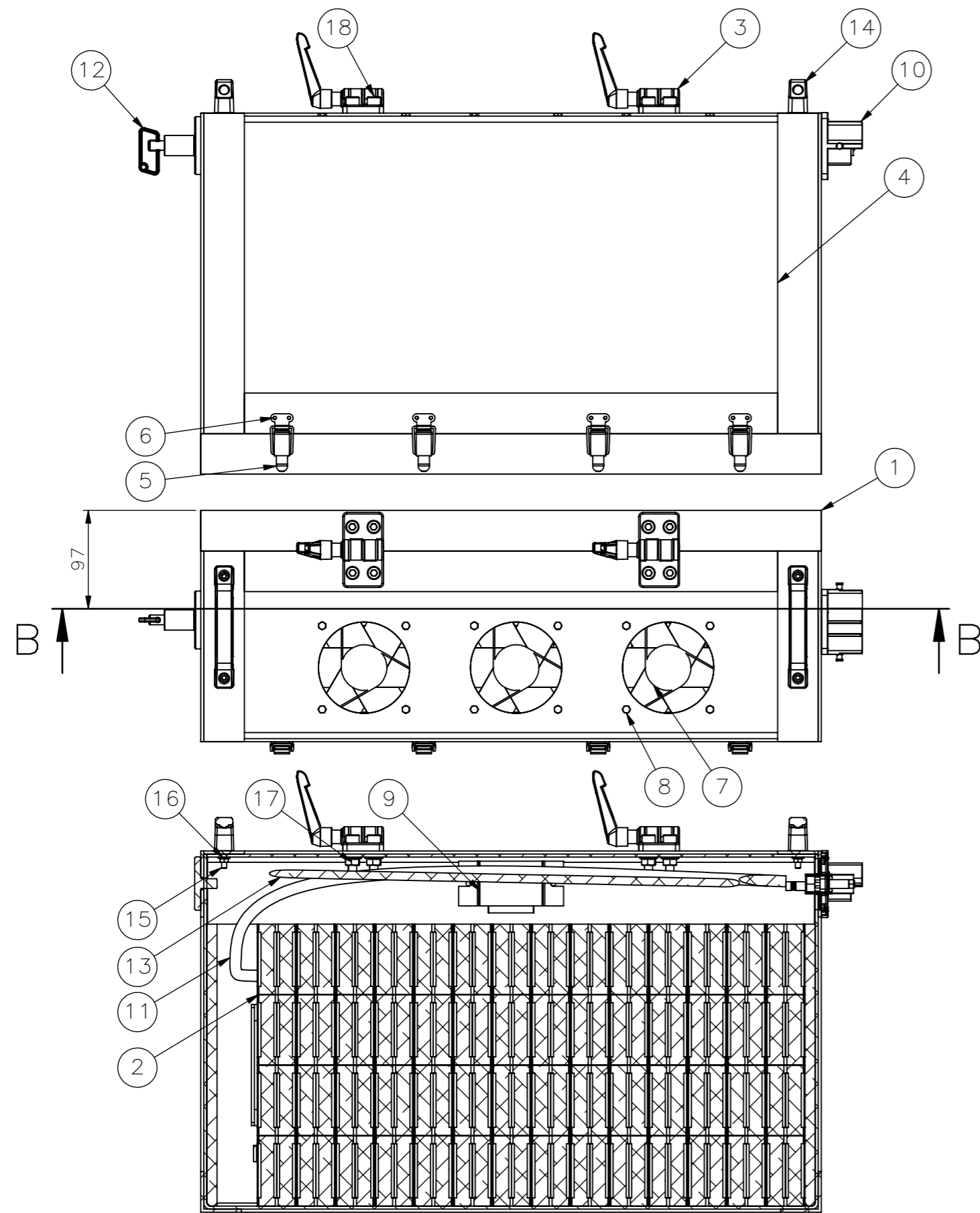
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición	 Universidad de Oviedo
	Dibujado	26/05/20	A.Maradona		
	Comprobado	26/05/20	A.Maradona		
	Aprobado	26/05/20			
Escola	Descripción			Plano de conjunto	Revisión
1:10	Conjunto elementos soldados			N° 1-00-000 (D)	0
				Proyección	Sustituye a
					Sustituido por




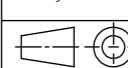
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes	 Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona			
Comprobado	26/05/20	A.Maradona			
Aprobado	26/05/20			Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición	
Escala	Descripción			Plano de conjunto	Revisión
1:5	Conjunto Pack de baterías			Nº 1-01-000 (A)	0
	- Masa total del conjunto 70 kg			Proyección	Sustituye a
	-				Sustituido por

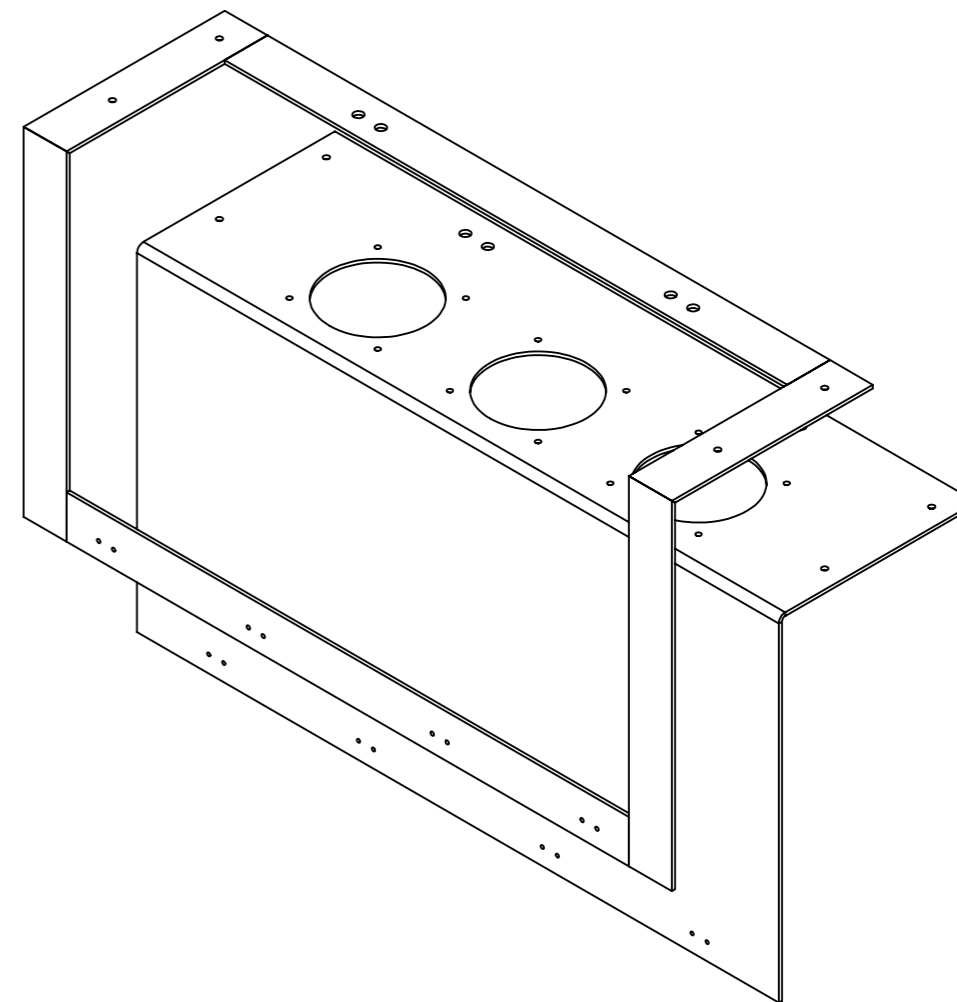
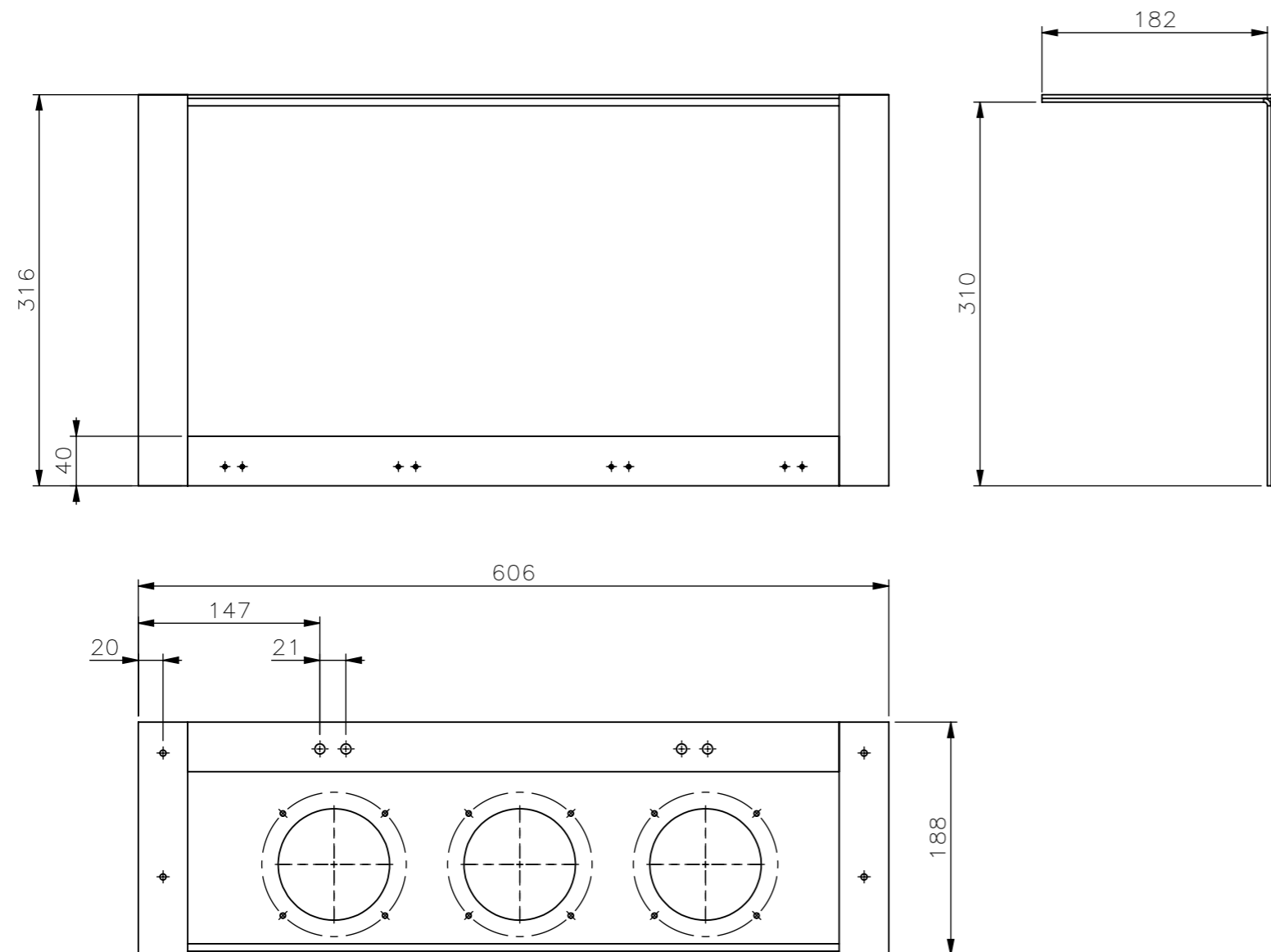


