



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo
de combustión interna

Autor: Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

Director: María Ana Sáenz Nuño

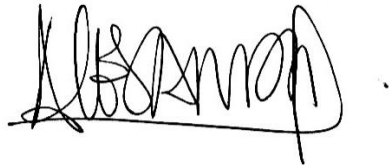
Madrid 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**DISEÑO DE LA CONVERSIÓN A ELÉCTRICO DE UN VEHÍCULO DE
COMBUSTIÓN INTERNA**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2019/2020 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.: Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

Fecha: 23/ 06/ 2020



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: María Ana Saczn Nuño

Fecha: 23/ 06/ 2020



En especial a mi abuela por apoyarme y dejarme trabajar en su MINI al que tanto cariño tiene.

A María Ana Sáenz Nuño, directora de este trabajo, que me ha guiado y ayudado durante todo este último año.

A todos los profesores de la Escuela, por su disponibilidad y ayuda con el proyecto.

A Javier Alonso, por su apoyo, ayuda y motivación siempre.

Gracias a todos



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo
de combustión interna

Autor: Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

Director: María Ana Sáenz Nuño

Madrid 2020

DISEÑO DE LA CONVERSIÓN A ELÉCTRICO DE UN VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA

Autor: Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

Director: María Ana Sáenz Nuño

Resumen del proyecto

Introducción

En este TFG se realiza el estudio y diseño de la conversión de un vehículo de combustión interna a uno completamente eléctrico. En concreto se basa en la conversión del MINI 1275 GT del año 1971. Este trabajo sirve de guía para poder poner en práctica lo que conlleva la transformación a eléctrico de un vehículo convencional, los elementos a tener en cuenta y los parámetros de diseño necesarios y específicos dependiendo del vehículo. El diseño se realizará en base a las especificaciones y limitaciones del vehículo en particular (MINI 1275 GT).

Estructura

La estructura del proyecto se divide en varias secciones. Por un lado, se hace una introducción de los automóviles relacionados con la movilidad eléctrica, desde sus comienzos hasta hoy en día. Por otro lado, se introducen los elementos involucrados en un vehículo eléctrico y se establecen las principales diferencias entre los motores de combustión interna y los motores eléctricos.

A continuación, se prosigue con el diseño de la conversión a partir de un estudio dinámico y de análisis. Se procede por tanto al estudio del acoplamiento, llevando a cabo el diseño de las diferentes partes y elementos necesarios. El proyecto continúa mencionando las diferentes alternativas posibles a la planteada en el proyecto.

Finalmente, el proyecto concluye con la explicación del proceso de homologación, así como de la mención de la normativa y los requisitos esenciales a cumplir.

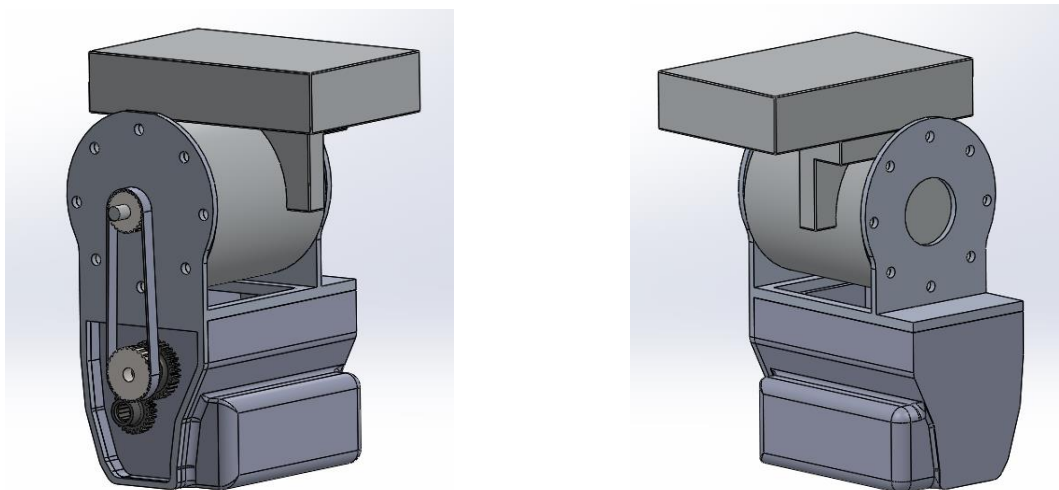
Resultado Final

Como resultado final del estudio y análisis llevado a cabo, los componentes seleccionados para la electrificación del vehículo son los siguientes:

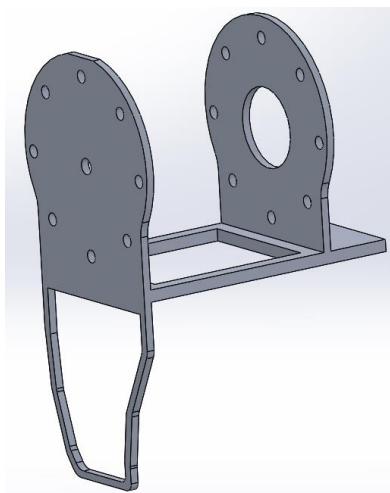
Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

| Componente | Componente seleccionado |
|-------------------|-------------------------------------------------------|
| Motor/inversor | Motor and inverter integrated Motive MV275 |
| Unidad de control | TM4 NEURO 200 |
| Convertidor | High Voltage DC/DC Converter Generation 3evo |
| Baterías | KOKAM EV Battery Type 4 - 20 kWh |
| Bomba de vacío | Depresor eléctrico |
| Pedal acelerador | Sensor potenciómetro |
| Cargador | 3.3kW 72V, 84V, 96V, 144V, 312V, 540V Battery Charger |

El acoplamiento se ha diseñado de tal manera que el nuevo motor será instalado encima de la caja de cambios acoplado a ésta mediante una transmisión correa-rueda dentada. A continuación, se adjunta una visualización de la adaptación.



La pieza diseñada para permitir el acoplamiento es la siguiente.



Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

DESIGN OF THE CONVERSION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE TO AN ELECTRIC VEHICLE

Author: Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

Director: María Ana Saenz Nuño

Project Summary

Introduction

In this project the study and design of the conversion of an internal combustion vehicle to a fully electric vehicle is carried out. Specifically, it is based on the conversion of the MINI 1275 GT of 1971. This work serves as a guide to put into practice what is involved in converting a conventional vehicle to electric, the elements to be considered and the necessary and specific design parameters depending on the vehicle. The design will be based on the specifications and limitations of the vehicle MINI 1275 GT.

Structure

The structure of the project is divided into several sections. On the one hand, there is an introduction of the cars related to electric mobility, from its beginnings until today. On the other hand, the elements involved in an electric vehicle are introduced and the main differences between internal combustion engines and electric motors are established.

Then, we continue with the design of the conversion based on a dynamic study and analysis. The study of the coupling is then carried out, studying the design of the different parts and elements required. The project continues to mention the different possible alternatives to the one proposed in the project.

Finally, the project concludes with the explanation of the homologation process, as well as the mention of the regulations and the essential requirements to be fulfilled.

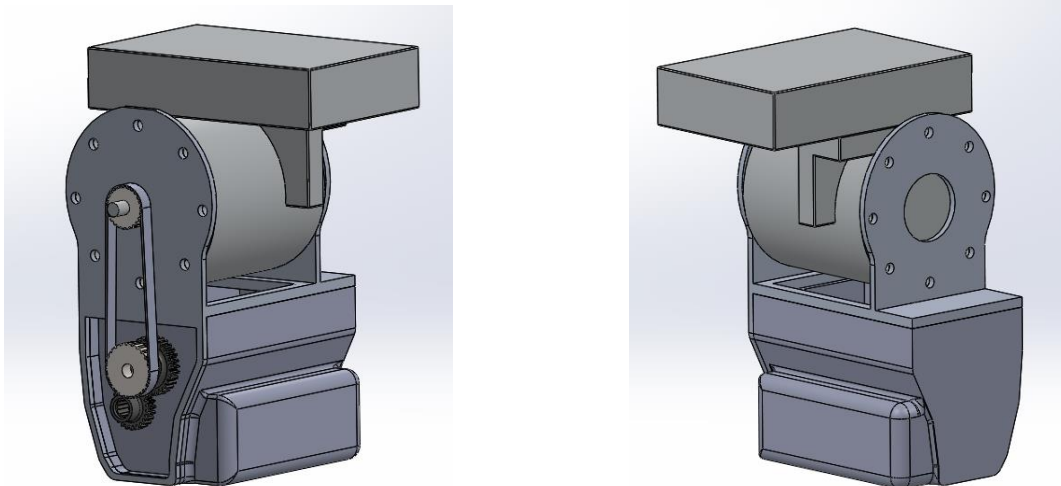
Result

As a result of the study and analysis carried out, the components selected for the electrification of the vehicle are:

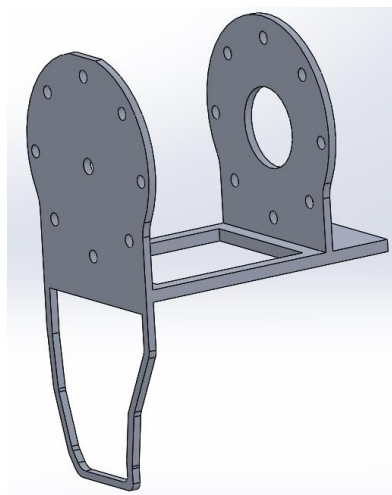
Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

| Elements | Selected elements |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|
| Motor/inverter | Motor and inverter integrated Motive MV275 |
| Electric control unit | TM4 NEURO 200 |
| Converter | High Voltage DC/DC Converter Generation 3evo |
| Batteries | KOKAM EV Battery Type 4 - 20 kWh |
| Vacuum pump | Depresor eléctrico |
| Throttle pedal | Sensor potenciómetro |
| Charger | 3.3kW 72V, 84V, 96V, 144V, 312V, 540V Battery Charger |

The coupling has been designed in such a way that the new engine will be installed on top of the gearbox and coupled to it by means of a belt and pulley drive. A visualization of the adaptation is enclosed below.



The part designed to allow coupling is the following.



ÍNDICE

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Resumen del proyecto | 8 |
| Project Summary | 10 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 18 |
| 1.1. Motivación..... | 19 |
| 1.2. Objetivos..... | 19 |
| 1.3. Metodología de trabajo | 20 |
| 1.4. Planificación | 21 |
| 1.5. Medios empleados | 23 |
| 1.6. Objetivos de Desarrollo Sostenible | 23 |
| 2. ESTADO DEL ARTE..... | 25 |
| 2.1. ¿Qué es un coche eléctrico?..... | 25 |
| 2.2. Desde el primer vehículo eléctrico hasta hoy | 25 |
| 2.3. ¿Cómo funcionan los vehículos eléctricos?..... | 26 |
| 2.4. ¿Qué componentes necesita un vehículo eléctrico?..... | 27 |
| 2.5. Situación actual de conversiones de vehículos a eléctrico en España | 36 |
| 3. DESARROLLO DEL PROYECTO..... | 38 |
| 3.1. DIFERENCIAS ENTRE MOTOR ELÉCTRICO Y MOTOR COMBUSTIÓN INTERNA..... | 38 |
| 3.2. MINI 1275 GT | 43 |
| 3.3. DESMONTAJE | 47 |
| 3.4. DISEÑO..... | 48 |
| 3.4.1.MOTOR | 48 |
| 3.4.2.INVERSOR..... | 63 |
| 3.4.3.UNIDAD DE CONTROL..... | 63 |
| 3.4.4.CONVERTIDOR | 66 |
| 3.4.5.BATERÍAS | 66 |
| 3.4.6.ACOPLAMIENTO | 71 |
| 3.4.7.FRENOS | 91 |
| 3.4.8.PEDALERA..... | 95 |
| 3.4.9.CARGADOR | 99 |
| 3.4.10. SISTEMA ELÉCTRICO | 100 |
| 3.5. RESULTADO FINAL/VEHÍCULO FINAL | 109 |
| 4. ALTERNATIVAS | 111 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. ES3000I E-DRIVE UNIT DANA TM4 | 111 |
| 4.2. E-AXLE DRIVE SYSTEM BOSCH..... | 112 |
| 4.3. KITS COMPLETOS PARA CONVERSIÓN A ELÉCTRICO | 113 |
| 4.3.1.Ejemplo del uso de este kit para la conversión a eléctrico de un Volkswagen Pointer. | 115 |
| 5. HOMOLOGACIÓN..... | 116 |
| 5.1. Manual de reformas | 116 |
| 5.1.1.Reglamento CEPE/ONU 100 (R) | 118 |
| 5.2. Normativa europea..... | 120 |
| 6. PRESUPUESTO | 124 |
| 7. CONCLUSIONES | 128 |
| 8. LÍNEAS FUTURAS | 130 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 131 |
| ANEXOS..... | 134 |
| Anexo A: Códigos Matlab | 134 |
| Anexo B: Planos | 138 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1: Planificación: tareas a realizar..... | 21 |
| Ilustración 2: Diagrama de Gant del proyecto..... | 22 |
| Ilustración 3: Ejemplo de motor Brushless DC en el Honda Insight ^[6] | 28 |
| Ilustración 4: Esquema simplificado funcionamiento máquinas de corriente alterna. ... | 28 |
| Ilustración 5: Motor síncrono de imanes permanentes Nissan Leaf (80 kW y 280 Nm) 30 | |
| Ilustración 6: Sistema de tracción del Tesla S: Motor de inducción. | 31 |
| Ilustración 7: Tipos de cargadores ^[6] | 36 |
| Ilustración 8: Ejemplo despiece motor eléctrico de inducción ^[9] | 38 |
| Ilustración 9: Lista de materiales motor eléctrico ^[9] | 38 |
| Ilustración 10: Ejemplo despiece de un motor térmico ^[6] | 39 |
| Ilustración 11: Gráficas par/potencia-velocidad de un motor síncrono de imanes permanentes. Realizado con Matlab R2019a | 40 |
| Ilustración 12: Curvas características potencia par motor..... | 40 |
| Ilustración 13: Balance térmico de un motor de combustión ^[14] | 42 |
| Ilustración 14: Datos técnicos MINI 1275 GT ^[16] | 43 |
| Ilustración 15:Curvas aproximadas par/potencia-velocidad MINI 1275GT. Realizado con Matlab R2019a..... | 44 |
| Ilustración 16: Mini 1275 GT..... | 45 |
| Ilustración 17: Vista del motor de cuatro cilindros transversal | 45 |
| Ilustración 18: Vista del maletero y depósito | 46 |
| Ilustración 19: Motor EMRAX 228 ^[18] | 50 |
| Ilustración 20: Medidas del motor MOTIVE MV275 ^[19] | 51 |
| Ilustración 21: Esquema de fuerzas que afectan a un vehículo en movimiento | 52 |
| Ilustración 22: Variación del coeficiente a la rodadura en función de la velocidad y el firme. | 53 |
| Ilustración 23: Código Matlab de las fuerzas que actúan sobre el vehículo..... | 54 |
| Ilustración 24: Código Matlab para el cálculo de los pares que afectan al vehículo..... | 55 |
| Ilustración 25: Código Matlab para el cálculo de la potencia necesaria | 57 |
| Ilustración 26: Situación del Caso I..... | 57 |
| Ilustración 27: Gráfica par-velocidad motor MV275 Caso I. Realizado con Matlab R2019a..... | 58 |
| Ilustración 28: Gráficas par-velocidad motor MV275 Caso I bis. Realizado con Matlab R2019a..... | 59 |
| Ilustración 29: Pendiente máxima de carreteras convencionales en función de la velocidad ^[22] | 60 |
| Ilustración 30: Gráfica par-potencia disponible y solicitada para el caso II en función de la velocidad del motor. Realizado con Matlab R2019a..... | 60 |
| Ilustración 31: Datos caja de cambios y diferencial MINI 1275 GT ^[16] | 62 |
| Ilustración 32: Sistema integrado motor-inversor TM4 MOTIVE MV275 ^[19] | 62 |
| Ilustración 33: Esquema indicativo de las posibles conexiones a la unidad de control ^[20] | 64 |
| Ilustración 34: Vehicle Control Unit BOSCH ^[20] | 65 |
| Ilustración 35: High Voltage DC/DC Converter Generation 3evo ^[20] | 66 |
| Ilustración 36: Ciclo homologación WLTP ^[23] | 68 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 37: Batería KOKAM KBM216 ^[21] | 69 |
| Ilustración 38 Baterías KOKAM EV Battery Type 3 ^[21] | 69 |
| Ilustración 39: Imagen completa del motor de combustión mini 1275 GT ^[14] | 72 |
| Ilustración 40: Imagen del tren de engranajes que transmite el movimiento al eje primario de la caja ^[14] | 73 |
| Ilustración 41: Ejemplo árbol nervado ^[24] | 75 |
| Ilustración 42: Forma de las estrías ^[24] | 75 |
| Ilustración 43: Ejemplo unión enchavetada ^[24] | 76 |
| Ilustración 44: Designación chavetas sin cabeza ^[24] | 76 |
| Ilustración 45: Designación chavetas con cabeza ^[24] | 76 |
| Ilustración 46: Ejemplos de lengüetas según la forma ^[24] | 77 |
| Ilustración 47: Aplicación arandela de retención ^[24] | 78 |
| Ilustración 48: Aplicación del collarín de retención ^[24] | 78 |
| Ilustración 49: Montaje de elementos sobre manguito de fijación y desmontaje ^[24] | 79 |
| Ilustración 50: Aplicación de los manguitos ^[25] | 79 |
| Ilustración 51: Ejemplos de diferentes métodos de fijación de elementos a los ejes ^[24] | 80 |
| Ilustración 52: Norma DIN 5481 para ejes acanalados ^[24] | 81 |
| Ilustración 53: Croquis ejemplo acoplamiento de la rueda dentada fijada mediante manguito exterior. Diseñado por la autora para este TFG | 82 |
| Ilustración 54: Croquis ejemplo acoplamiento de la rueda dentada fijada mediante manguito interior. Diseñado por la autora para este TFG | 82 |
| Ilustración 55: Fijación mediante tornillo y arandela de fijación ^[24] | 83 |
| Ilustración 56: Fijación mediante tornillo y arandela ^[24] | 84 |
| Ilustración 57: Aplicación collarín y tornillo prisionero ^[24] | 84 |
| Ilustración 58: Boceto simple del acoplamiento del motor y la caja de cambios. Diseñado por la autora para este TFG | 85 |
| Ilustración 59: Disposición de engranajes. Diseñado por la autora para este TFG | 85 |
| Ilustración 60: Ejemplo de polea dentada a usar. | 87 |
| Ilustración 61: Diseño final de la adaptación del motor eléctrico a la caja de cambios. Diseñado por la autora para este TFG | 88 |
| Ilustración 62: Adaptador motor eléctrico-caja de cambios SolidWorks. Izq.: diseñado por la autora para este TFG. Der.: caja cambios Mini 1275 GT | 89 |
| Ilustración 63: Sistema equivalente del motor. | 89 |
| Ilustración 64: Fuerzas y momentos aplicados. Ansys 2020 R1 | 90 |
| Ilustración 65: Resultado de las tensiones soportadas. Ansys 2020 R1 | 90 |
| Ilustración 66: Ampliación del resultado, puntos donde se produce el máximo esfuerzo. Ansys 2020 R1 | 91 |
| Ilustración 67: Respuesta de la velocidad del motor ante cambios de marcha. Realizado con Excel 2019 | 92 |
| Ilustración 68: Respuesta de la velocidad lineal del vehículo ante cambios de marcha. Realizado con Excel 2019 | 93 |
| Ilustración 69: Gráfica presión de vacío entregada vs tiempo del depresor eléctrico proporcionada por el distribuidor ^[26] | 95 |
| Ilustración 70: Depresor eléctrico ^[26] | 95 |
| Ilustración 71: Esquema general simplificado del sistema hidráulico del embrague ^[6] .. | 96 |
| Ilustración 72: Sección en el cilindro principal de mando del embrague ^[14] | 96 |
| Ilustración 73: Sección en el cilindro receptor de mando del embrague ^[14] | 97 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Ilustración 74: Sección en el cilindro principal de accionamiento de los mecanismos de freno ^[14] | 97 |
| Ilustración 75: Ejemplo de acelerador electrónico ^[27] | 98 |
| Ilustración 76: Ejemplo del conector tipo J1772 ^[28] | 99 |
| Ilustración 77: Ejemplo cargador TCCH 6kW ^[38] | 100 |
| Ilustración 78: Esquema eléctrico general vehículo eléctrico. Diseñado por la autora para este TFG..... | 102 |
| Ilustración 79: Ejemplo de inversor y convertidor integrados de la marca BOSCH ^[20] | 103 |
| Ilustración 80: Esquema simplificado del sistema integrado inversor/convertidor ^[20] | 103 |
| Ilustración 81: Esquema eléctrico inversor/convertidor/ECU integrados. Diseñado por la autora para este TFG..... | 104 |
| Ilustración 82: Esquema del sistema eléctrico del mini 1275 GT tras la conversión. Diseñado por la autora para este TFG | 105 |
| Ilustración 83: Enumeración del esquema eléctrico mini 1275 GT ^[14] | 106 |
| Ilustración 84: Esquema eléctrico mini 1275 GT ^[14] con anotaciones específicas para este TFG | 107 |
| Ilustración 85: Modelo 3D MINI 1275 GT original..... | 109 |
| Ilustración 86: Modelo aproximado 3D MINI 1275 GT con motor eléctrico e inversor acoplados a la caja de cambio. Modelo CAD Mini obtenido de GrabCad, sistema de tracción diseñado para este TFG | 110 |
| Ilustración 87: Visión trasera del modelo 3D MINI 1275 GT con el conjunto de baterías. Baterías y modelo CAD Mini obtenidos de GrabCad | 110 |
| Ilustración 88: Imagen del Spicer Electrified eS3000i e-Drive Unit ^[19] | 112 |
| Ilustración 89: Imagen del e-Axle Drive Unit de BOSCH ^[20] | 113 |
| Ilustración 90: Kit electrificación de vehículos AutoLibre ^[29] | 114 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 1: Tabla comparativa entre baterías ^{[10] [11]} | 34 |
| Tabla 2: Datos técnicos EMRAX 228 ^[18] | 49 |
| Tabla 3: Datos técnicos motor MOTIVE MV275 ^[19] | 50 |
| Tabla 4: Características principales de diferentes vehículos eléctricos..... | 67 |
| Tabla 5: Características generales de las baterías propuestas ^[21] | 70 |
| Tabla 6: Diámetros del engranaje de mando y piñón | 86 |
| Tabla 7: Disposición de las medidas de las ruedas dentadas elegidas..... | 86 |
| Tabla 8: Sistemas afectados por la reforma y directivas asociadas ^[31] | 117 |
| Tabla 9: Mercado del equipo de alta tensión | 119 |
| Tabla 10: Asociación de las diferentes normativas europeas con la normativa española CEPE/ONU 100R ^[10] | 122 |
| Tabla 11: Desglose presupuesto de la fabricación placa adaptadora..... | 126 |
| Tabla 12: Presupuesto final | 127 |

1. INTRODUCCIÓN

En este TFG se realiza el estudio y diseño de la conversión de un vehículo de combustión interna a uno completamente eléctrico. En concreto se basa en la conversión del MINI 1275 GT del año 1971. Este trabajo sirve de guía para poder poner en práctica lo que conlleva la transformación a eléctrico de un vehículo convencional, los elementos a tener en cuenta y los parámetros de diseño necesarios y específicos dependiendo del vehículo. El diseño se realizará en base a las especificaciones y limitaciones del vehículo en particular (MINI 1275 GT).

Hoy en día Madrid está en alerta debido a la gran contaminación atmosférica que está sufriendo desde hace años. Los niveles de emisiones de contaminantes están superando los niveles establecidos por ley de los parámetros de calidad del aire. Principalmente estas emisiones son provocadas por el transporte y la gran cantidad de vehículos que circulan todos los días por la ciudad, contando también con algunas calefacciones centralizadas con calderas de gasóleo que aún se usan y que generan también emisiones. Las exposiciones a estos gases provocan consecuencias como problemas respiratorios y daños en la vegetación y en los ecosistemas. Por estos motivos las autoridades han empezado a aplicar medidas con el fin de reducir las emisiones. Una de ellas es la famosa zona de Madrid Central. Este área es una zona de bajas emisiones que comenzó a funcionar en noviembre de 2018^[1]. Es una zona en la que no hay calles de libre circulación exceptuando residentes, personas con movilidad reducida y servicios de seguridad y emergencias, que pueden acceder con sus vehículos a Madrid Central. Los vehículos autorizados a entrar en Madrid Central serán aquellos con la etiqueta ECO y Cero Emisiones. Estos son coches clasificados como vehículos híbridos enchufables, vehículos propulsados a gas (GNC o GLC) y totalmente eléctricos.^[2]

Otra de las medidas que se están contemplando para un futuro es eliminar los coches de gasoil y gasolina para reducir considerablemente las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Por estas razones, están surgiendo empresas, e incluso particulares, que están estudiando la opción de convertir en serie o de manera particular, vehículos comerciales de combustión a eléctrico. El término ‘en serie’ para este caso se refiere a que la idea de estas empresas es diseñar, fabricar y homologar un kit de conversión para producir de manera más económica y rentable la conversión de vehículos. Sin embargo, hoy en día en España la homologación en los vehículos que han sido sometidos a cualquier tipo de reformas es un procedimiento obligatorio, caro y con ensayos y requisitos muy determinados. Esto hace la conversión de vehículos, tan común en otros países, en España pase más desapercibida.

Por otro lado, la conversión a eléctrico se muestra como un proyecto ‘sencillo’ que todo aquel con interés, recursos técnicos e infraestructura mínima puede llevar a cabo. Sin embargo, para realizar un buen proyecto se debe estudiar, investigar y diseñar con criterio conociendo cada uno de los elementos y especificaciones necesarios.

Por estos motivos y con el fin de contribuir a reducir las emisiones he decidido comenzar el diseño de la conversión a eléctrico del MINI 1275 GT y presentarlo como trabajo de fin de grado.

1.1.Motivación

El proyecto tiene como objeto explicar detalladamente el diseño de la conversión a eléctrico partiendo de un vehículo concreto: MINI 1275 GT. A medida que entramos en el siglo XXI, los vehículos con sistemas de tracción eléctricos van cogiendo protagonismo en el transporte de nuestra sociedad como solución a la contaminación del medio ambiente. Además, los vehículos se ven enfrentados a cumplir con cada vez más estrictas regulaciones, quedándose atrás los vehículos más antiguos. Por esa razón, entra en cuestión la solución de convertir estos vehículos a eléctrico para poder seguir dándoles uso.

La elección de desarrollar este proyecto responde a tres circunstancias: la primera, estudiar la complejidad y viabilidad de realizar la conversión a eléctrico de un vehículo clásico; la segunda, conocer y comprender todos los sistemas que intervienen tanto en el vehículo de combustión como en el vehículo eléctrico y conseguir así un conocimiento ampliado en este ámbito cada vez más en auge; y, por último, aplicar en un proyecto real los conocimientos de diversas materias adquiridos durante la carrera haciendo uso de diferentes programas informáticos tanto de modelado mecánico en 3d y 2d como de software matemáticos. Convirtiendo este proyecto en mi trabajo de fin de carrear aprovecho la oportunidad para volcar todos los esfuerzos y conocimientos en generar un buen proyecto de ingeniería con el objetivo final de poder llevarlo a la práctica en un futuro.

1.2.Objetivos

De manera general, el proyecto que se presenta es el proceso y diseño de la conversión a eléctrico de un coche de combustión interna y el detalle de los elementos que se verán afectados.

De manera específica, entre los objetivos se encuentran:

Objetivo 1. Estudiar las principales diferencias entre sistemas de combustión interna y sistemas de tracción eléctrica.

Objetivo 2. Identificar y entender todos los elementos que influyen en un vehículo eléctrico y qué cambios supone en el vehículo original.

Objetivo 3. Realizar un primer diseño de una conversión a eléctrico.

Objetivo 4. Entender la dinámica de un coche y comprender los parámetros de diseño necesarios de un vehículo eléctrico.

Objetivo 5. Poder extrapolar unas directrices que ayuden a desarrollar un diseño de conversión a eléctrico de un vehículo de combustión.

1.3. Metodología de trabajo

Se describe en este apartado el procedimiento desarrollado para finalmente describir las conclusiones que se van a presentar en la memoria.

Para empezar, la naturaleza del proyecto es cuantitativa, es decir, el trabajo se basa en realizar un análisis, en este caso, subjetivo de las diferentes soluciones al problema. Me baso en identificar y desarrollar diferentes opciones en las que basar mis decisiones sobre la investigación. Para ello, el método se basa en :

- Revisión bibliográfica: investigar acerca del tema en cuestión, y buscar sobre diferentes medios, libros, internet, universidad, etc.
Para este caso, lo más importante es informarse acerca de los vehículos eléctricos, los motores de combustión y las diferencias entre ellos. También conocer todos los elementos involucrados en un vehículo eléctrico y las soluciones que hay hoy en día en el mercado.
- Entrevistas: Preguntar a personas del sector que se hayan involucrado en un proyecto similar para conseguir información e ideas por las que empezar el proyecto; así como guías, consejos o incluso documentos. Hacer entrevistas vía correo electrónico con personas que restauraron un mini del mismo tipo, con el fin de conseguir manuales, guías de despiece, planos... También contactar con empresas que se dedican a la conversión de vehículos convencionales a eléctrico. De la misma manera, hablar con profesores de la universidad de diferentes departamentos.
- Diseño: Una vez organizadas las ideas y los parámetros de diseño, se procede a desarrollar el diseño del nuevo sistema de tracción eléctrico, así como de las baterías de tracción y de todos los detalles mecánicos indispensables para conseguir el acoplamiento del nuevo motor.
- Uso de diferentes recursos: Utilizar programas informáticos que ayuden a justificar o incluso llegar a las soluciones que se quieren presentar al problema. En este caso, se ha utilizado Matlab, para realizar cálculos, SolidWorks, como CAD para diseñar las piezas necesarias para justificar el proyecto.

El proyecto se divide en varias secciones.

El primer paso para ejecutar este proyecto es conocer bien nuestro coche, entender su funcionamiento e interpretar los datos técnicos para poder así establecer las diferencias más claras entre un coche de combustión y otro eléctrico. Una vez identificados los elementos de los que se compone un vehículo eléctrico, se debe saber analizar los parámetros de diseño que necesitará el vehículo: conocer las relaciones entre batería y motor, así como la potencia de motor y la capacidad de frenado, la alimentación, etc. Todo ello está relacionado y para poder diseñar se debe estudiar las fuerzas a las que se ve sometido el vehículo y a las que tiene que hacer frente. Por ello, es necesario hacer un estudio de la dinámica de los coches para poder entender las prestaciones que requerirán los nuevos componentes del sistema eléctrico y poder argumentar su elección entre varias opciones.

Existen diferentes diseños para la conversión. Es importante desplegar todas las opciones posibles de conversión y realizar una comparación. Se analizarán todos los componentes necesarios en un vehículo eléctrico justificando la seleccionada para el proyecto.

A continuación de la explicación de todos los elementos, se desarrollarán diferentes alternativas al diseño estudiado demostrando que no hay una única solución al proyecto y cada una de ellas es diferente.

Sin embargo, un paso muy importante es la homologación del nuevo sistema eléctrico. Hoy en día en España, la legislación restringe considerablemente la capacidad de realizar cambios en los vehículos debido a las grandes restricciones y requisitos exigidos en los procesos de homologación. Por tanto, un elemento clave a tener en cuenta durante el diseño son los límites establecidos por las directivas establecidas para las reformas realizadas en vehículos.

A continuación, se muestra la planificación establecida para el desarrollo del proyecto.

1.4. Planificación

Al comienzo del proyecto se realizó una planificación general del proyecto a través de un diagrama de Gantt, el cual se adjunta a continuación.

| Nombre de la tarea | | jun 30 | jul 7 |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|
| 1 | Investigar acerca de las baterías, motores eléctricos y motores de combustión interna | | |
| 2 | Realizar análisis dinámico del coche, seleccionar motor eléctrico y baterías | | |
| 3 | Estudiar todas las posibles opciones de diseño del acoplamiento del motor y realizar su diseño y análisis dinámico | | |
| 4 | Analizar frenos y todos los componentes que influyen en el VE. | | |
| 5 | Estudiar los elementos de transmisión y aplicarlo al proyecto | | |
| 6 | Desarrollar el circuito eléctrico | | |
| 7 | Investigar la homologación | | |
| 8 | Repasar Memoria | | |

Ilustración 1: Planificación: tareas a realizar

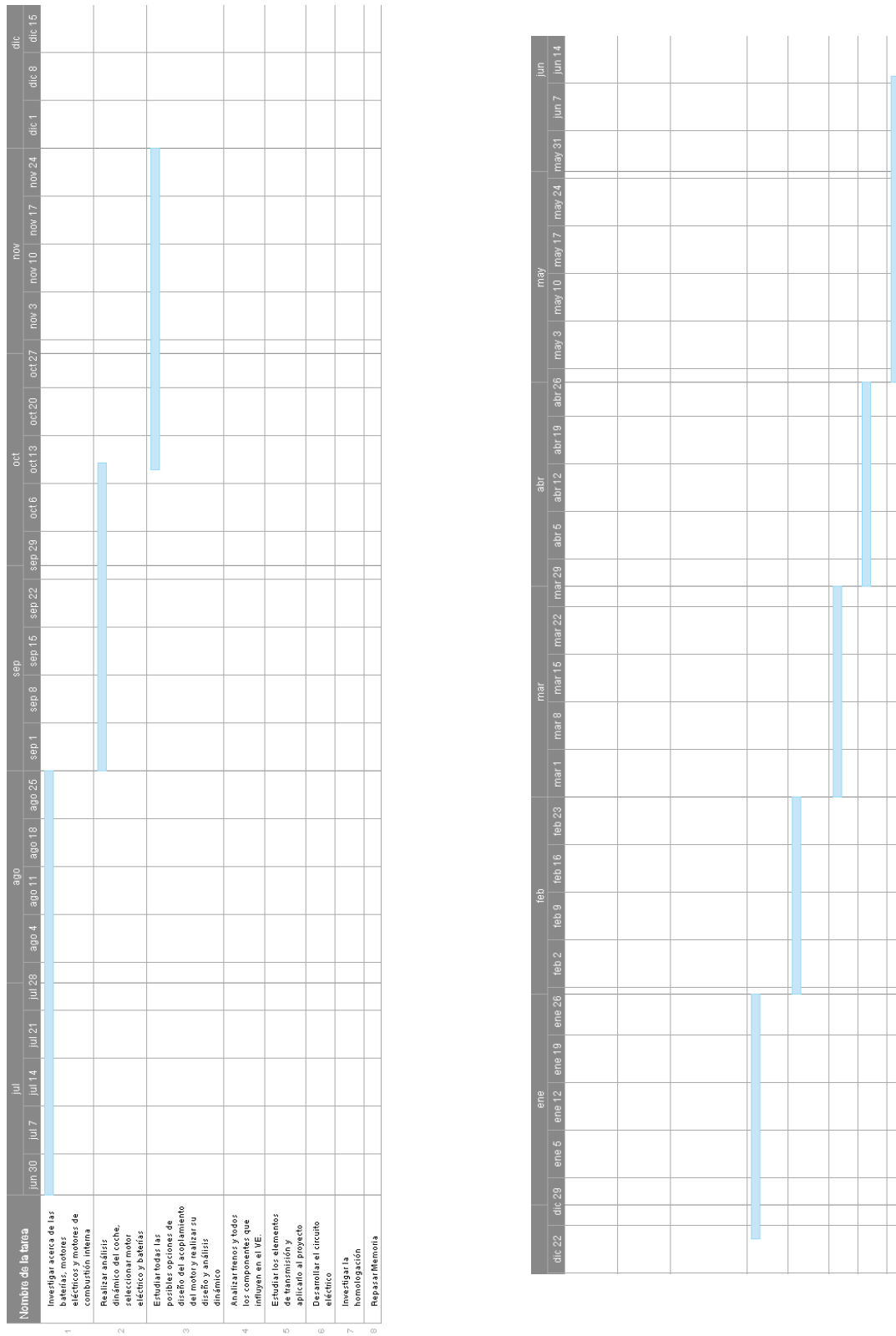


Ilustración 2: Diagrama de Gant del proyecto

1.5. Medios empleados

Durante el desarrollo del proyecto se han utilizado varios softwares: Matlab R2019a, un sistema de cómputo numérico utilizado en este trabajo para la realización de cálculos y gráficas; SolidWorks 2019, un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D; se ha usado ANSYS versión 2020 R1, un software de simulación que permitirá analizar las piezas modeladas dinámicamente; Autodesk 3ds Max, un programa de creación de gráficos y animación 3D desarrollado por Autodesk; y, por último, se ha utilizado Microsoft Office 365 2019, concretamente Word y Excel.

1.6. Objetivos de Desarrollo Sostenible

El fin es intentar identificar los ODS que más afectados se ven por el proyecto que estoy llevando a cabo y qué metas cumple dentro de ese objetivo.



El objetivo decimoprimeros apuesta por un futuro en el que se incluyen ciudades de oportunidades con acceso a servicios básicos, energía, vivienda, transporte y que, además, se les permita seguir prosperando y creciendo y al mismo tiempo reducir la contaminación y la pobreza.

Apostando por las nuevas tecnologías de propulsión se contribuye a la reducción de la contaminación y a la progresión hacia ciudades cada vez más sostenibles.



El cambio climático afecta a todos los países produciendo un impacto negativo en su economía, la vida de las personas y las comunidades. El objetivo es llevar a cabo

soluciones que permitan tener una actividad económica más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Este proyecto busca una alternativa a la emisión de los gases contaminantes producidos por los vehículos de combustión interna, los cuales han ido aumentando a lo largo de los últimos años. Según este objetivo de las Naciones Unidas, si se adopta una amplia gama de medidas tecnológicas y cambios en el comportamiento, aún es posible limitar el aumento de la temperatura media mundial.

En esta dirección, el sector automovilístico está haciendo un gran esfuerzo en desarrollar nuevas tecnologías que impliquen la reducción de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, así como una minimización de la explotación de recursos no renovables como es el caso del petróleo.

Cada vez se hacen más presentes los vehículos híbridos y de tracción totalmente eléctrica; sin embargo, se están desarrollando otras tecnologías que apuntan en el mismo sentido como es el caso de la pila de hidrógeno o el Gas Natural Comprimido (GNC).

En este caso, se ha elegido la electrificación completa del vehículo como alternativa al sistema de combustión interna. El objetivo es minimizar la emisión de gases contaminantes e impulsar la movilidad eléctrica.

Otros objetivos

Otro objetivo que se recoge sería:



Desde el punto de vista del cambio climático producido en parte por la emisión de los gases contaminantes, lucha en contra de la deforestación y la desertificación, procesos provocados por actividades humanas y el cambio climático. De manera indirecta, el proyecto llevado a cabo ofrece la oportunidad de disminuir este problema reduciendo la emisión de gases contaminantes^[3].

2. ESTADO DEL ARTE

2.1.¿Qué es un coche eléctrico?

Un coche eléctrico es un vehículo que es propulsado a través de uno o varios motores eléctricos. Mientras que los vehículos de combustión interna son impulsados a partir de la energía producida por la combustión, los vehículos eléctricos son traccionados mediante energía eléctrica que es proporcionada por los sistemas de acumulación de energía recargables. También son automóviles eléctricos los híbridos enchufables, que combinan ambos motores.

