

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA.

CONVERSIÓN DE VEHICULO CONVENCIONAL A VEHÍCULO ELÉCTRICO.

Trabajo de Titulación para optar al
Título de TÉCNICO UNIVERSITARIO en
MECÁNICA AUTOMOTRIZ.

Alumnos:

Maximiano Smith Cordero

Luis Alarcón Vásquez

Profesor Guía:

Roberto Leiva I.

2020

Resumen

Palabras Claves: Vehículo eléctrico, conversión de vehículos, Electromovilidad.

El parque automotriz en Chile y en el mundo crece a pasos agigantados, hoy en día los vehículos que predominan en el mercado poseen motores de combustión interna, los cuales, generan altos niveles de contaminación a la atmosfera, aspecto el cual cada día se le da más énfasis, puesto que el impacto que estos generan al medio ambiente ha llegado a niveles alarmantes y debe de ser solucionado para asegurar la continuidad de la especie humana. La búsqueda de soluciones es de vital importancia para lograr ese objetivo. El vehículo eléctrico se presenta como una de las soluciones para combatir el motor de combustión interna y su contaminación.

Los vehículos eléctricos se presentan como el futuro del transporte público y privado, lamentablemente la adquisición de uno de estos vehículos nuevos es una inversión considerablemente alta, la conversión de un VCI (vehículo de combustión interna) a un VE (vehículo eléctrico) se presenta como una solución asequible para entrar al mundo de la electromovilidad.

En el primer capítulo se hace una revisión a los inicios de los VE, presentado los primeros VE, sus capacidades y la popularidad que esto poseían en el mercado, para llegar a la realidad actual en la cual se encuentran los VE. Se evidencian cuales son las ventajas que presenta la adquisición de un vehículo eléctrico, también el impacto que tendrían en el territorio nacional y las proyecciones que se esperan de estos. Finalmente se presentan ejemplos de conversiones eléctricas que se han llevado a cabo en los últimos años por personas naturales.

En el segundo capítulo se describen los componentes que conforman a un VE, definiendo la función que cada elemento realiza en el vehículo, desde motores eléctricos, baterías, sistemas de carga, entre otros. Lo que permite decidir de mejor forma la elección de componentes para la conversión eléctrica.

El tercer capítulo permite aterrizar la idea de la conversión eléctrica, al diseñar un prototipo de conversión, un vehículo clásico de la locomoción colectiva en Chile es tomado como ejemplo, se establece la finalidad que se le quiere dar para así realizar los cálculos pertinentes para determinar los componentes empleados en la conversión del vehículo, para así determinar su viabilidad y prestaciones que llegaría a ser capaz de entregar. Se señalan los pasos que deben de llevarse a cabo para realizar la conversión. El capítulo finaliza con una comparación entre la versión estándar del vehículo con su motor de combustión interna y la versión con motor eléctrico, comparando costos de operación, mantención y autonomía.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	11
1. CAPÍTULO 1 ESTADO DEL ARTE EN PERSPECTIVA DE LA CONVERSIÓN ELÉCTRICA	12
1.1 INTRODUCCIÓN E HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	13
1.1.1 Definición de un vehículo eléctrico.....	13
1.1.2 Vehículos eléctricos en perspectiva histórica.....	13
1.2 IMPACTO MEDIO AMBIENTAL PRODUCTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA	16
1.3 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ACTUALIDAD	17
1.4 Realidad del territorio nacional ante los vehículos eléctricos	20
1.4.1 Percepción de los Chilenos en torno a los vehículos eléctricos.	24
1.4.2 Ventajas de adquirir un vehículo eléctrico	22
1.5 EJEMPLOS DE CONVERSIONES ELÉCTRICAS.	25
1.5.2 Chevrolet S-10.....	26
1.5.3 Teslonda	27
2. CAPITULO 2: ESTUDIO DE COMPONENTES PARA LA CONVERSION DE UN VEHICULO CONVENCIONAL A UN VEHICULO ELECTRICO.....	29
2.1 Máquina de desplazamiento	30
2.2 Tipos de motores eléctricos utilizados en los vehículos eléctricos.	31
2.2.1 Motor de corriente continua.	31
2.2.1.2 Motor eléctrico sin escobilla de imanes permanentes.....	33
2.2.2 Motor de corriente Alterna	34
2.2.2.1 Motor de inducción (IM)	36
2.2.2.2 Motor de reluctancia conmutado (SRM)	37
2.2.2.3 Motor síncrono de imanes permanentes (PMSM)	39
2.3 Sistema de almacenamiento eléctrico.....	41
2.3.1 Batería de plomo-acido:.....	43
2.3.2 Batería de níquel-Cadmio:.....	43
2.3.3 Batería de níquel-Hidruro Metálico:	43

2.3.4 Batería de Litio:	43
2.6 Controladores	47
2.7 Sistema de carga	48
2.8 Sistema de freno Regenerativo	49
3. CAPÍTULO 3 ESTUDIO TÉCNICO/ECONÓMICO DE LA CONVERSIÓN ELÉCTRICA	52
3.1 DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA CONVERSIÓN ELÉCTRICA.....	53
3.2 COMPONENTES PARA EL PROTOTIPO ELÉCTRICO.	54
3.2.1 Motor HPVES AC50	54
3.2.1.1 Controlar, Curtis 1238e-7601	55
3.2.2 Baterías, Tesla Smart Lithium Ion 18650 EV Module.....	56
3.3 COSTO DE COMPONENTES	57
3.4 CÁLCULOS PARA ESTABLECER LA VIABILIDAD DE LA CONVERSIÓN...	57
3.4.1 Potencia	57
3.4.2 Autonomía	58
3.4.3 Carga.....	59
3.5 PASOS PARA LA CONVERSIÓN ELÉCTRICA	59
3.5.1 Finalidad que se quiera dar al vehículo	59
3.5.2 Elección del vehículo	60
3.5.3 Desmontaje de componentes	60
3.5.4 Almacenamiento de energía	61
3.5.5 Sistema de carga	61
3.5.6 Propulsión.....	61
3.5.7 Transmisión	62
3.5.8 Elementos auxiliares del vehículo	63
3.5.9 Circuitos de baja corriente.....	64
3.5.10 Circuito de alta corriente	64
3.5.11 Circuito de 12[V].....	65
3.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LA CONVERSIÓN.....	65
3.7 COMPARATIVA ENTRE LA CONVERSION ELECTRICA Y SU VERSIÓN CONVENCIONAL.	66
3.7.1 Mantenciones.....	66
3.7.2 Autonomía	68

3.7.3 Costos de operación.....	68
BIBLIOGRAFÍA	70
4. Bibliografía.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Vehículos eléctricos más vendidos en Chile durante 2019	21
Tabla 1-2 Especificaciones técnicas del Volkswagen Beetle Baja.....	25
Tabla 1-3 Especificaciones técnicas de la Chevrolet C-10.....	26
Tabla 1-4 Especificaciones técnicas del Teslonda	27
Tabla 2-1 Componentes de baterías Fuente [20] [30]	44
Tabla 2-2 Baterías existentes en el mercado	45
Tabla 3-1 Características Nissan B13.....	53
Tabla 3-2 Rangos de protección de banco de baterías.....	55
Tabla 3-3 Costos de mantención Nissan Sentra B13 versión convencional	67
Tabla 3-4 Costos de mantención que comparten las dos versiones.....	68

ÍNDICE DE GRAFÍCOS

Gráfico 1-1 Comparación de costos de baterías, densidad de energía y cantidad de VE vendidos.....	19
Gráfico 1-2 Venta mundial de VE desde 2013 a 2018	19
Gráfico 1-3 Crecimiento de cargadores públicos y privados durante 2013-2018	20
Gráfico 1-4 Ventas anuales de vehículos eléctricos en Chile 2012-2019	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Woods Phaeton	14
Figura 1-2 Modulo A123 L5	16
Figura 1-3 Volkswagen Baja 1969	26
Figura 1-4 Chevrolet C-10 2003.....	27
Figura 1-5 Teslonda Junto a tren motriz Tesla	28
Figura 2-1 Rotor	30
Figura 2-2 Estator	31
Figura 2-3 Comportamiento de un motor de corriente continua	32
Figura 2-4 Corriente continua.....	32
Figura 2-5 Motor eléctrico sin escobilla de imanes permanentes	33
Figura 2-6 Corriente alterna	34
Figura 2-7 Tres devanados desfasados en 120°	35
Figura 2-8 a) Rotor bobina b) Jaula de ardilla.....	36

Figura 2-9 a) SRM tres fases b) SRM cuatro fases c) rama del convertidor trifásico.....	38
Figura 2-10 Motor síncrono de imanes permanentes	39
Figura 2-11 Componentes de una batería.	42
Figura 2-12 Transformador	46
Figura 2-13 Inversor	47
Figura 2-14 Sistema de frenos regenerativos	50
Figura 3-1 Nissan Sentra B13.....	53
Figura 3-2 Dimensiones Pack de Baterías Tesla Smart 18650 EV Module.....	56
Figura 3-3 Placa para accesorios	64
Figura 3-4 Diagrama de alta corriente.....	65

Siglas y Simbología

Sigla:

VE	: Vehículo eléctrico
VCI	: Vehículo a Combustión Interna
NEDC	: New European Driving Cycle
AC	: Corriente Alterna
DC	: Corriente Continua
RPM	: Revoluciones por minuto
NO _x	: Formula química del oxido nitrógeno
CO	: Formula química monóxido de carbono
HC	: Hidrocarburos
IVA	: Impuesto al Valor agregado
NHTSA	: National Highway Traffic Safety Administration

Simbología:

USD	: Dólar estadounidense
HP	: Caballo de fuerza
km	: Kilómetro
km/h	: Kilómetro por hora
km/l	: Kilómetros por litro
l	: litro
m	: Metro
Nm	: Newton metro
V	: Volt
A	: Amper
Ω	: Ohm
kW	: Kilo watt
W/h	: Watt por hora
Wh/km	: Watt por hora partido en kilometro
s	: Segundo
s ²	: Segundo al cuadrado
m ²	: metro al cuadrado
m/s ²	: metro por segundo al cuadrado
rad/s	: Radianes por segundo

INTRODUCCIÓN

El crecimiento y desarrollo de motores de combustión interna es un proceso que se ha llevado a cabo desde los inicios de su invención en la revolución industrial, este ha sido la base para el transporte y en especial para los automóviles, los cuales, han cambiado la dinámica mundial al permitir viajar por mayores distancias y de forma más rápida, sin lugar a duda es uno de los pilares en la economía mundial.

En las últimas décadas se han realizado constantes mejoras para aumentar la eficiencia del motor de combustión interna y disminuir sus niveles de contaminación al implementando sistemas de recirculación de gases y sistemas catalíticos. Si bien estas medidas ayudan a disminuir los niveles de contaminación no representan una solución definitiva al problema, al igual que los vehículos híbridos.

Las nuevas tecnologías apuntan al uso de vehículos eléctricos, tanto en versiones enchufables como en vehículos impulsados por celdas de combustible. Los cuales se representan como una solución definitiva a la emisión de gases.

Para este trabajo nos enfocaremos en los VE los cuales han tomado un gran protagonismo en los últimos años, cada día más marcas presentan sus versiones eléctricas como también surgen nuevas empresas como es el caso de Tesla, empresa creada para la fabricación de vehículos eléctricos.

Los VE se diferencian de los VCI principalmente en la emisión de gases de escape, la eficiencia del motor, costos de operación y mantención. Un factor importante es la fuente de energía que emplean, a diferencia del VCI el VE puede emplear energías renovables para funcionar en vez de una fuente finita de energía como son los combustibles fósiles.

Los vehículos eléctricos en Chile entran al mercado con un alto precio y el gobierno no presenta medidas para fomentar la adquisición de estos, lo que produce que la adopción del VE en el territorio nacional se dificulte. La conversión eléctrica se presenta como una solución ante el alto costo que presentan los nuevos VE.

La conversión eléctrica se presenta como una solución asequible y simple para poseer un VE, el proceso consiste en elegir un vehículo, determinar un nuevo tren de potencia eléctrico e instalarlo en este. Para aterrizar esa idea se diseña un prototipo para la conversión eléctrica con el propósito de determinar la viabilidad de la conversión.

OBJETIVOS

1) Objetivo general:

Realizar un estudio entorno a la conversión de vehículos convencionales a vehículos eléctricos, para disminuir la contaminación y promover la electro movilidad.

2) Objetivos específicos:

- ❖ Estudiar las diversas tecnologías presentes en la actualidad para lograr la conversión de un vehículo convencional a uno eléctrico, con el fin de apreciar los diversos componentes, para llevar a cabo su construcción.
- ❖ Analizar los costos asociados a la realización de una conversión eléctrica, para así comparar las diferencias con un vehículo convencional.
- ❖ Determinar la viabilidad de la conversión eléctrica para un caso determinado, así aterrizar y visualizar de mejor forma la conversión eléctrica.

CAPÍTULO 1 ESTADO DEL ARTE EN PERSPECTIVA DE LA
CONVERSIÓN ELÉCTRICA

1.1 INTRODUCCIÓN E HISTORIA DE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

1.1.1 Definición de un vehículo eléctrico.

Para entender en que consiste la conversión eléctrica primero se debe de entender que es lo que clasifica como un VE y como es que este se diferencia de un vehículo convencional, este es un vehículo impulsado por uno o más motores eléctricos, los cuales, obtiene energía a través de un conjunto que almacene o produzca energía eléctrica para así ser propulsado.

Los VE pueden ser clasificados en dos categorías, VE con batería, el cual extrae la energía para desplazarse de un banco de baterías (las baterías de ion de litio son las más populares y empleadas en el mercado actual) y VE de celda de combustible, el cual, emplea la electrolisis del hidrogeno para generar electricidad la que es empleada para energizar el conjunto motriz, a diferencia del VE de batería este puede ser recargado en poco tiempo. En este trabajo nos enfocaremos en los VE de batería puesto que los VE con celdas de combustibles aún es una tecnología incipiente y de difícil acceso, por cada 1 VE de celdas de combustibles existen 460 vehículos híbridos y VE de batería [1]. Algunas de las características favorables que presentan los VE comparación de un VCI que estos no producen emisiones de gases contaminantes, los motores eléctricos son superiores en eficiencia energética en comparación de un motor de combustión interna, un motor eléctrico posee una eficiencia del 90% mientras que el motor de combustión interna solo posee un 20% [2].

1.1.2 Vehículos eléctricos en perspectiva histórica

La invención del vehículo eléctrico se remonta a inicios del siglo XIX, siendo el primer vehículo creado por un francés, Gustave Trouve en 1881, el cual contaba con un motor de 0.1 hp, impulsado por baterías de litio recargables, este pasó desapercibido puesto que las prestaciones que entregaba, una velocidad máxima de 15Km/h y una autonomía de 16 Km no competían con los carros tirados por caballos [3].

Con el pasar de los años el VE se fue perfeccionando, en 1902 se encontraba presente en el mercado el Woods Phaeton, el cual, con un costo de \$2000 dólares de la época era capaz de recorrer 29[km] y teniendo una velocidad punta de 22[km/h]. Si bien aún presentaban la estructura de un carruaje como se puede apreciar en la Figura 1-1.



Fuente: History of electric cars. [4]

Figura 1-1 Woods Phaeton

A finales del siglo XIX y a inicios del Siglo XX, existían tres fuentes de energía para el desplazamiento de automóviles, la gasolina, el vapor y la electricidad. Los primeros vehículos impulsado por gasolina presentaban una serie de defectos, estos eran difíciles de manejar puesto que estos aún no contaban con un sistema de arranque automático. Para poner en marcha el motor debía de ser empleada una palanca para girar el motor de forma manual, sumado, la dificultad que presentaba el pasar cambios, el ruido y olor que generaban producto de la combustión. Por otro lado, los vehículos impulsados por vapor consumían mucho tiempo para calentarse en las frías mañanas, llegando hasta demorarse 45 minutos y su autonomía era menor a la de los vehículos impulsados por electricidad [4]. Estas características negativas no las presentaban los vehículos eléctricos, lo que los hacía más atractivos en el mercado, a su vez con la popularización de la electricidad, era más fácil la recarga de estos vehículos. Otro factor importante a tomar en consideración era que a inicios del siglo XX el estado de las calles para el transporte de carruajes y vehículos solo era viable dentro de la ciudad, por lo que no era necesario una gran autonomía para los primeros VE [5].

Todos estos factores hicieron posible la época dorada de los vehículos eléctricos para inicios del siglo XX el país que contaba con la mayor cantidad de VE era Estados Unidos el 40% de los automóviles eran impulsados a vapor, el 38% eran eléctricos y el 22% de gasolina para 1912 existía un total de 33.842 vehículos eléctricos registrados [6]. Los vehículos eléctricos gozaron de buena fama durante esta época, destaca el logro del primer vehículo en romper la barrera de los 100 Km/h, “La Jamais Contente” conducido por Camille Jenatzy que quebró el récord un 29 de abril de 1899 [3].

Si bien el panorama del vehículo eléctrico era prometedor, una serie de factores lo llevaron a la decadencia. Para 1920 Estados Unidos modernizo su sistema de carreteras lo que conllevó a una necesidad de que los vehículos tuviesen una mayor autonomía, necesidad que no podía ser satisfecha con la tecnología que presentaban las baterías de los VE en esa época. Descubrimiento de yacimientos de petróleo en Texas, lo que se tradujo en una disminución del costo del combustible. La invención del motor de partida por Charles

Kettering en 1912, lo que permitió simplificar la partida para el motor de combustión interna. Finalmente, la producción en masa por Henry Ford, permitió disminuir el costo de producción de los vehículos, haciéndolos más accesible, los precios rondaban entre los \$500 y \$1.000 dólares. Para 1912 un vehículo eléctrico se vendía por \$1.750 dólares, mientras que uno a gasolina se vendía por \$650 dólares [4].

Durante los 30's y los 60's los VCI acapararon totalmente el mercado, mientras que los VE se empleaban como carritos de golf o vehículos repartidores [3]. Los VE habían quedado en el olvido hasta la crisis del petróleo en 1973, lo que produjo un despertar en la comunidad científica en la búsqueda de tecnologías no dependientes de combustibles fósiles.

