

## Análisis energético de un vehículo eléctrico liviano en bolivia

Pascual Maldonado López

[pascualmaldonado.l@fcyt.umss.edu.bo](mailto:pascualmaldonado.l@fcyt.umss.edu.bo)

Universidad Mayor de San Simón  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Cochabamba-Bolivia

Ramiro Willy Peralta Uría

[rperaltauria@yahoo.es](mailto:rperaltauria@yahoo.es)

Universidad Mayor de San Andrés  
La Paz- Bolivia

### Resumen

El presente artículo pretende aclarar temas de beneficio sobre el uso de vehículos eléctricos más allá de las ventajas medioambientales por la no emisión de gases contaminantes, ofrece ventajas en los costos de operación y mantenimiento más bajos, comparado con vehículos a motor de combustión interna.

Por esta razón se construyó un vehículo eléctrico liviano para realizar los estudios correspondientes desde el punto de rendimiento, aplicándolo en rutas urbanas de Cochabamba; donde se evalúan en consumo de energía, velocidad, autonomía, potencia, y huella de carbono, De tal manera que pueda ser beneficioso para el usuario en época de pandemia con capacidad de dos pasajeros, además de ser fácilmente maniobrable en acciones de parqueo y construible en Bolivia.

**Palabras claves:** Autos eléctricos, transporte, transporte sostenible, tecnología, Diseño y Fabricación, Ensayos.

Correspondencia: [pascualmaldonado.l@fcyt.umss.edu.bo](mailto:pascualmaldonado.l@fcyt.umss.edu.bo)

Artículo recibido: 10 agosto 2022. Aceptado para publicación: 10 septiembre 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) 

Como citar: Apellidos de autores (año). Título del artículo. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Volumen(Número), página inicio-página final. DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.vxix.xxx](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.vxix.xxx)

## Energy analysis of a light electric vehicle in bolivia

### Summary

The introduction of electric vehicles (EV) in the market is considered a promising solution for gas emission problems. To understand the benefits of using EV, in this article we explained the environmental advantages of local light EV manufactured in Bolivia compared with internal combustion vehicles. In this regard, a case study of a light EV examines the performance of real situation on urban routes in Cochabamba, a city in Bolivia. The results from the study in terms of energy consumption, speed, autonomy, and power show an economic benefit, maneuverability in parking, and battery charge time. Furthermore, the results indicated that the proposed light EV model can be manufactured and compete against internal combustion vehicles at low operation costs.

**Keywords:** Electric cars, transport, sustainable transport, technology, Design and Manufacturing, Testing

## Introducción

Los vehículos eléctricos son el futuro de la locomoción por tener un motor eléctrico que no emite al medio ambiente gases contaminantes de efecto invernadero, razón por la cual la tecnología a nivel mundial está desarrollando nuevos vehículos amigables con el medio ambiente.

En Bolivia, el transporte depende en un 99 % de energía generada por combustible derivado del petróleo y es el sector responsable en gran medida del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático, (Andersen, 2014) provocando un aumento de contaminación atmosférica en las zonas urbanas. Entonces el sector del transporte se ve limitado ante la escasez de recursos energéticos no renovables y en busca de otros recursos que demanden una mayor eficiencia energética para asegurar la sostenibilidad en el desarrollo. (Instituto Nacional de Estadística, 2021).

Pero existen limitaciones para la introducción de los vehículos eléctricos por temas de recarga de energía lentos, autonomía en recorrido cortos, costes de batería altos, paradigmas sobre el uso de vehículos a combustión interna, más aún si Bolivia importa combustible para abastecer la gran demanda interna a precio de mercado internacional para luego comercializar a precio subvencionado.

Esta investigación analiza el beneficio que puede brindar un auto eléctrico además del daño mínimo que le causaría al ambiente, con respecto a modelos, rendimientos, eficiencia y gasto diario; a través de pruebas de desempeño en un modelo prototipo; exponiendo las limitaciones y beneficios energéticos que rodean a un auto eléctrico y poder tomar consciencia del daño que se le hace a la atmósfera con un auto de combustión interna y los beneficios a la economía a mediano y largo plazo que trae un vehículo eléctrico.

## Materiales y Métodos

Para la presente investigación se construye un vehículo eléctrico liviano (VEL) para promover el uso de vehículos eléctricos, acorde a las necesidades regionales y el cuidado de medioambiente, para esto se hace necesario contar con información relevante sobre la movilidad urbana en términos de costo de transporte, emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, capacidad de transporte, distancias recorridas, tipo de almacenamiento, rendimiento, etc.

Para una comparación precisa se calculan las fuerzas que intervienen en un vehículo eléctrico para determinar la potencia neta del vehículo eléctrico en estudio, se utiliza la teoría de física básica sobre dinámica de desplazamiento de cuerpos donde hace efecto la velocidad del viento, la inclinación de las vías, las aceleraciones al iniciar la marcha, los datos que se utilizaran para este cálculo son las de la ciudad de Cochabamba-Bolivia donde la altitud 2550 MSNM, afecta fundamentalmente a la densidad del aire por la presión barométrica de 0.713 kg/m<sup>3</sup> que hará efecto en la presión del aire cuando el vehículo extrema velocidades. El tema de vehículos eléctricos influye en la utilización del tipo de almacenamiento de energía en el caso de estudio se utiliza dos baterías de LiFePO<sub>4</sub>, con su capacidad teórica es de 40 Ah, (Goldenmotors.com), con una capacidad de almacenamiento de energía de 0.96 kWh y 24 kg de peso total.

**Tabla 1**

*Parámetros técnicos del vehículo eléctrico liviano (VEL)*

Parámetros Técnicos del vehículo eléctrico			
Peso del vehículo	$m_v$	183.0	kg
Peso conductor	$m_c$	80.0	kg
Peso total	$m$	263.0	kg
Diámetro de la rueda	D	0.5	m
Radio del neumático	$r$	0.25	m
Arco de contacto rueda piso	Ar	0.0325	m
Angulo de contacto	B	0.13	Rad
Coeficiente de fricción- rodadura	$\mu_r$	0.033	-
Coeficiente aerodinámico	Cd	0.3	-
Área frontal	A	1.15	m <sup>2</sup>
Potencia de motor BLDC	W	2000	W
Relación de transmisión motor rueda	i	3.33	
Torque en eje de motor	T	60	Nm
Torque en rueda	Tr	200	Nm

Fuente: Elaboración propia con datos de motor BLDC y Vehículo construido

**Tabla 2.**

*Parámetros medioambientales y físicos utilizados*

Parámetros medioambientales y físicos utilizados			
Aceleración Gravitacional	$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Pendiente para Cochabamba	A	4	%
Pendiente grados	$\psi$	2.29	Grados
Densidad del aire local	$\rho$	0.71 3	kg/m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia



Figura 1  
Prototipo de evaluación.  
Fuente: Diseño y elaboración propia.

Para analizar el gasto energético del vehículo se realizó la construcción de un vehículo liviano con material y partes compradas en Bolivia, referente al sistema de potencia y baterías fueron adquiridas del mercado internacional. Las pruebas se realizaron en recorrido por rutas urbanas de la ciudad de Cochabamba donde se pueden observar Figura 2, que corresponden a un estilo clásico de la mayoría de las ciudades en Bolivia, existe calles con semáforos, esquinas con obstáculos para reducción de velocidad, la cual hace que el estudio tome en cuenta a situaciones de aceleración y frenadas bruscas típica de zonas residenciales.

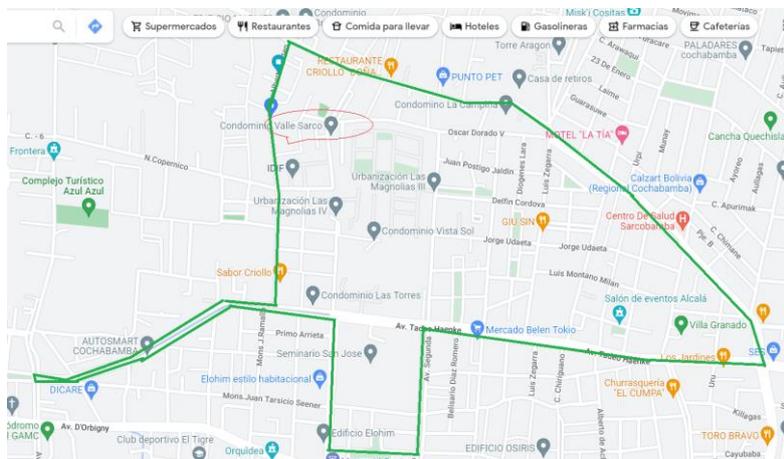


Figura 2 Recorrido para pruebas de vehículo, google maps,  
<https://www.google.com.bo/maps/@-17.3799584,-66.1982656,15.82z?hl=es>  
Fuente: Elaboración propia.

El vehículo tiene colocado sistemas de monitoreo de velocidad y potencia eléctrica con sensores de tipo “Arduino Uno” colocados en la rueda y las baterías que registran los datos cada segundo luego almacenadas en una memoria SD en formato de planilla electrónica Excel. La puesta a punto del vehículo y las pruebas de recorrido se realizaron en lapso de 8 meses de trabajo, fue necesario hacer cambio de motores de 1000W y 2000W, con rotaciones de 3600rpm, en los primeros casos fueron utilizados una relación de transmisión de 1:10 las cuales sólo lograría desarrollar velocidades del vehículo de 0 a 35km/h, en la segunda etapa se cambió la relación de transmisión a 1:3.3 la cual permitió llegar a una velocidad de 46km/h.

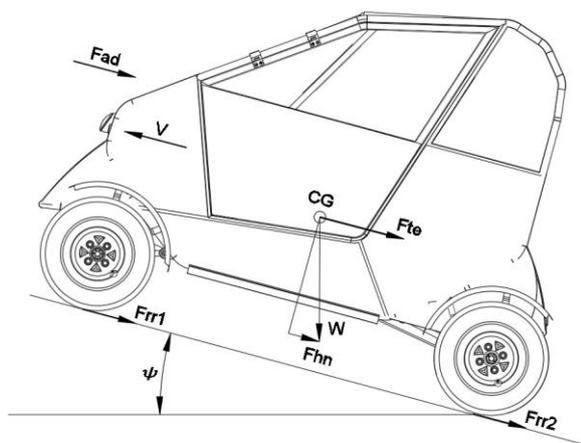
Esta última modificación es la que permite analizar mejor el trabajo de investigación, por tener mejores resultados en cuanto eficiencia energética y autonomía energética que se adecuan para el transporte de pasajeros y tráfico vehicular de la ciudad.