2.2.Desde el primer vehículo eléctrico hasta hoy

Tras inventar el primero motor de corriente continua Joseph Henry en 1830 empezaron a aparecer los primeros vehículos eléctricos. Thomas Davenport construyó en 1834 el primer prototipo equipado con un motor eléctrico: se trataba de un vehículo en miniatura pero que se adelantó 50 años al nacimiento del motor de combustión.

En 1859 Gaston Planté mejoró la primitiva pila eléctrica no recargable inventando la batería recargable de plomo-ácido. En 1881, el ingeniero químico francés Camille Alphonse Faure, evolucionó la batería incrementando su capacidad y permitiendo su fabricación a escala mundial.

En 1867, Gustave Trouvé presentó un automóvil de tres ruedas propulsado por un motor eléctrico convirtiéndose para muchos el primer vehículo eléctrico de la historia. No fue hasta 1884 cuando Thomas Parker diseñó el automóvil eléctrico de cuatro ruedas más práctico.

A principios de siglo XX, existían 19 fabricantes de vehículos eléctricos y en Estados Unidos los datos de ventas reflejaban la tendencia dominante de la movilidad eléctrica. Sin embargo, ésta se vio afectada por el desarrollo de los vehículos de combustión y su bajo coste finalizando pronto con la industria automovilística eléctrica. La fabricación en cadena y la bajada de precios de los modelos de combustión propiciados por Henry Ford, la introducción del motor de arranque para los motores de combustión y la mejora de carreteras y necesidad de mayor autonomía eran aspectos imposibles de remontar por los vehículos eléctricos, motivando la elección del vehículo de combustión.

No es ya hasta 1990 cuando la General Motors lanza el prototipo Impact, precursor del famoso EV-1, primer modelo eléctrico moderno, animando a varias compañías a desarrollar nuevos proyectos eléctricos y a los usuarios plantearse modificar sus vehículos a eléctrico^[4].

Hoy en día se siguen desarrollando nuevos conceptos y tecnologías para producir vehículos eléctricos híbridos (VEH) y vehículos eléctricos (VE). Dependiendo del grado de hibridación eléctrica podemos distinguir los vehículos híbridos en:

- **Grado de hibridación baja:** son aquellos vehículos convencionales que incluyen un sistema adicional de arranque/parada (start/stop). Este sistema permite parar automáticamente el motor de combustión eléctrica al detenerse el vehículo y arrancarlo al pisar el embrague y/o acelerador. Este sistema no permite ni la aceleración ni conducción totalmente eléctrica. Estos vehículos son los llamados Micro Hybrids.
- **Grado de hibridación media:** (Mild Hybrid Electric Vehicle MHEV) Estos vehículos presentan un motor eléctrico que asiste en las aceleraciones permitiendo así instalar un motor de combustión interna más pequeño y eficiente. Están equipados con baterías que son recargadas al invertir el funcionamiento del motor a modo generador durante el frenado. Aun así, este sistema no permite la conducción en modo eléctrico.
- **Grado de hibridación alta:** (Full Hybrid) Pertenecen a este grupo aquellos vehículos híbridos cuyos motores de combustión interna y eléctrico están atacando el eje de transmisión. De esta manera, a velocidades bajas, la conducción es en modo eléctrico consiguiendo un gran ahorro en combustible y reducción de las emisiones contaminantes.
- **Los vehículos híbridos eléctricos de autonomía extendida** (Plug-in Hybrid Electric Vehicle PHEV) son coches que se mueven gracias a un motor eléctrico alimentado a través de las baterías. Sin embargo, cuando éstas se descargan, entra en funcionamiento el motor de combustión interna que mueve un generador de electricidad que alimenta el motor eléctrico y, si puede, recarga las baterías. Este tipo de vehículos entra dentro de los vehículos híbridos enchufables cuyas baterías son recargadas enchufándolas a la red eléctrica, permitiendo una mayor autonomía en modo eléctrico. Estos coches se mueven gracias a la combinación del motor eléctrico como de combustión interna permitiendo el funcionamiento en modo exclusivamente eléctrico.
- **Vehículo eléctrico** (BEV Battery Electric Vehicle): se trata de un coche completamente eléctrico usando una batería como fuente de alimentación. La energía química almacenada en la batería se transforma en energía eléctrica para alimentar el motor eléctrico que la convertirá a su vez en energía mecánica para traccionar el vehículo^[5].

2.3.¿Cómo funcionan los vehículos eléctricos?

El motor eléctrico se encarga de transformar la energía eléctrica que le llega a través de las baterías en energía mecánica, transmitiendo esta energía a las ruedas y permitiendo el movimiento del vehículo. Dependiendo del motor eléctrico, éste puede ir acoplado a un grupo reductor o no. También se han fabricado vehículos en los que se acopla a cada rueda un motor eléctrico pudiendo incluir incluso un pequeño grupo reductor para cada rueda, en lugar de proporcionar la potencia y transmitirla hasta las ruedas mediante diferentes elementos mecánicos.

2.4.¿Qué componentes necesita un vehículo eléctrico?

Generalmente los componentes principales de los que se compone un vehículo eléctrico son^[6]:

1. Motor eléctrico
2. Baterías de tracción
3. BMS
4. Inversor
5. Convertidor
6. Unidad de control Electrónica
7. Potenciómetro acelerador
8. Cargador
9. Climatización de la batería de tracción
10. Servofreno eléctrico

2.4.1. MOTORES ELÉCTRICOS

Los principales motores eléctricos que son usados en vehículos eléctricos son:

- **Motores de corriente continua**

El principio de funcionamiento de los motores de corriente continua se basa en la fuerza producida en un conductor debido a la corriente inducida por un campo magnético. El motor de corriente continua está constituido por un estator y un rotor. El rotor es un electroimán giratorio al que se aplica una corriente generando un campo electromagnético que interactúa con el imán permanente (estator). Cuando aparece este campo magnético en el estator, se induce un campo magnético en el rotor. Ambos campos magnéticos se sitúan a 90 grados y, por tanto, aparece un par sobre el rotor que tiende a hacerlo girar hasta alinear los campos. Si el ángulo entre los campos se hace cero el rotor se para. Para evitar eso, se resitúa el campo inducido a 90 según el rotor gira. Para ello, se disponen de varias bobinas alrededor del rotor y se dejan sin alimentar algunas de las bobinas que están en la dirección del eje del campo magnético. El conjunto de elementos que realizan la conmutación de las bobinas es el colector de delgas (terminales de las bobinas alrededor de un tambor) o las escobillas. Existen dos tipos de motores de corriente continua:

- Excitación por escobillas
- Brushless DC (sin escobillas)

Los motores de corriente continua sin escobillas incorporan imanes permanentes en lugar del circuito inductor. La conmutación se realiza de forma electrónica en lugar de mecánica, los imanes permanentes van alojados en el rotor en lugar del estator y las bobinas del inducido van alojadas en el estator, constituyendo un devanado monofásico o polifásico. Un ejemplo del uso del motor Brushless DC es en el motor del Honda Insight. Este híbrido utiliza un motor eléctrico (10 kW - 78 Nm) situado entre el motor de combustión y la caja de cambios.

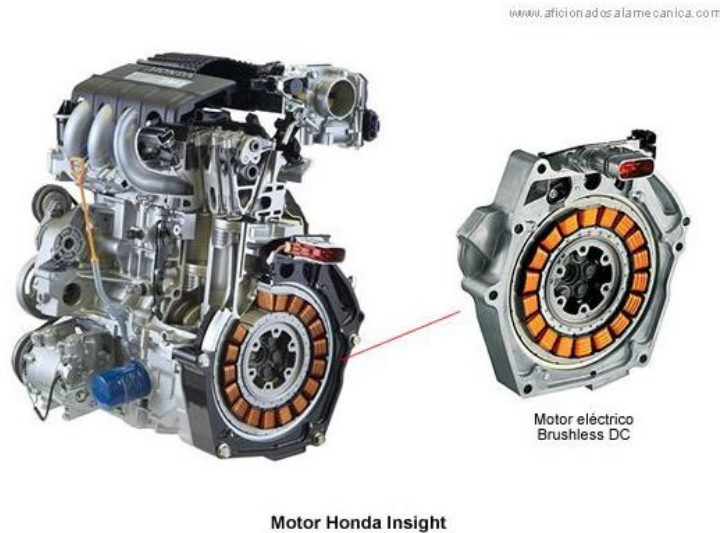


Ilustración 3: Ejemplo de motor Brushless DC en el Honda Insight^[6]

- **Motores de corriente alterna:**

El principio básico de funcionamiento se basa en el efecto brújula: cuando dos campos magnéticos no están orientados, aparece un par que tiende a orientarlos.

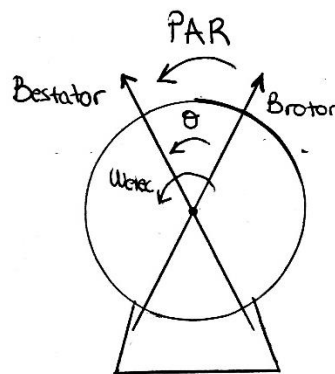


Ilustración 4: Esquema simplificado funcionamiento máquinas de corriente alterna.

En las máquinas de CA, ambos campos magnéticos giran a la frecuencia de alimentación del rotor y se mantiene entre ellos un ángulo constante.

Un campo magnético distribuido sinusoidalmente en el entrehierro de amplitud constante que gira a velocidad constante inducirá en 3 bobinas cuyos ejes magnéticos están rotados en el espacio 120° (eléctricos) unos de otros, 3 tensiones senoidales trifásicas equilibradas (separadas 120° en el tiempo).

Se dividen en síncronos y asíncronos o de inducción. Las diferencias principales entre una máquina síncrona y una máquina de inducción es el rotor y la forma de producir el campo magnético del rotor. En la máquina síncrona hay un único devanado que se alimenta con corriente continua. En la máquina de inducción, hay tres devanados trifásicos en cortocircuito alimentados con corriente alterna.

- Síncrono: La característica principal de los motores síncronos es que el rotor gira a la misma velocidad que el campo magnético rotativo. Existen tres tipos:
 - Excitación independiente
 - Imanes permanentes: el campo magnético del rotor lo generan imanes permanentes.
 - Reluctancia: el campo del rotor está totalmente inducido por el estator (no hay ningún tipo de excitación de corriente libre en el rotor).

En los tres casos hay un campo magnético giratorio trifásico generado desde el estator mediante un sistema de bobinas trifásico clásico.

Las principales ventajas de estos motores son:

- ✓ Alta densidad de potencia debido a la ausencia de conmutadores mecánicos y escobillas.
- ✓ Tamaño pequeño del rotor.
- ✓ Peso reducido.
- ✓ Alta capacidad de par de arranque.
- ✓ Bajo coste de mantenimiento
- ✓ Potencia constante en un amplio rango de revoluciones.

Asimismo, presentan algunos inconvenientes:

- ✗ A velocidades elevadas, la eficiencia puede reducirse debido al riesgo de desmagnetización.
- ✗ Importante mantener bien la refrigeración.
- ✗ A elevadas velocidades las pérdidas en el estator pueden ser importantes.
- ✗ Costes de fabricación elevados.

Actualmente este tipo de motores son los más utilizados en los vehículos híbridos y también en eléctricos. Algunos ejemplos de coches que llevan instalados motores síncronos son el Renault Zoe, el BMW i3, Chevrolet Volt, Nissan Leaf.



Ilustración 5: Motor síncrono de imanes permanentes Nissan Leaf (80 kW y 280 Nm)

- Asíncrono o de inducción: el rotor se encuentra en cortocircuito, es decir, no hay alimentación exterior, el campo se genera por inducción en el estator. El campo magnético giratorio del estator al moverse con respecto a la bobina induce en ella una tensión que da lugar a una corriente que genera un campo magnético que interactúa con el estator. Por tanto, se produce un par y la bobina gira. Para que se produzca un par, la velocidad de giro del rotor debe ser distinta a la del giro del campo magnético del estator. Dándose:

$$\begin{aligned}\omega_{rot} < \omega_{electrica} &\rightarrow \text{MOTOR} \\ \omega_{rot} = \omega_{electrica} &\rightarrow \text{PAR CERO} \\ \omega_{rot} > \omega_{electrica} &\rightarrow \text{GENERADOR}\end{aligned}$$

Los motores de inducción se componen de:

- Rotor en cortocircuito o de jaula de ardilla

Este tipo de motor está dispuesto de un rotor constituido por barras de un metal altamente conductor. Éstas son conectadas entre sí en sus extremos a través de anillos también de material conductor. Cuando se hace pasar una corriente alterna a través de los bobinados del estator, se produce un campo magnético rotativo. Esto induce una corriente en el bobinado del rotor que produce su propio campo magnético. La interacción de ambos campos magnéticos produce un par en el rotor de jaula de ardilla.

Una gran ventaja de un motor de jaula de ardilla es la facilidad con la que se pueden cambiar sus características de velocidad y par. Esto puede hacerse simplemente ajustando la forma de las barras del rotor. Los motores de inducción con jaula de ardilla se utilizan mucho en la industria, ya que son muy fiables, de arranque automático y fáciles de ajustar.

Las ventajas de un motor de jaula de ardilla son: normalmente bajo coste, requieren menos mantenimiento, buena regulación de la velocidad, no se

calienta demasiado. En cuanto a las desventajas, consumen mucha energía de arranque, son más sensibles a las fluctuaciones de voltaje de suministro, tienen corriente de arranque muy alta y par de arranque bajo.

- Rotor devanado o accesible^[7].

Los motores asíncronos o de inducción presentan la siguientes ventajas:

- ✓ Son más económicos
- ✓ Requieren poco mantenimiento
- ✓ Control velocidad sencillo
- ✓ Ofrecen alta eficiencia.
- ✓ Compactos.

Sin embargo, presentan algunos inconvenientes:

- ✗ Baja densidad de potencia.
- ✗ El motor pierde rendimiento a bajas velocidades.

Ejemplos de vehículos que utilicen motores de inducción son Tesla o Renault Twizy.

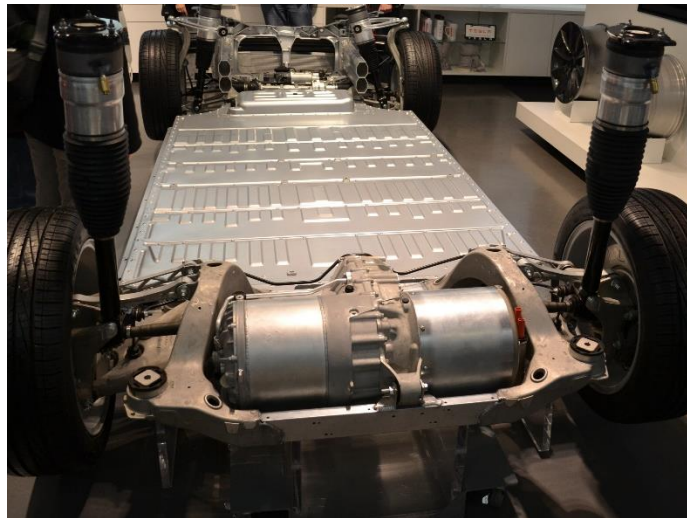


Ilustración 6: Sistema de tracción del Tesla S: Motor de inducción.

2.4.2. BATERÍAS

Uno de los principales componentes que constituye el vehículo eléctrico es la batería. Consiste en un acumulador de energía responsable de alimentar el motor eléctrico y permitir la movilidad del vehículo. La autonomía y el precio del vehículo depende del tamaño y tipo de la misma.

Las funciones principales de la batería son: almacenar energía eléctrica, suministrar potencia al motor de tracción, recibir energía en caso de que se produzca una frenada regenerativa y mantener la estabilidad garantizando la seguridad del vehículo.

En cuanto al funcionamiento, las baterías electroquímicas son capaces de convertir la energía eléctrica en energía química durante la carga y de transformar la energía química en energía eléctrica durante la descarga.

Las baterías están formadas por celdas que, a su vez, están compuestas de tres elementos fundamentales: 2 electrodos (positivo o ánodo y negativo o cátodo) sumergidos en un electrolito. En estas celdas tienen lugar reacciones de reducción-oxidación en las que se produce el intercambio de iones y electrones entre sus polos generándose una corriente eléctrica utilizada para alimentar el motor. Este proceso surge fundamentalmente durante el proceso de descarga, resultando a la inversa, mediante el uso de una corriente eléctrica para producir un cambio químico, el proceso de carga.

Las baterías están compuestas por celdas electroquímicas. Si se desea aumentar el voltaje o su capacidad se colocan éstas en paralelo o en serie hasta conseguir el voltaje deseado. Cada celda está formada por dos electrodos y un electrolito. En ellas tienen lugar reacciones de reducción-oxidación

Existen varios tipos de baterías recargables:

2.4.2.1. Baterías plomo ácido

Este tipo de batería es muy común en vehículos convencionales como batería de arranque, lo que las hace las más utilizadas y también las más antiguas de todas.

Estas baterías se componen de una disolución acuosa de ácido sulfúrico como electrolito, una placa de plomo recubierta por óxido de plomo (II), PbO_2 , como electrodo positivo (cátodo) y plomo esponjoso como el electrodo negativo (ánodo).

Entre las ventajas de las baterías de plomo ácido se encuentra su bajo coste, durabilidad y fácil mantenimiento. Sin embargo, presentan grandes inconvenientes frente a otro tipo de baterías.

- Necesitan una buena ventilación debido a que pueden emitir gases corrosivos por lo que deben ser instaladas en lugares muy ventilados.
- Su capacidad útil es limitada. No deben descargarse las baterías a menos de un valor específico, lo que conllevaría a una reducción drástica de su vida útil. Asimismo, el proceso de carga de las baterías de plomo ácido se vuelve ineficiente cuando se alcanza el 80% del estado de carga.
- Por último y más importante, presentan baja energía específica, entre (10-40 Wh/kg). Esto significa que para conseguir

Existen dos versiones:

- Las de ciclo corto, utilizadas en automóviles como batería de arranque.
- Las de ciclo profundo, diseñadas para repetidos ciclos de carga y descarga.

2.4.2.2. Baterías de níquel-cadmio (Ni- Cd)

Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. El cadmio es un metal pesado muy tóxico, por lo que han sido prohibidas por la Unión Europea. Tienen una gran duración (más de 1.500 recargas) pero una baja densidad energética (50 Wh/kg), además de verse afectadas por el efecto memoria.

2.4.2.3. Baterías de ion-litio

Las baterías de ion Litio (Li-ion) son las más usadas actualmente por los vehículos eléctricos. También están muy presentes en teléfonos móviles, ordenadores portátiles, reproductores de MP3 y cámaras. Las baterías de ion-litio presentan una gran serie de ventajas respecto a otro tipo de baterías. Estas son:

- Son mucho más ligeras, por lo que su energía específica es bastante mayor que las de níquel cadmio o níquel hidruro y plomo ácido. El litio es el metal sólido más ligero y además muy reactivo, posee una gran cantidad de energía almacenada en poco espacio lo que aumenta la energía específica de este tipo de baterías.
- Presenta una energía específica entre 100–265 W·h/kg.
- No presentan apenas pérdida de carga. Las baterías de ion litio no sufren el fenómeno del efecto memoria: fenómeno por el que las baterías reducen su capacidad debido a cargas incompletas.
- Su durabilidad: soportan un gran número de ciclos de carga y descarga sin afectar a su rendimiento.

Sus inconvenientes:

- Alto coste de producción.
- La instalación de un buen sistema de ventilación debido al fácil sobrecalentamiento. Esto reduce la energía acumulada en la batería y además afecta a su rendimiento.

Dentro de las baterías de ion-Litio hay a su vez diferentes subtipos con pequeñas diferencias químicas.

2.4.2.4. Baterías de polímero de litio

Las baterías de LiPO ofrecen gran cantidad de ciclos de carga y descarga. Son muy parecidas a las de Ion-Litio, pero cuenta con un gel de electrolito en su interior en lugar del líquido de la baterías de ion-litio. Una de sus principales ventajas es la flexibilidad de ser implantadas en cualquier dispositivo, por pequeño que sea. Además, esta variante de las baterías de litio presenta una mayor densidad de energía. Sin embargo, también presenta inconvenientes: son más delicadas y además más caras que las demás baterías.

2.4.2.5. Baterías de litio (LiFePO₄)

Las baterías de litio (LiFePO₄) son una baterías derivadas de las de ion-litio, pero con el cátodo de litio-ferrofosfato (LiFePO₄). Aunque la densidad de energía es menor que las baterías de ion-litio, éstas presentan excelentes características en seguridad, su eficiencia

energética es mayor que el resto de baterías y ofrecen flexibilidad a la hora de la recarga aceptando variaciones de la tensión de carga^[8].

A continuación, se adjunta una tabla a modo comparativa las características principales de los diferentes tipos de baterías explicados.

Tabla 1: Tabla comparativa entre baterías^{[10][11]}

| Tipo de baterías reargables | Energía específica (Wh/kg) | Potencia/peso (W/kg) | Número de ciclos | de | Eficiencia energética (%) |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------|------------------|----|---------------------------|
| Plomo-ácido | 10-40 | 33-42 | 400-800 | | 50-95 |
| Níquel-cadmio | 60 | 150 | 2000 | | 65-80 |
| Ion-litio | 100-250 | 300 | 1350 | | 90 |
| Polímero de litio | 130-200 | - | >1000 | | 90 |
| Litio LiFePO ₄ | 90-110 | >65 | >2000 | | 92 |

Las de plomo tienen un coste reducido, son versátiles y de larga duración. Sin embargo, el uso de estas baterías queda descartado debido a su baja energía específica y eficiencia.

Debido a la toxicidad del cadmio, las baterías de níquel-cadmio son sustituidas por otro tipo de baterías.

En cuanto a las baterías derivadas del litio, las de ion-litio son las que presentan buenas características en todos los aspectos. Las de polímero de litio son una buena opción debido a su gran energía específica; sin embargo, son más delicadas y exigen un buen cuidado y uso, además de ser más caras. Finalmente, las baterías de ferrofosfato y litio brindan menor capacidad energética pero no son tan delicadas y ofrecen mayor seguridad y flexibilidad en su uso.

2.4.3. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA BATERÍA: BATTERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS)

Este sistema se encarga de la monitorización de las baterías. Consiste en una unidad de control que cuenta con una gestión electrónica cuyo fin es monitorizar los periodos de carga y descarga controlando diferentes parámetros como la temperatura, la tensión de las celdas y de cada uno de los módulos, la intensidad de carga y descarga, la refrigeración, etc.; además de proteger a la batería de daños en un amplio rango de condiciones de funcionamiento. Las celdas de ion litio tienen dos problemas críticos de diseño; si se sobrecargan pueden dañarse y causar sobrecalentamiento y si se descargan por debajo de un cierto umbral (5% de la capacidad total) su capacidad puede reducirse permanentemente. Para evitar que la carga de la batería no supere ni quede por debajo de sus límites el sistema de gestión se encarga de controlar estos parámetros.

Asimismo, la BMS se comunica con otros sistemas de control como es el controlador o unidad de control, para gestionar conjuntamente la recuperación de energía en las frenadas, la demanda de energía del motor, la comunicación con el cargador, etc^[12].

2.4.4. INVERSOR

El inversor, generalmente es un dispositivo electrónico que se encarga de transformar la tensión de corriente continua (CC) de la batería en corriente alterna (AC). En el caso de un vehículo eléctrico sería el encargado de extraer la energía de las baterías y proporcionársela al motor. Si el motor trabaja en corriente alterna es necesario instalar dicho dispositivo para permitir el flujo de energía de las baterías al motor, ya que éstas trabajan en corriente continua.

No se debe confundir con la definición anterior de inversor. Normalmente, en el caso de los vehículos eléctricos, se suelen denominar inversores a los controladores; sin embargo, el inversor es un transformador de corriente continua a corriente alterna.

2.4.5. CONVERTIDOR

Un convertidor es un componente que se encarga de transformar corriente continua de un nivel de tensión a otro. En un vehículo eléctrico es el que se utiliza para alimentar las baterías auxiliares de 12 V a partir de las baterías generales del vehículo eléctrico. No se debe confundir un convertidor con un transformador. El transformador es un elemento eléctrico cuya función es aumentar o disminuir la tensión en un circuito de corriente alterna; al contrario que un convertidor o conversor.

2.4.6. INVERSOR O CONTROLADOR O UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICA (ECU)

El controlador es un sistema informatizado que se encarga de recibir información del conductor y de los sensores para transmitirla al motor, además de coordinar el resto de los elementos que forman el sistema. Entre sus funciones destacan reaccionar ante la señal de aceleración del pedal enviando más o menos corriente al motor, regular la velocidad y el par solicitado, limitar el número de revoluciones y corriente, proteger las baterías programando el gasto para niveles bajos de batería, función anti-arranque, parada de seguridad en caso de sobrecarga o altos niveles de temperatura, etc.

2.4.7. ACELERADOR

En los vehículos modernos, la proporción de componentes eléctricos es cada vez mayor y entre ellos, cabe destacar el pedal del acelerador. El principio básico de funcionamiento es traducir el posicionamiento del pedal en una señal eléctrica que es recibida e interpretada por la unidad de control para mandar la orden correspondiente al motor.

2.4.8. CARGADOR

Este elemento absorbe la electricidad de forma alterna directamente desde la red y la transforma en corriente continua para poder cargar las baterías. Para conseguir esta transformación en corriente continua, los cargadores internos, es decir, están instalados dentro del vehículo, disponen de un rectificador de corriente. Sin embargo, si se utiliza un punto de carga ultra-rápida de corriente continua, es posible cargar la batería directamente. Estos puntos de carga constan de una potencia de 50kW mientras que los de carga convencional de 3,6 a 11kW aproximadamente.



Ilustración 7: Tipos de cargadores^[6].

2.4.9. SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE LA BATERÍA DE TRACCIÓN

Las condiciones ambientales en las que está trabajando la batería afecta mucho a su rendimiento e incluso a su vida útil. Por este motivo, un criterio de diseño es conseguir un rango térmico ideal en el compartimento de las baterías a partir de un sistema de refrigeración. Es importante tener en cuenta que este sistema consume energía, disminuyendo la autonomía del vehículo.

Durante la carga o descarga las baterías aumentan de temperatura siendo imprescindible refrigerar para mantener las condiciones óptimas de funcionamiento. La temperatura ambiente influye en el rendimiento de las baterías: bajas temperaturas la densidad energética disminuye y, por tanto, se reduce la autonomía del vehículo, pero la vida útil de las baterías no se ve afectada. Sin embargo, a altas temperaturas, no solo a la capacidad energética es afectada si no que su vida útil también.

2.4.10. SERVOFRENO ELÉCTRICO

Los vehículos eléctricos llevan instalado una bomba de vacío eléctrica para asistir al servofreno.

2.5. Situación actual de conversiones de vehículos a eléctrico en España

La industria dirigida a convertir vehículos a eléctrico ha ido creciendo a lo largo de los años en todo el mundo. La mayoría de estas conversiones son realizadas por aficionados que aprovechan un coche cuyo motor no funciona o vehículos antiguos o defectuosos que son más baratos de adquirir. La mayoría de las conversiones se llevan a cabo en EEUU o en América Latina donde las legislación sobre las reformas en vehículos son menos restrictivas que en España.

Actualmente en España van surgiendo poco a poco pequeñas iniciativas para llevar a cabo estos proyectos. Hay empresas específicas como Avia, que se dedica a electrificar camiones pesados o Powertrack, una empresa tecnológica que ha patentado un sistema

eléctrico llamado InfiTran, un sistema de transmisión de potencia innovador. La conversión en los camiones resulta ser más flexible debido a la disponibilidad de mayor espacio para situar las baterías.

El objetivo de estas pequeñas empresas es minimizar el coste de conversión disminuyendo el coste de la homologación del vehículo convertido. Esto se consigue diseñando y fabricando un kit de conversión que pueda ser instalado en una amplia gama de coches, de manera que las pruebas de homologación se realizan una sola vez.

Otro ejemplo es una empresa española, QEV Technologies, ha desarrollado un kit completo de electrificación que permite convertir los autobuses de Filipinas en vehículos completamente eléctricos. Con tecnología completamente española, la empresa española QEV Technologies diseña, construye y homologa vehículos eléctricos, gestiona equipos de carreras, provee servicios de electromovilidad, desarrolla desde cero vehículos cien por cien eléctricos y fabrica kits para electrificar vehículos de combustión, con es el caso del Astrokit, diseñado para los famosos autobuses Jeepney de Filipinas^[13].

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. DIFERENCIAS ENTRE MOTOR ELÉCTRICO Y MOTOR COMBUSTIÓN INTERNA

En este apartado se van a explicar las principales diferencias que existen entre los motores de combustión interna y los motores eléctricos.

3.1.1. SENCILLEZ

Para comenzar, el funcionamiento del coche eléctrico es mucho más sencillo que el de un motor térmico. El número de piezas que constituyen un motor eléctrico es notablemente más reducido que el de un motor de un vehículo convencional. Esto hace que el mantenimiento de un motor eléctrico sea menos costoso y más sencillo que el de un motor térmico y, además, las dimensiones y peso del motor eléctrico son mucho más ajustados.

A partir de las imágenes 6 y 8, se puede observar las grandes diferencias en tamaño y piezas de ambos motores.

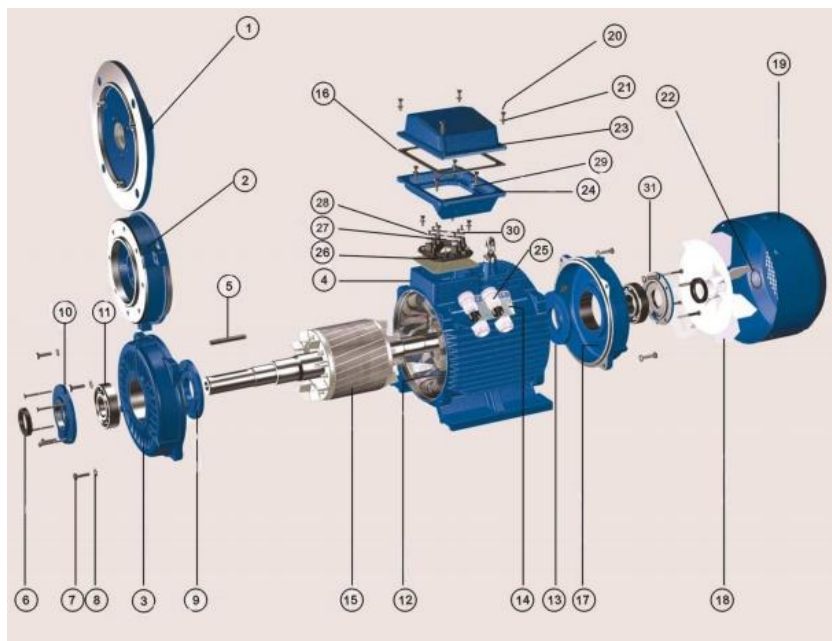


Ilustración 8: Ejemplo despiece motor eléctrico de inducción^[9].

| | | | |
|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|
| 1 Brida B5 | 9 Tapeta rod. interna | 17 Escudo trasero | 25 Prensa-estopas |
| 2 Brida B14 | 10 Tapeta rod. Ext. | 18 Ventilador | 26 Placa bornas |
| 3 Escudo delantero | 11 Rodamiento | 19 Protección Vent. | 27 Bloque conex. |
| 4 Cuerpo motor | 12 Estator | 20 Tornillo | 28 Bornas |
| 5 Chaveta | 13 Tapeta rod. Int. | 21 Arandela fijación | 29 Cáncamo |
| 6 Junta estanqueidad | 14 Placa caract. | 22 Fijación ventilador | 30 Bloque bornas |
| 7 Tornillo | 15 Rotor | 23 Tapa caja bornas | 31 Tapeta rod. Ext. |
| 8 Arandela | 16 Junta | 24 Base placa bornas | |

Ilustración 9: Lista de materiales motor eléctrico^[9].

Mientras que los de combustión albergan gran cantidad de piezas constituyendo una mecanismo de gran tamaño y volumen.



Ilustración 10: Ejemplo despiece de un motor térmico^[6].

En cuanto al sistema de arranque, los motores de combustión interna necesitan la presencia de un motor eléctrico (motor de arranque) que provoque el movimiento del cigüeñal para que pueda iniciarse así el ciclo de funcionamiento autónomo. Este motor eléctrico está conectado al cigüeñal a través de un embrague que se desacopla automáticamente después de producirse el arranque del motor de combustión.

3.1.2. RENDIMIENTO

Los motores eléctricos presentan curvas características bastante parecidas a las curvas ideales que se requieren en tracción tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen.

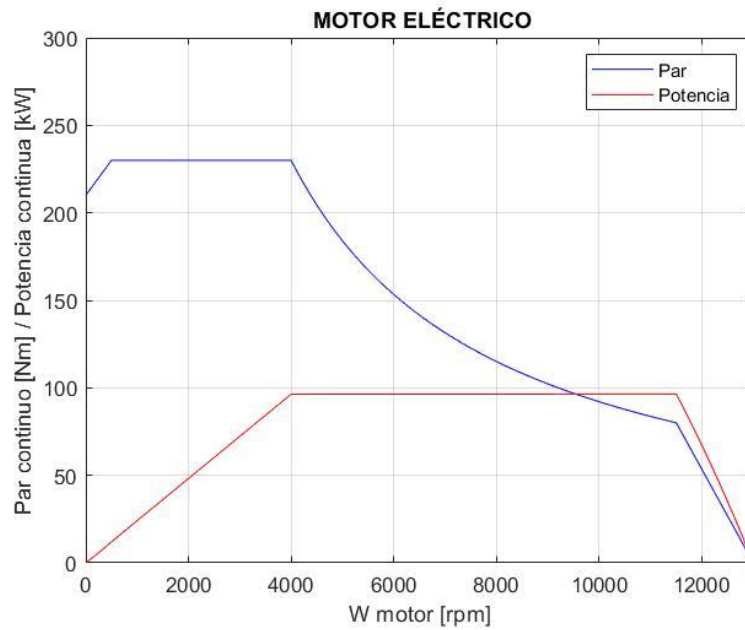


Ilustración 11: Gráficas par/potencia-velocidad de un motor síncrono de imanes permanentes. Realizado con Matlab R2019a

La principal ventaja de los motores eléctricos es que el par que proporcionan es constante en todo su rango de velocidades, pudiendo dar el máximo par a bajas revoluciones y pares reducidos a altas velocidades.

Por el contrario, en la Ilustración 12 se han representado las curvas características de potencia y par de dos motores reales diferentes.

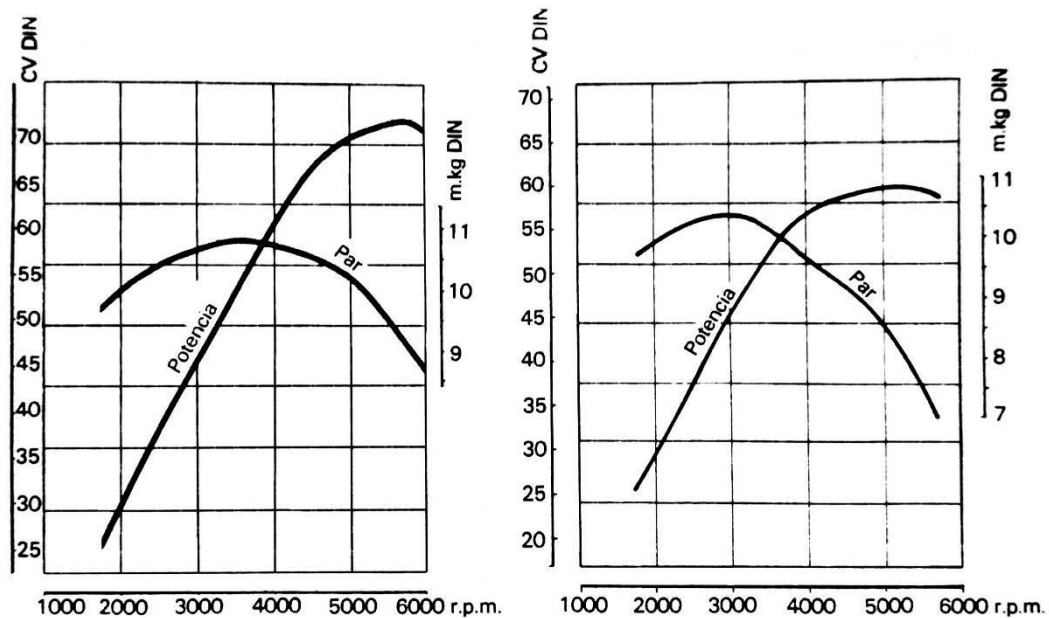


Ilustración 12: Curvas características potencia par motor

Como se puede observar en las gráficas, debido a que el par a bajas revoluciones es bajo, se hace necesaria la disposición de una reductora o caja de cambios, la cual permite que

el motor trabaje a la velocidad en la que entrega el máximo par. Añadir una caja de cambios reduce el rendimiento total debido a las pérdidas mecánicas que se producen en los engranajes.

Los motores de gasolina pueden llegar hasta el 25% de rendimiento ya que el 75% restante se pierde en forma de calor durante el proceso y en los de diésel llegan hasta un 40%. En los coches eléctricos la eficiencia energética del motor podría llegar a ser hasta del 98% ya que no hay procesos de combustión y las partes móviles del mismo son mínimas.

En un motor de combustión interna el fluido de trabajo (gasolina/diésel) se transforma a lo largo de los diferentes procesos convirtiéndose la energía química en energía mecánica. Los motores de encendido por compresión siguen un ciclo Diésel. Estos se caracterizan porque comprimen aire y al inyectar el combustible, debido a las altas presiones, se produce la explosión. En cuanto a los motores de encendido provocado, se comprime una mezcla de gasolina y aire produciéndose un aumento de la presión y temperatura provocando la combustión al salto de una chispa en la bujía.

En toda máquina térmica o mecánica existe una serie de pérdidas de energía durante la transformación de la energía en trabajo. Estas se pueden clasificar en pérdidas térmicas (refrigeración y escape) y pérdidas mecánicas (fricción, rodamientos, etc.) que engendran calor que es necesario disipar. Estas pérdidas de calor reducen el rendimiento térmico, ya que es el calor el que produce la expansión del gas, creando la elevada presión que empuja el pistón. Tanto el diámetro del cilindro como la relación de compresión influyen en el rendimiento térmico del motor, ya que permiten un recorrido más largo de propagación de los gases y un volumen mayor, dando lugar a un mejor enfriamiento de los mismos (menos pérdidas en forma de calor). Por ello, la eficiencia térmica de un motor de gasolina sobrepasa raramente el 0,3 y los de diésel están muy próximos al 0,45.

Además del rendimiento térmico, hay que tener en cuenta los rozamientos a vencer durante el ciclo. Éstos son los que más afectan al rendimiento mecánico. Los pistones y sus segmentos ejercen una fuerte presión contra las paredes del cilindro que acentúan el rozamiento y los cojinetes de apoyo del cigüeñal y las propias bielas producen un rozamiento considerable. Las cifras de las pérdidas en el rendimiento mecánico oscilan entre el 10 y 15%.

Por tanto, solo una pequeña parte de la energía calorífica del combustible quemado se transforma en energía mecánica. El resto se disipa de diversas formas. La Ilustración 13: Balance térmico de un motor de combustión^[14]. muestra un diagrama de Sankey que presenta el balance energético en forma de términos que entran y salen.

