

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño conceptual para el reemplazo de motores de combustión interna
a eléctrico en vehículos livianos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización Industrial

Presentado por:

Edison Jair Alvarado Saraguay

George Raúl Lucas Loo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

A mis padres quienes han sido soporte y guía durante mi vida, a mis familiares y amigos que han colaborado para mi formación, a quienes nos han dejado en el camino.

George Lucas

A toda mi familia que me apoyo durante mi formación académica, profesores que me brindaron el conocimiento necesario y la guía para poder desenvolverme en el futuro.

Edison Alvarado

AGRADECIMIENTOS

A todos quienes de una u otra manera están involucrados para la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Dennys Cortez por su disponibilidad y colaboración durante este proceso.

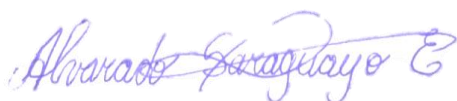
George Lucas

A mis padres por apoyarme en las decisiones que he tomado, a mis hermanos por preocuparse de mi en todo momento y darme apoyo emocional cuando lo he necesitado, y sobre todo a mis profesores que durante toda mi formación lograron motivarme por aprender más cada día

Edison Alvarado

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Edison Jair Alvarado Saraguayo, George Raúl Lucas Loor* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Edison Alvarado



George Lucas

EVALUADORES

M.Sc. Dennys Cortez Álvarez

PROFESOR DE LA MATERIA

Ph.D. Cesar Martín Moreno

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El diseño realizado en el presente proyecto busca el cambio del sistema propulsor de los vehículos con motores de combustión interna por un sistema eléctrico sin tener que incurrir en la compra de un vehículo nuevo. Es debido a poca eficiencia de los motores de combustión interna y a la contaminación que generan, que el cambio por un sistema eléctrico de propulsión es necesario, principalmente en las urbes donde existen gran cantidad de vehículos.

Gracias al estudio realizado, se ha podido diseñar un kit adaptable a la gran mayoría de vehículos livianos mediante el cálculo de potencia requerida y características de diseño acordes al mercado existente, como autonomía, sistema de baterías y de carga, tipo de motor eléctrico y valores de velocidad los cuales permiten una selección de elementos cuyo valor es amortizado por la reducción en el precio que conlleva la carga de baterías el cual es menor a la recarga de combustibles, ya sean estos gasolina o Diesel.

Finalmente se determinó que el cambio a un sistema eléctrico de propulsión tiene una eficiencia mayor que la propulsión mediante combustión interna, además existe una reducción significativa de emisión de gases nocivos al medio ambiente, así como también una reducción de costos de transporte y de mantenimiento.

Palabras Clave: Vehículo eléctrico, ecofriendly, reemplazo de motor, MSIP.

ABSTRACT

The design for this Project seeks to change the propulsion system of internal combustion vehicles for an electrical system without having to incur the purchase of a new vehicle. It is due to the low efficiency and the pollution emitted by internal combustion engines, that the change to an electric propulsion system is necessary, mainly in cities with many vehicles.

By the studied carried out, it has been possible to design a kit adaptable to most lightweight vehicles by calculating the required power and design characteristics according to the existing market, such as autonomy, battery and charging system, type of electric motor and values of speed which allow a selection of elements whose value is amortized by the reduction in price of the battery charge, which is less than the recharge of fuels, be it gasoline or Diesel.

Finally, it was determined that the change to an electric propulsion system has a higher efficiency than propulsion through internal combustion, in addition there is a significant reduction in the emission of harmful gases to the environment, as well as a reduction in transportation and maintenance costs.

Keywords: Electric vehicle, ecofriendly, motor replacement, PMSM.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	5
RESUMEN	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
INDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS	XI
CAPÍTULO 1	13
1. Introducción	13
1.1 Descripción del problema	14
1.2 Justificación del problema	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo General	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	16
1.4 Marco teórico.....	17
1.4.1 Baterías	17
1.4.1.1 Efecto memoria	17
1.4.1.2 Energía específica.....	18
1.4.1.3 Ciclos de vida.....	18
1.4.1.4 Duración.....	18
1.4.1.5 Comportamiento frente a bajas temperaturas	18
1.4.1.6 Tipos de baterías	18
1.4.2 Motor eléctrico	20

1.4.3	Motor Síncrono de Imanes Permanentes (MSIP)	21
1.4.4	Frenado Regenerativo	21
1.4.5	Controlador	22
1.4.6	Cargador	23
1.4.7	Transformador	23
1.4.8	Inversor	24
1.4.9	Convertidor DC – DC	24
CAPÍTULO 2		26
2.	Metodología	26
2.1	Consideraciones para el diseño dinámico.....	26
2.2	Cálculo y dimensionamientos de elementos del diseño	28
2.3	Selección de equipo constitutivo del kit de cambio.	36
2.3.1	Motor Síncrono de imán permanente	36
2.3.2	Baterías.	37
2.3.3	Controlador y acelerador.....	38
2.3.4	Convertidor DC – DC	38
2.3.5	Inversor	38
2.3.6	Gearbox	39
2.3.7	Ejes de accionamiento	39
2.3.8	Cargador	39
2.3.9	Medidores	40
CAPÍTULO 3		41
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	41
3.1	Autonomía	41
3.1.1	Autonomía en función de la cantidad de pasajeros.	41
3.1.2	Autonomía en función de la cantidad de pasajeros.	43

3.2	Potencia.	44
3.2.1	Potencia en función del número de pasajeros.....	44
3.2.2	Potencia en función de la masa.	46
3.2.3	Potencia en función de la velocidad en plano horizontal.	47
3.2.4	Potencia en función de la velocidad en plano inclinado.....	48
3.3	KIT DE CONVERSIÓN.....	49
3.4	Costos.....	52
3.5	Comparativa con vehículos de combustión.....	53
CAPÍTULO 4		56
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	56
	Conclusiones.....	56
	Recomendaciones.....	58
BIBLIOGRAFÍA		59
APÉNDICES.....		61

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CNEL	Corporación Nacional de Electricidad
MSIP	Motor Síncrono de Imanes Permanentes
DC	Corriente Directa
AC	Corriente Alterna
PWM	Modulación de ancho de pulso
RPM	Revoluciones por minuto

SIMBOLOGÍA

kg	Kilogramo
m/s	Metros sobre segundo
s	Segundo
m	Metro
V	Voltios
A	Amperios
W	Vatios
Ah	Amperios hora
Db	Decibelios

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de pack de baterías	17
Figura 1.2 Ilustración segmentada de MSIP	21
Figura 1.3 Controlador para sistemas eléctricos	22
Figura 1.4 Cargador de baterías Li-Po.....	23
Figura 1.5 Inversor eléctrico con protección	24
Figura 1.6 Convertidor DC-DC Chopper	25
Figura 2.1 Dimensiones de vehículo Chevrolet SPARK para cambio de sistema.	28
Figura 2.2 Opción 1 para distribución del banco de baterías	35
Figura 2.3 Opción 2 para distribución del banco de baterías	35
Figura 3.1 Autonomía vs Número de pasajeros	42
Figura 3.2 Peso de celdas vs Autonomía	43
Figura 3.3 Potencia del motor vs Número de pasajeros	45
Figura 3.4 Potencia del motor vs Masa del vehículo.....	46
Figura 3.5 Potencia del motor vs velocidad en plano horizontal.....	47
Figura 3.6 Potencia del motor vs Número de pasajeros	48
Figura 3.7 Esquemático de los elementos del KIT de conversión.....	49
Figura 3.8: Ventas mensuales de vehículos eléctricos [AEADE]	51
Figura A.1 Sistema de alimentación para el diseño de vehículo eléctrico	61
Figura A.2 Subsistema de control de convertidores DC-DC y controlador	62
Figura A.3 Subsistema de inversor	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Características de batería Plomo-Acido (PB-Acido)	19
Tabla 1.2: Características de batería Níquel – Cadmio.....	19
Tabla 1.3: Características de batería Níquel – Hidruro metálico	19
Tabla 1.4: Características de batería ION - Litio	20
Tabla 1.5: Características de batería Polímero de Litio	20
Tabla 2.1 Masas individuales del vehículo.....	26
Tabla 2.2 Características del diseño de vehículo eléctrico.....	29
Tabla 2.3 Características de baterías de Litio modelo 18650	32
Tabla 2.4 Características del MSIP seleccionado	36
Tabla 2.5 Características del banco de baterías seleccionado	37
Tabla 2.6 Características del controlador seleccionado	38
Tabla 2.7 Características del convertidor DC-DC seleccionado.....	38
Tabla 2.8 Características del Inversor seleccionado.....	38
Tabla 2.9 Características del Gearbox seleccionado	39
Tabla 2.10 Características de los ejes de accionamiento seleccionados	39
Tabla 2.11 Características del cargador de baterías seleccionados	39
Tabla 2.12 Características de medidores seleccionados	40
Tabla 3.1 Valores de autonomía en función del número de pasajeros.....	43
Tabla 3.2 Valores de potencia desarrollada en función del número de pasajeros.....	45
Tabla 3.3 Modos y tiempos de carga para el sistema de baterías.	50
Tabla 3.4 Tabla de costos de elementos del KIT.	52
Tabla 3.5 Valores por unidades de consumo de vehículos	53
Tabla 3.6 Gasto energético y material para recorrer 100 km	53

Tabla 3.7 Costos de consumo para recorrer 100 km.	54
Tabla 3.8 Costos de consumo por cada kilómetro recorrido.	54

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1. Plano eléctrico del kit de conversión	64
PLANO 2. Esquemático del diseño de conversión.....	65

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Los vehículos livianos de uso cotidiano para transporte son fabricados basándose en el diseño estándar de la industria automotriz, es decir motores de combustión interna, pero con el avance de la tecnología ha surgido una opción que pretende reemplazar el diseño establecido, ofreciendo mayores ventajas como, eficiencia energética, autonomía, eliminación de gases contaminantes, entre otros. No obstante, las grandes características que presentan los vehículos eléctricos son opacadas debido al costo elevado de adquisición; igualmente en el mercado Nacional la venta de estos vehículos se encuentra en crecimiento según cifras de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador entre el 2018 y 2019 se han adquirido 253 unidades de este tipo de vehículo en comparación a las 132.105 unidades de vehículos de combustión Interna [1].

El presente documento ofrece una alternativa para acceder a los vehículos eléctricos, la cual consiste en el diseño conceptual para reemplazar el motor de combustión interna por un motor eléctrico, donde se establecen las características de los componentes que conforman la estructura del diseño, una de las principales ventajas que se obtiene al considerar esta alternativa es el costo de inversión será menor en comparación a la compra del vehículo eléctrico, debido a los elementos que son extraídos de la estructura inicial son vendidos.

1.1 Descripción del problema

Los vehículos de transporte convencionales con motor de combustión interna son responsables de hasta el 70% de la totalidad de emisiones de CO₂ a la atmósfera, las cuales junto a los óxidos nitrosos son los principales causantes de los daños a la capa de ozono año tras año.

El uso de combustibles fósiles refinados empleados por vehículos con motores de combustión interna son causantes directos del daño provocado debido a la ineficiencia de estos, ya que, por su sistema de motor, desperdician hasta el 80% de la energía en la disipación de calor de todos sus elementos mecánicos, principalmente el motor, por lo que es una tecnología poco práctica para los estándares actuales

Además, todo el sistema mecánico de un automóvil conlleva mantenimientos rutinarios, así como al tener presentes más partes que un sistema eléctrico, implica un gasto extra a simplemente al consumo de combustible. El cambio de vehículos que utilizan combustibles fósiles refinados como gasolina o Diesel, por vehículos eléctricos representa un alto costo de inversión inicial y debido a la gran cantidad de vehículos actualmente en circulación el recambio total a vehículos eléctricos nuevos llevaría varios años.

1.2 Justificación del problema

El cambio del sistema de motores de combustión interna por un sistema de motor eléctrico representa una mejora a nivel de eficiencia energética del vehículo, ya que al depender de recargas de baterías eléctricas en lugar del consumo de combustibles fósiles se tiene un mejor control en el proceso de propulsión al evitar el calentamiento excesivo que conlleva la quema de gasolina o Diesel durante la operación del motor.

Los precios que conllevan movilizarse en un vehículo con motor de combustión interna tienden a ser superior a un vehículo eléctrico, esto debido al relativamente bajo costo del Kilovatio hora en el Ecuador, además al cambiar el medio que utilizar el vehículo para moverse es posible una reducción o eliminación total de los subsidios al combustible.

