



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**POTENCIAL DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA  
VEHÍCULOS ELÉCTRICOS (CASO DE ESTUDIO EN  
CUENCA)**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: BRYAM PAUL LOJANO RIERA**

**DIRECTOR: ING. CARLOS FLORES VAZQUEZ MSc, MBA, PHD(c).**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad al servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**POTENCIAL DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA PARA VEHÍCULOS  
ELÉCTRICOS (CASO DE ESTUDIO EN CUENCA)**

**TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: BRYAM PAUL LOJANO RIERA**

**DIRECTOR: ING. CARLOS FLORES VAZQUEZ MSc, MBA, PHD(c).**

**CUENCA-ECUADOR**

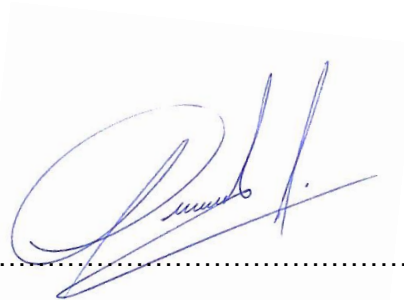
**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

**Bryam Paul Lojano Riera** portador de la cédula de ciudadanía N° **0106968407**. Declaro ser el autor de la obra: **“Potencial de generación fotovoltaica para vehículos eléctricos (Caso de estudio en Cuenca)”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **17 de marzo del 2022**



F: .....

Bryam Paul Lojano Riera

01069680407

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Bryan Paul Lojano Riera, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Carlos Flores Vásquez', written in a cursive style.

---

**Ing. Carlos Flores Vásquez**  
**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo el corazón mi tesis a mi madre, pues sin ella no habría logrado realizar este proyecto, Tu bendición, guía y apoyo me protege a lo largo de toda mi vida y me lleva por el camino del bien, por eso te dedico esta tesis, como una muestra del amor y paciencia que me has brindado durante toda mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Dirijo un cordial agradecimiento a mi Universidad, por haber permitido realizar mi formación profesional y brindarme el apoyo necesario para culminar mis estudios. Agradezco a todas las personas que fueron parte de mi formación profesional y personal ya sea de manera directa o indirecta. Agradezco a mi director de tesis el Ing. Carlos Flores Vázquez por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científicos para guiarme en el desarrollo de mi tesis. Agradezco también a la Universidad Académica de Posgrados por haber proporcionado los materiales necesarios, a su director el Ingeniero Juan Carlos Cobos, por haber brindado su apoyo y conocimiento en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco de manera especial a mi madre por haberme acompañado y guiado a lo largo de toda mi formación personal y académica, por todos sus consejos que han logrado convertirme en una mejor persona, por haberme apoyado en los momentos más difíciles de mi vida y ayudarme a salir adelante siempre. Le agradezco con todo el corazón ya que sin ella no habría podido cumplir esta meta tan importante en mi vida.

## RESUMEN

El presente trabajo investiga un método para evaluar el potencial solar en la ciudad de Cuenca, utilizando como guía el recorrido de los autobuses públicos para vehículos eléctricos, teniendo en cuenta que, para obtener la radiación solar en movimiento habrá varios sectores en las carreteras, que suelen ser obstaculizados por las estructuras naturales y artificiales del entorno. La metodología consistió en realizar varias mediciones en diferentes condiciones climáticas para determinar el rendimiento del vehículo eléctrico y así mejorar su autonomía cargando la unidad cuando está en circulación o estática. Se comparó con las necesidades energéticas de un vehículo eléctrico convencional para ver qué fracción de su demanda se podría compensar. Para el caso de estudio, se analizó una ruta de autobús público existente en Cuenca (Trigales - San Joaquín). Se instaló un panel fotovoltaico en el techo del vehículo, el cual es usado para obtener datos sobre la radiación, la corriente del panel solar y la carga y descarga de las baterías del vehículo eléctrico mediante un sistema de recolección de datos. Se comprobó que la instalación de paneles solares en el techo de un vehículo eléctrico puede compensar la demanda de electricidad. Este estudio ayudará a investigadores a tomar decisiones sobre la posibilidad de un cambio completo a autobuses eléctricos, vehículos eléctricos, bicicletas eléctricas y motocicletas eléctricas, todos ellos integrados con energía solar fotovoltaica, en función de las rutas designadas.

*Palabras clave:* movilidad eléctrica, radiación solar, condiciones climáticas, estructuras artificiales.

## **ABSTRACT**

The present work investigates a method to evaluate the solar potential in the city of Cuenca using as a guide path the route of public buses for electric vehicles taking into account that to obtain solar radiation in motion there will be several factors on the roads that are usually hindered by the natural and artificial structures of the environment, The methodology consisted of taking several measurements in different weather conditions to determine the performance of the electric vehicle and thus improve its autonomy by charging the unit in circulation or when static was compared with the energy needs of a conventional electric vehicle to see what fraction of its demand could compensate. For the case study, an existing public bus route in Cuenca (Trigales - San Joaquin) was analyzed. A photovoltaic panel was installed on the roof of the vehicle to obtain data on radiation, solar panel current and the charging and discharging of the electric vehicle batteries. It was found that the installation of solar panels on the roof of an electric vehicle can offset the electricity demand. This study will help municipalities (and/or electric mobility contractors) to make decisions about switching to electric buses, electric vehicles, electric bicycles, electric motorcycles all integrated with solar PV, bases on designated routes.

*Keywords:* electric mobility, climatic conditions, artificial structures

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>ABSTRACT</b> .....	8
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	10
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	11
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>CAPITULO 1</b> .....	14
<b>CAPITULO 2</b> .....	18
<b>CAPITULO 3</b> .....	25
<b>CAPITULO 4</b> .....	36
<b>CONCLUSIONES</b> .....	55
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	56
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57
<b>ANEXOS</b> .....	62

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ruta de estudio establecida .....	16
Figura 2 Espectro electromagnético solar .....	18
Figura 3 Modulo solar fotovoltaico .....	21
Figura 4 Vehículo eléctrico Dayang Chok-S2.....	23
Figura 5 Estructura general del sistema.....	26
Figura 6 Configuración Optimizador de carga .....	27
Figura 7 Placa divisor de tensión .....	28
Figura 8 Configuración interna centro de control y medición .....	29
Figura 9 Composición sistema de medición a) Sistema construido Vista exterior. b) Sistema construido Vista interior. ....	30
Figura 10 Zona 1 a) Mapa de ruta b) Vista real.....	31
Figura 11 Zona 2 a) Mapa de ruta b) Vista zona 2 .....	33
Figura 12 Zona 3: a) Mapa de ruta b) Vista zona 3 .....	34
Figura 13 Zona 4 a) Mapa ruta b) Vista zona 4 .....	35
Figura 14 Relación generación de corriente e irradiación.....	36
Figura 15 Resultados de generación. a) Generación de corriente día soleado b) Promedio de corriente generada por horas.....	38
Figura 16 Comportamiento promedio de las baterías condiciones favorables.....	40
Figura 17 Comportamiento Voltajes en cascada condiciones favorables .....	41
Figura 18 Comportamiento de voltajes en cascada condiciones normales.....	42
Figura 19 Resultados generación de corriente a) Generación de corriente; b) Promedio de corriente generada.....	43
Figura 20 Comportamiento promedio de batería día Parcialmente Nublado .....	45
Figura 21 Comportamiento voltajes en cascada día Parcialmente Nublado .....	46
Figura 22 Gráfica comparativa generación de corriente e irradiación día nublado .....	47
Figura 23 Resultados de generación de corriente (Día nublado) a) Generación de corriente día nublado b) Corriente promedio generada día nublado .....	48
Figura 24 Comportamiento promedio de baterías (Condiciones desfavorables día nublado).....	50
Figura 25 Comportamiento voltajes en cascada (día nublado).....	51
Figura 26 Comportamiento general de corriente e irradiación por días .....	53
Figura 27 Comportamiento general de corriente e irradiación por días .....	53

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características del módulo solar fotovoltaico .....	22
Tabla 2 Características zona 1.....	31
Tabla 3 Características zona 2.....	32
Tabla 4 Características zona 3.....	33
Tabla 5 Características zona 4.....	34
Tabla 6 Valores promedio en un día soleado .....	39
Tabla 7 Comportamiento promedio de baterías .....	40
Tabla 8 Promedio de corriente generada día parcialmente nublado.....	44
Tabla 9 Promedio de Corriente Generada Día parcialmente nublado.....	45
Tabla 10 Promedio de corriente generada día nublado.....	49
Tabla 11 Promedio de Corriente generada (Día nublado).....	50
Tabla 12 Promedio de generación e irradiación total.....	52
Tabla 13 Promedio de generación e irradiación por horas.....	54

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Código de programación del módulo optimizador de carga.....	74
ANEXO 2. Código de programación sistema de medición y control.....	74
ANEXO 3. Datos generación del vehículo eléctrico .....	74
ANEXO 4. Datos de carga y descarga de las baterías.....	74

## INTRODUCCIÓN

La demanda de energía ha crecido considerablemente en los últimos años, la tasa de consumo actual y la contaminación producida por la misma ha llegado a un punto en que se hace necesaria una evaluación de los efectos ambientales y una adecuación de recursos para satisfacer las futuras demandas y proporcionar medidas para evitar una crisis futura [7,8]. La energía eléctrica es la alternativa más eficiente para satisfacer la demanda y reducir los niveles de contaminación, debido a su variedad de formas de aprovechamiento (solar, eólica).

El sol es la mayor fuente de energía inagotable para el planeta [26,3], las tecnologías modernas han sido desarrolladas con el objetivo principal de generar energía eléctrica mediante la energía solar recolectada [25]. La energía que produce el sol es capaz de satisfacer de manera adecuada toda la demanda de energía del mundo, si las tecnologías de recolección y suministro tuvieran mayor accesibilidad [9], La tierra recibe anualmente un aproximado de cuatro exajoule de energía solar de los cuales  $5 \times 10^7 \text{Ej}$  pueden ser fácilmente recolectados [46].

Aunque el potencial solar aprovechable del planeta es alto, la contribución energética solar al suministro mundial de energía todavía es muy bajo. Actualmente, existe una mayor inclinación hacia el uso de este tipo de energía, generando así sistemas solares capaces de abastecer la demanda energética de los sectores rurales y contribuyendo con un sistema de carga de energía limpia, en la movilidad eléctrica [39,13].

A escala mundial, se establece un consumo energético del 26% de la energía prima en fines de transporte, esto representa un 23% de las emisiones de gases de efecto invernadero [19]. Se establece que el tráfico de las ciudades (tráfico urbano) representa una participación del 74% en el área de transporte en todo el mundo [18]. Para satisfacer las necesidades de movilidad, reducir las emisiones y salir de la dependencia del combustible, las tecnologías de propulsión deben ser reemplazadas por alternativas más eficientes y amigables con el medio ambiente [22].

En el camino de transición hacia una sociedad sostenible, se requieren tecnologías de movilidad eléctrica con alto grado de eficiencia en todo el mundo, los vehículos eléctricos representan este tipo de tecnología [45]. Estos vehículos representan un sistema eficiente de transporte, no presentan contaminación de CO<sub>2</sub> y presentan ventajas como la reducción de ruido en el área urbana, especialmente en velocidades por debajo de 50 km/h presentan una reducción de 1 a 3 dB o más [44].

La energía producida con base en el sol comienza con la radiación directa y difusa que llega a una determinada superficie [41], la radiación directa hace referencia a los rayos que llegan directamente a la superficie y la difusa hace referencia a los rayos que llegan de manera indirecta a la superficie debido a interrupciones del medio [40, 27]. Los módulos fotovoltaicos son sistemas de captación solar compuesto de celdas que convierten la luz visible (400 nanómetros a 700 nanómetros) en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico de los materiales semiconductores [10, 34].

En esta investigación, se propone la investigación de la funcionalidad que tendrá un sistema de carga solar móvil, incorporado a un vehículo eléctrico. Al realizar esto se espera obtener datos reales de funcionamiento del sistema de carga, como el porcentaje mejorado de autonomía del vehículo eléctrico [41, 28], y el comportamiento que tiene el sistema de carga móvil en una ruta pre establecida, en la cual se presente radiación solar directa y difusa. La zona de estudio establecida es la ciudad de Cuenca, que presenta valores de irradiación más bajos en el mes de julio, radiación global de  $3851.60 \text{ W/m}^2$  [38, 4].

En trabajos relacionados [23,35] se estable sistemas 100% renovables en movilidad eléctrica para el año 2050. Aunque el potencial solar es grande, no existen estudios del comportamiento de los sistemas de carga en zonas predeterminadas de la ciudad [38]. Esto es necesario debido a que puede ayudar a determinar la factibilidad y el aumento de autonomía que puede llegar a tener un vehículo eléctrico, hacia como determinar los puntos críticos de radiación en la ciudad para carga del vehículo y zonas en las cuales no se presente una carga eficiente [20].

En el Capítulo 1, se presenta el planteamiento del problema en el cual se detallará la realidad de la problemática, objetivos de la investigación, limitaciones y viabilidad del estudio. En el Capítulo 2, se presenta las bases teóricas, antecedentes, e hipótesis. En el Capítulo 3, se presenta la composición y principio de operación del sistema empleado, así como el proceso de recolección de datos. En el Capítulo 4, se presenta los resultados obtenidos de las mediciones realizadas. En el Capítulo 5, se realiza el análisis y discusiones de los resultados obtenidos, así como las respectivas conclusiones obtenidas del análisis de datos.

# CAPITULO 1

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

El problema principal a estudiar es la mejora de autonomía que puede llegar a presentar un vehículo eléctrico, mediante la inclusión de paneles solares. Actualmente existe una gran demanda de vehículos eléctricos en todo el mundo, si bien este tipo de vehículos han presentado una mejora considerable en su autonomía, todavía no presentan un alcance similar o igual frente a los vehículos de combustión. Al momento de hablar de autonomía, es importante considerar el sistema de carga de los vehículos, ya que esto puede llegar a mejorar la autonomía del vehículo, en especial los sistemas de carga regenerativos.

Convenios y tratados mundiales han establecido en una gran mayoría de país incluido Ecuador, una dependencia nula en combustibles fósiles, previstos para el año 2050. Para llegar a cumplir este objetivo se plantea incrementar el uso de sistemas basados en energías renovables, tales como la energía solar, que presenta un potencial de aprovechamiento más grande que la demanda de energía eléctrica del mundo.

Esta energía solar puede ser aprovechada aún más, si se desarrolla un sistema capaz de medir la irradiación en tiempo real en cualquier parte de la ciudad, este sistema también deberá cargar las baterías del vehículo eléctrico, presentando así un sistema de carga móvil el cual permite obtener datos reales del comportamiento de carga del vehículo en una ruta establecida.

De manera general, este sistema permitirá descartar rutas o zonas en las cuales un vehículo eléctrico no presentará una eficiencia de autonomía completa, y a su vez establecer zonas en las cuales sea factible implementar un sistema de transporte eléctrico. Este estudio permite determinar el comportamiento de la autonomía en un medio de transporte eléctrico en una ruta predeterminada, si cuenta con una alimentación solar eléctrica durante todo su recorrido para aumentar su autonomía.

### 1.2 Objetivos de la investigación

#### 1.2.1 *Objetivos generales*

- Analizar el comportamiento que presenta un vehículo eléctrico alimentado por un sistema de carga solar acoplado, frente a diferentes valores de irradiación presentados en la ciudad.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Investigar sistemas similares para obtener una retroalimentación y poder mejorar o desarrollar el sistema de manera eficaz, usando para ello fuentes bibliográficas de Artículos Científicos.
- Desarrollar un prototipo base para poder verificar la efectividad de medición de irradiación, usando como patrón otros equipos comerciales.
- Realizar la recolección de datos de irradiación y generación de corriente en un tiempo y ruta establecida para generar una base de datos amplia, usando para ello un vehículo eléctrico con el sistema implementado
- Analizar los resultados obtenidos mediante gráficas para obtener los porcentajes de mejora de autonomía conseguidos en diferentes escenarios.

### **1.3 Delimitación del problema**

El proyecto plantea desarrollar un prototipo funcional de un sistema de medición de generación de corriente en tiempo real, para ello se plantea desarrollar este sistema mediante el uso de micro controladores y sensores mostrando así, un prototipo del sistema para determinar la eficacia del mismo.

Con el prototipo desarrollado, se pretende realizar las primeras pruebas de medición de irradiación en una ruta seleccionada del recorrido de los buses urbanos de la ciudad de Cuenca, con esto se logra realizar un análisis de la zona de estudio para determinar la cantidad de irradiación que se puede obtener en la ruta.

Se optará por una ruta de estudio conflictiva, es decir que presente zonas con obstáculos para la captación solar, en los obstáculos para la captación solar se considera, estructuras arquitectónicas, decorativas y zonas verdes. Finalmente, se procederá a implementar el prototipo de manera real en un vehículo eléctrico, para mostrar el comportamiento que este tendrá en la ruta, y la mejora de autonomía que se puede obtener con el sistema de carga solar móvil.

### **1.4 Delimitación de la zona de estudio**

La zona de estudio establecida para la realización de este proyecto es la ciudad de Cuenca, provincia Azuay Ecuador. Se tomará como referencia de las rutas realizadas por los buses urbanos de la ciudad. La ciudad de Cuenca presentan varias zonas de posible conflicto con varios obstáculos arquitectónicos y decorativos, así como espacios amplios de gran potencial de captación, estas zonas de conflicto afectan en gran medida a la capacidad de captación

solar del sistema, ya que los obstáculos impiden que exista una radiación directa sobre la celda fotovoltaica siendo entonces esta radiación del tipo difusa, este tipo de radiación afecta a la capacidad de generación de corriente y por ende a la autonomía del vehículo se verá disminuida. Para conseguir una mayor efectividad, se ha escogido una ruta estratégica, la cual abarca las zonas más conflictivas de la ciudad (Centro histórico, Av. de las Américas y Av. Ordoñez Lasso). En la Figura se presenta la zona de estudio establecida.

