
Tecnología de Conversión: Estudio del Rendimiento de Vehículos con Motor de Gasolina Convertidos a Propulsión Eléctrica

Ing. Rodrigo Nicolás Gutiérrez Riveros¹

rngutierrez@umsa.edu.bo

<https://orcid.org/0000-0001-8559-7827>

Instituto de Investigaciones en Ingeniería Eléctrica – IIIE

Universidad Mayor de San Andrés

La Paz – Bolivia

RESUMEN

Se investiga el proceso de conversión de un vehículo con motor de combustión interna a uno eléctrico (conocido como retrofit), analizando su consumo de energía y su impacto ambiental en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se realiza una caracterización de los materiales empleados en la conversión, se detallan los pasos necesarios para llevar a cabo dicha transformación, se efectúan cálculos para describir las propiedades de las piezas utilizadas y se presentan los resultados de las pruebas realizadas como parte de este estudio de conversión. Los resultados obtenidos incluyen una autonomía de 36 [km], un consumo energético de 13.88 [kWh] por cada 100 [km], una reducción de emisiones de CO₂ equivalente a 4.14 [TCO₂], un costo de conversión al sistema de tracción eléctrica de 41991 [Bs.], y un ahorro del 70.58% en el uso del vehículo.

Palabras claves: vehículo eléctrico; emisión de gases; banco de baterías; controlador; motor de combustión interna.

¹ Autor principal

Correspondencia: rngutierrez@umsa.edu.bo

Conversion Technology: Analyzing the Performance of Gasoline-to-Electric Vehicle Conversions

ABSTRACT

The process of converting a vehicle with an internal combustion engine to an electric one (known as retrofit) is investigated, analyzing its energy consumption and its environmental impact in reducing greenhouse gas emissions. In addition, a characterization of the materials used in the conversion is carried out, the steps necessary to carry out said transformation are detailed, calculations are carried out to describe the properties of the parts used and the results of the tests carried out as part of this are presented. conversion study. The results obtained include an autonomy of 36 [km], an energy consumption of 13.88 [kWh] per 100 [km], a reduction in CO₂ emissions equivalent to 4.14 [TCO₂], a conversion cost to the electric traction system of 41991 [Bs.], and a saving of 70.58% in the use of the vehicle.

Keywords: *electric vehicle; gas emission; battery bank; controller; internal combustion engine.*

Artículo recibido 15 agosto 2023

Aceptado para publicación: 17 setiembre 2023

INTRODUCCIÓN

Las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (CND)

En consonancia con los planes nacionales de desarrollo, Bolivia con la meta 9 de los CND, ha fijado un ambicioso objetivo, para revolucionar su parque automotor mediante la adopción de la movilidad eléctrica. Para el año 2030, se proyecta alcanzar un crecimiento anual del 10% en la participación de vehículos eléctricos en el sector de transporte público, un cambio significativo en comparación con la línea base de 2020 que se encontraba por debajo del 1%. (CND, 2020).

Este esfuerzo no solo busca modernizar el parque vehicular, sino también establecer un compromiso nacional con la sostenibilidad y la innovación. Esta iniciativa responde a la necesidad de introducir tecnologías limpias y avanzadas en el transporte público. El objetivo es lograr una transición gradual hacia la movilidad eléctrica, de manera que para el año 2030, el 10% del crecimiento del parque automotor del sector de transporte público sea representado por vehículos eléctricos.

Esta meta fijada por Bolivia no solo tiene implicaciones locales, sino que también está intrínsecamente ligado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS). La consecución de esta meta impactará positivamente en múltiples ODS, abordando directamente los números 7 (Energía asequible y no contaminante), 8 (Trabajo decente y crecimiento económico), 9 (Industria, innovación e infraestructura), 11 (Ciudades y comunidades sostenibles), 12 (Producción y consumo responsables) y 13 (Acción por el clima). (Naciones Unidas ODS, 2022)

Cambio climático.

El uso de la gasolina y el diésel en el transporte terrestre ha ocasionado contaminación ambiental del aire, su utilización en el transporte terrestre significa la emisión de gases contaminantes generados por el motor de combustión interna alternativo (MCI), gases como el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos nítricos (NO_x), dióxido de azufre (SO₂) e hidrocarburos (HC), son liberados al medio ambiente.

El capitalismo ha basado su crecimiento económico en base a la quema de combustibles fósiles, el mismo que presenta una alta dependencia a este tipo de combustible, que en la actualidad representa el 80% de la energía consumida en el mundo proveniente de los combustibles fósiles. (Tejero, 2019).

En la actualidad el ser humano está emitiendo CO₂ a la atmósfera a un ritmo cien veces mayor al de cualquier otro momento de la historia humana anterior al inicio de la industrialización. Más de la mitad del CO₂ expulsado a la atmósfera, debido a la quema de combustibles fósiles, ha sido emitido apenas en los últimos 30 años. (Gómez, 2020).

Los niveles de los principales gases de efecto invernadero (GEI) de larga duración, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han alcanzado niveles récord. La última vez que la atmósfera de la Tierra contenía 400 partes por millón de CO₂ fue hace unos entre 3 y 5 millones de años, cuando la temperatura media global de la superficie era de 2 a 3 grados más cálida que hoy, las capas de hielo en Groenlandia y la Antártida Occidental se derritieron y partes del hielo de la Antártida Oriental se cayeron, todo lo cual causó un aumento del nivel global del mar de 10 a 20 metros en comparación con el actual nivel del mar. (Taalas, Srivastava, 2019).

La industria del automóvil y las emisiones de GEI.

Las emisiones de CO₂ del transporte seguirán suponiendo un enorme reto. La extrapolación de las ambiciones políticas actuales con el futuro muestra que estas no conseguirán mitigar el aumento de las emisiones de CO₂ del sector transporte, ante el robusto crecimiento de la demanda de transporte, prevista para los próximos años. En un entorno donde se apliquen las políticas de atenuación ya anunciadas con el grado de ambición actual, las emisiones de CO₂ derivadas del sector transporte en todo el mundo se prevé que sigan aumentando en un 60 % de aquí a 2050. (Foro Internacional del Transporte, 2019).

El vehículo eléctrico (VE) como estrategia para la mitigación de GEI.

A nivel mundial han surgido diferentes estrategias de mitigación de emisiones de GEI en el transporte, las cuales tienen como foco principal lo relacionado a evitar viajes, cambiar a modalidades más sostenibles y mejorar la eficiencia de estos. Entre las estrategias más representativas se pueden mencionar: a) Un transporte público atractivo, seguro y confiable; b) Atención a los espacios para impulsar el transporte no motorizado; c) Eliminación de subsidios; d) Gestión del estacionamiento; e) Capacidad de las vialidades; f) Carga multimodal y g) Eficiencia energética vehicular y cambio de combustible, por ejemplo, a vehículos eléctricos. (Sandoval, Franco, Fernández, 2019).

Uso del excedente de potencia instalada en el Sistema Interconectado Nacional (SIN).

El parque de generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), como se aprecia en la Tabla N°1, está compuesto por centrales del tipo termoeléctricas, hidroeléctricas, solares, eólicas, etc. La capacidad efectiva de generación es 3624,28 [MW] y la demanda máxima fue de 1602,03 [MW] el jueves 30 de marzo a horas 19:30, existiendo una potencia disponible de 2022,25 [MW], esta potencia de disponible, aporta estabilidad al SIN y puede ser utilizada para el funcionamiento de los vehículos eléctricos, aportando al cambio de la matriz energética del transporte (CNDC, 2023).

Tabla 1

Capacidad efectiva de generación de E.E. en Bolivia, agosto 2023.