## Resultados y discusión

### Análisis de las Fuerzas teóricas

El análisis teórico hace referencia al aspecto matemático que rodea la dinámica del movimiento en el vehículo, a través de la aplicación de leyes físicas que rigen su comportamiento. (Cruz Encinas, 2014).

El vehículo durante un recorrido en pendiente tendrá que cumplir con la Segunda Ley de Newton (1) que expresa a la sumatoria de fuerzas en el eje x, es igual a la masa del cuerpo en movimiento por la aceleración que el vehículo eléctrico requiere, el cual se muestra en la Figura 3 (Durán, Guerrero-Ramírez, & Claudio, 2009).



**Figura 3** Fuerzas actuantes sobre el VEL en la pendiente.

Fuente: Elaboración propia.

$$(1) F_{te} = m \cdot a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc}$$

$$(2) F_{te} = m \cdot a + \mu_{rr} \cdot m \cdot g \cdot c(\psi) + 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot C_d \cdot Va^2 + m \cdot g \cdot sen(\psi)$$

Donde:

$F_{te}$  = Fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico [N]

$F_{rr}$  = Fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos [N]

$F_{ad}$  = Fuerza de fricción con el viento [N]

$F_{hc}$  = Fuerza de gravedad o componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente [N]

$a$  = Aceleración del vehículo [m/s<sup>2</sup>]

$Va$  = Velocidad del aire [m/s]

$m$  = masa del vehículo [kg]

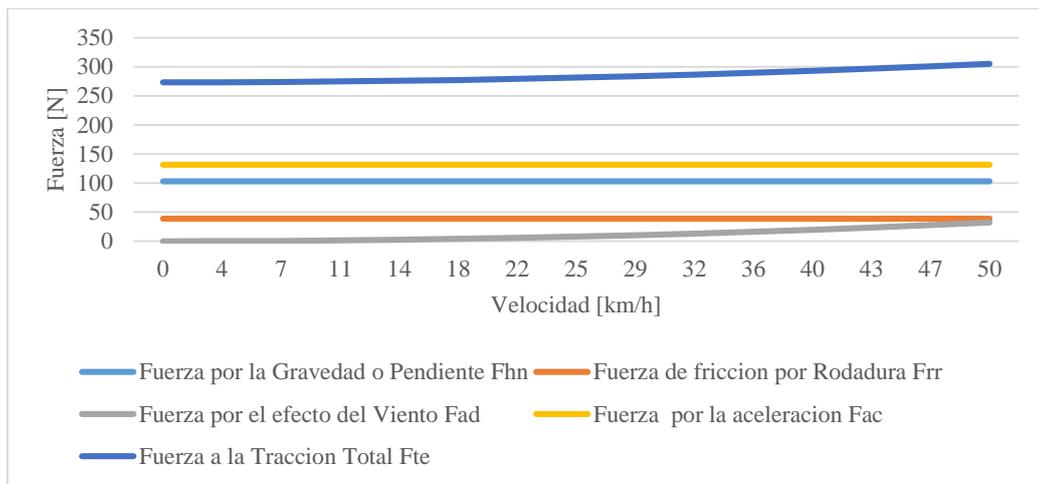
$W = mg$  = Peso del vehículo [N]

$C_d$  = Coeficiente aerodinámico de la carrocería del vehículo

(Rocha-Hoyos, Tipanluisa, Salvatore W., & Ayabaca, 2017)

Aplicando datos de la Tabla 2 y Tabla 3 en la ecuación (2), con variación de velocidad desde 0 a 46km/h, en una calculadora electrónica se observa el comportamiento de las distintas fuerzas

para la condición de aceleración máxima de  $0.5m/s^2$  y una pendiente máxima de 4% que permite al vehículo desplazarse moderadamente sin causar sobrecargas.



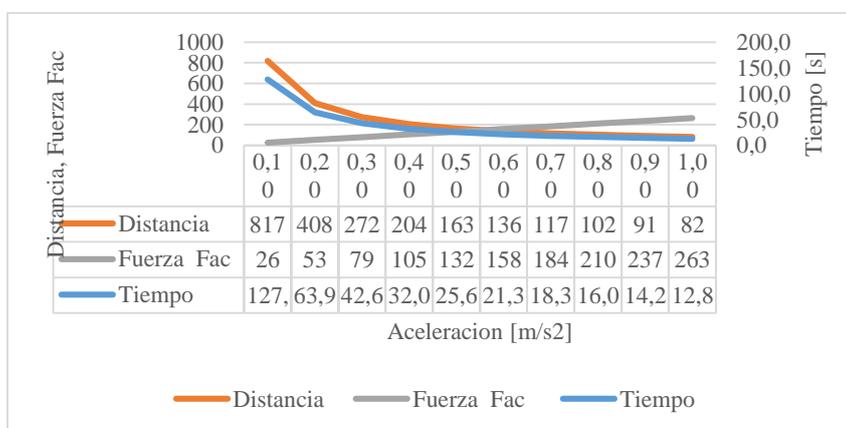
**Figura 4** Fuerzas de tracción en el VEL con pendiente 4%, aceleración  $0.5 [m/s^2]$

Fuente: Elaboración propia.

De la anterior Figura se observa el requerimiento de la fuerza para las condiciones de aceleración y pendiente de subida, es así que la fuerza máxima fluctúa alrededor de los  $300N$ , también se observa la fuerza debida a la aceleración es predominante comparada con las otras fuerzas.

Aquí interesa aclarar el comportamiento de la aceleración del vehículo puesto que para mayores aceleraciones existirá un gasto energético mayor pero contrariamente puede recorrer distancias más largas en menos tiempo, por tanto, es necesario un análisis más exhaustivo.

De la conocida 2da ley de Newton que forma parte la ecuación (1)  $F_{ac} = m \cdot a$ , se realiza una gráfica para conocer el comportamiento de la aceleración en función de las cinemática de un cuerpo, donde : la distancia  $x = V_0 \cdot t + (a \cdot t^2)/2$ , y la  $a = (v_f - v_i)/t$ , por tanto las tres expresiones graficadas nos permite mostrar cual es el comportamiento de la Fuerza de arrastre por la aceleración  $F_{ac}$ , en función de la distancia recorrida y el tiempo que tardaría para lograr una velocidad máxima, de esta manera se muestra la gráfica.



**Figura 5** Comportamiento de aceleración para lograr una velocidad máxima de  $46[km/h]$

Fuente: Elaboración propia.

En esta gráfica se observa que para una aceleración de  $0.5m/s^2$ , demora un tiempo de  $25.6s$ , recorre una distancia de  $163m$  y necesita una Fuerza de  $F_{ac}=132N$ , cuanto más aumenta la aceleración, la fuerza se incrementa proporcionalmente, pero puede alcanzar en menos tiempo la velocidad máxima en menor recorrido, por el contrario, cuando existe disminución de la aceleración, la distancia recorrida sería mucho mayor al igual que el tiempo. Esto da a entender que aceleraciones bruscas no será conveniente aplicar por que la fuerza será mucho mayor y mayor gasto de energía

### Análisis de Potencia

La potencia necesaria en el VEL considera las distintas condiciones de velocidad tanto pendiente aceleraciones de tal manera de buscar el mejor comportamiento y estimar parámetros para el uso eficiente de la energía eléctrica de suministro desde las baterías para un funcionamiento del motor sin sobrecargas, de esta manera, la potencia deriva de la expresión como la energía mecánica asociada al movimiento de un cuerpo es la energía cinética, que depende de su masa y de su velocidad, combinando con la ecuación (1) se tiene.

$$(3) P_{calculada} = F_{te} \cdot V_{max}$$

$$(4) P_{motor} = P_{calculada} \eta_m$$

Donde:

$P_{calculada}$  = Potencia necesaria para generar movimiento en el vehículo [W]

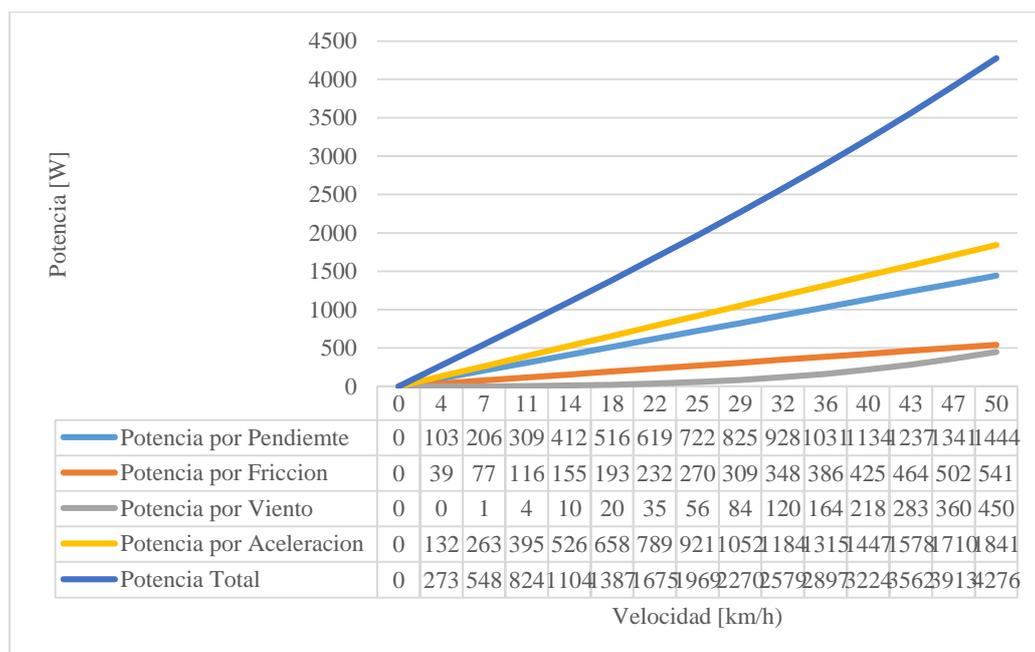
$F_{te}$  = Fuerza total necesaria para mover el vehículo

