

Análisis de uso de energía solar para vehículo eléctrico liviano

Maldonado-López Pascual

pasmaldonadol@gmail.com

pascualmaldonado.l@fcyt.umss.edu.bo

Maldonado-Nogales Melisa

melisamaldonadonogales@gmail.com

Facultad de Ciencias y Tecnología

Universidad Mayor de San Simón

Cochabamba-Bolivia

RESUMEN

El presente documento, describe pruebas de velocidad y potencia de un vehículo eléctrico que participo en la carrera Grand Prix Solar Cochabamba-Sucre y Sucre-Cochabamba 2018, actualmente nos permite obtener datos importantes sobre comportamiento de vehículos en distintas condiciones de funcionamiento en calles y carretera.

La construcción del Vehículo fue desarrollada en los laboratorios de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón, participaron en su construcción, docentes y estudiantes de la materia de manufactura.

El vehículo es impulsado por dos motores de 1 kW y dos baterías de 20A y 48V, fue diseñado para la recarga de baterías con panel solar tanto en marcha como en las paradas. El estudio describe el consumo de la energía eléctrica desde las baterías y la recarga de la energía desde paneles solares, en las pruebas se desarrolló en calles de la ciudad de Cochabamba y se registra datos de potencia utilizada por el vehículo a las distintas velocidades, aceleraciones y paradas. También se registra datos de consumo de energía de las baterías y la reposición de energía a las baterías desde los paneles solares instalados en el techo del vehículo.

Con los resultados de rendimiento de este vehículo se obtiene información relevante que desarrolla el vehículo en potencia de motor, velocidad, autonomía, recarga de baterías, costo de energía por km recorrido.

Como resultado, permite abrir información técnica importante para uso en vehículos eléctricos que en el futuro cercano será la energía la opción más acertada y sostenible para un mundo mejor.

Palabras clave: energía renovable; energía solar fotovoltaica; vehículos eléctricos; fabricación de vehículos; ensayos de autonomía vehicular.

Solar energy use analysis for light electric vehicle

ABSTRACT

This document describes speed and power tests of an electric vehicle that participated in the Grand Prix Solar Cochabamba-Sucre and Sucre-Cochabamba 2018 race, currently it allows us to obtain important data on the behavior of vehicles in different operating conditions on streets and roads.

The construction of the Vehicle was developed in the laboratories of the Faculty of Sciences and Technology of the Universidad Mayor de San Simón, teachers and students of the manufacturing field participated in its construction.

The vehicle is powered by two 1 kW motors and two 20A and 48V batteries, it was designed for recharging batteries with a solar panel both while running and at stops. The study describes the consumption of electrical energy from the batteries and the recharging of energy from solar panels, in the tests it was developed in streets of the city of Cochabamba and data of power used by the vehicle is recorded at different speeds, accelerations and stops. It also records data on battery power consumption and the replacement of power to the batteries from the solar panels installed on the roof of the vehicle.

With the performance results of this vehicle, relevant information is obtained that the vehicle develops in engine power, speed, autonomy, battery recharging, energy cost per km traveled.

As a result, it allows to open important technical information for use in electric vehicles that in the near future will be energy the most successful and sustainable option for a better world.

Keywords: renewable energy; photovoltaic solar energy; electric vehicles; vehicle manufacturing; vehicle autonomy; tests.

Artículo recibido: 02 noviembre. 2021

Aceptado para publicación: 28 noviembre 2021

Correspondencia: pasmaldonadol@gmail.com

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

1 INTRODUCCION

El sol es una fuente inagotable de energía que llega a la superficie de la tierra en forma libre y gratuita que todavía es subutilizada, la humanidad utiliza fuentes de energía como el carbón, petróleo que son altamente contaminantes para el medio ambiente como se observa en muchas ciudades de Latinoamérica. Lista está encabezada por Perú, quien está ubicado en el puesto número 21; seguido por Chile, en el puesto 26; México, en el 33; Brasil, en el 44, y por Colombia que se encuentra en la ubicación número 50 del ranking. Cabe hacer notar que en 2020 ha habido cambios sustanciales por el tema de pandemia vigente aún. (The Worl Air Quiality Proyect, 2021)

Figura 1 Contaminación Ciudades latinoamericanas.



Fuente: (The Worl Air Quiality Proyect, 2021).

En la energía solar está en la mira de investigadores y científicos de todo el mundo que investigan sobre las bondades que se pueden recibir del sol y que la misma naturaleza, a través del tiempo, nos ha mostrado en su increíble facultad de transformarla en vida. Cuando se observa el actual estado ambiental del planeta, surgen cuestionamientos acerca de la continua reducción de los recursos naturales de los cuales el hombre depende para su existencia y de las medidas inmediatas que deben tomarse para frenar y recuperar las riquezas medio ambientales perdidas.

Al considerar la importancia y masiva utilización de los medios de transporte y la fuente de energía que estos utilizan, fácilmente se identifica uno de los mayores orígenes de la contaminación mundial, es allí donde se reconoce un significativo campo de trabajo en la lucha por la protección del sostenimiento del planeta. Son estas la motivación para diseñar

y construir un vehículo alimentado por energía solar con el que se pretende evaluar la energía fotovoltaica para mover vehículos terrestres en Bolivia.

En la realización de este proyecto fue necesario efectuar labores interdisciplinarias en el amplio ámbito de la ingeniería mecánica y de otras áreas de apoyo, generando todo un reto y compromiso con nosotros, con la institución y con la sociedad.

1.1 Antecedentes

Los primeros vehículos eléctricos prácticos surgieron a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX hasta que los avances en los motores de combustión interna, sobre todo con la introducción del motor de arranque eléctrico, y la producción en masa de vehículos de gasolina más baratos y con un combustible a buen precio llevaron al declive el uso de vehículos eléctricos. Luego tras varias décadas en el olvido, la crisis del petróleo de 1973, produjo un breve renacimiento en el interés por los vehículos eléctricos durante la década de 1970 y 1980, aunque tampoco llegaron a alcanzar la comercialización en masa.

