



**COMILLAS**

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO DE UN KIT DE ELECTRIFICACION PARA LAND ROVER

Autor: Marco Arias Lezcano

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid, Julio de 2023



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

Diseño de un kit de electrificación para Land Rover

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Marco Arias Lezcano

Fecha: ...17.../ ...07.../ ...2023...



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha: ...17.../ ...07.../ ...2023...

DE NORVERTO  
MORIÑIGO JUAN  
- 09746499L

Firmado digitalmente por  
DE NORVERTO MORIÑIGO  
JUAN - 09746499L  
Fecha: 2023.07.17  
21:31:48 +02'00'





**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

## TRABAJO FIN DE GRADO DISEÑO DE UN KIT DE ELECTRIFICACION PARA LAND ROVER

Autor: Marco Arias Lezcano

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid, Julio 2023

# **DISEÑO DE UN KIT DE ELECTRIFICACIÓN PARA LAND ROVER**

**Autor: Arias Lezcano, Marco.**

Director: Norberto Moriñigo , Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Diseñar un kit de electrificación para vehículos 4x4 de combustión interna como el Land Rover Defender para implementar la economía circular en la industria de la automoción con el objetivo de reducir el impacto medioambiental causado por el sector además de fabricar un vehículo clásico complaciente con las normas vigentes de la Unión Europea.

**Palabras clave:** Retrofit, vehículo eléctrico, electrificación del vehículo de combustión, transporte sostenible.

### **1. Introducción**

A mediados del siglo 19, se introdujo el primer coche eléctrico, pero su popularidad se ha incrementado en el siglo 21 debido a la creciente preocupación por el medio ambiente. Empresas como Tesla han invertido significativamente en la mejora de la tecnología de los vehículos eléctricos. La industria automotriz es responsable de aproximadamente el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual ha impulsado la necesidad de buscar alternativas más limpias y eficientes.

En este contexto, el objetivo de este proyecto es diseñar un kit de conversión para transformar vehículos de combustión en vehículos eléctricos. Se ha seleccionado el Land Rover Defender como modelo de partida, debido a su durabilidad y popularidad. El kit de

electrificación incluirá componentes como la arquitectura de propulsión, motores, electrónica de potencia y baterías. El objetivo principal es reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y evitar el desguace de vehículos funcionales en el futuro cercano.

## **2. Definición del Proyecto**

En este proyecto se trata de diseñar un kit de conversión para transformar vehículos de combustión interna en vehículos eléctricos. El enfoque principal es reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y evitar el desguace de vehículos funcionales. Se seleccionará el modelo Land Rover Defender como punto de partida. El objetivo es promover la movilidad sostenible y contribuir a la transición hacia vehículos más respetuosos con el medio ambiente. Este proyecto se llevará a cabo a través de una metodología que incluye la investigación de información técnica, el análisis de requisitos, simulaciones, selección de componentes y evaluación de costos. Además, se considerará la homologación y la viabilidad del proyecto en el mercado español. Con este enfoque, se espera contribuir a la transición hacia una movilidad más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

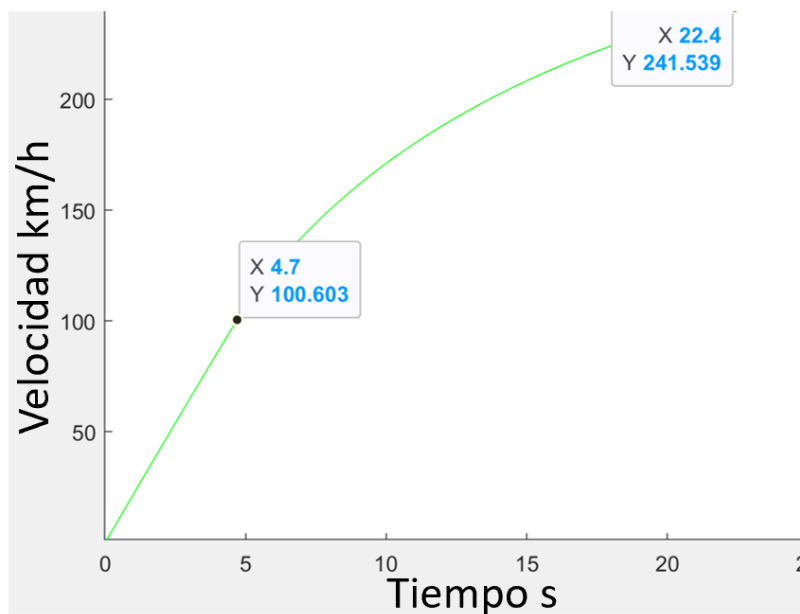
## **3. Descripción del modelo/sistema/herramienta**

Para cumplir con el objetivo de este proyecto se han realizado diversos programas en MATLAB los cuales ayudan a dimensionar los componentes del kit de electrificación. El primer programa encontrado en el Anexo 1, hace uso de la dinámica longitudinal del vehículo para calcular el sumatorio de fuerzas que se deben vencer para poder mover el vehículo. Una vez calculada dicha fuerza la velocidad, aceleración, par y potencia en cada instante durante una distancia  $x$  recorrida. Por último, el programa devuelve una serie de graficas de las cuales se deducen características del kit como la velocidad punta o la aceleración en función de los parámetros del motor introducidos. Iterando con diferentes motores con distintos valores de par, potencia eficiencia, etc, se logra obtener el motor necesario para las especificaciones del vehículo deseadas.

En segundo lugar, durante el proyecto se desarrolla un segundo programa en MATLAB para calcular la autonomía total del vehículo y la cantidad de energía necesaria para viajar una distancia determinada. Proporcionado al programa los valores de capacidad de la batería, eficiencia y consumo de energía por kilómetro, el programa calcula la autonomía del vehículo.

#### 4. Resultados

En la siguiente grafica se puede observar una simulación de como varia la velocidad del Land Rover equipado con el kit de electrificación en función del tiempo.



Por otro lado, en la imagen adjunta a continuación se muestra la autonomía total del vehículo y la cantidad de energía que le costaría a una persona ir hasta su trabajo si este estuviese a 30 kilómetros de su residencia.



```
Command Window
Ingrese la distancia a recorrer hasta su trabajo (en km): 30
Se requieren 8.10 KWh de eneriga para llegar a su oficina
Se estima que la autonomía del coche eléctrico es de 413.3 km
Autonomiatfg
fx Ingrese la distancia a recorrer hasta su trabajo (en km): |
```

Como resultado del proyecto obtenemos un vehículo eléctrico de 2300 kilogramos, con una potencia máxima de 480kW, y par máximo de 1200Nm, que alcanza una velocidad punta de 240km/h, que es capaz de acelerar de 0 a 100km/h en 4,7 segundos y que además tiene una autonomía de 413 kilómetros. Otro dato importante del kit es que es posible cargar la batería hasta el 100% en una media de dos horas.

Por último, el kit está compuesto por un conjunto de motores con inversor integrado de la marca Cascadia Motion y en específico los modelos iM-200 e iM-300 estos motores son de imanes permanentes lo cual ofrece numerosas ventajas. Los motores de imanes permanentes se caracterizan por tener una gran eficiencia de alrededor del 97%. El kit de electrificación incluye un paquete de baterías compuesto por 1300 celdas 4680 fabricadas por Tesla. Estas celdas son de ion-litio. Se ha decidió optar por el tipo de celda 4680 por su reducción de peso en cuanto a la cantidad de material usado en las carcasas. Además, con este novedoso tipo de celda se ha conseguido reducir la resistencia interna y por tanto la temperatura. Esto permite cargar más rápido y aumenta la eficiencia global del vehículo.

## 5. Conclusiones

En primer lugar, se ha visto que es posible realizar un kit de electrificación para vehículos 4x4. Como se ha podido comprobar, el kit no solo es posible, sino que también mejora las prestaciones del vehículo. Esto es gracias a la gran calidad de los componentes incluidos en el kit como los módulos de Cascadia Motion, las baterías de Tesla o el cargador de Wallbox. Según la simulación eso resulta en vehículo de 480kW, 1200Nm de par máximo, aceleración de 0 a 100 en 4,7 segundos y velocidad punta de 240 kilómetros por hora.

Por último, tras realizar un análisis exhaustivo de rentabilidad, se puede concluir que el proyecto evaluado muestra un sólido potencial de viabilidad financiera. El análisis consideró indicadores financieros clave como el retorno de la inversión (ROI), el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para evaluar la rentabilidad del proyecto.

Los resultados indican un ROI positivo, lo que sugiere que el proyecto tiene el potencial de generar retornos sustanciales sobre la inversión inicial. Además, el VAN es significativamente positivo, lo que indica que los flujos de efectivo futuros del proyecto superan la inversión inicial y generan un valor neto positivo. La TIR también resultó favorable, superando la tasa mínima requerida de rendimiento. Esto significa que el proyecto ofrece una rentabilidad interna atractiva y supera el costo de oportunidad de invertir en otras alternativas.

En general, el análisis de rentabilidad respalda la viabilidad financiera del proyecto, lo que sugiere que es una inversión prometedora con la capacidad de generar beneficios financieros atractivos. Sin embargo, es importante seguir monitoreando y ajustando el proyecto en función de los cambios del entorno económico y del mercado para garantizar su éxito a largo plazo.

# **DESIGN OF AN ELECTRIFICATION KIT FOR LAND ROVER**

**Author: Arias Lezcano, Marco.**

Director: Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

Design an electrification kit for 4x4 internal combustion vehicles like the Land Rover Defender to implement the circular economy in the automotive industry with the aim of reducing the environmental impact caused by the sector, as well as manufacturing a classic vehicle compliant with current European Union regulations.

**Key words:** Retrofit, vehículo eléctrico, electrificación del vehículo de combustión, transporte sostenible.

## **1.Introduction**

In the mid-19th century, the first electric car was introduced, but its popularity has increased in the 21st century due to growing environmental concerns. Companies like Tesla have made significant investments in improving electric vehicle technology. The automotive industry is responsible for approximately 25% of greenhouse gas emissions, which has driven the need to seek cleaner and more efficient alternatives.

In this context, the objective of this project is to design a conversion kit to transform combustion vehicles into electric vehicles. The Land Rover Defender has been selected as the starting model due to its durability and popularity. The electrification kit will include components such as the propulsion architecture, motors, power electronics, and batteries.

The main goal is to reduce CO<sub>2</sub> emissions and prevent the scrapping of functional vehicles in the near future.

## **2. Project Definition**

This project aims to design a conversion kit to transform internal combustion vehicles into electric vehicles. The main focus is on reducing CO<sub>2</sub> emissions and preventing the scrapping of functional vehicles. The Land Rover Defender will be selected as the starting model. The goal is to promote sustainable mobility and contribute to the transition towards more environmentally friendly vehicles. This project will be carried out through a methodology that includes researching technical information, analyzing requirements, conducting simulations, selecting components, and evaluating costs. Additionally, homologation and the feasibility of the project in the Spanish market will be considered. With this approach, it is expected to contribute to the transition towards more sustainable and environmentally friendly mobility.

## **3. Model Description**

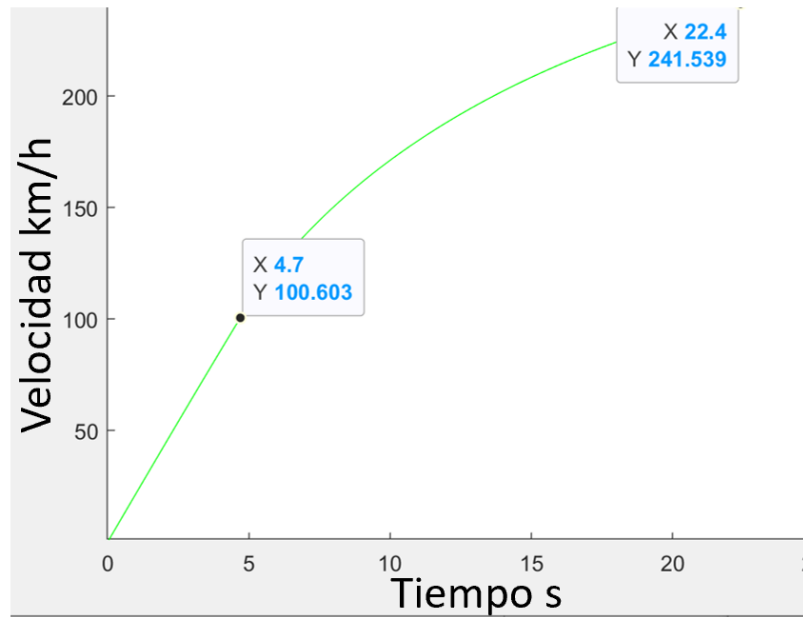
To fulfill the objective of this project, several MATLAB programs have been developed to assist in dimensioning the components of the electrification kit. The first program, found in Appendix 1, utilizes the longitudinal dynamics of the vehicle to calculate the sum of forces that need to be overcome to move the vehicle. Once this force is calculated, the program determines the velocity, acceleration, torque, and power at each instant for a given distance  $x$  traveled. Finally, the program generates a series of graphs from which characteristics of the kit, such as top speed or acceleration, can be deduced based on the input parameters of the motor. By iterating with different motors with varying torque, power, efficiency, etc., the necessary motor for the desired vehicle specifications can be obtained.

Secondly, during the project, a second MATLAB program is developed to calculate the total vehicle range and the amount of energy required to travel a specific distance. By providing

the program with values such as battery capacity, efficiency, and energy consumption per kilometer, it calculates the vehicle's range.

#### 4.Results

The following graph shows a simulation of how the speed of the Land Rover equipped with the electrification kit varies over time.



On the other hand, in the attached image below, the total vehicle range and the amount of energy required for a person to commute to work, assuming the distance is 30 kilometers from their residence, are shown.

```
Command Window
Ingrese la distancia a recorrer hasta su trabajo (en km): 30
Se requieren 8.10 KWh de eneriga para llegar a su oficina
Se estima que la autonomía del coche eléctrico es de 413.3 km
Autonomiatfg
fx Ingrese la distancia a recorrer hasta su trabajo (en km): |
```

As a result of the project, we obtain an electric vehicle weighing 2300 kilograms, with a maximum power of 480 kW and a maximum torque of 1200 Nm. It reaches a top speed of 240 km/h and can accelerate from 0 to 100 km/h in 4.7 seconds. Additionally, it has a range of 413 kilometers. Another important detail about the kit is that it is possible to charge the battery up to 100% in an average of two hours.

Lastly, the kit is composed of a set of motors with an integrated inverter from the brand Cascadia Motion and, specifically, the models iM-200 and iM-300. These motors are permanent magnet motors, which offer numerous advantages. Permanent magnet motors are known for their high efficiency, around 97%.

The electrification kit includes a battery pack consisting of 1300 Tesla 4680 cells. These cells are lithium-ion. The decision was made to opt for the 4680-cell type due to its reduced weight in terms of material quantity, as well as its lower internal resistance and temperature. This allows for faster charging and increases the overall efficiency of the vehicle.

## **5. Conclusion**

Firstly, it has been demonstrated that it is possible to create an electrification kit for 4x4 vehicles. As proven, the kit not only is feasible but also enhances the vehicle's performance. This is due to the high quality of the components included in the kit, such as the Cascadia Motion modules, Tesla batteries, and Wallbox charger. According to the simulation, this results in a vehicle with 480 kW of power, a maximum torque of 1200 Nm, acceleration from 0 to 100 km/h in 4.7 seconds, and a top speed of 240 kilometers per hour.

Lastly, after conducting a comprehensive profitability analysis, it can be concluded that the evaluated project shows solid potential for financial viability. The analysis considered key financial indicators such as return on investment (ROI), net present value (NPV), and internal rate of return (IRR) to assess the project's profitability. The results indicate a positive ROI, suggesting that the project has the potential to generate substantial returns on the initial investment. Additionally, the NPV is significantly positive, indicating that the project's future cash flows exceed the initial investment and generate positive net value. The IRR also proved favorable, surpassing the minimum required rate of return. This means that the

project offers an attractive internal return and surpasses the opportunity cost of investing in other alternatives.

Overall, the profitability analysis supports the financial viability of the project, suggesting that it is a promising investment with the capacity to generate attractive financial benefits. However, it is important to continue monitoring and adjusting the project based on changes in the economic and market environment to ensure its long-term success.

