



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad al servicio del Pueblo*

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

**POTENCIAL DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN  
TRAYECTORIAS DE TRANSPORTE URBANO (CASO DE  
ESTUDIO EN LA CIUDAD DE CUENCA)**

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

**AUTOR: ROBERT JAVIER MACHUCA ORDOÑEZ**

**DIRECTOR: ING. CARLOS FLORES VAZQUEZ MSC, MBA, PHD.**

**CUENCA – ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**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 EN TRAYECTORIAS DE  
TRANSPORTE URBANO (CASO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE  
CUENCA)

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

**AUTOR: ROBERT JAVIER MACHUCA ORDOÑEZ**

**DIRECTOR: ING. CARLOS FLORES VAZQUEZ MSC, MBA, PHD.**

**CUENCA – ECUADOR**

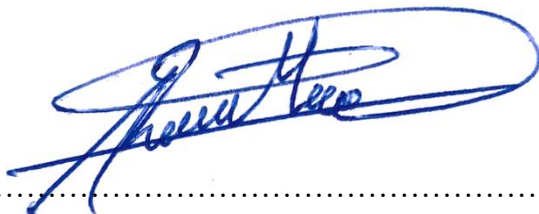
**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESAROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

**Robert Javier Machuca Ordoñez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N.º **0941120529**.  
Declaro ser el autor de la obra: **“Potencial de generación fotovoltaica en trayectorias de transporte urbano (Caso de estudio en la ciudad de 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, **21 de marzo de 2022**

F: 

Robert Javier Machuca Ordoñez

0941120529

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Robert Javier Machuca Ordoñez, bajo mi supervisión.



---

**Ing. Carlos Alberto Flores Vázquez.**

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi padre por ser un buen ejemplo por seguir, por confiar en mí siempre y ser ese aliento que uno necesita en los momentos más tristes y duros que se pueden presentar en el transcurso de la vida.

A mi madre que siempre estuvo allí brindándome su mano amiga en cada instante de mi vida, por seguir adelante y llegar a culminar con éxito mi carrera profesional, por toda su confianza y motivación que me ha brindado en toda mi vida, le debo todo lo que soy y todo cuanto pueda ser. Ella siempre ha creído en mí a pesar de tantas adversidades que nos puso la vida, siempre me apoyo. Ha sido mi bastón para apoyarme y seguir por la vida, el hombro donde siempre descansare para contarle mis tristezas y mis alegrías.

A ustedes mi hermosa familia, mi fuerza, mi fortaleza, mi compañía eterna ustedes la razón de vivir y la razón de mis alegrías para ustedes este título y todos mis triunfos que voy a alcanzar en mi vida, siempre en cada instante los pienso, los valoro y amo.

## AGRADECIMIENTOS

El presente proyecto de investigación quiero agradecer a Dios por darme la sabiduría y guiarme a lo largo de mi carrera académica, por ser luz en todo mi caminar y darme la fuerza para continuar y obtener lo que tanto él me prometió.

A mis padres Edison Javier Machuca Ochoa y Blanca Luzmila Ordoñez Plasencia por ser ese apoyo incondicional y darme la oportunidad de culminar con éxito mi sueño, por ser los pilares más fuertes y fundamentales para culminar mi etapa de mi vida profesional. A mis hermanas Karen Priscila Machuca Ordoñez y María Caridad Machuca Ordoñez por brindarme la confianza, cariño y todo su apoyo incondicional durante toda esta etapa, les agradezco por estar aquí viéndome cumplir mi meta.

A mis queridos abuelos Juan Machuca y Laura Maldonado Ochoa por todo su cariño a lo largo de mi vida, por apoyarme cuando más los necesitaba, les agradezco por toda su motivación y ganas para yo poder continuar y no decaer.

Gracias a mi pareja Daniela Estefanía Arévalo Otavalo por entenderme en todo, gracias a ella porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida, fue la felicidad encajada en una sola persona, fue mi todo reflejado en otra persona a la cual yo amo demasiado, y por la cual estoy dispuesto a enfrentar todo y en todo momento.

Un agradecimiento especial a los profesores de la Universidad Católica de Cuenca de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, especial al Ing. Carlos Flores Vázquez director de este proyecto de investigación. Por brindarme sus conocimientos en el desarrollo del proyecto, por la amistad y ayuda brindada, por el tiempo, colaboración y ánimos para concluir con éxito. Un agradecimiento a la Unidad Académica de Posgrados en especial al Ing. Juan Carlos Cobos Torres, director de este proyecto de investigación. Por brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimientos científicos para poder concluir con éxito mi proyecto de investigación.

## RESUMEN

Ecuador, es un país que, por su situación geográfica, tiene una gran cantidad de energía directa del sol, con un alto potencial para el uso de energías renovables. Esta investigación plantea el desarrollo de un sistema de medición para obtener la radiación media, mediante la instalación de paneles solares fotovoltaicos en una unidad móvil (vehículo) para el análisis de la radiación en trayectorias de transporte en la ciudad de Cuenca – Ecuador, la cual recibe una radiación solar constante y sin variaciones significativas a lo largo del año. El sistema es capaz de realizar la radiación en una base de datos. Esto permitirá registrar información precisa para diseñar instalaciones solares móviles teniendo en cuenta la incidencia de radiación solar sobre un panel fotovoltaico instalado en vehículos. Se investigaran diferentes articulo científicos los cuales nos otorgaran información documental acerca del tema a investigar, además se empleara diferentes herramientas de patrón de medición las cuales nos otorgaran índices aproximados, se puede mencionar que el uso de GPS tendrán una importancia significativa para la observación de zonas críticas, consecuentemente manipularemos diversos implementos tecnológicos como una pantalla electrónica LCD para la observación de los índices  $w/m^2$ , y la respectiva recolección de datos. Este estudio permite tener una concepción real de las oportunidades de la implantación de paneles fotovoltaicos en vehículos. Los estudios existentes sólo consideran paneles fijos en edificios, pero como se evidencia en este estudio, al tener paneles en movimiento en las calles de la ciudad, la situación es diferente a la anteriormente mencionada.

Palabras clave: movilidad eléctrica, radiación solar, energía renovable, paneles solares.

## ABSTRACT

Ecuador is a country that, due to its geographical location, has a large amount of direct energy from the sun, with a high potential for the use of renewable energies. This research proposes the development of a measurement system to obtain the average radiation, through the installation of photovoltaic solar panels on a mobile unit (vehicle) for the analysis of radiation in transport trajectories in the city of Cuenca - Ecuador, which receives a constant solar radiation without significant variations throughout the year. The system is capable of performing the radiation in a database. This will allow recording accurate information to design mobile solar installations taking into account the incidence of solar radiation on a photovoltaic panel installed on vehicles. We will investigate different scientific articles which will give us documentary information about the subject to investigate, in addition we will use different measurement standard tools which will give us approximate indexes, we can mention that the use of GPS will have a significant importance for the observation of critical areas, consequently we will manipulate various technological implements such as an electronic LCD screen for the observation of the w/m<sup>2</sup> indexes, and the respective data collection. This study allows us to have a real conception of the opportunities of the implementation of photovoltaic panels on vehicles. Existing studies only consider fixed panels on buildings, but as evidenced in this study, having panels in motion on the streets of the city, the situation is different from the above mentioned.

Keywords: electric mobility, solar radiation, renewable energy, solar panels

## ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD.....	3
CERTIFICACIÓN .....	4
DEDICATORIA .....	5
AGRADECIMIENTOS .....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
ÍNDICE GENERAL.....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	12
ÍNDICE DE GRÁFICO .....	13
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO 1 .....	16
1.1.    Objetivo General.....	16
1.2.    Objetivos Específicos.....	16
CAPÍTULO 2 .....	18
2.1.    Fuentes de energía.....	20
2.1.1. Energías no renovables.....	21
2.1.2. Energías renovables.....	21
2.5.2. Sustentabilidad en el sector eléctrico ecuatoriano.....	28
2.5.3. Normativa LRSE-13.....	29
CAPITULO 3 .....	31
3.1. Metodología .....	31
3.2. Principio de Operación.....	31
3.3. Formulación .....	33
3.4. Programación .....	35
3.5. Diseño y Elaboración .....	36
3.5.1. Recolección de datos.....	37
CAPITULO 4.....	39
4.1. Análisis y Resultados .....	39
4.2. Estudio de viabilidad solar en la trayectoria establecida .....	39

4.2.1. Consolidado de datos de los días analizados.....	45
4.2.2. Trayectoria día 1 .....	47
4.2.3. Trayectoria día 2 .....	48
4.2.4 Trayectoria día 3 .....	49
4.2.5 Trayectoria día 4 .....	50
4.2.6. Trayectoria día 5 .....	51
4.2.7. Trayectoria día 6 .....	52
4.2.8. Trayectoria día 7 .....	53
4.3. Análisis de la base de datos con respecto a la estructura urbana .....	54
4.3.1 Zona 1: Av. Ordóñez Lasso .....	54
4.3.2. Zona 2: Av. Gil Ramírez Dávalos.....	56
4.3.3. Zona 3: Calle Pío Bravo .....	57
4.3.4. Zona 4: Calle Sangurima.....	58
4.3.5. Zona 5: Av. Las Américas .....	59
CONCLUSIONES .....	61
RECOMENDACIONES .....	62
BIBLIOGRAFÍA.....	63
ANEXOS.....	68
2.1. Anexo 1 .....	68
AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Primer aprovechamiento de la energía de la radiación solar. ....	23
Figura 2 Horno Solar de Lavoser Fuente: Biblioteca Nacional de Francia .....	24
Figura 3 Horno Solar de Odeillo, Fuente: Trombe & Vinh,. (2012),. ....	25
Figura 4 Esquema de conexión al módulo fotovoltaico .....	32
Figura 5 Ficha Técnica Panel Solar ZCS Modelo P-20W. ....	33
Figura 6 Diagrama de flujo del proceso matemático. ....	36
Figura 7 Instrumentos de medición. (a) Multímetro Fluke, (b) Piranómetro.....	37
Figura 8 Trayectoria utilizada para la obtención de los datos en la Ciudad de Cuenca. Fuente: Google Earth Pro.....	38
Figura 9 Trayectoria establecida en la ciudad de Cuenca los sectores fueron: a) San Joaquín, b) Av. Ordoñez Lasso, c) Av. Las Américas, d) Sangurima, e) Pío Bravo y f) Av. Gil Ramírez Dávalos.....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diferentes fuentes de energía renovable. ....	20
Tabla 2 Descriptivo de los sectores analizados de Cuenca .....	39
Tabla 3 Detalle del ancho de vía y altura de edificaciones .....	43

## ÍNDICE DE GRÁFICO

Gráfico 1 Promedio diario de radiación .....	45
Gráfico 2 Radiación establecida por sectores diarios.....	46
Gráfico 3 Análisis de recolección de datos en un clima de día soleado .....	47
Gráfico 4 Análisis de recolección de datos en un clima de día soleado .....	48
Gráfico 5 Análisis de recolección de datos en un día parcialmente soleado .....	49
Gráfico 6 Análisis de recolección de datos en un clima de día parcialmente nublado .....	50
Gráfico 7 Análisis de recolección de datos en un clima de día parcialmente soleado.....	51
Gráfico 8 Análisis de recolección de datos en un día nublado - lluvioso .....	52
Gráfico 9 Análisis de recolección de datos en un clima soleado altamente favorable.....	53
Gráfico 10 Sector Av. Ordoñez Lasso (a: zona 1: día 1), (b: zona 1: día 2), (c: zona 1: día 3), (d: zona 1: día 4), (e: zona 1: día 5), (f: zona 1: día 6), (g: zona 1: día 7). .....	55
Gráfico 11 Sector Av. Gil Ramírez Davalos (a: zona 2: día 1), (b: zona 2: día 2), (c: zona 2: día 3), (d: zona 2: día 4), (e: zona 2: día 5), (f: zona 2: día 6), (g: zona 2: día 7). .....	56
Gráfico 12 Calle Pio Bravo (a: zona 3: día 1), (b: zona 3: día 2), (c: zona 3: día 3), (d: zona 3: día 4), (e: zona 3: día 5), (f: zona 3: día 6), (g: zona 3: día 7). .....	57
Gráfico 13 Calle Sangurima (a: zona 4: día 1), (b: zona 4: día 2), (c: zona 4: día 3), (d: zona 4: día 4), (e: zona 4: día 5), (f: zona 4: día 6), (g: zona 4: día 7). .....	58
Gráfico 14 Av. Las Americas (a: zona 5: día 1), (b: zona 5: día 2), (c: zona 5: día 3), (d: zona 5: día 4), (e: zona 5: día 5), (f: zona 5: día 6), (g: zona 5: día 7). .....	60

## INTRODUCCIÓN

Las energías renovables en el mundo son las principales fuentes de producción de energía y respetuosas con el planeta (Mueller, Frankl, & Sadamori, 2016). La generación de energía solar con paneles solares está limitada por la disponibilidad de la variable principal que es la radiación solar, haciendo que la producción de electricidad varíe con respecto al clima y condiciones de sombra.

Investigaciones realizadas al sector de la industria de la energía renovable, especialmente al departamento de energía solar, han integrado mejoras significativas hacia el rendimiento de la célula fotovoltaica, para disminuir las pérdidas y obtener cambios energéticos hacia la producción de la energía eléctrica limpia, (Marique & Reiter, 2014) (Khalid, Dincer, & Rosen, 2016). Se denomina Smart Urban Energy o Smart Cities, esta idea nos ofrecerá un servicio altamente flexible e integrado con eficiencia energética (Poponi, y otros, 2016).

Se pretende medir la radiación solar considerando las rutas de transporte urbano en la ciudad de Cuenca. El análisis de los datos de radiación solar en la ciudad de Cuenca se generó considerando las diferentes inferencias de captación (edificios, sombras y factores climáticos) en la ciudad (Pelaez, Garcia, Cortez, Oscullo, & Olmedo, 2007).

Según (Roper, 2016), debido al creciente consumo de energía en la actualidad, la demanda se ha incrementado. La energía solar es una alternativa eficaz porque presenta disponibilidad, rentabilidad y es respetuosa con el medio ambiente. Investigaciones recientes han establecido que aproximadamente 1 kilovatio de energía fotovoltaica es capaz de evitar la combustión de 77 kg de carbón, reduciendo así las emisiones de  $\text{CO}_2$  en aproximadamente 136 kg al año.

