

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño e implementación de sistema de conversión de vehículo de combustión a eléctrico, además del monitoreo de variables físicas para optimización del uso de la batería

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Jonnathan Steven Arevalo Goyes

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a Dios por darme la fuerza y confianza para seguir adelante. A mis padres, Segundo Arevalo y Carmen Goyes, las personas que me han guiado a lo largo de mi vida y velado por mí junto a mis hermanos; los cuales estoy eternamente agradecidos.

Jonnathan Steven Arevalo Goyes

Agradecimientos

Le agradezco a mis compañeros Raúl Cepeda y Jeremy Cruel por acompañarme a lo largo del desarrollo de este proyecto y al Ingeniero Wilton Agila por habernos guiado y brindado su apoyo en este proceso.

Jonnathan Steven Arevalo Goyes

Declaración Expresa

Nosotros Jonnathan Steven Arevalo Goyes acuerdo y reconozco que la titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, información no divulgada y cualquier otro derecho o tipo de Propiedad Intelectual que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, incluyendo cualquier derecho de participación de beneficios o de valor sobre titularidad de derechos, pertenecerán de forma total, perpetua, exclusiva e indivisible a LA ESPOL, sin limitación de ningún tipo. Se deja además expresa constancia de que lo aquí establecido constituye un “previo acuerdo”, así como de ser posible bajo la normativa vigente de transferencia o cesión a favor de la ESPOL de todo derecho o porcentaje de titularidad que pueda existir.

Sin perjuicio de lo anterior los alumnos firmantes de la presente declaración reciben en este acto una licencia de uso gratuita e intransferible de plazo indefinido para el uso no comercial de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, sin perjuicio de lo cual deberán contar con una autorización previa expresa de la ESPOL para difundir públicamente el contenido de la investigación, desarrollo tecnológico o invención.

Así también autorizamos expresamente a que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra o invento, por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Guayaquil, 16 de enero del 2024.

Jonnathan Steven Arevalo Goyes

Evaluadores

Ph.D Jorge Hurel Ezeta

Profesor de la Materia

Ph.D Wilton Agila Gálvez

Profesor Tutor

Resumen

El proyecto tuvo como objetivo la conversión de un vehículo Volkswagen Beetle, de motor de combustión interna a motor eléctrico, con el uso de un kit de electroconversión, optimizando su rendimiento y eficacia. La hipótesis planteó que esta transformación contribuirá con la reducción de emisiones contaminantes, por ellos se radico en la necesidad de alternativas viables para conservar los autos clásicos, reduciendo su impacto ambiental y ofreciendo una solución más confiable y que ayude al medio ambiente.

El desarrollo incluyó el diseño y la implementación del sistema como baterías, motor trifásico, controladora y un sistema HMI. Las técnicas aplicadas abarcaron cálculos de diseño mecánico, dimensionamiento eléctrico y simulaciones con ayuda de software en donde su uso fue de gran ayuda para la toma de decisión del kit a comprar.

Los resultados destacaron la funcionalidad del sistema, logrando una autonomía de 100 km por carga, con pruebas de eficiencia energética y frenado regenerativo exitosas. Sin embargo, el uso de baterías de gel incrementó el peso y redujo la eficiencia del vehículo, evidenciando limitaciones frente a baterías de litio.

En conclusión, el proyecto demostró que la electroconversión de vehículos es una solución factible, aunque dependiente de mejoras tecnológicas en el almacenamiento de energía.

Palabras Clave: Electroconversión, Vehículo eléctrico, HMI, Autonomía energética.

Abstract

The project aimed to convert a Volkswagen Beetle from an internal combustion engine to an electric motor using an electroconversion kit, optimizing its performance and efficiency. The hypothesis suggested that this transformation would contribute to reducing pollutant emissions, addressing the need for viable alternatives to preserve classic cars, reducing their environmental impact, and offering a more reliable and eco-friendly solution.

The development included the design and implementation of the system, such as batteries, a three-phase motor, a controller, and an HMI system. The applied techniques involved mechanical design calculations, electrical sizing, and simulations supported by software, which greatly aided in the decision-making process for selecting the appropriate kit.

The results highlighted the system's functionality, achieving a range of 100 km per charge, with successful tests in energy efficiency and regenerative braking. However, the use of gel batteries increased the weight and reduced the vehicle's efficiency, exposing limitations compared to lithium batteries.

In conclusion, the project demonstrated that vehicle electroconversion is a feasible solution, though dependent on technological advancements in energy storage.

Keywords: Electroconversion, Electric vehicle, HMI, Energy autonomy.

Índice general

Contenido

Resumen.....	I
Abstract	II
Índice general.....	III
Abreviaturas	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	XII
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción	2
1.2 Descripción del problema	3
1.3 Justificación del problema	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Marco teórico	6
1.5.1. Movilidad Eléctrica.....	6
1.5.2. Motor de combustión	7
1.5.3. Tipos de transmisión	8
1.5.4. Kits de conversión eléctrica	9
1.5.5. Motor eléctrico.....	10
1.5.6. Baterías	13
1.5.7. Tipos de conexiones en baterías	14
1.5.8. Controlador de velocidad.....	15
1.5.9. Cargador de batería.....	16

1.5.10. Convertidor DC-DC.....	17
1.5.11. Pedal Electrónico	18
1.5.12. BMS (Battery Management System).....	19
1.5.12. Indicador de carga de batería	20
1.5.13. Tipos de conectores.....	21
1.5.14. Bomba de vacío.....	22
1.5.15. Compresor A/C	23
1.5.16. Dirección electro asistida.....	24
1.5.17. ESP32.....	25
1.5.18. Nextion Display	26
1.5.19. Modulo MCP2515	27
1.5.20. Comunicación UART	27
1.5.21. Comunicación CAN.....	28
Capítulo 2.....	29
2. Metodología	30
2.1. Consideraciones para el diseño.....	30
2.1.1. Masa Total	30
2.1.2. Velocidad	31
2.1.3. Pendientes	31
2.1.4. Autonomía.....	32
2.2. Cálculos mecánicos del motor eléctrico	32
2.2.1. Cálculo de la potencia requerida.....	33

2.2.2. Características de las baterías	37
2.2.3. Dimensionamiento de los cables.....	38
2.2.4 Diseño de brida para motor eléctrico y caja de cambios	39
2.2.5 Diseño de acople	40
2.2.6. Simulaciones de comparación entre motor mecánico y eléctrico	50
2.3. Descripción de los componentes del diseño	54
2.3.1. Motor Eléctrico AC.....	54
2.3.2. Baterías	57
2.3.3. Controlador MC3336-9650.....	58
2.3.4. Cargador de batería CH4100-9620 ENPOWER.....	60
2.3.5. Convertidor DC/DC 96/12-50A ENPOWER	61
2.3.6. Acelerador electrónico K1102-008.....	62
2.3.11. Mantenimiento del chasis y carrocería	63
2.3.12. Mantenimiento de la caja de cambios.....	65
2.3.12. Mantenimiento de sistemas de frenos	66
2.3.7. Bases para las baterías	67
2.3.8. Base para la controladora.....	69
2.3.10. Acoplamiento de estrías internas paralelas (Motor eléctrico a Caja de cambios).....	70
2.3.13. Monitoreo.....	72
2.3.14. Ubicación de componentes	73
Capítulo 3.....	75
3. Resultados y análisis	76

3.1. Prueba del kit sin instalarlo en el vehículo (en vacío)	76
3.2. Simulación de VE	86
3.3. Análisis mecánico	88
3.4. Monitoreo.....	89
3.5. Pruebas de funcionamiento	94
3.6 Análisis de Costos.....	98
3.6.1. Costos de mantenimiento y adecuación del vehículo.	99
3.6.2. Costo de Electroconversión	100
3.7. Comparación de consumo y gastos entre motor eléctrico y motor de combustión interna.....	101
Capítulo 4.....	103
4.1 Conclusiones y recomendaciones	104
4.1.1 Conclusiones	104
4.1.2 Recomendaciones	106
Referencias.....	107

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
VE	Vehículo Eléctrico
BMS	Battery Management System
DC o CC	Corriente Directa
AC o CA	Corriente Alterna
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor
EPS	Dirección Electro-Asistida (Electric Power Steering)

Simbología

Wh/kg Varios-Horas por kilogramo

Ah Amperios-Hora

V Voltios

°C Grados Celsius

J Joule

W Vatio o Watts

Nm Newton Metros

kW Kilo Watts

rpm Revoluciones por minuto

HMI Interfaz Hombre-Máquina

Índice de figuras

Figura 1	7
Figura 2	9
Figura 3	11
Figura 4	15
Figura 5	16
Figura 6	16
Figura 7	17
Figura 8	19
Figura 9	20
Figura 10	21
Figura 11	21
Figura 12	22
Figura 13	23
Figura 14	24
Figura 15	25
Figura 16	25
Figura 17	26
Figura 18	27
Figura 19	28
Figura 20	28
Figura 21	33
Figura 22	35
Figura 23	43

Figura 24	44
Figura 25	45
Figura 26	46
Figura 27	47
Figura 28	48
Figura 29	49
Figura 30	50
Figura 31	51
Figura 32	52
Figura 33	52
Figura 34	56
Figura 35	60
Figura 36	61
Figura 37	62
Figura 38	63
Figura 39	65
Figura 40	66
Figura 41	67
Figura 42	68
Figura 43	69
Figura 44	70
Figura 45	71
Figura 46	71
Figura 47	73

Figura 48 74

Figura 49 76

Figura 50 77

Figure 51 78

Figure 52 79

Figure 53 80

Figure 54 81

Figure 55 82

Figure 56 83

Figure 57 84

Figure 58 85

Figure 59 85

Figure 60 86

Figure 61 88

Figure 62 89

Figure 63 92

Figure 64 93

Figure 65 94

Figure 66 95

Figure 67 96

Figure 68 96

Figure 69 97

Figure 70 97

Figure 71 98

Índice de tablas

Tabla 1	11
Tabla 2	14
Tabla 3	30
Tabla 4	33
Tabla 5	34
Tabla 6	42
Tabla 7	56
Tabla 8	99
Tabla 9	100
Tabla 10	101

Capítulo 1

1.1 Introducción

El aumento en la conciencia ambiental impulsa al sector automotriz a reducir sus emisiones de gases contaminantes. Los vehículos de combustión interna son una fuente significativa de estos gases que son perjudiciales para el medio ambiente y es por ello que para contrarrestar este problema surge una alternativa efectiva, brindando beneficios tanto a nivel ambiental como económico y es la electro-conversión de vehículos antiguos a eléctricos.

Convertir vehículos antiguos de combustión interna a eléctricos permite que modelos icónicos como el Volkswagen Beetle sigan en circulación con una mecánica limpia y sostenible. Esta alternativa ofrece una opción accesible frente al costo elevado de los vehículos eléctricos nuevos, aunque implica una inversión, pero esta inversión se traduce en un ahorro a largo plazo, ya que los motores eléctricos requieren menos mantenimiento y además del consumo o cargar las baterías tienen un consumo menor que la gasolina.

En Ecuador contamos con la empresa DIELEC, con más de 20 años de experiencia en ingeniería, la cual ha identificado una oportunidad para entrar a este mercado. Enfocarse en la conversión del vehículo Beetle le permitirá a la empresa posicionarse en un nuevo nicho de mercado donde la integración de componentes eléctricos, como el motor, las baterías y el sistema de control, será un reto para la empresa, pero una nueva oportunidad de diversificación y crecimiento. Este proyecto permitirá a DIELEC no solo demostrar su capacidad técnica e innovadora, sino también contribuir al desarrollo sostenible del país, ofreciendo soluciones de movilidad eléctrica que respondan a las necesidades ambientales y económicas del mercado. Además, la experiencia obtenida en esta conversión podría abrir

puertas para futuros proyectos, posicionando a la empresa como un referente en el sector de electrificación vehicular y fortaleciendo su competitividad en un mercado en expansión.

1.2 Descripción del problema

Los vehículos de combustión interna emiten grandes cantidades de CO₂ y otros gases que agravan el cambio climático y la contaminación urbana. Gobiernos y empresas enfrentan presión para reducir su huella de carbono y cumplir con regulaciones ambientales más estrictas. La conversión de vehículos a motores eléctricos ofrece una solución que no solo beneficia a los propietarios, sino que también genera oportunidades comerciales para talleres mecánicos, fabricantes de componentes y empresas tecnológicas de movilidad sostenible.

Esta tendencia abarca todo el sector automotriz, donde los fabricantes y empresas relacionadas deben adaptarse a la creciente demanda de vehículos eléctricos. Además, la conversión eléctrica prolonga la vida útil de los automóviles, permitiendo cumplir con las regulaciones y reduciendo el impacto ambiental sin necesidad de reemplazar los vehículos completos. Dentro de esto se tiene que tomar en cuenta que realizar una conversión eléctrica involucra una inversión considerable, pero se debe relacionar que este proceso trae beneficios como por ejemplo que los autos eléctricos no requieren cambios de aceite ni filtros, lo que representa un ahorro significativo en mantenimiento a largo plazo.

DIELEC, empresa que se encuentra desarrollando proyectos de conversión de vehículos a motor de combustión interna a eléctricos, como es el caso de este Volkswagen modelo Beetle del año de 1973 versión mexicano. La conversión de este clásico vehículo presenta desafíos únicos debido a su arquitectura y la necesidad de adaptar componentes modernos. Sin embargo, DIELEC cuenta con la experiencia necesaria para superar estos obstáculos y ofrecer soluciones personalizadas. A través de un análisis estructural detallado y

una ingeniería precisa, se garantizará la integridad del vehículo y se optimizará su rendimiento eléctrico.

1.3 Justificación del problema

La conversión de un motor de combustión interna a un motor eléctrico es la solución adecuada para abordar la problemática de las emisiones contaminantes y la dependencia de combustibles fósiles, tanto desde una perspectiva técnica como social y ambiental. Al eliminar las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir el impacto ambiental de los vehículos de combustión, se contribuye directamente a la mejora de la calidad del aire en zonas urbanas, lo que tiene beneficios tangibles para la salud pública.

Desde una perspectiva global y cultural, la conversión de vehículos clásicos como el Volkswagen Beetle a motores eléctricos ofrece un valor único, ya que preserva el patrimonio cultural de estos vehículos mientras los adapta a los estándares modernos de sostenibilidad. Esta solución también tiene en cuenta factores económicos, permitiendo a los propietarios de vehículos antiguos prolongar la vida útil de sus automóviles sin tener que adquirir un vehículo eléctrico nuevo, lo que reduce los costos a largo plazo.

El diseño personalizado de la conversión y la implementación de un sistema embebido permiten optimizar el rendimiento del vehículo y garantizar la seguridad de los usuarios. Asimismo, este proyecto representa una oportunidad única para desarrollar tecnologías locales y fomentar la transferencia de conocimiento en el campo de la movilidad eléctrica.

Sin embargo, la adopción de la conversión eléctrica en Ecuador enfrenta desafíos como la falta de infraestructura de carga y el costo de las baterías. Para superar estas barreras, es necesario implementar políticas públicas que incentiven la electromovilidad, promover la

investigación y el desarrollo de tecnologías locales, y fomentar la colaboración entre el sector público y privado.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Realizar la conversión de un vehículo Volkswagen Beetle de motor de combustión interna a motor eléctrico, mediante la implementación de un kit de conversión eléctrica para que optimice su eficiencia energética, reduciendo su impacto ambiental y evaluando su viabilidad técnica y económica.

1.4.2 Objetivos específicos

- Optimizar el rendimiento del vehículo con el kit de conversión mediante la calibración del sistema eléctrico y la evaluación de la eficiencia del motor en distintas condiciones de operación.
- Realizar las modificaciones necesarias en el chasis y sistema de suspensión para garantizar la estabilidad y seguridad del vehículo tras la conversión.
- Desarrollar una interfaz hombre-máquina (HMI) para la visualización y monitoreo en tiempo real de los datos obtenidos a través del controlador del sistema eléctrico, permitiendo el seguimiento preciso de la autonomía del vehículo.

1.5 Marco teórico

1.5.1. Movilidad Eléctrica

La movilidad en vehículo eléctrico, hoy en día, abarca nuevas formas de transporte, desde una bicicleta eléctrica hasta la de un vehículo de gran tamaño. Los vehículos eléctricos, también conocidos como EV, han adquirido mayor relevancia en el mercado automotriz, debido a que conservan la comodidad y la practicidad de un vehículo convencional de motor a combustión. Sin embargo, su mayor diferencia es la fuente de energía: los vehículos de combustión interna la obtienen a partir de combustibles fósiles, que son muy contaminantes para el medio ambiente, mientras que los vehículos eléctricos funcionan con baterías recargables que almacenan energía para alimentar el motor eléctrico. Las ventajas que la movilidad eléctrica nos ofrece son:

- La reducción de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.
- Reducción en gastos de consumo de combustible fósil en comparación al costo de la electricidad, sumado a que los VE requieren menos mantenimiento porque tienen menos piezas móviles y no necesitan cambios de aceite ni revisiones de filtros.
- Los motores eléctricos pueden ofrecer un torque instantáneo que conlleva a tener una aceleración rápida y mantener velocidades máximas competitivas.
- Los motores eléctricos no producen ruidos en comparación a los motores de combustión interna.

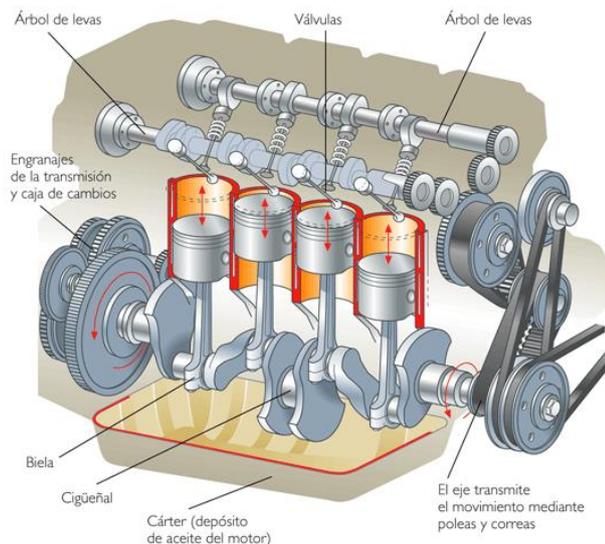
1.5.2. Motor de combustión

Un motor de combustión interna es un dispositivo que convierte la energía química de un combustible (generalmente gasolina o diésel) en energía mecánica. Esta energía mecánica se utiliza para mover diversos mecanismos, desde vehículos hasta generadores eléctricos.

En la figura 1 muestra un motor de combustión interna que opera en un ciclo repetitivo de cuatro tiempos. El pistón desciende, creando un vacío que permite la entrada de una mezcla de aire y combustible, como un suspiro del motor. El pistón comprime esta mezcla, elevando su temperatura y presión, hasta un punto crítico. La mezcla se enciende, ya sea por chispa o por el calor de la propia compresión, una pequeña explosión que impulsa el pistón hacia abajo, como un corazón que late. Los gases de la combustión, entonces, se liberan al aire, una exhalación final que permite comenzar de nuevo el ciclo.

Figura 1

Motor de combustión interna



1.5.3. Tipos de transmisión

La transmisión para vehículos con motores de combustión interna es un componente esencial de un vehículo que cumple la función de adaptar la potencia y velocidad del motor a las diferentes condiciones de conducción. Actúa como un intermediario entre el motor, que gira a altas revoluciones, y las ruedas, que requieren velocidades más bajas y variadas. Gracias a la transmisión, el vehículo puede acelerar, frenar, cambiar de dirección y adaptarse a distintos terrenos, todo ello ajustando la relación entre la velocidad de rotación del motor y la de las ruedas. Además, permite desconectar el motor de las ruedas cuando es necesario, como al cambiar de marcha o cuando el vehículo está detenido.

Tipos de transmisiones:

- **La transmisión manual** ofrece un control más preciso sobre el vehículo al permitir al conductor seleccionar la marcha de forma manual. Sus componentes principales incluyen el embrague, la caja de cambios, el eje de transmisión, el diferencial y los semiejes. Aunque brinda una mayor conexión

con el vehículo y suele ser más económica, requiere una mayor habilidad por parte del conductor y puede resultar menos cómoda en situaciones de tráfico intenso, especialmente en recorridos urbanos.