# Índice

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN .....	5
1.2 MOTIVACIÓN.....	8
1.3 OBJETIVO DEL PROYECTO .....	12
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 3. DINÁMICA LONGITUDINAL .....</b>	<b>16</b>
3.1 RESISTENCIA A LA RODADURA .....	17
3.2 RESISTENCIA AERODINÁMICA .....	18
3.3 FUERZA DE FRENADO .....	19
3.4 RESISTENCIA A LA PENDIENTE.....	19
<b>CAPÍTULO 4. COMPONENTES DEL POWERTRAIN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....</b>	<b>21</b>
4.1 ESTUDIO COMPONENTES A EXTRAER DEL VEHÍCULO ORIGINAL.....	21
4.1.1 Alimentación del motor.....	21
4.1.2 Motor de combustión .....	22
4.1.3 Motor de arranque.....	22
4.1.4 Alternador.....	22
4.1.5 Sistema transmisión .....	22
4.1.6 Servofreno.....	23
4.1.7 Sistema de escape .....	23
4.1.8 Bomba de dirección .....	23
4.1.9 Sistema de refrigeración .....	24
4.1.10 Caja de fusibles.....	24
4.2 ESTUDIO DE COMPONENTES A INCLUIR EN EL KIT .....	24
4.2.1 Motor eléctrico.....	24
4.2.2 Arquitectura de propulsión .....	26



4.2.3 Baterías.....	27
4.2.4 Inversor.....	29
4.2.5 Sistema de carga.....	31
4.2.6 Frenos regenerativos.....	32
4.2.7 Pedales y dirección asistida.....	34
4.2.8 Servofreno electromagnético.....	35
<b>CAPÍTULO 5. NORMATIVA Y HOMOLOGACIÓN.....</b>	<b>36</b>
5.1 DOCUMENTACIÓN.....	36
5.1.1 Proyecto técnico.....	36
5.1.2 Certificado de conformidad.....	37
5.1.3 Certificado de taller.....	37
<b>CAPÍTULO 6. CÁLCULOS.....</b>	<b>38</b>
6.1 DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR.....	38
6.2 CÁLCULO DE A AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO.....	40
6.3 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR.....	43
6.4 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CARGA.....	44
<b>CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISEÑO DEL PRODUCTO FINAL.....</b>	<b>46</b>
7.1 CURVAS DE PAR Y POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO.....	46
7.1.1 Curva de velocidad con el tiempo:.....	47
7.1.2 Curvas de par (verde) y potencia (rojo):.....	47
7.2 AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO Y CAPACIDAD DE LA BATERÍA.....	48
7.3 COMPONENTES SELECCIONADOS DEL MERCADO.....	48
7.3.1 Arquitectura de propulsión.....	48
7.3.2 Motores eléctricos e inversor.....	49
7.3.3 Baterías.....	52
7.3.4 Sistema de carga.....	53
7.4 COSTE TOTAL DEL KIT DE ELECTRIFICACIÓN.....	54
<b>CAPÍTULO 8. VIABILIDAD DEL PROYECTO.....</b>	<b>56</b>
8.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA:.....	56
8.2 ANÁLISIS DEL MERCADO:.....	56
8.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA:.....	57
8.4 COMPETENCIA:.....	58

---

8.5	OFERTA DE PRODUCTOS Y SERVICIOS: .....	59
8.6	ESTRUCTURA ORGANIZATIVA: .....	59
8.7	PLAN FINANCIERO: .....	60
<b>CAPÍTULO 9. FUTURAS INVESTIGACIONES .....</b>		<b>63</b>
9.1	NUEVAS TECNOLOGÍAS DE BATERÍAS .....	63
9.2	ARQUITECTURA DE 800V .....	64
<b>CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES .....</b>		<b>66</b>
<b>CAPÍTULO 11. APÉNDICE .....</b>		<b>68</b>
<b>CAPÍTULO 12. BIBLIOGRAFÍA .....</b>		<b>71</b>

## *Índice figuras*

Figura 1: Contaminación Global por Industrias .....	6
Figura 2: Emisiones del transporte en la Unión Europea .....	7
Figura 3: Matriculación de vehículos eléctricos en los principales mercados de la UE .....	11
Figura 4: Objetivos de desarrollo sostenible .....	13
Figura 5: Resistencia aerodinámica en función de la velocidad.....	18
Figura 6: Curvas de Carga-Descarga para Celdas de Ion-Litio.....	31
Figura 7: Frenos Regenerativos.....	33
Figura 8: Curva de potencia y par en función de la velocidad para Tesla Model S.....	39
Figura 9: Mapa ciclo WLTP.....	42
Figura 10: Dimensionamiento de Inversor.....	44
Figura 11: Curva de Velocidad en Función del Tiempo. Realizado por autor.....	47
Figura 12: Curvas del par (verde) y potencia (rojo) en función del tiempo del KIT de electrificación.....	47
Figura 13: Módulos de Cascadia Motion.....	50
Figura 14: Grafica ficha técnica iM-200 ( <i>im225W.pdf</i> , s. f.) .....	51
Figura 15: Tipo de Celdas de Tesla.....	52
Figura 16: Esquema general .....	54
Figura 17: Ventas de coches eléctricos por año .....	58

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

### *1.1 ESTADO DE LA CUESTIÓN*

A mediados del siglo 19 aparece el primer coche eléctrico, pero no es hasta el siglo 21 cuando empieza a haber un mayor interés en ellos debido a una creciente preocupación por el medio ambiente. Debido a que la industria del automóvil se sostiene sobre el uso de hidrocarburos, los cuales son muy nocivos para el medio ambiente y para las personas en concentraciones altas, diversas empresas como Tesla comenzaron a hacer grandes inversiones dedicadas a mejorar la tecnología de vehículos eléctricos. Como es visible en la gráfica 1, la industria automovilística es culpable de cerca del 25% de los gases invernadero emitidos a la atmosfera. Además, según el parlamento europeo, de este 25% el 71,7% esta atribuido al transporte por carretera el cual incluye motocicletas, camiones ligeros y pesados y coches. Entre estos vehículos el porcentaje de contaminación varia notoriamente siendo el coche el más contaminante, representando un 60,6% de la contaminación debida al transporte por carretera (Figura 2).

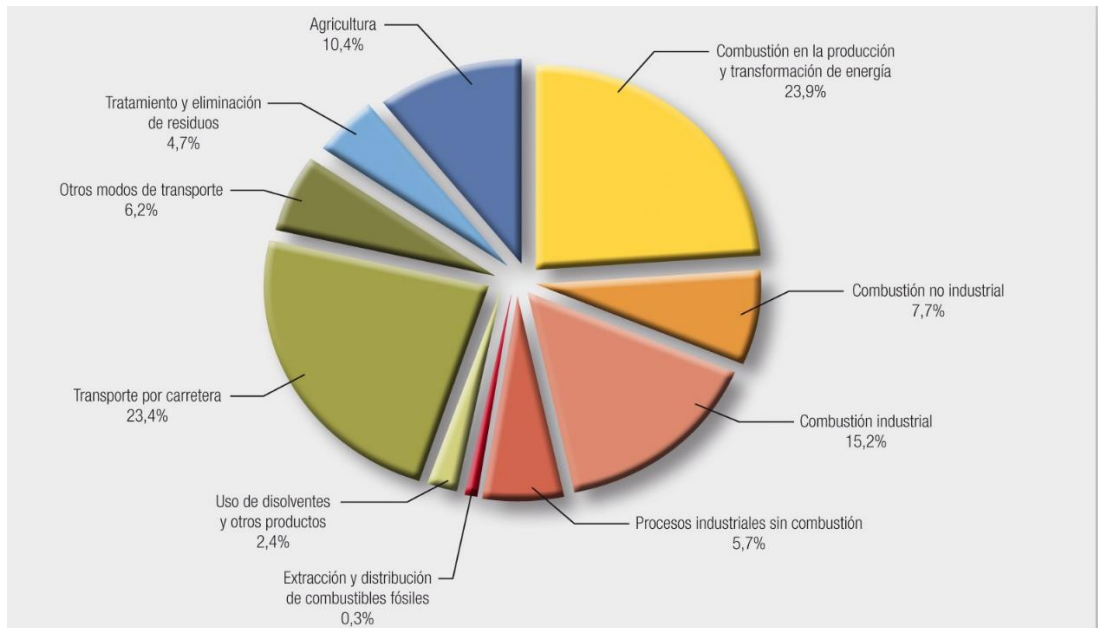


Figura 1: Contaminación Global por Industrias

(FGCSIC – Fundación General CSIC, s. f.)

A primera vista no cabe duda de que el coche eléctrico es la solución a este problema puesto que no consume gasolina ni diésel para poder moverse. Pero esto no es del todo cierto ya que para poder comparar la contaminación de los coches de combustión frente a los eléctricos habría que estudiar el ciclo de vida completo de ambos tipos de coches. Para ello, tomaremos de ejemplo un estudio de Mercedes acerca de la contaminación total de su modelo EQC asumiendo un ciclo de vida de 200.000 kilómetros.

Según Mercedes producir un EQC genera en torno a 16,4 toneladas de CO<sub>2</sub> de las cuales el 41% provienen del paquete de baterías y la extracción de los materiales para crear estas. Además, hay que sumar otras 16 toneladas debido a la recarga de las baterías durante los 200.000 kilómetros de vida esperados si se asume que se cargan con la vigente combinación de fuentes de energía de la UE (Unión Europea). Esto es equivalente a emitir entre 60 y 76 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro mientras que un coche mediano de gasolina emite alrededor de 143 gramos de CO<sub>2</sub> por kilómetro y 1,5 veces menos CO<sub>2</sub> en su producción que un coche eléctrico. Con los datos proporcionados se puede decir que el coche eléctrico genera un 35%

menos de CO<sub>2</sub> que el coche de gasolina. Este porcentaje se incrementa drásticamente si asumimos que el coche eléctrico se recarga con energías renovables como la solar y la eólica entre otras, se estima que el Mercedes EQC generaría solamente 0,7 toneladas frente a las 16 toneladas predichas anteriormente.

Este último escenario no es en absoluto descabellado puesto que la Unión Europea tiene unos objetivos muy claros acerca de las fuentes de energía del futuro establecidos en el artículo 194 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea. En este documento se establece una cuota del 40% de energías renovables en el consumo de energía total de la Unión para 2030 (“La energía renovable | Fichas temáticas sobre la Unión Europea ...”).

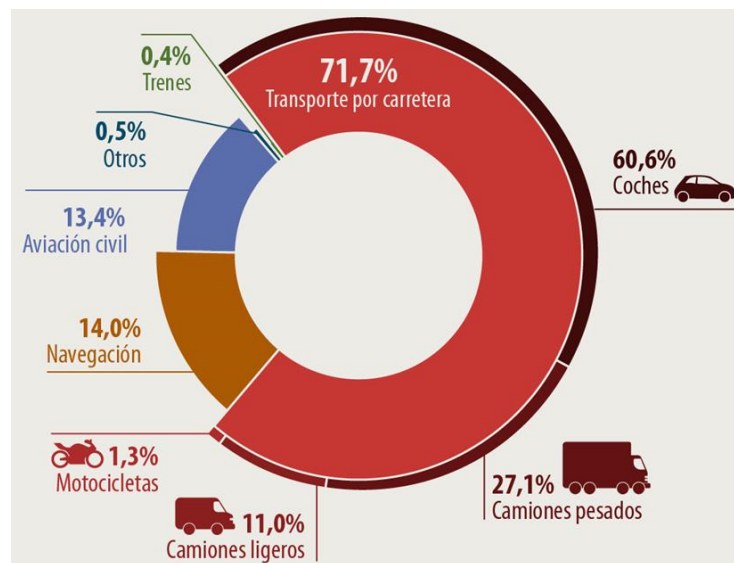


Figura 2: Emisiones del transporte en la Unión Europea  
(20220602PHT32028\_original.jpg (1200×1341), s. f.)

Pese a los esfuerzos de reducir la contaminación del automóvil, estos se han visto eclipsados por una sociedad que utiliza cada vez más los medios de transporte.

El verdadero problema es que el sector del transporte desempeña un papel crucial en la economía mundial y sigue creciendo año tras año por lo que encontrar un transporte sostenible para el medio ambiente y accesible a todos los conductores es crucial. De acuerdo con las estadísticas de la AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente), en 2019 el 66,7% de los vehículos usaban diésel como combustible seguido de la gasolina el cual representa al 24,55% de los vehículos. Evidentemente esto representa a la vasta mayoría de vehículos en circulación hoy en día, en específico 1420 millones de vehículos.

## ***1.2 MOTIVACIÓN***

Es importante conocer cómo se plantea la futura regulación de la Unión Europea frente a los coches de combustión. Mediante la Decisión 2020/591 del Parlamento Europeo y el Consejo del 6 de abril de 2022, la Unión Europea ratificó el VIII programa relativo a la acción de la Unión Europea hasta 2030 para fomentar la sostenibilidad energética, el impacto nulo al medio ambiente y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. En el artículo 2 de la Decisión 2020/591 especifica los 6 objetivos principales referentes al medio ambiente hasta el 31 de diciembre de 2030 y son los siguientes:

- a) *la reducción rápida y predecible de las emisiones de gases de efecto invernadero y, al mismo tiempo, el incremento de las absorciones por sumideros naturales en la Unión para alcanzar el objetivo de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030, tal como se establece en el Reglamento (UE) 2021/1119, en consonancia con los objetivos climáticos y medioambientales de la Unión y garantizando una transición justa que no deje a nadie atrás;*
- b) *el progreso continuo en el aumento y la integración transversal de la capacidad de adaptación, también sobre la base de enfoques relacionados con los ecosistemas, fortaleciendo la resiliencia y la adaptación y reduciendo la vulnerabilidad del medio*

- ambiente, de la sociedad y de la totalidad de sectores de la economía, al cambio climático, al tiempo que se mejora la prevención de las catástrofes relacionadas con las condiciones meteorológicas y climáticas y la preparación ante estos fenómenos;*
- c) *la evolución hacia una economía del bienestar que devuelva al planeta más de lo que toma de él, y el aceleramiento de la transición hacia una economía circular no tóxica en la que el crecimiento sea regenerativo, los recursos se utilicen de manera eficiente y sostenible y se aplique la jerarquía de residuos;*
- d) *la consecución del objetivo de contaminación cero, también en relación con los productos químicos nocivos, a fin de lograr un entorno sin sustancias tóxicas, incluidos el aire, el agua y el suelo, y también en lo que atañe a la contaminación lumínica y acústica, y la protección de la salud y el bienestar de las personas, los animales y los ecosistemas frente a los riesgos e impactos negativos medioambientales;*
- e) *la protección, conservación y recuperación de la biodiversidad marina, terrestre y de las aguas interiores dentro y fuera de las zonas protegidas, entre otras acciones, deteniendo e invirtiendo la pérdida de biodiversidad y mejorando el estado de los ecosistemas, sus funciones y los servicios que prestan y mejorando el estado del medio ambiente, en particular el aire, el agua y el suelo, así como luchando contra la desertificación y la degradación del suelo;*
- f) *el fomento de los aspectos medioambientales de la sostenibilidad, y la reducción significativa de las principales presiones climáticas y medioambientales asociadas a la producción y el consumo de la Unión, en particular en los ámbitos de la energía,*



*la industria, los edificios y las infraestructuras, la movilidad, el turismo, el comercio internacional y el sistema alimentario.*

*(BOE.es - DOUE-L-2022-80590 Decisión (UE) 2022/591 del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de abril de 2022 relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2030., s. f.)*

Para poder alcanzar dichos objetivos, la Unión Europea voto a favor de la prohibición de que las marcas de coches vendan vehículos de gasolina y diésel a partir de 2035, y de que dejen de circular los coches de combustión para 2050 alcanzando así la neutralidad climática de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) en el sector de la movilidad.

Estas medidas nos llevan a la siguiente pregunta: ¿Que pasara con todos aquellos coches que funcionen con combustibles fósiles en 2050? Es evidente que no se puede hacer desaparecer 1420 millones de vehículos.

### Matriculación de vehículos eléctricos en los principales mercados de la Unión Europea

	Segundo trimestre 2019		Primer semestre 2019	
	Número	% var. sobre 2T 2018	Número	% var. sobre 1S 2018
Alemania	15.215	86,2	31.159	80,1
Francia	10.455	47,8	21.007	46,0
Países Bajos	10.144	119,3	20.050	111,2
Reino Unido	5.978	67,2	11.975	60,3
Suecia	4.274	330	8.365	272,8
Italia	3.857	193,5	5.042	123,6
España	2.698	144,2	5.452	141,5
Bélgica	2.405	204	4.601	169,9
Austria	2.366	58,9	4.913	59,1
Portugal	1.781	56	3.905	109,0
Dinamarca	1.588	381,2	2.595	395,2
Polonia	534	310,8	947	239,4
Finlandia	522	194,9	995	182,7
Irlanda	519	110,1	1.954	269,4
Hungría	420	40,9	801	31,5
TOTAL UE	63.589	97,7	125.344	90,9

Fuente: ACEA

B. TRINCADO y C. CORTINAS / CINCO DÍAS

Figura 3: Matriculación de vehículos eléctricos en los principales mercados de la UE

(Ver empresas automoción sc en Madrid, s. f.)

Es cierto que la venta de automóviles eléctricos está aumentando a mayor velocidad año tras año como vemos en la figura 3, pero esto no soluciona nuestro dilema de qué hacer con todos los coches de diésel y gasolina aun funcionales en 2050. La primera opción sería desguazarlos, pero evidentemente esto sería contraproducente puesto que contaminaría el medio ambiente. La segunda opción sería reciclar todo lo posible de los coches y desguazar todo aquello que no se pueda reutilizar. Siendo mejor opción que la anterior no es idónea debido a que se sigue desperdiciando materia.