$V_{max}$  = Velocidad máxima necesaria del vehículo [m/s]

$\eta_m$  = Rendimiento del motor, se considera 90% de eficiencia del tipo de imanes permanentes sin escobillas. (AliExpress.co)

$P_{motor}$  = Potencia del motor [W]

Graficando la ecuación (4) en una planilla electrónica con velocidad variable de 0 a 46km/h con datos de la Figura 4, se tiene. (Ramírez Morales, 2017)

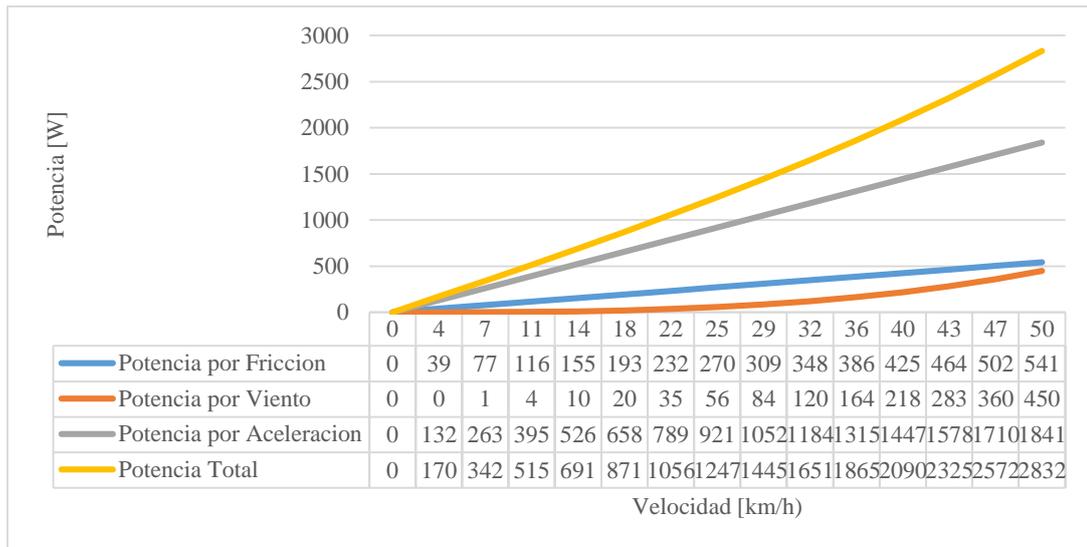


**Figura 6** Potencia en el VEL con pendiente 4% y aceleración 0.5 [m/s<sup>2</sup>]

Fuente: Elaboración propia.

La figura anterior muestra que para llegar a una velocidad máxima de 46km/h la potencia máxima es 3900W. Pero sin embargo para poder utilizar la potencia del motor instalado de 2000W solo podría llegar hasta una velocidad máxima de 25km/h, esto da a entender que para pendientes hasta de 4% la velocidad está limitado al valor anterior.

Para el caso de que el vehículo se desplaza en superficies planas la potencia utilizada será como se expresa en la figura siguiente.



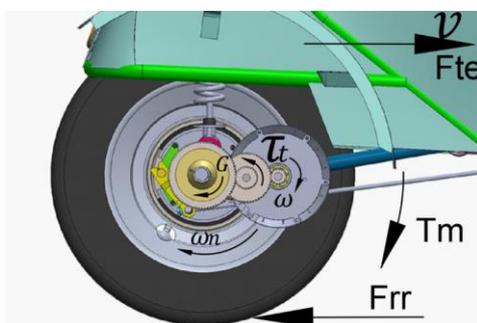
**Figura 7** Potencia en el VEL con aceleración 0.5 [m/s<sup>2</sup>]

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones de trabajo en superficie plana equivalen al uso de menor potencia neta la cual es 2500W para alcanzar a una velocidad de 46km/h, este valor será verificado en las pruebas de campo del vehículo en rutas urbanas en el siguiente acápite.

### Análisis de transmisión teórica (Torque)

La relación de transmisión esta expresada en la Figura 8, que corresponde a una reducción de velocidad desde el eje del motor al eje de la rueda, con el fin de obtener el torque máximo en el eje de la rueda (Rocha-Hoyos, Tipanluisa, Salvatore W., & Ayabaca, 2017).



**Figura 8** Relación de transmisión motor a ruedas.

Fuente: (Elaboración propia) (Zeid, 2015)

Esta relación está dada por las siguientes ecuaciones.

$$(5) v = r \cdot \omega n$$

$$(6) \omega n = \omega / G$$

$$(7) \tau_t = F_{te} \cdot r / G$$

$$(8) T_m = F_{te} \cdot r$$

Donde:

$\tau_t$  = Torque del motor eléctrico [Nm]

$G$  = Relación de transmisión.

$r$  = Radio de la Rueda [m]

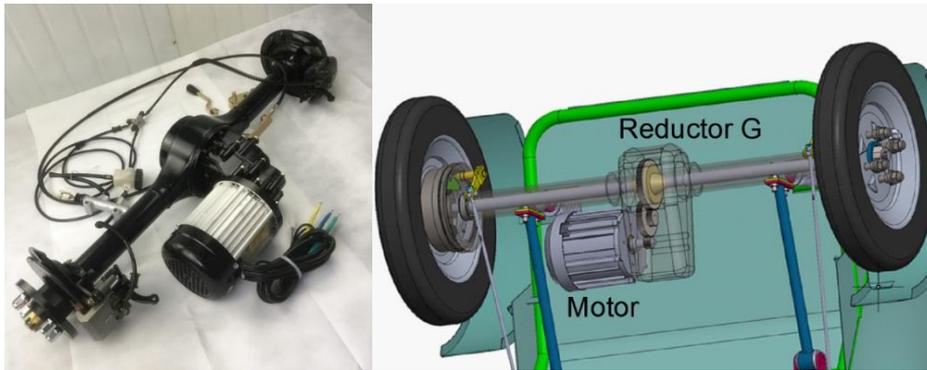
$\omega n$  = Velocidad angular de la rueda [rad/seg]

$\omega$  = Velocidad angular [rad/seg]

$v$  = Velocidad lineal [m/s]

$T_m$  = Torque en rueda [Nm]

La transmisión del VEL a través de una relación de transmisión es como se transforma la velocidad angular a una velocidad lineal con un radio de  $0.25m$  como se observa en las siguientes figuras. (Durán, Guerrero-Ramírez, & Claudio, 2009).

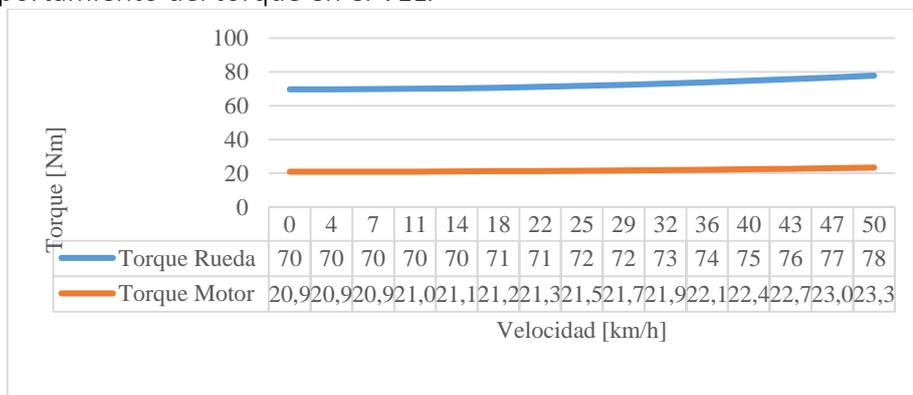


**Figura 9** Motor eléctrico con corona y caja reductora.

Fuente: Elaboración propia, (AliExpress.com, 2021) (Zeid, 2015)

Se puede apreciar la importancia de la corona como un reductor de velocidad del motor a la rueda, con una relación de 1:3.3.

Con datos de la curva de potencia y velocidad de la Figura 6 aplicados a las ecuaciones (7) y (8) se muestra la curva de torque requerido en las ruedas motrices y el eje del motor para las condiciones de desplazamiento con aceleraciones  $0.5m/s^2$  y pendiente de 4%, que son las condiciones más críticas del vehículo en conducción, de esta manera la Figura 10 que analiza el comportamiento del torque en el VEL.



**Figura 10** Torque teórico en el eje del motor y rueda del VEL, con pendiente 4% y aceleración 0.5 [m/s<sup>2</sup>]

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 10 se puede observar que para las condiciones máxima de la velocidad a 46km/h con pendiente y aceleración el torque máximo que requiere el vehículo es de 76.5Nm y en el motor 23Nm, tomando datos de la placa del motor del vehículo eléctrico que para una rotación de 3000rpm tiene un torque de 75Nm muy por encima del requerido por el vehículo en las condiciones máximas de velocidad teórica.

### Pruebas de campo del vehículo eléctrico construido

Las pruebas de campo fueron realizadas en laboratorio con ruedas suspendidas y posteriormente en recorrido por ruta urbana con mediciones de velocidad, potencia y consumo de energía para verificar la potencia neta que requiere el vehículo para moverse en condiciones reales de conducción.