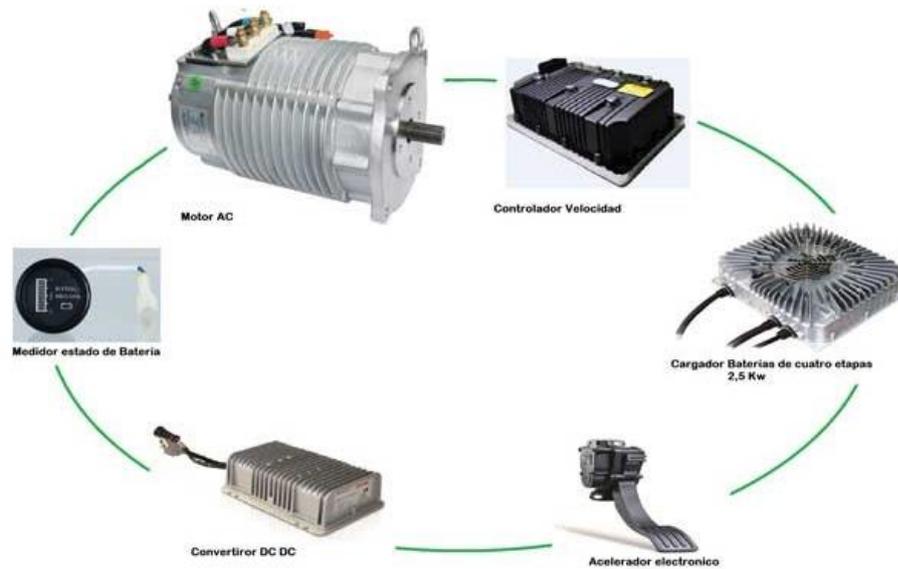
- **La transmisión automática** gestiona los cambios de marcha de forma autónoma, eliminando la necesidad de que el conductor accione un embrague y una palanca de cambios. Este sistema, generalmente hidráulico o electrónico, emplea un convertidor de par para transmitir la potencia del motor a la caja de cambios automática, la cual contiene múltiples engranajes. Un cuerpo de válvulas controla el flujo de fluido hidráulico, seleccionando la marcha adecuada en función de diversos factores como la velocidad del vehículo y la posición del acelerador. Si bien las transmisiones automáticas ofrecen una mayor comodidad y una conducción más suave, suelen ser menos eficientes y más costosas que las transmisiones manuales, debido a la complejidad de sus componentes y sistemas de control.

1.5.4. Kits de conversión eléctrica

La figura 2 muestra las partes de los kits de conversión eléctrica generalmente están compuestos por un motor eléctrico AC o DC, un controlador o inversor, un pedal electrónico, un convertidor DC-DC, y un cargador de baterías. A estos se le pueden añadir otros accesorios como por ejemplos sistemas de BMS, kit de bomba de vacío para frenado, o el sistema de compresor para aire acondicionado.

Figura 2

Kit de Electro-Conversión (Componentes)



1.5.5. Motor eléctrico

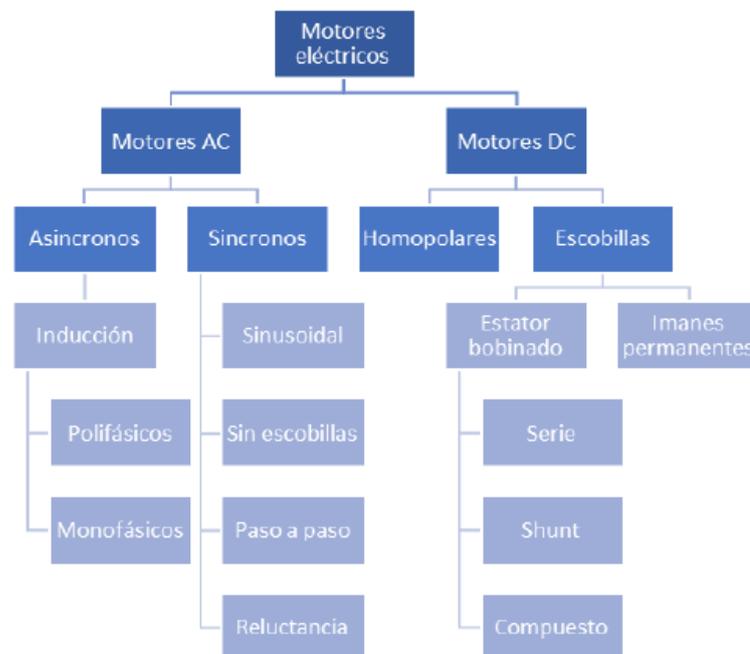
El motor eléctrico es un dispositivo electromecánico que se utiliza para proporcionar la potencia que el vehículo necesita para moverse. (Torres, 2022) afirma que en los VE se busca que el motor tenga una alta densidad de potencia, un torque de respuesta rápida, alta potencia instantánea, regiones de torque y potencia constantes, bajo costo, y un alto torque a baja velocidad para aceleración inicial y pendientes.

La figura 3 muestra los diferentes tipos de motores eléctricos como pueden ser: motores DC, motores de inducción, motores síncronos de imanes permanentes, los motores DC sin escobillas y de reluctancia conmutada. Los motores de corriente continua tienen un costo de fabricación más elevado, lo que incrementa su precio final, además estos motores se caracterizan por priorizar la carga y la potencia sobre la precisión. Por otro lado, los motores

AC son más asequibles gracias a su diseño más simple y se utilizan con frecuencia en aplicaciones donde la precisión es un factor clave.

Figura 3

Tabla de clasificación de motores eléctricos



Nota. Tomado de (Torres, 2022)

En la tabla 1 se puede observar la comparación entre los diferentes tipos de motores con respecto a su experiencia, rango de potencia, ventajas y desventajas.

Tabla 1

Tabla Comparativa de los tipos de motores eléctricos

Tipo de motor	Inducción	Síncrono de Imanes permanentes	Sin escobillas de imanes permanentes	Reluctancia conmutada
---------------	-----------	--------------------------------	--------------------------------------	-----------------------

Experiencia	Amplia experiencia, usado desde hace décadas en la industria y aplicaciones comerciales.	Uso creciente, especialmente en vehículos eléctricos y aplicaciones de alta eficiencia.	Popular en aplicaciones de electrónica, robótica, y vehículos pequeños.	Uso limitado en la actualidad, pero con potencial de crecimiento debido a su simplicidad.
Rango de Potencia (kW)	0.75 - 500	0.5 - 300	0.1 - 50	0.25 - 200
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Robustos y confiables. - Económicos y de bajo costo inicial. - Requieren poco mantenimiento. - No dependen de materiales raros como imanes de tierras raras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia energética (>90%). - Mayor densidad de potencia. - Más compactos y ligeros que otros motores. - Arranque sin corriente excesiva. - Menores pérdidas en el rotor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sin mantenimiento de escobillas, lo que reduce el desgaste. - Muy silenciosos y de larga vida útil. - Alta eficiencia y buena relación torque-peso. - Ideales para aplicaciones que requieren control preciso de velocidad y posición. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño simple y robusto (sin imanes ni bobinas en el rotor). - Económicos en materiales y fabricación. - Capacidad para operar a altas velocidades. - Resistentes a altas temperaturas y entornos adversos.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> - Menor eficiencia energética en comparación con motores síncronos. - Mayor tamaño y peso relativo. - Requieren variadores de frecuencia para un control avanzado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos elevados debido al uso de imanes permanentes (neodimio o samario-cobalto). - Dependencia de materiales críticos y sensibles al mercado. - Sensibles a altas temperaturas, lo que puede desmagnetizar los imanes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Más costosos que motores de inducción. - Requieren controladores electrónicos complejos para su operación. - Limitados a aplicaciones de menor potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor ruido y vibraciones durante la operación. - Complejidad en el diseño del controlador electrónico. - Menor aceptación en el mercado debido al desconocimiento técnico y la falta de estandarización.

1.5.6. Baterías

Las baterías es uno de los elementos más importantes del kit de conversión ya que estas serán las encargadas de almacenar, y suministrar la energía al vehículo. Según (Torres, 2022) la capacidad de carga de una batería está definida por la naturaleza de sus componentes y se mide en amperios-hora (Ah). Esto significa que la batería puede proporcionar un amperio de corriente de manera continua durante una hora.

Por medio de la tabla 2, se pueden visualizar los diferentes tipos de batería y sus características principales.

Las principales características que se deben tener en cuenta para la elección de baterías son las siguientes:

- Capacidad de carga: 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.
- Densidad de energía (Wh/kg): La densidad de una batería indica cuánta energía es capaz de almacenar en relación con su volumen o masa. A medida que aumenta su densidad, la batería puede almacenar más energía, lo que se traduce en una mayor autonomía.
- Ciclo de vida: un ciclo de vida o de carga de una batería se refiere al proceso en el cual se carga y descarga completamente un batería. La cantidad de estos ciclos indica cuando la batería comenzará a degradarse y tendrá poca eficiencia.

Tabla 2

Tabla Comparativa de características principales de tipos de baterías

Tipo de Batería	Densidad de energía [Wh/Kg]	Ciclos de vida	Costo	Aplicaciones principales
Li-ion	150-250	1000-3000	Alto	VEs modernos
LiFePO4	90-160	2000-4000	Alto	Vehículos de bajo costo
NiMH	60-120	500-1000	Medio	Híbridos
Plomo-Ácido	30-50	500-800	Bajo	Aplicaciones secundarias

1.5.7. Tipos de conexiones en baterías

Conexión en serie: La conexión en serie de baterías implica enlazar el polo positivo de una batería con el polo negativo de la siguiente, creando una cadena. Este diseño permite incrementar el voltaje total del sistema, lo cual es especialmente útil para suministrar energía a componentes de alta potencia, como los motores eléctricos en vehículos. Además, al repartir el voltaje entre múltiples baterías, se facilita la gestión térmica del sistema. No obstante, esta configuración presenta ciertos retos: un fallo en una batería puede comprometer el funcionamiento del conjunto completo, y se requieren sistemas de gestión avanzados para equilibrar el estado de carga de cada celda, previniendo así un desgaste prematuro.

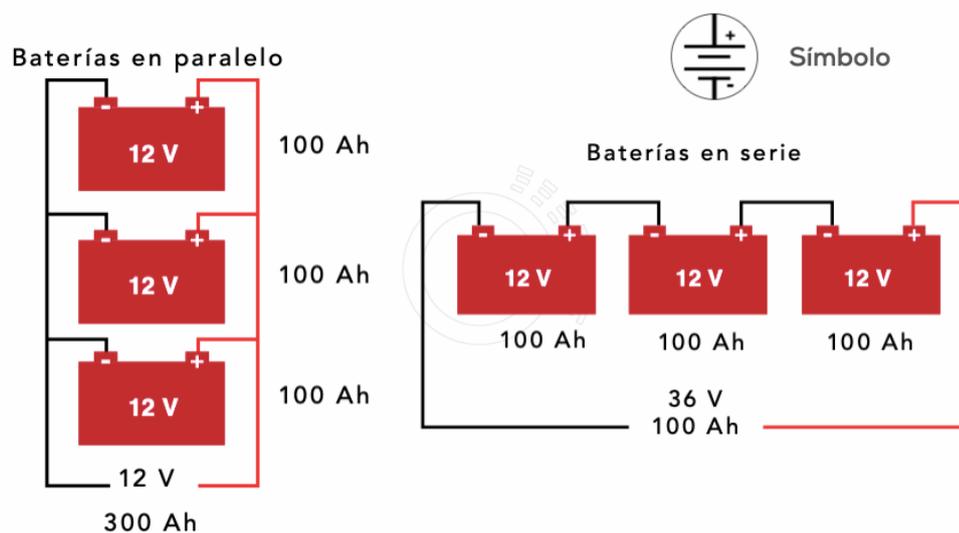
Conexión en paralelo: La conexión en paralelo consiste en interconectar todos los polos positivos de las baterías entre sí, al igual que los polos negativos. Su principal beneficio es incrementar la capacidad total del sistema, lo que se traduce en una mayor autonomía para el vehículo. Además, en caso de que una batería falle, las restantes pueden continuar operando, aunque con una capacidad disminuida, proporcionando mayor tolerancia a fallos.

Sin embargo, esta configuración no eleva el voltaje del sistema y demanda cargadores de mayor potencia para cargar eficientemente todas las baterías conectadas en paralelo.

Por medio de la figura 4 se pueden observar las conexiones en serie y paralelo.

Figura 4

Diagrama de conexiones en serie y paralelo de baterías



1.5.8. Controlador de velocidad

En la figura 5 se puede observar el controlador de velocidad el cual es un equipo que según (Yanez & Troya, 2022) es el encargado de mantener el control de la velocidad de la rotación del motor, y tiene la capacidad de manejar un valor preciso de salida de par en el rango de velocidad de trabajo de rotación del motor.

La velocidad del motor se ajusta según la cantidad de energía eléctrica que le suministra el controlador. Para hacerlo, utiliza una técnica llamada modulación por ancho de pulso (PWM), que permite modificar el voltaje y la corriente que llegan al motor. De esta manera, puede cambiar la velocidad de rotación según las órdenes enviadas por el acelerador u otros controles del vehículo, asegurando un funcionamiento preciso y eficiente.

Figura 5

Controlador de velocidad



1.5.9. Cargador de batería

En la figura 6 se puede observar el controlador de carga para VE que es un dispositivo clave que gestiona el proceso de carga de las baterías, asegurando que la carga sea eficiente, segura y óptima. Este dispositivo regula varios aspectos, como el voltaje, la corriente y la temperatura de la batería durante la carga.

Los elementos principales de un controlador de carga para autos eléctricos son: gestión de la carga como la regulación de la corriente y voltaje, protección y seguridad contra sobrecarga, sobrecalentamiento y cortocircuitos, además a menudo tienen interfaces de comunicación con otros dispositivos.

Es fundamental que el diseño del controlador de carga sea compatible con el sistema de gestión de baterías (BMS, Battery Management System) del vehículo, ya que ambos deben trabajar de forma conjunta para asegurar la longevidad y la seguridad de las baterías.

Figura 6

Cargador de batería



1.5.10. Convertidor DC-DC

En la figura 7 se pueden observar los convertidores DC-DC los cuales en automóviles eléctricos son dispositivos de electrónica de potencia diseñados para transformar un nivel de voltaje a otro, asegurando un voltaje constante en la salida lo que permite mantener el funcionamiento adecuado de los componentes del vehículo y recargar la batería de accesorios.

Existen principalmente dos tipos de convertidores: elevadores y reductores, los cuales pueden implementarse mediante choppers o troceadores. Dependiendo de su configuración, pueden operar en cuatro cuadrantes lo que posibilita un flujo de potencia bidireccional y habilita funciones como el frenado regenerativo.

Figura 7

Convertidor DC-DC



1.5.11. Pedal Electrónico

En la figura 8 se puede observar el acelerador electrónico el cual, es un pedal accionado por el conductor que activa un potenciómetro o resistencia variable que genera una señal eléctrica. Esta resistencia, que regula la corriente eléctrica según la posición del pedal, envía los datos a la controladora del motor. La controladora procesa esta información para ajustar de manera precisa la potencia suministrada al motor eléctrico, optimizando su funcionamiento y respuesta a las necesidades del conductor.

Figura 8
Pedal electrónico



1.5.12. BMS (Battery Management System)

El sistema de gestión de batería, que se observa en la figura 9, es una tecnología dedicada a la supervisión de un paquete de baterías, que es un conjunto de celdas de batería, organizadas eléctricamente en una configuración de matriz de fila por columna para permitir la entrega de un rango específico de voltaje y corriente durante un periodo de tiempo frente a escenarios de carga esperados. La supervisión del BMS usualmente incluye:

- Monitoreo de la batería.
- Proveer protección a la batería
- Estimar el estado operativo de la batería.
- Optimización continua del rendimiento de la batería.
- Información del estado operativo a dispositivos externos.

En el diseño de BMS existen muchas características a considerar, pero existen 2 que son importantes y abarcan lo esencial, la gestión de la protección del paquete de baterías y la gestión de la capacidad. La gestión de la protección de las baterías tiene dos áreas claves: la protección eléctrica y la protección térmica.

Las celdas de iones de litio tienen límites de corriente diferentes para carga y descarga, con capacidad para manejar picos más altos por periodos cortos. Monitorea corrientes pico integrando corriente y tiempo, y ajusta o interrumpe la corriente si es necesario. Esto permite responder a condiciones extremas, como cortocircuitos, y tolerar picos moderados sin comprometer la seguridad.

Figura 9

BMS (Battery Management System)



1.5.12. Indicador de carga de batería

En la figura 10 se observa el indicador de carga de batería, dispositivo diseñado para determinar el estado de carga (SoC, por sus siglas en inglés) de una batería. Opera midiendo parámetros clave como el voltaje, la corriente, y en ciertos casos, la temperatura de la batería. Estos valores se procesan y comparan con referencias predefinidas o modelos matemáticos que representan el comportamiento de la batería, permitiendo calcular con precisión el porcentaje de carga restante.

Figura 10

Indicador de carga de batería

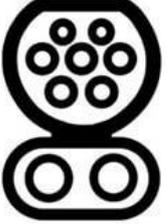


1.5.13. Tipos de conectores

Los vehículos eléctricos utilizan diferentes tipos de conectores para cargar sus baterías. Estos conectores, se pueden observar en la figura 11 y varían en tamaño, forma y capacidad de carga, y están diseñados para adaptarse a diferentes estándares y regiones del mundo. Los principales tipos de conectores incluyen el Tipo 1 (común en Norteamérica), el Tipo 2 (común en Europa), CCS (combinado, ofrece carga AC y DC), CHAdeMO (principalmente en Japón) y GB/T (utilizado en China). Cada tipo de conector tiene sus propias características y ventajas, y la elección del conector depende de factores como la región geográfica, el modelo del vehículo y la infraestructura de carga disponible.

Figura 11

Tipos de Conectores

Carga Lenta (Corriente Alterna)	Carga Rápida (Corriente Continua)	Combo (Corriente Alterna y Continua)
GBT Tipo 1 EE.UU y Japón 	CHAdeMO EE.UU y Japón 	CCS Tipo 1 EE.UU y Japón 
GBT Tipo 2 (Mennekes) Europa 	Supercargador Tesla EE.UU y Japón 	CCS Tipo 2 Europa 

1.5.14. Bomba de vacío

En la figura 12 se pueden observar las bombas de vacío eléctricas las cuales, son componentes esenciales en los sistemas de frenado de los vehículos modernos, especialmente en aquellos que carecen de un motor de combustión interna. En los vehículos convencionales, el vacío necesario para asistir el frenado se produce en el colector de admisión del motor. Sin embargo, en los vehículos eléctricos, híbridos y en determinadas condiciones de operación de motores de combustión, este vacío puede resultar insuficiente.

La bomba de vacío eléctrica aborda esta limitación generando el vacío requerido de forma independiente. Al activarse, crea una depresión en un sistema cerrado conectado al servofreno. Esta depresión se utiliza cuando el conductor pisa el pedal de freno, amplificando la fuerza aplicada y garantizando un frenado más suave y eficiente.

Figura 12

Bomba de vacío para sistemas de freno



1.5.15. Compresor A/C

En la figura 13 se puede observar el compresor de aire acondicionado, en vehículos eléctricos son elementos clave diseñados específicamente para satisfacer las necesidades particulares de estos automóviles. A diferencia de los vehículos con motores de combustión interna, donde el compresor es impulsado mecánicamente mediante una correa conectada al motor, en los vehículos eléctricos el compresor opera utilizando energía eléctrica suministrada por la batería.

Esta tecnología proporciona múltiples beneficios, como una mayor eficiencia energética, un control más preciso de la climatización, niveles de ruido reducidos y una integración más efectiva con los sistemas electrónicos del vehículo. Además, los compresores eléctricos suelen ser más ligeros y compactos, lo que favorece el aprovechamiento del espacio y la reducción del peso total del automóvil.

Figura 13

Compresor AC



1.5.16. Dirección electro asistida

En la figura 14 se puede observar la dirección electroasistida (EPS), sistema que utiliza un motor eléctrico para ayudar al conductor a girar el volante. A diferencia de los sistemas hidráulicos tradicionales, la EPS ofrece una asistencia más precisa y adaptable, ajustándose a las condiciones de conducción en tiempo real. Cuando giras el volante, unos sensores detectan la fuerza que aplicas y envían esta información a un módulo de control. Este módulo, a su vez, indica al motor eléctrico la cantidad de asistencia necesaria para facilitar el giro. Las principales ventajas de la EPS son su mayor eficiencia energética, su respuesta más precisa, su integración con otros sistemas de seguridad y su menor mantenimiento.

Figura 14

Dirección electro asistida



1.5.17. ESP32

En la figura 15 se encuentra la ESP32, un chip combinado de Wi-Fi y Bluetooth diseñado para lograr el mejor rendimiento de potencia, mostrando robustez, versatilidad y confiabilidad en una amplia variedad de aplicaciones y escenarios de consumo de energía.

El diagrama de bloques de la ESP32 se observa en la figura 16.