### ***1.3 OBJETIVO DEL PROYECTO***

Ante la situación ilustrada, se ha decidido diseñar un kit de conversión para uno de los coches más duraderos y vendidos del mundo. El Land Rover defender. El Land Rover defender lleva fabricándose desde 1948, y se dejó de fabricar en 2016 debido al alto coste que suponía adaptar este vehículo a la nueva normativa medioambiental. Se hizo una última serie en 2018 de 150 unidades para conmemorar el aniversario del Defender. Esta serie consistió en un Retrofit de un Land Rover de carrocería antigua junto a un motor 5 litros V8 de 400CV y 515Nm que permitía alcanzar al defender una velocidad 0 a 100kmh en 5.6 segundos. A lo largo de estos años se han vendido más de 2 millones de Defender, y debido a su robustez, muchos de ellos siguen en la carretera hoy en día. Este coche en su origen fue pensado para ir por el campo y hacer trayectos cortos a la ciudad, pero no para recorrer largas distancias puesto que debido a su falta de aerodinámica consume mucho. Esto hace al Land Rover Defender un coche ideal para convertir a eléctrico. El kit de conversión constara de la arquitectura de propulsión, los motores, la electrónica de potencia, el paquete de baterías, sistema de refrigeración y otros componentes que han de ser cambiados como el servofreno, frenos regenerativos, dirección asistida eléctrica, etc.

Mediante este kit de electrificación se logrará eliminar muchos motores de combustión de la carretera, reduciendo de esta manera las emisiones de CO2 además de evitar el desguace de estos coches en futuro próximo. El objetivo además de reducir las emisiones es mantener las prestaciones de los Land Rover Defender. Para ello deberemos incluir un sistema de propulsión 4x4, robustez garantizada, autonomía suficiente y determinar una velocidad y aceleración adecuadas. Para este proyecto me centrare en el Land Rover 90 del año 1998. No obstante, el diseño se planteará para que se pueda usar en la conversión de otros vehículos 4x4 similares.

El proyecto comenzara con un análisis teórico de los distintos componentes que se requieren para comprender la oferta del mercado y así elaborar un 'kit' óptimo. En segundo lugar, estableceré los requisitos y especificaciones técnicas que quiero que tenga el nuevo vehículo

eléctrico. Para ello analizaré la dinámica del vehículo donde se incluirán las fuerzas de rozamiento a distintas velocidades. Una vez completado el modelo, estudiare los distintos tipos de tecnología que oferta el mercado actual y junto a los conocimientos teóricos podre diseñar el kit de electrificación adecuado. Finalmente se analizará el coste total del kit, se estudiará la homologación en España de un coche con este tipo de modificaciones, y se investigará la viabilidad de dicho proyecto en el mercado español.

### **1.4 OBJETIVOS Y METAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)**

Además de mejorar las prestaciones del vehículo, más importante aún, este kit ayuda a cumplir los objetivos y metas de desarrollo sostenible (ODS) de la Unión Europea. En concreto con: Salud y Bienestar, puesto que se reduce la contaminación en las ciudades y por lo tanto el aire será de mejor calidad, Industria, Innovación e Infraestructura ya que para el diseño de este kit se utilizan nuevas tecnologías relacionadas con el vehículo eléctrico, Ciudades y Comunidades Sostenibles puesto que este vehículo reduce las emisiones de gases nocivos, y finalmente el kit de electrificación es evidentemente una acción por el clima.



Figura 4: Objetivos de desarrollo sostenible

## Capítulo 2. METODOLOGÍA

En primer lugar, se hará una búsqueda exhaustiva de información técnica acerca del vehículo para saber el espacio disponible, coeficiente aerodinámico, área frontal, peso, velocidad punta... Para ello hare uso de manuales de taller etc.

En segundo lugar, se determinarán unos objetivos claros para el proyecto. Estos objetivos se compondrán de la especificación a alcanzar del vehículo como es la autonomía o la aceleración.

Una vez establecidos los objetivos, se hará un estudio de la dinámica longitudinal del vehículo y posteriormente se llevar a cabo una simulación usando MATLAB-Simulink para saber datos como la potencia requerida para unas variables y parámetros especificados. Se analizarán los resultados y se plantearán posibles modificaciones.

Luego, se hará un análisis de los componentes originales del vehículo que no harán falta y de los nuevos componentes a introducir e incluidos en el 'kit'. Para ello, se buscará información sobre las tecnologías más vanguardistas en el sector del automóvil eléctrico.

Combinando los resultados de la simulación junto con el análisis de los nuevos componentes a incluir, se seleccionará cada componente hasta concluir con el diseño del kit. En este paso, habrá que hacer un estudio del mercado actual para saber que tecnologías hay disponibles, y cuales se ajustan mejor a nuestros requisitos. Se hará una comparación entre todas las opciones disponibles y se seleccionará una opción teniendo en cuenta distintos parámetros como puede ser el coste. En el caso de las baterías se hará un estudio de la autonomía que tendría el vehículo con cada una de ellas.

Ya con el diseño completado se hará un estudio de costes y se hará una comparación con vehículos ofertados por marcas de las mismas especificaciones técnicas.

Por último, se llevará a cabo una evaluación final de todo el conjunto, se estudiará la viabilidad de lanzar el producto al mercado y se redactará una conclusión que incluirá los trabajos futuros, problemas encontrados y posibles soluciones.

## Capítulo 3. DINÁMICA LONGITUDINAL

Para asegurarse de que el vehículo a diseñar cumple con las expectativas es necesario hacer un estudio de la dinámica longitudinal del vehículo. En un estudio de dinámica longitudinal se analiza cómo se comporta un coche en línea recta durante los transitorios de aceleración y frenado, además de su comportamiento en pendientes o rampas. En estas situaciones fuerzas como la centrífuga o la fuerza de guiado lateral son despreciables y por tanto la aceleración lateral aplicada sobre el vehículo es mínima. Por esta razón, en el análisis de dinámica longitudinal se desprecia este tipo de aceleraciones y no se tienen en cuenta situaciones en las cuales se produzcan asimetrías respecto al eje longitudinal del vehículo como podrían ser curvas de radio pequeño, derrapes o vuelcos.

En este análisis tendré en cuenta las fuerzas resistentes como la fuerza aerodinámica, la resistencia de rozamiento y la resistencia a la pendiente. Para vencer estos esfuerzos resistentes es necesario que haya fuerzas de tracción como la fuerza generada en la superficie de contacto entre el neumático y la calzada debida a la reacción de los esfuerzos generados por el motor y transmitidos a las ruedas. Puesto que esta fuerza la genera el motor y la interacción neumático-calzada, está limitada por el sistema de transmisión y el coeficiente de rozamiento entre las dos superficies ya mencionadas.

En este apartado, estableceré la ecuación fundamental del movimiento longitudinal de un vehículo, en otras palabras, la ecuación del movimiento que se produce en el eje 0X. Con ello realizare una simulación para dimensionar el tamaño del motor.

### **3.1 RESISTENCIA A LA RODADURA**

La resistencia a la rodadura aparece cuando un sólido rueda sobre otro, en este caso el neumático sobre la calzada y expresa la resistencia con la que el neumático se opone de forma natural a rodar. Esta es causada por la fricción del suelo y la deformación del neumático. A mayor resistencia de rodadura, más energía se necesita para superarla de ahí que tenga un gran impacto en la autonomía de la batería de un vehículo eléctrico. Puede parecer que cuanto menor sea la resistencia a la rodadura mejor, pero hay que tener muy en cuenta que la resistencia de los neumáticos es sumamente necesaria puesto que esta resistencia da paso a la tracción. Para calcular la resistencia a la rodadura, teniendo en cuenta la pendiente de la calzada, se utiliza la siguiente expresión:

$$R_r = m \times g \times (f_r \times \cos \theta + \sin \theta)$$

El primer término hace referencia a la resistencia a la rodadura en un tramo recto, mientras que el segundo término del paréntesis hace referencia a la resistencia a la rodadura en un plano inclinado. En un plano inclinado el peso tiene una componente tangencial igual a  $W \times \sin \theta$ . En una carretera plana con  $\theta = 0$  la resistencia a la rodadura sería igual a  $R_r = W \times f_r$ , siendo  $f_r$  el coeficiente de rozamiento, dependiente de la velocidad de la siguiente manera:

$$f_r = 0,01 \times \left(1 + \frac{V}{160}\right)$$

Esta ecuación es precisa para calcular valores de  $f_r$  para velocidades superiores a 128Km/h. Hay un gran número de factores que se deberían tener en cuenta a la hora de calcular la resistencia a la rodadura. Esto hace muy difícil elaborar una ecuación matemática que tenga en cuenta todos los términos que influyen. Por ello se han establecido expresiones basadas en resultados experimentales como la anterior mencionada.



### 3.2 RESISTENCIA AERODINÁMICA

Esta fuerza es análoga a la fuerza de fricción en el sentido que se opone al movimiento de un sólido a través del aire. La resistencia aerodinámica siempre actúa en sentido opuesto a la velocidad que lleva el sólido en movimiento, por ello se opone al avance de dicho sólido. El coeficiente aerodinámico  $C_x$ , es un número adimensional que mide la resistencia que tiene un objeto al viento. La mayoría de los vehículos tienen un coeficiente aerodinámico entre 0,25 y 0,40, a excepción de los vehículos de competición como son los formula 1 que tienen un coeficiente de 1 puesto que busca tener mucha adherencia al suelo. En el caso del Land Rover Defender, este tiene un coeficiente de 0,41. La superficie frontal  $A_f$ , medida en  $m^2$ , es la superficie que ocupa un coche de frente y como es evidente, cuanto más alto y ancho sea el coche mayor resistencia aerodinámica experimentará. En el caso del Land Rover Defender 90, el área frontal es de  $3m^2$ . Además, la resistencia aerodinámica depende de la densidad del aire  $\rho$  ( $1,29 \text{ kg/m}^3$ ), y el cuadrado de la velocidad según la ecuación:

$$Ra = \frac{1}{2} \times \rho \times C_x \times A_f \times V^2$$

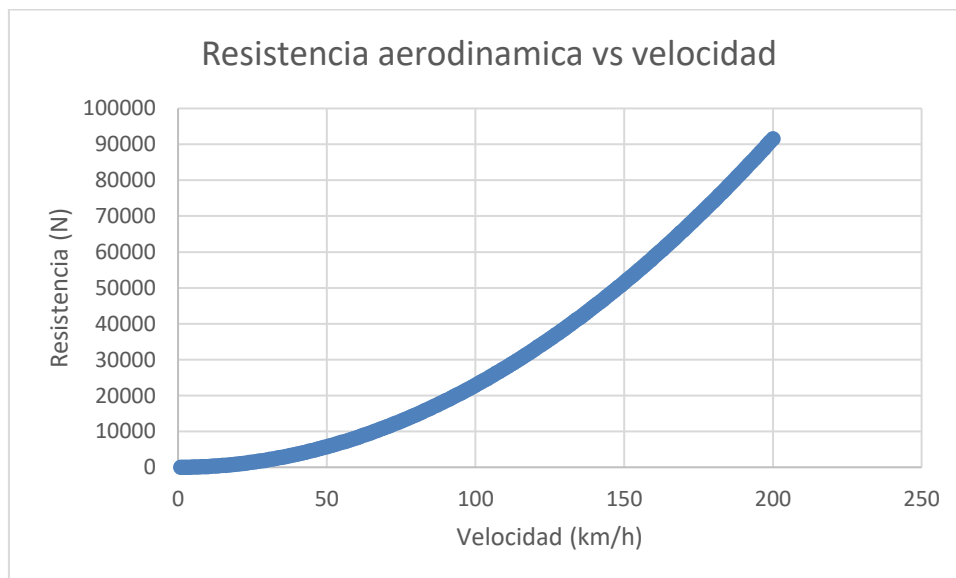


Figura 5: Resistencia aerodinámica en función de la velocidad.

Realizada por autor

### **3.3 FUERZA DE FRENADO**

Al accionar el pedal de freno con el pie, las ruedas del coche experimentan una fuerza determinada ejercida por los frenos que desacelera el vehículo. Es posible modelar la fuerza de frenado como un porcentaje de la fuerza máxima de adherencia, asumiendo que la fuerza de frenado varía linealmente con el ángulo del pedal. La ecuación resultante sería de la siguiente forma:

$$F_{frenado} = \mu \times m \times g \times \frac{\text{Ángulo pedal}}{100}$$

Siendo esta el producto del coeficiente de adherencia, el peso y el porcentaje de giro del pedal.

### **3.4 RESISTENCIA A LA PENDIENTE**

Mediante un diagrama de cuerpo libre (DCL), es posible descomponer las fuerzas que actúan sobre un vehículo en pendiente cuando está totalmente quieto. Realizando este ejercicio es posible despejar la ecuación que permite modelar la resistencia en pendiente. Dicha fórmula es la siguiente:

$$F_g = m \times g \times \sin(\alpha)$$

Siendo  $m$  el peso,  $g$  la gravedad y  $\alpha$  el ángulo de inclinación.

Una vez conocidas todas las ecuaciones de las fuerzas que se oponen al avance del vehículo, es necesario relacionarlas mediante la segunda ley de Newton para poder calcular la aceleración a la que será sometido el vehículo.

$$\Sigma F_{res} = R_r + R_a + F_f + F_g$$

$$\Sigma F = m \times a$$

$$P = F \times V$$

Teniendo en cuenta que no se está accionando el freno a la vez que se pretende acelerar y considerando la fuerza de sustentación del vehículo, la expresión de la potencia total necesaria para el movimiento del vehículo,  $P_t$ , quedaría de la siguiente manera:

$$P_t = \left[ \left( m \times g \times \cos \theta - \frac{1}{2} \times \rho \times C_z \times A_f \times V^2 \right) \left( 0,01 \times \left( 1 + \frac{V}{160} \right) \right) + \frac{1}{2} \times \rho \times C_x \times A_f \times V^2 + m \times g \times \sin (\alpha) \right] V$$

Siendo  $C_z$ , el coeficiente aerodinámico de sustentación.

## **Capítulo 4. COMPONENTES DEL POWERTRAIN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO**

El proceso básico de convertir un coche de combustión a eléctrico consiste en extraer la caja de cambios, el motor de combustión, el sistema de escape, el depósito de combustible y otros elementos secundarios que mencionare más tarde, y suplir la falta de estos por uno o varios motores eléctricos, baterías, un inversor AC/DC y otro DC/DC, y frenos eléctricos entre otros. Dependiendo del caso (número de motores, capacidad de baterías...), esto puede resultar en una reducción del peso total del vehículo lo cual es positivo para la eficiencia de este. En este apartado enlistare y explicare todas las partes de un coche que su utilidad quedara obsoleta al convertir el coche en eléctrico.

### ***4.1 ESTUDIO COMPONENTES A EXTRAER DEL VEHÍCULO ORIGINAL***

#### **4.1.1 ALIMENTACIÓN DEL MOTOR**

El sistema de alimentación del motor lo componen diversas partes: El depósito de combustible, la bomba de combustible, las cañerías por las que circula el combustible, los filtros de aire y combustible y el sistema de inyección ya sea carburación como los V8 3.5L de los 80 cuando primero se introdujo el V8 en el Land Rover Defender o inyección electrónica adoptada a partir de los años los 90 con el motor 4.0 V8 de 181CV. Todo ello ha de ser sustituido por el/los motores eléctricos puesto que el coche será eléctrico y prescindirá del uso de gasolina o diésel.

#### **4.1.2 MOTOR DE COMBUSTIÓN**

Como resulta evidente es imprescindible retirar el motor de combustión el cual se encarga de convertir la energía producida en el proceso de combustión en energía cinética. El motor será sustituido por uno varios motores eléctricos que usan el principio de inducción para generar la misma energía cinética.

#### **4.1.3 MOTOR DE ARRANQUE**

El motor de arranque cumple la función de arrancar el motor como bien indica su nombre. Mediante la energía absorbida de la batería, el motor de arranque proporciona el par necesario para que el motor de combustión comience a girar mediante una rueda dentada que engrana con el volante de inercia. En el caso de un motor eléctrico, no es necesario tener este motor.

#### **4.1.4 ALTERNADOR**

En un vehículo tradicional la función del alternador es la de cargar la batería que alimenta el resto de los componentes eléctrico como el motor de arranque ya mencionado o el ventilador del radiador. El alternador está conectado al cigüeñal mediante una correa la cual transmite el giro al rotor del alternador y crea una corriente para recargar dicha batería. En el caso de un coche eléctrico la batería de baja tensión (12V), se carga mediante el paquete de baterías de alta tensión. Para ello se usa un convertidor DC-DC.

#### **4.1.5 SISTEMA TRANSMISIÓN**

Desde que la energía cinética se genera en el motor hasta que llega a las ruedas pasa por diversos componentes los cuales constituyen el sistema de transmisión. Empezando por el embrague y la caja de cambios, pasa por el eje de transmisión hasta el diferencial y luego se transmite a través de los palieres. En cuanto a este sistema, es más complejo que el resto puesto que dependiendo del sistema de tracción que se quiera y el número de motores que se pongan, harán falta algunos componentes originales o ninguno. Por ejemplo, si se instalan

dos motores eléctricos, uno en cada eje, no haría falta mantener el eje de transmisión. En cambio, si se dispusiese de un solo motor, sí haría falta mantener el eje de transmisión y diferencial. En cualquier caso, la caja de cambios y el embrague no son necesarios en los coches eléctricos puesto que pueden proporcionar grandes pares de forma instantánea.

#### **4.1.6 SERVOFRENO**

La función del servofreno se proporcionar una ayuda extra a la hora de frenar para que el conductor no tenga que ejercer ningún esfuerzo al pisar el pedal de freno. Los servofrenos constan de dos cámaras las cuales se encuentran a distintas presiones. Una de ellas a presión atmosférica y la otra a una presión menor causada por estar conectada a la admisión del vehículo. Al accionar el freno se abre una válvula la cual fuerza a igualar las presiones en ambas cámaras por lo que se crea una fuerza que ayuda al frenado. En un coche eléctrico no se dispone de esta depresión causada por la admisión, pero un coche eléctrico sí que lleva servofreno, aunque no como los tradicionales. Por ello, hay que sustituir el servofreno del Land Rover Defender por otro electromecánico.