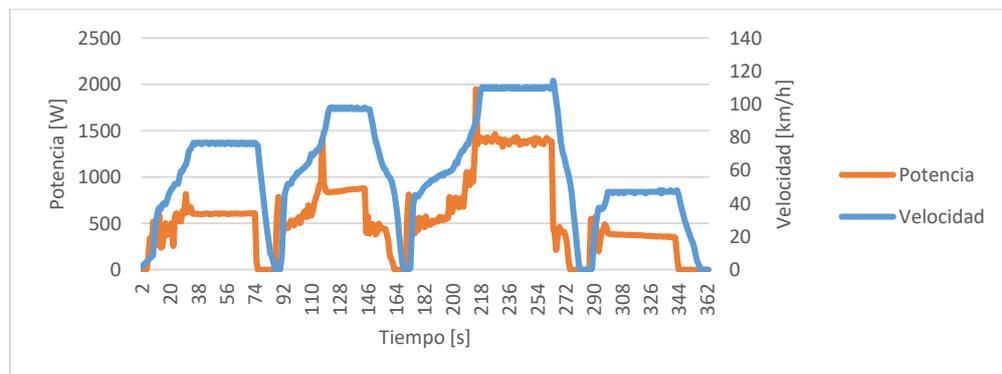


**Figura 11** Vehículo Eléctrico Liviano VEL 2kW

Fuente: Elaboración propia

### Pruebas de velocidad y potencia en laboratorio

La primera prueba fue llevada a cabo en posición estacionaria con el cual se utiliza aceleraciones suaves en diferentes periodos (1, 2, 3 y reversa) con el fin de evitar interferencia que existiría en condición de ruta hasta llegar a la velocidad máxima.



**Figura 12** Curva de Potencia y Velocidad del VEL vs. Tiempo, para marcha 1, 2, 3 y reversa

Fuente: Elaboración propia

La Figura 12 muestra en condiciones ideales el comportamiento de la velocidad y potencia que desarrolla el motor para las tres velocidades, para la primera velocidad de  $76\text{km/h}$  consume una potencia de  $600\text{W}$ , para la tercera velocidad a  $110\text{km/h}$  consume una potencia de  $1400\text{W}$  es la máxima en este caso. La cuarta curva y última pertenece a la potencia y velocidad en reversa.

### Pruebas de recorrido en ruta urbana

Las pruebas de campo corresponden al recorrido del vehículo en rutas urbanas con velocidades máximas alcanzadas hasta  $46\text{Km/h}$  en líneas rectas cuando no existe mayor obstáculo como rompemuelleres o esquinas críticas, la prueba se realizó hasta completar la descarga de energía desde las baterías con una profundidad de descarga a 95%, con la cual se obtiene datos de la Tabla 3.



*Figura 13* Vehículo circulando calles urbanas

Tabla 3

Datos adquiridos del VEL en marcha.

Hora	Tiempo [s]	Tensión [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Rotación [rpm]	Velocidad [km/h]	Distancia (m)
7:50:43	2	54	0.10	5	0	0.00	0
7:50:44	3	54	0.10	5	0	0.00	0
7:50:45	4	54	0.10	5	30	3.39	1
7:50:46	5	53.9	0.10	5	20	2.26	1
7:50:47	6	54	0.10	5	10	1.13	0
7:50:48	7	54	0.10	5	10	1.13	0
7:50:49	8	54	0.10	5	20	2.26	1
7:50:50	9	54	0.10	5	20	2.26	1
7:50:51	10	54	0.10	5	10	1.13	0
7:50:52	11	54	0.10	6	30	3.39	1
7:50:53	12	54	0.10	5	20	2.26	1
7:50:54	13	54	0.10	6	20	2.26	1
7:50:55	14	54	0.10	5	30	3.39	1
7:50:56	15	54	0.10	5	0	0.00	0
7:50:57	16	54	0.10	5	60	6.78	2
7:50:58	17	54	0.10	5	170	19.22	5
7:50:59	18	54	0.10	5	200	22.61	6
7:51:00	19	54	0.10	5	220	24.87	7
7:51:01	20	53.8	1.22	65	250	28.26	8
7:51:02	21	53.1	1.52	81	240	27.13	8
7:51:03	22	53.6	1.26	68	200	22.61	6

7:51:04	23	53.6	1.46	78	250	28.26	8
7:51:05	24	53.4	1.94	104	270	30.52	8
7:51:06	25	53.6	0.96	52	230	26.00	7
7:51:07	26	53.8	0.13	7	180	20.35	6
7:51:08	27	53.8	0.56	30	120	13.56	4
7:51:09	28	53.3	1.55	82	70	7.91	2
7:51:10	29	53.8	0.34	18	10	1.13	0
7:51:11	30	53.9	0.10	5	0	0.00	0
7:51:18	31	53.9	0.10	5	0	0.00	0
<b>TOTAL</b>	<b>Σ Tiempo</b>			<b>Σ Energía</b>		<b>Vel. Max, Vel. Prom.</b>	<b>Σ Distancia</b>

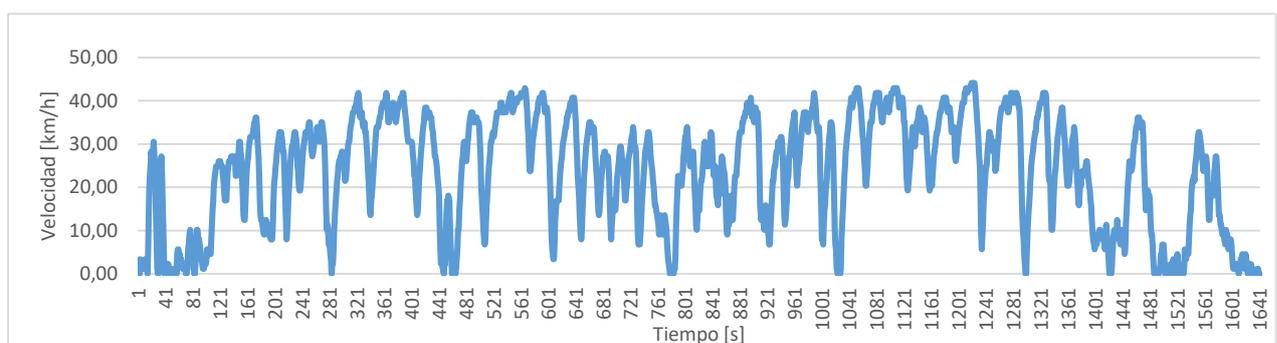
Fuente: Elaboración propia

Esta información adquirida permite realizar las gráficas para analizar las tendencias para cada variable.

- Variación de velocidad, potencia, aceleraciones, promedios y máximos para cada variable en recorrido urbano.
- Recorrido del vehículo en marcha en calles urbanas sin pendiente, con aceleraciones suaves y reducción de velocidad en cruces de calle.
- Descarga de la energía eléctrica la tensión y corriente con lecturas de cada segundo.
- Con la información anterior se calcula la aceleración en el arranque y desaceleraciones en las frenadas.

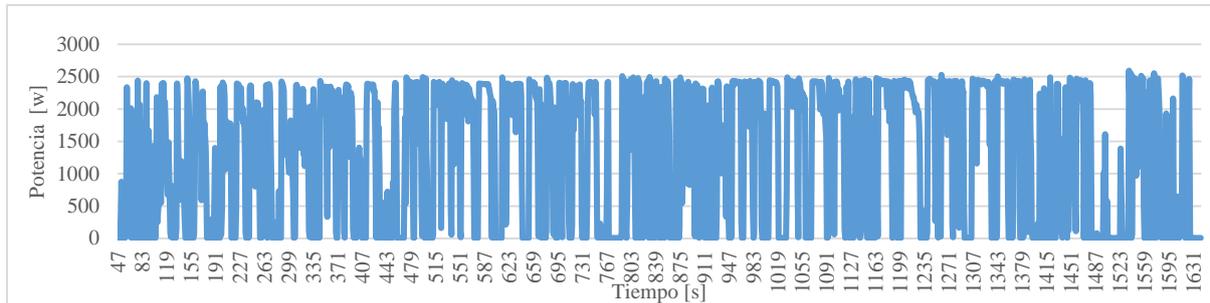
### Velocidad y potencia en recorrido urbano

En el registro de velocidades del vehículo en calles urbanas muestra el siguiente comportamiento:



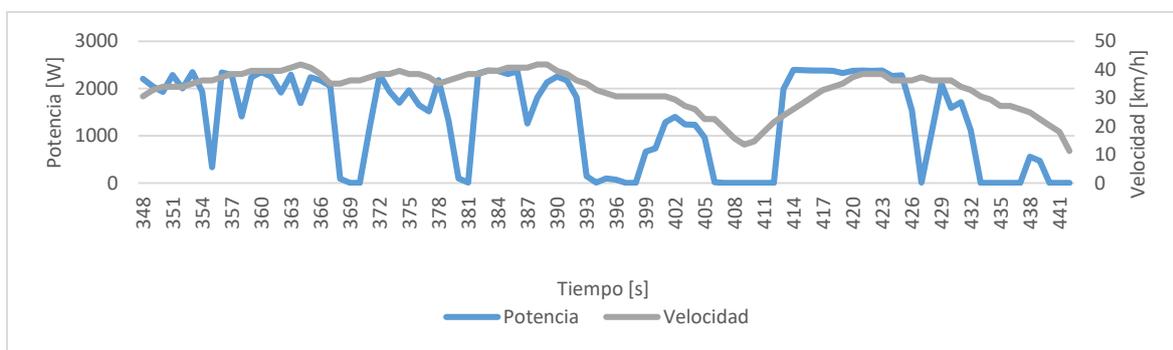
**Figura 14** Velocidad del VEL vs. Tiempo en una distancia de 10.7km

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 15** Curva de Potencia del VEL vs. Tiempo en una distancia de 10.7 [km]

Fuente: Elaboración propia



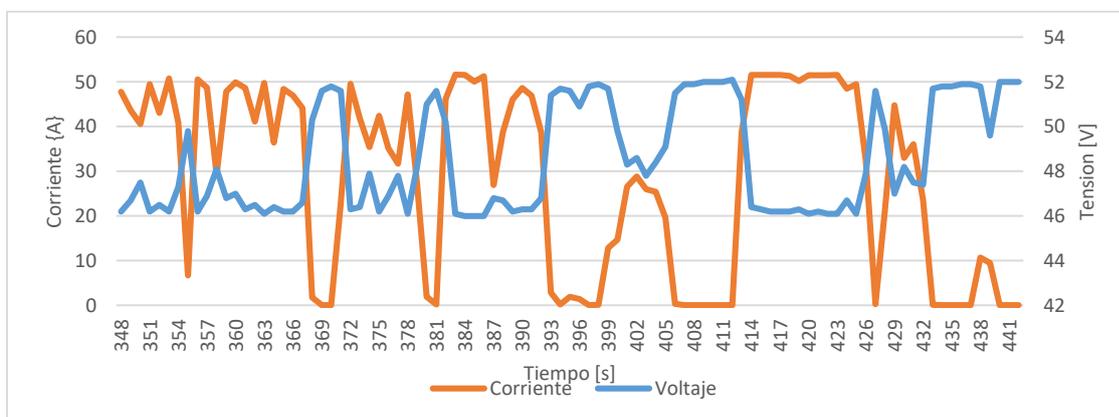
**Figura 16** Segmento de Curva de Velocidad y Potencia del VEL vs. Tiempo

Fuente: Elaboración propia

Las anteriores figuras, corresponde al recorrido por Ruta Urbana con cruces de calle, las más altas corresponden a recorridos sin interferencia de cruce, logrando establecer velocidades de 46km/h con una potencia máxima picos de 2500W.