SECCIÓN B-B


18	EN ISO 4762 M8 x 30 - 30N		8
17	Hexagon Flange Nut DIN 6923 - M8 - N		8
16	Hexagon Flange Nut DIN 6923 - M5 - N		4
15	EN ISO 4762 M5 x 30 - 22N		4
14	Asa RH-RG		2
13	Conductor positivo		1
12	Battery Master Switch		1
11	Conductor negativo		1
10	Puerto de conexión		1
9	EMUS G1 Control Unit		1
8	DIN EN 24014 - M4 x 40 x 14-N		12
7	70371822		3
6	Cierre de brida gn_832		4
5	Gancho de brida gn_832		4
4	Tapa		1
3	fath_095zf4040f00s		2
2	Paquete SubEnsamblaje		1
1	Envolvente		1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

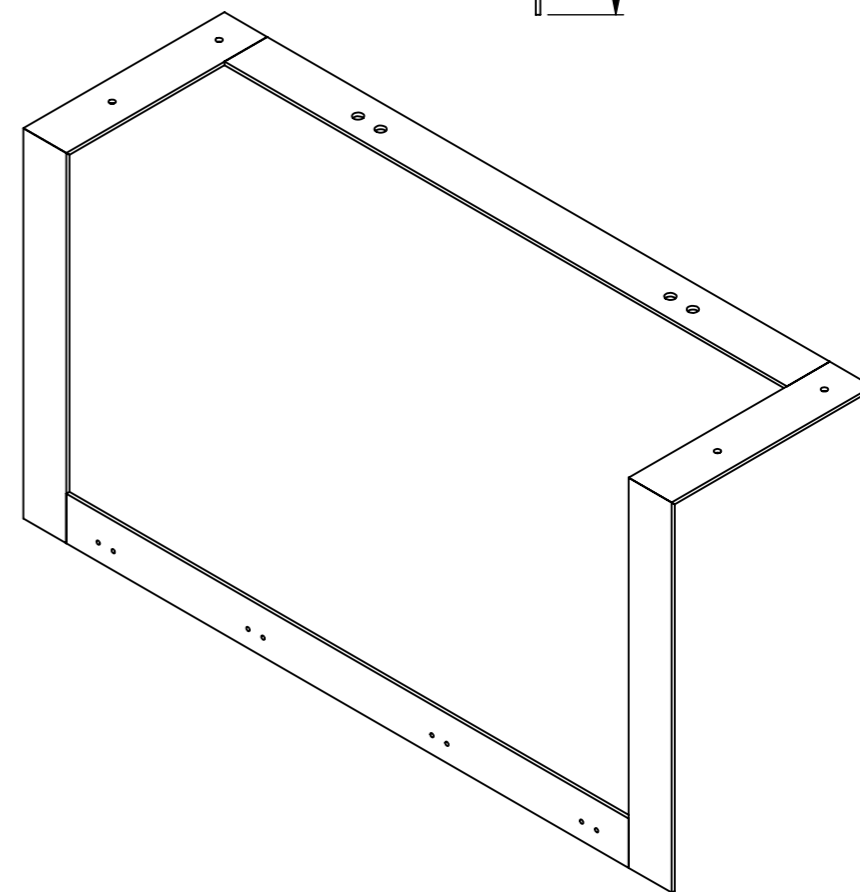
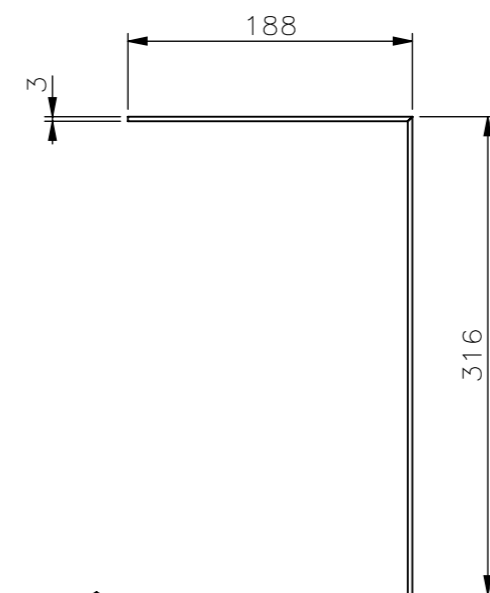
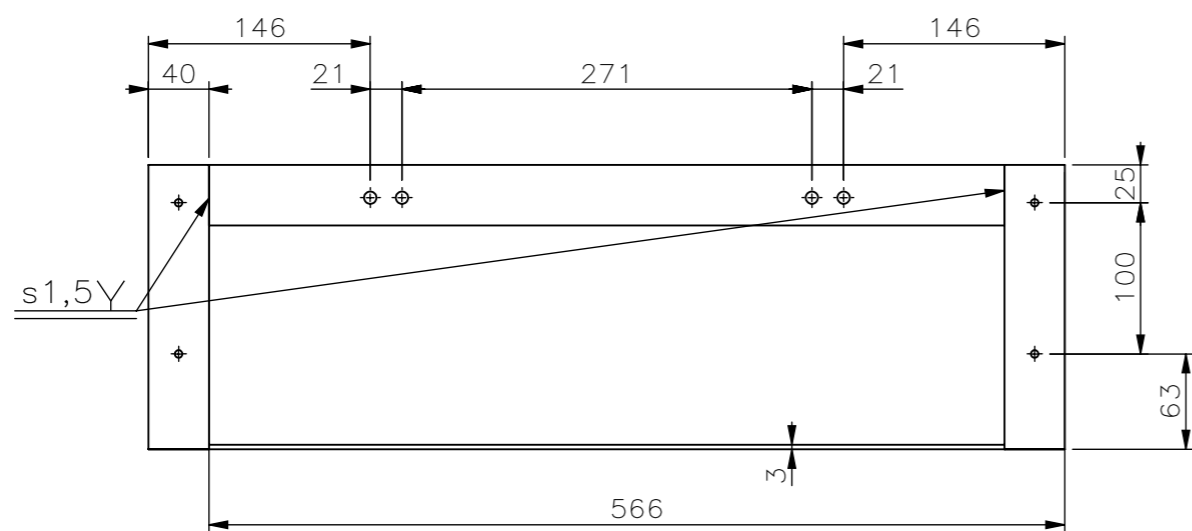
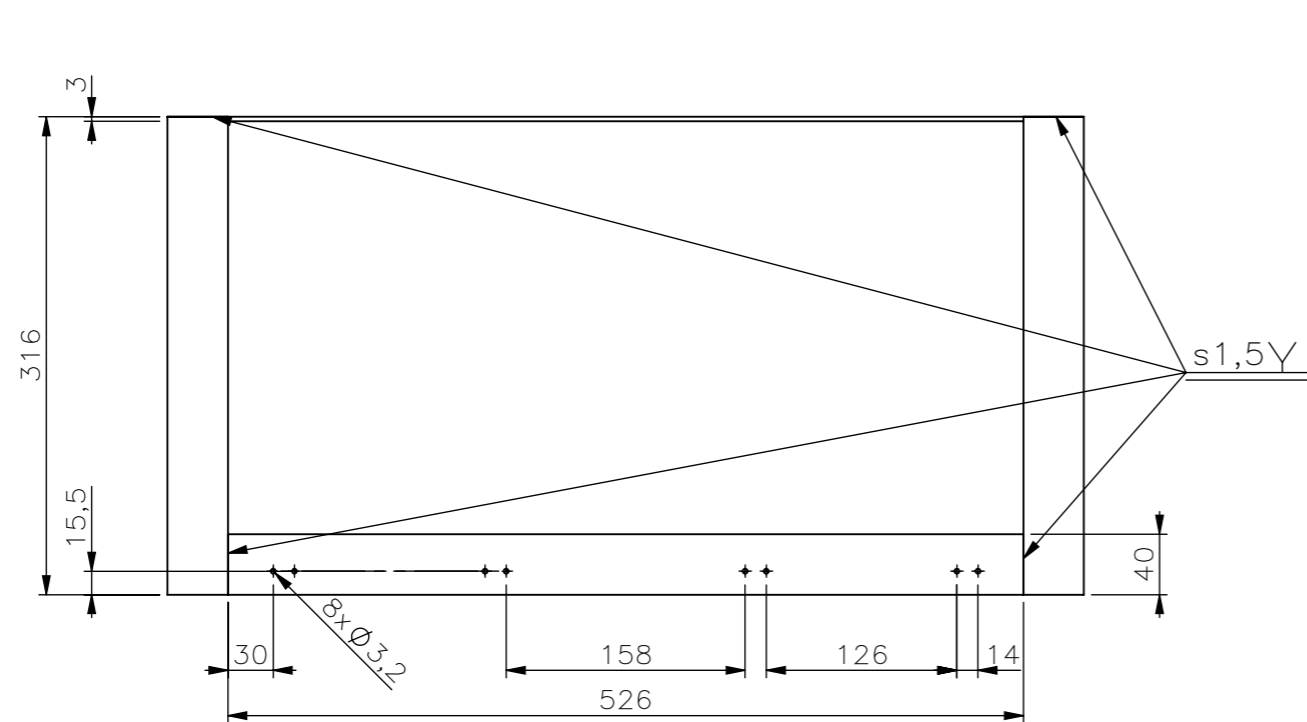
	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes	 Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona			
Comprobado	26/05/20	A.Maradona			
Aprobado	26/05/20			Tren matriz eléctrica en un vehículo de competición	
Escala	Descripción		Plano de conjunto	Revisión	
1:5	Conjunto Pack de baterías		Nº 1-01-000 (B)	0	
	- Masa total del conjunto 70 kg		Proyección	Sustituye a	
				Sustituido por	