El escocés Robert Anderson quien construyó el primer prototipo de vehículo eléctrico en el período comprendido entre 1832-1839. Al mismo tiempo Thomas Davenport instala (1834) en EE.UU. el primer motor eléctrico en un vehículo sobre raíles electrificados. En 1888 el ingeniero alemán Andreas Flocken construye el primer vehículo eléctrico con cuatro ruedas. Al final del siglo, el año 1899 el vehículo eléctrico bautizado como “Jamais contente” construido en Francia alcanza por primera vez la velocidad de 100 [km/h]. (Sanz Arnaiz, 2015)

Actualmente en Bolivia se destaca el potencial crecimiento del mercado de las bicicletas eléctricas que se han convertido en las auténticas impulsoras del sector. El sector continúa en expansión en el siglo XXI con inmensas inversiones y se espera lo mismo del sector automotriz con este innovador vehículo eléctrico 100% renovable con la promulgación del Decreto Supremo N° 4539 en favor de incentivar el uso de vehículos eléctricos. (Bolivia: Decreto Supremo N° 4539, 7 de julio, 2021)

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente se tiene un vehículo eléctrico construido que funciona con dos motores eléctricos y sistema de almacenamiento de energía como son la baterías, además tiene un panel solar de 300W instalado en el techo del vehículo, Los paneles permite cargar las baterías con vehículo parado y en movimiento, en este trabajo de investigación se pretende realizar el registro de datos dinámicos del vehículo desplazamiento, velocidad,

torque y potencia, por otro lado se hará el registro de carga de baterías con panel solar y el consumo de energía de los motores para estimar el comportamiento de del vehículo en condiciones reales y tener un balance real de costo de energía solar con la energía de red domiciliaria. (Rocha-Hoyos & Tipanluisa, 2017)

Para este fin se ha instalado registradores de datos con almacenamiento en memoria utilizando sensores con Arduino Uno, que registra la corriente y tensión utilizada por los motores y por otro lado se completa el registro de velocidad del vehículo cada segundo, toda esta información es centralizada en una memoria SD la cual permite elaborar las curvas de velocidad-potencia mecánica, velocidad-potencia eléctrica, autonomía de las baterías y carga de baterías, así mismo se registra la potencia de suministro de energía desde los paneles solares hacia las baterías, con esta información de posibilidad de configurar óptimamente el uso de energía solar para vehículos eléctricos en futuros diseños en Cochabamba.

1.3 Objetivo general

- Evaluación del rendimiento mecánico y eléctrico del vehículo eléctrico liviano que participó en la competencia Gand Prix Solar 2018 en Bolivia.

1.4 Objetivos específicos

- Medición y registro de datos mecánicos y eléctricos en conducción en rutas urbanas de Cochabamba.
- Evaluación de datos para estimar la autonomía en distancia y uso energético del vehículo para demostrar las ventajas de la energía solar en la movilidad urbana.

1.5 Justificación

En la actualidad, la sociedad como la mayor parte de empresas, están conscientes de la necesidad de cuidar el medioambiente, tratan de seguir modelos cada vez más sostenibles desde un aspecto ecológico. Sin embargo, la tendencia global del incremento de la movilidad supone un serio impedimento para conservar el entorno. Al ser conscientes de este problema, ya desde principios del siglo XXI, numerosas compañías de todos los sectores y en especial las empresas automovilísticas comenzaron a destinar una importante cantidad de dinero a la investigación y el desarrollo de nuevos vehículos propulsados por fuentes de energía alternativas asociadas a un considerable descenso de las emisiones de gases contaminantes. (GAS ENERGY LATIN AMERICA, 2021)

En Bolivia y el mundo la mayoría de las personas no se interesan en buscar información o comparar beneficios ya sea de costo, rendimiento o beneficios ambientales a la salud, ni la existencia de normativas sobre el uso de vehículos eléctricos, y menos los impactos ambientales en cuanto al uso de carburantes.

2 METODOLOGIA

La primera parte se analiza y compara las leyes físicas; sobre cuál es la teoría que modela matemáticamente el funcionamiento de un vehículo eléctrico en desplazamiento, bajo condiciones ideales.

Posteriormente se pone a prueba el vehículo en condiciones reales en ruta urbana y a través de sensores determinaremos velocidad, voltaje, torque, consumo y autonomía.

Finalmente, una vez establecidos las condiciones de velocidad, voltaje, torque, consumo y autonomía, se analiza el proceso de carga de baterías con una conexión doméstica y a través de paneles solares, para determinar la eficiencia del uso de energía alternativa como alimentación domestica de baterías.

2.1 El modelo del vehículo en estudio

Las características del vehículo eléctrico están constituidas en la parte estructural es una construcción tubular liviano con suspensión independiente en las 4 ruedas que permite adoptarse a irregularidad del terreno en carretas. La parte motriz está compuesta por dos motores sin escobillas BLDC que impulsa el movimiento del vehículo se alimenta de la energía almacenada en dos baterías de LiFePO₄, está compuesto por un controlador electrónico de velocidad ESC (Electronic Speed Control). Un acelerador y selector de tres velocidades para el motor que administrar el par motor las fases de velocidad en arranque y velocidad de cruce, para la recarga de las baterías está incorporado un panel fotovoltaico flexible de 300[W] en el techo del vehículo. (Campos Vázquez, 2019)

Tabla 1 Especificaciones del vehículo eléctrico.

Especificaciones	Cantidad	Unidad
Peso del Vehículo + Conductor (80) kg	209	[kg]
Distancia entre ruedas largo	1320	[mm]
Distancia entre ruedas ancho	1300	[mm]
Altura total	1500	[mm]
Batería LiFePO ₄ de 48V, 20A	2	[Pza]
Potencia motor BLDC	2	[kW]
Potencia del panel solar flexible Monocristalino 18V, 5A	300	[W]
Velocidad máxima registrada.	46	[km/h]

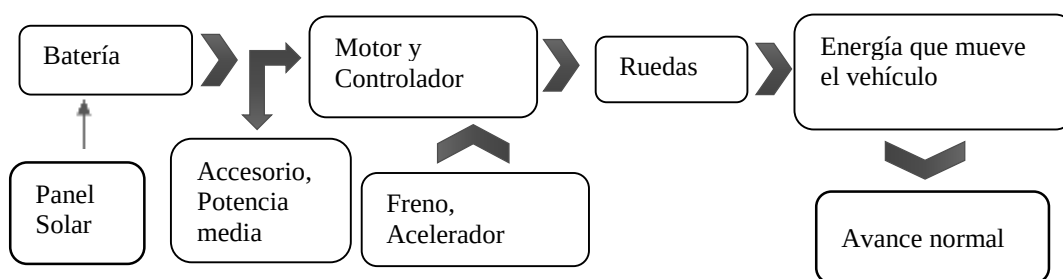
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 2 Diseño del Vehículo Eléctrico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3 Diagrama de suministro de energía.