Empresa	Centrales	N° Unidades	Capacidad efectiva [MW]
Hidroeléctricas			
Hidrobol	Sistema Hidroeléctrico Taquesi	2	89,19
Synergia	Central Hidroeléctrica Kanata	1	7,54
Ende corani	Sistema Hidroeléctrico Corani	14	280,36
Eresa	Sistema Hidroeléctrico Yura	7	19,04
Cobee	Sistema Hidroeléctrico Miguillas	9	21,11
	Sistema Hidroeléctrico Zongo	21	188,04
Sdb	Central Hidroeléctrica Quehata	2	1,97
Ende guaracachi S.A.	Sistema Hidroeléctrica San Jacinto	2	7,60
Ende generación	Sistema Hidroeléctrica Misicuni	3	120
Total			734,85
Eólicas			
Ende corani	Sistema Eólico Qollpana	10	27
Ende generación	Sistema Eólico Warnes 1	4	14,40
	Sistema Eólico San Julián	11	39,60
	Sistema Eólico El Dorado	14	50,40
Total			131,40
Solar			
Ende Guaracachi s.a.	Yunchará	2	5
	Uyuni	21	60,06
Ende generación	Oruro Etapa 1 + Etapa 2	38	100,02
Total			165,08
Termoeléctricas			
Ende Guaracachi S.A.	Térmica Guaracachi	8	345,95
	Térmica Santa Cruz	2	41,95
	Térmica Aguai (Biomasa)	1	10,00
	Térmica San Buenaventura (Biomasa)	1	5,00
	Térmica Unagro (Biomasa)	1	35,00
	Térmica Aranjuez - TG	1	18,39

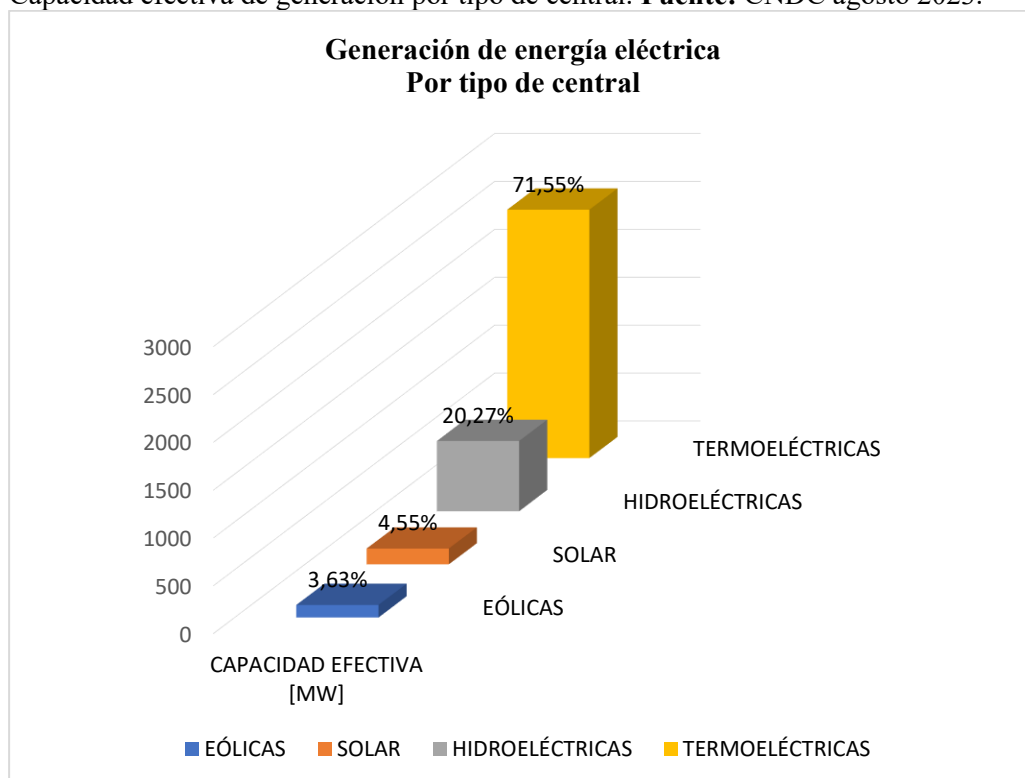
	Térmica Aranjuez - DF	3	7,56
Ende valle hermoso	Térmica Valle Hermoso	8	116,60
	Térmica Carrasco	3	133,36
	Térmica El Alto	2	50,19
Che s.a.	Térmica Bulu Bulu	3	135,45
Guabira energía	Térmica Guabirá (Biomasa)	1	21,00
	Térmica IAGSA	1	5,00
Ende andina	Térmica Entre Rios	13	526,77
	Térmica del Warnes	13	570,57
	Térmica del Sur	12	505,83
Ende generación	Sistema Trinidad	5	5,70
Aguai energía	Térmica Aguai (Biomasa)	1	49,72
Total			2 593,28
Total capacidad efectiva de generación			3 624,28

Fuente: CNDC año 2023.

En la figura N°1 se aprecia la capacidad efectiva de generación por tipo de central, las centrales térmicas tienen el mayor porcentaje de participación en la capacidad efectiva de generación con el 71,55 % de participación, las centrales térmicas que funcionan con gas natural, obtienen gas natural a 1.3 [US\$/MPC], precio subvencionado por el estado boliviano (CNDC, 2023).

Figura N°1

Capacidad efectiva de generación por tipo de central. Fuente: CNDC agosto 2023.



La subvención a los hidrocarburos en Bolivia.

Desde el año 2004 hasta la fecha actual de esta investigación, en Bolivia se ha llevado a cabo la implementación de la subvención a los combustibles fósiles mediante el decreto supremo N°27499 del 17 de mayo de 2004. A lo largo de este período, el Gobierno ha respaldado económicamente la importación de combustibles fósiles, como se puede observar en la tabla N°2. Esta tabla detalla la evolución de los precios al consumidor en el lapso comprendido entre 2010 y 2022, los cuales han permanecido constantes sin variación, por ejemplo, el precio internacional de la gasolina el mes de agosto de 2023 fue de 8,68 [Bs], existiendo una variación de 4,94 [Bs].

Tabla N°2

Precios de los hidrocarburos gestiones 2010-2022.

Gestió n	Gasoli na especia l Bs./L	Gasoli na premiu m Bs./L	Gasol ina súper 91 Bs./L	Gasoli na etanol 92 Bs./L	Gasoli na de aviació n Bs./L	Die sel oíl Bs./ L	Jet fuel nacio nal Bs./L	GL P Bs./ Kg	Ker ose ne Bs./ L	Gas oil Bs./ L	GN V Bs./ m3
2010	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2011	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2012	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2013	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2014	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2015	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2016	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2017	3,7	4,79	-	-	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2018	3,7	4,79	4,4	4,5	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2019	3,7	4,79	4,4	4,5	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2020	3,7	4,79	4,4	4,5	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6
2021	3,7	4,79	4,4	4,5	4,57	3,7 2	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6 6

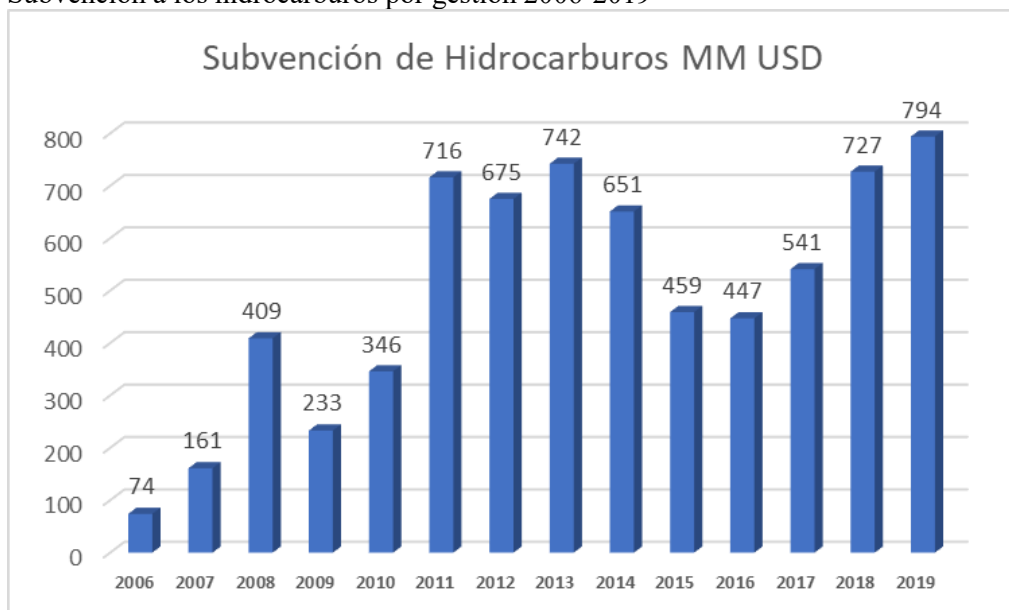
2022	3,7	4,79	4,4	4,5	4,57	3,7	2,77	2,25	2,27	1,1	1,6
						2					6

Fuente: <https://www.anh.gob.bo/w2019/contenido.php?s=13>

En la figura N°2, se aprecia la evolución del monto de subvención a los hidrocarburos, Para el año 2022 el Ministerio de Economía y Finanzas Publicas ha presupuestado 1700 [MM USD], para la subvención a los hidrocarburos. (PGE Ministerio de Economía y Finanzas Publicas, 2022).