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA



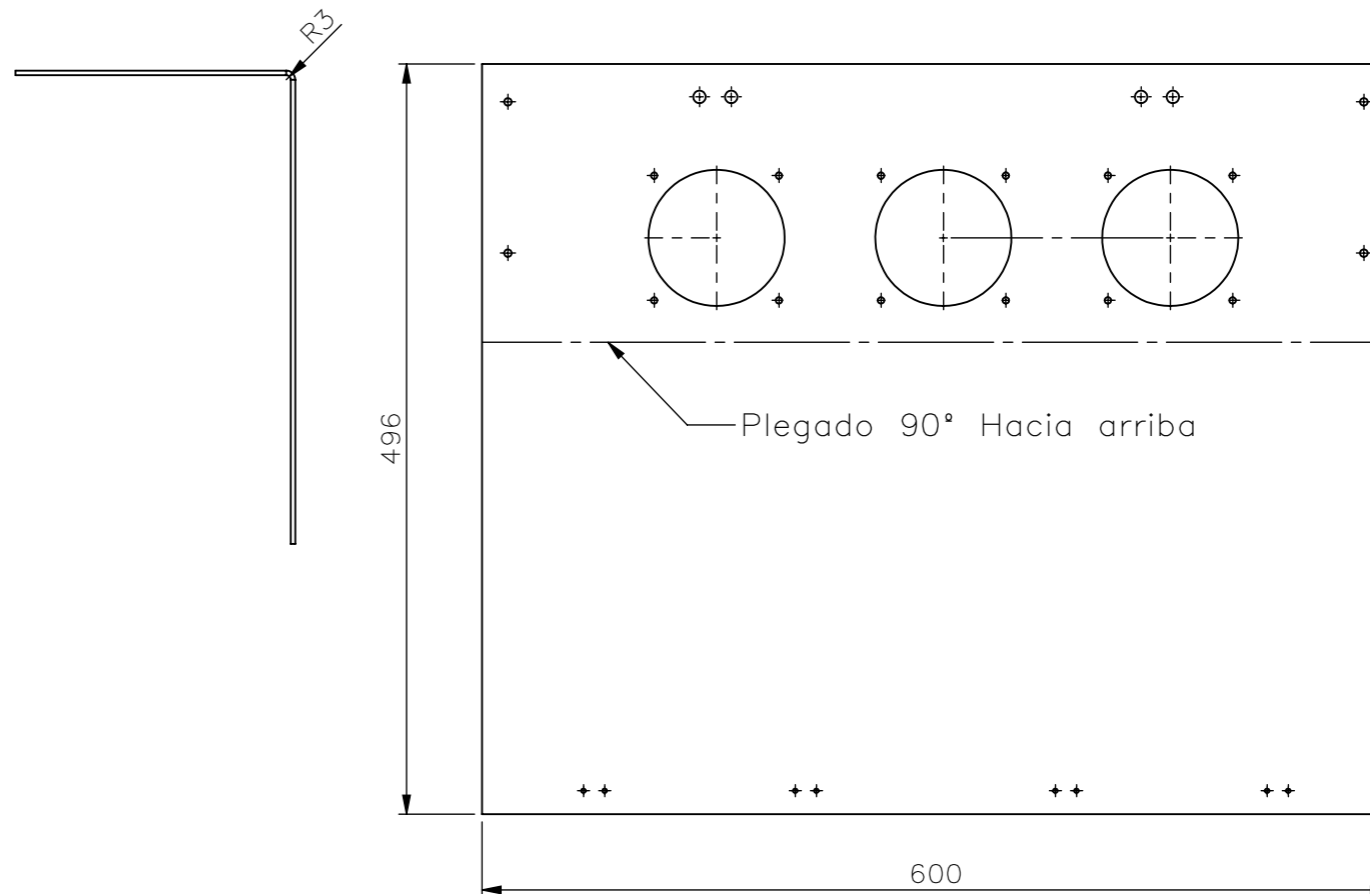
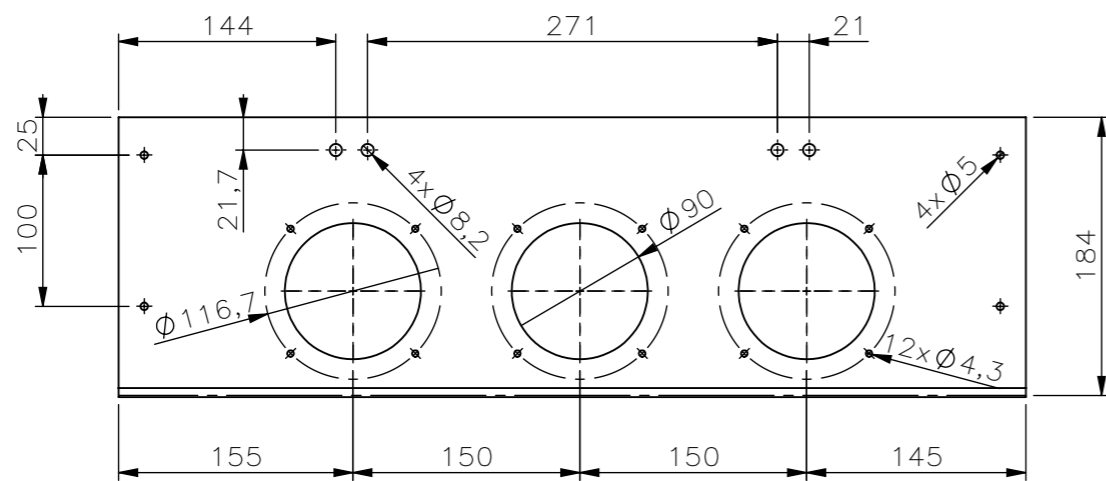
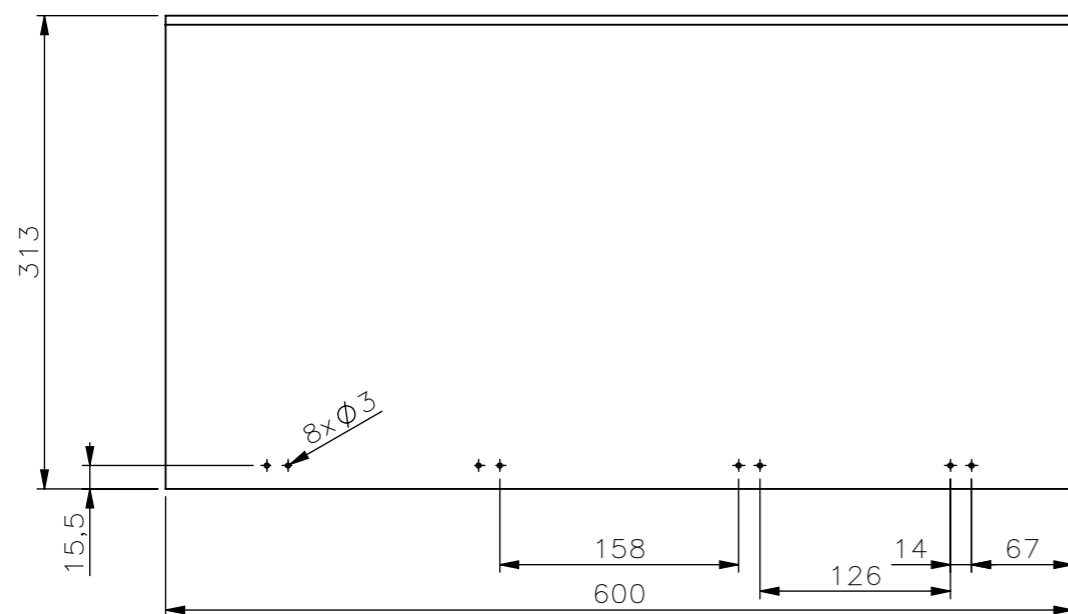
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

2	Marco Tapa		1	
1	Chapa Tapa		1	
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes  Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona		
Comprobado	26/05/20	A.Maradona		
Aprobado	26/05/20			
Escala	Descripción		Plano de conjunto	Revisión
1:5	Tapa del pack de baterías		Nº 1-01-001	0
			Proyección	Sustituye a
				Sustituido por