Figura 15

ESP32

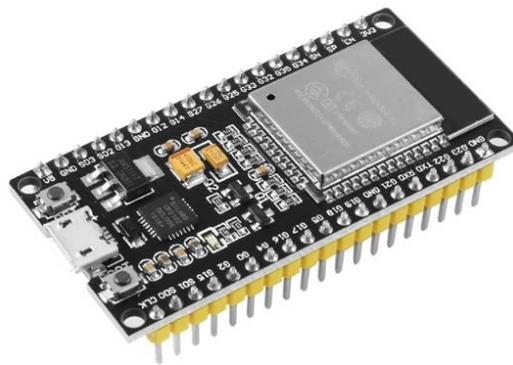
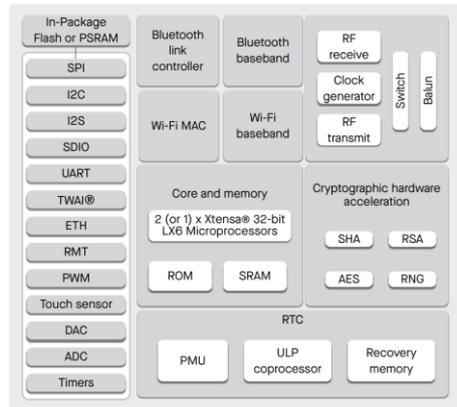


Figura 16

Diagrama de bloques de ESP32



1.5.18. Nextion Display

Por medio de la figura 17, se puede visualizar el display marca Nextion, la cual es una solución de interfaz hombre-máquina que combina un procesador integrado y una pantalla táctil con el uso de un software propietario para el desarrollo de proyectos de interfaz gráfica de usuario (GUI).

Estas pantallas cuentan con una comunicación serial TTL a un nivel de 5V la cual te permite la interacción entre la pantalla y una tarjeta programable como ESP32 u otros microcontroladores para poder controlar funciones en la pantalla.

Figura 17

HMI Display Nextion



1.5.19. Módulo MCP2515

Es un controlador CAN independiente, que se puede observar en la figura 18, desarrollado para simplificar las aplicaciones que requieren la interconexión con un bus CAN. El módulo CAN maneja todas las funciones para recibir y transmitir mensajes en el bus CAN. Los mensajes se transmiten cargando el buffer de mensajes y los registros de control adecuados.

Figura 18

Módulo MCP2515



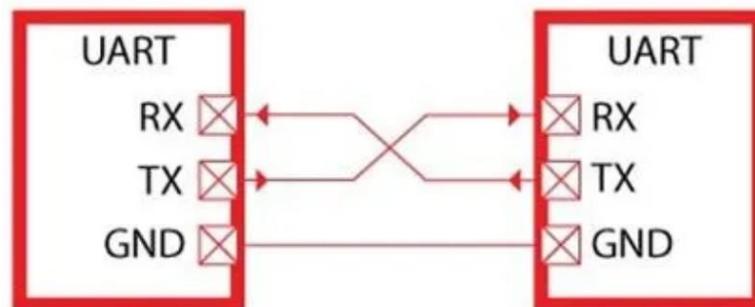
1.5.20. Comunicación UART

UART define un protocolo o un conjunto de normas para el intercambio de datos en serie entre dos dispositivos, se puede observar en la figura 19. UART es sumamente simple y utiliza solo dos hilos entre el transmisor y el receptor para transmitir y recibir en ambas direcciones.

UART fue uno de los primeros protocolos en serie. Los puertos en serie se basan siempre en el protocolo UART, y los dispositivos que utilizan interfaces RS-232, módems externos, etc. Son ejemplos típicos de la aplicación de UART.

Figura 19

Comunicación UART

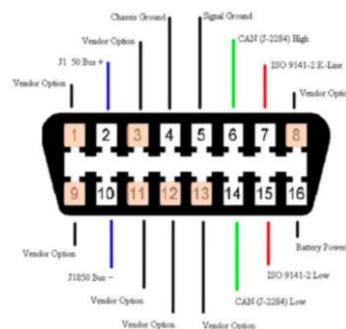


1.5.21. Comunicación CAN

Por medio de la figura 20 se puede visualizar un bus de red de controladores de área (CAN), el cual es un sistema de bus serial de alta integridad para dispositivos inteligentes de red. Los dispositivos y buses CAN son componentes comunes en los sistemas automotrices e industriales. El protocolo CAN permite una comunicación eficiente entre sensores y unidades de control electrónico para soporte de sistemas de asistencia avanzada al conductor.

Figura 20

Comunicación CAN



Capítulo 2

2. Metodología

2.1. Consideraciones para el diseño

El diseño mecánico de un vehículo eléctrico es un proceso complejo que implica la consideración de múltiples factores interrelacionados. Por lo cual se tomó en consideración ciertos parámetros para dimensionar las características de algunos componentes del kit como por ejemplo el motor.

2.1.1. Masa Total

(Alvarado & Lucas, 2020) nos dicen que este parámetro va a influir en la selección del motor en base a la potencia que se requiera para poder desarrollar el impulso frente a circunstancias regulares de conducción. Por medio de la tabla 3, se puede observar detalladamente las masas involucradas en el diseño dinámico.

Tabla 3

Tabla descriptiva de masas involucradas en el diseño dinámico

Masas Total	
Masa del vehículo sin el sistema mecánico de combustión [Aprox]	600 [kg]
Masa del motor	54 [kg]
Masa de 4 ocupantes promedios	280 [kg]
Masa de componentes de kit eléctrico [Aprox]	12 [kg]
Masa de baterías	208 [kg]
Carga total	1154 [kg]

2.1.2. Velocidad

La velocidad máxima que puede alcanzar un vehículo es el resultado de una interacción compleja entre diversos factores del diseño. La aerodinámica juega un papel crucial, ya que un diseño aerodinámico reduce la resistencia al aire, permitiendo al vehículo alcanzar mayores velocidades con menor esfuerzo. La potencia del motor proporciona la fuerza necesaria para vencer esta resistencia y acelerar el vehículo. La transmisión, a su vez, optimiza la entrega de potencia a las ruedas, adaptándose a las diferentes velocidades y condiciones de conducción. Los neumáticos, como el único punto de contacto con el suelo, deben proporcionar la adherencia necesaria para mantener la estabilidad a altas velocidades y transmitir la potencia del motor al asfalto.

2.1.3. Pendientes

El diseño de un vehículo que pueda enfrentar pendientes de manera eficiente requiere una cuidadosa consideración de diversos factores. Un motor potente con un torque elevado es fundamental para superar la resistencia adicional que imponen las pendientes. La transmisión juega un papel crucial al adaptar la fuerza del motor a las necesidades de cada momento, mientras que las relaciones de cambio deben estar calculadas para optimizar la aceleración y la velocidad en diferentes condiciones. La geometría del vehículo, la distribución de pesos y la elección de los neumáticos también influyen en la capacidad de un vehículo para subir pendientes.

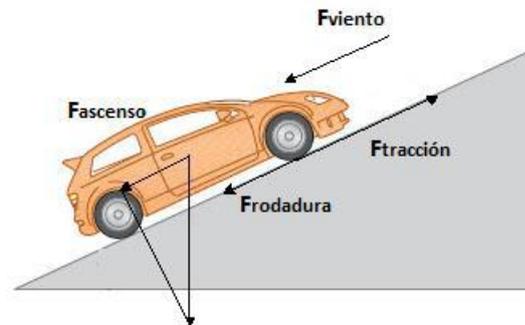
2.1.4. Autonomía

La autonomía, entendida como la distancia que un vehículo puede recorrer utilizando una sola carga de combustible o electricidad, constituye un elemento clave en la fabricación de automóviles actuales. Para aumentar dicha autonomía, se debe tomar en cuenta ciertas características. Un diseño aerodinámico minimiza la resistencia al aire, reduciendo así el consumo de energía. El uso de materiales livianos disminuye el peso total del vehículo, lo que mejora su eficiencia. Asimismo, la eficiencia del motor ya sea térmico o eléctrico, resulta esencial para transformar la energía en movimiento de forma óptima.

2.2. Cálculos mecánicos del motor eléctrico

Para diseñar un vehículo eficiente, es fundamental comprender las fuerzas que actúan sobre él, especialmente en situaciones como subir una pendiente. Una vez seleccionado el motor, debemos analizar si tiene la potencia necesaria para superar estas fuerzas. Para llevar a cabo este análisis, se realiza un estudio detallado de todas las fuerzas que influyen en el movimiento del vehículo, como el peso, la resistencia al rodamiento y la fuerza de fricción. Estos cálculos nos permiten determinar si el motor elegido es adecuado para la tarea y, si no lo es, realizar los ajustes necesarios en el diseño.

Por medio de la figura 21 se puede observar la descomposición de fuerzas para el análisis dinámico y en la tabla 4 las características de diseño del VE.

Figura 21*Descomposición de fuerzas del análisis dinámico***Tabla 4***Características del diseño del VE*

Alto	1.500 [m]
Largo	4.070 [m]
Ancho	1.550 [m]
Motor	54 [kg]
Neumáticos	185 / 65 R15
Velocidad máxima	100 [km/h]
Autonomía	100 km

2.2.1. Cálculo de la potencia requerida

Fuerza por pendiente F_{θ}

La fuerza por pendientes se calcula:

$$F_{\theta} = W \sin \theta$$

(2. 1)

Donde $F\theta$: Fuerza por pendientes, W : peso del vehículo y $\text{sen}\theta$ el seno del ángulo de inclinación.

Fuerza por rodamiento Fr

Se relaciona con el efecto que tienen las llantas sobre una superficie, para poder hallar esta fuerza se tiene:

$$Fr = Cr * N = Cr * W \cos\theta$$

(2. 2)

Donde Cr es el coeficiente de rodadura, en la tabla 5 se puede observar dependiendo de la superficie de contacto.

Tabla 5

Coefficientes de Rodamiento

Coefficientes Cr	Superficies de contacto
0,0002 a 0,0010	Ruedas de ferrocarril sobre rieles de acero
0,0010 a 0,0154	Llantas sobre hormigón
0,020	Llantas sobre losas de piedra
0,030 a 0,035	Llantas sobre alquitrán o asfalto
0,055 a 0,065	Llantas sobre hierba, barro y arena

Fuerza aerodinámica F_a

En esta fuerza el viento impide que el vehículo avance, depende de la forma del vehículo la velocidad con la que corre el viento y la densidad de éste. La fuerza aerodinámica se la obtiene:

$$F_a = \frac{1}{2} \rho S K_a V^2$$

(2. 3)

Donde el factor de penetración aerodinámica es $K_a = 0.3$ y $S = 2\text{m}^2$ el área transversal del objeto.

Figura 22

Tabla de coeficientes aerodinámicos

Forma		K_a		Forma	K_a
Esfera		0.47		Cilindro largo	0.82
Media esfera		0.42		Cilindro corto	1.15
Cono		0.50		Alabe	0.04
cubo		1.05		Media Alabe	0.09

[Nota]: Tomado de (Torres, 2022)

Fuerza por tracción F_T

Para obtener el movimiento del vehículo se necesita de una fuerza externa proveniente del motor que depende del radio de la rueda R_t y el par motor T_t .

$$F_t = \frac{T_t}{R_t}$$

Se relacionan las fuerzas externas utilizando la segunda ley de newton:

$$\Sigma F = m * a$$

$$F_t - F_\theta - F_r - F_a = m * a$$

La fuerza externa de tracción se determina mediante:

$$F_t = W \sin \theta + CrW \cos \theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V^2 + m * a$$

(2.4)

- **Calculo para una pendiente de 5° y velocidad de 40 [Km/h] equivalentes 11.11 [m/s]**

$$F_t = W \sin \theta + CrW \cos \theta + \frac{1}{2} \rho S K_a V^2 + m * a$$

$$F_t = (1154 * 9.8 * \sin(5)) + (0.015 * 1154 * 9.8 * \cos(5)) + \left(\frac{1}{2} * 1.225 * 0.3 * 2\right) * (11.11)^2 + (1154 * 0)$$

$$F_t = 1200.015 [N]$$

$$Potencia = F_t * V$$

$$Potencia = (1200.015) * (11.11)$$

$$Potencia = 13,332 [W]$$

- **Calculo para una pendiente de 10° y velocidad de 40 [Km/h] equivalentes 11.11 [m/s]**

$$F_t = (1154 * 9.8 * \sin(10)) + (0.015 * 1154 * 9.8 * \cos(10)) + \left(\frac{1}{2} * 1.225 * 0.3 * 2\right) * (11.11)^2 + (1154 * 0)$$

$$Ft = 2,176 [N]$$

$$Potencia = Ft * V$$

$$Potencia = (2,176) * (11.11)$$

$$Potencia = 24,178 [W]$$

2.2.2. Características de las baterías

Autonomía estimada: 100 Km

Consumo estimado: 100 Wh/km, referenciar valor

Consumo de la batería = Autonomía x Consumo

$$100km \times 100 \frac{Wh}{km} = 10 kWh$$

Voltaje y capacidad para obtener 10 kWh

V = 96V; debido a que el voltaje de operación del motor es de 10 kWh

Capacidad (Ah) = Energía (Wh)/V

$$Capacidad = \frac{10kWh}{96V} = 104.167 Ah$$

En conclusión, se debe obtener un pack de celdas de batería de litio con las siguientes características: 96V y 105Ah.

Tiempo de carga

Tiempo de carga (h) = Energía/(Potencia del cargador x factor de corrección),
sustentar

Características del cargador 96 V y 25 A

$$\text{Potencia} = V \times A$$

$$\text{Potencia} = 96 \times 25 = 2400 \text{ W} = 2.4 \text{ Kw}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{10 \text{ Kwh}}{2.4 \text{ Kw} \times 0.9} = 4.62 \text{ horas}$$

Por lo tanto, las horas estimadas de carga para las baterías y llegar a un 100% sería unas 4 horas 36min.

2.2.3. Dimensionamiento de los cables

- **Motor Eléctrico**

Potencia nominal: 18 [kW]

Voltaje de operación: 96 [V]

$$\text{Corriente nominal: } I = \frac{P}{V} = \frac{18000}{96} \approx 187.5 \text{ [A]}$$

$$\text{Corriente máxima: } I_{max} = \frac{P}{V} = \frac{40000}{96} \approx 416.7 \text{ [A]}$$

Un cable 1/0 AWG (53.5 mm²) soporta corrientes de hasta 285 A de forma continua en cobre. Para picos de hasta 416.7 A por cortos periodos.

- **Conexión de baterías**

Corriente máxima: $I_{max} = \frac{P}{V} = \frac{40000}{96} \approx 416.7 \text{ [A]}$ al igual que el motor, se recomienda usar cable calibre 2 AWG (33.6 mm²).

- **Cargador de baterías**

Corriente de cargador: $I = 16 \text{ [A]}$

Voltaje del sistema: $V = 96 \text{ [V]}$

Un cable 8 AWG (8.37 mm²) es suficiente, ya que soporta hasta 40 A de forma continua.

- **Convertidor de DC-DC**

Potencia del convertidor: 500 [W]

Corriente de entrada: $I_{in} = \frac{P}{V} = \frac{500}{96} \approx 5.2$ [A]

A la entrada del convertidor se puede usar un cable 14 AWG (2.08 mm²) el cual es suficiente para estas corrientes, aunque también se pueden usar 12 AWG (3.31 mm²). Por otro lado, para la salida del convertidor se usó calibre 8 AWG (8.37 mm²).

Para señales de control se usó calibre 16 AWG (1.31 mm²).

2.2.4 Diseño de brida para motor eléctrico y caja de cambios

Para el enlace entre el motor eléctrico y la entrada de la caja de cambios se mantiene en consideración no excederse a los 600 mm de espacio desde el eje de la caja de cambios hasta el guardabarros trasero.

- **Dimensiones de la Brida**

Diámetro de la caja de cambios: 350 mm

Diámetro para ingreso del acople a la caja de cambios: 101.79 mm

Diámetro del motor: 250 mm

Diámetro para ingreso del acople al eje del motor: 87.78 mm

Distancia lateral de la brida: 95 mm

2.2.5 Diseño de acople

De acuerdo con la distancia de la brida se diseña el acople con la longitud del acople de 111 mm.

- **Parámetros clave del diseño**

Caja de cambios:

Volkswagen Beetle (1973), configurada fija en tercera marcha.

Relación de transmisión en tercera marcha: 1.26:1.

Eje de entrada con brida estándar Volkswagen: diámetro de eje

Numero de dientes: 24

Motor eléctrico:

Potencia nominal: 18 kW.

Velocidad nominal: 3000 RPM.

Par nominal: 57.3 Nm.

Potencia máxima: 40 kW.

Velocidad máxima: 7500 RPM.

Par máximo: 150 Nm = 0.15 Nmm

Numero de dientes: 21

$$\Sigma F = T_{\text{neto}}$$

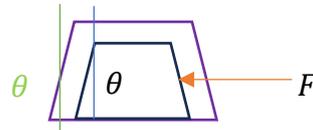
$$n * F_{\text{máx}} \frac{(Re + Ri)}{2} \cos \theta = T_{\text{máx}}$$

$$F_{\text{máx}} = \frac{T_{\text{máx}} * 2}{n(Re + Ri) \cos \theta}$$

$$n_{motor} = 21$$

$$n_{caja} = 24$$

$$\theta = 15^\circ$$



Fuerza máxima ejercida por el eje del motor al acoplé:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{2 * 150[Nm]}{21 \frac{(19.17 + 21.87)}{2} * 10^{-3} * (\cos 15) [m]}$$

$$F_{m\acute{a}x} = 720 \text{ N}$$

$$\Sigma F = 0$$

$$F_{m\acute{a}x} - \text{Reacción} = 0$$

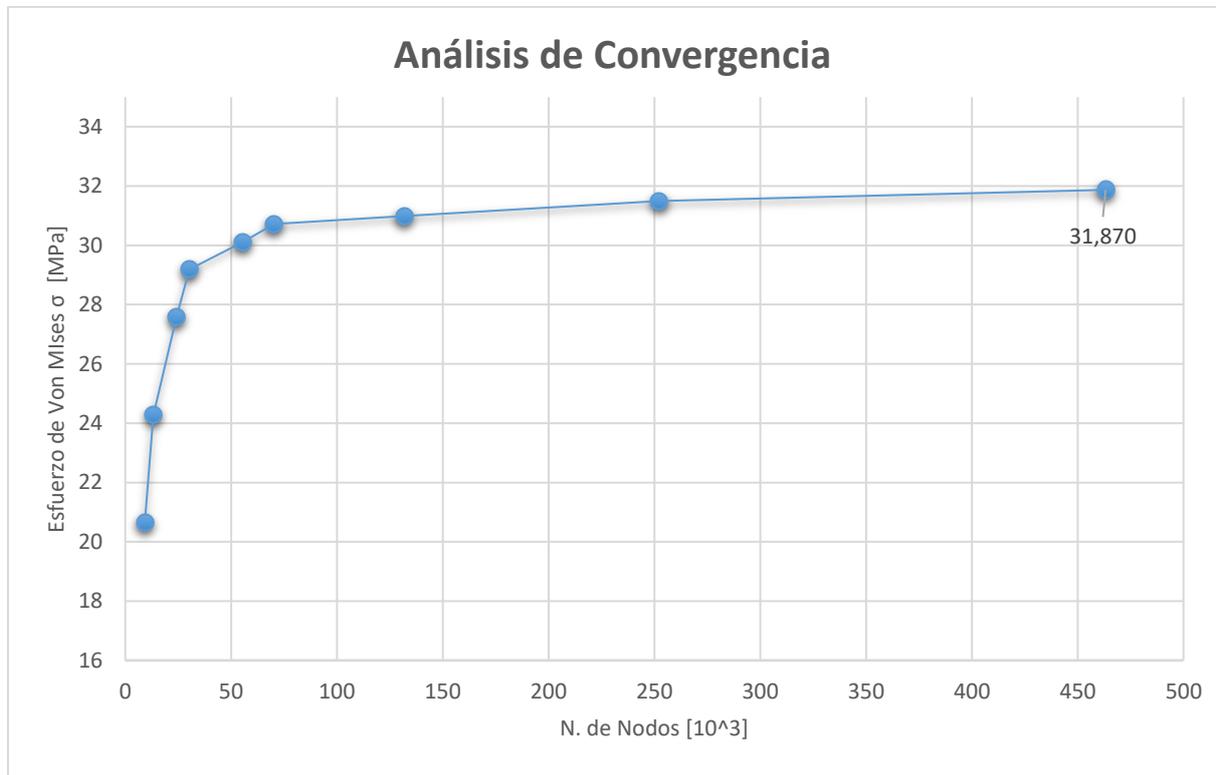
$$F_{m\acute{a}x} = \text{Reacción}$$

Adicional se realizó la simulación del acople para medir los esfuerzos y deformaciones que estará sometido. En la tabla 6, se puede encontrar el resultado del número de nodos para simulación de acople.