#### **4.1.7 SISTEMA DE ESCAPE**

La función del sistema de escape es la de expulsar los gases de postcombustión, producidos en el cilindro, a la atmosfera. Este sistema está compuesto por los colectores, el catalizador, el silenciador, y el tubo. Puesto que dejara de haber combustiones en el automóvil, no se generarán gases y no hará falta este sistema.

#### **4.1.8 BOMBA DE DIRECCIÓN**

La dirección asistida hidráulica funciona mediante una bomba de agua que gira solidaria al cigüeñal mediante una correa. Gracias a la presión hidráulica generada, multiplica la fuerza aplicada en la dirección. Esta será sustituida por una bomba dirección asistida eléctrica.

#### **4.1.9 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN**

El sistema de refrigeración es el encargado de mantener el motor a una temperatura óptima para su funcionamiento. Sin él, ciertos componentes se desgastarían con mucha rapidez pudiendo llegar a gripar. La bomba de agua impulsa el líquido refrigerante por las cañerías a través del bloque motor y a su paso, el líquido absorbe el calor del motor.

#### **4.1.10 CAJA DE FUSIBLES**

La caja de fusibles de un coche de combustión incluye todos los fusibles que evitan la circulación de corrientes de excesiva intensidad por los componentes eléctricos del coche. Al sustituir la mayoría de los componentes hidráulicos por unos eléctricos en la conversión, habrá que sustituir la caja de fusible por una de mayor tamaño.

### **4.2 ESTUDIO DE COMPONENTES A INCLUIR EN EL KIT**

#### **4.2.1 MOTOR ELÉCTRICO**

Para dimensionar el/los motores eléctricos es importante tener en cuenta el peso del vehículo que se debe mover y la aceleración que se quiere obtener. Pero para escoger el tipo de motor hay que saber cómo funciona cada uno de ellos y cuáles son sus respectivas ventajas. La robustez y la alta eficiencia son características imprescindibles. Otras características que se deben tener en cuenta son bajo ruido para máximo confort, densidad de potencia, mucho par a baja velocidad (importante para vehículos 4x4), zona de operación constante y facilidad del control, aunque esta última característica se encuentra fuera del alcance de este proyecto. Por último, un correcto dimensionamiento de los motores es aquel que optimiza el motor para que, en los momentos de regeneración, se genere la máxima energía posible. Para cumplir todo ello, haré una comparativa de los tipos de motor eléctricos más usados en la industria de la automoción.

Tabla comparativa tecnologías de motores eléctricos:

Tipo de motor	Ventajas	Desventajas
Motor de inducción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coste muy reducido</li> <li>Produce escaso ruido</li> <li>Motor fiable</li> <li>Tecnología madura</li> <li>Mayor disponibilidad y variedad de tamaños</li> <li>Fácil de controlar y regular la velocidad</li> <li>Puede ser desconectado sin que produzca un par resistente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densidad de potencia muy baja</li> <li>Baja eficiencia</li> </ul>
Motor síncrono de reluctancia conmutada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Motores robustos</li> <li>Par motor bastante elevado</li> <li>No hay pérdidas</li> <li>Eficiente a altas velocidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baja eficiencia a bajas rpm</li> <li>Alto coste</li> <li>Complejo de producir y diseñar</li> </ul>



Motor de flujo axial/radial de imanes permanentes	Peso y tamaño muy contenidos Control de velocidad simple Silencioso Eficientes a bajas rpm Gran potencia y densidad de potencia No hay pérdidas en el cobre	Alto coste
---	--	------------

#### 4.2.2 ARQUITECTURA DE PROPULSIÓN

La arquitectura de propulsión de un vehículo eléctrico se refiere al número y ubicación de los motores eléctricos y las unidades de transmisión que impulsan el mismo. De acuerdo con la cantidad de motores montado en el vehículo y la configuración de estos, la arquitectura de propulsión se puede clasificar en dos ramas: Tren motriz accionado por un solo motor y el tren motriz accionado por varios motores. Esta última categoría se puede dividir entre arquitecturas de propulsión de dos, tres o cuatro motores.

En la configuración de un solo motor, el motor convierte la energía eléctrica recibida de la batería en energía mecánica que permite el movimiento del vehículo además de actuar como generador durante el proceso regenerativo. La principal ventaja de este sistema de tracción es que se necesitan menos componentes puesto que se reutiliza la transmisión convencional del vehículo adaptándola mínimamente. Por el contrario, no es tan eficiente como un sistema de dos motores puesto que carece del segundo motor para aumentar la frenada regenerativa. Otro inconveniente es que es más difícil hacer una tracción total de lo que es usando vectorización selectiva.

En la configuración de motor dual, los motores se encuentran uno en cada eje y evidentemente puede ofrecer más potencia que con un solo motor. También es más eficiente. Una de las razones principales para tener más de un motor es el grado de libertad adicional

en la vectorización del par. Esto ayuda notoriamente a mejorar el control de tracción, la estabilidad y a controlar digitalmente el par en las ruedas delantera y traseras.

En un vehículo de tres motores, uno suele ir en el eje delantero y los otros dos se distribuyen uno a cada rueda trasera. Por lo general estos dos motores son los responsables de impulsar el vehículo en condiciones generales de conducción; el motor de la parte delantera se pone en funcionamiento cuando el conductor necesita más potencia. Cada motor trasero transmite par directo a la rueda sin necesidad de diferencial mecánico y con vectorización de par.

Por último, la configuración de 4 motores contiene un motor en cada rueda. Todos ellos transmiten par directo a las ruedas lo cual permite prescindir de diferenciales. Esta configuración permite una vectorización del par muy eficiente y precisa, pero es la más cara.

En definitiva, para obtener un sistema 4x4 con grandes capacidades es muy ventajoso tener al menos un motor en cada eje. La principal ventaja de esto es las posibilidades que aparecen a la hora de hacer la vectorización del par de los motores. Con un mapeo adecuado es posible controlar el par en cada rueda ajustándose a las necesidades del vehículo en cada momento. La principal función de la vectorización de par es la de obtener la máxima tracción posible en cada momento mediante el análisis del deslizamiento longitudinal de las ruedas y la adaptación de la entrega de par. Por otro lado, a mayor número de motores más costoso resultará el kit de electrificación.

### **4.2.3 BATERÍAS**

En los últimos años, el mercado de los vehículos eléctricos ha experimentado un crecimiento significativo y con ello, la demanda de baterías más eficientes y con mayor autonomía. La tecnología de baterías es un aspecto crucial para el éxito de los vehículos eléctricos y su adopción masiva. Las baterías de los vehículos eléctricos funcionan almacenando energía eléctrica en sus células. Esta energía se utiliza para alimentar el motor eléctrico del vehículo, que a su vez mueve las ruedas. Las baterías de iones de litio, que son las más comunes en los coches eléctricos, funcionan a través de un proceso químico que involucra la

transferencia de iones de litio de un electrodo a otro. Este proceso es conocido como electrolisis. La electrolisis es un proceso en el que se utiliza electricidad para generar una reacción química. En el caso de las baterías de iones de litio, la electrolisis se utiliza para cargar y descargar la batería. Durante la carga de la batería, se aplica electricidad desde una fuente externa (como un enchufe de carga) al sistema de batería, que actúa como un electrolito. La electricidad genera una reacción química en la que los iones de litio se mueven desde el ánodo (el electrodo negativo) al cátodo (el electrodo positivo), recargando la batería. Durante la descarga de la batería, la reacción química se invierte y los iones de litio se mueven desde el cátodo al ánodo, generando una corriente eléctrica que se utiliza para alimentar el motor eléctrico del vehículo.

Es importante tener en cuenta que las baterías de los vehículos eléctricos requieren un sistema de gestión de baterías para controlar la carga y descarga de la batería, así como para monitorear su temperatura y protegerla de sobrecargas o descargas excesivas. Este sistema es esencial para garantizar la seguridad, la eficiencia y la vida útil de la batería.

Actualmente, existen diversas tecnologías de baterías para vehículos eléctricos. Pero no todas estas tecnologías han madurado del todo por lo que no sería recomendable usarlas en el kit.

1. Baterías de ácido de plomo: Estas baterías son las antiguas y por ello su tecnología es muy conocida. Pero tienen el inconveniente de ser poco eficientes y por ello se suelen usar en aplicaciones de menor tamaño como puede ser una bicicleta eléctrica o para dispositivos electrónicos.
2. Baterías de Níquel-metal-Hidruro (NiMH): Estas baterías utilizan níquel e hidruro como electrolitos. Tienen una densidad energética de 150Wh/Litro por lo que son idóneas para aplicaciones de media potencia. Por el contrario, son sensibles a la temperatura y requieren un control de temperatura riguroso. Además, su capacidad de carga disminuye con el tiempo, por lo que no durarán

tanto como otras tecnologías. Por otro lado, son más ecológicas.

3. Baterías de iones de litio: Este tipo de batería funciona mediante el intercambio de iones entre dos electrodos. En la descarga, los iones de litio se mueven a través de un polímero desde el electrodo de cobre al de litio, mientras que en la carga hacen el recorrido inverso. Estas baterías son las más utilizadas hoy en día en los vehículos eléctricos. Esto es debido a que tienen una densidad de energía muy alta (450Wh/Litro) y una larga duración de vida. Por ello son ideales como solución a los vehículos eléctricos. Sin embargo, su alto coste sigue siendo una gran desventaja. Por otro lado, la escasez de litio en la tierra se está convirtiendo en un desafío para la producción de baterías.
4. Baterías de estado sólido (SSB): Estas baterías utilizan materiales sólidos en lugar de líquidos para liberar energía. Al no tener líquidos inflamables, las SSBs son más seguras. Además, tienen mayor densidad energética, mayor estabilidad térmica y una vida útil más larga que las baterías convencionales. Sin embargo, la tecnología no está consolidada del todo puesto que aún existen desafíos técnicos. Por ejemplo, la baja conductividad eléctrica de los materiales sólidos.
5. Baterías de grafeno: Este tipo de baterías utilizan como material anódico o catódico el grafeno. Este material tiene grandes propiedades para el uso en baterías. Tiene una alta conductividad térmica y eléctrica además de una gran resistencia mecánica. Sin embargo, esta tecnología está en sus primeras fases de desarrollo por lo que no sería aconsejable usarla actualmente.

#### **4.2.4 INVERSOR**

Los inversores son unos dispositivos electrónicos que se montan en los vehículos eléctricos para transformar la energía eléctrica de la batería de corriente continua en una señal eléctrica alterna, adecuada para el correcto funcionamiento del motor eléctrico siempre y cuando este

motor sea de corriente alterna. Mediante esta señal, se controla la velocidad y la potencia del motor. Esta conversión es realizada por un inversor del tipo DC/AC.

Además de estos tipo de inversores, los vehículos eléctricos también cuentan con inversores DC/DC. El inversor DC/DC es el encargado de convertir la energía eléctrica continua de la batería de alta tensión en otra forma de energía eléctrica continua, pero con una tensión de otro valor, en este caso, de inferior valor. El inversor DC/DC de un vehículo usa la misma tecnología que los inversores que se usan en sistemas solares. En definitiva, el inversor DC/DC permite que los dispositivos de baja tensión funcionen con una tensión adecuada. Si la tensión nominal de la batería de alta tensión es por ejemplo de 800V, y la de baja tensión es de 12V el inversor o convertidor DC/DC ha de reducir el valor de la tensión para que no se quemé.

El número de inversores DC/AC que se requieren en un vehículo eléctrico depende del número de motores que tenga. Como se ha visto antes, un vehículo eléctrico puede tener uno o más motores. La razón por la que el número de inversores depende del número de motores en el vehículo es que cada inversor es responsable de controlar la velocidad y la potencia de un motor individual. Por lo tanto, si un vehículo tiene más de un motor, es necesario tener más de un inversor para controlar cada uno de ellos. Además, el uso de múltiples inversores y motores permite que el vehículo eléctrico dote de una mayor eficiencia energética y una distribución de potencia mas acertada. Esto se debe a que cada motor puede ser optimizado individualmente y funcionar en diferentes condiciones.

Hay varios factores a considerar cuando se elige un inversor para un motor de un coche eléctrico. En primer lugar, la potencia. Es primordial que el inversor este correctamente dimensionado y tenga una potencia nominal adecuada para satisfacer la necesidad del motor eléctrico. Otros factores importantes incluyen la fiabilidad, el coste y la eficiencia. Un inversor eficiente prolonga la vida de la batería y mejora la eficiencia general del coche.

#### 4.2.5 SISTEMA DE CARGA

El sistema de carga del vehículo eléctrico consiste en el cargador de a bordo. Este es un componente fundamental del vehículo pues es el encargado de controlar la corriente y la tensión a la que se carga el vehículo. Además de determinar el tiempo en el que se carga el vehículo, también es un componente de seguridad. Los cargadores pueden cargar la batería a corriente constante o a tensión constante. Cada una de ellas tienen sus respectivas ventajas y desventajas. Al cargar a corriente constante, la velocidad de carga es muy alta y la eficiencia de carga también lo es. El inconveniente es que existe el riesgo de que la batería pueda sobrecargarse. Por otro lado, si se carga a tensión constante, la intensidad puede aumentar desmesuradamente y provocar un sobrecalentamiento de las baterías, afectando así a su vida útil.

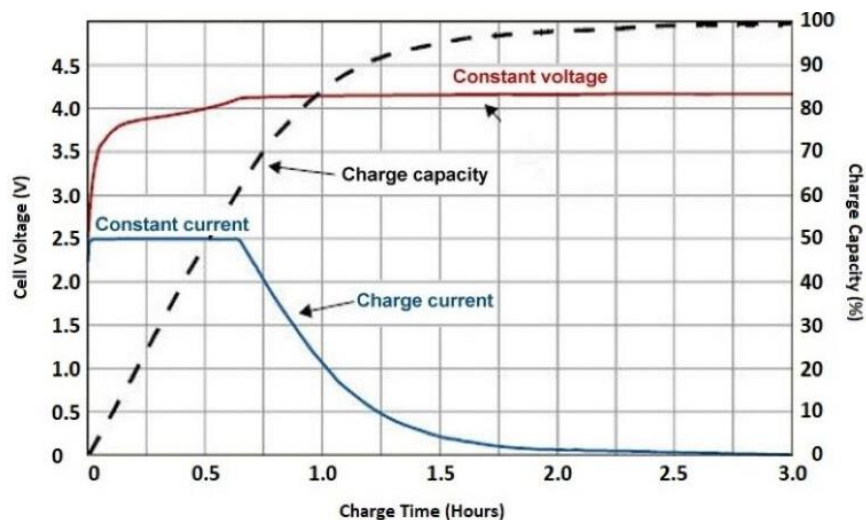


Figura 6: Curvas de Carga-Descarga para Celdas de Ion-Litio

(*Understanding Charge-Discharge Curves of Li-Ion Cells • EVreporter, 2022*)

Debido a los posibles sucesos mencionados previamente y como se puede apreciar en la gráfica, los cargadores por tanto carga a corriente constante al comienzo y a tensión constante al final. De esta manera en los primeros minutos de carga se alcanza un porcentaje

alto de carga con seguridad. Los cargadores de a bordo se categorizan por dos características principales: número de fases disponibles y potencia. De ello dependen la velocidad de carga y el precio final del vehículo.

Por otro lado, se encuentra el conector al cargador. Ahora mismo existen 5 tipos de conectores para cargas vehículos eléctricos, pero algunos de ellos están obsoletos o cerca de estarlo. El conector Schuko por ejemplo, es el habitual en todo tipo de electrodomésticos y se usa para aparatos de baja tensión y corriente monofásica. Por el pueden pasar hasta 16 amperios lo que se traduce en una carga muy extendida en el tiempo. Por ello no es una buena opción. Por otro lado, los cargadores SAE J1772 y CHAdeMo son cargadores establecidos en EE. UU. y Japón por lo que la disponibilidad de estaciones de carga en España que permita la carga de vehículos eléctricos con estos conectores es limitada. Además, el SAE J1772 alcanza una potencia de 19,2KW en recarga rápida lo cual no es idílico. Otros conectores más establecidos en Europa y en específico en España son los de tipo Mennekes y CSS. El Mennekes cuenta con siete bornes, 3 de fase, un neutro, una toma de tierra, y dos de comunicación con el vehículo. Alcanza 16 amperios en carga monofásica y 43kW en carga trifásica. El CSS por otro lado, alcanza los 43kW en carga trifásica como el Mennekes pero podría alcanzar los 100kW en corriente continua aunque por el momento está limitado a 50kW.