Desde el punto de vista ambiental se elimina las emisiones contaminantes directas generadas por el transporte en el automóvil, así como también la reducción en contaminación sonora; además, el cambio propuesto tiene como objetivo la reducción de la inversión al tratarse de la modificación del sistema interno del vehículo y no de la adquisición un uno nuevo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar procedimiento para el reemplazo de motor de combustión interna de combustible fósil por motor eléctrico en vehículos livianos mediante la adaptación del sistema de alimentación y control para el motor eléctrico.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar un modelo conceptual de la adaptación del vehículo liviano con motor eléctrico.
2. Determinar los valores de potencia para los elementos del diseño
3. Encontrar las relaciones óptimas entre eficiencia y precio.
4. Elaborar planos eléctricos del sistema de alimentación del motor.
5. Elaborar simulaciones del diseño por medio de Sympower system.
6. Realizar de tablas comparativas entre motor de combustión y motor eléctrico.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Baterías

Las baterías son uno de los elementos primordiales en el diseño de los vehículos eléctricos, su función radica en el almacenamiento y distribución de energía; pero existen otros factores que se deben considerar al seleccionar un tipo de batería, a continuación, se expondrá un resumen de las principales características que se tomaron en cuenta.



Figura 1.1 Sistema de pack de baterías

1.4.1.1 Efecto memoria

Se conoce al efecto memoria como el fenómeno que ocasiona la tendencia de las baterías a “adaptarse” a una distribución de energía inferior de la capacidad que pueden ofrecer, es decir no se produce una descarga total de la misma, como consecuencia el tiempo de operación de las baterías se verá reducido. (Méndez Cuello, Cely Vélez, & Monar monar, 2016)

1.4.1.2 Energía específica

Medida que permite determinar el total de energía que la batería es capaz de almacenar por cada kilogramo de su masa, además, que se encuentra regido por un valor específico de descarga. Sus unidades se expresan en vatios-horas por kilogramo [kg*h/kg]. (MIT Electric Vehicle Team, 2008)

1.4.1.3 Ciclos de vida

La cantidad de cargas y descargas que realiza la batería antes de no ejecutar de forma correcta determinadas normas de rendimiento, algunas de los agentes que provocan la reducción de los ciclos de vida son: rapidez de carga y descarga, temperatura y la disposición del medio ambiente. (Massachusetts Institute of Technology, 2008)

1.4.1.4 Duración

Las actuales tecnologías empleadas en el desarrollo de baterías se caracterizan por la utilización de diferentes materiales que permiten alargar el tiempo de vida, la única limitante se encuentra en el correcto mantenimiento y cuidado que se deba realizar al seguir las normas impuestas por la empresa diseñadora de la batería. (Massachusetts Institute of Technology, 2008)

1.4.1.5 Comportamiento frente a bajas temperaturas

Frente a bajas temperaturas las baterías pueden disminuir la potencia total hasta en un 30 %. Sin embargo, con las nuevas tecnologías que se emplean en el desarrollo de estas, se ha logrado incrementar el rango de temperatura sin que se vea afectado el rendimiento. (González Marrero, y otros, 2010)

1.4.1.6 Tipos de baterías

A continuación, se detallan características, ventajas y desventajas que ofrecen los diferentes materiales con los que se desarrollan las baterías para vehículos eléctricos.

Tabla 1.1: Características de batería Plomo-Acido (PB-Acido)

Características	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • 6 - 12 [V] • Autonomía de 100 [km] • Empleado en funciones de arranque del vehículo, soporte eléctrico. • Ciclo de vida entre 500 y 800 ciclos de carga-descarga • Requiere mantenimiento periódico 	<p>Costo menor.</p> <p>Presentan buena respuesta en frío</p>	<p>Su peso es considerable</p> <p>Plomo toxico</p> <p>La capacidad de recarga es lenta</p>

Tabla 1.2: Características de batería Níquel – Cadmio

Características	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo de vida entre 1500 y 2000 ciclo de carga-descarga • Requiere un mantenimiento preventivo característico. • Densidad de 40- 60 Wh/kg 	<p>Permite ser recicladas</p> <p>Ofrece gran confiabilidad</p>	<p>Alto coste de adquisición</p> <p>Contaminante</p> <p>El tiempo de vida es afectado por altas temperaturas</p>

Tabla 1.3: Características de batería Níquel – Hidruro metálico

Características	Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo de vida entre 300 y 500 ciclo de carga-descarga • Densidad de 30- 80 Wh/kg 	<p>Reducción del efecto memoria</p>	<p>No soporta grandes descargas</p> <p>Menor Resistencia a altas temperatura</p> <p>Poca resistencia a altas corrientes</p>

Tabla 1.4: Características de batería ION - Litio

Características	Ventajas	Desventajas
Ciclo de vida entre 400 y 1200 ciclo de carga-descarga Densidad de 100- 250 Wh/kg No requiere mantenimiento	Alta densidad energética Tamaño reducido Peso ligero Alta eficiencia Sin efecto memoria	Requieren circuito de seguridad Frágiles

Tabla 1.5: Características de batería Polímero de Litio

Características	Ventajas	Desventajas
Ciclo de vida entre 1000 carga-descarga Densidad energética 300 [Wh/kg] No requiere mantenimiento	Ligeras Eficientes	Precio elevado Ciclo de vida reducido

1.4.2 Motor eléctrico

El motor eléctrico es el elemento encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica; el principio de “funcionamiento del motor se basa en la interacción entre campos magnéticos y corrientes eléctricas circulantes en una determinada dirección que dan como resultado un par o torque respecto un eje de giro” (Méndez Cuello, Cely Vélez, & Monar monar, 2016, pag 2) Para los vehiculos electricos existen una gama de motores que pueden emplearse dependiendo del diseño; entre los tipos de motores podemos encontrar :

1. Sincrono
2. Asincrono

3. Reluctancia conmutada
4. Brushless DC
5. Flujo Axial

Motor Síncrono

1.4.3 Motor Síncrono de Imanes Permanentes (MSIP)



Figura 1.2 Ilustración segmentada de MSIP

1.4.4 Frenado Regenerativo

El concepto de frenado regenerativo se vuelve relevante en el diseño de vehículos eléctricos debido a la capacidad que posee el sistema para poder transformar energía cinética en energía eléctrica, la cual será almacenada en las baterías. El principio de funcionamiento radica en un dispositivo electrónico que permite al motor eléctrico cambiar su modo de operación cuando se efectúa el frenado, cambiando su modo de operación, es decir opera como generador eléctrico. (Peña Ordóñez, 2011)

1.4.5 Controlador

El controlador se encarga de dirigir todas las disposiciones que son realizadas por el conductor, entre ellas arranque, paro, incremento o disminución de la velocidad, sentido de rotación, par de motor; todas estas acciones que son consideradas para el diseño de un correcto controlador en base al tipo de motor y requerimientos del vehículo de esta manera se garantiza “responder a las demandas del sistema en tiempo real, en cuanto a potencia, eficiencia, tiempo de respuesta en las variables de transitorias y estado estable ”(Ramos Calambas, 2020)



Figura 1.3 Controlador para sistemas eléctricos

1.4.6 Cargador

Para el proceso de carga del sistema de almacenamiento de energía conformado por las baterías es necesario un sistema de carga o cargador que permite realizar el suministro de corriente con la finalidad de reestablecer la energía eléctrica correspondiente a la capacidad del sistema de baterías instalado.



Figura 1.4 Cargador de baterías Li-Po

1.4.7 Transformador

El transformador es un elemento eléctrico que tiene como función la de variar el nivel de tensión a la que se somete uno de sus devanados, reflejando el cambio en el devanado opuesto, esta variación puede ser para aumentar o para disminuir el nivel de tensión.

El funcionamiento de los transformadores eléctricos se basa en el principio de inducción electromagnética al estar conformado por 2 devanados mínimo alrededor de un núcleo de hierro.

1.4.8 Inversor

El inversor tiene como función transformar la intensidad de corriente continua que se encuentra contenida en las baterías a corriente alterna para poder ser suministradas al motor eléctrico conforme se solicita los valores de frecuencia y magnitud del sistema. (Méndez Cuello, Cely Vélez, & Monar monar, 2016)



Figura 1.5 Inversor eléctrico con protección

1.4.9 Convertidor DC – DC

Son elementos de electrónica de potencia que tienen la capacidad de transformar un nivel eléctrico a otro de diferente magnitud. Estos convertidores pueden ser de 2 tipos principalmente:

- Elevadores.
- Reductores.

Tanto los convertidores elevadores como los reductores pueden ser implementados mediante el uso de troceadores o choppers los cuales dependiendo de la configuración que se realice, pueden operar en 4 cuadrantes. Esta operación en 4 cuadrantes nos permite tener la capacidad de realizar un frenado regenerativo al tener un flujo de potencia bidireccional.



Figura 1.6 Convertidor DC-DC Chopper

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Consideraciones para el diseño dinámico.

Para el tren de propulsión se debe tomar en cuenta las variables de mayor repercusión, es decir variables que se encuentran involucradas en el desarrollo de las expresiones matemáticas para determinar la potencia requerida por el motor, una vez determinado el valor de la potencia del motor se procede a analizar la capacidad de sistema de baterías, es decir el voltaje y corriente para poder llevar una correcta operación en conjunto con los demás elementos como inversor y controlador. Para facilitar la concepción del diseño se utilizará como vehículo base el modelo 2012 Chevrolet Spark, debido a que es un modelo comercial a nivel nacional.

Masa total

El total de la masa, debido a 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.

Este valor corresponde a la masa del chasis del vehículo, incluyendo el sistema de llantas, sistema eléctrico del motor, sistema de baterías, masa de 4 ocupantes máximos, y masa de la carga del maletero del vehículo.

Se estima la masa promedio de una persona en el Ecuador en 65 kg.

Tabla 2.1 Masas individuales del vehículo

Masa del vehículo sin el sistema mecánico de combustión	300 [kg]
Masa del motor	47 [kg]
Masa de 4 ocupantes	260 [kg]
Masa de controlador electrónico	9.7 [kg]
Masa de eje	11 [kg]
Masa de baterías	150 [kg]

Masa admisible en maletero	23 [kg]
Carga total	800.7 [kg]

Velocidad

La potencia requerida se encuentra relacionada con la velocidad que se desea alcanzar. En este caso en rutas llanas, se promedia una velocidad máxima de 25 metros por segundo, equivalentes a 100 km/h.

En el caso de velocidad máxima en pendiente tenemos un valor de 11.11 metros por segundo, equivalentes a 40 km/h.

Porcentaje de pendiente

El porcentaje de pendiente al valor de grados de inclinación en una pendiente de carretera, expresado de manera porcentual.

Se tiene que 45° corresponden a una pendiente del 100%. En el caso del diseño de un vehículo, ya sea eléctrico, de combustión interna o híbrido, el valor máximo de pendiente que debe poder superar el vehículo será del 15% el cual corresponde a 8.53° para la cual deberá superar dicha pendiente a una velocidad máxima de 40 km/h

Aceleración

Variable expresada en metros por segundos cuadrados, se define como la distancia que puede recorrer el vehículo en un determinado periodo de tiempo cuando se produce variación de velocidad, es decir de velocidad inicial igual a cero hasta alcanzar la máxima velocidad.

Autonomía.

Corresponde a la distancia que puede recorrer el vehículo totalmente cargado hasta que este requiera otra recarga. Esta distancia es medida en kilómetros y está dada en función de los requerimientos del usuario y de las limitantes físicas y monetarias del ingeniero.

Para el presente diseño se ha optado por seleccionar una autonomía de 100 km, esta autonomía está dada para la movilización del vehículo a carga

máxima de 800 kg correspondientes a un uso con 4 pasajeros y maletero a 23 kg de capacidad.

Los valores de autonomía variarán dependiendo de la cantidad de pasajeros que se encuentra en el vehículo, del estado del sistema de baterías y de la velocidad a la que se someta el vehículo.

2.2 Cálculo y dimensionamientos de elementos del diseño

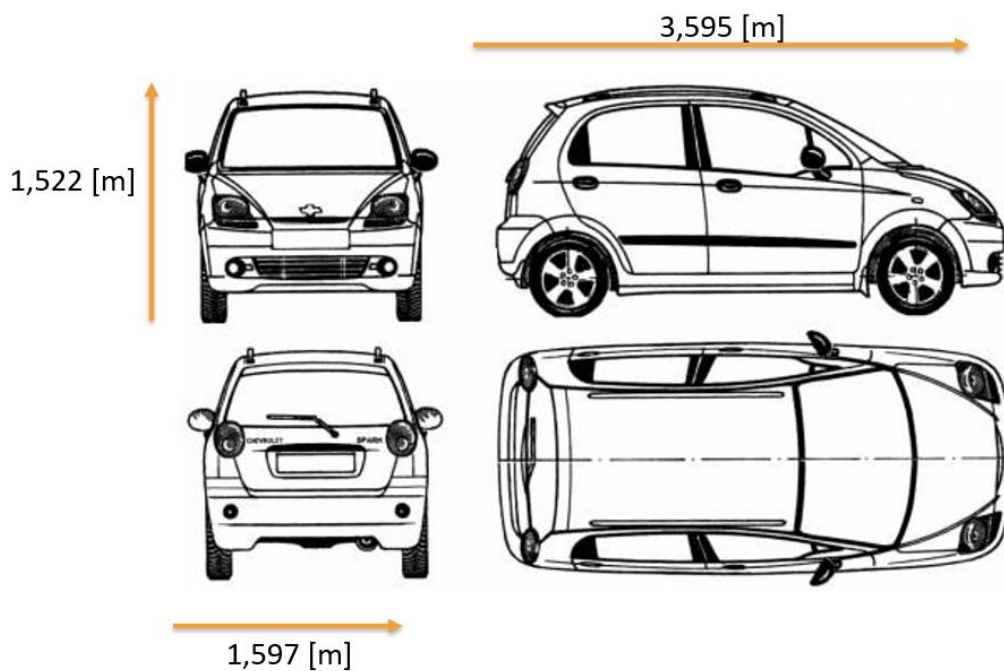


Figura 2.1 Dimensiones de vehículo Chevrolet SPARK para cambio de sistema.