Figura N° 2

Subvención a los hidrocarburos por gestión 2006-2019



Fuente: GIZ-MHE.

La adopción de vehículos eléctricos en el sector del transporte conlleva una serie de beneficios significativos, que contribuyen directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y a los Compromisos Nacionales Determinados (CND). Estos vehículos no solo ofrecen ventajas notables en términos ambientales, al reducir las emisiones de gases de escape, sino que también generan un impacto positivo en el ámbito económico al aprovechar la energía eléctrica disponible a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Además, contribuyen a la economía circular al reducir la dependencia de subvencionar hidrocarburos, gracias a la transición hacia vehículos eléctricos en lugar de los convencionales de motor de combustión interna (CND Bolivia, 2021).

La realización de investigaciones experimentales sobre la incorporación de la energía eléctrica en el

transporte representa una valiosa contribución para transformar la matriz energética del parque automotor, promoviendo la adopción de fuentes de energía más limpias y sostenibles. Al abrazar esta transición hacia la movilidad eléctrica, se alinea con los objetivos de sostenibilidad y la reducción de la huella de carbono, impulsando así el cumplimiento de los ODS y los CNB que buscan abordar el cambio climático y fomentar prácticas más responsables con el medio ambiente (CND Bolivia, 2021).

METODOLOGÍA

La metodología de investigación empleada es la cualitativa que posibilita diversas interpretaciones de la realidad y los datos recolectados. Esto se logra porque en este tipo de enfoque, el analista o investigador se involucra en el "campo de acción" con una mentalidad abierta, aunque esto no implica que carezca de un marco conceptual previo (Herrera et al, 2015).

La investigación se enfoca en la comprensión experimental del proceso de conversión del vehículo objeto de estudio (Retrofit), su observación y evaluación, en el contexto de una realidad dinámica y mediante un enfoque participativo, donde se evalúa el producto resultado de la investigación, que es el vehículo convertido al sistema de tracción eléctrica, se realizan pruebas de autonomía, consumo de energía tiempo de recarga de las baterías y costo de recarga de las baterías.

Desarrollo de la investigación

Los materiales utilizados en el desarrollo de la investigación están descritos en la tabla N°3, en la que se describen las características del vehículo que será sometido al proceso de conversión, también se observa las características de los componentes que serán instalados en el vehículo para la conversión.

Tabla N°3

Materiales empleados para la investigación

Características del vehículo a convertir:		
1	Tipo de vehículo	Automóvil
2	Marca	Mazda
3	Modelo	Capella
4	Año de fabricación	1997
5	Peso bruto	1180
6	Tipo de combustible	Gasolina
7	Tipo de transmisión	Automática
8	Cilindrada	1800 [CC]
9	Torque @ 4000 (rpm)	154 [Nm]
10	Dirección	Hidráulica
Características de los componentes utilizados para la conversión:		

1	Motor eléctrico:	
	Potencia de motor trifásico inducción	15 [kW]
	Peso del motor	60 [Kg]
	Par nominal	150 [Nm]
	Velocidad nominal	4500 [rpm]
2	Banco de baterías:	
	Tensión del banco de baterías	96 [v]
	Cantidad de baterías	8 [un]
	Energía del banco de baterías	9.6 [kW]
	Tecnología de las baterías	Plomo acido
	Peso del banco de baterías	240 [Kg]
3	Controlador:	
	Corriente nominal	140 [A]
	Corriente máxima	550 [A]
	Tensión nominal DC	96 [V]
	Potencia nominal	20 [kW]
4	Bomba de vacío eléctrica	1 [Kg/cm ²]
5	Sistema de dirección eléctrico asistido:	
	Tensión de alimentación	12 [V]
	Corriente nominal	3 [A]

Fuente: IIIE-UMSA

Proceso para la conversión del vehículo de combustión interna a un VE.

Ingeniería del Proyecto

En esta sección se realizan los cálculos necesarios para la selección de los componentes del VE y sus características de funcionamiento.

Para realizar los cálculos necesarios se tomarán los valores de un vehículo experimental con características similares a los vehículos que circulan en el parque automotriz de la ciudad de La Paz.

Determinación la potencia mínima del motor eléctrico

Mv, masa del vehículo objeto Mazda Capela = 1180 [kg]

Mm, masa MCIA = 150 [kg]

Mb, masa de una batería plomo acido 100[ah] = 30 [kg]

Mbb, masa banco de baterías = 240 [kg]

Mme, masa motor eléctrico = 50 [kg]

Mp, masa pasajeros = 250 [kg]

Ctc, capacidad tanque de combustible = 50 [litros]

g , gravedad ciudad de La Paz	= 9.775 [m/s ²]
μ_r , coeficiente de resistencia a la rodadura asfalto	= 0.015
$\rho_{gasolina}$, densidad de la gasolina	= 0.76 [g/cm ³], (95 octanos)
$\rho_{aire\ en\ La\ Paz}$, densidad del aire en La Paz	= 1.21 [kg/m ³]
S, superficie frontal del automóvil	= 2 [m ²]
Cx, coeficiente aerodinámico	= 0.3
Vv, velocidad del vehículo	= 40 [Km/h] = 11.11 [m/s]
T, tiempo de aceleración	= 30 [s]

Cálculo de la masa del combustible:

$$M_c = 50 [\text{litro}] * \frac{1000[\text{cc}]}{1 [\text{litro}]} * 0.76 \frac{[\text{g}]}{[\text{cc}]} * \frac{1[\text{kg}]}{1000[\text{g}]} = 38 [\text{kg}]$$

Cálculo de la masa del vehículo convertido con pasajeros:

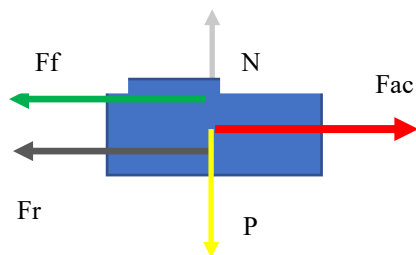
$$M_{vc} = M_v - M_m - M_c + M_{bb} + M_{me} + M_p$$

$$M_{vc} = 1180 [\text{kg}] - 150[\text{kg}] - 38[\text{kg}] + 140[\text{kg}] + 50[\text{kg}] + 250[\text{kg}] = 1432 [\text{kg}]$$

Cálculo de desplazamiento sobre una superficie plana

Figura 3

Representación de fuerzas que actúan sobre en vehículo en una superficie plana.



Fuente: I.I.I.E. – UMSA

Cálculo de la fuerza debida al peso del vehículo sobre el piso:

$$P = M_{vc} * g = 1432[\text{Kg}] * 9.775 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 13997.80 [\text{N}]$$

Cálculo de la fuerza resistencia a la rodadura:

$$F_r = \mu_r * M_{vc} * g = 0.015 * 1432[\text{kg}] * 9.775[\frac{m}{s^2}] = 209.96 [\text{N}]$$

Cálculo de fuerza de fricción del aire:

$$F_f = \frac{1}{2} * \rho_{\text{aire La Paz}} * S * C_x * V^2 = \frac{1}{2} * 1.21[\frac{Kg}{m^3}] * 2 [m^2] * 0.3 * \left[40 * \frac{Km}{h} * \frac{1000 m}{1 Km} * \frac{1 h}{60 min} * \frac{1 min}{60 s}\right]^2$$

$$F_f = 44.81 [N]$$

Para una velocidad final de 40 [Km/h]:

$$V_0 = 0 [m/s]; V_v = 11.11[m/s]; T = 30[s].$$

$$t = \frac{V_f - V_0}{a}$$

$$a = \frac{V_v}{t} = \frac{11.11[\frac{m}{s}]}{30[s]} = 0.37[\frac{m}{s^2}]$$

Segunda ley de Newton:

$$\sum F_X = M_v * a$$

$$F_{ac} - F_f - F_r = M_v * a$$

$$F_{ac} = 1432 [Kg] * 0.37[\frac{m}{s^2}] + 44.81[N] + 209.96[N]$$

$$F_{ac} = 784.61 [N]$$

$$\text{Fuerza necesaria para el arranque} = F_{arr} = F_{ac} = 784.61 [N]$$

$$\text{Fuerza necesaria en estado de régimen} = F_{reg} = F_f + F_r = 254.77 [N]$$