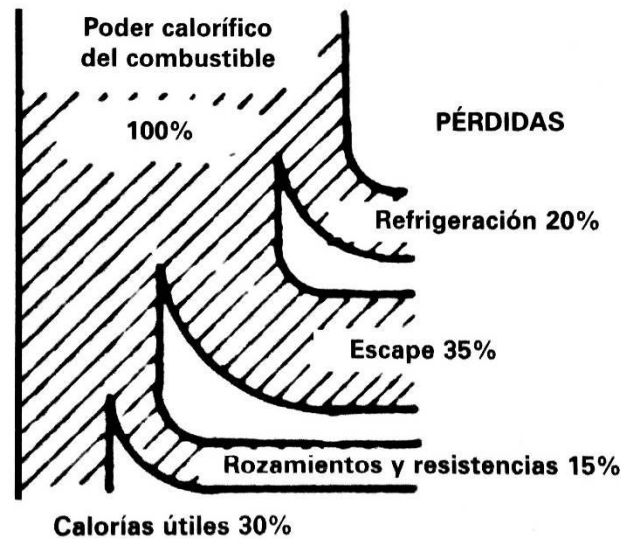


Ilustración 13: Balance térmico de un motor de combustión^[14].

3.1.3. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Y ACÚSTICA

Es importante mencionar que los motores eléctricos no emiten gases contaminantes al contrario que los motores de combustión. Los principales gases emitidos por estos motores son^[15]:

- ✘ Monóxido de carbono (CO): se producen debido a la combustión incompleta de hidrocarburos. Provocan efectos sobre el aparato respiratorio y circulatorio.
- ✘ Dióxido de Carbono (CO₂): este gas en exceso provoca el efecto invernadero.
- ✘ Hidrocarburos: partículas que surgen debido a combustiones incompletas.
- ✘ Óxidos de nitrógeno (NO_x): generados por una combustión a temperatura demasiado alta. Estos contaminantes tienen la capacidad de reaccionar produciendo otros contaminantes.
- ✘ Óxidos de azufre (SO_x): generados en la combustión de combustibles fósiles.
- ✘ Partículas

En cuanto al ruido, los motores eléctricos no emiten sonido durante su funcionamiento, al contrario que los motores de combustión.

3.1.4. CONCLUSIÓN

En el caso de un motor eléctrico, las prestaciones de par y potencia son notablemente superiores a las de un motor de combustión. Centrándonos en los motores de corriente alterna, incorporando un buen control de vectorial, se puede conseguir entregar el par máximo de manera constante durante un gran rango de velocidad. Este efecto permite, además, no tener que incluir una reductora de las mismas dimensiones que en el caso de un motor de combustión.

Para concluir, los motores de combustión han sido los gobernantes en el sector de la automoción; sin embargo, se ha comprobado que los motores eléctricos alcanzan las

mismas prestaciones mejorando incluso aspectos como el rendimiento, el peso, el volumen y la sencillez. Además de reducir las emisiones y el ruido a cero. No obstante, el principal e importantísimo inconveniente de los motores eléctricos ha sido siempre la dificultad de conseguir baterías que permitan una buena autonomía y desarrollar una necesaria infraestructura de estaciones de recarga.

Con este desarrollo se cumple el objetivo 1 del proyecto.

3.2. MINI 1275 GT

Como se ha introducido anteriormente el proyecto se va a diseñar basándose en un MINI 1275 GT de 1971.

El motor del Mini GT es un cuatro cilindros colocado transversalmente con 1275 c.c. y cigüeñal de tres apoyos. Ofrece una potencia máxima de 60 CV a unas 5250 revoluciones. A continuación, se adjuntan todas las características del motor.

| MOTOR | | 850 | 1000 | 1275 GT |
|---------------------------------|--------------------|------------|-------------|----------------|
| Tipo de motor: | | 8 MB | 99 H | 12 H |
| Diámetro: | mm | 62,94 | 64,588 | 70,61 |
| Carrera: | mm | 68,26 | 76,2 | 81,28 |
| Cilindrada: | cm ³ | 848 | 998 | 1275 |
| Relación de compresión: | | 8,3 a 1 | 8,3 a 1 | 8,8 a 1 |
| Presión de compresión: | kg/cm ² | 10,5 | 10,5 | 12,6 |
| Presión media: | kg/cm ² | 9 | 9,14 | 9,4 |
| Régimen correspondiente: | r.p.m. | 2.900 | 2.700 | 3.500 |
| Potencia máxima (B.H.P): | C.V. | 34 | 38 | 60 |
| Régimen correspondiente: | r.p.m. | 5.500 | 5.250 | 5.250 |
| Par máximo: | m.kg | 6,08 | 7,28 | 9,4 |
| Régimen correspondiente: | r.p.m. | 2.900 | 2.700 | 2.500 |

Ilustración 14: Datos técnicos MINI 1275 GT^[16]

En cuanto a las curvas par motor-potencia del MINI 1275 GT sólo podemos mostrar unas gráficas obtenidas aproximadamente de lo que serían destacando los dos puntos de potencia y par motor que sí se conocen: par máximo y régimen correspondiente y potencia máxima y régimen correspondiente, según los datos técnicos proporcionados.

En la Ilustración 15 se muestran las dos gráficas calculadas aproximadamente de potencia y par motor.

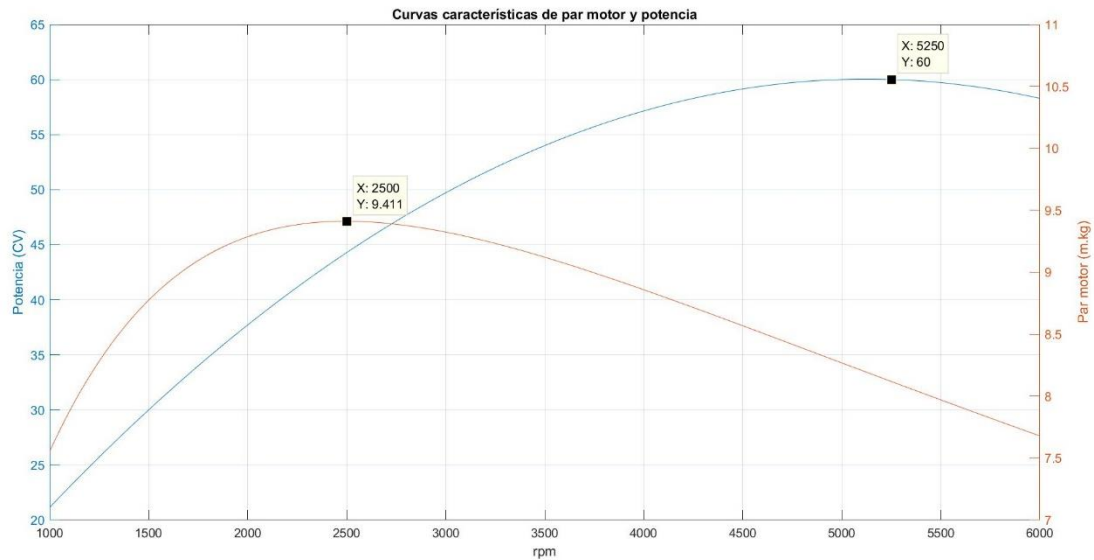


Ilustración 15: Curvas aproximadas par/potencia-velocidad MINI 1275GT. Realizado con Matlab R2019a

Este motor 1275 GT ofrece un valor de par débil a un régimen medio de 2500 rpm y su valor de potencia máxima no se alcanza hasta casi las 5500 vueltas.

El par motor es el esfuerzo de rotación producido por la fuerza de la explosión aplicada a la biela y transmitida por ésta al codo del cigüeñal para hacerle girar. A bajas revoluciones la cantidad de gases que entran en la cámara es menor que si la velocidad aumenta y se está acelerando, produciéndose así un llenado más perfecto y un mayor valor de la presión en el cilindro. Sin embargo, a muy altas revoluciones, el pistón sube y baja muy deprisa; las válvulas se abren y cierran muy rápido, y los gases, aun manteniendo el pedal a fondo, no consiguen el llenado completo. Debido a esto el máximo par motor no se da al máximo régimen de giro.

A continuación, se muestra imágenes de un Mini 1275 GT.



Ilustración 16: Mini 1275 GT



Ilustración 17: Vista del motor de cuatro cilindros transversal



Ilustración 18: Vista del maletero y depósito

3.3. DESMONTAJE

En este apartado se van a indicar qué elementos se ven afectados en la conversión, cómo y por cuales serán sustituidos. A la hora de realizar la conversión de un coche, lo primero que se suprime es el motor de combustión interna. En el caso del 1275 GT, el motor cuenta con 4 cilindros en línea, con cigüeñal de tres apoyos; el árbol de levas es lateral y la distribución es mandada por cadena; válvulas en cabeza mandadas por varillas y balancines. Del equipo exterior del motor, se prescinde del filtro del aire, los dos carburadores, las bombas de gasolina, el depósito, el tubo de escape, el colector de escape, el circuito de refrigeración, el radiador y el sistema de ventilación completo. El motor eléctrico cuenta con su propio sistema de refrigeración líquida.

En cuanto a la transmisión, solo se mantendrá la caja acoplados los ejes a la segunda relación. Por tanto, se suprime el embrague, el cilindro de accionamiento del embrague y el pedal del embrague. El fin del volante de inercia es mantener el movimiento cuando el par motor que lo propulsa cesa. En los motores de explosión de 4 tiempos se genera par en un ciclo de cada cuatro provocando que el par de salida del motor no sea constante. Este hecho no sucede en el caso de los motores eléctricos y, por tanto, no es necesario añadir una inercia adicional para mantener el movimiento del eje.

Del equipo eléctrico, la batería de 12 V no es de utilidad ya que el nuevo sistema se encargará, a través del convertidor, de proporcionar dicha tensión. También se prescinde del motor de arranque de corriente continua de 12 V junto con la dinamo, aun usada en los coches en esta época para generar electricidad.

3.4. DISEÑO

En esta sección se va a estudiar cada uno de los nuevos componentes en profundidad, así como su instalación en el coche y en caso de que sea posible, se elegirán los dispositivos que mejor convengan para el proyecto tras el estudio y análisis realizado.

3.4.1. MOTOR

La elección del motor eléctrico se basa en elegir aquel que presente la mejor combinación entre los siguientes factores: tipo, voltaje, potencia, tamaño, sencillez, certificación homologada, etc.

3.4.1.1. TIPO DE MOTOR

Anteriormente se han explicado los diferentes tipos de máquinas eléctricas disponibles que podrían utilizarse como sistema de tracción en un coche. Por tanto, la primera decisión se centra en elegir el tipo de motor que se va a instalar: o bien, un motor de inducción, bien, un motor síncrono de imanes permanentes, o bien un motor de corriente continua sin escobillas.

El motor de corriente continua son motores más caros de fabricar, lo que aumenta su precio final. Dependiendo del tipo de motor, requieren mayor o menor mantenimiento. En este tipo de motores prima la carga y la potencia frente a la precisión. En cambio, los motores de corriente alterna son más económicos, debido a su fabricación más sencilla, y suelen emplearse en procesos en los que la precisión es un aspecto importante. Durante la década de 1990, todos los híbridos estaban equipados con motores de corriente continua sin escobillas, continuando así hasta día de hoy, decantándose los fabricantes a destinar el uso de los motores de corriente continua a híbridos, donde la demanda energética no es muy alta, y los motores de corriente alterna a los vehículos puramente eléctricos.

Decantarse entre un motor síncrono de imanes permanentes o de inducción se basará en la disponibilidad, el precio y, dependiendo del vehículo. Entre las opciones disponibles, la mejor opción para un coche con las características de un mini es un motor síncrono de imanes permanentes.

Estos motores síncronos de imanes permanentes tienen un mayor rendimiento, menor tamaño y mayor eficiencia que los motores de inducción. Al sustituir la jaula de ardilla o el bobinado por imanes permanentes se garantiza menores pérdidas creadas por el efecto Joule (desprendimiento de calor provocado por el movimiento de electrones) y, por tanto, se produce una menor elevación de la temperatura. En comparación con un motor de inducción de la misma potencia, el porcentaje de volumen se reduce considerablemente debido a la supresión del bobinado.

3.4.1.2. VOLTAJE

Otra de las variables a estudiar es el nivel de voltaje que se va a suministrar al motor que depende de las baterías y su tensión nominal. Existen motores de alto, medio y bajo voltaje.

Los motores con niveles altos de tensión son muy favorables debido a que, a mayor tensión, menor es la corriente necesaria y, por tanto, el bobinado del rotor disminuye, minimizando pérdidas y peso y aumentando el rendimiento del motor. Sin embargo, el problema se halla en la seguridad del vehículo. Se trata de alta tensión y cualquier mal contacto debido a un fallo en el aislamiento es mortal. La mayoría de los vehículos eléctricos que se venden hoy en día, utilizan motores de alta tensión; no obstante, tratándose de una conversión, no es aconsejable. De manera contraria, los motores de baja tensión obligan a aumentar los niveles de intensidad que exigen bobinados más grandes convirtiéndolos en motores menos eficientes y más pesados. Por tanto, se ha optado por un motor síncrono de imanes permanentes de medio voltaje.

3.4.1.3. OPCIONES

Una vez reducido el marco de posibilidades a un tipo de motor, se estudiarán dos motores síncronos concretos para establecer cuál es el más idóneo para la realización del proyecto.

El EMRAX es una empresa eslovena que diseña motores síncronos de imanes permanentes de flujo axial disponibles en una gama de combinaciones de par y velocidad y de diferentes opciones de refrigeración. El uso de estos motores es en aplicaciones de automoción, deportes de motor, marítimas, industriales y aeroespaciales. Entre la gran variedad de motores que ofrecen, la opción que mejor se podría adaptar a la conversión del mini 1275 GT es el EMRAX 228. Este motor está disponible para los tres niveles de tensión: bajo, medio y alto, aunque se elegirá el de nivel medio.

Los datos técnicos principales del EMRAX 228 son los siguientes:

Tabla 2: Datos técnicos EMRAX 228^[18].

| Dato Técnico | EMRAX 228 |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| Refrigeración | Líquida |
| Peso [kg] | 12,3 |
| Potencia máxima a máxima velocidad [kW] | 100 |
| Velocidad máx. [rpm] | 5500 (6500 unos segundos) |
| Par máximo (unos segundos) [Nm] | 240 |
| Par nominal [Nm] | 120 |
| Pares de polos | 10 |
| Eficiencia [%] | 92-98 |
| Inercia del motor [kg·m ²] | 0,0421 |

Una de las ventajas del EMRAX 228 es que ya había sido utilizado por el equipo ICAI SPEED CLUB que compite con un Formula Electric en la Formula Student Spain como sistema de tracción para el IFS-02. Por tanto, el motor ya ha sido probado en la

universidad dando buenos resultados, además de tener disponible un trabajo de fin de grado del ajuste del control vectorial del motor, así como los cálculos necesarios para conseguir todos sus parámetros importantes a partir del datasheet, realizado por un alumno perteneciente al equipo.



Ilustración 19: Motor EMRAX 228^[18]

La otra opción es el motor TM4 MOTIVE MV275 de la empresa canadiense DANA. Estos motores cuentan con un sistema integrado de imanes permanentes que alcanzan altas velocidades e inversores electrónicos de alta densidad de potencia y controles avanzados. La ventaja de estos motores es que están diseñados de acuerdo con los estándares ISO26262 siendo estos sistemas solución para vehículos comerciales de hasta clase 2.

Las prestaciones de estos motores están mostradas a continuación:

Tabla 3: Datos técnicos motor MOTIVE MV275^[19].

| Dato Técnico | MOTIVE MV275 |
|------------------------|--------------|
| Refrigeración | Líquida |
| Peso [kg] | 42 |
| Potencia pico [kW] | 120 |
| Par pico [Nm] | 275 |
| Potencia continua [kW] | 70 |
| Par continuo [Nm] | 120 |
| Velocidad máx. [rpm] | 11000 |

El sistema motor/inversor MOTIVE MV275 reúne:

- Motor de imanes permanentes de 3 fases

- Bajo nivel de ruido electromagnético audible
- Protección térmica
- Inversor de medio voltaje (450 Vdc máximo durante 30 segundos a 45°)
- Medidas:

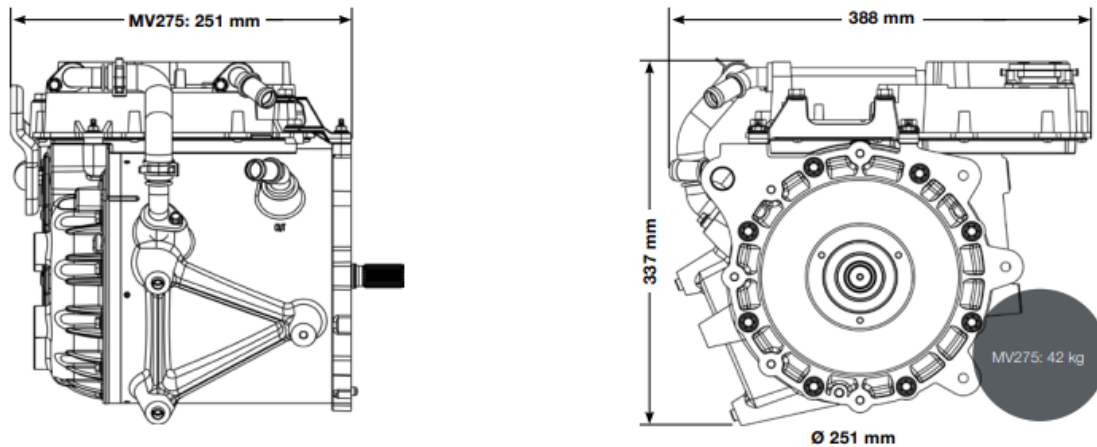


Ilustración 20: Medidas del motor MOTIVE MV275^[19].

3.4.1.4. ANÁLISIS DINÁMICO

Una vez elegido el tipo de motor y haber seleccionado diferentes opciones disponibles en el mercado, se debe realizar antes un estudio de las fuerzas a las que el coche se somete y poder calcular de esta forma la potencia mínima necesaria que debe rendir el motor que se va a instalar. De esta forma, se asegura que el motor elegido es óptimo para las características del coche en el que se va a instalar, además de poder justificar así su elección.

En los vehículos más modernos, la carga máxima viene indicada en la ficha técnica como MMA (masa máxima autorizada en circulación por las vías públicas); sin embargo, en los coches antiguos la MMA no suele aparecer indicada. Por esta razón, hacemos un cálculo aproximado según los ocupantes y la capacidad del maletero.

El mini 1275 GT tiene capacidad para 4 ocupantes y un maletero. Por tanto, aproximadamente la carga máxima del coche podría ser 4*75 kg de media para los ocupantes más unos 40 kg de carga en el maletero. La capacidad del depósito de combustible es de 36 litros, que con una densidad de 680 kg/m³ de la gasolina, se reduce a unos 25 kg. La tara del mini 1275 GT es de 655 kg aproximadamente.

La carga máxima aproximada del Mini original sería entonces:

$$MMA = 1020 \text{ kg}$$

La tara del vehículo convertido es igual a la tara original menos el motor de combustión interna más todos los componentes involucrados, menos el depósito con el combustible, más el nuevo motor eléctrico y las baterías:

Baterías de tracción= 165 kg

Motor eléctrico= 42 kg

Motor de combustión=80kg (se incluyen todos los elementos que no son necesarios como sistema de refrigeración, volante inercia, embrague, tubo de escape, etc.)

Depósito gasolina= 30kg

Capacidad maletero= 40 kg

Batería de 12 V= 10 kg

Elementos necesarios como placa adaptadora, convertidor, etc. = 8 kg

$$Tara\ final = 655 - 80 - 10 + 42 + 165 + 8 = 780\ kg \quad [1]$$

Teniendo en cuenta que las baterías ocupan todo el espacio del maletero, para el cálculo de la carga máxima aproximada, no se tiene en cuenta ninguna posible carga en el maletero ya que no hay espacio suficiente y se suprime también el peso de la batería de 12V. Finalmente, se establece una carga máxima para el mini convertido de 1080 kg.

$$MMA_{ELÉCTRICO} = 780 + 4 * 75 = 1080\ kg \quad [2]$$

Para poder elegir bien un motor para un vehículo se debe estudiar las fuerzas a las que va a estar sometido, calcular los pares que debe afrontar y la potencia mínima que va a necesitar el motor, además de analizar las diferentes situaciones a las que se va a hacer frente un vehículo.

FUERZAS

Primero hay que identificar las fuerzas que afectan al movimiento de un vehículo. Cada ecuación obtenida se introducirá en Matlab para obtener los resultados y las gráficas necesarias del vehículo.

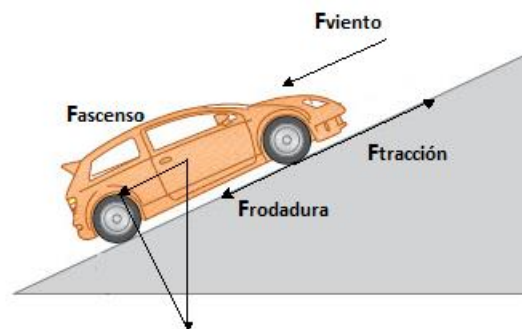


Ilustración 21: Esquema de fuerzas que afectan a un vehículo en movimiento

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

En primer lugar, la resistencia a rodadura se produce en el momento en el que un cuerpo rueda sobre una superficie oponiéndose al movimiento de éste.

$$F_{rodadura} = m * g * \mu \quad [N] \quad [3]$$

Siendo,

m; masa del vehículo [kg]

g; gravedad [m/s²]

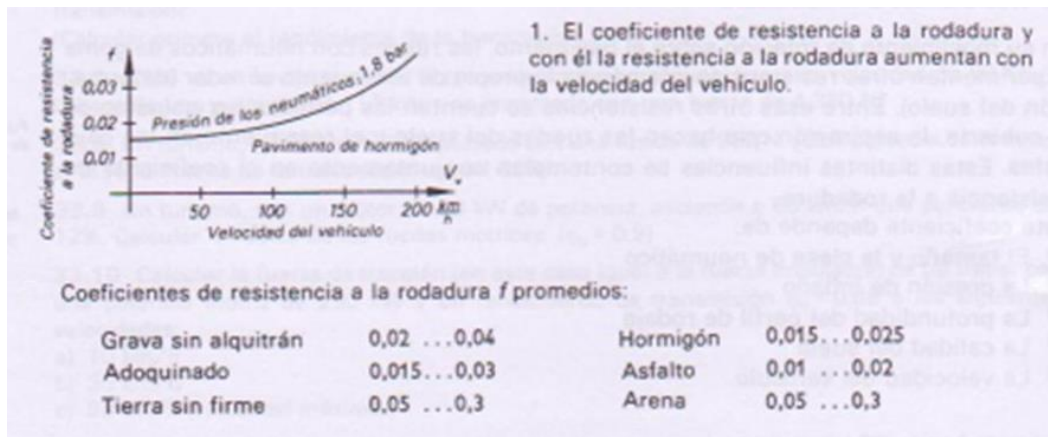


Ilustración 22: Variación del coeficiente a la rodadura en función de la velocidad y el firme.

Se puede apreciar que según el tipo de carretera y la velocidad el coeficiente varía. Por tanto, para cálculos a baja velocidad se tomará $\mu = 0,015$, mientras que a altas velocidades se usará $\mu = 0,02$.

En segundo lugar, se encuentra la resistencia aerodinámica. Esta fuerza se genera debido al paso de un objeto a través del aire.

$$F_{viento} = \frac{1}{2} * A * C_x * \rho_{aire} * v^2 \quad [4]$$

Siendo,

$C_x=0,4$; coeficiente aerodinámico [-]

$A=2 \text{ m}^2$; área aproximada de resistencia al viento del MINI

$\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$; densidad del aire

v; velocidad del vehículo [m/s]

En el posible caso de encontrarse el vehículo subiendo por una pendiente de ángulo ψ , se necesita una fuerza que permita ascender el cuerpo sobre el plano inclinado.

$$F_{ascenso} = m * g * \text{sen}(\psi) \quad [5]$$

Siendo,

ψ ; ángulo que forma el plano con la horizontal.

El código utilizado para las fuerzas en Matlab es:

```
%Fuerzas
N=m*g; %Normal
F_ascenso=N*sin(fi*pi/180);
F_viento=0.5*A*Cx*densidad*v^2;
F_rodadura=N*mu_baja*cos(fi*pi/180);
```

Ilustración 23: Código Matlab de las fuerzas que actúan sobre el vehículo

MOMENTOS

Una vez entendidas todas las fuerzas que actúan sobre un vehículo que se desplaza, se definen los pares necesarios que debería entregar el motor para permitir el movimiento del vehículo.

$$Mm = \alpha_m * \left(Jm + \frac{Jr}{\eta * c^2} \right) + (M_{rodadura} + M_{viento} + M_{ascenso}) * \frac{1}{\eta * c} \quad [6] \quad [Nm]$$

$$M_{viento} = d_{cdg} * F_{viento} \quad [7]$$

$$M_{ascenso} = d_{cdg} * F_{ascenso} \quad [8]$$

$$M_{rodadura} = r * F_{rodadura} \quad [9]$$

Siendo,

c, relación reductora + diferencial

Jm=0,0412 [kgm²]; dato proporcionado por el fabricante (EMRAX)

Jr=m*R² [kgm²]; en la rueda

η ; rendimiento de la transmisión

d_{cdg}; altura del centro de gravedad

Una vez que el vehículo ya ha sido acelerado, el par necesario para mantener el vehículo a una velocidad constante responde a la ecuación:

$$M_m = \frac{Mr}{\eta * c} + \frac{M_{viento}}{\eta * c} + \frac{M_{ascenso}}{\eta * c} \quad [10]$$

Para el caso de los pares, el código en Matlab es:

```
%Momentos
M_ascenso=F_ascenso*(d-r); %PAR NECESARIO EN CASO DE PENDIENTE
M_viento=F_viento*(d-r); %PAR RESISTENCIA AERODINÁMICA
M_rodadura=F_rodadura*r; %PAR RESISTENCIA A RODADURA
```

Ilustración 24: Código Matlab para el cálculo de los pares que afectan al vehículo.

El término (d-r) es la distancia en perpendicular desde el eje de la rueda hasta el centro de gravedad debido a que tanto la fuerza ejercida por el viento y la fuerza de ascenso en una pendiente son aplicadas en el centro de gravedad.

Las fuerzas que más van a afectar a la dinámica del vehículo son tanto la fuerza aerodinámica como la fuerza de ascenso. La fuerza aerodinámica depende de la velocidad al cuadrado, por tanto, si duplicamos la velocidad, el par se cuadruplica. Esto se ve mostrado en la gráfica mostrada a continuación.

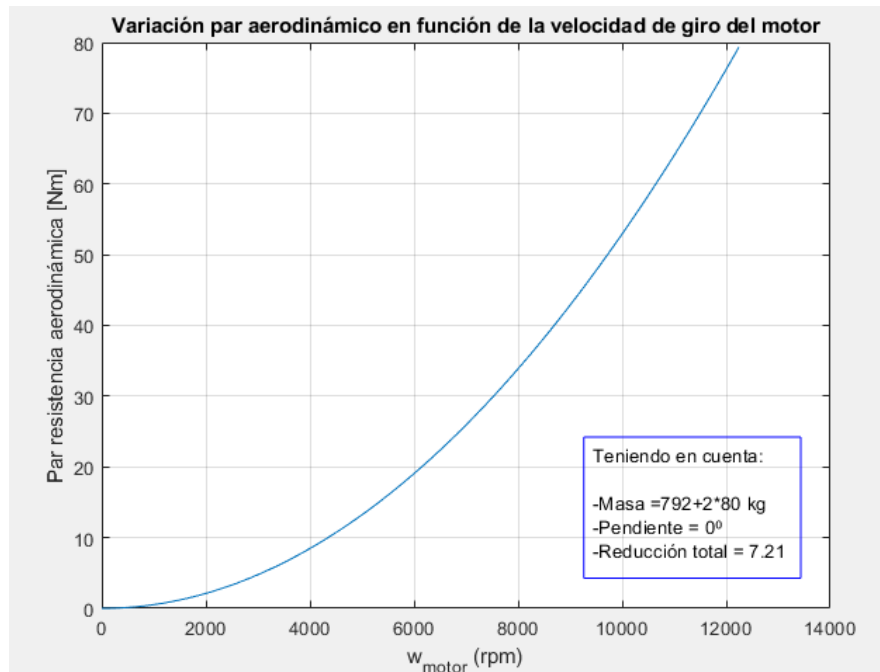


Figure 1: Gráfica explicativa de la variación de la resistencia aerodinámica en función de la velocidad. Realizado con Matlab R2019a

En el caso de subir una pendiente, al depender la fuerza del peso y el seno del ángulo de la pendiente, a una pequeña variación del ángulo el par aumenta considerablemente tal y como se aprecia en la gráfica siguiente. En caso de tratarse de descender una pendiente el par resistente ayudaría a hacer frente a otras fuerzas reduciendo el par motor necesario.

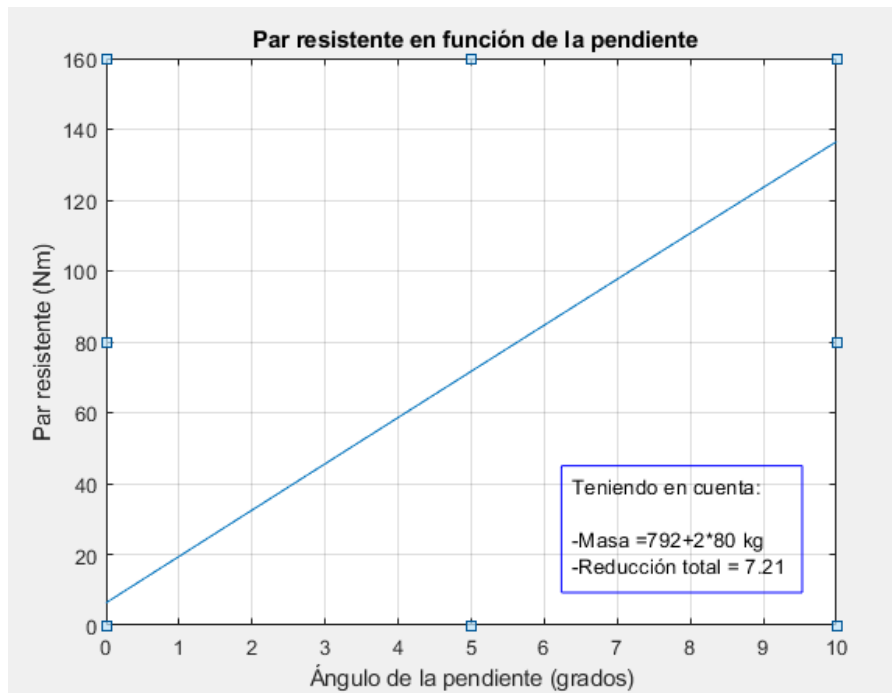


Figure 2: Gráfica explicativa de la variación del par resistente en función del ángulo de la pendiente. Realizado con Matlab R2019a

Por estos motivos es importante analizar diferentes situaciones en cuanto a carga del coche, pendientes, etc. para decidir un motor u otro en función de sus posibilidades.

Con todos estos datos obtenidos, podemos establecer la potencia necesaria para mover el vehículo.

$$P_{motor} = \omega_{motor} * M_m \quad [11]$$

Sin embargo, la potencia suministrada por la batería no solo es igual a la potencia requerida por el motor, sino que hay que tener en cuenta que existen otros elementos en un vehículo que funcionan con energía eléctrica, como luces, sistemas de información, aire acondicionado, calefacción, equipos de sonido, etc. Por ese motivo, la batería tendrá que ser capaz de aportar energía tanto al motor como a todos aquellos accesorios que incluye.

$$P_{batería} = \omega_{motor} * M_m + P_{secundaria} \quad [12]$$


```
%Potencia necesaria del motor  
Pot_motor=omegam*M_motor_const*2*pi/1000/60;
```

Ilustración 25: Código Matlab para el cálculo de la potencia necesaria

Dependiendo de varios factores como la carga final del vehículo, la pendiente de la carretera, la aceleración deseada para el coche, etc. se exigirá al motor una respuesta u otra, pudiendo suceder que uno de los motores no sea apto para una de las diferentes situaciones que pueden darse.

Para ello, se han establecido diferentes casos cuya respuesta será analizada para ambos motores. El programa utilizado es Matlab en el cual se han introducido todas las ecuaciones y obtenido los resultados que se mostrarán a continuación.

Caso I: simulación subida de una pendiente.

- Pendiente $\psi = 11^\circ$
- Peso = $780 + 2 \cdot 80 = 940$ kg (2 ocupantes de media 80 kg) ¹
- Aceleración de 8 a 13 km/h en 3 segundos
- Sin reductora y diferencial 3.44:1

¹Los 780 kg están calculados contando con el peso del MOTIVE MV275 DE 42 kg. En el caso del EMRAX el peso es de 20kg menos.

Para entender los datos, la pendiente de salida de un garaje tiene aproximadamente 11° . El diferencial en este caso del MINI 1275 GT cuenta con una reducción de 3:44 a 1.

La situación establecida es la siguiente:

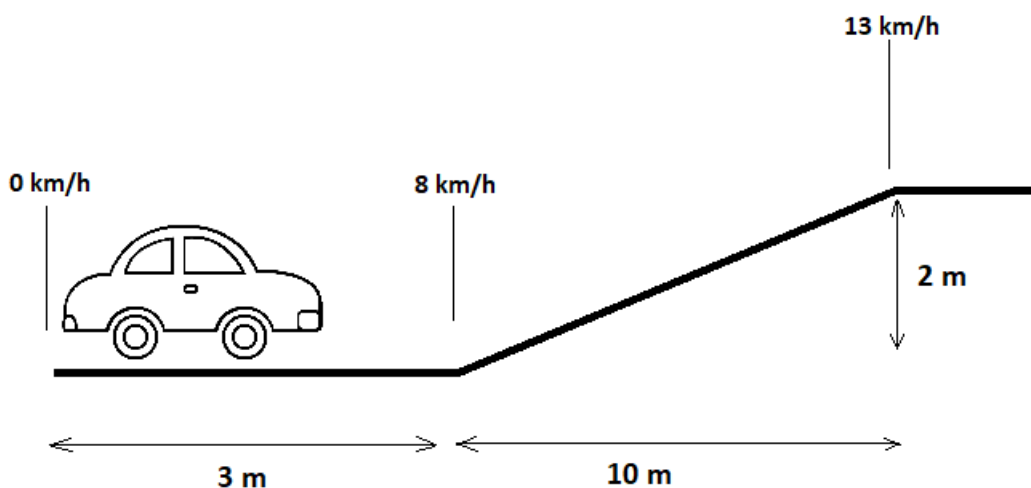


Ilustración 26: Situación del Caso I

En primer lugar, el vehículo avanza hasta llegar a unos 8 km/h y procede luego a subir la cuesta con una pendiente de aproximadamente 11° . Una vez realizados los cálculos, en el

primer tramo el par necesario es de 132 Nm, y durante el segundo tramo el par exigido es de 345 Nm.

Según las características proporcionadas del EMRAX 228, el par máximo durante unos segundos es de 240 Nm, por tanto, este motor sin reductora acoplada no conseguiría dar el par necesario para acelerar el coche aun disminuyendo la carga del vehículo.

En caso del motor MV275, éste tampoco podría suministrar el par necesario en esta situación como se puede observar en el siguiente gráfico. En él se han representado las diferentes curvas: las de potencia y par solicitados y las capaces de suministrar el motor. La curva azul constituye la curva de par máximo alcanzable durante pocos segundos proporcionada por el fabricante. En color rosa se dibuja la curva del par solicitado para cumplir con las condiciones. Se puede comprobar que el par que se tiene que suministrar es mucho mayor del que podría dar el motor para cumplir con las condiciones establecidas previamente.

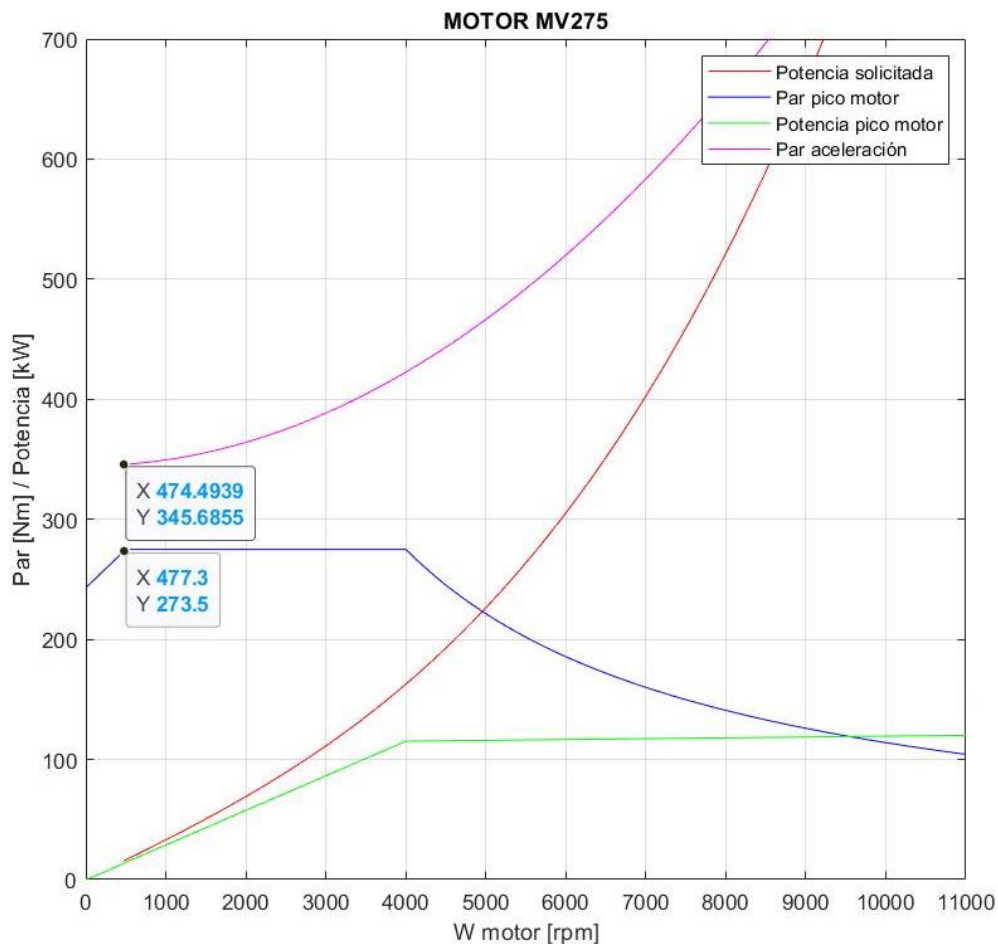


Ilustración 27: Gráfica par-velocidad motor MV275 Caso I. Realizado con Matlab R2019a

Caso I (bis): simulación salida de un garaje. Se instala una reductora 2:1.

- Pendiente $\psi = 11^\circ$

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

- Peso = $792 + 2 \cdot 80 = 952\text{kg}$ (2 ocupantes de media 80 kg)
- Aceleración de 8 a 13 km/h en 3 segundos
- Reductora 2:1 y diferencial 3.44:1

En este caso el par necesario para acelerar el coche es la mitad al caso anterior (174 Nm) por lo que acoplado una reductora 2:1 el motor EMRAX podría perfectamente hacer frente a esta situación.

Sin embargo, la reductora duplicaría la velocidad del motor. Siendo la velocidad máxima del rotor 5500 rpm, el coche no debería superar la velocidad de 75 km/h contando con la reductora.

Por tanto, no solo hay que analizar y estudiar si el motor es capaz de entregar el par necesario si no también si no supera el máximo de revoluciones por minuto que aconseja el fabricante.