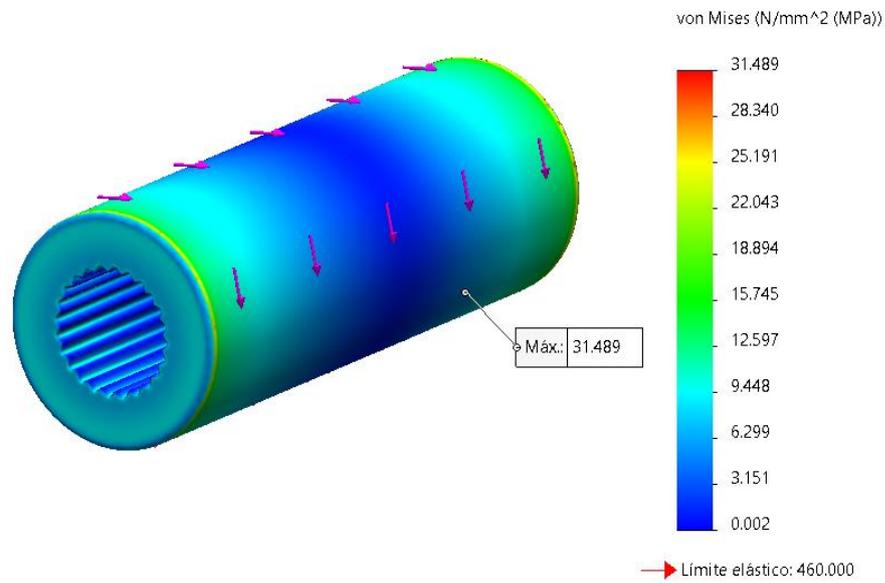
Tabla 6

Numero de nodos para simulación de acople

N. de Nodos	N. de Elementos	Deformaciones [mm]	Esfuerzos Von Mises [Mpa]	Error relativo [%]
9,2635	55502	0,003	20,658	
13,36	80920	0,003	24,273	14,9%
24,2102	153806	0,003	27,582	12,0%
30,3786	196424	0,003	29,190	5,5%
55,7601	365699	0,003	30,120	3,1%
70,2207	451309	0,003	30,717	1,9%
131,804	876003	0,003	30,990	0,9%
252,382	1756304	0,003	31,489	1,6%
463,2036	3297014	0,003	31,870	1,2%

Figura 23*Análisis de convergencia*

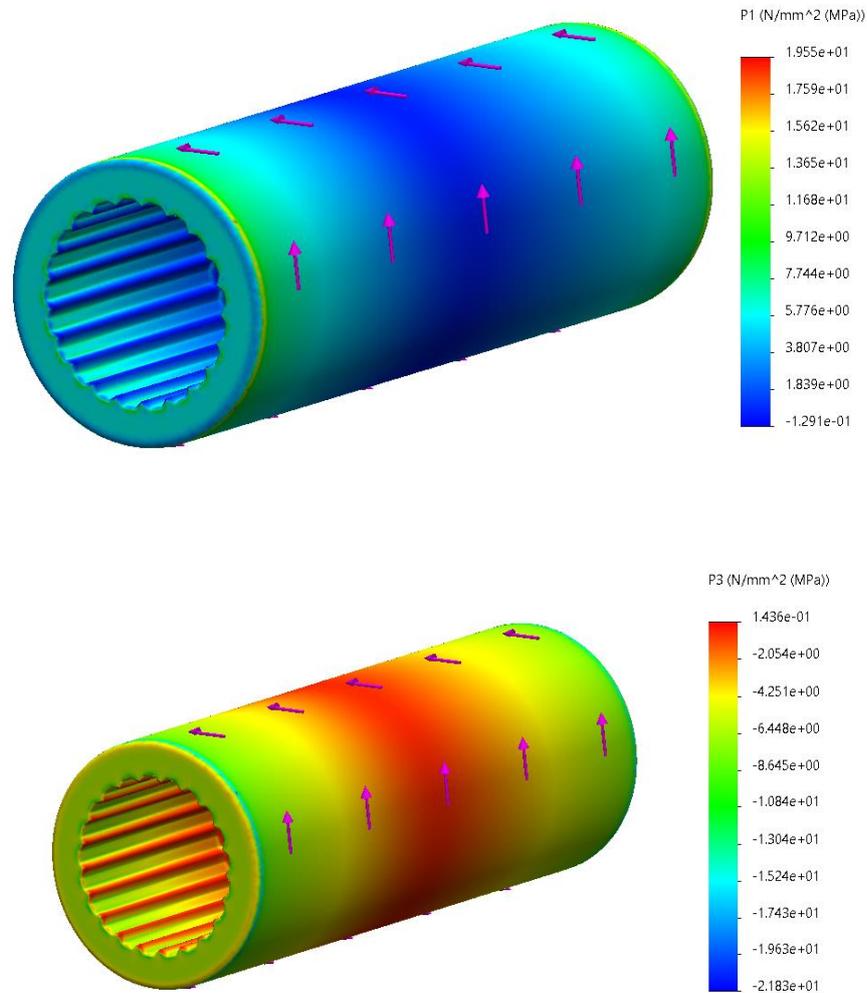
De acuerdo con la figura 23 del gráfico de análisis de convergencia, el esfuerzo máximo a soportar del acople converge a 32 MPa.

Figura 24*Esfuerzo de Von Mises del acople*

Se observa en la figura 24, que el esfuerzo de Von Mises es de aproximadamente 32 MPa, lo cual nos da un factor de seguridad de 6 comparando con el límite del material que es 460 MPa, por lo cual podemos concluir que nuestro material se encuentra trabajando en la zona elástica.

Figura 25

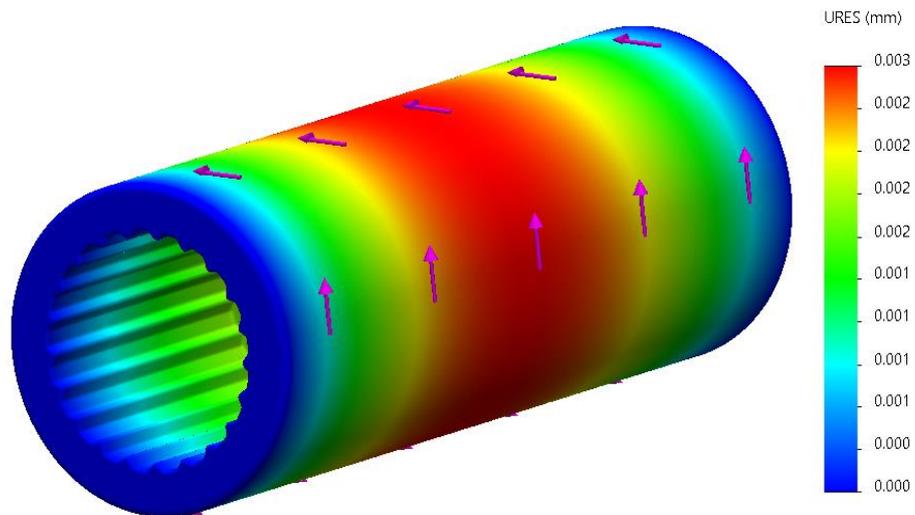
1er y 3er esfuerzo de Von Mises



Posteriormente se calculó el primer esfuerzo y tercer esfuerzo de Von Mises como se puede observar en la figura 25, dando $P1=1.955$ y $P3= -2.183$, siendo mayor el tercer esfuerzo que nos indica que en el acople predomina la compresión de las fibras dentro de la pieza.

Figura 26

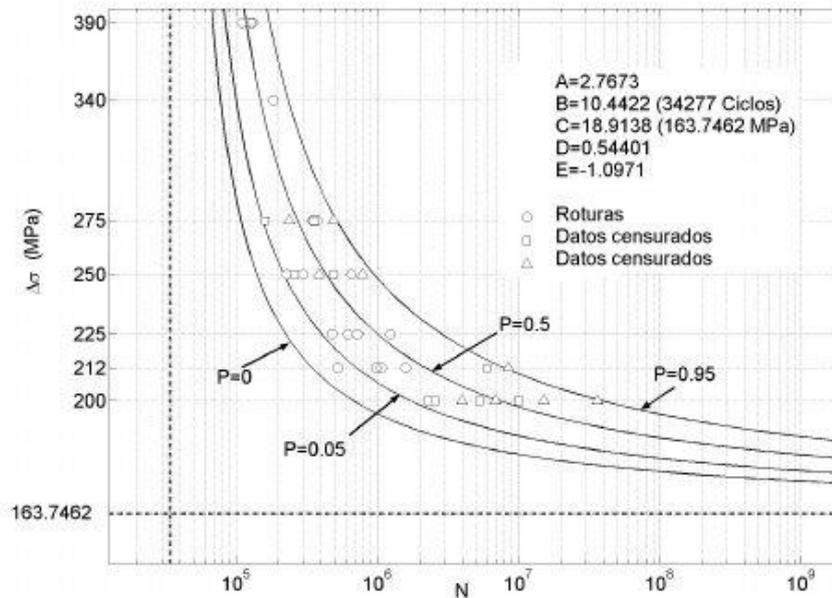
Deformación máxima URES del acople



La deformación máxima que sufrirá el acople será en la mitad siendo de 0.003, como se puede visualizar en la figura 26, lo cual se considera un valor despreciable. Por lo que se concluye que el diseño es seguro ante una condición de carga estática.

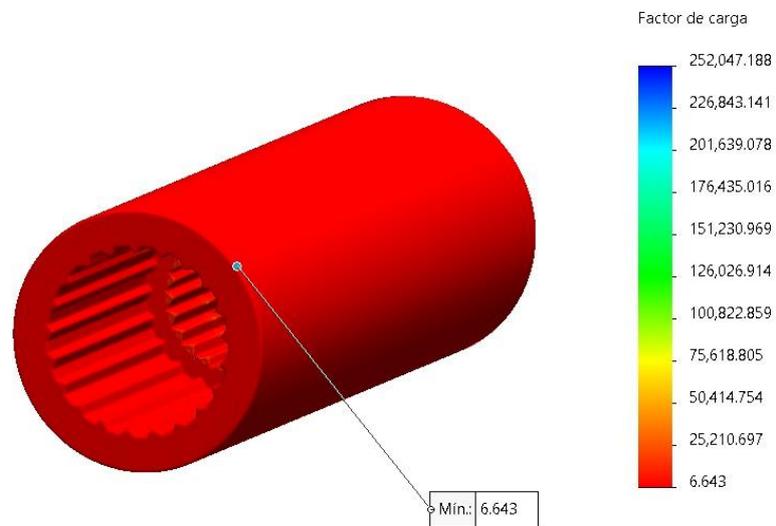
Figura 27

Curva de esfuerzo vs Ciclo. Material utilizado: 7210



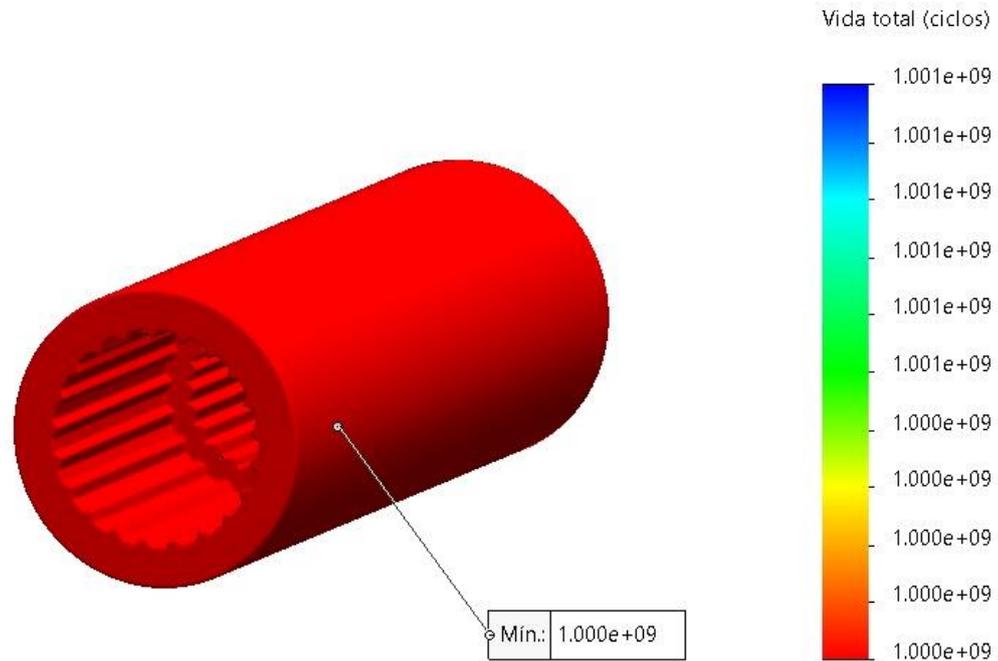
Nota. Adaptado de *Efecto de la tensión media en el comportamiento a fatiga de barras corrugadas de acero inoxidable dúplex*, por Cristina R. y Alfonso F, 2005.

Posteriormente se realizó el análisis de fatiga, como se observa en la figura 27, ocupando el análisis de condición estática y extrapolarla a un movimiento cíclicamente. El cual al ser un acople para ejes estará sometido a una carga de fatiga más crítico, debido a cuando un punto del eje se encuentre en la parte superior del eje 'y' estará a compresión (+32 MPa), mientras que el mismo punto este en la parte inferior del eje 'y' estará a tensión (-32 MPa); formando una gráfica senoidal pero siempre predominando la compresión.

Figura 28*Factor de carga del acople*

Como se observa en la figura 28, el factor mínimo predominante en toda la pieza es 6.643.

Esto indica que el factor de seguridad ante fatiga es 6, lo que significa que, si la carga se incrementara seis veces, la pieza fallaría por fatiga.

Figura 29*Vida total de ciclos del acople*

Vemos que el ciclo mínimo, como se observa en la figura 29, este perdurará el acople siendo 10^9 que es igual a “vida infinita”; después de 10^6 se considera que un material no va a fallar por fatiga.

2.2.6. Simulaciones de comparación entre motor mecánico y eléctrico

Figura 30

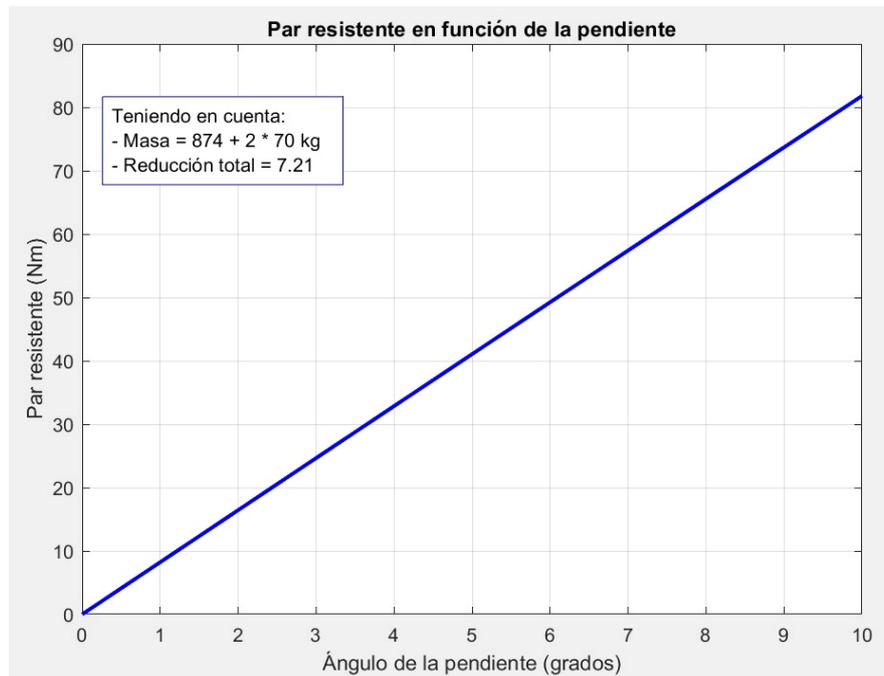
Variación par aerodinámico en función de la velocidad del giro del motor



En la figura 30, la variación de la velocidad de giro del motor debido a la resistencia aerodinámica se explica mediante la fórmula de la fuerza aerodinámica, la cual incluye una componente cuadrática. Este comportamiento se refleja en la gráfica, mostrando que, al aumentar la velocidad del vehículo, se requiere un mayor torque [Nm] para mover el vehículo y superar la resistencia que el viento ejerce sobre él.

Figura 31

Par resistente en función de la pendiente



El torque necesario para subir una pendiente aumenta proporcionalmente al grado de inclinación de esta. Este comportamiento lineal se explica porque la fuerza de ascenso depende directamente del seno del ángulo de inclinación, que, para valores pequeños, se aproxima a una relación lineal. Por lo tanto, en la figura 31 se observa la resultante que muestra un incremento proporcional del torque requerido a medida que aumenta el ángulo de la pendiente.

Figura 32

Potencia y Torque ideal de un motor eléctrico

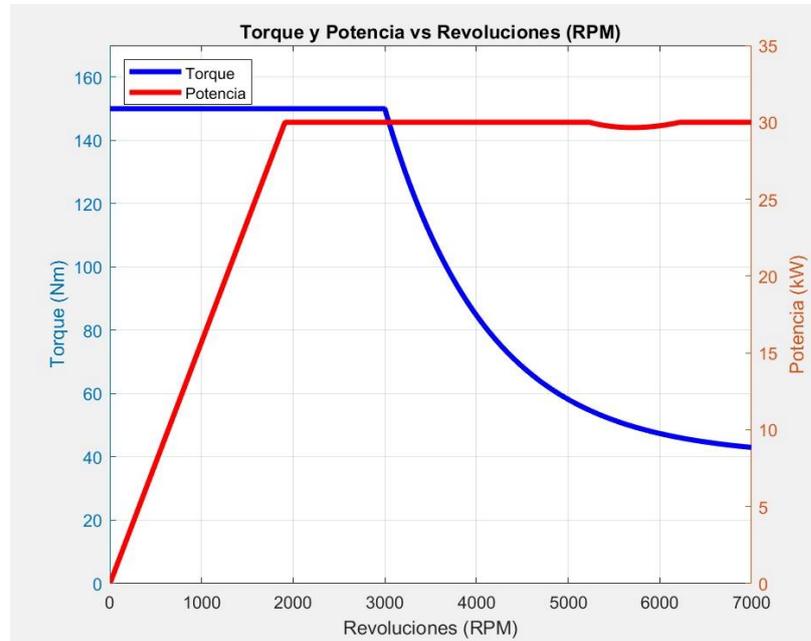
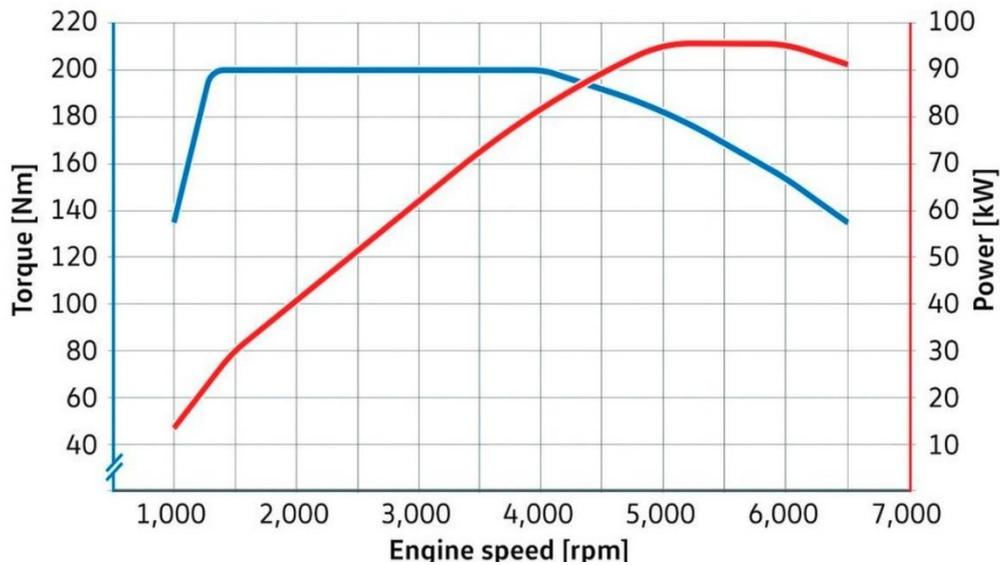


Figura 33

Potencia y Torque de un motor de combustión interna



En contraste con los motores eléctricos que se puede observar en la figura 32, los motores de combustión interna en la figura 33 presentan un comportamiento de torque y potencia muy diferente. En un motor de combustión, el torque máximo generalmente no se

encuentra disponible desde bajas revoluciones, sino que se alcanza en un rango intermedio de velocidades del motor. Esto se debe a la dependencia de los motores de combustión interna en procesos de admisión, compresión, combustión y escape, los cuales requieren un equilibrio óptimo entre la velocidad del motor y la cantidad de aire-combustible para generar máxima eficiencia. Como resultado, los motores de combustión suelen experimentar un retraso en la entrega de potencia, conocido como "lag", especialmente en situaciones donde se requiere acelerar rápidamente desde una posición de reposo.

Asimismo, la potencia en un motor de combustión interna no se mantiene constante a lo largo de su rango operativo. Por lo general, se incrementa a medida que aumentan las revoluciones hasta alcanzar un pico y posteriormente comienza a disminuir debido a limitaciones mecánicas y térmicas. Este comportamiento contrasta con la curva plana de potencia que caracteriza a los motores eléctricos, los cuales pueden mantener la entrega de potencia constante gracias a su diseño intrínseco y a la eficiencia en la conversión de energía eléctrica en energía mecánica.