Potencia de arranque en superficie plana:

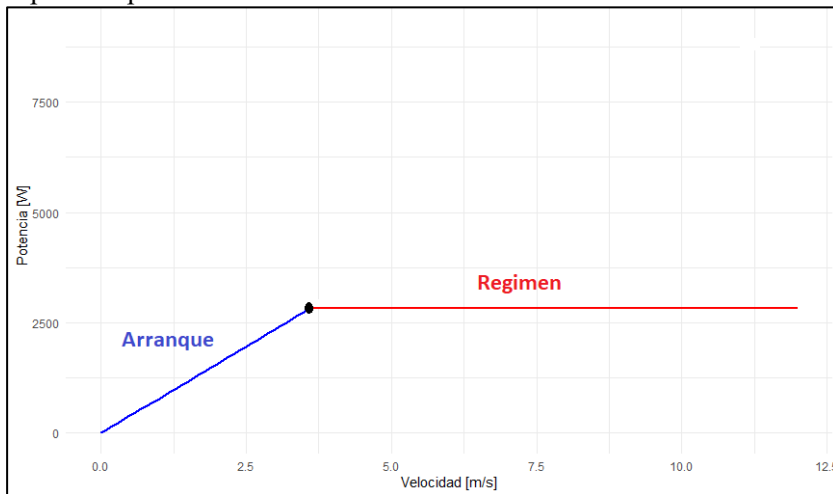
$$P_{arr} = \frac{\text{trabajo}}{t} = \frac{F_{ac} * d}{t} = F_{ac} * V = 784.61[N] * 11.11[\frac{m}{s}] = 8717.01[W] = 8.71 [kW]$$

Potencia de régimen:

$$P_{reg} = \frac{\text{trabajo}}{t} = \frac{F_{reg} * d}{t} = F_{reg} * V = 254.77[N] * 11.11[\frac{m}{s}] = 2830.49 [W] = 2.83 [kW]$$

Figura 4

Representación de la potencia de arranque y de régimen durante la partida del vehículo sobre una superficie plana

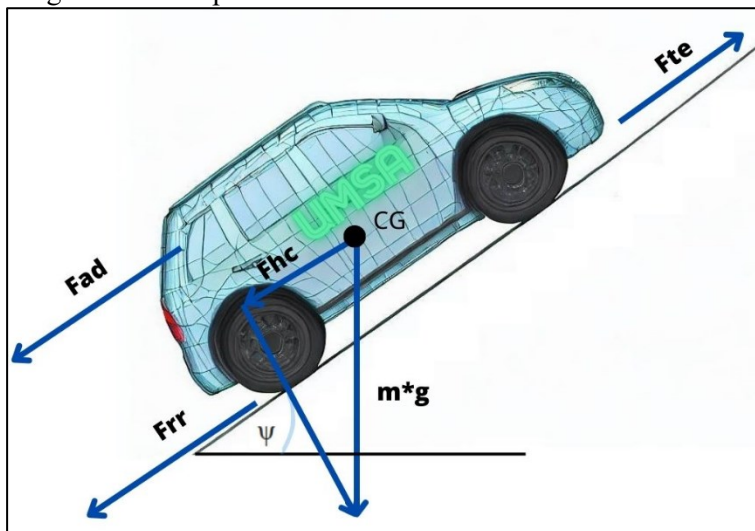


Fuente: IIIIE - UMSA

Cálculo potencia en pendiente:

Figura 5

Diagrama de cuerpo libre



Fuente: I.I.I.E. - UMSA

F_{te} = Fuerza de tracción que impulsa al VE.

F_{rr} = Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos.

F_{ad} = Fuerza de fricción con el aire.

F_{hc} = Componente del peso del VE a lo largo de la pendiente.

$$F_{te} = m * a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc}$$

$$F_{te} = m * a + \mu_r * m * g * \cos(\psi) + \frac{1}{2} * \rho_{aire \text{ en La Paz}} * S * C_x * Va^2 + m * g * \text{sen}(\psi)$$

$$F_{hc} = m * g * \text{sen}(\psi) = 1432 [Kg] * 9.775 \left[\frac{m}{s^2} \right] * \text{sen}(8) = 1948.11 [N]$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho_{aire \text{ en La Paz}} * S * C_x * V^2 = \frac{1}{2} * 1.21 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] * 2 [m^3] * 0.3 * \left(5.55 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2 = 11.18 [N]$$

$$F_{rr} = \mu_r * m * g * \cos(\psi) = 0.015 * 1432 * 9.775 * \cos(8) = 207.92 [N]$$

Para la aceleración:

$$t = \frac{Vf - Vo}{a} ; \text{ si } Vo = 0, \text{ despejamos, } a$$

$$a = \frac{Vf}{t} ; \text{ tiempo} = 40 [s]$$

$$a = \frac{5.55 [m/s]}{40 [s]} = 0.138 [m/s^2]$$

Entonces:

$$F_{te} = Mv * a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc}$$

$$F_{te} = 1432 [Kg] * 0.137 \left[\frac{m}{s^2} \right] + 186.36 [N] + 11.08 [N] + 1635.69 [N]$$

$$F_{te} = 2029.31 [N]$$

Potencia de arranque en pendiente:

$$P_{arrp} = \frac{\text{trabajo}}{t} = \frac{F_{te} * d}{t} = F_{te} * V = 2008.76 [N] * 5.55 \left[\frac{m}{s} \right] = 11262.69 [W] = 11.26 [kW]$$

Potencia de arranque en pendiente:

$$P_{arrp} = 11.26 [kW]$$

Potencia de arranque en superficie plana:

$$P_{arr} = 8.71 [kW]$$

Potencia de arranque de régimen:

$$P_{reg} = 2.83 [kW]$$

Cálculo de la potencia mínima del motor considerando 25% pérdidas (Bel, Udrizard, 2018).

$$P_{min} = P_{arrp} * 1.25 = 11.26 * 1.25 = 14.07 [kW]$$

Descripción del proceso de conversión

Los sistemas que pertenecen al motor a gasolina no formarán parte del VE convertido, esto es debido a la incompatibilidad existente en el funcionamiento del motor de combustión y el motor eléctrico, estos son:

Sistema de refrigeración del motor con su intercambiador de calor (radiador), ventilador y el recipiente de líquido refrigerante, sistema de alimentación de combustible.

Circuito de alimentación de gasolina, tanque, bomba y filtro de combustible, sistema dirección hidráulica, compuesto por la bomba hidráulica.

Cremallera de dirección y recipiente de líquido hidráulico.

Sistema de transmisión con su caja de cambios automática, bastón y cable de la caja de cambios.

Sistema de escape de gases combustionados el cual está formado por el múltiple de escape, catalizador, silenciador, sensor de oxígeno y los conductos de escape de gases.

Los sistemas que formarán parte del VE y serán adecuados son:

Sistema de frenos, se agrega una bomba de vacío eléctrica para que trabaje con el freno de potencia. Tablero de instrumentos, modificado para que albergue los instrumentos del sistema de control del VE.

A continuación, se mostrará a través de fotografías el procedimiento Retrofit llevado adelante en el vehículo.

La figura N°6, muestra el motor de combustión interna del vehículo objeto de la investigación antes de ser sometido al proceso de conversión, este motor tiene un volumen de la cámara de combustión de 1800 [c.c.] y potencia de 154 [N-m] a 4000 [rpm].

Figura N°6

Motor de combustión interna del vehículo objeto de la investigación, antes de ser convertido a vehículo eléctrico



Fuente: I.I.I.E. – UMSA

En las figuras N°7, 8 y 9, se aprecia los trabajos de desmontaje de distintos sistemas y piezas en el vehículo.

Figura N°7

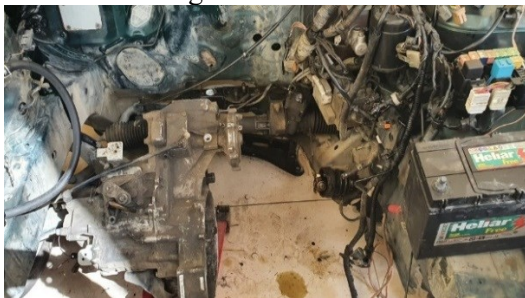
Desmontado del motor de combustión interna



Fuente: I.I.I.E. - UMSA

Figura N°8

Vano motor luego de retirado el motor de combustión



Fuente: I.I.I.E. – UMSA

Figura N°9

Desmontaje del panel de instrumentos al interior de la cabina del vehículo



Fuente: I.I.I.E. - UMSA

En la figura N°10, se aprecia el sistema eléctrico del vehículo antes de someter a el vehículo al proceso de conversión, los circuitos pertenecientes a los siguientes sistemas formaran parte del VE convertido: circuito de iluminación de carretera, luces de parada, luces direccionales, circuitos pertenecientes al

sistema de carrocería, limpia parabrisas, eleva vidrios, radio estéreo, luces de salón, cierre centralizado de puertas y el circuito de encendido del vehículo.