En el caso del MV275, debido a que su velocidad máxima de giro es de 11000 rpm se podría instalar perfectamente una reductora siendo esta vez la situación:

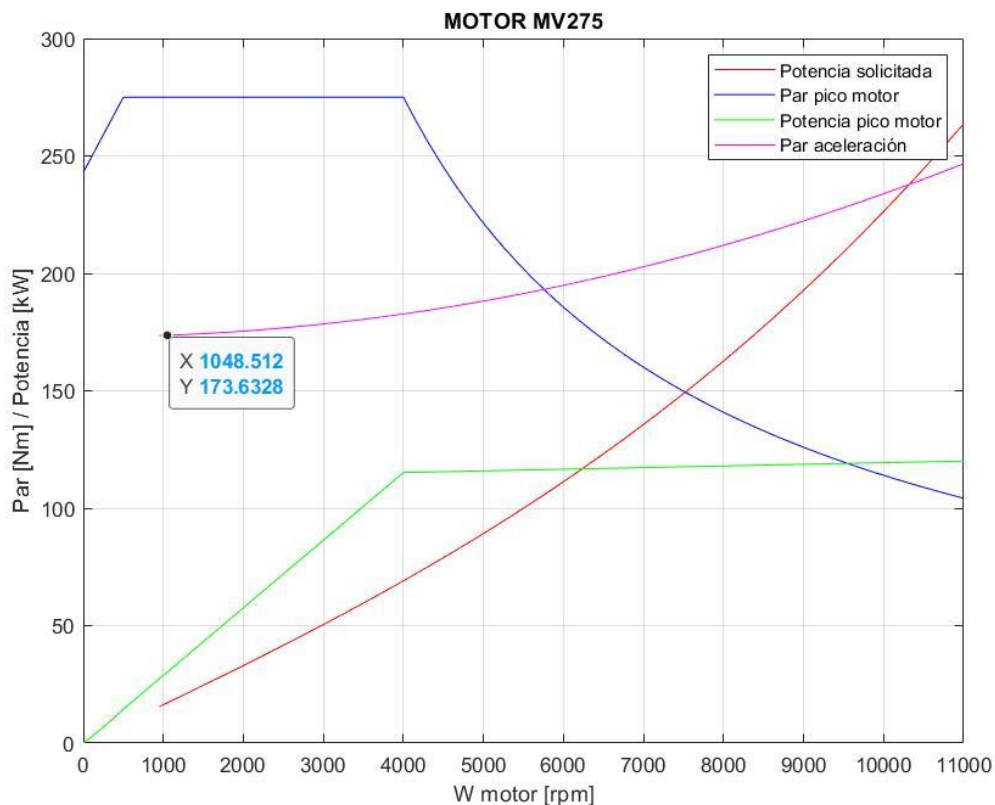


Ilustración 28: Gráficas par-velocidad motor MV275 Caso I bis. Realizado con Matlab R2019a

Caso II: mantener una velocidad máxima de 110 km/h (8000rpm del motor) y con una pendiente del 4% (equivalente a 2,3°) en base a las pendientes máximas estipuladas para carreteras convencionales:

| VELOCIDAD DE PROYECTO (v_p) (km/h) | INCLINACIÓN MÁXIMA (%) | INCLINACIÓN EXCEPCIONAL (%) |
|-------------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| 100 | 4 | 5 |
| 90 y 80 | 5 | 7 |
| 70 y 60 | 6 | 8 |
| 50 y 40 | 7 | 10 |

Ilustración 29: Pendiente máxima de carreteras convencionales en función de la velocidad^[22]

- Peso=1020 kg (3 ocupantes de 80 kg media)
- Pendiente $\psi= 2,3^\circ$
- Reductora 2:1 y diferencial 3,44:1

Para cumplir estos requisitos, el motor tiene que ser capaz de entregar un par constante de 79,17 Nm. En la siguiente gráfica se muestra el par máximo que puede proporcionar el motor en función de las rpm, es decir el margen que da el motor para acelerar.

Por un lado, se observa que el motor, hasta las 10000 rpm, presenta suficiente margen de aceleración teniendo en cuenta que la pendiente impuesta es de $2,3^\circ$. El motor podría proporcionar el par necesario hasta 150 km/h cuando la pendiente es nula.

Por otro lado, solo se representa el par máximo, siendo el par constante que ofrece el motor 120 Nm. Se puede comprobar con esta gráfica también que, en ningún momento el par solicitado es superado por este valor y, por tanto, el motor tiene un gran rango para cualquier velocidad constante en estas condiciones.

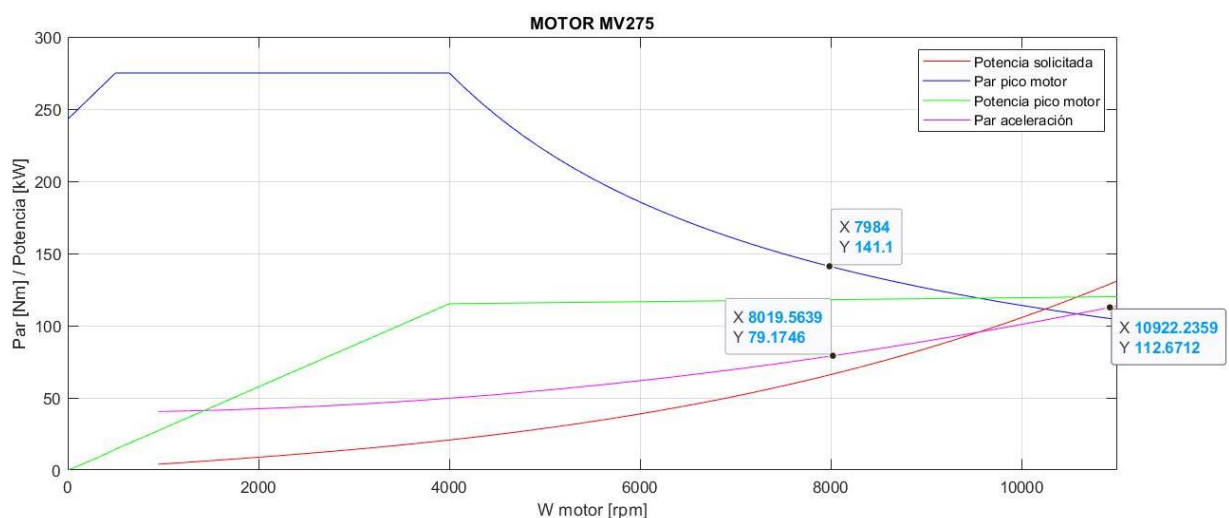


Ilustración 30: Gráfica par-potencia disponible y solicitada para el caso II en función de la velocidad del motor. Realizado con Matlab R2019a

11. CONCLUSIONES

Tras haber realizado este análisis, se recogen las siguientes conclusiones:

El análisis dinámico es necesario para establecer la necesidad o no del uso de una reductora; y en caso afirmativo, conocer qué ratio de reducción es el adecuado para cada tipo de motor. También es importante para saber si el motor es capaz de responder en cualquier situación y con qué margen.

Para este proyecto en concreto, el EMRAX 228 es descartado principalmente debido a la limitada velocidad máxima que puede alcanzar el motor sumándose a este inconveniente la necesidad de añadir una reductora para hacer frente al par resistente del vehículo. Como se ha visto, al añadir una reductora aumenta proporcionalmente la velocidad de giro del motor, reduciendo así la velocidad máxima del vehículo.

Se verá más adelante, la necesidad de instalar otros elementos necesarios en un vehículo eléctrico, por tanto, cuantos más elementos cuente el motor elegido más fácil será el resto del diseño tanto mecánico como eléctrico. Por este motivo, el motor EMRAX 228 no incluye el inversor mientras que el MV275 sí lo lleva integrado. Esto es una gran ventaja debido a que ahorra trabajo en el diseño de su montaje al coche y motor, además de venir establecido el lenguaje motor-inversor facilitando así su programación y configuración.

Por último, con el fin de facilitar la homologación, se cuenta positivamente que el motor en cuestión haya cumplido con la normativa europea en cuanto a seguridad.

Por consiguiente, según el análisis realizado, el motor escogido para la conversión del mini 1275 es el motor TM4 MOTIVE MV275, debido a su diseño compacto y acorde con la normativa ISO, sus altas prestaciones y la integración del inversor en un único sistema. Las ventajas de esto último son la facilidad de la configuración con el motor, la programación de ambos y su comunicación, además de evitar tener que diseñar la sujeción del inversor al motor, así como del cableado.

Otra de las características concluidas realizando el estudio de la respuesta de los motores es el uso de una reductora para conseguir una buena respuesta de los motores ante la demanda de potencia. Debido a la dificultad de encontrar una reductora apta y de realizar su acoplamiento al motor, se ha optado por reutilizar la caja de cambios original. De esta manera, se aprovechará una de las relaciones como reductora, la cual permite al motor trabajar a un buen rango de revoluciones por minuto. Ya que el motor seleccionado es el motor TM4 MOTIVE MV275, la reducción final suficiente (contando con el diferencial) es de 7:1.

A partir de los datos técnicos de la caja de cambios adjuntos a continuación, se ha optado por acoplar el motor a la segunda marcha, con una reducción total de 7,21:1.

Los datos de la caja de cambios del mini se incluyen a continuación:

3.0. DATOS

| Relaciones de desmultiplicación en la caja. | | | | |
|---------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | 850 | 1000 | 1275 GT | COOPER S |
| Primera: | 3,520 a 1 | 3,520 a 1 | 3,300 a 1 | 3,300 a 1 |
| Segunda: | 2,210 a 1 | 2,210 a 1 | 2,070 a 1 | 2,070 a 1 |
| Tercera: | 1,430 a 1 | 1,430 a 1 | 1,350 a 1 | 1,350 a 1 |
| Cuarta: | 1,000 a 1 | 1,000 a 1 | 1,000 a 1 | 1,000 a 1 |
| Marcha Atrás: | 3,540 a 1 | 3,540 a 1 | 3,350 a 1 | 3,350 a 1 |
| Corona-piñón: | 64/17 | 62/18 | 62/18 | 62/17 |
| Relación: | 3,760 a 1 | 3,440 a 1 | 3,440 a 1 | 3,650 a 1 |
| Relaciones de desmultiplicación total. | | | | |
| | 850 | 1000 | 1275 GT | COOPER S |
| Primera: | 13,250 a 1 | 12,130 a 1 | 11,470 a 1 | 12,040 a 1 |
| Segunda: | 8,320 a 1 | 7,630 a 1 | 7,210 a 1 | 7,560 a 1 |
| Tercera: | 5,400 a 1 | 4,930 a 1 | 4,660 a 1 | 4,930 a 1 |
| Cuarta: | 3,760 a 1 | 3,440 a 1 | 3,440 a 1 | 3,650 a 1 |
| Marcha Atrás: | 13,300 a 1 | 12,190 a 1 | 11,530 a 1 | 12,210 a 1 |

Ilustración 31: Datos caja de cambios y diferencial MINI 1275 GT^[16].

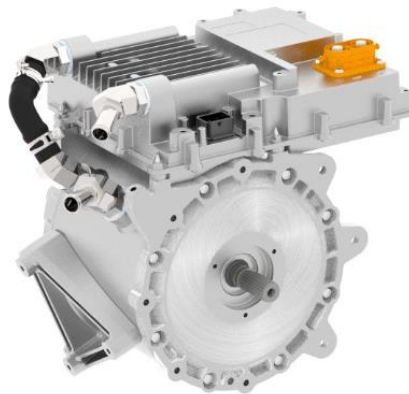


Ilustración 32: Sistema integrado motor-inversor TM4 MOTIVE MV275^[19]

Para terminar con este apartado, este análisis que se ha realizado a ambos motores a partir del estudio de la dinámica del coche sirve para entender la importancia de conocer cuáles son los parámetros que afectan al coche y como a partir de ellos se puede conocer qué es lo que necesita nuestro coche. Las condiciones que se han impuesto al analizar ambos motores son algo exageradas, pudiendo dar otro uso al vehículo más moderado con menos carga o demanda de aceleración, pero pueden darse perfectamente y de esta manera, el

motor sea capaz de dar respuesta. Existen más opciones en el mercado de motores eléctricos válidos para instalar en un coche. El objetivo es estudiar y comprender el rango de valores que se buscan en las prestaciones de los diferentes elementos que conlleva una conversión.

Con este estudio se alcanza el objetivo 4 del proyecto.

3.4.2. INVERSOR

Para este proyecto, el motor que se eligió lleva integrado el inversor en un mismo sistema. En este caso, en las especificaciones que da el fabricante, no se detalla que el inversor desarrolle otras funciones a parte de ofrecer las densidades de potencia y corriente específicas al motor. Es decir, que se necesita incluir una unidad de control y un convertidor al sistema eléctrico del proyecto.

Las características mostradas en la hoja de especificaciones del inversor son las siguientes:

- Alta potencia y densidad de corriente
- Operación en cuatro cuadrantes
- Alta eficiencia
- Frecuencia de conmutación variable
- Sensores de temperatura
- Detección de fallos de comunicación
- Interfaz de comunicación CAN 2.0b
- Control del par o de la velocidad
- Algoritmo de control avanzado para un uso y eficiencia óptimos del módulo de potencia

3.4.3. UNIDAD DE CONTROL

Existen varias opciones en cuanto a la unidad de control que se podría instalar para llevar a cabo la coordinación y la comunicación entre dispositivos en el coche. Una de las soluciones que se plantean es el TM4 NEURO 200. Este controlador ha sido desarrollado por la misma empresa del motor e inversor: DANA TM4.

El TM4 NEUROTM 200 es un controlador totalmente programable diseñado para ser utilizado como la principal unidad de gestión del vehículo. Una característica importante es su diseño de acuerdo con los principios de la norma ISO 26262 para las últimas normas de seguridad y calidad vigentes para vehículos eléctricos e híbridos, permitiendo el desarrollo de múltiples características de control al interactuar estrechamente el sistema de tracción y otros componentes.

Otro factor muy favorable de este controlador en especial es el uso de una plataforma en la cual se podrán desarrollar y elaborar algoritmos de forma rápida en el entorno de Matlab/Simulink. Una vez completado, el software puede programarse fácilmente en la unidad utilizando las herramientas de configuración de TM4.

En cuanto al hardware, la hoja de especificaciones proporcionada por el fabricante detalla:

Procesador:

- Texas Instruments TMS570LC4357
- Dual-Core 300Mhz Lockstep CPU
- ARM Cortex-R5F
- MB Flash with ECC
- 512KB of RAM with ECC
- 32-Bit RISC
- Connector: Molex CMC 80 pins
- Communication: 4 CAN 2.0b and 1 optional LIN
- Material: Encapsulado con termoplástico

Características opcionales:

- Wi-Fi single-band 2.4 GHz
- Real-time clock
- LIN
- Additional EEPROM
- External Flash

Asimismo, la hoja de especificaciones adjunta un esquema de las posibles conexiones que se pueden hacer a la unidad de control.

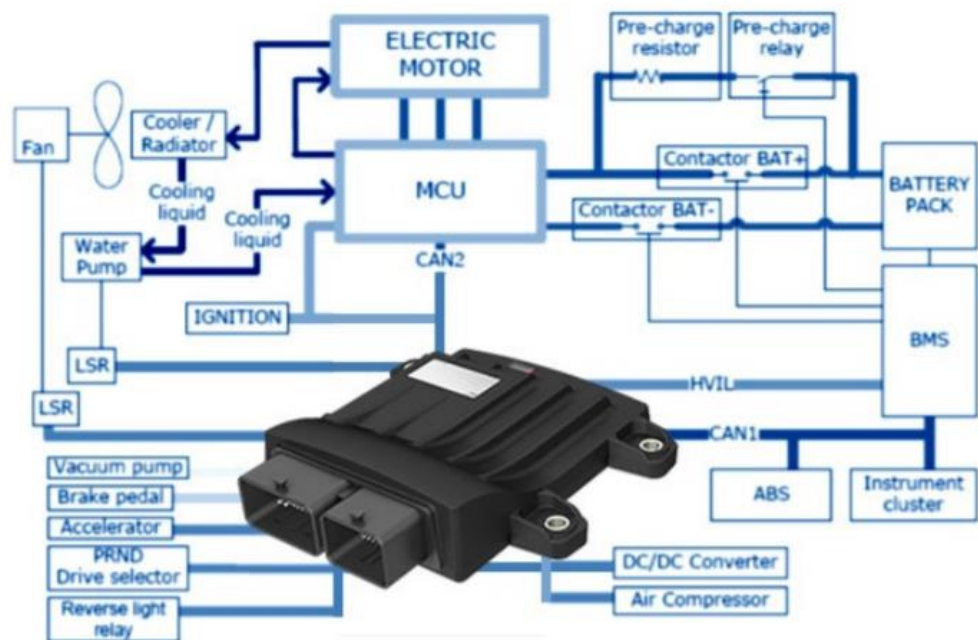


Ilustración 33: Esquema indicativo de las posibles conexiones a la unidad de control^[20]

Este esquema representa las conexiones a la unidad de control de un vehículo eléctrico o incluso híbrido hoy en día. Sin embargo, para el caso de una conversión resulta muy exigente ya que muchos de los dispositivos y componentes ni son originales del coche ni serán incluidos en el proyecto de conversión. Un ejemplo es el MCU. Este elemento electrónico es el cerebro de las funciones de seguridad en el vehículo. Las funciones de

seguridad adquieren información a través de sensores como radares y cámaras. Por ejemplo, la distancia y la velocidad comparativa se determinan a través de radares de láser, de ondas milimétricas y de ondas de ultrasonido que miden el tiempo que tardan en llegar a un objeto y rebotar. Las cámaras de infrarrojos se utilizan para detectar peatones y animales por la noche; mientras que las cámaras normales identifican las señales de tráfico y los obstáculos a la luz del día.

Toda la información de estos sensores y cámaras es enviada y recibida por los microcontroladores incorporados en el sistema de seguridad (MCU). Una vez recibida esa información, éstos son encargados de enviar las señales adecuadas a los actuadores y a la unidad de control (ECU) para asegurar un control seguro del vehículo.

La instalación de estos sensores y cámaras es un paso muy adelantado para una primera conversión. Sin embargo, una vez mejorados todos los procesos de elección, de diseño y de instalación de la conversión, una línea futura podría consistir en estudiar y diseñar la instalación de estos sensores y cámaras, así como el circuito eléctrico implicado y las conexiones entre dispositivos.

Otra posible opción como unidad de control es el Vehicle Control Unit de Bosch. Como controlador, la unidad de control del vehículo (VCU) puede proporcionar la coordinación del par, estrategias de funcionamiento y cambio de marchas, la coordinación de alta tensión y 48V, el control de la carga, la supervisión, la gestión térmica y mucho más.

Además de estas funciones relacionadas con la conducción, las versiones de nivel superior también admiten funciones interconectadas como la guía longitudinal predictiva y automatizada, la conexión del Sistema Avanzado de Asistencia al Conductor (ADAS) y las funciones del controlador de la carrocería.

En conclusión, la función de la VCU es coordinar los controladores del tren de potencia o alojar parcialmente su funcionalidad. Esto incluye, por ejemplo, el control de los inversores, la gestión de la batería, el control de la carga, así como las funciones del vehículo que hoy en día se encuentran en el control de la transmisión y el motor.

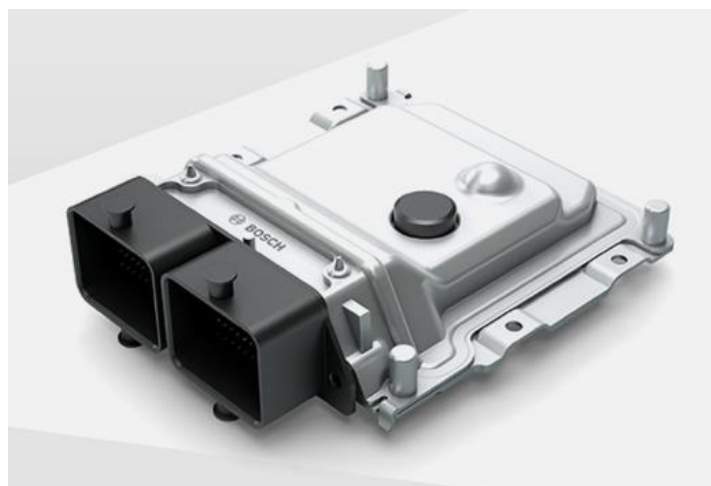


Ilustración 34: Vehicle Control Unit BOSCH ^[20]

3.4.4. CONVERTIDOR

El convertidor será el elemento que proporcionará una tensión de red estable durante el arranque a determinados componentes electrónicos cuyo rendimiento puede ser sensible a los niveles de baja tensión.

Alguna de las soluciones por las que se podría optar son las opciones que ofrece BOSCH. Una de ellas se trata del High Voltage DC/DC Converter Generation 3evo. Este dispositivo diseñado para aplicaciones de automoción entrega energía a la red de 12 V del vehículo. En cuanto a sus características, permite un voltaje de entrada de 250-475V DC y de salida entre 10,5 – 15,5 DC.



Ilustración 35: High Voltage DC/DC Converter Generation 3evo^[20]

3.4.5. BATERÍAS

Las baterías consistirán en módulos de baterías formados por conjuntos de celdas conectadas en serie y/o en paralelo. Tras conocer todos los tipos de baterías que existen y estudiar sus ventajas y desventajas se ha optado para este proyecto implementar baterías de ion litio. Un sistema muy importante es el BMS, Battery Management System. Será el encargado de gestionar las celdas y de establecer la comunicación con el cargador.

Las baterías son el acumulador de energía donde se almacena la electricidad que será transmitida al motor eléctrico para el funcionamiento del vehículo. Las baterías se definen según sus características: densidad energética, potencia, ciclo de vida y, por tanto, cuanto mayores sean las prestaciones, mayor será el coste de la batería.

- La **densidad energética** de batería es la relación de la capacidad de la batería por unidad de masa. Cuanto mayor sea la densidad de energía, la batería podrá acumular mayor carga por unidad de peso y volumen. Las unidades en las que se mide por tanto son Wh/kg o Ah/kg.

- La **capacidad de la batería** se puede medir por kilovatios hora (kWh) o por amperios hora (Ah) y es la cantidad de potencia que puede suministrar la batería durante una hora antes de agotarse.
- **El ciclo de vida** son los ciclos completos de carga y descarga que soporta la batería en su vida útil. Cuantos más ciclos mayor durabilidad.

La autonomía se relaciona directamente con la capacidad energética y la potencia requerida según los distintos modos de conducción. Por ello, es importante analizar qué uso se le va a dar al coche en el cual se pretenden instalar las baterías. Un coche con un motor de alta potencia destinado a realizar largos viajes y a un uso diario requerirá una batería de mayor capacidad y autonomía. En este proyecto, el uso que se le dará al vehículo es ocasional y de ningún modo destinado a realizar largas distancias, si bien es cierto que su conversión a eléctrico tiene como objetivo permitir su uso por ciudades donde existen restricciones impuestas a vehículos contaminantes.

De la misma manera que ocurría con la elección del motor eléctrico, es importante entender las características de las baterías y, sobre todo, qué implicación tienen en nuestro coche.

Una de las opciones para relacionar la capacidad de las baterías con la autonomía que alcanzaría el coche es comparándola con otros coches eléctricos en el mercado.

Tabla 4: Características principales de diferentes vehículos eléctricos.

| MODELO | POTENCIA | CAPACIDAD | AUTONOMÍA | FECHA |
|----------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| Peugeot c-zero | 47 kW | 16 kWh | 90 km | 2018 |
| Peugeot e208 | 100 kW / 260 Nm | 50 kWh | 340 km | 2020 |
| Kia Soul EV | 81,4 kW | 27 kWh | 182 km | 2017 |
| Nissan Leaf | 80 kW | 24 kWh | 200 km | 2015-2017 |
| Renault Zoe | 65kW | 24 kWh | 210 km | 2013 |

Otro recurso es utilizar las gráficas obtenidas anteriormente de par y potencia y observar la potencia demandada para ciertos casos. De esta manera, partiendo de los kWh que proporciona la batería y la potencia consumida se puede tener una idea de los km de autonomía según el ciclo de conducción. El dato proporcionado de la autonomía de las baterías de los coches está establecido según el ciclo de homologación WLTP, el nuevo ciclo de homologación de consumo y emisiones que se basa en conducciones reales y refleja mejor el consumo en carreteras. Las mediciones del WLTP se realizan en laboratorio, pero con actuaciones más acorde con la realidad del automovilista medio. Así, por ejemplo, las aceleraciones de 0 a 50 km/h se hacen entre 5 y 10 segundos. A más carga, más consumo.

El ciclo dura 30 minutos y consta de cuatro fases: baja velocidad (589 segundos), velocidad media (433 segundos), alta velocidad (455 segundos) y muy alta velocidad (323 segundos).

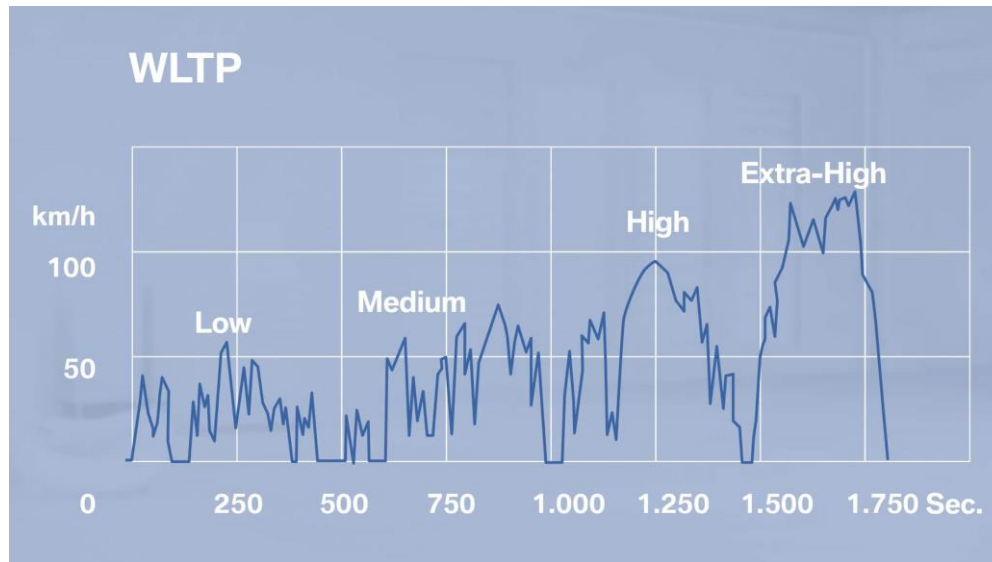


Ilustración 36: Ciclo homologación WLTP^[23].

En cuanto al volumen, un factor imprescindible para tener en cuenta es el lugar en el que las baterías serán instaladas. Debido a sus grandes dimensiones y peso, el espacio elegido para este caso es el maletero. El maletero del MINI tiene unas dimensiones de aproximadamente $1000 \times 500 \times 430 \text{ mm}^3$. Estas medidas se consiguen quitando el depósito de gasolina, el cual se hallaba situado en el maletero. Otra opción que se plantea en otras conversiones es acondicionar la parte trasera del vehículo extrayendo los asientos traseros y colocar las baterías. El inconveniente de esta opción es que el número de ocupantes se reduce.

Otra de las características importantes es el voltaje. Para ello, debemos conocer el voltaje del motor, el cual, en este caso, se trata de un motor de medio voltaje.

Para conseguir las características de voltaje y energía necesarios para alimentar el motor, se puede llevar a cabo diferentes configuraciones de módulos de baterías, bien en serie, o bien en paralelo, restringidas siempre por el volumen disponible donde instalar las baterías.

Las baterías es la parte más importante de la homologación y, por tanto, la más complicada y costosa. Existen escasas baterías en el mercado que se vendan ya homologadas en España. Las baterías KOKAM se diseñan cumpliendo con el reglamento CEPE/ONU 100R, por tanto, esto significa que las opciones disponibles entre las que elegir se reducen mucho contando también con la ergonomía y su peso. Otro factor importante es la instalación de la BMS. Una ventaja de estas baterías es que vienen con BMS ya instalado en cada módulo de batería.

A continuación, se suceden distintas opciones de baterías y se explican los motivos por los cuales son descartadas o no.

La primera opción es elegir la batería **KBM216**. Configurando un set de cuatro módulos en serie de este tipo de baterías de 51.8 V de tensión y 5.49 kWh de capacidad, el sistema aportaría un voltaje total de **207 V** y una capacidad de aproximadamente **22 kWh**. El peso total de las baterías está en torno a los **166 kg** y en cuanto a las dimensiones, se ajustan perfectamente a las medidas del maletero. Esto le da al conjunto una densidad de energía de 132Wh/kg.



Ilustración 37: Batería KOKAM KBM216^[21]

Otra opción es la batería **KBM 460 20S 1P-7.4kWh**. Cada uno de esos módulos ofrecen una tensión nominal de 74V y una capacidad energética de 7.4 kWh. Estableciendo una configuración de 3 módulos en serie, se consigue un voltaje total de **222 V** y una capacidad de **22.2 kWh**. La densidad de energía es de 110Wh/kg con un peso de 200 kg.

El problema que nos encontramos con estas dos opciones es la homologación de las baterías en España. Estas baterías no están pensadas para incorporarlas en un vehículo aun pudiendo ser perfectas candidatas para ello. Por tanto, la opción que responde al problema de la homologación son las baterías **KOKAM EV Battery Type 3**. Estas baterías están homologadas cumpliendo con el reglamento CEPE 100R de seguridad eléctrica, lo que facilitaría su instalación y posterior homologación.



Ilustración 38 Baterías KOKAM EV Battery Type 3^[21]

Cada módulo proporciona una tensión nominal de 51.8 V y un máximo de energía utilizable de 4.94 kWh. Estableciendo un set de 4 módulos en serie conseguimos un

voltaje total de **207 V** y una capacidad máxima utilizable de **20 kWh**. Las dimensiones de esta configuración son de 916 mm de ancho, 324 mm de alto y 372 mm de profundidad y un peso total de **164 kg** (densidad de energía de 122 Wh/kg). Estas baterías disponen de menor capacidad energética que las dos anteriores pero mayor densidad de energía.

Tabla 5: Características generales de las baterías propuestas^[21].

| BATERÍA | Capacidad (Ah) | Energía (kWh) | Mín. Voltaje (V) | Nominal Voltaje (V) | Max. Voltaje (V) | Peso (kg) | Dimensiones (WxDxH) (mm) |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|
| KOKAM KBM216 | 53Ah | 5,49 (2 paralelo) | 42 | 51.8 | 58.8 | 41.5 | 245 x 383 x 285 |
| KOKAM KBM 460 20S 1P | 100Ah | 7,4 | 60 | 74 | 84 | 67,5 | 480 x 396 x 225 |
| KOKAM EV Battery Type 4 | 106Ah | 5,49 (4,94 máx. utilizable) | - | 51,8 | - | 41 | 229 x 324 x 372 |

El dato interesante de las baterías elegidas es la capacidad de energía, es decir, los 20 kWh. Acudiendo a la Tabla 5 donde se resumen las características de algunos vehículos eléctricos se puede observar que:

- conociendo el uso que se dará al vehículo,
- las características del motor,
- y los kWh de la batería se puede aproximar una autonomía entorno a 80 km haciendo una conducción tranquila y prudente.

La baterías KOKAM cumple con los requisitos de nivel de energía para coches eléctricos pequeños, medianos y grandes. Según las necesidades específicas de cada usuario, estas baterías pueden ofrecer salidas de energía significativamente altas de larga duración y una estructura compacta personalizando la instalación de varios módulos de baterías. Debido a las características de carga rápida de CC, el conductor puede recargar rápidamente el módulo de batería entre paradas rápidas y viajar aún más lejos. Los mecanismos de refrigeración avanzados permiten una gestión térmica óptima de las células y aumentan la durabilidad y la vida útil del sistema en general. Además, el módulo está diseñado para soportar condiciones operativas y ambientales severas, y también está equipado con varios dispositivos de seguridad que protegen tanto al conductor como al vehículo.

3.4.6. ACOPLAMIENTO

Una vez identificado el motor eléctrico que se va a instalar el siguiente paso es diseñar como transmitir el movimiento del eje del motor al eje de la transmisión. Para ello, se debe hacer un estudio de los tipos de acoplamientos que existen para unir tanto ejes como otros sistemas de transmisión de potencia como son las poleas, los engranajes, etc.

En las transformaciones de vehículos a eléctrico hay varias opciones que se contemplan para realizar el acoplamiento del nuevo motor a la transmisión. Estas son:

1. Acoplar el motor directamente a la caja de cambios manteniendo todo el grupo reductor, el cambio de marchas, el volante de inercia, etc. Las razones por las que no se lleva a cabo este tipo de acoplamiento, son principalmente la falta de necesidad del cambio de marchas en el caso de un motor eléctrico, así como de uso del volante de inercia. Asimismo, en este caso, la disposición del motor de combustión y la caja de cambios del mini no favorece esta configuración.
2. En este caso se elimina el embrague y la caja de cambios y se instala directamente el motor eléctrico al grupo reductor y al diferencial. Ésta es la opción más aconsejable y es la solución que presentan todos la mayoría de los vehículos eléctricos. Una modificación de esta disposición es la que se va a tratar en este proyecto, omitir el embrague y el volante de inercia y adaptar la caja de cambios como grupo reductor para el nuevo motor.
3. Una última opción es la de la transmisión por rueda motorizada, es decir se eliminan todos los elementos de transmisión y se instalan los motores en los ejes de las ruedas.

A continuación, se muestra una vista general frontal del motor y transmisión original del mini 1275 GT. Es importante conocer como están situados los diferentes elementos del sistema de tracción original ya que va a definir cómo poder colocar el nuevo motor, así como el acoplamiento a la caja de cambios.

El mini clásico combina tracción delantera con un motor transversal dando así origen a los vehículos compactos modernos. En él se pueden identificar las diferentes partes que lo componen.

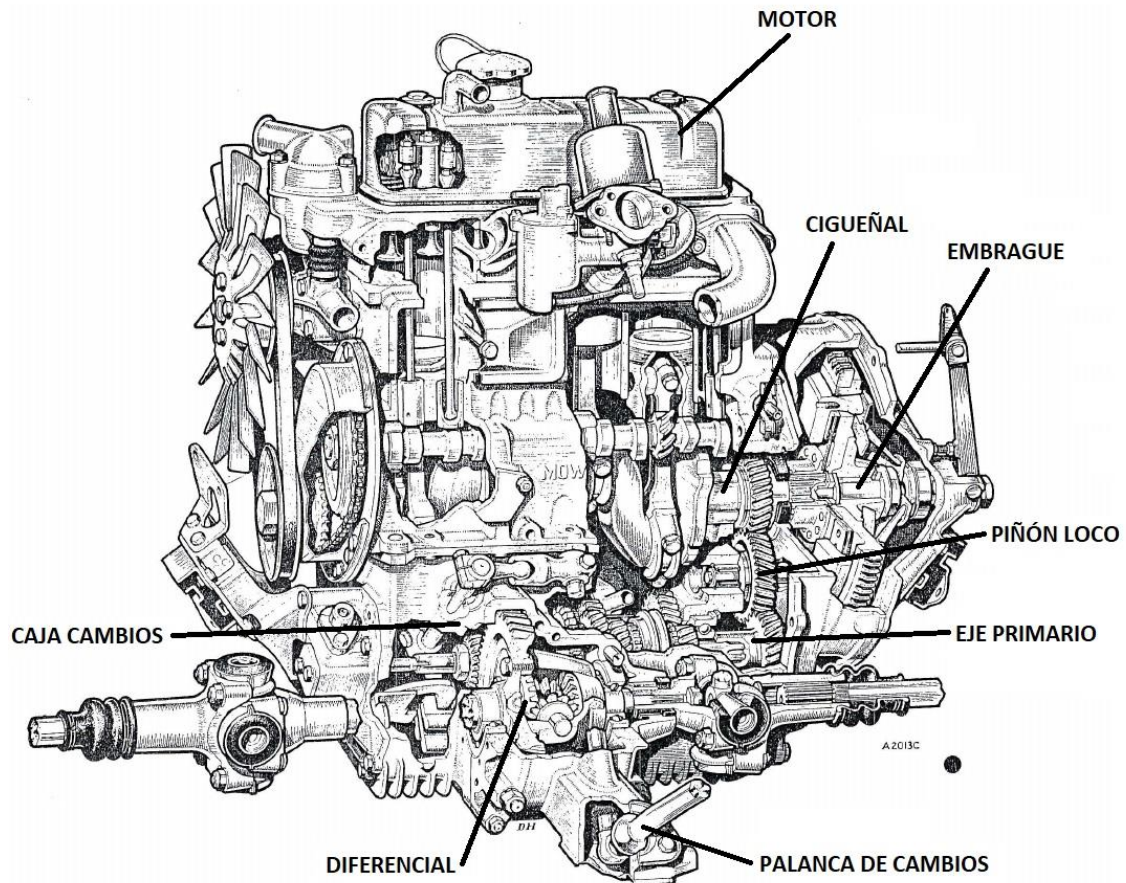


Ilustración 39: Imagen completa del motor de combustión mini 1275 GT^[14].

El motor está situado justo encima de la caja de cambios transmitiendo el movimiento a través de unos engranajes tal y como aparece en la Ilustración 40. El engranaje primario (2) de la figura es la continuación del cigüeñal y donde se acopla el embrague. El engranaje inferior está ajustado al eje de salida de la caja de cambios.

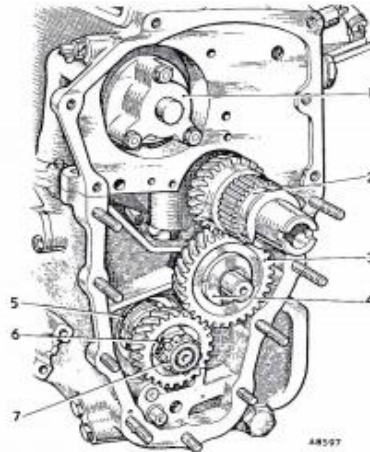


Fig. A 14

El conjunto de motor y transmisión y el carter del volante del motor han sido desarmados y en el grabado se puede apreciar el tren de engranajes que transmite el movimiento al eje primario.

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| (1) Bomba de aceite | (5) Cojinete del eje primario. |
| (2) Engranaje primario | (6) Engranaje de mando. |
| (3) Piñón loco. | (7) Cojinete de rodillos. |
| (4) Arandela de empuje del piñón loco | |

Ilustración 40: Imagen del tren de engranajes que transmite el movimiento al eje primario de la caja^[14].

Debido a la supresión del motor de combustión, el nuevo motor eléctrico se instalará en su misma posición, encima de la caja de cambios, de manera transversal. A la hora de acoplar los ejes y poder transmitir la potencia del motor a la caja de cambios, se estudiarán diferentes opciones. Las opciones planteadas son:

- Un sistema de engranajes a través los cuales se transmite el movimiento desde el eje motor hasta el eje primario.
- Instalar un sistema de ruedas dentadas movidas por una correa dentada.

El eje del motor no estará a la misma altura a la que estaba el cigüeñal antes de quitar el motor de combustión quedando los ejes, del motor y de la transmisión, bastante distanciados; por tanto, el diseño utilizando engranajes es complicado. Por consiguiente, el diseño final será a través de una correa dentada aprovechando los engranajes de la salida a la caja de cambios.

La idea principal es la de reutilizar el piñón loco y el engranaje del eje secundario o de salida de la caja de cambios de manera que a partir del movimiento del piñón se transmita el movimiento a la transmisión.

3.4.6.1. Elementos utilizados para permitir la transmisión de movimiento

Para lograr la transmisión entre dos ejes o entre una pieza y eje, se emplean una serie de componentes que hacen posible este arrastre. A continuación, se mencionan y explican los elementos que se utilizan para conseguir esa transmisión de movimiento^[24].