Otra diferencia clave radica en la eficiencia energética. Los motores eléctricos poseen una eficiencia significativamente superior, hasta 3 veces más que los motores de combustión interna. Esto se debe a que los motores eléctricos convierten directamente la energía eléctrica en movimiento, mientras que los motores de combustión interna desperdician una gran cantidad de energía en forma de calor durante el proceso de combustión.

Finalmente, el mantenimiento y la durabilidad también presentan diferencias notables. Los motores eléctricos tienen menos partes móviles y carecen de sistemas complejos como inyectores de combustible, válvulas, y escapes. Esto los hace menos propensos al desgaste mecánico y reduce significativamente los costos de mantenimiento. Por otro lado, los motores

de combustión interna requieren un mantenimiento más frecuente debido al desgaste de componentes críticos y a la acumulación de residuos provenientes de la combustión.

Con base en las simulaciones y los datos teóricos obtenidos para seleccionar el motor adecuado para mover el vehículo, se optó por un kit completo que incluyera el motor necesario. Se eligió el kit de la marca Zhuhai Enpower Electric (Enpower), distribuido por la compañía Taller ROCO Ecuador. Este kit cumple con todas las especificaciones, características y funciones requeridas, las cuales se detallarán a continuación.

2.3. Descripción de los componentes del diseño

2.3.1. Motor Eléctrico AC

El motor, que se muestra en la figura 34 y los datos de la tabla 7, es un motor trifásico sin escobillas, alimentado por corriente alterna (CA) y que utiliza imanes permanentes. Este tipo de motor es una de las innovaciones más sofisticadas y aptas para usos contemporáneos, particularmente en proyectos como la electrificación de vehículos, debido a su eficiencia máxima, fiabilidad y eficacia superior a otras alternativas del mercado.

El motor elegido tiene una potencia nominal de 18 kW, con una potencia máxima de 40 kW, cuenta con un par nominal de 57.3 Nm y un par máximo posible de 150 Nm. Su velocidad nominal de 3,000 rpm y máxima de 7,500 rpm, lo convierte en una opción óptima para tareas que requieren una regulación precisa y variable. Este motor eléctrico emplea una configuración sin escobillas, lo que disminuye las complicaciones relacionadas con el deterioro mecánico y reduce el mantenimiento necesario, garantizando un funcionamiento silencioso y más eficaz.

A diferencia de varios tipos de motores eléctricos, el motor trifásico sin escobillas y sin imanes (PMSM) ofrece importantes ventajas. En comparación con un motor auto-sincronizado, este motor destaca por su ahorro de energía al reducir notablemente las pérdidas de potencia en el rotor, lo que mejora considerablemente la utilización de la energía. Los motores de inducción requieren una gestión compleja y óptima en escenarios variables, mientras que el motor trifásico con imanes permite una regulación precisa con menores pérdidas, posicionándolo como la mejor opción para tareas exigentes como la propulsión de vehículos.

Este tipo de motor de imán permanente también puede utilizar el frenado regenerativo. En este procedimiento, a medida que el vehículo reduce la velocidad, el motor transforma la energía cinética en energía eléctrica, que luego se almacena en las baterías. En iniciativas como la electrificación de coches, el frenado regenerativo no solo mejora el kilometraje del vehículo, sino que también aumenta la eficiencia del motor, haciendo que cada ciclo de funcionamiento sea más ecológico y eficaz.

Este motor funciona bien y es fiable, proporcionando suficiente potencia para su uso en coches que funcionan con electricidad. Su capacidad para funcionar rápidamente y producir una fuerza de rotación constante, junto con la necesidad de un mantenimiento mínimo, lo posiciona como la mejor opción para mejorar la eficiencia del sistema. Aunque el desembolso inicial puede ser mayor que con alternativas convencionales como los motores de inducción, las ventajas en el ahorro de energía, la longevidad y la ecología justifican este coste adicional.

Tabla 7

Tabla de datos del motor AC trifásico ENPOWER

Motor AC			
Modelo	Y13120006	Rango de Trabajo	80 Vac - 120 Vac
Potencial Nominal	18 kW	Velocidad Nominal	3,000 rpm
Potencia Máxima	40 kW	Velocidad máxima	7,500 rpm
Par Nominal	57.3 Nm	Conexión	Y
Par Máximo	150 Nm	Masa	54 kg

Figura 34

Motor AC trifásico



2.3.2. Baterías

La selección de baterías para alimentar el motor trifásico se basó en las características técnicas detalladas en la Tabla 2 en el marco teórico. La tabla compara el almacenamiento de energía y la diferencia entre el almacenamiento de energía y los ciclos de vida. Para determinar las baterías necesarias con el cual se alimentará el motor, se realizaron estimaciones evaluando el uso del motor y la vida útil esperada.

Las baterías de fosfato de hierro y litio se convirtieron en la opción preferida para el electro conversión, su autonomía y su gran desempeño, al igual que su longevidad, garantiza una vida útil prolongada frente a otras baterías.

Por el contrario, las baterías de gel, un tipo de unidad de plomo-ácido encapsulada, se seleccionaron por su asequibilidad. Estas celdas utilizan un conductor semisólido, lo que disminuye la posibilidad de fugas y aumenta la seguridad. Sin embargo, en comparación con las celdas LiFePO_4 , las de gel ofrecen una potencia por masa menor, lo que requiere un mayor peso y dimensiones para igualar la potencia de sus contrapartes. Además, su vida útil es menor, con unos 500 a 800 ciclos completos de carga y descarga.

Aunque las baterías de gel son más densas y menos eficientes que las baterías de fosfato de hierro y litio, su precio y accesibilidad las convierten en una opción viable para la iniciativa, facilitando el cumplimiento de las limitaciones de tiempo y presupuesto. Para preparar las celdas de energía y adaptarlas a los requisitos del motor eléctrico, se conectaron en serie 8 unidades de 12 V, generando un voltaje total de 96 V esencial para el funcionamiento fiable del motor trifásico, pero cada batería de gel tiene un peso aproximado de 25 kg, lo que significa que, al utilizar 8 baterías para alcanzar el voltaje necesario de 96 V, el peso total de las baterías asciende a 200 kg. Comparado con las baterías LiFePO_4 , que

tienen un peso de 95 kg por unidad y requieren menos baterías para lograr el mismo voltaje, esta elección implica un incremento considerable en el peso total del sistema.

Este aumento de peso tiene un impacto directo en el rendimiento del vehículo eléctrico. Al ser más pesado, el vehículo requerirá más energía para desplazarse, lo que podría llevar a un mayor consumo de batería durante su operación. Esto, a su vez, afecta negativamente la autonomía del vehículo y su eficiencia general, ya que el motor deberá trabajar más para mover un peso adicional, lo que puede resultar en un aumento de la demanda energética y una mayor tasa de desgaste de las baterías.

En conclusión, a pesar de las ventajas de las baterías LiFePO₄ en cuanto a capacidad, resistencia y masa, optamos por las de gel debido a las limitaciones logísticas, presupuestarias y de plazos de este proyecto.

2.3.3. Controlador MC3336-9650

El controlador Enpower MC3336-9650, que se encuentra en la figura 35, es un controlador de alto rendimiento diseñado para gestionar motores de corriente alterna en vehículos eléctricos, ofreciendo características avanzadas que lo convierten en una solución ideal para diversas aplicaciones. Su control vectorial permite un manejo preciso del par y la velocidad del motor, garantizando una aceleración suave, una frenada regenerativa eficiente y una respuesta óptima en diferentes condiciones de conducción. Además, su amplio rango de velocidad lo hace adaptable a una variedad de vehículos, desde modelos de baja velocidad hasta aquellos que requieren mayor dinamismo.

Este controlador destaca por su alta eficiencia energética, lograda mediante la recuperación de energía durante la frenada, lo que contribuye a aumentar la autonomía del vehículo y a reducir el consumo eléctrico. También incluye funciones de seguridad

integradas, como protección contra fallos del acelerador, sobretensión, sobrecorriente y sobrecalentamiento.

La capacidad de personalización del MC3336-9650 permite configurarlo para diferentes motores y aplicaciones, ajustando parámetros como la curva de aceleración y la respuesta del freno. Su comunicación mediante el protocolo CAN bus facilita la integración con otros sistemas electrónicos del vehículo, como sistemas de gestión de batería y displays. Además, esta funcionalidad ha sido utilizada para conectar un HMI, lo que permite el monitoreo en tiempo real de variables clave como el voltaje, la corriente, las revoluciones por minuto (RPM) y la velocidad del vehículo, proporcionando un control más detallado y eficiente del sistema.

Este controlador es ideal para aplicaciones como carros de golf, vehículos de turismo, pequeños camiones eléctricos y vehículos especiales, gracias a su combinación de eficiencia, precisión y tamaño compacto. Además, su capacidad de recuperación de energía y su larga vida útil lo convierten en una opción económica y sostenible, adecuada para optimizar el rendimiento y la seguridad de los vehículos eléctricos en los que se implementa.

Figura 35

Controladora de velocidad MC3336-9650



2.3.4. Cargador de batería CH4100-9620 ENPOWER

El cargador Enpower CH4100-9620, que se puede observar en la figura 36, es un dispositivo esencial para la recarga de vehículos eléctricos. Diseñado para transformar la corriente alterna de la red eléctrica en la corriente continua necesaria para alimentar las baterías de estos vehículos, este cargador garantiza un proceso de carga eficiente y seguro. Su funcionamiento se basa en circuitos electrónicos que monitorean constantemente el estado de la batería y ajustan la corriente de carga según sea necesario.

Una de las principales ventajas de este cargador es su alta potencia, lo que permite reducir significativamente el tiempo de carga de las baterías. Además, su diseño flexible lo hace compatible con una amplia variedad de vehículos eléctricos y tipos de baterías. Para garantizar la seguridad del usuario y del vehículo, el CH4100-9620 incorpora múltiples sistemas de protección contra sobrecarga, cortocircuitos y sobrecalentamiento.

Figura 36

Cargador de batería CH4100-9620 ENPOWER



2.3.5. Convertidor DC/DC 96/12-50A ENPOWER

El convertidor DC/DC 96/12-50A Enpower, que se puede observar en la figura 37, es un dispositivo electrónico que reduce un voltaje de corriente continua de 96 voltios a 12 voltios, entregando hasta 50 amperios. Este tipo de convertidores, conocidos como "buck converters", son fundamentales en diversas aplicaciones, como vehículos eléctricos, donde se utilizan para alimentar componentes de bajo voltaje a partir de la batería principal de alto voltaje.

Los convertidores Enpower destacan por su alta eficiencia, lo que minimiza las pérdidas de energía, y por sus características de seguridad, como el aislamiento galvánico y las protecciones contra cortocircuitos y sobrecargas. Su diseño compacto los hace ideales para su integración en sistemas electrónicos de diversos tamaños. En resumen, este tipo de

convertidor es una pieza clave en la electrónica moderna, permitiendo adaptar voltajes de corriente continua a las necesidades específicas de cada aplicación.

Figura 37

Convertidor DC/DC 96/12-50A ENPOWER



2.3.6. Acelerador electrónico K1102-008

El acelerador electrónico K1102-008, que se puede visualizar en la figura 38, es un componente clave en los sistemas de control de motores modernos. A diferencia de los aceleradores mecánicos tradicionales, este dispositivo utiliza señales eléctricas para regular la apertura de la mariposa del acelerador, lo que permite un control más preciso y eficiente de la potencia del motor. Mediante sensores que detectan el movimiento del pedal y un módulo de control electrónico, el acelerador electrónico ofrece una respuesta más suave y exacta del motor, al mismo tiempo que facilita una mejor integración con otros sistemas electrónicos del vehículo, como el control de estabilidad y de tracción.

El acelerador electrónico K1102-008 presenta varias ventajas, como una mayor precisión en el control de la potencia, una mejor eficiencia en el consumo de combustible,

mayor durabilidad y una integración optimizada con los sistemas electrónicos del vehículo. Estas características hacen que esta tecnología sea cada vez más común en la industria automotriz, contribuyendo a una conducción más segura y eficiente.

Figura 38

Acelerador electrónico K1102-008



2.3.11. Mantenimiento del chasis y carrocería

El chasis es el esqueleto del vehículo que mantiene las piezas que conforman el auto, aportando rigidez, sostén y forma. Realizando un mantenimiento que conforma de limpieza y recubrimiento especializado aplicado en la superficie del chasis para la protección de la corrosión, oxido y desgaste.

La carrocería es la estructura exterior del vehículo el cual apoya el bastidor, y lleva al conductor en la parte interna, junto a los pasajeros y a la carga. Debido a que presentaba choques en la parte frontal y trasera, se reemplazó:

- Parte delantera del vehículo
 - Faros principales
 - Faros de luz antiniebla

- Habitáculo
 - Cristal de puerta
 - Espejos
 - Piezas individuales
- Parte trasera vehículo
 - Luces traseras antiniebla
- Guardabarros
 - Parachoques
 - Parrilla delantera
- Cristales/Espejos
 - Lunas de ventanas
 - Espejos
- Iluminación/Sistema de señales
 - Luces traseras
 - Luces traseras antiniebla
- Muelles neumáticos

En la figura 39, se puede observar la restauración de la carrocería.

Figura 39

Restauración de carrocería

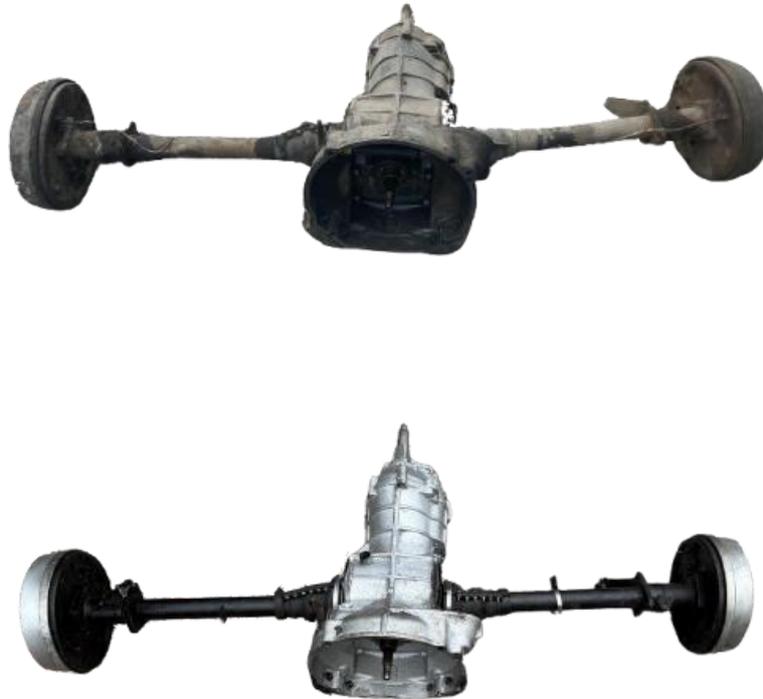


2.3.12. Mantenimiento de la caja de cambios

Como parte del mantenimiento se removió la grasa y suciedad de la caja de cambio. Posteriormente se reemplazó el aceite, luego se aplicó una capa de pintura anticorrosiva para evitar el óxido prolongando su vida útil. En la figura 40, se puede observar el mantenimiento de la caja de cambios.

Figura 40

Mantenimiento de caja de cambios



Al mantener el sistema de embrague es menos susceptible el daño en la caja de cambios, ya que se desacopla con mayor facilidad los engranajes para realizar los respectivos cambios cuando el vehículo aún se mantiene en movimiento. En el caso de no mantener la caja de cambios el vehículo se mantendrá en tercera marcha en todo momento.

Debido a la logística, tiempo y costo se decidió no mantener el sistema de embrague a pesar de ser la mejor opción.

2.3.12. Mantenimiento de sistemas de frenos

Para una conducción seguro se revisó el sistema de frenos del vehículo, que conforma de los cilindros de rueda que presentaron un desgaste por lo que se reemplazaron, así como

las zapatas de freno. Por lo que se retiraron los clavos retenedores de las zapatas para su mantenimiento. En el caso del sistema de frenos trasero cuentan con un ancla de freno de mano además de un separador que permite que no se cierren las zapatas; los cuales no se encontraban habilitados en el vehículo por lo que el mantenimiento fue correctivo, dejando operativo el sistema de freno de mano. Además, que se realizó el reemplazo de todo el sistema de cañerías y mangueras conformados. En la figura 41, se puede observar el mantenimiento del sistema de frenos del vehículo.

Figura 41

Mantenimiento del sistema de frenos del vehículo



2.3.7. Bases para las baterías

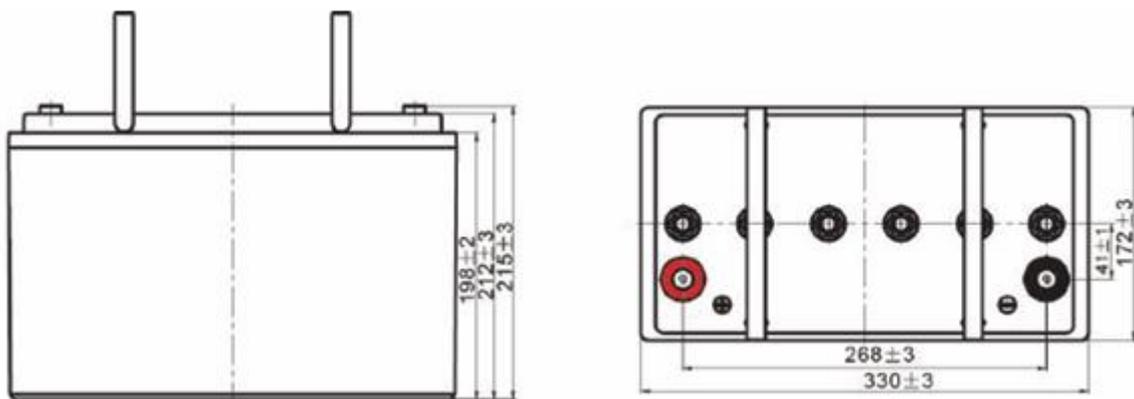
Para la ubicación de las baterías se elaboró una soportaría para 4 de las mismas en la parte delantera del vehículo donde anteriormente estaba ubicada el reservorio del

combustible, se puede observar en la figura 42 las dimensiones de las baterías y en la figura 43 las bases.

Las 4 baterías restantes estarán ubicadas en la parte interna del vehículo por el asiento trasero. Con las dimensiones de 331x174x219 milímetros por cada batería, se fabricó un soporte de 670x375 milímetro con ángulos y platinas de 1" para cuatro baterías delantera, mientras que las 4 baterías restantes se ubicaron en la parte trasera del asiento de los acompañantes.

Figura 42

Dimensiones de baterías usadas



Nota: La figura muestra las dimensiones de las baterías de gel, obtenido de una ficha técnica de batería sellada 12V-100 Ah del fabricante FU.

Figura 43

Bases para baterías frontales.



2.3.8. Base para la controladora

Se elaboro un soporte para la controladora del sistema eléctrico del vehículo, que se puede visualizar en la figura 44, en la parte trasera por encima del motor eléctrico, diseñando un marco con ángulos y platinas de 1", teniendo medidas de 295x205 milímetros, y dos barras de soporte en los lados laterales cortadas a 45°.

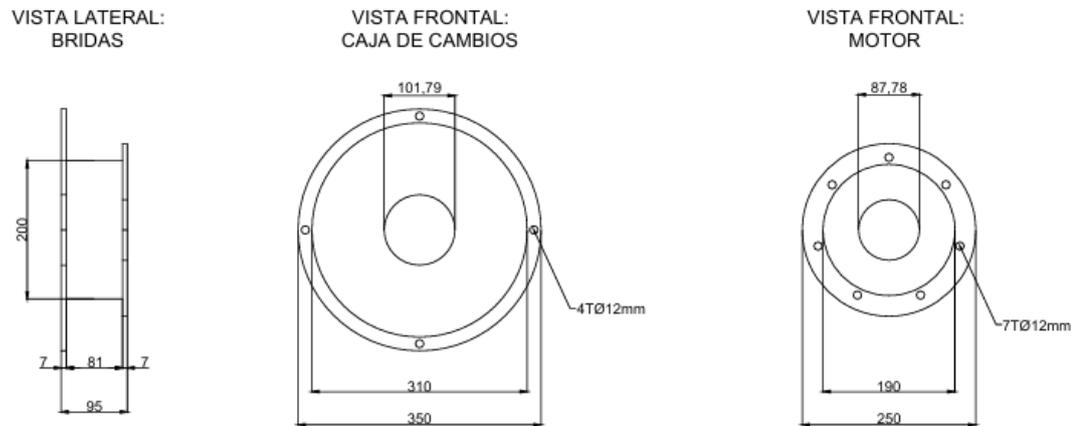
Figura 44*Base para controladora*

2.3.10. Acoplamiento de estrías internas paralelas (Motor eléctrico a Caja de cambios)

El acople es un dispositivo mecánico que une dos ejes de forma eficiente y segura. Su función principal es transferir la potencia mecánica y par generada por el motor eléctrico al eje de la caja de cambios, su diseño se puede observar en la figura 46. Fabricado a partir de un cilindro de aluminio torneado para la elaboración del acoplamiento con estriado interno, la cual contienen fibras intermedias con dientes paralelos a las externas, que transfiere el movimiento rotatorio y el par entre ejes con menor arrastre y mayor precisión; posteriormente se pasa por un tratamiento térmico para poder resistir la potencia transferida. En la figura 45 se puede observar el diseño de bridas para motor eléctrico y caja de cambios.