#### **4.2.6 FRENOS REGENERATIVOS**

Los frenos regenerativos son un tipo de freno que cuenta con un sistema de recuperación de energía cinética convirtiéndola en energía eléctrica. Esta energía eléctrica se utiliza posteriormente para recargar la batería de un vehículo eléctrico o híbrido. Este tipo de frenado se difiere en comparación al frenado convencional, puesto que el tradicional genera calor y pierde la energía cinética en forma de calor y ruido. Este sistema de frenada regenerativa es empleado en todos los vehículos eléctricos para aumentar la eficiencia global del coche y así aumentar la autonomía del vehículo. El funcionamiento de los frenos regenerativos se basa en la conversión de la energía cinética en energía eléctrica,

sustituyendo en cierto modo al alternador tradicional. Cuando se frena un vehículo, la energía cinética se convierte en calor y ruido en los frenos convencionales. Sin embargo, en los frenos regenerativos, esta energía cinética se transforma en energía eléctrica debido al uso de un generador eléctrico, que es un componente clave de los frenos regenerativos.

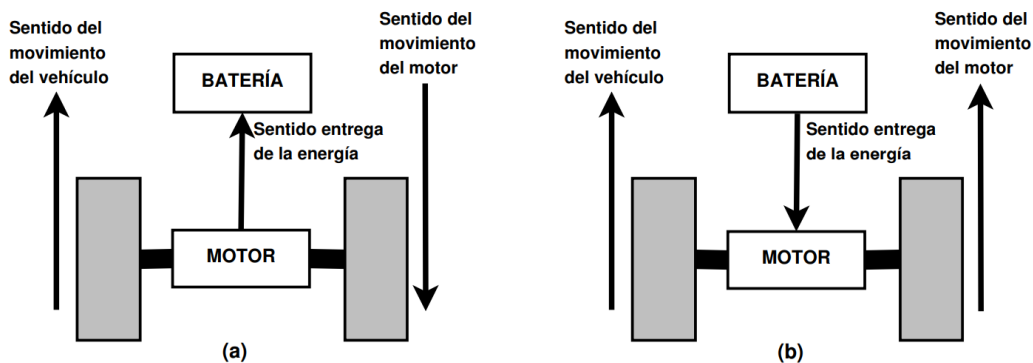


Figura 7: Frenos Regenerativos

(*Monroy et al. - Comparative Study of a Regenerative Braking System.pdf, s. f.*)

Hay dos tipos principales de frenos regenerativos:

1. Frenos regenerativos por frenado eléctrico: Estos frenos utilizan un motor eléctrico como generador que logra convertir la energía cinética en energía eléctrica y la almacena en la batería del vehículo.
2. Frenos regenerativos por frenado mecánico: Estos frenos en vez de usar un motor eléctrico como generador, utilizan un sistema de transmisión mecánico que convierte la energía cinética en energía eléctrica.

En general, los frenos regenerativos son más eficientes que los frenos convencionales, en particular los generativos por frenado eléctrico. Eso se debe a que recuperan y almacenan la energía cinética en lugar de convertirla en calor y ruido. Además, también ayudan a mejorar la eficiencia energética y aumentar la autonomía de los vehículos eléctricos.



Es importante investigar y comparar diferentes tipos de frenos regenerativos. La capacidad de los frenos regenerativos para recuperar energía y almacenarla en la batería es fundamental para aumentar la eficiencia energética del vehículo, como también lo es la seguridad o que la potencia de estos sea adecuada para el peso del vehículo en cuestión.

#### **4.2.7 PEDALES Y DIRECCIÓN ASISTIDA**

Los vehículos eléctricos están equipados con un sistema de control de potencia eléctrico que regula la velocidad y la dirección del vehículo. Los pedales electromecánicos son componentes esenciales de este sistema, ya que convierten la entrada humana en una señal eléctrica que controla la potencia enviada a los motores.

En un vehículo eléctrico, el pedal del acelerador es un componente electrónico que transforma la acción de pisarlo en una señal eléctrica. Esta señal es procesada por el sistema de control de potencia, que utiliza sensores y algoritmos para determinar la cantidad de potencia que debe suministrarse a los motores para alcanzar la velocidad deseada. Del mismo modo, el pedal del freno también es un componente electrónico que convierte la acción mecánica de pisarlo en una señal eléctrica. Cuando se presiona el pedal del freno, se envía una señal eléctrica al sistema de control de potencia para reducir o detener la potencia enviada a los motores.

En cuanto a la dirección, los vehículos eléctricos utilizan un sistema de dirección electromecánica que permite controlar la orientación de las ruedas mediante un motor eléctrico. Este sistema incluye varios componentes, como el motor eléctrico, una unidad de control, sensores y actuadores, y una transmisión mecánica.

El motor eléctrico es el elemento principal de la dirección electromecánica y genera la fuerza necesaria para mover las ruedas en la dirección deseada. La unidad de control recibe las señales del conductor y envía la energía eléctrica al motor para controlar la dirección del vehículo. Los sensores y actuadores supervisan el estado del vehículo y controlan la orientación de las ruedas. Estos sensores pueden incluir sensores de velocidad, posición,

aceleración, entre otros. Los actuadores, por su parte, pueden ser motores eléctricos, servomotores u otros dispositivos que transmiten energía eléctrica a las ruedas. Por último, la transmisión mecánica conecta el motor eléctrico con las ruedas y puede estar compuesta por engranajes, correas, cables u otros sistemas que transmiten energía mecánica desde el motor hasta las ruedas.

#### **4.2.8 SERVOFRENO ELECTROMAGNÉTICO**

El servofreno electromecánico es un dispositivo accionado por un motor eléctrico que proporciona asistencia al conductor a la hora de frenar el vehículo. El freno en vez de ser accionado simplemente por la fuerza que ejerce el conductor en el pedal de freno hace uso del servofreno para generar una presión hidráulica suficiente para aplicar la frenada necesaria.

Este mecanismo consta de un motor eléctrico, una unidad de control (ECU), y un cilindro maestro. La ECU controla el motor eléctrico generando una señal cada vez que el conductor frena. Esta señal acciona el motor eléctrico y empuja el cilindro maestro para generar la presión hidráulica en el sistema de frenado.

## Capítulo 5. **NORMATIVA Y HOMOLOGACIÓN**

En cuanto a homologaciones, existen varios tipos de reformas clasificadas por el ministerio de Industria en España. La modificación realizada en el coche 4x4 por el kit de electrificación es una reforma perteneciente al grupo 2 – Unidad motriz. Esta clase de reforma debe cumplir con una serie de requisitos para poder circular. En primer lugar, se deberá contactar con un servicio técnico de homologación autorizado por el Ministerio de Industria, como Applus+ IDIADA, UCA (Unidad de Certificación del Automóvil), entre otras, para llevar a cabo los ensayos de homologación.

Previo a esto, será necesario obtener un Proyecto técnico elaborado por un Ingeniero o Ingeniero Técnico Industrial. Además, es necesario contactar con un taller debidamente registrado en el registro oficial de talleres de reparación de vehículos, el cual será responsable de llevar a cabo la reforma descrita en el proyecto técnico. Por último, se llevará el vehículo reformado a una estación de inspección técnica de vehículos (ITV) para obtener la nueva tarjeta técnica de características de nuestro vehículo eléctrico.

### **5.1 DOCUMENTACIÓN**

#### **5.1.1 PROYECTO TÉCNICO**

Un proyecto técnico de ingeniería es un documento que integra todos los elementos necesarios para convertir una idea en una realidad aplicable en un entorno industrial. Estos elementos pueden incluir documentos escritos, cálculos matemáticos, representaciones gráficas, entre otros. Este documento debe recoger las hipótesis iniciales y justificar las soluciones adoptadas. También se debe incluir una memoria donde se especifiquen los pasos a seguir y los cálculos a realizar. Además, se deben adjuntar planos detallados para llevar a cabo el proyecto y por último adjuntar un presupuesto estimado y desglosado con todos los costes esperados.

### **5.1.2 CERTIFICADO DE CONFORMIDAD**

El certificado de conformidad es un informe expedido por un laboratorio autorizado donde se afirma que las reformas realizadas en el vehículo en cuestión se han llevado a cabo conforme la ley vigente.

### **5.1.3 CERTIFICADO DE TALLER**

El certificado de taller es un documento que contiene la información relevante sobre el taller donde se han llevado a cabo las modificaciones en un vehículo, así como los datos específicos del vehículo en cuestión. La estructura básica del certificado de taller es la siguiente:

En primer lugar, se detallan la marca, tipo, variante y denominación comercial del vehículo, junto con los códigos de homologación, el número de matrícula y el número de bastidor. Estos datos son proporcionados por el taller. Además, se incluye el código de reforma que identifica la intervención realizada, y se completa una tabla con la reglamentación aplicable y la contraseña de homologación correspondiente. Por último, el documento se firma y se agrega la fecha de emisión.

## Capítulo 6. CÁLCULOS

### 6.1 DIMENSIONAMIENTO DEL MOTOR

El diseño de un kit de electrificación para vehículos implica la elección de un motor adecuado que satisfaga los requisitos de rendimiento y eficiencia del sistema. Sin embargo, evaluar manualmente múltiples motores puede ser tedioso. Como parte del proyecto se ha desarrollado un programa en MATLAB con el objetivo de facilitar el proceso de diseño del kit de electrificación para vehículos 4x4. El programa permite ensayar distintos tipos de configuraciones de motor y evaluar su viabilidad en términos de rendimiento y eficiencia. Para lograr esto, el programa utiliza una serie de parámetros fijos relacionados con el vehículo, entre los que se incluyen el peso del vehículo, el coeficiente de drag, el área frontal... Por otro lado, también es necesario introducir otro grupo de parámetros dependientes del motor seleccionado como las revoluciones máximas que puede alcanzar el motor, la potencia máxima, la relación de transmisión o el par máximo.

Una vez proporcionados todos los parámetros necesarios, el programa utiliza las ecuaciones de la dinámica longitudinal vistas anteriormente, así como ecuaciones cinemáticas para calcular las curvas de potencia, par y velocidad del vehículo en función de la configuración del motor seleccionando. Estas curvas son generadas mediante iteraciones cada 0.01 segundos durante un recorrido de 1000 metros.

El código de MATLAB (Anexo 1) ofrece varios resultados importantes para la evaluación de la configuración del motor. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Velocidad punta: Es la máxima velocidad que puede alcanzar el vehículo con la configuración de motores seleccionada. Este resultado es importante para determinar si el motor es capaz de proporcionar la velocidad deseada.

- Aceleración de 0 a 100km/h: Este dato permite evaluar el rendimiento del motor en términos de aceleración. Es útil conocer este dato puesto que, para la mayoría de los compradores de coches, el tiempo que tarda un vehículo en alcanzar los 100km/h es un indicador de calidad.
- Curva de potencia: Esta curva representa la potencia generada por un motor en función de su velocidad de rotación. Es crucial conocer la curva de potencia de un motor para tener un mayor entendimiento del rendimiento de motor y poder seleccionar el adecuado.
- Curva de par: La curva del par es una representación gráfica de la relación entre el par que da el motor y la velocidad de giro de este. Ver la curva de par y potencia conjuntamente es útil para analizar cómo trabaja el motor de un vehículo.

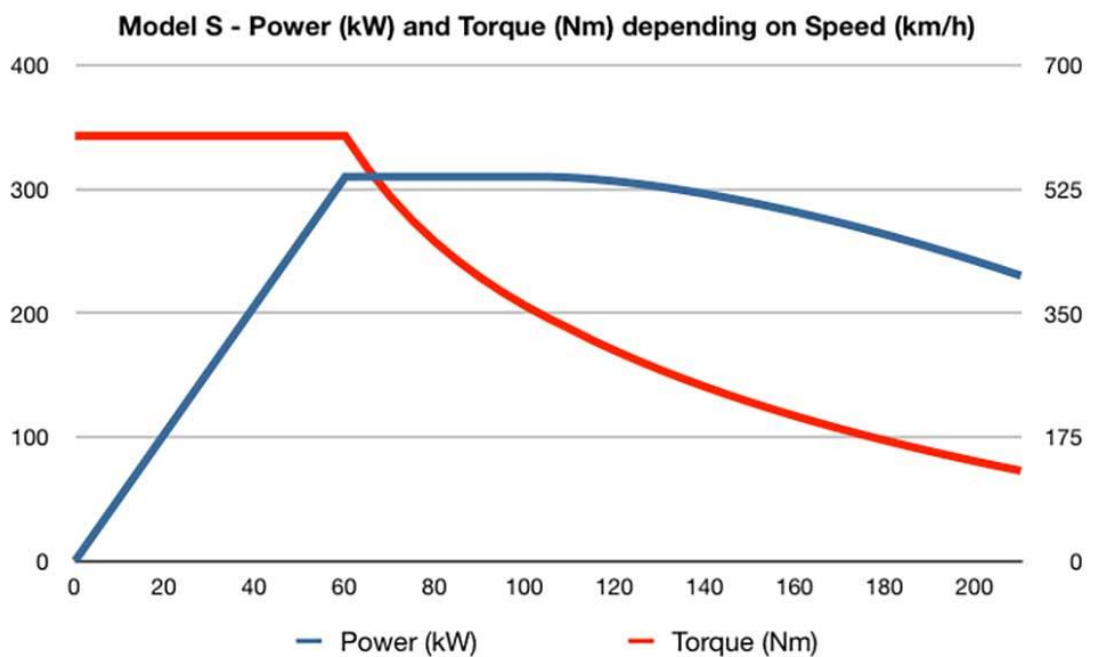


Figura 8: Curva de potencia y par en función de la velocidad para Tesla Model S

(«Par de un motor eléctrico.», s. f.)

## 6.2 CÁLCULO DE LA AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO

Para calcular la autonomía de los coches eléctricos existen diversos ciclos de conducción estandarizados los cuales representan un recorrido cotidiano que se haría con un coche. El ciclo de conducción incluye etapas de aceleración, deceleración, conducción urbana, conducción por autopista, etc. Existen varios ciclos de conducción: NEDC (New European Driving Cycle), WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) o EPA (Environmental Protection Agency). Cada ciclo tiene sus peculiaridades, pero el más preciso y por lo tanto el más establecido mundialmente es el ciclo WLTP. La principal ventaja del ciclo WLTP sobre el resto es que tiene en cuenta el uso de sistemas auxiliares como la radio o la calefacción que también consumen energía de las baterías.

Se ha desarrollado otro programa de MATLAB (Anexo 2) para calcular la autonomía del vehículo con el nuevo kit de propulsión eléctrico. En primer lugar, se debe definir los parámetros iniciales en el programa:

- Capacidad de la batería: La capacidad de la batería expresa la cantidad de energía que se puede almacenar en kWh y está determinado por el diseñador del vehículo. Este dato está restringido por el tamaño de las baterías y el tipo de celdas. A primera vista se puede pensar que cuanto más grande sea la batería mayores prestaciones tendrá el coche. Pero esto no es cierto del todo pues existe un compromiso con el peso total del vehículo.
- Eficiencia del motor: Este dato indica que porcentaje de la energía eléctrica recibida por los motores es convertida a energía cinética. Este valor está comprendido entre 0 y 1 y es proporcionado por el fabricante del motor.
- Consumo de energía: El consumo indica la cantidad de energía necesaria para mover el coche eléctrico durante una distancia determinada. Se expresa en unidades de energía por unidad de distancia (kWh/km) y es obtenido experimentalmente.

- Distancia recorrida: De manera opcional se puede introducir una distancia concreta para la que se quiere saber cuánta energía sería necesaria para recorrer la distancia dada con el vehículo.

Una vez obtenidos todos los datos el programa procede a calcular la energía requerida para recorrer una distancia dada y la autonomía del vehículo. Para calcular la energía requerida para recorrer una distancia dada, se hace el producto del consumo de energía por la distancia recorrida. Para calcular la autonomía se divide la capacidad de la batería por el consumo de energía y se multiplica por el rendimiento para obtener la autonomía real.

```
Command Window
>> Autonomiatfg
Ingrese la distancia a recorrer (en km): 320
Se requieren 89.60 KWh de eneriga para recorrer la distancia requerida
Se estima que la autonomía del coche eléctrico es de 431.8 km
fx >> |
```

Puesto que el consumo de energía se obtiene de manera experimental, se optó por hacer un ensayo físico con un coche de características semejantes. Para dicho ensayo se escogió el Mercedes-Benz EQB 350 4MATIC del año 2022 el cual tiene las siguientes características:

Tabla de características Mercedes EQB 350 4MATIC:

Capacidad de las baterías	66.5kWh
Peso	2375kg
Coefficiente aerodinámico, Cx	0,29
Superficie frontal	2.53



El ensayo consistió en imitar un ciclo WLTP por Madrid con el Mercedes. El ciclo WLTP consiste en un recorrido de 23,25km a una velocidad media de 46,6 km/h y una máxima de 131 km/h. El recorrido realizado es el que se puede ver en el siguiente mapa.

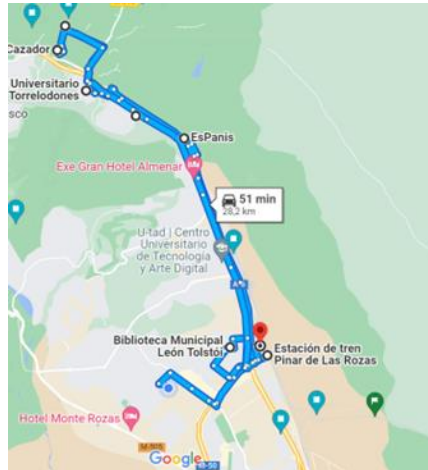


Figura 9: Mapa ciclo WLTP

Las condiciones de uso al realizar el ensayo fueron similares a las del ciclo WLTP y fueron las siguientes:

1. Condiciones climáticas: 27 grados
2. Tipo de conducción: Aceleraciones fuertes, frenadas moderadas, velocidad máxima 135km/h.
3. Carga del vehículo: Peso del conductor: 85 kilogramos.
4. Terreno y perfil de la ruta: Asfalto con conducción urbana e interurbana
5. Uso de sistemas auxiliares: Aire acondicionado intermitente y radio en todo el ciclo.