- I. Árbol acanalado
- II. Árbol nervado
- III. Uniones enchavetadas

Muchos de los elementos de máquinas van sustentados por lo que comúnmente llamamos ejes. Para comenzar, existe una distinción entre los árboles y los ejes. El eje es un elemento cuya función es hacer de sustento a muchos elementos de máquinas por lo que no se ve sometido a esfuerzos debidos a la torsión. Sin embargo, la finalidad principal de un árbol es la transmisión de movimiento. Por tanto, un árbol está sometido a esfuerzos de flexión (debido al peso de las piezas que sustentas) y torsión (debido a la transmisión de movimiento). Los ejes pueden girar o estar estacionarios, pero sin transmitir el movimiento, simplemente sirven de apoyo.

Dentro de los árboles de transmisión debemos conocer dos variantes: los árboles nervados y los estriados.

I. Árboles nervados

Cuando además de transmitir movimiento se hace necesario que los elementos montados en el árbol puedan desplazarse axialmente, es muy habitual emplear este tipo de sistemas. Son muy utilizados cuando el par a transmitir es muy elevado; además son muy aconsejables para cuando se producen cambios bruscos de rotación, vibraciones o golpes. Son capaces de transmitir el movimiento de manera muy precisa. La forma y las dimensiones de las nervaduras están normalizadas en la DIN 5461 y siguientes.

Se trata de un eje cilíndrico sobre el que se le realiza una serie de acanaladuras. Su forma y las dimensiones de las nervaduras están normalizadas en la DIN 5461 y siguientes.

Serie ligera: DIN 5462

Serie media: DIN 5463

Serie pesada: DIN 5464

Un ejemplo de un árbol nervado es el siguiente:

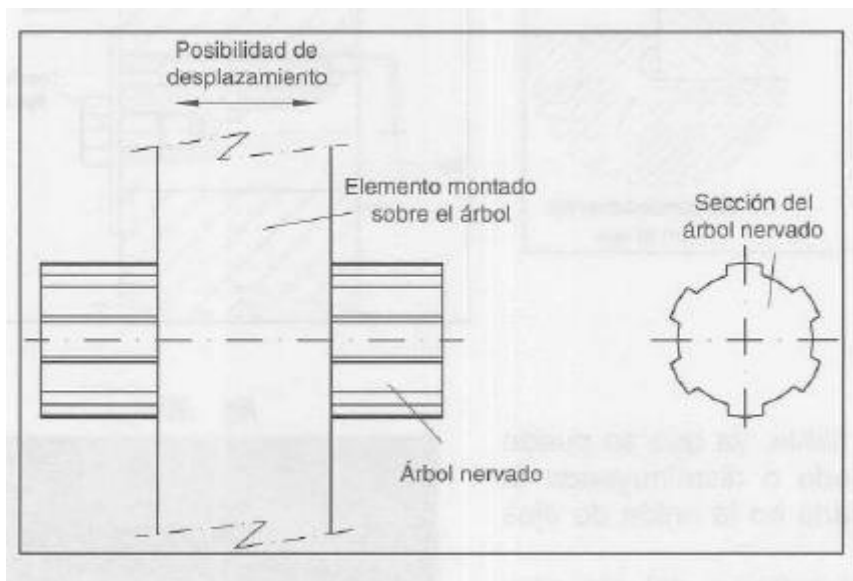


Ilustración 41: Ejemplo árbol nervado^[24].

II. Árboles estriados

Es una variante del nervado. La diferencia con los árboles nervados, éstos no permiten bien el desplazamiento axial del eje o del elemento introducido en él, ya que se suele emplear como acoplamiento fijo. Si reducimos el tamaño de las nervaduras, aumentamos su número y modificamos ligeramente su forma conseguimos un árbol estriado. En la ilustración x se puede observar la forma de las estrías.

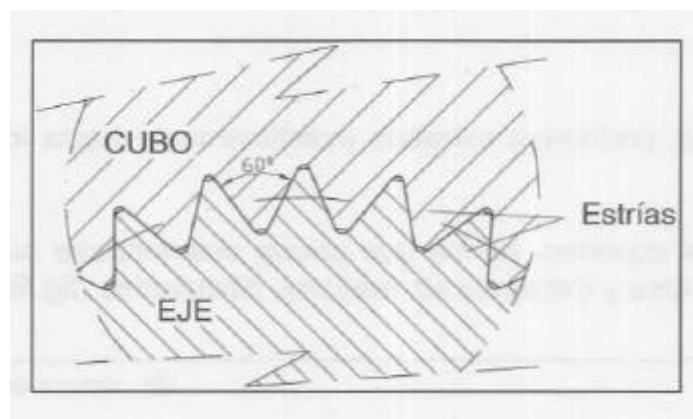


Ilustración 42: Forma de las estrías^[24].

III. Uniones enchavetadas

El enchavetado es la unión de dos piezas por medio de un prisma que asegura el ensamble y la transmisión de movimiento entre ambas. La pieza que se intercala recibe el nombre de chaveta o lengüeta, dependiendo de su forma y función. Para introducir estos elementos se practican unas ranuras tanto en los ejes como en las piezas que lo atraviesan.

Chavetas y lengüetas

La chaveta tiene forma de cuña y su ajuste apretado lo realizan su cara superior e inferior. De esta forma transmite el giro a la vez que inmoviliza la pieza que sujeta. Las chavetas presentan una inclinación de un 1% y, por tanto, las ranuras realizadas en el cubo o alojamiento poseerán la inclinación de la chaveta; sin embargo, el chavetero del eje tendrá sección constante.

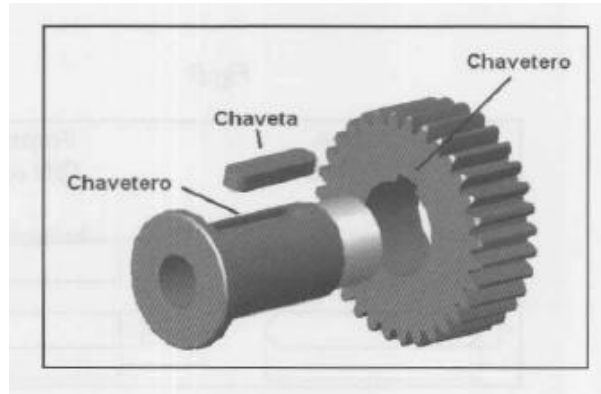


Ilustración 43: Ejemplo unión enchavetada^[24].

Las chavetas sin cabeza se presentan en dos tipos y se designan según la DIN 6886, mientras que la designación de las chavetas con cabeza sigue la norma DIN 6887.

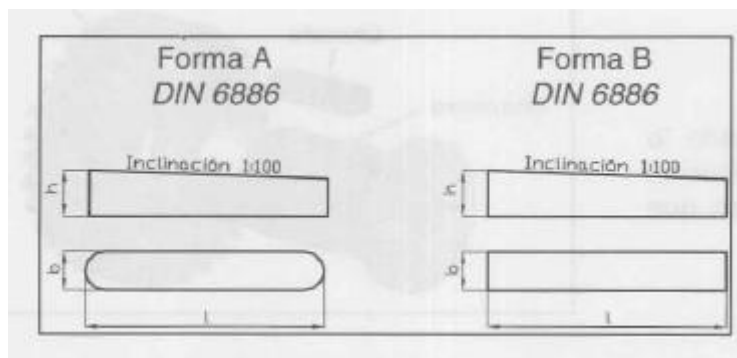


Ilustración 44: Designación chavetas sin cabeza^[24].

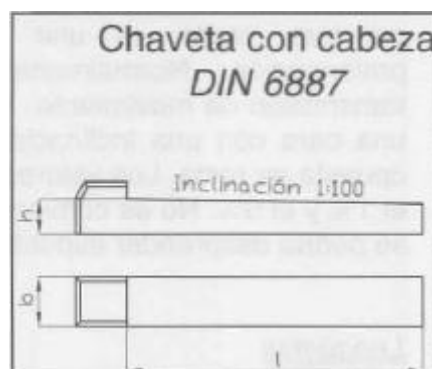


Ilustración 45: Designación chavetas con cabeza^[24].

Las chavetas suelen emplearse habitualmente en maquinaria pesada. Una de sus principales ventajas frente a las lengüetas es que suelen ser desmontables desde el exterior. Es la más utilizada en tecnología mecánica, ya que se emplea desde maquinaria en general hasta motores eléctricos.

Lengüetas

Al contrario que las chavetas, las lengüetas tienen sección constante, con caras paralelas y su ajuste se formaliza entre sus caras laterales, dejando cierta holgura entre su cara superior y el cubo. En caso de necesitar la inmovilización lateral la deberíamos obtener por otro medio.

Las características de las lengüetas vienen definidas por la norma DIN 6885. Pueden llevar en su cuerpo una serie de orificios que estarían destinados a fijar las lengüetas o para facilitar su extracción.

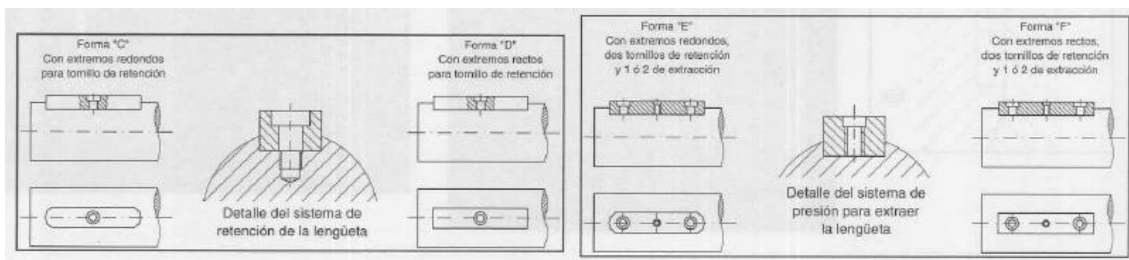


Ilustración 46: Ejemplos de lengüetas según la forma^[24].

3.4.6.2. Posicionamiento y sujeción de los elementos de la transmisión

En cuanto al posicionamiento de los elementos montados en los ejes, existen varios métodos para lograr el posicionamiento y sujeción de las piezas que van introducidas en los ejes. Los más empleados son:

1. Mediante un ajuste de apriete en el eje y el elemento montado.

De esta forma, si el ajuste es de apriete el posicionamiento se consigue mediante la interferencia entre las piezas.

2. Mediante el uso de anillos de seguridad y arandelas de retención

Estos elementos se utilizan para limitar el desplazamiento axial de las piezas introducidas en los árboles o ejes. Existen varios tipos:

Anillos de seguridad: existen tanto para montar en ejes como para introducir en agujeros. Cada uno de ellos son definidos por la norma DIN 471 y DIN 472 respectivamente.

Arandelas de retención: su principal característica es la elasticidad que poseen para fijarse en una ranura. Se emplean exclusivamente en ejes o árboles. Se posicionan en el lugar donde van alojadas y se ejerce presión sobre ellas. Las arandelas de retención no necesariamente necesitan una ranura en el eje, sino que su ajuste se realiza por presión. Este método de construcción garantiza una buena retención en un eje; sus aplicaciones normales son la retenida de volantes, engranajes, acoplamientos, etc. sobre ejes.

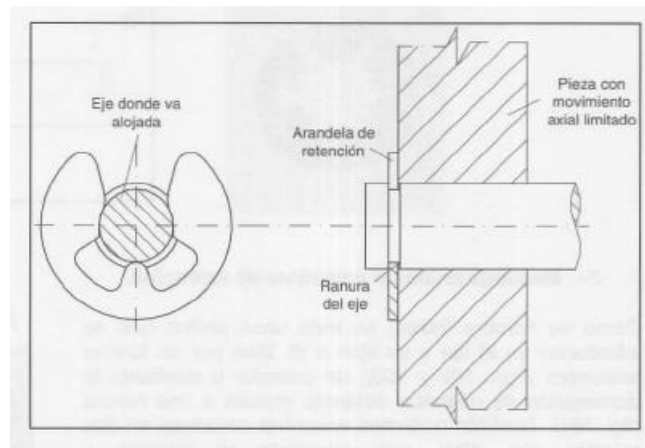


Ilustración 47: Aplicación arandela de retención^[24].

3. Mediante anillos o collarines de retención

Son unos anillos que se introducen en el eje y se fijan a él, bien por un tornillo prisionero, un pasador o mediante la disminución de diámetro gracias a una ranura. También se puede encontrar collarines en dos mitades. Con ellos se consigue situar las piezas.

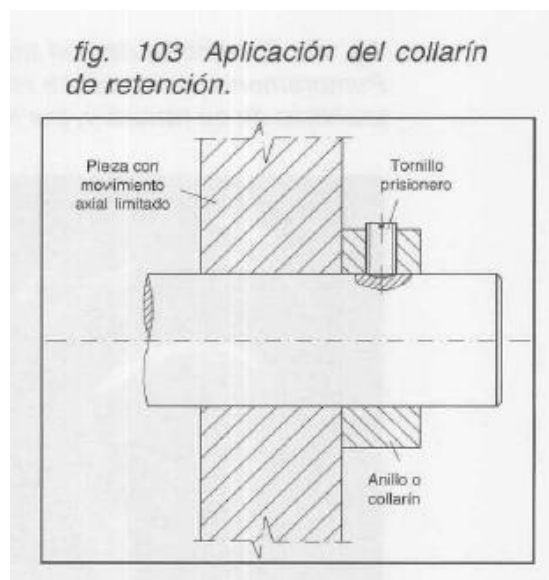


Ilustración 48: Aplicación del collarín de retención^[24].

4. Mediante manguitos o casquillos cónicos de fijación

Consiguen bloquear un cuerpo sobre un eje sin necesidad de chaveta. Tienen la ventaja de que el eje no necesita ir enchavetado, tampoco necesita precisión en su acabado y el conjunto montado genera un centrado de calidad.

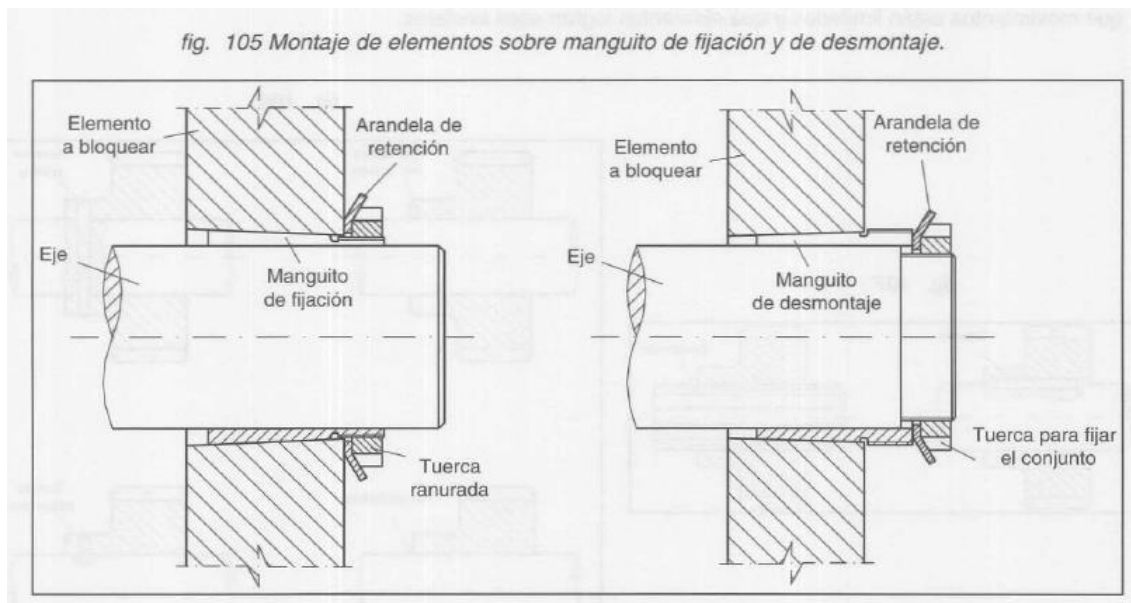


Ilustración 49: Montaje de elementos sobre manguito de fijación y desmontaje^[24].

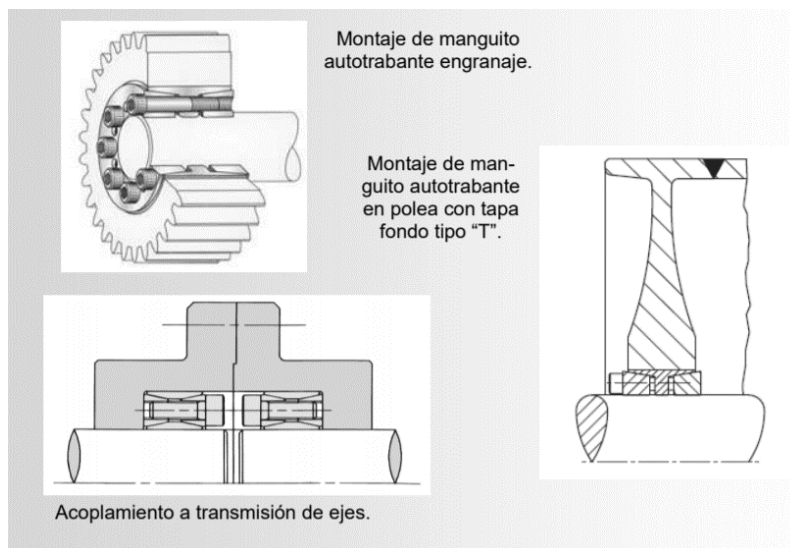


Ilustración 50: Aplicación de los manguitos ^[25].

Cuando el movimiento lateral también deba ser limitado, emplearemos un ajuste con un apriete elevado, soldadura, tornillos prisioneros, pasadores, anillos de retención, manguitos, etc. A los métodos de fijación previos se añaden los siguientes sistemas combinados:

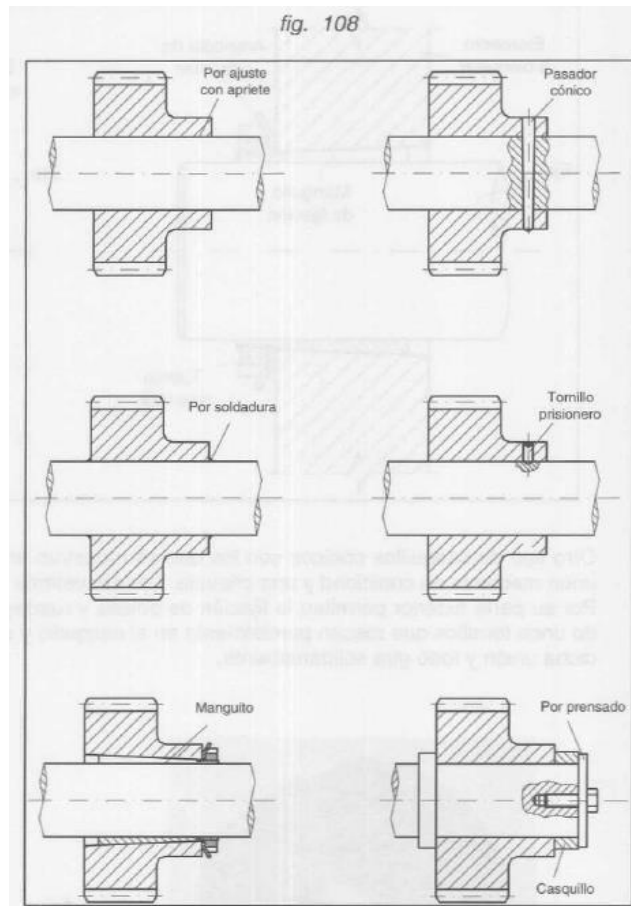


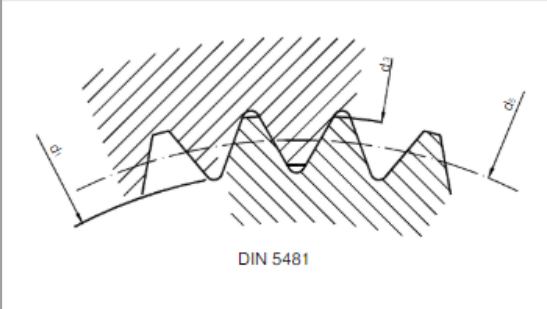
Ilustración 51: Ejemplos de diferentes métodos de fijación de elementos a los ejes^[24].

Nuestro motor está previsto de un árbol nervado con dientes entallados. Como ya se ha explicado, es una variante del árbol acanalado que no admite desplazamientos laterales de los órganos de transmisión; es decir, está pensado para acoplamiento fijo. Tiene entre 30 y 34 dientes.

Vienen determinados según la Norma DIN 5481 utilizando la letra A si se trata de un perfil del cubo nevado o la letra B si se trata de un perfil del árbol nervado. Se nombran así:

Perfil de árbol nervado B (diámetro d_1) x (diámetro d_3) DIN 5481. Por ejemplo (ver Tabla 4.2a):

Perfil de árbol nervado B 7 x 8 DIN 5481



DIN 5481

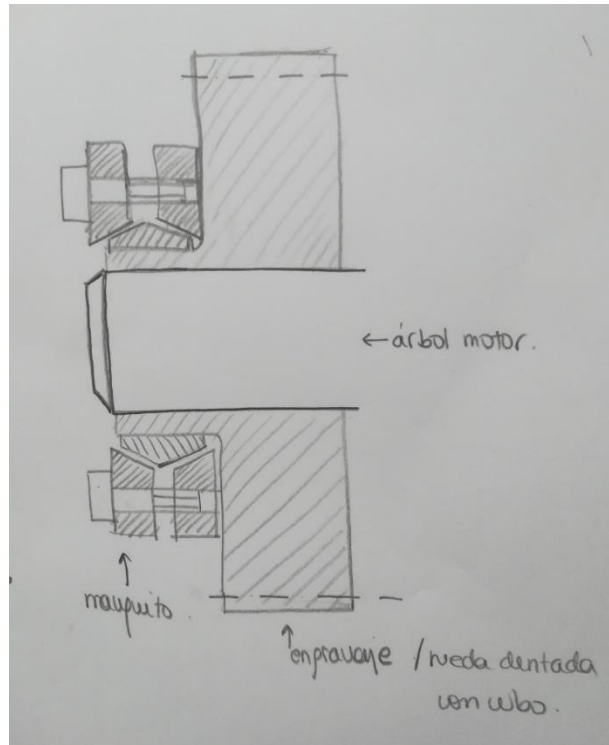
| Designación $d_1 \times d_3$ | Diámetros | | | Número de dientes |
|---------------------------------|-----------|-------|-------|----------------------|
| | d_1 | d_2 | d_3 | |
| 7x8 | 6.9 | 8.1 | 7.5 | 28 |
| 8x10 | 8.1 | 10.1 | 9 | 28 |
| 10x12 | 10.1 | 12 | 11 | 30 |
| 12x14 | 12 | 14.2 | 13 | 31 |
| 15x17 | 14.9 | 17.2 | 16 | 32 |
| 17x20 | 17.3 | 20 | 18.5 | 33 |
| 21x24 | 20.8 | 23.9 | 22 | 34 |
| 26x30 | 26.5 | 30 | 28 | 35 |
| 30x34 | 30.5 | 34 | 32 | 36 |
| 36x40 | 36 | 39.9 | 38 | 37 |
| 40x44 | 40 | 44 | 42 | 38 |
| 45x50 | 45 | 50 | 47.5 | 39 |
| 50x55 | 50 | 54.9 | 52.5 | 40 |
| 55x60 | 55 | 60 | 57.5 | 42 |
| 60x65 | 60 | 65 | 61.5 | 41 |
| 65x70 | 65 | 70 | 67.5 | 45 |
| 70x75 | 70 | 75 | 72 | 48 |
| 75x80 | 75 | 80 | 76.5 | 51 |
| 80x85 | 80 | 85 | 82.5 | 55 |
| 85x90 | 85 | 90 | 87 | 58 |
| 90x95 | 90 | 95 | 91.5 | 61 |
| 95x100 | 95 | 100 | 97.5 | 65 |
| 100x105 | 100 | 105 | 102 | 68 |
| 105x110 | 105 | 110 | 106.5 | 71 |
| 110x115 | 110 | 115 | 112.5 | 75 |
| 115x120 | 115 | 120 | 117 | 78 |
| 120x125 | 120 | 125 | 121.5 | 81 |

Tabla 4.2a

Ilustración 52: Norma DIN 5481 para ejes acanalados^[24].

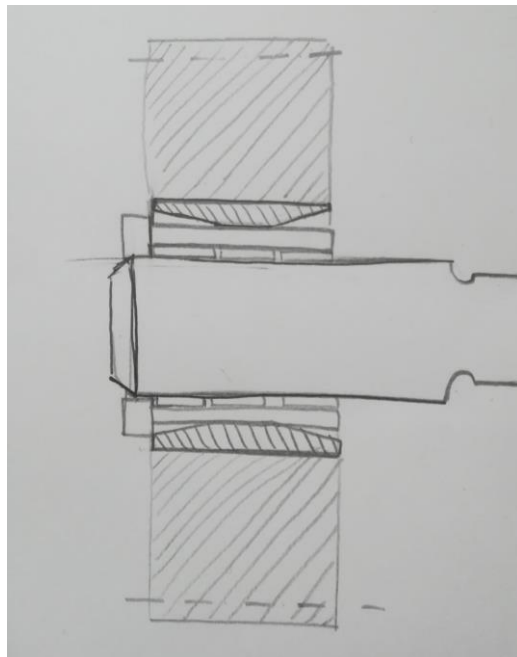
Analizando las diferentes opciones que se plantean, se han estudiado las siguientes opciones para el posible acoplamiento de las ruedas dentadas con el motor.

Opción 1: árbol estriado, rueda dentada con cubo interior estriado y manguito exterior. En la imagen se observa cómo sería el acoplamiento. La rueda dentada se mecaniza en el interior con el mismo perfil que el eje del motor y para asegurar su fijación se ajusta un manguito en el cubo de la rueda generando un gran apriete.



*Ilustración 53: Croquis ejemplo acoplamiento de la rueda dentada fijada mediante manguito exterior.
Diseñado por la autora para este TFG*

Opción 2: árbol estriado, manguito y rueda dentada. El acoplamiento final quedaría:



*Ilustración 54: Croquis ejemplo acoplamiento de la rueda dentada fijada mediante manguito interior.
Diseñado por la autora para este TFG*

Esta es un acoplamiento muy utilizado para fijar engranajes y poleas a los ejes. Sin embargo, el problema de este acoplamiento para este caso es el perfil estriado del eje. En caso de que el árbol no estuviese estriado, es una opción muy acertada debido a que se genera un buen ajuste manteniendo fijo el elemento que se quiere posicionar.

Opción 3: árbol estriado, polea dentada con agujero estriado ajustado mediante apriete.

Esta vez, el interior de la rueda dentada se mecaniza con el perfil nervado del eje con mucha precisión. Una vez disponible el motor y todos los datos y características generales y en particular las medidas y tolerancias del eje se podría calcular un ajuste de apriete entre la rueda y el eje de manera que por interferencia se quedase fijo y con el desplazamiento restringido.

Opción 4: árbol estriado, polea con agujero estriado, tornillo y arandela de fijación.

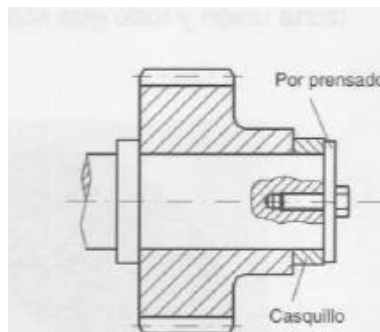


Ilustración 55: Fijación mediante tornillo y arandela de fijación^[24].

La última opción es continuar con el mecanizado del interior de la rueda con el perfil nervado del eje del motor y se fija a éste utilizando una arandela de fijación y un tornillo, tal y como se aprecia en la ilustración. Es la opción mejor contemplada como diseño final del acoplamiento.

Tras estudiar todo tipo de acoplamientos entre elementos y ejes y observar diferentes ejemplos, el problema del diseño que se contempla es el perfil nervado del eje motor. La mayoría de los acoplamientos que se han explicado se podrían implantar fácilmente en el caso de que la transmisión del movimiento se realizase mediante chaveta o sin mediante ajuste. En ese caso las opciones a contemplar fácilmente podrían ser:

- Mediante tornillo y arandela de fijación.

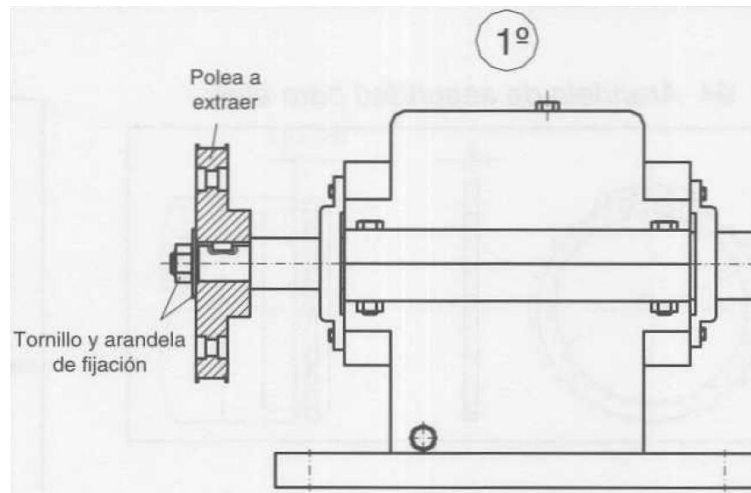


Ilustración 56: Fijación mediante tornillo y arandela^[24].

- Utilización de anillo collarín de retención y tornillo prisionero tal y como aparece en la ilustración

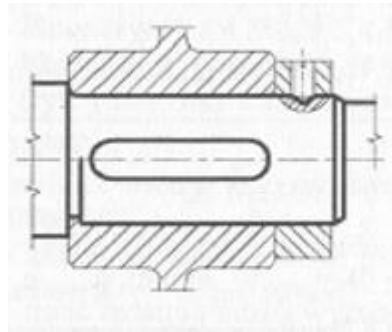


Ilustración 57: Aplicación collarín y tornillo prisionero^[24].

- Utilización de un manguito interior, tal y como se ha explicado anteriormente y se muestra en la Ilustración 50.

3.4.6.3. Diseño acoplamiento

Como la caja de cambios se mantiene sin ninguna modificación ha de diseñarse una pieza que permita anclar el motor eléctrico haciendo coincidir los puntos de anclaje a la caja de cambios.

Esta pieza tiene como objetivo poder, a partir de ella, sujetar el motor encima de la caja de cambios. Como se muestra en la figura 25, la parte vertical inferior irá anclada al lateral de la caja de cambios mientras que la parte horizontal se atornillará a la parte de arriba. El agujero superior corresponderá con el eje del motor mientras que el de abajo supone la continuación del eje del piñón.

A continuación, se muestra un primer boceto del diseño del sistema.

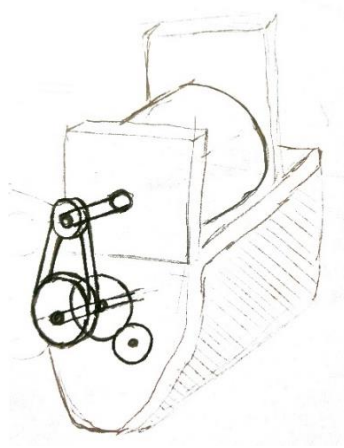


Ilustración 58: Boceto simple del acoplamiento del motor y la caja de cambios. Diseñado por la autora para este TFG

Al no estar concéntricos tanto el eje de la caja de cambios como el del motor eléctrico, sino uno encima del otro, la transmisión se realizará mediante un sistema de ruedas dentadas con correa. Como ya se ha introducido antes, se reutilizarán el engranaje del eje de salida y el piñón. Como el factor de reducción ya está calculado y establecido en la 2ª relación, el eje motor y eje de entrada a la caja de cambios deben tener una relación 1 a 1. Esta particularidad se deberá tener en cuenta para diseñar los engranajes y la correa.

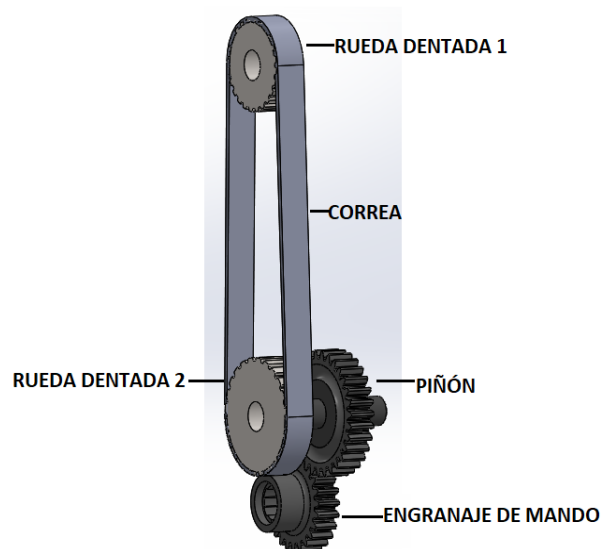


Ilustración 59: Disposición de engranajes. Diseñado por la autora para este TFG

Imponiendo las relaciones de velocidad entre ellos se obtiene la relación de radios entre los engranajes.

$$V_{r1} = V_{r2} \quad [13]$$

$$V_{emando} = V_{piñón} \quad [14]$$

$$\omega_{r1} * R_1 = \omega_{r2} * R_2 \quad [15]$$

$$\omega_{emando} * R_{emando} = \omega_{piñón} * R_{piñón} \quad [16]$$

En la transmisión, para mantener la misma velocidad a la salida del motor y a la entrada de la caja de cambios la velocidad de giro de la rueda dentada 1 es igual a velocidad de giro del engranaje de mando. Además, al estar acoplados la rueda dentada 2 y el piñón en el mismo eje, sus velocidades angulares también son las mismas. Por tanto, estableciendo estas condiciones se obtiene la relación de radios:

$$\frac{R_{emando}}{R_{piñón}} = \frac{R_{r1}}{R_{r2}} \quad [17]$$

Los datos tomados del engranaje de mando y el piñón son los siguientes:

Tabla 6: Diámetros del engranaje de mando y piñón

| | |
|--------------------------------------------|-------|
| Diámetro primitivo engranaje de mando [mm] | 37,72 |
| Diámetro primitivo piñón [mm] | 29,32 |

Partiendo de estos números y la relación de radios calculamos los nuevos engranajes. Estableciendo un paso igual a 5,08 y aplicando la ecuación[18] sacamos el número de dientes de ambas ruedas dentadas.

$$Z = \frac{D_{primitivo}}{módulo} \quad [18]$$

Tabla 7: Disposición de las medidas de las ruedas dentadas elegidas

| | Rueda dentada 1 | Rueda dentada 2 |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| Número de dientes Z | 36 | 46 |
| Diámetro primitivo [mm] | 58,21 | 74,38 |
| Módulo | 1,617 | 1,617 |

El paso de las ruedas dentadas se ha elegido en función de la norma ISO 5294-DIN 7721 de poleas dentadas. Por tanto, el paso de ambos engranajes será de 5,08 mm.

Con este dato tenemos seleccionados las dos poleas dentadas y la correa:

- **POLEA 1:** 36XL 037
- **POLEA 2:** 46XL 037
- **CORREA:** 280XL 140



Ilustración 60: Ejemplo de polea dentada a usar.

Sin embargo, se halla la dificultad de que el eje del motor eléctrico transmite el par a partir de un estriado. Esto dificulta la búsqueda de poleas que se adapten a los diámetros y número de dientes exigidos y, además, con el mismo diámetro interior e igual estriado que el motor. Como solución propuesta, existen empresas que ofrecen reproducir poleas y engranajes a medida. Esto subirá el precio del engranaje, pero permite tener todas las características que se necesitan en una misma polea.

También existe la posibilidad de compra la polea necesaria y luego mandarla a mecanizar el nervado interior con la tolerancia de ajuste con el eje del motor.

Finalmente, el sistema motor-inversor queda definido con el siguiente diseño y los sucesivos elementos:

- 1) Motor eléctrico e inversor
- 2) Adaptador
- 3) Rueda dentada superior
- 4) Correa dentada
- 5) Rueda dentada inferior
- 6) Piñón
- 7) Engranaje de mando
- 8) Caja de cambios

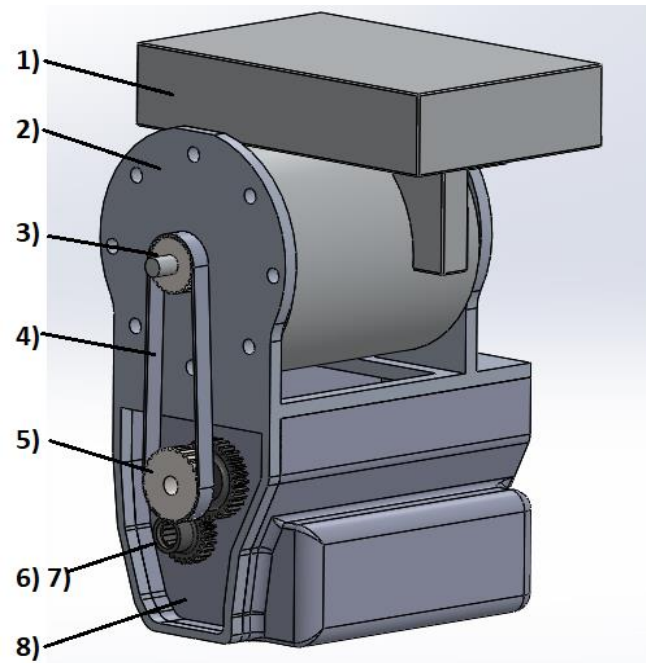


Ilustración 61: Diseño final de la adaptación del motor eléctrico a la caja de cambios. Diseñado por la autora para este TFG

Análisis dinámico de la pieza adaptadora

Para llegar a la pieza final que se mostraba anteriormente se han sucedido varias versiones hasta conseguir un espesor más adecuado y un diseño mejor. Esto se ha conseguido a partir de un software de simulación: ANSYS WORKBENCH 2020 R1. Con este programa se consigue realizar un estudio dinámico de la pieza en cuestión pudiendo observar su respuesta a las fuerzas a las que va a estar sometida; además de visualizar las zonas más afectadas y las que menos, pudiendo variar el volumen y reducir el peso de la pieza final.

Este estudio es básico pero suficiente para comprobar que la pieza no va a superar la tensión máxima admisible, lo que supondrá que la pieza con el material elegido no partirá en ningún caso.

El material que se ha elegido a la pieza es Aluminio 6082 T6. La serie de aluminio 6xxx incluyendo un tratamiento térmico como el T6, es utilizado en estructuras en general, aplicaciones arquitectónicas, cuadros de bicicletas, estructuras soldadas, etc. Alcanza una resistencia de 290 Mpa.

A continuación, se muestra el diseño final de la placa que adaptará el acoplamiento del nuevo motor a la caja de cambios. El motor presenta 8 agujeros por los cuales se insertarán los tornillos para fijarlo en su sitio. La parte delantera se ha diseñado con la forma del lateral de la caja de cambios donde se insertarán también los tornillos para fijar bien la pieza. De la misma manera se realiza el atornillado en la zona horizontal. En el lado derecho, debido a que solo irá anclado por los agujeros de los tornillos se ha realizado un

agujero grande con el fin de quitar material y por consiguiente reducir el peso final. Más tarde, se decidió hacer un agujero en la parte horizontal con el mismo fin que el anterior.