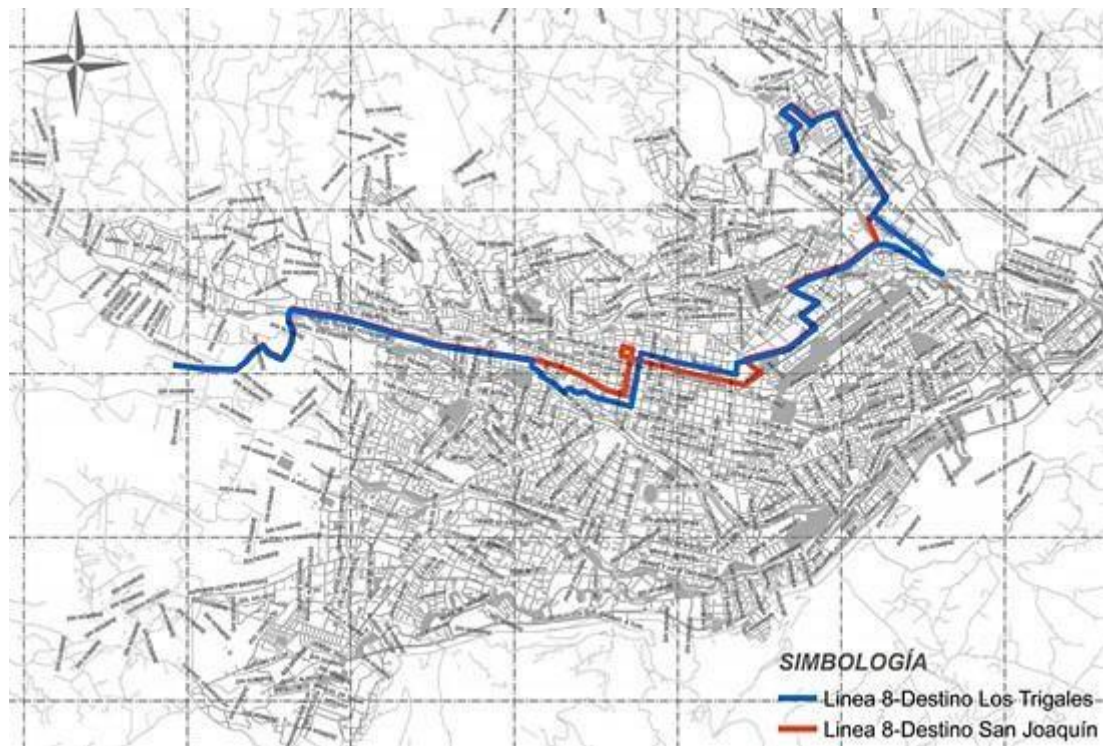


Figura 1 Ruta de estudio establecida

Fuente: GAD municipal de Cuenca.2016.

### 1.5 Justificación

Este proyecto presenta una gran relevancia para posteriores trabajos enfocados en cualquier tipo de sistema de carga solar, ya sea estático o de tipo móvil, de igual manera mostrara la eficacia que puede llegar a presentar la autonomía de un vehículo eléctrico frente a circunstancias favorables y desfavorables, siendo este un punto importante de referencia para posteriores implantaciones de un sistema solar en vehículos de mayor tránsito, como buses, taxis, tranvías, etc.

Este sistema puede ser aplicado en cualquier parte del mundo para determinar el nivel de irradiación y generación que se puede obtener, considerando todas las variables del entorno. Debido a las crecientes demandas de movilidad y energía eléctrica autosustentable, que existe

actualmente, las investigaciones y proyectos se encuentran enfocadas al uso de energía renovables, en especial de la energía fotovoltaica, esto se debe a que este tipo de energía es la que mayor disposición y viabilidad presenta, por lo cual es ideal realizar un sistema, el cual pueda medir la funcionalidad que tendrá un sistema ya sea, móvil o estático, en distintas zonas de la ciudad. Las problemáticas planteadas y el sistema propuesto presentan completa posibilidad de resolución y ejecución.

### **1.6 Limitaciones del estudio**

Aunque en la ciudad de Cuenca sea una ciudad relativamente pequeña, existen varias zonas de conflicto, en cuanto a radiación solar se refiere, dichas zonas se encuentran en distintas partes de la ciudad de Cuenca, como se estableció anteriormente se ha escogido una ruta la cual abarque más zonas de conflicto de la ciudad, la ciudad dispone de, 8 agencias de autobuses, las cuales abarcan la mayor parte de la ciudad y zonas rurales de la ciudad. Esto conlleva a un número grande de rutas a estudiar, lo cual significa una limitante puesto que en este estudio no se puede abarcar todas las zonas de conflicto, simplemente las más importantes; sin embargo, el sistema desarrollado permitirá que otros investigadores puedan estudiar cualquier ruta de conflicto, en la cual se desee comprobar su capacidad de generación de corriente por medio de la captación solar.

### **1.7 Viabilidad del estudio**

El estudio tiene como finalidad, comprobar el incremento de la autonomía real que presentara el vehículo eléctrico alimentado con una fuente fotovoltaica acoplada al vehículo, teniendo para ello, consideración de las interferencias de captación que se den durante el recorrido, y las condiciones climáticas frente a las que este expuesto el vehículo, En este estudio se pretende lograr un aumento de autonomía de 10 a 15km, de la autonomía base del vehículo eléctrico. En la ciudad de Cuenca, se puede encontrar una irradiación aproximada de  $3851.60 \text{ W/m}^2$  en el mes de julio [34]. Por lo cual hace factible la carga del vehículo eléctrico en movimiento, mejorando así el porcentaje de autonomía base. Todos los sistemas y metodologías de estudio son completamente viables para el desarrollo.

## CAPITULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el sol mediante ondas electromagnéticas, la energía proveniente del sol es en principio, radiación electromagnética provocada por las reacciones de hidrogeno en el núcleo del sol, debido a la fusión nuclear y emitida por la superficie solar. La cantidad de radiación solar que llega a la tierra se la cuantifica como irradiación solar, energía recibida por unidad de superficie ( $W/m^2$ ). Un valor a considerar en la radiación solar es la constante solar, la constante solar, se define como la cantidad de radiación recibida por unidad de superficie en la parte externa de la atmosfera, en un plano perpendicular siendo su valor promedio de  $3851.60 W/m^2$  en cuenca en el mes de julio.

La radiación solar está distribuida en un espectro de amplitud no uniforme, por lo cual no se concentra en una sola frecuencia. La radiación electromagnética se establece en un espectro de diferentes longitudes de onda corta, establecido desde longitudes de onda corta, como los rayos gama, hasta longitudes de onda larga, como las ondas de radio. El espectro de radiación electromagnética se encuentra representado en la Figura 1.

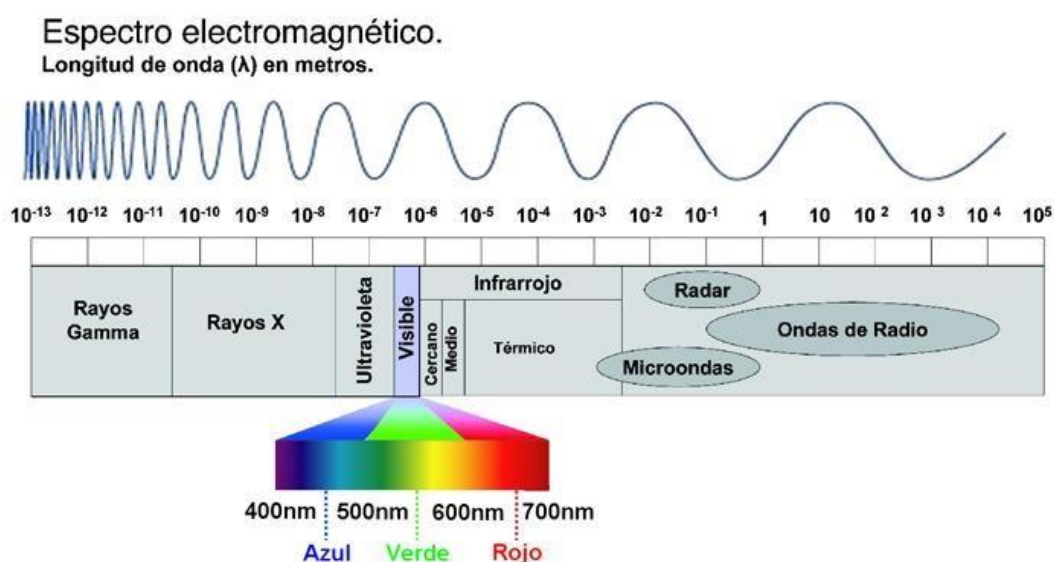


Figura 2 Espectro electromagnético solar

Fuente: MASKANA Revista científica multidisciplinaria

La radiación activa se encuentra entre los 400 y 700nm, este espacio o banda de radiación corresponde al 41% de la radiación total, siendo este el porcentaje de radiación disponible a ser aprovechada en la actualidad.

### ***Irradiación solar***

La irradiación solar es la potencia recibida durante un periodo de tiempo (se mide en  $J/m^2$  o  $W/m^2$ ), El comúnmente usado es radiación solar, sin embargo, este representa un concepto genérico el cual no puede ser cuantificado con ninguna magnitud. Las únicas magnitudes que describen la radiación solar que llega a la superficie son la irradiación y la irradiación solar.

### ***Tipos de radiación solar***

La radiación solar que recibe la atmosfera de la tierra llega a experimentar alteraciones, por lo cual, aproximadamente la mitad de la radiación solar total atraviesa la atmosfera sin ningún tipo de alteración, a esta radiación se la conoce como radiación neta, la mitad de la radiación neta corresponde a la evaporación de las masas de agua, por lo cual la energía solar disponible representa la cuarta parte de la energía total. La radiación solar disponible se clasifica de la siguiente manera según las interferencias del entorno.

### ***Radiación directa***

Este tipo de radiación se establece como la radiación que llega a la superficie de la tierra sin alternación o dispersión en su trayectoria. Este tipo de radiación se da cuando el sol es totalmente visible y representa una radiación limpia y completa

### ***Radiación difusa***

Este tipo de radiación también es conocida como radiación indirecta, este tipo de radiación representa a, la radiación golpeada por una partícula de gases atmosféricos o reflejada en múltiples direcciones, la radiación difusa equivale a un 55% de la radiación global.

### ***Radiación incidente***

La radiación incidente hace referencia a, la radiación obstruida con algún objeto durante su trayectoria, y ha desprendido toda o parte de su energía, y sus rayos son re direccionados hacia la superficie terrestre. La cantidad máxima de irradiación solar incidente se logra obtener con incidencia perpendicular.

### ***Radiación reflejada.***

La radiación reflejada o albedo, representa una fracción de la irradiación solar, la cual es reflejada por la superficie. Las superficies horizontales no presentan radiación reflejada mientras que las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

## **2.2 Módulos solares fotovoltaicos**

El sol es capaz de proporcionar la energía suficiente para abastecer de electricidad al mundo, para lograr esto se requiere de un intermediario que pueda convertir la luz solar en energía, siendo este los paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos son los encargados de generar electricidad a través del principio fotoeléctrico, los paneles están formados por un conjunto de células fotovoltaicas, las cuales generan electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre ellas. Una celda fotovoltaica común es capaz de captar solamente un parte del espectro electromagnético, esta parte de captación corresponde solamente al rango conocido como espectro de luz visible, correspondiente a un rango de 400 nanómetros hasta 700 nanómetros.

En una celda solar común, la corriente que se genera en el semiconductor es extraída por los contactos de las caras anterior y posterior, la estructura frontal está compuesta por dedos metálicos separados entre sí, esto permite que la radiación solar pase entre ellos. Esta celda solar está cubierta por una capa fina de metal dieléctrico anti reflectante para minimizar perdidas.

### ***Tipos de paneles solares***

Debido a las condiciones del entorno y cambios climáticos, se han desarrollado diferentes tipos de paneles fotovoltaicos, los cuales ofrecen distintas características que pueden resultar favorables o desfavorables dependiendo el uso al que este destinado o la eficiencia que se desee lograr. El desarrollo de los paneles solares ha tendido un crecimiento exponencial en la última década, desarrollando proyectos con paneles que son capaces de generar energía eléctrica en un horario nocturno.

### ***Paneles solares monocristalinos***

La tecnología monocristalina, representa la manera de fabricación de los paneles solares, generalmente un panel solar está fabricado de silicio y compuesto por varias celdas fotovoltaicas conectadas entre sí en serie y paralelo. Los paneles solares monocristalinos están compuestos por silicio puro, estos presentan una mayor eficiencia que los policristalinos, en condiciones STC, el rendimiento de laboratorio que presentan es del 24%, su rendimiento comercial oscila entre los 17 y 20%. Esto representa un factor importante cuando no se tiene mucha superficie de trabajo, ya que se puede conseguir mayor potencia con el mismo espacio, cabe recalcar que este tipo de paneles se comportan de mejor manera frente a radiaciones difusas.

### ***Paneles solares policristalinos***

Este tipo de paneles están compuestos por silicio, a diferencia del monocristalino, no presenta un cristal sólido, sino des uniforme ramificado en muchos cristales más pequeños, debido a esto la superficie presenta un aspecto desordenado con variaciones de color. Los paneles policristalinos presentan un rendimiento de laboratorio del 19%, su rendimiento comercial oscila entre los 13 y 15%, aunque los paneles policristalinos representan un rendimiento menor poseen ventajas como lo es su precio menor, su resistencia a altas temperaturas y la captación solar en zonas de sombra u obstáculos de ruta.

### ***Paneles de capa fina***

Este tipo de paneles presentan un rendimiento de laboratorio del 13% y su rendimiento comercial oscila entre los 7 y 9%, la principal diferencia de estos paneles con los monocristalinos y policristalinos es que están elaborados de diferentes materiales, como el cobre, indio y selenio. La principal ventaja de estos paneles es que, pese a su tamaño tienen un costo muy inferior con respecto a los otros paneles, además, que presentan un atractivo diseño para integración en vehículos y otras integraciones arquitectónicas.



Figura 3 Modulo solar fotovoltaico

Fuente: Los autores

En la Figura 3, se presenta el panel destinado para el uso de este proyecto, este panel es de tipo monocristalino, por lo cual su comportamiento y eficiencia corresponden a las características anteriormente expuestas. El panel solar utilizado es el modelo EGE-350M-72 y presentan las siguientes características en condiciones STC (Véase Tabla 1).

<b>Datos de funcionamiento del panel solar (STC)</b>		
<b>Potencia máxima nominal</b>	(Pmax)	350W
<b>Tolerancia de energía</b>		0~3%
<b>Corriente a Pmax</b>	(Imp)	8.93A
<b>Voltaje a Pmax</b>	(Vmp)	39.19V
<b>Corriente de corto circuito</b>	(Isc)	9.25A
<b>Voltaje de circuito abierto</b>	(NOTC)	45± 2C°
<b>Peso</b>		22.80kg
<b>Dimensiones</b>		1956x992x40mm

Tabla 1 Características del módulo solar fotovoltaico

### ***Vehículo Dayang Chok-S2***

La empresa china llamada Dayang se dedica a la fabricación de vehículos eléctricos, entre los diversos modelos que produce esta empresa, se encuentra el modelo CHOK - S2, que está destinado a transportar a cuatro personas. Este vehículo eléctrico cumple con todos los requisitos para ser utilizado en la ciudad. Además, como principal herramienta de medición de autonomía para este proyecto, por su fácil manejo, por tener un interior confortable para los ocupantes y por ser capaz de recorrer pequeños kilómetros con velocidades máximas de hasta 50km/h. El modelo de vehículo eléctrico se presenta en la Figura 4.



Figura 4 Vehículo eléctrico Dayang Chok-S2

Fuente: Los autores

Un vehículo eléctrico tiene aproximadamente un 90 % menos de piezas que un vehículo de combustión interna. El componente principal del vehículo eléctrico es la batería, que está formada por una serie de componentes auxiliares que le permiten funcionar, generalmente este tipo de vehículo poseen 5 baterías conectadas en serie. Cada batería del vehículo eléctrico posee un voltaje de 12V, al estar conectadas en serie presentan un voltaje de 60V en conjunto. Los vehículos eléctricos actuales emplean diferentes tipos de baterías que varían dependiendo del vehículo, generalmente se usan baterías de litio, ya que están presentan un mejor desempeño en cuanto a cargas y descargas, además de un menor peso y mayor capacidad de carga.

El vehículo Dayang Chok, presenta en su composición interna baterías de plomo ácido, debido al costo del vehículo, estas baterías presentan un menor precio, un ciclo de carga y descarga menor; sin embargo, al poseer baterías de plomo ácido su tiempo de vida útil es más largo debido a la facilidad de recuperación que poseen este tipo de baterías. Este vehículo utiliza un motor eléctrico de 4,5kW y una batería modelo 6-EVF-150, de 150AH de capacidad (3hr). Para controlar la carga de cada una de las baterías del vehículo eléctrico tiene implementado, un optimizador de carga en la composición base del vehículo, el optimizador de carga del vehículo se detalla en secciones posteriores.

### **2.3 Antecedentes de la investigación**

En el artículo [37], se habla sobre la implementación de un panel solar en el techo del vehículo eléctrico Dayang Chok-S2, como sistema de carga móvil, originalmente este vehículo

contaba con un solo sistema de carga estática. El objetivo principal es mejorar la autonomía del vehículo, brindándole más kilómetros adicionales a los de fábrica. El panel solar es de 350W, y posee un convertidor de energía para brindar toda la carga necesaria hacia las 5 baterías que están en serie. Concluida la modificación el vehículo funcionó satisfactoriamente, siendo su operación segura, para movilizarse dentro de la ciudad sin inconvenientes, alcanzando una velocidad máxima de 45 km/h con una autonomía de 12 km. Su particularidad más importante es que no contamina ni genera ruido como lo hace un vehículo con motor de combustión interna.