Estos beneficios pueden lograrse incluso con niveles bajos de eficiencia fotovoltaica (12 y 20%) (Ashoor & Robinson, 2012), por lo que la energía voltaica es una alternativa energética capaz de abastecer la demanda energética mundial si los sistemas de captación solar fueran más accesibles. Hay varios parámetros establecidos como críticos para que un sistema solar presentar la mayor eficiencia posible (Alsema, De Wild-Scholten, & Fthenakis, 2006), (Kannan, Leong, Osman, Ho, & Tso, 2006), mostrando como punto principal las mejoras tecnológicas de los sistemas para minimizar el coste y el impacto ambiental de los sistemas solares.

Uno de los parámetros más significativos estudiados es la cantidad de irradiación que recibe un sistema fotovoltaico, (Blanc, y otros, 2008) (Granda, y otros, 2013), que determina la eficiencia y la viabilidad de uso de un sistema, ya sea móvil o estático (Sepúlveda, 2014) (Puentes, Medina, & Sánchez, 2012). Se ha demostrado el seguimiento de los paneles fotovoltaicos para determinar la eficiencia y de la captación de la radiación de los paneles solares, mediante el uso de espectrómetros, sensores meteorológicos, y de radiación (Kannan, Leong, Osman, Ho, & Tso, 2006) utilizados para medir la incidencia de la irradiación en sistemas fotovoltaicos estáticos (Blanc, y otros, 2008).

## CAPÍTULO 1

A continuación, se describe los objetivos propuestos para esta investigación, Posteriormente se abordan otras temáticas relacionadas con las características del alcance y justificación, para la obtención de resultados y las variables identificadas.

### 1.1. Objetivo General

Analizar el aprovechamiento de energía solar en la ciudad de Cuenca mediante la utilización de paneles solares en un sistema móvil de captación solar.

### 1.2. Objetivos Específicos.

- Investigar en diferentes artículos científicos técnicas similares como captación solar en sistemas móviles de paneles solares, para desarrollar este proyecto con las bases o fundamentos adecuados.
- Utilizar diferentes herramientas como patrón de medición con porcentajes de error mínimo, esto con el fin de verificar la medición de geolocalización, de irradiación y sensores de corriente.
- Implementación de sistemas electrónicos como sensores de corriente y de geolocalización para determinar la captación obtenida de irradiación solar por el módulo fotovoltaico y utilizar el GPS para realizar la observación de zonas críticas de medición.
- Estudiar los beneficios de la pantalla lcd electrónica con el objetivo de visualización en tiempo real de los índices de  $w/m^2$  obtenido en la trayectoria en tiempo real.
- Plantear un sistema de almacenamiento para la recolección de datos obtenidos por cada día de medición, mostrando los valores georreferenciales y los datos de radiación captada por el panel solar.

### **1.3. Alcance**

El objetivo del proyecto es desarrollar un prototipo funcional para medir la irradiación mediante un sistema electrónico de medición y recogida de datos que son tomados en tiempo real por geolocalización (GPS). Para ello, se propone desarrollar este sistema utilizando microcontroladores y sensores con el fin de poder realizar una primera demostración de un prototipo del sistema para determinar la eficiencia de los paneles solares en condiciones de captación móvil.

### **1.4. Justificación**

Este proyecto tiene importantes implicaciones para futuros trabajos sobre cualquier tipo de sistema de carga solar móvil. También mostrará la eficiencia de la autonomía de los paneles solares en situaciones favorables y desfavorables, debido a los diferentes factores presentes en la trayectoria.

Este proyecto permitirá comprobar qué zonas de la ciudad de Cuenca son las más eficientes energéticamente, además de la medición de  $w/m^2$ , esto con el fin de obtener referencias si es rentable emplear la energía solar como alternativa.

Este sistema puede aplicarse en cualquier lugar y es un importante punto de referencia para la futura implantación de sistemas solares en vehículos. Las cuestiones planteadas y la propuesta de sistema presentan una solución completa y posibilidades de aplicación.

Se debe tomar en cuenta que la energía solar debe tener suficientes  $w/m^2$  para poder abastecer de la misma a un lugar o sitio determinado.

## CAPÍTULO 2

Este capítulo detalla el marco teórico para el desarrollo de la presente investigación, la cual describe los principios de la energía renovable y el éxito que tienen como medio natural e ilimitado para la generación de energía limpia.

### 2. MARCO TEÓRICO

La radiación solar es la energía del sol que se abre paso en el espacio y se emite a la tierra para participar en los procesos atmosféricos y el clima. Esta radiación se describe como de onda corta, incrustada en la atmósfera que al entrar la radiación disminuye y al igual las nubes la reducen aún más (Benghanem, 2011).

Para tener en conocimiento todo lo referente a la energía de la radiación solar es de suma importancia por factores de diferentes áreas de la ciencia, entre ellas aplica la energía fotovoltaica, como una fuente alternativa altamente eficiente para generar electricidad aplicando nuevos diseños en edificaciones (Y. Zhu, 2020).

En Ecuador, se expande el conocimiento sobre sistemas alternos energéticos que provengan de la energía del sol, este crecimiento ha sido visible a nivel país; sin embargo, los sistemas fotovoltaicos en sistemas aislados o portátiles, ha sido una tendencia y un rápido crecimiento a pequeña escala (S. Saud, 2020) (Bellos, 2019).

La nueva tendencia mundial que en la actualidad ya es un hecho es el uso de las energías renovables (Robles & Rodríguez, 2018), propiamente amigable con nuestro planeta (medio ambiente), es por eso se debe incentivar el aprovechamiento de todas nuestras riquezas naturales (Vallesteros & Gallego, 2019) (Correa, González, & Pacheco, 2016). Las fuentes de energías renovables han tenido un éxito como tema principal regional y mundial para la

ejecución de agendas energéticas, gracias a sus contribuciones que benefician de manera ambiental, social y económica (Bertinat, 2016) (Barragán, Zalamea, Terrados, & Vanegas, 2019) (Genera, Ruiz, & Horta, 2020).

Teniendo en cuenta todo lo mencionado para contribuir al cambio de energías alternas como la generación de energía eléctrica (limpia) ha tomado un auge significativo a lo largo de estos años; pero la que más atrae a todas las personas son el uso de la energía solar, que se espera satisfacer para los diferentes aplicativos de las actividades humanas. “El creciente interés por las energías renovables se debe a que estas fuentes energéticas contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así como las emisiones de otros contaminantes locales”(Bertinat, 2016).

El desarrollo tecnológico e industrial a nivel mundial ha propiciado que actualmente se requieran grandes cantidades de energía para la producción de bienes y servicios, la cual se obtiene primordialmente del petróleo y sus derivados. En el entendido de que estos energéticos no son renovables, es prioritario el utilizarlos de forma racional y eficiente, al mismo tiempo que se desarrollan otras fuentes de suministro.

La energía renovable se encuentra en un alza en todos los continentes, esto se da como consecuencia del aumento del costo de los combustibles fósiles como el gas natural, petróleo, carbón y los problemas ambientales resultantes, como el excesivo consumo de los mismos, como la situación en las grandes ciudades. Problemas ambientales y emergencias causadas por el uso excesivo de automóviles. Fábricas, poniendo en riesgo la salud y la integridad física de

los residentes, en nuestra La continua erupción de volcanes en la zona también contribuyó a exacerbar.

Las ventajas de usar energía renovable como una solución son muy importante para el calentamiento global y la contaminación, la energía renovable se define como producida por medios naturales, esto quiere decir que no hay riesgo de que se agote.

## 2.1. Fuentes de energía

Se define como toda energía útil existente en nuestro medio o entorno de la naturaleza para así aprovechar esta energía en diferentes aplicaciones, sin causar efectos negativos al planeta tierra. Existen diferentes fuentes de energía, por lo cual se dividen en dos fases de energías como se detalla en la tabla 1.

*Tabla 1 Diferentes fuentes de energía renovable.*

Energías no-renovables	Energías renovables
El aprovechamiento de esta energía provoca contaminación por sus emisiones y residuos.	La energía generada no provoca contaminación hacia el medioambiente, más aún los insumos que se necesitan para obtenerla si (paneles solares inservibles).
Son energías con dependencia del exterior.	
Sus reservas son limitadas.	Son energías ilimitadas para su generación de electricidad (amigable).

Fuente (El autor).

### **2.1.1. Energías no renovables**

De acuerdo con (André, De Castro, & Cerdá, 2012), las energías no renovables contribuyen directamente al cambio climático, se caracteriza por ser una fuente totalmente limitada, se encuentran en la naturaleza, pero su sola existencia puede contaminar grandes cantidades de agua y suelos que no pueden ser aprovechados. A nivel mundial, se ha adoptado como uso principal fuentes energéticas no renovables (fuentes contaminantes) como combustibles fósiles, carbón y gas natural, entonces se vuelve una relación proporcional al obtener más energía por estos medios, incrementa directamente la emisión de carbono provocando serias complicaciones al planeta tierra (Elum & Momodu, 2017).

“Este residuo, causado por los combustibles fósiles, no puede ser reutilizado de ninguna manera; y, por lo tanto, causa la contaminación ambiental” (Apergis, Jebli, & Youssef, 2018). A estas fuentes de energía corresponden los combustibles fósiles y los combustibles nucleares.

### **2.1.2. Energías renovables**

Es posible definir todas estas fuentes energéticas como son “Energía proveniente del sol y de la Tierra (geotérmica) son las opciones, pero la energía del sol tiene una ventaja extra con respecto a otras dos fuentes la cual es ser renovable e ilimitada. Se pueden construir dispositivos solares de cualquier tamaño, pequeño que sea (hasta 0.5 Vatios y de 0.25 m<sup>2</sup>), y por ser tipo modular también se pueden ampliar. Esto daría la posibilidad de llevar energía a lugares remotos, áreas protegidas, donde no pueden instalarse proyectos convencionales y por ende podría electrificar el 100% del país (Nandwani, 2005).

Las energías renovables son energías que se consideran ilimitadas (Típan & De la Torre, 2021), esta fuente proporciona una contribución amigable con el medio ambiente, estas energías se

pueden obtener por varios factores existentes aquí en nuestra naturaleza como el sol o el viento, las cuales se mencionan a continuación:

- Energía mareomotriz
- Energía hidráulica.
- Energía eólica.
- Energía solar.
- Energía de la biomasa.

La energía solar tiene como virtud ser una fuente primordial para la existencia de la vida en el planeta Tierra, influye el crecimiento de las plantas por el efecto de la fotosíntesis, el sol produce una gran cantidad de radiación solar, sin embargo, a pesar de la distancia que existe entre nuestro planeta tierra y con respecto a la energía hidráulica, se logra captar una cantidad considerable para producir energía eléctrica, esta fuente de energía renovable es la principal que hoy en día se aplica en el área residencial, comercial e industrial, “la cantidad de radiación que llega a la Tierra es de  $1000\text{W/m}^2$  una vez que atraviesa la atmosfera y llega al suelo si el día despejado, la media a lo largo del año es de  $340\text{ W/m}^2$  (Espejo, 2004).

## **2.2. Reseña Histórica**

La primera vez de la que se tiene registro en el aprovechamiento de la energía de la radiación solar para la producción de más ganancia energética como fuente de energía limpia fue desarrollada por Euclides a través de un espejo cóncavo, se utilizó este principio para incendiar objetos concentrándolos en un solo punto por espejos cóncavos ver Figura 1.



*Figura 1 Primer aprovechamiento de la energía de la radiación solar.*

*Fuente: Pintura de Giulio Parigi. Galería de los Uffizi, Florencia. Representando el incendio de una nave romana utilizando un espejo ustorio de Arquímedes durante el sitio de Siracusa.*

Leonardo da Vinci también pensó en el uso del sol y en 1515 inició uno de sus muchos proyectos, que nunca llegó a completar. Su idea era construir un concentrador de 6 km de diámetro sobre un espejo cóncavo para la producción masiva de vapor y calor.

A mediados del siglo XVIII, Georges-Louis Leclerc (1707 - 1788), fascinado por las historias de la guerra de Siracusa y el espejo de Arquímedes, continuó sus investigaciones en el mismo campo. Empezó a utilizar 24 lentes de gafas y descubrió que, encendiendo una mezcla de betún y polvo de carbón, podía hacer fuego fácilmente a una distancia de 20 metros.

Varios siglos después, la idea de convertir la energía solar en electricidad se originó "hacia 1838, cuando el profesor W. Grills Adams y uno de sus alumnos, R. Evans Day, realizaron experimentos sobre el efecto de la luz en el selenio y comprobaron que se producía una corriente eléctrica, que denominaron fotoelectricidad.(Rasero, 2011)

Desde que se desarrolló el primer módulo fotovoltaico presentado en la Real Academia Prusiana, se ha demostrado que la energía solar puede utilizarse para convertir la energía luminosa en energía útil. (Rasero, 2011).

Basándose en este éxito, se decidió construir un dispositivo aún más ambicioso: ensambló 168 piezas de vidrio, trasladó el objetivo a 50 metros de distancia y lo volvió a quemar con facilidad. A continuación, creó su concentrador solar con 360 piezas de vidrio de 20 cm. Con este nuevo aparato, realizó varios experimentos y descubrió que, si concentraba la luz solar mediante 120 cristales en el combustible a una distancia de 6 metros, éste ardía inmediatamente. A la misma distancia, con 45 espejos podía fundir una vasija de barro y con 117 cristales podía fundir una moneda de plata Figura 2.