Figura N°10

Soporte principal del panel de instrumentos al interior de cabina del vehículo



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

En la figura N°11 se muestra la instalación de la cremallera de dirección mecánica en el vehículo, instalada en reemplazo de la cremallera y bomba hidráulica que funcionaba con el motor de combustión interna.

Figura N°11

Instalación de la cremallera de dirección mecánica en el vehículo.

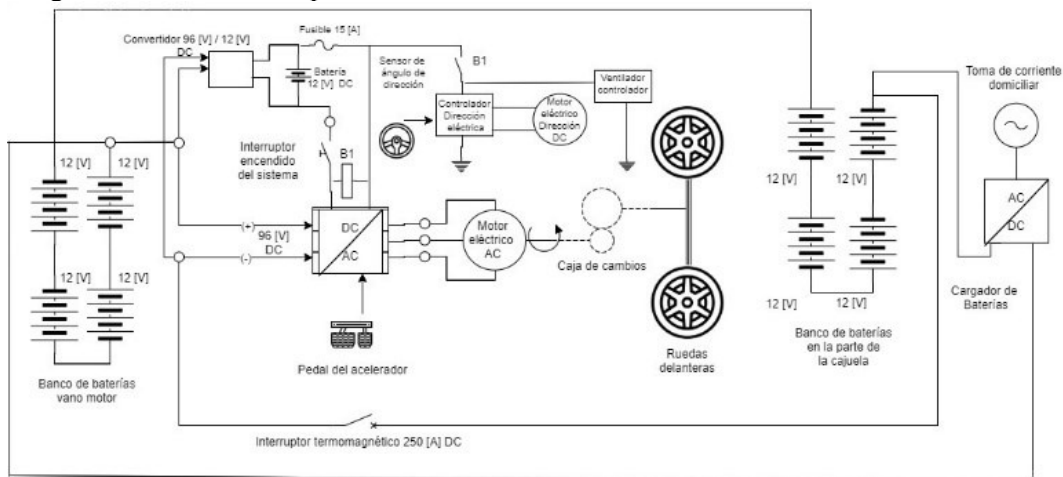


Fuente: I.I.I.E.-UMSA

La instalación del sistema eléctrico de propulsión es considerada la más importante del proceso, en la figura N°12 se muestra el diagrama del circuito eléctrico utilizado en la instalación eléctrica del Retrofit. Las tareas en esta etapa repercuten en el resultado de funcionamiento y rendimiento del vehículo eléctrico, debido a este hecho, antes de la instalación del motor eléctrico se realizaron pruebas de funcionamiento sin carga (vacío) como se aprecia en la figura N°26.

Figura N°12

Diagrama eléctrico correspondiente al vehículo eléctrico convertido



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Montaje del grupo motor eléctrico transmisión mecánica.

El acople mecánico fabricado que se muestra en la figura N° 13, realiza la unión entre el motor eléctrico y la caja de cambios, cumple dos funciones, la primera es la unión mecánica entre la campana de la transmisión y cuerpo estatórico del motor eléctrico, la segunda función, es la transferencia de movimiento rotacional del motor eléctrico a la caja de cambios, a través de la utilización de un sistema de embriague mecánico, encargado de acoplar y desacoplar el movimiento del motor a la transmisión mecánica, con el objetivo de realizar el cambio de marchas de forma suave y sincronizada.

Figura N°13

Acople del motor eléctrico con la caja de cambios mecánica



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

En la Figura N°14, se aprecia el acoplamiento terminado del conjunto motor eléctrico y caja de cambios.

Figura N°14

Conjunto motor eléctrico y caja de cambios acoplado en una sola unidad



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Con la utilización de una grúa hidráulica se realizó el montaje del conjunto motor eléctrico y transmisión mecánica en el habitáculo del vano motor como se aprecia en la figura N°15.

Figura N°15

Montaje del grupo motor eléctrico y caja de cambios mecánica en el VE.



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Para fijar el conjunto motor eléctrico y transmisión al chasis compacto del vehículo, se fabricó soportes compuestos por eje de goma, Figura N°16, estos soportes cumplen con la función de absorber las vibraciones y los esfuerzos en los ejes longitudinal, transversal y vertical, que se generan con el movimiento del vehículo y el funcionamiento del conjunto motor transmisión.

Figura N°16

Instalación del soporte chasis y el conjunto motor eléctrico transmisión



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Conformación del banco de baterías del VE.

El banco de baterías está compuesto por 8 baterías de descarga profunda marca Toyo industria boliviana, cada una tiene una tensión nominal de 12 [v] y una capacidad de 100 [Ah] y han sido distribuidas de la siguiente manera, 4 baterías en la parte delantera del habitáculo del motor, figura N°17 y 4 baterías en la parte del porta equipaje. Las baterías están conectadas en serie por un conductor de cobre flexible HEPR de 70 [mm²] de sección, siendo la tensión nominal del banco de baterías 96 [v], la potencia total del banco de baterías es de 9.6 [kWh], para la fabricación de la estructura se utilizó perfil L de hierro de 1 ½ [in] y 3 [mm] de espesor.

Figura N°17

Conformación del banco de baterías parte delantera.



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Figura N°18

Banco de baterías ubicado en la parte de la cajuela



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Sistema de dirección eléctrica asistida instalado en el VE.

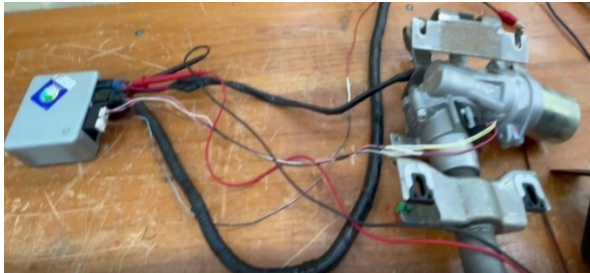
El sistema de dirección eléctrica asistida tiene la función de reducir el esfuerzo del conductor durante la conducción del vehículo, además de reducir el peso del conjunto del vehículo. (Bochs, 2021).

El sistema de dirección eléctrica asistida que se observa en la figura N°19, está compuesto por los siguientes elementos: cremallera de dirección mecánica, sensor de ángulo de giro y par, motor de corriente continua, módulo de control de la dirección y la columna de dirección.

Es necesario instalar este tipo sistema eléctrico en vista que el sistema de dirección hidráulica ha sido retirado del vehículo, puesto que este sistema hidráulico obtenía el movimiento circular para su funcionamiento de eje cigüeñal del motor de combustión interna a través de una correa.

Figura N°19

Sistema de dirección eléctrica asistida



Fuente: IIIE.

El controlador del motor eléctrico y su haz de conductores.

El controlador del motor eléctrico figura N°20, cumple con la función de variar la velocidad del motor eléctrico (variador de velocidad) y convertir la corriente continua en corriente alterna trifásica (inversor trifásico), con la que alimenta al motor eléctrico y además controla la etapa del freno regenerativo del sistema eléctrico.

Figura N°20

Controlador del motor eléctrico



Fuente: IIIE.

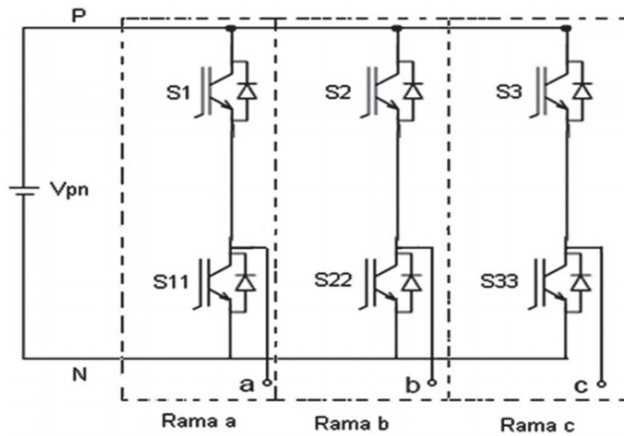
Un variador de velocidad tiene como función principal cambiar la frecuencia de la tensión en su salida para obtener velocidades variables en motores de inducción.