Cálculo de potencia requerida del motor.

El sistema de tracción requiere conocer todas las fuerzas involucradas en el vehículo; es decir las diferentes componentes que actúan sobre el mismo, en un plano inclinado con un ángulo determinado, para poder obtener la fuerza de tracción necesaria se recurre a la segunda ley de Newton y se realizará la sumatoria de fuerzas

Tabla 2.2 Características del diseño de vehículo eléctrico

Alto	1.522 [m]
Largo	3.595 [m]
Ancho	1.597 [m]
Motor	89 [kg]
Neumáticos	165 / 65 R14
Velocidad máxima	100 [km/h]
Autonomía	100 km
Aceleración (0-100)[km/h]	12-10 segundos
Baterías	Cantidad*peso
Tracción	Delantera
Carga total	800 [kg]

FT: Fuerza de tracción necesaria

Fr: Fuerza de resistencia de rodamiento

Fad: Fuerza de resistencia aerodinámica

Fg: Fuerza de resistencia de peralte

Fuerza de Resistencia de Peralte

El peso total del auto considerando los elementos que forman parte del vehículo eléctrico como: motor, baterías, entre otros. [10]

$$Fg = m * g * Sen(\alpha) \quad (2.1)$$

M=masa total en kilogramos, g=gravedad en metros por segundos cuadrados, $\alpha=15\%$ equivalente a 8,53 grados [11]

$$Fg = 800 * 9.8 * Sen(8.53) \quad (2.2)$$

$$Fg = 1162.885 [N] \quad (2.3)$$

Fuerza de Rodamiento

Fuerza en sentido opuesto al movimiento del vehículo, esta fuerza se origina entre los neumáticos y la superficie (asfalto). [11]

$$Fr = m * g * uhc * \text{Cos}(\alpha) \quad (2.4)$$

M= masa total en kilogramos, g=gravedad, uhc= coeficiente asfalto y ruedas,

$$Fr = 800 * 9.8 * 0.015 * \text{Cos}(8.53) \quad (2.5)$$

$$Fr = 116.299 [N] \quad (2.6)$$

Fuerza Aerodinámica

Fuerza del vehículo al contraponerse al viento. Esta fuerza actúa sobre el área transversal del vehículo.

$$Fad = \frac{1}{2} * \rho * A * Cd * V^2 \quad (2.7)$$

A= área [m²], p= densidad de aire, Cd=coeficiente de resistencia aerodinámico [10]

$$Fad = \frac{1}{2} * 1,225 * 2,4310 * 0.29 * 25^2 \quad (2.8)$$

$$Fad = 269.8738 [N] \quad (2.9)$$

Fuerza tracción Eléctrica

$$Fte = m * a + Fr + Fg + Fad \quad (2.10)$$

$$Fte = (800 * 4) + 116.299 + 1162.885 + 269.8738 \quad (2.11)$$

$$Fte = 4749.0578[N] \quad (2.12)$$

Potencia

$$P_{pinclinado} = Fte * Vmax_{pen} \quad (2.13)$$

$$P_{pinclinado} = 4747.057 * 11.11 \quad (2.14)$$

$$P_{pinclinado} = 52762.032[N] \quad (2.15)$$

$$P_{motorpi} = P_{pinclinado}/n \quad (2.16)$$

$$P_{motorpi} = \frac{52762.032}{0.98} \quad (2.17)$$

$$P_{motorpi} = 53838.808 [W] \quad (2.18)$$

Potencia en HP

$$P_{motorpiHP} = P_{motorpi}/754,7 \quad (2.19)$$

$$P_{motorpiHP} = \frac{53838.808}{754.7} \quad (2.20)$$

$$P_{motorpiHP} = 71.338 HP \quad (2.21)$$

Cálculo de baterías.

Para el cálculo de las variables involucradas en el sistema de banco de baterías, debemos tomar en consideración los parámetros de diseño establecidos en la Tabla 2.2 de los cuales utilizaremos los datos de Autonomía, Velocidad. Además, con el cálculo previo del motor y la selección de este, conocemos que requerimos una corriente de aproximadamente 125 [A] que se utilizarán para los posteriores cálculos.

Tipo de Baterías.

Debido a las características físicas, así como por sus propiedades energéticas las cuales se observan en la Tabla 2.4. Las baterías para utilizar serán las de ION-LITIO, específicamente en el formato de 18650 las cuales tienen las siguientes características:

Tabla 2.3 Características de baterías de Litio modelo 18650

Dimensiones de celda:	18 mm diámetro x 65 mm de altura
Voltaje por celda:	3.7 V
Corriente por celda:	20-30 A
Capacidad:	2000-3500 mA/h
Potencia por celda	7.4-12.95 kW/h
Masa	24 g c/u

Cálculo de capacidad del banco de baterías.

Para el cálculo de la capacidad inicial de las baterías, utilizaremos la autonomía y la velocidad máxima de las cuales se obtendrá el tiempo empleado en recorrer los 100 km a una velocidad de 100 km/h, la cual es la velocidad máxima que puede alcanzar el vehículo por diseño. Una vez conocido el tiempo, utilizaremos el valor de corriente para hallar los amperios horas necesarios para el recorrido previamente establecido de 100 km. [9]

$$Capacidad = \frac{Autonomía}{Vel. Max} \times I \quad (2.22)$$

$$Capacidad = \frac{100 Km}{100 \frac{Km}{h}} \times 125 A \quad (2.23)$$

$$Capacidad = 125 Ah \quad (2.24)$$

Por recomendación de fabricantes, se debe agregar un 20% de capacidad al banco de baterías inicial para compensar las pérdidas ocasionadas por la resistencia interna de cada celda, las pérdidas ocasionadas por las láminas utilizadas para unir cada celda y formar el banco de baterías, y las pérdidas ocasionadas por los conductores del sistema eléctrico del que es parte el banco de baterías.

$$CapacidadFinal = 125 Ah * 1.2 \quad (2.25)$$

$$CapacidadFinal = 150 Ah \quad (2.26)$$

Cálculo de números de celdas del banco de baterías.

$$Eficiencia = \frac{P_{motor}}{Velocidad} \quad (2.27)$$

$$Eficiencia = \frac{53.838 \text{ kW}}{100 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \quad (2.28)$$

$$Eficiencia = \frac{53.838 \text{ kW}}{100 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \quad (2.29)$$

$$Eficiencia = 0.5384 \quad (2.30)$$

Como voltaje requerido, se tiene un valor de 108 V, el cual es el valor de voltaje que se suele encontrar para los MSIP en el nivel de potencia que se calculó. [9]

$$Carga \text{ eléctrica} = \frac{Eficiencia * Autonomia}{Voltaje \text{ requerido}} \quad (2.31)$$

$$Carga \text{ eléctrica} = \frac{0.5384 * 100 \text{ km}}{108 \text{ V}} \quad (2.32)$$

$$Carga \text{ eléctrica} = 0.498 \text{ kAh} \quad (2.33)$$

Para conocer el número de celdas en serie requeridas, es necesario dividir el voltaje requerido del motor para el valor individual de cada celda. Tabla 2.3

$$CeldasSerie = \frac{Voltaje \text{ requerido}}{Voltaje \text{ nominal por celda}} \quad (2.34)$$

$$CeldasSerie = \frac{108}{3.7} \quad (2.35)$$

$$CeldasSerie = 28.8 \quad (2.36)$$

Para el cálculo requerido de celdas en paralelo dividimos la carga eléctrica total de todo el sistema para la capacidad individual de cada celda. Tabla 2.3

$$CeldasParalelo = \frac{Carga\ eléctrica}{Capacidad\ individual\ por\ celda} \quad (2.37)$$

$$CeldasParalelo = \frac{498\ Ah}{3\ Ah} = 166.166 \quad (2.38)$$

El número total de celdas que conformarán el sistema de banco de baterías lo obtendremos de multiplicar el número de celdas en paralelo por el número de celdas en serie hallados previamente.

$$TotalCeldas = CeldasSerie * CeldasParalelo \quad (2.39)$$

$$TotalCeldas = 28.8 * 166.166 \quad (2.40)$$

$$TotalCeldas = 4785.6 \quad (2.41)$$

Cálculo de peso dimensiones de banco de baterías.

Una vez obtenido el número de total de celdas requeridas para el sistema de banco de baterías, debemos multiplicar dicho valor por el peso individual por celda. Tabla 2.3

$$PesoTotalBaterias = TotalCeldas * Peso\ individual\ de\ celda \quad (2.42)$$

$$PesoTotalBaterias = 4785.6 * 24\ g = 114.385\ kg \quad (2.43)$$

Con el valor de número total de celdas y las dimensiones individuales de cada celda, procedemos a calcular las dimensiones totales de nuestro sistema de banco de baterías, para de esta forma, conocer el espacio físico que ocupará dentro del vehículo, y cual será ubicación adecuada de las mismas. [1]

- Dimensiones de celda 18 mm diámetro x 65 mm de altura
- Área superior: 2,544e-3 [m²]
- Volumen x celda: 1,654e-5 [m²]
- Volumen total 0,0160 [m³]

Opciones de distribución de banco de baterías.

Opción 1

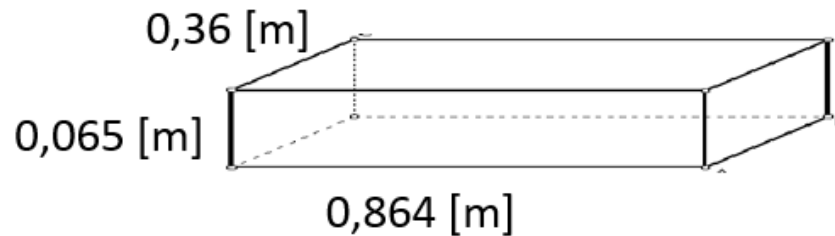


Figura 2.2 Opción 1 para distribución del banco de baterías

Para la opción 1 se tiene una propuesta que distribuye la masa del total del sistema del banco de baterías a lo largo de la parte inferior del vehículo con las medidas que se observan en la Figura 2.2. [4]

Opción 2

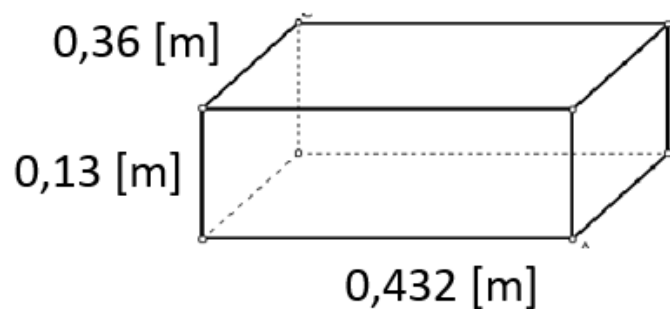


Figura 2.3 Opción 2 para distribución del banco de baterías

En la opción 2 tenemos una acumulación de la masa y volumen del sistema total del banco de baterías, el cual se encuentra concentrado en la parte inferior central de vehículo con las medidas que se observan en la Figura 2.3.

Se ha optado por elegir la Opción 1 debido a que mantiene el centro de gravedad del vehículo lo más bajo posible, esto ayuda a tener una mejor estabilidad en el vehículo, sobre todo al momento de tomar curvas.

Además, se colocará en el punto medio entre las cuatro llantas del vehículo, lo más cerca del suelo posible, al realizar esto, el vehículo será atraído hacia al centro de la tierra de forma equilibrada por acción de la gravedad. [1]

Tanto el motor, como el sistema de baterías, son los elementos de mayor peso que se encuentran en el diseño, es por ello por lo que la ubicación adecuada dentro del espacio físico del vehículo es necesaria para una correcta distribución del peso del vehículo sobre el apoyo que tiene con el suelo, es decir, las llantas.

2.3 Selección de equipo constitutivo del kit de cambio.

2.3.1 Motor Síncrono de imán permanente

Una vez calculada la potencia máxima que requerirá el vehículo (53.838 kW) procedemos a seleccionar un motor comercial con un valor de potencia máxima superior al calculado.

El motor seleccionado tiene un valor de potencia máxima de 60 kW el cual se encuentra de forma comercial y corresponde a un valor de potencia de aproximadamente 10% superior al calculado por lo que cumplirá con los requerimientos solicitados. [4][6]

Características del producto

Tabla 2.4 Características del MSIP seleccionado

Marca	UNI
Numero de Modelo	60 kW PMSM Motor
Potencia nominal	35 kW
Potencia máxima	60 kW
Certificación	CCC, CE, Rohs, VDE
Voltaje AC	108 V
Corriente	145 A
Eficiencia	IE4

Peso	47 kg
Velocidad Nominal	3536 r/min
Torque Nominal	275 N.m

2.3.2 Baterías.

El modelo de banco de baterías seleccionado fue el de ION-LITIO en su formato 18650.