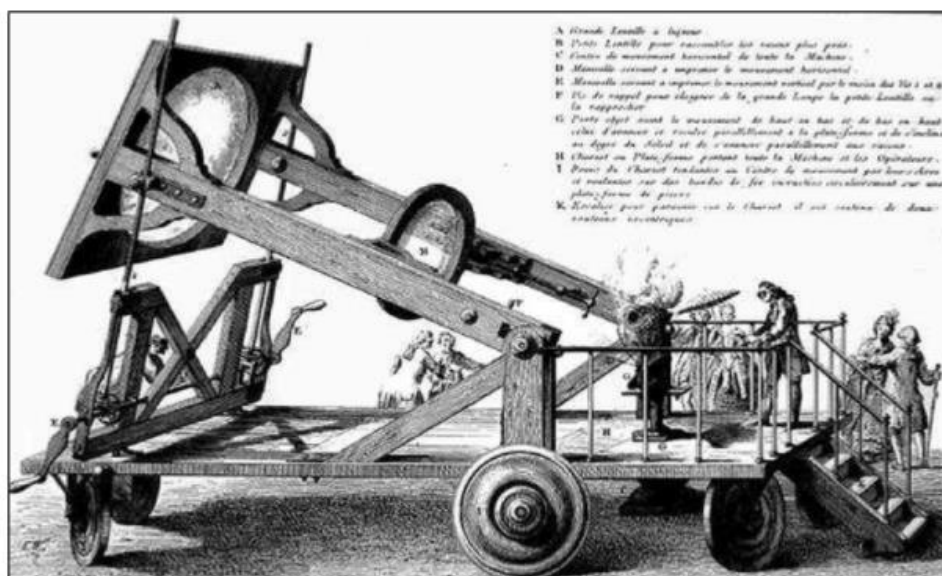


Figura 2 Horno Solar de Lavoser

Fuente: Biblioteca Nacional de Francia

Uno de los desarrollos más importantes en el campo de los colectores solares fue la construcción por parte de Mouchot, en el año 1895, de un horno reflector de geometría troncocónica con un diámetro de 2,2 metros. Primero se empleó para las calderas y luego para las bombas de las

fábricas. Una de las instalaciones más importantes construidas recientemente es el horno solar de Odeillo, construido en los años 60 (Figura 3).

Este horno es uno de los dos mayores hornos solares del mundo, con una potencia térmica de 1.000 kW. Este modelo ha permitido el desarrollo de la tecnología y los proyectos actuales, permitiendo desarrollar la aplicación de la energía solar concentrada (Trombe & Vinh, 2012).



*Figura 3 Horno Solar de Odeillo, Fuente: Trombe & Vinh,. (2012),.*

### **2.3.Aplicaciones**

La energía solar presenta una alta confiabilidad por ser una fuente inagotable, limpia, segura y que no genera residuos (Rúa-Ramírez, Mendoza-Jiménez, Torres-Suarez, Flórez-Serrano, & Serrano-Rico, 2021). Por esta razón se logra que avance con seguridad, las tecnologías aplicadas para mejorar y obtener mejor captación solar para aprovechar una gran cantidad de radiación solar convertida en energía eléctrica. Al ser una energía que se encuentra día a día en nuestro entorno, presenta versatilidad en múltiples aplicaciones como:

- Calefacción doméstica.
- Refrigeración.

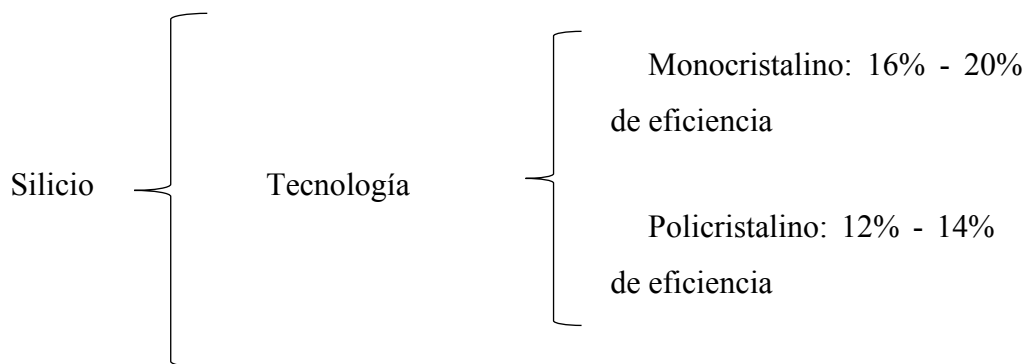
- Calentamiento de agua.
- Destilación.
- Generación de energía.
- Bombeo de agua.
- Fotosíntesis.
- Hornos solares.
- Cocinas.
- Evaporación.
- Acondicionamiento de aire.
- Control de heladas.
- Secado de hierbas y frutas.

En el aprovechamiento de energía solar en su totalidad, existe un mundo lleno de posibilidades para crecer en el mercado solar, las nuevas tecnologías solares, como su diseño, su peso, sus tipos de celdas, hacen que en la actualidad tengan un gran rendimiento y alta eficiencia para lograr una competitividad con el resto de energías existentes (Meinel & Meinel, 1982) (Rasero, 2011) (Gimeno, Seguí, & Orts, 2011).

#### **2.4. Tecnología Fotovoltaica**

Las tecnologías implementadas en las celdas fotovoltaicas han sido unas tecnologías de vanguardia, con periodo de vida útil entre 20 y 30 años (Gimeno, Seguí, & Orts, 2011).

Los paneles solares tienen las siguientes características mejoradas como:



Existen tipos de estructuras para la instalación, las cuales pueden ser más eficientes en la captación de energía solar a través de celdas fotovoltaicas existe dos tipos de estructuras que son:

- Estructuras fijas (Sobre el techo, poste, o mesa inclinada).
- Estructuras con seguimiento (mayor producción de captación solar, mayor costo de inversión y mantenimiento).

## 2.5. Constitución del Ecuador.

### 2.5.1. Normativas energías renovables Ecuador.

El ente regulador llamado CONELEC, emitió una regulación en el año del 2013, con el número 001/13 indica toda la intervención de generadores de energía eléctrica para aprovechar los recursos energéticos renovables que son para la energía eólica, solar termoeléctrica, corrientes marinas, biomasa, biogás y geotermia (Perez, 2014).

Para la aprobación de las energías renovables en el Ecuador, se identificó parámetros óptimos para brindar generación de energía limpia y sostenible hacia los ecuatorianos por medios de aplicativos de energía solar residenciales y comerciales, con el fin de garantizar y contribuir contra la afectación del cambio climático (Muñoz, Rojas, & Barreto, 2018).

La generación eléctrica ahora podrá ser más amigable con el medio ambiente, debido al avance tecnológico aprovechando los recursos naturales hídricos y solares, con una energía casi ilimitada, es por ello por lo que el Ecuador firmo un tratado comprometiéndose hacer 100% en energías renovables para el año 2050 (Verdezoto, Castro, Litardo, Cunha, & Soriano, 2019) (Fontalvo, Ramirez, & Constante, 2018).

### **2.5.2. Sustentabilidad en el sector eléctrico ecuatoriano.**

Como parte de la reforma de la matriz energética, se proponen los siguientes cambios: maximizar la contribución de las energías renovables al medio ambiente en todo el Ecuador.

- Reducir el consumo de aceite.
- Modificar las leyes de exportación para aumentar su valor añadido.
- Mejorar eficazmente los sectores del transporte y el tráfico.
- Minimizar las pérdidas de energía redistribuyéndola por todo el país.
- Maximizar la eficiencia del consumo de energía.

Estos proyectos a largo plazo tienen como objetivo desarrollar un plan soberano sostenible para Ecuador, incluyendo las fases de producción, distribución y transmisión. Con el desarrollo sostenible centrado en la eliminación de casi todos los impactos ambientales negativos, los productores de electricidad son uno de los principales impulsores del cambio, ya que son uno de los mayores consumidores de petróleo del mundo, que, junto con la lluvia ácida, está dañando la salud de las personas. Este problema ha llevado a replantear los sistemas de control de los niveles de contaminación y a desarrollar una nueva forma de producir energía respetuosa con el medio ambiente: biomasa, energía solar, hidroeléctrica o eólica. Gracias a esta nueva forma de producir energía, se produce una mejora continua del medio ambiente.

### 2.5.3. Normativa LRSE-13

Art.13.- Funciones y Facultades. Al CONELEC le corresponde: Que al definir las bases generales del mercado provisional aplicable a los mecanismos de compra y venta de energía en el territorio nacional. Para ello, también velará por el cumplimiento de los acuerdos celebrados entre la República del Ecuador y otros países u organismos internacionales relativos al sector eléctrico.

Desarrollar un plan maestro de electrificación, que abarque el sistema nacional interconectado y el sistema eléctrico no incorporado, que incluya un plan de referencia y se base en el uso óptimo de las fuentes naturales de energía del país. El plan tendrá una previsión a 10 años y se revisará anualmente, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

1. La demanda estimada de energía eléctrica, incluyendo las reservas técnicas propuestas, y la necesidad de garantizar el suministro según las características del mercado ecuatoriano.
2. La potencia que debe instalarse para satisfacer la demanda prevista y su distribución entre los distintos tipos de centrales eléctricas.
3. La incorporación real de nueva capacidad de generación.
4. Las instalaciones de transporte y distribución en función de las previsiones de demanda y de la ubicación de las centrales.
5. Las acciones necesarias para promover la mejora de los servicios prestados y la protección y conservación del medio ambiente.
6. La adopción de políticas específicas de eficiencia y conservación de la electricidad destinadas a optimizar la eficiencia del uso de la energía y a reducir las pérdidas en todas las fases.

7. Los proyectos que se ejecuten por el sector privado, dentro de la vigencia de sus respectivas autorizaciones.

Al elaborar el primer plan, la Compañía Nacional de Electricidad tendrá en cuenta el plan elaborado por la Compañía Nacional de Electricidad. En el futuro, la Compañía Nacional de Electricidad celebrará audiencias públicas para escuchar las opiniones de todas las partes interesadas.

## CAPITULO 3

### 3.1. Metodología

Para analizar la situación de la radiación en Cuenca, se desarrolló un sistema de recolección de datos de radiación durante los respectivos períodos de medición. Las pruebas se llevaron a cabo en rutas de autobús específicas con mucho tráfico y la recolección de datos duró una semana para obtener datos sobre las condiciones meteorológicas. Los datos de radiación se recogieron en julio, que es estadísticamente el peor mes del año en cuanto a radiación solar rondaba los  $432,21 \text{ w/m}^2$ .

En este apartado se describe con detalle todo el proceso desarrollado para obtener los datos de radiación necesarios, desde la formulación, simulación, primer prototipo, ejecución hasta la interpretación de los datos obtenidos de las respectivas mediciones.

### 3.2. Principio de Operación

El espectro electromagnético procedente del sol, captado por la superficie de planeta abarca diferentes longitudes de onda, como el ultravioleta (UV), el infrarrojo (IR), rayos X, rayos gamma, etc. Una célula fotovoltaica es capaz de captar sólo una parte del espectro electromagnético conocido como espectro de luz visible. Este espectro cubre una longitud de onda de 400 nanómetros a 700 nanómetros (Roper, 2016).

Para el desarrollo del sistema propuesto, se utiliza una célula fotovoltaica monocristalina. Los paneles de silicio monocristalino se caracterizan por una mayor eficiencia que sus homólogos, eficiencia del 15% al 22%, y además no se ven afectados por las altas temperaturas como los

policristalinos (Rúa-Ramírez, Mendoza-Jiménez, Torres-Suarez, Flórez-Serrano, & Serrano-Rico, 2021) en la Figura 4 se observan los datos técnicos del panel utilizado.

El objetivo principal del sistema propuesto es medir la radiación solar en vatios por metro cuadrado ( $w/m^2$ ) (Muñoz, Rojas, & Barreto, 2018), (Marique & Reiter, 2014). Para obtener estos datos el sistema utiliza sensores de corriente continua ACS712. El ISC (corriente de cortocircuito) del panel utilizado,  $ISC = 1,19$ . Para rangos más amplios de ISC se puede sustituir el módulo sensor por uno con un rango de corriente más amplio (15A-30A).

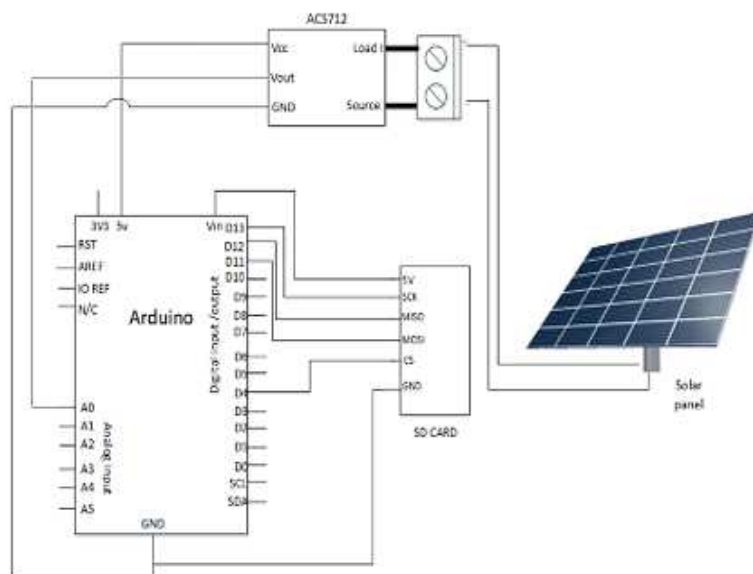


Figura 4 Esquema de conexión al módulo fotovoltaico

La Fig. 4 muestra el esquema inicial de funcionamiento del sistema (Güney, 2019) donde el valor de medición base para obtener la irradiación es la corriente de cortocircuito (ISC), proceso que se detalla en la sección 3.3

Los valores de corriente son interpretados por el módulo sensor de corriente como valores de tensión en mV. Esto es necesario ya que el microcontrolador trabaja con los valores de tensión de

0 a 5 V analógicos mediante el ADCL interpretarlos como valores enteros entre 0 y 1024 con una resolución de 4,9 mV por unidad.

PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS(STC)	
Maximum Power(Pmax)	20W
Maximum Power Current(Imp)	1.11A
Maximum Power Voltage(Vmp)	18V
Open Circuit Voltage(Voc)	21.6V
Short-Circuit Current(Isc)	1.19A
Max system voltage	1000V

STC: 1000W/M<sup>2</sup>, 25°C AM1.5

**DANGER!**  
 1. ELECTERIC SHOCK  
 The connection of two or more modules in series results in the accumulation of voltage and imposed danger.  
 2. WORK ON LIVE PARTS  
 When working on wiring, use and wear protective equipment (insulated tools, insulated gloves, etc)

**WARNING**  
 Refer to installation and operation manual before installing, operating or servicing this unit DO NOT connect or disconnect plug contacts while system is under load current. Failure to comply can result in a hazardous situation!