El Artículo [33], trata sobre la implementación de un sistema regenerador de carga utilizando paneles que generan voltaje y corriente, para mejorar la autonomía del vehículo, colocando una estructura en el techo del VE, así mismo, se demuestra en simulaciones aerodinámicas y de esfuerzos, que la combinación con el aluminio es la mejor opción para mantener el mínimo peso debido a que su deformación es casi nula, lo que demuestra una ventaja por condiciones de resistencia de la misma, manteniendo un excelente factor de seguridad, y así aprovechar al panel solar en sus mejores condiciones de rendimiento. Este estudio concluye como una mejora útil para la carga móvil del Kia Soul.

## CAPITULO 3

### 3. METODOLOGÍA

Para realizar la implementación y análisis de la mejora de la autonomía, se ha establecido un sistema de carga móvil, este sistema consiste en un panel solar acoplado a un vehículo eléctrico que convertirá, la radiación solar captada en energía eléctrica para alimentar las baterías del vehículo eléctrico. Aunque esta configuración ha sido utilizada en investigaciones relacionadas [17.15], para obtener una mayor autonomía, no se presenta un estudio del comportamiento del sistema en función de las rutas recorridas en tiempo real. El objetivo es obtener datos sobre la carga y descarga de las baterías del vehículo, así como, la relación que se presentan con la cantidad de irradiación, que se puede conseguir en una ruta concreta, y cómo afecta a la autonomía del vehículo eléctrico. Los resultados obtenidos permitirán identificar las zonas críticas de mayor y menor carga del vehículo, así como su comportamiento frente a interferencias (arquitectónicas, climáticas, decorativas, etc.).

En este apartado se detallará el procedimiento realizado para la implementación y monitorización del sistema de carga solar móvil, presentando la metodología utilizada, la programación y otras herramientas que se han implementado durante el proceso de desarrollo y aplicación, así como, el establecimiento de rutas, y datos específicos del vehículo utilizado para la investigación. A través de la metodología utilizada, se espera obtener una mejora de la autonomía base del vehículo eléctrico y a su vez presentar un análisis del comportamiento de las baterías del vehículo, con respecto a la cantidad de irradiación obtenida.

#### 3.1 Principio de operación

En la actualidad, la movilidad eléctrica y la energía fotovoltaica son parte fundamental de la transición hacia sistemas auto sostenibles y una nula dependencia del petróleo, para el año 2050 [45,4]. Debido a esto, en los últimos años ha crecido la demanda de sistemas auto sostenible como los vehículos eléctricos, en 2017 el parque mundial de vehículos eléctricos alcanzó los dos millones de unidades, y la energía solar presentó el mayor crecimiento de todas las fuentes de energía [12].

El rango de autonomía de los vehículos eléctricos ha ido mejorando a lo largo de los años, especialmente por la mejora de las baterías y la velocidad de carga de las estaciones de recarga [31, 5, 11]; sin embargo, debido a la demanda de autonomía actual, se han buscado nuevas alternativas para mejorar la autonomía, una de las más factibles, es la aplicación de sistemas de carga solar a los vehículos eléctricos para generar una retroalimentación energética [1]. Otra alternativa factible para la mejora de la autonomía es mediante la optimización de rutas [29].

El sistema de mejora de la autonomía propuesto representa una unidad móvil de carga y medición, diseñada para monitorizar en tiempo real el estado de carga de las baterías y la irradiación incidente absorbida por las celdas del panel. La monitorización de la cantidad de irradiación incidente ayudará a determinar el comportamiento de la carga de las baterías frente a las diferentes variaciones de irradiación, así como a las perturbaciones ambientales. La composición del sistema puede verse en la Figura 5.

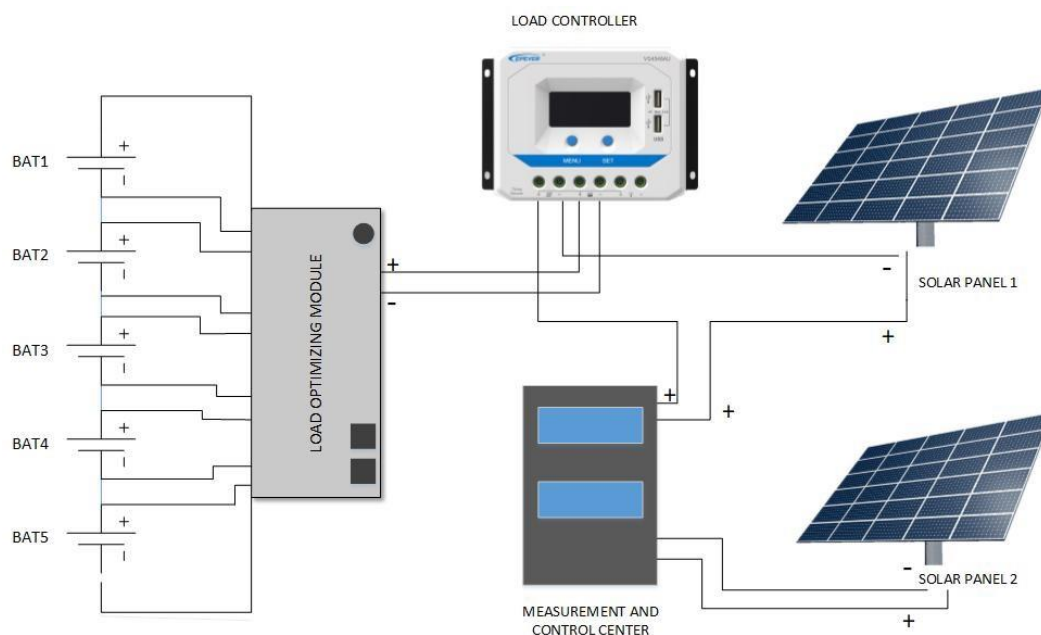


Figura 5 Estructura general del sistema

Fuente: Los autores

El principio básico de funcionamiento del sistema, es la carga individual de las 5 baterías del vehículo mediante un optimizador de carga, alimentado por un panel solar. El centro de control y medición almacenará los datos de irradiación y generación de corriente, mediante este sistema es posible medir la eficiencia de un vehículo en una ruta predeterminada y el comportamiento del vehículo en situaciones desfavorables en la ruta.

### 3.1 Composición del sistema

El sistema principal presenta en su composición, dos subsistemas secundarios, que realizan la mayor parte del control y optimización de la carga, el módulo de optimización de la carga y el centro de control y medición del sistema. El primer subsistema realiza el proceso de carga a las baterías, el segundo monitoriza el estado de la corriente de carga, la irradiación y la localización, para obtener datos sobre el comportamiento de la carga y la incidencia de la radiación. La composición de estos sistemas se detalla a continuación:

## Módulo de optimización de carga

El regulador de carga es un sistema de optimización, previamente implementado en el vehículo, de la energía eléctrica producida por el sol. El sistema se encarga de redistribuir la carga a cada una de las baterías de forma individual, esto se debe a que la distribución común del vehículo eléctrico presenta una carga conjunta de las baterías, lo que limita la velocidad y la eficiencia de la carga de las mismas [39, 23]. Por lo tanto, al redistribuir la energía producida a cada batería por separado, se obtiene una mayor eficiencia de carga [16, 47].

El objetivo principal de este sistema es censar el voltaje de las 5 baterías que tiene el vehículo. El voltaje individual de cada batería es de 12V [24], normalmente las baterías están conectadas en serie lo que proporciona un voltaje de 60V en conjunto, por lo que conectando al optimizador de carga se puede alimentar a cada batería individualmente y seguir trabajando con los 60V para mover el vehículo eléctrico. La configuración del módulo optimizador de carga se puede apreciar en la Figura 6:

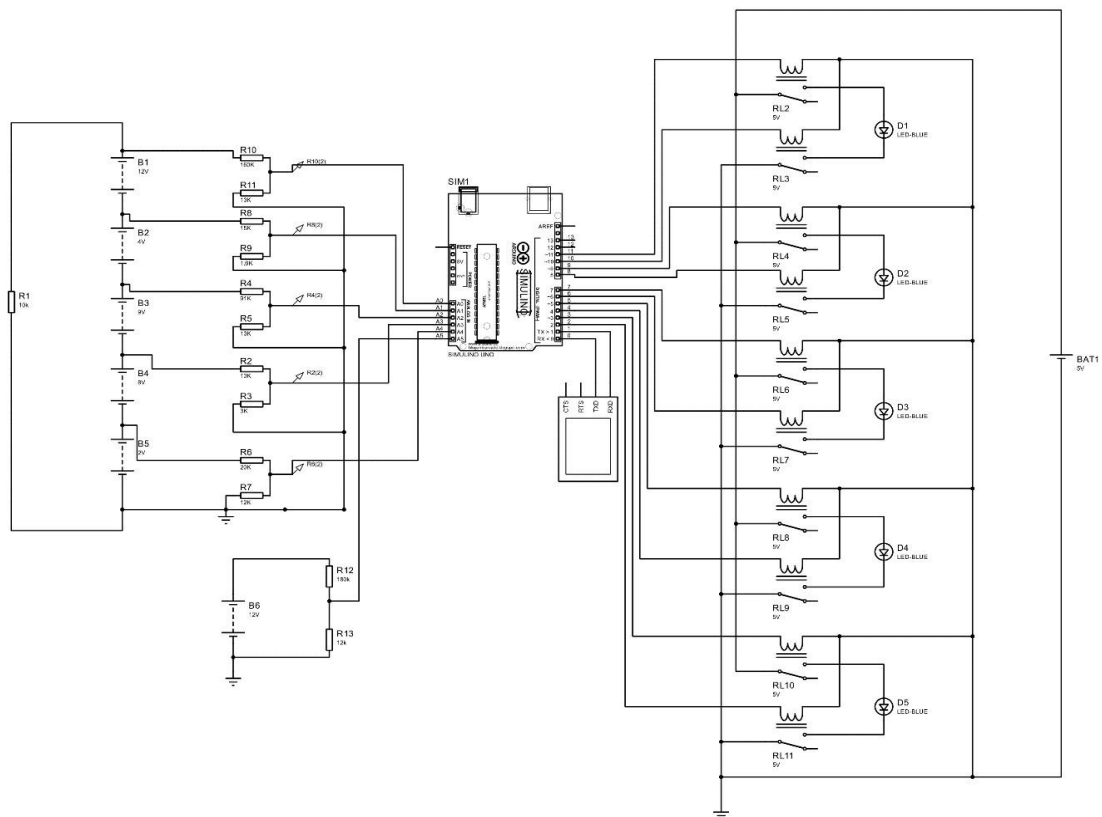


Figura 6 Configuración Optimizador de carga

Fuente: los autores

La Figura 6, presenta la configuración del sistema de optimización de la carga, las baterías se encuentran conectadas en serie y se conectan por separado a un relé para cada batería, la función del relé es, permitir que las baterías se carguen individualmente. Para medir el nivel de cada batería, se utiliza un divisor de tensión (Véase Figura 7), mediante el establecimiento de resistencias para reducir la tensión de cada batería y que los valores de tensión puedan ser interpretados por el controlador Arduino, a través de esto el controlador puede censar el nivel de tensión de cada batería, y activar la carga a la batería, con la tensión más baja, los datos de carga y descarga serán almacenados para su posterior interpretación.

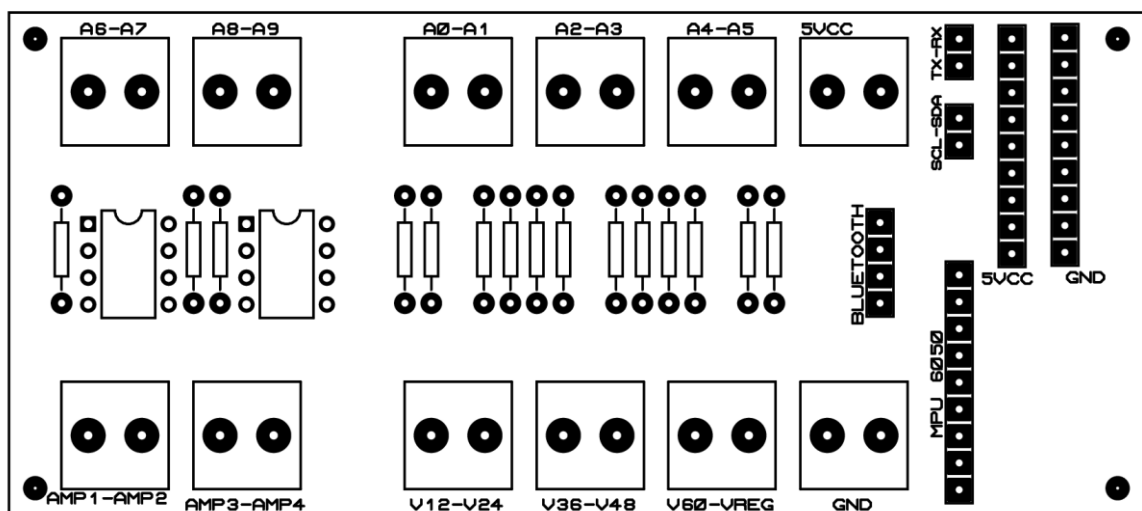


Figura 7 Placa divisor de tensión

Fuente: Los autores

En modulo optimizador de carga, también está equipado con otros tipos de sensores, un módulo GPS el cual indicara la ubicación del vehículo, esto es importante ya que mediante coordenadas se puede identificar, los puntos conflictivos de carga y descarga de las baterías en la ruta. Un módulo para medir la aceleración y la inclinación del vehículo, los valores obtenidos permitirán ver el comportamiento de las baterías frente a diferentes velocidades e inclinaciones que se presenten, y poder medir la autonomía que presenta el vehículo cuando se encuentra sometido a diferentes velocidades e inclinaciones. Todos los valores detallados serán almacenados para crear una base de datos y poder realizar su respectivo análisis. El código de programación del módulo optimizador de carga se encuentra en el Anexo 1.

### **Centro de control y medición**

Este subsistema se encarga de monitorizar y controlar los datos obtenidos, el sistema está compuesto por dos sensores de corriente ACS712, diseñados para medir la irradiación y la corriente generada por el panel solar, la misma que se genera para cargar las baterías. Los valores de corriente e irradiación son interpretados como valores de voltaje por los sensores [6], estos valores de voltaje serán posteriormente interpretados como valores de corriente mediante una relación en la programación interna del controlador Arduino. El sistema realiza la recolección de datos en tiempo real, tomando un total de 100 muestras por segundo para realizar un promedio y brindar un valor equivalente cada segundo, este valor se muestra en tiempo real en la pantalla LCD del sistema. El objetivo de las mediciones es determinar la relación de corriente y el estado de carga de las baterías, a través de este sistema podemos estudiar el comportamiento de las baterías, frente a un nivel aleatorio de irradiación La composición interna de este sistema se muestra en la Figura 8.

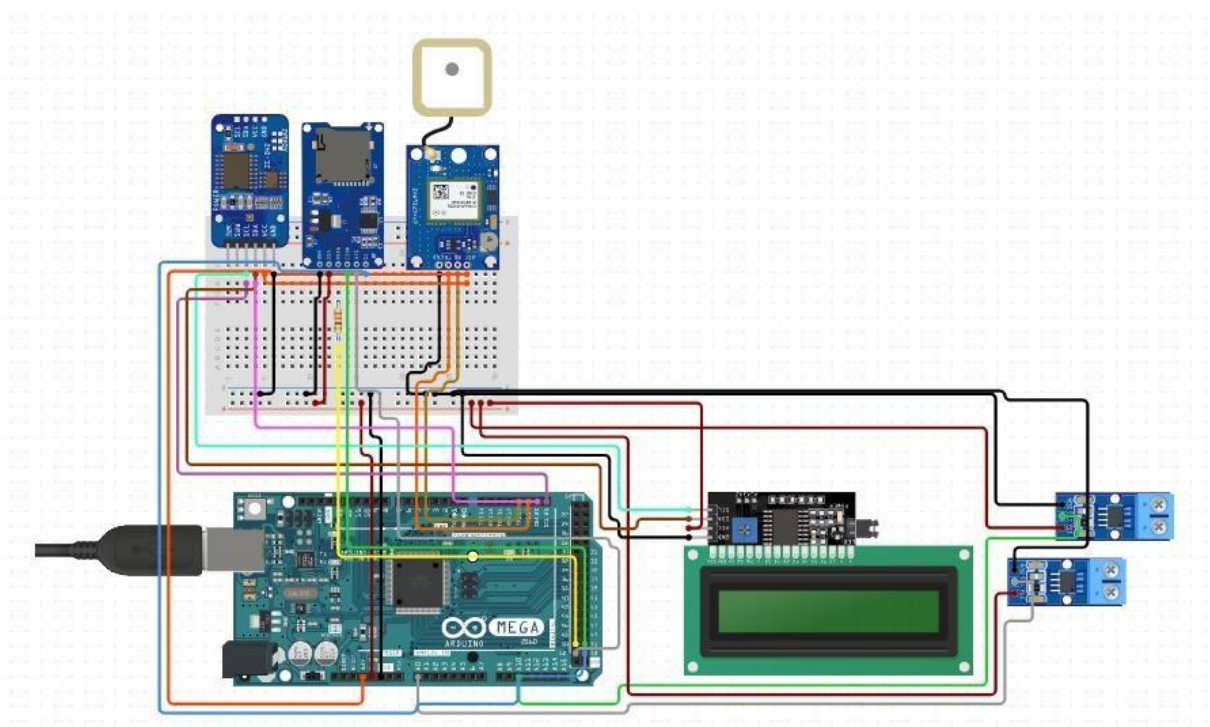


Figura 8 Configuración interna centro de control y medición

Fuente: Los autores

En la Figura 8, se puede observar el diagrama de conexiones realizado para el sistema de medición y almacenamiento de datos, El panel designado para la generación de corriente estará conectado en serie con el sensor de corriente y a su vez hacia el regulador de carga, con esto se obtendrá la cantidad de corriente generada por el panel solar. Los datos obtenidos serán registrados y almacenados en una tarjeta SD para poder realizar las respectivas

relaciones de corriente y carga de cada una de las baterías. El dispositivo se lo realizo de manera separa al sistema central del vehículo, ya que el dispositivo de control y medición está destinado a ser usado en cualquier tipo de vehículo o sistema estático, en el cual se requiere conocer la cantidad de generación de corriente una zona o ruta designada (Véase Figura 9).