En la siguiente imagen se muestra la pieza final señalando dónde iría atornillada cada parte.

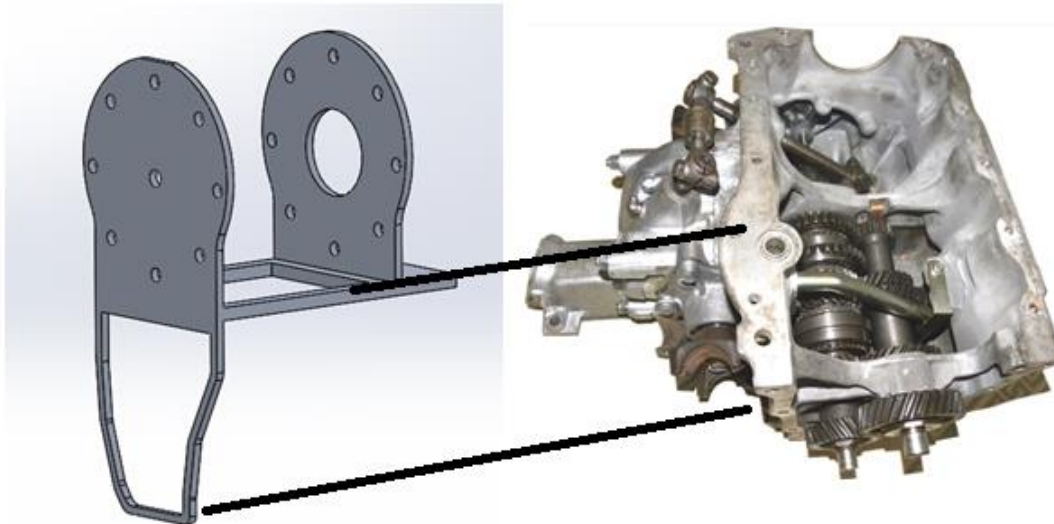


Ilustración 62: Adaptador motor eléctrico-caja de cambios SolidWorks. Izq.: diseñado por la autora para este TFG. Der.: caja cambios Mini 1275 GT

A continuación, se muestra los resultados del análisis en ANSYS de la pieza final.

Para empezar, se establecen las restricciones en la pieza y las fuerzas que van a actuar. El motor estará sujeto por ambos lados, quedando en suspensión el resto del motor. Por tanto, el sistema equivalente que se ha establecido es el siguiente:

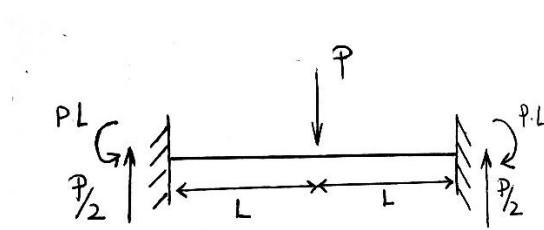


Ilustración 63: Sistema equivalente del motor.

Siendo:

$$P = 42\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 = 412,02\text{ N};$$

$$L = 0,1255\text{ mm}$$

Por tanto, las condiciones de contorno establecidas son dos momentos y dos fuerzas en cada lateral con los valores obtenidos.

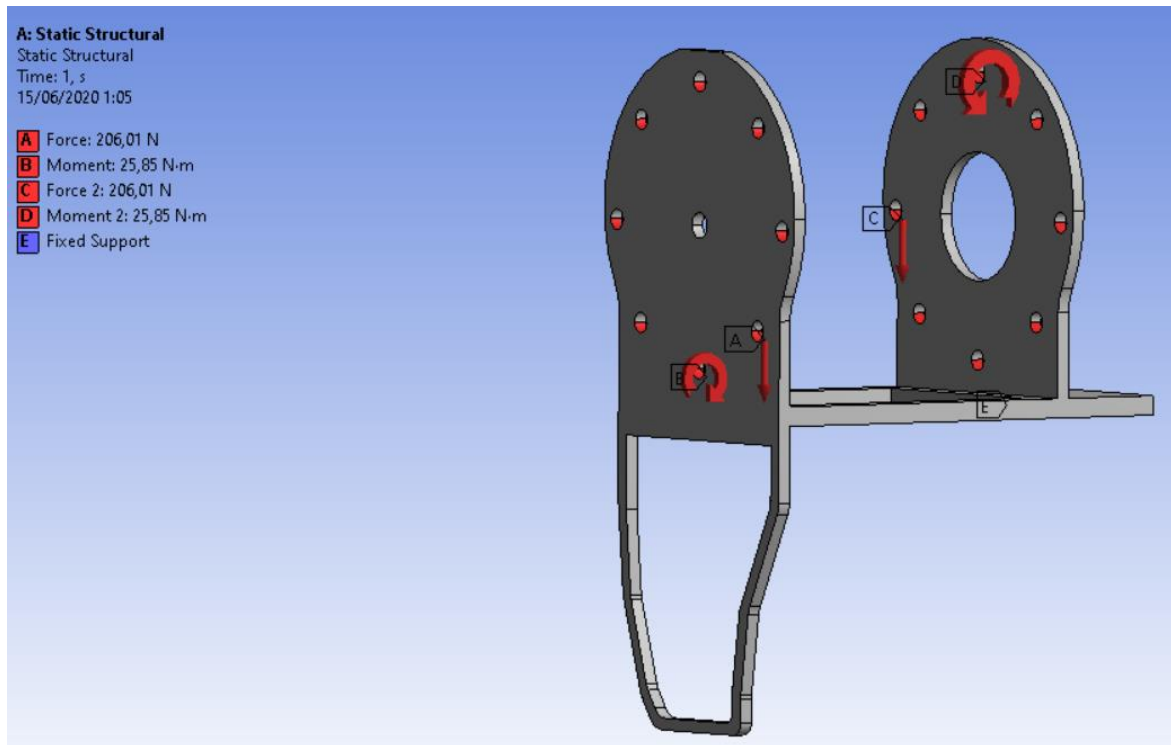


Ilustración 64: Fuerzas y momentos aplicados. Ansys 2020 R1

A continuación, se procede a hacer el mallado en la pieza, proceso por el cual se divide la pieza en pequeños elementos para un posterior análisis empleando elementos finitos. Una vez visualizados los puntos más críticos de la pieza se decide mejorar la malla y generar un refinamiento de esas zonas para obtener resultados más fiables en esas zonas.

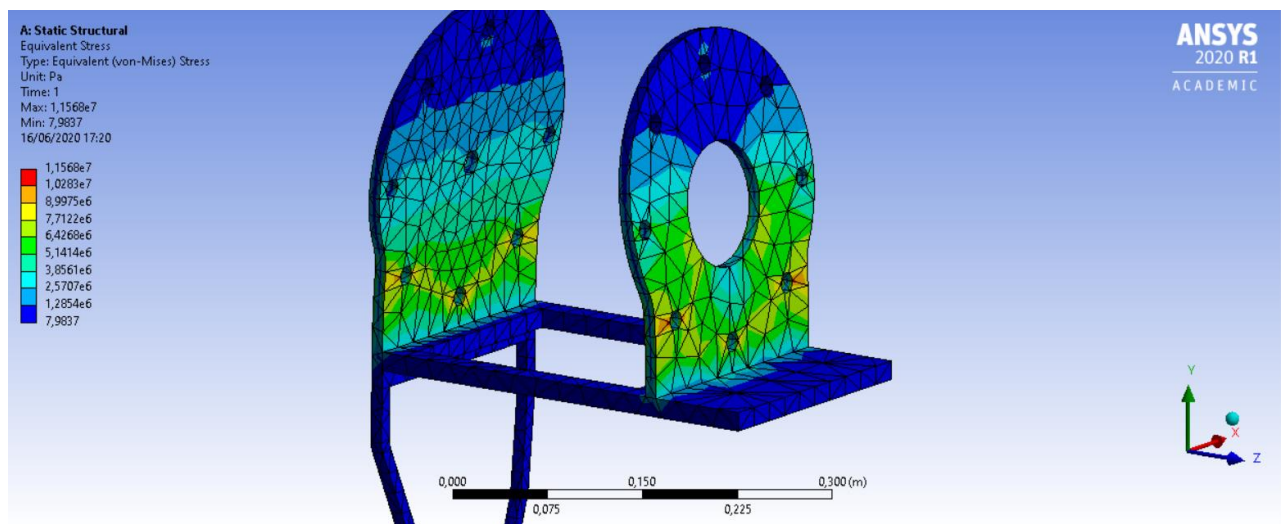


Ilustración 65: Resultado de las tensiones soportadas. Ansys 2020 R1

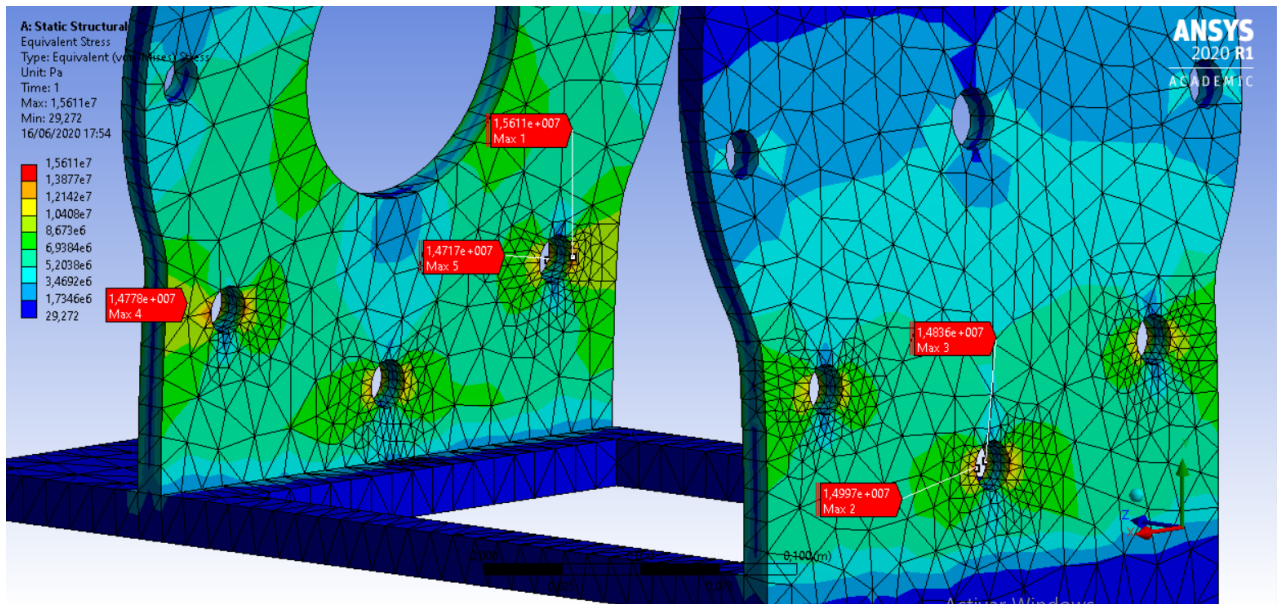


Ilustración 66: Ampliación del resultado, puntos donde se produce el máximo esfuerzo. Ansys 2020 R1

Como se puede apreciar, los valores máximos que se obtienen son del orden de 15,6 Mpa, siendo el límite a tracción del aluminio elegido de 290 Mpa. El espesor final de la placa es de 10 mm. Se puede apreciar también que las zonas próximas a los agujeros realizados con el fin de reducir el peso no se ven afectadas. El peso final de la placa adaptadora es de 6,56 kg.

Requisitos de fabricación de la placa adaptadora

En cuanto a su fabricación, este tipo de aluminio presenta buen comportamiento en las estructuras soldadas. Una opción es obtener placas de espesor de 10 mm por separado de las medidas necesarias. El segundo paso consistiría en proceder a unir las distintas placas por soldadura. Se propone que la fabricación se realice mediante soldadura TIG. Este tipo de soldadura utiliza electrodos infusibles y protección mediante gas inerte (argón o helio). Se trata de un proceso por el cual se obtienen resultados de calidad y una buena determinación de la soldadura. Para espesores medianos y grandes se necesita material de aporte. El aluminio se suelda utilizando corriente alterna.

3.4.7. FRENOS

Los frenos son un sistema muy importante que tener en cuenta durante la conversión de un vehículo. Debido a que se llevan a cabo cambios significativos en el vehículo, estos pueden afectar a la respuesta de los frenos una vez convertido el vehículo. Por ello, se debe entender bien su funcionamiento y conocer que otros sistemas están relacionados.

A parte del sistema de frenos, existen también otros fenómenos que ayudan a la frenada como son el freno motor o el uso de las bombas de vacío, utilizadas cada vez más en los vehículos. El freno motor consiste en apoyar la frenada haciendo uso del motor para ayudar a reducir la velocidad del vehículo. Cuando el coche circula a una velocidad constante y con una marcha determinada, al dejar de alimentar el motor de combustión levantando el pedal del acelerador, el coche desacelera debido a la acción de todas las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo. Si en esa situación reducimos la marcha, el motor tiende a acelerarse debido a que con el cambio de marcha hemos aumentado el número de revoluciones del motor para poder mantener la misma velocidad que llevaba el coche antes del cambio. Ya que el cambio de velocidad no es inmediato, el cambio de relación de transmisión hace que la velocidad del coche se adapte a las nuevas revoluciones del motor mientras que éste se acelera para llegar a las que le correspondían. Debido a esto, se produce una disminución de la velocidad del coche.

Para poder entender este concepto de manera más fácil y visual, se hallan adjuntas unas gráficas que intentan describir la respuesta del coche ante cambios de marcha.

Conociendo las ecuaciones por las que se rige el movimiento de un coche y estudiando la tendencia del comportamiento de la velocidad tanto del motor como la del vehículo ante cambios de marcha y actuación del pedal del acelerador se han aproximado dichas gráficas.

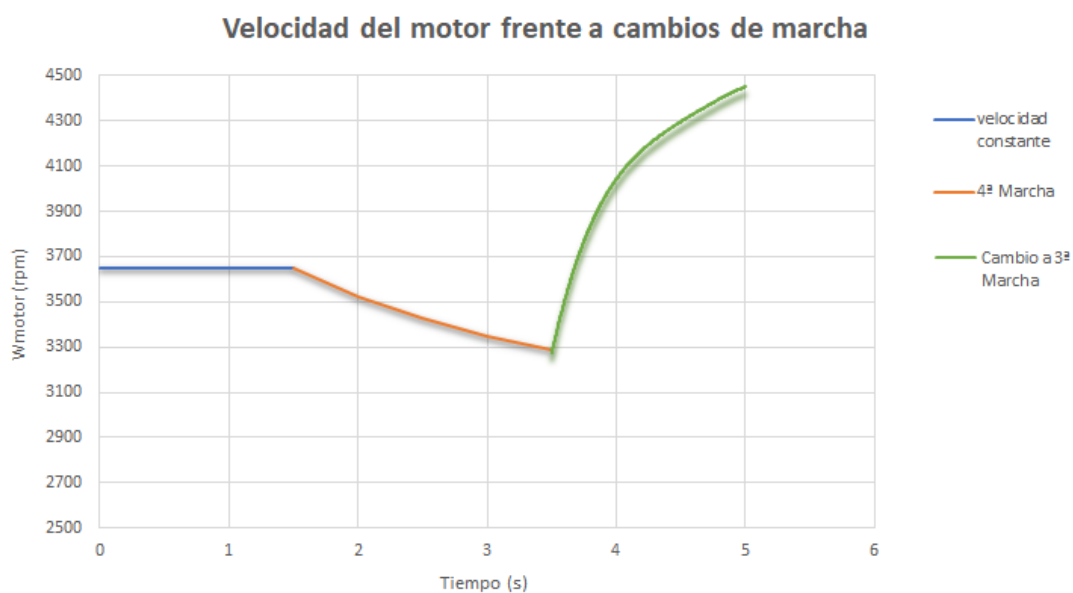


Ilustración 67: Respuesta de la velocidad del motor ante cambios de marcha. Realizado con Excel 2019

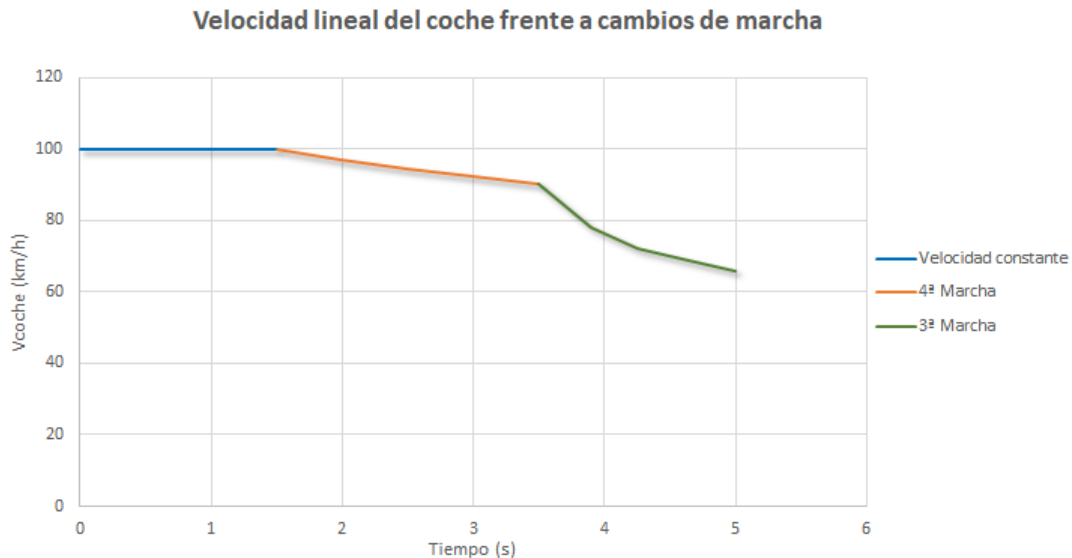


Ilustración 68: Respuesta de la velocidad lineal del vehículo ante cambios de marcha. Realizado con Excel 2019

La gráfica pintada de color azul corresponde con la situación en la que se le está exigiendo potencia al motor para mantener la velocidad constante. Una vez se levanta el pie del pedal estando engranada una de las marchas (gráfica naranja), la velocidad tanto del coche como la del motor se reducen. Si decidimos reducir la marcha, es decir, aumentar el factor de reducción, el motor tiende a subir su velocidad. Sin embargo, al no ser inmediato el cambio sino progresivo, la velocidad del coche tiende a equilibrarse con la de la velocidad del motor. Por ello, se aprecia en la gráfica que la velocidad lineal se reduce considerablemente. Ambas velocidades se encontrarán en un punto intermedio.

Es frecuente ver en los diferentes proyectos de conversiones que se han realizado, que se instale una bomba de vacío para dar apoyo y aumentar la presión del sistema de frenos. Son varios los motivos por los que se podría instalar una bomba de vacío en un vehículo eléctrico convertido. El primero es la ausencia del freno motor explicado anteriormente. Si bien es cierto que en el caso de un motor eléctrico podemos contar con el freno regenerativo, éste no es tan potente como el freno que ofrece el motor de combustión. Así mismo, para implementarlo es necesario saber cómo programarlo correctamente en el inversor. De ahí la importancia y la ventaja de elegir un motor cuyo sistema lleva integrado el inversor. El segundo motivo es que el peso del vehículo convertido puede aumentar debido al gran peso de las baterías que se instalan, en este caso, en el maletero. Esto influye en el comportamiento del vehículo aumentando la distancia de frenado además de afectar a sistemas como los neumáticos o la suspensión durante la circulación. El sistema de frenos de un coche está diseñado para una carga máxima determinada, por lo que, si aumentamos notablemente esa especificación, será necesaria la instalación de una bomba de vacío que aumente la presión en el sistema. Otra razón, es que, en alguno de los vehículos, sobre todo en los vehículos diésel, se suele integrar en el motor aprovechando su movimiento rotativo una bomba de vacío para alimentar varios sistemas neumáticos como el sistema de frenos, el control del turbocompresor, válvulas para RAG (un regulador de proporción aire/gas para procesos de combustión), válvulas de aire

secundario y mariposas del escape, por ejemplo. En algunos casos están montadas en la culata de cilindro y son accionadas por el árbol de levas.

Por ello, las bombas de vacío eléctricas mantienen la asistencia de la fuerza de frenado cuando sea necesario e independientemente del motor del vehículo^[26].

En el caso del mini 1275 GT los frenos son de accionamiento hidráulico, con válvula limitadora de presión para los frenos traseros. En las ruedas delanteras van montados frenos de disco mientras que las ruedas traseras van equipadas con frenos de tambor. En el caso del 1275 GT viene montado un servofreno de vacío.

Hoy en día los discos de tambor son cada vez menos usados debido a sus desventajas frente a los frenos de disco. Estos tienen poca capacidad de disipación de calor por lo que tienden a desgastarse más rápidamente y a deformarse. Si están más desgastados, aumenta la distancia de frenado. Por tanto, suprimiendo la posibilidad de reforzar la frenada con el freno motor, aumentando el peso en vacío del vehículo y contando con que utiliza frenos de tambor en las ruedas delanteras, se considera necesaria instalar una bomba de vacío que refuerce la frenada.

El MINI es un vehículo pequeño que se utilizaría de manera esporádica para trayectos pequeños, es decir, no está pensado su uso para recorrer largas distancias ni alcanzar elevadas velocidades. Existen nuevas tecnologías en cuanto a bombas de vacío para potenciar la frenada, con elementos electromecánicos y avanzados sensores. Sin embargo, para disminuir en gastos, se ha optado por un depresor de membrana eléctrico. Consiste en una bomba eléctrica de vacío con las siguientes características^[26]:

- Tensión de 12 V
- Potencia nominal del motor: 140W
- Intensidad de régimen 6A
- Nivel de vacío del depresor mínimo 60 cmHg (equivalente a 0,8 bar)
- Niveles de vacío de regulación de trabajo 60 -52 cmHg (0,8-0,7)
- Caudal min.: 3,2 m³/h
- Revoluciones de trabajo 1700-2200 rpm
- Par de giro: 0,4 N

- El depresor actúa únicamente cuando el nivel de vacío en el servofreno es insuficiente.

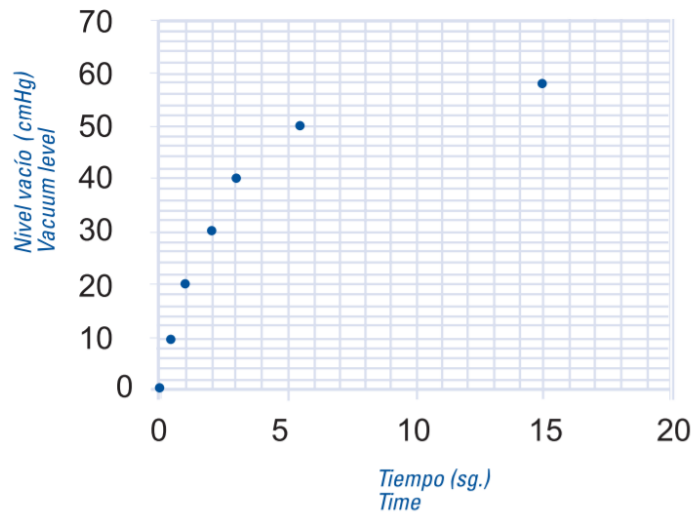


Ilustración 69: Gráfica presión de vacío entregada vs tiempo del depresor eléctrico proporcionada por el distribuidor^[26].

Este depresor eléctrico es proporcionado por Frenos Iruña, una empresa que diseña y fabrica componentes y sistemas de frenos para el sector automovilístico.



Ilustración 70: Depresor eléctrico^[26].

3.4.8. PEDALERA

Una de las cuestiones que se plantean es si la conversión a eléctrico exige un cambio en los pedales tanto de aceleración, freno o embrague. La respuesta dependerá del diseño de la transmisión que se ha decidido para la conversión.

Anteriormente se decidió suprimir el cambio de marchas y aprovechar la transmisión original del coche como reductora para el motor eléctrico. Se calculó el ratio de reducción y se acopló una de las marchas al motor. De esta manera, se suprime la posibilidad del cambio de marchas durante la conducción; por lo que el sistema de accionamiento del embrague se retira del coche. Asimismo, en la posición donde iba colocado el embrague

ahora se sistema de poleas para permitir la transmisión de movimiento del motor a la caja de cambios.

El cilindro maestro y el receptor forman parte del dispositivo de control del embrague de un automóvil. El movimiento del pedal se transfiere al cilindro de accionamiento hidráulico situado debajo del pedal. El cilindro genera presión hidráulica que es absorbida por el cilindro receptor de mando del embrague. La función de este sistema es la de transmitir la fuerza ejercida en el pedal del embrague al cojinete de desembrague a través de un circuito hidráulico.

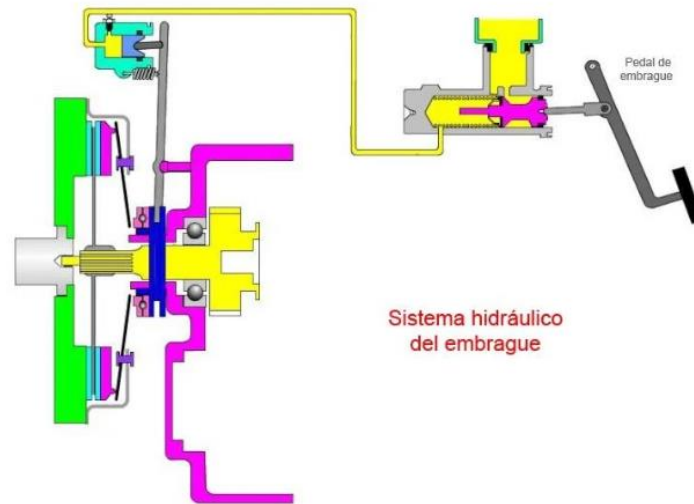


Ilustración 71: Esquema general simplificado del sistema hidráulico del embrague^[6].

A continuación, se muestran las secciones tanto del cilindro principal como el cilindro receptor del mini 1275 GT los cuales serán extraídos del vehículo.

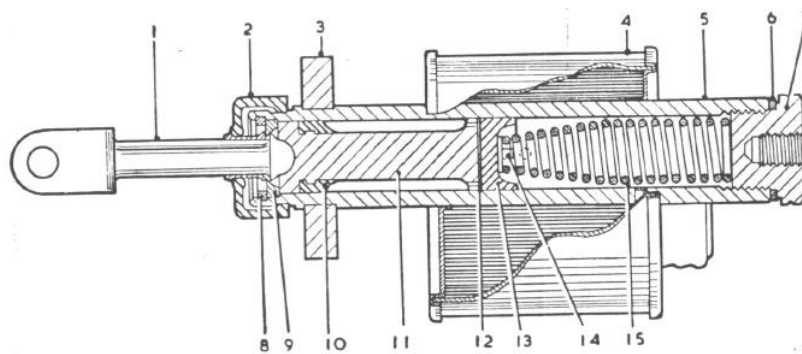


Fig. 2.7.—Sección en el cilindro principal de mando del embrague.

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1: Vástago de accionamiento. | 9: Retén. |
| 2: Guardapolvo. | 10: Cazoleta secundaria. |
| 3: Brida. | 11: Pistón. |
| 4: Depósito. | 12: Arandela. |
| 5: Cuerpo del cilindro. | 13: Cazoleta principal. |
| 6: Arandela. | 14: Fiador del muelle. |
| 7: Tapón. | 15: Muelle. |
| 8: Tapón. | |

Ilustración 72: Sección en el cilindro principal de mando del embrague^[14].

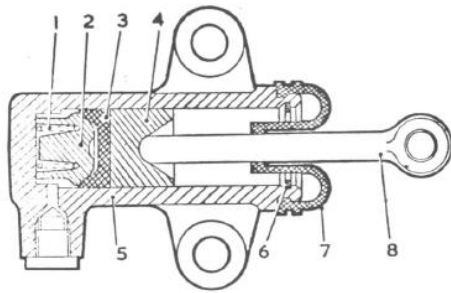


Fig. 2.8.—Sección en el cilindro receptor de mando del embrague.

- 1: Muelle.
- 2: Retenida de cazoleta.
- 3: Cazoleta.
- 4: Pistón.
- 5: Cuerpo del cilindro.
- 6: Clip.
- 7: Guardapolvo.
- 8: Vástago de accionamiento de la palanca.

Ilustración 73: Sección en el cilindro receptor de mando del embrague^[14].

En segundo lugar, el sistema de frenos viene provisto de un cilindro principal, cilindro diferencial y servofreno. El cilindro principal es similar al del mando de mecanismo de embrague, a excepción de la válvula de presión residual que no posee el cilindro de mando del embrague. Se encarga de convertir la fuerza ejercida en el pedal en presión hidráulica que acciona otros elementos como cilindros.

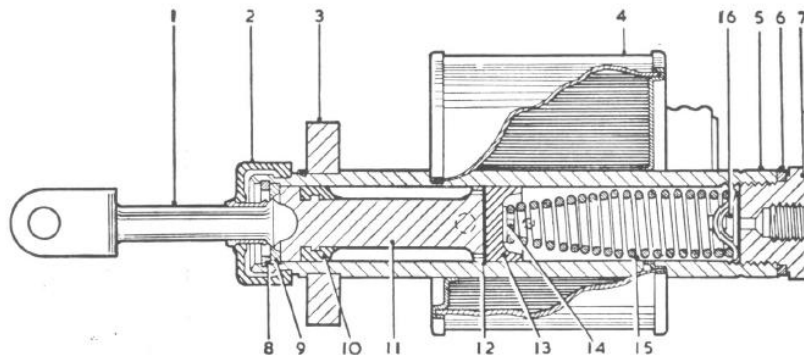


Fig. 8.1.—Sección en el cilindro principal de accionamiento de los mecanismos de freno.

- 1: Vástago.
- 2: Guardapolvo.
- 3: Brida.
- 4: Depósito.
- 5: Cilindro.
- 6: Arandela.
- 7: Tapón.
- 8: Clip.
- 9: Arandela de seguridad.
- 10: Cazoleta secundaria.
- 11: Pistón.
- 12: Arandela-junta.
- 13: Cazoleta principal.
- 14: Fiador del muelle.
- 15: Muelle de retroceso.
- 16: Válvula de presión residual.

Ilustración 74: Sección en el cilindro principal de accionamiento de los mecanismos de freno^[14].

El objetivo del cilindro diferencial es multiplicar el esfuerzo ejercido sobre el pedal del freno. Al pisar el pedal, el cilindro principal envía líquido al cilindro diferencial, en donde se eleva la presión siendo enviado a los cilindros receptores.

La función principal del servofreno es la de multiplicar la fuerza que el conductor ejerce sobre el pedal y permite potenciar la acción de frenado.

En este caso, el sistema de frenos se mantiene igual a excepción de la bomba de vacío que se añade para mejorar el frenado. Dependiendo de la bomba que se ha elegido, se instala un sensor de activación de la bomba de vacío. Dependiendo del vacío que se ha

generado en el circuito, el sensor abre o cierra el interruptor activando la bomba cuando sea necesario. La bomba de vacío trabaja a 12 V por lo que estará conectada a la terminal de 12 V del coche.

En tercer lugar, está el pedal del acelerador. Este pedal sí que va a sufrir cambios ya que ahora el recorrido que realice el pedal al presionarse regulará el paso de corriente al motor para demandar más o menos potencia al motor. El pedal del acelerador irá directamente conectado al inversor, el cual será el encargado de leer los datos del acelerador y enviar la corriente necesaria al motor.

En los motores de carburador, como es el caso del mini 1275, el acelerador permite regular la mezcla de aire y combustible mediante una mariposa (válvula) que está situada en la parte interna del carburador. El acelerador y la válvula mariposa se mueven simultáneamente de acuerdo con la presión en el pedal. El acelerador original en este caso del mini se reemplaza por un acelerador potenciómetro conectado directamente con el inversor indicándole la cantidad de corriente que le debe enviar al motor.



Ilustración 75: Ejemplo de acelerador electrónico^[27].

Existen diferentes tipos de pedal de acelerador. Uno de ellos es el sensor de pedal acelerador, un sensor sin contacto cuyo funcionamiento se basa en el principio inductivo. Este elemento está compuesto de un estátor, que integra bobinas de excitación y bobinas de recepción; un rotor y una pequeña unidad de control. Aplicando una tensión alterna en la bobina de excitación, se genera un campo magnético que induce una tensión en las bobinas de recepción. En el rotor se induce una corriente que influye también en las bobinas de recepción. Dependiendo de la situación del rotor con respecto a las bobinas de recepción del estátor, se generan amplitudes de tensión que son enviadas a la unidad de control para ser evaluadas. Una vez recibidas, la unidad de control manda el impulso correspondiente al motor.

Otro tipo de sensor electrónico en el pedal es el potenciómetro. Este sensor transmite una señal de tensión proporcional o inversamente proporcional a la variación del pedal del acelerador.

3.4.9. CARGADOR

Otra de las partes importantes de la conversión es el cargador. En este caso, el cargador estará situado en la parte trasera del coche ocupando el lugar del depósito de gasolina aprovechando el orificio por el cual se repostaba. A través de este conector se enchufará a la red eléctrica de la casa permitiendo la carga de las baterías.

Dependiendo del tipo de batería instalada en el coche en cuanto a su tecnología, el cargador que necesitan es uno u otro. Los cargadores para baterías, por ejemplo, de plomo y ácido requieren un tipo de cargador diferente a las baterías de litio. La diferencia es debida, en parte, a los diferentes ciclos de carga que exigen cada una de las baterías. Por ello, en caso de coger un kit de conversión, es necesario tener en cuenta este apunte y pedir el cargador idóneo para las baterías.

Los cargadores para baterías de litio son cargadores inteligentes que vienen en una amplia selección y estilo. Muchos cargadores son adecuados para paquetes de baterías de litio de 500 W a 3 KW. El TCCH y el HW son los mejores para baterías de litio de 3 KW a 12 KW. Estos cargadores, por ejemplo, están diseñados para vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía de litio y de LiFePO4. Usan el sistema de comunicación CAN bus.

El siguiente paso es instalar el conector a través del cual se podrá enchufar al punto de recarga. Existen principalmente dos conectores para la recarga de vehículos. Primero surgió el SAE J1772 utilizado en Estados Unidos y Sudamérica; y en base a este surge el estándar internacional IEC 62196 para el conjunto de conectores eléctricos como estándar europeo. La norma se basa en el estándar IEC 61851, que tiene un mecanismo que no entrega electricidad, a menos que esté conectado a un vehículo que esté inmovilizado, para evitar que se marche mientras siga conectado. Por tanto, el siguiente paso es adquirir el puerto de carga, en este caso el IEC 62196.



Ilustración 76: Ejemplo del conector tipo J1772^[28].

Las potencias de carga varían de 3,3 kW a 22 kW. Para elegir cargador se deben analizar dos factores principalmente: el tiempo que se va a requerir para cargar el coche y el tipo de cargador más conveniente para el modelo de baterías que se ha comentado anteriormente.

Por ejemplo, un Nissan Leaf, con unos 80kW de potencia y una capacidad energética de 24kWh; con un cargador de 3,7kW la recarga dura entre 7 y 8 horas; mientras que un cargador de 7 kW agiliza la recarga a 4/5 horas. Con estos ejemplos reales se puede tener una idea muy básica del tipo de cargador que podrá instalarse a el coche según las necesidades que se le exijan. Por tanto, para este caso concreto, se recomienda el uso de un cargador de 3,7 kW aprovechando la noche para recargar el coche aprovechando las tarifas valle de energía. Además, a menor potencia menor es el precio del cargador.



Ilustración 77: Ejemplo cargador TCCCH 6kW^[38]

El precio de un cargador de 3,3kW puede alcanzar los 650 \$ y uno de 6,6 kW hasta 1300\$. Es importante estudiar bien lo que necesita el coche y las baterías, el uso que se le va a dar y analizar bien las necesidades del cargador y su compatibilidad.

3.4.10. SISTEMA ELÉCTRICO

El coche eléctrico tendrá tres sistemas básicos principales: el sistema de propulsión, el sistema de carga y el sistema de 12 V. El sistema de propulsión utiliza alto voltaje y en él están incluidos el motor eléctrico, el inversor, el convertidor y las baterías. El sistema de carga utiliza 220 V AC de la red de casa y se compone del cargador de las baterías de litio. El sistema de 12 V se usa para alimentar diferentes dispositivos como son, por ejemplo, la calefacción, el alumbrado (luces exteriores e interiores, intermitentes, etc.), la radio, bocina, el panel de instrumentos, etc. Asimismo, se encuentran los dispositivos de conducción y de control que entran dentro del sistema de 12V. Como ya se ha comentado en los apartados anteriores, el sistema del embrague y del freno son el mismo a excepción de la adición de la bomba de vacío que trabaja a 12 V.

En apartados anteriores se han listado y explicado los diferentes dispositivos de los que se compone un vehículo eléctrico. Sin embargo, hoy en día, debido a las mejoras tecnológicas y el auge del desarrollo y fabricación de coches eléctricos, los elementos electrónicos necesarios son cada vez más complejos y completos, mejorando las prestaciones y llevando a cabo diferentes funciones en un mismo dispositivo.

Un ejemplo es el caso del inversor. Éste es un elemento complejo y es por ello por lo que los ingenieros automovilísticos se afanan por conseguir las máximas prestaciones y rendimientos de estos componentes. Por esta razón, los inversores desarrollados por los fabricantes desempeñan cada vez más las funciones de otros componentes presentes en los vehículos eléctricos, consiguiendo aunar varios dispositivos en uno, mejorando el rendimiento, el control y el espacio.

Existen en el mercado diferentes tipos de controladores e inversores. Dependiendo de su elección, el esquema eléctrico general del vehículo eléctrico es de una forma u otra. Se presentan tres opciones.

