

Trabajo de Fin de Grado

**Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales**

**Caracterización del powertrain de un vehículo  
pequeño eléctrico modular de 4 ruedas:  
vehículo L6**

**MEMORIA**

**Autor:** Valentín González Gijón  
**Director:** Emilio Hernández Chiva  
**Convocatoria:** Junio 2017



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resumen

Uno de los retos de la sociedad actual es compaginar las necesidades de movilidad actual con los retos medioambientales y de salud pública que están apareciendo debido a la contaminación del aire. En el presente proyecto se trata de analizar la situación y proponer una alternativa viable que permita avanzar en la dirección adecuada. En los primeros capítulos de este informe se presenta la problemática comentada y se justifica mediante análisis de ciclo de vida que el vehículo de tracción eléctrica es una alternativa más respetuosa con el medio ambiente que los vehículos con motor de combustión.

El objetivo principal de este documento es diseñar el powertrain de un vehículo ligero de categoría L6 que pueda ser homologado y comercializado para contribuir a reducir los problemas actuales en la ciudad condal. Para llegar al resultado final, en primer lugar, se analizan las diferentes alternativas técnicas y cada uno de los componentes críticos de un powertrain eléctrico, definiendo cuál es la función de cada uno de ellos. A continuación, se definen los objetivos de rendimiento del vehículo y se hacen los cálculos pertinentes para definir las necesidades técnicas específicas.

Finalmente, mediante el uso de matrices de decisión y comparando los factores clave en cada uno de los elementos (coste, peso, eficiencia...) se propone una solución comercial para cada uno de ellos. Una vez escogida la solución, se hace un análisis de las necesidades temporales y económicas que se desprenden de ella y se analiza el impacto ambiental.

# Índice

<b>RESUMEN</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. Finalidad.....	5
1.2. Objetivos.....	5
1.3. Alcance.....	5
<b>2. CONFLICTO A RESOLVER</b>	<b>6</b>
<b>3. POWERTRAIN ELÉCTRICO</b>	<b>15</b>
3.1. Configuraciones powertrain eléctrico .....	15
3.1.1. Alternativa 1: Motor eléctrico con sistema de transmisión tradicional.....	16
3.1.2. Alternativa 2: Motor eléctrico con relación fijada de transmisión .....	17
3.1.3. Alternativa 3: Motor eléctrico con relación fijada de transmisión (versión compactada) .....	19
3.1.4. Alternativa 4: Motor eléctrico y transmisión fija por cada rueda directriz exteriores a las ruedas .....	19
3.1.5. Alternativa 5: Motor a rueda o “in-wheel”. Con o sin transmisión fija.....	21
3.2. Componentes powertrain eléctrico.....	22
3.2.1. Motor.....	23
3.2.1.1. Motores DC (sin conmutación).....	25
3.2.1.2. Motores AC de inducción o asíncrono.....	26
3.2.1.3. Motor AC síncrono .....	27
3.2.1.4. Motor brushless de imanes permanentes .....	29
3.2.1.5. Motor síncrono de reluctancia variable.....	29
3.2.2. Baterías.....	30
3.2.3. Convertidores de potencia .....	33
3.2.4. Control electrónico/Battery Management System .....	37
<b>4. DEFINICIÓN DETALLADA DEL OBJETIVO</b>	<b>39</b>

<b>5. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS</b>	<b>42</b>
5.1. Cálculo potencia necesaria motor.....	43
5.2. Dimensionamiento baterías .....	46
<b>6. RESULTADOS</b>	<b>48</b>
6.1. Configuración powertrain eléctrico.....	48
6.2. Selección de componentes powertrain.....	49
6.2.1. Motor/Controlador motor .....	49
6.2.2. Baterías .....	52
6.2.3. Convertidores de potencia .....	54
6.2.4. Battery management system .....	56
<b>7. PRESUPUESTO</b>	<b>57</b>
<b>8. TEMPORIZACIÓN</b>	<b>60</b>
<b>9. IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>64</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>66</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>72</b>
Anexo 1: Morgan E+.....	72
Anexo 2: Quimera All Electric GT.....	73
Anexo 3: Powertrain Nissan Leaf .....	74
Anexo 3: Powertrain Chevrolet Volt .....	75
Anexo 4: Reglamentación homologación vehículos tipo L.....	76
Anexo 5: Renault Twizy.....	89
Anexo 6: Especificaciones técnicas motores in-wheel.....	91
Anexo 7: Especificaciones técnicas controlador motor.....	98
Anexo 9: Especificaciones técnicas baterías .....	101
Anexo 10: Especificaciones técnicas conversor DC/DC.....	104
Anexo 11: Especificaciones técnicas BMS .....	109

# 1. Introducción

## 1.1. Finalidad

La finalidad de este proyecto es hacer un estudio de los actuales problemas de movilidad en las grandes urbes europeas y en especial en Barcelona y presentar una alternativa de movilidad privada a las actuales.

## 1.2. Objetivos

El objetivo principal de este proyecto es la caracterización del powertrain de un cuadríciclo ligero eléctrico. Se hará un estudio de las alternativas actuales en el mercado y, partiendo de las especificaciones dadas por un diseño preestablecido, se escogerá la mejor alternativa posible en cuanto a coste y prestaciones. La solución, en la medida de lo posible, debe ser fácilmente industrializable y debe dar lugar a un vehículo homologable según la legislación europea (según el estándar L6e).

## 1.3. Alcance

El presente proyecto tiene como alcance todos aquellos vehículos de cuatro ruedas con tracción delantera a 2 ruedas y de la categoría L6 de homologación.

## 2. Conflicto a resolver

España y en especial Catalunya son territorios donde históricamente el sector de la automoción ha tenido un peso importante y ha despertado interés sobre su población. Una de las motivaciones que me impulsó a cursar el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales fue en un futuro poder desarrollarme profesionalmente en el campo de la automoción y la movilidad.

Como futuro ingeniero industrial, este proyecto es una buena oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos en el Grado para encontrar soluciones a los retos a los que la sociedad actual, y en concreto, mi ciudad, Barcelona, se enfrenta en el futuro más inmediato.

Así pues, en este documento pretendo analizar el problema inminente que se presenta en las urbes europeas por el exceso de vehículos con motor de combustión y las grandes cantidades de contaminantes que emiten. En la actualidad ya se están planteando diferentes alternativas y está claro que un nuevo paradigma tanto técnico como legal será establecido en los años venideros.

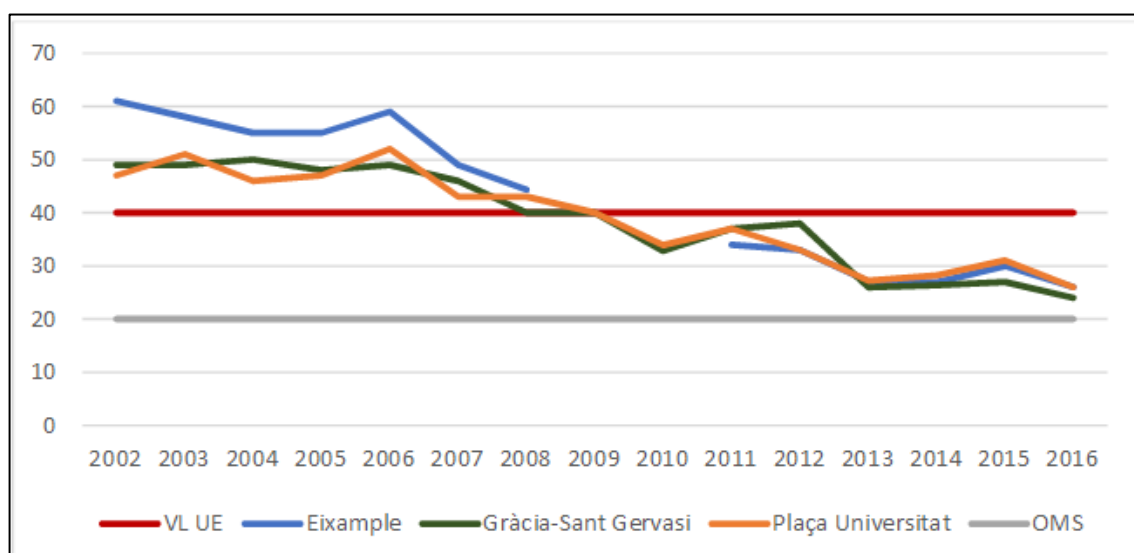
Dado este hecho, en los últimos tiempos ha empezado a cobrar importancia en la sociedad el debate de la movilidad sostenible, del próximo fin de los combustibles fósiles, y, en especial, de la calidad del aire y la contaminación en las ciudades. Barcelona no es ajena a esta realidad, y en los últimos meses los medios de comunicación se han hecho eco de la polémica que genera el futuro de la movilidad en la ciudad. Parte de la polémica surge a raíz de las hipotéticas restricciones para vehículos con motores de combustión que ya se aplican en algunas ciudades, apareciendo titulares en prensa como *“Barcelona restringirá la circulación de vehículos contaminantes en 2020”* (Guerrero, 2016) o *“Aprobado el veto a los coches más contaminantes en días de alta polución en Barcelona”* (Cabeza, 2017).

Como se ha comentado, uno de los principales factores para el cambio de las regulaciones respecto a la movilidad es la emisión de elementos contaminantes por parte del parque automovilístico actual. En los años 90, la política ambiental dominante en la UE llevó a apostar por los vehículos que emitían menos CO<sub>2</sub>, los diésel, olvidando que este tipo de automóviles emitían más cantidades de otro tipo de contaminantes que también son perjudiciales para la

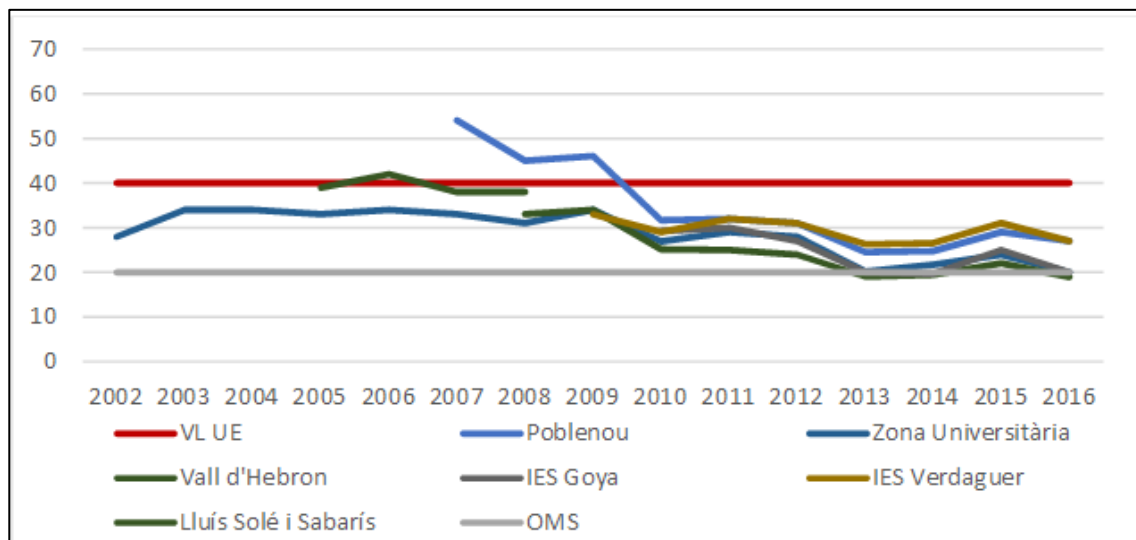
salud humana: CO (monóxido de carbono), VOCs (compuestos orgánicos volátiles), NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrógeno) y sobre todo, PM (partículas en suspensión) (Zhang & Batterman, 2014). En los últimos meses, tras el episodio del “*Volkswagen gate*” (“Volkswagen trucó sus coches para evitar los límites a las emisiones” (Pozzi, 2015)) que descubrió cómo diversas marcas de coches creaban mecanismos para saltarse las regulaciones ambientales, las autoridades se han empezado a cuestionar si los métodos de evaluación son los más adecuados y si el paradigma actual de la automoción es sostenible.

En esta línea, a nivel local, organizaciones como l’*Agència de Salut Pública de Barcelona* hacen anualmente un seguimiento de los indicadores de contaminación y su evolución. En el último informe, se pueden leer extractos como los siguientes:

- “En el período 2000-2016 los contaminantes NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> superan los valores de referencia de la OMS, evidenciando una exposición potencial a concentraciones que afectan a la salud” (Agencia de Salud Pública de Barcelona, 2016)
- “Los indicadores de la OMS se superan 1 de cada 3 días y los de la UE 1 de cada 14”. (Agencia de Salud Pública de Barcelona, 2016)
- “Más del 95% de la población se ve expuesta anualmente a concentraciones de PM superiores a los valores recomendados por la OMS. Un 68% se ve expuesta a valores por encima de los recomendados de NO<sub>2</sub>.” (Agencia de Salud Pública de Barcelona, 2016)



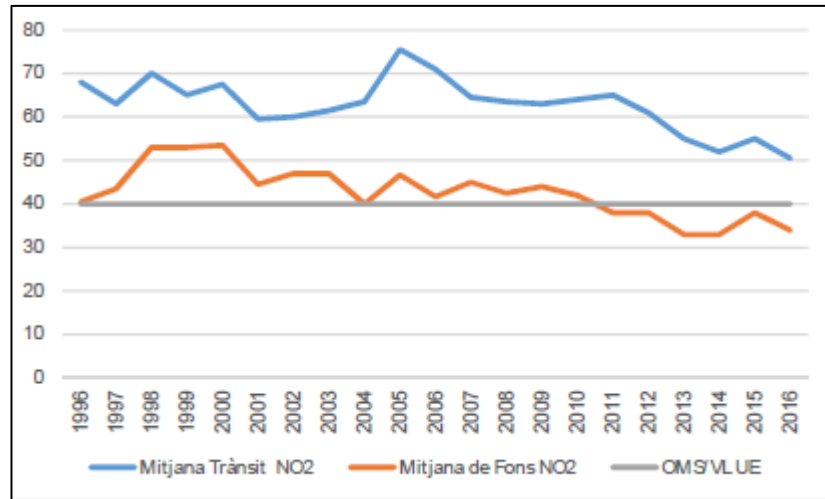
**Figura 2.1.** Evolución de la cantidad de PM<sub>10</sub> en las estaciones de medición de Barcelona donde el tráfico es intenso. (Agencia de Salut Pública de Barcelona, 2016)



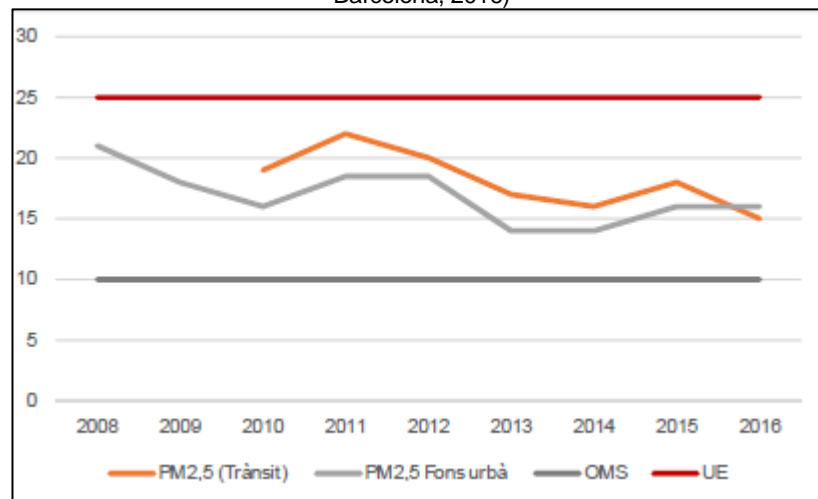
**Figura 2.2.** Evolución de la cantidad de PM<sub>10</sub> en las estaciones de medición de Barcelona donde el tráfico es bajo. (Agencia de Salut Pública de Barcelona, 2016)

En las Figuras 2.1 y 2.2, se puede observar como en los últimos 16 años se ha estado prácticamente siempre por encima de los valores recomendados por la OMS (línea gris), y en ocasiones por encima de los límites que marca la UE (línea roja), para los contaminantes PM<sub>10</sub>. El hecho de que los valores sean superiores a los límites incluso en las estaciones donde el tráfico es bajo indica que el problema se está cronificando y que requerirá acciones a largo plazo para reducirlo, pues la reducción de las emisiones por parte del tráfico rodado no permitirá reducir las concentraciones en un período corto. Este análisis es extrapolable al resto de contaminantes más críticos como las PM<sub>2,5</sub> o el NO<sub>2</sub> tal como se puede ver en las Figuras 2.3 y 2.4.





**Figura 2.3.** Evolución de la cantidad de NO<sub>2</sub> en las estaciones de medición de Barcelona. “Fons” son las estaciones con poco tráfico, y “Trànsit” las que tienen un tráfico elevado. (Agencia de Salut Pública de Barcelona, 2016)



**Figura 2.4.** Evolución de la cantidad de PM<sub>2,5</sub> en las estaciones de medición de Barcelona. “Fons” son las estaciones con poco tráfico, y “Trànsit” las que tienen un tráfico elevado. (Agencia de Salut Pública de Barcelona, 2016)

Es importante también cuantificar monetariamente cual es el coste para los habitantes de la ciudad condal de esta situación anómala. En la figura 2.5 podemos observar que, según estudios realizados en 2007, llegando a cumplir los objetivos de la OMS podría existir un beneficio medio de 740 € per cápita para la ciudad. En este beneficio se computan la reducción de muertes y de enfermedades cardiorrespiratorias directamente relacionadas con la polución.

Beneficios para la salud	Reducción media anual de PM10 hasta 20 µg /m <sup>3</sup>			Reducción media anual de PM10 hasta 40 µg /m <sup>3</sup>		
	Beneficios para la salud (IC del 95%)	Beneficios monetizados por año		Beneficios para la salud (IC del 95%)	Beneficios monetizados por año	
<b>Mortalidad</b>						
Ganancia en años de vida	22.100 (13.700-30.700)	2.000 (1.200-2.700)	Mil. Euros	8.200 (4.900-11.500)	730 (440-1.000)	Mil. Euros
<b>Morbidez</b>						
Ingresos hospitalarios	1.800 (950-2.600)	3,7 (2,0-5,4)	Mil. Euros	600 (320-890)	1,3 (0,7-1,8)	Mil. Euros
Bronquitis crónica en adultos	5.100 (550-8.500)	970 (100-1.600)	Mil. Euros	1.900 (190-3.400)	360 (40-700)	Mil. Euros
Total síntomas	54.000 (27.400-75.700)	2,1 (1,1-3,0)	Mil. Euros	18.700 (9.300-26.800)	0,7 (0,4-1,1)	Mil. Euros
<b>Beneficios monetarios totales</b>	Total (enfoque VOLY)	3.000 (1.300-4.400)	Mil. Euros	Total (enfoque VOLY)	1.100 (480-1.700)	Mil. Euros
	Beneficios anuales per cápita	740 (330-1.100)	Euros	Beneficios anuales per cápita	270 (120-420)	Euros

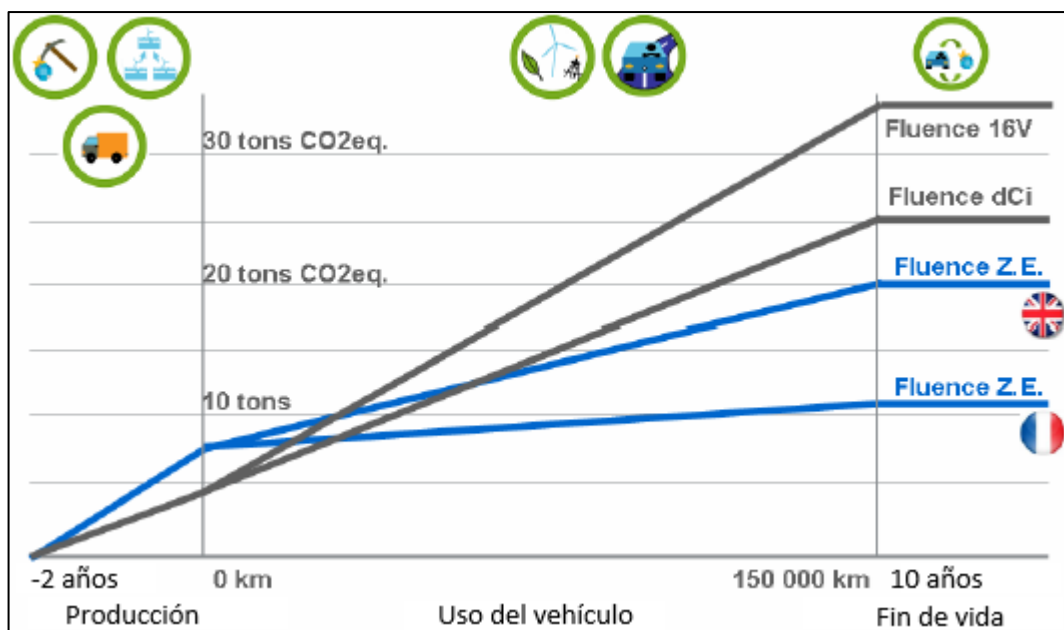
\*VOLY=Value of life year marcado por Eurostat. Se usa el de 2006: entre 52.000€ y 120.000€

**Figura 2.5.** Cuantificación monetaria de los beneficios per cápita de cumplir los límites marcados por la OMS en Barcelona. (Künzli & Pérez, 2007)

Ante esta situación anómala del aire en Barcelona, que está generando tanto perjuicio económico como sanitario, los vehículos eléctricos son un gran aliado a la hora de reducir la polución en las ciudades junto con el transporte público debido a que no emiten partículas contaminantes al no usar motores de combustión. Además, y continuando con los primeros argumentos expuestos, cabría valorar por cualquier institución pública el facilitar el acceso a la población a vehículos que permiten un ahorro económico para la comunidad y una mejora ambiental.

Existe una cierta discrepancia entre los defensores de los vehículos a motor de combustión tradicional debido a que hablar de automóviles de “cero emisiones”, siendo muy rigurosos sería inexacto. Cualquier automóvil emite contaminantes durante su fabricación y probablemente al final de la vida útil, por lo cual es adecuado hacer un análisis del ciclo de vida completa de este elemento y compararlo con los que hay actualmente en el mercado para ver si se consigue una mejora respecto a la situación actual.

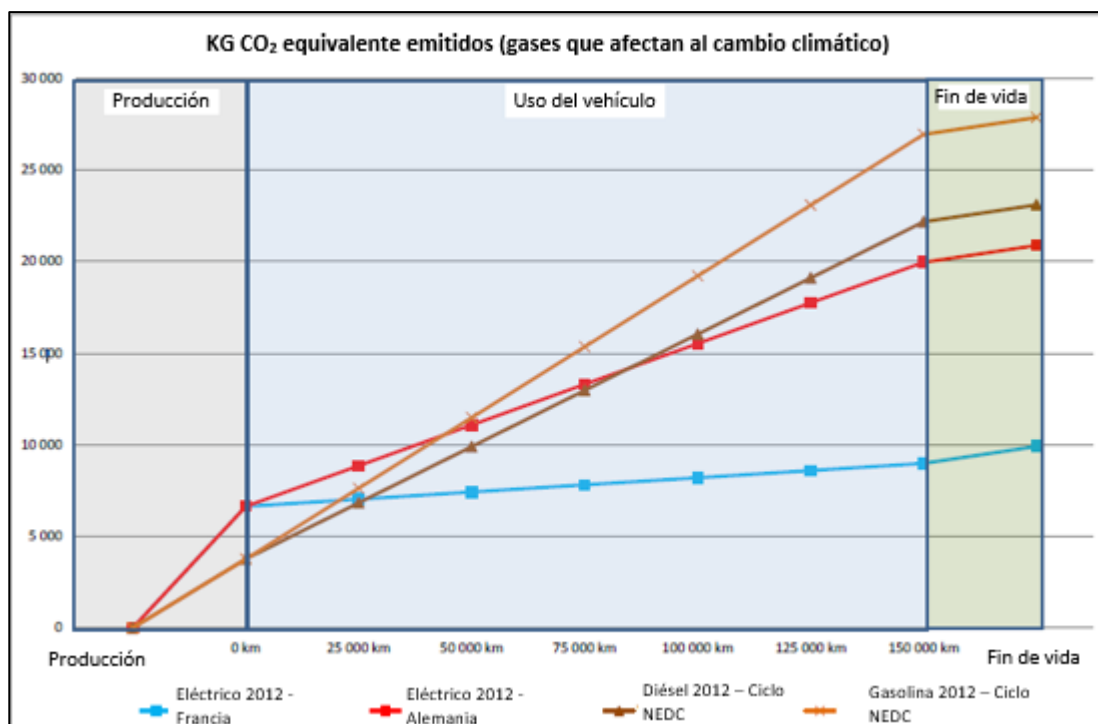
Es difícil encontrar datos al respecto debido a que la mayoría de fabricantes muestran bastante recelo a presentar sus datos, pero son fácilmente accesibles dos estudios con información bastante concluyente al respecto, como el texto “Fluence and Fluence Z.E, Life Cycle Assessment” (Renault, 2011), o en “Analyse de Cycle de Vie comparative des véhicules électriques et thermiques (essence et diesel)” (ADEME, 2013). Ambos informes tienen en cuenta una variable muy importante a la hora de analizar el ciclo de vida de estos productos: el país de producción. El “mix energético” (origen de la energía producida) es muy diferente en cada país, incluso en aquellos que forman parte de entidades supranacionales como la Unión Europea, y este determina claramente la cantidad de contaminantes que se emiten a la atmosfera durante la producción y el uso de un automóvil.



**Figura 2.6.** ACV de un vehículo eléctrico de Renault en Francia y Reino Unido en comparación a uno diésel y uno de gasolina. (Renault, 2011)

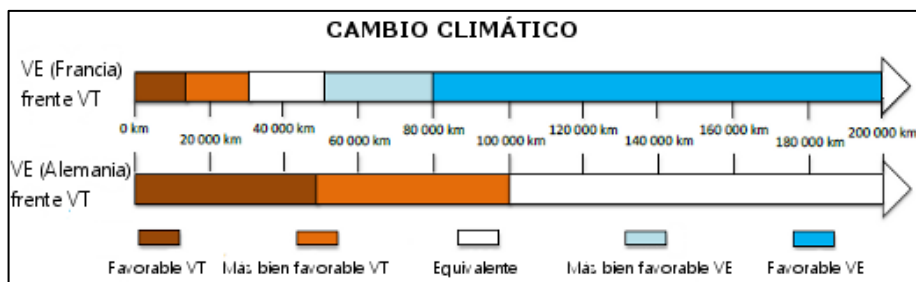
La comparativa que realiza la francesa Renault en su estudio presenta un especial interés, pues trata automóviles exactamente iguales a nivel prestacional y estético, cuya única diferencia es el modo de propulsión. Es fácilmente observable como el pendiente de la recta que indica el consumo de energía durante la producción es mayor para los eléctricos, y en el momento del fin de la vida útil el pendiente es el mismo. Durante el uso del vehículo, el pendiente depende del método de obtención de la energía eléctrica para propulsar el vehículo, pero en todo caso, es fácil comprobar como a partir de un cierto kilometraje el impacto

ecológico de los vehículos eléctricos es menor en los dos escenarios estudiados (Gran Bretaña y Francia).

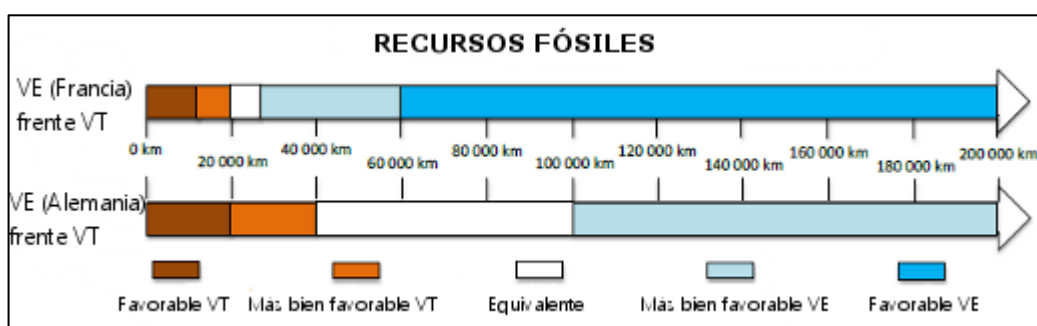


**Figura 2.7.** Análisis del CO<sub>2</sub> emitido por un vehículo eléctrico producido en Alemania, en Francia, un vehículo diésel y uno gasolina (ADEME, 2013)

En el estudio de ADEME los resultados son muy similares, pero es interesante observar como en un escenario diferente como el alemán la diferencia respecto a un vehículo diésel es menor que en el estudio de Renault. En todo caso, sigue funcionando según los mismos patrones que los que se observan en el estudio de la marca francesa y el saldo sigue siendo positivo para el vehículo eléctrico incluso en un “mix energético” menos bueno en cuanto a las emisiones contaminantes como es el del país germano.



**Figura 2.8.** Análisis de cuál es el vehículo (combustión o eléctrico) que emite menos gases contaminantes en función del número de kilómetros recorridos (ADEME, 2013)



**Figura 2.9.** Análisis de cuál es el vehículo (combustión o eléctrico) que gasta menos recursos fósiles en función del número de kilómetros recorridos (ADEME, 2013)

En las Figuras 2.8 y 2.9 se observa que con un kilometraje relativamente bajo se puede conseguir un beneficio medioambiental usando vehículos eléctricos teniendo en cuenta su ciclo de vida completo.