Tabla 2.5 Características del banco de baterías seleccionado

Marca	PANASONIC
Numero de Modelo	LiFePO4
Potencia de salida por celda	7.4 kWh
Certificación	CCC, CE, Rohs, VDE
Voltaje DC	108 V
Eficiencia	IE4
Potencia máxima	16.2 kWh
Peso	150 kg
Capacidad	150 Ah
Dimensiones	86*61*31

La selección del sistema de banco de baterías responde a las necesidades energéticas y eléctricas requeridas, principalmente en la relación que tiene con el motor, para esto, los valores principales son los de voltaje, el cual es 108 V al igual que el requerido por el motor.

La capacidad, seleccionada específicamente para las características de diseño de 100 km de autonomía a una velocidad de 100 km/h como máximo.

2.3.3 Controlador y acelerador.

Tabla 2.6 Características del controlador seleccionado

Marca	GREENTIME
Numero de Modelo	HS 8537109090
Voltaje promedio DC	108 V
Rango de voltaje de operación	80V~125V
Corriente máxima de salida	500 A
Grado de protección	IP65
Modo de control	Control Vectorial
Comunicación	CAN/NO CAN
Dimensiones	29*19*18 cm
Peso	9.1 kg

2.3.4 Convertidor DC – DC

Tabla 2.7 Características del convertidor DC-DC seleccionado

Marca	GREENTIME
Numero de Modelo	HS 8504409999
Voltaje de entrada DC	108 V
Voltaje de salida DC	12-100 V
Grado de protección	IP66
Corriente de salida	25 – 150 A

2.3.5 Inversor

Tabla 2.8 Características del Inversor seleccionado

Marca	GREENTIME
Numero de Modelo	HS 8509904111
Potencia de salida por celda	35 kW
Certificación	CCC, CE, Rohs, VDE

Voltaje de entrada DC	12 -108 V
Voltaje de salida AC	12 – 108 V

2.3.6 Gearbox

Tabla 2.9 Características del Gearbox seleccionado

Marca	-
Numero de Modelo	HS 87085079
Ratio	6:1/8:1/10:1
Capacidad de velocidad	8000 RPM
Capacidad de torque	400 N*m
Ruido	≤65dB

2.3.7 Ejes de accionamiento

Tabla 2.10 Características de los ejes de accionamiento seleccionados

Marca	-
Numero de Modelo	HS 87085079
Longitud del eje	25/22/651.5 cm
Eje menor	25/22/894 cm
Peso	11 kg

2.3.8 Cargador

Tabla 2.11 Características del cargador de baterías seleccionados

Marca	PANASONIC
Numero de Modelo	HS 8504409900
Voltaje de entrada AC	220-110 V
Voltaje DC de batería	108 V
Corriente de carga	25 A

2.3.9 Medidores

Tabla 2.12 Características de medidores seleccionados

Marca	-
Numero de Modelo	HS 90329000
Voltaje de operación DC	12 V
Mostrador	Estado de carga y potencia de batería.
	Velocidad

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Autonomía

Una vez establecida la autonomía que se pretendió alcanzar por diseño, cuyo valor es de 100 km se procedió a determinar las variables que lograban influir en el desempeño del vehículo, como resultado se determinó la importancia del peso total del vehículo; se debe destacar que al hablar del peso total del vehículo se toma en consideración no solo la masa de los equipos propuestos en el diseño sino también de los pasajeros y equipaje que se puede transportar, de esta forma se observó como la autonomía tomaba diferentes valores, de forma proporcional con respecto al número de pasajeros. El cálculo realizado permitió evaluar la autonomía máxima alcanzable frente a diferentes condiciones:

3.1.1 Autonomía en función de la cantidad de pasajeros.

Considerando que el diseño fue planteado para un número limitado a 4 pasajeros cuyo valor de peso es de 65 kg como se indica en la Tabla 2.1.

A medida que se modifica el número de pasajeros, el peso total de vehículo también es modificado, por lo que se espera un rendimiento menor y una disminución en su autonomía.

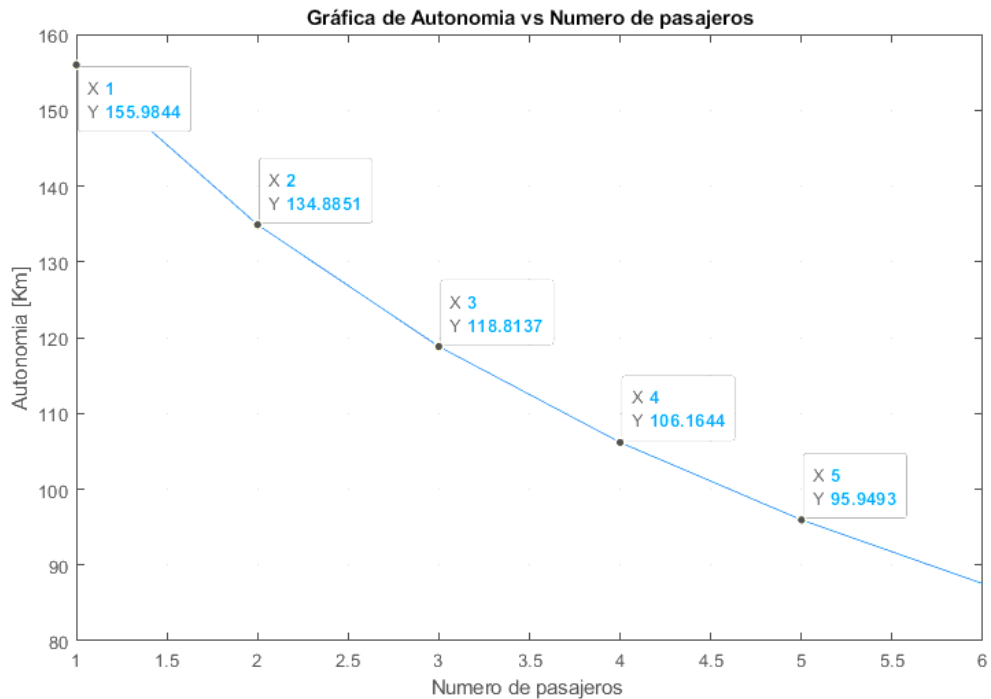


Figura 3.1 Autonomía vs Número de pasajeros

Como se aprecia en la Figura 3.1 cuando nos encontramos en el punto de operación del diseño, es decir con 4 pasajeros, tenemos una autonomía de 106.16 km lo cual corresponde a los 100 km propuesto como parte del diseño, en el caso que excediéramos el número de pasajeros a 5, la autonomía se ve reducida a 95.949 km, lo cual es menor a lo propuesto.

Además, la autonomía aumenta a medida que reducimos el número de pasajeros, por ende, el peso total de vehículo, llegando a un punto en el que la autonomía aumenta en un 64% cuando solo se tiene a el conductor dentro del vehículo, con un valor de 155.984 km como se observa en la Tabla 3.1, con la cual podemos conocer las distancias aproximadas a ser recorridas dependiendo de la cantidad de pasajeros que se encuentren en el vehículo.

Tabla 3.1 Valores de autonomía en función del número de pasajeros

Número de Pasajeros	Autonomía [km]
1	155,984
2	134,885
3	118,813
4	106,164
5	95,949

3.1.2 Autonomía en función de la cantidad de pasajeros.

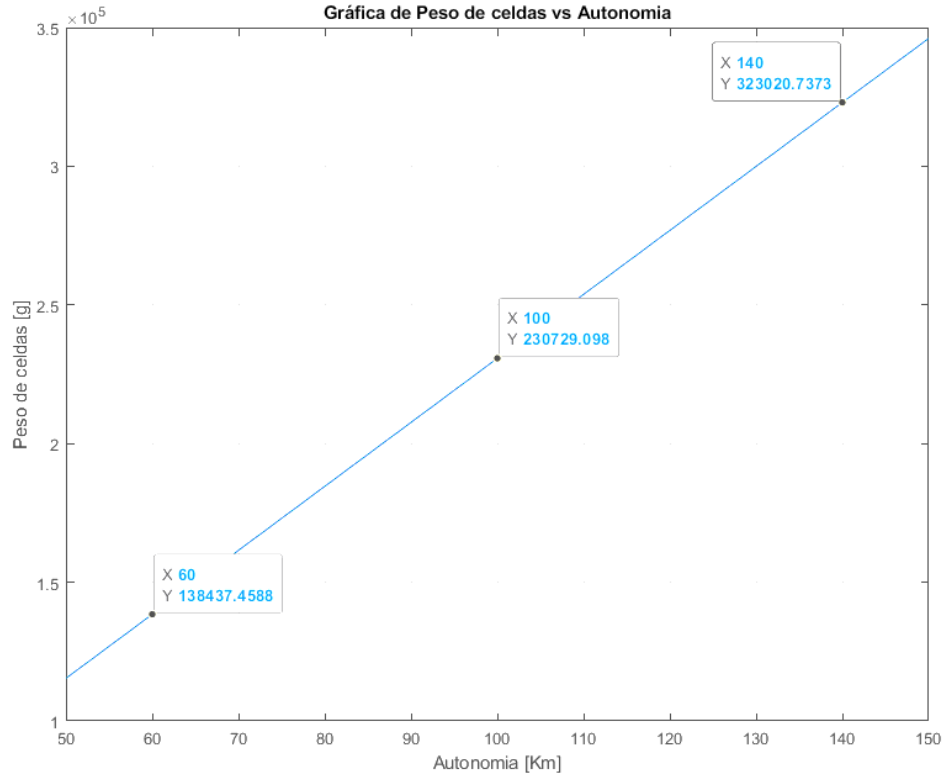


Figura 3.2 Peso de celdas vs Autonomía

Otro factor en cuestión de peso que afecta al rendimiento y autonomía del vehículo es el peso del sistema de banco de baterías formado por las celdas indicadas en la Tabla 2.3, esta es una variable codependiente del peso, ya que al modificar el disminuir el peso de las baterías también estamos disminuyendo la capacidad del banco total, por lo que, si bien nuestra autonomía aumenta por reducir el peso, esta también disminuye como consecuencia de la pérdida de capacidad en Ah.

De la figura 3.2 obtenemos que, para aumentar 1 km de autonomía, es necesario agregar 2.3 kg en su equivalente en celdas para valores mayores a los propuestos en el diseño.

3.2 Potencia.

3.2.1 Potencia en función del número de pasajeros.

Al igual que la autonomía, la potencia que necesita el vehículo para moverse también es afectada por el número de pasajeros que se encuentran. Como se observa en la Figura 3.3, a medida que se aumentó el número de pasajeros, la potencia que necesitó el vehículo para desplazarse fue aumentando de manera lineal, de tal forma que, para el punto de operación diseñado del vehículo de 4 pasajeros, tenemos una potencia de 38.755 kW para los valores del diseño de la Tabla 2.2 para una velocidad máxima de 100 km/h.

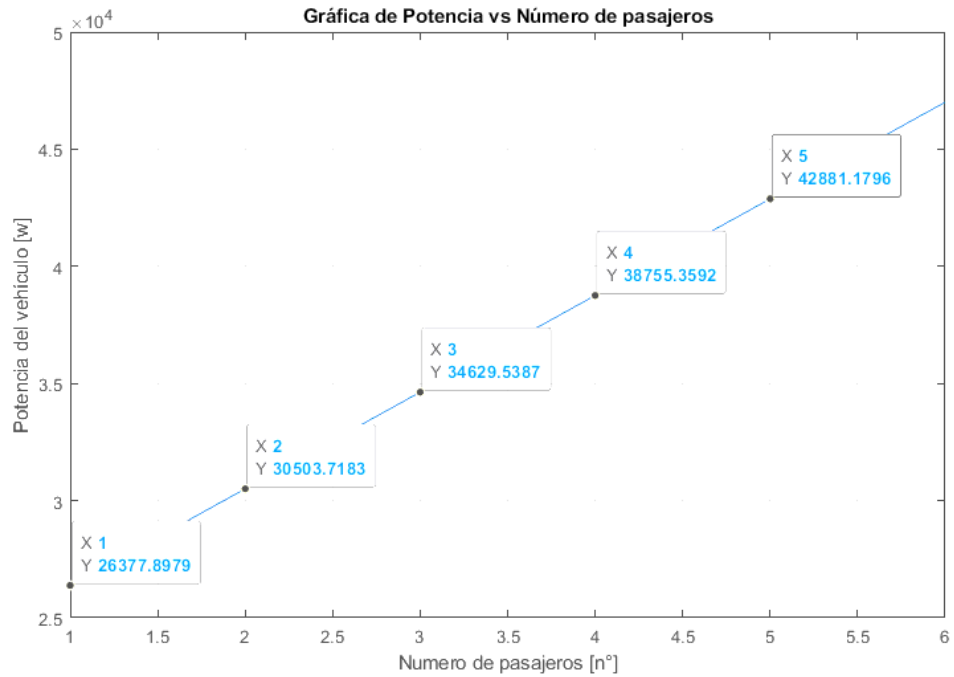


Figura 3.3 Potencia del motor vs Número de pasajeros

Utilizando la Figura 3.3 fue posible obtener la Tabla 3.2 en la cual conocemos los valores de potencia desarrollada en función del número de pasajeros y observamos que tenemos la menor potencia en 26.377 kW cuando solo se encuentra el conductor dentro del vehículo.