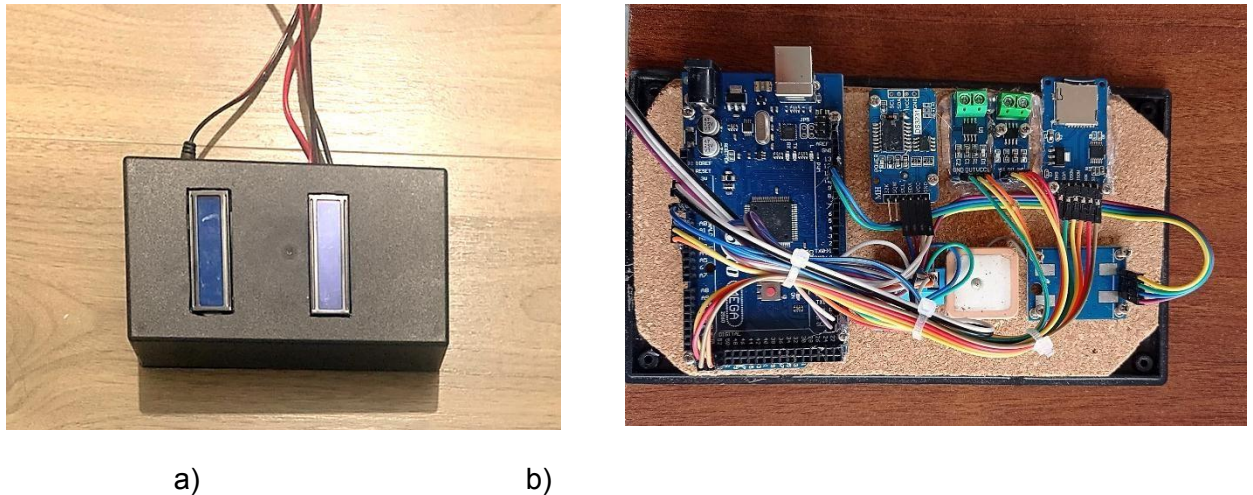


Figura 9 Composición sistema de medición a) Sistema construido Vista exterior. b) Sistema construido Vista interior.

Fuente: los autores

La programación del sistema de control y medición se lo realizo en la plataforma arduino, la programación del sistema está disponible para uso libre en el Anexo 2

### 3.1 Recolección de datos

Para la recolección de datos se tiene en cuenta la zona de estudio establecía anteriormente (Véase Figura 1), en esta zona se realizará las respectivas mediciones de generación de corriente. La elección de esta zona se debe al tipo de arquitectura que se presenta en sus vías principales, el tipo de arquitectura y decoración de las zonas dificulta la captación de radiación directa del panel, por lo cual existen zonas en las cuales el panel no puede generar corriente y por ende la autonomía del vehículo eléctrico se verá afectada [30]. Sin embargo, la ruta establecida, presenta zonas en las cuales existe espacio libre de captación, es decir no existe ningún tipo de obstáculo para la captación, por lo cual, se obtiene una generación de corriente elevada y por ende una mejora de autonomía. La ruta establecida tiene 4 subrutas de conflicto:

Zona 1: En la Tabla 2, se presenta las características específicas de cada calle involucrada en esta zona.

**ZONA 1 Distancia Recorrida = 2.74km**

NOMBRE	ANCHO DE VIA (m)	DISTANCIA (km)	ALTURA DE EDIFICACIONES	TRANSITO VEHICULAR
Cam. a Patamarca	5.38	0.39	H2	Alto
Pa. Rio Machangara	7.09	0.64	H1	Medio
Av. de las Américas	21.41	1.26	H2	Alto
Av. Turuhuayco	4.22	0.36	H1	Bajo
De las Laderas	4.18	0.09	H2	Bajo
H1 = <10m		H2 = ≥10m o < 30m		H3 = ≥30m

Tabla 2 Características zona 1

En la Figura 10, se presenta la vista real de la zona recorrida por el vehículo.



Figura 10 Zona 1 a) Mapa de ruta b) Vista real

Fuente: los autores

Zona 2: En la Tabla 3, se presenta las características específicas de cada calle involucrada en esta zona.

**ZONA 2 Distancia Recorrida = 7.45km**

<b>NOMBRE</b>	<b>ANCHO DE VIA (m)</b>	<b>DISTANCIA (km)</b>	<b>ALTURA DE EDIFICACIONES</b>	<b>TRANSITO VEHICULAR</b>
<b>C. Vieja</b>	4.48	0.71	H2	Medio
<b>Avenida Elia Liut</b>	6.07	0.22	H2	Medio
<b>Av. Gil Ramírez Dávalos</b>	19.05	1.08	H3	Alto
<b>Av. Huayna Capac</b>	8.47	0.33	H2	Alto
<b>Antonio Vega Muñoz</b>	4.18	2.26	H2	Alto
<b>C. Alfonso Andrade</b>	5.67	0.10	H1	Bajo
<b>Gaspar Sangurima</b>	5.08	0.92	H2	Alto
<b>Miguel Vélez</b>	4.10	0.19	H2	Alto
<b>C. Pio Bravo</b>	5.51	1.64	H2	Alto
H1 = <10m	H2 = ≥10m o < 30m	H3 = ≥30m		

Tabla 3 Características zona 2

En la Figura 11, se presentan la zona recorrida por el vehículo eléctrico.



Figura 11 Zona 2 a) Mapa de ruta b) Vista zona 2

Fuente: los autores

Zona 3: En la Tabla 4, se presenta las características específicas de cada calle involucrada en esta zona.

**ZONA 3 Distancia Recorrida = 1.13km**

NOMBRE	ANCHO DE VIA (m)	DISTANCIA (km)	ALTURA DE EDIFICACIONES	TRANSITO VEHICULAR
C. Daniel Alvarado	6.92	0.15	H2	Bajo
Av. de las Américas	23.96	0.98	H2	Alto
H1 = <10m		H2 = ≥10m o < 30m		H3 = ≥30m

Tabla 4 Características zona 3

En la Figura 12, se presentan la zona recorrida por el vehículo eléctrico.

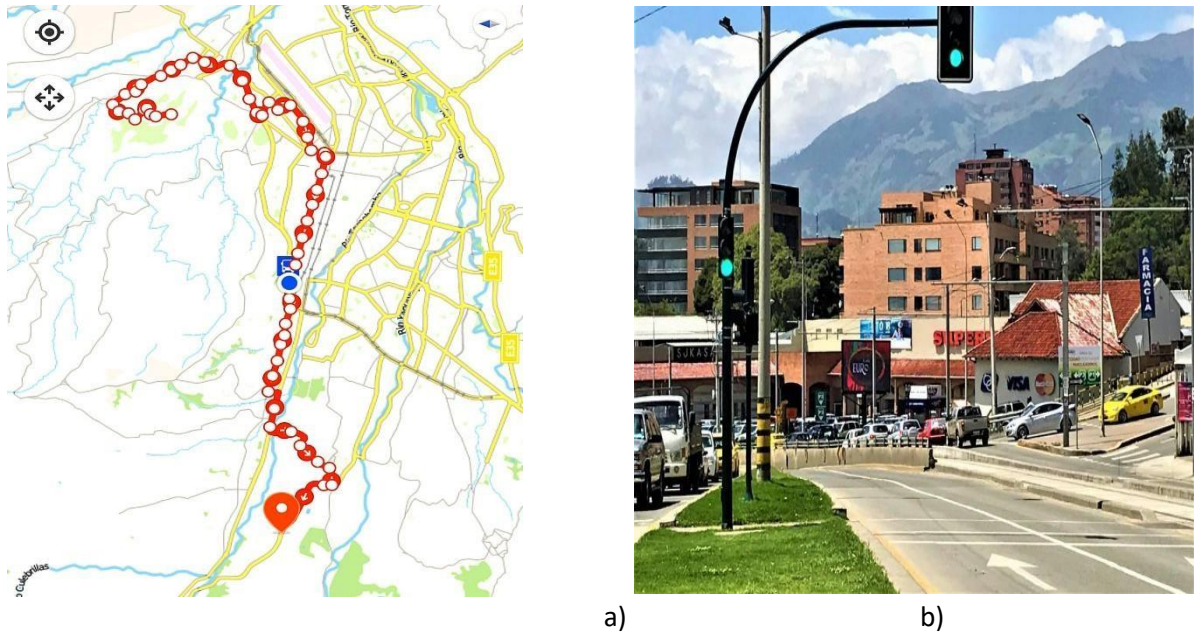


Figura 12 Zona 3: a) Mapa de ruta b) Vista zona 3

Fuente: los autores

Zona 4: En la Tabla 5, se presenta las características específicas de cada calle involucrada en esta zona.

**ZONA 4 Distancia Recorrida = 1.13km**

NOMBRE	ANCHO DE VIA (m)	DISTANCIA (km)	ALTURA DE EDIFICACIONES	TRANSITO VEHICULAR
Av. Ordoñez Lasso	22	1.22	H3	Alto
H1 = <10m		H2 = ≥10m o < 30m		H3 = ≥30m

Tabla 5 Características zona 4

En la Figura 13, se presentan la zona recorrida por el vehículo eléctrico.



Figura 13 Zona 4 a) Mapa ruta b) Vista zona 4

Fuente: los autores

Los recorridos por las rutas se realizaron en el mes de julio del año 2020, siendo este mes uno de los meses más desfavorables en cuanto a la cantidad de irradiación recibida en la ciudad de Cuenca Ecuador, por lo cual los resultados obtenidos representan la cantidad de mejora de autonomía que se puede obtener en un vehículo eléctrico cuando se ve sometido a cantidades en promedio menores con respecto a los otros meses del año. Las mediciones de generación de corriente de los paneles solares se realizaron durante un periodo de 7 días, con un horario establecido de 9:00am hasta 4:00pm este horario fue seleccionado debido a que los puntos más altos de radiación, se puede obtener en los horarios establecidos. Además, los horarios seleccionados representan horarios de más flujo de tránsito en la ciudad, por ende, se logra un porcentaje mayor de carga debido al tiempo que se encuentra recibiendo radiación, a su vez este principio representa una desventaja, cuando el vehículo se encuentra estático en un zona sombreada u obstaculizada por las arquitecturas del entorno, ya que no permite la captación de radiación solar y por ende la mejora de autonomía disminuye [6, 14].

## CAPITULO 4

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Con la generación de electricidad a través de la energía fotovoltaica, se ha podido determinar el aumento de la autonomía para el vehículo eléctrico, con este estudio podemos ver como el vehículo mejora con la implementación de un panel solar en el techo del vehículo, generando un sistema de retroalimentación de carga eléctrica cuando el vehículo está en movimiento y también cuando está estático, dando al usuario una mayor autonomía eléctrica y comodidad para desplazarse unos kilómetros más. Los datos obtenidos de las rutas fueron extraídos del sistema e interpretados en forma de gráficos, se generó en total dos bases de datos, la primera base de datos corresponde a los valores obtenidos directo del vehículo (inclinación, velocidad, localización, voltaje individual de cada batería) y la segunda base de datos corresponde a la cantidad de generación de corriente correspondiente al panel instalado en el vehículo eléctrico. Las bases de datos de cada medición se encuentran disponibles en el Anexo 3 y Anexo 4.

#### 4.1 Comportamiento condiciones favorables (Día soleado)

En la Figura 14, se muestran los resultados obtenidos de las respectivas mediciones, la gráfica muestra la relación entre la corriente generada y la respectiva incidencia de la radiación, valores recogidos durante el recorrido establecido.

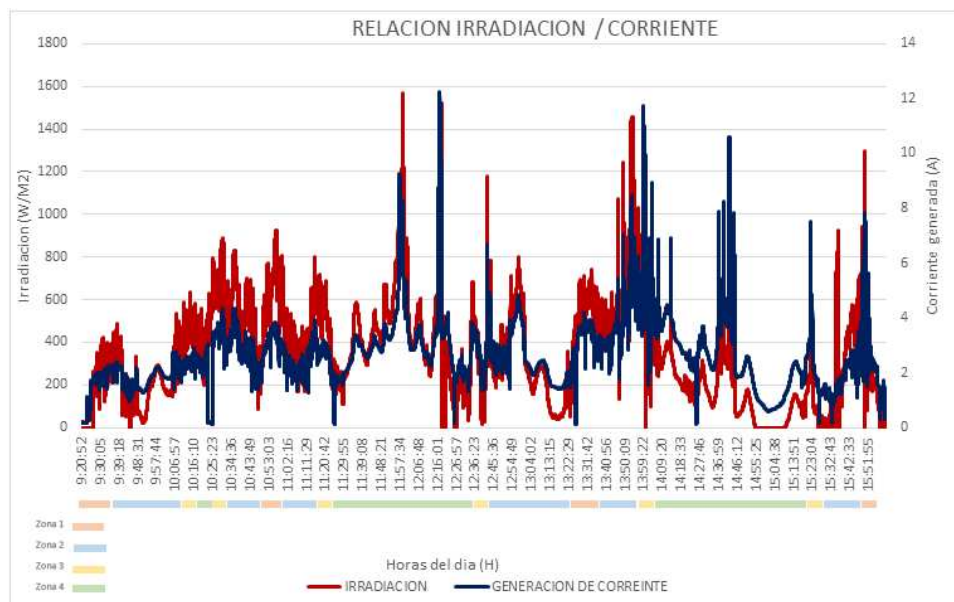


Figura 14 Relación generación de corriente e irradiación

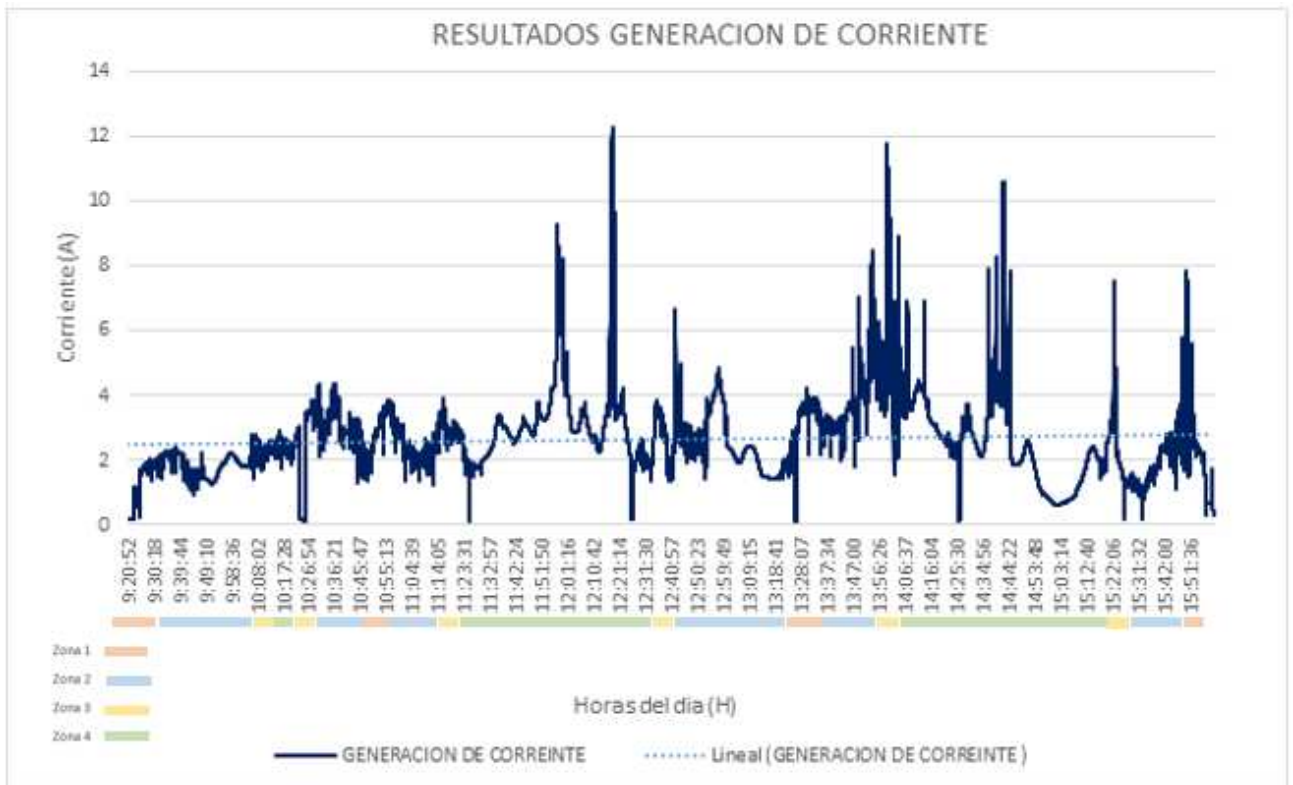
Fuente: Los autores

Para el caso de la medición y carga se presentan los resultados obtenidos en un día soleado considerándose como un día favorable. Los resultados obtenidos permitirán analizar el comportamiento de las baterías del vehículo en un día con condiciones favorables y obtener la autonomía conseguida con dichas condiciones