Figura 45

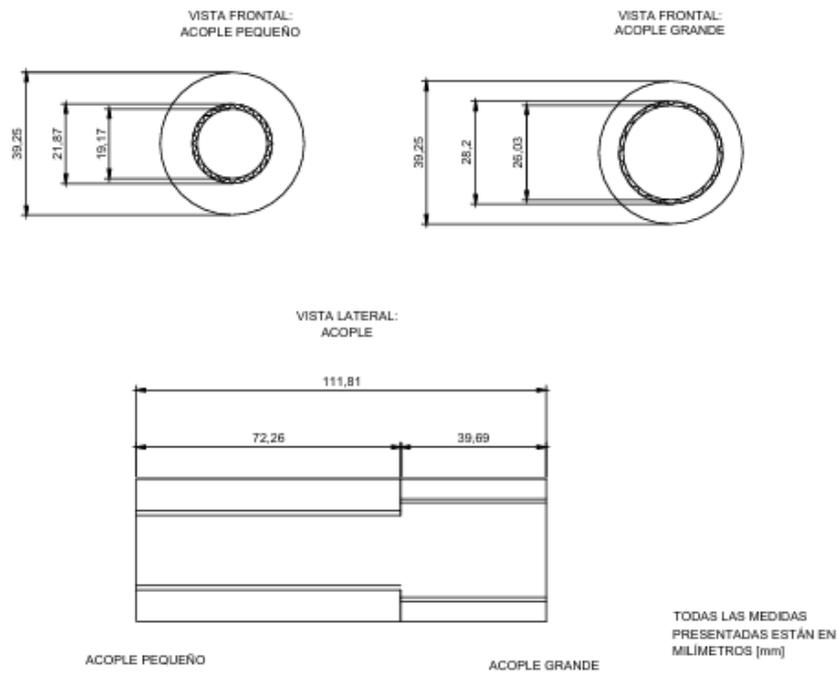
Diseño de brida para motor eléctrico y caja de cambios



TODAS LAS MEDIDAS
PRESENTADAS ESTÁN
EN MILÍMETROS [mm]

Figura 46

Diseño de acople



TODAS LAS MEDIDAS
PRESENTADAS ESTÁN EN
MILÍMETROS [mm]

2.3.13. Monitoreo

Debido a la imposibilidad de adquirir baterías de litio con BMS en el tiempo establecido, se ha decidido optar por una solución alternativa para la adquisición y visualización de datos del motor.

Se implementará un sistema de monitoreo basado en la controladora MC3336 9650, la cual se encargará de capturar los datos relevantes del motor en tiempo real. A través de un convertidor de señal USB TTL y de un módulo de RS2323-TTL, estos datos serán transmitidos a un ordenador para su análisis inicial mediante el Software propio del fabricante.

Para visualizar los datos directamente en el vehículo, se utilizará un microcontrolador ESP32 como cerebro del sistema. El ESP32 recibirá los datos desde la controladora MC3336 a través de los módulos de conversión de señal necesarios. Estos datos serán procesados y enviados a una pantalla HMI de la marca Nextion. La pantalla Nextion, con su interfaz gráfica personalizada, mostrará de forma clara y concisa la información relevante del motor.

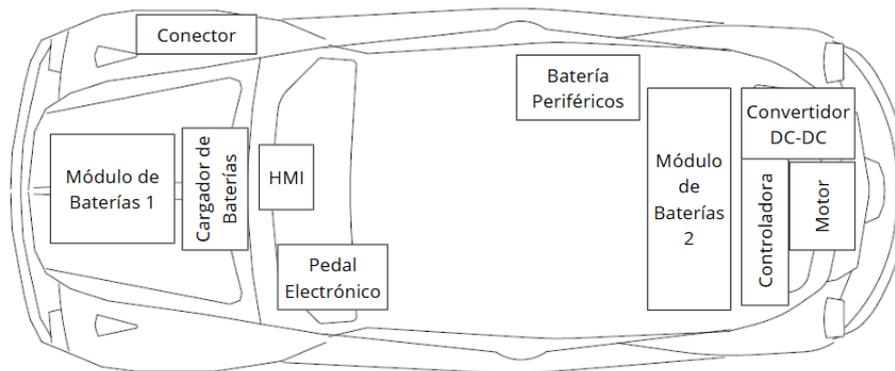
Variables por visualizar en la pantalla Nextion:

- Velocidad del motor: RPM
- Corriente: Amperios (A)
- Voltaje: Voltios (V)
- Temperatura del motor: Grados Celsius (°C)

2.3.14. Ubicación de componentes

Figura 47

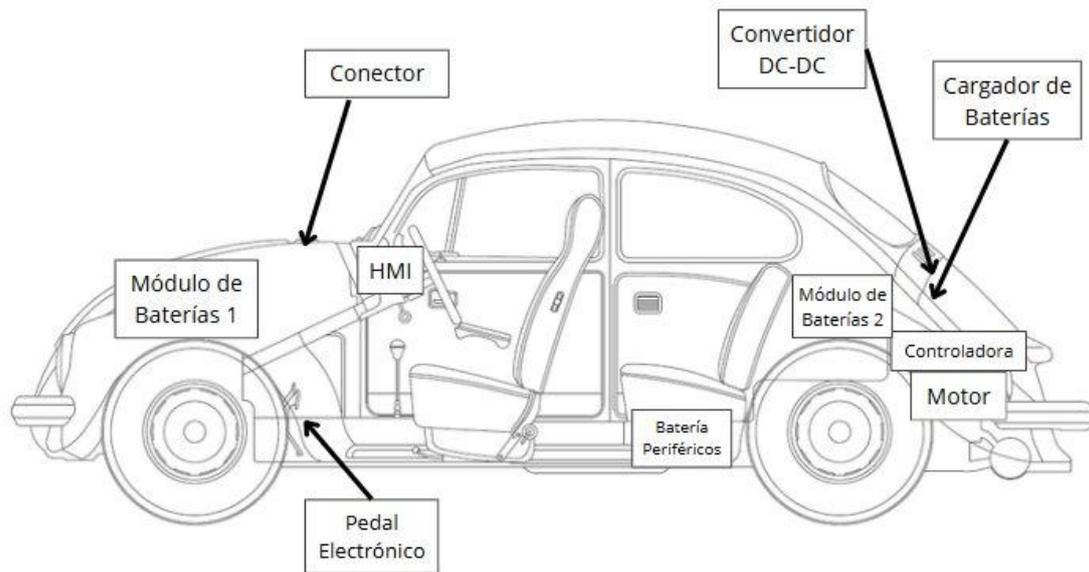
Vista aérea de las ubicaciones de los componentes



En las figuras 47 y 48, se aprecian las ubicaciones de los componentes adaptados para realizar la electroconversión, los módulos de baterías corresponden a la cantidad de 4 baterías por módulo para poder obtener el voltaje necesario para el funcionamiento del motor. En la parte trasera encontramos la controladora junto con el motor que dan la fuerza de tracción para el movimiento del vehículo. También se puede observar la ubicación de la batería secundaria de plomo-ácido que alimentará los sistemas secundarios como las luces, limpiaparabrisas, etc.

Figura 48

Vista lateral de las ubicaciones de los componentes



Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1. Prueba del kit sin instalarlo en el vehículo (en vacío)

Se puede observar en la figura 49 los componentes del kit los cuales se realizó la conexión eléctrica como se aprecia en la figura 50 para realizar pruebas sin carga en el motor lo cual se denomina pruebas en vacío.

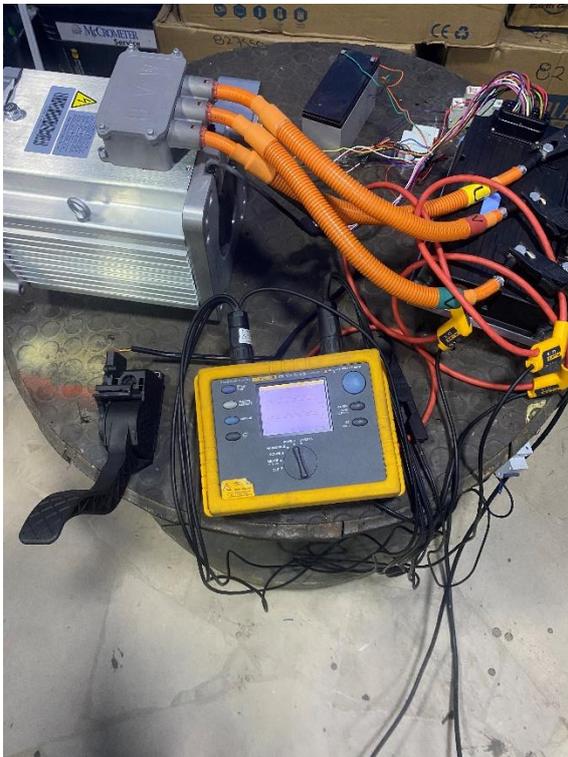
Figura 49

Componentes del Kit de Electroconversión



Figura 50

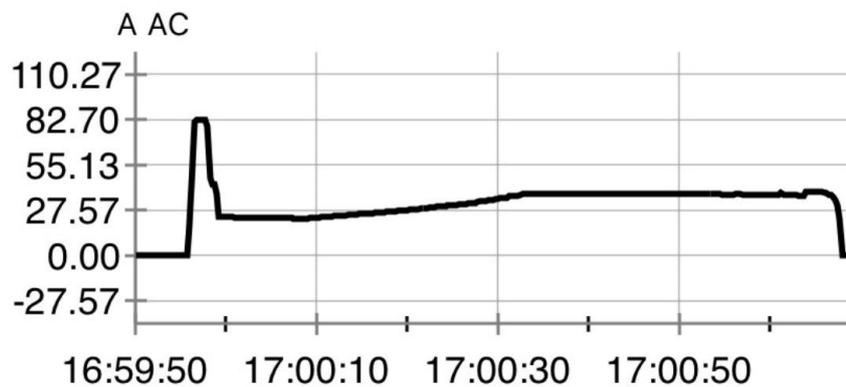
Conexiones para las pruebas en vacío



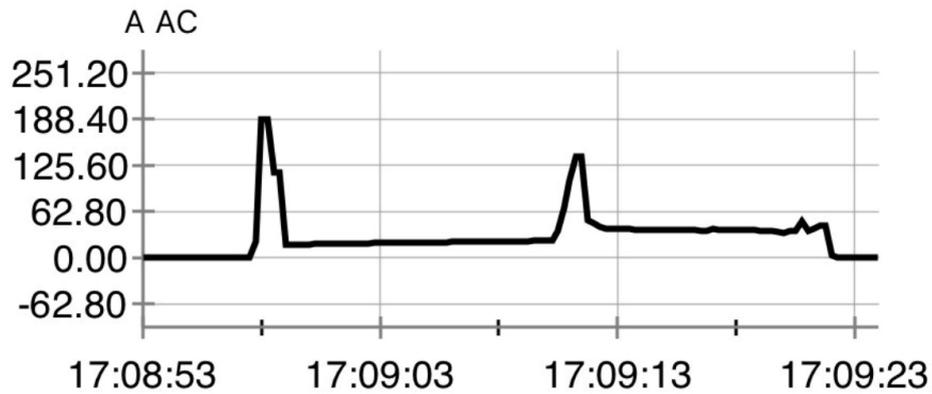
En esta sección se realizó la conexión del motor trifásico en vacío a la controladora que a su vez esta alimentada por las baterías de gel y se realizó varias simulaciones de arranque y frenado con el uso del pedal y freno electrónicos. En donde con el uso de una pinza amperimétrica FLUKE se obtuvo como resultado las siguientes graficas con diferentes situaciones para analizar el comportamiento de la corriente y voltaje tanto del motor como de las baterías.

Figure 52

Corriente de arranque del motor sin freno



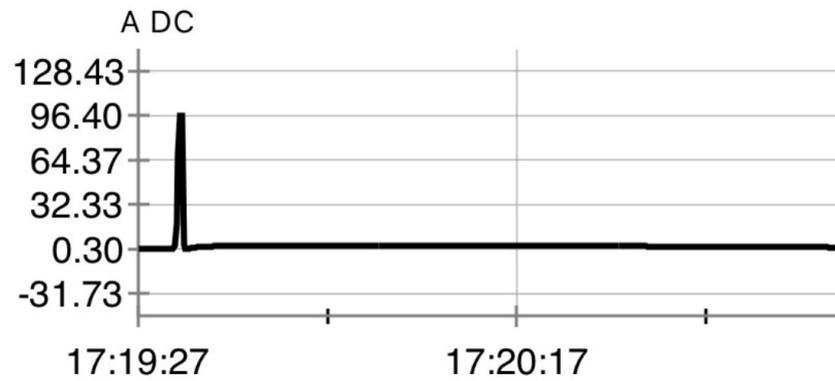
En la figura 52 se presenta la simulación del arranque y la aceleración del motor trifásico ENPOWER, donde inicialmente se observa un pico de corriente en el momento del arranque. Posteriormente, la corriente se mantiene constante mientras se lleva a cabo la aceleración del motor. Sin embargo, se aprecia un incremento en la corriente a pesar de no haber aceleración, lo cual está relacionado con el fenómeno de frenado regenerativo. Durante este proceso, las bobinas del motor generan una corriente inducida que provoca este aumento transitorio en la corriente. Finalmente, la corriente disminuye hasta llegar a cero, lo que indica la detención del motor.

*Figure 53**Corriente de arranque del motor y uso del freno*

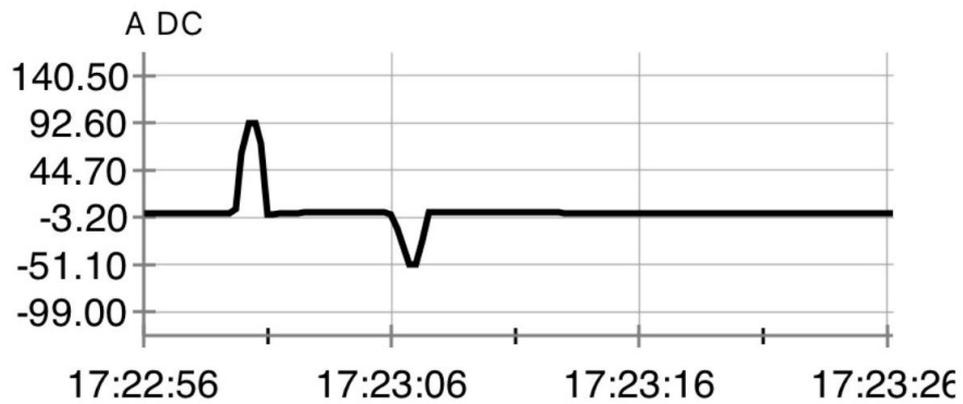
En la figura 53 se presenta la simulación del arranque y aceleración del motor, esta vez utilizando el freno electrónico disponible en la controladora. Se observan dos picos elevados de corriente, el primero corresponde a la aceleración del motor, mientras que los siguientes representan la aplicación del freno electrónico. Durante esta acción, se genera un incremento de corriente debido al frenado regenerativo, fenómeno físico en el que las bobinas del motor inducen una corriente adicional. Posteriormente, la corriente disminuye, indicando el cese de la acción de frenado.

Figure 54

Corriente de baterías en arranque sin freno

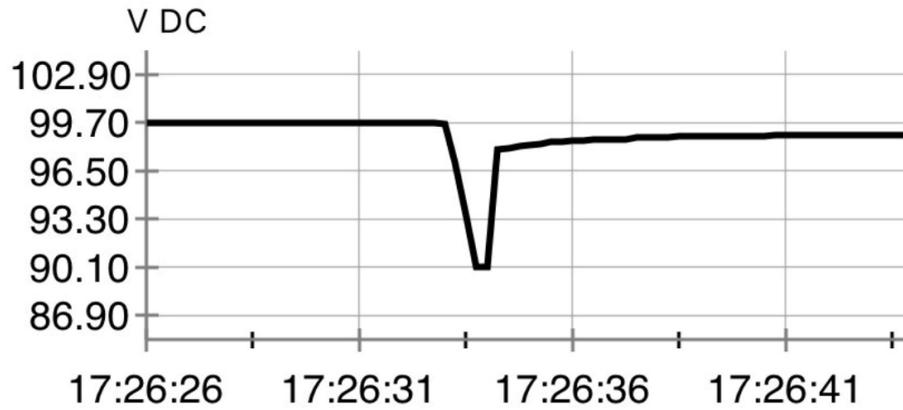


Se realizó la medición en las baterías, donde en la figura 54 se observó que, al momento de arrancar y acelerar el motor se obtiene un consumo de corriente de 96.40 A, debido al esfuerzo necesario para romper la inercia del motor. Posteriormente, una vez que se acelera y luego no se realiza una nueva aceleración, la corriente medida desciende a cero. Este comportamiento indica que, en ausencia de aceleración la controladora no demanda corriente de las baterías, ya que la eficiencia del diseño del sistema hace que la energía cinética almacenada en el rotor sea lo suficiente para mantener el giro en vacío sin requerir un aporte adicional desde las baterías.

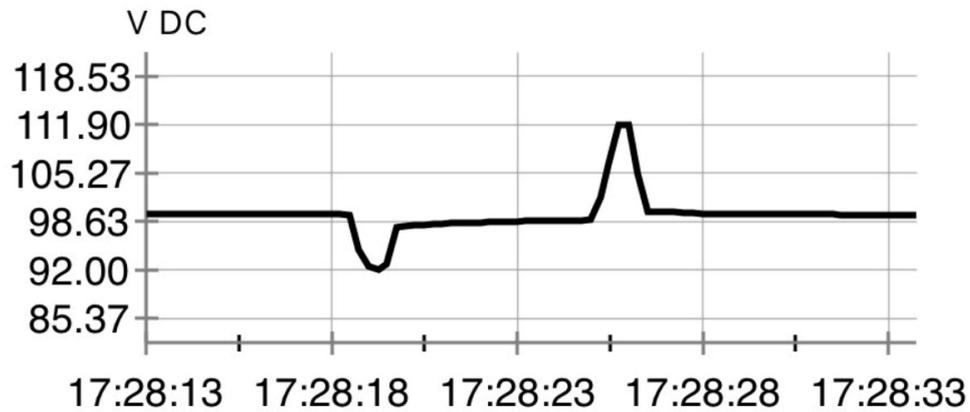
*Figure 55**Corriente de baterías con el uso de freno regenerativo*

Actualmente, el vehículo está equipado con baterías de gel, pero al ser reemplazadas por baterías de litio, se obtendría el mismo comportamiento ilustrado en la figura 55. En este análisis, se utilizó el frenado electrónico, aprovechando la capacidad de frenado regenerativo del controlador. La gráfica muestra que, al acelerar el motor, la corriente fluye en un sentido indicando el consumo desde las baterías.

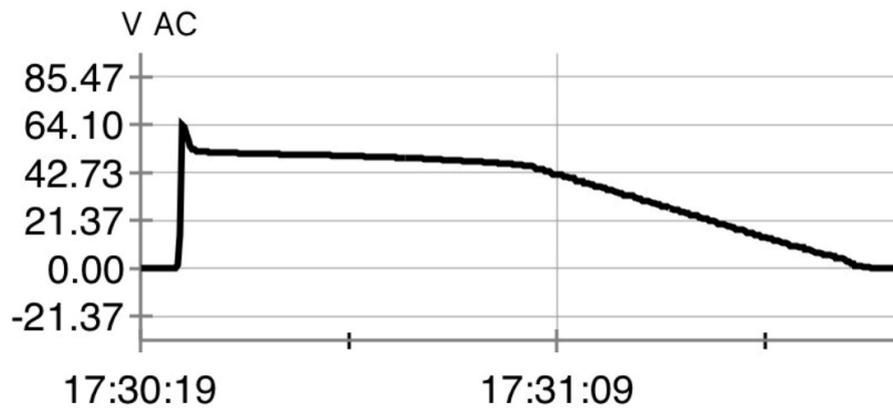
Posteriormente, al activar el frenado regenerativo, la corriente cambia de sentido, evidenciando que se inyecta energía hacia las baterías, permitiendo su recarga durante la desaceleración.