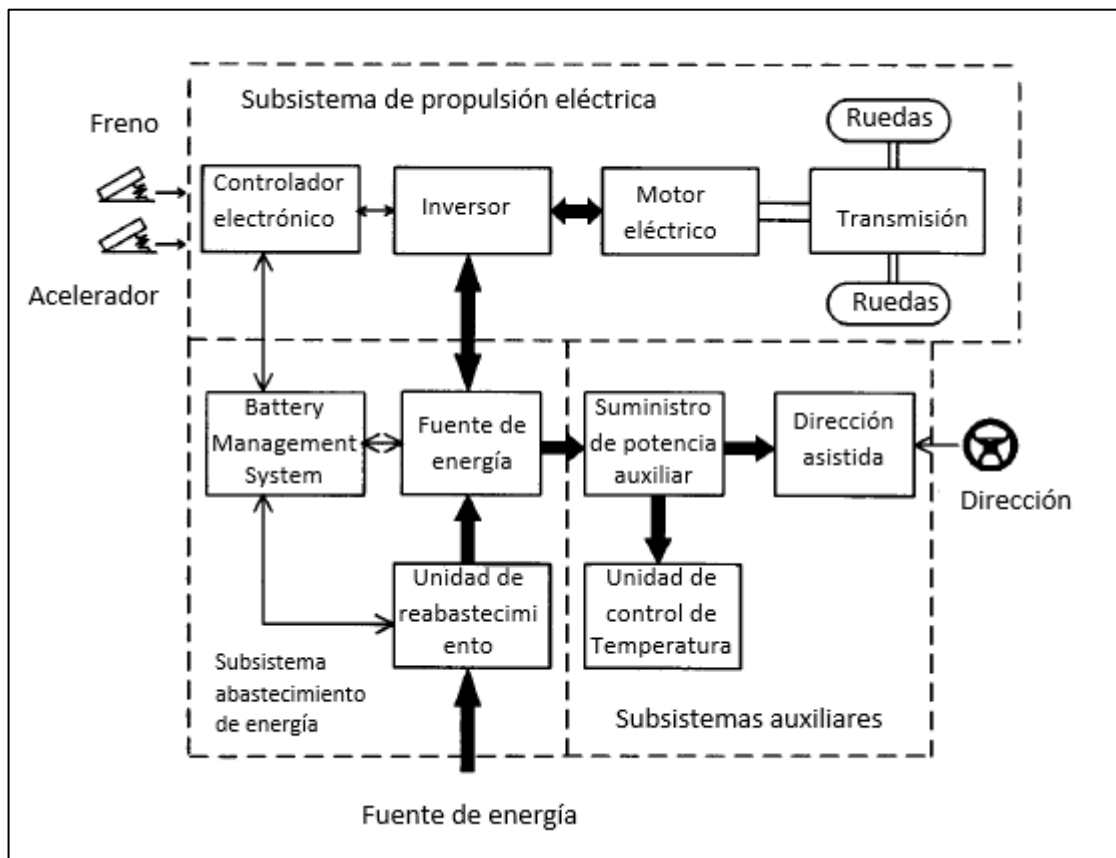
Además de los resultados expuestos por este estudio, cabe destacar que el vehículo eléctrico disminuye también significativamente los niveles de ruido, reduciendo la contaminación acústica.

Lo expuesto en las páginas anteriores lleva a la conclusión que ante el conflicto existente debido a la contaminación ambiental y debido al hecho que los vehículos que usan motores térmicos como medio de propulsión se basan en el uso de combustibles cuyo fin parece tener un horizonte no muy lejano se debe buscar una alternativa de movilidad. Como ha quedado justificado, el vehículo eléctrico es menos perjudicial para el medio ambiente y además consume menos recursos energéticos, pese a que su producción todavía no está generalizada. Una vez ésta se expanda, y con las economías de escala presentes, los

automóviles eléctricos serán una de las soluciones a estos conflictos. Será necesaria, también, una actuación más transversal que permita obtener la energía de manera más respetuosa con el entorno, con opciones como las energías renovables.

En el presente proyecto se estudiará la viabilidad y las diferentes alternativas que aparecen a la hora de diseñar uno de estos vehículos que pueden ser imprescindibles en el futuro a largo y medio plazo del transporte.

### 3. Powertrain eléctrico



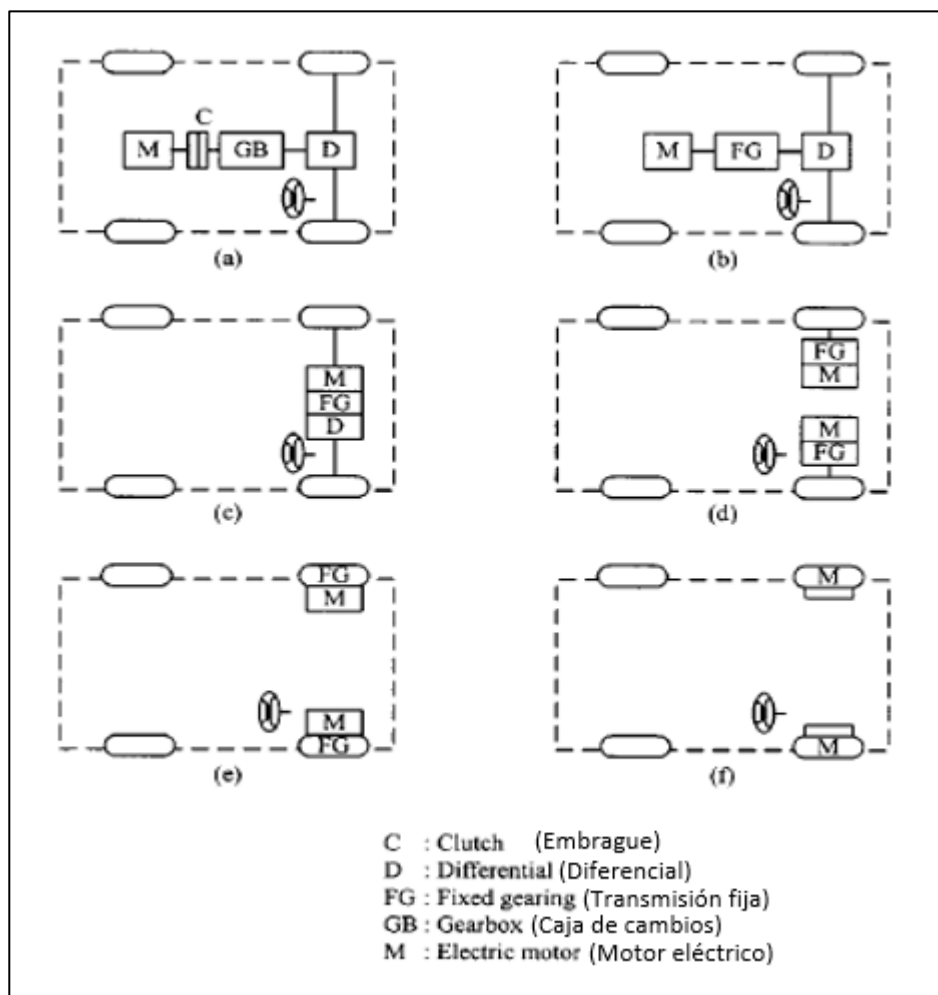
**Figura 3.1.** Separación del conjunto del vehículo eléctrico en sus diferentes subsistemas (Chan, Modern Electric Vehicle Technology, 2002)

En la Figura 10 se presentan todos los subsistemas presentes en un vehículo eléctrico y que son básicos para su funcionamiento. Además, se observa la interacción entre el sistema de abastecimiento energético, el de propulsión y el auxiliar. Este esquema se usará como base para analizar los diferentes componentes del tren de potencia. De cada uno de los subsistemas se presentarán las diferentes tecnologías y posibilidades.

#### 3.1. Configuraciones powertrain eléctrico

El powertrain eléctrico (en la Figura 10, la parte superior, compuesta por controlador electrónico, inversor, motor eléctrico, transmisión y ruedas) puede tener diferentes configuraciones en función de la colocación del motor y del tipo de transmisión utilizada. A

continuación se analizan las diferentes configuraciones que en “The state of art of electric and hybrid vehicles” (Chan, Modern Electric Vehicle Technology, 2002) se presentan como las más comunes y se analizan los pros y los contras de cada una. En secciones posteriores se escogerá la más adecuada para el vehículo en diseño.



**Figura 3.2.** Posibilidades de configuración para el powertrain eléctrico (Chan, Modern Electric Vehicle Technology, 2002)

### 3.1.1. Alternativa 1: Motor eléctrico con sistema de transmisión tradicional

- Descripción: configuración con tracción delantera y motor situado en la parte delantera. Consiste en un motor conectado a un embrague, el embrague conectado a



una caja de cambios y la caja de cambios a un diferencial. El embrague es un elemento que permite conectar y desconectar motor y caja de cambios y el diferencial permite que las ruedas directrices funcionen a velocidades diferentes. También se puede aplicar el mismo modelo con tracción trasera.

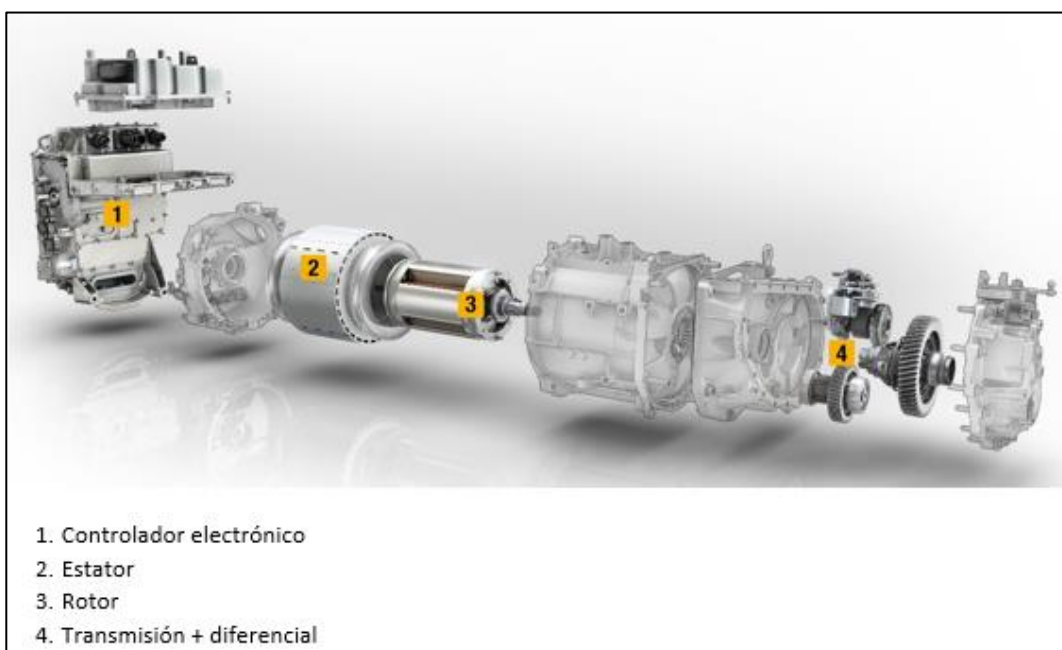
- Puntos a favor:
  - Sistema conocido por los fabricantes de vehículos tradicionales. Se pueden adaptar con relativa facilidad los diseños de vehículos actuales, líneas de montaje, componentes ya homologados para otros vehículos... Adecuado para cambiar la propulsión de modelos ya existentes. Permite fabricar vehículos aprovechando líneas de montaje ya amortizadas modificándolas con bajas inversiones.
  - Permite usar diferentes relaciones de transmisión, pudiendo adaptar la potencia y el par que se transmiten a las ruedas con facilidad.
  - La conducción es familiar para los usuarios que tienen experiencia al volante, no hay necesidad de reaprendizaje (tanto usando cambio manual como automático).
- Puntos en contra:
  - Complejidad técnica, a pesar de ser un sistema conocido y consolidado. Al tener más componentes hay más posibilidades de averías (menos fiabilidad). Tiene elementos de desgaste como el embrague que requieren reparaciones costosas para el usuario al final de su vida útil.
  - El rango de trabajo del motor eléctrico es muy amplio y la posibilidad de usar diferentes relaciones de transmisión probablemente no aportará suficientes ventajas frente a la complejidad que introduce este sistema. En los vehículos tradicionales si se usa debido a la naturaleza del motor de combustión. Más adelante se compararán las curvas de par motor/potencia de ambos tipos de motores y se observará la diferencia.
  - Peso y dimensiones, al tener un gran número de componentes.
- Ejemplos en el mercado: Morgan e+, Quimera All Electric GT (fichas técnicas en anexos). Ambos ejemplos funcionan con este tipo de configuración, pero con tracción trasera.

### 3.1.2. Alternativa 2: Motor eléctrico con relación fijada de transmisión

- Descripción: Simplificación del sistema anterior: se sustituyen embrague y caja de

cambios por una transmisión de relación fija. Tracción delantera pero también válido para transmisión trasera.

- Puntos a favor:
  - Reducción de peso y dimensiones.
  - Menos componentes en el powertrain.
- Puntos en contra:
  - Nueva tecnología, requiere para los fabricantes desarrollar nuevas piezas y nuevas líneas de montaje.
  - Sin transmisión, cambio del tipo de conducción, requiere adaptación y aceptación del usuario.
  - Una sola relación de transmisión → la elección de motor eléctrico está más restringida: el rango de trabajo queda limitado por la relación de transmisión que se escoja.
- Ejemplos en el mercado: Nissan Leaf modelo pre-2013. (en los anexos se puede comparar el powertrain del Nissan Leaf pre-2013 y su evolución posterior), Renault Zoe (ver figura 12)



**Figura 3.3.** Powertrain del Renault Zoe (X-Engineer, s.f.)

### 3.1.3. Alternativa 3: Motor eléctrico con relación fijada de transmisión (versión compactada)

- Descripción: es la evolución técnica de la propuesta anterior, incluyendo en un solo módulo unido motor, transmisión de relación fija y diferencial.
- Puntos a favor:
  - Todos los de la propuesta anterior.
  - Reducción del espacio necesario.
- Puntos en contra:
  - Todos los de la propuesta anterior.
- Ejemplos en el mercado: Chevrolet Volt (ver powertrain en el anexo), Opel Ampera (ver figura 13).

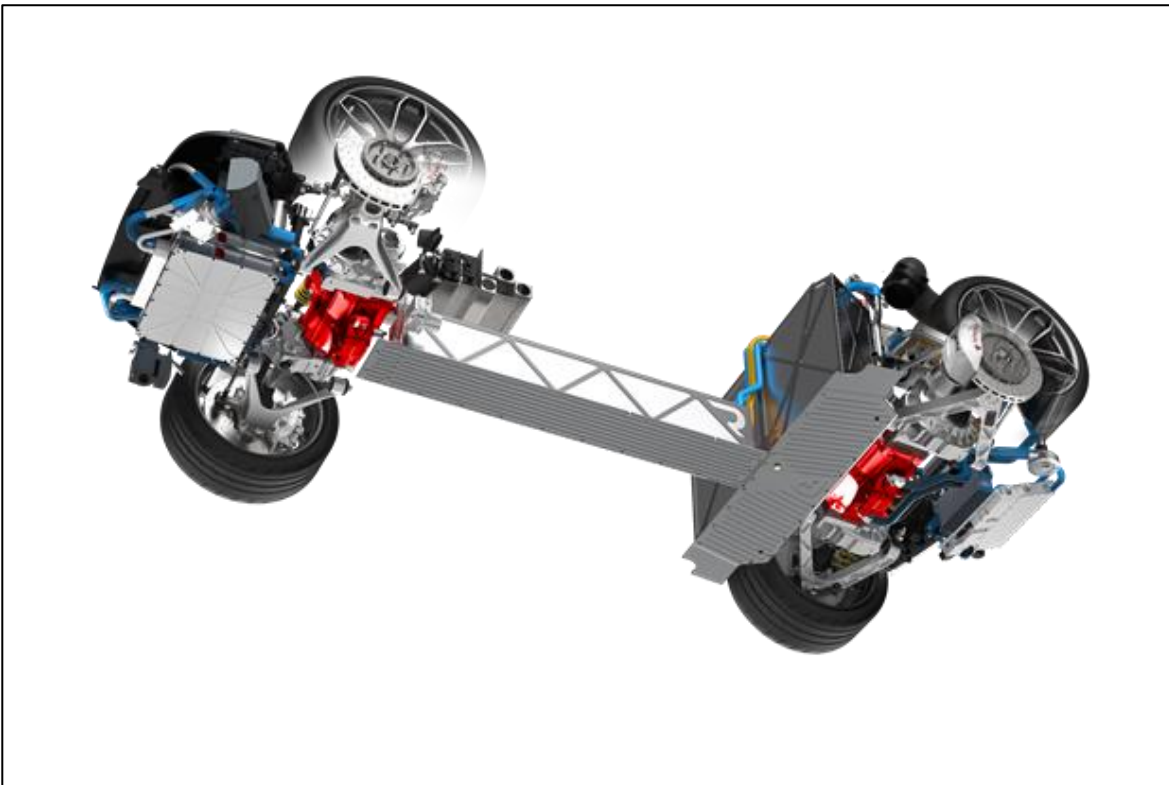


**Figura 3.4.** Powertrain del Opel Ampera (UK Car Magazine, 2009)

### 3.1.4. Alternativa 4: Motor eléctrico y transmisión fija por cada rueda directriz exteriores a las ruedas

- Descripción: Para cada rueda directriz hay un motor y una transmisión.
- Puntos a favor:
  - Mayor rendimiento, permite aplicar par diferente a diferentes ruedas.

- Posibilidad de tracción a las cuatro ruedas, aplicando par diferente a cada rueda. Aplicable a vehículos de alto rendimiento.
- Eliminación del diferencial
- Puntos en contra:
  - Complejidad técnica: necesidad de un control depurado de las velocidades de cada motor, pues este control hace la función del diferencial.
  - Necesidad de una entrega controlada de energía a cada motor, el sistema de abastecimiento debe ser más complejo que si se abastece a un solo motor.
- Ejemplos en el mercado: Es difícil encontrar un ejemplo en el mercado, pero un modelo que funciona aproximadamente así es el vehículo de alto rendimiento Rimac Concept\_One, aunque en las ruedas traseras incorpora una caja de cambios con dos velocidades y embrague.



**Figura 3.5.** Powertrain del Rimac Concept\_One (Rimac Automobili, 2016)

### 3.1.5. Alternativa 5: Motor a rueda o “in-wheel”. Con o sin transmisión fija.

- Descripción: Esta es la configuración más avanzada tecnológicamente hablando. El motor se introduce en el interior de la rueda y controla la velocidad de esta directamente. Se puede colocar también un sistema de transmisión de relación fija entre la rueda y el motor alojado en su interior.
- Puntos a favor:
  - Reducción de espacio. El motor ocupa un espacio a priori vacío y libera el que ocupaba previamente para otros usos.
  - Mayor libertad de diseño. El habitáculo puede ganar mucho espacio y confort.
  - Más grados de libertad de movimiento. Si se controlan las cuatro ruedas y se permite que giren un ángulo de 90 grados, el vehículo se podrá desplazar también con velocidades perpendiculares a su eje de simetría, ganando en maniobrabilidad y facilitando acciones como el aparcamiento.
- Puntos en contra:
  - Tecnología menos desarrollada → Costes más altos inicialmente.
  - Requiere un reparto adecuado de los pesos del vehículo, al desplazar los motores hacia las ruedas, para un funcionamiento óptimo.
  - Al igual que en la alternativa anterior, requiere un depurado control del par y la velocidad de giro de cada motor.
- Ejemplos en el mercado: solo existen prototipos o “concept cars” como el Ford eWheel Drive o el Protean Electric’s Mini QED, basados en transformaciones de modelos de serie actuales.

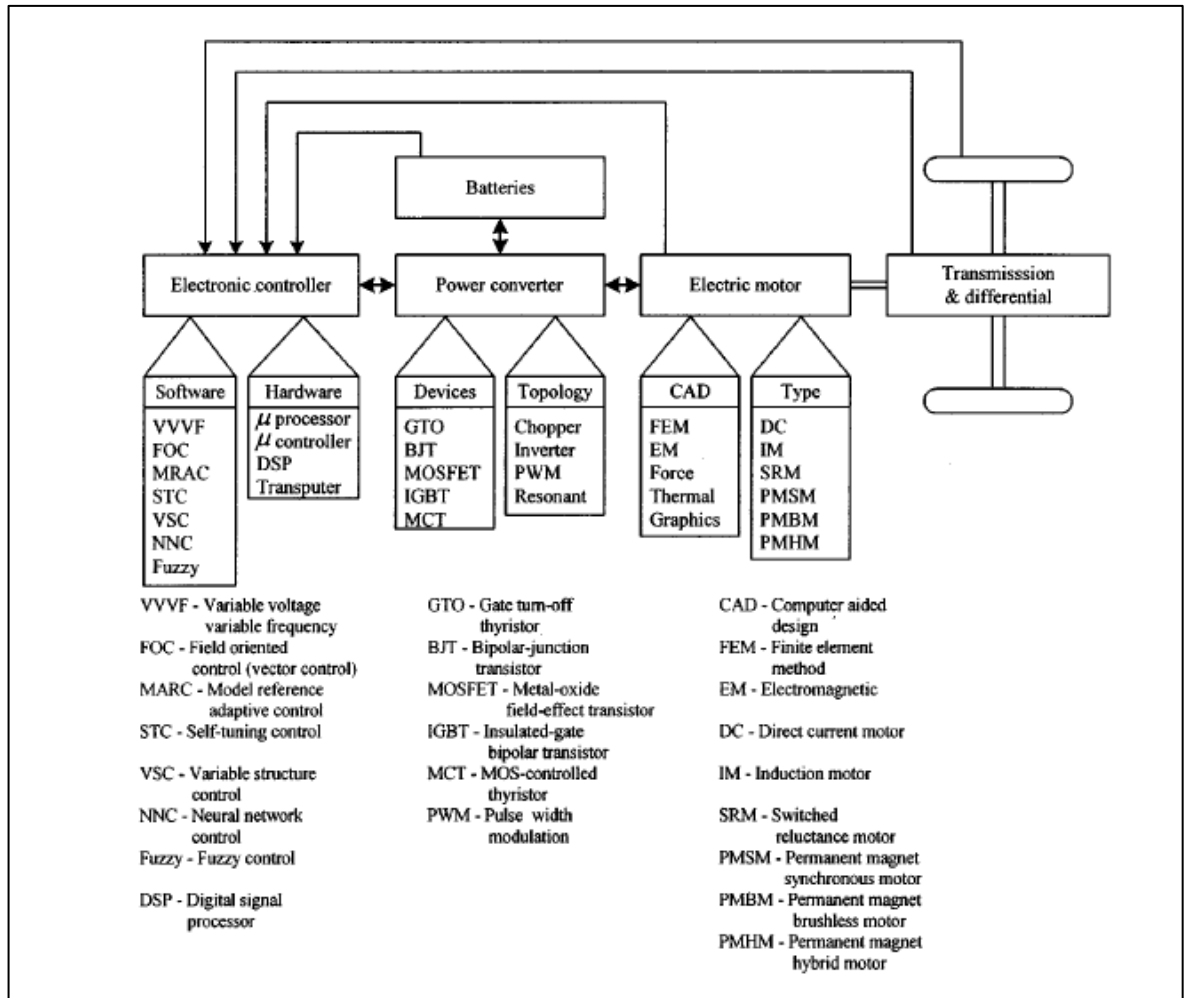


**Figura 3.6.** Ejemplo de “in-wheel” motor de Protean’s electric (Hybrid Cars, 2012)

## 3.2. Componentes powertrain eléctrico

De la misma manera que se ha hecho con las diferentes configuraciones posibles para el powertrain a continuación se presentan las diferentes alternativas para cada uno de los componentes de este. Más adelante se justificará la elección de la mejor alternativa para este proyecto en cada uno de los casos.

De nuevo, tomando como base la propuesta de “The state of art of electric and hybrid vehicles” (Chan, Modern Electric Vehicle Technology, 2002), se analizan diferentes propuestas para cada uno de los componentes, viendo pros, contras y ejemplos en el mercado.

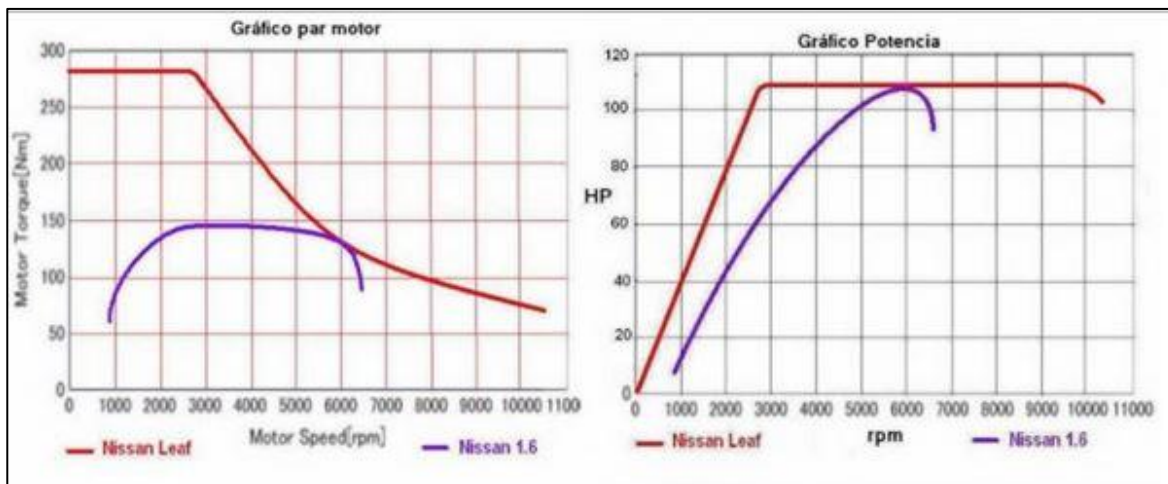


**Figura 3.7.** Alternativas para cada componente del powertrain (Chan, Modern Electric Vehicle Technology, 2002)

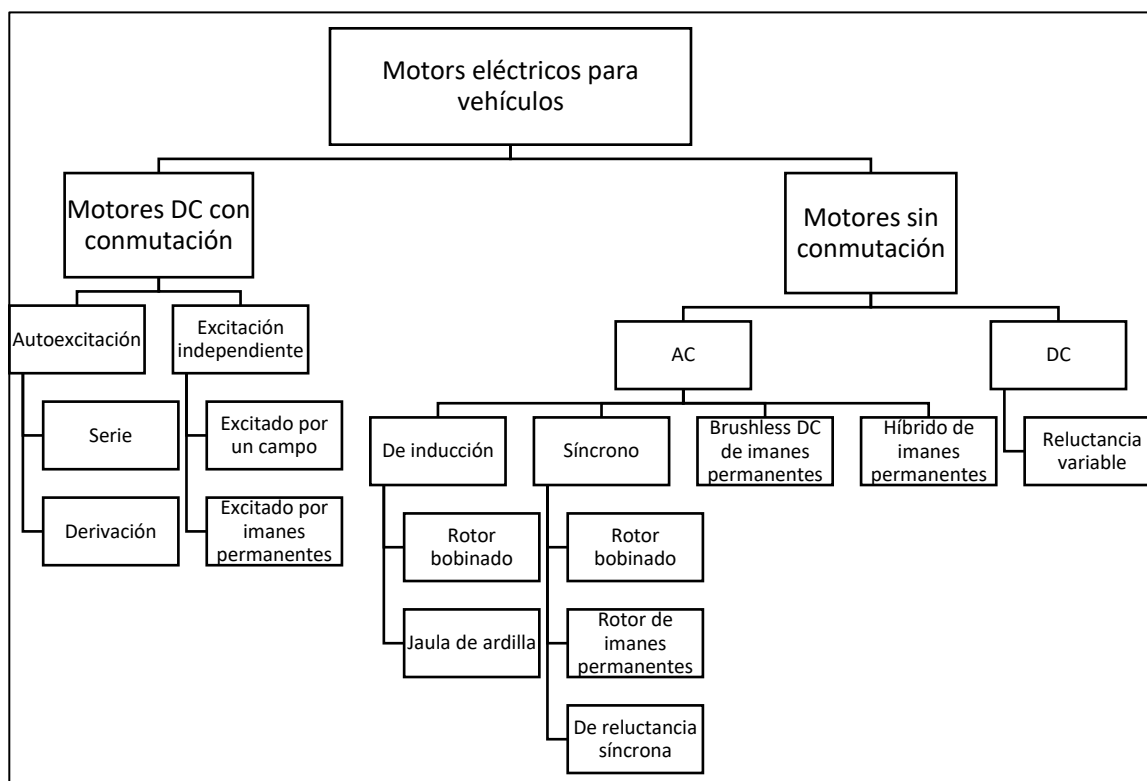
### 3.2.1. Motor

El motor eléctrico es el elemento encargado de transformar la energía proporcionada por la batería en movimiento. Así pues, es un elemento básico que condicionará la elección de otros elementos como transmisión o controlador electrónico.

La principal ventaja de los motores eléctricos respecto a los de combustión es que tienen una eficiencia mucho más elevada (90% vs 25% aprox). Además, se entrega el par de manera constante y obteniendo el par máximo desde 0 rpm, en contraposición con los motores de combustión. La potencia aumenta de manera lineal y se mantiene la potencia máxima en un amplio rango de revoluciones.