### Gasto energético

El registro de datos de velocidad está sincronizado con los datos de gasto energético a partir de las baterías la cual es utilizado por el motor, estos registros están almacenados en función del tiempo cada segundo, de esta manera se muestra en la siguiente figura dicho gasto energético de tensión y corriente, el registro completo en las anteriores curvas es para una distancia recorrida de 10.7km, en la figura siguiente solo se muestra un segmento tipo para poder analizar con mayor detalle el comportamiento de la Tensión y Corriente.



**Figura 18** Curva de Corriente y Tensión del VE vs. Distancia recorrida en Ruta Urbana con cruces de Calle en última velocidad (3ra).

Fuente: Elaboración propia.

En esta curva se observan el máximo valor de la corriente llega a 52A y la tensión fluctúa desde los 54V hasta la descarga completa con 48V, el controlador electrónico de velocidad limita el uso de la corriente de tal manera que no se establezca daños por calentamiento o sobrecarga.

### Cálculo de aceleración

Para la determinación de la aceleración máxima que permite el vehículo se ha analizado una curva de aceleración tipo, se analiza la pendiente máxima de cambio de velocidad de tal manera se encuentra una aceleración analizando en la Figura 17 entre los tiempos 409 y 421 segundos

$$(9) a = (V_f - V_i) / t$$

Donde la

$a$  = aceleración: 0.58m/s<sup>2</sup>

$V_f$  = la velocidad final: 10.55m/s<sup>2</sup>

$V_i$  = a la velocidad inicial: 3.61m/s<sup>2</sup>

$t$  = Tiempo de recorrido en el cambio de velocidad: 12s

De esta manera se establece un valor de aceleración máxima permitida de 0.58m/s<sup>2</sup>, para las especificaciones estándares se toma 0.5m/s<sup>2</sup>.

### Parámetros de trabajo del vehículo eléctrico

Con el anterior análisis se puede establecer las especificaciones reales del vehículo eléctrico que se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 4**

Parámetros aplicados en el vehículo eléctrico para las pruebas.

Especificaciones técnicas de vehículo reales		
Velocidad máxima	46.0	km/h
Velocidad promedio	24.5	km/h
Corriente máxima	52	A
Potencia máxima	2500	W
Distancia de análisis	10.7	km
Energía consumida	0.543	kWh
Aceleración máxima	0.58	m/s <sup>2</sup>
Tiempo de la prueba	27.4	min
Taza de consumo energético	0.051	kWh/km
Taza de consumo energético	5.1	kWh/100km

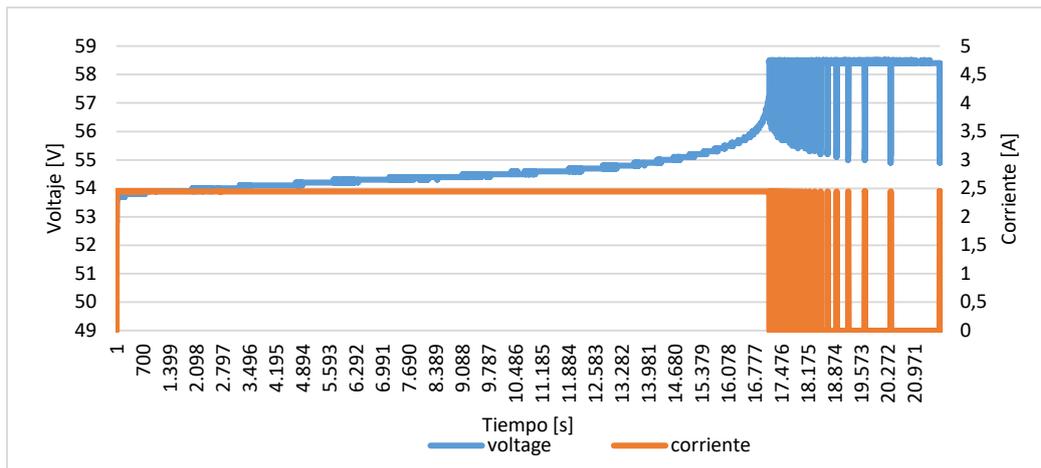
Fuente: Elaboración propia.

### Almacenamiento de energía a las baterías del vehículo eléctrico

Los datos de carga de batería es un factor importante a considerar, puesto que de ella dependen muchos aspectos para la toma de decisiones como ser: tiempo de espera para la

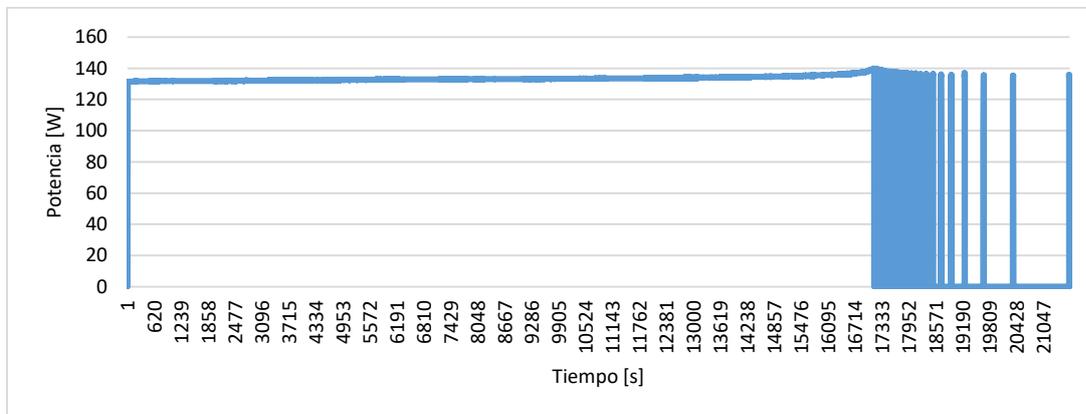
carga, costo de carga y la fuente de energía a utilizarse. Los vehículos eléctricos con frecuencia tienen largos tiempos de recarga en comparación con el proceso relativamente rápido de recarga de un tanque de combustible.

Para este efecto se realizó las cargas de batería con una profundidad de descarga al 100 % con una fuente de carga doméstica residencial y cargador de baterías que tiene una alimentación de 150W, 220V y salida de 58.4V y 3A; Los registros de carga se realizan en la terminal de entrada a la batería en corriente continua con el fin de eliminar las pérdidas del cargador de batería de 48V y 20A en total dos baterías.



**Figura 18** Tensión y Corriente de carga a la batería

Fuente: Elaboración propia



**Figura 19** Potencia de carga a la batería

Fuente: Elaboración propia

Las curvas presentadas en las figuras anteriores muestra la carga de las baterías que debido al BMS incorporada en ellas establece un régimen de carga para equilibrar las celdas con una tensión uniforme, y así mismo este BMS controla el nivel de carga de flotación quiere decir que al principio carga con una intensidad constante luego cuando la carga ya llega a un porcentaje de 75% esta llega a un nivel de flotación para permitir una carga equilibrada en las celdas, para ello la intensidad disminuye de forma intermitente hasta lograr la carga al 100%.

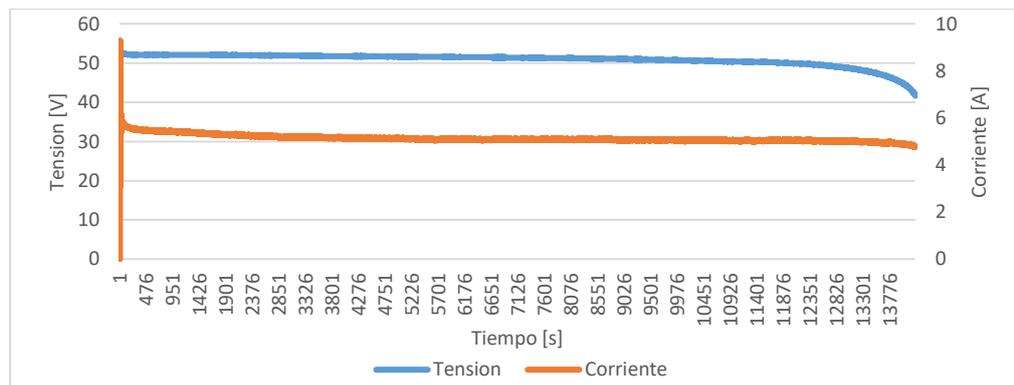
**Tabla 5** Datos de almacenamiento de energía en la batería

Almacenamiento de energía en la batería		
Tiempo de carga con flotación	6:17:39	hh-mm-ss
Tiempo de carga neta continua	4:46:03	hh-mm-ss
Energía cargada sin flotación	0.775	kWh
Total, energía cargada	1.033	kWh
Porcentaje de carga para Flotación	25	%
Densidad de carga	135	W

Fuente: Elaboración propia

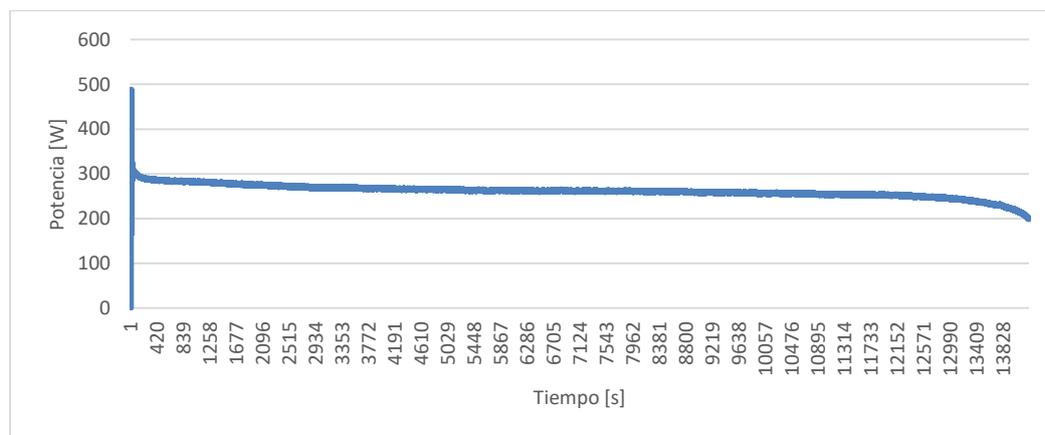
**Descarga de energía de las baterías del vehículo eléctrico**

La descarga de baterías se realizó con vehículo suspendido con las ruedas libres de tal manera se puso en marcha el vehículo a velocidad media hasta completar la descarga de la batería y el vehículo se detenga completamente, se registró el gasto de energía en función del tiempo en una memoria SD incorporado en un registrador de corriente acoplado en los cables de suministro de energía hacia el motor.