Una de las tareas fundamentales de un variador de velocidad es la modulación sinodal de ancho de pulso SPWM (Senoidal Pulse Width Modulation) y su implementación se ha realizado utilizando dispositivos como: controlador digital de señales (DSC, Digital Signal Controller), procesador digital de señales

(DSP, Digital Signal Processor), microcontroladores (MCU, Microcontroller) o arreglos de compuertas programables por campo (FPGA, Field Programmable Gate Arrays). (Benavides, Muñoz y Cano, 2017). El objetivo de un inversor trifásico figura N°20, es generar energía eléctrica de corriente alterna a partir de una fuente de energía de corriente continua, con magnitudes y frecuencias deseadas. Se constituye principalmente por dispositivos electrónicos de potencia, que trabajan como interruptores operando en corte y saturación con una secuencia apropiada para obtener tres tensiones de salida simétricas y balanceadas.

Figura N°21

Inversor de la corriente en dos niveles



Fuente: Trejos y Gómez, 2013.

Cargador de baterías y conexión del banco de baterías.

En el desarrollo de los VE el cargador de baterías juega un papel muy importante, ya que es el encargado de transferir la energía eléctrica de la red a las baterías. El cargador de baterías cumple con la función de recargar al banco de baterías instalado en el vehículo eléctrico, en la figura N°22, se aprecia la instalación del cargador de baterías al interior del VE, el modo de carga de utilizado es el Modo 1, en cumplimiento a la resolución AETN 479/2021, donde se describe el *Modo de carga 1, que corresponde a la conexión de vehículos eléctricos a la red de alimentación, con una intensidad no superior a los 16 [A] en C.A., en los niveles de baja tensión normalizados, sin comunicación entre el vehículo eléctrico y el punto de recarga (AETN, 2021).*

Figura N°22:

Cargador de baterías instalado en el interior del vehículo eléctrico, 3.6 [kW].



Fuente: IIIE.

Para la conexión de las baterías en serie se utilizó el conductor eléctrico de cobre flexible de 70 [mm²] de sección, tipo HEPR en conjunto al cable ducto corrugado de plástico, como se aprecia en la figura N°23.

Figura N°23

Tendido de conductores eléctricos



Fuente: IIIE.

Como resultado de la investigación se obtiene un VE, como se aprecia en la figura N°24 y 25. Terminado el proceso de Retrofit.

Figura N°24

Parte frontal del vehículo eléctrico convertido.



Fuente: IIIE.

Figura N°25

Vano motor correspondiente al vehículo eléctrico.



Fuente: IIIE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se exponen los resultados de la investigación, la cual se centró en la conversión de un vehículo al sistema de tracción eléctrica. A lo largo de esta investigación, se llevaron a cabo pruebas tanto en el motor eléctrico como en el vehículo eléctrico (VE), así como en las baterías, con el propósito de obtener conclusiones significativas. A continuación, detallaremos las pruebas que se llevaron a cabo durante el estudio:

Prueba de vacío al motor eléctrico

Figura N°26

Pruebas de vacío del motor.

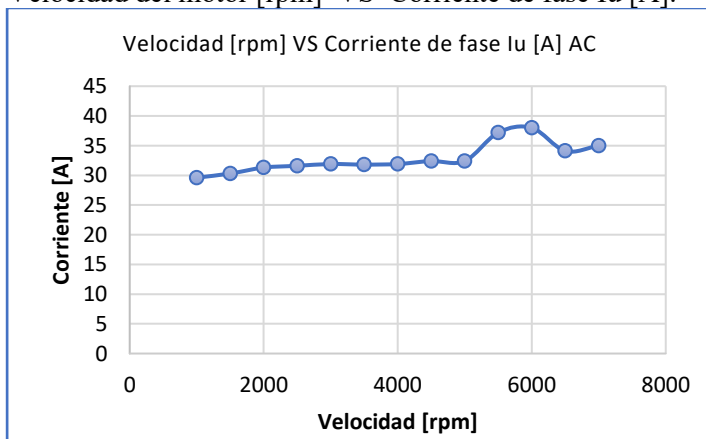


Fuente: I.I.I.E.-UMSA

La prueba de vacío se la realizó en el motor eléctrico trifásico como se puede apreciar en la figura N°26. Los resultados obtenidos durante las pruebas se aprecian de la siguiente forma, en la figura N°27 se aprecia el comportamiento de la corriente de fase AC con la variación de la velocidad del motor, la figura N°28 muestra el comportamiento de la tensión de fase AC con la variación de corriente fase AC, la figura N°29 se observa la corriente CC de alimentación al controlador del motor con la variación de la velocidad del motor.

Figura N°27

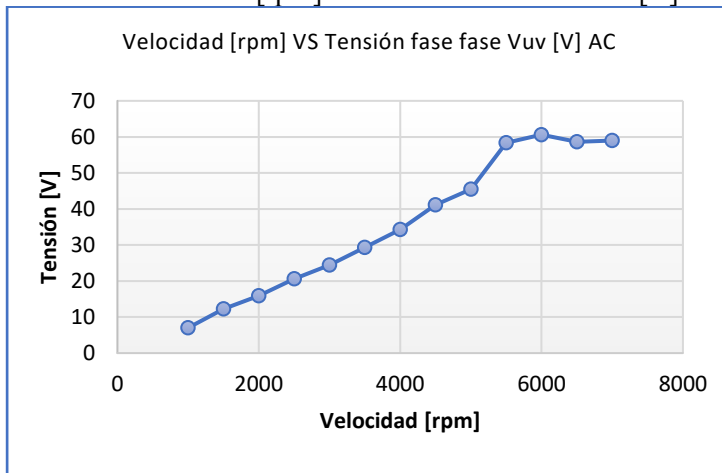
Velocidad del motor [rpm] VS Corriente de fase I_u [A].



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Figura N°28

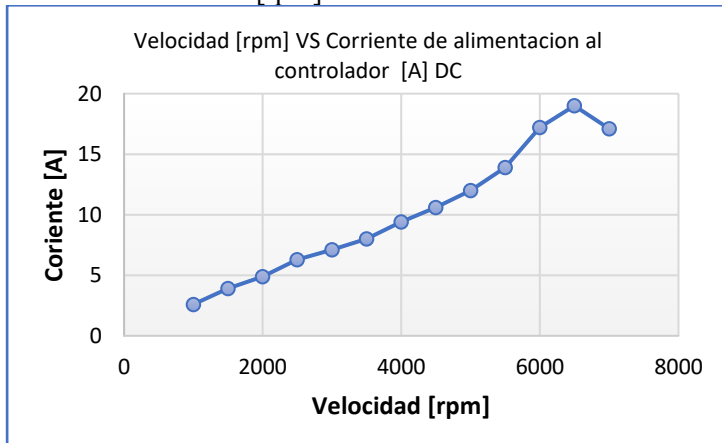
Velocidad del motor [rpm] VS Tensión de fase Vuv [V].



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Figura N°29

Velocidad del motor [rpm] VS Corriente de alimentación al controlador [A] DC.



Fuente: I.I.I.E.-UMSA

Concluida prueba de vacío y teniendo los parámetros de funcionamiento del motor eléctrico registrados previo al proceso de conversión Retrofit, se continua con el desarrollo del proyecto iniciándose el montaje de grupo motor eléctrico transmisión mecánica.

Pruebas dinámicas al VE

Las pruebas dinámicas realizadas en el VE se realizaron en el banco dinamométrico vehicular, perteneciente al Instituto de Investigaciones Mecánica y Electromecánica (IIME) de la Universidad Mayor de San Andrés, donde simulando las condiciones de esfuerzos típicos carretera se condujo el vehículo a una velocidad constante de 30 [km/h] como se puede apreciar en la figura N°30 y 31.

Figura 30
Montaje y anclaje del VE en el banco de pruebas dinámico



Fuente: IIIE.

Figura 31
Identificación de puntos calientes durante el sistema de funcionamiento del VE.