Figura 5 Ficha Técnica Panel Solar ZCS Modelo P-20W.

### 3.3. Formulación

Para el cálculo de la radiación e irradiación, la variable principal es la corriente de cortocircuito, considerada con ISC. Hay que tener en cuenta que este valor puede variar en función del factor climático, sin embargo, es posible utilizar los valores establecidos en la ficha técnica del panel.

$$ISC \approx 1.19 A$$

También hay que tener en cuenta las tensiones que recibe el sensor de corriente. Para precisión de la lectura y la interpretación de los datos, se requieren dos constantes para los cálculos respectivos. La primera constante es el valor medio de la tensión del módulo (mMv) que representa la tensión media de alimentación del sensor. Para una alimentación de 5V es de 2500mV y para

una alimentación de 3V de 1650mV. Como segunda constante el valor de la tensión de alimentación del sensor (mSv) para esta variable se considera el valor de 5000mV para la alimentación.

$$mMv = 2500 mV$$

$$mSv = 5000 mV$$

Como se ha mencionado anteriormente, el módulo sensor de corriente sólo es capaz de medir valores de tensión en mV. Por lo tanto, para obtener los valores de corriente a partir de los valores de tensión se requiere una constante de relación para interpretar los valores. Esta variable se establece como milivoltios por valor de amperaje (mVpA), este valor depende del módulo utilizado, para un sensor de corriente de 5A tendrá un valor de 185mV, es decir, 1A equivale a 185mV.

$$mVpA = 185 mV$$

A continuación, el procedimiento de formulación será el siguiente:

$$MCA = CEA - \left( \frac{mMv}{mSv} * 1024 \right)$$

Donde:

*MCA = Muestra de corriente actual.*

*CEA = Corriente de entrada analógica.*

Se almacenarán las lecturas actuales y se obtendrá un promedio general de las muestras tomadas, una muestra por milisegundo para obtener la corriente final. Entonces tendrá las siguientes formulaciones:

$$I_{final} = \frac{\left( \frac{I_{promedio}}{1024} * mSv \right)}{mVpA}$$

$$Irradiación = \frac{I_{final}}{ISC * 1000}$$

Finalmente obtenemos la irradiación acumulada por día:

$$Irradiación_{acumulada} = \frac{I_{final}}{3600 * \frac{Irradiación_{periodo}}{1000}}$$

El período de irradiación se refiere al tiempo durante el cual se realizan las mediciones. Estas fórmulas se han implementado en el programa (Típan & De la Torre, 2021).

### **3.4. Programación**

Al tratarse de un equipo prototipo, se emplea el software AIDLE para su desarrollo. El programa principal se centra en el análisis de la medición de la radiación solar (Gimeno, Seguí, & Orts, 2011). La programación se realizó con un enfoque de tareas y decisiones como se muestra en la Figura 6.

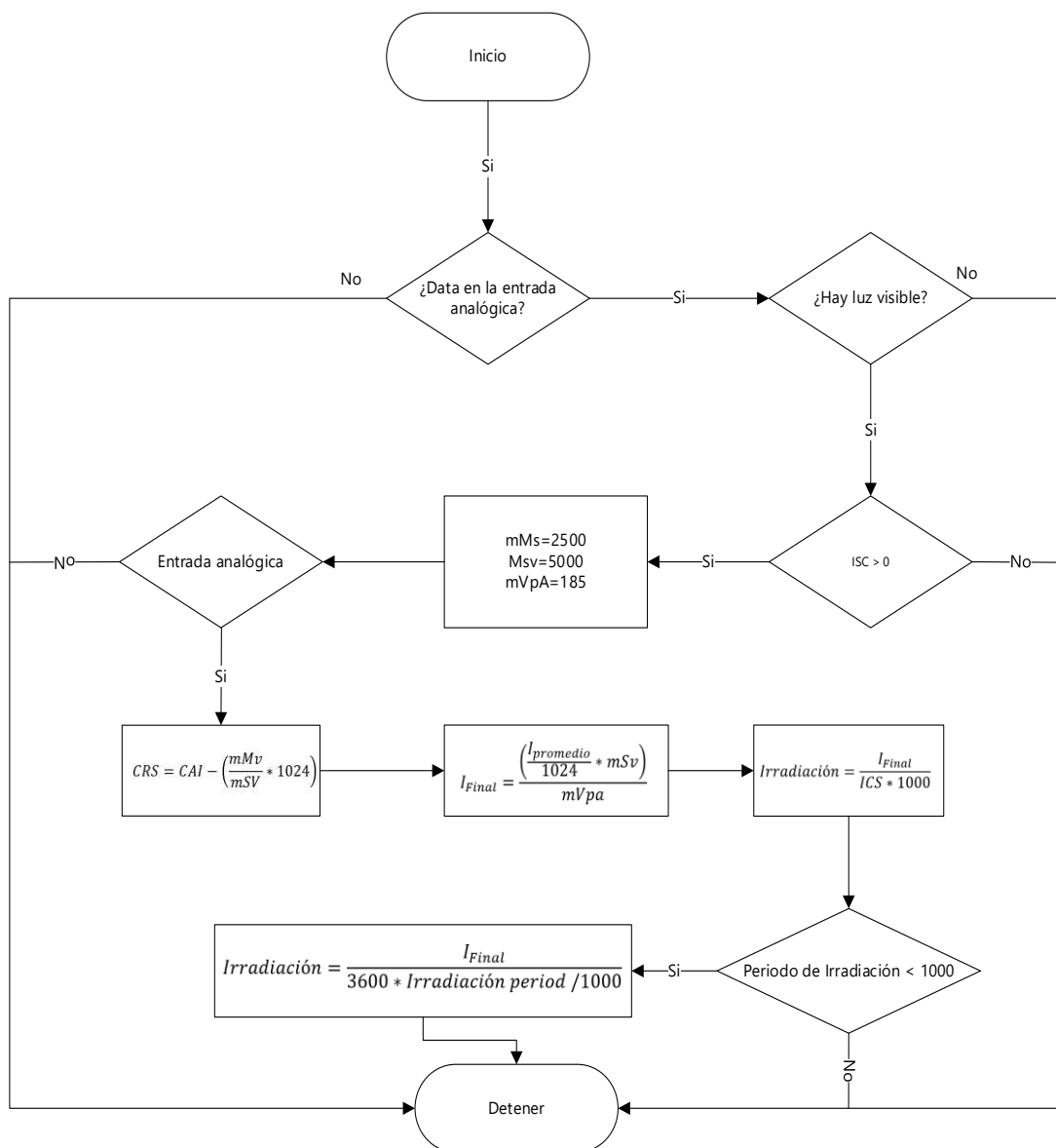


Figura 6 Diagrama de flujo del proceso matemático.

### 3.5. Diseño y Elaboración

Previo a la implementación del sistema en la unidad móvil, se realizó una prueba de funcionamiento para verificar que el sistema tiene las medidas correctas. El sensor utilizado para el prototipo desarrollado es el ACS712.

Para la corriente ISC, se utilizó un multímetro digital para medir la corriente de cortocircuito real proporcionada por el panel en condiciones de alta incidencia solar (Rúa-Ramírez, Mendoza-Jiménez, Torres-Suarez, Flórez-Serrano, & Serrano-Rico, 2021). Las medidas obtenidas fueron  $ISC = 1.51A$  (Ver Fig.5), las medidas presentaron valores oscilantes entre 1.10 y 1.53 A, la ficha técnica indica un  $ISC = 1,19 A$  (Ver Figura 5).

La corriente real requerida por el sistema se verificó midiendo la irradiancia con un piranómetro. Mediante el uso del piranómetro es posible verificar los valores de irradiancia medidos con el instrumento estándar (Apogee MP-200) (Apergis, Jebli, & Youssef, 2018) frente a los del prototipo. En esta verificación, se ha utilizado una corriente de cortocircuito de  $ICS= 1,32 A$  para la adquisición de datos.



(a)

(b)

Figura 7 Instrumentos de medición. (a) Multímetro Fluke, (b) Piranómetro

### 3.5.1. Recolección de datos

Para las mediciones se seleccionan una ruta de autobuses urbanos por la ciudad de Cuenca. Concretamente la ruta Trigales - San Joaquín. Esta ruta presenta varias características que permiten tipificar los obstáculos de sombra que influyen directamente en el panel solar. En concreto el centro

histórico de la ciudad (calles estrechas y oscuras) y la zona moderna con condiciones óptimas para el aprovechamiento de la energía solar (avenidas anchas y despejadas en altura).

El proceso de recogida de datos se llevó a cabo a lo largo del mes julio del 2021 cuya irradiación fue 432,21 w/m<sup>2</sup>. Una vez calibrado el sistema, se implanta en una unidad móvil para realizar las rutas establecidas previamente. El montaje del sistema en la unidad móvil se puede ver a continuación (Figura. 8). Con el sistema montado, se procedió a la toma de datos, los cuales fueron recogidos durante un horario de 8:00am a 16:00pm. Durante este tiempo, el sistema pudo realizar la ruta establecida un total de 4 veces al día. El sistema almacena los datos de irradiación cada segundo, presentando así una base de datos muy grande.



 Trayectoria

Figura 8 Trayectoria utilizada para la obtención de los datos en la Ciudad de Cuenca.

Fuente: Google Earth Pro

## CAPITULO 4

### 4.1. Análisis y Resultados

En el desarrollo de este capítulo se expondrán los resultados obtenidos con su respectivo análisis. Partiendo de la descripción del lugar de donde se recolectan los datos, puntualizando los lugares claves y horas de mayor radiación de acuerdo con las trayectorias realizadas.

### 4.2. Estudio de viabilidad solar en la trayectoria establecida

En la ciudad de Cuenca, se determinó un estudio de viabilidad solar para la recolección de datos de un panel fotovoltaico en movimiento, dicha recolección se realizó en el mes de julio cuya finalidad fue averiguar cómo los factores influyen en los datos y la forma en la que el panel solar afronta estos problemas (ver Tabla 2).

*Tabla 2 Descriptivo de los sectores analizados de Cuenca*

Trayectoria en la ciudad de Cuenca	
Sectores	Observaciones
San Joaquín	La zona establecida cuenta con doble carril en ambas direcciones, no cuenta con obstáculos viales, lo cual es óptimo para la recolección de radiación solar.
Ordoñez Lasso	La zona establecida cuenta con doble carril en ambas direcciones, cuenta con obstáculos viales, pero no tan frecuentes, lo cual es óptimo para la recolección de radiación solar.

---

Américas - Sangurima	La zona establecida cuenta con tres carriles en ambas direcciones, no cuenta con obstáculos al ser amplia la vía, lo cual es óptimo para la recolección de radiación solar.
Sangurima	La zona establecida cuenta con la presencia de obstáculos viales continuos como edificaciones, lo cual no es óptimo para la recolección de radiación solar.
Pio Bravo	La zona establecida, cuenta con obstáculos viales continuos como edificaciones y el ancho de vía es angosto, lo cual no es óptimo para la recolección de radiación solar.
Gil Ramírez Dávalos	La zona establecida cuenta con dos carriles en ambas direcciones, cuenta con obstáculos de edificaciones, árboles y letreros, pero no son tan frecuentes, lo cual es óptimo para la recolección de radiación solar.
Américas – Parque Industrial	La zona establecida cuenta con tres carriles en ambas direcciones, no cuenta con obstáculos al ser amplia la vía, lo cual es óptimo para la recolección de radiación solar.
Camino a Patamarca	La zona establecida cuenta con dos carriles en ambas direcciones, no cuenta con obstáculos al ser amplia la vía, lo cual es óptimo para la recolección de radiación solar.
Orquídeas	La zona establecida cuenta con un carril en ambas direcciones, pero angostas, cuenta con obstáculos en la vía que son las edificaciones, lo cual no es óptimo para la recolección de radiación solar.

---

---

Trigales - Altos	La zona establecida cuenta con un carril en ambas direcciones, si cuenta con obstáculos en la vía, por alta presencia de edificaciones, lo cual es no óptimo para la recolección de radiación solar.
------------------	--

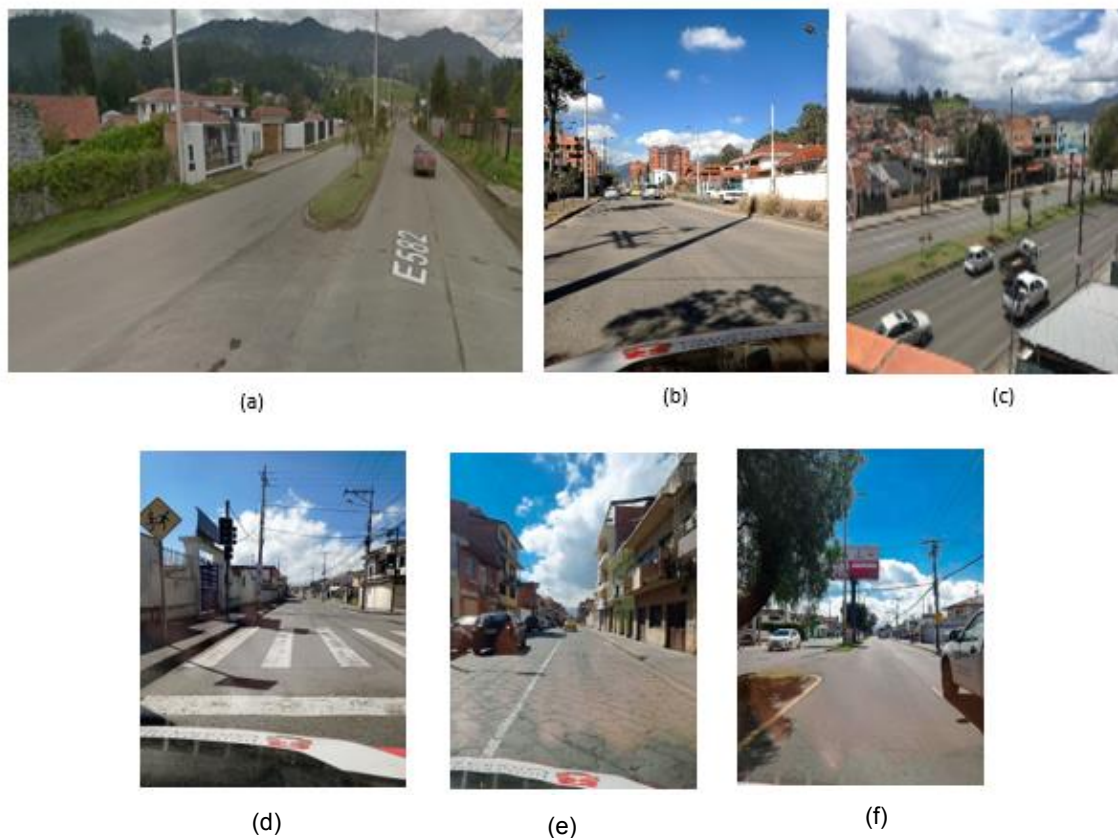
---

Fuente: Elaboración propia

Según se puede evidenciar en la Tabla 2, los sectores analizados a detalle para la investigación fueron diez, los cuales cumplen las siguientes condiciones:

- Alto índice de obstáculos.
- Medio índice de obstáculos.
- Bajo índice de obstáculos.