**Figura 20** Tensión y Corriente de descarga las baterías

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 21** Potencia de descarga en las baterías.

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron el registro de descarga de la batería para obtener el dato de profundidad de descarga, de acuerdo a la curva de descarga la potencia se mantiene estable hasta que el valor de la tensión baja a 48V, pasado este límite la pérdida de potencia es brusca y es un punto que podría llamar de inflexión, pasado este límite es inmediata la parada completa del vehículo por falta de potencia, la cual se denomina descarga al 100% de profundidad, de esta manera por cuestiones de protección de la batería en situación normal de marcha no debe ser permitida operar el vehículo hasta tensión menor a 48V, con esta información se determina la máxima distancia recorrida con una carga de baterías y los límites de descarga de la batería.

**Tabla 6**

*Energía suministrada desde la batería al vehículo eléctrico*

Energía suministrada por las baterías (una batería)		
Tiempo de funcionamiento	237	Min
Energía utilizada hasta 48[V]	0.932	kWh
Energía total utilizada hasta 100% de descarga	0.981	kWh
Profundidad de descarga ideal	95	%

*Fuente: Elaboración propia*

La anterior tabla muestra los valores característicos de suministro de energía hacia el motor y se logra determinar que la energía aprovechable por el vehículo es de 1.86[kWh] con dos baterías, esto significa una profundidad de descarga óptima hasta el 95%.

#### **Autonomía del Vehículo en circuito urbano**

Acorde a las tablas carga y descarga de baterías y los resultados de prueba del vehículo se puede establecer una medida de autonomía del vehículo que se puede verificar en la siguiente tabla.

**Tabla 7**

*Autonomía del VE.*

Autonomía	Valor	Unidades
Taza de consumo energético	0.051	kWh/km
Energía utilizada hasta 48[V]	0.932	kWh
Distancia recorrida con 2 de baterías	36.731	km
Taza de consumo energético	5.1	kWh/100km

*Fuente: Elaboración propia*

Los anteriores valores están establecidos para la velocidad promedio dado que el consumo neto de energía consumida ha sido registrado en todo el trayecto de la ruta en estudio.

Tabla 7 y muestra la autonomía del vehículo en condiciones reales de ruta urbana, el valor que registra es de 5.1kWh/100 km de recorrido del vehículo con la velocidad promedio en ruta urbana, obviamente es posible aumentar el recorrido con mayor cantidad de baterías, pero esto no es el caso, dado que la ciudad de Cochabamba tiene un promedio de velocidad en las rutas de 21.54km/h para vehículos particulares de 25.5km/día ( Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia, (Calla Durandal & Luján Pérez, 2018).

### Análisis de costos

Teniendo un requerimiento energético del vehículo eléctrico propuesto es necesario determinar un análisis de costo en comparación con el vehículo de combustión interna. En base a un análisis comparativo del costo de energía eléctrica consumida por un vehículo eléctrico en un hogar regular acorde a las diferentes categorías y el precio de venta de combustible.

Los análisis realizados para la implantación de vehículos eléctricos en Canarias, presentan los siguientes consumos para cada vehículo comparado con el vehículo eléctrico para la misma distancia de recorrido, y adecuado al coste de los combustibles en Bolivia se tiene la siguiente tabla. (García Déniz, 2013).

**Tabla 8**

*Poderes caloríficos de combustibles para vehículos.*

Tipo de Energía	Rendimiento	Unidad	Costo Comercial	Unidad	Costo US/100km
Gas natural GNV	8.33	m <sup>3</sup> /100km	0.238	USD/m <sup>3</sup>	1.98
Diésel	11.7	litros/100km	0.534	USD/litro	6.24
Gasolina	8.33	litros/100km	0.537	USD/litro	4.47
EE por Red hasta 100kWh Mes	18.5	kWh/100km	0.098	USD/kWh	1.81
Energía Solar Aislado	18.5	kWh/100km	0.100	USD/kWh	1.84
Vehículo eléctrico en estudio (VEL)	5.1	kWh/100km	0.098	USD/kWh	0.50

*Fuente: Elaboración propia con datos de pruebas de funcionamiento de VEL.*

De la Tabla 8, se observa que el vehículo eléctrico estudiado tiene un costo de  $0.5US/100km$ , comprada con los vehículos eléctricos estándar es menos de la tercera parte.

Para una comparación real es conveniente introducir el parámetro de peso del vehículo con el fin que el análisis está enmarcado bajo el mismo patrón de medidas.

Los resultados de la comparación de costos de energía en Bolivia dan como conclusión que el vehículo eléctrico tiene menor costo por km recorrido, este resultado está afectado con costos de subvención de combustibles y electricidad que en la actualidad están en curso y no tienden a ser modificados en largo plazo, ( $6,97 Bs. = 1 \$us$  dólar americano). (ELFEC, ENDE corporación, 2021).

Entonces, a partir de los datos mencionados, se demuestra que a pesar de que el vehículo eléctrico es más pesado, el consumo es entre 2,5 a 3,5 veces menor que la gasolina y el diésel respectivamente. (Sandoval García & Franco González, 2019).

En cuanto a la contaminación, los vehículos eléctricos requieren un proceso de fabricación mucho más contaminante que un vehículo de combustión debido a las baterías utilizadas, pero la contaminación crece para el de combustión a medida que aumenta la distancia recorrida para cada vehículo, ya que el de motor eléctrico es de cero emisiones, siempre y cuando la

energía utilizada en el auto eléctrico sea de una fuente limpia. (ELFEC, ENDE corporación, 2021).

Tabla 9  
comparación de energía/peso en vehículos eléctricos.

VEHICULO ELCTRICO	BATERIA kWh	POTENCIA CV	AUTONOMIA km	PESOS kg	RELACION kg/cv	RELACION km/kWh	VELOCIDAD km/h
Vehículo eléctrico en estudio (VEL)	2.0	2.6	34	263	101.2	17.0	46
Citroën AMI eléctrico	5.5	8	75	485	60.6	13.6	45
Renault Twizy ZE	6.1	17	99.8	474	27.9	16.4	80
Smart EQ ForTwo	17.6	86	128	1125	13.1	6.0	130
Volkswagen e-up!	18.7	82	165	1190	14.5	7.5	130
Renault Twingo	22.0	81	110	1178	13.7	5.0	135
Renault ZOE	22.0	88	210	1428	16.2	9.5	135
Nissan Leaf	24.0	109	199	1505	13.8	6.7	144
Hyundai Ioniq	28.0	120	280	1420	11.8	6.7	165
Honda e	35.5	154	219	1537	10.0	5.0	145
Hyundai Kona	39.0	136	269	1535	11.3	6.7	155
Kia e-Soul	39.2	136	276	1535	11.3	6.4	155
Fiat 500e Cabrio	42.0	118	298	1405	11.9	6.7	150
MG ZS EV	44.5	143	262	1505	10.5	5.4	140
Cupra Born	45.0	150	349	1708	11.4	6.7	160
Volkswagen ID.3	48.0	150	348	1706	11.4	6.6	160
Opel Corsa-e	50.0	136	359	1455	10.7	5.8	150
Peugeot e-208	50.0	136	340	1455	10.7	6.3	150
Opel Mokka-e	50.0	136	338	1523	11.2	6.2	150
Skoda Enyaq iV	55.0	148	355	1865	12.6	4.8	160
Porsche Taycan	79.3	530	320	2140	4.0	4.1	250
BMW i4	83.9	340	493	2050	6.0	5.2	190
Tesla Model S	60.0	210	400	2000	6.3	6.7	210
Tesla Model S	60.0	302	390	3100	7.0	6.5	190
Tesla Model S	70.0	320	375	2000	6.5	5.4	255
Tesla Model S	100.0	422	632	2253	5.3	6.3	250

Fuente: Elaboración propia con datos de vehículo en sitios Web de Fabricantes de Vehículos del 2012-2021

Se realizó la comparación de rendimientos del vehículo eléctrico en estudio comparado con vehículos eléctricos reconocidos a nivel mundial en los últimos 10 años, para la comparación se utilizó parámetros de potencia de batería, potencia de motor y peso que son variables más relevantes, de acuerdo a esa información se calcula la tasa de energía por km recorrido,

peso por potencia del vehículo, esta información permite indicar aclarar la eficiencia de un vehículo eléctrico, como conclusión del anterior análisis es posible deducir que el vehículo eléctrico en estudio denominado VEL tiene una relación *Peso del vehículo/CV* de 101.2 obviamente es el más alto de entre los vehículos comparados, así mismo la capacidad de recorrido por *kWh* de energía utilizada es de 17 siendo el de mayor eficiencia, la razón de esta diferencia es por el hecho de ser este vehículo bastante liviano por la optimización de materiales en la estructura.