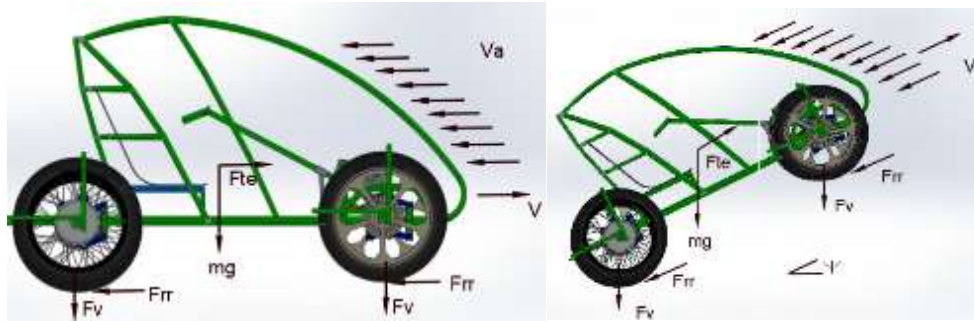


Fuente: Elaboración propia acorde a la disposición en el vehículo.

2.2 Análisis de las fuerzas de tracción y potencia mecánica

Una forma de entender la dinámica de un sistema es mediante un modelo matemático abstracto, el cual es a través de la aplicación de leyes físicas que rigen su comportamiento, el vehículo en pendiente tendrá que cumplir con la Segunda Ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x, es igual a la masa del cuerpo en movimiento por la aceleración que el vehículo eléctrico tenga.

La resistencia al movimiento longitudinal F_{te} es la total y es la suma de todos estos factores, la cual es vencida por el par del motor, a pesar de las pérdidas de rendimiento que existen en la transmisión. Existen factores que influyen tanto en la etapa de aceleración o desaceleración, como: la velocidad del vehículo, el estado del piso, el estado de los neumáticos, el estado de los frenos y la carga del vehículo. (Bosch, 2000)

Figura 4 Fuerzas actuantes sobre el VE en la pendiente.

Fuente: Elaboración propia.

Nota: en la figura se encuentran las fuerzas que actúan en la pendiente, se realiza un DCL (Diagrama de cuerpo libre) para cómo actúan las fuerzas y luego se le iguala la masa por aceleración.

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

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

En donde:

F_{te} = fuerza de tracción que es la que impulsa al vehículo eléctrico;

F_{rr} = fuerza de fricción entre la superficie a rodar y los neumáticos;

F_{ad} = fuerza de fricción con el viento;

F_{hc} = componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente.

m = masa total (masa del vehículo y masa de la carga);

a = aceleración del vehículo;

μ_{rr} = coeficiente de fricción a la rodadura;

g = aceleración gravitacional;

ψ = ángulo de la pendiente;

ρ = densidad aire local;

A = área superficie frontal del vehículo;

C_d = coeficiente aerodinámico;

V_a = velocidad del aire.

El cálculo de potencia necesaria en el VE se considera la velocidad máxima en pendiente, para prolongar la autonomía, como se presenta en las siguientes ecuaciones (3) y (4):

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

$$(4) P_{calculada} = \text{Potencia calculada}$$

(5) V_{max} = Velocidad máxima

Se considera, además un 90% de eficiencia del motor de corriente continua (η_m), del tipo de imanes permanentes con escobillas, y garantizar su trabajo en las distintas condiciones de operación, mediante la expresión (6)

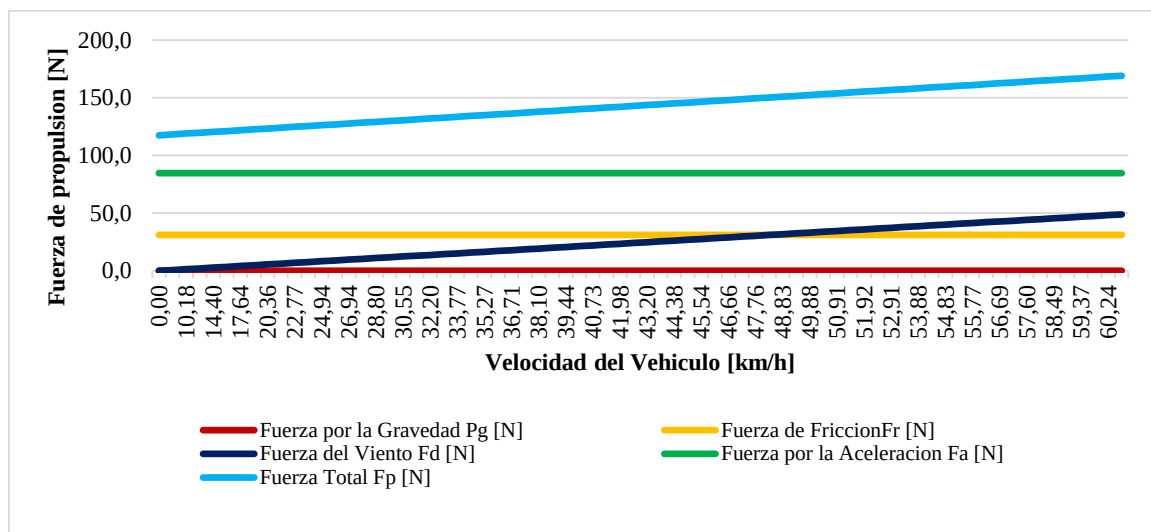
(6) $P_{motor} = P_{calculada} / \eta_m$