Durante los 70's se produjeron prototipos y alguno que otro VE, pero estos aún dejaban mucho de desear en cuanto a sus prestaciones, presentaban velocidades máximas de 72 [km/h] y autonomías de 64 [km], valores que no logran competir con los VCI [5]. Si bien los VE no eran muy populares, durante esta época se produjo uno icónico el vehículo empleado en la misión del Apolo 11, este tenía un peso de 209 [kg] y era capaz de trasladar hasta 490 [kg] con un rango de 65 [km]. La baja gravedad y la ausencia de aire hizo posible alcanzar un alto rango con tecnología limitada [3].

Durante los 80's surgió una compañía que se dedicaba a la conversión de vehículos convencionales a vehículos eléctricos, Jet Industries sus primeras conversiones fueron microbuses Subaru los cuales se llamaron ElectraVan 600. Otro modelo que tenían en el mercado era el Jet Electrica, la base para estos vehículos era el Ford Escort, el cual era comprado a Ford como un auto completo sin el tren motriz. Este contaba con un motor Prestoline de 96 [V] energizado por baterías de plomo ácido [4]. Las conversiones tuvieron un buen recibimiento en el mercado producto de crisis del petróleo, pero una vez superada estos quedaron en el olvido.

Ya para la década de los 90's el interés por los VE era mínimo, hasta que se empezó a tomar más en serio el impacto que los VCI producían al medio ambiente, para 1990 se aprueba el Clean Air Act y en 1992 se crea una ley de política energética para regular las emisiones del transporte por el estado de California. Medidas que generan un interés en los VE [5]. Un vehículo que destaca por sobre el resto durante esta época fue el EV1 fabricado por General Motors, desde 1996 hasta 1999, este había sido diseñado desde cero, sin ocupar una plataforma existente como lo habían hecho otras marcas. Con una primera versión que contaba con baterías de plomo ácido, para luego ser remplazadas por baterías de níquel-metal hidruro las cuales entregaban una autonomía de 240 [km] en condiciones óptimas de manejo. El EV1 tenía una velocidad tope de 128[km/h] con una aceleración tope de 0 a 80[km/h] en tan solo 6.3 segundos, con un peso 725[kg] [4]. Para 1999 se detendría la producción en la planta de GM y para 2003 se cancela el programa oficialmente, con la justificación de que la mantención de los vehículos era muy costosa. Para la fecha se habían fabricado 1.117 EV1.

Para inicios del siglo XXI se genera el verdadero renacimiento de los VE, con la entrada al mercado de Toyota Prius, siendo el primer vehículo híbrido de producción masiva, el cual ayudo a popularizar el vehículo eléctrico. Destaca la compañía A123 Hymotion, la cual realizada la conversión del Prius a través de un kit, que transformar de híbrido a eléctrico

enchufable el vehículo, esto lo lograban al instalar un módulo L5 como se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el cual cuenta con baterías de litio, que entregan 5 [kWh] y una autonomía de entre 50-60 [km] [7].



Fuente:

https://htpr.cnet.com/p/?u=http://i.i.cbsi.com/cnwk.1d/i/bto/20080428/IMG_0475_540x405.JPG&h=7RFyO5yMftbl_Cwmmj_eNw

Figura 1-2 Modulo A123 L5

Tesla surge durante los inicios del 2000, esta fue creada con el fin de continuar con el legado que había dejado el EV1 de GM, ya que, los fundadores habían sido parte activa de la creación del modelo. En 2007 se muestra al mundo el Roadster, el cual se construyó con la base del Lotus Elise, un deportivo de dos puertas. Con una batería de ion de litio de 53 [kW/h] y 375[V], una velocidad máxima de 201 [km/h], aceleración de 0-100[km/h] en tan solo 3,7 [s] y una autonomía total de 395 [km] conducido bajo el ciclo NEDC [8]. Este se presenta como uno de los primeros vehículos capaces de competir con los VCI en cuanto a prestaciones. Este fue producido desde 2008 hasta 2012.

El siguiente modelo presentado por Tesla fue el Model S en 2009, un sedán lujoso, construido en su totalidad por Tesla, se presentaron diferentes versiones del Model S, siendo la más avanzada, la versión P85D, con dos motores, uno para cada eje, con lo que es capaz de alcanzar una velocidad de 0-100 [km/h] en solo 3,2 segundos y una velocidad máxima de 250[km/h], con una batería de 85 [kW/h] y 366 [V] permite una autonomía de 480 [km] [8].

1.2 IMPACTO MEDIO AMBIENTAL PRODUCTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

En el presente la mayoría de los medios de transporte dependen de la combustión de hidrocarburos, la combustión se produce al mezclar combustible con aire lo que produce

energía mecánica, calor y gases liberados a la atmosfera. Idealmente la combustión de hidrocarburos produciría solo dióxido de carbono y agua, los cuales no afectan el medio ambiente producto de que el dióxido de carbono es consumido por plantas para generar la fotosíntesis y este no es toxico para organismos vivos mientras no exista una concentración mayor de este que de oxígeno en el aire.

El problema se produce puesto que la combustión de hidrocarburos en motores de combustión interna no es ideal, estos no solo generan dióxido de carbono y agua, si no, que también generan oxido nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos no quemados (HC), los cuales son tóxicos para la vida humana.

El óxido nitrógeno es uno de los gases presentes en el smog y este reacciona con el agua de la lluvia lo que produce la lluvia acida. El monóxido de carbono es producto de la quema incompleta de hidrocarburos, este gas es un veneno para las vida humana y animal, al disminuir los niveles de oxígeno en la sangre. Hidrocarburos no quemados producen smog y aumento de ozono [3].

El dióxido de carbono y otros gases producen el efecto de invernadero, que es un problema directo para el calentamiento global, estos gases retienen la energía calórica reflejada por la superficie terrestre, haciendo que esta energía no sea disipada lo que se traduce en un aumento de la temperatura en la tierra, esto produce un daño mayor al ecosistema de la tierra y afecta directamente a desastres naturales, como huracanes e inundaciones.

Si bien el dióxido de carbono puede ser procesado por la naturaleza a través del océano y las plantas, se ha llegado a un punto en que se sobrepasa la cantidad que la naturaleza puede procesar, lo que produce una acumulación mayor de dióxido de carbono en la atmosfera.

1.3 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA ACTUALIDAD

Hoy en día cada vez son más las marcas tradicionales de vehículos que están produciendo sus propias versiones eléctricas, todas estas marcas se están dando cuenta de la dinámica mundial en la cual la propulsión eléctrica reinará las carreteras, de acuerdo con el acuerdo de Paris para 2030 el 20% de los vehículos del mundo deben de ser propulsado por electricidad [9]. Bajo esta nueva dinámica mundial, Alemania dictamino una resolución para la prohibición de venta de vehículos nuevos impulsados por motores de combustión interna, esto para el 2030 [10], esta medida no ha pasado desapercibida generando que todas las marcas fabricantes de vehículos cambien sus planes de producción a futuro, para así producir vehículos eléctricos.

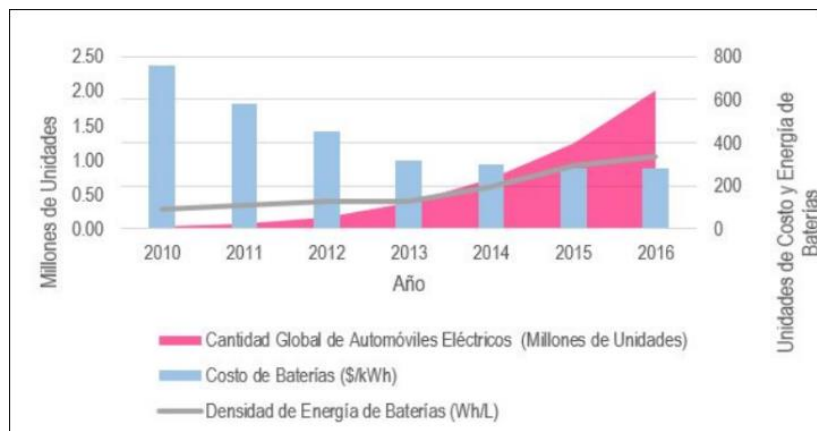
Volkswagen es otra compañía que está enfocando sus recursos en los VE, en 2019 hicieron el comunicado que la compañía no se relacionaría más en competencias

automovilísticas que fuesen propulsadas por motores de combustión interna, dejando claro que emplearían sus recursos en fomentar el VE [11], poniendo especial énfasis en su nuevo VE el ID.R un vehículo de carreras el cual ha sido capaz de romper numerosos récords de tiempo en circuitos famosos alrededor del mundo, como en, Pikes Peak, Nürburgring, Goodwood y Tianmen.

En 2019 la compañía que más VE vendió fue Tesla, con un total de 367.500 vehículos, cifras que superan la cantidad de vehículos que esta marca había vendido en los dos últimos años sumados [12]. Las ventas de Tesla se han visto incrementadas producto de su nuevo modelo, el Model 3, su popularidad es producto de sus altas prestaciones y comodidades, este cuenta con un sistema de piloto automático y ha logrado la calificación más baja de probabilidad de accidentes según la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration, organismo estadounidense que se encarga de realizar simulaciones de choque para determinar la seguridad de los vehículos que se comercializan en respectivo país) de cualquier vehículo [13], acompañado de un módico precio de 35.000 dólares para el modelo base.

El creciente éxito de la compañía estadounidense es producto de su modelo económico, en sus inicios, estaban enfocados a diseñar y construir un VE que rompiera con los estereotipos que poseían los VE en aquel periodo. Esto fue logrado con el Tesla Roadster, el cual con sus altas prestaciones fue y es capaz de competir con el VCI. Tanto fue el éxito del primer modelo de Tesla que este motivo a otros fabricantes a crear sus versiones eléctricas. Una vez lograda la primera etapa Tesla se enfocó en crear un mayor número de vehículos, estos serían de alta gama y a un precio elevado, lo cual se logró con el Tesla Model S y el Model X. Una vez adquirido los recursos y la positiva imagen producto de sus anteriores modelos, Tesla llega a la etapa final, el producir un VE a gran escala y un precio razonable para la clase media, esto se logra a través del Model 3.

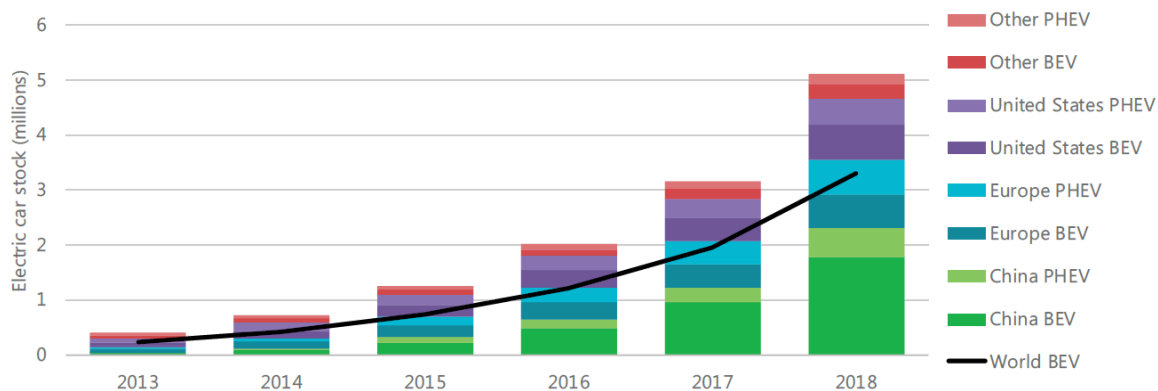
El principal factor técnico que afecta el costo de un VE es el precio de las baterías [14], esto produce que los compradores no se interesen en comprar un VE nuevo, ya que, un VCI posee un valor inferior. Para lograr la masificación de los VE los costos de las baterías deben de reducirse, estas han disminuido su precio de forma constante con el pasar del tiempo, en 2008 se encontraban a \$1.000 [USD/kWh] para finales de 2018 se encontraban a \$ 175[USD/kWh] [4]. En el Gráfico 1-1 se aprecia como la disminución del costo de las baterías ha influenciado en la venta de VE [9].



Fuente: Electromovilidad, tendencias y experiencia nacional e internacional. [9]

Gráfico 1-1 Comparación de costos de baterías, densidad de energía y cantidad de VE vendidos

En el 2018 se registraron más de 5.1 millones de VE nuevos registrados a nivel mundial, lo que significó un aumento en el 63% en comparación con el 2017 [1], datos que demuestran la creciente popularidad de los VE. De estos 5.1 millones de EV el 45% proviene de China, como se muestra en el Gráfico 1-2.

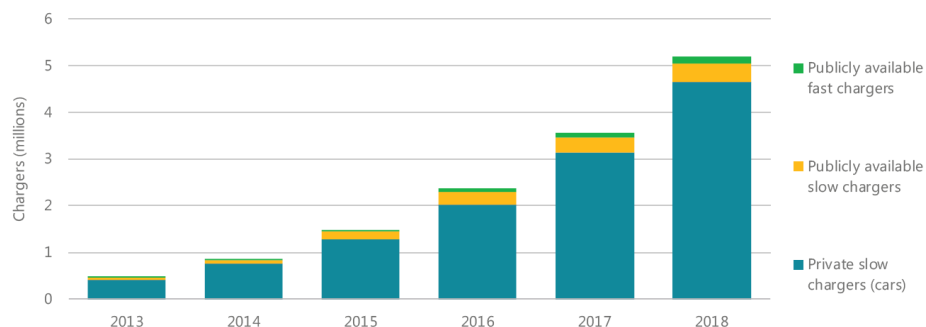


Fuente: Global EV Outlook 2019. [1]

Gráfico 1-2 Venta mundial de VE desde 2013 a 2018

El aumento de VE en las calles requiere una infraestructura que permita la carga de estos vehículos, los cuales pueden ser cargados de forma lenta en redes domesticas o puede ser cargados en estaciones de carga rápida. Se estima que mundialmente existen 5.1 millones de estaciones de carga, de los cuales 144.000 son cargadores rápidos públicos (representado

por el color verde) y 395.000 cargadores lentos públicos, como se aprecia en el Gráfico 1-3 la diferencia [1].



Fuente: Global EV Outlook 2019. [1]

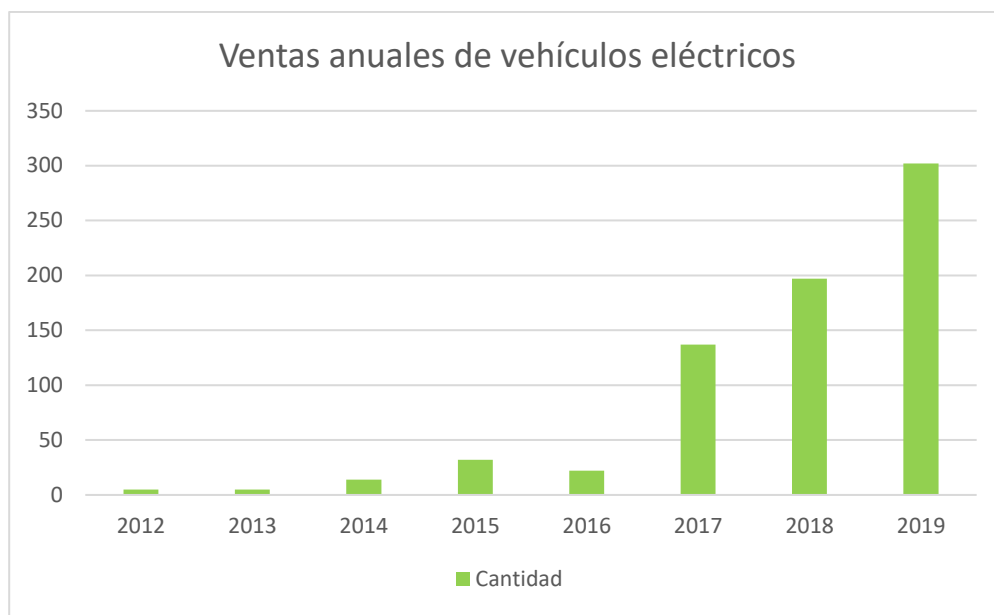
Gráfico 1-3 Crecimiento de cargadores públicos y privados durante 2013-2018

Para masificar el uso del VE algunos países han creado incentivos para fomentar la adquisición de estos. El caso más destacado es Noruega, el cual, entrega a los usuarios que posean un VE beneficios tales como, la eliminación del impuesto al comprar un vehículo particular, peajes gratuitos, estacionamientos gratuitos, carga gratuita, viajes en ferries gratuitos, ventas de VE sin IVA, entre otros beneficios. De los cuales la excepción al IVA y peajes gratuitos fueron los beneficios más importantes según los usuarios de VE en tal país [14].

1.4 REALIDAD DEL TERRITORIO NACIONAL ANTE LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Los vehículos eléctricos aún se presentan como una nueva tecnología y esto se refleja más en nuestro país, para comprender la realidad que afrontamos como país en torno a los VE es necesario revisar ciertos aspectos sobre esta nueva tecnología. Aspectos como las ventas de VE en los últimos años, los puntos de cargas disponibles y la opinión que poseen las personas en torno a los VE son vitales para determinar el futuro que tendrán estos.

En el 2019 el mercado nacional de VE creció en un 53%, con un total de 302 vehículos vendidos durante el 2019 de carácter privado, siguiendo con la dinámica de años anteriores como se muestra en el Gráfico 1-4. Siendo los vehículos más populares el Hyundai Ionq y el Nissan Leaf, con 82 y 61 unidades vendida correspondientemente durante el 2019 [18] como se muestra en la Tabla 1-1.