### **Huella de carbono**

La huella de carbono es la medición de los gases de efecto invernadero (GEI) expresadas en kilogramos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que son liberados a la atmósfera como resultado de nuestras actividades cotidianas o la producción de un bien o servicio. Comprende todo el proceso de producción desde las materias primas hasta el tratamiento de los residuos CO<sub>2</sub>. (Wiedmann & Minx, 2007)

Los Gases de Efecto Invernadero son las emisiones antropogénicas, tanto directas como totales, de los gases controlados por el Protocolo de Kyoto. Los seis gases de efecto invernadero considerados en el protocolo de Kioto son el más importante el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) 75%, el metano (CH<sub>4</sub>) 14.3%, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) 7.9%, la familia de hidrofluorocarbonos (HFC), la familia de perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). (Martínez, 2020).

En términos de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel global, el transporte es responsable directo del 14% del total, y del 24% de los provenientes de generación termoeléctrica, (IPCC 2014), Entre el año 1970 y el 2006 las emisiones globales provenientes del sector crecieron un 130%. (Fernández Vázquez & Lazzo, 2017).

En el caso de la ciudad de Cochabamba Bolivia, diferentes publicaciones indican que entre el 80% y 90% de la contaminación atmosférica, proviene del sector autotransporte y adicionalmente se la cataloga como una de las ciudades más contaminadas. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua - BOLIVIA, 2021).

Se hace necesaria la medición de la huella de carbono para cualquier bien de consumo y esté acorde con programas efectivos de reducción y alcanzar mejoras ambientales, económicas y sociales, La eficiencia energética es la tecnología más importante para reducir la huella de carbono, porque si usamos eficientemente la energía, reducimos las emisiones de CO<sub>2</sub>. (Cillero, Bouzada, Garcia, & del Pilar, 2021)

### **Calculo la Huella de Carbono**

Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> se emplea la siguiente fórmula directa, de acuerdo con las metodologías del cálculo de la huella de carbono. (Rojas Navarrete, 2018)

$$(10) \text{Huella de carbono [kg CO}_2\text{e/km]} = \text{consumo de energía [l/km]} \times (\text{FE}) \text{ factor de emisión [kgCO}_2\text{e/l]}$$

Donde:

Consumo de energía es la cantidad de energía eléctrica, gasolina, diésel, GLP, gas natural, leña, etc., expresado en sus unidades correspondientes: *kWh*, galones, kilogramos, metros cúbicos.

Factor de emisión es un valor definido que expresa la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido por cada unidad de la energía empleada.

Ejemplo:

¿Cuántos kilogramos de CO<sub>2</sub> emite una familia que consume 2500 *kWh* de energía eléctrica en un año?

Huella de carbono (energía eléctrica) =  $2500 \text{ kWh/año} \times 0,4119 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$

Huella de carbono (energía eléctrica) =  $1029,8 \text{ kgCO}_2/\text{año}$

En el presente estudio se analiza la cantidad de CO<sub>2</sub> que se evita al utilizar un vehículo eléctrico comparado con un vehículo VC, un análisis completo debe tomar en cuenta las tres etapas del ciclo de vida de un vehículo eléctrico, que son la fabricación, el uso y el deshecho, (Frias Marin & De Miguel Perales, 2018) por razones del tema de análisis de este artículo solo se analizará la etapa del uso del vehículo eléctrico.

**Tabla 10** Cálculo de emisiones totales en relación a los consumos energéticos por fuentes de energía

Combustible	Poder energético	Unidad	Factor de emisión			Factor de emisión	
Gas natural	10.706	kWh/Nm <sup>3</sup>	0.202	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	2.158	Kg de CO <sub>2</sub> eq/Nm <sup>3</sup>	
Diésel	10.600	kWh/l	0.263	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	2.786	Kg de CO <sub>2</sub> eq/l	
Gasolina	8.200	kWh/l	0.274	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	2.244	Kg de CO <sub>2</sub> eq/l	
GLP	12.639	kWh/Kg	0.234	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	2.958	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kg	
Carbón	7.092	kWh/Kg	0.356	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	2.527	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kg	
Gas butano	12.439	kWh/Kg	0.238	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	2.964	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kg	

Fuente: Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica, Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización (Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición, 2018)

La tabla anterior muestra que las emisiones provienen del tubo de escape del motor del vehículo, por las evaporaciones del combustible, o por el desgaste de los frenos y neumáticos.

### Huella de Carbono para generación de Energía Eléctrica en Bolivia

La generación de energía eléctrica en Bolivia está a través de pequeñas fuentes renovables solar, eólica y biomasa, que sumadas a la hidroeléctricas son el 37.23 %, por último las termoeléctricas en Sistema Aislado (S.A.) con Diésel y en el sistema interconectado (SIN), es con Gas Natural es la mayor producción con 62.77%. (Comite Nacional de Despacho de Carga, 2021)

**Tabla 11** porcentajes de Generación de energía Bolivia 2021

Generadoras	Potencia MWh	%
Termoeléctricas	5684335	62.77
Renovable hidroeléctrica	3371481	37.23
Total	9055816	100

Fuente: *Elaboración propia*, (Comite Nacional de Despacho de Carga, 2021).

Los cálculos se realizan de acuerdo a la ecuación (10), se toma los valores de factores de Emisión (FE) para el diésel y Gas natural para la centrales de generación que utilizan combustible a base de fuente no renovable, la biomas no se considera como fuente no renovable puesto que la fuentes son los residuos sólidos provenientes del bagazo de caña que es considerada como una forma de energía solar almacenada ya que las plantas utilizan esta energía para capturar CO<sub>2</sub> y agua a través de la fotosíntesis. Además, es un combustible no fósil, neutro desde el punto de vista del ciclo del carbono (ciclo natural del carbono entre la tierra y el aire). (Nordelöf & Messagie, 2014)

**Tabla 12** Cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> global en Bolivia por fuentes de energía 2021

	Energía MWh	%	FE	Unidad	TnCO <sub>2</sub> eq
Hidroeléctrica SIN	2888139	31.89	0		0
Solar SIN	321472	3.55	0		0
Eólica SIN	97721	1.08	0		0
Biomasa SIN	64149	0.71	0		0
Termoeléctricas Diésel SA	41753	0.46	0.263	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	10981
Termoeléctricas Gas SIN	5642582	62.31	0.202	Kg de CO <sub>2</sub> eq/kWh	1139802
<b>Energía Eléctrica SIN y SA</b>	<b>9055816</b>				<b>1150783</b>

Fuente: *Elaboración propia*, (Comite Nacional de Despacho de Carga, 2021)

El cálculo de Factor de Emisión para las fuentes generadoras de energía en Bolivia se realiza el ajuste por la generación de energía proveniente por no renovables se divide entre la producción de energía total, de esta manera se tiene un valor global de Factor de Emisión para Bolivia, con este factor es posible determinara que al utilizar energía eléctrica de red en cualquier parte de Bolivia está siendo aplicado con un valor único de factor de emisión equivalente sin tomar en cuenta si es proveniente de energía renovable o termoeléctrica. (Del Duce, Egede, Dettmer, & Öhlschläger, 2013)

**Tabla 13** Cálculo del Factor de Emisión Global para Bolivia en red de energía eléctrica 2021

	Cantidad	Unidad	
Generación de energía Total	9055816	MWh	
Emisión de CO <sub>2</sub> eq Total	1150783	Tn	
Factor de emisión global	0.127	Tn CO <sub>2</sub> /MWh	
Factor de emisión global	0.127	kg CO <sub>2</sub> /kWh	

Fuente: Elaboración propia. (Comite Nacional de Despacho de Carga, 2021)

El Factor de Emisión Global calculado en la anterior tabla permite realizar un análisis de huella de carbono para el vehículo eléctrico construido en Bolivia, este valor es posible utilizar para todos los aparatos que tengan fuente de consumo eléctrico a partir de la red eléctrica tanto industrial como doméstica en todo el territorio boliviano.

### Huella de carbono para el vehículo eléctrico construido en Bolivia

Las características del vehículo eléctrico descrito en la Tabla 7 y características de vehículos similares descrito en Tabla 9 aplicando los consumos de energía eléctricos y potencia es posible medir la huella de carbono que evalúa con respecto a otros vehículos.

**Tabla 14** Cálculo Huella de Carbono para el vehículo eléctrico construido en Bolivia.

Vehículo Eléctrico	Batería kWh	Relación km/kWh	Relación kWh/km	FE kg CO <sub>2</sub> /kWh	HC kgCO <sub>2</sub> /km
Vehículo eléctrico en estudio (VEL)	2	17	0.0588	0.127	0.0075
Citroën AMI eléctrico	5.5	13.6	0.0735	0.127	0.0093
Renault Twizy ZE	6.1	16.4	0.0610	0.127	0.0077

Fuente: Elaboración propia

Los valores presentados en la Tabla 14 muestran la Huella de Carbono para el vehículo construido y dos vehículos comerciales como el Citroën y el Renault que pertenecen a la misma categoría en peso, donde se puede observar que las diferencias son muy pequeñas 0.0075 a 0.0093 con el caso del Citroën. 0.0077 con el Renault, estos datos reflejan que el vehículo construido está dentro de los rangos de la huella de carbono de vehículos de la misma categoría, se aclara que esta es para la misma energía eléctrica utilizada en el estado boliviano.

Según trabajo de (Fernández Vázquez & Lazzo, 2017), para la ciudad de Cochabamba Bolivia hace un análisis de huella de carbono por pasajero cuando esta utiliza automóvil al 100% ocupado con un valor de  $HC=0.05\text{kgCO}_2/\text{km}$ , por otro lado, muestra para vehículos públicos con 100% de ocupación (MICRO) con un Valor por pasajero de  $HC=0.029\text{kgCO}_2/\text{km}$ , Por tanto, estos valores están por encima de los valores calculados cuando se utiliza un vehículo eléctrico liviano.

De esta manera es posible estimar un ahorro de emisiones (GI) por año para el vehículo eléctrico abeja, de acuerdo a (Calla Durandal & Luján Pérez, 2018), muestra resultados sobre recorridos promedios de vehículos de particular  $25.5\text{km}/\text{día}$ , que corresponden generalmente a personas que recorren diariamente al trabajo y domicilio, este valor está dentro del rango de

autonomía del vehículo eléctrico abeja, con este dato es posible cuantificar una huella de carbono por año.