Tabla 3.2 Valores de potencia desarrollada en función del número de pasajeros.

Número de Pasajeros	Potencia [kw]
1	26,377
2	30,503
3	34,629
4	38,755
5	42,881

3.2.2 Potencia en función de la masa.

Para la selección del motor fue necesario conocer los valores máximos de operación, es decir, cuando se encuentra mayor esfuerzo y con mayor peso.

Estos valores corresponden a la masa total del vehículo la cual corresponde a 800 kg, por lo que en la Figura 3.4 se observa que se obtiene la potencia máxima desarrollada de 53.989 kW lo cual corresponde a los cálculos realizados.

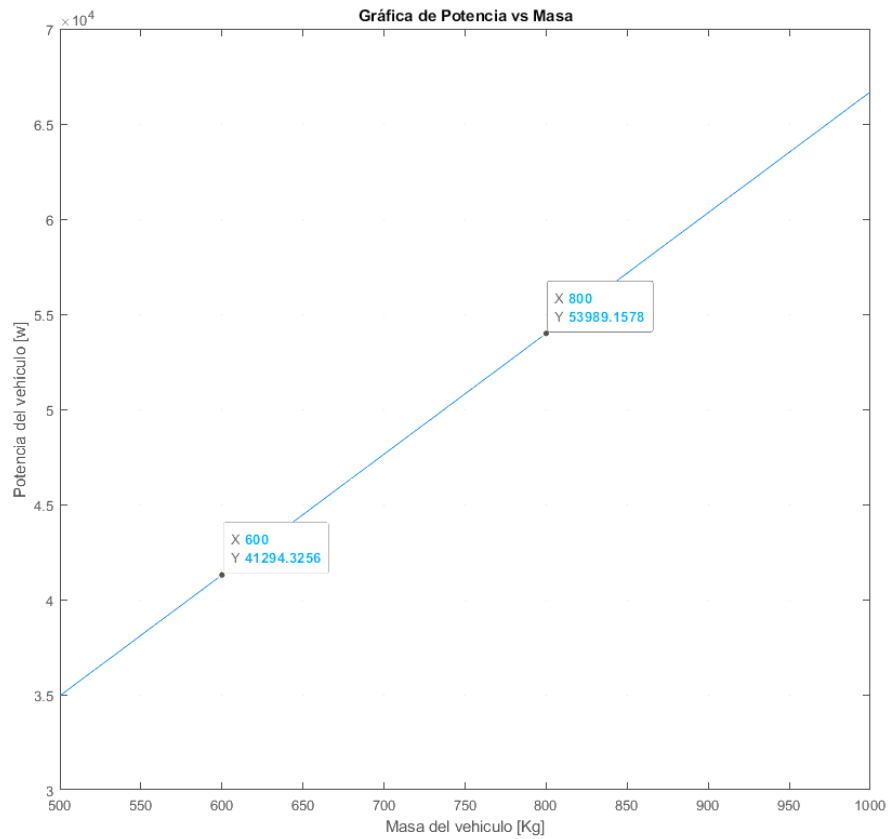


Figura 3.4 Potencia del motor vs Masa del vehículo

3.2.3 Potencia en función de la velocidad en plano horizontal.

Para conocer los valores promedios de potencia del vehículo se optó por realizar un análisis en el plano horizontal, el cual es en el que usualmente se encontrará recorriendo el vehículo, en la figura en el punto de operación de 25 m/s (90 km/h) el cual corresponde al valor promedio de un vehículo en carretera abierta, obtenemos una potencia desarrollada 31.758 kW.

Se observó que el comportamiento de la potencia a medida que se aumenta la velocidad en plano horizontal tiene comportamiento exponencial a diferencia de las Figuras anteriores donde se apreciaba un comportamiento lineal en función del peso.

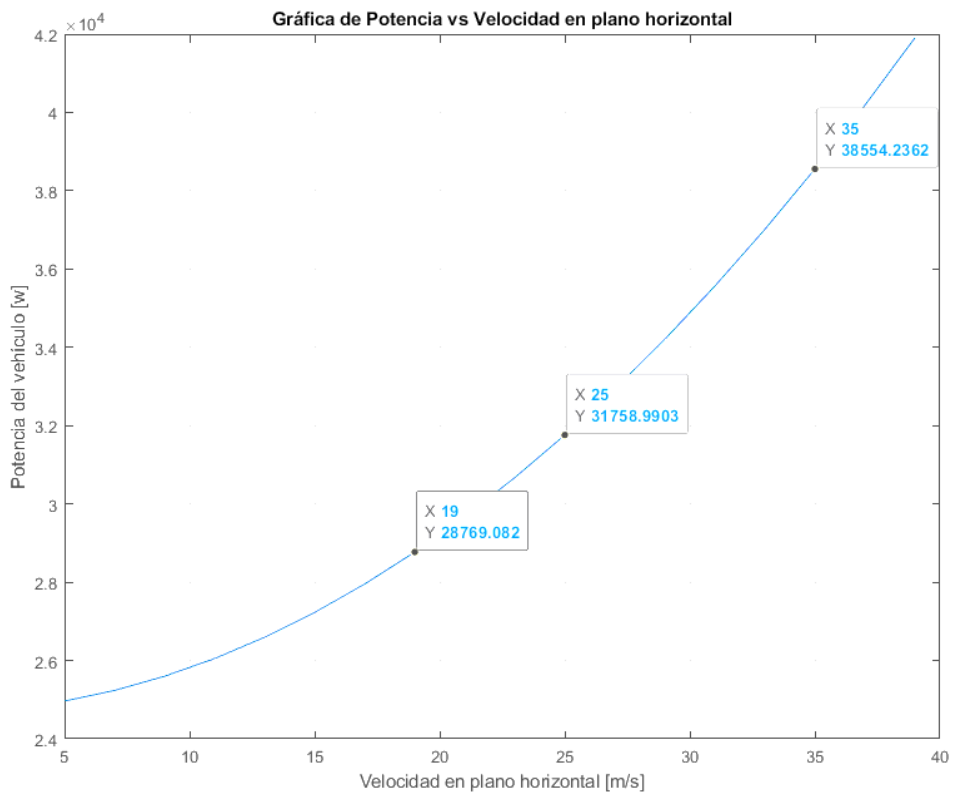


Figura 3.5 Potencia del motor vs velocidad en plano horizontal

3.2.4 Potencia en función de la velocidad en plano inclinado.

A diferencia de la Figura 3.5, en la Figura 3.6 observamos un comportamiento lineal de la potencia desarrollada a medida que se incrementa la velocidad en el plano inclinado correspondiente a una pendiente del 15% y con la cual fue posible hallar el valor máximo de potencia ya que al llegar a una velocidad de 11.11 m/s (40 km/h) se tiene el mayor requerimiento de potencia del sistema.

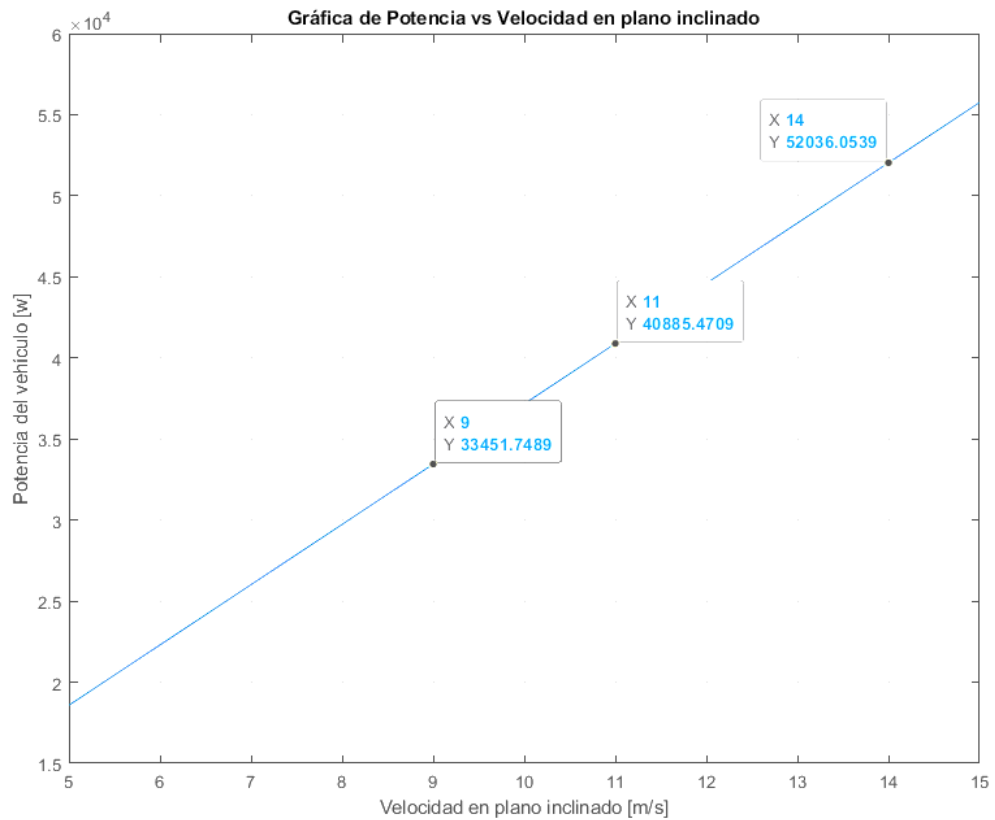


Figura 3.6 Potencia del motor vs Número de pasajeros

3.3 KIT DE CONVERSIÓN

En el mercado internacional se ofrece los dispositivos necesarios para la conversión a vehículo eléctrico, debido a la gran disponibilidad de diferentes marcas con características que van de determinar el costo del producto final, es necesario poner en evidencia la existencia de los KITS de conversión que son un estándar generalizado para lograr este objetivo, de hecho la ventaja principal al adquirir el kit, es la posibilidad de encontrar el kit exclusivo para el modelo del vehículo que se encuentre a disposición, lo que garantiza la correcta conversión, debido a que internacionalmente es mayormente común realizar este tipo de procedimientos. [13]

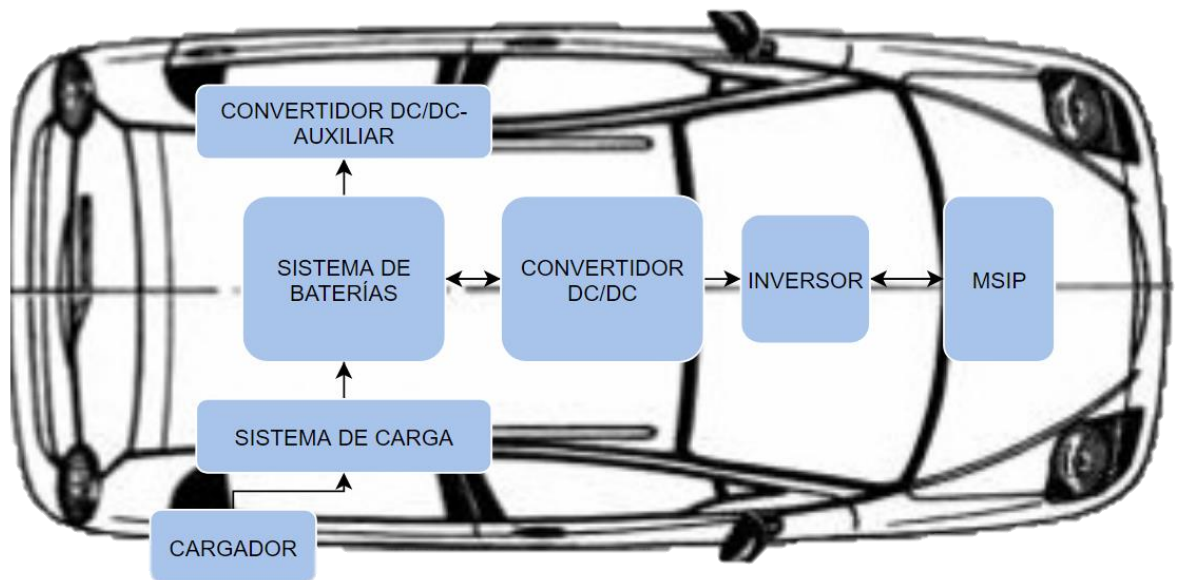


Figura 3.7 Esquemático de los elementos del KIT de conversión

Modos de carga

Existen 4 modos de carga que pueden encontrarse disponibles en diferentes puntos alrededor de la ciudad, las características de estos puntos de recarga permitirán establecer el tiempo necesario para poder recargar el sistema de baterías. A continuación, se presenta las características principales de los modos disponibles. [2]

Tabla 3.3 Modos y tiempos de carga para el sistema de baterías.