(7) P_{motor} = Potencia del motor

(8) $P_{calculada}$ = Potencia calculada

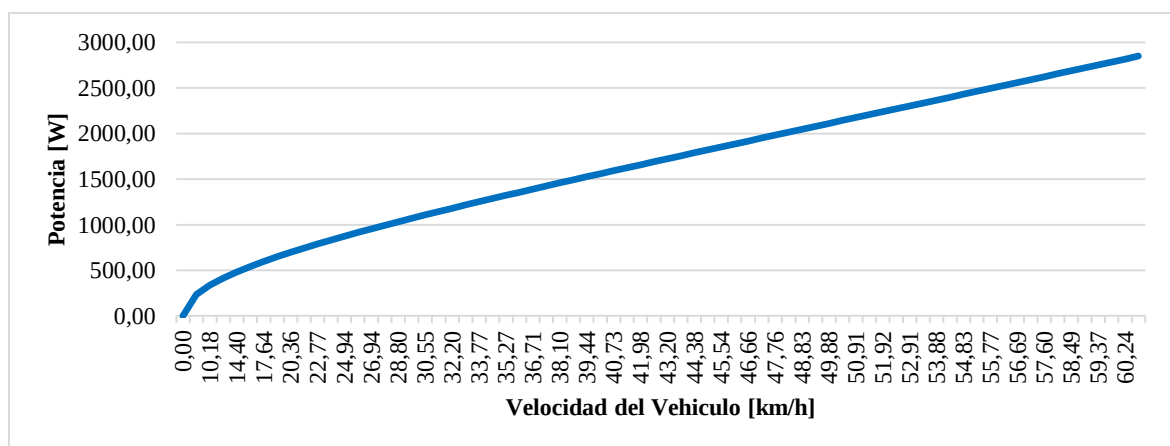
(9) η_m = Eficiencia del motor

Figura 5 Fuerzas de propulsión Vs. Velocidad del vehículo con una aceleración de $0.4m/s^2$, pendiente 0%.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6 Potencial Total Vs Velocidad del Vehículo, pendiente de 0%.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados teóricos muestran que la potencia de 2[kW] puede desarrollar una velocidad de 48[km/h] para las especificaciones de ruedas y peso del vehículo, esta

información es relevante con el fin de tener la certeza de que el vehículo está utilizando el motor más recomendado para las experiencias que se logra obtener, en caso de requerir mayor velocidad es necesario tener un motor de mayor potencia, obviamente con las implicaciones que esto puede generar en la velocidad de rotación del motor.

2.3 Par necesario para la transmisión.

La relación de transmisión más adecuada en obtener el máximo torque del motor eléctrico. (García Déniz, 2013)

La velocidad angular (ω) del motor eléctrico puede ser relacionada con la velocidad lineal (v) del vehículo eléctrico y el radio del neumático (r). Esta relación está dada por (10). (Durán, Guerrero-Ramírez, & Claudio, 2009)

$$(10) \omega = v / r$$

Torque del motor eléctrico (τ),

Fuerza de tracción (F_t)

Relación de transmisión (G)

Radio del neumático (r),

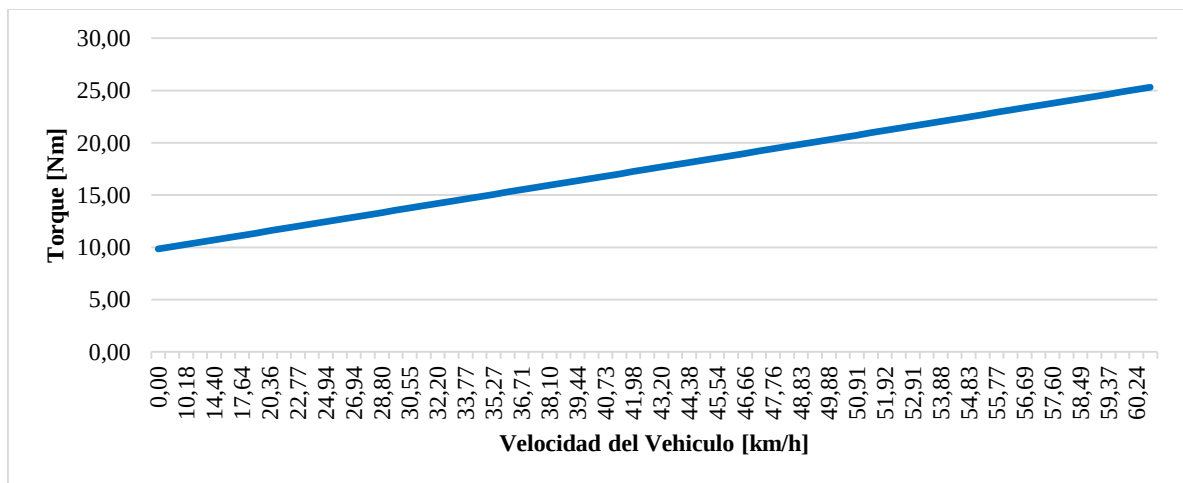
Velocidad angular del neumático (ω_n),

Velocidad lineal (v).

(García Déniz, 2013), como se presenta en la Figura 7, y expresada en (11).

$$(11) \tau = F_t * r / G$$

Figura 7 Torque en el motor Vs Velocidad del Vehículo, pendiente de 0%.



Fuente: Elaboración propia.

El torque que exige en las ruedas del vehículo eléctrico con una velocidad de 48[km/h] es de 20[Nm], que está por debajo del motor las especificaciones del motor de 70[Nm],

la cual da confianza en lo que respecta a las aceleraciones bruscas en momento de arranque que podría solicitar mayor torques.

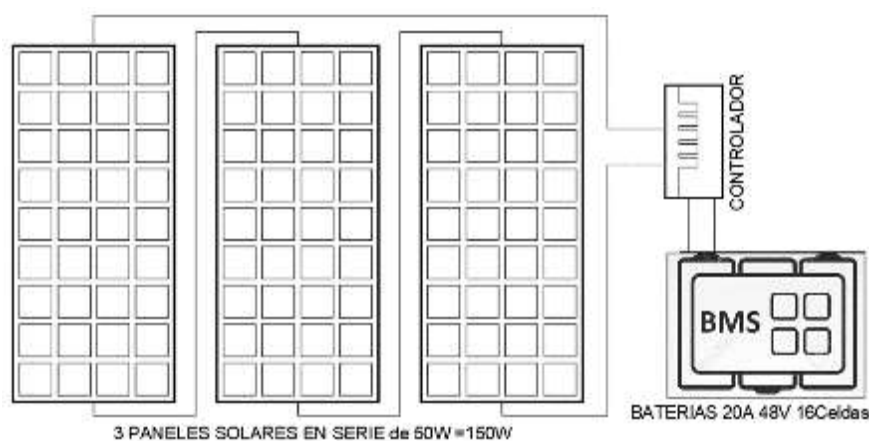
2.4 Configuración carga de baterías con panel solar.