**Tabla 15** comparación de ahorro de huella de carbono al utilizar el vehículo eléctrico comparado con vehículo particular y vehículo público.

Vehículo	HC [kgCO <sub>2</sub> /km]	Recorrido diario [km]	Recorrido anual [km]	HC al año [kgCO <sub>2</sub> ]	%
Vehículo eléctrico en estudio (VEL)	0.0075	25.5	9307.5	69.81	26
Vehículo particular	0.05	25.5	9307.5	465.38	
Vehículo público	0.029	25.5	9307.5	269.92	
Ahorro de CO <sub>2</sub>				200.11	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 15 presenta el ahorro en Gases de Efecto Invernadero (GEI) *kg de CO<sub>2</sub>* por el uso de vehículo eléctrico que solo emite el 26% con respecto al vehículo público (MICRO), quiere decir que el vehículo eléctrico emite *69.81 [kg de CO<sub>2</sub>]*, mientras que el vehículo particular emite *435.38 [kg de CO<sub>2</sub>]*, además que el vehículo público emite *269.92 [kg de CO<sub>2</sub>/por pasajero por año]*.

### Conclusiones

Con la investigación se logra establecer que los cálculos teóricos establecidos para un vehículo eléctrico livianos reflejan con bastante aproximación a las que desarrolla el vehículo en condiciones de pruebas en rutas urbanas, con ello se demuestra un modelamiento matemático conforme para establecer una referencia en cuanto a cálculos de vehículos similares.

La autonomía que permite el vehículo eléctrico de *34km* y velocidad máxima de *46km/h* con las baterías seleccionadas está acorde a las distancias recorridas en la ciudad de Cochabamba para un usuario de vehículo particular o público que es de *25km* diarios.

La carga de baterías en 6 horas como promedio establece que el vehículo una vez recorrido en el día *25km* de distancia puede realizar el repostaje con una profundidad de descarga favorable en la noche a partir de las *11pm* adelante sin interferir con las horas pico de demanda de energía.

La energía eléctrica en Bolivia es a través de fuentes renovables y no renovables, más del 60% es no renovable, esto hace que la huella de carbono para la energía eléctrica utilizada para vehículos eléctricos sea alta, pero a su vez el VEL representa solo el 26% en la huella de carbono de lo que genera un auto particular con 100% de pasajeros.

El uso de vehículos eléctricos hace ver los tremendos beneficios que trae para ciudades como Cochabamba que es la cuarta ciudad más contaminada de Latinoamérica, por tanto, además de reducir los gases (GI) a nivel global el uso de los vehículos eléctricos beneficia grandemente para esta ciudad en particular.

## Bibliografía

- [1]. AliExpress.com. (5 de 08 de 2021). *AliExpress*. Obtenido de [https://es.aliexpress.com/item/4001062029647.html?spm=a2g0o.search0304.0.0.1dee4990VaJkQ&algo\\_pvid=ae4b691d-85ff-4b97-ac88-899a80cc032b&algo\\_exp\\_id=ae4b691d-85ff-4b97-ac88-899a80cc032b-1,%20catalogo%20Motor%20kW,%20consulta%20Agosto%202021](https://es.aliexpress.com/item/4001062029647.html?spm=a2g0o.search0304.0.0.1dee4990VaJkQ&algo_pvid=ae4b691d-85ff-4b97-ac88-899a80cc032b&algo_exp_id=ae4b691d-85ff-4b97-ac88-899a80cc032b-1,%20catalogo%20Motor%20kW,%20consulta%20Agosto%202021).
- [2]. Andersen, L. E. (2014). *La economía del cambio climático en Bolivia: impactos sobre la biodiversidad* (Vol. 198). (C. L. Sanchez-Aragon, Ed.) Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo. Obtenido de [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/39835/2014-292\\_CCBol\\_biodiversidad.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/39835/2014-292_CCBol_biodiversidad.pdf)
- [3]. Calla Durandal, L., & Luján Pérez, M. (Marzo de 2018). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 8(3). Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1683-07892018000100005](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892018000100005)
- [4]. Cillero, A., Bouzada, P., Garcia, A., & del Pilar, M. (2021). *Métrica y estandarización de los consumos y emisiones en el transporte*. Mexico: Monografias Enertranas. Obtenido de [https://www.investigacionffe.es/documentos/enertrans/EnerTrans\\_Estandarizaci%C3%B3n\\_Consumos.pdf](https://www.investigacionffe.es/documentos/enertrans/EnerTrans_Estandarizaci%C3%B3n_Consumos.pdf)
- [5]. Comité Nacional de Despacho de Carga. (15 de Diciembre de 2021). *CNDC*. Obtenido de <https://www.cndc.bo/estadisticas/anual.php>
- [6]. Cruz Encinas, I. (30 de Agosto de 2014). *Aceleración de un automóvil que rueda sobre la pendiente de un estacionamiento empleando diferentes métodos de cálculo con apoyo de las NTIC*. (U. d. Sonora, Ed.) Obtenido de <http://paginas.fisica.uson.mx/ignacio.cruz/Metodologias%20para%20calculo%20de%20aceleracion%20de%20un%20auto.pdf>
- [7]. Del Duce, A., Egede, P., Dettmer, T., & Öhlschläger, G. (2013). eLCAR: Guidelines for the LCA of electric vehicles. *European Union Seventh Framework Programme*. doi:10.13140/RG.2.1.2782.8244
- [8]. Durán, M., Guerrero-Ramírez, G., & Claudio, A. (30 de septiembre de 2009). Determinación de los requerimientos de par, velocidad angular y potencia para el

- motor de un vehículo eléctrico. *Congreso Anual 2009 de la Asociación de México de Control Automático*, 401-407. Obtenido de [http://amca.mx/memorias/amca2009/articulos/amca2009\\_54.pdf](http://amca.mx/memorias/amca2009/articulos/amca2009_54.pdf)
- [9]. ELFEC, ENDE corporacion. (01 de 02 de 2021). *Elfec.com*. Obtenido de NORMA TÉCNICA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ACOMETIDAS ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN: <http://www.elfec.com>
- [10]. Fernández Vázquez, M., & Lazzo, N. A. (28 de agosto de 2017). Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los estudiantes de la UCB (Campus Tupuraya), por el uso de transporte y propuestas de mitigación. *Acta Nova*, 8(3), 433-450. Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892018000100010&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892018000100010&script=sci_abstract)
- [11]. Frias Marin, P., & De Miguel Perales, C. (2018). Aspectos Medioambientales del Vehículo Eléctrico. (U. P. Comillas, Ed.) 56. Obtenido de <https://www.iit.comillas.edu/docs/IIT-19-041A.pdf>
- [12]. García Déniz, R. (2013). *Estudio para la implantación del Vehículo Eléctrico en Canarias*. Canarias: Consejería de Empleo, Industria y Comercio del Gobierno de Canarias. Obtenido de [https://canariasterecarga.com/wp-content/uploads/2016/02/Estudio\\_Implantacin\\_Vehculo\\_Elctrico\\_-\\_Noviembre\\_2013.pdf](https://canariasterecarga.com/wp-content/uploads/2016/02/Estudio_Implantacin_Vehculo_Elctrico_-_Noviembre_2013.pdf)
- [13]. Martínez, R. (2020). *Inventario nacional de gases de efecto invernadero y otros contaminantes climáticos 1990-2018*. Ministerio del Medio Ambiente- Oficina de Cambio Climático. San Martín 73, Santiago: Ministerio del Medio Ambiente. Obtenido de [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/7305681\\_Chile-BUR4-1-2020\\_IIN\\_CL.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/7305681_Chile-BUR4-1-2020_IIN_CL.pdf)
- [14]. Ministerio de Medio Ambiente y Agua - BOLIVIA. (15 de Diciembre de 2021). *Programa Nacional de Gestión de Calidad del Aire*. Obtenido de SNIA: <http://snia.mmaya.gob.bo/web/modulos/PNGCA/#>
- [15]. Nordelöf, A., & Messagie, M. (2014). Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *The International Journal of Life Cycle Assessment*. doi:10.1007/s11367-014-0788-0
- [16]. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición. (2018). *Guía Para el Cálculo de la Huella de carbono y para la Elaboración de un plan de mejora*

- de una Organización. (M. p. Ecológica, Ed.) *MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA*. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia\\_huella\\_carbono\\_tcm30-479093.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf)
- [17]. Ramírez Morales, J. (2017). Estudio de la dinámica de tracción de un vehículo eléctrico. *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11059/8533>
- [18]. Rocha-Hoyos, j., Tipanluisa, L. E., Salvatore W., R., & Ayabaca, C. R. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información tecnológica*, 28. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642017000200004>
- [19]. Rojas Navarrete, M. (Julio de 2018). Estadísticas de producción de electricidad de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA): Datos preliminares a 2017. (P. d. Unidas, Ed.) *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) • Sede Subregional en México, 021*. Obtenido de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43784/1/S1800704\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/43784/1/S1800704_es.pdf)
- [20]. Sandoval García, E. R., & Franco González, R. L. (1 de Diciembre de 2019). Vehículos eléctricos: ¿Una solución para reducir los gases de efecto invernadero proveniente del sector transporte en la Zona Metropolitana del Valle de México? *Acta universitaria*, 29. doi:<https://doi.org/10.15174/au.2019.1964>
- [21]. Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). *A Definition of 'Carbon Footprint'*. United Kingdom: ISA-UK Research & Consulting. Obtenido de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.467.6821&rep=rep1&type=pdf>
- [22]. Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos. (15 de Enero de 2021). Obtenido de Instituto Nacional de Estadística: <https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/hidrocarburos-mineria/hidrocarburo-cuadros-estadisticos/>
- [23]. Zeid, I. (2015). *Mastering SolidWorks: The Design Approach, Second Edition*. Northeastern University. Obtenido de <https://www.amazon.com/Mastering-SolidWorks-Ibrahim-Zeid/dp/0133885941?asin=0133885941&revisionId=&format=4&depth=1>