Modo	Tiempo	Corriente	Potencia	Voltaje
Modo 1	6-8 HORAS	16 [A]	3.7-11 [kW]	250 [V] monofásica 480 [V] Trifásica
Modo 2	6-8 HORAS	16-32 [A]	7.4-22 [kW]	250 [V] monofásica 480 [V] Trifásica
Modo 3	3-4 HORAS	32-63 [A]	50-150 [kW]	250 [V] monofásica 480 [V] trifásico
Modo 4	20-30 minutos	125-400 [A]	125-240 [kW]	250 [V] monofásica 480 [V] trifásico

En la Republica de Ecuador se encuentran distribuidos diferentes puntos de carga, en vías públicas, parqueaderos de centros comerciales, electrolinerías, entre otros. Cada uno de dichos puntos refleja las características mencionadas de los modos de carga, de esa forma el usuario decidirá el lugar y tiempo que pretenda invertir para poder recargar el sistema de baterías del vehículo eléctrico. Debido a que puede ser una desventaja tener que recurrir hacia algún punto de recarga, se puede solicitar a la empresa eléctrica la instalación de un

punto de recarga residencial, el cual tendrá un costo en kW/h de 8 centavos de dólar, además se recomienda que la recarga se realice en la franja horaria de 11:00 pm a 05:00 am.

Adquisición

La cantidad de vehículos que se encuentran en circulación a nivel nacional son mayoritariamente vehículos de combustión interna, en comparación a vehículos eléctricos, esto es posible demostrar por medio de las cifras de ventas proporcionadas en los boletines de boletines de ventas de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador donde se evidencia que los últimos 4 años en promedio 110 vehículos eléctricos equivale han sido adquiridos por la población ecuatoriana, frente a 120,000 vehículos convencionales. Esto se debe a la poca información que se brinda acerca de las principales ventajas que ofrecen los vehículos eléctricos y el afianzado uso de los vehículos convencionales (combustión interna).

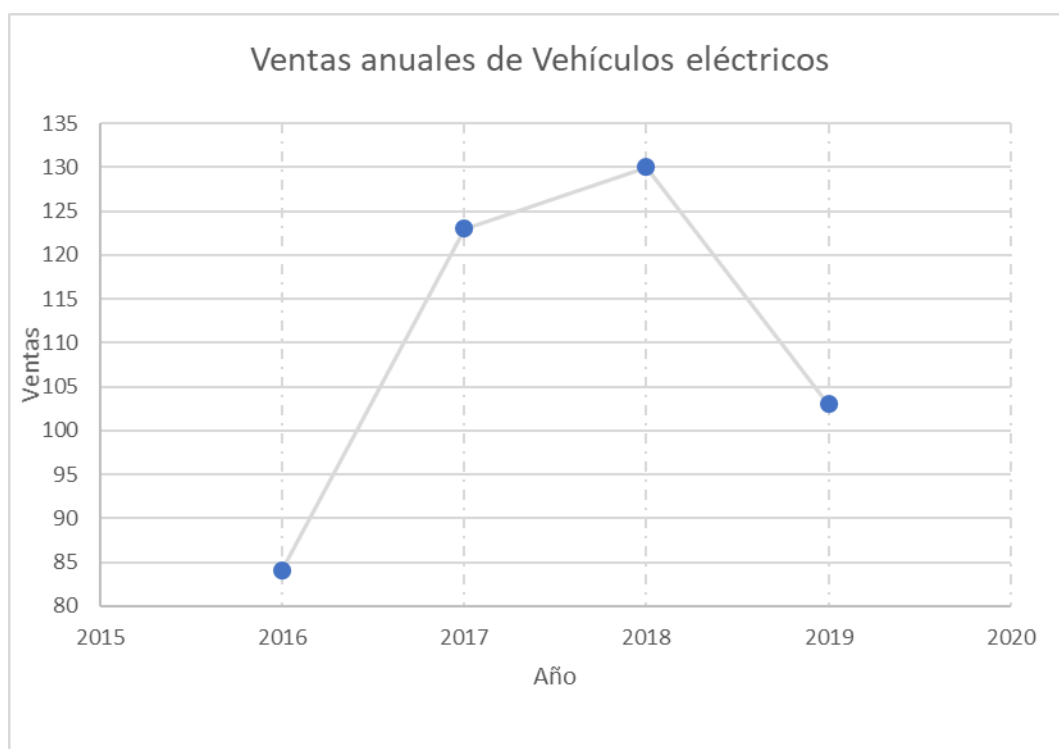


Figura 3.8: Ventas mensuales de vehículos eléctricos [AEADE]

3.4 Costos

Tabla 3.4 Tabla de costos de elementos del KIT.

Elemento	Cantidad	Precio
MSIP 35 kW	1	\$520
Controlador y acelerador 108 VDC	1	\$635
Caja de velocidades	1	\$350
Ejes de acoplamiento	1	\$110
Convertidor DC-DC 108 VDC	1	\$65
Medidores de velocidad y estado de batería	1	\$40
Cargador 25 A	1	\$395
Inversor 108 V	1	\$550
Baterías 16.2 kWh	1	\$2405
TOTAL	1	\$5070

La cotización de los elementos del KIT que son parte del diseño tiene el precio del país de China, tiene un peso total de 217 kg, lo que correspondería a un valor de importación directa desde China de aproximadamente \$900.

Además, debido a la Ley Orgánica para el Fomento Productivo, Atracción de Inversiones, Generación de Empleo, Estabilidad Fiscal, publicada en el Suplemento del Registro Oficial No. 309 de 21 de agosto de 2018, se tiene una tarifa cero para las transferencias e importaciones para Vehículos eléctricos de uso particular, esto incluye baterías, cargadores, cargadores de electrolinerías, suplementos y componentes de reemplazo y mantenimiento de los Vehículos. Esto se da para elementos o kits que tengan con valor máximo \$40.000 [12]

3.5 Comparativa con vehículos de combustión.

Tabla 3.5 Valores por unidades de consumo de vehículos

Precio de galón de gasolina EXTRA en Ecuador	Precio de galón de gasolina SUPER en Ecuador	Precio de galón de DIÉSEL en Ecuador	Precio del kW/h en Ecuador
\$1,75	\$2,28	\$1,18	\$0,08

Para los datos de la tabla 3.4 se buscaron los precios correspondientes por galón para los 3 combustibles principales de uso en el Ecuador, los cuales son gasolina Extra, gasolina Super y Diesel. Además, se tiene el precio del kW/h en Ecuador, el cual corresponde a 8 centavos de dólar estadounidense.

Con estos valores base procedió a hacer la comparación entre el costo por km para vehículos de combustión y vehículos eléctricos. [14][15]

Tabla 3.6 Gasto energético y material para recorrer 100 km

Vehículo Eléctrico	Vehículo de combustión
14 kWh	1,71 Galones de gasolina Extra
	2,24 Galones de gasolina Super
	1,93 Galones de Diesel

Para la Tabla 3.4, se procedió a hallar los valores correspondientes al gasto energético y de combustible para realizar un recorrido en condiciones promedio de 100 km. Estos valores corresponden en kilovatios-hora para el vehículo con el sistema eléctrico implementado, y en galones de combustible para los vehículos con motores de combustión interna.

Tabla 3.7 Costos de consumo para recorrer 100 km.

Vehículo Eléctrico	Vehículo de combustión
\$1,12	\$2,99 de gasolina Extra
	\$5,12 de gasolina Super
	\$2,27 de Diesel

Una vez conocido el precio por cada unidad que utiliza cada vehículo en la Tabla 3.4 y el gasto energético para cada tipo de vehículo, Tabla 3.5, procedimos a obtener el costo necesario para recorrer los respectivos 100 km. En la Tabla 3.5 se observa el valor a pagar para cada tipo de vehículo al recorrer 100 km, de esta forma hallamos que para un vehículo eléctrico implementado con nuestro Kit resulta ser el más económico al tener un valor de \$1.12 lo cual se traduce en un ahorro de 266% para gasolina extra y de hasta el 457% en relación con la gasolina Super, los cuales son los combustibles más usados en el país.

Tabla 3.8 Costos de consumo por cada kilómetro recorrido.

Vehículo Eléctrico	Vehículo de combustión
\$0,112	\$0,299
	\$0,512
	\$0,227

En la tabla 3.6 se realizó una división para 100 para hallar el valor por cada kilómetro recorrido, de esta forma se podrá hacer estimaciones de costo más sencillas para diferentes valores de recorridos que se deseen realizar.

Es necesario considerar el mantenimiento como costo añadido del vehículo el cual se realiza cada 5.000 km en los vehículos de combustión mientras que un vehículo convertido con el kit eléctrico se realiza mantenimiento cada 100.000

km por lo que a largo plazo se tiene un ahorro correspondiente al mantenimiento, es ahorro corresponde en un 90% con respecto a un vehículo convencional.

Este ahorro se debe a que, en el cambio del sistema, se elimina el mantenimiento de aceite del motor, caja de cambios, filtros, correa y accesorios, mientras se mantiene el gasto en líquido de frenos, aire y neumáticos.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El cambio de un sistema de combustión interna a eléctrico en vehículos livianos es posible gracias a la adaptación de diferentes componentes eléctricos, principalmente el MSIP (Tabla 2.5) las baterías (Tabla 2.4), las cuales permitieron tener un mayor rendimiento que un motor convencional con una eficiencia del 98% [5] mientras se mantiene un tamaño compacto, Figura 3.7, adaptable a la mayoría de los vehículos livianos en circulación.
- La conversión de un vehículo de combustión interna a eléctrico representa un coste menor, Tabla 3.3 al ser comparado con la adquisición de un vehículo eléctrico nuevo, esto se debe al dimensionamiento que se realizó para lograr una autonomía específica considerando diferentes variables en el diseño (Tabla 2.2).
- El cambio a un sistema eléctrico en lugar de un sistema de combustión ofrece las ventajas de disminución total de gases contaminantes, aumento de la eficiencia y reducción de ruido llevan a considerar que este tipo de vehículo es la elección idónea lo cual podemos corroborarlo con el costo por cada 100 km recorrido el cual es de \$5.12 para un vehículo convencional que consume combustible SUPER mientras que para un vehículo adaptado con nuestro kit tenemos un valor de \$1,12 Tabla 3.5.
- Los vehículos eléctricos representan en la República de Ecuador apenas el 0,001% de la totalidad de vehículos en circulación en comparación a los vehículos de combustión interna e híbridos, esto se debe a la poca información que se brinda de las características primordiales, y el arraigado uso de vehículos convencionales; además, la ausencia de normas ecuatorianas y grupos especializados enfocados en la conversión de vehículos genera desconfianza a los usuarios y esto se ve reflejado en que en los últimos 5 años se han vendido en promedio 110 vehículos eléctricos contra los 120.000 vehículos de combustión.

- Comparar las ventajas y desventajas entre este tipo de vehículos y los convencionales conlleva a tomar los puntos primordiales que permiten el punto de inflexión para la decisión, como es el caso de la energía requerida en el caso de vehículos convencionales requiere combustibles fósiles (gasolina), mientras que el vehículo eléctrico dispone de energía eléctrica para recargar las baterías de la cual existen diferentes puntos de recarga alrededor del país y la posibilidad de realizar la instalación de un punto de recarga en residencias locales.

Recomendaciones

- Comparar los diferentes tipos de motores eléctricos que existen en el mercado y que se adapten a las potencias requeridas para el diseño a la vez que se mantienen los parámetros de peso y tamaño adecuados para que dicho motor pueda ser adaptado sin problemas al resto del diseño dentro del vehículo.
- Mejorar el sistema de controlador de velocidad mediante la técnica de control vectorial con la finalidad de obtener un mejor desempeño al momento del desplazamiento del vehículo.
- Instalar un módulo de carga con conectores intercambiables, para así poder acoplarse a todos los diferentes tipos de conectores que se encuentran de manera comercial en los puntos de recargas de vehículos eléctricos.
- Implementar un sistema de control de frenado mixto mediante un controlador que conmute entre el frenado ABS en momentos de acciones bruscas de cambio de movimiento, y el frenado regenerativo cuando se tengan situaciones de frenado ligera, con la finalidad de acoplarse de forma dinámica al frenado requerido.
- Añadir sensores de proximidad y de colisiones al diseño, para prevenir y mejorar el desempeño durante algún accidente de tránsito, al incluir sistemas de emergencia que interactúen con el diseño se tendrá un incremento en los niveles de seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] S.J. González, A. Ramos, F.J. Méndez, “Proyecto de conversión de un automóvil de combustión interna en eléctrico,” Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Eléctrica, ULPGC, Gran Canaria, 2010.
- [2] A. Baranda “Conversión de un vehículo tradicional dotado de motor de combustión a eléctrico puro”, Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Eléctrica, ICAI, Madrid, 2012.
- [3] A.J. García “Análisis y diseño de un motor eléctrico de cinco fases e imanes permanentes para la propulsión de un vehículo eléctrico Cross Rider”, Tesis de Ingeniería, Dpto Ing. Electrónica, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2018.
- [4] C. Pernia, “Pre-diseño de un motor eléctrico para el accionamiento de un automotor”, Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Eléctrica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2015.
- [5] A. X. Cabrera, C.R. Calle “Selección del motor eléctrico, controlador y batería para el vehículo FÓRMULA SAE.”, Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2016.
- [6] I. Rudd “Diseño y construcción de un motor eléctrico de imanes permanentes sin escobillas por medio de técnicas de prototipado rápido”, Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Mecánica, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina, 2018.
- [7] G. I. Palafox “Diseño y construcción de un vehículo eléctrico con variador de velocidad mediante un convertidor CD-CD”, Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Electrónica, Universidad Tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, 2009.
- [8] A. Hernández “Transición de vehículos de combustión interna a vehículos eléctricos”, Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Eléctrica, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2019.
- [9] A. I. Almendros, “Regulación eólica con baterías en vehículos eléctricos”, Tesis de Máster, Facultad Ing. Eléctrica, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2011.
- [10] D. S. Rosero “Diseño y construcción del sistema de propulsión para un prototipo de auto eléctrico biplaza UTA-C1M17”, Tesis de Ingeniería, Facultad Ing. Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.