Las baterías de litio para la maximización de su vida útil necesita un proceso de carga a un 100% de su capacidad, aplicando una tensión constante para que así la corriente fluya hacia al acumulador eléctrico, empezando con los valores altos en los primeros momentos de carga pero a la vez, al ser tan altos pueden afectar los procesos electroquímicos por ello al elegir un método de carga solar y al ser este variable y depender del sol, es más lento pero la vez mantiene la eficiencia de su batería en un buen nivel. (Barboza Valverde, 2018).

Por ser de interés la discusión sobre la carga de baterías del vehículo eléctrico por medio de paneles solares tanto en estacionamiento y en movimiento tanto en carretera como en rutas urbanas. De esta manera se configura la instalación de tal manera que los paneles solares puedan hacer la carga de energía en forma continua a las baterías. (Autosolar Energy Solutions SLU, , 2021)

Estos sistemas de baterías son llamados sistemas offgrid o autónomos, llamados así por su fácil instalación, los cuales no depende de una red eléctrica y generan electricidad en forma de corriente directa(CD), y esta se almacena en una batería de forma temporal, o directamente va a su uso. (Fundacion Energizar , 2018)

Figura 8 Conexiones del panel solar.



Fuente: Elaboración propia.

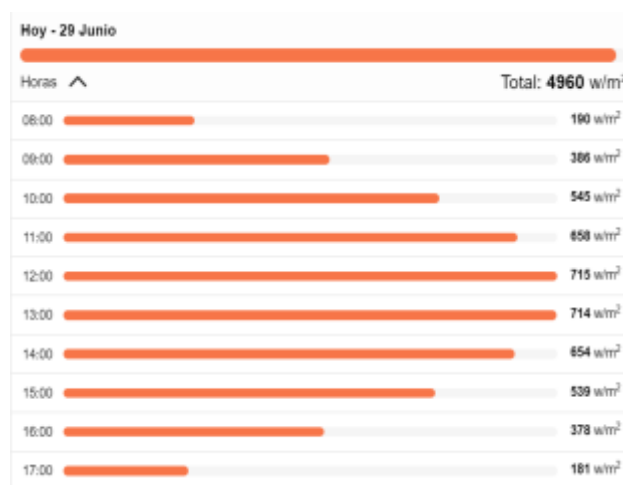
2.5 Radiación solar en cochabamba.

Se tomó como la energía renovable a considerar como la solar, ignorando la eólica, geotérmica y biomasa, la energía solar debido a las circunstancias esta es una de las más

efectivas por ser de más fácil acceso por las características del sistema pese al costo. (Chercca Ramirez, 2014)

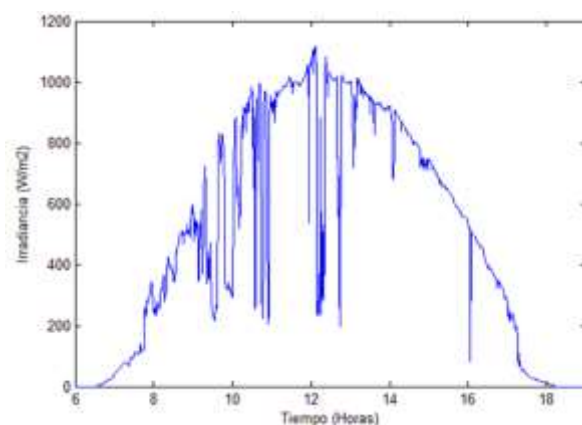
Según el mapa solar de Bolivia elaborado por la Universidad Mayor de San Simón (Lucano & Miranda, 2010). Las ciudades del occidente de Bolivia que están ubicados en una franja de exposición solar importante bajo la cual Cochabamba se encuentra también con potencial de radiación aprovechable para muchos usos. El presente trabajo se realizó en un día menos favorable que corresponde al mes de junio y la siguiente información. En la siguiente figura se aprecia el siguiente pronóstico de energía solar el día 29/06/2021. (Andersen, 2014)

Figura 9 Datos de la radiación solar de un día.



Fuente: (Tutiempo Network, S.L., 2021)

Figura 10 Curva de potencial de energía solar en Cochabamba.



Fuente: (Vargas & Abrahamse, 2014)

Esta modalidad de carga directamente de la fuente solar se realizó con el fin de optimizar el uso de energía solar como fuente de carga renovable y demostrar que en la actualidad

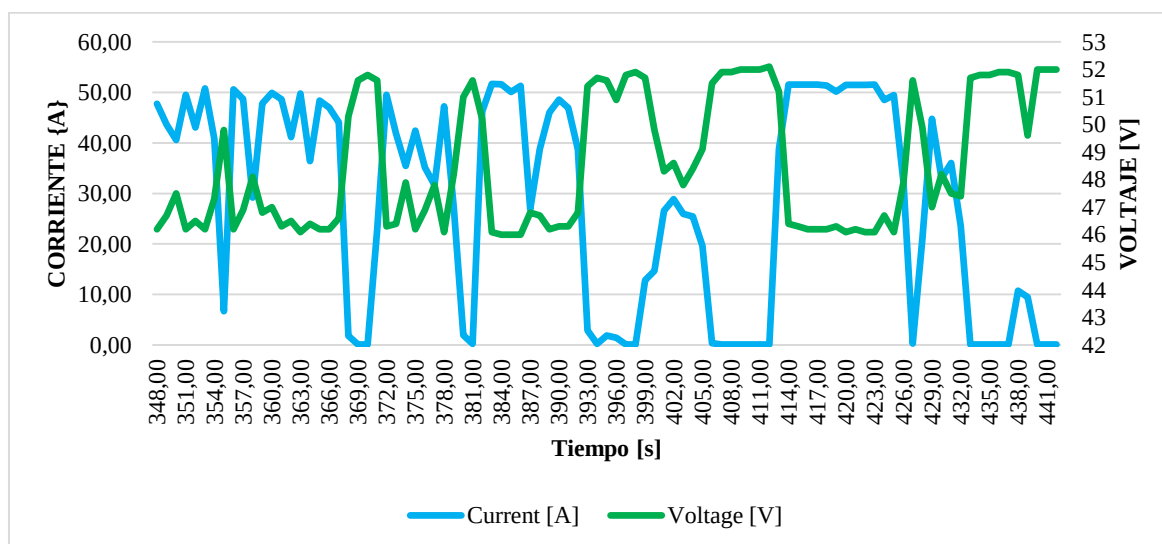
es más económico esta alternativa de energía, de esta manera se tiene los mismos parámetros de tensión y corriente en la carga de las baterías.