**Figura 3.8.** Par motor y potencia vs rpm de dos modelos similares de Nissan, uno con motor eléctrico y otro con motor diésel (Autonoción, 2016)

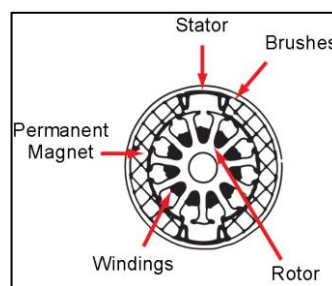




**Figura 3.9.** Clasificación de los motores eléctricos para vehículos (Chan & Chau, An overview of power electronics in electric vehicles, 1997)

### 3.2.1.1. Motores DC (sin conmutación)

- Descripción y principio de funcionamiento: los motores que funcionan con corriente continua son los más antiguos y su principio de funcionamiento es la base para todo tipo de motores eléctricos. Se basan en los campos electromagnéticos, la Ley de Ampère y las fuerzas de Lorentz. Se componen de un inducido (rotor) y un inductor (estator).



**Figura 3.10.** Motor eléctrico DC de escobillas con imanes permanentes (Microchip)

- Tipos:
  - Según si tienen o no escobillas (brushed o brushless, por sus nombres en inglés)
  - Según la conexión entre inducido e inductor (serie, derivación o compuesta).
  - Autoexcitación o excitación independiente
- Pros:
  - Sencillo control de velocidad
  - Tecnología con mucho desarrollo y muy consolidada en el mercado
- Contras:
  - Si es brushed: requiere de un complejo mantenimiento (cambio de escobillas).
  - Requieren cantidades de cobre más elevadas que otros tipos de motores, y el cobre es un elemento caro y de precio volátil. También lo son los imanes.
- Ejemplos en el mercado: Fiat Panda Elettra (Motor DC conexionado en serie), Conceptor G-Van (Separately excited DC motor), Mazda Bongo (Motor DC conexionado en derivación). Son vehículos de pocas unidades vendidas o prototipos.

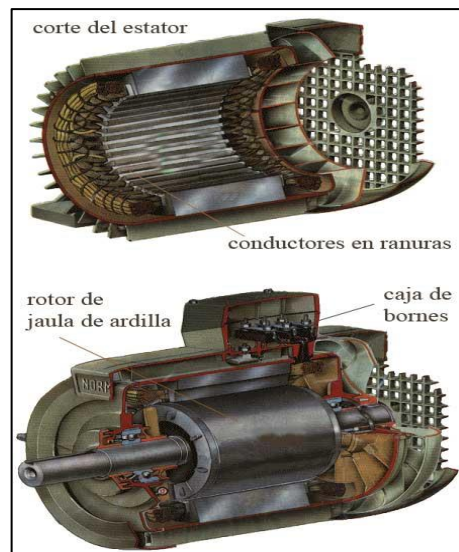


**Figura 3.11.** Fiat Panda Elettra (HDMotori.it, 2016)

### 3.2.1.2. Motores AC de inducción o asíncrono

- Descripción y principio de funcionamiento: se llama asíncrono debido a que la rotación del eje no está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación. Está compuesto por un rotor (tipo jaula de ardilla o un bobinado típico) y un estator con tres bobinados. El campo variable que se produce debido al corriente alterno en el estator induce un corriente en el rotor, que interactúa con el campo magnético y hace que este rote (según la Ley de Faraday). El rotor no tiene ningún contacto móvil, reduciendo las chispas y pérdidas por calor. Funciona sin escobillas. Se puede controlar la velocidad variando la frecuencia del corriente alterno. Puede ser monofásico o trifásico.
- Pros:
  - Bajo coste
  - Alta fiabilidad
  - Poco mantenimiento necesario
  - Muy silencioso
- Contras:

- Difícil control de la velocidad de giro y el par del motor. Necesidad de electrónica y microcomputadores para el control.



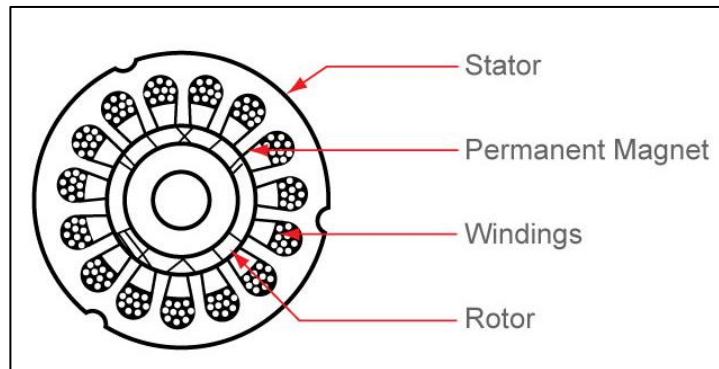
**Figura 3.12.** Sección de un motor asíncrono, se visualiza fácilmente el rotor de jaula de ardilla (Apuntes científicos, s.f.)

- Ejemplos en el mercado: Tesla Model S (motor trifásico de inducción con rotor bobinado), Tesla Roadster (motor trifásico de inducción con rotor bobinado).

### 3.2.1.3. Motor AC síncrono

- Descripción y principio de funcionamiento: recibe este nombre debido a que la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad del rotor (gira a lo que se denomina velocidad de sincronismo). Hay diferentes tipos de motores síncronos en función del tipo de rotor: bobinado, de reluctancia síncrona o de imanes permanentes.
- Tipos (con sus pros y contras):
  - Motor síncrono de imanes permanentes: el campo de excitación es creado por imanes permanentes, tal como indica su nombre.
    - Pros: Puede generar par a velocidad 0, tiene una “densidad de par” alta, es decir, con motores relativamente pequeños se puede conseguir mucho par. Son muy eficientes.
    - Contras: requiere de un control muy depurado.

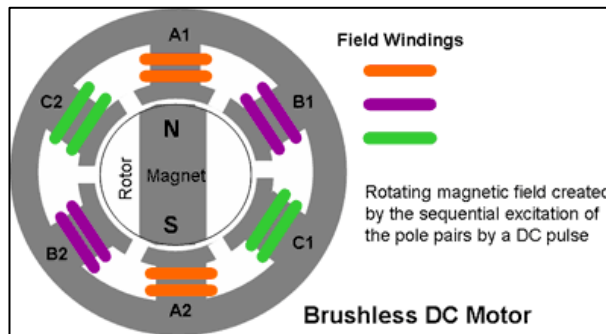
- Motor con rotor bobinado:
  - Pros: arranque suave.
  - Contras: alto coste, requiere mantenimiento.
- Ejemplos en el mercado: BMW i3, BYD e6, Nissan e-NV200 (Motor síncrono de imanes permanentes). Muchos modelos en el mercado usan este tipo de motor.



**Figura 3.13.** Esquema de un motor síncrono de motores permanentes (Microchip)

- Motor de reluctancia síncrona: su operatividad depende del par de reluctancia (par inducido en un objeto metálico por la presencia de un campo magnético). El campo lleva a alinear el campo inducido en el objeto y el externo y se genera movimiento.
  - Pros: Alta eficiencia y alta densidad de par sin necesidad de imanes permanentes.
  - Contras: Bajo factor de potencia y rango de velocidad limitado.

### 3.2.1.4. Motor brushless de imanes permanentes

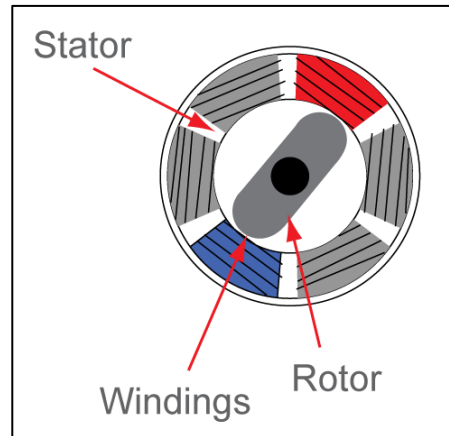


**Figura 3.14.** Esquema de un motor Brushless (MPowerUk)

- Descripción y punto de funcionamiento: dispone de un rotor con imanes permanentes y un estator bobinado. Funciona sin escobillas ni conmutador porque el bobinado se conecta directamente a un controlador electrónico que les sustituye.
- Pros: Fiable, limpio, rápido, eficiente, aceleración suave, fácil mantenimiento, fácil de fabricar.
- Contras: Requiere de complejo control electrónico para el par y la velocidad.

### 3.2.1.5. Motor síncrono de reluctancia variable

- Descripción y punto de funcionamiento: funciona sin imanes permanentes. Lleva un estator similar al del motor brushless y un rotor que solo consiste en láminas de metálicas. El par se produce debido a la atracción entre el electroimán y el rotor metálico.
- Pros: Construcción simple
- Contras: Dificil de controlar el par para que se incremente suavemente.



**Figura 3.15.** Esquema de un motor de reluctancia síncrona (Microchip)

### 3.2.2. Baterías

Las baterías son otro de los elementos clave en el diseño del tren de potencia de un vehículo eléctrico. Son uno de los elementos más pesados y voluminosos además de que su coste condiciona el precio final del vehículo.

La función de la batería es convertir la energía química que tiene acumulada en energía eléctrica. Se produce la electricidad a partir de la reacción que se produce entre electrodos y electrólitos. La electricidad que se produce es de corriente continua, y en caso de escoger un motor que funciona con corriente alterna se deberá transformar. Cuando se recarga, se invierte la reacción química.

La batería debe cumplir con diversos parámetros: el voltaje adecuado (unidad de medida V), la capacidad de carga suficiente (en Ah), el número de ciclos de carga sin que la batería se deteriore, la energía que almacena (Wh) y, sobre todo, la densidad energética (Wh/kg) y potencia específica (W/kg). La densidad energética es básica porque cuanto más elevada sea, menos peso del vehículo quedará comprometido para este fin. A continuación, y partiendo de la comparativa de la Figura 3.16, se analizarán los pros y contras de los tipos más comunes de batería:

Tipo/ Característica	NiCd	NiMH	Plomo ácido	Li-ion	Li-ion polímero	Alcalina reutilizable
Densidad energética (Wh/kg)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130	80 (inicial)
Resistencia interna (incluyendo circuitos periféricos) (mΩ)	100 a 200	200 a 300	<100	150 a 250	200 a 300	200 a 2000
Ciclos de carga (hasta el 80% de la capacidad inicial)	1500	300 a 500	200 a 300	500 a 1000	300 a 500	50 (al 50%)
Tiempo de carga rápida	1h	2-4h	8-16h	2-4h	2-4h	2-3h
Tolerancia a la sobrecarga	moderada	baja	alta	muy baja	baja	moderada
Auto-descarga / Mes (temperatura ambiente)	20%	30%	5%	10%	~10%	0.3%
Voltaje por celda (nominal)	1.25V	1.25V	2V	3.6V	3.6V	1.5V
Corriente de carga						
Pico	20C	5C	5C	>2C	>2C	0.5C
Óptimo	1C	0.5C o menor	0.2C	1C o menor	1C o menor	0.2C o menor
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40 a 60	-20 a 60	-20 a 60	-20 a 60	0 a 60	0 a 65
Mantenimiento cada	30-60 días	60-90 días	3 a 6 meses	NA	NA	NA
Coste típico (US\$)	50	60	25	100	100	5
	(7.2V)	(7.2V)	(6V)	(7.2V)	(7.2V)	(9V)
Coste por ciclo(US\$)	0.04	0.12	0.10	0.14	0.29	0.10-0.50
Año de inicio de uso comercial	1950	1990	1970	1991	1999	1992

**Figura 3.16.** Tabla comparativa de los diferentes tipos de batería (Battery University, 2017)

- Baterías de níquel-cadmio:
  - Pros:
    - Carga rápida y simple.
    - Larga vida útil
    - Buen funcionamiento a bajas temperaturas
    - Bajo coste por ciclo
  - Contras:
    - Baja densidad energética
    - Efecto memoria (cuando las cargas son incompletas su rendimiento va empeorando)
    - Gran impacto ambiental
    - Elevada auto-descarga

- Baterías de níquel-metal hidruro:
  - Pros:
    - Buena capacidad
    - Menor impacto ambiental que las de NiCd, reciclable
  - Contras:
    - Vida útil limitada si se hacen ciclos completos de descarga.
    - Genera mucho calor al cargarse, y por tanto pérdidas.
    - Elevada auto-descarga
- Baterías de ácido plomo:
  - Pros:
    - Tecnología muy consolidada
    - Baja auto-descarga
    - Poco mantenimiento requerido
  - Contras:
    - No se puede almacenar descargada
    - Baja densidad energética
    - Corta vida útil
    - Alto impacto ambiental
- Baterías de ion-litio:
  - Pros:
    - Alta densidad energética
    - Baja auto-descarga
    - No requiere mantenimiento
  - Contras:
    - Requiere un circuito de protección
    - Aún sin usarse, se degrada con el tiempo
    - Alto precio de fabricación
- Batería de litio-ion polímero:
  - Pros:
    - Pequeñas dimensiones
    - Fabricación flexible: se pueden conseguir formas variadas
    - Poco peso



- Contras:
  - Baja densidad energética
  - Alto precio de fabricación

Otros tipos de batería que hay que tener en cuenta son la de tipo Zebra (batería de sal fundida), de propiedades parecidas a las de níquel-metal hidruro, pero con una mejor densidad energética. El principal inconveniente es que necesita ser mantenida a una temperatura adecuada, y esto no es posible en algunos mercados automovilísticos.

Cabe reseñar también la reciente aparición de los ultracondensadores, que son una tecnología menos extendida, pero en actual desarrollo. Tienen una elevada potencia específica, pero de momento una energía específica baja. No funcionan con reacciones químicas, como las baterías presentadas previamente, sino mediante la creación de un campo eléctrico entre las dos placas del ultracondensador.

### 3.2.3. Convertidores de potencia

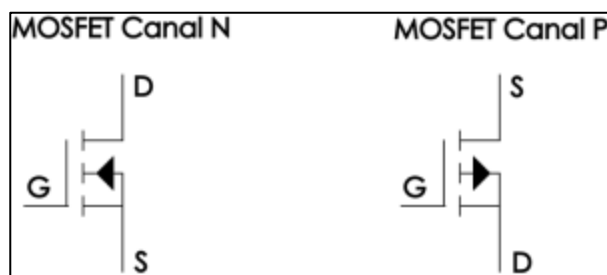
El inversor (convertidor DC/AC) es un elemento clave en el powertrain en caso que el motor escogido sea de corriente alterno. El corriente que sale de la batería es constante y continuo y para alimentar el motor hace falta transformarlo. Además, es necesario modular el voltaje en muchos casos para variar la velocidad del motor. En algunos casos, además, si se usa la tecnología de frenada regenerativa (al frenar, el calor que se disipa se transforma en energía para cargar la batería) es necesario poder modular adecuadamente intensidad y voltaje.

También será necesario algún tipo de conversor DC/DC para liberar adecuadamente el corriente de la batería a los subsistemas auxiliares que funcionan con este tipo de corriente como ventanillas, equipo musical... Si se usa un motor de DC, también será necesario adecuar el corriente que sale de la batería al necesario para hacer funcionar el motor a la velocidad deseada.

Hay dos cuestiones a tener en cuenta a la hora de diseñar un convertidor de potencia, la tecnología usada y la topología. En cuanto a la tecnología, hay varias opciones:

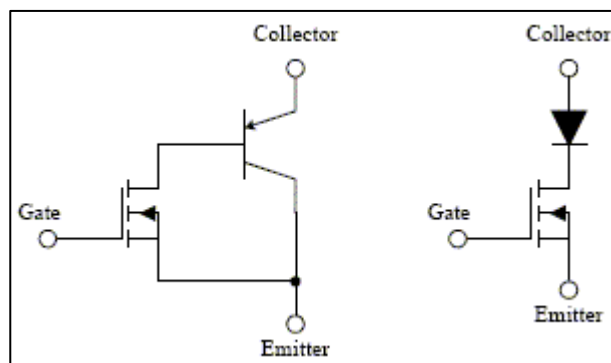
- MOSFETS: Metal-oxide-semiconductor Field-effect transistor en inglés. Es un transistor que dispone de tres terminales: puerta, drenador y surtidor. El MOSFET es un interruptor controlado por tensión. Dependiendo de la tensión que haya en la puerta conducirá o no corriente por el drenador. El MOSFET conduce con voltajes

relativamente bajos, entre 5 y 10 V, y con corrientes bajas en la puerta. Se pueden aplicar hasta 1000 V, hasta 50 A y tiene un tiempo de cambio de estado de entre 0,3 y 0,5  $\mu$ s. Se usa básicamente para sistemas con potencias por debajo de 1 KW.



**Figura 3.17.** Esquemas posibles de un MOSFET (Panama Hitek, 2016)

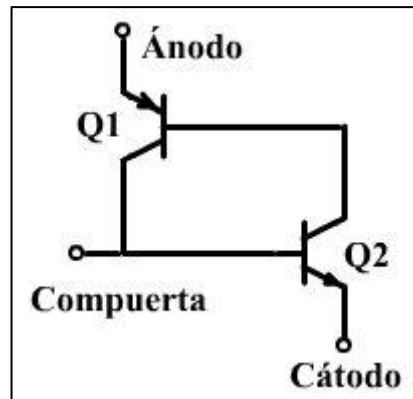
- **IGBT:** Insulated Gate Bipolar Transistor en inglés. El IGBT es un dispositivo formado por BJT (transistores de unión bipolar) y MOSFETS y combina las ventajas de ambos. Requiere bajo voltaje para funcionar y corrientes casi nulas en la puerta. Es muy adecuado cuando las corrientes son superiores a 50A y trabaja adecuadamente con voltajes elevados. Las limitaciones de trabajo son 1700V y 600 A. El tiempo de cambio es superior al del MOSFET, de entre 1 y 4  $\mu$ s. Se suele usar con sistemas que trabajan entre 1 KW y centenares de KW.



**Figura 3.18.** Circuitos simplificados de un IGBT (EE Times, 2007)

- **GTO:** Gate Turn-Off Thyristor. Un GTO es un tiristor (dispositivo electrónico que tiene dos estados de funcionamiento: conducción o bloqueo de corriente). La característica especial del GTO es que puede apagarse aplicando un corriente en sentido inverso al que hay que aplicar para encenderlo. Las ventajas de los GTO son las mismas que la

de los tiristores, permiten trabajar con voltajes y corrientes más elevados, pero tienen un tiempo de cambio también superior (del orden de 10-25  $\mu$ s).



**Figura 3.19.** Modelo de un tiristor de dos terminales (Universidad de Vigo, s.f.)

Hay diferentes topologías que pueden funcionar para realizar la correcta conversión del tipo de corriente:

- **Circuito Chopper:** el circuito Chopper es un elemento que permite conseguir una salida de corriente continuo variable a partir de un corriente continuo fijo. Es pues, un convertidor DC/DC. Funciona con elementos explicados como GTO, IGBT, MOSFET, Tiristores...
- **Inversor:** el inversor permite convertir corriente DC en corriente AC. Está formado por numerosos transistores y es un componente crítico cuando el vehículo eléctrico trabaja con motores de AC. Es un componente pesado, de alto coste y crítico para el vehículo.



**Figura 3.20.** Inversor Nissan Leaf (González, 2013)

- **PWM:** Pulse-Width Modulation o en castellano Modulación por ancho de pulsos. Es una técnica que se usa para controlar la velocidad de giro en los motores. Se usan MOSFET o tiristores. Permiten controlar el punto de funcionamiento desaprovechando la mínima energía posible.

Por último, para la recarga de la batería será necesario un rectificador (transformador AC/DC), para transformar la corriente que proviene de la red eléctrica a DC y permitir la recarga.



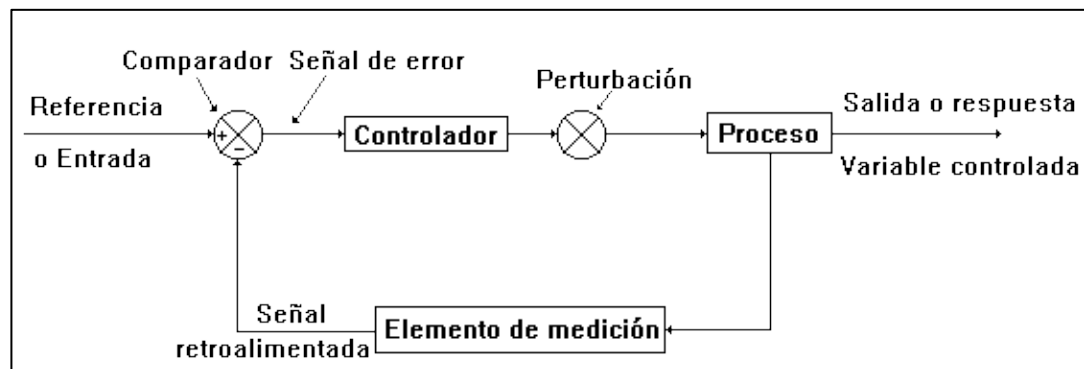
**Figura 3.21.** Sistema de electrónica de potencia del Renault Zoe (Vázquez & Vergara, 2017)

En la Figura 3.21 observamos el conjunto de electrónica de potencia del vehículo eléctrico de Renault modelo Zoe: contiene rectificador (AC/DC), Convertidor DC/DC (Para adecuar el voltaje a las necesidades), filtro de entrada e inversor (DC/AC).

### 3.2.4. Control electrónico/Battery Management System

El control electrónico es básico para que el vehículo actúe tal como el usuario principal espera. Existe un ordenador central que se encarga de relacionar todos los subsistemas entre sí y dar las órdenes necesarias.

Tal como se observa en la Figura 3.7 todos los elementos del sistema están conectados con el ordenador central o ECU (Electronical Control Unit) que realimenta sus órdenes con los inputs que recibe.



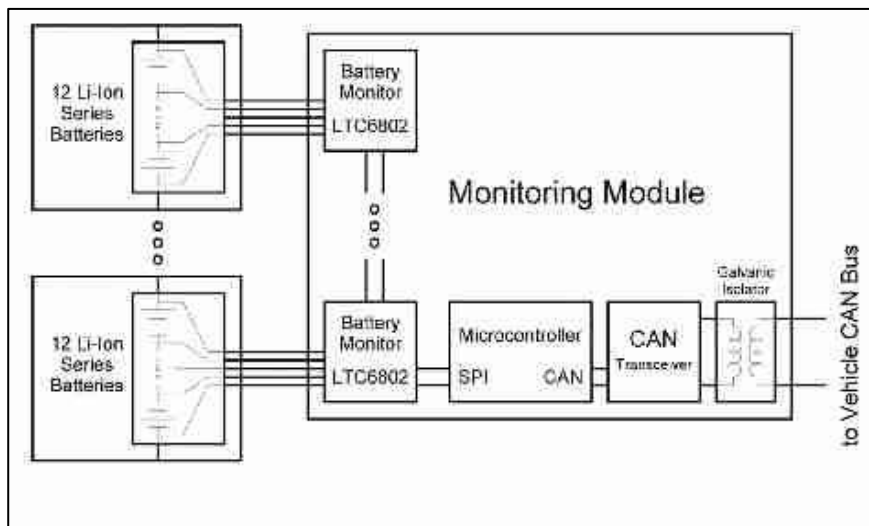
**Figura 3.22.** Ejemplo de lazo cerrado. En el caso del vehículo eléctrico la ECU es el controlador y se retroalimenta de todos los elementos del sistema (Elizondo, s.f.)

Otro elemento crucial en el funcionamiento del vehículo eléctrico es el Battery Management System o en su forma abreviada BMS. Tiene diferentes funciones:

- Medir la carga de las celdas, su voltaje, temperatura y estado general (capacidad de carga).
- Diagnóstico de errores y protección de la batería de sobrecargas.
- Asegurar la carga/descarga homogénea de todas las celdas.

Así pues, el BMS monitoriza todas las celdas de las diferentes baterías y optimiza su funcionamiento, permitiendo sacarles el máximo rendimiento y alargando su vida útil.

En la Figura 3.23 se puede observar un esquema de BMS con las conexiones a cada uno de los elementos del sistema eléctrico.



**Figura 3.23.** Esquema de un BMS conectado a baterías de litio-ion en serie (Electronics Weekly, 2010)

## 4. Definición detallada del objetivo

Paralelamente a este trabajo, otros estudiantes desarrollarán otros vehículos parecidos, cada uno con una finalidad diferente, pero siempre de propulsión eléctrica. El objetivo es diseñar una gama de vehículos que pueda cubrir todas las necesidades que aparecen en una ciudad como Barcelona, adaptándose a la legalidad que viene y a los problemas de contaminación y tráfico. En el caso del presente proyecto, concretamente, se diseñará un cuadríciclo ligero, lo que en la Unión Europea se conoce como vehículo de tipo L6.

Los cuadríciclos actualmente no tienen un gran mercado en Barcelona, pero dado que en muchos casos los vehículos no están ocupados por más de dos personas (ver Figura 4.1), está claro que podrían ser una alternativa más racional al clásico vehículo de 5 plazas, con unas dimensiones más adecuadas para los movimientos interurbanos.

Tasa de ocupación media del transporte privado	
Distrito de residencia	Ocupación media declarada en coche
<b>BARCELONA</b>	<b>1,7</b>
1. Ciutat Vella	1,7
2. Eixample	1,7
3. Sants-Montjuïc	1,6
4. Les Corts	1,7
5. Sarrià-St Gervasi	1,8
6. Gràcia	1,9
7. Horta-Guinardó	1,6
8. Nou Barris	1,9
9. Sant Andreu	1,7
10. Sant Martí	1,5

Nota: personas por vehículo en los viajes de los barceloneses residentes

**Figura 4.1.** Ocupación media de los turismos en la ciudad de Barcelona (EMEF, 2013)

Es por este motivo que la gama de vehículos diseñados se centra en las categorías L6 y L7, muy poco presentes en el mercado automovilístico pero que probablemente puedan adquirir un peso importante en el futuro para cubrir las necesidades de los usuarios de una manera más adecuada y sin perjudicar al medioambiente.

La regulación comunitaria (UE) 168/2013 (Parlamento Europeo, 2013), establece los siguientes requisitos y definiciones:

- *vehículo L6e-B*: (cuadrimóvil ligero)
- Longitud  $\leq 3000$  mm, Anchura  $\leq 1500$  mm, Altura  $\leq 2500$  mm.
- 4 ruedas.
- Masa en orden de marcha  $\leq 600$  kg
- Potencia nominal continua máxima  $\leq 6$  kW.
- Velocidad máxima por construcción  $\leq 45$  km/h.
- Habitáculo cerrado para conductor y pasajeros, accesible por tres lados como máximo.
- Máximo de dos plazas de asiento, incluyendo la del conductor.

En el anexo 4 se pueden encontrar las tablas completas con las pruebas y requisitos que deberá superar el vehículo para ser homologado satisfactoriamente en la UE.

El vehículo será de tracción trasera, en los próximos apartados quedará definido con qué tipo de motor y transmisión. Será de 2 plazas, en configuración 1+1, para permitir en determinadas ocasiones plegar la plaza trasera para transportar, por ejemplo, personas en camilla o pequeñas cargas. Estos objetivos vienen fijados por el diseñador del vehículo, que exige esta funcionalidad.

El vehículo, en un futuro, podrá servir para transportar cualquier tipo de pequeña carga (ideal para empresas de mensajería urgente o correo) o personas con problemas de movilidad.

Teniendo en cuenta las limitaciones reglamentarias, los objetivos principales que debe cumplir la solución son las siguientes:

- Solución fácilmente industrializable. En la medida de lo posible los componentes seleccionados y su disposición deben poder ser fabricados en masa y estar disponibles en el mercado.
- Precio asequible: la solución final debe tener un precio competitivo en el mercado para ser atractiva para el usuario. El conductor actual todavía no está concienciado con el



problema medioambiental y debe tener estímulos económicos para cambiar su forma de moverse.

- Máxima autonomía posible: actualmente no hay una red de cargadores demasiado extensa, por lo cual es necesario que el vehículo tenga autonomía suficiente como para hacer un uso diario de él dependiendo lo mínimo posible de recargarse.
- Maniobrabilidad: en las situaciones de tráfico actual el hecho de que el vehículo tenga las dimensiones adecuadas y sea maniobrable lo hará atractivo para el usuario debido a que facilitará el moverse por la ciudad.
- Máximo nivel de eficiencia energético y mínimo impacto ambiental.

## 5. Cálculos justificativos

Para dimensionar el tren de potencia, y escoger por tanto qué potencia de motor se necesita, qué tipo de batería y de qué tamaño, se debe calcular a qué fuerzas estará sometido el vehículo y por tanto cuales tiene que ser capaz de vencer. Las especificaciones mínimas están definidas por el capítulo 4 de esta sección y en concreto por la normativa europea. Una vez realizados los cálculos, se acabarán de concretar todos los parámetros siempre respetando la normativa.