1. Sistema eléctrico integrando todos los componentes

En este caso, cada componente realiza su función. Éstos son:

- Cargador de baterías
- Baterías de tracción
- BMS
- Inversor
- Convertidor
- Motor
- Batería auxiliar de 12 V
- Acelerador/potenciómetro
- Unidad de control / controlador

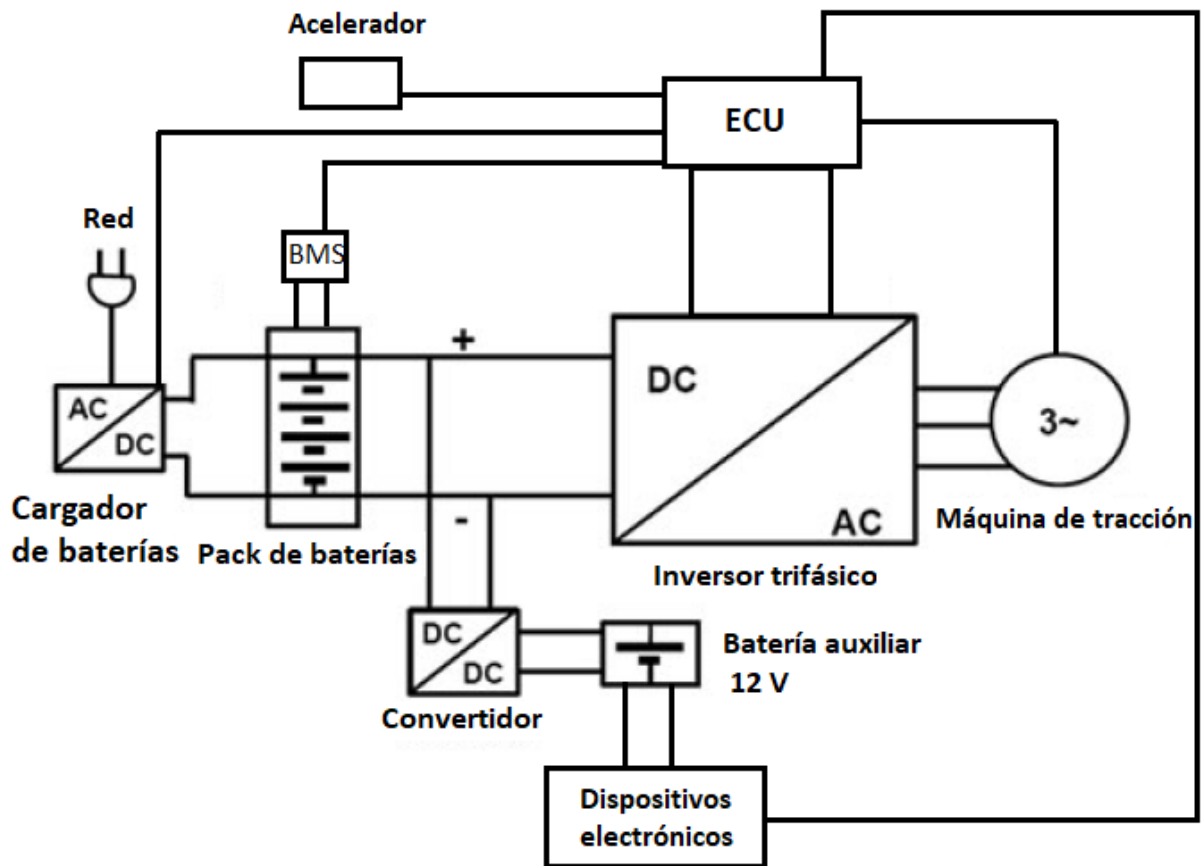


Ilustración 78: Esquema eléctrico general vehículo eléctrico. Diseñado por la autora para este TFG

2. Esquema eléctrico con algunos dispositivos integrados en uno

Como ejemplo, la compañía multinacional de ingeniería BOSCH ofrece, por ejemplo, una unidad que integra el inversor y el CC/CC convertidor reduciendo el número de interfaces y facilitando las aplicaciones del vehículo.



Ilustración 79. Ejemplo de inversor y convertidor integrados de la marca BOSCH^[20]

A continuación, se muestra el esquema simplificado de la conexión de este dispositivo que integra ambos sistemas.

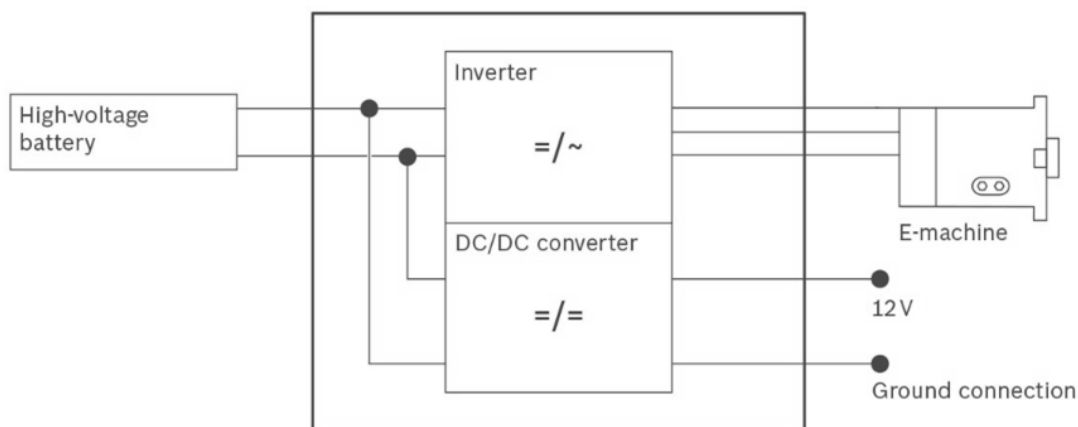


Ilustración 80: Esquema simplificado del sistema integrado inversor/convertidor^[20]

Ésta es una buena solución ya que simplifica las conexiones y se produce un ahorro de espacio o incluso económico.

3. Esquema eléctrico con inversor que incluye la unidad de control

Debido a la constante mejora tecnológica, puede darse el caso de que se ofrezca, al igual que un inversor/controlador integrados, un dispositivo electrónico que, además, incluya la coordinación de los todos los componentes, es decir, que lleve incorporado la unidad de control del vehículo. En este caso el esquema eléctrico sería de la forma:

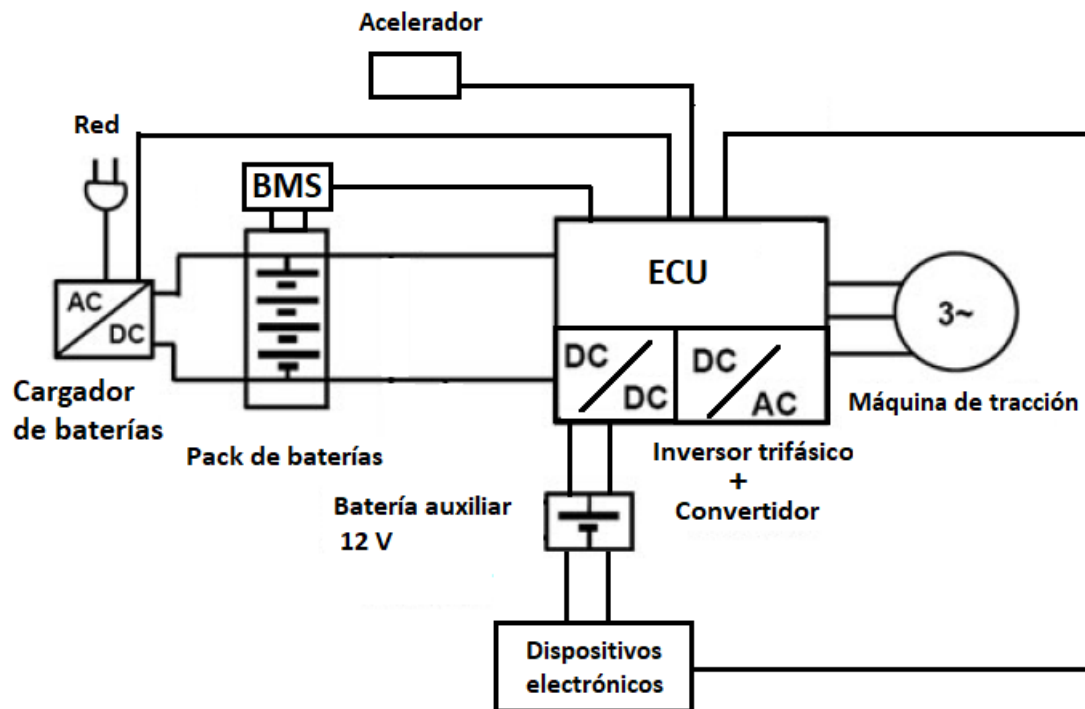


Ilustración 81: Esquema eléctrico inverter/conversor/ECU integrados. Diseñado por la autora para este TFG

Esta opción sería la óptima debido al evidente ahorro de espacio, simplificación de interfaces, facilidad en instalación y montaje, y puede que hasta ahorro económico.

Esquema final del sistema eléctrico mini 1275 GT

Tras estudiar, analizar y elegir todos los componentes necesarios para la conversión del mini 1275 GT, se muestra a continuación el esquema final propuesto del sistema eléctrico del coche.

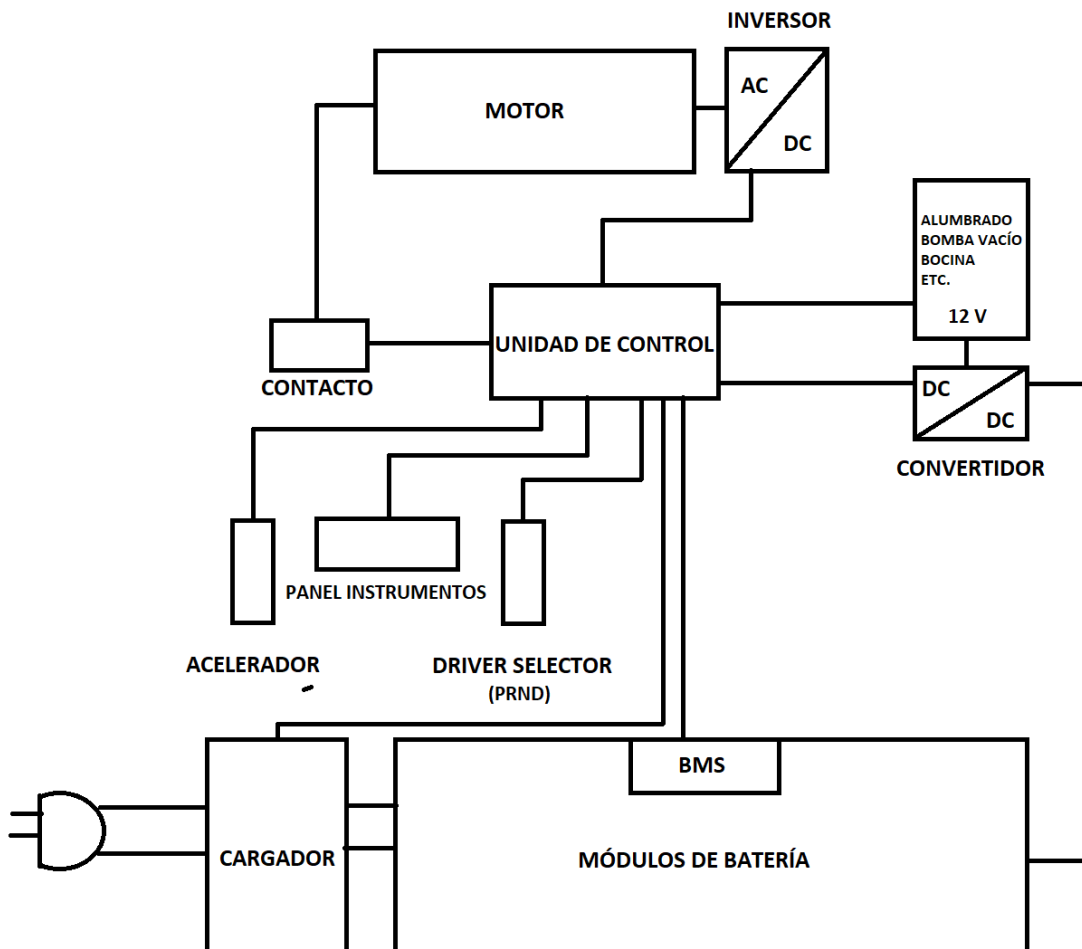


Ilustración 82: Esquema del sistema eléctrico del mini 1275 GT tras la conversión. Diseñado por la autora para este TFG

Como se puede apreciar a la unidad de control le llegan conexiones de todos los dispositivos. Se disponen los cuatro módulos de batería conectados en serie. Cada una de ellas cuenta con la incorporación de la BMS que envía información constante sobre el estado de las baterías a la unidad de control. Las baterías están conectadas directamente al cargador que se hallará junto a las baterías en la parte trasera del vehículo. El acelerador conecta directamente con la unidad de control, la cual será la encargada de recibir la información y enviársela al motor a través del inversor. A partir del dispositivo ‘Drive Selector’ indicamos el modo de conducción, el cual será enviado y procesado por la unidad de control. En el panel de instrumentos se indicarán todos los estados tanto de baterías, motor, luces, cargador, etc. Toda esa información es proporcionada por la unidad de control.

Se puede apreciar también la instalación de un contacto conectado a la ECU. Su propósito es el mismo que el interruptor de ignición en un vehículo de combustión. Este dispositivo permitiría el paso de flujo al motor.

La batería de 12 V se ha suprimido. Las baterías de tracción son capaces también de alimentar el resto de dispositivos mediante el convertidor de tensión y la coordinación de

la unidad de control. Además, la batería original se trataba de una batería de plomo ácido llenas de electrolito de ácido sulfúrico. Como ya se comenta anteriormente, estas baterías son las más antiguas y las que peor relación tienen entre la electricidad acumulada y el peso y volumen. Por tanto, la solución sería o bien instalar una nueva batería de 12 V o permitir que las baterías de tracción proporcionen esa energía. Bien es cierto que esta solución disminuye la autonomía de las baterías. Por tanto, se debería analizar y estudiar una solución con un buen equilibrio entre autonomía, precio, espacio y peso.

Debido a la antigüedad del mini, el sistema eléctrico no es tan complicado como los coches de hoy en día. A continuación, se adjunta el esquema eléctrico del mini 1275GT proporcionado por uno de los manuales del vehículo.

| | |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1: Dinamo. | 45: Velocímetro. |
| 2: Caja de control (grupo de regulación). | 46: Indicador de temperatura de agua. |
| 3: Batería. | 47: Termocontactor. |
| 4: Relé de arranque. | 49: Contactor de luces de retroceso. |
| 5: Motor de arranque. | 50: Luces de retroceso. |
| 6: Interruptor de alumbrado. | 64: Estabilizador de voltaje del cuadro de instrumentos. |
| 7: Conmutador de luz de cruce-carretera | 83: Calentador del colector de admisión. |
| 8: Faro derecho. | 95: Tacómetro. |
| 9: Faro izquierdo. | 110: Intermitente lateral derecho. |
| 10: Luz testigo de luces de carretera. | 111: Intermitente lateral izquierdo. |
| 11: Luz de posición derecha. | 115: Interruptor del dispositivo de calentamiento de luna trasera. |
| 12: Luz de posición izquierda. | 116: Dispositivo de calentamiento de luna trasera. |
| 14: Luces de tablero de instrumentos. | 139: Interruptor y motor del limpiaparabrisas de dos velocidades. |
| 15: Luces de iluminación de matrícula. | 150: Luz testigo del dispositivo de calentamiento de luna trasera. |
| 16: Luces de pare y de posición, derecha. | 158: Circuito impreso del tablero de instrumentos. |
| 17: Luces de pare y de posición, izquierda. | 159: Luz testigo de presión en el circuito de frenos. |
| 18: Contactor de luces de pare. | 160: Luz testigo de falta de presión en el circuito de frenos. |
| 19: Fusibles. | |
| 20: Luz interior. | |
| 21: Contactor de puerta derecha. | |
| 22: Contactor de puerta izquierda. | |
| 23: Bocinas. | |
| 24: Pulsador de las bocinas. | |
| 25: Relé de intermitentes. | |
| 26: Interruptor-conmutador de intermitentes. | |
| 27: Luz testigo de intermitentes. | |
| 28: Intermitente delantero derecho. | |
| 29: Intermitente delantero izquierdo. | |
| 30: Intermitente trasero derecho. | |
| 31: Intermitente trasero izquierdo. | |
| 32: Interruptor del ventilador de aire fresco. | |
| 33: Ventilador de aire fresco. | |
| 34: Indicador del nivel de gasolina. | |
| 35: Aforador. | |
| 36: Interruptor del limpiaparabrisas. | |
| 37: Motor del limpiaparabrisas. | |
| 38: Interruptor-conmutador | |
| 39: Bobina de encendido. | |
| 40: Distribuidor. | |
| 41: Bomba de gasolina (eléctrica). | |
| 42: Manoccontactor de aceite. | |
| 43: Luz testigo de presión de aceite. | |
| 44: Luz testigo de encendido. | |

Código de colores.

| | |
|-------|--------------|
| B: | Negro. |
| U: | Azul. |
| N: | Marrón. |
| G: | Verde. |
| P: | Morado. |
| R: | Rojo. |
| W: | Blanco. |
| Y: | Amarillo |
| L. G: | Verde claro. |

Cuando un cable esté designado por dos letras, la primera indica el color principal.

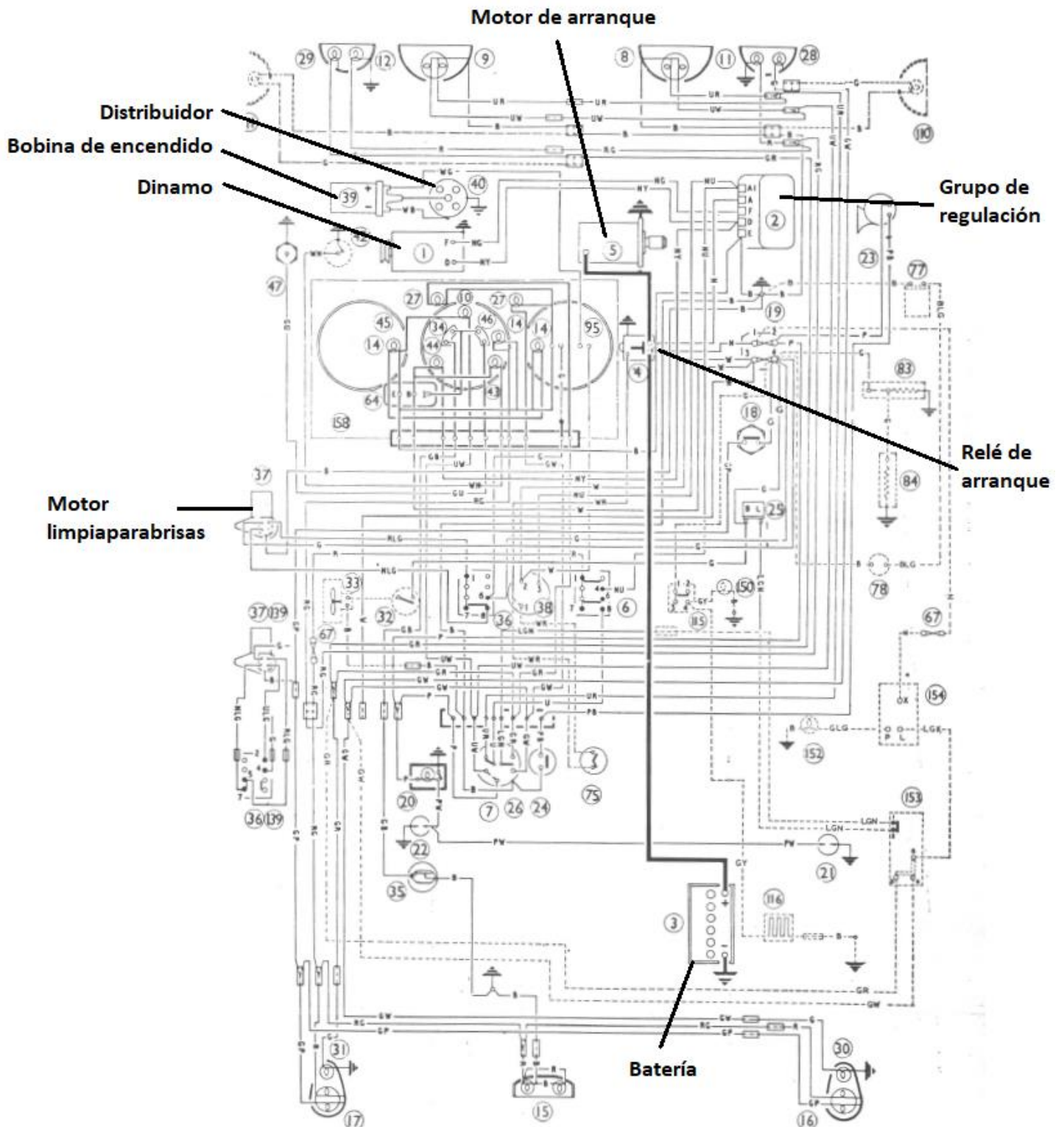


Ilustración 84: Esquema eléctrico mini 1275 GT¹⁴¹ con anotaciones específicas para este TFG

La dinamo es un generador eléctrico destinado a transformar el flujo magnético en electricidad. Su función en los coches era aprovechar el giro del cigüeñal para recargar la

batería del coche y poder suministrar así la energía a los diferentes dispositivos eléctricos del coche como el alumbrado, los limpiaparabrisas, etc. En el circuito están involucrados la dinamo, un disyuntor o también llamado grupo de regulación y la batería. El regulador se encarga de nivelar la tensión en el circuito haciéndola independiente de la rotación del generador y de la solicitud de corriente de la batería por los diferentes dispositivos. Esto permite que los constantes cambios de régimen de giro de la dinamo no afecten a la batería. Este elemento electrónico será reemplazado por el convertidor de voltaje antes comentado.

De manera general, estos dispositivos junto con el motor de arranque, la bobina de encendido, el distribuidor, la bomba de gasolina, el manocontactor de aceite, velocímetro original, indicador de temperatura de agua, termocontactor, estabilizador de voltaje del cuadro de instrumentos, tacómetro, etc. son retirados del circuito. Ahora, todos los intermitentes, luces, y demás dispositivos serán gestionados partiendo de la unidad de control.

Tras finalizar el análisis y diseño de cada uno de los elementos necesarios en un vehículo eléctrico se alcanza los objetivos 2 y 3 del proyecto.

3.5. RESULTADO FINAL

A continuación, se muestran dos imágenes: la primera muestra el Mini modelado en 3D con el motor original de combustión; mientras que en la segunda imagen se visualiza cómo quedaría el coche con el modelo aproximado del sistema nuevo de tracción. El montaje se ha realizado utilizando Autodesk 3ds Max, programa de creación de gráficos y animación 3D desarrollado por Autodesk. El modelo del Mini ha sido obtenido de una plataforma de colaboración gratuita basado en una nube que ayuda a los equipos de ingeniería a administrar, ver y compartir archivos CAD. En cambio, el modelado y diseño del motor y acoplamiento de la caja de cambios se ha realizado en SolidWorks para este proyecto.



Ilustración 85: Modelo 3D MINI 1275 GT original. Modelo CAD Mini obtenidos de GrabCad



Ilustración 86: Modelo aproximado 3D MINI 1275 GT con motor eléctrico e inversor acoplados a la caja de cambio. Modelo CAD Mini obtenido de GrabCad, sistema de tracción diseñado para este TFG

En cuanto a las baterías compuestas de cuatro módulos, cómo se ha explicado, irán instaladas en el compartimento del equipaje:



Ilustración 87: Visión trasera del modelo 3D MINI 1275 GT con el conjunto de baterías. Baterías y modelo CAD Mini obtenidos de GrabCad

4. ALTERNATIVAS

Existen multitud de alternativas posibles para llevar a cabo la conversión a eléctrico de un vehículo a parte de la propuesta y por supuesto, algunas de ellas mejores a la propuesta en este proyecto. Estas alternativas han ido surgiendo a medida que el trabajo avanzaba y siempre existe la posibilidad de que nuevas opciones que se encuentren sean mejores que las elegidas. Sin embargo, por una opción se empieza dando paso luego a mejoras y perfeccionamientos.

A continuación, se introducen otras posibles alternativas:

4.1.ES3000I E-DRIVE UNIT DANA TM4

Esta unidad motriz consta de un motor eléctrico y una reductora integrados. Es un sistema de tracción orientado para aplicaciones en vehículos ligeros. Las características principales del motor y reductora son:

- Máximo 16000 rpm
- Máximo par de salida: 3000Nm
- Potencia máxima: 85kW
- Ratio de reducción: 14,7
- Peso del sistema: 70kg

A diferencia con el motor MOTIVE 275 elegido, esta unidad no lleva integrado el inversor, pero sí, por el contrario, lleva integrada una reductora. Este factor es muy importante y es lo que le da valor a esta unidad de tracción. Partiendo de las ecuaciones y cálculos realizados en el apartado correspondiente con el motor, se llega a la conclusión de que contando con un menor par máximo disponible y un mayor número de revoluciones por minuto máximo, se obtiene un mejor uso y rendimiento de la potencia que puede dar el motor. Es decir, en los motores eléctricos, cuanto mayor sea el régimen de vueltas máximo más aprovechable será su potencia. Esto es debido a que, estas revoluciones por minuto máximas permitirán el uso de reductoras que reducirán el par necesario que se demanda al motor.

En este caso, habría que añadir un inversor, un convertidor y una unidad de control. El mismo fabricante tiene una gran oferta pudiendo incorporar uno de ellos según las características demandadas por el motor.

En cuanto a la instalación en el coche, debido a que cuenta con reductora, no es necesaria la caja de cambios original. Por consiguiente, habría que estudiar el acoplamiento directamente al diferencial del coche.



Ilustración 88: Imagen del Spicer Electrified eS3000i e-Drive Unit^[19]

4.2.E-AXLE DRIVE SYSTEM BOSCH

Este módulo se define como un sistema compacto, eficiente y atractivo al coste. Compacto debido a que integra en una unidad el motor eléctrico, la electrónica de potencia y la transmisión. Eficiente debido a que, por un lado, permite escalar la potencia en un amplio espectro para su aplicación en diversos tipos de vehículos (de 50 a 300 kW) y por otro, asegura un mayor alcance o, que es lo mismo, menos requisitos de capacidad a la batería. En lo referente al coste, combinando la electrónica de potencia, el motor eléctrico y la transmisión en una unidad de accionamiento, es posible ahorrar en términos de componentes, así como en los cables de conexión.

Las prestaciones del motor resumidas son:

- Potencia escalable de 50-300 kW
- Para escalable de 1000-6000 Nm
- Máxima velocidad del motor: 16000 rpm
- Peso aproximado de 90 kg

En comparación con los dos módulos anteriores, este es el más pesado; sin embargo, es el que más componentes tiene integrados, quitando la necesidad de la caja de cambios y la de añadir un inversor.

Componentes necesarios para completar el sistema eléctrico es la unidad de control y el convertidor.



Ilustración 89: Imagen del e-Axle Drive Unit de BOSCH^[20]

4.3. KITS COMPLETOS PARA CONVERSIÓN A ELÉCTRICO

La mayoría de los proyectos que se han realizado que se encuentran en internet están realizados partiendo de la obtención de un kit completo y barato con los componentes necesarios para conseguir electrificar un coche de combustión. Un ejemplo es la organización Autolibre, la cual suministra componentes eléctricos y baterías de litio para el desarrollo de vehículos eléctricos. Esta empresa ha creado dos kits de diferente nivel de tensión: uno de 72V y otro de 96V. Estos kits incluyen:

- Motor AC inducción 72V máx. 28 kW, máx 6800 rpm y 96V máx. 37kW
- Controlador de 72V 400A / 96 V 500A
- Pedal acelerador
- Cargador 2,5 kW (multivoltaje, entrada de 100 a 250V AC)
- Convertidor DCDC
- Medidor de voltaje
- Bomba de vacío para el caso del kit de 96V
- El precio total de ambos kits son respectivamente 1555\$ y 2150\$ sin contar con baterías (según datos en la página web de la empresa)

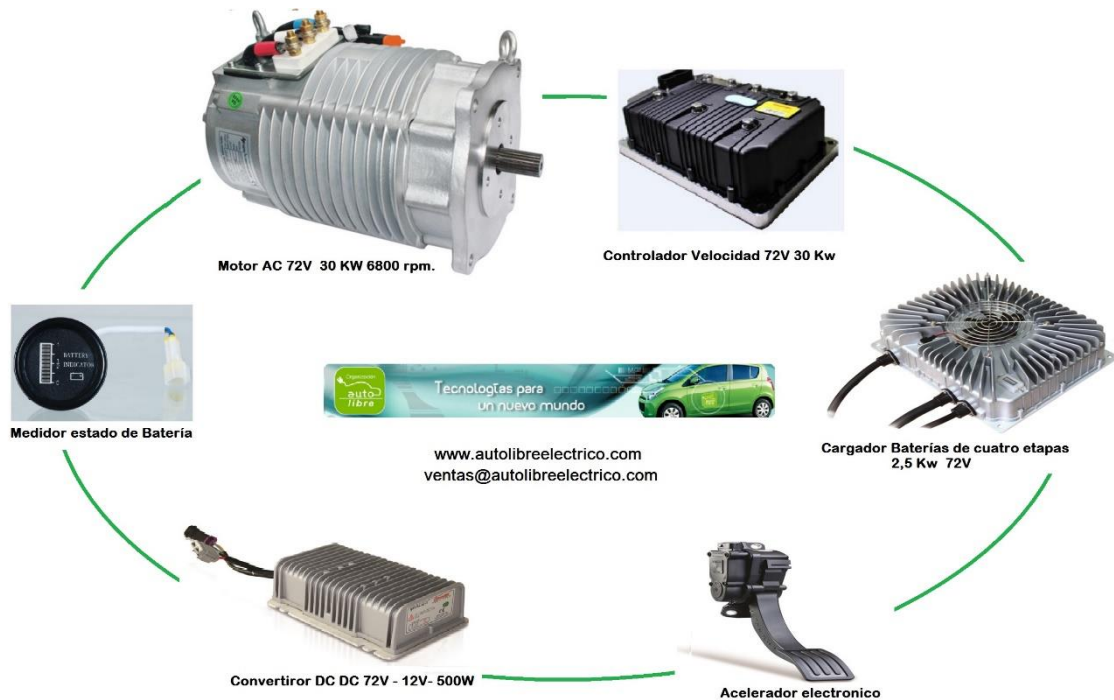


Ilustración 90: Kit electrificación de vehículos AutoLibre^[29].

En primer lugar, el kit cuenta con un motor de inducción de 28 kW y un máximo de 6800 rpm. Esta potencia puede ser suficiente para poner en marcha un coche ligero, pero sin exigirle grandes esfuerzos si lo analizamos como en los casos anteriores. Además, si contamos con ese máximo régimen de vueltas se complica la posibilidad de añadir una reductora para aprovechar al máximo la potencia del motor. Esto puede establecer el máximo de velocidad lineal del coche en unos 80 km/h. Otra variable es la tensión del motor. A menor tensión, mayor es la corriente que circula por los devanados y por los cables; por tanto, eso exige una mayor protección a parte de un empeoramiento del rendimiento debido al mayor paso de corriente.

También es importante contar con el peso de los componentes, una variable muy importante en la conversión. Ya solo este motor pesa unos 40-45 kg.

Para elegir estos kits se debe antes analizar y conocer bien el rendimiento que se va a poder sacar al motor y cerciorarse de que es suficiente para el uso que se le va a querer dar al vehículo. También, una variable muy importante es el coste. La importancia que se le dé depende del objetivo y la motivación de llevar a cabo este tipo de proyectos. Digo esto debido a que algunas personas que han llevado a cabo este proyecto partiendo de estos kits acaban por cambiarlo para incrementar el rendimiento y sacarle más partido al nuevo coche eléctrico. Por tanto, si el objetivo es solo enfrentarse a ello, aprender y obtener un coche sencillo y para un uso básico a un coste bajo, estos tipos de kits son una opción. Si el objetivo es aprender e ir mejorando cada vez más el vehículo para poderle dar un mejor y mayor uso, mejor es estudiar otras opciones, aunque el precio sea más alto ya que a la larga, resultará menos costoso.

También es muy importante añadir que en España los requisitos para conseguir la homologación de la reforma son bastante estrictos. De manera que se exigen a los componentes eléctricos, como el motor, el cumplimiento de la normativa vigente. En

estos casos, son motores provenientes de China, por ejemplo, que no han sido testados ni certificados por algún organismo europeo.

4.3.1. Ejemplo del uso de este kit para la conversión a eléctrico de un Volkswagen Pointer.

Se trata de la conversión a eléctrico de un Volkswagen Pointer utilizando el kit de AutoLibre en México. En un principio, el propietario instaló el kit de 72 V; sin embargo, tras su instalación y prueba decidió pasarse a un kit de 96V con el fin de aumentar la potencia y también bajar el consumo en corriente debido al aumento de tensión. Vio también que el kit de 72 V se quedaba limitado para el peso del vehículo. Como fuente de alimentación utilizó varios módulos de baterías de plomo-ácido. Solo el pack de baterías pesaba ya 300 kg para otorgar solo una autonomía de 25 km por carga y una velocidad máxima de 80km/h. En el segundo intento, su objetivo es sustituirlas por módulos de baterías de litio las cuales presentan mayor densidad energética y, por tanto, menor peso, mayor ciclo de vida y una mayor explotación por cada ciclo de carga.

En cuanto al coste económico que supuso la conversión completa con un kit de 72V, se muestra a continuación el listado de precios^[30]:

- 2650 \$ -> kit de conversión autolibre de 72V
- 2000 \$ -> pack de 9 Baterías de 8V de plomo marca Trojan
- 250 \$ -> cables
- 300 \$ -> acoplamiento y varios

Este ejemplo muestra la importancia de conocer bien las necesidades de tu coche, cada uno de los elementos que se van a instalar y si son los adecuados para conseguir un buen rendimiento para el uso que se le va a dar al coche. Realizando este análisis previo se ahorra tiempo, dinero y esfuerzo.

5. HOMOLOGACIÓN

5.1. Manual de reformas

El Manual de Reformas es un documento elaborado por el Ministerio de Industria, en colaboración con los órganos competentes en materia de ITV de las comunidades autónomas, que establece las descripciones de las reformas tipificadas, su codificación y la documentación precisa para su tramitación. Por ello, es de máxima importancia tener en cuenta estos requisitos durante el diseño del proyecto^[32].

El manual de reformas se haya en este momento desde mayo de 2020 en su sexta revisión corrección 1 dejando algunas modificaciones aún en audiencia.

El manual se divide en cuatro secciones en las que se describen las reformas para diferentes tipologías de vehículos.

- I. VEHÍCULOS DE LAS CATEGORÍAS M, N y O.
- II. VEHÍCULOS DE CATEGORÍAS L, QUADS y UTV
- III. VEHÍCULOS AGRICOLAS
- IV. VEHÍCULOS DE OBRAS Y/O SERVICIOS

El mini 1275 GT pertenece a los vehículos de categoría M, por lo que se atenderá solo a la correspondiente sección.

A su vez, está dividido en funciones o grupos en los cuales se identifican a partir de códigos de reforma las modificaciones realizadas sobre el vehículo. Son los siguientes:

- 1. Identificación
- 2. Unidad motriz
- 3. Transmisión
- 4. Ejes
- 5. Suspensión
- 6. Dirección
- 7. Frenos
- 8. Carrocería
- 9. Dispositivos de alumbrado y señalización
- 10. Uniones entre vehículos tractores y sus remolques o semirremolques
- 11. Modificaciones de los datos que aparecen en la tarjeta de ITV

Para la reforma que se está contemplando los grupos afectados son:

- **Unidad motriz**
La parte que está más afectada por la reforma es la unidad motriz ya que se sustituye por otra de diferentes características. En la revisión anterior del manual (5ª revisión) se añadió un nuevo código de reforma en este grupo, en el cual se especifican en su propio código las transformaciones a vehículos eléctricos. A este le corresponde el código **2.11**.
- **Transmisión**
Debido a que se modifica la caja de cambios original y se suprime el uso del embrague, esta sección se afectada.
- **Carrocería**
Debido a que las baterías van a ser colocadas en el maletero, se deben tener en cuenta los requisitos a cumplir en lo referente al acondicionamiento interior.

En general los sistemas afectados y las directivas asociadas son los siguientes:

Tabla 8: Sistemas afectados por la reforma y directivas asociadas^[31].

| Sistema afectado | Reglamentación y Disposiciones europeas |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Masas y dimensiones | 95/48/CEE 92/21/CEE R (CE) 661/2009 (R) |
| Compatibilidad electromagnética | 72/245/CEE Reglamento CEPE/ONU 10 (R) o bien R (CE) 661/2009 (R) |
| Seguridad eléctrica | Reglamento CEPE/ONU 100 (R) |
| Frenado | 71/320/CEE Reglamento CEPE/ ONU 13 (R) R (CE) 661/2009 (R) |
| Acondicionamiento interior | 74/60/CEE Reglamento CEPE/ONU 21 (R) |

Esta tabla está sacada del Real Decreto 2028/1986 por el que se dictan normas para la aplicación de determinadas Directivas de la CEE, relativas a la homologación de tipos de vehículos automóviles, remolques y semirremolques, así como de partes y piezas de dichos vehículos^[31].

5.1.1. Reglamento CEPE/ONU 100 (R)

Reglamento nº 100 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE/ONU) — Disposiciones uniformes relativas a la homologación de vehículos en relación con los requisitos específicos del grupo motopropulsor eléctrico [2015/505].

En este documento se detallan los requisitos de seguridad con respecto al grupo motopropulsor eléctrico de los vehículos de carretera de las categorías M y N, equipados con uno o más motores de tracción que funcionan mediante energía eléctrica y no están permanentemente conectados a la red, así como sus componentes y sistemas de alta tensión que están conectados galvánicamente al bus de alta tensión del grupo motopropulsor eléctrico.

Además, se desarrollan los requisitos de seguridad con respecto al sistema de acumulación de energía recargable (REESS).

A continuación, se resumen los requisitos que debe cumplir el vehículo por lo que respecta a su seguridad eléctrica, aquellos que deberán de tenerse en cuenta durante el diseño del proyecto.

5.1.1.1. Requisitos respecto a su seguridad eléctrica

I. Protección contra choques eléctricos.

I.I. Se instalarán protecciones (aislantes sólidos, barreras, envolventes, etc.) que no podrán quitarse, desmontarse o abrirse sin el uso de herramientas. Es decir, el sistema eléctrico deberá estar cubierto y fijado evitando el contacto directo con zonas electrificadas.

I.II. La instalación del nuevo sistema de tracción cumplirá diferentes grados de protección a efectos de la protección de las partes activas en zonas distintas del habitáculo para ocupantes, cumpliéndose grado de protección IPXXB y para zonas dentro del habitáculo de los ocupantes, proporcionándose grado de protección IPXXD.

El grado de protección es el nivel de protección proporcionado por una envolvente contra el acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos de sólidos extraños, contra impactos mecánicos, y que además se verifica por métodos de ensayo normalizados. En este caso, el código IP se encuentra descrito en una norma, en las que además se indica la forma de realizar los ensayos para su verificación. Código IP: UNE 120324, que es equivalente a la norma europea EN 60529.

Este código está formado por dos números, en cuanto al primero, a medida que aumenta el valor de la cifra, el cuerpo sólido que la envolvente deja penetrar es menor. La segunda cifra indica la protección del equipo en el interior de la envolvente contra los efectos perjudiciales debidos a la penetración del agua.

Adicionalmente, se añade información suplementaria sobre el grado de protección de las personas contra las partes peligrosas con una letra (A,B,C o D).

En caso de que no se especifiquen las cifras características será bien porque no es necesaria para una aplicación concreta o porque no ha sido ensayada en este aspecto. En esta situación la cifra característica correspondiente se marca con una "X".

En este caso, el reglamento indica a efectos de la protección de zonas distintas al habitáculo de ocupantes, el cumplimiento de un grado de protección IPXXB. Por tanto, la envolvente de la protección que se instalará en el coche evitará la accesibilidad a partes peligrosas con los dedos u objetos que no excedan una longitud de 80 mm. La prueba se realizará con dedo de 12mm de diámetro y longitud de 100 mm^[33].

I.III. Todos los conectores incluida la toma del vehículo cumplirán los siguientes requisitos:

I.III.I. Bien el apartado I.I o I.II, cuando se separan sin la necesidad de herramientas,

I.III.II. bien se instalarán debajo del coche con un dispositivo de cierre,

I.III.III. bien contarán con dispositivo de cierre y otros componentes se quitarán mediante el uso de herramientas para separar el conector,

I.IV. Marcado

I.IV.I. Todas las zonas de alta tensión se marcarán con la siguiente indicación de equipo de alta tensión



Tabla 9: Marcado del equipo de alta tensión

I.IV.II. Los cables de los buses de alta tensión que no estén situados en el interior de envolventes se identificarán mediante una cubierta de color naranja.

I.V. Protección contra el contacto indirecto.

I.V.I. Las partes conductoras expuestas como las barreras, envolventes, etc. se conectarán galvánicamente de forma segura al chasis eléctrico a través de una conexión con cables eléctricos o un cable de tierra, o bien mediante soldadura, tornillos, etc.