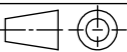


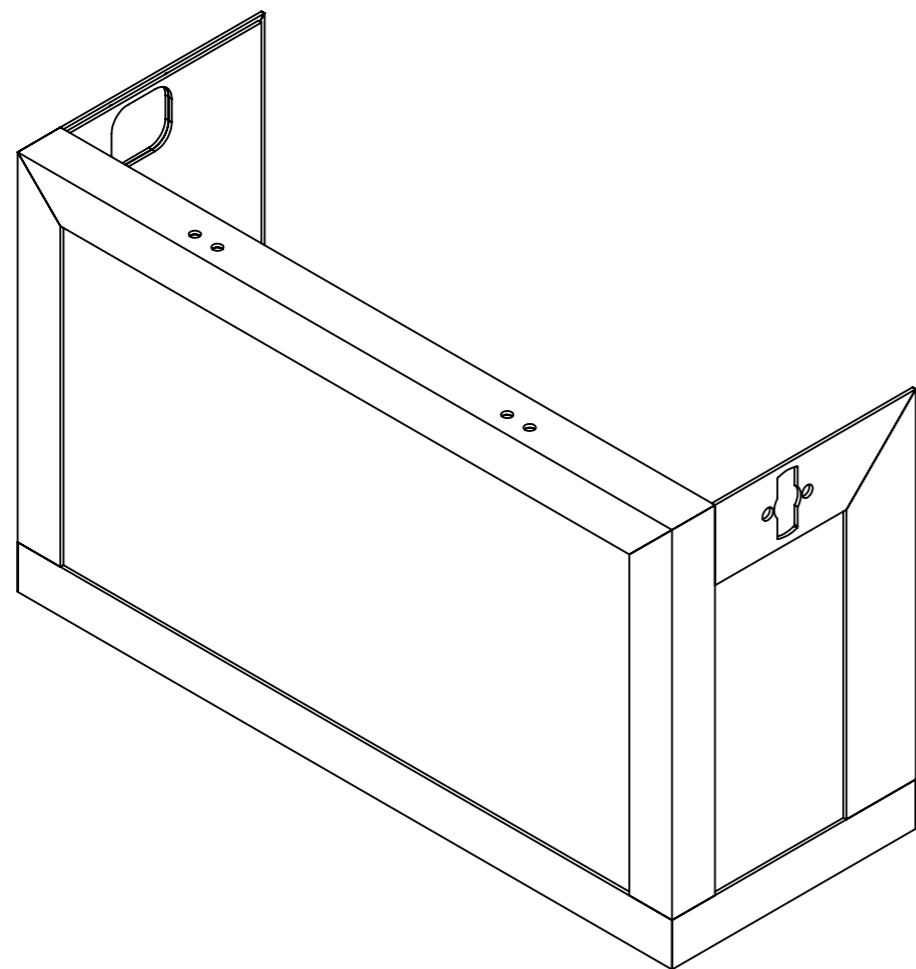
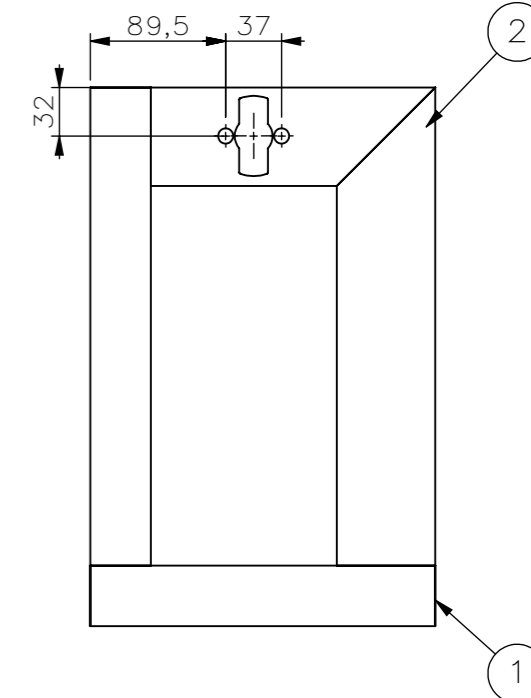
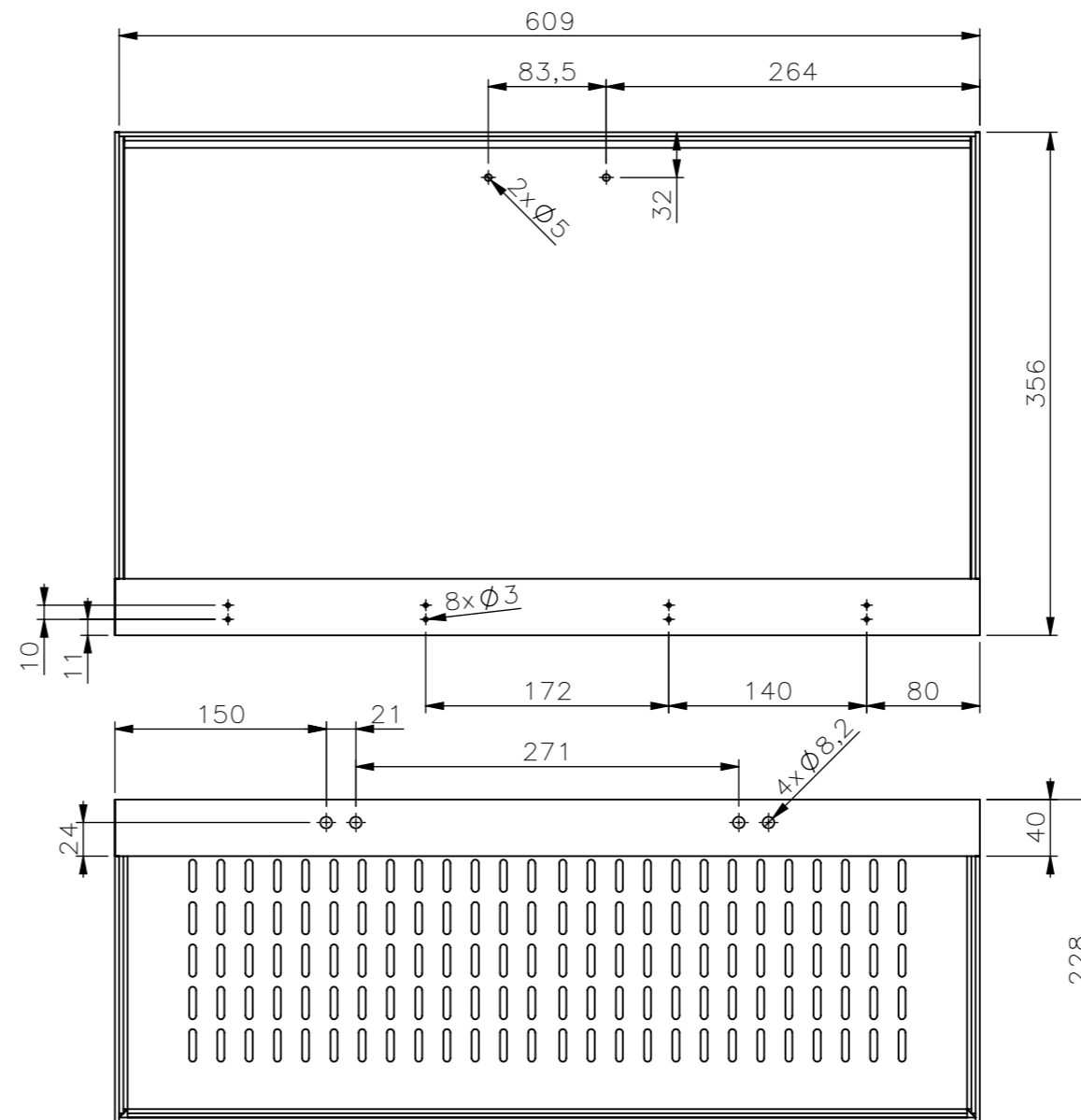
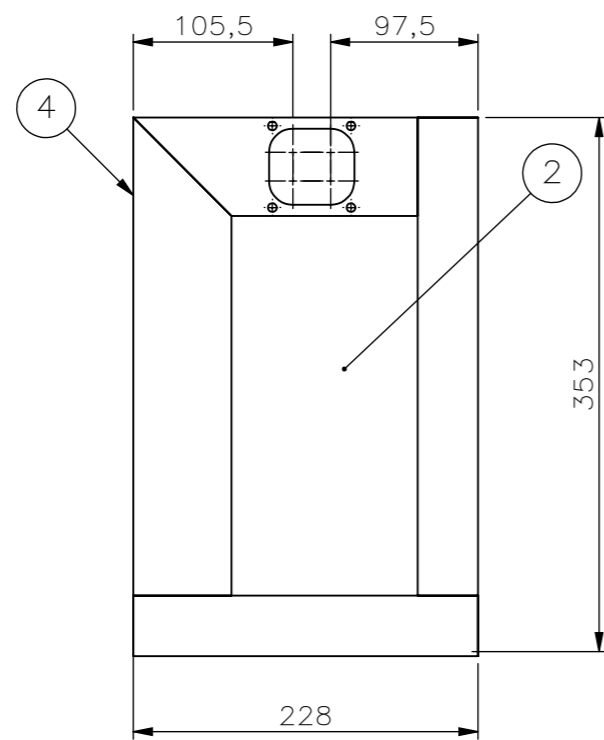
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

Fecha	Nombre	Firma	Escala		Descripción		Plano de fabricación		Revisión			
26/05/20	A.Maradona		1:5	Marco de la tapa	- Marco formado por chapa 3mm	Proyección	Sustituye a	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes				
26/05/20	A.Maradona							Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición		Nº 1-01-001_1		0
26/05/20								Universidat de Oviedo		Sustituido por		




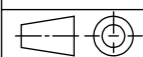
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes	 Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona			
Comprobado	26/05/20	A.Maradona			
Aprobado	26/05/20			Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición	
Escala	Descripción		Plano de fabricación		Revisión
1:5	Chapa plegada de tapa		Nº 1-01-001_2		0
	- Conformada en chapa de 3mm		Proyección	Sustituye a	
	-			Sustituido por	