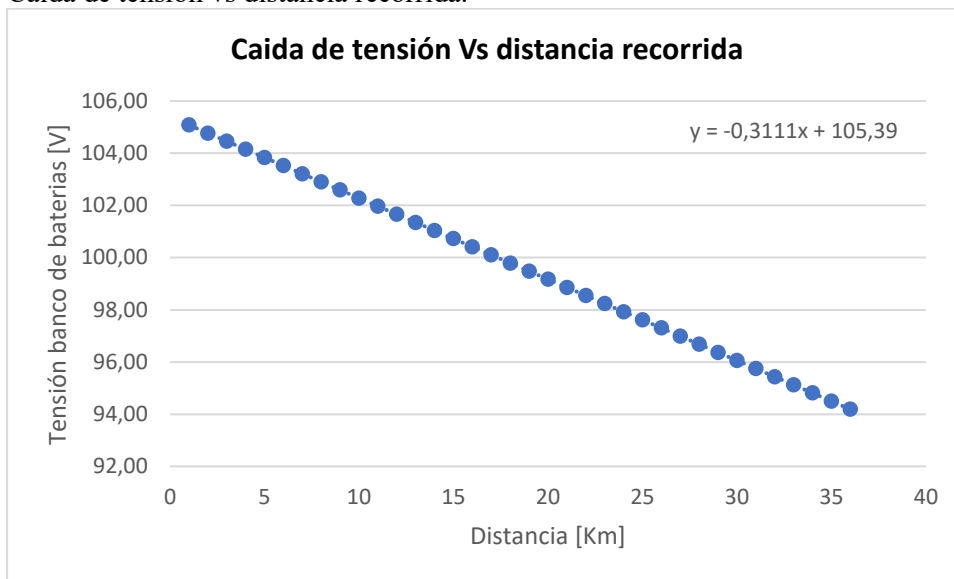


Fuente: IIIE.

Los resultados de las pruebas dinámicas se pueden observar en la figura N°32, donde se muestra la caída de tensión en el banco de baterías en relación a la distancia recorrida del vehículo eléctrico, la autonomía del vehículo eléctrico está limitada por la tensión en las baterías, siendo la máxima tensión con carga completa de 13,35 [V] y la mínima tensión de 11,5 [V], esto hecho es debido a que una tensión inferior a ese valor ocasionaría la gasificación del electrolito en la batería y como consecuencia la reducción de la vida útil de la batería, tomando mediciones en las baterías se obtuvo una autonomía de 36 [km] del vehículo eléctrico.

Figura 32

Caída de tensión vs distancia recorrida.



Fuente: IIIE – UMSA.

En la tabla N°4 se observa la caída de tensión en cada batería en relación a la distancia recorrida por el vehículo eléctrico, se puede observar que el consumo de energía no es igual en todas las baterías, esto es debido a la sintonización de las baterías, existiendo la siguiente variación.

Tensión máxima descarga = 11,93 [V]

Tensión mínima descarga = 11,44 [V]

 $\Delta T = 0,49 = 4.1\%$ de variación en la caída de tensión en las baterías.**Tabla 4**

Distancia vs caída de tensión en las baterías

Distancia [Km]	Batería a 1 [V]	Batería a 2 [V]	Batería a 3 [V]	Batería a 4 [V]	Batería a 5 [V]	Batería a 6 [V]	Batería a 7 [V]	Batería a 8 [V]	Tensión Banco [V]
1	13,07	13,35	13,13	13,02	13,07	13,2	13,04	13,2	105,08
2	13,04	13,31	13,09	12,98	13,03	13,16	12,99	13,16	104,77
3	13,00	13,27	13,05	12,95	13,00	13,13	12,95	13,12	104,46
4	12,97	13,23	13,01	12,91	12,96	13,09	12,90	13,09	104,15
5	12,93	13,19	12,96	12,87	12,92	13,05	12,86	13,05	103,84
6	12,90	13,15	12,92	12,83	12,88	13,02	12,81	13,01	103,52
7	12,87	13,11	12,88	12,80	12,85	12,98	12,77	12,97	103,21
8	12,83	13,07	12,84	12,76	12,81	12,94	12,72	12,94	102,90
9	12,80	13,03	12,80	12,72	12,77	12,91	12,67	12,90	102,59
10	12,76	12,98	12,76	12,68	12,73	12,87	12,63	12,86	102,28
11	12,73	12,94	12,72	12,65	12,70	12,83	12,58	12,82	101,97
12	12,70	12,90	12,67	12,61	12,66	12,79	12,54	12,79	101,66

13	12,66	12,86	12,63	12,57	12,62	12,76	12,49	12,75	101,35
14	12,63	12,82	12,59	12,53	12,58	12,72	12,45	12,71	101,04
15	12,59	12,78	12,55	12,50	12,55	12,68	12,40	12,67	100,72
16	12,56	12,74	12,51	12,46	12,51	12,65	12,35	12,63	100,41
17	12,53	12,70	12,47	12,42	12,47	12,61	12,31	12,60	100,10
18	12,49	12,66	12,43	12,38	12,43	12,57	12,26	12,56	99,79
19	12,46	12,62	12,38	12,35	12,40	12,54	12,22	12,52	99,48
20	12,42	12,58	12,34	12,31	12,36	12,50	12,17	12,48	99,17
21	12,39	12,54	12,30	12,27	12,32	12,46	12,13	12,45	98,86
22	12,36	12,50	12,26	12,23	12,28	12,43	12,08	12,41	98,55
23	12,32	12,46	12,22	12,20	12,25	12,39	12,03	12,37	98,23
24	12,29	12,42	12,18	12,16	12,21	12,35	11,99	12,33	97,92
25	12,25	12,38	12,14	12,12	12,17	12,32	11,94	12,29	97,61
26	12,22	12,34	12,09	12,08	12,13	12,28	11,90	12,26	97,30
27	12,19	12,30	12,05	12,05	12,10	12,24	11,85	12,22	96,99
28	12,15	12,25	12,01	12,01	12,06	12,20	11,81	12,18	96,68
29	12,12	12,21	11,97	11,97	12,02	12,17	11,76	12,14	96,37
30	12,08	12,17	11,93	11,93	11,98	12,13	11,71	12,11	96,06
31	12,05	12,13	11,89	11,90	11,95	12,09	11,67	12,07	95,75
32	12,02	12,09	11,85	11,86	11,91	12,06	11,62	12,03	95,43
33	11,98	12,05	11,80	11,82	11,87	12,02	11,58	11,99	95,12
34	11,95	12,01	11,76	11,78	11,83	11,98	11,53	11,96	94,81
35	11,91	11,97	11,72	11,75	11,80	11,95	11,49	11,92	94,50
36	11,88	11,93	11,68	11,71	11,76	11,91	11,44	11,88	94,19

Fuente: IIIE - UMSA

Características del vehículo convertido al sistema de tracción eléctrica.

Dirección eléctrica asistida.

Frenos de potencia con bomba de vacío eléctrica.

Transmisión mecánica 5 velocidades y retro.

Capacidad para 5 pasajeros.

Motor de corriente alterna trifásico.

Tensión nominal del motor 96 [V].

Velocidad del motor eléctrico 0 - 7400 [rpm].

Energía del banco de baterías 9.6 [kWh].

Velocidad Máxima del VE 70 [km/h].

Autonomía 36 [Km].

Tiempo de recarga del banco de baterías 6 [h], modo de carga 1.

Banco de baterías compuesto por 8 baterías de plomo ácido VLRA de descarga profunda.

Peso del banco de baterías 232 [kg].

Ventajas del vehículo convertido.

Vehículo adaptado para las condiciones topográficas de Ciudad de La Paz.

Sistema freno regenerativo de recuperación de energía cinética.

Recarga del banco de baterías mediante un tomacorriente doméstico.

No emite contaminación acústica.

Cero emisiones de gases que contaminen el medio ambiente.

Reducción de los gastos de mantenimiento.

Costos de la conversión del VE.

El costo económico de conversión del vehículo asciende a la suma de 41991 [Bs], este monto de dinero aglutina el conjunto de los materiales, piezas y partes utilizadas en para la conversión del vehículo.

Reducción de la emisión de CO₂.

Medidos el consumo de gasolina del vehículo antes de ser convertido y los datos del consumo energético del VE convertido, se calcula la cantidad de CO₂ que se dejará de emitir al medio ambiente, para ello se tiene que: 1 [litro] de gasolina combustionada genera 2.28 [kg] CO₂. (Mosquera, Fernández y Mosquera, 2010). En una distancia de 100 [km] se mide el consumo de 10.1 [litros] de gasolina, entonces se emiten al medio ambiente 23.02 [kg] CO₂. Con un promedio anual de 18000 [km] de recorrido en el automóvil, se emite al medio ambiente 4.14 [t] CO₂, por tanto, la reducción anual en la emisión del CO₂ por la utilización del VE será de 4.14 Toneladas de CO₂ al año.