3 RESULTADOS

3.1 Pruebas de potencia y velocidad

Las pruebas de campo se realizan en ruta urbana zona nor-oeste de la ciudad de Cochabamba, las calles son totalmente pavimentadas con asfalto rígido y falible, por ser calles despejadas donde se puede desarrollar velocidades máximas en sectores presenta reductores de velocidad que exigen al vehículo aceleraciones fuertes para ganar velocidad y frenadas máximas en las esquinas que presentan reductores de velocidad, las características de vía en esta zona de la ciudad se repite en la mayor parte de la zona oeste de la ciudad de Cochabamba.

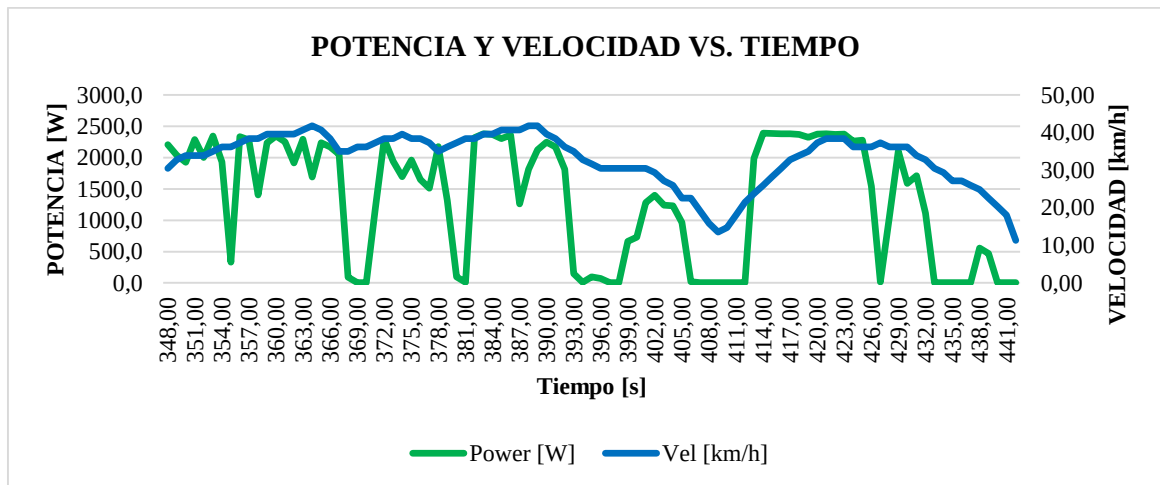
Figura 11 Corriente y voltaje Vs Tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: La grafica muestra la velocidad que alcanza con la potencia especificada a través del tiempo.

Figura 12 Potencia total actuante sobre el VE para una masa de 211.7 [kg]. (Vehículo y conductor)



Fuente: Elaboración Propia.

El gasto energético se desarrolla dentro los parámetros que limita el regulador electrónico que tiene programado por fabrica y fluctúa entre 30 a 53 [A], mientras que la tensión fluctúa entre 46 52[V], llega hasta los 53[A], la potencia eléctrica que exigen los motores es 2400[W] a una velocidad máxima de 46[km/h] y velocidad promedio de 24[km/h], estos resultados nos confirman con bastante aproximación los valores teóricamente calculados que se muestran en las Figura 12. (Skill Lync Inc., 2021)

3.2 Carga de baterías por red eléctrica

Para la carga de las baterías se realizó con una profundidad de descarga de las baterías al 100% resultado que se logró con una actividad de recorrido con el vehículo en ruta urbana, posteriormente se logra la carga de baterías al 100%, de estos resultados se tiene la siguiente tabla comparativa. La forma de medir estas energías fue con un solo instrumento registrador de carga y descarga.

Figura 13 Instrumento de registro de carga y descarga de batería.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2 Parámetros aplicados en el vehículo eléctrico para las pruebas.

Eficiencia de la batería en el proceso de carga y descarga al 100% de profundidad de descarga de una batería de 20A 48V.

Energía descargada en ruta urbana hasta que el vehículo pierde velocidad	0.75	kW-h
Energía cargada a la batería desde 100% de profundidad de descarga	0.84	kW-h
Eficiencia de la batería (perdidas en regulador, cargador, BMS, etc.)	89.28	%
Tiempo de carga por fuente domestica	6:17:39	h

Fuente: Elaboración propia con datos de carga y descarga.

3.3 Estimación de carga de las baterías con datos de panel solar del vehículo

Tabla 3 Datos de cálculos para recarga de baterías con panel solar.

Cálculo de módulo del panel	Valor	Unidades
Número de paneles	3	paneles
Factor global de perdidas	0.8	varia de 0.65 a 0.9
Numero de paneles en serie	3	V
Tensión máxima de entrada	54.9	V
Tensión de circuito abierto en la rama	68.1	V
Potencia por rama	318.4	W
Número de ramas en paralelo	1	
Corriente de salida	2.9	A
Energía generada por el panel solar	0.8215	kWh/día

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Estimación de carga de batería con datos sol de cochabamba

Se estima que para tres paneles de 100 [W] instalado en el vehículo según datos estimativos de radiación solar en Cochabamba se tiene.

Tabla 4 Datos para cálculos de sistema fotovoltaico.