I.V.II. Se comprobará que la resistencia entre todas las partes conductoras expuestas y el chasis eléctrico será inferior a 0,1 ohmios cuando haya un flujo de corriente del al menos 0,2 amperios.

I.V.III. La resistencia de aislamiento entre el bus de alta tensión y el chasis eléctrico será, como mínimo, de 1 MΩ cuando el acoplador del cargador esté desconectado.

I.VI. Seguridad funcional

I.VI.I. Al salir del vehículo, se añadirá una señal (óptica o acústica) que avise al conductor en caso de que el vehículo siga estando en el “modo de conducción posible activo”. Al cargar desde el exterior el REESS de a bordo, deberá ser imposible que el vehículo se desplace por su propio sistema de propulsión mientras el conector de la fuente de energía eléctrica exterior esté conectado físicamente a la toma del vehículo. Por tanto, el conector llevará instalado un dispositivo que bloquee la apertura de la toma del vehículo cuando el motor siga estando activo.

5.1.1.2. Requisitos de un sistema de acumulación de energía recargable (REESS)

Los requisitos más destacables del sistema de acumulación de energía recargable (REESS) por lo que se refiere a su seguridad se resumen en cumplir una serie de pruebas o ensayos. Éstos son:

- I. Ensayo de vibración
- II. Ensayo de choque térmico y de ciclos
- III. Resistencia al fuego
- IV. Integridad mecánica
- V. Ensayo de cortocircuito
- VI. Ensayo de sobrecarga
- VII. Choque mecánico

Todos ellos y sus procedimientos se hayan descritos en el Anexo 8 del Reglamento CEPE/ONU 100R.

5.2. Normativa europea

En España, la parte con mayor importancia en la homologación es el sistema de acumulación de energía. Por tanto, elegir una buena batería es un factor muy importante. En este proyecto se han elegido las baterías KOKAM debido a que ofrecen módulos de baterías destinadas a vehículos eléctricos que han sido certificadas cumpliendo diferentes estándares. Sin embargo, las opciones a la hora de elegir baterías son tres:

- Si se tiene conocimientos y motivación suficiente se puede llevar a cabo un proyecto como el de fabricar una batería de celdas de ion. La posible ventaja de esta opción es el diseño propio tanto de capacidad como densidad energética. Sin embargo, la desventaja es su dificultad de diseño tanto por el proyecto en sí como por la homologación a posteriori. Además, diseñar y programar la BMS para el control y gestión de todos los parámetros de la batería.
- Otra opción es obtener la batería que mejor se adapte al vehículo en relación calidad, precio y prestaciones. No obstante, si esta no está homologada por normativas europeas se debe contar con el coste y trámite de su homologación, lo que puede suponer un gran aumento del coste final de la batería.
- Por último, la mejor opción es la de encontrar un fabricante cuyas baterías se vendan ya certificadas. Éstas pueden suponer un aumento del precio; sin embargo, compensa al final del proyecto.

En nuestro caso, las baterías KOKAM que destinan su uso a vehículos eléctricos han superado las pruebas de homologación según varias normativas. Estas son^[10]:

- **ISO 12405:** Estándar para vehículos de propulsión eléctrica- Especificación de prueba para los paquetes y sistemas de baterías de tracción de iones de litio- Parte 4: Pruebas de rendimiento.
En este documento se presentan los detalles de los procedimientos de los ensayos específicos para los paquetes de baterías de iones de litio desarrollados expresamente para vehículos de propulsión eléctrica.
- **ISO 20653:** Vehículos de carretera - Grados de protección (código IP) - Protección del equipo eléctrico contra objetos extraños, agua y acceso.
En ella se especifica lo siguiente:
 - a. Protección del equipo dentro del envoltorio contra la entrada de objetos, incluido el polvo.
 - b. Protección de personas contra el acceso a partes peligrosas dentro del recinto (protección contra el acceso).
 - c. Protección del equipo eléctrico dentro del recinto contra los efectos debidos a la entrada de agua (protección contra el agua).
 - d. Requisitos para cada grado de protección.
 - e. Pruebas que deben realizarse para confirmar que el recinto cumple con los requisitos del grado de protección correspondiente.
- **UNE-ISO 16750:** Condiciones ambientales y de ensayo para equipos eléctricos y electrónicos.
- **UNE-IEC 62281:** Seguridad de las pilas y acumuladores de litio durante el transporte (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en julio de 2019.)
- **SAE J2929:** Estándar de seguridad del sistema de baterías de propulsión de vehículos eléctricos e híbridos - Células recargables de litio.
Esta norma SAE define un conjunto mínimo de criterios de seguridad aceptables para que un sistema de baterías recargables de litio se considere para su uso en la

aplicación de propulsión de un vehículo como un sistema de almacenamiento de energía conectado a un tren de potencia de alto voltaje.

- **UN 38.3:** “United Nations manual of test and criteria”. En este manual están descritos las pruebas que simulan las condiciones de transporte como temperatura, presión, golpes, impactos, etc.
- **GMW 16390:** General Specification for Analysis/Development/Validation (A/D/V) of Rechargeable Energy Storage Systems (RESS). General Motor Worldwide Standards.
- ECE R100 8E

Según especifica el Manual de Reformas, “este real decreto mantiene la coherencia entre la normativa europea de homologación de vehículos y la nacional sobre las reformas de los mismos; su aplicación permitirá mantener las condiciones de seguridad activa y pasiva de los vehículos y su comportamiento en lo que se refiere a la protección al medio ambiente.” Y se añade, “El Manual será actualizado cuando se modifique la tipificación de las reformas o los criterios reglamentarios en materia de vehículos, tanto de carácter nacional como de la Unión Europea.” Por tanto, estas especificaciones muestran que los requisitos establecidos para la homologación están desarrollados concorde a los estándares europeos. Una vez habiéndose probado y cumplido éstos no sería necesario pasar por segunda vez por las pruebas de homologación para el caso del sistema de acumulación de energía.

En la siguiente tabla se adjuntan, como ejemplo, algunas de las normativas que cumple las baterías KOKAM destinadas al uso automovilístico. Se adjuntan las condiciones en las que se realizan las pruebas y la normativa en la que se explican. Al lado se muestran los requisitos establecidos por el reglamento para cada caso o la sección en la que se describe la prueba afín.

Tabla 10: Asociación de las diferentes normativas europeas con la normativa española CEPE/ONU 100R^[10].

| Prueba | Condiciones | Normativa | CEPE/ONU 100R |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------|
| Protección contra el acceso | IP67, IPXXD Acoplado IPXXB Sin acoplar | ISO 20653 | IPXXD Acoplado IPXXB Sin acoplar |
| Choque mecánico | 50G, 6ms, 3 axis, 10 each 20.7G, 11ms, 3 axis, 10 each | ISO 12405 | Ver Anexo 8C- Choque mecánico |
| Ensayo de vibración | Random, 3 Axis, 21 hr/axis | ISO 12405 | Anexo 8A-Ensayo de vibración |
| Ensayo de choque térmico y de ciclos | RH 93%, 25°- 65°C, 28 day | ISO 16750 | Anexo 8B-Ensayo de choque térmico y de ciclos |

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

| | | | |
|-----------------------|-------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|
| Choque térmico | 85°C to-40°C within 30 min | ISO 12405 | Anexo 8B-Ensayo de choque térmico y de ciclos |
| Integridad mecánica | Knee 150kN/m ² ; Foot 356kN/m ² | GMW16390 | Anexo 8D-Integridad mecánica |
| Resistencia al fuego | 130 segundos frente al fuego | ECE R100 8E | Anexo 8E-Resistencia al fuego 130 segundos totales divididos en fases |
| Ensayo de caída | Desde una altura de 1.2 m contra cemento | IEC 62281 | - |
| Cortocircuito externo | 5 mΩ | J2929 | Anexo 8F-Ensayo de cortocircuito. Resistencia menor o igual a 5 mΩ. |
| Ensayo de sobrecarga | 200% de sobrecarga forzada | - | Anexo 8G-Ensayo de sobrecarga. Doble de su capacidad de carga nominal. |

Como se puede apreciar, las diferentes normativas tienen coherencia con lo descrito en el reglamento. Por tanto, proporciona un gran ahorro tanto económico como en temas de gestión y trámites obtener un módulo de baterías ya homologado.

El sistema ISO 26262 es un estándar de seguridad. Define los métodos para gestionar la seguridad funcional de un sistema de automoción. Un influyente en la seguridad es la previsión de daños y minimización de los riesgos. Por ello, la norma contiene requisitos y pautas que permiten llevar a cabo un análisis de riesgos. Para asegurar la seguridad del sistema es necesario documentar las evidencias a partir de planos, pruebas, plantillas y especificaciones de requisitos de cada uno de los sistemas involucrados. De esta manera se tendrá una buena trazabilidad que permitirá tener bien gestionados los requisitos y evidenciar la seguridad del sistema. La aplicación de esta norma garantiza que se incorpore un alto nivel de seguridad en el automóvil y sus componentes desde el principio.

6. PRESUPUESTO

El presupuesto realizado estima el coste que conllevaría realizar el proyecto que se ha descrito de manera particular.

En la mayoría de los componentes elegidos para la conversión no se indica el precio, por lo que se ha realizado una estimación en base al precio de otros componentes de distintas prestaciones.

- COCHE

Dependiendo del modelo, año y estado. En este caso, se trata de un vehículo propio.

- MOTOR ELÉCTRICO

El precio del motor eléctrico se va a estimar en función del precio del EMRAX 228 y el inversor Bamocar D3. El factor establecido es 1.8 debido a las mejores prestaciones del MV275, mayor rango de velocidades, mayor potencia y además por la integración del inversor en un mismo sistema.

| Motor eléctrico^[34]. | Precio [€] |
|----------------------------------------|-------------------|
| Emrax 228 | 2800 |
| Inversor Bamocar D3 | 2800 |
| MOTIVE MV275 | 10080 |

- BATERÍAS

El coste de las baterías se ha estimado en base a unas baterías de LiFePO₄. Comparando la capacidad energética de cada módulo, para conseguir aproximadamente la capacidad de las baterías elegidas, se necesitarían 6 módulos de estas baterías. El precio establecido para las baterías KOKAM es de 2800 debido una mayor densidad y capacidad energética aparte de tener un mayor número de certificaciones.

| Baterías litio^[35]. | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Baterías Litio 3.5 kW/h Pylontech US3000 48V | 1.880,40 | 11282,4 |
| Baterías KOKAM 5,59 kW/h 51 V | 2800 | 11200 |

- UNIDAD DE CONTROL

| Unidad de control | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Unidad de control TM4 NEUROT M 200 | 800 | 800 |

- CONVERTIDOR

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

Basándose en el transformador de corriente TecTake 12 V a 230 V 1.5 kW: 195 €, se estima el precio del convertidor proporcionado por Bosch. No se trata de un convertidor destinado a vehículos eléctricos; sin embargo, las características que presenta orientan para estimar el precio del convertidor elegido. Se ha estimado este precio debido a la complejidad, tecnología, prestaciones ofrecidas.

| Convertidor ^[36] | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Transformador de corriente TecTake 12 V a 230 V 1.5 kW | 195 | 195 |
| High Voltage DC/DC Converter 1.8 kW-3.6 kW | 1000 | 1000 |

- BOMBA DE VACÍO

| Bomba de vacío | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|-----------------------|-----------------------------------|------------------|
| Depresor eléctrico | 200 | 200 |

- PEDAL DEL ACELERADOR

| Pedal acelerador ^[37] | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|-----------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| Pedal acelerador | 60 | 60 |

- CARGADOR

Como se ha explicado anteriormente, dependiendo del tiempo de recarga que se exija se pueden escoger uno y otro cargador variando su coste.

| Cargador ^[38] | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------|
| 6.6kW EV Lithium-Lead Acid TCCH Battery Charger | 1250 | 1250 |
| 3.3kW 72V, 84V, 96V, 144V, 312V, 540V Battery Charger | 600 | 600 |

- CABLEADO

En base a presupuestos de otras conversiones.

| Cableado | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|-----------------|-----------------------------------|------------------|
| Cableado | - | 250 |

- TORNILLERÍA

| Tornillería | Precio unitario [€/unidad] | Coste [€] |
|--------------------|-----------------------------------|------------------|
| Tornillería | - | 25 |

- **HOMOLOGACIÓN**

Según empresas que han surgido para dedicarse a la conversión de vehículos eléctricos, el coste de la homologación para un coche en particular puede llegar a los 25000€^[39]. Sin embargo, estos precios son algo altos. El precio de la homologación recoge todos los costes necesarios para realizar todas las pruebas que se indican en el Manual de Reformas para poder certificar el vehículo electrificado. En estas pruebas se incluye tanto las pruebas al nivel de vehículo como las pruebas del sistema de acumulación de energía (baterías). El desarrollo de las pruebas asociadas a las baterías son más complicadas y elaboradas. Por tanto, un ahorro importante en este trámite es instalar una batería ya homologada, ahorrando el precio de las pruebas correspondientes.

Otro factor muy influyente en el precio es la necesidad de repetir las pruebas ya que no las ha pasado por no cumplir los requisitos que se indican. Por este motivo es muy importante tener en cuenta en el diseño los requisitos a cumplir para su homologación.

Por tanto, debido a que las baterías utilizadas están homologadas y su diseño se ha realizado en base a los requisitos establecidos, se estima que el precio de la homologación es de **5000€**.

- **Diseño y fabricación de la placa adaptador**

El peso de la placa es de 6,5 kg aproximadamente en Aluminio 6082 T6. El precio por kg es de 21,2€/kg aproximadamente^[40].

La fabricación podría realizarse por la persona que lleva a cabo el proyecto, o bien mandarla mecanizar. En el primer caso se necesitarían máquinas como un torno convencional, una máquina de corte convencional y un kit de soldadura TIG. En el caso de mandarla mecanizar no se necesitan máquinas de control numérico para su fabricación debido a la simplicidad del diseño, lo que aumentaría en caso contrario el precio.

En este caso se va a contemplar la opción de mandar mecanizar la pieza. En el precio se debe incluir el coste del soldador por hora.

Tabla 11: Desglose presupuesto de la fabricación placa adaptadora

| | Precio por kg [€/kg] | Coste [€] |
|-----------------------------|---------------------------|-------------|
| Material | 21,2 | 140€ |
| Fabricación | | |
| Soldador | 50 €/hora ^[41] | 100 |
| Mecanizado torneado | | 100 |
| Mecanizado corte | | 100 |
| Mano de obra tornero no CNC | 12€/hora ^[41] | 36 |
| TOTAL | | 476€ |

En resumen:

Tabla 12: Presupuesto final

| Elemento | Coste [€] |
|--------------------------------|------------------|
| Motor eléctrico | 10080 |
| Baterías | 11200 |
| Unidad de control | 800 |
| Convertidor | 1000 |
| Pedal acelerador | 60 |
| Bomba de vacío | 200 |
| Cargador | 600 |
| Cableado | 250 |
| Tornillería | 25 |
| Homologación | 5000 |
| Fabricación pieza acoplamiento | 476 |
| TOTAL | 29691 € |

El presupuesto establecido según empresas como Elektrun Cars o Ecoche, es de 15000-17000€^[42]. Este precio se consigue gracias a reunir un número elevado de coches y realizar el mismo proyecto en todos los coches. De esta manera, se somete a las pruebas de homologación uno de esos vehículos y el coste de homologación se reparte entre todos los coches reunidos.

7. CONCLUSIONES

Una vez concluido este Trabajo de Fin de Carrera, se puede decir que se han cumplido los siguientes objetivos:

Objetivo 1: Se han mostrado las diferencias principales entre los motores eléctrico y de combustión interna, estableciendo los inconvenientes y ventajas que presentan ambos motores en comparación.

Objetivo 2: Se han explicado las diferentes partes de un vehículo eléctrico intentando encontrar los elementos que mejor se ajustaban al vehículo que se pretendía modificar.

Objetivo 3: Se han estudiado las diferentes maneras de proceder con el acoplamiento del motor y se ha procedido con su diseño.

Objetivo 4: Con el fin de elegir adecuadamente los diferentes componentes del nuevo vehículo se ha estudiado la dinámica de un coche.

Objetivo 5: Con todos estos objetivos cumplidos, se puede decir que con este proyecto se han establecido unas pautas a seguir que ayudan a la realización de una conversión.

En cuanto a las conclusiones obtenidas tras finalizar el trabajo cabe destacar varias. Este trabajo describe un proyecto cuyo diseño puede ser complicado o sencillo dependiendo del fin que se le va a dar al vehículo y el enfoque que se le quiera dar. En general para todos los casos, se ha querido demostrar la importancia de primero estudiar bien el diseño, conociendo la dinámica del coche y teniendo claro el uso que se le va a querer dar al vehículo; y segundo la importancia de la homologación en este tipo de reformas. De esta manera se evitan imprevistos y un mal e inesperado funcionamiento.

Por un lado, la principal dificultad está en encontrar los componentes necesarios para el vehículo cumpliendo con todos los requisitos de diseño. No solamente hay que saber los elementos que necesita el vehículo eléctrico y elegirlos en base al coste o facilidad de obtención, sino que se aconseja estudiar que va a necesitar tu coche en función del uso que se le va a dar. Además, hay que contar con los requisitos de homologación. Una vez convertido, deberá pasar unas pruebas para poder circular. Por tanto, el diseño que no cumpla con los requisitos constituirá un trabajo que hay que repetir hasta pasar las pruebas y poder así circular el vehículo. Por consiguiente, la dificultad está en encontrar los componentes que cumplan con todos esos requerimientos necesarios.

Por otro lado, otro inconveniente añadido es la escasa oferta de dispositivos eléctricos y electrónicos destinados a la conversión de vehículos. Si bien es cierto, se ha hablado anteriormente de la existencia de kits para la conversión (éstos proceden de China o América del Sur); sin embargo, sin certificación internacional y además con unas prestaciones bajas, lo que justifica su coste. Además, la mayoría de las empresas no venden a particulares sino a empresas, lo que dificulta aún más la búsqueda y aumenta su precio.

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

En definitiva, este proyecto es viable teniendo en cuenta todos los factores y dificultades, aunque de momento a un coste alto. Poco a poco, este sector cogerá más fuerza y protagonismo ampliando la oferta y bajando los precios.

8. LÍNEAS FUTURAS

En este apartado se van a plantear diferentes líneas de trabajo que en este proyecto no se han desarrollado para realización de futuros proyectos. Se establecen como líneas futuras principales los siguientes puntos:

Nuevo proyecto

- Generación de energía: Instalación de paneles solares en el techo del vehículo para la recarga de baterías; así como generadores en las ruedas con el fin de convertir su energía cinética en electricidad; y la disposición de sensores en cristales que convierten la diferencia de temperatura en corriente eléctrica.

Mejoras del proyecto

- Reducción del peso del vehículo rediseñado los asientos y salpicadero y estudiar el aislamiento galvánico de todas las partes en contacto con zonas y elementos electrificados como requisito de seguridad. Estudiar y diseñar la fijación del nuevo sistema al chasis.

Otras posibles mejoras

- Instalación climatización

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] Madrid Central

<https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Madrid-Central-Zona-de-Bajas-Emisiones/Informacion-general/Madrid-Central-Informacion-General/?vgnextfmt=default&vgnextoid=a67cda4581f64610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=088e96d2742f6610VgnVCM1000001d4a900aRCRD>

[2] Etiquetas eco y cero emisiones

<http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/distintivo-ambiental/16te.shtml>

[3] Objetivos Desarrollo Sostenible

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

[4] Historia del vehículo eléctrico

<http://electromovilidad.net/historia-del-vehiculo-electrico/>

[5] *Transición hacia una nueva movilidad*, Autor: ASEPA, INSIA, AIIM, Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Madrid.

[6] *Tecnología: Coche eléctrico*, Autor: Aficionados a la mecánica

[7] *Máquinas eléctricas*, Apuntes asignatura Máquinas Eléctricas de la Universidad Pontificia de Comillas.

[8] *Proyecto de conversión de un automóvil de combustión interna*, 2010, Autor: Salvador J. González Marrero, Alejandro Ramos Martín, Francisco J. Méndez Barreto, Javier González Fernández, Jesús Cortés Mallavibarrena, Arcadio T. Méndez González

[9] Catálogo Motores MEB S.A.

[10] Baterías

<https://www.victronenergy.com/es/>

<https://www.all-batteries.es/>

[11] *Análisis y modelado del comportamiento de baterías para vehículos eléctricos*, 2015; Trabajo Fin de Carrera; Autor: Carolina Morente Fernández

[12] BMS

<https://www.engineering.com/productshowcase/batterymanagementsystems.aspx>

[13]

<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/empresa-espanola-crea-kit-transformar-autobuses-diesel-vehiculos-totalmente-electricos/20190723194951029212.html>

<https://www.motorpasion.com/industria/retrofit-como-transformar-coche-gasolina-diesel-electrico-precio-cuanto-cuesta>

Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

[14] *Manual de automóviles*, 2006; Autor: M. Arias Paz.

[15] *Aire y contaminación*, Apuntes asignatura Ingeniería Medioambiental de la Universidad Pontificia de Comillas ICAI.

[16] *Manual REPARAUTO British Leyland Mini*, ATIKA S.A.

[17] *Manual de Taller MINI*, BMC Services.

[18] Motor eléctrico síncrono de imanes permanentes

<https://emrax.com/e-motors/emrax-228/>

[19] Motor y varios componentes eléctricos

<https://www.danatm4.com/products/motive-high-speed-electric-powertrain/>

[20]

<https://www.bosch-mobility-solutions.com/>

[21] Baterías

<http://kokam.com/>

[22] http://www.carreteros.org/normativa/trazado/31ic_2016/apartados/5.htm

[23] Ciclo homologación WLTP

<https://www.bmw.com/es/innovation/wltp.html>

[24] *Elementos de arrastre y transmisión de movimiento*, Apuntes del Departamento de Fabricación de la Universidad Pontificia de Comillas ICAI.

[25] <https://www.fonsecahnos.cl/images/02%20Catalogo%20Poleas.pdf>

[26] Frenos

<https://www.youtube.com/watch?v=PwyEVxQhsE0>

<https://mam.rheinmetall-automotive.com/mc/epaper?guid=14c11f79107b002c>

<http://irunabrakes.com/productos/>

[27] Acelerador

<https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Sensores-y-actuadores/Sensor-de-pedal-acelerador-3851/#>

[28] Cargador

<https://www.electrincarpartscompany.com/>

[29] Kit electrificación de vehículos AutoLibre

<http://www.autolibreelectrico.com/archives/472>

[30]

<https://www.youtube.com/watch?v=Mah9enr1LO4&t=750s>

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

[31] *Real Decreto 2028/1986*

[32] *Manual de Reformas*

[33] *Guía técnica de aplicación- Anexos: Significado y explicación de los códigos IP,IK.* Autor: Ministerio de ciencia y tecnología.

Presupuesto:

[34] Motores

<http://www.fsae.com/forums/showthread.php?12147-For-Sale-1x-EMRAX-228-HV-1x-UNITEK-Bamocar-D3-5000-wanted>

[35] Baterías

<https://autosolar.es/baterias-litio-48v/bateria-litio-35kwh-pylontech-us3000-48v>

[36] Convertidor

<https://www.manomano.es/p/transformador-de-corriente-sinus-12-v-a-230-v-1500w-3000w-2061018>

[37]

https://www.recambioscoches.es/hella/7616321?gclsrc=aw.ds&&gshp=1&gclid=CjwKCAjwxLH3BRApEiwAqX9arVVI3Dq0p8Bxj66otQPsPNW_t12izcdkxjHq9-JSjJiTmg90Wk-IShoCIxkQAvD_BwE

[38] Cargador

<https://www.electrincarpartscompany.com/TCCH-Battery-Chargers>

[39] Homologación

<https://motor.elpais.com/electricos/transformar-coche-en-modelo-electrico/>

[40] Material

<https://es.rs-online.com/web/p/varillas-y-barras-de-aluminio/1243636/>

[41] Sueldos

<https://es.indeed.com/salaries/tornero-Salaries?period=hourly>

[42]

<https://www.motorpasion.com/industria/retrofit-como-transformar-coche-gasolina-diesel-electrico-precio-cuanto-cuesta>

ANEXOS

Anexo A: Códigos Matlab R2019a

```
% Trabajo Fin de Grado: Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo  
% de combustión interna. Autor: Alejandra Basurco Hernández de Santamaría  
%Fecha: Junio 2020
```

```
%% CÁLCULO DE PAR DE ACELERACIÓN
```

```
clc  
clear all  
close all
```

```
%% DATOS
```

```
c=3.44; %transmisión  
rend=0.95; %rendimiento  
r=0.25; %radio de la rueda  
m=780+2*80; %masa del vehículo  
densidad=1.25; %densidad del aire  
fi=11; %ángulo en grados en caso de pendiente  
d=0.8; %altura del cdg  
g=9.81; %gravedad  
Jt_r=m*r^2; % inercia del vehículo del lado de la rueda  
Jm=0.07; %inercia motor síncrono MV275, EMRAX=0.0421  
v_km_h=13; %velocidad lineal en km/h  
v=1000*v_km_h/3600; % velocidad en m/s  
t=3; %tiempo s  
mu_baja=0.015; %coeficiente de rozamiento a bajas velocidades  
mu_alta=0.02; %coeficiente de rozamiento a altas velocidades  
A=2; %m^2 área frontal  
Cx=0.4; %coeficiente aerodinámico  
omegam=(60*v*c)/(r*2*pi) % velocidad angular en rpm
```

```
v0=0*1000/3600;  
a=(v-v0)/t; %aceleración  
alpha_r=a/r; %aceleración angular de la rueda  
alpha_m=c*alpha_r;%aceleración angular lado motor
```

```
%% Ecuaciones
```

```
%Fuerzas
```

```
N=m*g; %Normal  
F_ascenso=N*sin(fi*pi/180); %Fuerza debida a la gravedad y pendiente  
F_viento=0.5*A*Cx*densidad*v^2; %Fuerza aerodinámica  
F_rodadura=N*mu_baja*cos(fi*pi/180); %Fuerza debida al rozamiento
```

```
%Momentos
```

```
M_ascenso=F_ascenso*(d-r); %PAR NECESARIO EN CASO DE PENDIENTE  
M_viento=F_viento*(d-r); %PAR RESISTENCIA AERODINÁMICA  
M_rodadura=F_rodadura*r; %PAR RESISTENCIA A RODADURA
```

```
%PAR DE ACELERACIÓN
```

```
Mm_aceler=alpha_m*(Jm+Jt_r/(rend*c^2))+M_rodadura/(rend*c)+M_viento/(rend*c) %
```

Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

```
+M_ascenso/(rend*c)
Mm_constante=M_rodadura/(rend*c)+M_viento/(rend*c)+M_ascenso/(rend*c)

%PAR CONSTANTE PARA ALTAS VELOCIDADES
F_rodadura_alta=N*mu_alta*cos(fi*pi/180);
M_rodadura_alta=F_rodadura_alta*r; %PAR RESISTENCIA A RODADURA A ALTAS VELOCIDADES

M_motor_const=M_rodadura_alta/(rend*c)+M_viento/(rend*c)+M_ascenso/(rend*c); %PAR RESISTENCIA TOTAL

%Potencia necesaria del motor
Pot_motor=omegam*M_motor_const*2*pi/1000/60;

%Gráfica variación del par en función de la pendiente

fi_var=0:0.01:10;
Mm_const_pendiente=N*sin(fi_var*pi/180)*(d-r)/(rend*c)+M_viento/(rend*c)+N*cos(fi_var*pi/180)*mu_baja*r/(rend*c);

figure;
plot(fi_var,Mm_const_pendiente)
ylim([0 160])
title(' Par resistente en función de la pendiente');
xlabel('Ángulo de la pendiente (grados)');
ylabel('Par resistente (Nm)');
grid on

% Trabajo Fin de Grado: Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo
% de combustión interna. Autor: Alejandra Basurco Hernández de Santamaría
%Fecha: Junio 2020

%%
%GRÁFICAS PAR RESISTENTE: VIENTO Y RODADURA
clc
clear all
close all

c=3.44*2; %transmisión
rend=0.95; %rendimiento
r=0.25; %radio de la rueda
m=792+3*80; %masa del vehículo
densidad=1.25; %densidad del aire
fi=2.3; %ángulo en grados en caso de pendiente
d=0.8; % altura del centro de gravedad
g=9.81; %gravedad
v_km_h=110; % velocidad lineal en km/h
v=1000*v_km_h/3600; % velocidad lineal en m/s
t=3; %tiempo s
mu_alta=0.02;%a altas velocidades
mu_baja=0.015;
A=2; %m^2 área frontal
Cx=0.4;% coeficiente aerodinámico
Jm=0.07; %inercia motor síncrono MV275, EMRAX=0.0421
Jt_r=m*r^2; %inercia vehículo lado de la rueda
```

Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

```
omega_rueda_v=(v*60)/(2*pi*r); % velocidad angular en la rueda en rpm
omega_motor_v=(v*60)/(2*pi*r)*c; % velocidad angular en el motor en rpm

omega_rueda=1.379e+02:0.1:3000;
omega_motor=omega_rueda*c;
v0=110*1000/3600;
a=(v-v0)/t; %aceleración
alpha_r=a/r; %aceleración angular lado rueda
alpha_m=c*alpha_r; %aceleración angular lado motor

tiempo=0:0.01:20;

%Fuerzas
N=m*g;%Normal
F_ascenso=N*sin(fi*pi/180); %Fuerza debida a la gravedad y pendiente
F_rodadura=N*mu_baja*cos(fi*pi/180); %Fuerza debida al rozamiento

%Momentos
M_ascenso=F_ascenso*(d-r); %PAR NECESARIO EN CASO DE PENDIENTE
M_rodadura=F_rodadura*r; %PAR RESISTENCIA A RODADURA

%PAR TOTAL EN LA RUEDA EN FUNCIÓN OMEGA RUEDA
F_viento_wrueda=0.5*A*Cx*densidad*(omega_rueda*(2*pi)*r/60).^2;
M_viento_wrueda=(d-r)*F_viento_wrueda;

M_total_rueda_wrueda=M_rodadura+M_viento_wrueda+M_ascenso;

%PAR TOTAL EN EL MOTOR EN FUNCION DE OMEGA RUEDA
M_total_motor_wrueda=M_total_rueda_wrueda/c/rend;

%%
%PAR EN FUNCIÓN OMEGA MOTOR

F_viento_wmotor=0.5*A*Cx*densidad*(omega_motor*(2*pi)*r/60/c).^2;
M_viento_motor=F_viento_wmotor*(d-r);
M_total_rueda_wmotor=M_rodadura+M_viento_motor+M_ascenso;

M_total_motor_wmotor=M_total_rueda_wmotor/c/rend;

M_motor_aceleracion=alpha_m*(Jm+Jt_r/(rend*c^2))+M_rodadura/(rend*c) +
+M_viento_motor/(rend*c)+M_ascenso/(rend*c); %PAR DE ACELERACIÓN

%% GRÁFICA COMPLETA CON MOTOR
figure;
x=[0:0.01:13000];

%PAR PICO DEL MOTOR MV275

h1=fplot(@ (x) 0.064*x+243, [0 500], 'b')
hold on
h2=fplot(@ (x) 275, [500 4000], 'b')
hold on
h3=fplot(@ (x) 1.065068E+06*x^(-0.999)+6.515368, [4000 11500], 'b')
hold on
h4=fplot(@ (x) -0.06666*x+866.6666, [11500 13000], 'b')
hold on
```


Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna

```
%p1=plot(omega_motor,M_total_motor_wmotor,'k')
Pot_m=omega_motor.*M_total_motor_wmotor*2*pi/1000/60;
p2=plot(omega_motor,Pot_m,'r')
p3=plot(omega_motor,M_motor_aceleracion,'m')

title('MOTOR MV275');
ylabel('Par [Nm] / Potencia [kW]')
xlabel('W motor [rpm]')
ylim([0 300]);
xlim([0 11000]);
%POTENCIA PICO DEL MOTOR MV275

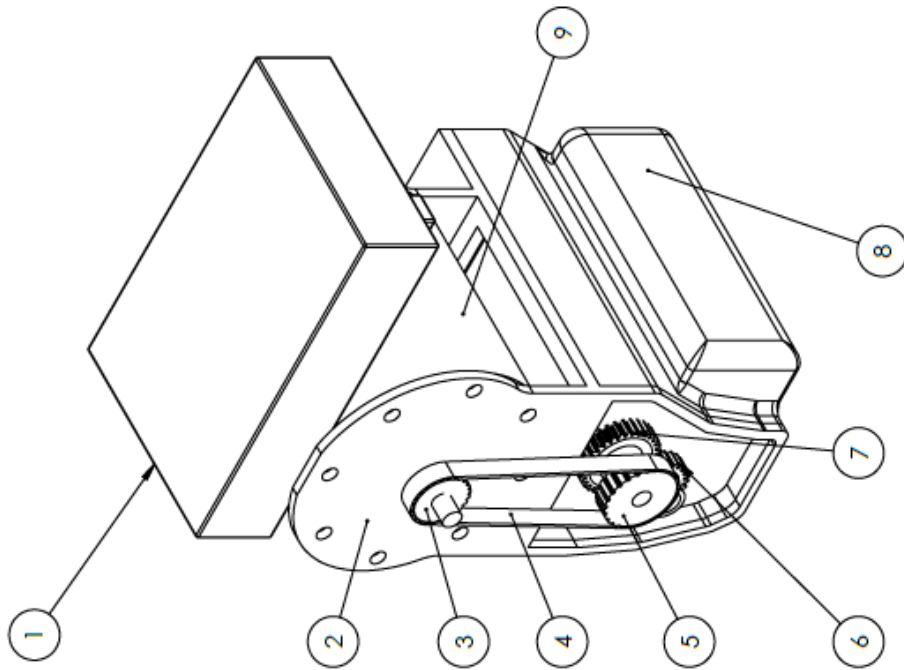
h5=fplot(@(x) (0.064*x+243)*x*2*pi/60/1000,[0 500],'g')
hold on
h6=fplot(@(x) 275*x*2*pi/60/1000,[500 4000],'g')
hold on
h7=fplot(@(x) (1.065068E+06*x^(-0.999)+6.515368)*x*2*pi/60/1000,[4000 11500],'g')
hold on
h8=fplot(@(x) (-0.06666*x+866.6666)*x*2*pi/60/1000,[11500 13000],'g')
hold on

grid on
legend([h2 h3 h4 h6 h7 h8],'off')
legend([p2 h1 h5 p3],{'Potencia solicitada','Par pico motor','Potencia pico motor','Par aceleración'})
%legend([p2 h5 h1 p3],{'Potencia solicitada','Potencia pico motor','Par pico motor','Par aceleración'})
```

Alejandra Basurco Hernández de Santamaría

Anexo B: Planos

Estos planos son orientativos.

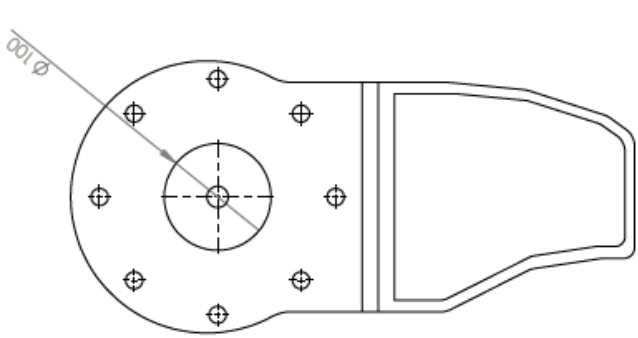


| BILL OF MATERIALS | |
|-------------------|--------------------|
| N° | ELEMENT |
| 9 | MOTOR ELECTRICO |
| 8 | CAJA DE CAMBIOS |
| 7 | ENGRANAJE DE MANDO |
| 6 | PIÑÓN |
| 5 | POLEA INFERIOR |
| 4 | CORREA DENTADA |
| 3 | POLEA SUPERIOR |
| 2 | PLACA ADAPTADORA |
| 1 | INVERSOR |

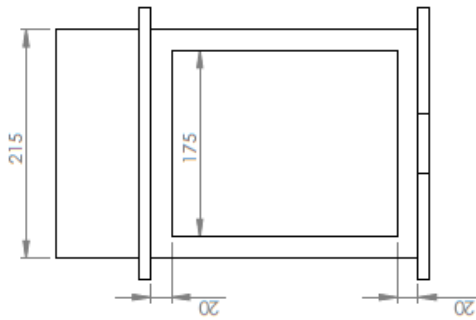
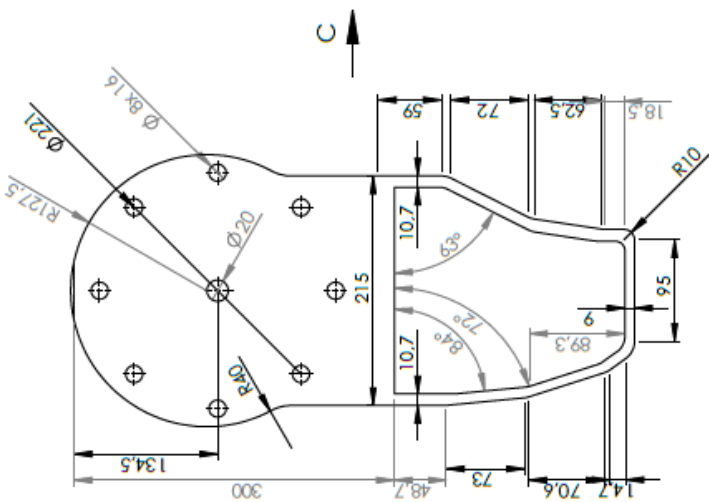
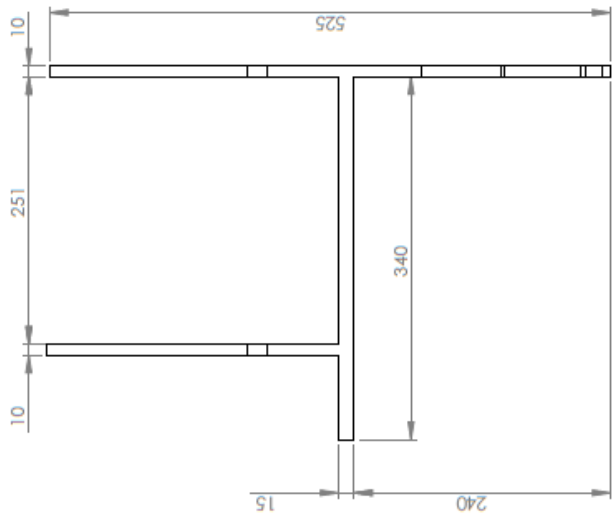
| TOLERANCIA | - | FECHA | 06/2020 |
|------------|---|------------|---------|
| MATERIAL | - | NOMBRE | ABHS |
| DIBUJADO | | COMPROBADO | |
| ABHS | | ABHS | |
| PESO: | | I.C.A.I | |
| ESCALA: | | TFG | |
| 1:5 | | Ve a | |

PLANO DE CONJUNTO

ACOPLAMIENTO MOTOR




VISTA C
ESCALA 1:5



Cotas en mm

Todos los redondeos no acotados R=20 mm

| | | | | | | | |
|---------------|------------------|-------------|---------|------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| TOLERANCIA | - | ALUMINIO | 6082 T6 | FECHA | 06/2020 |  | I.C.A.I Ve a Corf |
| MATERIAL | ALUMINIO 6082 T6 | NOMBRE | ABHS | FECHA | 06/2020 | | |
| DIBUJADO | ABHS | COMPROBADO | ABHS | PLACA ADAPTADORA | | Activar | |
| PESO: 6,56 kg | | ESCALA: 1:5 | | | | | |