Según estas características se puede determinar zonas con mayor y menor captación de radiación solar ( $w/m^2$ ). Los sectores que contengan menor presencia de edificaciones serán los de mayor relevancia (ver Figura 9).



*Figura 9 Trayectoria establecida en la ciudad de Cuenca los sectores fueron: a) San Joaquín, b) Av. Ordoñez Lasso, c) Av. Las Américas, d) Sangurima, e) Pío Bravo y f) Av. Gil Ramírez Dávalos.*

Se visualizará el comportamiento sobre el tiempo, la radiación en ( $w/m^2$ ), la hora en tiempo real y la geolocalización para determinar las zonas de mayor y menor influencia de captación solar.

En la Tabla 3, se presentará el detalle de los sectores analizados, identificando las diferentes condiciones que determinan a un óptimo aprovechamiento de energía solar captado por el panel fotovoltaico.

Tabla 3 Detalle del ancho de vía y altura de edificaciones

<b>Nombre del Sector</b>	<b>Nombre de las calles</b>	<b>Ancho de vía (m)</b>	<b>Altura de edificaciones</b>	
<b>San Joaquín</b>	Av. Cuenca – Molleturo - Naranjal	20	<10m	
	Monseñor Leónidas Proaño	10	<10m	
	<b>Av. Ordoñez Lasso</b>	Av. Ordoñez Lasso	12	≥ 10m o < 30m
	<b>Av. Américas</b>	Av. Américas	28.5	≥ 10m o < 30m
<b>Sangurima</b>	Sangurima	5.08	≥ 10m o < 30m	
	Pio Bravo	5.51	≥ 10m o < 30m	
<b>Pio Bravo</b>	Miguel Vélez	4.10	≥ 10m o < 30m	
	<b>Av. Gil Ramírez Davalos</b>	Av. Huayna Cápac	8.47	≥ 10m o < 30m
<b>Davalos</b>	Av. Elia Liut	6.07	≥ 10m o < 30m	

	Calle Vieja	4.48	<10m
	Av. Turuhuayco	4.22	$\geq 10m$ o < 30m
<b>Vía a Patamarca</b>	Paseo Rio	7.09	
	Machángara		$\geq 10m$ o < 30m
	Camino a Patamarca	5.38	$\geq 10m$ o < 30m
<b>Orquídeas</b>	San Silvestre	6.28	$\geq 10m$ o < 30m
	X Juegos Bolivarianos	12.5	<10m
<b>Trigales Altos</b>	Ernesto Álvarez	7.8	$\geq 10m$ o < 30m
	Vicente Alvarado	6.8	$\geq 10m$ o < 30m

Fuente: Elaboración propia basado en Google Maps.

#### 4.2.1. Consolidado de datos de los días analizados

En este apartado se presenta de manera resumida los datos obtenidos durante siete días del mes de julio del año 2021. Se muestra en la Grafica 1, la variación dada en la radiación de acuerdo con los días analizados y a los sectores seleccionados para esta investigación.

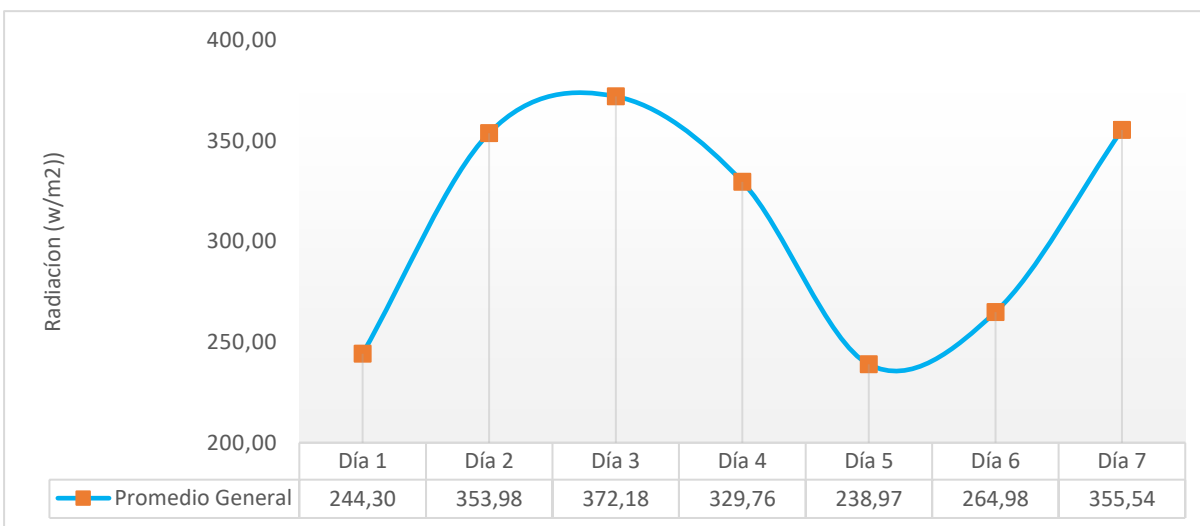


Gráfico 1 Promedio diario de radiación

De acuerdo con el Gráfico 1 se puede evidenciar el promedio de radiación dado a lo largo de una semana, donde resaltan los días 5, 4, 3 descritos a continuación:

- Día 5: presenta el promedio de radiación menos favorable.
- Día 4: presenta el promedio de radiación medio favorable.
- Día 3: presenta el promedio de radiación más favorable.

Es importante recalcar, que existen varios factores que influyen en la captación de radiación a lo largo de la trayectoria. Dichos factores serán analizados con la información del Gráfico 2.

En la información sobre las trayectorias se puede ver la presencia de obstáculos (sombra), lo que provoca que el rendimiento del panel solar se vea afectado. Los lugares donde las vías son anchas generan la incidencia total esperada de radiación solar. Se han caracterizado por zonas en la ciudad de Cuenca, la implementación de un geo-localizador es para obtener las variantes exactas

en donde un panel solar puede ser óptimo para su aplicación o no favorecer en aplicaciones solares, estas zonas serán descritas a continuación, con la finalidad de estudiar y garantizar el debido funcionamiento de una celda solar en movimiento ante condiciones climáticas y por sombras de edificaciones.

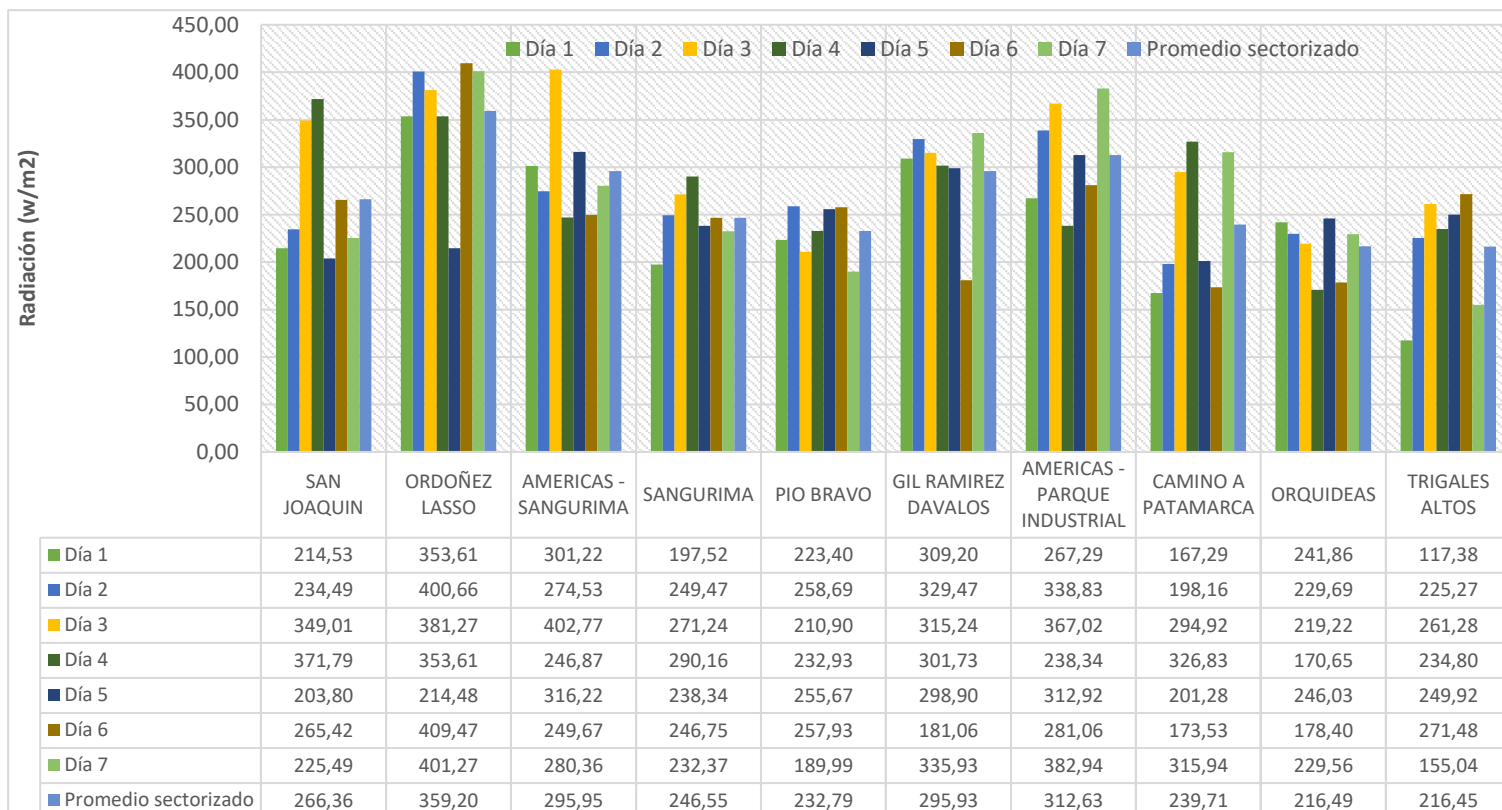


Gráfico 2 Radiación promedio establecida por sectores diarios

El Gráfico 2 presenta un análisis más detallado del comportamiento diario de las trayectorias escogidas, es importante mencionar que los sectores indicados anteriormente cuentan con la presencia de obstáculos viales que afectan directamente a la captación de radiación solar para el aprovechamiento de los paneles fotovoltaicos. Se puede apreciar que los datos varían en diferentes sectores, siendo las zonas con mayor índice de captación de radiación solar las siguientes:

- Av. Ordoñez Lasso.
- Av. Américas – Sangurima.

- Av. Américas – Parque Industrial.
- Av. Gil Ramírez Davalos.

Este análisis permite evidenciar sectores con mayor presencia de obstáculo vial siendo las zonas con menor índice de captación de radiación solar las siguientes:

- Calle Gaspar Sangurima.
- Pio Bravo.
- Orquídeas.
- Trigales.

Son lugares con mayores edificaciones que provocan escasez de radiación directa, debido a que pertenecen a zonas viales reducidas. Se puede observar en el Gráfico 3, los diferentes análisis por zonas de manera diaria para establecer el comportamiento de captación de radiación solar.

#### 4.2.2. Trayectoria día 1

De acuerdo con el Gráfico 3, se muestran los datos obtenidos del día total desde las 10 am hasta las 16:30pm, considerando un día nublado, con un promedio de 250 w/m<sup>2</sup>, donde se indica como en algunas zonas varia la radiación captada por el panel solar debido a la presencia de obstáculos en la vía como: arboles, señalización, edificaciones y factores climáticos

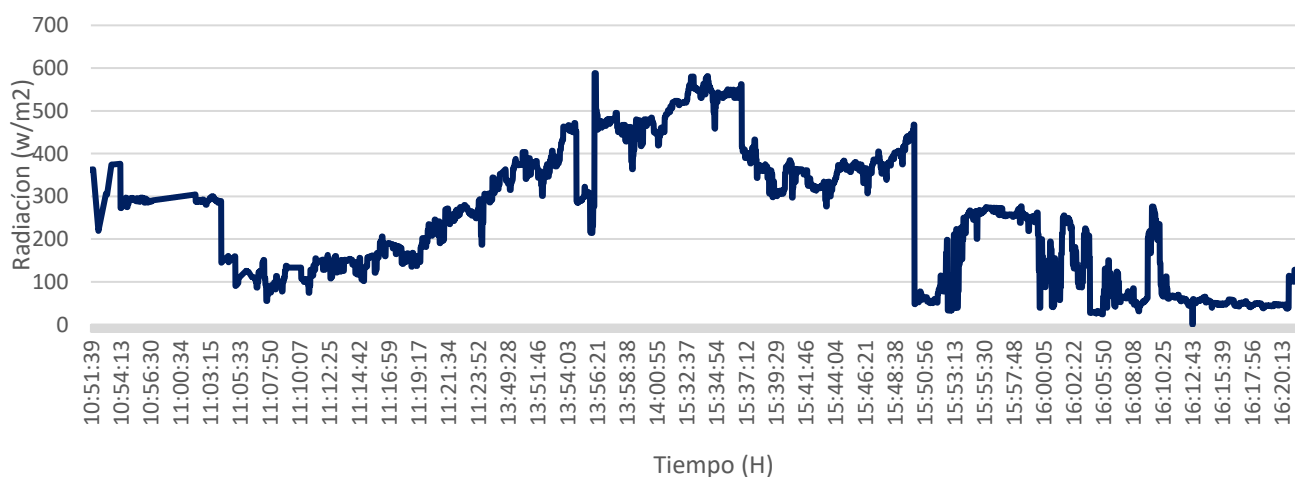


Gráfico 3 Análisis de recolección de datos en un clima de día soleado

Según lo expuesto en el Gráfico 3, se presenta lo siguiente:

- Se evidenció que desde las 10:00 am se obtuvo un valor de 302,28 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 11:00 am se obtuvo un valor de 182,02 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 13:00 am se obtuvo un valor de 389,92 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 14:00 am se obtuvo un valor de 460,44 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 15:00 am se obtuvo un valor de 339,27 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 16:00 am se obtuvo un valor de 83,923 w/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.3. Trayectoria día 2

De acuerdo con el Gráfico 4 se puede evidenciar como se obtuvieron los datos del día total desde las 8:37am hasta las 16:30pm, estos resultados son en base a un día con excelentes condiciones meteorológicas, prácticamente un clima soleado, con un promedio de 700 w/m<sup>2</sup>, donde se indica como en algunas zonas varía la radiación captada por el panel solar debido a la presencia de obstáculos en la vía como: arboles, señalización, edificaciones y factores climáticos.