Fuente: Elaboración propia según informe del mercado automotor, ANAC. [18]

Gráfico 1-4 Ventas anuales de vehículos eléctricos en Chile 2012-2019

Tabla 1-1 Vehículos eléctricos más vendidos en Chile durante 2019

Vehículo	Cantidad	Valor	Autonomía
Hyundai Ioniq	82	\$27.490.000	280 [km]
Nissan Leaf	61	\$31.290.000	389 [km]
BMW i3	14	\$42.300.000	250 [km]

Fuente: Elaboración propia según informe del mercado automotor, ANAC. [18]

Como se aprecia en la tabla 1-1 el costo de los VE se presenta muy alto, este es el factor que afecta de más la inserción de los VE al mercado nacional. El Hyundai Ioniq tiene un valor aproximado de \$27.5 millones de pesos, al compararlo con el Hyundai Accent el cual presenta similares características en cuanto a carrocería, presenta un costo aproximado de \$7.5 millones de pesos. Adquirir un VE es 3 veces más caro que un VCI con similares características.

Si bien la inversión inicial es elevada, los costos de operación son reducidos para el VE, en el capítulo 3 se establece que para recorrer 100 [km] en la versión eléctrica del Nissan B13 el costo es de \$1.048 pesos y para recorrer esta misma distancia con la versión con motor de combustión interna es de \$7.650 pesos.

Una desventaja que presentan los VE es su autonomía, con el pasar del tiempo han aumentado considerablemente pero aún no llegan a competir con los VCI, el Nissan Leaf es el que presenta la mayor autonomía de los VE en el mercado nacional, sus 389[km] no se comparan a la autonomía que tendría un VCI convencional, el cual, es capaz de recorrer entre 600-1.200 [km] con un solo estanque de combustible. Las estaciones de carga rápida son

indispensables para los VE para poder desplazarse entre ciudades, el caso de Chile, en junio de 2019, existen un total de 149 conectores de los cuales se dividen en 122 puntos de carga lenta y 27 de carga rápida. Del total de electrolineras 71 se encuentran dentro de la región metropolitana, se estima que para 2024 sean 1.000 las electrolineras en todo el país, tanto en ciudades como en carreteras [16].

El gobierno no se ha querido quedar atrás de los países del primer mundo en materia de electro movilidad, para lo cual, ha generado una serie de instrumentos de política pública, como la Estrategia Nacional de Electromovilidad y la Ruta Energética 2018-2022 los cuales apuntan a fomentar el uso de los VE y disminuir los efectos negativos de los VCI.

Alguna de las metas que plantea la Ruta Energética 2018-2020, son, establecer un etiquetado de eficiencia vehicular, para visibilizar el consumo de los vehículos y poder elegir alternativas con mayor eficiencia. Se espera que para 2022 existan 10 veces más VE en las calles de los que había en 2018. Se espera que para 2050 el 40% de los vehículos particulares sean eléctricos y el 100% del transporte público también sea eléctrico [17]. En Chile un tercio del consumo energético es destinado al sector del transporte, del cual el 98% proviene de derivados del petróleo, se espera evitar 11 millones de toneladas de dióxido de carbono y reducir el gasto energético del país en más de 3.300 millones [9].

Chile desde una mirada exterior se presenta como líder a nivel latinoamericano en términos de electromovilidad, uniéndose a la “Electric Vehicle Initiative” en el 2018, a su vez, presenta la flota de buses eléctricos más grande del mundo después de China y se espera electrificar todo el transporte público para el 2040 [1].

1.4.1 Ventajas de adquirir un vehículo eléctrico

La movilidad eléctrica conlleva una gran numero de ventajas, principalmente que el transporte se vuelva más eficiente energéticamente, a su vez, se produce una reducción de gases de efecto invernadero, mejor calidad del aire local y una disminución de la dependencia del petróleo, factor de suma importancia para el territorio chileno, puesto que, al no ser productores nos vemos obligados a la importancia de este producto lo que encarece su costo [9].

Impacto en el medio ambiente, a diferencia de los vehículos tradicionales, los vehículos eléctricos no generan emisiones de material particulado a la atmosfera, lo cual solucionaría una gran problemática para ciudades saturadas en material particulado como lo es Santiago.

El motor de combustión interna presenta porcentajes sumamente bajos de eficiencia energética, un 20% para motores de ciclo otto y un 40% en ciclo diesel [19], estas máquinas generan más calor que energía útil. En el caso de los motores eléctricos estos poseen una eficiencia superior al 90% y su fuente de energía puede provenir de fuentes renovables.

Si bien solo el 45% de la energía eléctrica producida en Chile durante 2018 provino de fuentes renovables de energía [20] y se espera en que para el 2050 el 70% de la matriz energética provenga de fuentes renovables de energía [21] lo que generaría un menor impacto al usar vehículos eléctricos.

Diversificación energética, 98% de la energía del sector del transporte proviene de combustibles fósiles [17], lo cual hace que Chile sea sumamente dependiente de este recurso, el cual, tiene una alta fluctuación en precios debido a su importación, el aumento de la electromovilidad producirá, a su vez, un aumento en el uso de electricidad lo que generaría en el futuro una reducción en el consumo de combustibles fósiles.

Mantenimiento y residuos, los vehículos eléctricos no requieren un sistema de lubricación en su motor con mantenimientos periódicos a diferencia de los motores de combustión interna, los cuales, emplean aceites y filtros para mantener el motor del vehículo en óptimas condiciones, este aspecto hace que la mantención a largo plazo de los VE tengan un costo menor en comparación a los VCI, como se evidencia en el capítulo 3 de este trabajo.

La masificación de los vehículos eléctricos presenta un gran fomento para la economía chilena en cuanto a materias primas, un vehículo eléctrico requiere entre 80-85 kilogramos de cobre y la batería entre 40-80 kilogramos de litio, se estima que la demanda de litio aumente de 180 mil toneladas a 500 mil toneladas lo que significaría unos \$6.000 millones de dólares para el 2025 [9].

En Chile, según el decreto 211, se permite el cambio de motor de diferentes plataformas a vehículos que hayan sido inscritos antes del 1 de septiembre de 1992, esto con el objetivo de cumplir con los estándares de emisiones establecidos [22]. Esto permitiría que vehículos inscritos antes de 1992 puedan ser convertidos a eléctricos y sean libres de circular por el territorio nacional [23].

Lamentablemente a principios del mes de diciembre el ministro de transportes emitió la circular N°193, la cual, les prohíbe a las plantas de revisión técnica la aprobación de conversiones eléctricas [24], lo que produciría que estas no puedan circular por el territorio nacional. La medida se produce con la justificación de que la conversión no solo es un cambio de motor sino una transformación completa del vehículo y que podrían verse afectadas medidas de seguridad en el vehículo. Esta medida es contraproducente por parte del gobierno puesto que no fomenta la electromovilidad, la conversión es la alternativa más exequible de que existe para entrar al mundo de los vehículos eléctricos. Para solucionar el problema de la certificación de estos vehículos el gobierno debe crear un ente propio que se dedique a la homologación de las conversiones eléctricas, como sucede en el caso del estado de California en Estados Unidos [25].

1.4.2 Ventajas de realizar la conversión eléctrica

El costo, hoy en día en Chile adquirir un vehículo 100% eléctrico se presenta como una inversión elevada, siendo el Hyundai Ioniq el vehículo más popular y asequible en el territorio chileno con un costo de unos \$27.5 millones de pesos. Este es el factor de mayor inflexión al adquirir un vehículo eléctrico, puesto que, por el tercio de ese valor se puede adquirir un vehículo de semejantes características con un motor de combustión interna. La conversión se presenta como una alternativa económica para entrar al mundo de la electro movilidad particular, debido que al contar ya con un vehículo existente la inversión para obtener un VE será solo la de los componentes y su instalación. Realizar la conversión eléctrica se muestra como una alternativa viable al tener un impacto positivo en el medio ambiente, al entregarle una nueva vida a un vehículo que se encuentre en desuso, esto ayuda a reutilizar un vehículo que terminaría desechado, disminuyendo el impacto que este tendría al medio ambiente.

Al realizar la conversión eléctrica en un vehículo con un alto número de ejemplares vendidos en el comercio nacional, entrega la oportunidad de que los repuestos presentes en el mercado sean más accesibles de obtener en comparación a los de un vehículo nuevo, esto se transforma en una disminución en los costos de mantención y reparación del vehículo. Esta característica permite tener lo mejor de dos mundos por un lado bajos costos de mantención y las prestaciones que entrega un vehículo eléctrico.

1.4.3 Percepción de los Chilenos en torno a los vehículos eléctricos.

La percepción del público es de suma importancia para la venta de un producto. Se han tomado los resultados de “Caracterización de la demanda por vehículos eléctricos en Santiago de Chile” por Esteban Figueroa, ingeniero civil de la universidad de Chile, en el cual se revisan una serie de encuestas realizadas a personas que eran usuarios de VE y otro grupo que no poseía.

En primera instancia se encuestaron a profesionales de entre 35-55 años, con altos ingresos, los cuales al menos poseían un vehículo, pero este no era eléctrico, los resultaron arrojaron que la principal barrera para la adquisición de un VE era el costo de este, ya que, sobrepasaba el monto por el cual estaban dispuesto a pagar y que por el mismo valor del VE podían adquirir un VCI con posea mejores atributos en cuanto a comodidad y desempeño. Otro de los aspectos negativos que fueron nombrados sobre el VE fue la baja autonomía y escasez de puntos de carga.

Otro grupo que fue encuestado, se trata de los ganadores del plan de movilidad eléctrica para empleados, iniciativa impulsada por la multinacional Enel. Este plan consistía en ofrecer 3 modelos de vehículos eléctricos a elección, a 30 beneficiados, los beneficios

consistían en un descuento por la compra del vehículo, préstamos sin interés, instalación de cargadores a domicilio, mantenciones incluidas, garantía de la batería del vehículo.

Los ganadores del plan vieron los mismos aspectos negativos del VE que el grupo que no poseía VE, sumado a, los tiempos de carga, el costo del permiso de circulación, los altos impuestos de compra y la falta de ruido, que podía causar accidentes. Dentro de los aspectos positivos que poseen los VE, los ganadores lograron apreciar la aceleración en salida del vehículo, la conducción eficiente y un buen desempeño como segundo vehículo. A diferencia de lo que planteaba el primer grupo, los ganadores establecieron que no era necesaria aumentar la red de cargadores dentro de la ciudad, sino que, era más importante priorizar los cargadores entre ciudades.

1.5 EJEMPLOS DE CONVERSIONES ELÉCTRICAS.

En la actualidad existen un gran número de conversiones eléctricas realizadas a vehículos existentes en el mercado, el usuario es el que determina la finalidad que se le quiera dar al vehículo, en base a esa finalidad son los componentes que se emplearan.

En las tablas Tabla 1-2, Tabla 1-3 y Tabla 1-4 se detallan datos específicos de cada conversión, como el vehículo original que fue convertido, motor eléctrico, controlador, baterías, autonomía, entre otros.

1.5.1 Beetle Baja

El modelo más emblemático de la marca Alemana, se le entregó un nuevo tren motriz y una diferente finalidad, diseñado para ser confiable bajo conducción normal, a su vez, pueda desempeñarse en terrenos difíciles, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra que el vehículo está preparado para conducir por terrenos difíciles, este Volkswagen Beetle de 1969 es propulsado por un motor trifásico de corriente alterna, en conjunto con 8 módulos de baterías Tesla, entrega una capacidad de 126 voltios al sistema lo que permite al vehículo tener una autonomía de unos 112 kilómetros en zona urbana y una velocidad final de 120 [km/h] [26].

Tabla 1-2 Especificaciones técnicas del Volkswagen Beetle Baja

Vehículo	Volkswagen Beetle 1969
Motor	HPEVS AC50 Trifásico AC
Transmisión	Propia del vehículo
Controlador	Curtis 1238, refrigerado por liquido
Baterías	8 módulos Panasonic Smart-Tesla, ion litio. 126 [V]
Autonomía	112 kilómetros en ciudad 96 kilómetros en carretera
Velocidad máxima	120 [km/h]

Fuente: Elaboración propia según EV Album, 1969 Volkswagen Beetle [26]



Fuente: <http://www.evalbum.com/popupimg.php?27689>

Figura 1-3 Volkswagen Baja 1969

1.5.2 Chevrolet S-10

Construido con la finalidad de ser un vehículo confiable y sin sacrificar la versatilidad que entrega una camioneta, esta posee un motor de corriente continua conectado al sistema de transmisión existente en el vehículo, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el motor es alimentado por una serie de baterías de ion de litio que entregan un total de 224 voltios y 32.3 kWh entregando una autonomía de unos 154 kilómetros con una sola carga [27].

Tabla 1-3 Especificaciones técnicas de la Chevrolet C-10

Vehículo	2003 Chevrolet S-10
Motor	Netgain Warp 9 de corriente continua
Transmisión	Propia del vehículo, 5 velocidades
Controlador	Manzanita Micro Zilla 1000 [A]
Baterías	70 CALB/Skyenergy CA180FI, 224 [V]
Autonomía	154 km
Velocidad máxima	112 [km/h] Teóricamente hasta los 190 [km/h]

Fuente: Elaboración propia según EV Album, 2003 Chevrolet S-10 [27]



Fuente: <http://www.evalbum.com/img/5403/5403d.jpg>

Figura 1-4 Chevrolet C-10 2003

1.5.3 Teslonda

Teslonda es la unión de un Honda Accord de 1981 con el tren motriz trasero de un Tesla Model S, el cual consta de un motor de corriente alterna, un inversor de corriente DC a AC, diferencial, sistema de suspensión y frenado; como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** El módulo es energizado por un conjunto de baterías extraídas de un Chevrolet Volt, el conjunto es capaz de entregar una aceleración de 0-100 km/h en tan solo 2.4 segundos, demostrando las capacidades de torque instantáneo que poseen los motores eléctricos [28].

Tabla 1-4 Especificaciones técnicas del Teslonda

Vehículo	Honda Accord 1981
Motor	Extraído de un Tesla S P85
Transmisión	1 velocidad, propia del conjunto Tesla
Controlador	Raspberry PI
Baterías	Modulo proveniente de Chevrolet Volt, 400 [V]
Aceleración 0-100km/h	2.4 segundos

Fuente: Elaboración propia según, Jalopnik [28]



Fuente: <https://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/urvytu56edtbqcxln06o.jpg>

Figura 1-5 Teslonda Junto a tren motriz Tesla

CAPITULO 2: ESTUDIO DE COMPONENTES PARA LA CONVERSION DE
UN VEHICULO CONVENCIONAL A UN VEHICULO ELECTRICO.

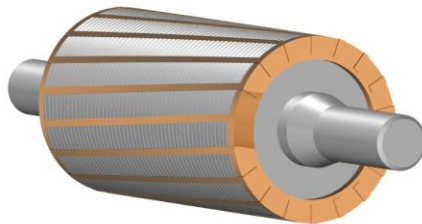
2.1 MÁQUINA DE DESPLAZAMIENTO

En un vehículo eléctrico, el sistema de propulsión tiene la función de convertir la energía, en este caso eléctrica, a energía mecánica, la cual es transmitida a las ruedas motrices, para que el vehículo se desplace, esa transformación de energía es producida por el motor eléctrico.

Los motores eléctricos están caracterizados por entregar un mayor rango de velocidad de giro para un alto par, por lo general, no se utiliza una caja de velocidades, sin embargo, en conversiones de bajo presupuesto, donde no se cuenta con motores de alto rendimiento, utilizar la caja de cambio simplifica el trabajo del motor, así como también el de la persona que lo adapta. También existen vehículos que cuentan con un solo motor de gran potencia unido directamente a un diferencial y este hacia la rueda. También existen diseños más complejos en los cuales se implementan 2 motores y cada uno de ellos se conecta independientemente a una rueda, el sistema de control es el encargado de regular la velocidad de ambos motores, incluso en curvas, en donde uno de los motores debe variar la velocidad, esto cumple la función de un diferencial.

Los motores eléctricos cuentan con dos partes principales, una fija llamada estator, y una móvil que recibe el nombre de rotor. Su composición es de material ferromagnético y cuenta con ranuras longitudinales en donde almacena un hilo conductor de cobre, de esta manera se configuran los devanadores inductor e inducido. El devanador inductor es el que origina el campo magnético para inducir la tensión en el devanado inducido.

Rotor: Constituye la parte móvil del motor, la cual gira durante el funcionamiento del mismo. Está constituido por un eje y un núcleo, existen de dos tipos: jaula de ardilla y bobinado, un ejemplo es la Figura 2-1. Es el elemento de transferencia mecánica, ya que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica.



Fuente: Análisis, diseño y simulación del comportamiento mecánico de un motor asíncrono trifásico, utilizando el método de los elementos finitos. [29]

Figura 2-1 Rotor

Estator: Constituye la parte fija del motor que va unida a la carcasa del mismo. En este se encuentra un conjunto de chapas magnéticas y sobre esta misma el bobinado, esto se presenta en la Figura 2-2.



Fuente: Análisis, diseño y simulación del comportamiento mecánico de un motor asíncrono trifásico, utilizando el método de los elementos finitos. [29]

Figura 2-2 Estator

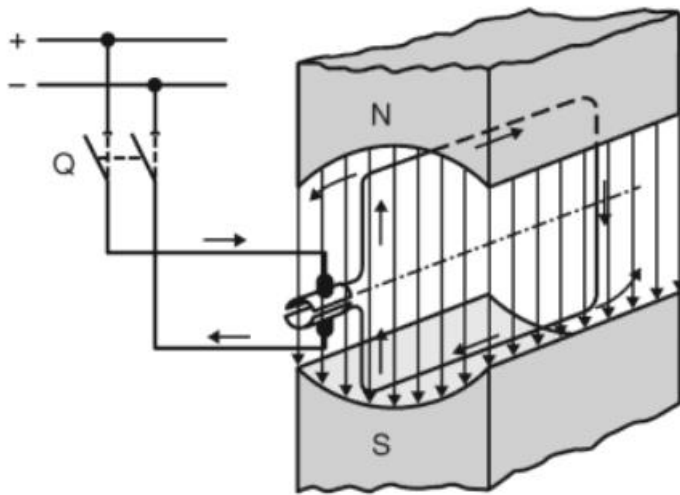
2.2 TIPOS DE MOTORES ELÉCTRICOS UTILIZADOS EN LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.

Los motores eléctricos son energizados con voltaje obtenido de un conjunto de baterías. Estos se pueden dividir en motores de corriente continua y motores de corriente alterna. Luego existe la subdivisión de los motores por sus componentes y funcionamiento.