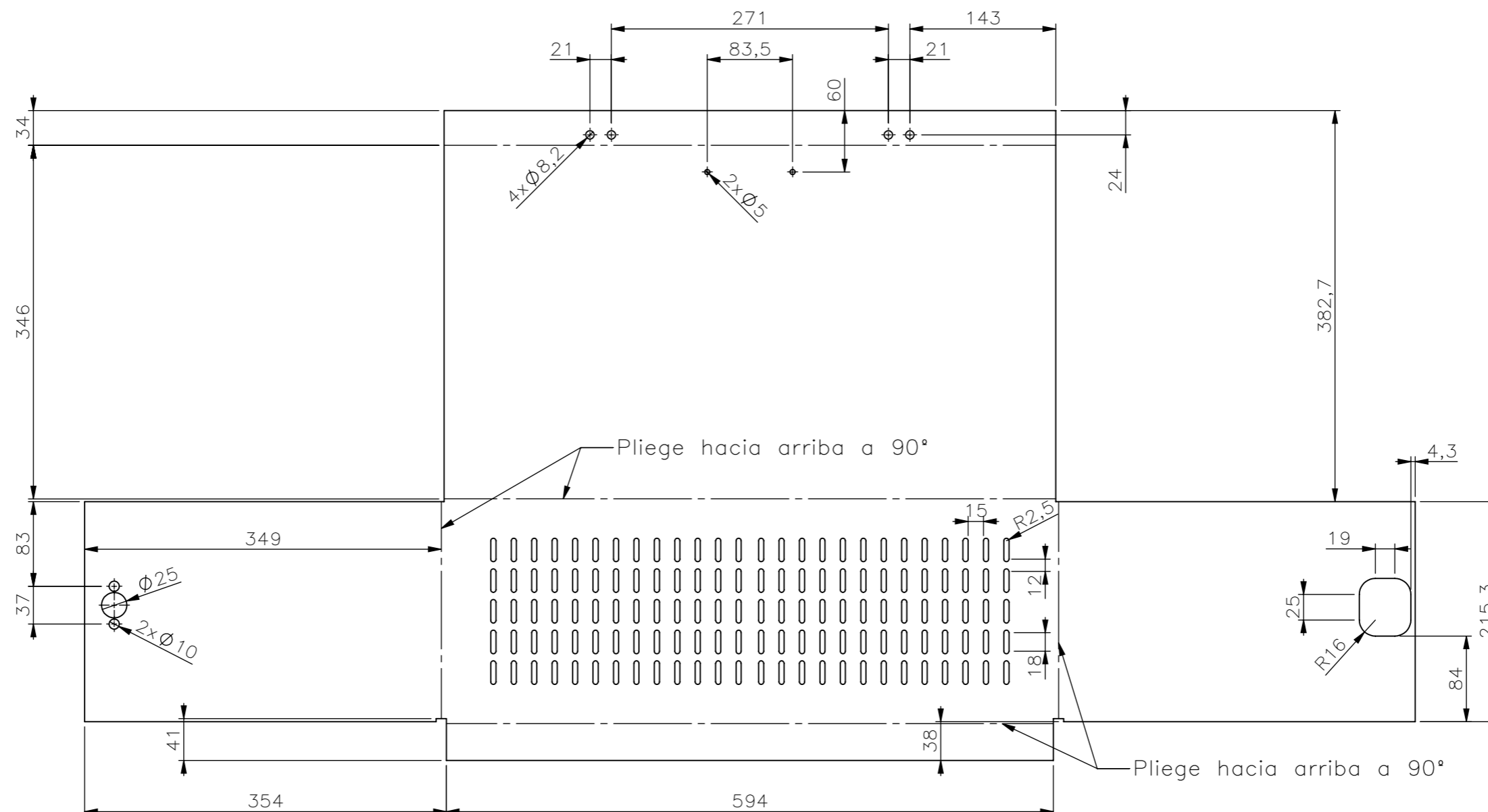
4	Marco Lateral Taladro		1
3	Marco Lateral		1
2	Cubeta		1
1	Marco Inferior		1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes	 Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona			
Comprobado	26/05/20	A.Maradona			
Aprobado	26/05/20				


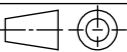
Escala	Descripción	Plano de conjunto	Revisión