*Figure 56**Voltaje de baterías*

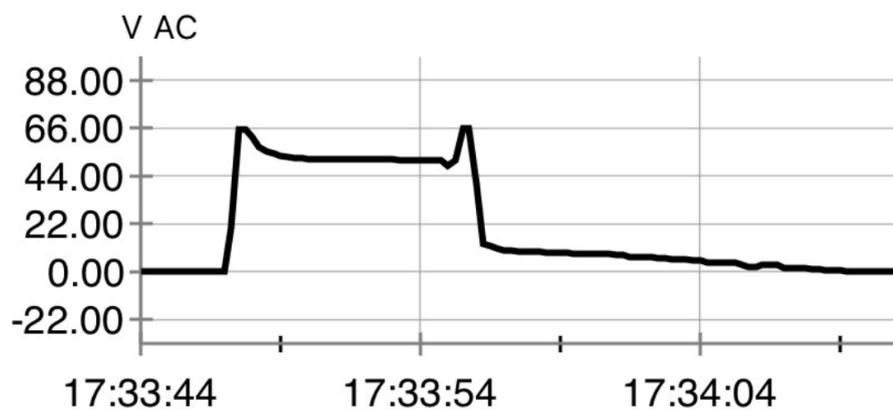
También se analizó el consumo de las baterías en dos escenarios. En el primero, se observa en la figura 56 el consumo durante la aceleración sin el uso del frenado electrónico, alcanzando un valor inicial de 99.70V, el cual luego se estabiliza alrededor de los 98V. Este comportamiento refleja el consumo energético durante la fase de aceleración, sin la intervención del sistema de regeneración, lo que resulta en una ligera caída en el voltaje de la batería. Posteriormente, el voltaje se mantiene relativamente constante mientras el motor sigue operando a una velocidad establecida.

*Figure 57**Voltaje de baterías con freno*

En este segundo caso, se analiza nuevamente el consumo de voltaje de las baterías, en la figura 57, pero con la diferencia de que, a diferencia del gráfico anterior, se observa un pico de voltaje. Este fenómeno ocurre al hacer uso del freno electrónico, y como se mencionó anteriormente, la controladora incorpora frenado regenerativo. Al aplicar el freno, se genera un aumento de voltaje que, al estar previamente estabilizado en 98V, sube a 111.90V, lo que resulta en un incremento de 13.9V. Este aumento se debe a la recuperación de energía durante el proceso de frenado, que es almacenada nuevamente en las baterías.

Figure 58*Voltaje de motor*

En la figura 58 se observa el comportamiento del voltaje AC del motor trifásico, el cual alcanza un voltaje pico de 64.10V. Posteriormente, este voltaje se estabiliza alrededor de los 60V. Sin embargo, al cesar la aceleración, el voltaje experimenta una caída lineal hasta llegar a 0V, reflejando la disminución de la energía suministrada al motor una vez que se detiene la aceleración.

Figure 59*Voltaje del motor con freno*

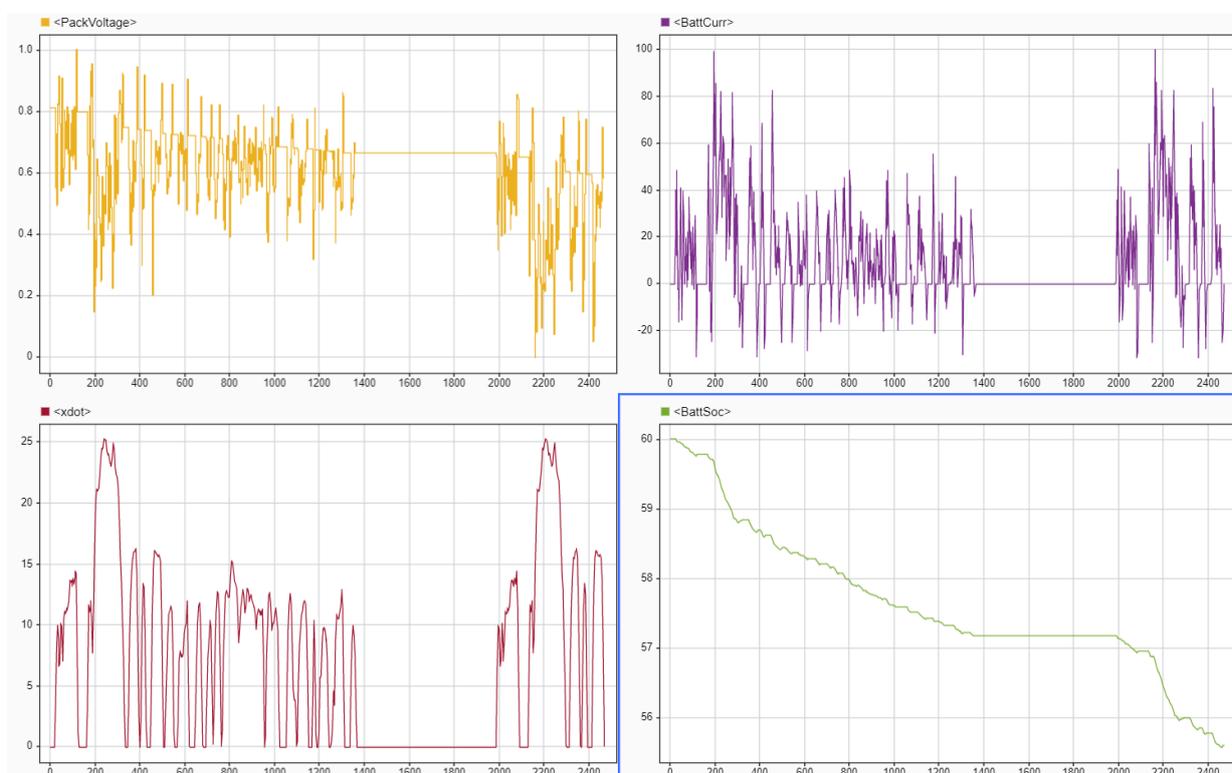
En este caso, se mide nuevamente el voltaje AC del motor, pero haciendo uso del freno electrónico. El comportamiento observado en la figura 59, muestra dos picos de voltaje:

el primero corresponde al momento en que se acelera el motor, mientras que el segundo ocurre durante la aplicación del freno. Contrario a lo esperado, en lugar de que el voltaje descienda rápidamente, se aprecia un aumento inicial en el voltaje, seguido de una disminución progresiva. Este fenómeno se debe al frenado regenerativo, donde la energía cinética del motor se convierte en energía eléctrica, lo que genera un incremento transitorio en el voltaje antes de que este se estabilice.

3.2. Simulación de VE

Figure 60

Gráfica de simulación en programa Matlab



En la anterior gráfica de la figura 60 se simuló el comportamiento de un VE mediante una APP de Matlab (Virtual Vehicle Composer), en la cual se utilizó el drive cycle

Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP), que contiene una combinación de conducción urbana, suburbana y en carretera.

La gráfica del voltaje de la batería (PackVoltage) muestra cambios notables a lo largo del ciclo de manejo WLTP. Estos cambios ocurren debido a las variaciones en la energía que el vehículo necesita, especialmente durante las aceleraciones y desaceleraciones. En las primeras etapas, el voltaje tiende a bajar un poco cuando la demanda de energía es alta, pero se mantiene más estable en momentos de menor consumo, como cuando el vehículo mantiene una velocidad constante o aprovecha la energía recuperada. Hacia el final del ciclo, el voltaje se estabiliza aún más, posiblemente porque el vehículo enfrenta menos exigencias o está llegando al final del recorrido. Este comportamiento es común en los vehículos eléctricos y muestra que el sistema de baterías responde bien a los cambios en el uso de energía.

La gráfica de la corriente de la batería (BattCurr) muestra subidas y bajadas significativas. Cuando la corriente es positiva, indica que la batería está entregando energía al motor, lo cual ocurre principalmente durante las aceleraciones. Por otro lado, cuando la corriente es negativa, significa que se está recuperando energía durante el frenado, momento durante el cual sucede el frenado regenerativo.

En la gráfica de velocidad del vehículo, se pueden identificar las diferentes condiciones del ciclo WLTP. Hay fases con velocidades bajas, típicas de la conducción en ciudad, seguidas de tramos con velocidades más altas, propios de carreteras. Estas variaciones en la velocidad impactan directamente en la demanda de energía de la batería, lo que se refleja en los cambios de corriente y voltaje. A lo largo del ciclo, el nivel de carga de la batería disminuye gradualmente, siendo más notorio el consumo en las fases de aceleración y alta velocidad, donde se requiere más energía. Aunque el frenado regenerativo ayuda a recuperar algo de energía, esto no es suficiente para compensar todo el consumo,

especialmente en los últimos tramos del ciclo, donde predominan las altas velocidades y las aceleraciones frecuentes.

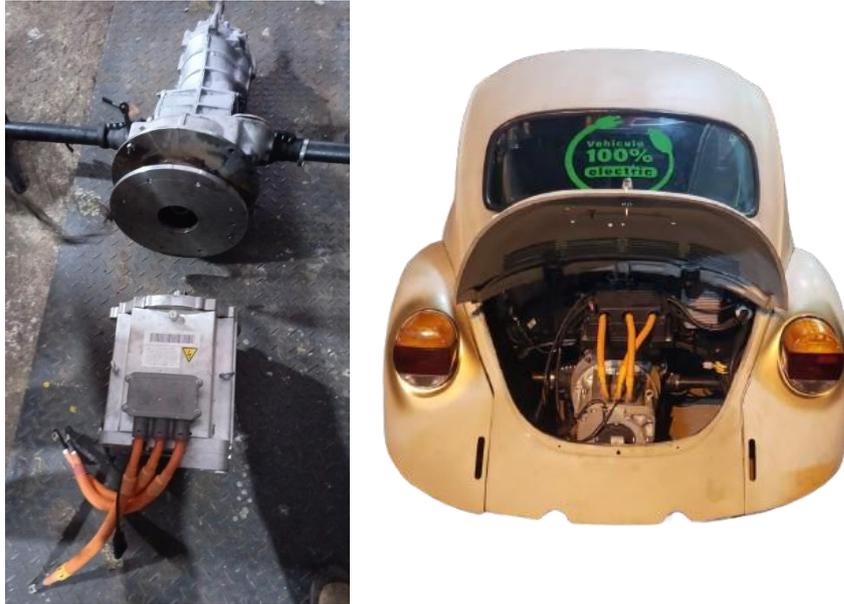
3.3. Análisis mecánico

Se diseñó un acople mecánico que se puede observar en la figura 61, a partir de un cilindro de acero 7210 torneado para la elaboración del acoplamiento con estriado interno, para la transmisión de la potencia y par generada por el motor eléctrico a la caja de cambios que soporta las 7000 RPM del motor. El cual no incluirá el disco de embrague, por lo que en todo momento de la conducción se mantendrá en una sola marcha seleccionada por el conductor y en el caso que se requiera aumentar de marcha es estrictamente necesario que el eje del motor no este girando; al ser un motor eléctrico el torque dado será el máximo en todo momento, no como su contraparte la del motor a combustión.

Figure 61

Acoplamiento del motor eléctrico a la caja de cambios





3.4. Monitoreo

Figure 62

Diseño de dashboard





Se diseñó un dashboard que se puede visualizar en la figura 62, con ayuda de un HMI marca Nextion de 7 pulgadas, un tamaño adecuado para visualizar los parámetros más importantes del vehículo. El sistema permite supervisar las siguientes variables:

- **Velocidad:** Indicando el desplazamiento del vehículo.
- **RPM del motor eléctrico:** Las revoluciones del motor al acelerar.
- **Voltaje y Corriente:** Incluyendo el registro de picos de corriente durante el arranque y la estabilización durante el régimen continuo.
- **Temperatura del motor eléctrico:** Supervisión térmica para evitar sobrecalentamientos.

- **Grados de inclinación y rodadura del vehículo:** Indispensable para la topografía del terreno.
- **Estado de carga de las baterías:** Representado mediante una barra de progreso visual y un valor numérico del porcentaje de carga disponible.

En la primera captura del HMI, se muestra el estado de arranque del vehículo en donde se aprecia un corriente pico que alcanza un valor de 83 A, esto se debe a que el rotor debe romper la inercia para girar.

En la segunda y tercera captura, se evidencia la estabilización de la corriente consumida, lo cual muestra un valor de corriente inferior que la corriente de arranque.

En la última captura, se muestra una disminución de las baterías debido al consumo energético acumulado durante el uso del vehículo. Este monitoreo permite evaluar la autonomía del sistema y facilita la planificación de recargas.

Figure 63

Análisis gráfico de los rpm recibidos de la controladora

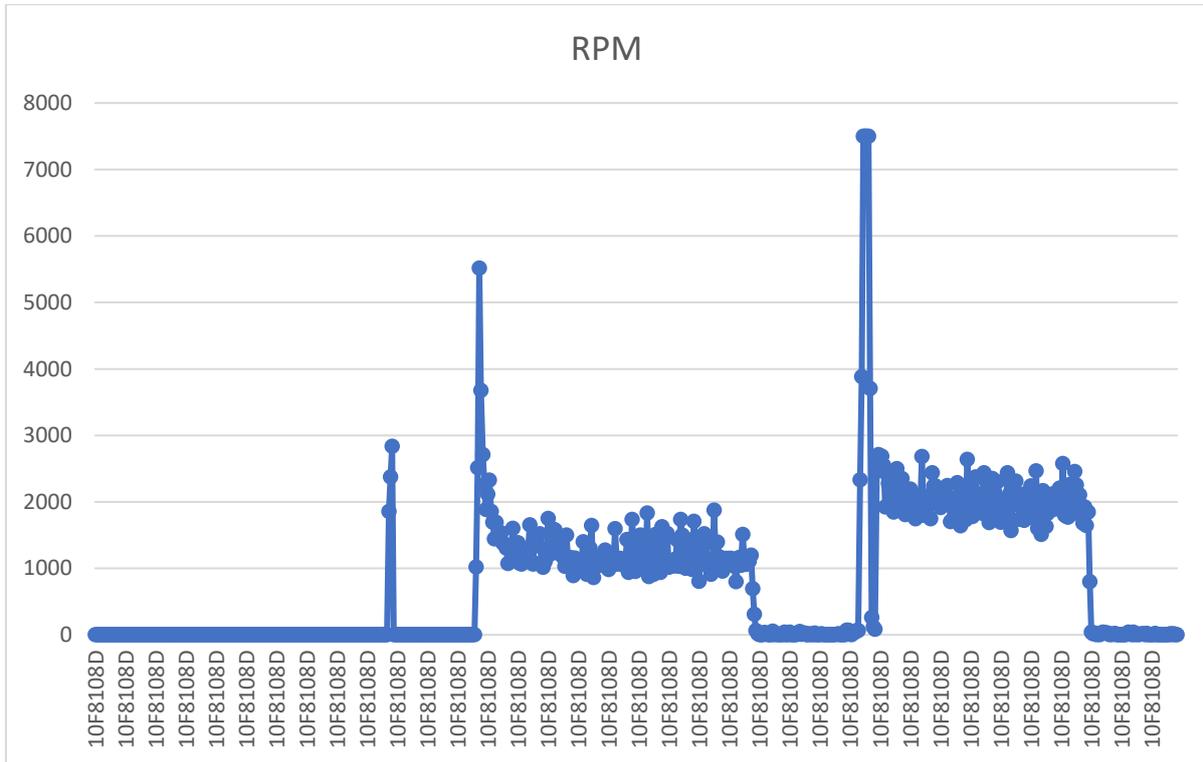


Figure 64

Mensajes recibidos de la controladora mediante la terminal de Arduino IDE

```

Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E8 3 3E 1 4C 1 65 1
Message received - ID: 10F8109A - Length: 8
Data: 6 D4 4 0 0 7 0 64
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E8 3 3A 1 50 1 65 1
Message received - ID: 10F8109A - Length: 8
Data: 6 EF 4 0 0 7 0 64
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E8 3 43 1 4F 1 65 1
Message received - ID: 10F8109A - Length: 8
Data: 6 F2 4 0 0 7 0 64
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E7 3 5A 1 4C 1 66 1
Message received - ID: 10F8109A - Length: 8
Data: 6 F5 4 0 0 7 0 64
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E8 3 47 1 4F 1 65 1
Message received - ID: 10F8109A - Length: 8
Data: 6 E9 4 0 0 7 0 64
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E7 3 3B 1 50 1 65 1
Message received - ID: 10F8109A - Length: 8
Data: 6 E9 4 0 0 7 0 64
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E8 3 27 1 4C 1 65 1
Message received - ID: 10F8109A - Length: 8
Data: 6 EF 4 0 0 7 0 64
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Data: E8 3 34 1 4F 1 65 1
Message received - ID: 10F8108D - Length: 8
Dat

```

Otra prueba que se realizó fue la de obtener los datos por medio del Arduino IDE como se observa en la figura 64 de la controladora a través del módulo MCP2515, pero con una tarjeta de desarrollo Arduino UNO, este cambio debido a que el módulo MCP2515 funciona con niveles de voltajes diferentes a la ESP32, pero similares al del Arduino UNO.

En estas pruebas se obtuvieron todos los datos que se observan en la figura 63 de la gráfica de rpm recibidos que envió la controladora y se los almacenaban en un archivo Excel, con la finalidad de analizar los cambios de cada byte de información para poder comprender la estructura del mensaje CAN, debido a que inicialmente no se contaba con información de la estructura del mensaje CAN. Luego de investigar, se encontró un manual indicando la

estructura del protocolo CAN de la controladora ENPOWER. Para lo cual se analizaron los bytes que corresponden a los rpm que monitorea la controladora del motor, pero debido a falta de tiempo no se logró concretar analizar todos los bytes.

3.5. Pruebas de funcionamiento

Al finalizar la instalación del kit, con el sistema de monitoreo y mantenimiento del vehículo que conforma del sistema de frenos, chasis, por último carrocería, se realizaron pruebas de conducción; en la figura 65 se observa al vehículo en conducción y en la figura 66 monitoreo del vehículo:

Figure 65

Pruebas de funcionamiento



Figure 66

Monitoreo del vehículo



En el apéndice A, en la sección de código de comunicación CAN BUS y un HMI, se obtuvo como resultado el seguimiento de las revoluciones del motor (rpm) proporcionadas por la controladora mediante dicha comunicación, utilizando como intermediario el módulo MCP2515, que permite enlazar el microcontrolador Arduino UNO con la controladora. Los resultados fueron favorables para la medición de las revoluciones del motor, ya que, tras diversas pruebas, los datos presentaban una concordancia con relación a la fuerza ejercida al pedal y las revoluciones que mostraban; indicando que el motor alcanzaba unos 3000 rpm. También, se realizó una prueba experimental para la medición de las baterías de gel, tomando como referencia una de las ocho unidades; y con el uso de un sensor se midió su voltaje para determinar el porcentaje de carga de la batería, interpolando dicho valor sobre las demás. Por último, se visualizó la velocidad del vehículo; pero, este presentaba un inconveniente en los valores, aumentaba conforme a las revoluciones, pero, a cierto punto, regresaba a 0 km/h antes de retomar el último valor de velocidad.

Figure 67

Sección frontal del capo abierto del vehículo



Figure 68

Sección lateral izquierdo del vehículo



Figure 69

Sección posterior de motor del vehículo



Figure 70

Sección frontal externa del vehículo



Figure 71

Sección interna frontal del vehículo



3.6 Análisis de Costos

Los costos del proyecto se dividen en dos partes fundamentales: mantenimiento y adecuación del vehículo y los costos asociados exclusivamente a la electroconversión. La primera categoría incluye todas las tareas necesarias para restaurar el automóvil debido al estado en el que se encontraba, como reparaciones estructurales, ajustes mecánicos y mejoras que aseguren un vehículo en condiciones óptimas para la conversión. Por otro lado, los costos de la electroconversión abarcan los componentes y procesos directamente relacionados con la implementación del sistema eléctrico, tales como el kit de conversión, baterías, sistema de gestión de energía (BMS), y mano de obra especializada para la integración eléctrica. Este desglose permite diferenciar claramente las inversiones necesarias para la restauración del vehículo de las destinadas a su transformación tecnológica.