A continuación, se entrará en un tema que consiste en entender cómo actúa los diversos tipos de corriente existentes, y con esto conocer los diversos tipos de motores eléctricos sometidos a estudio y estudiar sus características, como su principio de funcionamiento.

2.2.1 Motor de corriente continua.

Se denominan motor de corriente continua, debido al tipo de corriente eléctrica que utiliza. En la Figura 2-3 se muestra el comportamiento de una espira alimentada por corriente continua a través de escobillas y colectores, esta es sometida a la influencia de campos magnéticos, esto permite un desplazamiento, y en este caso, se produce un giro de la espira

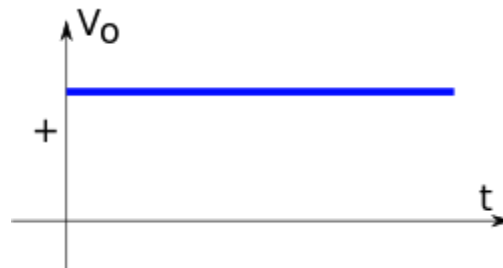


Fuente: Motores de corriente continua. [30]

Figura 2-3 Comportamiento de un motor de corriente continua

Para determinar el sentido de rotación de la espira, se tiene que tener en cuenta la dirección de la corriente eléctrica, la cual circula por ambas partes activas de la espira sometida a la influencia de los campos magnéticos, y aplicando la ley de la mano izquierda la que permite determinar el sentido de desplazamiento que tendrá la espira por efecto de la reacción del nuevo campo magnético generado por la corriente que circula por la espira, contra el campo magnético del imán permanente que lo ha creado.

La corriente continua consiste en una corriente eléctrica la cual presenta un flujo continuo de carga eléctrica a través de un conductor, entre dos puntos, esta no cambia el sentido con respecto al tiempo, esto se puede ver representado en la Figura 2-4.



Fuente: Modificación y preparación de un vehículo Suzuki Forsa I para competencia de rally. [31]

Figura 2-4 Corriente continua

Este tipo de corriente permite obtener una velocidad variable y puede ser alimentado directamente de la corriente de la batería, sin la necesidad de complejos circuitos electrónicos. Su eficiencia a plena carga oscila entre el 85% y 95%.

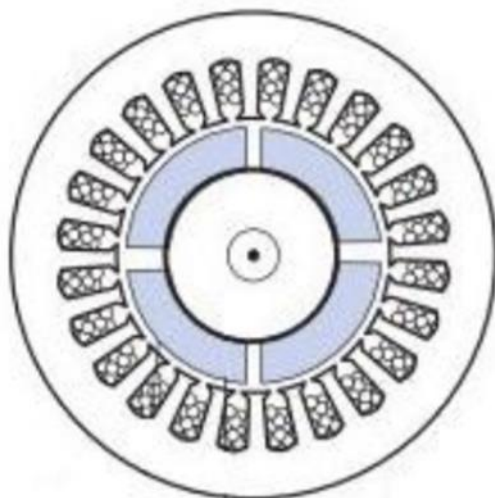
2.2.1.2 **Motor eléctrico sin escobilla de imanes permanentes.**

El motor eléctrico sin escobilla de imanes permanentes o BDCM [Figura 2-5] es una variante del motor de corriente continua con escobillas, debido a que este motor elimina estos componentes, refiriéndose a las escobillas y con ello las limitaciones que daban el conjunto colector de delgas y escobillas.

Al no constar con escobillas, el motor mejora su rendimiento, debido a las pérdidas producidas por la fricción los cuales generaban ruidos.

La función de las escobillas en los motores de corriente continua era la de realizar la conmutación de sentido de giro en el rotor y determinar cuál era la bobina que independientemente de la posición y velocidad del rotor, debía conmutar en cada momento.

Estos motores cuentan con un sensor de posición, el cual hace que conduzca la fase correcta en cada momento.



Fuente: Diseño de un motor síncrono con imanes de ferritas para motocicleta eléctrica. [32]

Figura 2-5 Motor eléctrico sin escobilla de imanes permanentes

El principio de funcionamiento de un motor BDCM se basa en que la corriente eléctrica suministrada por la fuente de energía, batería en el caso de los VE, pasa directamente por las bobinas dispuestas en el estator. La corriente eléctrica que circula por las bobinas genera pequeños campos magnéticos que obligan al rotor a girar.

El rotor está compuesto por imanes permanentes fabricados comúnmente de ferrita (La ferrita es la solución sólida del carbono dentro de la estructura cristalina del hierro puro, y su característica es su propiedad magnética).

Estos motores también van constituidos con un variador. Este está encargado de enviar la tensión de alimentación a la bobina de forma secuencial, esto permite que los polos del rotor se desplacen según el campo magnético generado por las bobinas de forma secuencial. La velocidad del rotor y su eje depende de la velocidad de la secuencia del variador. Otra característica del variador es aumentar y disminuir la tensión de alimentación de las bobinas para extraer el máximo rendimiento al motor.

Alguna de las características básicas de los motores BDCM son que disponen de una gran densidad de potencia, así como un elevado rendimiento y no requieren un gran mantenimiento.

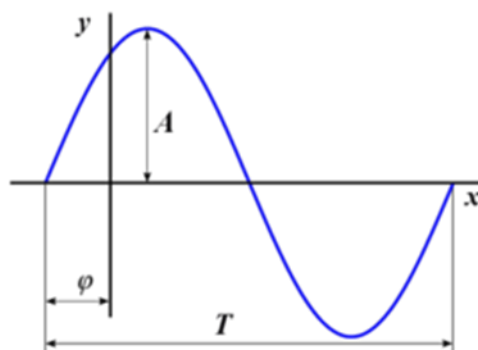
Inconvenientes

Uno de los principales problemas es su margen de velocidad el cual puede variar entre 220 a 600 [rpm], así como también el par motor.

Este motor es utilizado por honda en sus prototipos eléctricos.

2.2.2 Motor de corriente Alterna

Para entender de qué trata un motor de corriente alterna, primero se dará a entender que es la llamada corriente alterna. La corriente eléctrica de tipo alterna es aquella corriente la cual su magnitud y su dirección varían cíclicamente, esto se ve representada en la Figura 2-6. La forma de las ondas características de la corriente alterna son las ondas senoidales, ósea, ondas las cuales oscilan repetitivamente.



Fuente: Modificación y preparación de un vehículo Suzuki Forsa I para competencia de rally. [31]

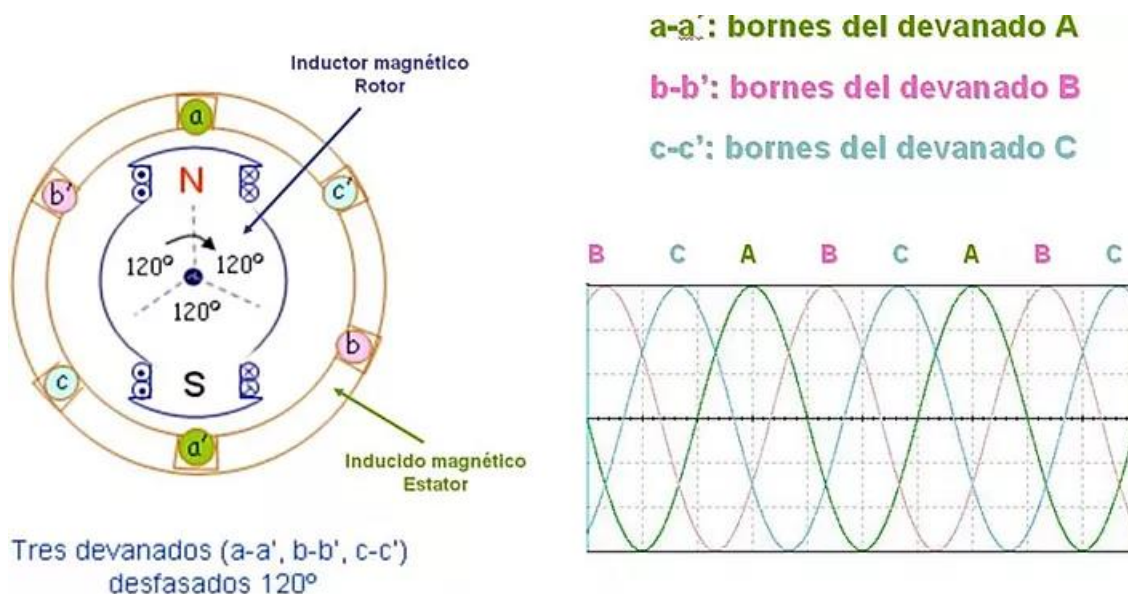
Figura 2-6 Corriente alterna

En la Figura 1-1Figura 2-6 se puede apreciar las características que entrega este tipo de ondas: Periodo el cual se representa con la letra T, Amplitud la cual se ve representada con la letra A y la Fase inicial la cual se representa con el símbolo ϕ .

El motor de corriente alterna mayormente utilizado en el parque automotriz es el de inducción o asíncrono tipo jaula de ardilla. En la antigüedad no era una buena idea pensar en motores de inducción cuando se pensaba en vehículos eléctricos, debido a que un banco de baterías entrega un voltaje de corriente continua, incapaz de accionar un motor por sí solo, e instalar un sistema de conversión de corriente eléctrica de continua a alterna, era muy complicado y poco práctico.

Si bien los motores de inducción tenían excelentes prestaciones, eran utilizado en sistemas donde se requería una velocidad constante. Existían métodos para variar su velocidad, pero eran poco precisos, complicados e ineficientes.

Con el transcurso del tiempo se fue implementando diversos equipos, los cuales permitieron mejorar el funcionamiento de este equipo, gracias a esto se dio paso a los motores de inducción de velocidad variable.



Fuente: Modificación y preparación de un vehículo Suzuki Forsa I para competencia de rally. [31]

Figura 2-7 Tres devanados desfasados en 120°

Está constituido por un estator, este hace el papel de inductor y un rotor inducido. El estator contiene 3 devanados desfasados 120° y conectado independientemente a un sistema de corriente alterna. Esto se puede ver en la Figura 2-7. El rotor está constituido por dos

jaulas, una externa de alta resistencia y una interna de baja resistencia, distribuida uniformemente por la periferia del rotor. Ambas se encuentran separadas por ranuras longitudinales con una posición inclinada, este recibe el nombre de jaula de ardilla, esta permite reducir ruidos y obtener un mejor arranque.

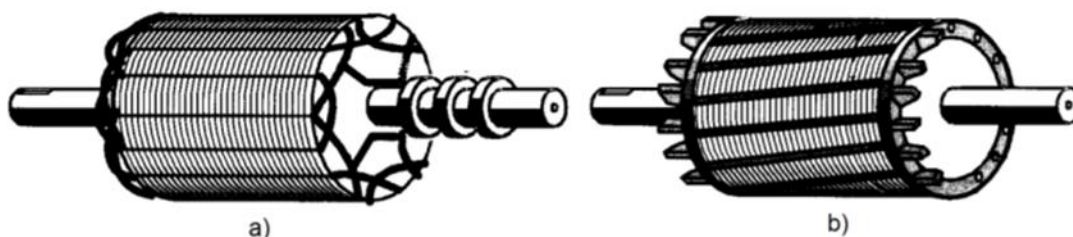
Una vez entendido en qué consiste la corriente alterna, se dará a conocer los tipos de motores, los cuales trabajan con dicha corriente.

2.2.2.1 Motor de inducción (IM)

El motor de inducción o motor asíncrono [Figura 2-8], es el motor eléctrico más utilizado en la industria, esto es debido a su fácil construcción.

El motor de inducción está compuesto en su estator por enrollamientos polifásicos y su rotor puede ser construido de dos formas:

- Rotor bobinado: Está constituido por unas bobinas de hilo de cobre, cuyos extremos están conectados a unos anillos rozantes, de aquí es alimentada la bobina.
- Rotor jaula de ardilla: Consiste en un cilindro montado en un eje. Internamente contiene barras conductoras longitudinales de aluminio o de cobre con surcos y conectado en ambos extremos poniendo en cortocircuito los anillos que forman la jaula.



Fuente: Diseño de un motor síncrono con imanes de ferritas para motocicleta eléctrica. [32]

Figura 2-8 a) Rotor bobina b) Jaula de ardilla

El principio de funcionamiento de un motor de inducción se basa en que al aplicar corriente alterna trifásica a las bobinas inductoras, se produce un campo magnético giratorio, cuya frecuencia será igual a la de la corriente alterna con la que se alimenta el motor. Este campo al girar alrededor del rotor en estado de reposo, conducirá corriente en el mismo, que producirán a su vez un campo magnético que seguirá el movimiento del campo estático, produciendo una cupla o par motor que hace que el rotor gire. No obstante, como la inducción

en el rotor sólo se produce si hay una diferencia en las velocidades relativas del campo estático y el rotórico, la velocidad del rotor nunca alcanza a la del campo rotante.

El funcionamiento del motor síncrono trifásico se puede controlar mediante 3 métodos, estos son: actuando sobre el par de polos, actuando sobre el deslizamiento, actuando sobre la frecuencia.

Este último método es el más comúnmente usado para controlar este tipo de motores.

Si se actúa sobre la frecuencia se puede hacer mediante dos tipos de controladores:

- Controlador escalar, este controlador nos permite controlar la tensión y la frecuencia.
- Control por orientación de campo (FOC), permite controlar la velocidad y el par.

Las características básicas de los motores de inducción para las aplicaciones de tracción eléctrica, son su robustez, su bajo costo de producción debido a su simplicidad constructiva. Otras características de su comportamiento es su buena respuesta a las sobrecargas, así como un buen margen de velocidades y un bajo costo de mantenimiento.

La principal desventaja del motor de inducción son sus pérdidas en el cable conductor de cobre, ya que estas pérdidas son más difíciles de eliminar que las pérdidas del estator. Además, que la eficiencia y el factor de potencia de estos motores de inducción disminuyen cuanto más pequeña es la máquina.

Estos motores son muy utilizados en el sector de vehículos eléctricos, es empleado en vehículos Tesla, modelo S.

2.2.2.2 Motor de reluctancia conmutado (SRM)

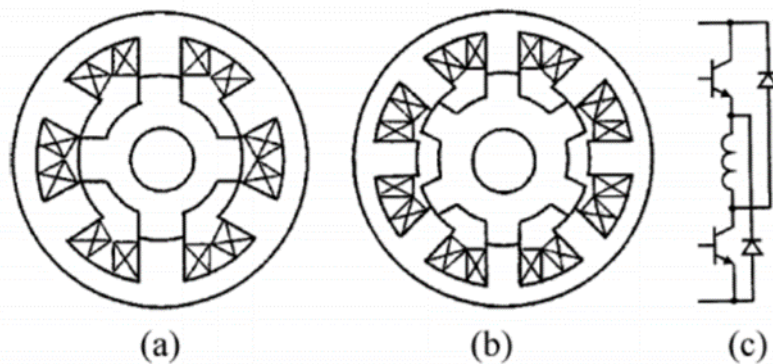
El motor de reluctancia conmutado, es un derivado del motor paso a paso, en el cual los impulsos de la corriente son eliminados en relación a la posición del rotor, para así poder lograr una rotación continua.

El motor cuenta con un sensor de posición en el eje. Con esta forma de control se consigue un par continuo a cualquier velocidad y posición del rotor.

Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento de un motor SRM presenta una variedad de fases, estas se pueden apreciar en la Figura 2-9, no requiere de escobillas, ni imanes. El motor presenta polos salientes tanto en el estator como en el rotor, estando ambos contruidos con hierro laminado. Cada polo estático posee una bobina de excitación y las bobinas correspondientes a polos diametralmente opuestos están conectadas eléctricamente de modo

tal de formar el polo norte y sur de una fase. El rotor en cambio no tiene ningún circuito eléctrico.



Fuente: Diseño de un motor síncrono con imanes de ferritas para motocicleta eléctrica. [32]

Figura 2-9 a) SRM tres fases b) SRM cuatro fases c) rama del convertidor trifásico

Las principales características de los SRM son su simplicidad y la robustez en la estructura de su rotor, ya que, al no tener imanes o bobinados hace que pueda trabajar a altas velocidades, no tendrá pérdidas en el rotor relacionadas con el cobre o los imanes, pero puede tener pérdidas relacionadas con el entrehierro.

El precio de fabricación es bajo, pero las tolerancias de fabricación son rigurosas, ya que, requieren tener un entrehierro muy pequeño (El entrehierro es la región situada en el aire entre los dos polos magnéticos de un imán o de un electroimán).

Debido a su alta velocidad, los márgenes de velocidad a los que puede trabajar son elevados. Disponer de un sensor de posición en el rotor hace que pueda trabajar con gran precisión, este tipo de motores son muy utilizados en automatización.

Como en los motores asíncronos los motores SRM tienen el mismo inconveniente, tienen un rendimiento y una densidad de potencia inferior a los motores con imanes permanente.

Otros inconvenientes son el ruido acústico que genera, la vibración y la variable del par que suele ser alto.

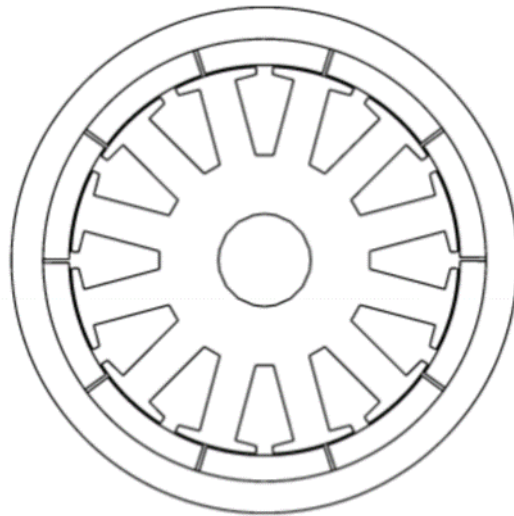
Este motor es utilizado principalmente en la marca de vehículos Renault, se puede encontrar en sus modelos ZOE, KANGOO Z.E, Fluence Z.E..