- [11] R. A. Cárdenas (2014, julio). Diseño, construcción y ensamble del sistema de transmisión y tren de rodaje de un vehículo blindado 4x4 [Online]. Disponible en: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8773/2/T-ESPEL-MAI-0465-P.pdf>
- [12] COMEX (2019). Reducción arancelaria a vehículos eléctricos, baterías y cargadores para vehículos eléctricos [Online]. Disponible en: <https://www.produccion.gob.ec/reduccion-arancelaria-a-vehiculos-electricos-baterias-y-cargadores-para-vehiculos-electricos-promoviendo-el-acceso-a-movilidad-limpia-y-moderna/>
- [13] CTC Magazine (2019, julio). Ventajas y desventajas en vehículos eléctricos [Online]. Disponible en: <https://www.compramostucoche.es/magazine/ventajas-y-desventajas-de-los-coches-electricos/>
- [14] Primicias (2020, octubre). Precios de la gasolina y diésel a partir del 11 de octubre de 2020 [Online]. Disponible en: <https://www.primicias.ec/noticias/lo-ultimo/precios-gasolina-diesel-11-octubre-2020/#:~:text=Entre%20el%2011%20de%20octubre,y%20Premium%20USD%201%2C185983.>
- [15] Xataka (2020, mayo). ¿Merece la pena el coche eléctrico? Aquí tienes una calculadora para comprobarlo [Online]. Disponible en: <https://www.xataka.com/automovil/merece-pena-coche-electrico-aqui-tienes-calculadora-para-comprobarlo-1>

APÉNDICES

APÉNDICE A

SISTEMA ELÉCTRICO IMPLEMENTADO EN SYMPOWER SYSTEMS

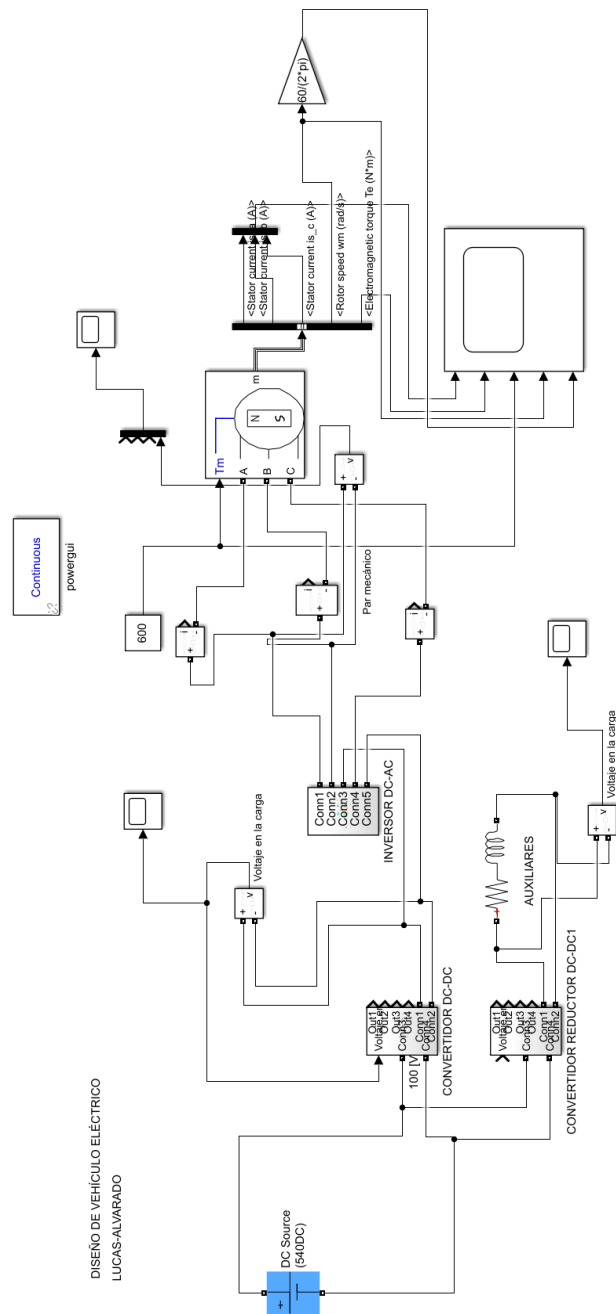


Figura A.1 Sistema de alimentación para el diseño de vehículo eléctrico

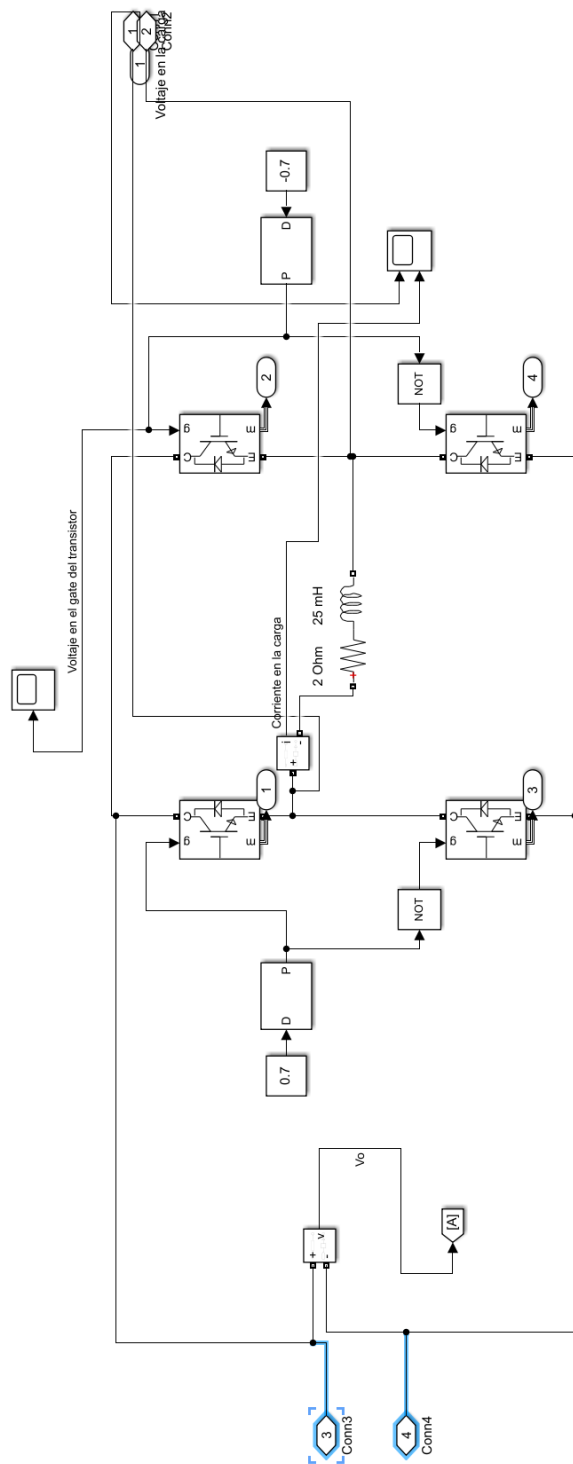


Figura A.2 Subsistema de control de convertidores DC-DC y controlador

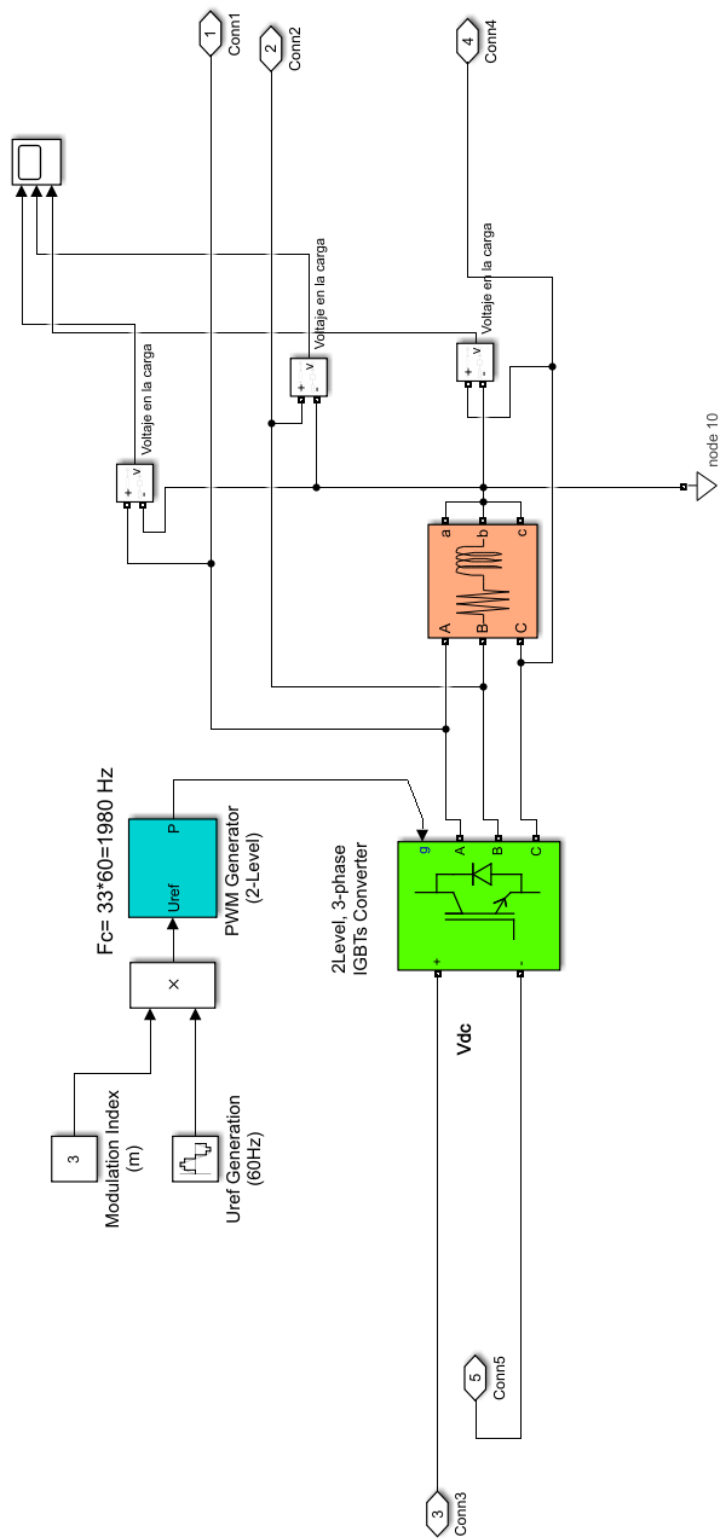
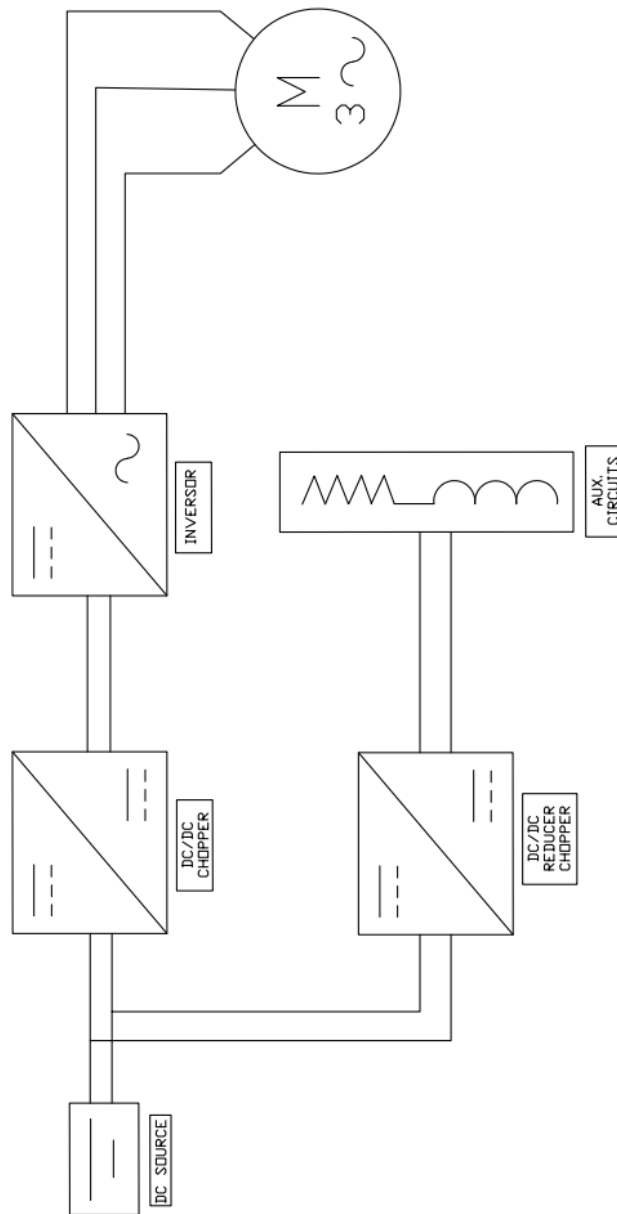