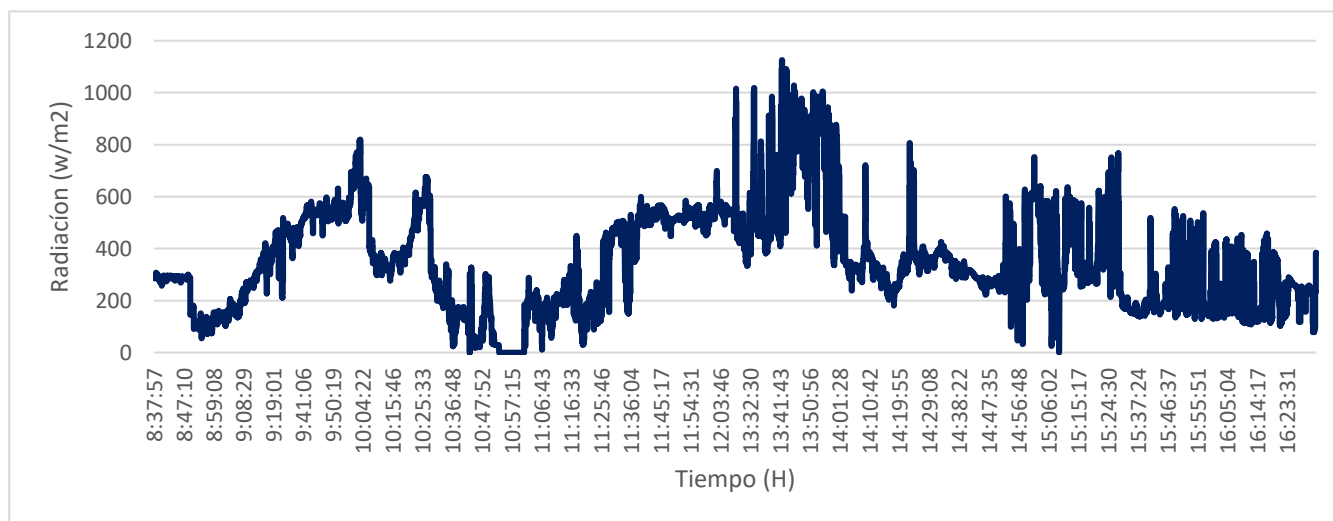


Gráfico 4 Análisis de recolección de datos en un clima de día soleado

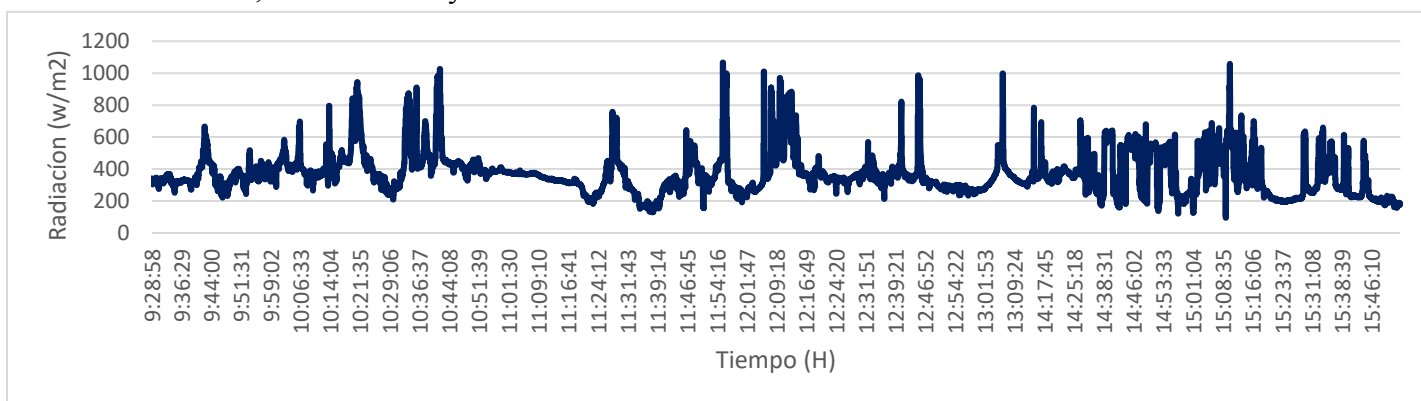
Según lo expuesto en el Gráfico 4, se presenta lo siguiente:

- Se evidenció que desde las 08:00 am se obtuvo un valor de 214,49 w/m<sup>2</sup>.

- Se evidenció que desde las 09:00 am se obtuvo un valor de 400,66 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 10:00 am se obtuvo un valor de 348,93 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 11:00 am se obtuvo un valor de 460,44 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 12:00 am se obtuvo un valor de 550,13 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 13:00 am se obtuvo un valor de 683,56 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 14:00 am se obtuvo un valor de 337,59 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 15:00 am se obtuvo un valor de 324,13 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 16:00 am se obtuvo un valor de 224,61 w/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.4 Trayectoria día 3

De acuerdo con el Gráfico 5, se puede evidenciar como se obtuvieron los datos del día total desde las 09:00am hasta las 15:00pm, estos resultados son en base a un día, prácticamente un clima parcialmente soleado, con un promedio de 448 w/m<sup>2</sup>, donde se indica como en algunas zonas varia la radiación captada por el panel solar debido a la presencia de obstáculos en la vía como: arboles, señalización, edificaciones y factores climáticos.



*Gráfico 5 Análisis de recolección de datos en un día parcialmente soleado*

Según lo expuesto en el Gráfico 5 , se presenta lo siguiente:

- Se evidenció que desde las 09:00 am se obtuvo un valor de 355,90 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 10:00 am se obtuvo un valor de 448,84 w/m<sup>2</sup>.

- Se evidenció que desde las 11:00 am se obtuvo un valor de 460,44 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 12:00 am se obtuvo un valor de 550,13 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 13:00 am se obtuvo un valor de 683,56 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 14:00 am se obtuvo un valor de 337,59 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 15:00 am se obtuvo un valor de 324,13 w/m<sup>2</sup>

#### 4.2.5 Trayectoria día 4

De acuerdo con el Gráfico 6 se puede evidenciar los datos del día total desde las 09:00am hasta las 15:00pm, estos resultados son en base a un día parcialmente nublado, con un promedio de 450 w/m<sup>2</sup>, donde se indica la variación de la radiación captada por el panel solar debido a la presencia de obstáculos en la vía como: arboles, señalización, edificaciones y factores climáticos.

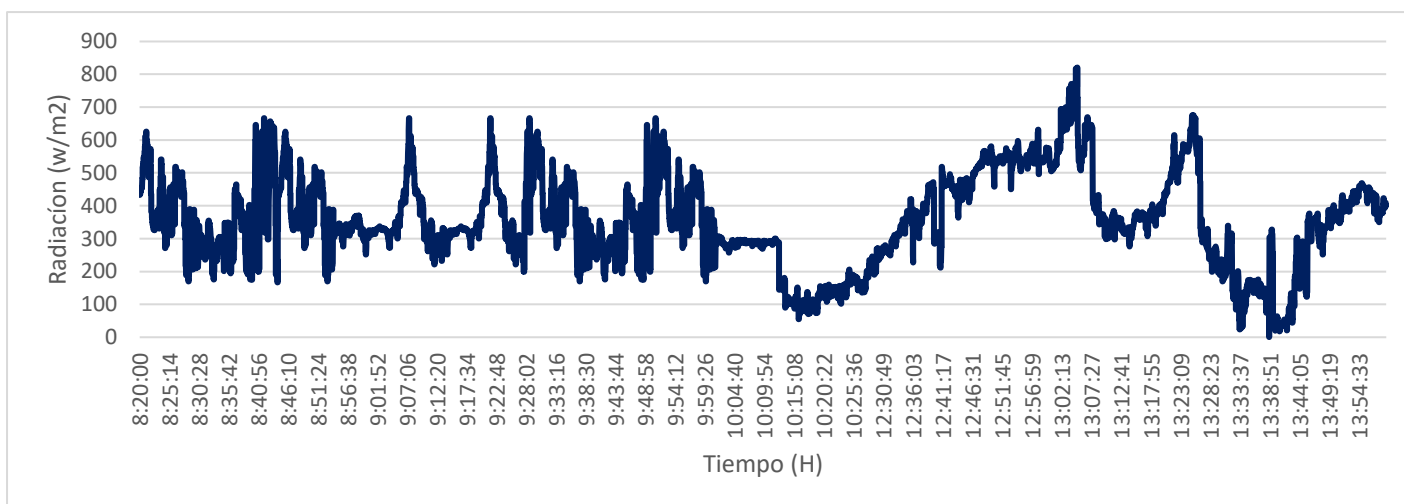


Gráfico 6 Análisis de recolección de datos en un clima de día parcialmente nublado

Según lo expuesto en el Gráfico 6, se presenta lo siguiente:

- Se evidenció que desde las 08:00 am se obtuvo un valor de 370,71 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 09:00 am se obtuvo un valor de 368,04 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 10:00 am se obtuvo un valor de 202,73 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 12:00 am se obtuvo un valor de 449,82 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 13:00 am se obtuvo un valor de 357,42 w/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.6. Trayectoria día 5

De acuerdo con el Gráfico 7, se exponen los datos del día total desde las 09:00am hasta las 16:00pm, estos resultados son en base a un día nublado - lluvioso, con un promedio de 294w/m<sup>2</sup>. Se puede observar la radiación captada por el panel solar, cuyas variaciones son debido a la presencia de obstáculos en la vía como: arboles, señalización, edificaciones y factores climáticos.

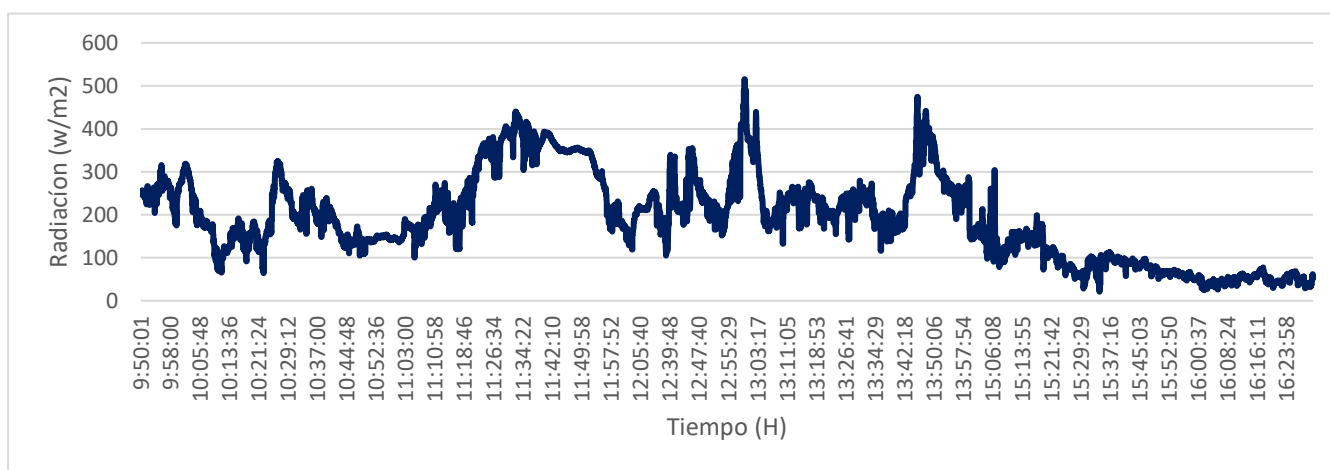


Gráfico 7 Análisis de recolección de datos en un clima de día parcialmente soleado

Según lo expuesto en el Gráfico 7, se presenta lo siguiente:

- Se evidencio que desde las 09:00 am se obtuvo un valor de 250,63 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidencio que desde las 10:00 am se obtuvo un valor de 178,63 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidencio que desde las 11:00 am se obtuvo un valor de 294,75 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidencio que desde las 12:00 am se obtuvo un valor de 232,54 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidencio que desde las 13:00 am se obtuvo un valor de 248,11 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidencio que desde las 15:00 am se obtuvo un valor de 101,51 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidencio que desde las 16:00 am se obtuvo un valor de 48,08w/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.7. Trayectoria día 6

De acuerdo con el Gráfico 8 se puede evidenciar como se obtuvieron los datos del día total desde las 08:00am hasta las 15:00pm, estos resultados son en base a un día nublado, con un promedio de 409,47 w/m<sup>2</sup>, donde se indica como en algunas zonas varia la radiación captada por el panel solar debido a la presencia de obstáculos en la vía como: arboles, señalización, edificaciones y factores climáticos.