1:5	Envolvente del pack	Nº 1-01-002	0
		Proyección	Sustituye a
			Sustituido por

REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA

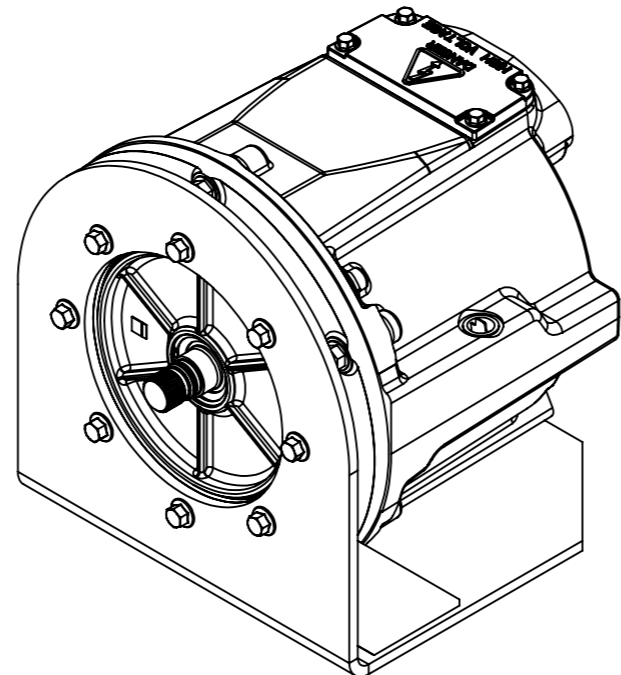
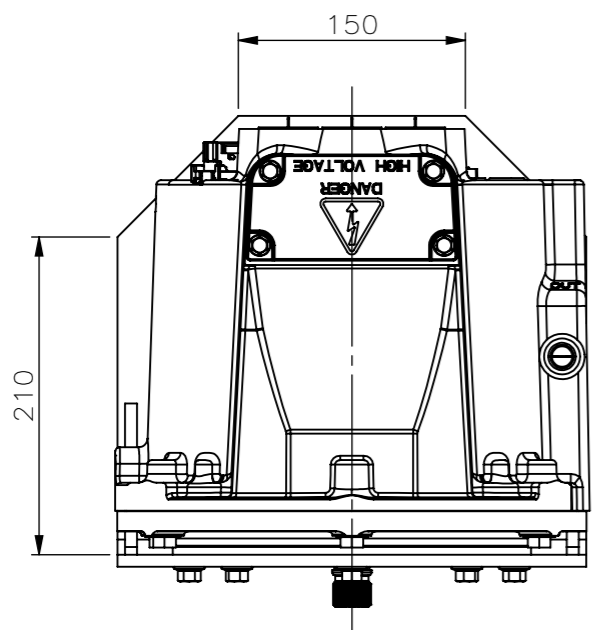
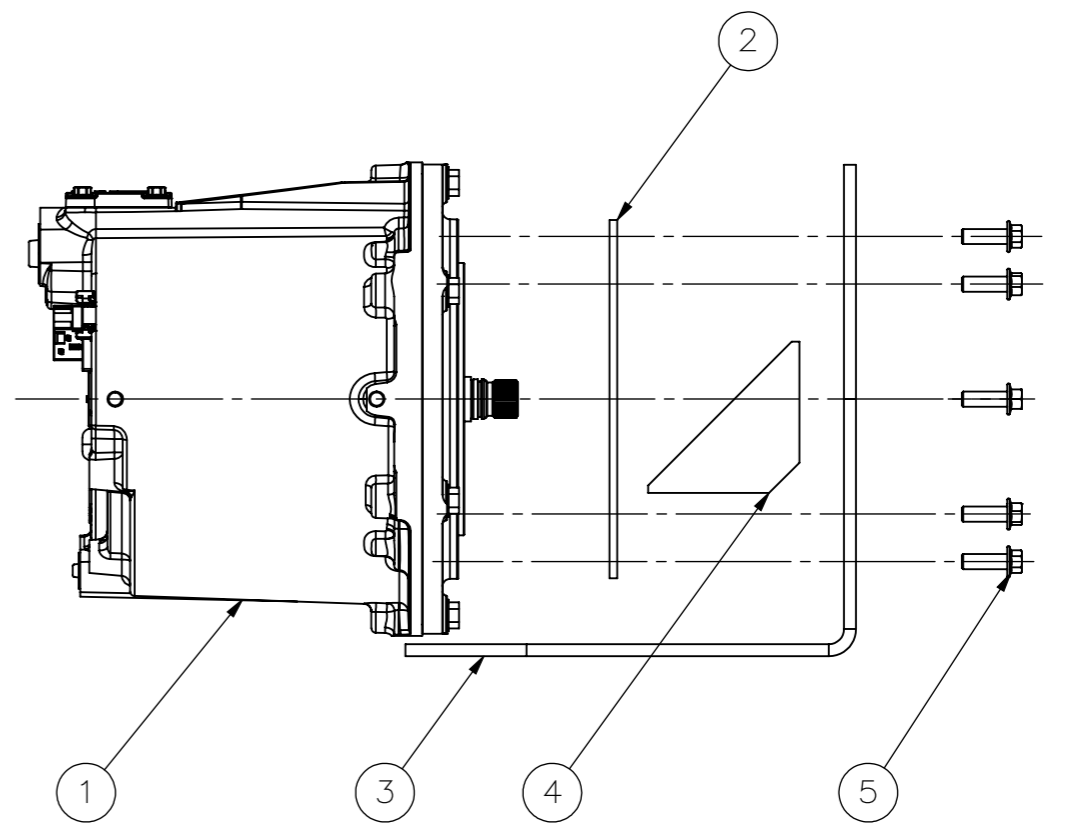
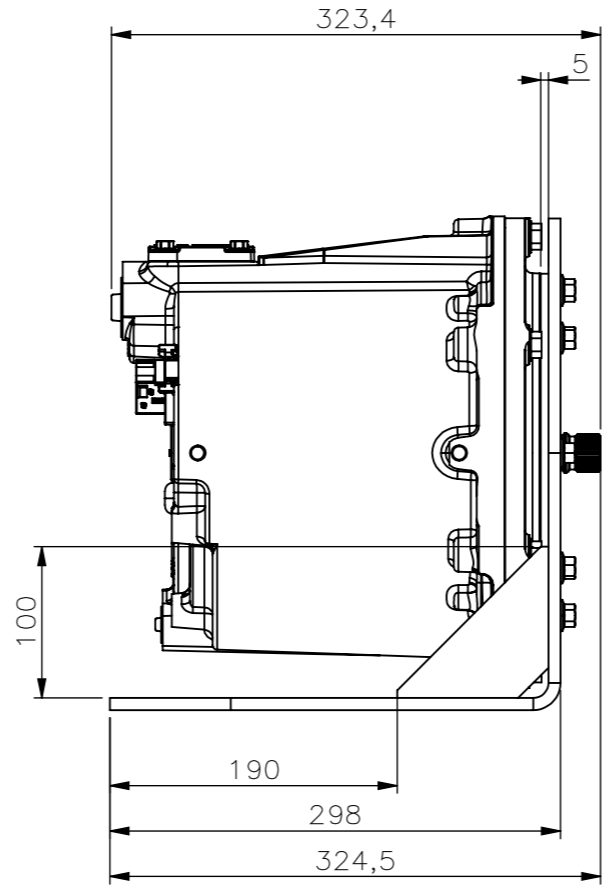
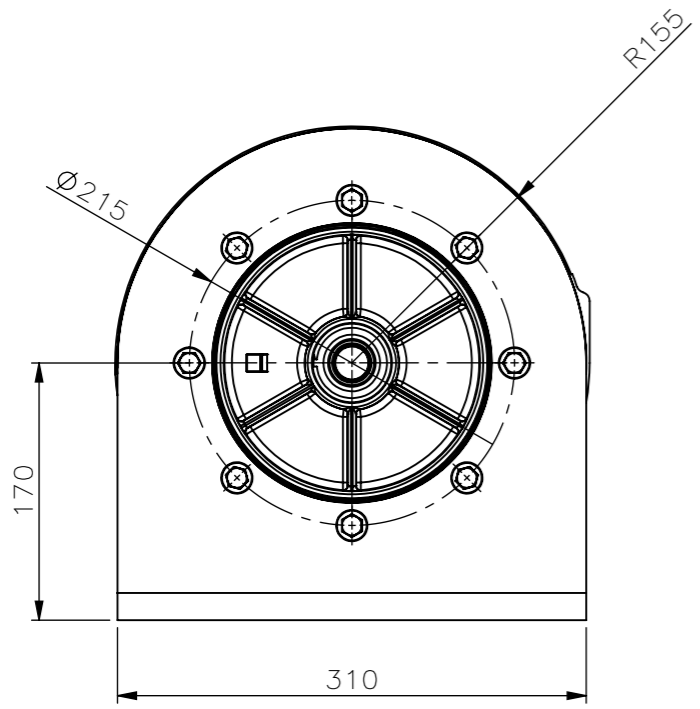