2.2.2.3 Motor síncrono de imanes permanentes (PMSM)

El motor síncrono de imanes permanentes representado en la Figura 2-10, está constituido por un estator, en el cual dispone de un enrollamiento polifásico de corriente alterna y un rotor donde van alojados los imanes, los cuales crean un campo magnético estacionario en el entrehierro. Según la disposición del rotor podemos distinguir dos tipos de construcción:

Rotor exterior, no necesitan una transmisión así que es un motor menos ruidoso. Además, la componente del par de reluctancia es prácticamente nula.

Rotor interior, su característica es su ligero peso y su alta eficiencia son una ventaja en comparación con los motores de rotor exterior.



Fuente: Diseño de un motor síncrono con imanes de ferritas para motocicleta eléctrica. [32]

Figura 2-10 Motor síncrono de imanes permanentes

Dentro de este tipo de motor, podemos distinguir entre dos tipos de montaje de sus imanes:

- Rotor con imanes exteriores: se caracteriza por llevar los imanes pegados a la superficie exterior del rotor, mediante adhesivos potentes. Presenta una ventaja de tamaño debido a que este es reducido, y al presentarse cerca del estator se reducen las pérdidas. Sus imanes son principalmente de neodimio o de samario-cobalto.
- Rotor con imanes interiores: los imanes permanentes son colocados en el interior de la chapa del rotor. Su montaje es más complejo y de mayor costo, su ventaja es la reducción del

entrehierro. Sus imanes comúnmente son de ferrita, este tipo de rotores presenta un mayor tamaño.

El funcionamiento del motor se rige por fuerzas electromagnéticas. Un imán o un cable que transporta corriente, pueden influir en otros materiales magnéticos sin un contacto físico debido al campo magnético. Los campos magnéticos suelen ser representados mediante líneas de campo magnético o 'líneas de fuerza'. En cualquier punto, la dirección del campo magnético es igual a la dirección de las líneas de fuerza, y la intensidad del campo es inversamente proporcional al espacio entre las líneas.

Sus principales características son que tiene una gran densidad de potencia, esto hace que, comparado con el motor de inducción, a igualdad de potencia, el PMSM sea una máquina más pequeña. Otro factor importante a diferencia del motor de inducción, es que al disponer de imanes en el rotor hace que no tenga pérdidas por efecto Joule en este.

Efecto joule: El movimiento de los electrones en un alambre es desordenado; esto provoca continuas colisiones con los núcleos atómicos y como consecuencia una pérdida de energía cinética y un aumento de la temperatura en el propio alambre.

Su rendimiento es elevado, dispone de un amplio rango de velocidades, una gran capacidad de sobrecarga, un muy buen par, una buena relación par-inercia y un elevado rendimiento.

El principal inconveniente de este tipo de motor es su fabricación, ya que al poseer imanes y estos poder ser montados tanto en el interior del rotor como en el exterior, hacen que este diseño tenga una fabricación más difícil que los demás motores.

Por otra parte, al incluir imanes en el rotor en lugar de un bobinado como en los motores de inducción, hace que el precio aumenta dependiendo del tipo de imán a utilizar. Todo esto junto hace aumentar el precio final del motor a comparación de sus rivales.

Estos motores comúnmente se encuentran en marcas tales como Nissan LEAF, Smart Fortwo, entre otras marcas.

2.3 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ELÉCTRICO.

Una batería es básicamente una fuente de energía eléctrica, que convierte la energía química contenida en sus materiales activos a energía eléctrica por medio de una reacción que involucra la transferencia de electrones de un material a otro a través de un circuito externo. La energía química almacenada se convierte directamente en energía eléctrica cuando sus terminales se conectan a un dispositivo de consumo eléctrico. En general se suele utilizar los términos batería, celda o pila como sinónimos.

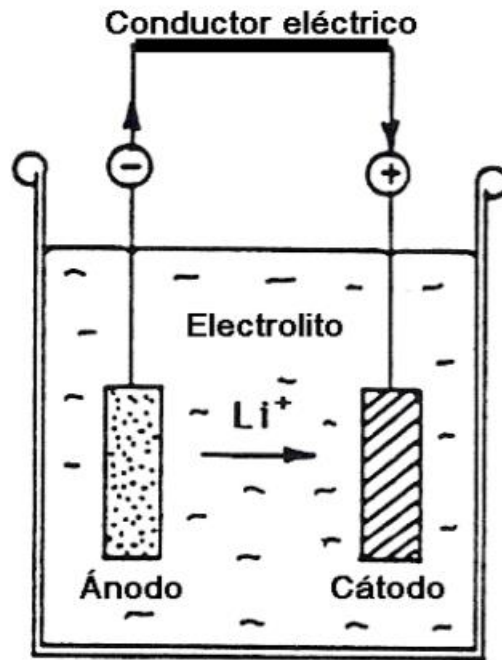
Una batería o celda está compuesta por:

Ánodo o electrodo negativo: electrodo donde tiene lugar la oxidación o pérdida de electrones, los cuales son proporcionados al circuito externo, generalmente se usa un metal tal como el zinc o el litio. Los iones de carga negativa que fluyen hacia el ánodo se llaman aniones.

Cátodo o electrodo positivo: electrodo donde tiene lugar la reducción o ganancia de electrones que vienen del circuito externo, generalmente se usa un compuesto que es rico en oxígeno, un ejemplo es el dióxido de manganeso, óxido de plata, hidróxido de níquel. Los iones de carga positiva que fluyen hacia el cátodo se llaman cationes.

Electrolito: este provee el medio conductor para la transferencia de iones entre ambos electrodos, generalmente se utiliza un líquido como el agua u otros solventes con sales disueltas. Algunas baterías usan electrolitos sólidos los cuales pueden ser materiales cristalinos o amorfos.

En la Figura 2-11 se puede apreciar los componentes de una batería. Se puede apreciar como la corriente pasa desde el ánodo, pasando por el hilo conductor eléctrico, llegando al cátodo. Teniendo en cuenta el proceso químico llevado en el electrolito.



Fuente: Baterías: estado del arte y vigilancia tecnológica 2013. [33]

Figura 2-11 Componentes de una batería.

El trayecto correspondiente al flujo direccional de iones puede considerarse que constituye el circuito interno, mientras que el trayecto que siguen los electrones por el alambre conductor se considera que es el circuito externo.

Una batería es un componente importante en el funcionamiento del equipo. están encargadas de entregar la energía eléctrica de funcionamiento a los componentes eléctricos. Según la carga que se le desea aplicar, es el acumulador de energía eléctrica a ocupar. Los flujos de entrada y salida de energía se controlan con un sistema de gestión de batería.

En la actualidad esta fuente de energía, refiriéndose a las baterías se trata de mejorar, debido a la baja autonomía que entregan las baterías. Los vehículos en la actualidad buscan desplazar al usuario largas distancias, sin recurrir a recargar el vehículo en un largo plazo de tiempo.

Dependiendo del tipo de batería que se desea producir, los materiales a utilizar pueden variar, en la Tabla 2-1 se presentan los distintos tipos de baterías y su principal composición. A continuación, se entregará la información de los diversos tipos de baterías existentes en el mercado y su composición.

2.3.1 Batería de plomo-acido:

su uso principal es en vehículos eléctricos o también en vehículos de combustión. Este tipo de batería tienen un bajo valor y excelentes prestaciones. Su nombre se debe a que en su composición y funcionamiento utiliza electrodos de plomo conectadas en su interior por un electrolito, el cual está compuesto por agua destilada y ácido sulfúrico. Sus celdas entregan una tensión de 2 [V]

La batería al presentar carga, el electrodo positivo está cubierto por una capa de dióxido de plomo y en el electrodo negativo solamente se encuentra plomo.

2.3.2 Batería de níquel-Cadmio:

Presenta mejor prestación con respecto a las baterías de plomo-acido. Internamente está compuesta por un cátodo de hidróxido de níquel, un ánodo de cadmio y la solución interna es hidróxido de potasio. Presenta un menor tamaño, y sus celdas entregan una tensión de 1.2 [V]. Soporta la sobrecarga, aunque esta no es almacenada, pero es susceptible al calentamiento. Presenta un alto efecto memoria, lo que produce una descarga más rápida con el transcurso del tiempo. Este tipo de baterías presenta un alto costo, debido al níquel y también presenta una elevada contaminación ya que esta contiene cadmio.

2.3.3 Batería de níquel-Hidruro Metálico:

En estas baterías el cátodo está compuesto por hidróxido de níquel, y el ánodo es de hidrógeno en forma de hidruro metal. Una característica importante de este material es su capacidad de adsorción y desorción del hidrógeno de la batería cuando esta se carga o descarga. También se disminuye su efecto memoria con respecto a la de Níquel-Cadmio, y su peso se ve considerablemente reducido. Una desventaja es su precio elevado y el peligro que presenta al ser sobrecargada.

2.3.4 Batería de Litio:

El Litio es el metal más ligero de la tabla periódica (6.941 u), lo que da paso a fabricar baterías livianas y de gran potencial. El valor de tensión de las celdas es de 3.3 [V] a 3.7 [V], esto permite utilizar una menor cantidad de celdas, con lo que se reduce el tamaño de la batería. Presenta una larga vida útil aproximadamente de unos 400 – 1200 ciclos. No requiere

mantenimiento y no presenta efecto memoria. Esta batería es altamente delicada y susceptible al calor.

Tabla 2-1 Componentes de baterías Fuente [20] [33]

<i>Tipos de baterías</i>	<i>Composición</i>
<i>Plomo-ácido</i>	Electrodo de plomo (PbSO) Matriz de plomo metálico (Pb) Disolución de ácido sulfúrico Caja de polipropileno
<i>Níquel-Hierro (Ni-Fe)</i>	Cátodo de Níquel Ánodo cajas delgadas perforadas de acero níquel que contienen polvo de óxido ferroso (FeO) y óxido de bario (BaO). Potasa caustica (KOH) diluida en agua destilada
<i>Níquel-cadmio (Ni-Cd)</i>	Cátodo de hidróxido de níquel Ánodo de cadmio Electrolito contiene hidróxido de potasio
<i>Ion-litio (Li-ion)</i>	Ánodo de grafito Cátodo de óxido de cobalto trifilina (LiFePO ₄) u óxido de manganeso.

Fuente: Baterías: estado del arte y vigilancia tecnológica 2013. [33]

Para utilizar esta batería se requiere un sistema de seguridad, esto permite controlar el voltaje de cada celda y se encarga de que la batería no se sobre cargue o descargue, cortando el paso de corriente cuando esta se descargue o cuando esta llega a su carga mínima.

Estas baterías deben de mantenerse en lugares frescos y refrigerados, debido a que la temperatura acorta su vida y la debilita. Debe de ser manipulada rigurosamente.

Esta batería está compuesta por un cátodo el cual está constituido por una barra de aluminio cubierta por un material activo de óxido de litio-metal mezclado con un material de carbono. El ánodo está conformado por láminas de cobre cubiertas por un material activo de grafito mezclado con un material de carbón. También cuenta con un separador, es una barra con agujeros compuesta por polímeros, esta permite el paso de iones y a la vez aislar los terminales positivos y negativos. Luego está el electrolito, este consiste en un soluto de sal de litio sea lo más soluble posible en algún solvente orgánico como carbonatos cíclicos o lineales y que si viscosidad sea baja, esto tiene como objetivo llevar a cabo el movimiento de los iones de litio en el electrolito.

A continuación, se presentará en la Tabla 2-2 una serie de características de los tipos de batería existentes en el mercado.

Tabla 2-2 Baterías existentes en el mercado

Tipo de batería	Voltaje por celda	Ciclos de carga permisible	Densidad de energía	Ventajas	Desventajas
Plomo ácido	2 [V]	• 500 a 800 ciclos de cargas y descargas.	• 30 a 40 [Wh/kg]	• Buena respuesta en frío. • Bajo costo debido a sus materiales.	• Son pesadas por sus materiales. • El plomo es tóxico. • Capacidad de recarga lenta.
Níquel cadmio	1.2 [V]	• 1.500 a 2.000 cargas y descargas.	• Baja (30-40 [Wh/kg]).	• Mayor fiabilidad (no falla como las baterías de plomo-ácido). • Reciclado total de la batería.	• Alto costo de adquisición. • Efecto memoria. • Contaminante. • Envejecimiento prematuro con calor.
Níquel hidruro		• 300 a 500 ciclos de cargas y descargas.	• 30 – 80 [Wh/kg].	• Reduce el efecto memoria comparada con las baterías de níquel-cadmio. • Eliminan el cadmio.	• Menos fiabilidad que las de níquel-cadmio. • No soporta fuertes descargas. • Baja resistencia a altas temperaturas. • Baja resistencia a altas corrientes de carga.
Ion litio	Entre 3.3[V] a 3.7[V]	• 400 a 1.200 cargas y descargas.	• 100 a 250 [Wh/kg].	• Alta densidad energética. • Menor tamaño y peso ligero. • Alta eficiencia. • No tiene efecto memoria.	• Alto costo de producción. • Fragilidad. • Necesita un circuito de seguridad. • Precisa de almacenaje cuidadoso.

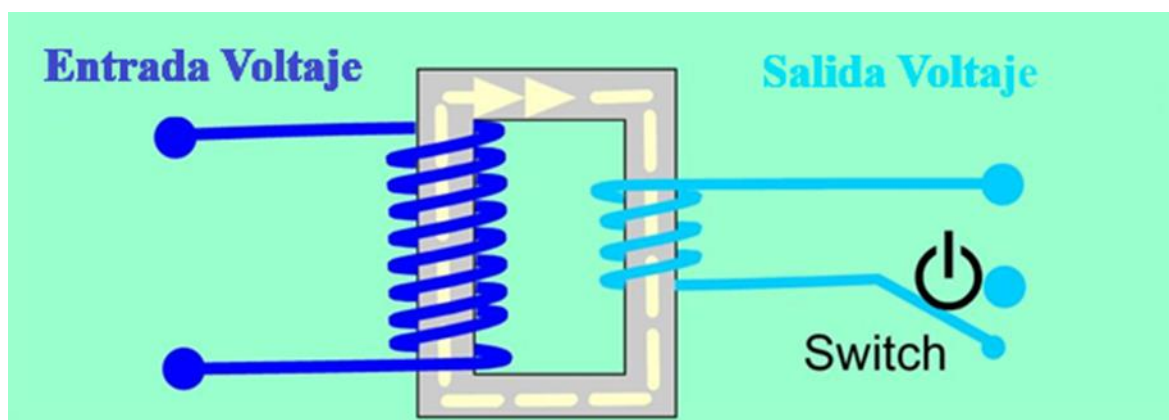
Fuente: Como son las baterías de los coches eléctricos. [34]

El estudio anterior entrega información de cada batería existente en el mercado. Dependiendo del consumidor, es la batería que se deberá de escoger. La batería más popular y recomendada en el mercado, es la Batería de iones litio o Li-Ion. Gracias a su ligereza, su gran capacidad de almacenamiento energético, resistencia a la descarga, la hace una batería

lo bastante apta para llevar a cabo un proyecto de conversión, teniendo en cuenta el espacio reducido que está ocupa.

2.4 Transformador

Estos componentes están encargados de convertir la corriente interna, que es suministrada por la red eléctrica, en corriente continua, la cual permite ser almacenada por en las baterías destinadas. Este elemento también cumple la función de aumentar y disminuir la tensión en un circuito eléctrico.



Fuente: Diseño e implementación de un inversor DC/AC para implantar en un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica, a una finca. [35]

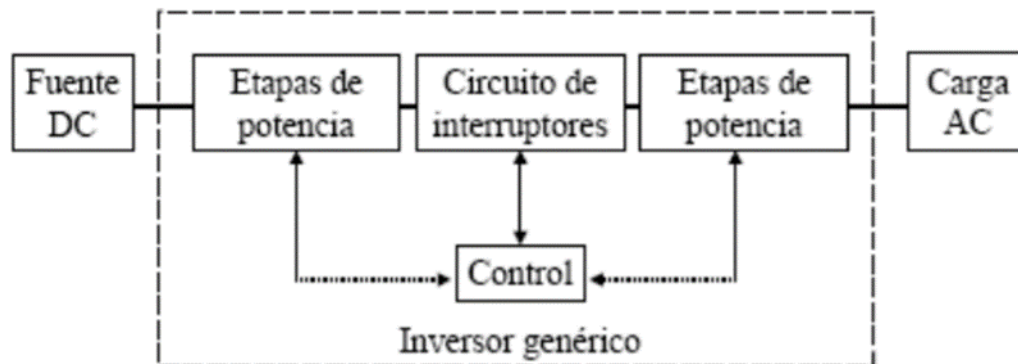
Figura 2-12 Transformador

La Figura 2-12 entrega la información de cómo funciona un transformador, el voltaje de entrada, pasa por la bobina primaria, circulando a través de un núcleo metálico, posteriormente sale por la bobina secundaria. Según el número de vueltas que tenga la bobina secundaria es la función que tendrás, es decir a un menor número de vueltas, el voltaje de salida será menor, y a un mayor número de vueltas el voltaje será mayor.

2.5 Inversor

Este componente es el encargado de convertir la corriente continua que sale de la batería, de tracción en la corriente alterna que necesita el motor eléctrico para su funcionamiento. Además, la electrónica que incorpora, controla la intensidad y la frecuencia de salida de la energía, variando la velocidad a la que gira el motor y la potencia, según la

demanda del conductor en cada momento, en la Figura 2-13 se puede ver un diseño de un inversor de corriente continua a corriente alterna.



Fuente: Diseño e implementación de un inversor DC/AC para implantar en un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica, a una finca. [35]

Figura 2-13 Inversor

El circuito de interruptores apreciado en la Figura 2-13, es el encargado de realizar la conversión DC/AC. Está conformado por un conjunto de interruptores, contruidos con semiconductores de potencia, que trabaja en conmutaciones siguiendo un patrón dirigido por el sistema de inversor.

Las etapas de acondicionamiento de potencia, se encarga de modificar las características de la potencia eléctrica (tensión, corriente, frecuencia, etc.), en las diversas etapas de conversión de potencia DC/AC. El sistema de control supervisa y regula el proceso de conversión de potencia.



2.6 CONTROLADORES

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de gestionar, ordenar o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados en el vehículo.