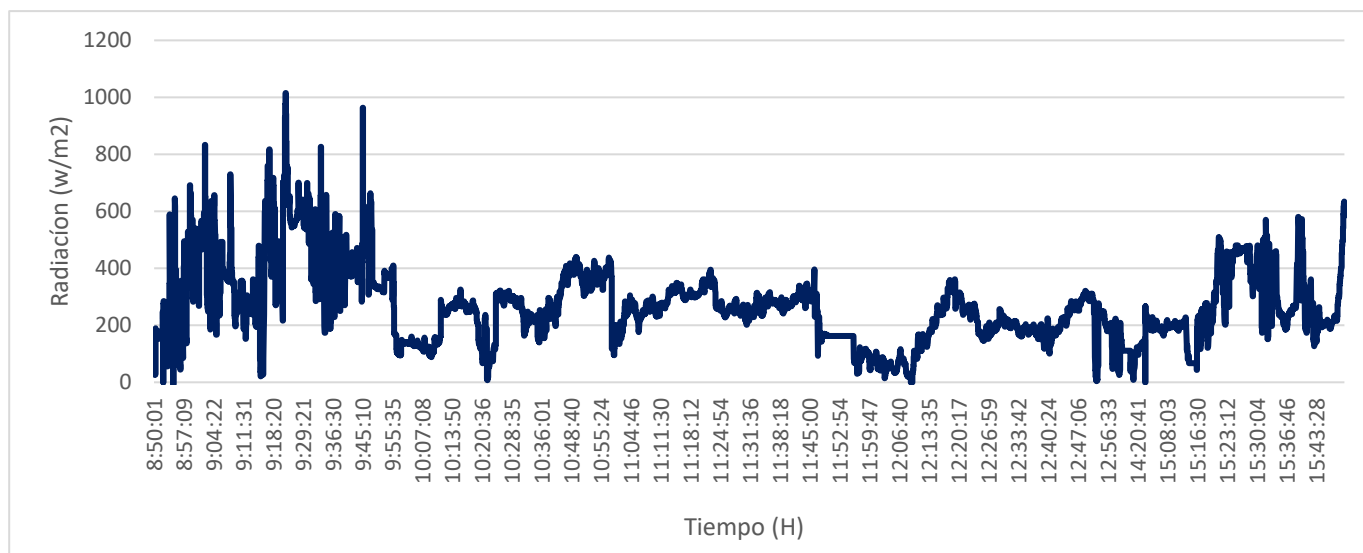


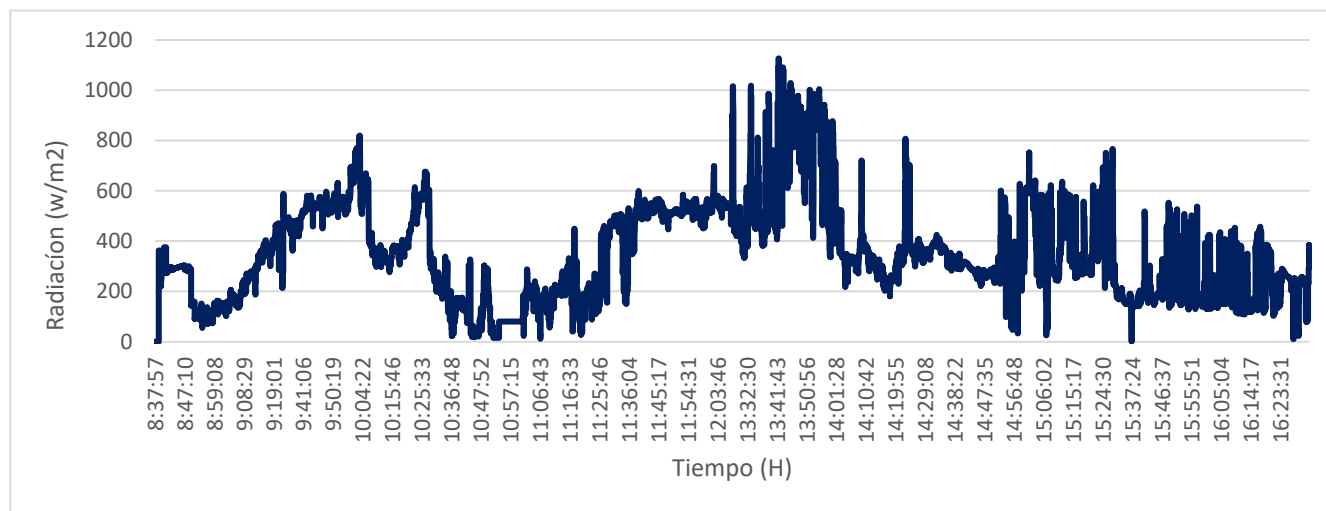
Gráfico 8 Análisis de recolección de datos en un día nublado - lluvioso

Según lo expuesto en el Gráfico 8, se presenta lo siguiente:

- Se evidenció que desde las 08:00 am se obtuvo un valor de 265,41 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 09:00 am se obtuvo un valor de 409,47 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 10:00 am se obtuvo un valor de 249,67 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 11:00 am se obtuvo un valor de 246,74 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 12:00 am se obtuvo un valor de 181,06 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 14:00 am se obtuvo un valor de 102,59 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 15:00 am se obtuvo un valor de 280,52w/m<sup>2</sup>.

#### 4.2.8. Trayectoria día 7

De acuerdo con el Gráfico 9 se puede evidenciar como se obtuvieron los datos del día total desde las 08:00am hasta las 16:00pm, estos resultados son en base a un día parcialmente soleado, con altos índices de radiación, y un promedio de 683,83 w/m<sup>2</sup>, donde se indica como en algunas zonas varia la radiación captada por el panel solar debido a la presencia de obstáculos en la vía como: arboles, señalización, edificaciones y factores climáticos.



*Gráfico 9 Análisis de recolección de datos en un clima soleado altamente favorable*

Según lo expuesto en el Gráfico 9, se presenta lo siguiente:

- Se evidenció que desde las 08:00 am se obtuvo un valor de 225,48 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 09:00 am se obtuvo un valor de 401,27 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 10:00 am se obtuvo un valor de 280,36 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 11:00 am se obtuvo un valor de 350,36 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 12:00 am se obtuvo un valor de 550,13 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 13:00 am se obtuvo un valor de 683,83 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 14:00 am se obtuvo un valor de 336,97 w/m<sup>2</sup>.
- Se evidenció que desde las 15:00 am se obtuvo un valor de 324,19 w/m<sup>2</sup>.

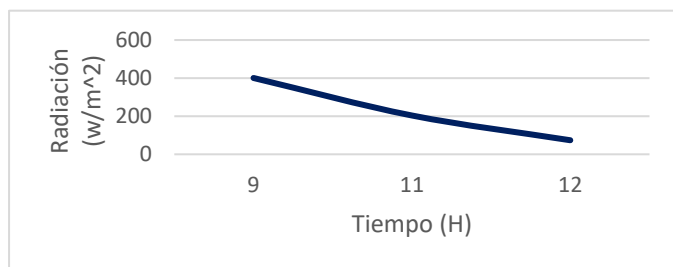
- Se evidenció que desde las 16:00 am se obtuvo un valor de 224,59 w/m<sup>2</sup>.

### **4.3. Análisis de la base de datos con respecto a la estructura urbana**

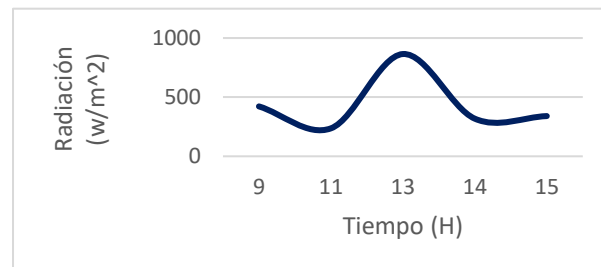
A lo largo de esta sección, se presentará el análisis realizado a la radiación presentada de acuerdo los sectores más representativos como son la Av. Ordoñez Lasso, Av. Gil Ramírez Dávalos, Calle Pío Bravo, Calle Sangurima y Av. Américas.

#### **4.3.1 Zona 1: Av. Ordóñez Lasso**

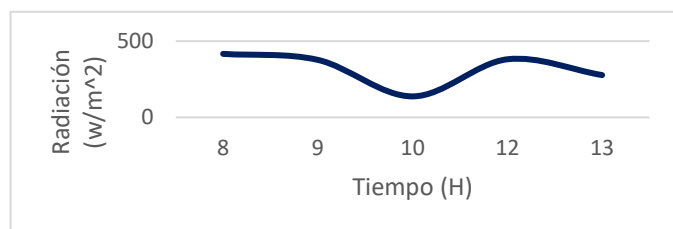
Se destaca por ser una avenida con frecuente afluencia de vehículos, tiene un tramo amplio con edificaciones alejadas de la avenida, esto permite una mejor captación de la radiación solar por los paneles fotovoltaicos. Se observa que, en esta vía a pesar de los obstáculos existentes, que proporcionan sombra vial para la recolección de radiación solar, los paneles solares fotovoltaicos captaron tres diferentes gráficos en diferentes tipos de condiciones climáticas que se visualiza en el Gráfico 10.



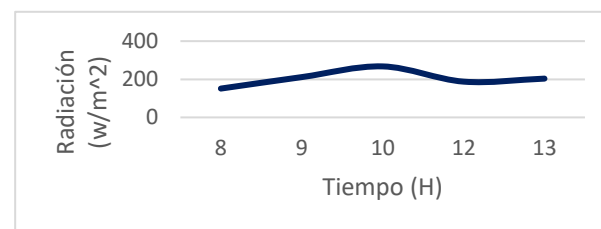
(a)



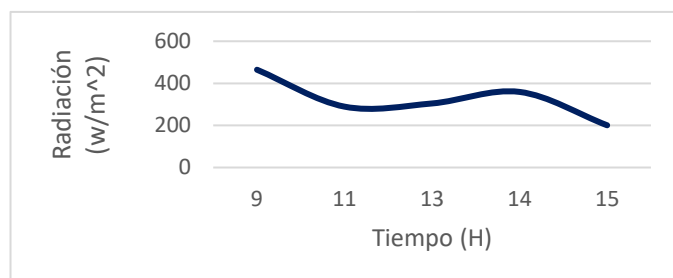
(b)



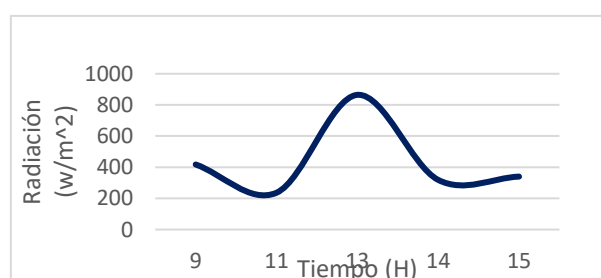
(c)



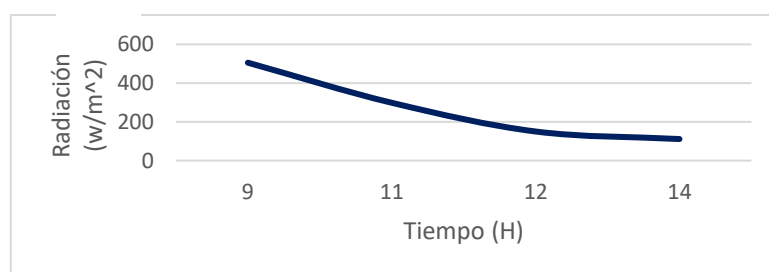
(d)



(e)



(f)



(g)

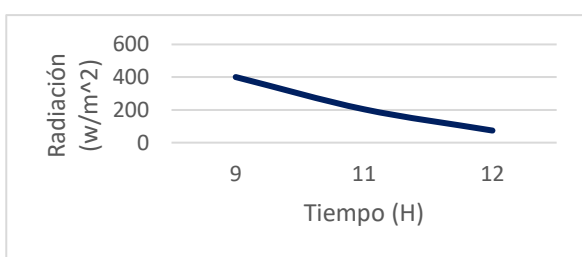
Gráfico 14 Sector Av. Ordoñez Lasso a) zona 1 del día 1, b) zona 1 del día 2, c) zona 1 del día 3, d) zona 1 del día 4, e) zona 1 del día 5, f) zona 1 del día 6, y g) zona 1 del día 7

Según lo expuesto en el Gráfico 10, indica como un panel solar fotovoltaico puede ser ventajosamente aplicado en condiciones meteorológicas propicias (soleado), obteniendo en un día

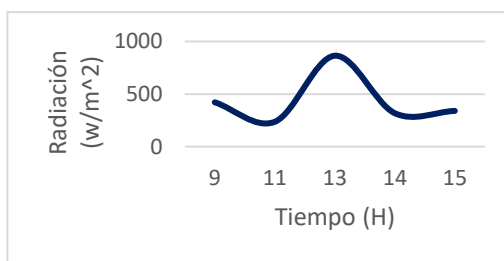
soleado un promedio de radiación solar de  $356 \text{ w/m}^2$ , en un día parcialmente soleado un promedio de radiación solar de  $264,5 \text{ w/m}^2$  y en condiciones meteorológicas adversas (nublado) obteniendo en un día nublado un promedio de radiación solar de  $191,4 \text{ w/m}^2$ .

#### 4.3.2. Zona 2: Av. Gil Ramírez Dávalos

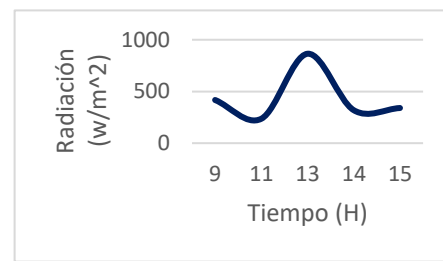
Cuenta con una vía de 4 carriles con obstáculos no tan repetitivos pero que están presentes a lo largo del recorrido, como árboles decorativos colocados en medio de la vía, que producen sombras e interfieren con la radiación solar (ver Gráfico 11).