Uno de los datos más críticos, la masa del vehículo, viene determinada por el diseñador y la normativa. Tal como se ha especificado previamente la masa máxima en orden de marcha es de 600 kg. Tal como se puede leer en el reglamento correspondiente:

<p>Determinación de la masa en orden de marcha</p> <p>1. La masa en orden de marcha de un vehículo de categoría L se determinará midiendo la masa del vehículo sin carga listo para su uso normal e incluirá la masa de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) los líquidos;</li> <li>b) el equipo estándar conforme a las especificaciones del fabricante;</li> <li>c) el "combustible" contenido en el depósito, que estará lleno hasta el 90 % de su capacidad, como mínimo.</li> </ul> <p>A efectos de la presente letra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i) si la propulsión del vehículo se hace con un "combustible líquido", este se considerará "combustible",</li> <li>ii) si la propulsión del vehículo se hace con una "mezcla líquida de combustible y aceite": <ul style="list-style-type: none"> <li>- si el combustible para la propulsión del vehículo y el aceite de lubricación han sido mezclados previamente, esa "mezcla previa" se considerará "combustible",</li> <li>- si el combustible para la propulsión del vehículo y el aceite de lubricación se almacenan por separado, solo el "combustible" propulsor se considerará "combustible", o</li> </ul> </li> <li>iii) si la propulsión del vehículo se hace con un combustible gaseoso o un combustible gaseoso licuado, o si funciona con aire comprimido, la masa del "combustible" contenido en el o los depósitos de combustible gaseoso podrá fijarse en 0 kg;</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>d) la carrocería, de la cabina y de las puertas, y</li> <li>e) los cristales, de los dispositivos de remolque, de la (s) rueda (s) de repuesto y de las herramientas.</li> </ul> <p>2. La masa en orden de marcha de un vehículo de la categoría L no incluirá la masa de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) el conductor (75 kg) y del pasajero (65 kg);</li> <li>b) las máquinas o del equipo instalados en la zona de la plataforma de carga;</li> <li>c) en el caso de un vehículo de propulsión híbrida o eléctrica pura, las baterías de propulsión;</li> <li>d) en el caso de un vehículo monocombustible, bicombustible o multicomcombustible, el sistema para combustible gaseoso y la masa de los depósitos de almacenamiento del combustible gaseoso, y</li> <li>e) en caso de propulsión con aire precomprimido, los depósitos de almacenamiento del aire comprimido.</li> </ul>
---

**Figura 5.1.** Reglas para la determinación de la masa en orden de marcha para la categoría de vehículos L (Unión Europea, 2013)

Por lo tanto, a los 600 kg que marca la normativa (que se toman como referencia como peso del chasis y el powertrain exceptuando baterías) hay que añadir el posible peso de conductor (75 kg) y pasajero (65 kg) y el peso de las baterías (por determinar). Se tomará como referencia el peso de las baterías de un vehículo equivalente de la misma categoría de los

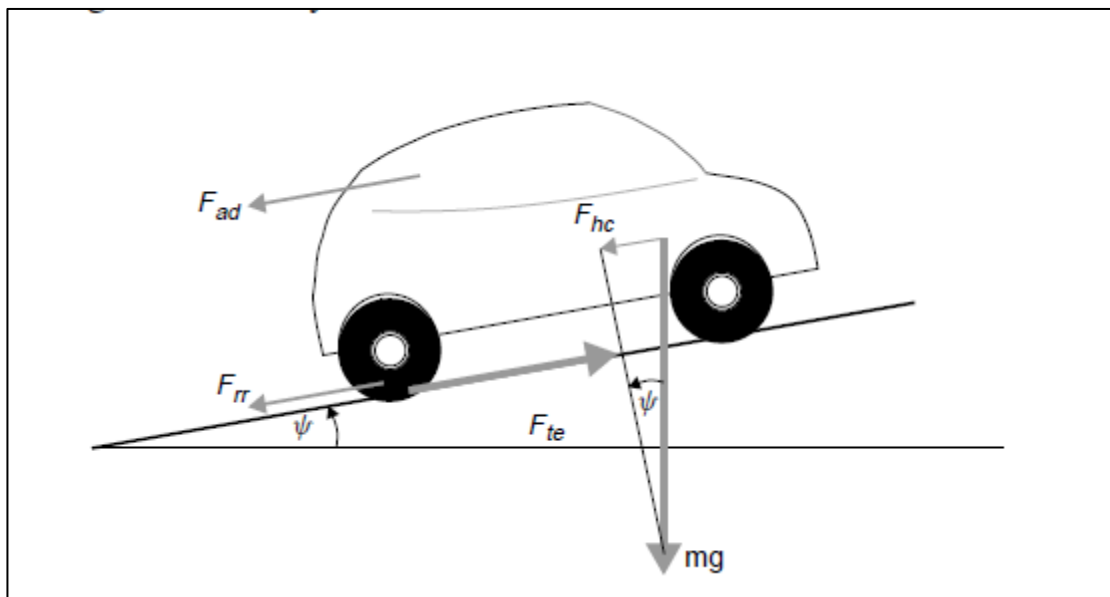
que hay en el mercado (Renault Twizy, ver ficha técnica en el Anexo 5) y para empezar a calcular el valor será de 100 kg. Más adelante se reajustará con los componentes definitivos, para la primera iteración se tiene en cuenta el peor escenario posible.

Por lo tanto:

$$m_{vehículo} = m_{chasis} + m_{pasajeros} + m_{batería} = 600 \text{ kg} + 140 \text{ kg} + 100 \text{ kg} = 840 \text{ kg} \text{ (Ec. 5.1)}$$

## 5.1. Cálculo potencia necesaria motor

El primer paso para dimensionar el vehículo es calcular la fuerza de tracción necesaria, que si se pretende mantener una velocidad constante será igual a las fuerzas que debe vencer el vehículo para avanzar, o mayor a estas fuerzas si se quiere acelerar. Tal como se puede observar en el diagrama de la figura 22:



**Figura 5.2.** Diagrama de fuerzas de un vehículo ascendiendo por un pendiente inclinado (Larminie & Lowry, 2003)

Las fuerzas que se ven dibujadas en el diagrama y que hay que considerar se detallan a continuación:

$$F_{rr} = \mu_{rr} * m_{vehículo} * g \quad \text{(Ec. 5.2)}$$

En la Ec. 5.2.  $\mu_{rr}$  es el coeficiente de rozamiento y  $g$  la gravedad que se toma como 9,81 m/s<sup>2</sup>.

El coeficiente  $\mu_{rr}$  se considerará constante para el cálculo y depende del tipo de ruedas y de la presión de estas. Se considerará un valor de 0,015 (adimensional), que es un valor típico para este tipo de vehículos con ruedas estándar en buen estado e infladas a la presión adecuada (Larminie & Lowry, 2003).

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * v^2 \quad (\text{Ec 5.3})$$

En la Ec 5.3 se calcula la fuerza de resistencia al avance contra el aire.  $\rho$  es la densidad del aire,  $A$  el área frontal del vehículo,  $C_d$  es una constante llamada coeficiente aerodinámico y  $v$  es la velocidad del aire.

$C_d$  depende directamente del diseño del vehículo. Los valores típicos van entre 0,19 y 0,7 dependiendo del tipo de vehículo (Larminie & Lowry, 2003). Al no disponer de datos sobre el diseño exacto, se considerará que se hace un diseño muy óptimo del chasis y se consigue un  $C_d$  de 0,2 (adimensional). La  $\rho$  es la del aire, y depende directamente de temperatura y altitud. Se considera que a presión atmosférica y  $T=15^\circ\text{C}$  un valor plausible es 1,225 kg/m<sup>3</sup> (Real Academia de Ingeniería, s.f.).

$$F_{hc} = m_{vehículo} * g * \sin(\psi) \quad (\text{Ec. 5.4})$$

En la Ec. 5.4 se calcula la fuerza del peso del vehículo en un plano inclinado.  $\psi$  es el pendiente del plano inclinado.

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} \quad (\text{Ec 5.5})$$

En la Ec. 5.5 se calcula la fuerza necesaria para que el vehículo se mantenga a velocidad constante

Por último, y para determinar la potencia del motor, se tiene en cuenta que instantáneamente:

$$P = F * v \quad (\text{Ec 5.6})$$

Teniendo en cuenta las expresiones anteriores, la fuerza que debe realizar el vehículo es:

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{te} = \mu_{rr} * m_{vehículo} * g + \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * v^2 + m_{vehículo} * g * \sin(\psi) \quad (\text{Ec. 5.7})$$

En resumen, para el vehículo de estudio, las variables son:

- $\mu_{rr}=0,015$  adimensional
- $m_{vehículo}=840$  kg
- $g=9,81$  m/s<sup>2</sup>
- $\rho=1,225$  kg/m<sup>3</sup>
- $A = \text{Anchura} * \text{Altura} = 1,5 \text{ m} * 2 \text{ m} = 3 \text{ m}^2$ . Como no se sabe exactamente la forma del frontal del vehículo (que es la que influye en este cálculo), se usan dos valores plausibles.
- $C_d=0,2$  adimensional
- $v=5$  m/s. Valor del viento de cara contra el vehículo. Se toma el valor de un día aleatorio en Barcelona.
- $\psi$  calculado en función del pendiente. Se considera un pendiente del 3%, que equivale a un  $\psi=1,71^\circ$ . Es un pendiente muy moderado, pero cabe considerar que el vehículo, cuando encare pendientes más elevados podrá seguir haciéndolo a una velocidad más moderada. Por hacer una comparativa, este pendiente es más de la mitad del pendiente medio de la subida al puerto de Montjuic, una de las que tiene un pendiente más alto en Barcelona.
- $v_{vehículo} = 45$  km/h

Con todo esto:

$$F_t = 123,6 \text{ N} + 9,1875 \text{ N} + 245,89 \text{ N} = \mathbf{378,67 \text{ N}} ; \quad (\text{Ec. 5.8})$$

$$P = F_t * v_{vehículo} = \mathbf{4733,46 \text{ W}} \quad (\text{Ec. 5.9})$$

La potencia calculada es la mínima necesaria del motor para mover el vehículo a la velocidad de 45 km/h. Cumple con la normativa de la UE.

Otra consideración posible podría ser valorar cuanta potencia es necesaria para acelerar desde parado en estas condiciones de 0 a 45 km/h.

A los términos considerados en la Ec. 5.8, hay que añadirle un término más que considere masa\*aceleración. Considerando las mismas expresiones:

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{te} + F_{ac} \quad (\text{Ec 5.10})$$

$$F_{ac} = m_{vehículo} * \text{aceleración} \quad (\text{Ec 5.11})$$

Si se considera el límite de potencia de 6 KW marcado por la homologación, más las consideraciones previas, y que la velocidad media en este momento de aceleración transitoria es de 25 km/h, la fuerza máxima que podría desarrollar el vehículo sería de 864 N. Restando las consideraciones previas, nos queda que la fuerza de aceleración máxima es igual a 485,33 N. Y considerando la Ec. 5.11, la aceleración máxima sería de 0,58 m/s<sup>2</sup>. Considerando un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, tardaría 21,55 s en realizar este trayecto de acelerar de 0 a 45 km/h con las condiciones previamente expuestas. Se considera un resultado aceptable para esta categoría de vehículo.

Una vez dimensionado el motor, el siguiente paso es dimensionar la batería y calcular los parámetros necesarios.

## 5.2. Dimensionamiento baterías

Para dimensionar la batería es necesario tener varias consideraciones previas:

- Supondremos tensión de funcionamiento V=100 V.
- Supondremos un consumo energético de 155 Wh/Km (basado en (EV-PROPULSION, 2011)).
- La potencia es la considerada previamente 4733,46W.
- Se quiere conseguir una autonomía de 50 km (se considera que esta autonomía es suficiente para cubrir desplazamientos interurbanos, nos permitiría cruzar la Avenida Diagonal de punta a punta 5 veces sin recargar).

Los cálculos se basan en las simplificaciones que se pueden observar en (EV-PROPULSION, 2011).

$$\text{Energía}_{batería} = \text{Consumo}_{batería} * \text{Autonomía}_{deseada} \quad (\text{Ec. 5.12})$$

$$Q_{bateria} = \frac{Energia_{bateria}}{Voltaje} \quad (\text{Ec. 5.13})$$

Particularizando:

$$Energia_{bateria} = 155 \frac{Wh}{Km} * 50 km = 7750 Wh \quad (\text{Ec. 5.14})$$

$$Q_{bateria} = \frac{7750 Wh}{100 V} = 77,5 Ah \quad (\text{Ec. 5.15})$$

## 6. Resultados

En este capítulo, tras presentar los componentes en el capítulo 3 y justificar las dimensiones en el capítulo 5, se analizará para cada uno de los casos cual será la solución escogida y el porqué.

El método de selección de las soluciones será el uso de matrices de decisión (en el caso que haya múltiples alternativas). Se especificará en cada caso los factores de decisión y el peso de cada uno de ellos en la nota final de cada alternativa. Se puntuará cada factor del 1 al 5, y cada factor también tendrá un peso del 1 al 5 por el que se multiplicará su resultado.

### 6.1. Configuración powertrain eléctrico

Opciones:

- Alternativa 1: Motor eléctrico con sistema de transmisión tradicional
- Alternativa 2: Motor eléctrico con relación fijada de transmisión
- Alternativa 3: Motor eléctrico con relación fijada de transmisión (versión compactada)
- Alternativa 4: Motor eléctrico y transmisión fija por cada rueda directriz exteriores a las ruedas
- Alternativa 5: Motor a rueda o “in-wheel”. Con o sin transmisión fija

Factores de decisión:

- “Madurez” de la tecnología. ¿Es una tecnología consolidada en el mercado? Si está consolidada su implementación será más sencilla.
- Complejidad técnica. A mayor puntuación menor complejidad. La menor complejidad facilitará su industrialización.
- Peso. A mayor puntuación menor peso.
- Coste. A mayor puntuación menor coste.
- Innovación. Libertad de diseño del resto del coche. A mayor puntuación mayor libertad de diseño.

La innovación y la libertad de diseño serán los factores con más peso junto con el



Peso/Volumen. Es importante optar por soluciones innovadoras pues atraen al consumidor, y a su vez también es importante que la opción escogida no limite el diseño del chasis del vehículo. El peso y el volumen deben ser mínimos para maximizar el rendimiento y facilitar el encaje de todos los componentes del vehículo.

Factores	Peso factor	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Madurez	3	4	4	3	2	1
Complejidad	2	1	2	3	4	1
Peso/Volumen	5	1	2	4	2	5
Coste	4	2	3	4	4	2
Innovación	5	1	1	3	3	5
Libertad	5	1	2	3	4	5
Resultado		37	53	81	75	88
Resultado sobre 10		3,08	4,42	6,75	6,25	7,33

**Figura 6.1.** Matriz de decisión configuración powertrain

Se diseñará así pues un powertrain con un **motor a rueda sin transmisión** (Alternativa 5).

## 6.2. Selección de componentes powertrain

### 6.2.1. Motor/Controlador motor

Tras la decisión de usar la configuración de motor “in-wheel”, se procede a analizar las diferentes alternativas encontradas tras estudiar el mercado:

- Alternativa 1: Elaphe M700 VD4.
- Alternativa 2: Ecomove inWheel Electric Powertrain
- Alternativa 3: Printed Motor Works XR32-11-009207
- Alternativa 4: Kelly Hub Motor 72V 4.5 KW (Disc-Brake)

En el Anexo 6 se pueden ver las especificaciones técnicas de cada una de las alternativas.

Factores de decisión:

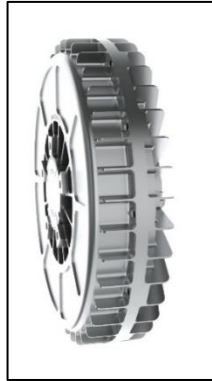
- Peso
- Dimensiones

- Potencia → se valorará que la potencia nominal se acerque a la calculada previamente. Ya se han descartado las alternativas de potencia inferior, a las de potencia superior se les penalizará en la valoración ya que habría que limitar los motores para cumplir con la normativa de homologación.
- Par
- Coste

Factores	Peso factor	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Peso [Kg]	0	25,2	21	17	46
Puntuación peso	5	3	4	5	1
Diámetro [mm]	0	380	350	360	330,2
Puntuación diámetro	2	2	4	3	5
Potencia nominal [kW]	0	33	24,5	4,7	4,5
Puntuación potencia	5	2	3	5	4
Par [Nm]	0	700	384	160	71,6
Puntuación par	4	5	5	3	1
Coste [€]	0	?	?	?	428
Puntuación coste	0	0	0	0	5
Resultado		49	63	68	39
Resultado sobre 10		6,13	7,88	8,50	4,88

**Figura 6.2.** Matriz de decisión configuración powertrain

La alternativa seleccionada es la número 3: motor in-wheel **Printed Motor Works XR32-11-009207**. Se trata de un motor a rueda brushless de imanes permanentes con rotor externo.



**Figura 6.3.** Vista lateral del Printed Motor Works XR32-11-009207 (Printed Motor Works, s.f.)

La elección del motor también determina el controlador, pues el fabricante Printed Motors recomienda uno que funciona adecuadamente con su producto (ver anexo 5), el **Sevcon Gen4 72-80V 180A for Brushless PM Motors.**



**Figura 6.4.** Controlador Sevcon Gen4 72-80V (electricmotorsport.com, s.f.)

Este controlador es adecuado para el motor seleccionado ya que funciona en el rango de operación del sistema, está preparado para el control de motores como el seleccionado y además incluye la posibilidad de gestionar la frenada regenerativa. En el Anexo 7 se pueden ver sus especificaciones.

Se necesitarán dos motores y dos controladores: uno para cada rueda delantera, pues el

vehículo tal como queda definido en las especificaciones tendrá tracción delantera. Para superar las pruebas de homologación será necesario limitar la entrega de potencia para que la suma de ambos motores nunca supere los 6 KW.

### 6.2.2. Baterías

Las alternativas son:

- Alternativa 1: Níquel-Cadmio
- Alternativa 2: Níquel-metal hidruro
- Alternativa 3: Ácido-plomo
- Alternativa 4: Ion-litio
- Alternativa 5: Ion-litio polímero

Y los factores que se tendrán en cuenta serán:

- Densidad energética
- Tiempo de carga rápida
- Auto-descarga
- Mantenimiento
- Coste
- Vida útil (medida en ciclos de carga hasta el 80% de la capacidad inicial)

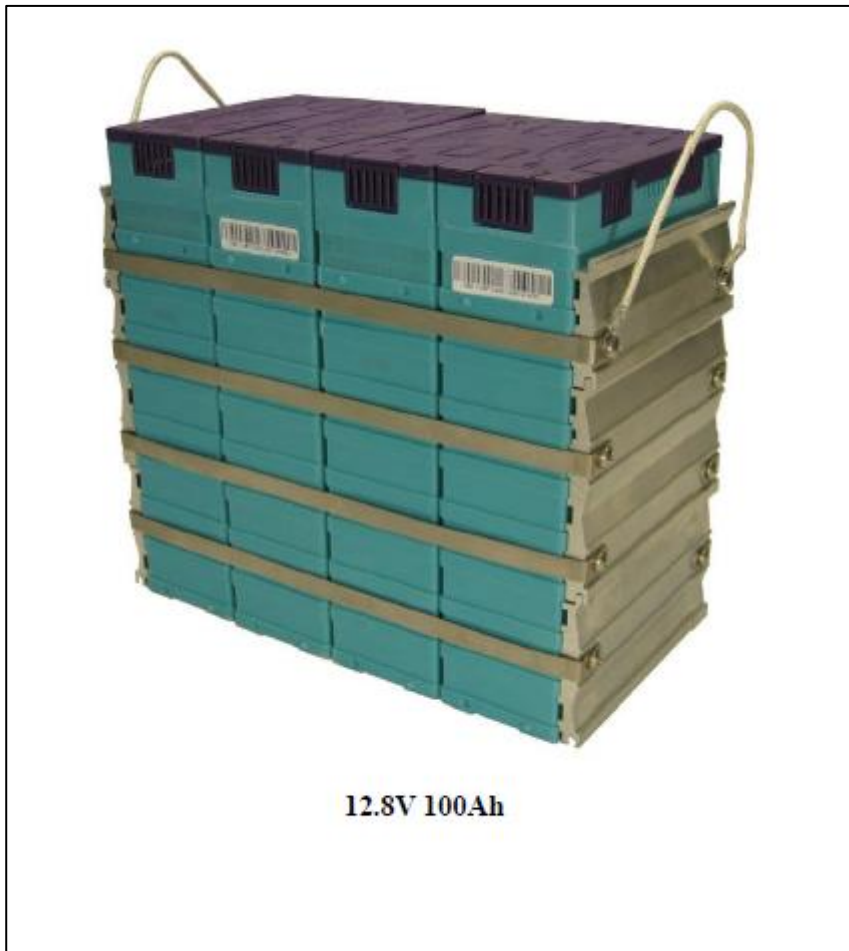
Factores	Peso factor	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Densidad energética [Wh/kg]	0	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130
Puntuación densidad	5	1	2	1	5	4
Tiempo de carga rápida (h)	0	1	2-4	8-16	2-4	2-4
Puntuación carga rápida	3	5	4	2	4	4
Auto-descarga (%)	0	20	30	5	10	10
Puntuación auto-descarga	2	2	1	5	4	4
Mantenimiento	0	30-60 días	60-90 días	3 a 6 meses	NA	NA
Puntuación mantenimiento	5	1	1	2	5	5
Coste (US\$)	0	0,04	0,12	0,1	0,14	0,29
Puntuación coste	4	5	3	4	3	1
Vida útil (ciclos)	0	1500	300-500	200-300	500-1000	300-500
Puntuación vida útil	1	5	3	2	4	3
Resultado		54	44	49	86	72
Resultado sobre 10		5,40	4,40	4,90	8,60	6,00

**Figura 6.5.** Matriz de decisión baterías

Se escogen **baterías del tipo ion-litio**. Una vez escogida la tipología de batería, se hace una búsqueda en el mercado de baterías de este tipo que puedan cumplir con los requisitos calculados en el capítulo 5 (>77 Ah, 100V) y aparecen dos alternativas:

- Proveedor GWL Power:
  - Pack de batería 12V 90Ah. 15 Kg por pack. Precio: 418€/pack. Para tener 100V en serie harían falta 9 → Precio 3762€, peso 135 kg.
- Proveedor AA Portable Power Corp:
  - Pack de batería 12,8V 100Ah. 12,8 kg por pack. Precio: 550€/pack. Para tener 100V en serie harían falta 8 → Precio 4400€, peso 102,4 kg.

Pese a que la segunda opción es 700€ más cara, se escoge la segunda (**AA Portable Power Corp**) por el peso del conjunto. Al realizar los cálculos previos se había considerado 100kg, la diferencia es despreciable. Además, el menor peso permitirá un mejor rendimiento del conjunto. En el Anexo 8 se pueden consultar las características generales de cada una de las dos opciones y las especificaciones por celda del componente seleccionado. En total, la batería será de  $8 \times 4 = 32$  celdas.



**Figura 6.6.** Conjunto de un pack de baterías de 12,8V (AA Portable Power Corp)

### 6.2.3. Convertidores de potencia

La función de inversor y rectificador entre motor y batería en los periodos de descarga (uso del vehículo) y carga (frenada regenerativa) la realiza el controlador del motor que ya se ha mencionado en apartados anteriores.

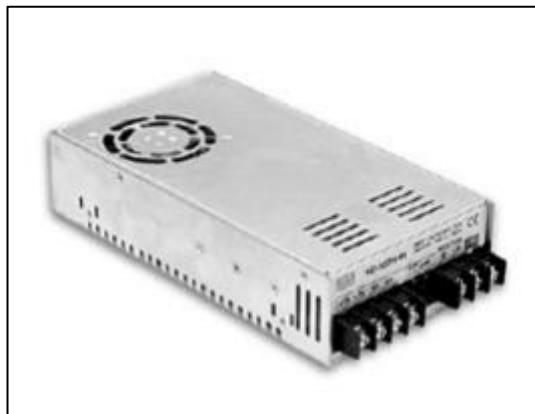
En cuanto a la conversión de potencia es necesario además un convertidor DC/DC que transforme el alto voltaje de la batería (100 V) al estándar que suelen usar los aparatos auxiliares del vehículo como ventanillas o equipo de música (suele ser 12V). Además, debe proveer también al resto de elementos que funcionan con DC como el controlador del motor

o el BMS.

Tras estudiar las diferentes alternativas del mercado, aparecen dos posibles alternativas:

- EV Source - 500-DCDC-500
  - Eficiencia del 87%
  - Rango de entrada 72-144 V
  - Rango de salida 11-15 V
  - Precio: 177€
  - Peso 1,15 Kg
- Kelly HWZ Series DC/DC Converter 96V to 12V
  - Rango de entrada: 75-130V
  - Rango de salida 12V
  - Precio: 116€
  - Peso: 2,5 Kg

Ambos tienen un rango de operación muy similar. Las principales diferencias están en peso y coste, y debido a que la diferencia económica no es muy significativa (61€), se escoge la primera alternativa ya que permite ajustar el voltaje de salida.



**Figura 6.7.** Conversor DC/DC de EV Source (EV Source, s.f.)

En el Anexo 10 se pueden consultar las especificaciones técnicas detalladas de ambos.

#### 6.2.4. Battery management system

El requisito principal del BMS es que debe ser capaz de conectarse con 32 celdas. Además, es necesario que sus datos sean fácilmente accesibles. De entre los productos encontrados en el mercado, hay dos que destacan por su precio y sus funciones:

- Orion BMS para baterías de ion-litio de Ewert Energy Systems
  - Precio 982€
  - Datos accesibles fácilmente desde Smartphone o PC.
  - El módulo ofertado es compatible con hasta 48 celdas.
  - Incluye sensores y conexiones necesarios para las conexiones en el kit.
  - Peso de 2,5 KG
- Lithiumate Lite BMS
  - Precio 910€+163€ (BMS + módulo de conectividad) = 1.073€
  - Acceso a los datos mediante puerto USB y WiFi
  - Compatible con hasta 48 celdas.

En el Anexo 11 se pueden ver las fichas técnicas de ambos. Debido a que el **Orion BMS** tiene un coste más competitivo incluyendo las mismas funciones, se decide optar por este componente.



**Figura 6.8.** Orion Battery Management System (Ev-Source, s.f.)



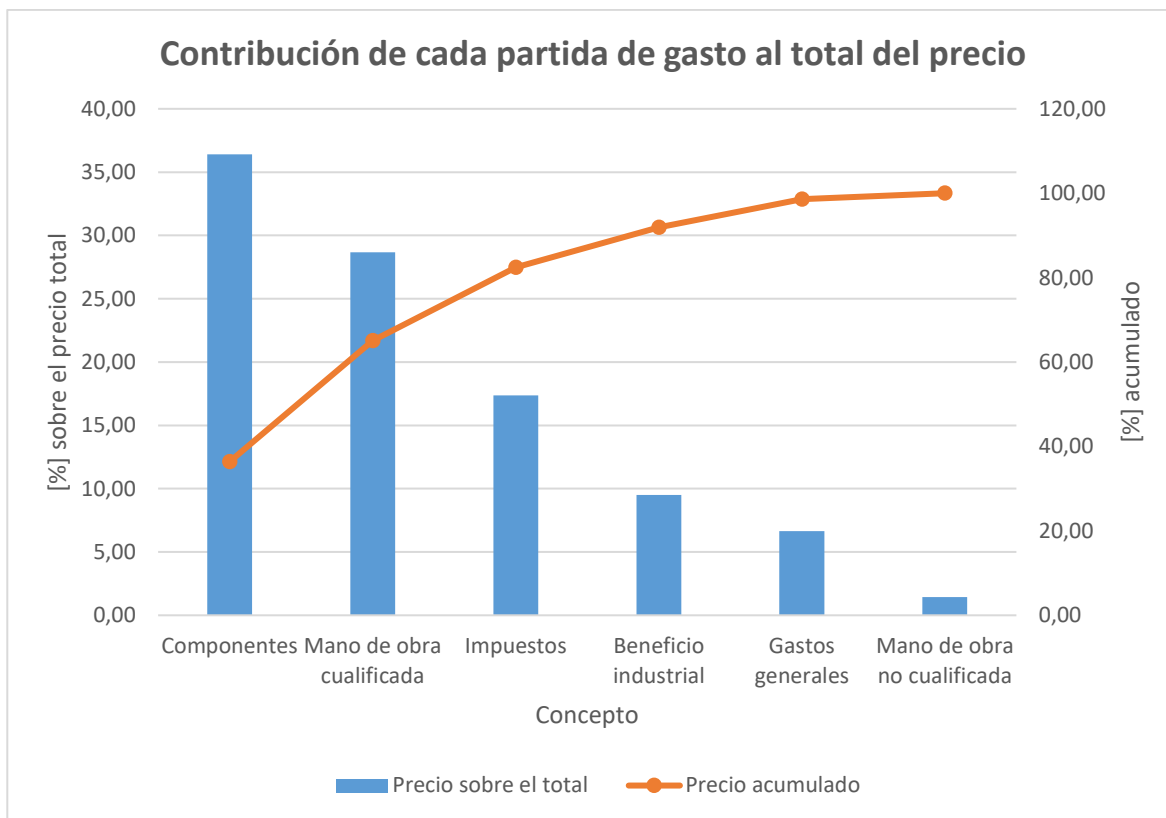
## 7. Presupuesto

En la Figura 7.1 se puede observar el precio de los componentes del powertrain eléctrico.