Teniendo en cuenta que durante los primeros 24 kilómetros la batería se redujo de un 100% a un 92% y que la capacidad total de la batería es de 66,5kWh, es posible calcular que durante esa distancia se consumió 20kWh

$$\text{Consumo total} = 66,5kWh \times \frac{\% \text{ de batería inicial} - \% \text{ de batería final}}{100}$$

Una vez obtenido el consumo total del vehículo (5,32kW) en el recorrido de 24 kilómetros, se calcula el consumo por unidad de distancia dividiendo el consumo total entre los kilómetros recorridos.

$$\text{Consumo medio} = \frac{\text{Consumo total}}{\text{Distancia recorrida}}$$

Mediante estos cálculos obtenemos un consumo aproximado de 22kWh por cada 100 kilómetros. Es decir, 0,222kWh por cada kilómetro recorrido.

### **6.3 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR**

Puesto que el inversor se encarga de conectar el motor y la batería es importante tener en cuenta aspectos de ambos para seleccionar el inversor correcto. Los valores que caracterizan un inversor son su tensión y su intensidad nominales. Una vez se conocen la tensión e intensidad nominal del motor y paquete de baterías, se dimensiona el inversor seleccionando los valores más restrictivos.

Los datos de la tensión e intensidad del motor se especifican en la ficha técnica. Además, se debe tener en cuenta que el motor funciona en un rango específico de tensiones y que para dar la potencia máxima del motor es necesario que tanto el inversor como las baterías aguanten el pico de tensión del motor. Por otra parte, puesto que las baterías se conectan en serie la tensión del paquete de baterías es la suma de la tensión de cada celda conectada. Por lo tanto, el inversor debería tener una tensión nominal mayor a la tensión máxima del motor siempre y cuando la tensión de la batería también lo sea. En cuanto a la intensidad nominal del inversor, este debe tener una capacidad de corriente nominal mayor que la del motor eléctrico para proporcionar cierto margen de seguridad y capacidad adicional en situaciones de alta demanda o arranque.

Ejemplo:



Figura 10: Dimensionamiento de Inversor.

Realizado por autor

Teniendo en cuenta lo que se ha mencionado anteriormente, la intensidad nominal de inversor tendrá que estar por encima de la nominal del motor, por lo que  $I_{max}^{inversor} = 250A$ . La tensión del inversor también tendrá que ser mayor a la máxima del motor y la nominal de las baterías. De no ser así el motor no funcionaría correctamente y el inversor podría sufrir daños debido a que estaría funcionando fuera de sus límites de diseño. Por ello en este caso una tensión nominal adecuada para el inversor sería de 460V.

## 6.4 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CARGA

La velocidad de carga de un paquete de baterías depende de la capacidad de la batería, la corriente de carga, el tipo de batería y la eficiencia del sistema. Es importante destacar que la velocidad de carga no es lineal con el porcentaje de carga. Es decir, al principio de la carga (la batería está totalmente descargada), la velocidad es mayor que al final de la carga. Esto es debido a diversos factores. Al principio la diferencia de potencial entre la batería y la red es mayor por lo que se puede cargar a una corriente más alta sin asumir ningún riesgo innecesario. Además, durante la carga la batería aumenta su temperatura a la vez que aumenta su resistencia interna. Esto puede ocasionar daños en las baterías y disminuir su vida útil. Para evitarlo, los sistemas de carga disminuyen la corriente de carga a medida que aumenta la temperatura. Por último, puesto que los paquetes de baterías están compuestos

por numerosas celdas, es vital que todas ellas se carguen por igual. Por lo tanto, cuando la batería está cerca del 100% de carga, es de gran utilidad ralentizar la velocidad de carga para permitir el equilibrio de carga.

Por esta razón, a continuación, se presenta la ecuación para calcular la velocidad de carga media:

$$\text{Velocidad de carga} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Corriente de carga}}$$

La velocidad de carga se expresa en horas, la corriente de carga se mide en amperios y la capacidad de la batería se mide en amperio-hora.

Para calcular la capacidad de la batería en amperios-hora, se divide la energía de la batería (Wh) entre la tensión de la batería:

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\text{Energía de la batería}}{\text{Tensión}}$$

Por lo que, si tenemos una batería de 100kWh y de tensión nominal 460V, la capacidad de la batería será de 217,39 amperios-hora. Si asumimos una corriente de carga media de 100 amperios, la velocidad de carga sería de aproximadamente dos horas.

## **Capítulo 7. RESULTADOS Y DISEÑO DEL PRODUCTO**

### **FINAL**

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos del diseño del kit de electrificación para un Land Rover Defender de combustión. El objetivo de este kit es transformar estos vehículos en vehículos eléctricos. Los resultados incluyen las curvas de par y potencia del motor eléctrico obtenidas mediante el programa de MATLAB realizado para este proyecto, la autonomía del vehículo también calculada con un programa de MATLAB, la capacidad de las baterías, el coste total del kit de electrificación y los componentes finales que se incluirán en el kit.

#### ***7.1 CURVAS DE PAR Y POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO***

Mediante el análisis y diseño del sistema de propulsión eléctrica, se obtuvieron las curvas de par y potencia del motor eléctrico utilizado en el kit de electrificación. Estas curvas representan la capacidad del motor para entregar par y potencia en función de la velocidad del vehículo.

### 7.1.1 CURVA DE VELOCIDAD CON EL TIEMPO:

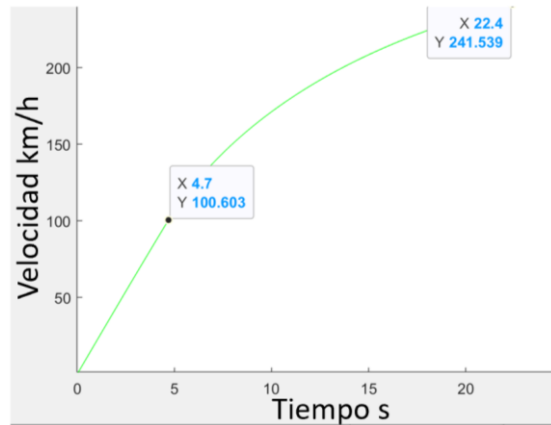


Figura 11: Curva de Velocidad en Función del Tiempo. Realizado por autor

En esta grafica se muestra la velocidad en función del tiempo, se observa un aumento gradual de la velocidad a medida que avanza el tiempo. Puesto que la aceleración es la derivada de la velocidad, se puede apreciar cómo la velocidad se incrementa más rápidamente en las primeras etapas, lo que indica una mayor capacidad de aceleración a bajas revoluciones del motor del vehículo equipado con el kit de electrificación.

### 7.1.2 CURVAS DE PAR (VERDE) Y POTENCIA (ROJO):

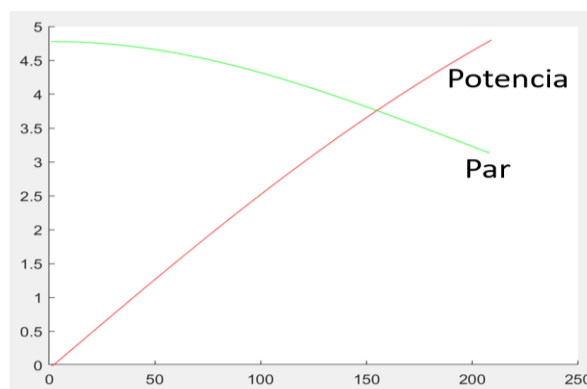


Figura 12: Curvas del par (verde) y potencia (rojo) en función del tiempo del KIT de electrificación.

Realizado por autor

A la vista de los resultados obtenidos con el programa de MATLAB, utilizando unos motores con una potencia conjunta de 480kW, un par máximo de 1300Nm y asumiendo un peso total del vehículo de 2300kg, obtenemos una velocidad punta de alrededor de 240km/h y una aceleración de 0 a 100km/h de 4,7 segundos. Estos valores, superan ampliamente los valores de serie del vehículo con motor de combustión.

## ***7.2 AUTONOMÍA DEL VEHÍCULO Y CAPACIDAD DE LA BATERÍA***

La autonomía del vehículo es un factor crucial para evaluar su capacidad de recorrido sin necesidad de recargar la batería. Utilizando modelos de simulación y considerando factores como la eficiencia energética, el peso del vehículo y el consumo de energía, se determinó la autonomía estimada para el coche 4x4 una vez convertido a eléctrico. Los resultados muestran una autonomía promedio de 413 kilómetros por carga completa. Haber logrado una autonomía de 413 es debido a la capacidad de la batería. Este es un aspecto muy importante para determinar la cantidad de energía almacenada. Después de varias iteraciones alternando la potencia del motor, el peso total del vehículo y la autonomía requerida, se seleccionó una batería con una capacidad de 120 kWh para el kit de electrificación. Para obtener dichos resultados, se ha aproximado el consumo medio a 0,27kWh por kilómetro. Este valor se ha obtenido basándose en el ensayo realizado con el Mercedes-Benz EQB 350 4MATIC. Teniendo en cuenta que el Mercedes pesa lo mismo que el Land Rover equipado con el kit y que su coeficiente de drag es menor al Land Rover, es lógico pensar que el Land Rover consumirá más que el Mercedes.

## ***7.3 COMPONENTES SELECCIONADOS DEL MERCADO***

### ***7.3.1 ARQUITECTURA DE PROPULSIÓN***

En cuanto a la arquitectura he decidido contar con dos motores entre todas las posibilidades existentes. Hay varias ventajas de llevar dos motores eléctricos en lugar de uno, tres o cuatro.

En primer lugar, el costo. Al montar solamente dos motores en lugar de tres o cuatro, evidentemente se reduce el costo de producción del vehículo ya que se requiere menos tiempo a la hora de montarlo además de necesitarse menos componentes para completar el reacondicionamiento del vehículo. Por otro lado, la eficiencia energética también mejora. Al tener menos motores, se reduce la cantidad de energía necesaria para mover el vehículo. A raíz de esto aumenta la eficiencia energética y la autonomía con lo que posteriormente necesitaremos unas baterías de menor tamaño. En tercer lugar, el coche pesará menos. Al utilizar menos motores, se reduce el peso total del vehículo, lo que puede desenlazar en un mejor rendimiento y por tanto eficiencia energética. Por último, la arquitectura de propulsión de dos motores ofrece menor complejidad, lo que se traduce en una reducción de costes a largo plazo por varias razones. Al tener menos motores, se reduce la complejidad del montaje y sobre todo del sistema eléctrico; lo que puede hacer que sea más fácil de mantener y reparar.

### **7.3.2 MOTORES ELÉCTRICOS E INVERSOR**

El kit de electrificación incluirá dos motores de imanes permanentes, uno colocado en cada eje del vehículo. La elección de utilizar motores de imanes permanentes se debe a sus ventajas en términos de eficiencia y rendimiento. Estos motores son conocidos por su alta densidad de potencia, lo que significa que pueden generar una gran cantidad de potencia en relación con su tamaño y peso.

El motor ubicado en el eje trasero tendrá una potencia de 300 kW, mientras que el motor delantero tendrá una potencia de 180 kW. Esto es debido a que el motor trasero estará siempre conectado mientras que el delantero tendrá la posibilidad de desconectarse cuando no se requiera una potencia excesiva y conectarse cuando se necesite las máximas prestaciones del vehículo. Puesto que el motor delantero es de imanes permanentes se deberá acoplar un embrague el cual acople y desacople el motor. De no incorporar un embrague, el motor actuaría como un par resistente mientras no esté en uso. Esto perjudicaría notoriamente la eficiencia del vehículo. En definitiva, el embrague ofrece flexibilidad en la



distribución de potencia entre los ejes y permite adaptarse a diferentes condiciones de conducción.

Por otra parte, para abaratar costes del kit y reducir espacio, se ha optado por utilizar conjuntos de motor con inversor incluido como los fabricados por Cascadia Motion.



Figura 13: Módulos de Cascadia Motion.

*(Electric Vehicle Drive Modules / Cascadia Motion, s. f.)*

Al adquirir los módulos de motor e inversor como una unidad integrada, se asegura con certeza la compatibilidad entre los dos equipos puesto que ambos han sido diseñados y testados para trabajar conjuntamente. Además, se simplifica el proceso de instalación del equipo en el vehículo en comparación con la instalación de ambos por separado. Esto se traduce en un ahorro de tiempo y coste en cuanto a mano de obra se refiere.

Por otra parte, el fabricante Cascadia Motion es conocido por utilizar componentes de gran calidad. Gracias a esto el modelo iM-200 alcanza un rendimiento combinado entre el motor y el inversor del 95%. Por otra parte, el punto óptimo de trabajo está por debajo de los 45 grados lo cual es beneficioso para vehículos que vayan a circular por España ya que en la mayoría del territorio no se alcanzan dichas temperaturas.

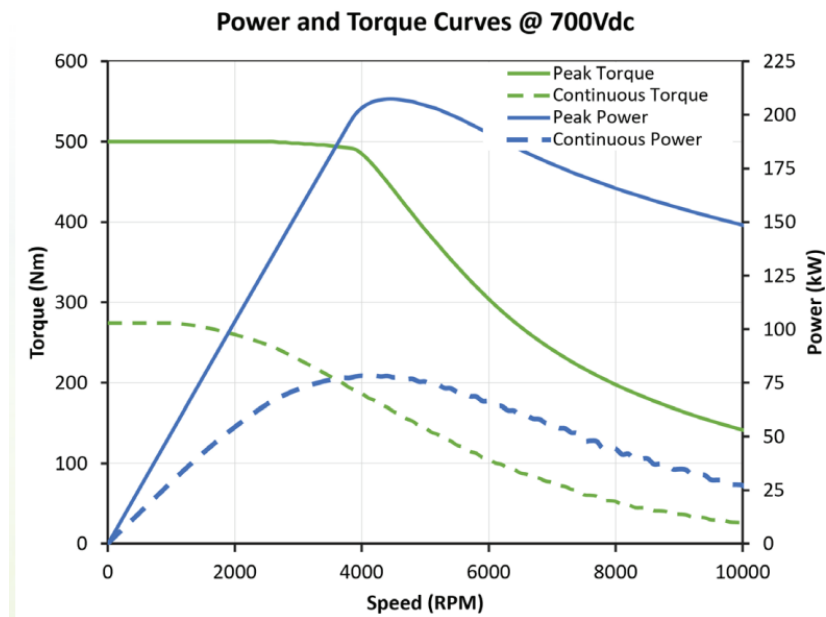


Figura 14: Grafica ficha técnica iM-200 (*im225W.pdf*, s. f.)

Por último, como se puede ver en el gráfico, el motor iM-200 es capaz de mantener el par máximo hasta las 4000rpm donde da una potencia máxima de 200kW, más que suficiente para alimentar el tren delantero según los cálculos realizados.

En cuanto al montaje de estos módulos, ambos pueden ser montado en vertical o horizontal lo cual beneficia y facilita una vez más el montaje y reduce el coste de mano de obra.

En el eje delantero se montaría el módulo iM-200 el cual consta de un motor de 200kW y un inversor de 480V y 300A el cual ofrece una potencia de salida de 225kW. En el eje trasero, se montaría el módulo iM-300 con el cual se alcanzaría una potencia de 500kW, más que la previamente establecida como necesaria. El precio de ambos equipos a lo sumo es de 17 mil dólares.

### 7.3.3 BATERÍAS

Se ha optado por utilizar baterías de ion litio, en concreto las nuevas celdas 4680 de tesla debido a varias razones: Las baterías de ion litio se basan en una tecnología muy madura lo que conlleva una amplia disponibilidad. Esto quiere decir que hay una gran infraestructura de producción además de conocimiento y experiencia en su fabricación. En segundo lugar, las baterías de ion litio tiene una vida útil muy larga y soportan más de 1000 ciclos de carga y descarga. Las celdas 4680 de Tesla en concreto, tienen una mayor durabilidad debido a que se ha reducido su resistencia interna. Esto da lugar a un calentamiento inferior de las baterías y por lo tanto una mayor durabilidad y velocidad en los ciclos de carga y descarga.



Figura 15: Tipo de Celdas de Tesla

*(Las celdas 4680 de Tesla reducirán el precio de los coches eléctricos, 2022)*

Cada celda pesa 0,355kg y están dotadas de una energía nominal de 86,5Wh. Esto resulta en una densidad energética de 244Wh/kg. Para obtener un paquete de baterías de 120kWh, harían falta 1388 celdas. Esto se traduce en un peso total de las baterías de 490kg y 7200 dólares ya que, según Gonzalo García, ingeniero por la UPM (Universidad Politécnica de Madrid) y técnico especialista en vehículos eléctrico por la SEAS, el precio del kWh con las celdas 4680 es de 60 dólares.