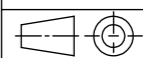
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes	 Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona			
Comprobado	26/05/20	A.Maradona			
Aprobado	26/05/20			Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición	
Escala	Descripción			Plano de fabricación	Revisión
1:5	Chapa de envolvente			Nº 1-01-002_1	0
	- Chapa plegada de 3 mm			Proyección	Sustituye a
					Sustituido por



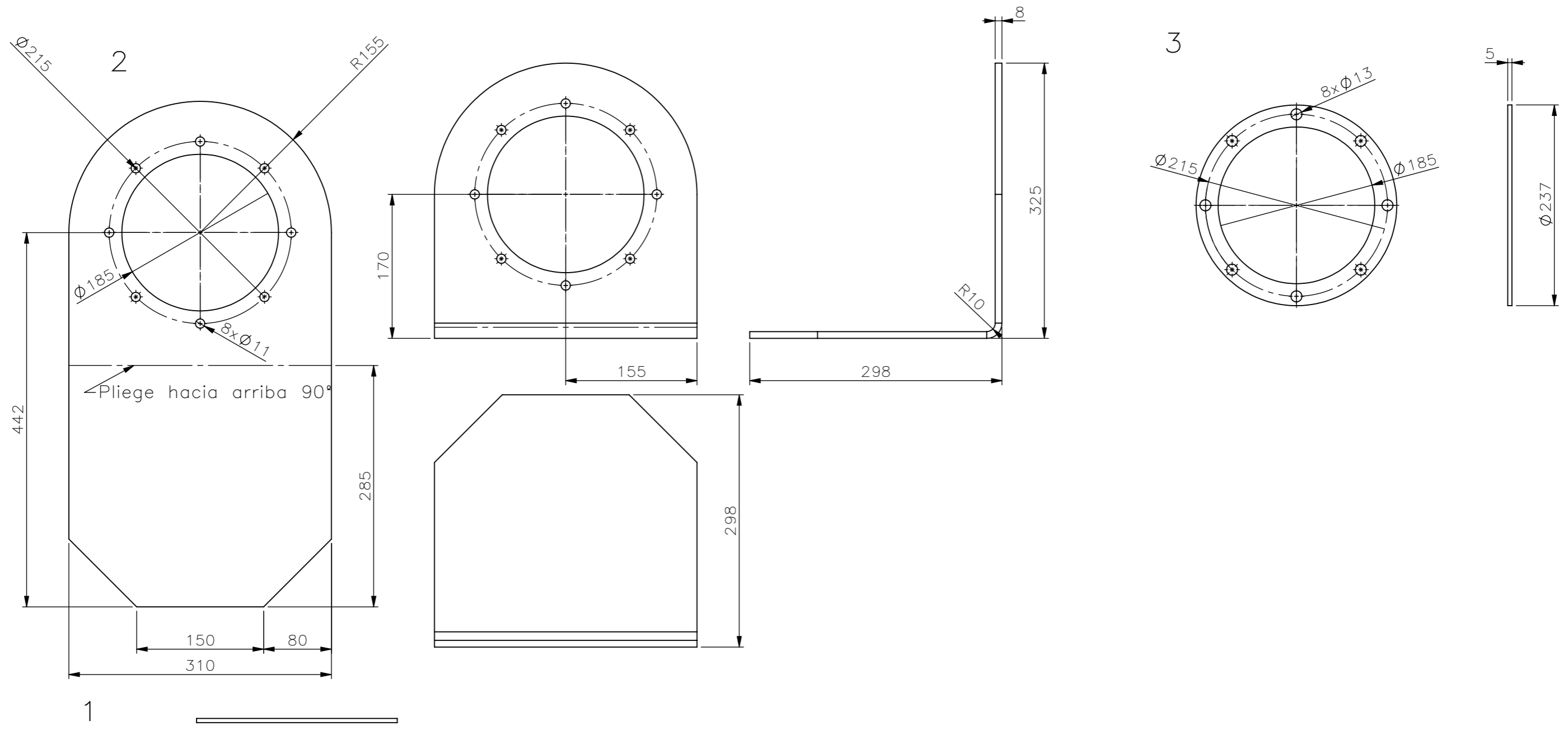


5	ISO 4162 - M10 x 30 x 30-N		8
4	Charnela		2
3	Brida Montaje		1
2	Brida Separador		1
1	HV250 Motor Eléctrico		1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