Mediante una señal entregada por el pedal de aceleración, esta entrega un voltaje determinado, según lo indicado por el conductor, una vez enviada la señal en forma de voltaje al controlador, este regula el voltaje de entrada al motor eléctrico, regulando las revoluciones por minuto que entrega el motor. A mayor aceleración, una mayor señal en forma de voltaje llega al controlador, el cual entrega una orden de entrada de voltaje al motor eléctrico.

En los motores con corriente alterna, el controlador, está encargado de enviar una señal al convertidor de corriente, esto permite llegar un voltaje alterno, debido a que el conjunto de baterías entrega un voltaje de corriente continua.

Está compuesto por unidades centrales de proceso (CPU), está encargada de procesar todas las funciones de los sistemas y también cumple la función de almacenamiento de la información. Estas unidades de control mediate la señal entregada por sensores.

Para un óptimo funcionamiento del sistema el controlador debe tener una buena interfaz, comunicarse y conectarse con el motor de una manera correcta y con eficacia.

Son los encargados de comprobar el correcto funcionamiento por eficiencia y seguridad y de igual manera se encargan de regular la energía que recibe o recarga el motor. Está encargada de variar la velocidad del motor, según las necesidades del conductor.

Algunas funciones del controlador son: Función de acelerador, consiste en que el controlador recibe una señal del pedal y según en ángulo que esté presente, es la señal que esta entrega al motor. Función de limitación de revoluciones del motor, esta limita el régimen máximo de giro del motor. Función de cuenta revoluciones, está relacionado a las revoluciones, este puede entregar una señal visible a un tacómetro. Función contra sobrecalentamiento, al presentar un alza de temperatura, el controlador limita la potencia del motor, para evitar daños en los componentes [36].

2.7 SISTEMA DE CARGA

Los vehículos eléctricos para lograr su funcionamiento requieren de energía eléctrica, la cual es obtenida de un conjunto de baterías. No obstante, están obtienen energía de diversos métodos, el más común y utilizado en la actualidad es el sistema de carga, mediante un sistema de redes eléctricas. Se debe de tener en cuenta los tipos de conectores a utilizar, dependiendo del proveedor es el enchufe a utilizar (en la actualidad está siendo normalizado). No obstante, en algunos casos de realiza mediante inducción electromagnética.

Ya entendido lo anterior, se puede proceder a mencionar los tipos de cargas presentes, refiriéndose a:

- Carga super lenta: Este tipo de carga la corriente eléctrica no supera los 10[A]. Consiste en conectar el vehículo a la red eléctrica doméstica. No es la que más se recomienda, debido a los tiempos de espera, lo cual puede variar entre 10 y 12 horas.
- Recarga lenta: Consiste en que la corriente eléctrica fluye a 16[A], lo cual proporciona un tiempo de carga entre 6 a 8 horas. Consiste conectar la red eléctrica, con el vehículo, pero este sistema eléctrico contiene un sistema de control.

- Recarga semi-rápida: La corriente eléctrica circula a 22[kW] y 55 [A], el tiempo de carga se aproxima a una hora, se ubican en estaciones de carga pequeñas, comúnmente se encuentran en centros comerciales o estacionamientos.
- Recarga rápida: Este tipo de cargas se realiza a potencias que llegan a 50[kW] y 125[A], el tiempo de recarga es de aproximadamente media hora, en la realidad no se carga por completo, sino entre el 80% y el 90%.
- Recarga ultra rápida: Este sistema de carga se utilizan principalmente en auto buses eléctricos. La potencia de recarga supera los 130 [kW] y el tiempo de recarga se encuentra entre los 5 y 10 minutos [37].

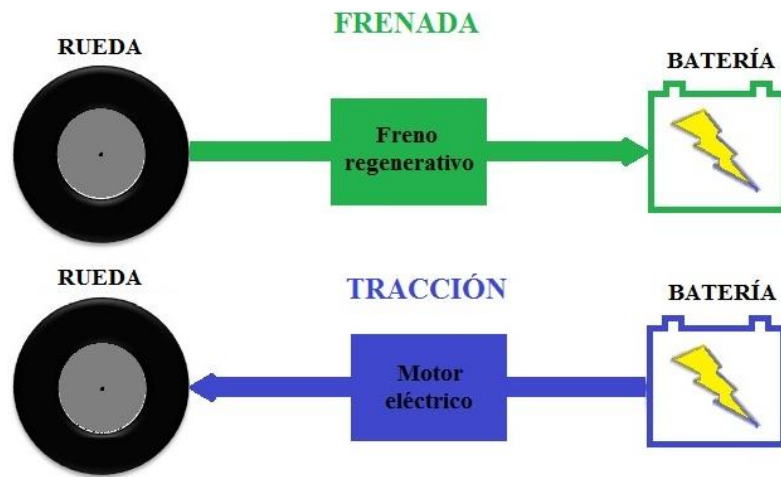
Otro sistema de carga, ya incorporado directamente al vehículo es el sistema de frenos regenerativos, los cuales serán sometidos a estudios en el siguiente punto.

2.8 SISTEMA DE FRENO REGENERATIVO

Inicialmente se definió el concepto de freno regenerativo, es un dispositivo que permite reducir la velocidad de un vehículo transformando parte de su energía cinética, en energía eléctrica, esto se puede apreciar en la Figura 2-14. Esta energía eléctrica es almacenada en unos acumuladores o banco de baterías para un uso posterior, esto permite una mayor duración de carga del conjunto de baterías, por ende, una mayor autonomía. El conjunto de baterías al presentar una carga completa, el sistema de carga no admite más corriente.

Este sistema en el momento de soltar el pedal del acelerador o pisar el pedal del freno, utiliza el mismo motor eléctrico, pero operando como generador, aprovechando el movimiento de las ruedas y la energía cinética que quiere ser disipada. En un vehículo a combustión, esta energía cinética se disipa en forma de calor y no se aprovecha. Este sistema tiende a tener una mayor eficiencia a velocidades altas. A continuación, se mencionarán las características principales de un freno regenerativo:

- El freno regenerativo reduce de manera efectiva la velocidad.
- La cantidad de energía a disipar está limitada a la capacidad de absorción de esta por parte del sistema de energía o el estado de carga de la batería.



Fuente: Freno regenerativo en automóviles para uso híbrido. [38]

Figura 2-14 Sistema de frenos regenerativos

En los motores eléctricos el sistema de frenos regenerativos, visto anteriormente en la Figura 2-14. El motor de tracción que asiste en el frenado, recibe la energía cinética de las ruedas a través de la transmisión, y funcionando como generador, transformando parte de la energía cinética, en energía eléctrica, la cual es enviada al banco de baterías. Al funcionar como generador, el flujo magnético en el rotor circula en sentido opuesto a cómo funciona como motor, lo cual genera un torque, con el sentido opuesto al movimiento de la transmisión y por ende al de las ruedas. Este sistema aprovecha la energía que comúnmente se pierde, lo cual aumenta la duración de las baterías, por lo que otorga una mayor autonomía.

CAPÍTULO 3 ESTUDIO TÉCNICO/ECONÓMICO DE LA CONVERSIÓN
ELÉCTRICA

3.1 DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA CONVERSIÓN ELÉCTRICA

Para aterrizar de mejor forma la conversión de un VCI a un VE se presenta un prototipo. Se trata de la conversión de un Nissan Sentra B13, como el que se muestra en la Figura 3-1, la elección de este modelo es producto de su alta popularidad, más de 100 mil unidades comercializadas en el territorio nacional [39], lo que se traduce en un amplio mercado para la compra de repuestos, este modelo entró al territorio nacional desde 1992 a 2010, los primeros modelos hasta el año 1992 cumplirían con el decreto 211, el cual permite realizar un cambio de motor [22].

El Nissan Sentra B13, también llamado Tsuru en México es un sedán de origen japonés, propulsado por un motor de 1.6 [l] que genera 105 [hp] a 6000[rpm], este y otros datos del vehículo se presentan en la Tabla 3-1.



Figura 3-1 Nissan Sentra B13

Tabla 3-1 Características Nissan B13

Características Generales	
Motor	
Disposición del motor	Transversal
Desplazamiento	1.6 Litros
Potencia	105 [hp] a 6000 [rpm]
Torque	140 [Nm] a 4000[rpm]
Frenos	
Delanteros	Discos
Traseros	Tambor
Dimensiones y peso	
Largo	4,325[m]
Ancho	1,650[m]
Alto	1,381[m]
Peso Vehicular	946 [kg]
Tanque de combustible	50[l]

Otros datos	
Neumáticos	175/70SR13
Configuración de suspensión	McPherson

Fuente: Elaboración propia según “Nissan Tsuru 2013 Kit de Prensa” Fuente [29]

La finalidad que se le quiere dar a ese prototipo es el transporte de pasajeros dentro de un área urbana, para que cumpla este objetivo el vehículo debe de ser capaz de recorrer unos 100 kilómetros con una sola carga y ser capaz de alcanzar la velocidad máxima establecida en ciudad, de unos 50 [km/h].

3.2 COMPONENTES PARA EL PROTOTIPO ELÉCTRICO.

Para que el VE cumpla la finalidad establecida deberá poseer componentes confiables y que sean capaces de funcionar por un largo periodo de tiempo, los componentes deben de ser capaces de movilizar el chasis del Nissan B13 a una velocidad de 50 [km/h] y tener una autonomía de 100 [km] con una sola carga. Los componentes han sido seleccionados desde EVWest, compañía establecida en San Diego California, Estados Unidos, la cual se dedica exclusivamente a la conversión de vehículos eléctricos y a la venta de estos productos.

Para la propulsión se emplea un kit diseñado originalmente para un Toyota MR2 el cual comparte semejanzas en peso y disposición del motor con el Nissan B13.

3.2.1 Motor HPVES AC50

Motor eléctrico trifásico de corriente alterna, empleado en una gran cantidad de conversiones eléctricas, empleado en el Beetle Baja presentado en el primer capítulo, producto de su bajo costo y gran desempeño en vehículos medianos, puede funcionar entre 72-108 [V], capaz de producir 71 [hp] de potencia y 162 [Nm] de torque con un peso de tan solo 52 kilogramos [40]. Al momento de adquirir el motor existe dos versiones, una con una sola salida del eje motriz y otra con salida por ambos lados, lo que permite energizar sistemas secundarios que necesiten energía cinética, como podría ser el caso de un sistema de dirección asistida hidráulicamente, sistema de aire acondicionado o para acoplar dos motores en serie para obtener más potencia.

Al ser un motor trifásico de corriente alterna presenta la posibilidad de frenado regenerativo, este funciona de forma contraria a cómo funciona el motor bajo carga, el rotor del motor sigue girando producto de la inercia del vehículo, este al oponerse al campo electromagnético presente en el motor actúa como un generador, transformando la energía cinética en energía eléctrica, la cual, es enviada al banco de baterías del VE [41]. Esta característica presenta grandes beneficios para aumentar la autonomía del VE y disminuir el gasto del sistema de frenado del vehículo.

3.2.1.1 Controlar, Curtis 1238e-7601

Para su funcionamiento se emplea un controlar Curtis 1238e-7601 diseñado para el funcionamiento en conjunto con el motor HPVES AC50, este es capaz de funcionar entre 72 a 130 [V], entregar una corriente máxima de 650 [A] por 2 min, si es que cuenta con enfriamiento líquido, posee una eficiencia del 88% y está certificado por el grado de protección IP65, resistente al polvo y a salpicaduras de agua [42].

La principal función que cumple ese elemento es la de convertir la corriente continua presente en las baterías a corriente alterna para la alimentación del motor trifásico, dependiendo de las necesidades del conductor, este recibe la información a través de una resistencia variable o un potenciómetro en el pedal del acelerador que representa el porcentaje de carga, el controlador acepta resistencias variables de entre 0-5k Ω o potenciómetros de 1k Ω -10k Ω .

Presenta funciones programables para adecuarse a las necesidades del cliente, como, velocidad máxima, aceleración máxima, torque máximo, RPM máximas (a cada una de estos parámetros se puede modificar el mapa de entrega de energía), frenado regenerativo se puede determinar qué tan agresivo puede llegar a ser. Todos estos parámetros determinaran el comportamiento del vehículo en cuanto a su conducción.

Funciones de protección del equipo, cuenta con control de temperatura del motor, en el caso de que un sensor de temperatura sea conectado entre el motor y el controlador, en el caso de que la temperatura establecida sea sobrepasada el controlar corta el paso de corriente al motor.

Tabla 3-2 Rangos de protección de banco de baterías

RANGOS DE VOLTAJE			
CONTROLADOR	VOLTAJE DE APAGÓN*	VOLTAJE MIN	VOLTAJE MAX
24V	15V	16.8V	30V
24-36V	15V	16.8V	45V
36-48V	20V	25.2V	60V
48-80V	20V	33.6V	105V
80-108V	30V	50.4V	130V

Fuente: Manual, Curtis Models 1234/36/38. [42]

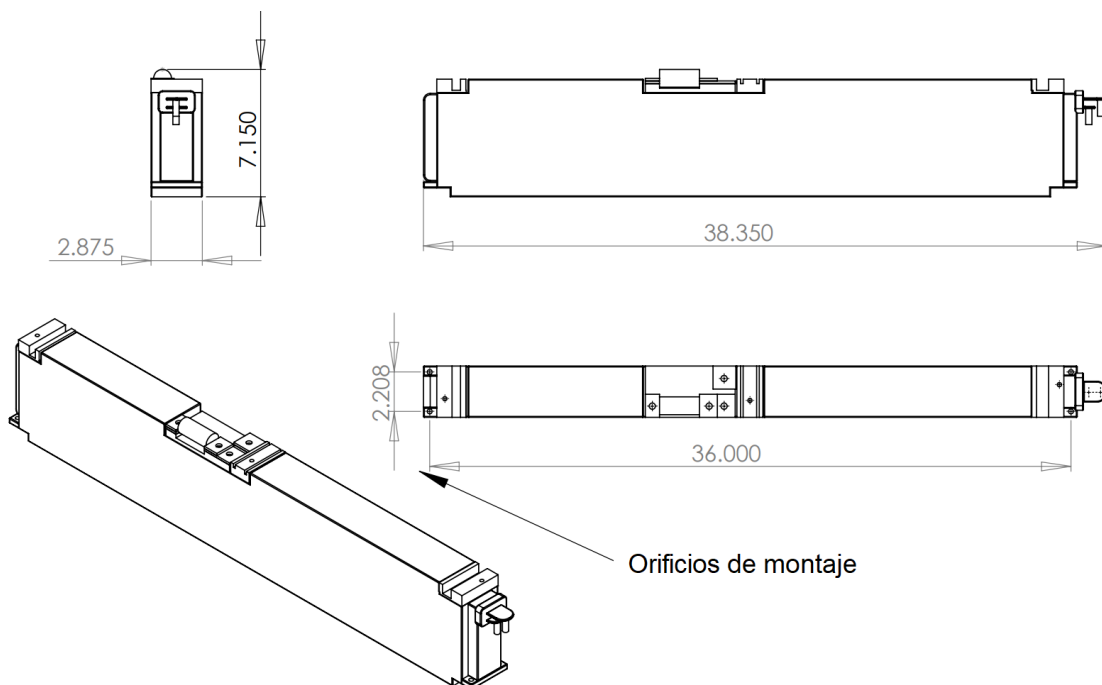
Protección de voltaje del banco de baterías, cuando se sobrepasa el voltaje del banco de baterías el controlador procede a cortar la carga por frenado generativo y en el caso de una baja de voltaje el controlador deja de enviar corriente al motor para proteger el banco de baterías de quedar sin energía, lo que perjudica a la vida útil de las baterías, en la Tabla 3-2 se presentan los rangos de protección que entrega el controlador.

Función de clonado, permite copiar las especificaciones programas en un módulo de control para ser exportadas y empleadas en otros módulos que tengan el mismo número de modelo y versión de software.

3.2.2 **Baterías, Tesla Smart Lithium Ion 18650 EV Module**

El ultimo componente importante para completar el tren motriz del VE son las baterías de Ion de litio de la reconocida marca Tesla, elegidas para la conversión producto de su confiabilidad, diseñadas para funcionar por 1500 ciclos de carga [43], éstas vienen en módulos que entregan 57[V], 3[kWh], 57[Ah], 100[A] y con un máxima de 150[A], cada módulo tiene un peso de 19 kilogramos [44]. Para que lograr la finalidad propuesta para el VE se decide emplear 4 módulos, dispuestos en serie y paralelo para así entregar un total de 114[V], 12[kWh] y 200 [A] con un peso total de 76[kg]. En la figura 3.2 se presentan las medidas en pulgada del módulo de baterías.

Presentan refrigeración líquida integrada, aunque también pueden ser ventiladas por aire en el caso de aplicaciones livianas, las cuales no requiera de una descarga intensa de las baterías. Cada módulo posee un fusible de 100[A] para proteger a las celdas de un alza en la intensidad.



Fuente: <https://evwest.com/support/Smart%20Tesla%20Module%202015.PDF>

Figura 3-2 Dimensiones Pack de Baterías Tesla Smart 18650 EV Module

3.3 COSTO DE COMPONENTES

El costo asociado a los componentes empleados en la conversión, el conjunto de motor más controlador tiene un costo de 4.450 dólares [45] y el pack de 4 baterías presentan un costo de 3.200 dólares [44]. Estos componentes son los que presenta el costo más elevado de la conversión. El costo de la conversión asciende a uno 9.000 dólares en total al agregar los elementos secundarios para el funcionamiento del VE, como son el cargador, cables de alto voltaje, sistema de refrigeración, placa de adaptación motor-caja, entre otros.

3.4 CÁLCULOS PARA ESTABLECER LA VIABILIDAD DE LA CONVERSIÓN

Para establecer la viabilidad de la conversión eléctrica es necesario determinar la potencia necesaria para poder mover el Nissan b13, a una velocidad de 50[km/h] en un terreno plano también se debe de determinar la autonomía que tendrá con el conjunto de baterías elegidos.

3.4.1 Potencia

Para logra determinar la potencia de rodadura se establece que esta es igual a el par de rodadura “ Tt ” por la velocidad angular de la rueda “ ωr ”, como se establece en la fórmula (1).

$$P = Tt \times \omega r \quad (1)$$

Se emplean los siguientes datos para lograr resolver las fórmulas que aparecen a continuación.