### **7.3.4 SISTEMA DE CARGA**

Las dos características fundamentales de un sistema de carga son que se capaz de cargar el coche rápido y que hay una gran red de electrolineras compatibles con el cargador seleccionado. Teniendo en cuenta esto, se ha optado por incluir un cargador CCS (Combined Charging System) en el kit de electrificación. El cargador CCS permite cargar a mayor potencia, lo que se traduce en mayor velocidad de carga. Además, este tipo de cargador integra en un mismo conector la carga rápida y eficiente en corriente continua y la carga lenta en corriente alterna, brindando a los conductores flexibilidad a la hora de recargar sus vehículos. Por último, este cargador esta estandarizado en diversas regiones de Europa lo que facilita la recarga en diferentes lugares. Tras investigar el mercado de cargadores exhaustivamente, se ha decidió que el modelo Pulsa Plus de Wallbox sería ideal para los usuarios. El precio de este cargador es de 645 euros.

La principal ventaja además de ser compatible con los cargadores CCS es que el cargador Pulsa Plus de Wallbox está equipado con funciones de conectividad avanzadas que permiten conectar el cargador con el teléfono a través de una aplicación móvil. De esta forma, es posible controlar y monitorear la carga del vehículo de forma remota a través de la aplicación móvil. Con ello se pueden programar sesiones de carga cuando el kWh este más barato, supervisar el consumo de energía, y recibir notificaciones y alertas cuando el vehículo este cargado.

Por lo tanto, como resultado final, el esquema general de la electrificación del vehículo quedaría de la siguiente manera:

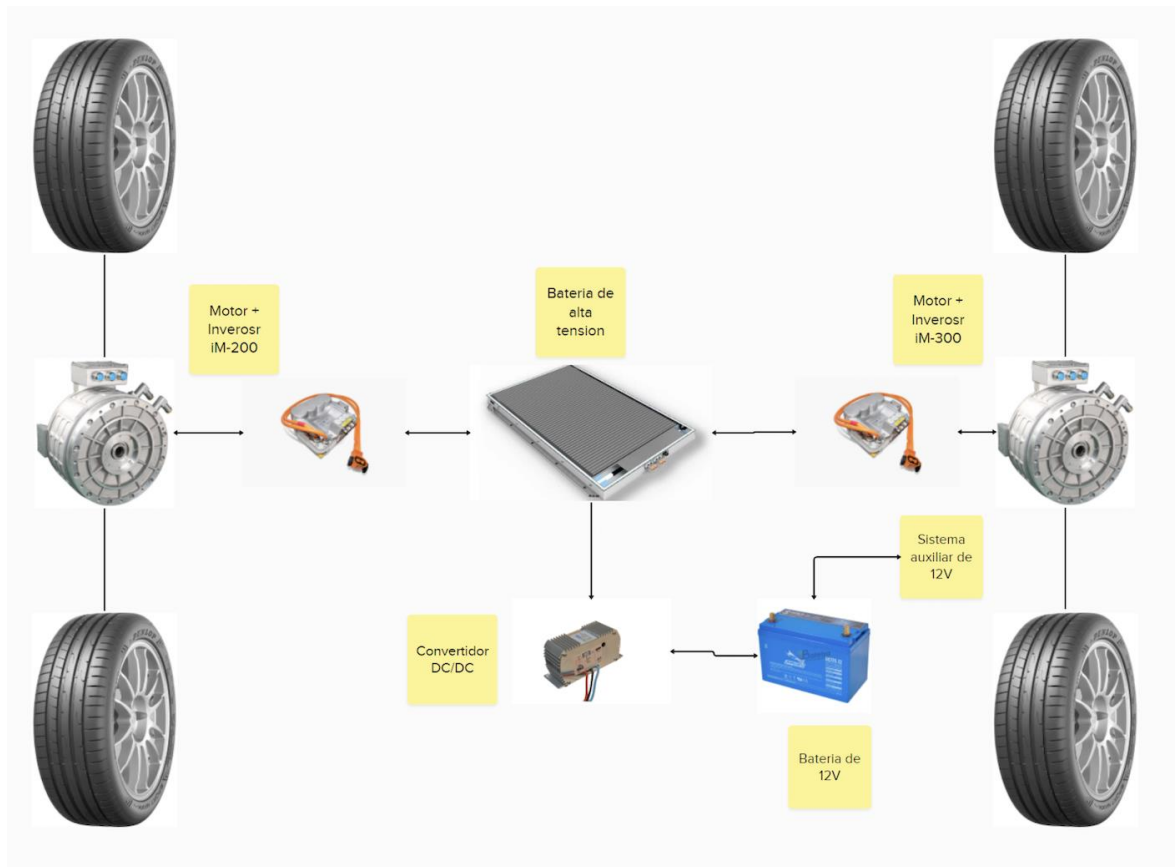


Figura 16: Esquema general

Realizado por autor

## 7.4 COSTE TOTAL DEL KIT DE ELECTRIFICACIÓN

El coste total del kit de electrificación se ha calculado teniendo en cuenta simplemente los componentes principales. Por ello este valor es muy aproximado puesto que habría que incluir costes relacionados con los materiales, transporte, mano de obra etc. El análisis de costes expuso un total de 24845 euros para el kit de electrificación. Es importante tener en cuenta que este coste puede variar dependiendo de los proveedores y las fluctuaciones del mercado. Por estas razones, en el siguiente capítulo se tratará de hacer una aproximación más cercana a la realidad, teniendo en cuenta diversos factores.

Estos resultados son una muestra preliminar del diseño y se fundamentan en modelos y simulaciones, por lo que es fundamental llevar a cabo pruebas prácticas y validaciones adicionales para aprobar y mejorar los resultados obtenidos. Los datos proporcionados son una guía inicial para valorar la viabilidad técnica y el rendimiento del kit de electrificación.

## Capítulo 8. VIABILIDAD DEL PROYECTO

El objetivo principal de Electro4x4 es ofrecer soluciones de Retrofit para vehículos, especializándose en el diseño, fabricación y montaje de kits de electrificación para automóviles 4x4 de combustión antiguos. Estos kits permiten convertir vehículos que utilizan combustibles tradicionales en vehículos eléctricos, proporcionando una alternativa viable y eficiente para reducir las emisiones y mejorar la eficiencia energética.

### **8.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA:**

- Nombre de la Empresa: Electro4x4 Retrofit de Vehículos.
- Ubicación: Madrid, España.
- Misión: Brindar soluciones de Retrofit para vehículos que promuevan la movilidad sostenible y la reducción de emisiones en la flota vehicular española.
- Visión: Ser líder en el mercado de Retrofit de vehículos en España, ofreciendo productos de alta calidad, innovación tecnológica y excelente servicio al cliente.

### **8.2 ANÁLISIS DEL MERCADO:**

Identificación del mercado objetivo: Propietarios de automóviles 4x4 de combustión antiguos, personas concienciadas con el medioambiente, propietarios de vehículos 4x4 que no tiene el distintivo medioambiental para entrar en el centro de las ciudades, así como talleres interesados en ofrecer el servicio de montaje. Se espera un crecimiento continuo de los vehículos eléctricos en los próximos años. Durante los primeros 4 meses de 2023, se vendieron más de 2.3 millones de vehículos eléctricos, aproximadamente un 25% más que en el mismo período del año anterior.

La implementación de políticas ambiciosas fomenta el desarrollo del transporte de emisiones cero.

- California: líder en políticas de emisiones cero, en 2022 y 2023 avanzó con nuevos vehículos de emisiones cero (ZEV), no solo para automóviles, sino también para camiones, estableciendo una participación mínima de ventas de ZEV para el transporte de pasajeros livianos, con expectativas de aumentar del 35% en 2026 para alcanzar el objetivo del 100% en 2035.
- Unión Europea: los requisitos básicos de emisiones de CO<sub>2</sub> para automóviles y furgonetas, ratificados en marzo de 2023, requieren una reducción del 55% y el 50% en las emisiones de nuevos automóviles y furgonetas, con el objetivo del 100% para ambos en 2035.

*(Electric Vehicles, s. f.)*

### **8.3 ANÁLISIS DE LA DEMANDA:**

La demanda de vehículos eléctricos ha aumentado en los últimos años. La cantidad de vehículos eléctricos ha pasado de 22,000 a más de 2 millones durante la década 2011-2021. Factores como la preocupación por el medio ambiente, una mayor variedad de opciones de vehículos, mejoras en las capacidades de las baterías y ahorro de costos han contribuido a este crecimiento.



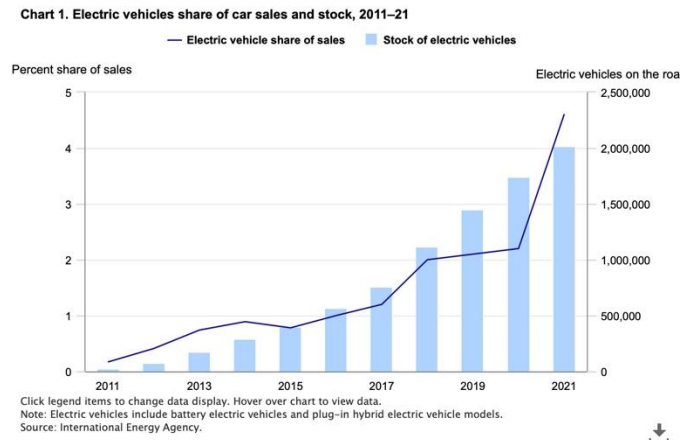


Figura 17: Ventas de coches eléctricos por año

(Ice, s. f.)

Existe un creciente interés en la movilidad sostenible y la reducción de emisiones, lo que ha generado una creciente demanda de soluciones de electrificación de vehículos. Por otra parte, el Land Rover Defender cuenta con una gran cantidad de entusiastas los cuales podrías estar interesados en electrificar su vehículo para poder acceder con él a las ciudades principales. Además, en un futuro se podrían desarrollar kits universales para cualquier propietario de un vehículo de combustión que quiera transformarlo a eléctrico. Esta motivación por convertir el vehículo de uno a eléctrico es cada vez más común debido a las recientes restricciones mencionadas anteriormente.

#### 8.4 COMPETENCIA:

En cuanto a España, existen dos empresas que se dedican al Retrofit de vehículos: Elektron y Ecoches. Elektron por su parte se dedica a convertir coches pequeños a eléctricos con componentes de segunda mano a precios muy asequibles. Por otro lado, Ecoches agrupa varios propietarios de un mismo modelo de coche interesados en electrificarlos para desarrollar un mismo tren de potencia.

Fuera de España existen otras empresas que se dedican al Retorfit de coches clásicos y que están más establecidas como Lunaz. Lunaz es una empresa británica que se dedica a la conversión de vehículos clásicos en vehículos eléctricos de alta gama. Su enfoque principal es la restauración y electrificación de automóviles clásicos icónicos, como Rolls-Royce, Bentley, Jaguar y Range Rover, entre otros. Lunaz utiliza tecnología avanzada para transformar estos vehículos clásicos en versiones totalmente eléctricas, manteniendo su estética y encanto originales. Su objetivo es combinar el estilo y la elegancia de los automóviles clásicos con la tecnología y la sostenibilidad de la propulsión eléctrica.

### **8.5 OFERTA DE PRODUCTOS Y SERVICIOS:**

Diseño y fabricación de kits de electrificación: Diseño de kits completos para la electrificación de vehículos 4x4 antiguos, que incluyen motor eléctrico, baterías, monitores y sistemas de carga.

Servicio de instalación cualificado de los kits de electrificación en los vehículos, tanto directamente al cliente como en talleres acordados.

Soporte profesional, mantenimiento y garantía de los kits de electrificación, así como asistencia técnica.

### **8.6 ESTRUCTURA ORGANIZATIVA:**

Gerente General: Responsable de establecer y ejecutar la visión estratégica y operativa general de la empresa.

Equipo Técnico: Ingenieros y profesionales capacitados en electrificación de vehículos, encargados del diseño, fabricación e instalación de los kits.

Equipo de Ventas y Servicio al Cliente: Promoción de los kits de vehículos, ventas y servicio postventa para satisfacer las necesidades del cliente.

Personal Administrativo y Logístico: Apoyo en tareas administrativas, gestión de proveedores y logística.

## **8.7 PLAN FINANCIERO:**

Costos Iniciales:

Costo del Kit de Electrificación: 24,800 euros.

Costos de Instalación y Mano de Obra: Estimado en 5,000 euros.

Costos de Marketing y Promoción: Estimado en 2,000 euros.

Costos de Infraestructura y Equipamiento: Estimado en 50,000 euros.

Otros Gastos Iniciales: Estimado en 3,000 euros.

Total de Costos Iniciales: **84,800** euros.

Ingresos:

Precio de Venta del Retrofit: Estimado en 35,000 euros.

Número de Retrofits Proyectados al Año: Estimado en 20.

Total de Ingresos Anuales: **700,000** euros.

Costos Operativos Anuales:

Costos de Materiales y Componentes: Estimado en 40,000 euros.

Costos de Mano de Obra y Servicios: Estimado en 40,000 euros.

Costos de Marketing y Publicidad: Estimado en 5,000 euros.

Costos de Mantenimiento y Reparaciones: Estimado en 5,000 euros.

Otros Gastos Operativos: Estimado en 3,000 euros.

Total de Costos Operativos Anuales: **93,000** euros.

Utilidad Neta Anual:

Utilidad Neta = Ingresos Anuales - Costos Operativos Anuales

Utilidad Neta = 700,000 euros - 93,000 euros

Utilidad Neta = 607,000 euros

Periodo de Retorno de la Inversión (PRI):

$PRI = \text{Costos Iniciales} / \text{Utilidad Neta Anual}$

$PRI = 84,800 \text{ euros} / 607,000 \text{ euros}$

$PRI \approx 0.14 \text{ años (alrededor de 50 días)}$

El periodo de retorno de la inversión (PRI) estimado es de aproximadamente 50 días, lo que indica que la inversión inicial se recuperaría rápidamente en forma de utilidades.

La empresa de Retrofit de vehículos de combustión a eléctricos tiene una rentabilidad sólida, con una utilidad neta anual estimada de 657,000 euros. Además, el periodo de retorno de la inversión es muy corto, lo que indica que el negocio puede generar beneficios rápidamente. Sin embargo, es importante considerar otros factores, como la demanda del mercado, la competencia y la evolución de la industria de los vehículos eléctricos.

## Capítulo 9. FUTURAS INVESTIGACIONES

### 9.1 NUEVAS TECNOLOGÍAS DE BATERÍAS

Las baterías de ion-litio han sido la tecnología predominante en los vehículos eléctricos debido a su alta densidad de energía y rendimiento comprobado. No obstante, enfrentan desafíos como capacidad limitada, tiempo de carga prolongado y dependencia de materiales costosos y potencialmente escasos. Por lo tanto, la industria y los investigadores están dedicando grandes esfuerzos para desarrollar tecnologías de baterías alternativas que superen estas limitaciones y generen nuevas oportunidades para los vehículos eléctricos.

Baterías de Estado Sólido:

Las baterías de estado sólido están emergiendo como una de las tecnologías más prometedoras para los vehículos eléctricos. Estas baterías utilizan electrolitos sólidos en lugar de los líquidos presentes en las baterías de ion-litio convencionales. Ofrecen ventajas significativas, como mayor densidad de energía, tiempos de carga más rápidos, mayor seguridad y vida útil. Varios fabricantes y empresas de tecnología están invirtiendo en el desarrollo de baterías de estado sólido, y se espera que comiencen a comercializarse en los próximos años.

Baterías de Flujo:

Las baterías de flujo utilizan electrolitos líquidos almacenados fuera de la celda de la batería. Estas baterías ofrecen ventajas en términos de capacidad de almacenamiento escalable y mayor durabilidad. Además, las baterías de flujo tienen la capacidad de recargarse rápidamente al reemplazar los electrolitos líquidos, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de carga rápida. Si bien actualmente se utilizan principalmente en aplicaciones

estacionarias, se están investigando y desarrollando para su implementación en vehículos eléctricos.

**Baterías de Litio-Azufre:**

Las baterías de litio-azufre son una tecnología emergente que promete una densidad de energía significativamente mayor en comparación con las baterías de ion-litio. Utilizan azufre como material activo en el cátodo, lo que les permite almacenar más energía. Además, los materiales utilizados en las baterías de litio-azufre son más abundantes y menos costosos que los materiales utilizados en las baterías de ion-litio. Aunque todavía se encuentran en etapas de desarrollo, se espera que las baterías de litio-azufre sean una opción viable en el futuro.

**Baterías de Aluminio-Aire:**

Las baterías de aluminio-aire están siendo investigadas como una posible alternativa a las baterías de ion-litio. Estas baterías utilizan aluminio y oxígeno del aire para generar electricidad. Tienen una alta densidad de energía y potencialmente podrían superar la capacidad de las baterías de ion-litio. Sin embargo, aún enfrentan desafíos técnicos en términos de vida útil y reciclabilidad.

## ***9.2 ARQUITECTURA DE 800V***

La arquitectura de propulsión de 800V es una alternativa a la arquitectura de 400V utilizada en muchos vehículos eléctricos actuales. Esta arquitectura implica el uso de un sistema de batería y electrónica de potencia que funciona a una tensión nominal de 800V, en comparación con los sistemas convencionales de 400V.

**Mayor Eficiencia:** La arquitectura de 800V permite una mayor eficiencia en la transmisión de energía desde la batería hasta el motor eléctrico. La reducción de las pérdidas de energía en el sistema de alta tensión debido a la reducción en la corriente que pasa por los cables se

traduce en una mayor eficiencia global del vehículo, lo que resulta en una mayor autonomía y una mejor eficiencia energética.