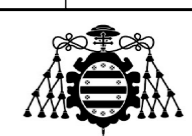
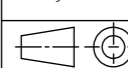
	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes	 Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona			
Comprobado	26/05/20	A.Maradona			
Aprobado	26/05/20			Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición	
Escala	Descripción		Plano de conjunto	Revisión	
1:5	Ensamblaje del motor		Nº 1-02-000(A)	0	
	Proyección	Sustituye a			
		Sustituido por			

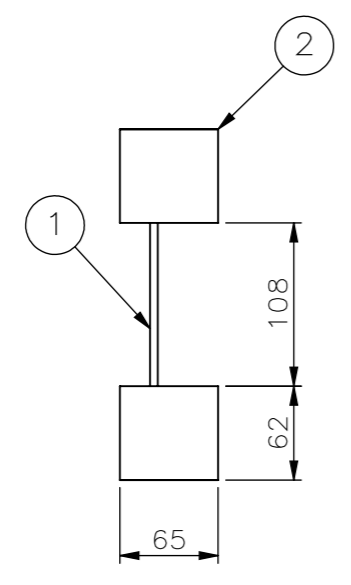
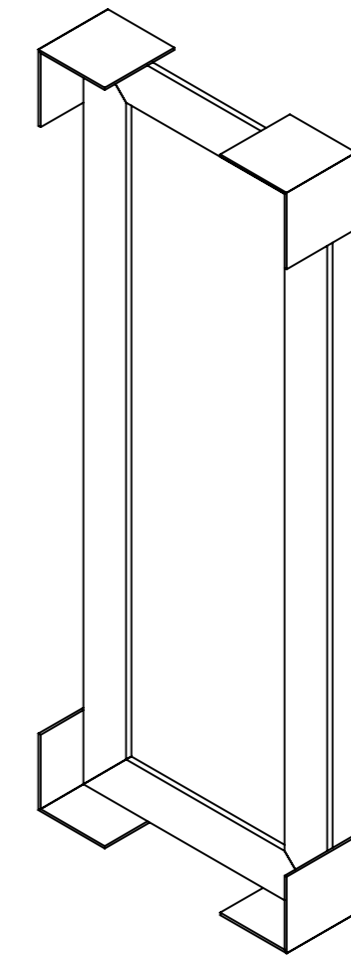
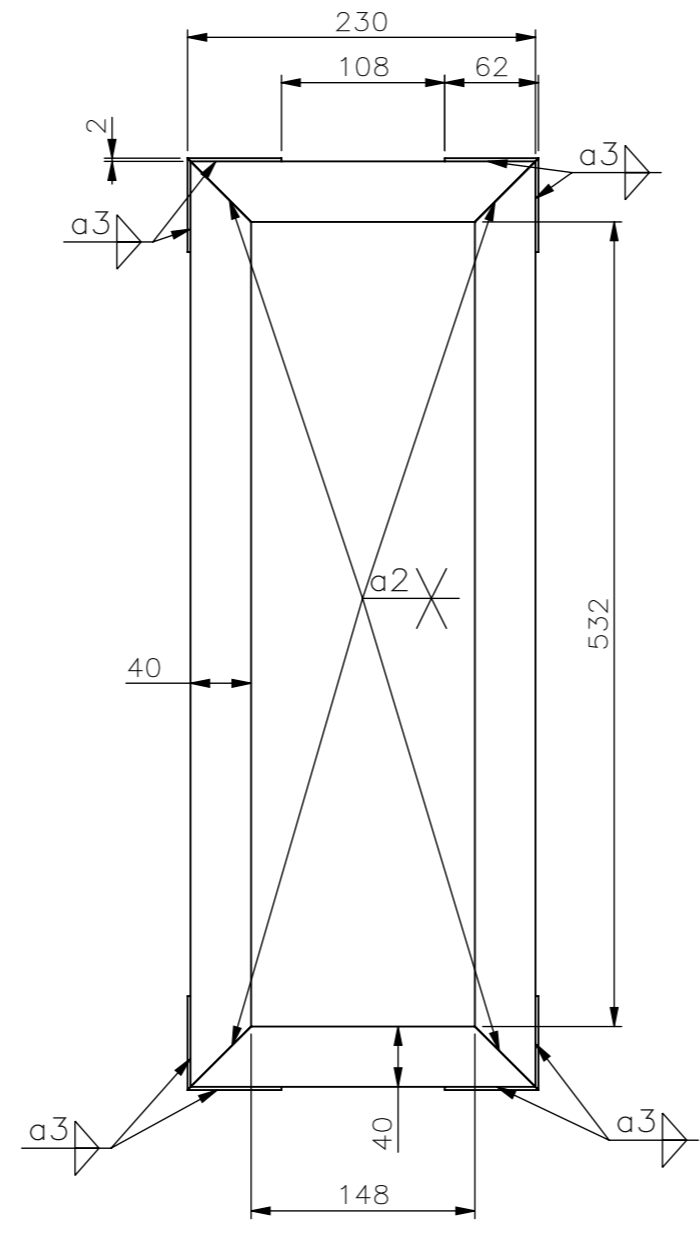
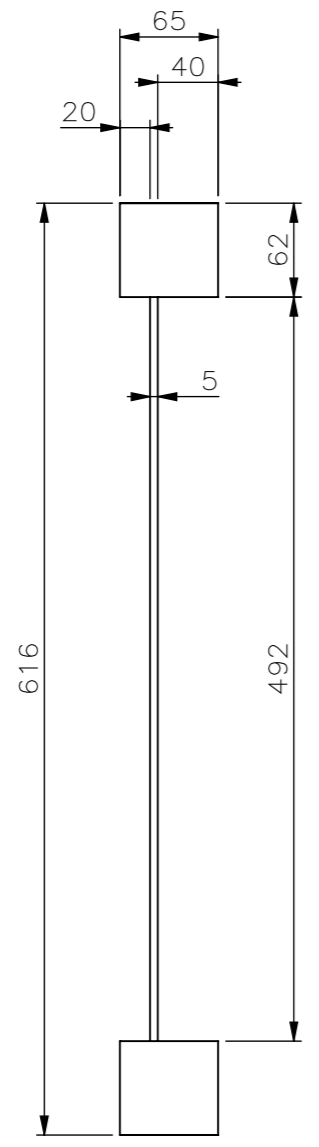
REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-




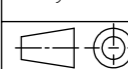


REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

3	Brida separador		1	
2	Brida de montaje		1	
1	Charnela		2	
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN		CANTIDAD
	Fecha	Nombre	Firma	Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes Tren motriz eléctrico en un vehículo de competición  Universidad de Oviedo
Dibujado	26/05/20	A.Maradona		
Comprobado	26/05/20	A.Maradona		
Aprobado	26/05/20			
Escala	Descripción		Plano de despiece	Revisión
1:5	Elementos del motor		Nº 1-02-001(A)	0
	Proyección	Sustituye a		
		Sustituido por		



REVISIÓN	DESCRIPCIÓN	NOMBRE	FECHA
-	-	-	-

2	Escuadra_Marco		4
1	Base_Marco		1
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
	Fecha	Nombre	Firma
Dibujado	26/05/20	A.Maradona	
Comprobado	26/05/20	A.Maradona	
Aprobado	26/05/20		
		Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón Área de Ingeniería e Infraestructuras de los Transportes	 Universidad de Oviedo
		Tren matriz eléctrico en un vehículo de competición	
Escala	Descripción	Plano de conjunto	Revisión
1:5	Nombre del plano/pieza	Nº 1-00-00	0
	- Notas	Proyección	Sustituye a
	-		Sustituido por