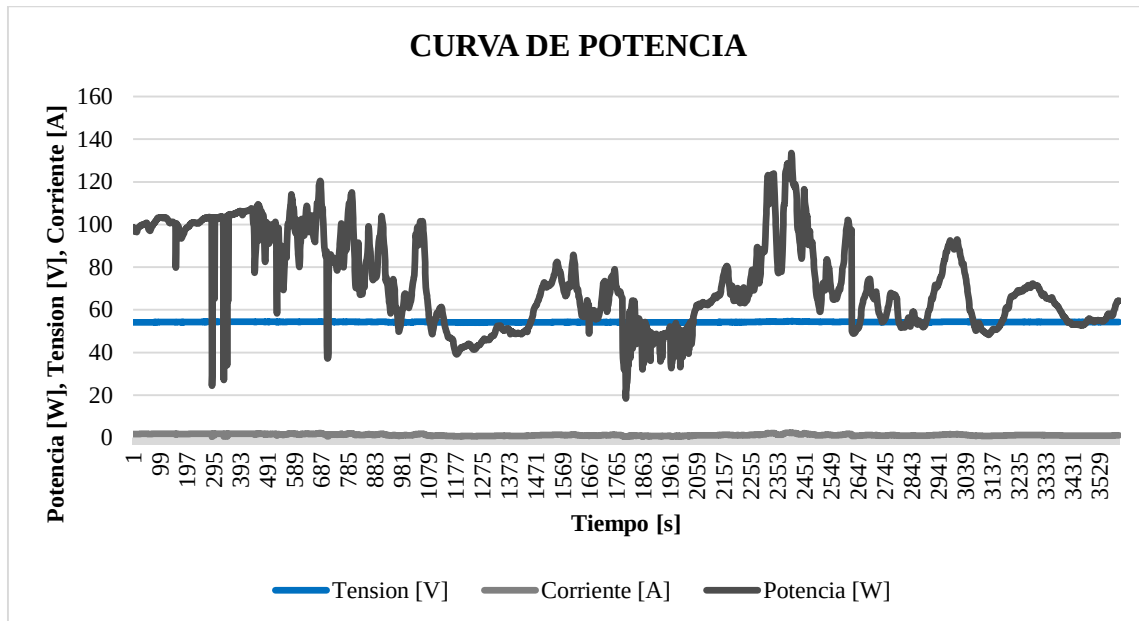
Datos	Valor	Unidad
Superficie de tres paneles solares	1.74	m ²
Rendimiento del panel solar	15	%
Horas pico solar mínimo mes de junio	4.45	kWh/m ² /día
Horas pico solar máximo	6.46	kWh/m ² /día
Promedio horas pico	5.44	kWh/m ² /día
Energía neta aprovechada para cargar las baterías estimada	1.42	kWh/día

Fuente: Elaboración Propia.

Con los datos de potencia máxima cargables con los paneles solares es de 0.82 [kWh/día], mientras la capacidad máxima aprovechable solar nos permite lograra hasta 1.42 [kWh/día], esto eta variación es aceptable dado que la capacidad máxima generable es posible mejorar utilizando paneles con mayor eficiencia tal es el caso de los holocristalino, etc. (ESRI, 2021)

3.5 Datos de carga de baterías con panel solar

Figura 14 Carga de batería con panel solar horas 13:00 a 14:00



Fuente: Elaboración Propia.

Se realizaron los registros de carga de las baterías por energía solar, la curva de carga de batería corresponde a una hora que corresponde de las 13:00 a 14:00, del 29 de junio del 2021, de acuerdo a estos datos se puede estimar que la energía que llega a almacenar a las baterías es de 0.072[kWh], considerando que para completar una carga para las baterías requiere 0.84[kWh], de estos datos se puede estimar que para una carga completa es necesario exponer las baterías. (Duque-sarmiento, 2018)

Tabla 5 Resultados de carga de baterías.

Datos	Valor	Unidad
Carga de energía en una hora	0.072	kWh
Carga necesaria para completar la energía por batería	0.84	kWh
Horas necesarias para completar una carga de batería para una profundidad de descarga de 100%	11.6	h

Fuente: Elaboración Propia.

Este dato nos muestra que para una recarga de baterías con profundidad de descarga al 100% es demasiado el tiempo de recarga, debido a esta entonces la recomendación. Pero según datos del panel solar y datos de sol en Cochabamba debería lograrse recargar la batería hasta una 11[h].

3.6 Análisis de autonomía energética

Tabla 6 Análisis de autonomía de un vehículo eléctrico de 48[V] y 20[A-h].

Autonomía de vehículo con batería de 20 [A-h], 48 [V], distancia de recorrido 36[km]		
Energía total utilizada para profundidad de descarga 100% con dos baterías	1.68	kWh
Distancia máxima recorrida	36.0	km
Capacidad de Vehículo	0.047	kWh/km
Energía Utilizada por el Vehículo Eléctrico	4.67	kW-h /100km
Costo de energía en Cochabamba	1.44	Bs./kWh
Costo del vehículo eléctrico	6.72	Bs./100km

Fuente: Elaboración Propia.

En términos de energía la capacidad del vehículo eléctrico se logra con suficiente economía en el caso de utilizar energía eléctrica de red doméstica. En caso de ser utilizado paneles solares se requieren una carga de 11.6 [h] para 100% de profundidad de descarga.

4 DISCUSION

Como resultado de las pruebas de recorrido del vehículo en rutas urbanas se llega a la conclusión de que el vehículo tiene una autonomía de 36km con un carga dos baterías de 20 A, 48V que almacena una energía de 0.75kWh, a la vez esto permite desarrollar una velocidad máxima de 46km/h, y un promedio de velocidad de 24km/h esto hace ver que en una ciudad mediana como Cochabamba que tiene una distancia promedio de 15km, puede mantenerse autónomo de un recorrido de ida y vuelta, en un tiempo de 1.5 horas, considerando en ese recorrido que los paneles están expuestos además una hora y media, permite además un aprovechamiento de la energía solar para carga del vehículo en movimiento de 1.25kWh de reserva para situaciones imprevistas, con esta nueva carga de energía del vehículo tendría además una autonomía.

En este trabajo se ha desarrollado las características de aprovechamiento de la energía solar para la carga de las baterías se hizo un análisis de la factibilidad de recarga las baterías con energía renovable, dado que en la competencia Grand Prix Solar el requisito era de cargar las baterías con energía solar, de esa manera se evaluó cuanto es posible cargar las baterías con esta energía alternativa, la curva de carga con paneles solares muestra que tres paneles solares de 100W podría cargar en 11.6 horas cada batería en las condiciones que se desarrolló la prueba que es la época con menos radiación solar (junio 2021), tomando en cuenta que son 2 baterías las que requiere el vehículo se requerirían más de 23 horas. Para una carga completa las baterías requieren mínimamente 6 horas, con la cual se puede estimar que para una buena carga con baterías solares en un día es necesario

contar con por lo menos 9 paneles solares, esto es lo que refleja la experiencia. Como es posible que las curva de carga mejore en época de verano en Cochabamba que es la mejor época con radiación solar aprovechable.