<b>Precio componentes</b>				
Componente	Nombre comercial	Coste unitario	Unidades	Coste total
Precio componentes				<b>7.621 €</b>
Motor eléctrico	Printer Motor Works XR32-11*	500 €	2	1.000 €
Controlador motor	Sevcon Gen4 72-80V 180A for Brushless PM Motors	531 €	2	1.062 €
Pack baterías	AA Portable Power Corp 12,8V 100Ah pack	550 €	8	4.400 €
Convertidor DC/DC	Ev Source 500-DCDC-500	177 €	1	177 €
BMS	Orion BMS Ewert Energy Systems	982 €	1	982 €
<b>Precio mano de obra cualificada</b>				
Concepto	Coste/hora	Horas	Coste total	
Honorarios Ingeniero industrial				<b>6.000 €</b>
- Cálculos técnicos	20 €	80	1.600 €	
- Redacción del proyecto	20 €	220	4.400 €	
<b>Precio mano de obra no cualificada</b>				
Concepto	Coste/hora	Horas	Coste total	
Montaje prototipo (4 operarios)				<b>300 €</b>
- Coste por operario	5 €	15	75 €	
<b>Otros conceptos</b>				
Concepto	Coste total			
Gastos generales (10% sobre el precio de mano de obra y componentes)				<b>1.392 €</b>
Beneficio industrial (13% sobre el total del resto de partidas)				<b>1.991 €</b>
<b>Precio antes de impuestos</b>				
Suma de todas las partidas de gasto				<b>17.304 €</b>
<b>Impuestos</b>				
IVA (21 %)				<b>3.634 €</b>
<b>Precio final construcción prototipo</b>				<b>20.938 €</b>

**Figura 7.1.** Presupuesto prototipo powertrain.

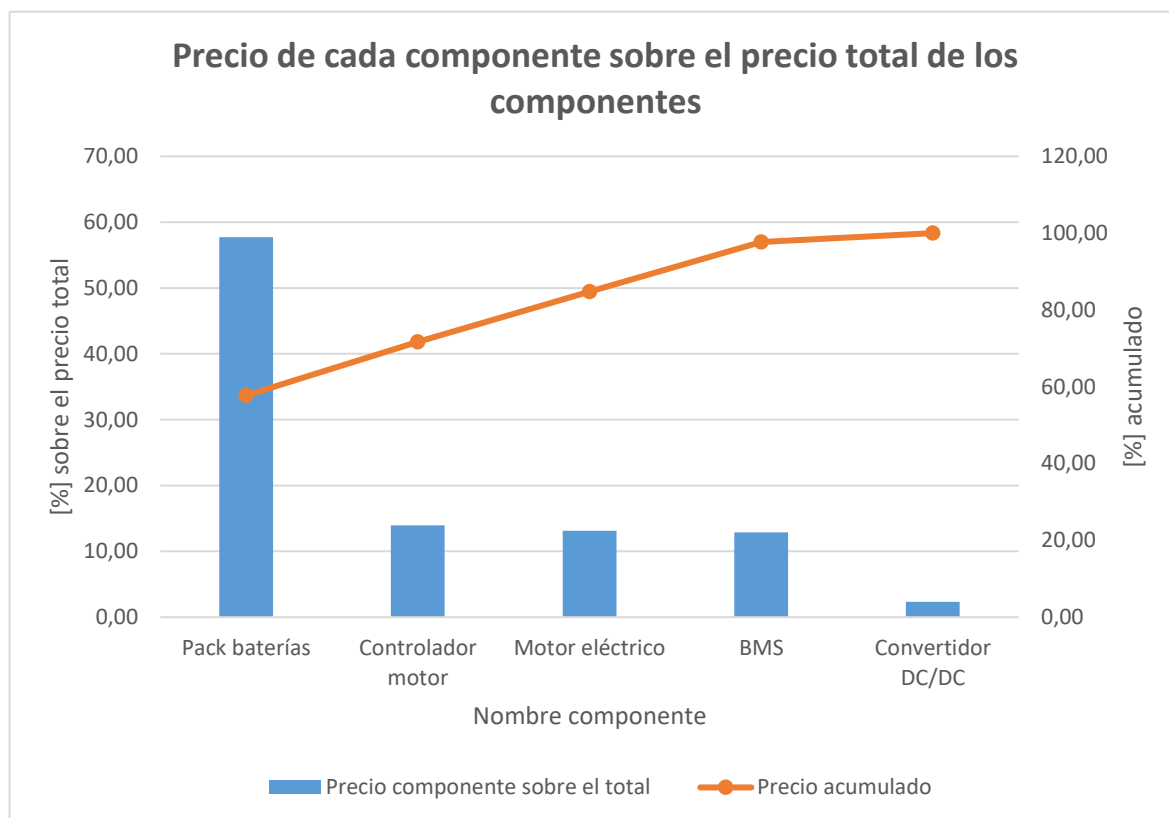
El precio de los componentes es el expuesto públicamente por los diferentes proveedores en sus catálogos, a excepción del motor eléctrico del que no se disponen datos. Se ha aproximado un valor teniendo en cuenta los precios de motores similares de la competencia.



**Figura 7.2.** Diagrama de Pareto de las partidas de gasto para realizar el prototipo

Tal y como se puede observar en la Figura 7.2, hay dos conceptos que aglutinan casi el 80% del gasto: la mano de obra cualificada y los componentes. Sobre el primero es difícil actuar ya que está regulado por convenios colectivos y el mercado laboral del país de construcción, pero sobre el segundo hay margen de mejora. Hay que tener en cuenta que los precios presupuestados para los componentes son para construir un prototipo comprando a cada proveedor solo las unidades necesarias para la construcción de este, pero cuando se lanzase la producción serie, se podrían negociar mejores precios y reducir drásticamente el coste unitario del powertrain.

En todo caso, es interesante analizar cuáles de los componentes son los que aportan más gasto económico a la construcción del prototipo, para ver donde hay más margen de mejora respecto al precio total.



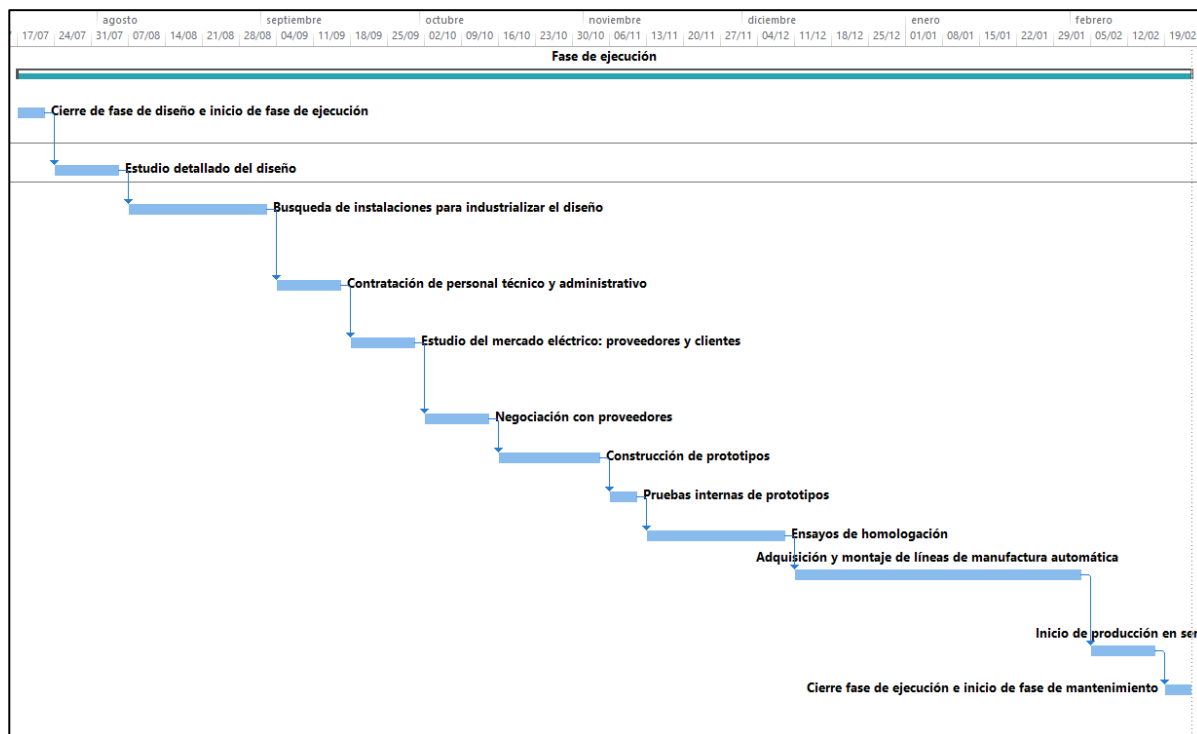
**Figura 7.3.** Diagrama de Pareto del precio de cada componente sobre el total del precio de los componentes

Tal y como se puede observar en la Figura 7.3, el componente que más condiciona el precio del vehículo son las baterías, superando por mucho su contribución al precio total al resto de componentes. El campo de las baterías aún está en desarrollo, y es probable que en los próximos años haya avances o se descubran nuevas tecnologías más eficientes que permitan reducir costes.

Está claro que para que este producto fuese competitivo en el mercado habría que trabajar en un primer momento con márgenes de beneficio muy reducidos e intentar que los consumidores pudiesen aprovechar las diferentes campañas gubernamentales que facilitan la adquisición de vehículos respetuosos con el medio ambiente.

## 8. Temporización

Un proyecto consta de, al menos, 4 fases: diseño, ejecución, mantenimiento y desmantelamiento. El presente proyecto abarca la fase de diseño y a continuación se detalla una posible temporización una vez finalizada ésta. En el diagrama de Gantt de la Figura 8.1 se observan las diferentes subfases de la fase de ejecución.



**Figura 8.1.** Diagrama de Gantt fase ejecución del proyecto

En la Figura 8.2 se detalla cada subfase con su duración, día de inicio y día de final. Iniciando esta fase el 17 de julio de 2017, se podría lanzar a producción el powertrain en febrero de 2018. Hay varias fases críticas como la búsqueda de terrenos para industrializar el diseño, la negociación con proveedores, la construcción de prototipos y los ensayos de homologación.

Una vez finalizadas todas estas subfases, se daría inicio a la fase de mantenimiento del proyecto y se seguiría la producción controlando que no se desvíe de los estándares de

calidad y coste fijados previamente.

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
<b>▲ Fase de ejecución</b>	<b>160 días</b>	<b>lun 17/07/17</b>	<b>vie 23/02/18</b>
Cierre de fase de diseño e inicio de fase de ejecución	1 sem	lun 17/07/17	vie 21/07/17
Estudio detallado del diseño	2 sem.	lun 24/07/17	vie 04/08/17
Busqueda de instalaciones para industrializar el diseño	4 sem.	lun 07/08/17	vie 01/09/17
Contratación de personal técnico y administrativo	2 sem.	lun 04/09/17	vie 15/09/17
Estudio del mercado eléctrico: proveedores y clientes	2 sem.	lun 18/09/17	vie 29/09/17
Negociación con proveedores	2 sem.	lun 02/10/17	vie 13/10/17
Construcción de prototipos	3 sem.	lun 16/10/17	vie 03/11/17
Pruebas internas de prototipos	1 sem	lun 06/11/17	vie 10/11/17
Ensayos de homologación	4 sem.	lun 13/11/17	vie 08/12/17
Adquisición y montaje de líneas de manufactura automática	8 sem.	lun 11/12/17	vie 02/02/18
Inicio de producción en serie	2 sem.	lun 05/02/18	vie 16/02/18
Cierre fase de ejecución e inicio de fase de mantenimiento	1 sem	lun 19/02/18	vie 23/02/18

**Figura 8.2** Desglose tareas fase ejecución del proyecto

## 9. Impacto ambiental

En el capítulo 2, para justificar la necesidad del proyecto ya se ha demostrado que el vehículo eléctrico, analizando su ciclo de vida completo, es más respetuoso con el medioambiente que un vehículo de tracción convencional.

Pese a eso, es necesario analizar cuáles son los riesgos medioambientales que comporta la fabricación, uso y destrucción de un vehículo eléctrico.

De todos los componentes de un powertrain eléctrico, hay uno especialmente crítico con el medio ambiente: las baterías. Anteriormente, en la industria, se trabajaba con baterías de plomo ácido y este era especialmente contaminante. En la actualidad, y tal como se ha escogido en este proyecto, las baterías de ion-litio son la tendencia.

Si bien es cierto que el litio es menos contaminante que el plomo, presenta también problemas asociados. Más allá de los problemas sociales que presenta (las reservas de litio se encuentran en países no desarrollados básicamente, y comúnmente se enfrentan los intereses locales con los intereses de las multinacionales que explotan los yacimientos), hay problemas medioambientales asociados. El proceso de extracción del litio tiene básicamente tres etapas (Javor, 2016):

- Bombeado de la salmuera de los salares (o marismas). Esta fase requiere una gran cantidad de energía y agua.
- Evaporación. Requiere grandes áreas destinadas solo a ello.
- Calcinación del carbonato de litio. Emite CO<sub>2</sub>.



**Figura 9.1** Salar de Atacama en Chile, uno de los principales lugares donde se produce litio (diarioUchile, 2016)

Este proceso genera contaminación en el aire y afecta al ecosistema y por tanto a la cadena alimentaria de las poblaciones donde se trabaja en la extracción del litio. Las cifras son las siguientes (Javor, 2016):

- 90 MJ de energía necesarios para cada kg de batería de ion-litio producido.
- Uso de 1,6 kg de petróleo para cada kg de batería producido.
- 12,5 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por cada kg de batería producido.

Estas cantidades son superiores a las necesitadas para producir otro tipo de baterías. El impacto ambiental de las baterías de litio se puede reducir ya que es posible reciclarlas, pese a que actualmente no es rentable económicamente hacerlo. Sería necesario a nivel gubernamental fomentar el reciclaje de este componente y la investigación para hacerlo más atractivo económicamente, pues a largo plazo cabe recordar que el litio es un elemento cuya disponibilidad a nivel mundial es limitada.

El resto de componentes del powertrain no tienen un impacto ambiental demasiado elevado, aunque es necesario, como fabricante, controlar el reciclaje de todos los componentes posibles (por ejemplo, el cobre presente en baterías, motor, cableado...)

## Conclusiones

- Tras el análisis realizado de la situación actual de la movilidad en las grandes urbes europeas, es necesario un cambio de paradigma en pos de reducir la contaminación ambiental y evitar problemas de salud a los ciudadanos.
- El nuevo paradigma quedará limitado por las nuevas legislaciones que ya están llegando de la mano de las administraciones locales. Los usuarios y los fabricantes deben adaptarse a ellas.
- Si se analizan las alternativas al vehículo de combustión interna tradicional, el vehículo eléctrico es la más sólida. A lo largo de su ciclo de vida completo es menos contaminante que sus predecesores.
- Los cuadríciclos son una buena alternativa de movilidad interurbana: cubren adecuadamente la ocupación media de los vehículos en la ciudad de Barcelona.
- La configuración del powertrain que se basa en el uso de motores a ruedas sin transmisión es la más innovadora, deja gran libertad al diseñador del chasis y cumple con los requerimientos de peso, volumen y coste.
- La elección de motores y controladores es básica: deben permitir que se cumpla con la legislación de homologación, tener un coste adecuado y una sencilla interacción entre ellos. Los controladores gestionan la transformación de energía entre batería y motor.
- La batería es el componente más crítico de un powertrain eléctrico: compromete autonomía y peso final. Las baterías de ion-litio cumplen con las necesidades requeridas, tienen un coste asumible y están muy extendidas en el mercado.
- El “Battery management system” y los reguladores de corriente continua también son básicos para el powertrain. La correcta elección de ambos permitirá alargar la vida útil de las baterías y que el usuario tenga una experiencia agradable en el vehículo eléctrico.
- El precio de construcción de un prototipo es elevado en comparación con el mercado actual. La producción en serie permitiría abaratar costes y ser competitivo.
- En un período corto de tiempo (1 año o menos) se podría empezar a producir en serie si se dedican suficientes recursos.



- Como fabricante hay que ser consciente del impacto ambiental de las baterías de ion-litio. Se deben tratar de reciclar y colaborar en la investigación para hacer su reciclaje rentable.

## Agradecimientos

Al director de este Trabajo Final de Grado, Emilio Hernández, su ayuda durante el proceso de realización de este proyecto.

A mi familia y a mi pareja, por su constante apoyo durante los últimos años en la universidad y por sus consejos y correcciones para mejorar este documento y hacerlo más entendible para un lector no especializado.

## Bibliografía

AA Portable Power Corp. (s.f.). *SPECIFICATION OF LFP-G100*.

ADEME. (2013). *Analyse de Cycle de Vie comparative des véhicules électriques et thermiques (essence et diesel)*. Ademe.

AEGT01. (s.f.). *Quimera All Electric GT*. Obtenido de [http://www.quimera-project.com/PDF/Highlights/QM\\_CatalegAEGT\\_24ox180.pdf](http://www.quimera-project.com/PDF/Highlights/QM_CatalegAEGT_24ox180.pdf)

Agencia de Salut Pública de Barcelona. (2016). *Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona*. Barcelona.

Álvarez, C. (31 de Enero de 2014). *El País semanal Blogs*. Recuperado el 20 de Febrero de 2017, de <http://blogs.elpais.com/eco-lab/2014/01/que-contamina-mas-un-coche-electrico-o-uno-de-gasolina.html>

Apuntes científicos. (s.f.). *Motores eléctricos*. Obtenido de [apuntescientificos.org](http://apuntescientificos.org/motores.html): <http://apuntescientificos.org/motores.html>

Autonoción. (26 de Septiembre de 2016). *La entrega de par: motores de combustión vs motores eléctricos. ¿Quién gana y por qué?* Obtenido de [www.autonocion.com](http://www.autonocion.com/motores-combustion-diesel-gasolina-vs-electricos-par/): <https://www.autonocion.com/motores-combustion-diesel-gasolina-vs-electricos-par/>

Battery University. (21 de 03 de 2017). *What's the best battery?* Obtenido de [http://batteryuniversity.com/learn/archive/whats\\_the\\_best\\_battery](http://batteryuniversity.com/learn/archive/whats_the_best_battery)

Cabeza, A. (31 de 01 de 2017). *ABC*. Recuperado el 30 de 02 de 2017, de [http://www.abc.es/espana/catalunya/barcelona/abci-aprobado-veto-coches-mas-contaminantes-dias-alta-polucion-barcelona-201701311854\\_noticia.html](http://www.abc.es/espana/catalunya/barcelona/abci-aprobado-veto-coches-mas-contaminantes-dias-alta-polucion-barcelona-201701311854_noticia.html)

Chan, C. (2002). *Modern Electric Vehicle Technology*. Hong Kong: IEEE.

Chan, C., & Chau, K. (1997). *An overview of power electronics in electric vehicles*. Hong Kong: IEEE.

Chau, K., & Wang, Z. (2005). *Overview of power electronic drives for electric vehicles*. Hong Kong: Holon Academic Institute of Technology.

Dash Z Racing. (23 de Noviembre de 2008). *The Green Trend - Chevrolet Volt 2011*. Recuperado el 15 de Febrero de 2017, de <http://articles.dashzracing.com/chevrolet-volt-2011/>

- diarioUchile. (2016). *Corfo externaliza producción de litio a multinacional estadounidense*.
- EcoMove. (s.f.). *inWheel Electric Powertrain DataSheet*. Obtenido de <http://ecomove.dk/wp-content/uploads/2013/06/ECOMove-Powertrain-Specifications.pdf>
- EE Times. (3 de Agosto de 2007). *IGBT tutorial: Part 1 - Selection*. Obtenido de [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1273173](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273173)
- Elaphe. (s.f.). *M700 VD4 Datasheet*. Obtenido de [http://in-wheel.com/media/website/M700\\_ShortDatasheet.pdf](http://in-wheel.com/media/website/M700_ShortDatasheet.pdf)
- electricmotorsport.com. (s.f.). *Sevcon Gen4*. Obtenido de <http://www.electricmotorsport.com/sevcon-gen4-36-48-294.html>
- Electronic products. (17 de 10 de 2017). *AC versus DC motors: which will optimize your EV?* Obtenido de [http://www.electronicproducts.com/Automotive/Fuel\\_Efficiency/AC\\_versus\\_DC\\_motors\\_which\\_will\\_optimize\\_your\\_EV.aspx](http://www.electronicproducts.com/Automotive/Fuel_Efficiency/AC_versus_DC_motors_which_will_optimize_your_EV.aspx)
- Electronics Weekly. (18 de Febrero de 2010). *Designing battery management systems for electric vehicles*. Obtenido de <https://www.electronicweekly.com/market-sectors/automotive-electronics/designing-battery-management-systems-for-electric-vehicles-2010-02/>
- Elithium. (s.f.). *Lithiumate lite manual*. Obtenido de [http://lite.elithium.com/specs\\_.php#Mechanical](http://lite.elithium.com/specs_.php#Mechanical)
- Elizondo, R. (s.f.). *Sistemas de control*. Obtenido de <http://www.angelfire.com/blog/controli/u1/unidad1.html>
- EMEF. (2013). *Enquesta de Mobilitat en Dia Feiner 2013*. Barcelona: Departament d'Estadística, Ajuntament de Barcelona.
- EV Source. (s.f.). *500-DCDC-500 Manual*. Obtenido de [http://www.evsource.com/datasheets/dcdc/500-DCDC-500\\_Manual.pdf](http://www.evsource.com/datasheets/dcdc/500-DCDC-500_Manual.pdf)
- EV-PROPULSION. (2011). *Some basic EV calculations*. Obtenido de <http://www.ev-propulsion.com/EV-calculations.html>
- Ev-Source. (s.f.). *Complete Orion BMS Kit*. Obtenido de



[http://www.evsource.com/tls\\_orion.php](http://www.evsource.com/tls_orion.php)

Ewert Energy Systems. (s.f.). *Orion BMS Lithium Ion Battery Management System Datasheet*.

González, L. (06 de Abril de 2013). *ForoCochesEléctricos*. Obtenido de <http://forococheselectricos.com/2013/04/el-inversor-funcionamiento-y-novedades.html>

Guerrero, D. (21 de 11 de 2016). *La Vanguardia*. Recuperado el 25 de 02 de 2017, de <http://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20161121/412028354146/barcelona-restricciones-coches-mas-contaminantes-2020.html>

GWL / Power Group Technology Solutions. (s.f.). *LP12V90AH+ battery specification*.

HDMotori.it. (16 de Diciembre de 2016). *Fiat Panda Elettra, quando il "Pandino" era a zero emissioni*. Obtenido de HDMotori.it: <http://www.hdmotori.it/fiat-panda-elettra-quando-il-pandino-era-a-zero-emissioni/>

Hybrid Cars. (12 de Julio de 2012). *Protean to Begin Producing Electric Wheel Motors*. Recuperado el 3 de Mayo de 2017, de <http://www.hybridcars.com/protean-begin-producing-electric-wheel-motors-48228/>

Javor, E. (2016). *The environmental and social impacts of lithium based energy storage*. Leapfrog.

Kelly Controller. (s.f.). *HWZ SERIES DC/DC CONVERTER 96V TO 12V 300W*. Obtenido de <http://kellycontroller.com/hwz-series-dcdc-converter-96v-to-12v-300w-p-370.html>

Kelly. (s.f.). *HUB MOTOR 72V 4.5KW (HIGH SPEED)(DISC-BRAKE)*. Obtenido de <http://kellycontroller.com/hub-motor-72v-45kw-high-speeddisc-brake-p-144.html>

Künzli, N., & Pérez, L. (2007). *Els beneficis per a la salut pública de la reducció de la contaminació atmosfèrica a Barcelona*. Barcelona: Departament de Salut de la Generalitat de Catalunya i Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

Larminie, J., & Lowry, J. (2003). *Electric vehicle technology explained*. Chichester: Wiley.

Machine Design. (09 de Abril de 2013). *Motors for efficiency: permanent-magnet, reluctance, and induction motors compared*. Obtenido de <http://www.machinedesign.com/motorsdrives/motors-efficiency-permanent-magnet-reluctance-and-induction-motors-compared>

- Microchip. (s.f.). *Motor control and drive*. Obtenido de <http://www.microchip.com/design-centers/motor-control-and-drive>
- Morgan Motor Company. (2016). *The new Morgan Plus E*. Genova: Morgan Motor Company. Obtenido de <https://www.morgan-motor.co.uk/mmc/downloads/pressreleases/plusegenevapressrelease.pdf>
- MPowerUk. (s.f.). *Electric Drives - Brushless DC/AC and reluctance motors*. Obtenido de <http://www.mpoweruk.com/motorsbrushless.htm>
- Nissan Motor Corporation. (s.f.). *Nissan Global*. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de [http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e\\_powertrain.html](http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_powertrain.html)
- Panama Hitek. (4 de Enero de 2016). *¿Qué es y cómo se utiliza un MOSFET?* Obtenido de <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-mosfet/>
- Parlamento Europeo. (15 de 01 de 2013). REGLAMENTO (UE) Nº 168/2013 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de enero de 2013. *Diario Oficial de la Unión Europea*, págs. 1-77.
- Pozzi, S. (19 de Setiembre de 2015). Volkswagen trucó sus coches para evitar los límites a las emisiones. *El País*.
- Printed Motor Works. (s.f.). *In-Wheel Motors*. Obtenido de <http://www.printedmotorworks.com/in-wheel-motors/>
- Real Academia de Ingeniería. (s.f.). *Densidad del aire*. Obtenido de <http://diccionario.raing.es/es/lema/densidad-del-aire>
- Renault. (2011). *FLUENCE and FLUENCE Z.E, Life Cycle Assesment*.
- Renault. (s.f.). *Renault Twizy*. Obtenido de <http://www.renault.es/e-brochure/ZETWIZY/pdf/fullPDF.pdf>
- Rimac Automobili. (27 de Febrero de 2016). *Rimac Concept\_One Press Media Release*. Recuperado el 20 de Marzo de 2017, de <http://www.rimac-automobili.com/en/press/media/?media=1377>
- Rippel, W. (9 de Enero de 2007). *Induction versus DC Brushless Motors*. Obtenido de <https://www.tesla.com/blog/induction-versus-dc-brushless-motors>



SEVCON Electrification partner. (s.f.). *AC Motor controller Gen4*.

UK Car Magazine. (29 de Marzo de 2009). *Opel Ampera: the full, official technical story*. Recuperado el 13 de Abril de 2017, de <http://www.carmagazine.co.uk/car-news/industry-news/vauxhall/opel-ampera-the-full-official-technical-story/>

Unión Europea. (2013). *Reglamento (UE) nº 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2013, relativo a la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos, y a la vigilancia del mercado de dichos vehículos*.