3.6.1. Costos de mantenimiento y adecuación del vehículo.

Tabla 8

Tabla de costos de mantenimiento y adecuación del vehículo

Descripción	Costo [USD]
Limpieza de asientos y vehículo completo	\$55.00
Juego de 4 guardafangos, araña delantera, araña posterior, faros delanteros, faros posteriores, guías delanteras, cauchos de guardafangos, juego de cañerías de frenos, 2 tambores posteriores, 2 manubrios, 2 parachoques	\$990.00
Revestimiento de zapatas 8 unidades Volkswagen	\$29.16
Plato izquierdo posterior - Volkswagen	\$20.00
2 tapas posteriores amortiguación, 1 manguera flexible de freno delantero, 2 juegos resortes delanteros, 2 juegos resortes posteriores, 2 juegos de retenedores posteriores, 2 juegos rodamientos delanteros, 2 tambores delanteros	\$180.00
Mantenimiento mecánico externo de corona y ejes de carro Volkswagen	\$50.00
30 pernos de 1/2x5mm, 15 tuerca con anillo de 1/2"x5mm, 1 ángulo de 1", 1 platina de 1"	\$23.74
1 capo, juego de chapas capo posterior y delantero, cable capo, 2 retrovisores	\$200.00
Enderezada, soldadura, acople y montaje de partes y piezas	\$230.00
Reparación de túnel con latería nueva y doblada.	\$80.00

Mantenimiento de carrocería (sellado, enmasillado, aplicación de pintura y acabo.)	\$400.00
Pintura, masilla, diluyente, transparente, bate piedra, catalizador, cintas, fundas, lijas	\$289.99
2 cables de freno de mano, 1 palanca de freno de mano	\$56.00
1 cilindro maestro, 1 deposito, 1 trompo freno, 2 cañerías posteriores, 2 mangueras posterior, 1 T, 1 manguera liquido	\$86.00
Gastos totales	\$2,689.89

3.6.2. Costo de Electroconversión

Tabla 9

Tabla de costos de la electroconversión

Descripción	Costo [USD]
Kit ELÉCTRICO 15Kw	
Incluye:	
1.1 AC Controller MC3336 96-96V / A850 1	
1.2 Isolated DC-DC Converter 96-108/12-50A 1	
1.3 Charger CH4100 96-108V 25A 1	\$3,128.38
1.4 Electronic Accelerator 1	
1.5 Round Battery Discharge Indicator 1	
1.6 Motor AC 96 -108V 1	
1.7 VACCUM PUMP 12V (Brake Kit) 1	

1.8 Programación (Incluido)	
Acople de motor eléctrico a caja de cambios	\$400
Baterías de Gel de Ciclo Profundo 12V/100Ah (8 unidades)	\$2,440
Batería de plomo ácido 12V/100Ah	\$130
Costo Total	\$6,098.38

3.7. Comparación de consumo y gastos entre motor eléctrico y motor de combustión interna

Tabla 10

Tabla de precios de combustible y energía en Ecuador

Precio de galón de gasolina EXTRA en Ecuador [USD]	Precio de galón de gasolina SUPER en Ecuador [USD]	Precio de galón de DIÉSEL en Ecuador [USD]	Precio del kW/h en Ecuador [USD]
\$ 2.712	\$ 3.58	\$ 1.797	\$ 0.09

Tomando en cuenta los precios de los combustibles y el costo del kW/h en Ecuador, se estima el gasto para recorrer 100 km en condiciones promedio con un vehículo liviano según el tipo de energía utilizada. Un vehículo que utiliza gasolina EXTRA, con un consumo promedio de 10 km/l, requiere 2.64 galones, lo que representa un costo de \$7.16 al precio de \$2.712 por galón. Para gasolina SUPER, con el mismo rendimiento, el costo aumenta a \$9.45 debido a su precio de \$3.58 por galón. En el caso de un vehículo a diésel, con un rendimiento promedio de 15 km/l, se necesitan 1.76 galones, equivalentes a un gasto de \$3.16

considerando el precio de \$1.797 por galón. Por otro lado, un vehículo eléctrico, con un consumo promedio de 15 kWh/100 km, tendría un costo de tan solo \$1.35, dado el precio de \$0.09 por kWh.

Optar por un vehículo eléctrico no solo implica un ahorro considerable en el consumo de energía, sino también en los gastos de mantenimiento a largo plazo. A diferencia de los vehículos de combustión, que requieren mantenimiento cada 5.000 km, un vehículo adaptado con un kit eléctrico solo necesita revisiones cada 100.000 km. Esto es posible porque, al realizar la conversión, se eliminan labores como el cambio de aceite del motor, el mantenimiento de la caja de cambios, los filtros y otros accesorios. Por lo tanto, los vehículos eléctricos no solo ofrecen una mayor eficiencia energética, sino que también minimizan significativamente los costos operativos a lo largo del tiempo.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

La conversión del Volkswagen Beetle de motor de combustión interna a eléctrico, demuestra una solución viable y sostenible para el medio ambiente, al eliminar la propagación de CO₂ u otros contaminantes. La propuesta no solo aborda la problemática ambiental sino también que la propuesta representa un paso significativo de la implementación de tecnologías sostenibles en el ámbito automotriz del Ecuador. A lo largo del proyecto, se lograron resultados importantes que cumplen con los objetivos establecidos.

En primer lugar, el proceso de dimensionamiento del kit se realizó de manera óptima, cumpliendo con todos los parámetros requeridos para garantizar su funcionalidad gracias a los análisis previamente estudiados, tanto de rendimiento del motor como de mercado ya que al contar con una amplia variedad de empresas dedicadas al electro conversión, encontrar un kit apropiado para el vehículo Volkswagen Beetle fue todo un reto. Teniendo éxito en esta etapa crucial, la implementación se logró llevar a cabo en su totalidad.

El desarrollo del sistema de monitoreo basado en la controladora MC 3336, responsable de controlar los parámetros del vehículo, y el microcontrolador Arduino UNO destaca un avance significativo en términos de monitoreo en tiempo real. Este sistema permite al conductor monitorear las variables importantes, como lo son velocidad, rpm, voltaje, corriente, temperatura y demás.

Sin embargo, el proyecto también enfrentó limitaciones que deben ser consideradas. Una de las principales restricciones fue la decisión de tomar baterías de plomo-ácido de gel, que no cuentan con las mismas características y ventajas frente a unas baterías de ion-litio o litio-fosfato de hierro. Si bien esta elección permitió cumplir con el plazo establecido, afectó

negativamente aspectos clave como el peso total del vehículo y su eficiencia energética. También impactó el monitoreo de las baterías, ya que las baterías de ion-litio o litio-fosfato de hierro cuentan con un BMS, que permite monitorear el estado de las baterías, como su voltaje, corriente y carga. Las de ácido de gel no contaron con este dispositivo para el control, y es por ello por lo que también se presentaron contratiempos a la hora de implementar la optimización de las baterías.

En términos técnicos, los cálculos y simulaciones realizados para determinar las características óptimas del motor, el controlador y las baterías demuestran el nivel de detalle aplicado en el diseño del sistema de electro conversión. Desde el análisis de las fuerzas que actúan sobre él, hasta la selección del kit de conversión más adecuados, cada decisión estuvo respaldada por datos teóricos y simulaciones prácticas. En el proceso de implementación, se logró adaptar el chasis y la carrocería para soportar nuevos componentes eléctricos. Esto incluye modificaciones, fabricación de bases para las baterías y para el motor, incluye el acople que une los ejes del motor y caja de cambios.

Las pruebas realizadas en vacío confirmaron el correcto funcionamiento del sistema eléctrico, las cuales posteriormente se efectuaron con carga es decir implementado en el vehículo con pasajeros en condiciones reales.

Finalmente, este proyecto no solo cumple con los objetivos planteados en cuanto al diseño y dimensionamiento del sistema, sino que también sienta las bases para futuros desarrollos en el campo de la electrificación vehicular. Logrando completar la implementación, y a su vez realizando diversas pruebas adquiriendo avances en la integración del sistema de monitoreo HMI, que representan un aporte significativo para el control detallado del rendimiento del vehículo y un paso importante hacia el desarrollo del sector de electrificación vehicular en Ecuador.

4.1.2 Recomendaciones

- La importancia de las baterías de litio (LiFePO₄), tener en consideración el gasto que implica tener el vehículo con estas baterías. A pesar de que por problemas de logísticas y capital se optaron por baterías de gel, no se descarta la idea para un futuro, se implemente el uso de las baterías de litio.
- Fortalecer el monitoreo de la HMI, mejorar el monitoreo y la GUI de HMI para ser más amigable con el conductor e implementar nuevas funcionalidades.

Referencias

- Alvarado, E., & Lucas, G. (2020). Diseño conceptual para el reemplazo de motores de combustión interna a eléctrico en vehículos livianos. *Previo la obtención del Título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización Industrial*. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador.
- Espressif. (s.f.). *ESPRESSIF*. Obtenido de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- Hernández, A. (2020). Diseño de la conversión a eléctrico de un vehículo de combustión interna. *TRABAJO FIN DE GRADO*. Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España.
- Ingeniería Wordpress. (Junio de 2018). *Máquinas Eléctricas*. Obtenido de <https://maquinaselectricasblog.wordpress.com/motor-de-induccion/>
- Microchip. (s.f.). *MICROCHIP*. Obtenido de <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP2515-Stand-Alone-CAN-Controller-with-SPI-20001801J.pdf>
- National Instruments Corporation. (28 de Noviembre de 2024). *NI*. Obtenido de <https://www.ni.com/es/shop/seamlessly-connect-to-third-party-devices-and-supervisory-system/controller-area-network--can--overview.html#:~:text=El%20protocolo%20CAN%20fue%20desarrollado,de%20cableado%20punto%20a%20punto>
- Nextion. (s.f.). *NEXTION*. Obtenido de <https://nextion.tech/>
- Rohde & Schwarz. (s.f.). *ROHDE & SCHWARZ*. Obtenido de https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/essentials-test-equipment/digital-oscilloscopes/que-es-uart_254524.html

- Torres, C. (2022). DISEÑO DEL PROTOCOLO PARA LA CONVERSION DE VEHICULO CON MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A MOTOR ELÉCTRICO. *Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electromecánico*. Universidad Antonio Nariño, Tunja, Colombia.
- Yanez, M., & Troya, D. (2022). Instalación de Motor Eléctrico Automotriz. *Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero en Automotriz*. Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), Quito, Ecuador.

Apéndice A

- **Código de variación par aerodinámico en función de las revoluciones en MATLAB**

```

% Parámetros del vehículo

m = 874;          % Masa del vehículo (kg)

m_t = m + 4*70;  % Masa total del vehículo (kg)

Cd = 0.46;       % Coeficiente de arrastre aerodinámico

A = 2;          % Área frontal del vehículo (m^2)

rho = 1.225;     % Densidad del aire (kg/m^3)

r = 0.3;        % Radio de la rueda (m)

G_reductora = 4.37; % Reducción total (ajustada)

g = 9.81;       % Aceleración gravitacional (m/s^2)

% Velocidad angular del motor (en RPM)

RPM_motor = linspace(0, 8000, 1000); % Intervalo de RPM

w_motor = RPM_motor * 2 * pi / 60; % Convertir a rad/s

% Velocidad del vehículo (m/s)

v_vehiculo = w_motor / G_reductora * r;

% Fuerza aerodinámica (arrastre)

F_aero = 0.5 * rho * Cd * A .* v_vehiculo.^2;

```

```

% Par resistente debido a la fuerza aerodinámica

T_aero = F_aero .* r / G_reductora;

% Gráfica

figure;

plot(RPM_motor, T_aero, 'b', 'LineWidth', 3);

grid on;

xlabel('w_{motor} (rpm)');

ylabel('Par resistencia aerodinámica [Nm]');

title('Variación par aerodinámico en función de la velocidad de giro del motor');

% Cuadro de texto

text_str = sprintf('Teniendo en cuenta:\n- Masa = %d + 2 * 70 kg\n- Pendiente = 0°\n-
Reducción total = %.2f', m, G_reductora);

annotation('textbox', [0.15, 0.55, 0.3, 0.3], 'String', text_str, 'FitBoxToText', 'on',
'BackgroundColor', 'white', 'EdgeColor', 'blue');

```

- **Código de gráfica par resistente en función de la pendiente**

```

% Parámetros del vehículo

m = 800;      % Masa del vehículo (kg)

Cd = 0.46;   % Coeficiente de arrastre aerodinámico

A = 2.3;     % Área frontal del vehículo (m^2)

rho = 1.225; % Densidad del aire (kg/m^3)

```

```

r = 0.3;          % Radio de la rueda (m)

G_reductora = 7.21; % Reducción total (ajustada)

g = 9.81;        % Aceleración gravitacional (m/s^2)

% Velocidad del vehículo (m/s)

v_vehiculo = linspace(0, 100, 10);

% Fuerza aerodinámica (arrastre)

F_aero = 0.5 * rho * Cd * A * v_vehiculo.^2;

% Par resistente debido a la fuerza aerodinámica

T_aero = F_aero * r / G_reductora;

% Gráfica

figure;

plot(v_vehiculo, T_aero, 'b', 'LineWidth', 3);

grid on;

xlabel('Velocidad Km/h');

ylabel('Par resistencia aerodinámica [Nm]');

title('Variación par aerodinámico en función de la velocidad del vehiculo');

% Cuadro de texto

text_str = sprintf('Teniendo en cuenta:\n- Masa = %d + 2 * 80 kg\n- Pendiente = 0°\n-
Reducción total = %.2f', m, G_reductora);

```

```
annotation('textbox', [0.15, 0.55, 0.3, 0.3], 'String', text_str, 'FitBoxToText', 'on',
'BackgroundColor', 'white', 'EdgeColor', 'blue');
```

- **Código general de obtención de datos desde una controladora con comunicación CAN BUS y el uso de un módulo de conversión a serial para la muestra de datos a través de un HMI**

```
#include <CAN.h>

#include <Nextion.h>

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial nextionSerial(2, 3); // RX, TX

const int sensorPin6 = A0;

const float factorEscalado = 5.0 * 5.0 / 1023; // Factor de conversión basado en ADC
(10 bits) y divisor de voltaje

const int analogMax = 1023;

const int barNumMax = 100;

const int voltajeMax = 13000;

const float DIAMETRO_RUEDA = 0.3;

const float REDUCCION_FINAL = 4.37;

const float RELACION_MARCHA = 1.32;

const float relacionTotal = REDUCCION_FINAL * RELACION_MARCHA;

// Objetos Nextion

NexGauge gauge1 = NexGauge(0, 10, "z1");
```

```
NexGauge gauge2 = NexGauge(0, 2, "z0");

NexProgressBar bar1 = NexProgressBar(0, 9, "j1");
NexProgressBar bar2 = NexProgressBar(0, 7, "j0");

NexNumber number1 = NexNumber(0, 3, "n0");
NexNumber number2 = NexNumber(0, 4, "n1");
NexNumber number3 = NexNumber(0, 8, "n4");

int rpm = 0;

void setup() {

  nextionSerial.begin(9600);

  nexInit();

  pinMode(sensorPin6, INPUT);

  if (!CAN.begin(500E3)) {

    while (1);

  }

}

void loop() {

  // Leer voltaje de batería

  int sensor6Value = analogRead(sensorPin6);

  float voltajeBateria = sensor6Value * factorEscalado; // Convertir a voltaje real

  // Calcular porcentaje (clamp para evitar valores fuera de rango)

  int porcentajeBateria = (voltajeBateria - 11) * 100 / (13 - 11);

  if (porcentajeBateria < 0) porcentajeBateria = 0;
```

```
if (porcentajeBateria > 100) porcentajeBateria = 100;

// Obtener RPM desde CAN

if (CAN.parsePacket()) {

    int dlc = CAN.packetDlc();

    uint8_t data[8] = {0};

    for (int i = 0; i < dlc; i++) {

        data[i] = CAN.read();

    }

    if (dlc >= 4) {

        rpm = (data[3] << 8) | data[2];

        rpm *= 7;

        rpm = min(rpm, 7500);

    }

}

// Actualizar Nextion

bar2.setValue(porcentajeBateria);

number3.setValue(porcentajeBateria);

gauge2.setValue(rpm*2);

gauge1.setValue((rpm * 1.25 * 3.1416 * DIAMETRO_RUEDA * 3.6) / (60 *

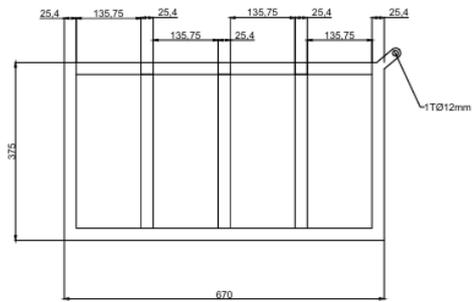
relacionTotal));

delay(50); // Reemplazar con millis() si es necesario
```

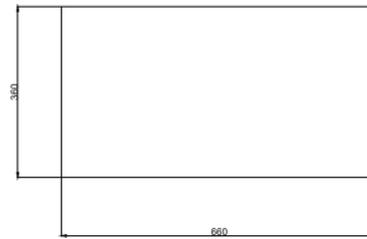
}

Apéndice B

VISTA EN PLANTA:
SOPORTE
DELANTERO CARRO



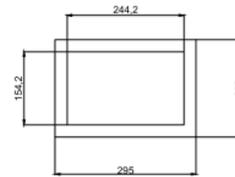
VISTA EN PLANTA: TAPA
PARA SOPORTE
DELANTERO



VISTA ISOMÉTRICA: PLATINA DOBLADA Y
SOLDADA DE PROTECCION PARA SOPORTE

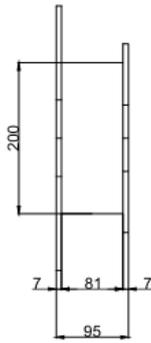


VISTA EN PLANTA:
SOPORTE TRASERO

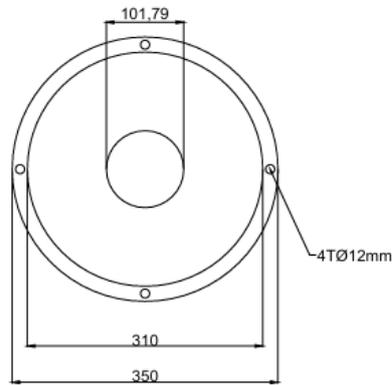


TODAS LAS MEDIDAS
PRESENTADAS ESTÁN
EN MILÍMETROS [mm]

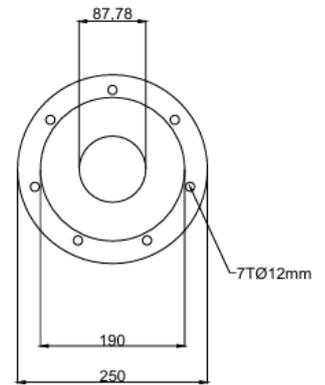
VISTA LATERAL:
BRIDAS



VISTA FRONTAL:
CAJA DE CAMBIOS

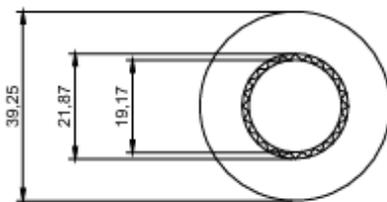


VISTA FRONTAL:
MOTOR

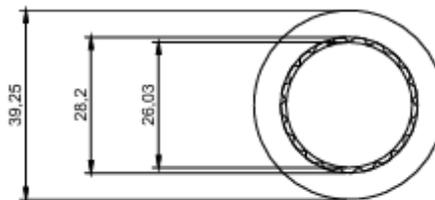


TODAS LAS MEDIDAS
PRESENTADAS ESTÁN
EN MILÍMETROS [mm]

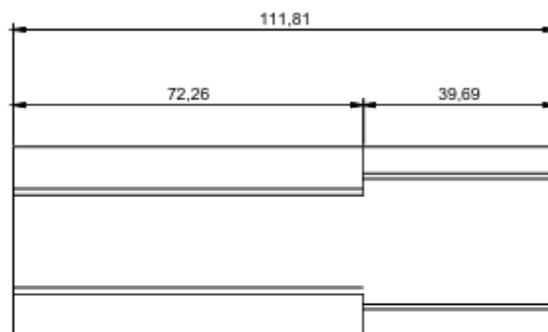
VISTA FRONTAL:
ACOPLE PEQUEÑO



VISTA FRONTAL:
ACOPLE GRANDE



VISTA LATERAL:
ACOPLE



ACOPLE PEQUEÑO

ACOPLE GRANDE

TODAS LAS MEDIDAS
PRESENTADAS ESTÁN EN
MILÍMETROS [mm]

Apéndice C

Montaje de motor con acople a la caja de cambios



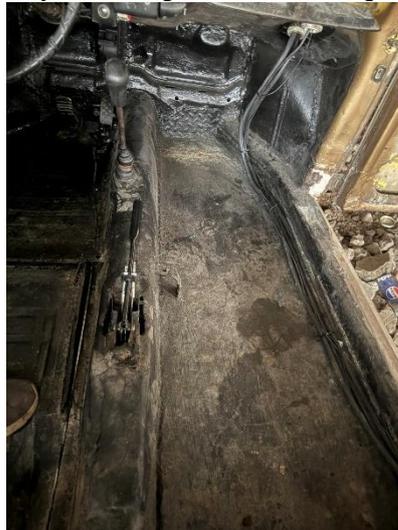
Medidor de carga de baterías



Switch de encendido del vehículo y pulsador de freno electrónico



Recorrido de cables de fuerza y control por el lateral izquierdo



Batería 12V para periféricos del vehículo



Sección trasera interna del vehículo



Disyuntor de protección para 96Vdc



Toma tipo clavija para alimentación de baterías a 110 - 220 Vac



Sección delantera del vehículo con set de 4 baterías y modulo del cargador



Sección trasera exterior del vehículo con motor e inversor DC-DC



Toma macho para carga de baterías 110 - 220 Vac