**Mayor Potencia:** La mayor tensión de operación en la arquitectura de 800V permite la entrega de una potencia más alta al motor eléctrico. Esto se traduce en un rendimiento mejorado del vehículo, con una aceleración más rápida y una capacidad de respuesta mejorada en situaciones de alta demanda de potencia, como adelantamientos en carretera.

**Carga Rápida:** Una de las ventajas clave de la arquitectura de 800V es la capacidad de carga rápida. Al utilizar una tensión más alta, el tiempo de carga de la batería se reduce significativamente en comparación con los sistemas de baja tensión. Esto permite una carga más rápida y conveniente, lo que mejora la experiencia del usuario y facilita los viajes de larga distancia. En el caso del Porsche Taycan, la batería es posible cargarla hasta el 80% en 20 minutos.

**Reducción de Peso y Volumen:** La arquitectura de 800V permite reducir el tamaño y el peso de los componentes del sistema eléctrico, como los cables de alta tensión y los componentes electrónicos de potencia. Esto contribuye a una mayor densidad de potencia y ahorro de espacio, lo que puede traducirse en vehículos más ligeros y compactos. En el caso del Porsche Taycan, la incorporación de esta tecnología supuso una reducción de 8 kilogramos.

**Menor incremento Térmico:** El sistema de alta tensión de 800V también facilita la gestión térmica del vehículo. Al operar a una tensión más alta, se requiere una corriente menor para suministrar la misma potencia, lo que reduce la generación de calor en los componentes del sistema. Esto simplifica el diseño y la implementación de sistemas de enfriamiento, mejorando la fiabilidad y durabilidad del vehículo.



## Capítulo 10. CONCLUSIONES

En primer lugar, se ha visto que es posible realizar un kit de electrificación para vehículos 4x4 con la tecnología existente. Como se ha podido comprobar, el kit no solo es posible, sino que también mejora las prestaciones del vehículo. Esto es gracias a la gran calidad de los componentes incluidos en el kit como los módulos de Cascadia Motion, las baterías de Tesla o el cargador de Wallbox. Según la simulación eso resulta en vehículo de 480kW, 1200Nm de par máximo, aceleración de 0 a 100 en 4,7 segundos y velocidad punta de 240 kilómetros por hora.

Por otra parte, el kit de electrificación deberá ser actualizado constantemente puesto que la tecnología en el sector del vehículo eléctrico avanza a alta velocidad. Como se ha visto en el capítulo 9, poco a poco van emergiendo nuevas tecnologías de baterías las cuales en un futuro podría remplazar las celdas de ion-litio. Sería un completo error para la empresa fabricante de este kit no actualizar sus componentes a medida que avanza la tecnología puesto que el kit quedaría obsoleto. Además, también se ha investigado acerca de los vehículos cuyos componentes trabajan a 800V. A pesar de lo incremento de precio que supondría fabricar un kit de electrificación con componentes de 800V, sería una buena idea tener ambos kits en oferta. Esto es debido a que un kit con componentes de 800V supondría una mayor ligereza, menor tiempo de carga, y más desarrollo de potencia.

Por último, tras realizar un análisis exhaustivo de rentabilidad, se puede concluir que el proyecto evaluado muestra un sólido potencial de viabilidad financiera. El análisis consideró indicadores financieros clave como el retorno de la inversión (ROI), el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para evaluar la rentabilidad del proyecto.

Los resultados indican un ROI positivo, lo que sugiere que el proyecto tiene el potencial de generar retornos sustanciales sobre la inversión inicial. Además, el VAN es significativamente positivo, lo que indica que los flujos de efectivo futuros del proyecto superan la inversión inicial y generan un valor neto positivo. La TIR también resultó favorable, superando la tasa mínima requerida de rendimiento. Esto significa que el proyecto ofrece una rentabilidad interna atractiva y supera el costo de oportunidad de invertir en otras alternativas.

En general, el análisis de rentabilidad respalda la viabilidad financiera del proyecto, lo que sugiere que es una inversión prometedora con la capacidad de generar beneficios financieros atractivos. Sin embargo, es importante seguir monitoreando y ajustando el proyecto en función de los cambios del entorno económico y del mercado para garantizar su éxito a largo plazo.

## Capítulo 11. APÉNDICE

Anexo 1:

```
transmision2.m x transmision.m x transmision3.m x simulaciontfg.m x +
1 clear all
2 clc
3 %CONSTANTES%
4 G=9.81; %Aceleración de la gravedad (m/s^2)
5 dens= 1.1773; %Densidad del aire a 25°C y 1 atm
6 Mcoche=2600; %Peso total del coche con piloto (Kg)
7
8 Parmax= 2000; %Par salida del motor maximo (Nm)
9 Potmax=600000; %potencia maxima del motor (W)
10 Nmmax= 16000; %Revoluciones máximas del motor (rpm)
11
12 rend=0.97; %Rendimiento mecánico del sistema%
13 Rneum=0.7/2; %Radio del neumático (m)
14 %Cfric= 0.04; %Coeficiente de rodadura neumático-asfalto
15 I=4; %relacion de transmision
16 Af=3; %Area frontal del coche en metros cuadrados
17 Cd=0.39; %Coeficiente de drag del coche
18 alpha=0; %angulo de inclinacion
19
20 %PARAMETROS%
21 v1(1)=1;
22 v(1)=v1(1)/3.6; %Velocidad lineal inicial del coche m/s%
23 dist(1)=0; %Distancia recorrida"
24 t=0; %tiempo%
25 A(1)=0; %Aceleración%
26 k=1;
27 %i=0;
28 %M=[];
29 m=1;
```

```

transmision2.m x transmision.m x transmision3.m x simulaciontfg.m x +
29 m=1;
30 while dist<=1000
31   Wruedas=v(k)/Rneum;
32   Wmotor=Wruedas*I; %velocidad de giro del motor en radianes por segundo
33   Nmotor=Wmotor*30/pi; %revoluciones por minuto del motor
34   if Nmotor<Nmmax
35     %Fmotor= (Pm*I)*rend/Rneum;
36     Cfric=0.01*(1+v(k)/160);
37     Froll=(Mcoche*G)*(Cfric*cos(alpha)+sin(alpha));
38     Fdrag=0.5*Af*Cd*dens*v(k)^2;
39     Fg=Mcoche*G*sin(alpha);
40     Fres=Froll+Fdrag+Fg;
41     if v(k)<=30
42       Par(k)=Parmax;
43       Pot(k)=Par(k)*Wmotor;
44       if Pot(k)>Potmax
45         Pot(k)=Potmax;
46       end
47     elseif v(k)>30 && v(k)<=35
48       Pot(k)=Potmax;
49       Par(k)=(Pot(k)/Wmotor);
50     else
51       Pot(k)=Fres*v(k);
52       Par(k)=(Pot(k)/Wmotor);
53     end
54
55     Fmot=(Par(k)*I)*rend/Rneum;
56     Pn(k)=Pot(k)/1000; %Potencia normalizada para graficarla junto a la aceleracion.
57     A(k)=(Fmot-Fres)/Mcoche;
58     dist(k+1)=dist(k)+v(k)*0.1+0.5*A(k)*0.1^2; %0.1 (time-step);
59     v(k+1)=v(k)+A(k)*0.1;
60     v1(k+1)=v(k+1)*3600/1000;
61     t(k+1)=t(k)+0.1;
62     k=k+1;
63
64   else
65     vf=Rneum*((Nmotor*pi)/(I*rend*30));
66     dist(k+1)=dist(k)+vf*0.1+0.5*A(k)*0.1^2;
67     t(k+1)=t(k)+0.1;
68     v(k+1)=vf;
69     v1(k+1)=v(k+1)*3600/1000;
70     k=k+1;
71   end
72   disp(A);
73 end
74 close all
75
76 figure
77 hold on
78 %plot(t,dist,'-r')
79 plot(t,v1,'g')

```

Anexo 2:

```
1 %Parámetros iniciales
2 CBat = 130; % Capacidad de la batería (kWh)
3 EfiMotor = 0.93; % Eficiencia del motor
4 ConsE = 0.28; % Consumo de energía (kWh/km)
5
6 % Solicitar al usuario la distancia a recorrer
7 distancia = input('Ingrese la distancia a recorrer (en km): ');
8
9 % Calcular la energía requerida para recorrer la distancia dada
10 energiaRequerida = ConsE * distancia;
11
12 % Calcular la autonomía
13 autonomia = (CBat / ConsE) * EfiMotor;
14
15 % Mostrar el resultado
16 fprintf('Se requieren %.2f Kwh de eneriga para recorrer la distancia requerida \n', energiaRequerida);
17 fprintf('Se estima que la autonomía del coche eléctrico es de %.1f km\n', autonomia);
18
```

Command Window

```
>> Autonomiatfg
Ingrese la distancia a recorrer (en km): 320
Se requieren 89.60 KWh de eneriga para recorrer la distancia requerida
Se estima que la autonomía del coche eléctrico es de 431.8 km
fx >> |
```

## Capítulo 12. BIBLIOGRAFÍA

20220602PHT32028\_original.jpg (1200×1341). (n.d.). Retrieved 17 July 2023, from [https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20220602PHT32028/20220602PHT32028\\_original.jpg](https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20220602PHT32028/20220602PHT32028_original.jpg)

*Así es por dentro una batería estructural de Tesla, sin módulos y con celdas 4680.* (2020, November 30). *Híbridos y Eléctricos*. [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/asi-es-bateria-estructural-tesla-modulos-celdas-4680\\_40406\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/asi-es-bateria-estructural-tesla-modulos-celdas-4680_40406_102.html)

*BOE.es—DOUE-L-2022-80590 Decisión (UE) 2022/591 del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de abril de 2022 relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2030.* (n.d.). Retrieved 17 July 2023, from <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2022-80590>

Collecting Cars (Director). (2021, October 25). *Lunaz Design—Where Old World Charm Meets New World Technology*. <https://www.youtube.com/watch?v=o6cPZ8jawSM>

*Driving Cycle (Simulink Block).* (2023, July 17). <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46777-driving-cycle-simulink-block>

*El vehículo eléctrico: Elementos principales y funcionamiento | SIMON.* (n.d.). El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento | SIMON. Retrieved 17 July 2023,

from <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>

*Emissiones de CO2 de los coches: Hechos y cifras (infografía) | Noticias | Parlamento Europeo.* (2019, March 22).

<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20190313STO31218/emisiones-de-co2-de-los-coches-hechos-y-cifras-infografia>

*Fases para elaborar un proyecto de ingeniería industrial.* (2021, June 9). OBS Business School. <https://www.obsbusiness.school/blog/fases-para-elaborar-un-proyecto-de-ingenieria-industrial>

*Fbelectronica.com—¿Este sitio web está a la venta! - Fbelectronica Recursos e información.* (n.d.). Retrieved 17 July 2023, from <http://www.fbelectronica.com/Formacion-1/Hibridos-Electricos%20.htm>

*FGCSIC – Fundación General CSIC.* (n.d.). Retrieved 17 July 2023, from <https://fgcsic.es/>

*iBooster: ¿qué es y en qué te beneficia si tienes un coche híbrido o eléctrico?* (n.d.). Motor.es. Retrieved 17 July 2023, from <https://www.motor.es/que-es/ibooster>

Ice, J. C. and L. (n.d.). *Charging into the future: The transition to electric vehicles : Beyond the Numbers: U.S. Bureau of Labor Statistics.* Retrieved 17 July 2023, from <https://www.bls.gov/opub/btn/volume-12/charging-into-the-future-the-transition-to-electric-vehicles.htm>

*IDM 375.* (n.d.). Retrieved 17 July 2023, from <https://cascdiamotion.com/productlist/25-integrated-modules/63-idm-375>

- JerryRigEverything (Director). (2021, August 11). *How Strong is my NEW Electric Hummer Motor? - EV Conversion!* <https://www.youtube.com/watch?v=hp1uI4D7NRQ>
- JerryRigEverything—YouTube. (n.d.). Retrieved 17 July 2023, from <https://www.youtube.com/c/JerryRigEverything>
- Las celdas 4680 de Tesla reducirán el precio de los coches eléctricos: Panasonic lo ratifica.* (2022, March 21). Híbridos y Eléctricos. [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/celdas-4680-tesla-reduciran-precio-coches-electricos-panasonic\\_55537\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/celdas-4680-tesla-reduciran-precio-coches-electricos-panasonic_55537_102.html)
- Lesics Española (Director). (2021, March 6). *Motor del Tesla Model 3—La Brillante Ingeniería detrás de él.* [https://www.youtube.com/watch?v=iIIN\\_FaN5kM](https://www.youtube.com/watch?v=iIIN_FaN5kM)
- Los motores, el inversor y la transmisión del Taycan lo convierten en un auténtico “Porsche”.* (2021, March 20). Híbridos y Eléctricos. [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/motores-inversor-transmision-taycan-autentico-porsche\\_43381\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/motores-inversor-transmision-taycan-autentico-porsche_43381_102.html)
- Monroy, C. C., Siachoque, C. A., Camilo, I., & Guerra, A. R. M. (n.d.). *Comparative Study of a Regenerative Braking System and Regeneration with Constant Kinetic Energy in Battery-based Electric Vehicles.* 25(3).
- Murias, D. (2019, November 25). *Porsche se complicó la vida equipando el Taycan con un sistema único de 800 V para que su carga rápida fuese posible.* Motorpasión. <https://www.motorpasion.com/porsche/porsche-se-complico-vida-equipando-taycan-sistema-unico-800-v-su-carga-rapida-fuese-posible>



¿Qué es LiFePO4? (n.d.).  DIY Baterías LiFePO4 . Retrieved 17 July 2023, from

<https://www.bateriaslifepo4.com/que-es-el-lifepo4/>

The Engineers Post (Director). (2022, March 10). *Types of Motors used in EV | Single, Dual, Three & Four Motor Configuration in EV.*

[https://www.youtube.com/watch?v=6H5vtu5\\_SF4](https://www.youtube.com/watch?v=6H5vtu5_SF4)

*Understanding Charge-Discharge Curves of Li-ion Cells* • EVreporter. (2022, January 20).

<https://evreporter.com/understanding-charge-discharge-curves-of-li-ion-cells/>

*Ver empresas automocion sc en Madrid.* (n.d.). Retrieved 17 July 2023, from

<https://www.expansion.com/empresas-de/concesionarios-de-automoviles-gasolineras-y-estaciones-de-servicio/automocion-sc/madrid/>

Vera, D. C. S., & Mancera, A. L. G. (n.d.). *DISEÑO DE UNA ARQUITECTURA DE TREN DE POTENICA PARA CONVERTIR UN VEHÍCULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO.*

*20220602PHT32028\_original.jpg (1200×1341).* (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de

[https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20220602PHT32028/20220602PHT32028\\_original.jpg](https://www.europarl.europa.eu/resources/library/images/20220602PHT32028/20220602PHT32028_original.jpg)

*BOE.es—DOUE-L-2022-80590 Decisión (UE) 2022/591 del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de abril de 2022 relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2030.* (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2022-80590>

*Electric Vehicle Drive Modules / Cascadia Motion.* (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de [https://cascadiamotion.com/integrated?gad=1&gclid=EAIAIQobChMI6-TIy9WVgAMVFIRoCR3rSQ3XEAAAYASAAEgKNZPD\\_BwE](https://cascadiamotion.com/integrated?gad=1&gclid=EAIAIQobChMI6-TIy9WVgAMVFIRoCR3rSQ3XEAAAYASAAEgKNZPD_BwE)

*Electric vehicles.* (s. f.). IEA. Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://www.iea.org/energy-system/transport/electric-vehicles>

*FGCSIC – Fundación General CSIC.* (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://fgcsic.es/>

Ice, J. C. and L. (s. f.). *Charging into the future: The transition to electric vehicles : Beyond the Numbers: U.S. Bureau of Labor Statistics.* Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://www.bls.gov/opub/btn/volume-12/charging-into-the-future-the-transition-to-electric-vehicles.htm>

*Im225W.pdf.* (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://cascadiamotion.com/images/catalog/DataSheets/im225W.pdf>

*Las celdas 4680 de Tesla reducirán el precio de los coches eléctricos: Panasonic lo ratifica.* (2022, marzo 21). *Híbridos y Eléctricos.* [https://www.hibridosyelectricos.com/coches/celdas-4680-tesla-reduciran-precio-coches-electricos-panasonic\\_55537\\_102.html](https://www.hibridosyelectricos.com/coches/celdas-4680-tesla-reduciran-precio-coches-electricos-panasonic_55537_102.html)

*Monroy et al. - Comparative Study of a Regenerative Braking System.pdf.* (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de <http://www.scielo.org.co/pdf/inge/v25n3/0121-750X-inge-25-03-305.pdf>

Par de un motor eléctrico. (s. f.). *MomentoGP.* Recuperado 17 de julio de 2023, de <https://www.momentogp.com/tesla-model-s-potencia-par-curva/>

*Understanding Charge-Discharge Curves of Li-ion Cells • EVreporter.* (2022, enero 20).

<https://evreporter.com/understanding-charge-discharge-curves-of-li-ion-cells/>

*Ver empresas automocion sc en Madrid.* (s. f.). Recuperado 17 de julio de 2023, de

<https://www.expansion.com/empresas-de/concesionarios-de-automoviles-gasolineras-y-estaciones-de-servicio/automocion-sc/madrid/>