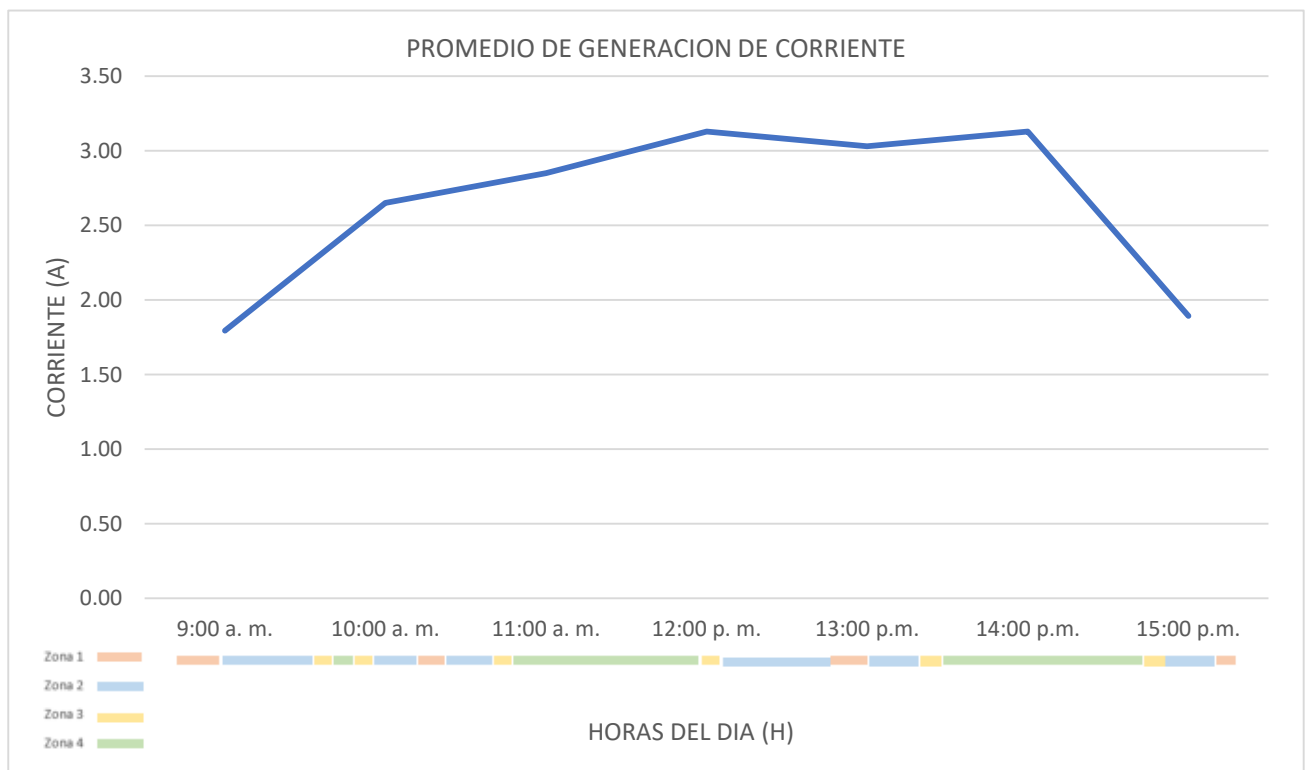
La Figura 14, muestra un comportamiento similar para los dos casos, tanto en la radiación como en la generación de corriente, comportamiento perteneciente a un día soleado, por lo que la corriente presenta una relación directamente proporcional con la incidencia solar, a través de este principio se pueden establecer puntos críticos de carga y descarga de las baterías. Esto se verá reflejado en la autonomía del vehículo y en las gráficas de comportamiento de las baterías. En base a la Figura 14, se puede establecer los siguientes resultados:

- La irradiación media general presentada es de 700-800 W/m<sup>2</sup> con una corriente de 7A.
- Pico de irradiación de 1200 W/m<sup>2</sup> con una corriente de 12A durante las 12:00 horas.
- Pico de irradiación de 1000 W/m<sup>2</sup> con una corriente de 8-10A en las horas de 13:30 a 20:00.
- En las horas de 14:00 a 16:00 se registró una media de 600 W/m<sup>2</sup> con una corriente de 4A.

En la Figura 15a se muestra la gráfica perteneciente a la generación de corriente obtenida mediante el sistema de carga móvil, los datos de generación de corriente pertenecen al día más soleado que se obtuvo durante las mediciones.



a)



b)

Figura 15 Resultados de generación. a) Generación de corriente día soleado b) Promedio de corriente generada por horas

Fuente: Los autores

En la Figura 15b, se presentan el promedio de los valores recolectados para la generación de la corriente, presentados en la Figura 14, Para este día se recolecto un total de 23712 datos

de generación de corriente, Para presentar una mejor interpretación de los datos, se realizó un promedio correspondiente a cada una de las horas de medición, los resultados del promedio pertenecientes a la Figura 16b son los siguientes:

<b>Horas</b>	<b>Promedio de corriente (A)</b>
<b>9.00am – 10:00am</b>	1.79
<b>10.00am-11:00am</b>	2.65
<b>11:00am -12:00am</b>	2.85
<b>12:00pm-13:00pm</b>	3.13
<b>13:00pm-14:00pm</b>	3.03
<b>14:00pm-15:00pm</b>	3.13
<b>15:00pm-16:00pm</b>	1.89

Tabla 6 Valores promedio en un día soleado

Para verificar la mejora de autonomía del vehículo es necesario estudiar el comportamiento de las baterías, mediante el optimizador de carga es posible obtener los valores de voltaje de cada una de las cinco baterías involucradas durante el tiempo en que se realizó la medición, los valores de voltaje presentados corresponden al análisis en circunstancias de radiación abundante, todos los valores de voltaje de las baterías fueron interpretados en forma conjunta, para presentar un análisis de mejor interpretación (Véase Figura 16).

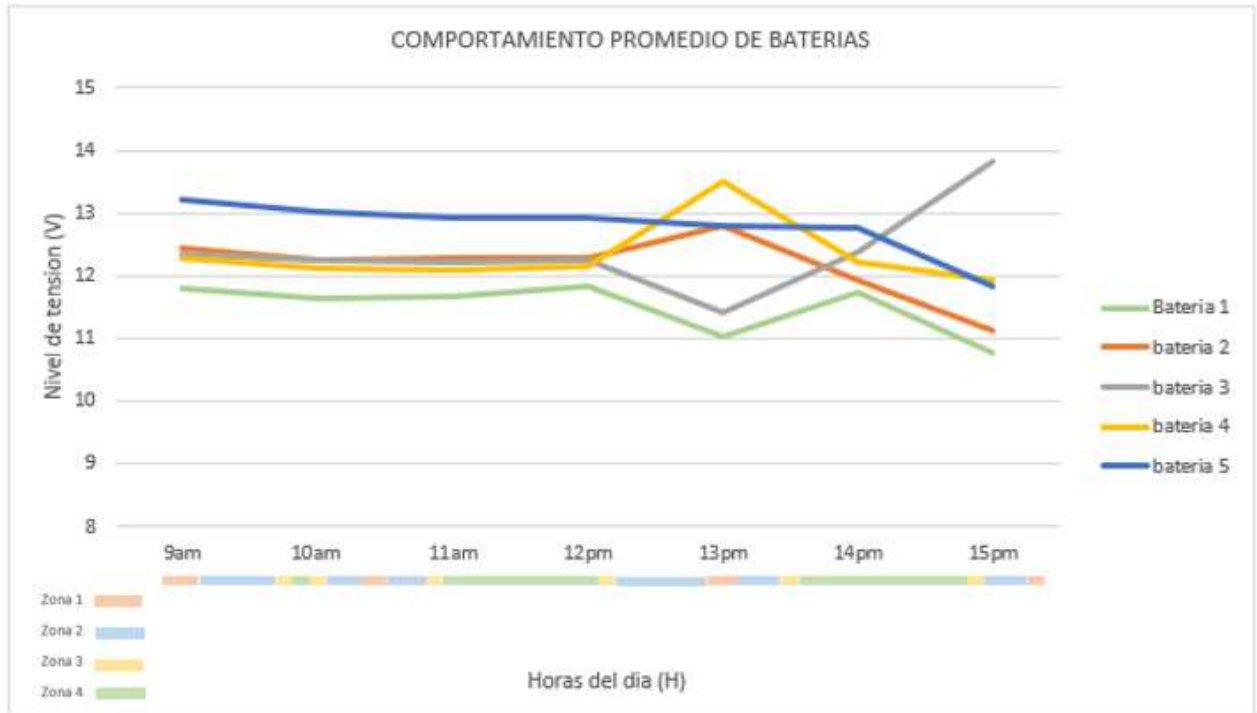


Figura 16 Comportamiento promedio de las baterías condiciones favorables

Fuente: Los autores

### Comportamiento promedio de baterías (Día soleado)

Horas	Batería 1(V)	Batería 2(V)	Batería 3(V)	Batería 4(V)	Batería 5(V)
9.00am – 10:00am	11.783	12.441	12.351	12.265	13.206
10.00am-11:00am	11.634	12.257	12.224	12.113	13.025
11:00am -12:00am	11.676	12.267	12.225	12.082	12.922
12:00pm-13:00pm	11.824	12.291	12.262	12.145	12.920
13:00pm-14:00pm	11.010	12.785	11.405	13.490	12.800
14:00pm-15:00pm	11.725	11.940	12.385	12.220	12.765
15:00pm-16:00pm	10.760	11.110	13.820	11.920	11.820

Tabla 7 Comportamiento promedio de baterías

Fuente: Los autores

Como se observa en la Figura 16, el promedio de voltaje de cada batería se mantiene constante durante las horas de la mañana desde as 9am hasta las 12pm en donde los valores de voltaje de las baterías comienzan a presentar decrecimiento, durante las horas de la mañana hasta el mediodía se consigue mantener un voltaje constante con el sistema de carga fotovoltaica, igualmente se puede apreciar los valores de recuperación que presentan las baterías durante las horas de la mañana.

Como se ha mencionado en puntos anteriores las baterías del vehículo eléctrico Chok.S2, utilizadas en este proyecto presenta una configuración de las baterías en serie para obtener un voltaje equivalente de 60V. Los resultados presentados en esta sección muestran el comportamiento de las baterías de manera individual. Para poder comprender un poco más el comportamiento de la autonomía del vehículo en las condiciones establecidas, es necesario presentar el análisis realizado en función de los 60V, con los cuales trabaja un vehículo eléctrico. En la Figura 17 se puede observar el comportamiento de las baterías en conjunto obtenido durante las mediciones realizadas en un día soleado.

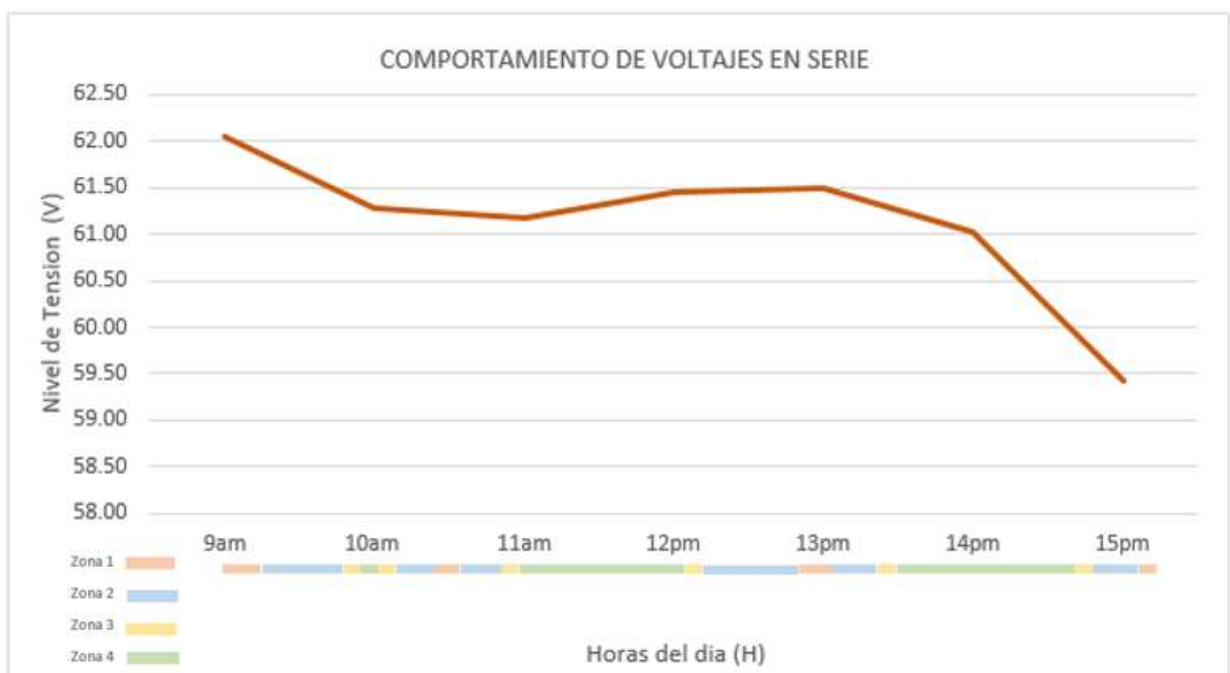


Figura 17 Comportamiento Voltajes en cascada condiciones favorables

Fuente: Los autores

## 4.2 Comportamiento Condiciones Normales (día parcialmente nublado)

En la Figura 18, es posible visualizar los datos obtenidos en un día parcialmente soleado, es decir, cómo evoluciona la corriente de carga con la variación de la radiación solar del panel fotovoltaico, el gráfico compone la relación existente de Irradiación/Corriente acumulada del día. Los datos recolectados en este día se presentan mediante una gráfica comparativa entre la cantidad de corriente generada y la cantidad de irradiación medida en la superficie.

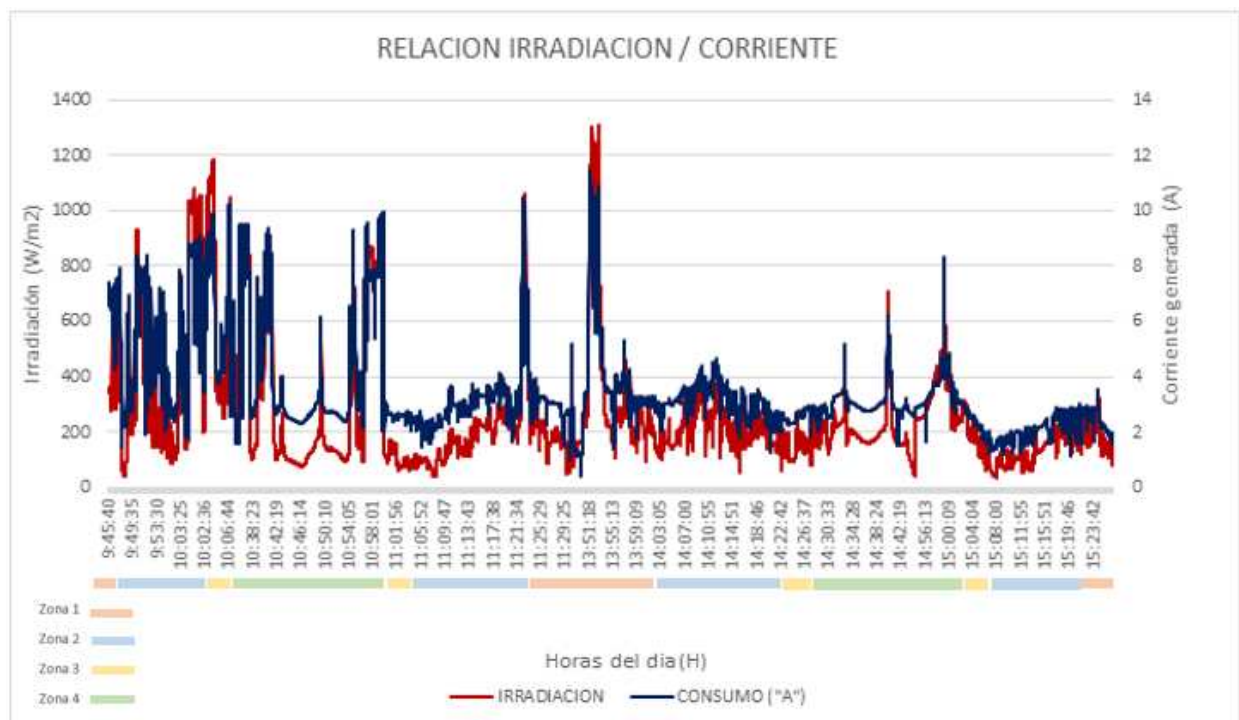


Figura 18 Comportamiento de voltajes en cascada condiciones normales

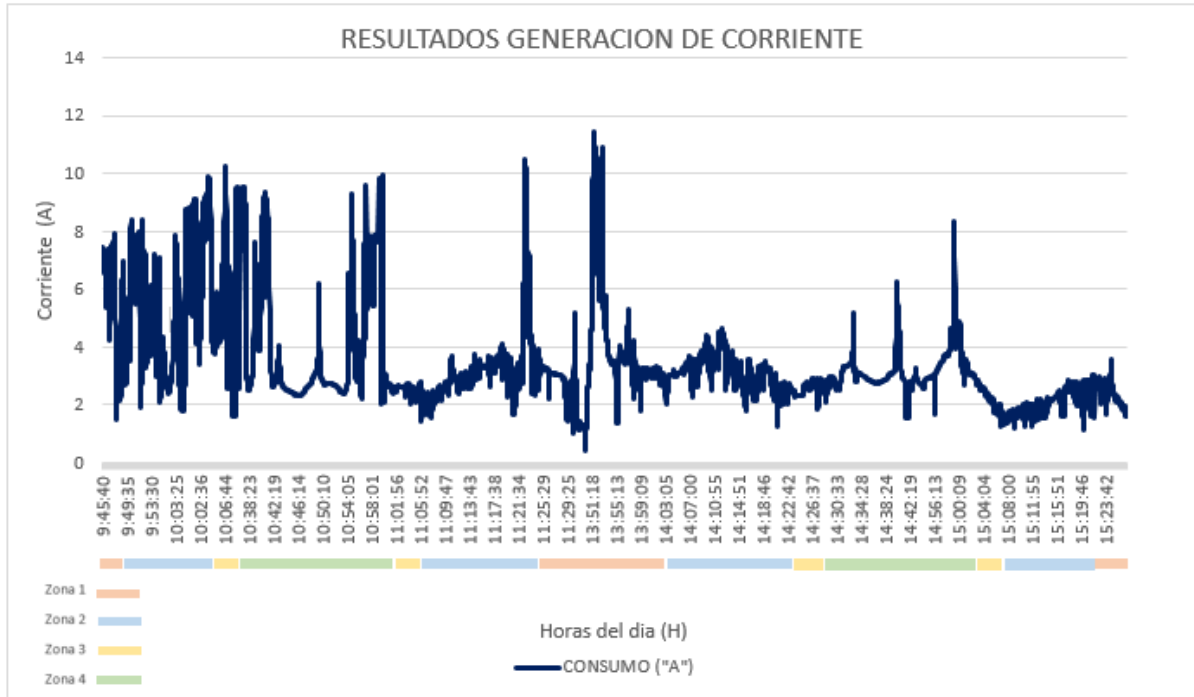
Fuente: Los autores

En base a la Figura 18, se puede establecer los siguientes resultados:

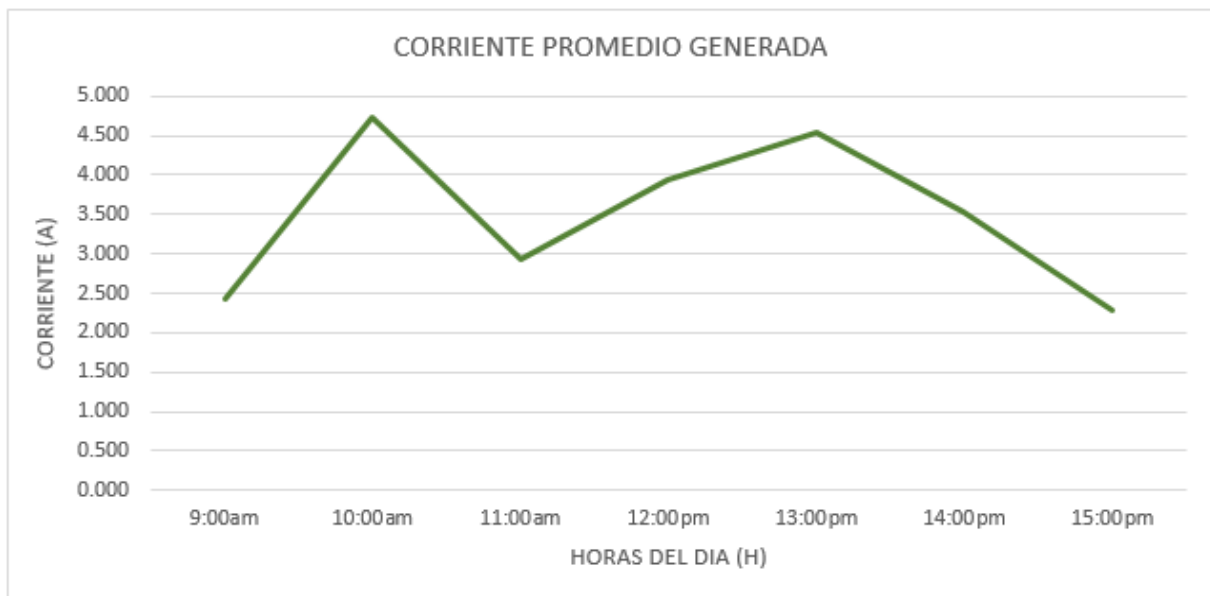
- La irradiación promedio diaria presentada durante las condiciones del día es de 245.339 W/m<sup>2</sup> con un promedio de generación de corriente de 3.27A.
- Pico de irradiación máximos registrados de 1200-1312W/m<sup>2</sup> con una corriente de 10-11A durante las 10:00am-12:00pm.
- Pico de irradiación más bajos de 40.03-80.59 W/m<sup>2</sup> con una corriente de 1.48-1.61A en las horas de 9:48-15:27 W/m<sup>2</sup>

- Con las condiciones de este día se registra una caída de valores de 15:00pm a 16:00pm, Presentando valores de generación de corriente e irradiación bajos

En la Figura 19a, se muestra la gráfica perteneciente a la generación de corriente obtenida mediante el sistema de carga móvil, los datos de generación de corriente pertenecen al día nublado que se obtuvo durante las mediciones.



a)



b)

Figura 19 Resultados generación de corriente a) Generación de corriente; b) Promedio de corriente generada

Fuente: Los autores

En la Figura 19b, se presentan el promedio de los valores recolectados para la generación de la corriente, para este día se recolecto un total de 10543 datos de generación de corriente, Para presentar una mejor interpretación de los datos, se realizó un promedio correspondiente a cada una de las horas de medición, los resultados del promedio pertenecientes a las son los siguientes:

<b>Promedio de generación por horas (Día Parcialmente nublado)</b>	
<b>Horas</b>	<b>Promedio de corriente(A)</b>
<b>9.00am – 10:00am</b>	2.41
<b>10.00am-11:00am</b>	4.73
<b>11:00am -12:00am</b>	2.93
<b>12:00pm-13:00pm</b>	3.93
<b>13:00pm-14:00pm</b>	4.54
<b>14:00pm-15:00pm</b>	3.52
<b>15:00pm-16:00pm</b>	2.29

Tabla 8 Promedio de corriente generada día parcialmente nublado

De igual forma que la sección anterior, para verificar la mejora de autonomía del vehículo se realiza el análisis del comportamiento de las baterías. En la Figura 20, se Presenta los promedios equivalentes de cada una de las baterías involucradas, Los valores corresponden al promedio de la cantidad de corriente generada durante las horas establecidas, como se puede observar, el voltaje de las baterías presenta un comportamiento descendente en ciertos momentos del día. Sin embargo, se puede observar fácilmente que existe un recuperación de voltaje durante el periodo recorrido. El promedio presenta el pico más alto con un valor de 13.41V, entre las 12:00 y 13:00pm, y el valor más bajo registrado de voltaje durante las condiciones de este día es de 9.038V. En la Figura 20, se presenta el promedio según las condiciones del día, el promedio corresponde al voltaje total en serie de las baterías.

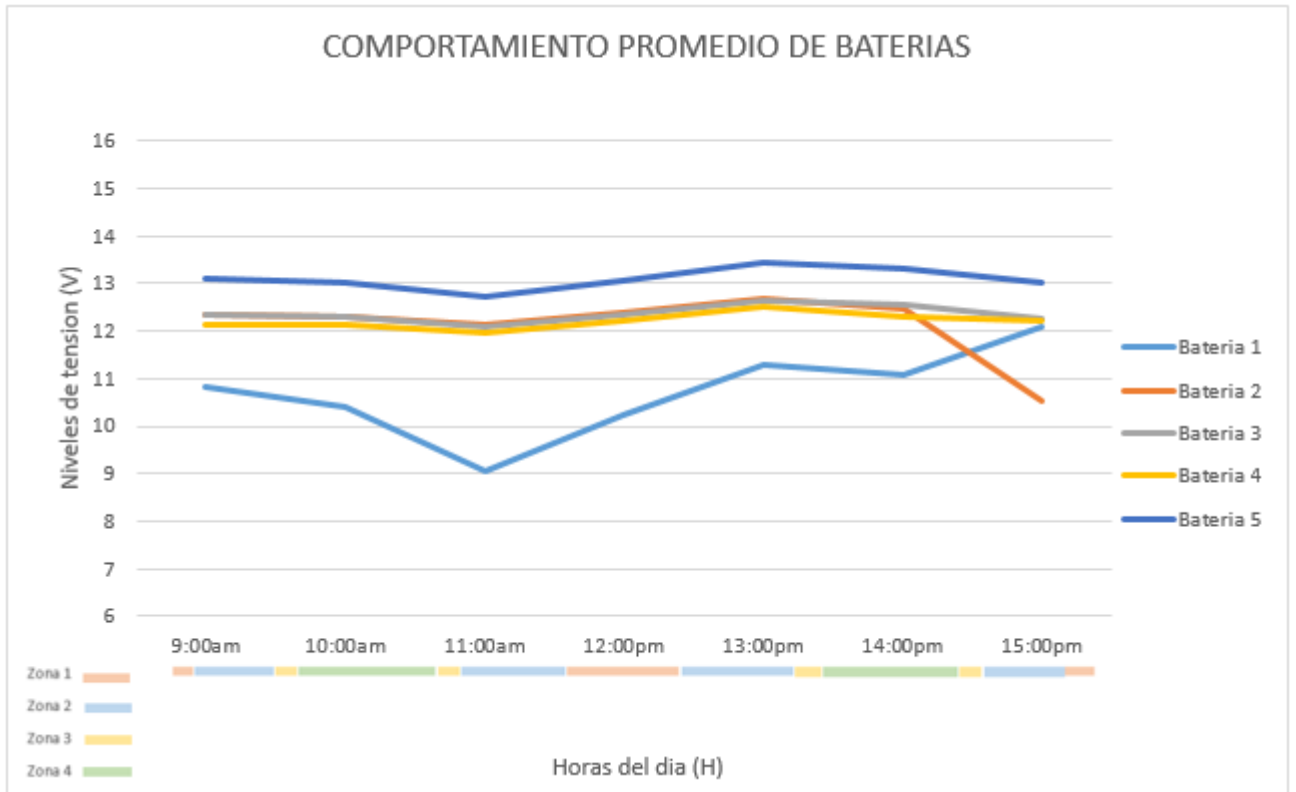


Figura 20 Comportamiento promedio de batería día Parcialmente Nublado

Fuente: Los autores

**Comportamiento promedio de baterías (Día soleado)**

Horas	Batería 1(V)	Batería 2(V)	Batería 3(V)	Batería 4(V)	Batería 5(V)
9.00am – 10:00am	10.813	12.351	12.336	12.135	13.109
10.00am-11:00am	10.380	12.316	12.303	12.114	13.003
11:00am -12:00am	9.038	12.120	12.105	11.915	12.729
12:00pm-13:00pm	10.229	12.368	12.351	12.192	13.049
13:00pm-14:00pm	11.269	12.668	12.646	12.518	13.414
14:00pm-15:00pm	11.073	12.472	12.545	12.304	13.295
15:00pm-16:00pm	12.096	10.511	12.275	12.323	13.008

Tabla 9 Promedio de Corriente Generada Día parcialmente nublado

En la Figura 21, se presenta el promedio según las condiciones del día, el promedio corresponde al voltaje total en serie de las baterías.

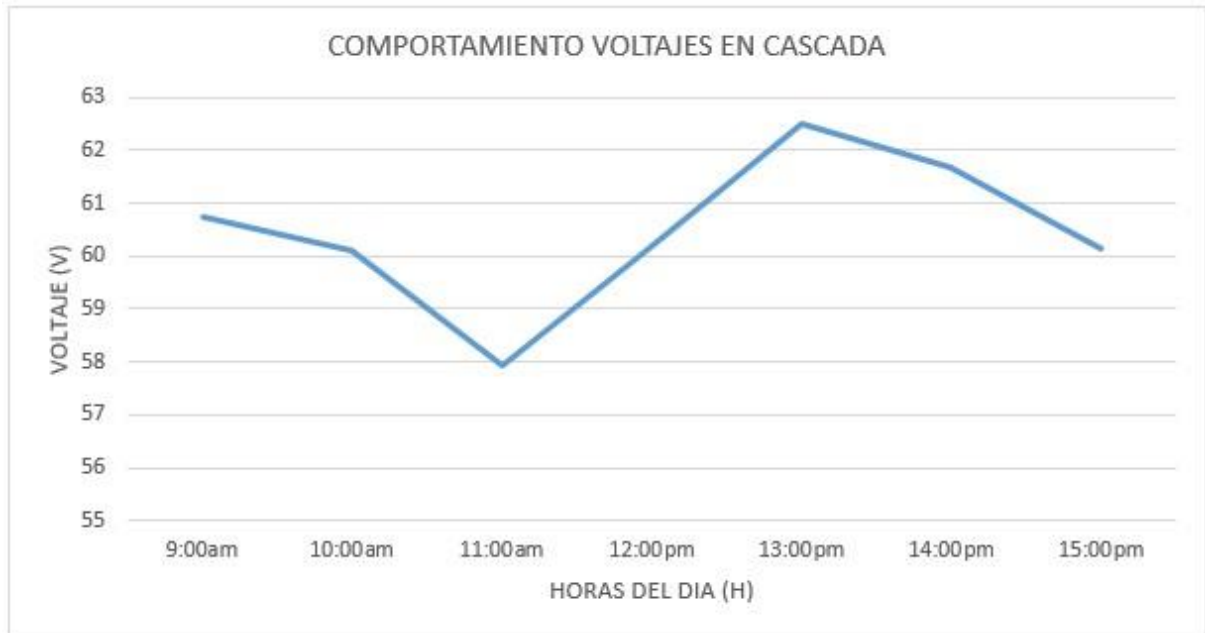


Figura 21 Comportamiento voltajes en cascada día Parcialmente Nublado

Fuente: Los autores

### 4.3 Comportamiento día nublado

En la Figura 22, es posible visualizar los datos obtenidos en un día nublado, es decir, cómo evoluciona la corriente de carga con la variación de la radiación solar del panel fotovoltaico, el gráfico muestra la relación existente de Irradiación/Corriente, acumulada del día. Los datos recolectados en este día se presentan mediante una gráfica comparativa entre la cantidad de corriente generada y la cantidad de irradiación medida en la superficie.