Universidad de Vigo. (s.f.). *Tiristores*. Obtenido de [http://dte\\_recursos.webs.uvigo.es/recursos/multimedia/potencia/dc-ac/tiristor.htm](http://dte_recursos.webs.uvigo.es/recursos/multimedia/potencia/dc-ac/tiristor.htm)

Vázquez, A., & Vergara, A. (01 de Febrero de 2017). *Así funciona el motor de un coche eléctrico*. Obtenido de [http://www.abc.es/motor/reportajes/abci-funciona-motor-coche-electrico-201702011409\\_noticia.html](http://www.abc.es/motor/reportajes/abci-funciona-motor-coche-electrico-201702011409_noticia.html)

X-Engineer. (s.f.). *X-Engineer: "Intelligence is the ability to adapt to change"*. Recuperado el 16 de Marzo de 2017, de <http://x-engineer.org/automotive-engineering/vehicle/electric-vehicles/anatomy-of-a-battery-electric-vehicle-bev/>

Zhang, K., & Batterman, S. (24 de 11 de 2014). *US National Library of Medicine*. Recuperado el 20 de 04 de 2017, de National Institutes of Health: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4243514/pdf/nihms641926.pdf>

# Anexos

## Anexo 1: Morgan E+

### Ficha técnica Morgan E+

#### SPECIFICATION

Engine	70kW Zytec E Drive
Gearbox	Manual 5 spd
Chassis	Aluminium bonded+riveted
Dry weight	1,250kg
Max Power (@6000rpm)	70kw (94bhp)
Max Torque	380Nm (280lb/ft)
Power to weight	128bhp / tonne
Performance (0 - 62mph)	6.0seconds
Top Speed	115mph (185kph)
Range per charge	120miles (193km)
Co2	0.0 g/km (at tailpipe)
Length (overall)	4010mm
Width (overall)	1751mm
Height (Hood up)	1220mm
Homologation	N/A
Price (Standard model)	TBC

**Figura A.1.** Ficha técnica Morgan e+ (Morgan Motor Company, 2016)



**Figura A.2.** Fotografía Morgan e+ (Morgan Motor Company, 2016)



## Anexo 2: Quimera All Electric GT

### Ficha técnica Quimera All Electric GT

#### TECHNICAL SPECIFICATIONS

##### ENGINE

Engine: 3 UQM Power-Phase  
145 - max rpm: 8000

Power: 255 kW (constant  
power) / 525 kW  
(peak power)

Maximum Torque:  
Limited to 700 Nm

Control power software  
(power mapping management)

Intelligent software rear  
wheel drive traction  
management system

##### BATTERY PACK

Battery cell: EIG Lithium  
Ion Polymer Battery

Number of cells: 1362

Battery pack weight &  
volume: 612 kg/370 l

Cell specific energy:  
172 Wh/kg

Input controller voltage:  
380VDC

BMS: Bespoke solution based  
on Reap standard technology

##### PERFORMANCE

Top speed: 300 km/h

Acceleration:

0-100 km/h - 3,5 s

Weight/Power ratio:  
2,58 Kg/bhp

Race track range:  
20 min (at 700 bhp) / 30 min  
(at 450 bhp)

##### BRAKES/WHEELS/ SUSPENSION

Brakes: Carbon-Ceramic

Wheels: Front 265/650 R18

Rear 310/170 R18

Suspension: Double  
trapezoidal floating suspension

##### GEARBOX

Gearbox: Hewland NLT - 6  
speed and reverse transaxle

##### DIMENSIONS & OTHER

Chassis:  
Carbon fiber monocoque

Dimensions:

Length: 4800 mm

Width: 2000 mm

Height: 1050 mm

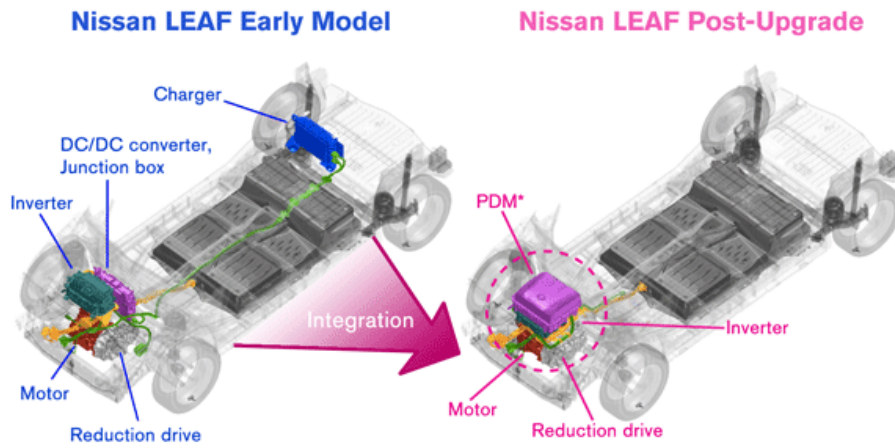
Weight: 1500 kg

**Figura A.3.** Ficha técnica Quimera All Electric GT (AEGT01)

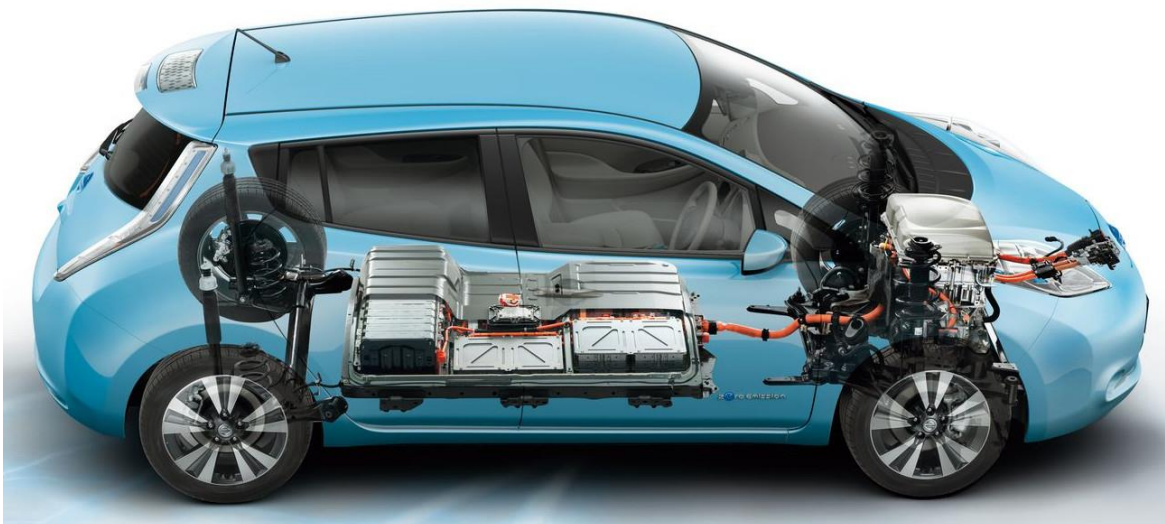


**Figura A.4.** Fotografía All Electric GT (AEGT01)

### Anexo 3: Powertrain Nissan Leaf



**Figura A.5.** Comparación del Nissan Leaf antes y después del 2013 (Nissan Motor Corporation)



**Figura A.6.** Powertrain Nissan Leaf post 2013 (X-Engineer, s.f.)

### Anexo 3: Powertrain Chevrolet Volt



**Figura A.7.** Powertrain Chevrolet Volt (Dash Z Racing, 2008)

### Anexo 4: Reglamentación homologación vehículos tipo L

Categoría	Denominación de la categoría	Criterios comunes de clasificación
L1e-L7e	Todos los vehículos de categoría L	(1) longitud $\leq 4\,000\text{ mm}$ o $\leq 3\,000\text{ mm}$ para los vehículos L6e-B o $\leq 3\,700\text{ mm}$ para los vehículos L7e-C, y (2) anchura: $\leq 2\,000\text{ mm}$ , o $\leq 1\,000\text{ mm}$ para los vehículos L1e, o $\leq 1\,500\text{ mm}$ para los vehículos L6e-B y L7e-C y (3) altura $\leq 2\,500\text{ mm}$ y
Categoría	Denominación de la categoría	Criterios comunes de clasificación
L6e	Cuatriciclo ligero	(4) cuatro ruedas y propulsado por una propulsión según se enumera en el artículo 4, apartado 3, y (5) velocidad máxima del vehículo por construcción $\leq 45\text{ km/h}$ y (6) masa en orden de marcha $\leq 425\text{ kg}$ , y (7) cilindrada $\leq 50\text{ cm}^3$ si un motor de encendido por chispa forma parte de la configuración de la propulsión del vehículo o cilindrada $\leq 500\text{ cm}^3$ si un motor de encendido por compresión forma parte de la configuración de la propulsión del vehículo y (8) equipado con un máximo de dos plazas de asiento, incluida la plaza de asiento del conductor, y
Subcategorías	Denominación de las subcategorías	Criterios de subclasificación adicionales
L6e-A	Quad ligero para carretera	(9) vehículos L6e que no cumple los criterios específicos de clasificación de los vehículos L6e-B y (10) potencia nominal o neta continua máxima <sup>(1)</sup> $\leq 4\,000\text{ W}$ y
L6e-B	Cuatrimóvil ligero	(9) habitáculo cerrado para el conductor y los pasajeros, accesible por tres lados como máximo, y (10) potencia nominal o neta continua máxima <sup>(1)</sup> $\leq 6\,000\text{ W}$ y
Subsubcategorías	Denominación de las subsubcategorías	Criterios de subsubclasificación adicionales a los criterios de subclasificación de los vehículos L6e-B
L6e-BP	Cuatrimóvil ligero para transporte de pasajeros	(11) vehículos L6e-b diseñados principalmente para el transporte de pasajeros, y (12) vehículos L6e-B distintos de los que cumplen los criterios específicos de clasificación de vehículos L6e-BU.
L6e-BU	Cuatrimóvil ligero para transporte de mercancías	(11) diseñados exclusivamente para el transporte de mercancías con una plataforma de carga abierta o cerrada, prácticamente uniforme y horizontal que cumplen los criterios siguientes: (a) longitud <sub>plataforma de carga</sub> $\times$ anchura <sub>plataforma de carga</sub> $> 0,3 \times$ longitud <sub>vehículo</sub> $\times$ anchura <sub>vehículo</sub> o (b) una superficie de la plataforma de carga equivalente, conforme a la definición anterior, para instalar máquinas o equipos, y (c) diseñado con una plataforma de carga claramente separada por un tabique rígido del espacio destinado a los ocupantes del vehículo, y (d) la plataforma de carga deberá poder transportar un volumen mínimo que estará representado por un cubo de 600 mm.

**Figura A.8.** Clasificación de vehículos tipo L (Parlamento Europeo, 2013)

Lista exhaustiva de requisitos para la homologación de tipo UE de vehículos <sup>(1)</sup>															
Nº	Artículo	Asunto	Referencia del acto reglamentario	Categorías de vehículos											
				L1e-A	L1e-B	L2e	L3e	L4e	L5e-A	L5e-B	L6e-A	L6e-B	L7e-A	L7e-B	L7e-C
A REQUISITOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA PROPULSIÓN Y REQUISITOS DE EFICACIA MEDIOAMBIENTAL															
1	23 y 24	Procedimientos de ensayo relativos al medio ambiente acerca de las emisiones de escape, las emisiones de evaporación, las emisiones de gases de efecto invernadero, el consumo de combustible y combustibles de referencia.		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2		Velocidad máxima del vehículo por construcción, par máximo y potencia continua máxima total de propulsión del motor		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3		Procedimientos de ensayo relativos al sonido		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

**Figura A.9.** Requisitos medioambientales de homologación para vehículos de tipo L (Parlamento Europeo,



Nº	Artículo	Asunto	Referencia del acto reglamentario	Categorías de vehículos													
				L1e-A	L1e-B	L2e	L3e	L4e	L5e-A	L5e-B	L6e-A	L6e-B	L7e-A1	L7e-A2	L7e-B1	L7e-B2	L7e-C
B REQUISITOS DE SEGURIDAD FUNCIONAL DE LOS VEHÍCULOS																	
1	22	Avisadores acústicos			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2		Frenado, incluidos los sistemas de frenado antibloqueo y los sistemas de frenado combinado(3)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
3		Seguridad eléctrica		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
4		Requisitos aplicables a la declaración del fabricante sobre los ensayos de durabilidad de los sistemas de seguridad funcional, piezas y equipos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
5		Estructuras de protección delanteras y traseras				s.e.i.			s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	
6		Cristales, limpiaparabrisas y lavaparabrisas y dispositivos de desescarchado y de desempañado			s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	X	s.e.i.	X	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	
7		Mandos accionados por el conductor, con identificación de los mandos, luces testigo e indicadores			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
8		Instalación de dispositivos de alumbrado y señalización luminosa, incluido el encendido y apagado automático del alumbrado		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
9		Visibilidad trasera			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
10		Estructuras de protección en caso de vuelco (ROPS).													X		
11		Cinturones de seguridad y sus anclajes				s.e.i.				X	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	X		X	
12		Plazas de asiento (sillines y asientos)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
13		Maniobrabilidad, propiedades de giro en curva y capacidad de giro		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
14		Instalación de neumáticos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
15		Placa relativa a la limitación de la velocidad máxima del vehículo y emplazamiento en el vehículo				s.e.i.				s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	X	X	
16		Protección de los ocupantes del vehículo, incluido el acondicionamiento interior, los reposacabezas y las puertas del vehículo				s.e.i.				s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.		s.e.i.	s.e.i.	

Nº	Artículo	Asunto	Referencia del acto reglamentario	Categorías de vehículos													
				L1e-A	L1e-B	L2e	L3e	L4e	L5e-A	L5e-B	L6e-A	L6e-B	L7e-A1	L7e-A2	L7e-B1	L7e-B2	L7e-C
17		Potencia nominal o neta continua máxima y/o limitación de la velocidad del vehículo por construcción		X	X	X	s.e.i.	s.e.i.			X	X	X	X	X	X	
18		Integridad de la estructura del vehículo		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Figura A.10. Requisitos de seguridad funcional de homologación para vehículos de tipo L (Parlamento)

Nº	Artículo	Asunto	Referencia del acto reglamentario	Categorías de vehículos														
				L1e-A	L1e-B	L2e	L3e	L4e	L5e-A	L5e-B	L6e-A	L6e-B	L7e-A1	L7e-A2	L7e-B1	L7e-B2	L7e-C	
C REQUISITOS RELATIVOS A LA FABRICACIÓN DEL VEHÍCULO Y REQUISITOS GENERALES RELATIVOS A LA HOMOLOGACIÓN DE TIPO																		
1	20	Medidas contra la manipulación		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	25	Disposiciones relativas a los procedimientos de homologación de tipo		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	33	Requisitos sobre conformidad de la producción		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	18	Dispositivos de acoplamiento y de fijación		s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.
5	18	Dispositivos de protección contra la utilización no autorizada		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	18	Compatibilidad electromagnética (CEM)		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	18	Salientes exteriores		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	18	Almacenamiento de combustible		s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.
9	18	Plataformas de carga				s.e.i.				X		s.e.i.			s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	
10	18	Masas y dimensiones		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	21	Sistemas de diagnóstico a bordo					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	18	Dispositivos de retención para pasajeros y apoyapiés			X	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	X		s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	s.e.i.	
13	18	Emplazamiento de la placa de matrícula		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	18	Información relativa a la reparación y el mantenimiento		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	18	Caballetes de apoyo		X	X		X											
C2 REQUISITOS RELATIVOS A LOS SERVICIOS TÉCNICOS																		
16	65	Prestaciones y evaluación de los servicios técnicos																

**Figura A.11.** Requisitos relativos a la fabricación del vehículo para la homologación de vehículos de tipo L (Parlamento Europeo, 2013)

Límites para series cortas		
Subcategoría de vehículo	Denominación de la subcategoría de vehículo	Series cortas (unidades de cada tipo comercializadas, matriculadas y que se pongan en servicio anualmente)
L1e-A	Ciclo de motor	50
L1e-B	Ciclomotor de dos ruedas	
L2e	Ciclomotor de tres ruedas	
L3e	Motocicleta de dos ruedas	75
L4e	Motocicleta de dos ruedas con sidecar	150
L5e-A	Triciclo	75
L5e-B	Triciclo comercial	150
L6e-A	Quad ligero para carretera	30
L6e-B	Cuatrimóvil ligero	150
L7e-A	Quad pesado para carretera	30
L7e-B	Quad pesado todo terreno	50
L7e-C	Cuatrimóvil pesado	150

**Figura A.12.** Límites de vehículos fabricados en series cortas para homologación de vehículos de tipo L (Parlamento Europeo, 2013)

**Calendario para la aplicación del presente Reglamento respecto a la homologación de tipo**

Punto	Descripción	(Sub)categoría	Nuevos tipos de vehículos obligatorio	Tipos de vehículos ya existentes obligatorio	Fin del plazo de matriculación de vehículos conformes
1.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos de eficacia medioambiental y de funcionamiento de la propulsión, puntos con arreglo a la lista del anexo II (A)				
1.1.	Tipo de ensayo I, emisiones de escape tras un arranque en frío	—	—	—	—
1.1.1.	Ciclo de ensayo	—	—	—	—
1.1.1.1.	Tipo de ensayo I: Ciclo de ensayo CEPE R 47	L1e, L2e, L6e,	1.1.2017	1.1.2018	31.12.2020
1.1.1.2.	Tipo de ensayo I CEPE 40 (con ciclo adicional de conducción urbana cuando sea aplicable)	L5e-B, L7e-B, L7e-C,	1.1.2016	1.1.2017	31.12.2020
1.1.1.3.	Tipo de ensayo I, WMTC, fase 2	L3e, L4e, L5e-A, L7e-A,	1.1.2016	1.1.2017	31.12.2020
1.1.1.4.	Tipo de ensayo I, ciclo de ensayo basado en el WMTC revisado	L1e - L7e,	1.1.2020	1.1.2021	
1.1.2.	Tipo de ensayo I, límites relativos a las emisiones de escape		—	—	—
1.1.2.1.	Euro 4: anexo VI A1	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	31.12.2020
1.1.2.2.	Euro 4: anexo VI A1	L3e, L4e, L5e, L7e,	1.1.2016	1.1.2017	31.12.2020
1.1.2.3.	Euro 5: anexo VI A2	L1e - L7e	1.1.2020	1.1.2021	
1.2.	Tipo de ensayo II, ensayo de emisiones en régimen de ralentí (aumentado)/aceleración libre				
1.2.1.	Tipo de ensayo II, ensayo de emisiones en régimen de ralentí (aumentado)/aceleración libre	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	
1.2.2.	Tipo de ensayo II, ensayo de emisiones en régimen de ralentí (aumentado)/aceleración libre	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	
1.3.	Tipo de ensayo III, emisión nula de gases del cárter				

**Figura A.13.** Calendario de aplicación del reglamento homologación de vehículos de tipo L (Parlamento Europeo, 2013)



1.3.1.	Tipo de ensayo III, emisión nula de gases del cárter	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	
1.3.2.	Tipo de ensayo III, emisión nula de gases del cárter	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	
1.4.	Tipo de ensayo IV, emisiones de evaporación		—	—	—
1.4.1.	Ensayo de permeabilidad del depósito de combustible	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2017	

**Figura A.14.** Calendario de aplicación del reglamento homologación de vehículos de tipo L (continuación) (Parlamento Europeo, 2013)

Punto	Descripción	(Sub)categoría	Nuevos tipos de vehículos obligatorio	Tipos de vehículos ya existentes obligatorio	Fin del plazo de matriculación de vehículos conformes
1.4.2.	Ensayo de permeabilidad del depósito de combustible	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2016	
1.4.3.	Procedimiento SHED	L3e, L4e, L5e-A L7e-A	1.1.2016	1.1.2017	
1.4.4.	Procedimiento SHED	L6e-A	1.1.2017	1.1.2018	
1.4.5.	Límites relativos a los ensayos SHED, anexo VI (C1)	L3e, L4e, L5e-A L7e-A	1.1.2016	1.1.2017	31.12.2020
1.4.6.	Límites relativos a los ensayos SHED, anexo VI (C1)	L6e-A	1.1.2017	1.1.2018	31.12.2020
1.4.7.	Ensayo SHED o ensayo de permeabilidad, a la espera de los resultados del estudio contemplado en el artículo 23, apartados 4 y 5	L1e-A, L1e-B, L2e, L5e-B, L6e-B, L7e-B, L7e-C	1.1.2020	1.1.2021	
1.4.8.	Límites relativos a los ensayos SHED, anexo VI (C2), a la espera de los resultados del estudio contemplado en el artículo 23, apartados 4 y 5	L1e - L7e	1.1.2020	1.1.2021	
1.5.	Tipo de ensayo V, ensayos de durabilidad (3)				
1.5.1.	Kilometraje correspondiente a la durabilidad para Euro 4, anexos VII (A) y (B)	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	31.12.2020
1.5.2.	Kilometraje correspondiente a la durabilidad para Euro 4, anexos VII (A) y (B)	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	31.12.2020
1.5.3.	Kilometraje correspondiente a la durabilidad para Euro 5, anexos VII (A) y (B)	L1e-L7e	1.1.2020	1.1.2021	
1.6.	No se ha asignado un tipo de ensayo VI	—	—	—	—
1.7.	Tipo de ensayo VII, emisiones de gases de efecto invernadero/determinación y comunicación del consumo de combustible o de energía			—	
1.7.1.	Tipo de ensayo VII, emisiones de gases de efecto invernadero/determinación y comunicación del consumo de combustible o de energía	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	
1.7.2.	Tipo de ensayo VII, emisiones de gases de efecto invernadero/determinación y comunicación del consumo de combustible o de energía	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	
1.8.	Tipo de ensayo VIII, DAB relativo al medio ambiente		—	—	
1.8.1.	Requisitos de funcionamiento relativos al DAB fase I	L3e, L4e, L5e-A, L6e-A y L7e-A	1.1.2016; para L6Ae:1.1.2017	1.1.2017; para L6Ae:1.1.2018	31.12.2020
	Procedimiento de ensayo ambiental relativo al DAB fase I (tipo de ensayo VIII)				
	Umbral de ensayo en materia medioambiental relativos al DAB fase I, anexo VI (B1)				

**Figura A.15.** Calendario de aplicación del reglamento homologación de vehículos de tipo L (continuación) (Parlamento Europeo, 2013)

Punto	Descripción	(Sub)categoría	Nuevos tipos de vehículos obligatorio	Tipos de vehículos ya existentes obligatorio	Fin del plazo de matriculación de vehículos conformes
1.8.2.	Requisitos de funcionamiento relativos al DAB fase I	L3e-L7e	1.1.2020	1.1.2021	
	Procedimiento de ensayo ambiental relativo al DAB fase I (tipo de ensayo VIII)				
	Umbrales de ensayo en materia medioambiental relativos al DAB fase I, anexo VI (B2)				
1.8.3.	Requisitos de funcionamiento relativos al DAB fase II, a la espera del artículo 23, apartados 4 y 5	L3e, L5e-A, L6e-A, L7e-A	1.1.2020	1.1.2021	
	Requisitos de funcionamiento relativos al DAB fase II (tipo de ensayo VIII), a la espera del artículo 23, apartados 4 y 5				
	Requisitos de funcionamiento relativos al DAB fase II, anexo VI (B2), a la espera del artículo 23, apartados 4 y 5				
1.9.	Tipo de ensayo IX, nivel de ruido <sup>(3)</sup>				
1.9.1.	Procedimiento de ensayo relativo al nivel de ruido y valores límite, anexo VI (D)	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	31.12.2020
1.9.2.	Procedimiento de ensayo relativo al nivel de ruido y valores límite <sup>(3)</sup> , anexo VI (D)	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	31.12.2020
1.9.3.	Reglamentos nºs 9, 41, 63 y 92 de la CEPE, y límites del anexo VI (D)	L1e-L7e			
1.9.4.	Reglamentos nºs 9, 41, 63 y 92 de la CEPE, y correspondientes nuevos valores límite propuestos por la Comisión	L1e-L7e	1.1.2020	1.1.2021	
1.10.	Ensayos relativos al funcionamiento de la propulsión y requisitos relativos a la velocidad máxima por construcción del vehículo, el par máximo, la potencia nominal o neta continua máxima y la potencia de pico máxima				
1.10.1.	Ensayos y requisitos relativos al funcionamiento de la propulsión	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	
1.10.2.	Ensayos y requisitos relativos al funcionamiento de la propulsión	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	

**Figura A.16.** Calendario de aplicación del reglamento homologación de vehículos de tipo L (continuación) (Parlamento Europeo, 2013)

Punto	Descripción	(Sub)categoría	Nuevos tipos de vehículos obligatorio	Tipos de vehículos ya existentes obligatorio	Fin del plazo de matriculación de vehículos conformes
2.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos por la seguridad funcional del vehículo, puntos con arreglo a la lista del anexo II (B) <sup>(3)</sup>				
2.1.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos por la seguridad funcional del vehículo, puntos con arreglo a la lista del anexo II (B) <sup>(3)</sup>	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	
2.2.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos por la seguridad funcional del vehículo, puntos con arreglo a la lista del anexo II (B) <sup>(3)</sup>	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	
2.3.	Anexo VIII, dispositivos de seguridad reforzados <sup>(3)</sup>		—	—	
2.3.1.	Encendido automático de faros	L1e-L7e	1.1.2016	1.1.2016	
2.3.2.	Dispositivo de seguridad en el giro (diferencial o equivalente)	L1e-L7e	1.1.2016	1.1.2017	
2.3.3.	Sistemas avanzados de frenado, montaje obligatorio	L3e	1.1.2016	1.1.2017	—
Punto	Descripción	(Sub)categoría	Nuevos tipos de vehículos obligatorio	Tipos de vehículos ya existentes obligatorio	Fin del plazo de matriculación de vehículos conformes
3.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos para la fabricación de vehículos, puntos con arreglo a la lista del anexo II (C) <sup>(3)</sup>				
3.1.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos para la fabricación de vehículos, puntos con arreglo a la lista del anexo II (C) <sup>(3)</sup>	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	
3.2.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos para la fabricación de vehículos, puntos con arreglo a la lista del anexo II (C) <sup>(3)</sup>	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	

**Figura A.17.** Calendario de aplicación del reglamento homologación de vehículos de tipo L (continuación) (Parlamento Europeo, 2013)

Punto	Descripción	(Sub)categoría	Nuevos tipos de vehículos obligatorio	Tipos de vehículos ya existentes obligatorio	Fin del plazo de matriculación de vehículos conformes
4.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos administrativos)				
4.1.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos administrativos	L1e, L2e, L6e	1.1.2017	1.1.2018	
4.2.	Aplicación del acto delegado en materia de requisitos administrativos	L3e, L4e, L5e, L7e	1.1.2016	1.1.2017	

**Figura A.18.** Calendario de aplicación del reglamento homologación de vehículos de tipo L (continuación) (Parlamento Europeo, 2013)

(A) Límites para las emisiones del tubo de escape tras un arranque en frío  
(A1) Euro 4

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Clase de propulsión	Fase Euro	Masa de monóxido de carbono (CO)	Masa total de hidrocarburos (HCT)	Masa de óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Masa de partículas (MP)	Ciclo de ensayo
				L <sub>1</sub> (mg/km)	L <sub>2</sub> (mg/km)	L <sub>3</sub> (mg/km)	L <sub>4</sub> (mg/km)	
L1e-A	Ciclo de motor	Pi/Ci/híbrido	Euro 4	560	100	70	—	CEPE R47
L1e-B	Ciclomotor de dos ruedas	Pi/Ci/híbrido	Euro 4	1 000	630	170	—	CEPE R47
L2e	Ciclomotor de tres ruedas	Pi/Ci/híbrido	Euro 4	1 900	730	170	—	CEPE R47
L3e L4e (*) L5e-A L7e-A	— Motocicleta de dos ruedas con o sin sidecar — Triciclo — Quad pesado para carretera	Pi/Pi híbrido, v <sub>max</sub> < 130 km/h Pi/Pi híbrido, v <sub>max</sub> ≥ 130 km/h Ci/Ci híbrido	Euro 4 Euro 4 Euro 4	1 140 1 140 1 000	380 170 100	70 90 300	— — 80 (*)	WMTC, fase 2 WMTC, fase 2 WMTC, fase 2
L5e-B	Triciclo comercial	Pi/Pi híbrido Ci/Ci híbrido	Euro 4 Euro 4	2 000 1 000	550 100	250 550	— 80 (*)	CEPE R40 CEPE R40
L6e-A L6e-B	Quad ligero para carretera Cuatrimóvil ligero	Pi/Pi híbrido Ci/Ci híbrido	Euro 4 Euro 4	1 900 1 000	730 100	170 550	— 80 (*)	CEPE R47 CEPE R47
L7e-B L7e-C	Quad pesado todo terreno Cuatrimóvil pesado	Pi/Pi híbrido Ci/Ci híbrido	Euro 4 Euro 4	2 000 1 000	550 100	250 550	— 80 (*)	CEPE R40 CEPE R40

**Figura A.19.** Límite de emisiones Euro4 para homologación de vehículos de tipo L (Parlamento Europeo, 2013)

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Clase de propulsión	Fase Euro (*)	Masa de monóxido de carbono (CO)	Masa total de hidrocarburos (HCT)	Masa de hidrocarburos no metánicos (HCNM)	Masa de óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Masa de partículas (MP)	Ciclo de ensayo
				L <sub>1</sub> (mg/km)	L <sub>2A</sub> (mg/km)	L <sub>2B</sub> (mg/km)	L <sub>3</sub> (mg/km)	L <sub>4</sub> (mg/km)	
1e-A	Ciclo de motor	Pi/Ci/híbrido	Euro 5	500	100	68	60	4,5 (*)	WMTC revisado (*)
1e-B - 17e (*)	Todos los demás vehículos de categoría L	Pi/Pi híbrido Ci/Ci híbrido	Euro 5(6)	1 000 500	100 100	68 68	60 90	4,5 (*) 4,5	WMTC revisado (*) WMTC revisado

**Figura A.20.** Límite de emisiones Euro4 para homologación de vehículos de tipo L (continuación) (Parlamento Europeo, 2013)

(B) Umbrales de emisiones para los sistemas de diagnóstico a bordo

(B1) Euro 4, DAB fase I

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Clase de propulsión	Fase Euro	Masa de monóxido de carbono (CO)	Masa total de hidrocarburos (HCT)	Masa de óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Ciclo de ensayo
				OT <sub>1</sub> (mg/km)	OT <sub>2</sub> (mg/km)	OT <sub>3</sub> (mg/km)	
L6e-A	— Quad ligero para carretera	PI/CI o Híbrido	Euro 4	3 610	2 690	850	CEPE R47
L3e (†) L4e (†) L5e-A L7e-A	— Motocicleta de dos ruedas con o sin sidecar — Triciclo — Quad pesado para carretera	PI/ PI híbrido, v <sub>máx</sub> < 130 km/h PI/ PI híbrido, v <sub>máx</sub> ≥ 130 km/h CI/CI híbrido	Euro 4	2 170 2 170 2 170	1 400 630 630	350 450 900	WMTC, fase 2 WMTC, fase 2 WMTC, fase 2

(B2) Euro 5, DAB fase I, y DAB fase II (†)

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Clase de propulsión	Fase Euro	Masa de monóxido de carbono (CO)	Masa de hidrocarburos no metánicos (HCNM)	Masa de óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Masa de partículas (MP)	Ciclo de ensayo
				OT <sub>1</sub> (mg/km)	OT <sub>2</sub> (mg/km)	OT <sub>3</sub> (mg/km)	OT <sub>4</sub> (mg/km)	
L3e-L7e (†)	Todos los vehículos de categoría L, excepto los de categoría L1e y L2e	PI/PI híbrido CI/CI híbrido	Euro 5 Euro 5	1 900 1 900	250 320	300 540	50 50	WMTC revisado WMTC revisado

(C1) Euro 4

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Clase de propulsión	Fase Euro	Masa total de hidrocarburos (HCT) (mg/ensayo)	Ciclo de ensayo
L3e L4e (†)	Motocicleta de dos ruedas († <sup>1</sup> ) con o sin sidecar	PI († <sup>1</sup> )	Euro 4	2 000	SHED
L5e-A	Triciclo	PI († <sup>1</sup> )	Euro 4		
L6e-A	Quad ligero para carretera	PI († <sup>1</sup> )	Euro 4		
L7e-A	Quad pesado para carretera	PI († <sup>1</sup> )	Euro 4		

Clase de vehículo († <sup>2</sup> )	Denominación de la categoría de vehículo	Clase de propulsión	Fase Euro	Ensayo de permeabilidad (mg/m <sup>2</sup> /día)		Masa total de hidrocarburos (HCT) en el ensayo SHED (mg/ensayo)
				Depósito de combustible	Tubos del combustible	Vehículo
L1e-A	Ciclo de motor	PI († <sup>1</sup> )	Euro 5	1 500	15 000	1 500
L1e-B	Ciclomotor de dos ruedas		Euro 5	1 500	15 000	1 500
L2e	Ciclomotor de tres ruedas		Euro 5	1 500	15 000	1 500
L3e L4e (†)	Motocicleta de dos ruedas con o sin sidecar		Euro 5			1 500
L5e-A	Triciclo		Euro 5			1 500
L5e-B	Triciclo comercial		Euro 5	1 500	15 000	1 500
L6e-A	Quad ligero para carretera		Euro 5			1 500
L6e-B	Cuatrimóvil ligero		Euro 5	1 500	15 000	1 500
L7e-A	Quad pesado para carretera		Euro 5			1 500
L7e-B	Quad todo terreno		Euro 5	1 500	15 000	1 500
L7e-C	Cuatrimóvil pesado		Euro 5	1 500	15 000	1 500

**Figura A.21.** Límite de emisiones Euro4/Euro5 para homologación de vehículos de tipo L (Parlamento Europeo, 2013)

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Nivel de sonido <sup>(14)</sup> para Euro 4 [dB(A)]	Procedimiento de ensayo para Euro 4 <sup>(16)</sup>	Nivel de sonido <sup>(15)</sup> para Euro 5 [dB(A)]	Procedimiento de ensayo <sup>(15)</sup> para Euro 5 <sup>(*)</sup>
L1e-A	Ciclo de motor	63 <sup>(14)</sup>	Acto delegado/Reglamento nº 63 de la CEPE		Reglamento nº 63 de la CEPE
L1e-B	Ciclomotor de dos ruedas $v_{m\acute{a}x} \leq 25$ km/h	66			
	Ciclomotor de dos ruedas $v_{m\acute{a}x} \leq 45$ km/h	71			
L2e	Ciclomotor de tres ruedas	76	Acto delegado/Reglamento nº 9 de la CEPE		Reglamento nº 9 de la CEPE
L3e	Motocicleta de dos ruedas Cilindrada $\leq 80$ cm <sup>3</sup>	75	Acto delegado/Reglamento nº 41 de la CEPE		Reglamento nº 41 de la CEPE
	Motocicleta de dos ruedas Cilindrada $> 80$ cm <sup>3</sup> y $\leq 175$ cm <sup>3</sup>	77			
	Motocicleta de dos ruedas Cilindrada $> 175$ cm <sup>3</sup>	80			
L4e	Motocicleta de dos ruedas con sidecar	80			
L5e-A	Triciclo	80	Acto delegado/Reglamento nº 9 de la CEPE		Reglamento nº 9 de la CEPE
L5e-B	Triciclo comercial	80			
L6e-A	Quad ligero para carretera	80	Acto delegado/Reglamento nº 63 de la CEPE		Reglamento nº 63 de la CEPE
L6e-B	Cuatrimóvil ligero	80	Acto delegado/Reglamento nº 9 de la CEPE		Reglamento nº 9 de la CEPE
L7e-A	Quad pesado para carretera	80			
L7e-B	Quad pesado todo terreno	80			
L7e-C	Cuatrimóvil pesado	80			

**Figura A.22.** Límites de sonido para homologación de vehículos de tipo L (Parlamento Europeo, 2013)

(A) Kilometraje correspondiente a la durabilidad de los vehículos de categoría L.