- ❖ M = Masa del vehículo = 1362[kg]
- ❖ R = Radio de la rueda = 0.28[m]
- ❖ S = Superficie total del vehículo = 2,27[m²]
- ❖ C = Coeficiente de resistencia del aire = 0.33
- ❖ v = Velocidad del vehículo = 50[km/h] = 13,89[m/s]
- ❖ g = Fuerza de gravedad = 9,81 [m/s²]

Para que el vehículo logre desplazarse es necesario sobrepasar el par de rodadura “ $Trod$ ”, el cual se representa en la fórmula (2) como la suma del par de fricción “ Tfr ” (fuerza que debe realizar el vehículo para romper la resistencia que existe entre el piso y las ruedas a una velocidad determinada) y el par aerodinámico “ $Taer$ ” (que representa el torque necesario para desplazar el vehículo en contra de las fuerzas aerodinámicas)

$$Trod = Tfr + Taer \quad (2)$$

El par de fricción “Tfr” se presenta en la fórmula (3) donde “Tfr” en [Nm], “M” en kg, “g” fuerza de gravedad, “cosβ” representa la inclinación de pendiente (en el caso del cálculo se toma como 1 al vehículo transitar en plano), “v” velocidad y “R” radio de la rueda. Para desarrollar los cálculos se emplean los datos entregado anteriormente.

$$T_{fr} = (M \times g \times \cos\beta) \times (0,012 + 0,0003 \times v) \times R \quad (3)$$

Al reemplazar los datos en la fórmula (3) se entrega como total un par de fricción de 60,48 [Nm] al alcanzar una velocidad de 50[km/h].

El par aerodinámico “Taer” se presenta en la fórmula (4) donde “S” la superficie frontal del vehículo, “C” coeficiente de resistencia del aire, “v” velocidad, “R” radio de la rueda.

$$T_{aer} = 0,64 \times S \times C \times v^2 \times R \quad (4)$$

Al reemplazar los datos entregados anteriormente en la fórmula (4) se entrega como total un par aerodinámico de 25,89 [Nm] al alcanzar una velocidad de 50[km/h].

Con los datos obtenidos de la fórmula (3) y la fórmula (4) se logra resolver la fórmula (2) la cual entrega un total de 86,37 [Nm] para lograr desplazar el Nissan B13 a [50 km/h]

Teniendo el par de rodadura “Tt” solo se requiere la velocidad angular “ωr” para lograr calcular la potencia de rodadura. La velocidad angular “ωr” se establece en la fórmula (5) donde “v” velocidad en [m/s]. Se entrega un valor de 49,6 [rad/s].

$$v \div R = \omega_r \quad (5)$$

Finalmente teniendo los valores del par de rodadura y la velocidad angular se sustituyen los valores en la fórmula (1), dando como resultado una potencia a la rodadura de 4.283,95[W], lo que determina que el nuevo tren de potencia debe de entregar como mínimo una potencia de 4.2[kW] para lograr desplazar el vehículo a una velocidad de 50[km/h].

3.4.2 Autonomía

El conjunto de baterías a emplear en el prototipo, cuenta con un total de 114[V] y 12000[Wh] de los cuales solo se puede emplear el 80% para así mantener la vida útil de las baterías en buen estado, entonces, quedan 9600[Wh] útiles.

El cálculo anterior nos muestra que el Nissan B13 requiere 4300[W] para desplazarse a 50[km/h] por una superficie plana, con la formula (6) se logra determinar que emplea 37.71[A] para desplazarse a 50[km/h].

$$I = P/V \quad (6)$$

Donde:

- ❖ $I = X$
- ❖ $P = 4300[W]$
- ❖ $V = 114[V]$

La fórmula (7) permite calcular la cantidad de watts hora en kilómetros recorridos, para el caso del Nissan B13 se emplean 85.97[Wh/km] para circular a 50 [km/h].

$$Wh/km = V \times (A \times Ve) \quad (7)$$

Donde:

- ❖ $V = 114[V]$
- ❖ $A = 37.71[A]$
- ❖ $Ve = 50[km/h]$

El conjunto de baterías entrega 9600[Wh] útiles, los cuales al ser divididos por los 85.97[Wh/km] nos entrega un total de 111.6 [Km] de autonomía con una sola carga.

3.4.3 Carga

Para el uso que se quiere dar al VE este debe de ser capaz de ser cargado durante la noche en un plazo de min de 8 horas, las cuales son cuando el vehículo no se encuentra trabajando, para mantener un el costo bajo de la conversión se emplea un método de carga lenta de la batería, que entrega 15 [A], al voltaje del conjunto de baterías de 114 [V] entregaría un total de 1710[W] los cuales al ser divididos por los Kilowatts hora del paquete de baterías (12000Wh) nos entrega un total de 7 horas para cargar el pack de baterías al estar estas completamente descargadas.

3.5 PASOS PARA LA CONVERSIÓN ELÉCTRICA

La conversión de un VCI a un VE es un proceso que requiere planificación previa, antes de llevarse a cabo, en primera se debe de determinar la finalidad que se le quiera dar al vehículo, este factor determinará el tipo de vehículo seleccionado y los componentes indicados para lograr la finalidad deseada.

3.5.1 Finalidad que se quiera dar al vehículo

El primer aspecto y el más importante que se debe de considerar antes de realizar la conversión, es decidir, la finalidad que se quiera dar al automóvil, si es que se quiere un vehículo de ciudad, que recorra pocas distancias, un vehículo de alta performance para desempeño en circuito o uno que sea capaz de recorrer largas distancias con una sola carga; en función de la necesidad determinada por el usuario serán determinados los componentes y el vehículo que cumpla las necesidades.

En el caso de este estudio se pretende tener un vehículo para transporte público, que este sea capaz de transportar pasajeros dentro de un área urbana, para que cumpla esta finalidad el vehículo debe de tener una autonomía superior a los 100[km] con una sola carga.

3.5.2 Elección del vehículo

Debido a la ley chilena la cual permite realizar modificaciones de cambio de motor a aquellos vehículos que hayan sido inscritos hasta 1992 [9], esta normativa abre una ventana para posibilitar la conversión y que este vehículo circule bajo la normativa establecida en el territorio.

Para que el vehículo convertido cumpla satisfactoriamente la finalidad que se quiera dar la estructura principal del vehículo debe ser la adecuada, en el caso de este trabajo un vehículo con chasis del tipo sedán cumple las necesidades planteadas.

Cabe destacar que el peso neto del vehículo no debe ser muy elevado puesto que, entre más peso, más energía será necesaria para propulsar el vehículo, lo cual se transforma en un mayor volumen en el banco de baterías y a su vez un aumento en el costo de la conversión.

Recomendable que la elección del vehículo a convertir sea de un modelo que haya sido altamente comercializado en el territorio nacional para así no tener dificultades con la adquisición de repuestos.

3.5.3 Desmontaje de componentes

Al instalar un nuevo sistema de propulsión eléctrico en un VCI, existirán una gran cantidad de componentes que no tendrán uso cuando se instale el nuevo sistema; partiendo por el motor de combustión interna y los sistemas que acompañan su funcionamiento.

El vehículo al no poseer un MCI no producirá emisiones por combustión por lo cual todo el sistema de escape es eliminado, múltiple de escape, línea de escape, convertidor catalítico (si es que el vehículo cuenta con uno) y silenciador.

Sistema de combustible, se descarta el sistema de alimentación de combustible del vehículo, estanque de combustible, bomba de bencina, filtros de combustible y líneas de combustibles se ven eliminadas.

Sistema de refrigeración y calefacción, al no poseer un MCI que produzca una alta cantidad de calor de forma constante los sistemas de refrigeración y calefacción se ven inutilizables.

Sistema de aire acondicionado y sistema de dirección hidráulica, al no tener la energía cinética del MCI estos sistemas se quedan sin energía para poder funcionar, si es que se quieren emplear estos elementos será necesario buscar alternativas eléctricas. cabe destacar que estos sistemas cumplen funciones de confort y no representan un riesgo para el funcionamiento del vehículo.

3.5.4 Almacenamiento de energía

Factor de suma importancia para la realización de la conversión, en base a la elección del conjunto de baterías se determina el voltaje, los kilowatts hora, el amperaje, tamaño y el peso del conjunto de baterías, estos valores determinaran la autonomía y la potencia eléctrica que alimentara el motor.

3.5.5 Sistema de carga

Ya decidido el almacenamiento de energía se tiene en conocimiento cuantos son los kilowatts que deben de ser cargados, dependiendo del sistema de carga que se emplee en el vehículo se logra calcular el tiempo que se demora en cargar el almacenamiento de energía.

En el caso del Nissan B13 este se demoraría un total de 7[h] al ser sometido a una carga lenta, el tiempo se puede disminuir significativamente dependiendo de la intensidad de carga a la cual sea sometido.

3.5.6 Propulsión

Al momento de elegir la propulsión del VE se debe de determinar el tipo de motor a emplear este puede ser de corriente continua o de corriente alterna, los cuales tiene sus pros y contras como son señalados en el capítulo 2.

Dependiendo de las necesidades del usuario variar la cantidad de motores eléctricos y su tamaño, de este elemento depende la potencia, el torque y la velocidad final que poseerá el VE.

3.5.7 Transmisión

Una vez elegido el motor eléctrico se debe de establecer como es que la potencia del motor será transmitida a las ruedas, se presenta dos alternativas, dependiendo del sistema que se emplee, los cuales se señalan a continuación.

3.5.7.1 Transmisión por medio de la caja de cambios existente

Un método simple y económico para lograr la transmisión de potencia desde el motor eléctrico hacia las ruedas del vehículo es conectar el motor de forma directa con la caja de cambios mecánica que posea el vehículo, a través del diseño de una placa que adapte los puntos de acople del motor eléctrico con los de la caja de cambios, a su vez, se debe de adaptar el volante del motor antiguo al eje del motor eléctrico para que este se pueda acoplar al embrague existente en la caja de cambios.

Este sistema permite mantener gran parte del tren motriz del vehículo intacto como, caja de cambios, diferencial, palieres. Principalmente todo elemento que sea energizado por la caja de transmisiones, lo que permite mantener un bajo costo en la conversión al disminuir la fabricación y adaptación de elementos mecánicos, también abre la opción de emplear repuestos existentes diseñados originalmente para el vehículo.

El motor de combustión interna presenta su máximo de potencia a altas revoluciones para lo cual se emplea una caja de cambios para mantener una relación de transmisión adecuada dependiendo de la velocidad a la cual circula el vehículo, el motor eléctrico por otro lado puede funcionar a altas revoluciones hasta 10.000 [rpm] y entregando un torque constante a bajas revoluciones, debido a sus características el uso de una caja de cambios para un uso cotidiano es innecesario, en el caso de conversiones que han mantenido la caja de cambios al momento de conducir no es necesario el pasar cambios a su vez no es necesario el uso del embrague al detenerse, ya que, el motor eléctrico no gira cuando el vehículo se encuentra en “ralentí”.

El motor eléctrico entrega torque de forma instantánea esto hace que el uso de una caja de cambios sea innecesario para el vehículo eléctrico, esto convierte a la caja de cambios en uno con más partes móviles las cuales podrían producir fallas en el futuro, pero esta opción permite disminuir de forma considerable la fabricación y adaptación de elementos mecánicos para lograr tracción.

En el caso de la conversión del Nissan B13 esta sería la opción empleada para la transmisión de potencia a las ruedas, producto de su bajo costo.

3.5.7.2 Transmisión por unión directa a las ruedas.

La otra posibilidad para transmitir la potencia a las ruedas es la de acoplar el motor eléctrico directo a las ruedas sin la necesidad de una caja de transmisiones, esta opción es viable solo si se cuenta con la tecnología necesaria, en el caso del tren motriz del Tesla Model S [46] el cual cuenta con un diferencial integrado lo que permitiría transmitir la potencia por medio de palieres a las ruedas del VE, otra alternativa sería la tecnología que entre Bosch con el eAxle que permite unirse directamente al cardán del vehículo. Estas alternativas requieren una gran cantidad de fabricación de piezas para adaptarlas al chasis existente del vehículo, por otro lado, descarta el uso de la caja de cambios la cual representa una pérdida energética y desgaste mecánico.

Al no poseer una caja mecánica, no se cuenta con una marcha de reversa, para solucionar esta necesidad es necesario programar en el controlador la función de retroceso, la cual se encarga de invertir el flujo de corriente en el motor, haciendo que este gire en sentido contrario y así lograr que el vehículo se desplace en marcha atrás.

3.5.8 Elementos auxiliares del vehículo

El vehículo convencional emplea la energía cinética del motor de combustión interna para energizar otros sistemas en el vehículo, al realizar la conversión estos sistemas deben de ser energizados por alternativas eléctricas o acoplarse por otro medio al rotor del motor eléctrico.

Para el sistema de freno, en el caso de que el vehículo cuenta con un sistema de frenado asistido, servofreno, es necesaria la instalación de una bomba de vacío eléctrica para sustituir el vacío que produce el motor de combustión interna en la admisión.

Para el sistema de dirección hidráulico, es necesaria la instalación de una bomba eléctrica hidráulica, que genera la presión necesaria para ayuda a asistir el sistema de dirección o un sistema de dirección eléctrico.

EVWest tiene a disposición un sistema de correa energizado por el mismo rotor del motor eléctrico, el cual es compatible con el motor HPEVS AC-50 que sería empleado en el prototipo, este cuenta con una bomba de vacío, bomba universal de dirección hidráulica y un soporte para instalar el aire acondicionado original del vehículo como se muestra en la Figura 3-3 [47].



Fuente: <https://www.evwest.com/catalog/images/thumbs/def/large/products/ev-west-accessory-plate-pump-system-for-hpevs-ac-75-76-1.jpg>

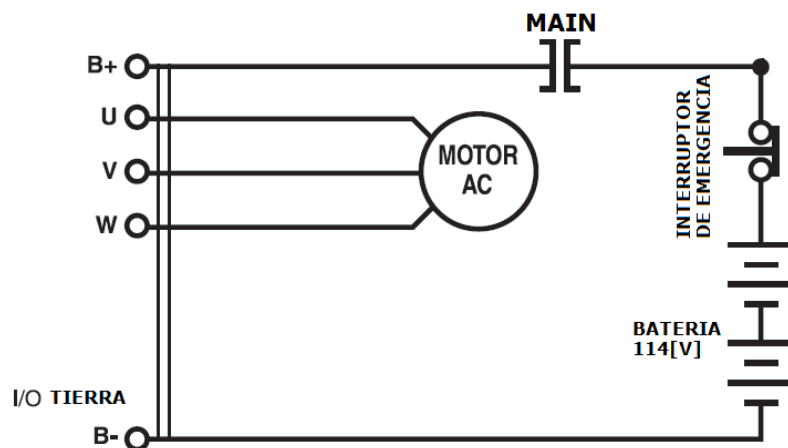
Figura 3-3 Placa para accesorios

3.5.9 Circuitos de baja corriente

Al realizar la conversión se requieren nuevos circuitos eléctricos para controlar las nuevas funciones del vehículo, el encargado de recibir la información y entrega la potencia al motor es el controlador, en el caso del prototipo se empleará el controlador Curtis 1238e, el cual, se requieren de conexiones del interruptor de la chapa, pedal del acelerador, pedal de freno, conexión a tierra, y esta entrega información por medio de un display que debe de ser conectado. Cada conexión debe de ser realizada en las entradas establecidas por el manual del controlador al igual que los sensores deben de cumplir con las especificaciones determinadas.

3.5.10 Circuito de alta corriente

Cables de batería, estos deben de ir conectados entre el banco de batería y los terminales, B+ y B- del controlador, con su respectiva polaridad. Del controlador, desde los terminales U, V y W, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se conectan los cables que alimentan al motor, estos cables deben de estar lo más cercano al motor posible y deben de poseer el mismo largo. Se recomienda mantener el largo de lo cable de alta corriente lo más cortos posibles para disminuir la pérdida de energía.



Fuente: Manual, Curtis Models 1234/36/38. [42]

Figura 3-4 Diagrama de alta corriente.

3.5.11 Circuito de 12[V]

A pesar de tener un nuevo sistema de propulsión se sigue empleando la antigua red que posee el vehículo de 12[V] para los accesorios, como el sistema de luces, el cierre centralizado, entre otros. Para mantener energizado este circuito se emplea una batería convencional de 12[V] de plomo ácido, la cual debe ser cargada por un transformador de DC a DC conectado al banco de baterías principal.

3.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA LA CONVERSIÓN

El vehículo se mueve gracias a un alto voltaje, el cual podría llegar a tener consecuencias fatales al ser intervenido sin las precauciones adecuadas. A continuación, se nombrarán algunos puntos que son de suma importancia para mantener la seguridad de la conversión.

Todo elemento que sea parte del circuito de alto voltaje debe de estar totalmente aislado para imposibilitar el contacto con agentes externos, como se señala en el decreto 145, los cables deben de poseer la aislación correcta, los módulos de control deben de encontrarse contenidos de forma adecuada y con su determinada señalización de presencia de alto voltaje [48].

Interruptor de corte de energía, el vehículo debe de poseer un interruptor de fácil acceso para cortar la circulación de corriente del sistema de alto voltaje en el caso de que se quiera realizar alguna mantención al sistema, así evitando la posibilidad de un accidente. También se debe de instalar un sistema de corte de energía automático, en caso de que el vehículo esté involucrado en una colisión para así imposibilitar la descarga de corriente.

Emplear elementos de protección personal adecuados y herramientas aisladas para prevenir cortos circuitos al trabajar con elementos de la red de alto voltaje. Antes de realizar cualquier mantención al controlador se deben de desconectar la alimentación del banco de baterías y descargar los capacitadores.