5 CONCLUSION

El diseño y construcción de un vehículo eléctrico alimentado por energía solar responde a numerosas necesidades y dificultades presentes en muchas de las ciudades del mundo, que ofrece numerosas soluciones. Además de servir como plataforma tecnológica para el desarrollo de nuevos sistemas, conjuntos y mecanismos que permiten el desarrollo de vehículos eléctricos solares en Bolivia, que hasta el momento es una tecnología nula en el país. La importancia de este proyecto está dada en la ejecución de diferentes áreas y disciplinas de trabajo. La construcción de un automóvil requiere de la aplicación de la mayoría de los conocimientos mecánicos ingenieriles; la concepción de un sistema eléctrico de propulsión solicita la ampliación del conocimiento en áreas específicas de la electrónica y la electricidad y la aplicación de la energía solar, como fuente de alimentación del sistema propulsor, concibe la aplicación y empleo de los últimos estudios en los que está puesto el interés de los investigadores y científicos en la actualidad, no solo para la adaptación en automóviles sino para la implantación en cada uno de los requerimientos del hombre social. Además de la utilización de software de diseño mecánico. Con esta investigación se trata de profundizar y concientizar a la población del gran beneficio que puede brindar un auto eléctrico además del daño mínimo que le causaría al ambiente, porque son pocas personas las que toman consciencia del daño que le hace a la atmosfera en un auto de combustión interna y a la economía de mediano a largo plazo.

El vehículo eléctrico es un paso intermedio en esta transición y su éxito es muestra de la aceptación que se está produciendo en torno al nuevo modelo de transporte. A pesar de ello, no supone una solución radical al problema por lo que la alternativa definitiva sería el vehículo puramente eléctrico y recargable con energías procedentes de fuentes no contaminantes.

Este documento además tiene como punto de partida datos relevantes para la toma de decisiones en la construcción o transformación de vehículos eléctricos dado que la potencia neta en energía eléctrica para uso vehicular es distinta a la curva de potencia de los vehículos a combustión interna.

Figura 15 *Vehicule eléctrico fabricado.*



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 16 *Proceso de fabricación de vehículo.*



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 17 *Participación del vehículo en competencia Gran Prix Solar Cochabamba-Sucre.*



6 BIBLIOGRAFÍA

- 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
- Autosolar Energy Solutions SLU, . (26 de Septiembre de 2021). *Autosolar*. Obtenido de Autosolar Energía y Servicios S.L.U: <https://autosolar.es/>
- Barboza Valverde, J. A. (2018). *Desarrollo de una propuesta de un sistema de carga interno para vehículos eléctricos*. Catargo: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/10440/desarrollo_propuesta_sistema_carga_interno_vehiculos_electricos.pdf?sequence=1&isAllowed=y (julio de 2021). *Bolivia: Decreto Supremo N° 4539, 7 de julio* . La Paz.
- Bosch, R. (2000). *Sistemas de freno convencionales y electrónicos*. España: Bosch. Obtenido de https://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/INFORMA%C3%87%C3%95ES%20ADICIONAIS/Sistemas-de-freno_Post.pdf
- Campos Vázquez, A. (2019). *El mercado de las energías renovables en Bolivia*. (E. M. r ICEX España Exportación e Inversiones, Ed.) La Paz: Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en La Paz. Obtenido de <https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde5/odm0/~edisp/doc2019834483.pdf>
- Chercca Ramirez, J. A. (2014). *Aprovechamiento del Recurso Esolico y Solar en la Generacion de la Energia Electrica y la Reduccion de Emisiones de CO2 en el Poblado Rural de La Grmaita de Casma*. Lima, Peru: Universidad Nacional de Ingenieria .
- Duque-sarmiento, D.-A. (2018). *Determinacion de la autonomia del Vehiculo Electrico mediante ciclos controlados*. Ecuador: Universidad Politecnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15067/1/UPS-CT007435.pdf>

- 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
- ESRI. (20 de Septiembre de 2021). *Environmental Systems Research Institute, Inc.* . Obtenido de ArcMap: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-solar-radiation-is-calculated.htm>
- Fundacion Energizar . (2018). Energía Solar. En *Curso de energia Fotovoltaica* (págs. 1-85). Fundacion Energizar SA.
- 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_Vehiculo_Elctrico_-_Noviembre_2013.pdf
- GAS ENERGY LATIN AMERICA. (2021). Obtenido de <https://www.gasenergyla.com/>
- Lucano, M. J., & Miranda, I. E. (2010). *Estimación de la Radiación Solar en Bolivia utilizzando modelos SIG e Imagenes Satelitales*. La Paz: Revista Boliviana de Física v.17 n.17. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232010000100002
- Rocha-Hoyos, J., & Tipanluisa, L. (2017). Evaluación del Sistema de Tracción en un Vehículo Eléctrico Biplaza de Estructura Tubular. *Información Tecnológica*, 28(2), 29-36. doi:10.4067/S0718-07642017000200004
- Sanz Arnaiz, I. (2015). Análisis de la Evolución y el Impacto de los vehículos electricos en la economía europea. *Universidad pontificia ICAI COMILLAS*. Obtenido de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/3803/TFG001112.pdf>
- Skill Lync Inc. (26 de septiembre de 2021). Obtenido de Skill-Lync: <https://skill-lync.com/student-projects/analytical-study-of-vehicle-propulsion-forces>
- The Worl Air Quiality Proyect. (26 de Septiembre de 2021). *Air Pollution in World: Real-time air Quiality Index Visual Map*. Obtenido de <https://aqicn.org/map/world/>

Tutiempo Network, S.L. (26 de Septiembre de 2021). Obtenido de TuTiempo.net:
<https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/cochabamba.html>

Vargas, T., & Abrahamse, A. (14 de Marzo de 2014). Trazador de curvas i-v de código abierto para monitoreo de rendimiento de. *Investigación & Desarrollo*, 1(14), 100-116. doi:ISSN 2518-4431