Consumo energético del VE.

Realizadas las pruebas dinámicas en el VE, con la utilización del banco dinamométrico vehicular, se muestra a continuación el resultado de consumo de energía eléctrica del VE convertido en comparación del consumo de gasolina, tabla 5.

Tabla 5

Comparación del consumo energético del VE convertido

	Vehículo eléctrico	Vehículo a gasolina
Kilómetros por unidad de energía	7.2 [km/kWh]	9.90 [km/litro]
Precio de la energía	0.8 [Bs./kWh]	3.74 [Bs./litro] gasolina
Consumo de energía en 100 [km]	13.88 [kWh]	10.11 [litros]
Costo de 100 [km]	11.11 [Bs.]	37.77 [Bs.]
Ahorro Bs.	26.66 [Bs.]	
% ahorro	70.58 %	

Fuente: IIIE.

Se obtienen los siguientes resultados, por cada 100 [km] de distancia recorrida el VE, consume 13.88 [kWh] de energía eléctrica, el costo del kilovatio hora cobrado por la distribuidora de energía eléctrica de la Ciudad de La Paz DELAPAZ es de 0.8 [Bs], por tanto, el costo económico en una distancia de 100 [km] será de 11.11 [Bs]. Por otro lado, funcionando el vehículo con el motor a gasolina gastaría 10.1 [litros] de gasolina, eso representa 37.77 [Bs], haciendo una comparación entre ambos casos, se obtiene un ahorro del 70.58% con la utilización del VE.

Con las pruebas dinámicas realizadas al VE, se pudo cuantificar las variables relacionadas a su funcionamiento, un valor obtenido es la autonomía del VE, este valor es de 36 [km] de distancia, esto es debido al uso de baterías de plomo ácido, las cuales representan un peso de 232 [kg], baja densidad energética igual al valor medido de 41.34 [Wh/kg], además de ello solo es posible utilizar el 50% de la energía que almacena. Es evidente la importancia de las baterías de Litio en el cambio de la matriz energética y su aplicación en la electro-movilidad de personas y carga. Bolivia la se encuentra con la mayor reserva de litio mundial con 23 millones de toneladas (Periódico de energía, 2023).

CONCLUSION

En cuanto a las conclusiones, es importante destacar que el costo inicial de conversión de un vehículo a un Vehículo Eléctrico (VE) asciende a 41,991 [Bs]. Este valor, característico de prototipos experimentales que involucran la implementación de nueva tecnología, tiende a disminuir significativamente a medida que se avanza en la fase de ejecución y producción en masa.

Tras llevar a cabo pruebas dinámicas en el VE, se determinó un notable ahorro del 70.58% en comparación con un vehículo de combustión interna. Además, la adopción del VE contribuirá a la reducción de la emisión de 14.4 toneladas de CO₂ al medio ambiente anualmente.

Dada la topografía de la ciudad de La Paz, ubicada a 3,600 metros sobre el nivel del mar y con pendientes de hasta 20°, resulta esencial la instalación de una transmisión mecánica en el VE, con una relación de motor y caja de 16:1. Esto asegura la multiplicación del par entregado por el motor eléctrico, permitiendo al VE ascender las pronunciadas pendientes.

A partir de la experiencia en la conversión de VEs, se identificaron condiciones clave que deben cumplir los vehículos sujetos a este proceso, incluyendo un peso bruto vehicular inferior a 800 [kg], transmisión mecánica, sistema de dirección mecánica, y la incorporación imprescindible de una bomba de vacío eléctrica en el sistema de freno de potencia.

Adicionalmente, es fundamental resaltar que la conversión de vehículos no solo tiene un impacto positivo en la movilidad sostenible, sino que también contribuye a la creación de empleos locales y promueve la economía circular al reutilizar componentes automotrices, así como también vehículos usados. Este enfoque se alinea perfectamente con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de Bolivia (CND) para combatir el cambio climático, lo que hace que la conversión de vehículos sea una solución integral para abordar los desafíos ambientales y económicos de manera efectiva.

BIBLIOGRAFÍA

Tejero, H., (2019). *Cómo hacer ante la crisis climática*. [En línea]. Disponible en: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7006998> [consulta: 18 agosto 2023].

Gómez Días, D., (2020). *El cambio climático y la respuesta de las grandes potencias. el caso de estados unidos y china*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/anpol/v33n99/0121-4705-anpol-33-99-121.pdf>> [consulta: 18 agosto 2023].

Taalas, P., Srivastava, L., T.S. (2019). *Organización de Naciones Unidas ONU*. [En línea]. Disponible en: https://gallery.mailchimp.com/daf3c1527c528609c379f3c08/files/03531615-3b9f-4dda-80ba-d0c82fe4446c/United_in_Science_EMBARGO_MARKING.01.pdf [consulta: 18 de agosto 2023].

Oecd-ilibrary.org. (2019). *Perspectivas de transporte 2019 ITF*. [En línea]. Disponible en: <<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/24935fa1->

[es.pdf?expires=1629733042&id=id&acname=guest&checksum=3DDB80A52F1959EB16CABDF8479C4F8C](#) > [consulta: 18 agosto 2023].

Sandoval, Franco y Morales. (2019). *Vehículos eléctricos: ¿una solución para reducir los gases de efecto invernadero proveniente del sector transporte en la zona metropolitana del valle de México?*. [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662019000100134&lng=es&nrm=iso> [consulta: 18 Agosto 2023].

Cndc.bo. (2022). *Estadística anual 2022*. [En línea] Disponible en: <https://www.cndc.bo/media/archivos/estadistica_anual/dmax_2020.htm> [consulta: 18 agosto 2023].

Viceministerio de Comunicación - Bolivia. (2021). *Ministerio de Hidrocarburos anuncia la puesta en marcha parques eólicos y ciclos combinados*. [En línea]. Disponible en: <<https://comunicacion.gob.bo/?q=20210215/31832>> [consulta: 18 Agosto 2023].

Economiayfinanzas.gob.bo. (2021). *Ministerio de Economía y Finanzas Publicas | Inicio*. [En línea] Disponible en: <<https://www.economiayfinanzas.gob.bo/>> [consulta: 22 agosto 2023].

BBVA NOTICIAS. (2021). *¿Quién inventó el primer coche eléctrico?* [En línea]. Disponible en: <<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/quien-invento-el-primer-coche-electrico/>> [consulta: 18 Agosto 2021].

Herrera Rodríguez, J., Guevara Fernández, G. and Munster de la Rosa, H., 2015. Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teórico-metodológico. [En línea]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1608-89212015000200013&lng=es&nrm=iso> [Consulta 23 agosto 2023].

Bosch-mobility-solutions.com. (2021). *Electric power steering system (EPS)*. [En línea]. Disponible en: <<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/solutions/steering/electric-power-steering-systems>> [consulta: 23 agosto 2021].

Benavides, S., Muñoz, N. and Cano, J., (2017). *Desarrollo de un variador de velocidad trifásico: enfoque de programación multitarea*. [En línea]. Disponible en:

<<https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v26n2/0718-3305-ingeniare-26-02-00213.pdf>>

[consulta 23 agosto 2023].

Trejos, L. and Alzate, A., 2013. *Implementación de un inversor trifásico multinivel con fijación por diodos*. [En línea]. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/rlsi/v10n1/v10n1a13.pdf>>

[consulta 23 agosto 2023].

Mosquera, J., Fernandez, S. and Mosquera, J., (2010). *Vista de Análisis de emisiones de CO2 para diferentes combustibles en la población de taxis en Pereira y Dosquebradas*. [En línea].

Disponible en: <<https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/385/159>>

[consulta: 23 agosto 2023].

BBC News Mundo. 2020. *Por qué Bolivia, el país con las mayores reservas de litio en el mundo, tiene tantos problemas para explotar este valioso recurso - BBC News Mundo*. [En línea].

Disponible: <<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-51666362>> [consulta: 23

agosto 2023].

El periódico de energía, 2023. *Bolivia presume de tener la primera reserva mundial de litio con 23 millones de toneladas*. [En línea]. Disponible: <https://elperiodicodelaenergia.com/bolivia-presume-tener-primera-reserva-mundial-litio-23-millones-toneladas/>,

[consulta: 20

septiembre 2023].