3.7 COMPARATIVA ENTRE LA CONVERSIÓN ELÉCTRICA Y SU VERSIÓN CONVENCIONAL.

Para visualizar de mejor forma las ventajas que presenta la conversión eléctrica en comparación de la versión convencional o stock, se presentan una serie de factores que los diferencian. Los vehículos serán comparados bajo la finalidad propuesta anteriormente, que el vehículo debe ser capaz de recorrer 100[km] a una velocidad máxima de 50 [km/h] durante 165.000[km] que vendrían siendo la vida útil que tiene las baterías Tesla en el prototipo del Nissan B13, si es que el vehículo recorre una cantidad de 100[km] diarios durante días laborales se demoraría aproximadamente 6 años en recorrer esa distancia.

3.7.1 Mantenciones

Para que el vehículo se mantenga en funcionamiento por la cantidad de kilómetros determinados se debe de realizar mantenciones periódicas, esta varía dependiendo de la versión, la versión stock al contar con un motor de combustión interna presenta más elementos mecánicos en movimiento, por ende, tiene un mayor desgaste mecánico y a su vez la necesidad de fluidos, tanto refrigerantes como lubricantes. Si bien la versión eléctrica no presenta estas desventajas esta versión se ve afectada por la vida útil de las baterías y su autonomía.

La mantención de la versión eléctrica supone un ahorro de 1.482.200 en comparación al costo de mantención que tendría la versión convencional, los costos se ven especificados a continuación.

3.7.1.1 Mantenciones exclusivas para la versión convencional

Según el manual original del Nissan B13 el fabricante recomienda realizar las siguientes mantenciones cambio de aceite y de su filtro cada 5.000 [km], cambio de bujías y filtro de aire cada 10.000[km], filtro de combustible y liquido de sistema de refrigeración cada 40.000[km] o un año, lo que ocurra primero [49].

Otros elementos que no aparecen en el manual pero que se les debe de realizar mantención de igual forma fueron consultados en un taller mecánico. Embrague más rodamiento de empuje se realiza el cambio aproximadamente a los 150.000[km] esto depende de la forma de conducción a la cual se someta, correa de accesorios cada 50.000[km].

En la Tabla 3-3 se detallan los costos individuales de cada mantención, sin contar la mano de obra y su costo total a los 165.000[km] que se espera que el vehículo recorra.

Tabla 3-3 Costos aproximados de componentes para mantención de Nissan Sentra B13 versión convencional

Componente/elemento	Duración del componente	Costo en pesos chilenos	Costo a los 165.000[km]
Embrague y rodamiento de empuje	150.000 [km]	\$80.000	\$80.000
Correas de accesorios	50.000 [km]	\$8.000	\$24.000
Bujías	10.000 [km]	\$10.000	\$160.000
Cables de Bujías	100.000 [km]	\$20.000	\$20.000
Bobina	100.000 [km]	\$7.000	\$7.000
Filtro de aire	10.000 [km]	\$8.000	\$128.000
Filtro de aceite	5.000 [km]	\$5.000	\$165.000
Cambio de aceite del motor, 3 litros de 10W-30	5.000 [km]	\$20.000	\$660.000
Cambio de refrigerante	60.000[km]	\$12.000	\$24.000
Filtro de combustible	40.000 [km]	\$10.800	\$43.000
Bomba de bencina	150.000 [km]	\$50.000	\$50.000
		Total	\$1.361.000

Fuente: Elaboración propia

3.7.1.2 Mantenciones que compartes las dos versiones

La versión eléctrica del Nissan B13 aun comparte elementos de la versión original que presentan desgastes con el tiempo, estos componentes provienen principalmente del sistema de frenos y suspensión del vehículo, los cuales son detallado en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4 Costos aproximados de componentes para mantención en ambas versiones

Componente/elemento	Duración del componente	Costo en pesos chilenos	Costo a los 165.000 [km]
Pastillas de freno	30.000 [km]	\$28.000	\$140.000
Discos de freno	90.0000 [km]	\$30.000	\$30.000
Líquido de frenos (DOT 3)	40.000 [km]	\$5.990	\$24.000
Rodamientos de masa con masa incluida	100.000 [km]	\$30.000	\$30.000
Amortiguadores	100.000 [km]	\$100.000	\$100.000
Terminales de dirección	100.000 [km]	\$45.000	\$45.000
Aceite caja de cambios, 3 litros de 80W-90	40.000 [km]	\$10.500	\$42.000
		Total	\$411.000

Fuente: Elaboración propia

3.7.2 Autonomía

El vehículo en su versión stock tiene un rendimiento en ciudad de 11 [km/l], al contar con un estanque de 50[l] entrega una autonomía total de 550 [km] con su estanque lleno, valor que es 5 veces más mayor a la autonomía que presentaría su versión eléctrica de 111,6 [km]. Si bien la autonomía no es un factor de relevancia para el uso que se planea dar al vehículo es de importancia tomar en cuenta puesto que este es uno de los factores más débiles de los vehículos eléctricos.

3.7.3 Costos de operación

Para comparar el costo que tiene los vehículos al circular se determina una distancia de 100 [km] que deben de recorrer. Para Viña del Mar el costo del kWh es de \$87,364 pesos [50], para cargar el banco de baterías deben de emplearse 12kWh lo que tendría un costo de \$1.048,36 pesos. En el caso de la versión stock este requiere de 9 litros de combustible para poder recorrer los 100km dentro de la ciudad, el costo de un litro de bencina de 95 octanos en Viña del Mar durante el mes de noviembre tuvo un precio promedio de \$850 pesos [51] con lo cual daría un total de \$7.650 pesos para recorrer los 100 [km].

Manejar el vehículo eléctrico supone un ahorro de hasta 7 veces más que el vehículo convencional, si se toma en consideración los 165.000 [km] establecidos de vida útil que tendrá el vehículo, la versión convencional representa un costo de unos \$12.600.000, mientras que la versión eléctrica solo consumiría 1.730.000 para recorrer la misma distancia.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo estuvo enfocado en la conversión de vehículos convencionales a vehículos eléctricos, se presentaron los beneficios que conlleva la conversión, la cual es una clara solución para enfrentar los efectos contaminantes que producen los motores de combustión interna.

El diseño de un prototipo para la conversión eléctrica permitió aterrizar de mejor forma la idea de la conversión y en conjunto con los cálculos se logró establecer su viabilidad y las prestaciones que podría llegar a producir, son más que necesarias para cumplir las metas planteadas, cabe mencionar que las prestaciones pueden ser mucho mayores si es que se contase con un mayor presupuesto, el cual limita principalmente la cantidad de baterías y estas a su vez a la autonomía del VE.

Al revisar los pasos para la conversión eléctrica se muestra que es un proceso relativamente simple debido a la menor cantidad de componentes que poseería en comparación con un vehículo convencional, esto deja en evidencia que es un proceso que se puede llevar a cabo sin mayores complicaciones.

La popularización de las conversiones eléctricas se ven perjudicadas por la falta de venta de componentes en el territorio nacional, lo que genera que el costo aumente de sobremanera. Si bien Chile es uno de los líderes en innovación en cuanto a la electromovilidad en América Latina aún queda camino por recorrer para lograr que las conversiones eléctricas sean más populares y asequibles para cualquier persona. Que vehículos inscritos hasta 1992 solo sean posibles de convertir se presenta como una dificultad, la cual, el gobierno debería de reformar para permitir la conversión de cualquier vehículo sin importar el año, lo que, aumentaría el número de vehículos en las calles y el fomento de reutilización de vehículos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] International Energy Agency (IEA), 2019. Global EV Outlook 2019, [Online] <<https://www.iea.org/gevo2019/>> [Consultado 1 de diciembre de 2019].
- [2] Francisco Martín Moreno, Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros. Málaga, España, Universidad de Málaga, 2016..
- [3] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gray, Ali Emadi, Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, (2004) Boca Raton, Estados Unidos..
- [4] Idaho National Laboratory, History of electric cars , [Online] [Consultado 10 de febrero de 2020] <<https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/HistoryOfElectricCars.pdf>>.
- [5] «U.S Department of Energy, The History of the Electric Car , [Online] [Consultado 6 de febrero de 2020] <<https://www.energy.gov/articles/history-electric-car>>,» [En línea].
- [6] «Encyclopedia Britannica, Early Electric automóviles, [Online] <<https://www.britannica.com/technology/automobile/Early-electric-automobiles>> [Consultado 1 de diciembre de 2019],» [En línea].
- [7] Transport Canada, Hymotion-Prius, Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV), Test Result Report. Ottawa, Ontario [Online] <https://www.tc.gc.ca/media/documents/programs/TEST_RESULTS_REPORT-HYMOTION-PRIUS-PHEV.pdf> [Consulta: 12 de febrero de 2020].
- [8] Vynokov O.F Savolova E.V Skrynnyk A.I MODERN ELECTRIC CARS OF TESLA MOTORS COMPANY, Odessa National Polytechnic University, Odessa..
- [9] Nicolas García B, Electromovilidad, Tendencias y experiencia nacional e internacional, Asesoría Técnica Parlamentaria, 2019, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile..
- [10] «Bertel Schmitt, Germany's Bundesrat Resolves End OF Internal Combustion Engine [Online] Forbes, 2016 <<https://www.forbes.com/sites/bertelschmitt/2016/10/08/germanys-bundesrat-resolves-end-of-internal-combustion-engine/#1c1548ea60bd>>,» [En línea]. [Último acceso: 18 Febrero 2019].
- [11] Volkswagen, Ready for the electric future [Online] 2020 < <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/ready-for-the-electric-futurevolkswagen-is->

focusing-its-motorsport-strategy-on-e-mobility-5614>[Consulta: 18 de febrero de 2020].

- [12] Tesla, Tesla Q4 2019 Vehicle Production & Deliveries, [Online] 2020 <<https://ir.tesla.com/news-releases/news-release-details/tesla-q4-2019-vehicle-production-deliveries>>[Consulta: 18 de febrero de 2020].
- [13] Tesla, Model 3 achieves the lowest probability of injury of any vehicle ever tested by NHTSA, [Online] 2020 <https://www.tesla.com/es_ES/blog/model-3-lowest-probability-injury-any-vehicle-ever-tested-nhtsa?redirect=no>[Consulta: 18 de febrero de 2020].
- [14] FIGUEROA Esteban, Caracterización de la demanda por vehículos eléctricos en Santiago de Chile. Memoria (Ingeniero Civil) Santiago, Chile: Universidad de Chile, 2018..
- [15] Nicolas García B, Electromovilidad, Tendencias y experiencia nacional e internacional, Asesoría Técnica Parlamentaria, 2019, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile..
- [16] Electricidad, La revista energética de Chile, El mapa de los puntos de carga para la electromovilidad en Chile, [Online] <<http://www.revistaei.cl/2019/06/03/el-mapa-de-los-puntos-de-carga-para-la-electromovilidad-en-chile/>>[Consulta: 3 de junio del 2019].
- [17] Ministerio de Energía, Ruta Energética 2018-2022: Liderando la modernización con sello ciudadano..
- [18] ANAC, Mercado automotor diciembre 2019, [Online] <<https://www.anac.cl/wp-content/uploads/2020/01/12-ANAC-Mercado-Automotor-Diciembre-2019.pdf>> [Consulta: 8 de marzo de 2020].
- [19] Green Car Reports, Toyota Gasoline Engine Achieves Thermal Efficiency of 38 Percent. [Online] <https://www.greencarreports.com/news/1091436_toyota-gasoline-engine-achieves-thermal-efficiency-of-38-percent> [Consulta: 19 de diciembre de 2019].
- [20] TORRES Sarmiento Juan David, Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [21] Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, HOJA DE RUTA 2050, hacia una energía sustentable e inclusiva para Chile. [Online] <https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/hoja_de_ruta_cc_e2050.pdf> [Consulta: 3 de diciembre de 2019].

- [22] Decreto 211, Normas sobre emisiones de vehículos motorizados livianos, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 11 de diciembre de 1991..
- [23] Chv Noticias, Julio Sánchez. Se puede por menos de \$6 millones: Las ventajas de convertir tu auto en uno eléctrico. [Online] <https://www.chvnoticias.cl/reportajes/ventajas-convertir-auto-en-electrico_20191009/> [Consulta: 12 de noviembre de 2019].
- [24] «Chv Noticias, Julio Sánchez. Polémica decisión Gobierno prohibió la conversión de autos de combustible a eléctricos. [Online] <https://www.chvnoticias.cl/reportajes/polemica-decision-gobierno-conversion-autos-combustible-electricos_20191205/>,» [En línea]. [Último acceso: 10 Diciembre 2019].
- [25] Wikipedia, Electric vehicle conversion [Online] <[https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_conversion#California_\(US\)_conversion_registration_and_taxation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle_conversion#California_(US)_conversion_registration_and_taxation)> [Consulta: 19 de diciembre de 2019].
- [26] EV ALBUM, 1969 Volkswagen Beetle Baja [Online] <<http://www.evalbum.com/5286>> [Consulta: 26 de septiembre de 2019]..
- [27] EV ALBUM, 2003 Chevrolet S-10 “Tinker Toy” [Online] <<http://www.evalbum.com/5403>> [Consultado 26 de septiembre de 2019]..
- [28] jalopnik, This Glorious Madman Stuffed A Tesla Drivetrain Into A 1981 Honda Accord [Online] <<https://jalopnik.com/this-glorious-madman-stuffed-a-p85-tesla-drivetrain-int-1823461909>> [Consulta: 30 de septiembre de 2019]..
- [29] I. P. A. G. Espinoza., «dspace.ups.edu,» 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15560/1/UPS-CT007651.pdf>. [Último acceso: 06 04 2019].
- [30] J. R. Vilorio, «play.google,» 2014. [En línea]. Available: https://play.google.com/books/reader?id=Xic6AgAAQBAJ&hl=es_419&pg=GBS.PA29. [Último acceso: 28 04 2019].
- [31] M. A. Moreno Vallejo y D. A. Estupiñán Vega, «repositorio.uide.edu,» 2009. [En línea]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/801/1/T-UIDE-718.pdf>. [Último acceso: 09 05 2019].
- [32] H. N. A. Gamarra, «upcommons.upc,» 11 07 2014. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/23284/Mem%C3%B2ria.pdf>. [Último acceso: 23 09 2019].
- [33] F. A. P. Jabib, «repository,» 2013. [En línea]. Available: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1536/BAT%20ER%C3>

%8DAS_ESTADO%20DEL%20ARTE%20Y%20VIGILANCIA%20TECNOL%C3%93GICA%202013.pdf?sequence=1. [Último acceso: 14 07 2019].

- [34] Race, «race,» 27 03 2019. [En línea]. Available: <https://www.race.es/como-son-baterias-coches-electricos>. [Último acceso: 07 11 2019].
- [35] F. M. Bocachica Bustos y M. R. Hernandez Borrero, «biblioteca.usbbog,» 2009. [En línea]. Available: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/65879.pdf>. [Último acceso: 19 11 2019].
- [36] A. Electrico, «auto-electrico,» 13 07 2015. [En línea]. Available: <http://www.auto-electrico.net/2015/07/siete-funciones-del-controlador-de-auto-electrico.html?m=1>. [Último acceso: 01 12 2019].
- [37] F. J. O. Maturana, «docs.google,» 2019. [En línea]. Available: <https://docs.google.com/document/d/18eAtLKuBONL3CvC5z1DiORLrlOyO-1JA6kxwjW5ggIc/edit>. [Último acceso: 01 02 2020].
- [38] R. G. Macias, «Ptolomeo.unam,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4259/TESIS%20%20FRENO%20REGENERATIVO%20RAUL.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 25 08 2019].
- [39] La Tercera, La exitosa historia del Nissan V16 llega a su fin, [Online] <<https://www.latercera.com/noticia/la-exitosa-historia-del-nissan-v16-llega-a-su-fin/>> [Consulta: 10 de diciembre de 2019].
- [40] HPEVS, HPEVS AC Electric-Motor Drive Systems (AC-50/AC-51) [Online] <<http://www.hpevs.com/hpevs-ac-electric-motors-ac50-ac51-for-automotive-mining-utility-ground-support-vehicles.htm>> [Consulta: 14 de Diciembre de 2019].
- [41] Engineering.com Jhon Ewbank [Online] <<https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/17625/How-Regenerative-Braking-Works.aspx>> [Consulta: 17 de Diciembre de 2019].
- [42] Manual, Curtis Models 1234/36/38 AC INDUCTION MOTOR CONTROLLERS Manual [Online] <https://www.nocoev.com/product/curtis/manual/1234_36_38%20Manual%20Rev%20Feb%2009.pdf> [Consulta: 14 de Diciembre de 2019].
- [43] Inside EVs Tesla Model 3 With 50,000 Miles: Battery Degradation? [Online] <<https://insideevs.com/news/375459/tesla-model-3-50k-miles-battery-degradation/>> [Consulta: 14 de diciembre de 2019].

- [44] EVWEST Tesla Smart Lithium Ion Battery 18650 EV Module [Online]
<https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=329>
[Consulta: 14 de diciembre de 2019].
- [45] EVWest, Curtis 1238-7601 HPEVS AC-50 Brushless AC Motor Kit- 96 Volt [Online]
<https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=83>
[Consultado 19 de diciembre de 2019].
- [46] Tesla Model S drive unit [Online]
<https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=476> [Consulta: 18 de diciembre de 2019].
- [47] EV West Accessory Plate & Pump System [Online]
<https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?products_id=184> [Consulta: 18 de diciembre de 2019].
- [48] Decreto 145, Establece requisitos técnicos, constructivos y de seguridad para vehículos eléctricos que indica, Biblioteca Del Congreso Nacional de Chile, 12 de noviembre de 2017..
- [49] JManual Nissan, Modelos de la serie B13 [Online]
<<https://es.slideshare.net/alexandro2213/manualnissanv16>> [Consulta: 19 de diciembre de 2019].
- [50] TARIFAS DE SUMINISTRO ELECTRICO DE CHILQUINTA ENERGÍA S.A [Online]
<<https://www.chilquinta.cl/storage/pdf/bbaa54b4e76bcbb661705b794f809214.pdf>>
[Consulta: 19 de diciembre de 2019].
- [51] Ranking de Estaciones por Región [Online] <<http://reportes.cne.cl/reportes?c>>
[Consulta: 19 de diciembre de 2019].
- [52] I. P. A. G. Espinoza., «dspace.ups.edu,» 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15560/1/UPS-CT007651.pdf>. [Último acceso: 06 04 2019].