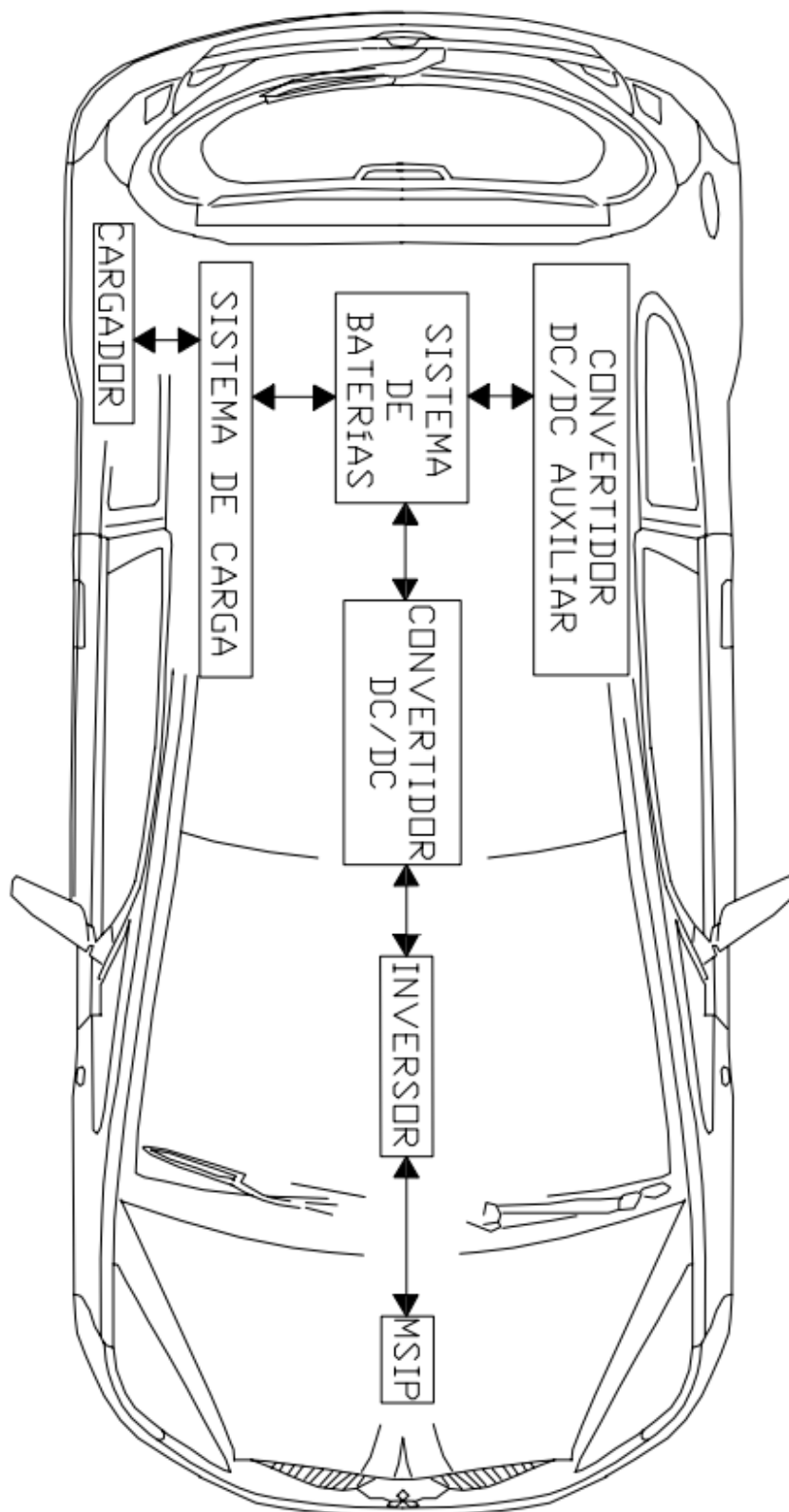
Figura A.3 Subsistema de inversor

APÉNDICE B

PLANO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE KIT DE VEHÍCULO ELÉCTRICO.



PLANO 1. Plano eléctrico del kit de conversión



PLANO 2. Esquemático del diseño de conversión

APÉNDICE C

CÓDIGOS DE MATLAB PARA LOS CÁLCULOS DE VARIABLES DEL DISEÑO

```
% CÁLCULO DE POTENCIA DE MOTOR
clear
clc
%% VARIABLES
%Variables Vehículo SPARK 12-82 [CV]
Alto=1.597;%[m]
Largo=3.595;%[m]
Ancho=1.597;%[m]
Peso=300;% [kg]
VelocidadMax=25;% [m/s] equivalente a 100 []km/h
VMax_pen=11.11; %[m/s] velocidad a 15% de pendiente
g=9.8; %gravedad [m/s^2]
alfa=(8.53)*pi/180; %ángulo de inclinación
uca=0.015; %coeficiente de rodadura caucho y asfalto
A=Alto*Ancho; % área
p=1.225; %densidad del aire
Cd=0.29; % 0.20<Cd<0.40 % coeficiente de resistencia aerodinámica.
V=VelocidadMax;
a=4; % [m/s^2] (vf-v)/t de 10 a 12 segundos
n=0.98; %eficiencia de motor
m_pp=65; %Peso promedio por persona 65 kg
%% ECUACIÓN compuesta por las FUERZAS
%Frr; RODADURA
%Fte; %Fuerza de TRACCIÓN
%Fad; %AERODINÁMICA;
%Fhc; % ASCENCO DEL VEHÍCULO;
m=[];
Pmotorpi=[];
```

```

z=[];
m=(500:10:1000);

%% FUERZA DE ASCENSO
Fhc=m*g*sin(alfa);
%% FUERZA DE RODADURA
Frr=uca*m*g*cos(alfa);
%% FUERZA AERODINÁMICA
Fad=0.5* p*A*Cd*(V^2); %% se debe emplear la velocidad estimada
%% FUERZA DE TRACCIÓN
Fte=m*a+Frr+Fhc+Fad;

%% CÁLCULO DE POTENCA:
%Considerando plano horizontal
Fte1=m*a+Frr+Fad;
Phorizontal=Fte1*V;
PmotorHo=Phorizontal/n; %Ho=horizontal
PmotorHoHP=PmotorHo/745.7; %Potencia en HP

%Considerando plano inclinado
Ppinclinado=Fte*VMax_pen;
Pmotorpi=Ppinclinado/n;
PmotorpiHP=Pmotorpi/754.7;
z=[m.' Pmotorpi.']; %Matriz que guardará los vectores de masa y velocidad
plot(m.',Pmotorpi.);
xlabel('Masa del vehículo [kg]');
ylabel('Potencia del vehículo [w]');
title('Gráfica de Potencia vs Masa');
grid on;

```


%% CÁLCULO DE BATERIAS

%% EFICACIA DEL VEHÍCULO [kW/H]

% A continuación se presentan las variables involucradas con sus
% respectivas unidades

MdS=1.2; %Margen de seguridad

Autonomía=(50:10:150);% [km]

Vrequerido=540; %[V]

Vnominal=3.75; %[V] Voltaje nominal de una celda

CEU=6.8; %[Ah]Carga eléctrica de celda por unidad

Masa=143; % [g] Masa de celda por unidad

%-Eficiencia [kWh/km]

Velocidad=100; % Velocidad en [km/h]

Pmotor=41.1440; % Potencia del motor en [kW]

Eficiencia=Pmotor/Velocidad; % [kWh/km]

%Capacidad [kWh]

Capacidad=Eficiencia*Autonomía;% [kWh]

%Carga Eléctrica [kAh]

CE=Capacidad/Vrequerido; %%

CE1=CE*1e3; %Carga eléctrica expresada en [Ah]

% CELDAS

CeldasSerie=Vrequerido/Vnominal;

CeldasParalelo=CE1/CEU;

TotalCeldas=CeldasSerie*CeldasParalelo

Peso=TotalCeldas*Masa

plot(Autonomía.',Peso.);

xlabel('Autonomía [km]');

ylabel('Peso de celdas [g]');

```
title('Gráfica de Peso de celdas vs Autonomía');  
grid on;
```

```
%% CÁLCULO DE POTENCIA VS VELOCIDAD
```

```
clear
```

```
clc
```

```
%% VARIABLES
```

```
%Variables Vehículo SPARK 12-82 [CV]
```

```
Alto=1.597;%[m]
```

```
Largo=3.595;%[m]
```

```
Ancho=1.597;%[m]
```

```
Peso=300;% [kg]
```

```
VelocidadMax=25;% [m/s] equivalente a 100 [km/h]
```

```
VMax_pen=11.11; %[m/s] velocidad a 15% de pendiente
```

```
g=9.8; %gravedad [m/s^2]
```

```
alfa=(8.53)*pi/180; %ángulo de inclinación
```

```
uca=0.015; %coeficiente de rodadura caucho y asfalto
```

```
A=Alto*Ancho; % área
```

```
p=1.225; %densidad del aire
```

```
Cd=0.29; % 0.20<Cd<0.40 % coeficiente de resistencia aerodinámica.
```

```
V=VelocidadMax;
```

```
a=4; % [m/s^2] (vf-v)/t de 10 a 12 segundos
```

```
n=0.98; %eficiencia de motor
```

```
%% ECUACIÓN compuesta por las FUERZAS
```

```
%Frr; RODADURA
```

```
%Fte; %Fuerza de TRACCIÓN
```

```
%Fad; %AERODINÁMICA;
```

```
%Fhc; % ASCENCO DEL VEHÍCULO;
```

```
m=600;
```

```
Pmotorpi=[];
```

```
z=[];
```

```

v=(5:2:40);
%% FUERZA DE ASCENSO
Fhc=m*g*sin(alfa);
%% FUERZA DE RODADURA
Frr=uca*m*g*cos(alfa);
%% FUERZA AERODINÁMICA
Fad=0.5* p*A*Cd*(v.^2); %% se debe emplear la velocidad estimada
%% FUERZA DE TRACCIÓN
Fte=m*a+Frr+Fhc+Fad;

%% CÁLCULO DE POTENCA:
%Considerando plano horizontal
Fte1=m*1.5+Frr+Fad;
Phorizontal=Fte1*V;
PmotorHo=Phorizontal/n; %Ho=horizontal
PmotorHoHP=PmotorHo/745.7; %Potencia en HP

%Considerando plano inclinado

plot(v.',Phorizontal. ');
xlabel('Velocidad en plano horizontal [m/s]');
ylabel('Potencia del vehículo [w]');
title('Gráfica de Potencia vs Velocidad en plano horizontal');
grid on;

%%CALCULO DE AUTONOMÍA
%% EFICACIA DEL VEHÍCULO [kW/H]
% A continuación se presentan las variables involucradas con sus
% respectivas unidades

MdS=1.2; %Margen de seguridad

```

```

Vrequerido=108; %[V]
Vnominal=3.75; %[V] Voltaje nominal de una celda
CEU=7.2; %[Ah]Carga eléctrica de celda por unidad
Masa=24; % [g] Masa de celda por unidad
Autonomía=[];

%-Eficiencia [kWh/km]
Velocidad=100; % Velocidad en [km/h]
n=(1:1:6)
Pmotor=22.251+(n*4.126) % Potencia del motor en [kW]
Capacidad=41.144
for i=1:6
    Autonomía(i)=Capacidad/Eficiencia(i)
end

plot(n.',Autonomía. ');
xlabel('Número de pasajeros ');
ylabel('Autonomía [km]');
title('Gráfica de Autonomía vs Número de pasajeros');
grid on;

```