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Kilometraje correspondiente a la durabilidad para Euro 4 (km) y kilometraje correspondiente a la durabilidad para Euro 5 <sup>(*)</sup>
L1e-A	— Ciclo de motor	5 500
L3e-AxT (x = 1, 2 or 3)	— Motocicleta trial de dos ruedas	
L1e-B	— Ciclomotor de dos ruedas	11 000
L2e	— Ciclomotor de tres ruedas	
L3e-AxE (x = 1, 2 or 3)	— Motocicleta enduro de dos ruedas	
L6e-A	— Quad ligero para carretera	20 000
L7e-B	— Quad pesado todo terreno	
L3e	— Motocicleta de dos ruedas con o sin sidecar	35 000
L4e <sup>(*)</sup>	( $v_{m\acute{a}x} < 130$ km/h)	
L5e	— Triciclo	
L6e-B	— Cuatrimóvil ligero	
L7e-C	— Cuatrimóvil pesado	35 000
L3e	Motocicleta de dos ruedas con o sin sidecar	
L4e <sup>(*)</sup>	( $v_{m\acute{a}x} \geq 130$ km/h)	
L7e-A	Quad pesado para carretera	

(B) Factores de deterioro (FD):

Categoría de vehículo	Denominación de la categoría de vehículo	Euro 4 DF <sup>(*)</sup> DF <sup>(*)</sup>				Euro 5 DF <sup>(*)</sup> DF <sup>(*)</sup>							
		CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM	CO	THC		NMHC		NO <sub>x</sub>		PM <sup>(17)</sup> <sup>(*)</sup>
							PI	CI <sup>(18)</sup>	PI	CI	PI	CI	
L1e-L7e	Todos	1,3	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3	1,1	1,3	1,1	1,3	1,1	1,0

**Figura A.23.** Requisitos de durabilidad (en km) para homologación de vehículos de tipo L (Parlamento Europeo, 2013)

Asunto	Requisitos
[anexo II (B) 3] Seguridad eléctrica	Los vehículos de la categoría L, con respecto al grupo motopropulsor eléctrico, equipados con uno o más motores de tracción que funcionan mediante energía eléctrica y no están permanentemente conectados a la red, así como sus componentes y sistemas de alta tensión que están conectados galvánicamente al bus de alta tensión del grupo motopropulsor eléctrico, estarán diseñados de manera que se evite todo riesgo en materia de seguridad eléctrica, aplicando los requisitos pertinentes del Reglamento nº 100 de la CEPE y la norma ISO 13063.
[anexo II (B) 4] Requisitos aplicables a la declaración del fabricante sobre los ensayos de durabilidad de los sistemas, piezas y equipos esenciales para la seguridad funcional	<p>El fabricante del vehículo declarará que los vehículos producidos de conformidad con el artículo 22, apartado 2, podrá resistir el uso normal al menos durante la distancia recorrida especificada a continuación, en un plazo de cinco años a partir de la primera matriculación.</p> <p>La distancia será igual a 1,5 veces la distancia especificada en el anexo VII en relación directa con la categoría de vehículo de que se trate y la fase de emisión (es decir, la fase Euro) con arreglo a la cual será homologado el vehículo, si bien la distancia requerida no será superior a 60 000 km para ninguna categoría de vehículo.</p>
[anexo II (B) 5] Requisitos aplicables a las estructuras de protección delanteras y traseras	<p>Los vehículos de la categoría L, con respecto a sus estructuras delanteras y traseras, estarán diseñados de manera que se evite la presencia de partes puntiagudas o afiladas y salientes dirigidos hacia el exterior y que en caso de colisión puedan enganchar a usuarios vulnerables de la carretera o aumentar significativamente la gravedad de sus lesiones o las posibilidades de que sufran laceraciones.</p> <p>Esto es aplicable a las estructuras delanteras y traseras del vehículo.</p>
[anexo II (B) 10] Cinturones de seguridad y sus anclajes	Requisitos de obligado cumplimiento relativos a los anclajes de los cinturones de seguridad y la instalación de cinturones de seguridad en los vehículos de las categorías L2e, L5e, L6e y L7e equipados con carrocería.
[anexo II (B) 15] Requisitos aplicables a la protección de los ocupantes del vehículo, incluido el acondicionamiento interior y las puertas del vehículo	<p>Los vehículos de las categorías L2e, L5e, L6e y L7e equipados con carrocería estarán diseñados de manera que se evite la presencia de partes puntiagudas o afiladas o salientes que puedan aumentar significativamente la gravedad de las lesiones que puedan sufrir el conductor o los pasajeros.</p> <p>Los vehículos equipados con puertas estarán diseñados de manera que las puertas se construyan con las cerraduras y las bisagras adecuadas.</p>
[anexo II (B) 17] Requisitos aplicables a la integridad de la estructura del vehículo	El fabricante del vehículo declarará que, en caso de llamada a revisión o recuperación debida a un riesgo grave para la seguridad, se facilitarán inmediatamente a la autoridad de homologación y a la Comisión, previa petición, análisis específicos de estructuras del vehículo, componentes o piezas efectuados mediante cálculos de ingeniería, métodos de ensayo virtual y/o ensayos estructurales. La homologación de tipo del vehículo no se concederá si hay motivos para dudar de que el fabricante del vehículo pueda facilitar dichos análisis.

**Figura A.24.** Requisitos en materia de seguridad funcional (Parlamento Europeo, 2013)



## Anexo 5: Renault Twizy

	TWIZY 45	TWIZY 80
	Cuadriciclo ligero (L6e)	Cuadriciclo pesado (L7e)
<b>Homologación</b>		
<b>TVV</b>		
Nivel de emisión	Cero emisiones: 100% eléctrico	
Número de plazas	2 (1 en Carro)	
<b>MOTOR</b>		
Tipo motor	3CG - eléctrico asíncrono	
Potencia kW CEE (cv)	4 (5)	13 (17)
Par máx. Nm CEE (m.kg)	33	57
Régimen par máx. (r.p.m.)	de 0 a 2.050 r.p.m.	de 0 a 2.100 r.p.m.
Combustible	Eléctrico	
<b>CAJA DE VELOCIDADES</b>		
Manual - Automática	Automático	
Tipo	Reductor	
Relación de desmultiplicación	1: 13,4	1: 9,23
Número de relaciones A.V.	1	
<b>PRESTACIONES</b>		
Velocidad máx. (km / h)	45	80
50 m salida parada (s)	7,5	6,6
0-45 km/h (s)	9,9	6,1
30-60 km/h (s)	5 (hasta 45 km/h)	8,1
<b>CONSUMO CICLO URBANO ECE-15 (en l/100 km y g/km)</b>		
CO <sub>2</sub> (g / km)	0	
Autonomía certificada* ECE-15 (km)	100	90
Autonomía real** (km)	75 a 85	60 a 70
Wh / km	58	63
<b>DIRECCIÓN</b>		
Asistida	cremallera directa	
Ø de giro entre aceras (m)	6,8	
Número de giros del volante	2,8	
<b>TRENES</b>		
Tipo tren delantero	Pseudo-Mc Pherson - Combinado muelle / amortiguador / eje flexible	
Tipo tren trasero	Pseudo-Mc Pherson - Combinado muelle / amortiguador / eje flexible	
Ø barra estabilizadora delantera / trasera (mm)	Delantera y trasera: diámetro 23 mm	
<b>RUEDAS Y NEUMÁTICOS</b>		
Llantas de referencia	33 cm (13")	
Dimensiones neumáticos delanteros	Continental EcoContact 125 / 80 R13	
Dimensiones neumáticos traseros	Continental EcoContact 145 / 80 R13	
<b>FRENOS</b>		
Tipo de circuito	Circuito simple	
Discos delanteros plenos (Ø en mm)	214	
Discos traseros plenos (Ø en mm)	204	
<b>AERODINÁMICA Y CAPACIDAD</b>		
SCx/Cx	0,64	
Capacidad de energía (kWh)	6,1	
<b>MASAS (kg)</b>		
En vacío en orden de marcha (sin batería)	446 (375)	474 (375)
En vacío en orden de marcha delante	197	206
En vacío en orden de marcha atrás	249	268
Total (MTR)	685	690
Carga útil (CU)	110	115
Masa máx. remolcable frenada	0	
Masa máx. remolcable no frenada	0	

\*Autonomía medida y certificada por la UTAC del vehículo en ciclo ECE-15.

\*\*Al igual que el consumo de combustible de un vehículo térmico, en uso real, la autonomía de Twizy depende de diferentes variables. La autonomía real puede variar en función de las condiciones de uso (tipo de trayecto, velocidad, estilo de conducción, utilización de equipamientos que consume energía...). Según el estilo de conducción, la autonomía real de Twizy es de 50 a 85 km. Twizy te proporciona los medios para controlar tu autonomía gracias a las nuevas herramientas de a bordo, y sobre todo, al económetro, que muestra tu consumo de energía al instante. Para optimizar tu autonomía, maximiza la recuperación de energía producida por la deceleración y limita la utilización de accesorios que consumen energía (desempañado de parabrisas, faros, etc.).

Las temperaturas cercanas a 0°C o negativas aumentan el tiempo de carga y reducen la autonomía. Temperaturas muy negativas reducen la cantidad de energía en la batería y por consecuencia autonomía. Se recomienda elegir un lugar para recargar y para estacionar que garantice una temperatura positiva.

Figura A.25. Ficha técnica Renault Twizy (Renault, s.f.)

# Dimensiones



**VOLUMEN PORTAOBJETOS (dm<sup>3</sup>)**

Volumen del maletero	31 (180 en Carga)
Volumen guantera izquierda	3,5
Volumen guantera derecha	5

**MEDIDAS (mm)**

C Voladizo delantero	313
A Batalla	1686
D Voladizo trasero	339
B Longitud total	2338
E Vía delantera	1094

**MEDIDAS (mm)**

F Vía trasera	1080
Anchura delantera	1237
G Anchura trasera	1232
Anchura con retrovisores / con puertas	1381/1396
H Altura en vacío	1454
H1 Altura en vacío con puertas abiertas mín./máx.	1818/1980
K Altura libre en carga	120
L Reglaje longitudinal asiento delantero	200
P Altura delantera	908
Q Altura trasera	843

**INFORMACIÓN SOBRE EL RECICLAJE DE LA BATERÍA DE TRACCIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO**

- La batería de tu vehículo eléctrico Renault Ión-Litio es reciclable.
- No intentes desmontar la batería, así evitarás cualquier riesgo de shock eléctrico, heridas o quemaduras.
- Sólo un operador habilitado "Z.E." puede realizar esta operación.
- Para cambiar la batería, según los términos del contrato con tu operador de batería, dirígete a tu concesionario Renault habilitado "Z.E.".
- Para cualquier información complementaria, puedes contactar con: RENAULT ESPAÑA COMERCIAL S.A. 902 333 500.

En función del país, este tipo de vehículo denominados "cuadriciclos", están sujetos a una legislación especial. Esta legislación dictamina el tipo de carné necesario para la conducción de Twizy y el tipo de carretera donde se puede circular. En España la versión "Twizy 45", se puede conducir a partir de los 15 años con la licencia de ciclomotor.

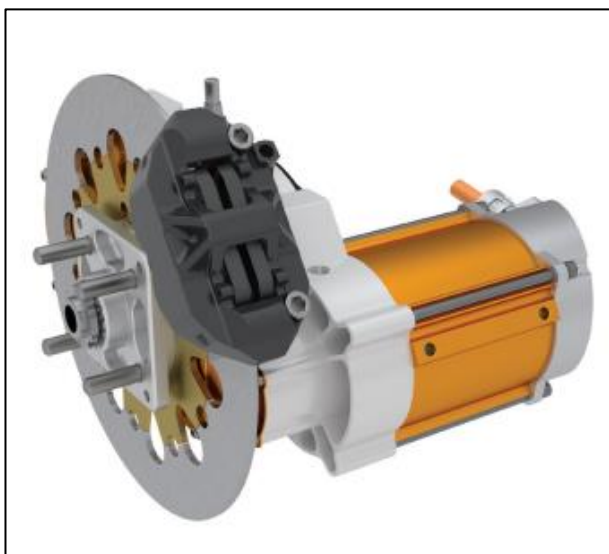
Para conducir la versión "Twizy", limitada a 80 km/h, es necesario el carné de conducir tipo B. Para más información, contacta con tu concesionario.

**Figura A.25.** Dimensiones Renault Twizy (Renault, s.f.)

## Anexo 6: Especificaciones técnicas motores in-wheel



**Figura A.26.** Fotografía Elaphe M-700 (Elaphe, s.f.)



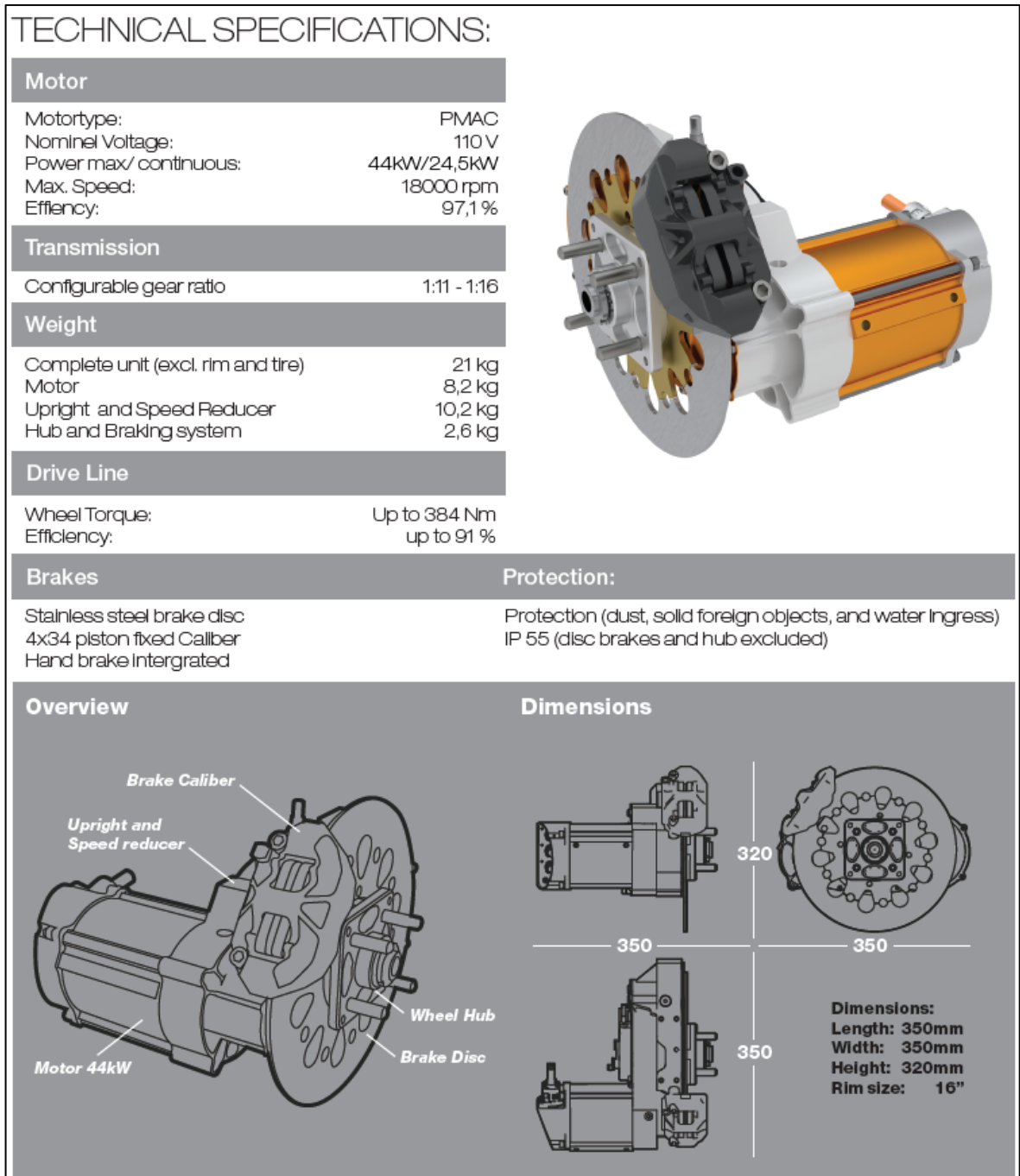
**Figura A.27.** Fotografía M-700 (EcoMove, s.f.)

The M-type in-wheel motor basic characteristics are given the next tables.

Table 1: Motor basic characteristics				
Version	VD1	VD2	VD4	
DC link voltage	400	300	100	V
Pole pair number	28			
Active weight	11,6			kg
Total weight (With hub bearing)	25,2			kg
Added unsprung weight	23,1			kg
Optional brake subassembly	6,1			kg
Max. speed (no-load)@ 110 V	1000	1500	1000	rpm
Max. torque (>15 sec)	700			Nm
Continuous torque	400			Nm
Max. phase current (at max. torque)	160	320	640	$A_{rms}$
Max. output power	45	60	45	kW
Continuous output power	33	40	33	kW
Max. efficiency	92	92.5	92	%
Max. phase frequency (at max. speed)	470	700	470	Hz
Minimum insulation resistance	1			GOhm
Insulation temperature rating	180 (H-class)			°C
Maximum long term motor temperature	150			°C
Maximum short term(<5s) motor temperature	180			°C

Table 2: Inverter related data				
Phase resistance	116	29	7,25	$m\Omega$
Phase inductance	180	45	11,2	$\mu H$
Winding-to-frame capacitance	19,1	19,1	19,1	nF
Torque constant	4,2	2,1	1,05	$Nm/A_{rms}$
EMF constant	0,400	0,200	0,100	$V_{DC}/rpm$

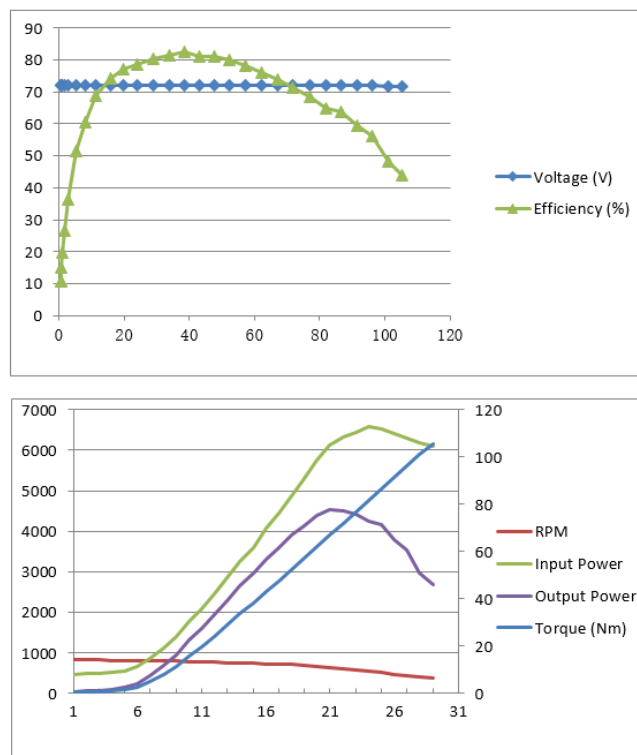
**Figura A.28.** Datasheet Elaphe M-700 (Elaphe, s.f.)



**Figura A.29.** Datasheet Ecomove inWheel Electric Powertrain (EcoMove, s.f.)



**Figura A.30.** Fotografía Kelly HUB MOTOR 72V 4.5KW (DISC-BRAKE) (Kelly, s.f.)



**Figura A.31.** Gráficas características Kelly HUB MOTOR 72V 4.5KW (DISC-BRAKE) (Kelly, s.f.)

XR Series In-wheel Motors Table		XR32-11
		9207
Performance Specifications		
Peak Torque		160
Rated Continuous Torque @ 50°C		60
Rated Speed		750
Rated Output Power		4.7
Maximum Recommended Speed		1040
Peak Output Power		23.1
Electrical Specifications		
Nominal Operating Voltage		66
Typical Operating Voltage Range		66-114
Rated Continuous Current		72
Peak Current		350
Motor Constants		
Line-Line Resistance		0.0122
Back EMF Constant		48.23
Torque Constant		0.8
Armature Inductance (Line-Line)		0.1424
Mechanical Specifications		
Weight		17
Rotor Diameter		360
Length (mounting face to face)		112
Permitted Radial Load (50% safety factor)		180
Permitted Axial Load (50% safety factor)		45
Magnet Technology		NdFeB
Cooling Specifications		
Water Flow		-
Water pressure		-
Air Speed @ 150 RPM		2.75

**Figura A.32.** Datasheet Printed Motor Works XR32-11-009207 (Printed Motor Works, s.f.)

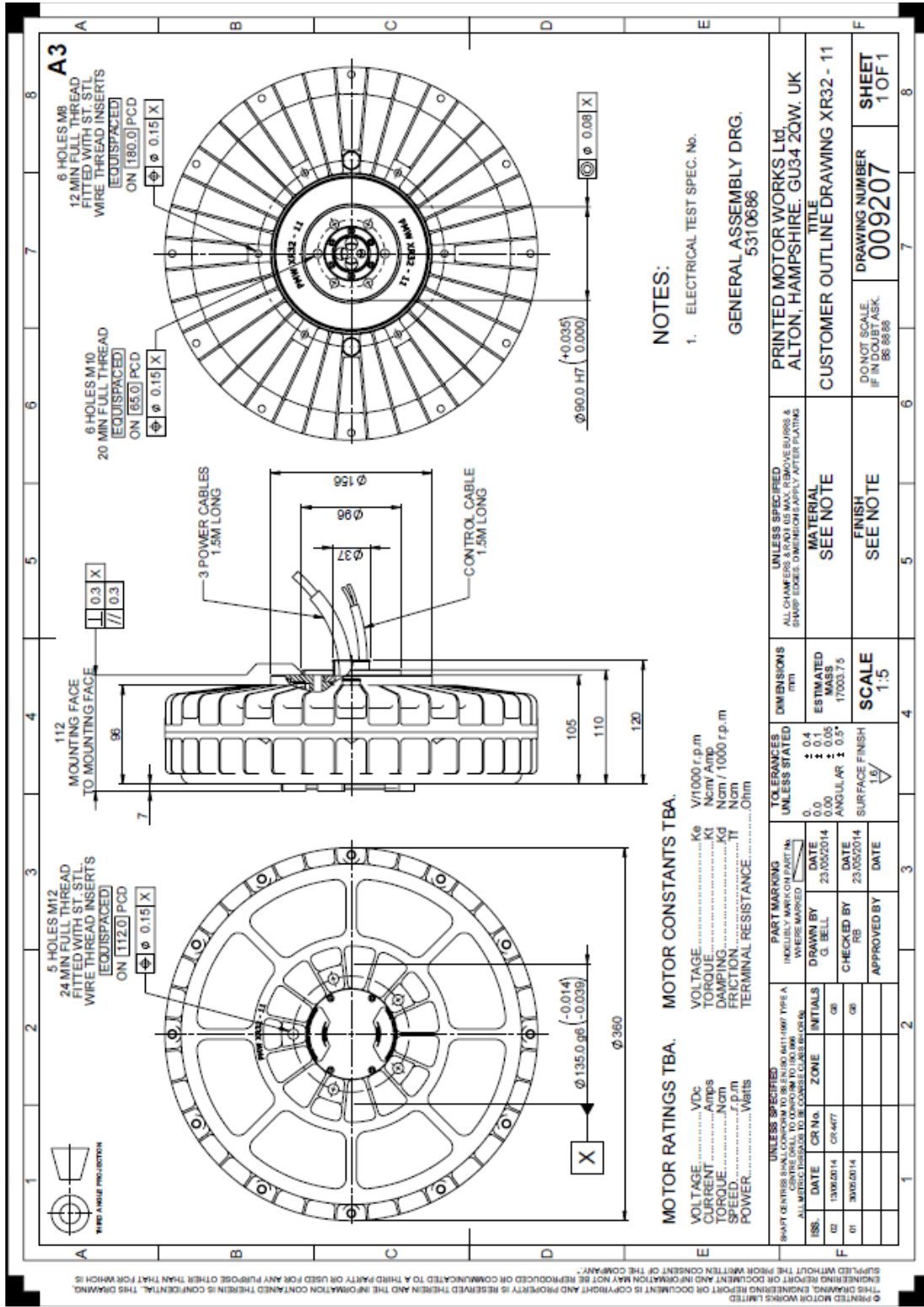


Figura A.33. Plànol Printed Motor Works XR32-11-009207 (Printed Motor Works, s.f.)



**Suggested Controllers**



A black, rectangular electronic controller with several terminals and a fuse holder on top.

**Gen 4 Size 6 Controller**

- Advanced flux vector control from digital halls
- Up to 116VDC supply voltage
- Up to 550Arms peak output current
- Autocheck system diagnostic
- Integrated logic circuit
- Hardware & software failsafe watchdog operation
- Induction motor control
- Integrated fuse holder
- IP66 protection



A larger, black, rectangular electronic controller with multiple terminals and a yellow warning label on top.

**Gen 4 Size 8 Controller**

- Advanced flux vector control from digital halls
- Up to 400V DC supply voltage
- Up to 100kW peak power output
- Up to 60kW continuous power output
- Integrated logic circuit
- Includes an additional dedicated safety supervisory processor
- 12V or 24V nominal supply
- Designed for ISO26262 ASIL C compliance
- Safety interlock pulsed enable signal



**Printed Motor Works**

Printed Motor Works Limited, Newman Lane, Alton, Hampshire GU34 2QW, United Kingdom  
 Email: sales@printedmotorworks.com Tel: +44 1420 594 140

**Figura A.34.** Controladores recomendados por Printer Motor Works (Printed Motor Works, s.f.)

## Anexo 7: Especificaciones técnicas controlador motor



**SEVCON**  
Electrification Partner

Gen4  
Size 2 Size 4  
Size 6

**AC Motor Controller**

The Gen4 range represents the latest design in compact AC Controllers. These reliable controllers are intended for on-road and off-road electric vehicles and feature the smallest size in the industry for their power capacity.

Thanks to the high efficiency it is possible to integrate these controllers into very tight spaces without sacrificing performance. The design has been optimised for the lowest possible installed cost while maintaining superior reliability in the most demanding applications.