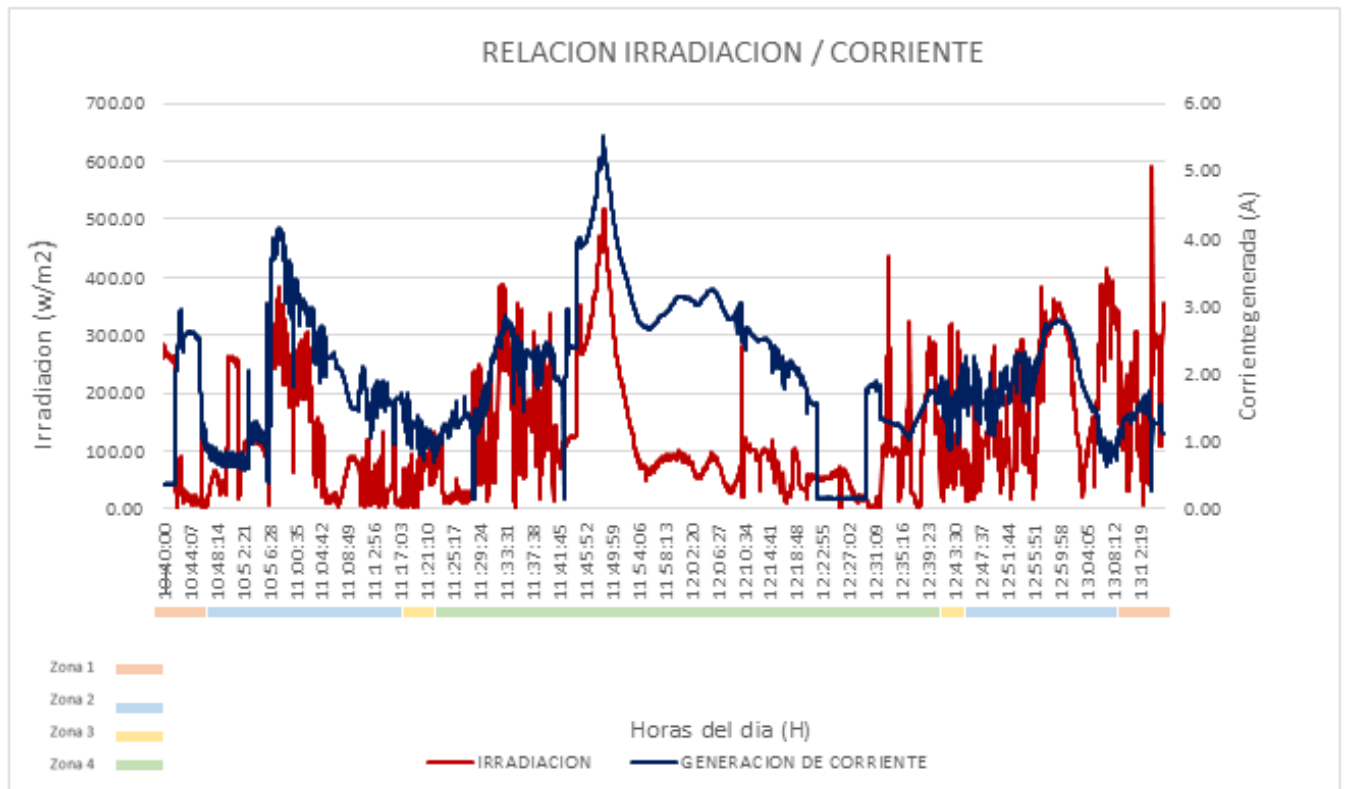


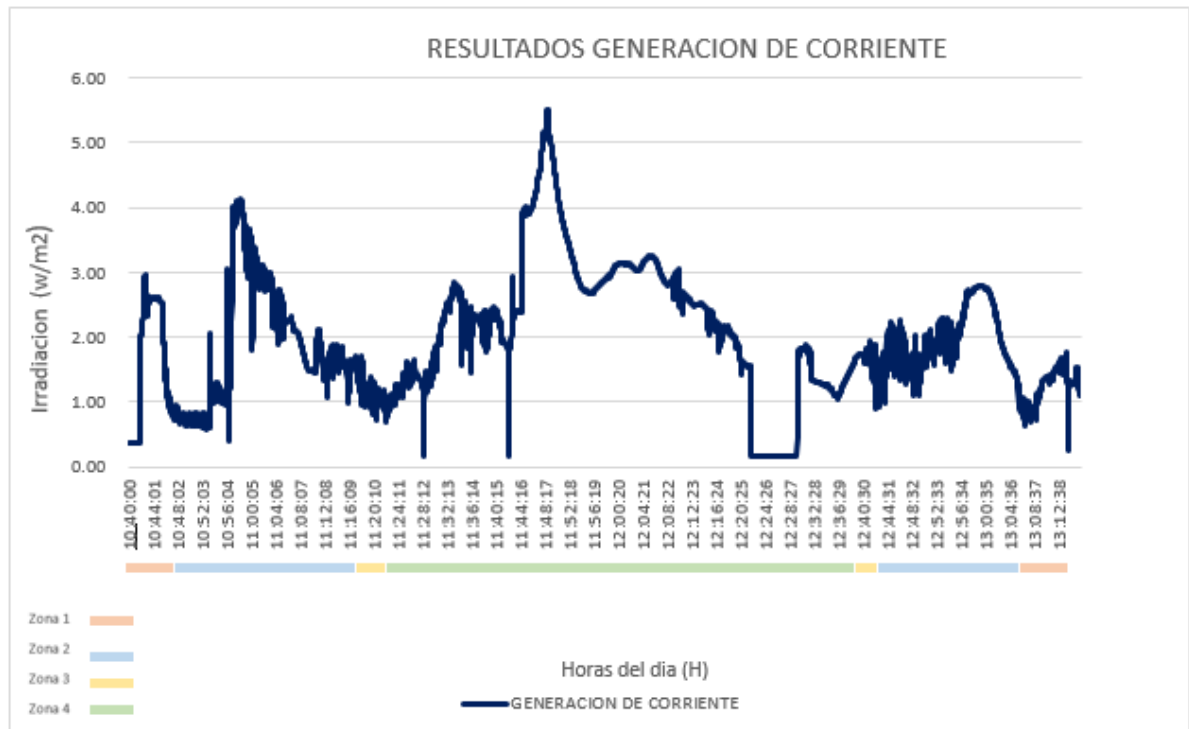
Figura 22 Gráfica comparativa generación de corriente e irradiación día nublado

Fuente: Los autores

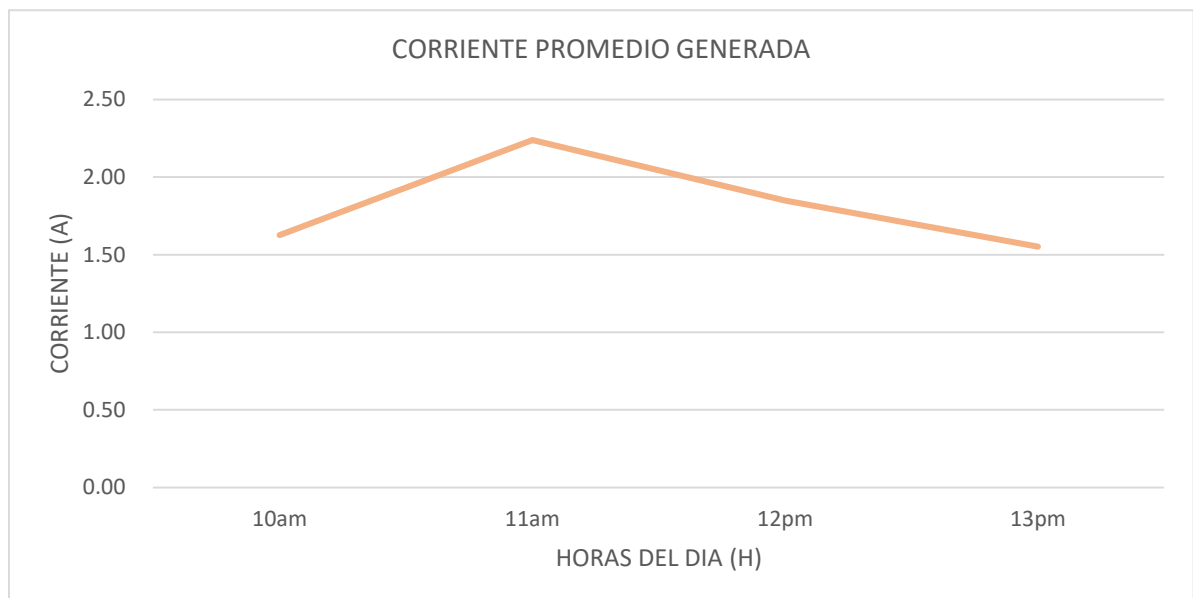
En base a la Figura 22, se puede establecer los siguientes resultados:

- La irradiación promedio diaria presentada durante las condiciones del día es de 133.23 W/m<sup>2</sup> con un promedio de generación de corriente de 1.29A.
- Pico de irradiación máximos registrados de 500-600W/m<sup>2</sup> con una corriente de 45A durante las 10:00am-11:00am.
- Pico de irradiación más bajos de 23.39-36.58 W/m<sup>2</sup> con una corriente de 0.80-1.09A en las diferentes horas del día medido
- Con las condiciones de este día se registra una caída de valores de 14:00pm a Presentando valores de generación de corriente e irradiación bajos lo que imposibilita continuar con el recorrido.

En la Figura 23a, se presentan los valores de generación de corriente de manera aislada, para una mejor interpretación. Los valores de generación de corriente presentados a continuación corresponden a los valores obtenidos en un día nublado, es decir de condiciones de captación solar desfavorables.



a)



b)

Figura 23 Resultados de generación de corriente (Día nublado) a) Generación de corriente día nublado b) Corriente promedio generada día nublado

Fuente: Los autores

En la figura 23b, se presentan el promedio de los valores recolectados para la generación, Para este día se recolecto un total de 9380 datos de generación de corriente, Para presentar una mejor interpretación de los datos, se realizó un promedio correspondiente a cada una de las horas de medición, los resultados del promedio pertenecientes a la Figura 26b, son los siguientes:

<b>Promedio de generación por horas (Día nublado)</b>	
<b>Horas</b>	<b>Promedio de corriente (A)</b>
<b>10:00am-11:00am</b>	1.63
<b>11:00am -12:00am</b>	2.24
<b>12:00pm-13:00pm</b>	1.85
<b>13:00pm-14:00pm</b>	1.55

Tabla 10 Promedio de corriente generada día nublado

Como se puede evidenciar, el tiempo de medición de este día es limitado debido a las condiciones climáticas del entorno, de igual forma se puede notar la disminución que existe en los valores promedios de la generación recolectados, en comparación con los resultados de otros días. Al igual que en los anteriores casos de estudios se procede a realizar el análisis del comportamiento de las baterías frente a condiciones nubladas.

En La Figura 24, se presentan la gráfica comparativa de los valores de voltaje obtenidos para cada una de las baterías involucradas en el vehículo eléctrico, debido a las condiciones del día (Condiciones desfavorables día nublado), se observa valores bajos de voltaje en comparación con las otras condiciones.

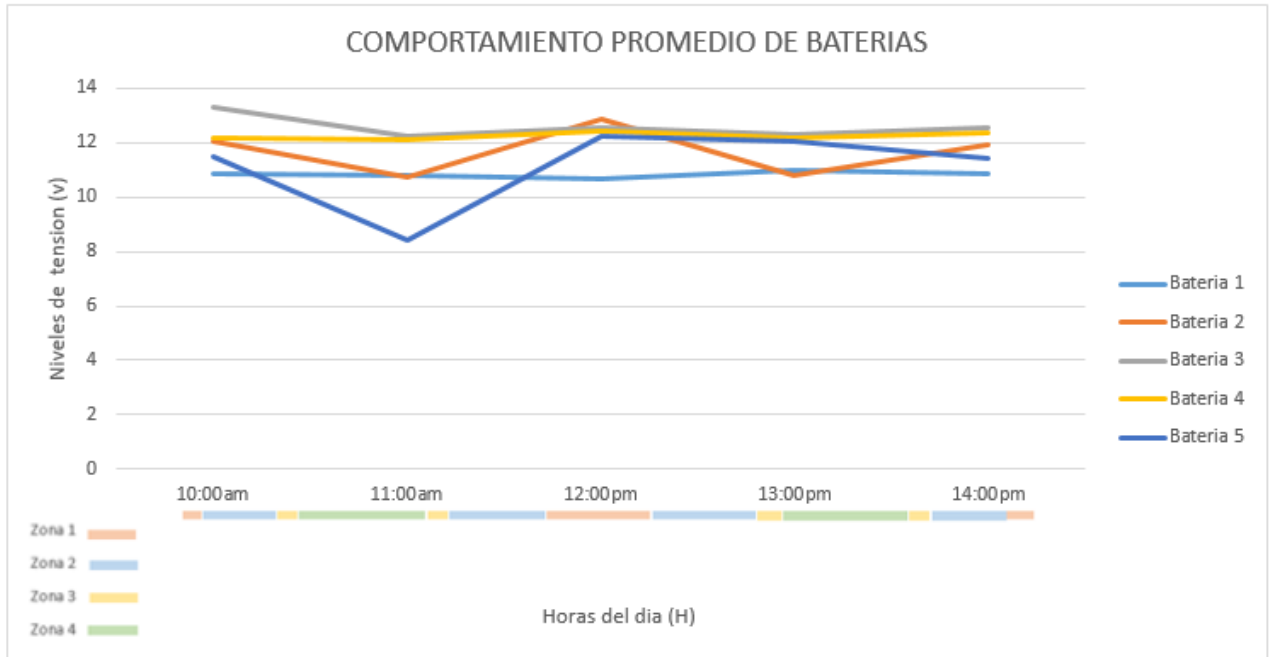


Figura 24 Comportamiento promedio de baterías (Condiciones desfavorables día nublado)

Fuente: Los Autores

**Comportamiento promedio de baterías (Día nublado)**

Horas	Batería 1(V)	Batería 2(V)	Batería 3(V)	Batería 4(V)	Batería 5(V)
<b>10.00am-11:00am</b>	10.841	12.047	12.316	12.173	11.468
<b>11:00am -12:00am</b>	10.796	10.761	12.263	12.112	8.407
<b>12:00pm-13:00pm</b>	10.683	12.842	12.569	12.439	12.250
<b>13:00pm-14:00pm</b>	10.970	10.810	12.294	12.160	12.062
<b>14:00pm-15:00pm</b>	10.887	11.933	12.547	12.346	11.399

Tabla 11 Promedio de Corriente generada (Día nublado)

Fuente: Los Autores

En la Figura 25, se presenta el comportamiento en serie de las baterías en las condiciones establecidas para su respectiva comparación.

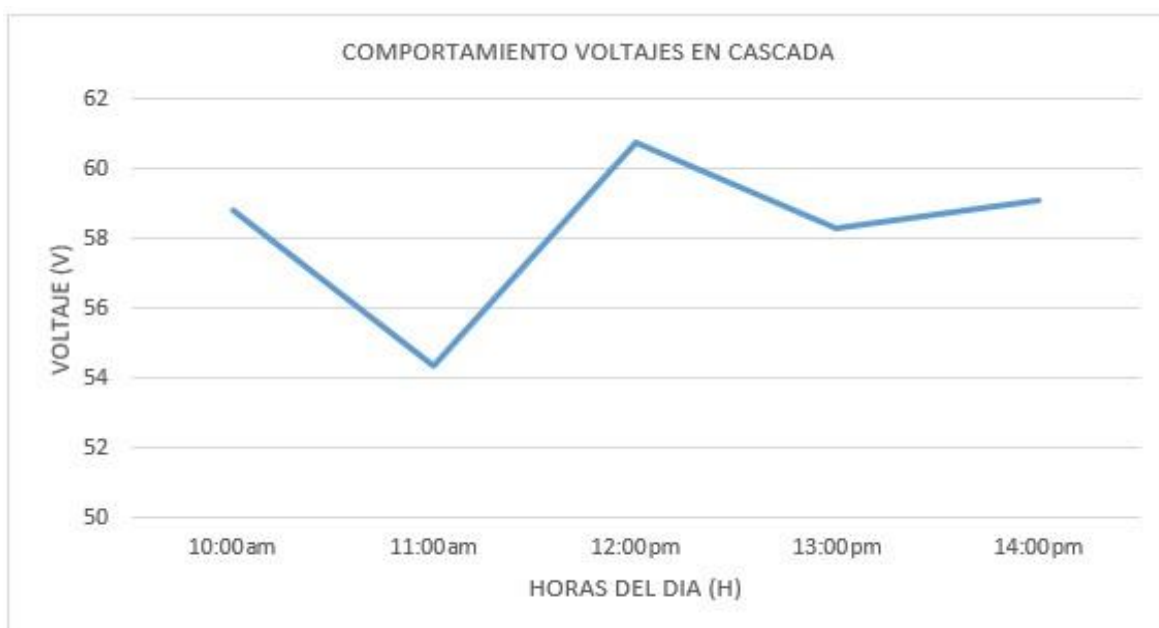


Figura 25 Comportamiento voltajes en cascada (día nublado)

Fuente: Los Autores

#### 4.4 Comparación de comportamiento total

Como se ha mencionado en puntos anteriores, las mediciones realizadas abordan un total de siete días. Esto implica que se debe tener en cuenta todos los días del recorrido, para presentar un promedio total de generación por cada día, y establecer un análisis completo. Por cada día recorrido se establece un promedio total, entre todos los valores obtenidos durante el día, se establece también los valores promedio de irradiación obtenidos por cada día. Los valores obtenidos de los promedios de generación e irradiación se presentan en la Tabla 12.

	Promedio corriente generada (A)	Promedio irradiación (w/m2)
<b>Día uno</b>	1.70	224.50
<b>Día dos</b>	1.98	152.67
<b>Día tres</b>	3.491	205.38
<b>Día cuatro</b>	7.07	739.44
<b>Día cinco</b>	3.47	325.44
<b>Día seis</b>	3.84	408.69
<b>Día siete</b>	2.65	315.83

Tabla 12 Promedio de generación e irradiación total

Fuente: Los Autores

Como se logra evidenciar en la Tabla 12, los valores promedios de generación son variadas en la mayoría de días, siendo el valor más alto de corriente e irradiación en el día cuatro, y el valor más bajo de corriente e irradiación en el día uno. Con estos valores, se puede establecer un aproximado de la cantidad de corriente que se puede conseguir, con una cierta cantidad de irradiación recibida en un panel solar, con las características establecidas en esta investigación. La cantidad promedio de corriente que se puede conseguir en una semana, es de aproximadamente  $\pm 3.46A$ . La Figura 26, presenta los valores mencionados de manera gráfica, para una mejor interpretación.

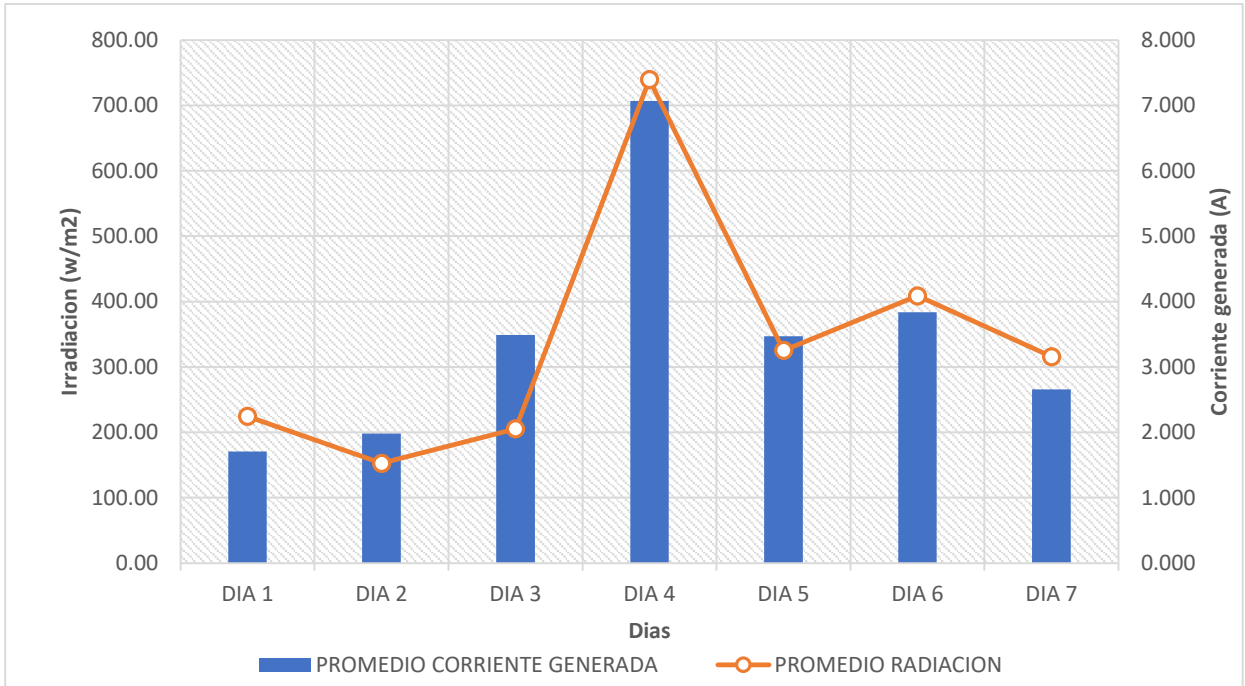


Figura 26 Comportamiento general de corriente e irradiación por días

Fuente: Los Autores

Como punto final, se presentan los promedios de corriente obtenidos, en cada hora, durante la semana (Véase Figura 27).