**Features**

- Advance flux vector control
- Autocheck system diagnostic
- Integrated logic circuit
- Hardware & software failsafe watchdog operation
- Supports both PMAC and AC motor
- Induction motor control
- Integrated fuse holder
- IP66 protection

**Figura A.35.** DataSheet Sevcon Gen4 (SEVCON Electrification partner)

### Key Parameters

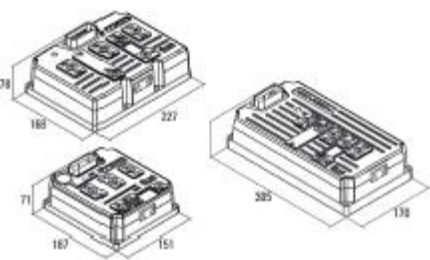
Model	Size 2	Size 4	Size 6	Size 2	Size 4	Size 6	Size 2	Size 4	Size 6	Size 2*	Size 4
Nominal Battery Voltage	24 VDC	24 to 36 VDC		36 to 48 VDC			72 to 80 VDC			96 to 120 VDC	
Max. operating Voltage	34.8 VDC	52.2 VDC		69.6 VDC			116 VDC			150 VDC	
Min. operating Voltage		12.7 VDC		19.3 VDC			39.1 VDC			48 VDC	
Peak Current (2 min)	300A	450A	650A	275A	450A	650A	180A	350A	550A	150A	300A
Boost Current (10 sec)	360A	540A	780A	330A	540A	780A	215A	420A	660A	180A	360A
Cont. Current (60 min)	120A	180A	260A	110A	180A	260A	75A	140A	220A	60A	120A

\* Not yet available. Please contact Sevcon

### Multiple Motor Feedback Options

Gen4 provides a number of motor feedback possibilities from a range of hardware inputs and software control, allowing a great deal of flexibility.

- Absolute UVW encoder input
- Absolute Sin/Cos encoder input
- Incremental AB encoder input



### Integrated I/O

Gen4 includes a fully-integrated set of inputs and outputs (I/O) designed to handle a wide range of vehicle requirements. This eliminated the need for additional external I/O modules or vehicle controllers and connectors.


- 8 digital inputs
- 2 analogue inputs (can be configured as digital)
- 3 contactor/solenoid outputs
- 1 encoder supply output - programmable 5V or 10V

### Other Features

- A CANopen bus allows easy interconnection of controllers and devices such as displays and driver controls
- The CANbus allows the user to wire the vehicle to best suit vehicle layout since inputs and outputs can be connected to any of the controllers on the vehicle and the desired status is passed over the CAN network to the relevant motor controller
- The Gen4 controller can dynamically change the allowed battery current by exchanging CAN messages with a compatible Battery Management System
- Configurable as vehicle control master or motor slave

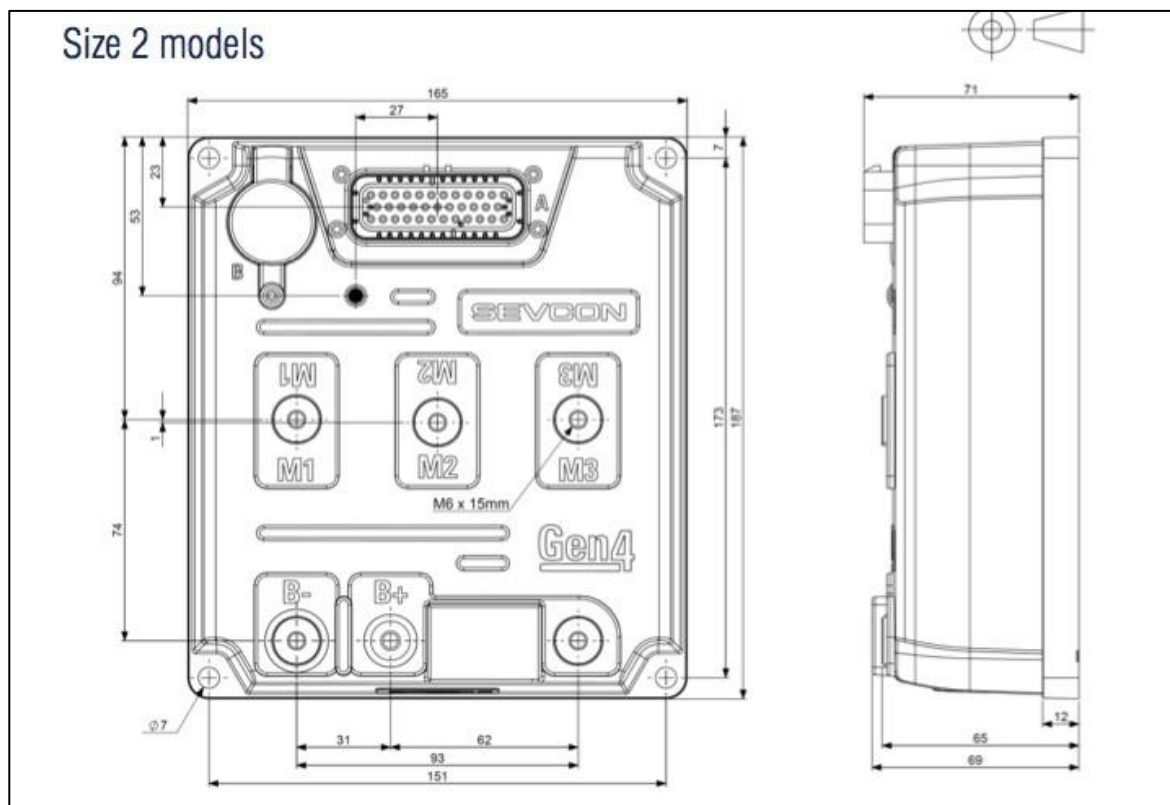
### Configuration Tools

Sevcon offers a range of configuration tools for the Gen4 controller, with options for Windows based PC or calibrator handset unit. These tools provide a simple yet powerful means of accessing the CAN-open bus for diagnostics or parameter adjustment. The handset unit features password protected access levels and a customized logo start-up screen.



For more information visit [sevcon.com](http://sevcon.com)

**Figura A.36.** DataSheet Sevcon Gen4 (continuación) (SEVCON Electrification partner)

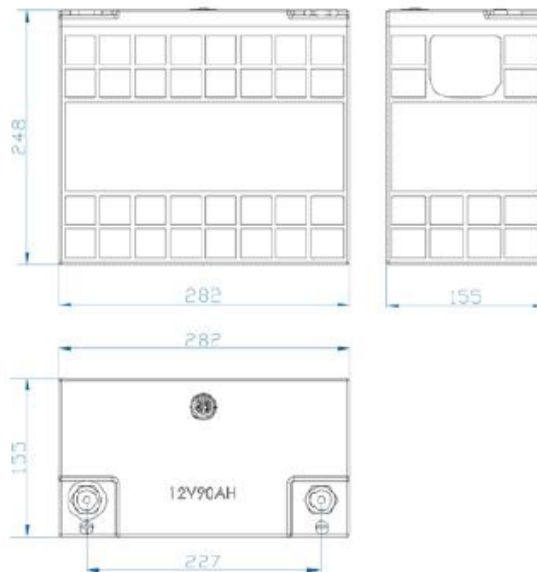


**Figura A.36.** Croquis controlador motor Sevcon Gen4 (SEVCON Electrification partner)

## Anexo 9: Especificaciones técnicas baterías

### LP12V90AH+ battery specification

Model name	LP12V90AH+	Alternative product marking TS-LP12V90AH
Nominal voltage	12 V	Operating voltage under load is 12.0 V
Capacity	90 AH	+/- 5%
Operating voltage	max 15.5V - min 11.5V	At 80% DOD
Deep discharge voltage	11 V	The cells is damaged if voltage drops bellow this level
Maximal charge voltage	16 V	The cells is damaged if voltage exceeds this level
Optimal discharge current	< 45 A	0.5 C
Maximal discharge current	< 270 A	3 C, continuous for max 30 minutes from full charge
Max peak discharge current	< 900 A	10 C, maximal 10 seconds in 1 minute
Optimal charge current	< 45 A	0.5 C
Maximal charge current	< 270 A	< 3 C with battery temperature monitoring
Maximal continuous operating temperature	80 °C	The battery temperature should not increase this level during charge and discharge
Dimensions	282 x 248 x 155	Millimeters (tolerance +/- 2 mm)
Weight	15 kg	Kilograms (tolerance +/- 150g)



**Figura A.37.** DataSheet LP12V90AH+ conjunto de baterías de GWL (GWL / Power Group Technology Solutions)



AA Portable Power Corp  
[www.batteryspace.com](http://www.batteryspace.com), Email: Sales@batteryspace.com

### SPECIFICATION OF LFP-G100

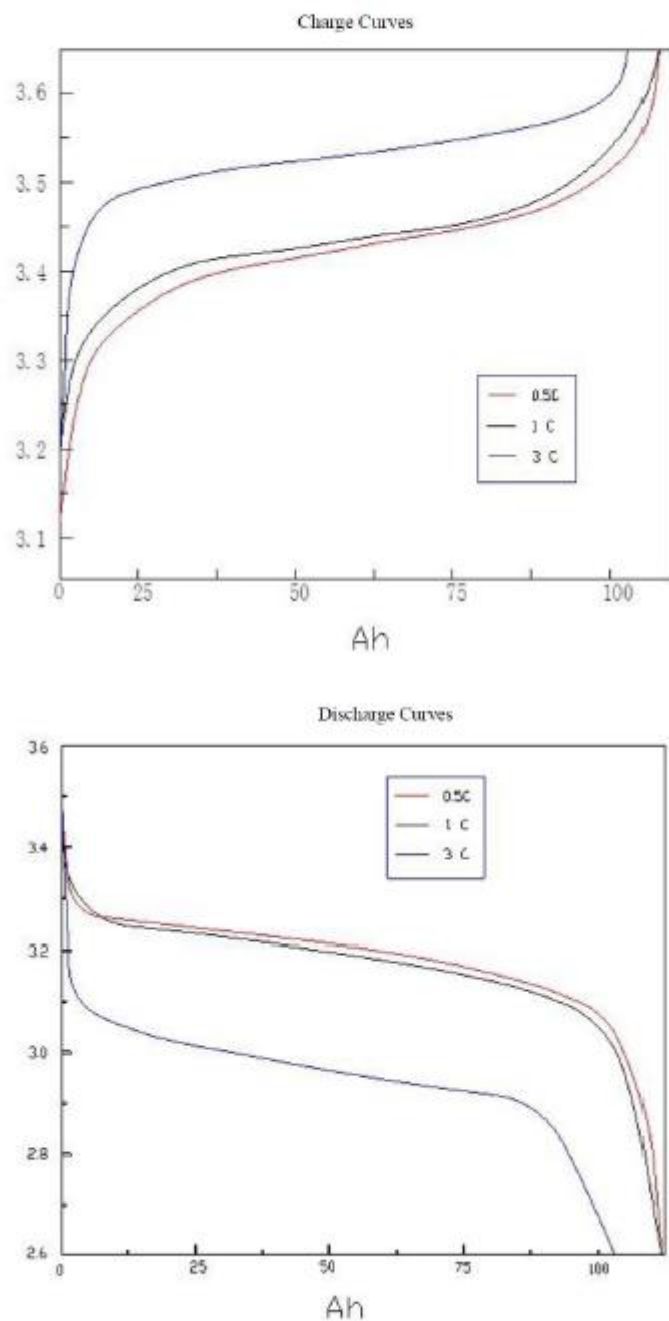
Nominal Capacity	100Ah	Working Voltage	Single cell charge: 3.8V
			Battery pack charge: 3.60V
			Single cell discharge: 2.5V
			Battery pack discharge: 2.8V
Max. Charge Current	$\leq 3C$	Max. Discharge Current	Continuous Current: $\leq 3C$
			Impulse Current (<10s): $\leq 10C$
Standard Charge Current	0.3~0.8C	Ideal Charging Current	0.5C
Internal Resistance	$\leq 1.8m\Omega$	Cycle Life	$\geq 3000$ cycles (80%DOD)
Temperature Resistance of Case	$\leq 135^{\circ}C$	Operating Temperature	Charge: $0^{\circ}C-65^{\circ}C$
			Discharge: $-25^{\circ}C-65^{\circ}C$
Self-Discharge Rate (month)	$\leq 3\%$	Cell Weight	3.2kg±100g
Energy Density	90~110Wh/kg	Power Density	>800w/kg
Dimension	140mm*62mm*236mm (243mm with tall cover)		

**Figura A.38.** DataSheet LFP-G100 conjunto de baterías de AA Portable Power Corp (AA Portable Power Corp)






AA Portable Power Corp  
[www.batteryspace.com](http://www.batteryspace.com), Email: Sales@batteryspace.com



**Figura A.39.** DataSheet LFP-G100 conjunto de baterías de AA Portable Power Corp (continuación) (AA Portable Power Corp)

## Anexo 10: Especificaciones técnicas conversor DC/DC

*EV Source - 500-DCDC-500 Manual*



CE

This DC-DC converter is compact and low-cost, making it a great choice for an on-board 12V DC-DC converter.

The converter is configured to output a constant 13.8V. This voltage can be adjusted from about 11V to 15V with a potentiometer accessible from the output side.

It has terminal blocks on the input and output sides making connection simple. A LED on the output side indicates when the converter output is active.

One attractive feature of this DC-DC converter is an automatic smart precharging sequence that keeps the inrush current low.

**Features:**

- High efficiency up to 87%
- Protections: short circuit / overload / over voltage / over temperature
- Built-in constant current limiting circuit
- Built-in cooling fan ON-OFF control (by load)
- Built with long-life 105C capacitors

**Installation:**

1. Choose a location that will keep the unit dry. It is not a sealed unit and must be kept from road splash and mist.

**Figura A.40.** User Manual 500-DCDC-500 (EV Source, s.f.)



2. Secure the unit with the mounting holes provided on the sides and/or bottom. Use M4 bolts. They must not protrude into the device more than 4mm.
3. Slide off the protective cover on the input terminal block. The input to the converter is the three position terminal block on the rear of the device. Connect the input of the converter to your battery pack. USE CAUTION when working around high voltages! You must be qualified to work around high voltages. If you are not, seek someone who is. The input to the device must be fused. A slow-blow 10A fuse is recommended. The fuse must be rated for the maximum voltage that might be applied on the input. For DC input, polarity does not matter. However, this guide will suggest a standard convention of positive to the “L” terminal, and negative to the “N” terminal. For DC input, the ground terminal (marked with the earth symbol) does not need to be connected. When the wires have been connected, it is recommended to reinstall the protective cover.
4. Slide of the protective cover on the putout terminal block. The output of the converter is the 6 position terminal block on the front of the device. Connect the output of the converter to your 12V system. There are three terminals for positive and three for negative. These are internally tied together. The choice of where to connect the loads is a design decision that will be based on the layout and dynamics of your installation. Always ensure that loads are fused as close to the converter as possible and that the wire used is rated for the loads that will be placed on them. When the wires have been connected, it is recommended to reinstall the protective cover.
5. The converter ships with the output voltage at 13.8V. This should be sufficient to maintain most 12V batteries on a float charge. However, if you require a different voltage, it can be adjusted by turning the trimpot on the front of the unit.

**Electrical Specifications:**

- DC voltage: 13.8V
- Rated current: 40A
- Current range: 0-40A
- Rated power: 480W
- Ripple & noise (max): 150mVp-p
- Voltage adjust range: 11-15V
- Voltage tolerance: +/-1.0%
- Line regulation: +/-0.5%
- Load regulation: +/-0.5%
- Input: 72-144VDC, 85-264VAC
- Inrush current: less than 60A
- Overload protection: 105-135% rated output power
- Protection type: constant current limiting, recovers automatically after fault

**Figura A.41.** User Manual 500-DCDC-500 (continuación) (EV Source, s.f.)

condition removed.

- Overvoltage protection: 16-19V, shut down output voltage, re-power on to recover.
- Overtemperature: 80C +/-5C detect on heatsink of power transistor, 90C +/-5C detect on heatsink on main power output choke. Shutdown of output voltage, recovers automatically after temperature goes down.

#### **Environmental Specifications:**

- Working temperature: -20-70C
- Working humidity: 20-90% relative humidity, non-condensing
- Storage temperature and humidity: -40-85C, 10-95% relative humidity
- Vibration: 10-500Hz, 2G 10min/1cycle, 60min each along X, Y, Z axes

#### **Safety and EMC:**

- Standards: UL60950-1, TUV approved
- Withstand voltage: I/P-O/P: 2kVAC, IP-FG: 1.5kVAC, O/P-FG: 0.5kVAC
- Isolation resistance: I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG: 100MOhms/500VDC/25C/70% relative humidity
- EMI conduction & radiation: Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B
- EMS Immunity: Compliance to EN61000-4-2,3,4,6,8, heavy industrial level, criteria A

#### **Other:**

- MTBF: 196.36K hours minimum, MIL-HDBK-217F (25C)
- Dimension: 8.6 x 4.13 x 2.5 in (215 x 115 x 50 mm) (LxWxH)
- Weight: 2.53 lbs (1.15kg)

**Figura A.42.** User Manual 500-DCDC-500 (continuación) (EV Source, s.f.)

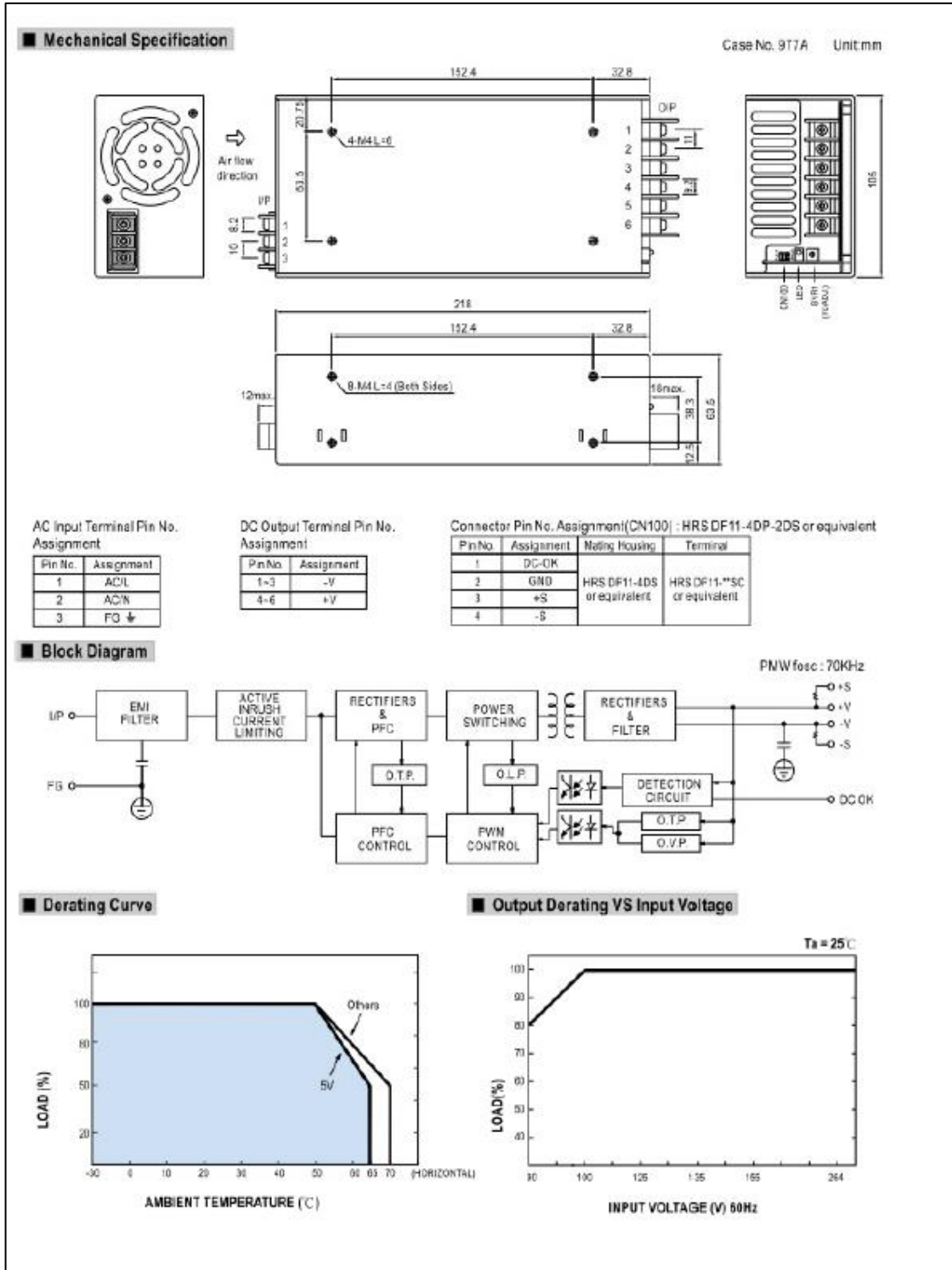


Figura A.43. User Manual 500-DCDC-500 (continuación) (EV Source, s.f.)



**Figura A.43.** HWZ SERIES DC/DC CONVERTER 96V TO 12V 300W (Kelly Controller, s.f.)

DESCRIPTION
<p>Parameters:</p> <p>Dimensions: 172mm(L)*120mm(W)*66mm(H)</p> <p>Input voltage: DC 96V</p> <p>Output voltage: DC 12V</p> <p>Output current: 25A</p> <p>Operating voltage range:75V-130V</p> <p>Operating temperature: -10C - +40C</p> <p>Function :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Over current limited</li> <li>Output short protection</li> <li>Battery reversed connect protection</li> <li>Over temperature protection</li> <li>Incomplete Waterproof and anti-shock</li> <li>Isolate between input and output</li> </ul> <p>Advantage: safety and little disturbance; the output negative can be directed connected with car body , even if the whole supply system of the car is aging or short accidently, it can not cause the accident.</p>

**Figura A.44.** Especificaciones HWZ SERIES DC/DC CONVERTER 96V TO 12V 300W (Kelly Controller, s.f.)

## Anexo 11: Especificaciones técnicas BMS



**Orion BMS**  
Lithium Ion Battery Management System



**Main Features**

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

**Battery Compatibility**

- Compatible with almost all lithium-ion cells
- One-click setup for many common battery types
- Supports 4-180 cells in series per BMS

**Calculations**

- State of Health
- Open circuit cell voltage
- Charge current limit
- Discharge current limit
- Internal resistance (for each individual cell as well as the total pack)

**Centralized Design**

- No cell tap boards or external circuitry
- Fast cell voltage polling (every 30 mS typical)
- High immunity to EMI and other noise
- High accuracy cell voltage measurement

**2 Programmable CANBUS Interfaces**

- CAN2.0B (11-bit and 29-bit IDs supported)
- Independently operate at different baud rates
- Fully customizable message formatting
- Field upgradable firmware and settings using CAN interface
- One-click setup for many common chargers and inverters
- OBD2 protocol compatible (supports many scan tools)
- Can be used with CANOpen and J1939 Applications

**Input / Output**

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

**Diagnostic Features**

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

**Data Logging**

- Unit tracks total number of battery cycles
- Records number and duration of over-temperature and over-current events
- All BMS parameters can be logged using PC utility software
- Optional data logging display can record any parameters to a memory card

**Other features**

- Isolation fault detection
- Multiple BMS units may be used in series
- Automotive grade locking connectors
- Temperature compensation for improved monitoring in different temperatures

**Common Applications**

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

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

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



**Figura A.45.** DataSheet Orion BMS (Ewert Energy Systems)

**Cell Voltage Monitoring Specs**

- Cell voltage resolution of about 1.5mV
- Maximum individual cell voltage rating: 0.5v to 5v per cell tap.
- Cell voltage measurement total error <0.25% across full temperature range.
- Total pack voltages from 13v up to 850v (max.)
- Supports from 4 to 180 cells per BMS (more if units in series.)

**Reliability & EMI Immunity (Rev E)**

- Operates through the highest class passenger vehicle load dump ISO 7637 Class IV (87V, 400mS, 0.5 ohm source.)
- Operates through ISO 7637 "cold crank" brownouts down to 5v on 12v supply rail and can operate > 100mS with no power (with initial voltage of 12v.)
- Meets EN 50498: 2010 EMC Aftermarket Vehicle Directive
- Meets 2004/104/EC EMC Road Vehicle Directive last revised as 2009/19/EC

**Product Dimensions**

- Standard Enclosure: 9.45 in (W) x 6.85 in (L) x 3.23 in (H)
- Extended Enclosure: 15.98 in (W) x 6.85 (L) x 3.23 in (H)
- Weight (Standard Enclosure): 5.35 lbs
- Weight (Extended Enclosure): 8.85 lbs

**Isolation**

- Cell taps isolated from 12v supply, chassis and I/O
- 2.5kV isolation between each connector of cell taps
- Isolation allows for use of in-pack safety disconnects and fuses
- High voltage isolation fault detection circuit to monitor the breakdown of wire insulation

**I/O Interfaces**

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


**Power Supply**

- 3 redundant 12V DC power supplies for reliability
- BMS retains data without power (rev D and newer)
- Low power sleep mode

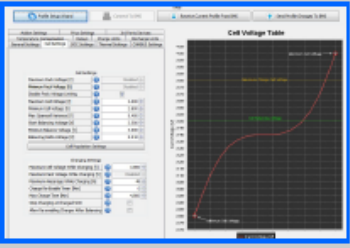
Specification Item	Min	Typ	Max	Units
Supply Voltage	8		16	Vdc
Supply Current—Active		250		mA
Supply Current—Sleep (Rev. D & E)				uA
Operating Temperature	-40		80	C
Sampling Rate for Current Sensor		8		mS
Sampling Rate for Cell Voltages		30	50	mS
Isolation Between Cell Taps and Chassis / 12v Supply	2.5			kVrms
Isolation Between Cells 36-37, 72-73, 108-109, & 144-145	2.5			kVrms
Digital Output Voltage (Open Drain)			30	V
Digital Output Sink Current (Rev. D & newer)			175	mA
Cell Voltage Measurement Range	0.5		5	V
Cell Voltage Measurement Error (over 1-5v range)			0.25	%
Cell Balancing Current			200	mA
Cell Current (Operating)		5		mA
Cell Current (Sleep)				
Thermistor Accuracy				C
Cell Voltage Reporting Resolution		1.5		mV

**Optional Specifications**

CAN bus speed	125, 250, 500, or 1000 Kbps
Current Sensor Values	+/- 200A, 500A, 750A, 1000A Available



Screenshot of Torque smartphone display



Screenshot of BMS utility

120 Easy Street, Suite 14  
Carol Stream, IL 60188

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

www.orionbms.com  
www.ewertenergy.com

**Figura A.46.** DataSheet Orion BMS (continuación) (Ewert Energy Systems)

## DC specifications

	Item	Conditions	Min	Nom	Max	Units
Power in	AC input voltage	AC line	90		264	Vac
		DC (solar panel)	120		370	Vdc
	Ignition input voltage	(1)	9	12	16	V
	AC input current	110 Vac		8	95	mA
		220 Vac		5	50	mA
	Ignition input current	12 Vdc, no ext. loads	50	60	90	mA
		Standby, ignition off			0	mA
	Ignition input fusing			3		A
	Cell board voltage		2		4.2	V
Cell board current	Standby		2	10	$\mu$ A	
	Operating			150	$\mu$ A	
	Balancing, 3.6 V			200	mA	
	Cell board fuse	Manuf. April 2012 +		250		mA
Power out	5 V supply voltage		4.78	5	5.21	V
	5 V supply current	AC power			273	mA
		Ignition			940	mA
	5 V short circuit current	AC power			(1)	mA
	12 V supply voltage	AC power	10.4	10.6	10.8	V
		Ignition power, no ext load		Vign - 0.7		V
		Ignition power, 1 A		Vign - 1.0		V
12 V supply current	AC power, total of all outputs			273	mA	
	Ignition power, total of all outputs			3	A	
12 V short circuit current	AC power			(2)	A	
Logic outputs	Ground side voltage	Switch on, 1 A sink			50	mV
	High side voltage	AC power, switch on, 1 A source	11.3			V
		Ignition, switch on, 1 A source	Vign - 1			V
	Ground side current	Continuous, 70 °C		4.9		A
100 ms peak			30		A	
High side current	Continuous, 70 °C			-2.9	A	
	100 ms peak			3	A	
Meter out	Meter voltage		-0.3		5.3	V
	Meter source resistance			220		$\Omega$
Measurement	Cell voltage	Range	2.09		4.54	V
		Accuracy		10	15	mV
	Charger current	Range	0		30	A
		Accuracy		1	2	%FS
	Load current	Range	-900		+900	A
		Accuracy		1	2	%FS
	Temperature (1 / cell)	Range	-30		+70	°C
		Accuracy, 0~40°C		2	4	°C

1) 250 mA, 2) 100 mA

Figura A.47. Elithium lite BMS (Elithium, s.f.)

AC specifications					
Item	Conditions	Min	Nom	Max	Units
Reading rate			1		Hz
Power-up time	To 1st reading		3		s
Averaging time constant	Cell voltages	1	25	255	s
Response to high current	Current = Peak current setting		10		s
	Current = overcurrent setting		0.1		s
Aquisition rate			1		Hz

USB Port specifications		
Item	Nom	Units
Rate	57600	baud
Data	8	bits
Stop	1	bit
Parity	none	bit
Handshake	none	-

Mechanical	
Case dimensions	6.7 x 4.05 X 1.23" (170 x 103 X 32 mm)
Case drawing	<a href="#">Unibox 740</a>
Height with mating connectors installed	1.87" (47 mm)
Wire gauge, AC power connector	26~16 AWG (0.2~1.5 mm <sup>2</sup> )
Wire gauge, control connector	24~12 AWG (0.34~2.5 mm <sup>2</sup> )
Battery current sensor	ring terminals #10 hole (5 mm) I.D. 0.6" (15 mm) O.D. max

Environmental	
Sealing	None
Temperature	-40~85 °C
Conducted emissions	<a href="#">FCC part 15 class A</a>
Radiated emissions	<a href="#">FCC part 15 class A</a>

**Figura A.48.** Elithium lite BMS (Elithium, s.f.)