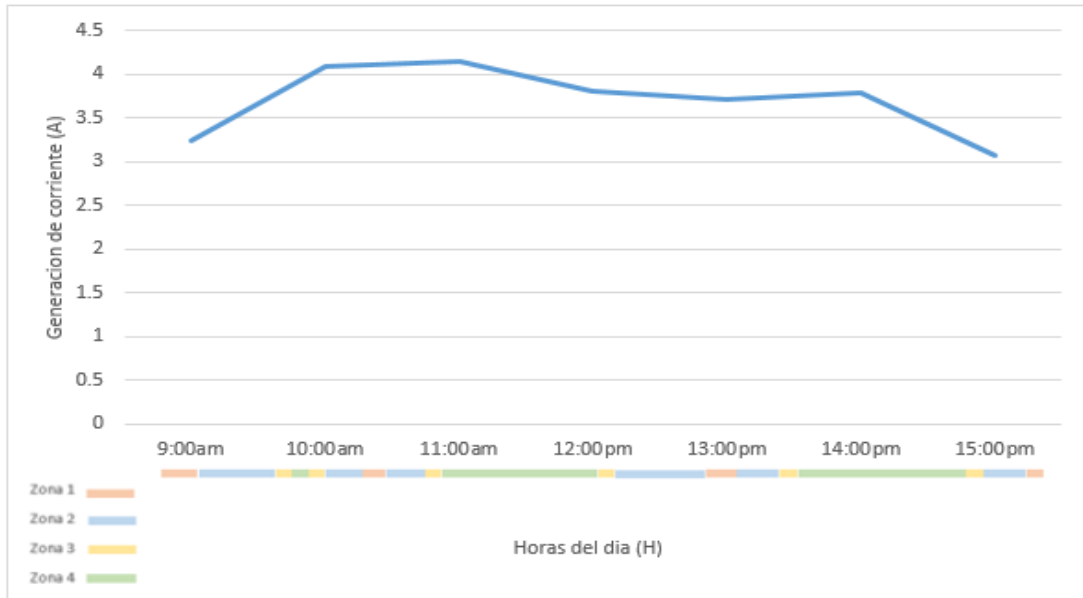


Figura 27 Comportamiento general de corriente e irradiación por días

Fuente: Los Autores

Los valores correspondientes a la Figura 27, se presentan en la Tabla 13, mediante los datos obtenidos, se puede evidenciar que, en promedio los valores más grandes de corriente pueden ser obtenidos a partir de 10:00am a 13:00pm, con valores de  $\pm 4A$ . Se puede apreciar que los valores de corriente tienden a disminuir, en horario de 15:00pm a 16:00, con un descenso de un  $\pm 1A$ .

Horas	Promedio corriente generada (A)
<b>9:00 am -10:00am</b>	3.24
<b>10:00am-11:00am</b>	4.10
<b>11:00am-12:00pm</b>	4.14
<b>12:00pm-13:00pm</b>	3.81
<b>13:00pm-14:00pm</b>	3.71
<b>14:00pm-15:00pm</b>	3.79
<b>15:00pm-16:00pm</b>	3.07

Tabla 13 Promedio de generación e irradiación por horas

Fuente: Los Autores

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se logró comprobar que los datos medidos de irradiación presentan una relación directamente proporcional con la generación de corriente que se logra al realizar la ruta establecida. Mediante los gráficos de generación de corriente, se pudo evidenciar la disminución de corriente frente a obstáculos presentados en la vía presentados, establecidos como zonas, en comparación los gráficos presentados de corriente presentan un patrón similar de comportamiento frente al de irradiación, Con los resultados obtenidos se puede decir que, los valores de irradiación obtenidos en ciertas zonas de la ciudad muestran un comportamiento anticipado del funcionamiento que tendrá un vehículo o sistema alimentado por energía solar en esa zona

. Los valores promedios obtenidos de generación de corriente muestran que el mayor punto de recuperación de carga se encuentra en horas de 10:00am a 13:00pm presentando los valores de corriente de  $\pm 5A$  para los valores de irradiación del mes de julio, se establece los puntos de generación más baja, en la zona 2. El ancho de vía y las edificaciones del alrededor, disminuyen los valores de corriente a  $\pm 1A$  en promedio, esto se puede evidenciar en las gráficas de generación de corriente presentadas.

Se logró evidenciar la mejora de autonomía base el vehículo eléctrico Chock-S2, siendo esta de  $\pm 50km$  de autonomía en condiciones normales, frente a una ruta de inclinación moderada. Acorde a la autonomía base del vehículo eléctrico se logró obtener los valores de autonomía logrados, la mejora de autonomía del vehículo está basada en su mayor parte por las condiciones climáticas del entorno, ya que estas afectan significativamente a los valores de corriente obtenidos, todo esto se pudo evidenciar en los resultados obtenidos en este trabajo. Las mediciones realizadas establecen incluso en el mes de julio, más desfavorable, se puede lograr una autonomía aceptable, para un uso moderado del vehículo. La Mejora de autonomía conseguida con sistema de carga solar móvil es de  $\pm 70Km$ , valor establecido por el tiempo y distancia recorridas por el vehículo, estableciendo entonces una mejora de autonomía de  $\pm 20km$

Se comprueba que la mejor área de generación de corriente, se encuentra en la zona 3, como se puede evidenciar en los resultados obtenidos, la cantidad de corriente generada logra una recuperación de carga de las baterías, presentado en los gráficos de comportamiento de las baterías. Con los resultados se establece, que el sistema de recolección de datos de generación e irradiación, puede identificar los puntos más favorables de la ciudad para un centro de carga solar o simplemente una recuperación de carga para los vehículos eléctricos.

## RECOMENDACIONES

En el estudio realizado, se pudo evidenciar que la ruta de estudio presenta las condiciones óptimas para conseguir una mejora de autonomía; sin embargo, en el caso de estudio, se abarca en proporción, solo una parte pequeña de la ciudad, por lo cual el rango de mejora de autonomía puede verse favorecido o afectado según las rutas de estudio en la ciudad. Se recomienda para posteriores trabajos tomar en cuenta otros casos de estudio distintos en los cuales el vehículo se vea sometido a pendientes considerables o calles con más conflicto de entorno, esto sería un gran aporte para identificar las mejores y peores zonas de la ciudad en donde la movilidad eléctrica se vea favorecida y represente una alternativa viable para los consumidores. En la búsqueda de mejora de autonomía también se puede llevar a cabo el mismo caso de estudio durante condiciones climáticas más favorables llevando a cabo el estudio en los meses más favorables de radiación registrados para la ciudad.

Los sistemas del vehículo eléctrico, pueden ser mejorados, usando sistemas de control más robustos, como un controlador PCB. En busca de mejorar la capacidad del vehículo eléctrico, se recomienda usar relés de estado sólido y de más amperaje, para el cambio de carga en cada batería, esto evitara que los relés dejen de funcionar cada cierto tiempo, por no soportar la corriente del vehículo eléctrico, de igual forma se recomienda implementar un sistema de placa base, para que los componentes del sistema sean estáticos y sin demasiado cableado, esto permitirá que las lecturas de las baterías no presenten valores erróneos en las gráficas. En el vehículo se puede implementar un panel de mayor potencia a la actual, o de distinta tecnología, para realizar un contraste de mejora con los resultados obtenidos en esta investigación.

Los resultados de la investigación, muestran que la mejor zona de carga se encuentra en la Av. Ordoñez Lasso, siendo esta ubicación lugar ideal para la aplicación de centros de carga, pues la corriente que se genera en la ubicación, puede cargar más rápido a un vehículo, en comparación con otras zonas medidas. El sistema de medición desarrollado, en esta investigación, puede mejorarse a un más, realizando un cambio en el sensor de corriente, puede usarse el sensor WCS1800, para medir sistemas solares que necesiten una precisión mayor en las mediciones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Abusleme, A., Dixon, J., Soto, D.: Improved performance of a battery powered electric Car, using photovoltaic cells. In: 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference Proceedings, Vol. 3, pp. 6–pp.
- [2]. Afful-Dadzie, A. (2021). Global 100% energy transition by 2050: A fiction in developing economies *Joule*, 5(7), 1641-1643.
- [3]. Alberola, J., Pelegrí, J., Lajara, R., & Perez, J. J. (2008, May). Solar inexhaustible power source for wireless sensor node. In 2008 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (pp. 657-662).
- [4]. Arévalo-Molina, J. P., Ortíz-Jiménez, R. D., Gama, E. N., Ramos, O. L., & Duque, J. (2014). Diseño e implementación de un prototipo de vehículo solar con almacenamiento de energía. *Revista científica*, 18(1), 159-165.
- [5]. Awasthi, A., Venkitesamy, K., Padmanaban, S., Selvamuthukumar, R., Blaabjerg, F., & Singh, A. K. (2017). Optimal planning of electric vehicle charging station at the distribution system using hybrid optimization algorithm. *Energy*, 133, 70-78.
- [6]. Louis, L. (2016). working principle of Arduino and using it. *International Journal of Control, Automation, Communication and Systems (IJACACS)*, 1(2), 21-29.
- [7]. Becker, L. J., & Seligman, C. (1981). Welcome to the energy crisis. *Journal of Social Issues*, 37(2), 1-7.
- [8]. Beggs, S., Cardell, S., & Hausman, J. (1981). Assessing the potential demand for electric cars. *Journal of econometrics*, 17(1), 1-19.
- [9]. Blaschke, T., Biberacher, M., Gadocha, S., & Schardinger, I. (2013). „Energy landscapes“: Meeting energy demands and human aspirations. *biomass and bioenergy*, 55, 3-16.
- [10]. Broadfoot, A. L. (1972). The solar spectrum 2100-3200 Å. *The Astrophysical Journal*, 173, 681.
- [11]. Bulanyi, P., & Zhang, R. (2014, May). Shading analysis & improvement for distributed residential grid-connected photovoltaics systems. In The 52nd Annual Conference of the Australian Solar Council.
- [12]. Association internationale pour l'évaluation du rendement scolaire. (2017). Global EV outlook 2017: Two million and counting. IEA.

- [13]. Chiou, F. (2015, July). Solar energy for electric vehicles. In 2015 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech) (pp. 234-238). IEEE.
- [14]. Dai, Y. (2020, February). Impact of Shading Area on PV System. In IOP Conference  
Series: Earth and Environmental Science (Vol. 440, No. 3, p. 032073). IOP Publishing.
- [15]. Dhanamjayulu, C., Padmanaban, S., Ramachandaramurthy, V. K., Holm-Nielsen, J. B., & Blaabjerg, F. (2020). Design and implementation of multilevel inverters for electric vehicles. *IEEE Access*, 9, 317-338.
- [16]. Giannouli, M., & Yianoulis, P. (2012). Study on the incorporation of photovoltaic systems as an auxiliary power source for hybrid and electric vehicles. *Solar Energy*, 86(1), 441451.
- [17]. Grosso, M., Lena, D., Bocca, A., Macii, A., & Rinaudo, S. (2016, September). Energyefficient battery charging in electric vehicles with solar panels. In 2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI) (pp. 1-5). IEEE.
- [18]. Helmers, E. (2010). Bewertung der Umwelteffizienz moderner Autoantriebe–auf dem Weg vom Diesel-Pkw-Boom zu Elektroautos. *Umweltwissenschaften und SchadstoffForschung*, 22(5), 564-578.
- [19]. Helmers, E., & Marx, P. (2012). Electric cars: technical characteristics and environmental impacts. *Environmental Sciences Europe*, 24(1), 1-15.
- [20]. Hofierka, J., & Kaňuk, J. (2009). Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools. *Renewable energy*, 34(10), 2206-2214.
- [21]. Hoke, A., Brissette, A., Smith, K., Pratt, A., & Maksimovic, D. (2014). Accounting for lithiumion battery degradation in electric vehicle charging optimization. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2(3), 691-700.
- [22]. Huang, X., Zhao, J., Zhou, X., Han, Y., Zhang, J., & Cai, Z. (2019). How green alternatives to chemical pesticides are environmentally friendly and more efficient. *European Journal of Soil Science*, 70(3), 518-529.

- [23]. Icaza, D., Borge-Diez, D., & Galindo, S. P. (2021). Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca-Ecuador by 2050. *Renewable Energy*, 170, 13241341.
- [24]. Jin, C., Tang, J., & Ghosh, P. (2013). Optimizing electric vehicle charging: A customer's perspective. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 62(7), 29192927.
- [25]. Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894-900.
- [26]. Kannan, N., & Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world:-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1092-1105.
- [27]. Khalaf, Y., Ibraheem, O., Adil, M., Salih, M., Qasim, M., & Waleed, K. (2014). Maximum power point evaluation of photovoltaic modules under shading effect. *European Scientific Journal*, 10(9).
- [28]. Khare, V., & Bunglowala, A. (2020). Design and assessment of solar-powered electric vehicle by different techniques. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30(4), e12271.
- [29]. Kosmanos, D., Maglaras, L. A., Mavrovouniotis, M., Moschoyiannis, S., Argyriou, A., Maglaras, A., & Janicke, H. (2018). Route optimization of electric vehicles based on dynamic wireless charging. *IEEE Access*, 6, 42551-42565.
- [30]. Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., & Hajighorbani, S. (2016). Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1307-1316.
- [31]. Martinez, D. A., Poveda, J. D., & Montenegro, D. (2017, May). Li-ion battery management system based in fuzzy logic for improving electric vehicle autonomy. In *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)* (pp. 1-6). IEEE.
- [32]. Micari, S., Polimeni, A., Napoli, G., Andaloro, L., & Antonucci, V. (2017). Electric vehicle charging infrastructure planning in a road network. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 98-108.
- [33]. Parapi Plaza, J. F., & Pesantez Oleas, G. I. (2020). Implementación de un sistema generador de carga eléctrica, utilizando paneles solares, para el incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico Kia Soul (Bachelor's thesis).

- [34]. Patel, M. R., & Beik, O. (2021). Wind and solar power systems: design, analysis, and operation. CRC press.
- [35]. Reddy, N. N., & Sarma, D. P. (2012). Solar powered vehicle. International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering (IJARCSEE), 1, 36-39.
- [36]. ur Rehman, N., Hijazi, M., & Uzair, M. (2020). Solar potential assessment of public bus routes for solar buses. Renewable Energy, 156, 193-200.
- [37]. Reinoso, L., & Ortega, J. (2020). Incremento de la autonomía de un vehículo eléctrico Dayang CHOK-S mediante paneles solares. Revista Digital Novasinergia, 3(2), 40-46.
- [38]. Serrano-Guerrero, X., Alvarez-Lozano, D., & Romero, S. F. L. (2019, November). Influence of local climate on the tilt and orientation angles in fixed flat surfaces to maximize the capture of solar irradiation: A case study in Cuenca-Ecuador. In 2019 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (pp. 16). IEEE.
- [39]. Shahsavari, A., & Akbari, M. (2018). Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 275-291.
- [40]. Silva, J. E. D., Santos, F. R., Kaltmaier, G., & Urbanetz Junior, J. (2018). Implementation of a photovoltaic panel to supply electric cars energy demands. Brazilian Archives of Biology and Technology, 61.
- [41]. Starke, A. R., Lemos, L. F., Boland, J., Cardemil, J. M., & Colle, S. (2018). Resolution of the cloud enhancement problem for one-minute diffuse radiation prediction. Renewable Energy, 125, 472-484.
- [42]. Zhang, Y., Yu, H., Huang, C., Zhao, W., & Luo, M. (2014, November). Coordination of Electric Vehicles Charging to Maximize Economic Benefits. In Chinese Conference on Pattern Recognition (pp. 508-517). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [43]. Van Mierlo, J., & Maggetto, G. (2007). Fuel cell or battery: Electric cars are the future. Fuel Cells, 7(2), 165-173.
- [44]. Verheijen, E., & Jabben, J. (2010). Effect of electric cars on traffic noise and safety.

- [45]. Nakicenovic, N., & Schulz, N. B. (2011). World in Transition-A Social Contract for Sustainability [Welt im Wandel: Gesellschaftsvertrag fuer eine Grosse Transformation].  
Flagship Report 2011.
- [46]. World, O.E.: (2012) International Energy Agency, (<http://www.worldenergyoutlook.org/weo2012/>) [accessed march 2016]
- [47]. Worley, O., & Klabjan, D. (2011, September). Optimization of battery charging and purchasing at electric vehicle battery swap stations. In 2011 IEEE vehicle power and propulsion conference (pp. 1-4). IEEE.
- [48]. Xu, Z., Hu, Z., Song, Y., Luo, Z. W., Zhan, K. Q., & Shi, H. (2012). Coordinated charging of plug-in electric vehicles in charging stations. Automation of Electric Power Systems, 36(11), 38-43.

# **ANEXOS**

## **Anexo 1**

<https://figshare.com/s/1b3f885ca4d9da3cf6a1>

## **Anexo 2**

<https://figshare.com/s/587cfe61917accdffd3>

## **Anexo 3**

<https://figshare.com/s/7dcb8bae8d9f67658bf2>

## **Anexo 4**

<https://figshare.com/s/ccb45fe05d587209630b>

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Bryam Paul Lojano Riera** portador de la cédula de ciudadanía N.º 01106968407. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación : **“Potencial de generación fotovoltaica para vehículos eléctricos (Caso de estudio en Cuenca)”**, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **17 de marzo del 2022**

F: .....  


Bryam Paul Lojano Riera

0106968407