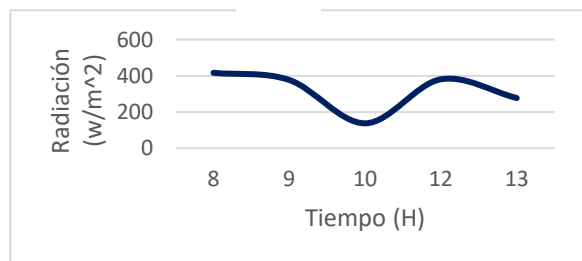
(a)



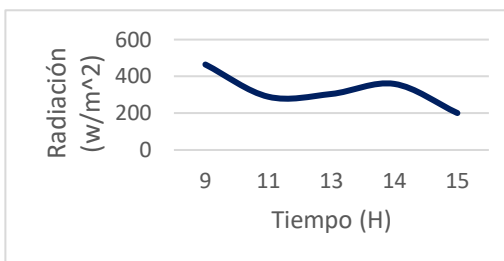
(b)



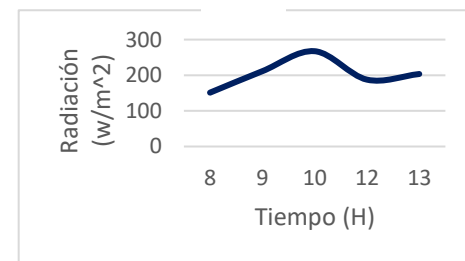
(c)



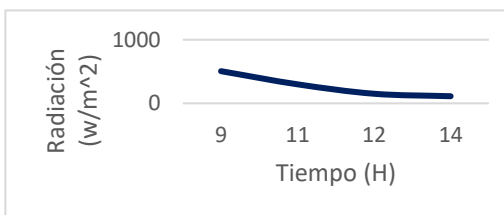
(d)



(e)



(f)



(g)

Gráfico 19 Sector Av. Gil Ramírez Dávalos a) zona 2 del día 1, b) zona 2 del día 2, c) zona 2 del día 3, d) zona 2 del día 4, e) zona 2 del día 5, f) zona 2 del día 6, y g) zona 2 del día 7

Según lo expuesto en el Gráfico 11, indica como un panel solar fotovoltaico puede ser ventajosamente aplicado en condiciones meteorológicas propicias (soleado), obteniendo en un día soleado un promedio de radiación solar de  $259 \text{ w/m}^2$ , en un día parcialmente soleado un promedio de radiación solar de  $366 \text{ w/m}^2$  y en condiciones meteorológicas adversas (nublado) obteniendo en un día nublado un promedio de radiación solar de  $190 \text{ w/m}^2$ .

#### 4.3.3. Zona 3: Calle Pío Bravo

Presenta una vía estrecha con variedad de obstáculos que generan directamente sombras y las pérdidas de captación de radiación solar varían con respecto al número de viviendas existentes y al ángulo de incidencia solar. (ver Gráfico 12).

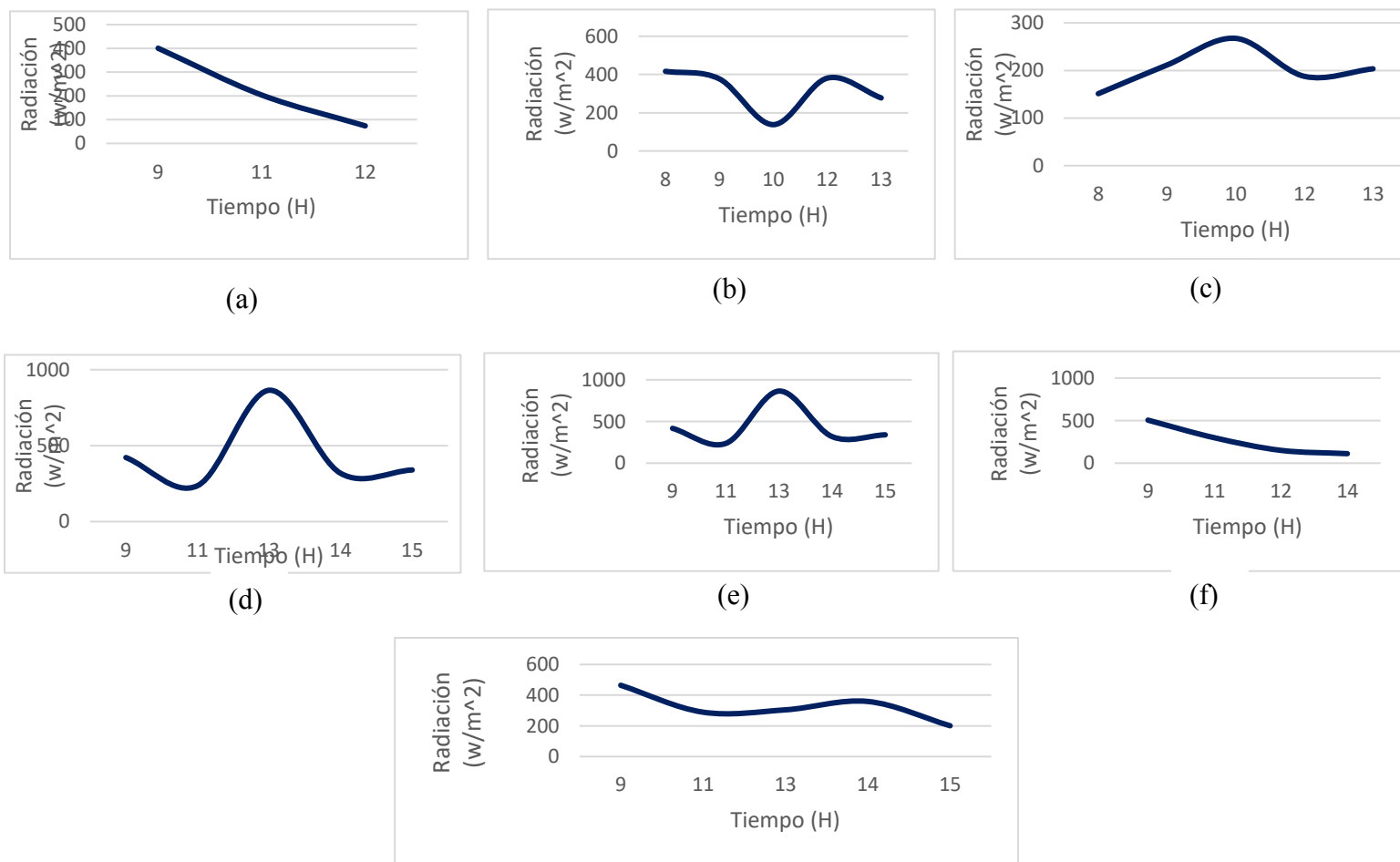
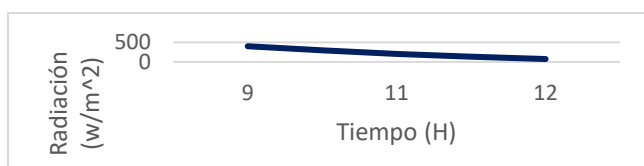


Gráfico 24 Calle Pio Bravo a) zona 3 del día 1, b) zona 3 del día 2, c) zona 3 del día 3, d) zona 3 del día 4, e) zona 3 del día 5, f) zona 3 del día 6, y g) zona 3 del día 7.

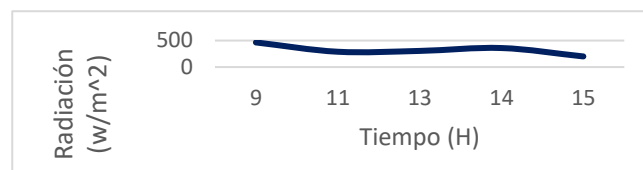
Las sombras de las edificaciones existentes en la vía, se puede alcanzar un promedio de radiación solar de 259,6 w/m<sup>2</sup>. En condiciones climáticas parcialmente soleadas se puede notar como la radiación solar no es factible ser aprovechada por zonas del centro histórico, el promedio es de 360 w/m<sup>2</sup> (ver Gráfico 12).

#### 4.3.4. Zona 4: Calle Sangurima

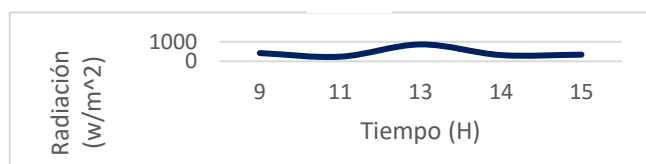
Presenta la entrada al centro histórico de la ciudad de Cuenca. El análisis geo-referencial muestra cómo el rendimiento de los paneles solares disminuye y varía debido a la presencia de obstáculos como los edificios construidos en el centro de la ciudad (ver Gráfico 13).



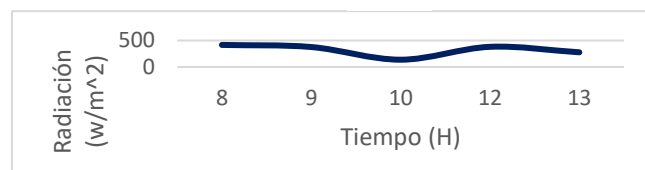
(a)



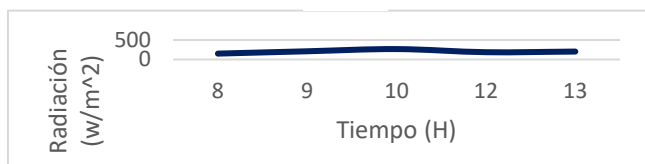
(b)



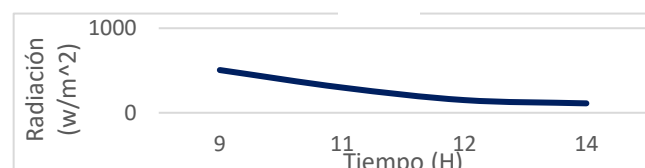
(c)



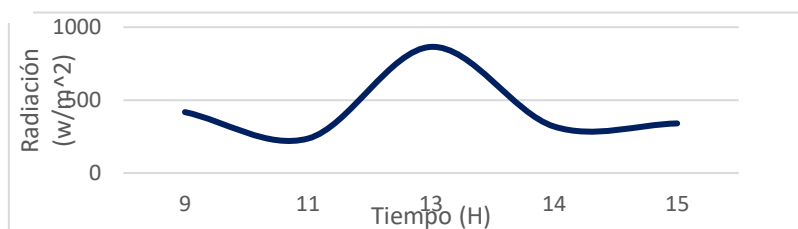
(d)



(e)



(f)



(g)

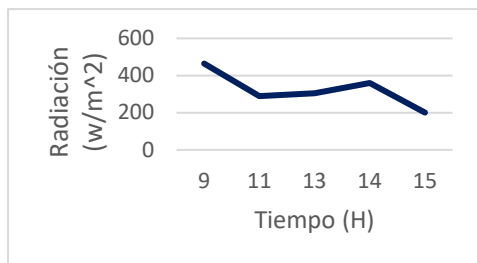
Gráfico 37 Calle Sangurima a) zona 4 del día 1, b) zona 4 del día 2, c) zona 4 del día 3, d) zona 4 del día 4, e) zona 4 del día 5, f) zona 4 del día 6, y g) zona 4 del día 7.

En la Gráfica 13, se logró obtener los resultados de un día soleado con un promedio de 359 w/m<sup>2</sup>, obteniendo una mejor respuesta de captación de radiación solar y en un día parcialmente soleado con un promedio de 260 w/m<sup>2</sup>.

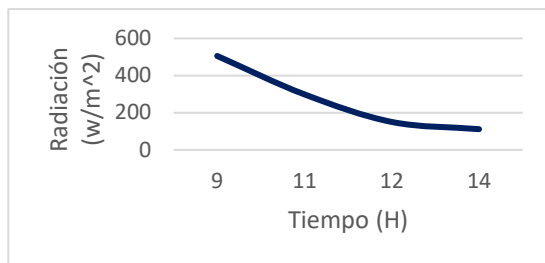
Este análisis nos indica como los paneles fotovoltaicos disminuye el rendimiento cada vez que se avanza al centro histórico, debido a las sombras de las edificaciones.

#### **4.3.5. Zona 5: Av. Las Américas**

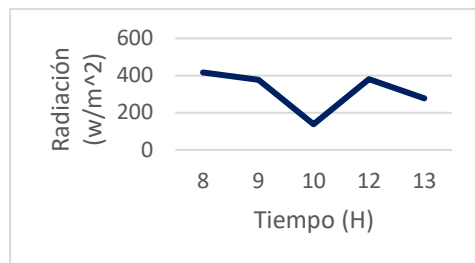
La Gráfica 14 presenta una vía extendida, evitando la presencia de obstáculos de sombra, permitiendo una óptima generación. Se define como una vía óptima para producir energía limpia en movimiento. En esta investigación se puede observar cómo las vías que tienen menos obstrucciones de sombra son las que más beneficios nos dan en la captación de radiación solar, el panel fotovoltaico es capaz de aprovechar el 100% de su autonomía brindando energía alternativa, limpia y segura.



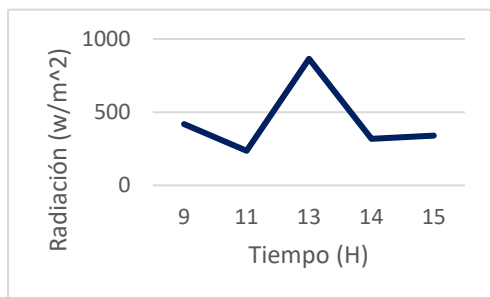
(a)



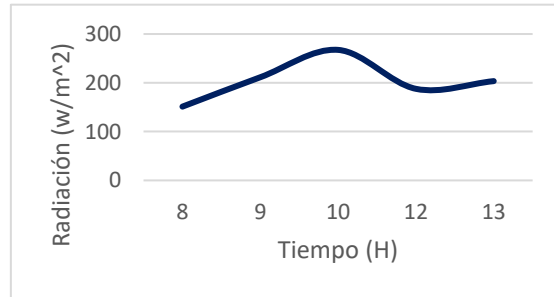
(b)



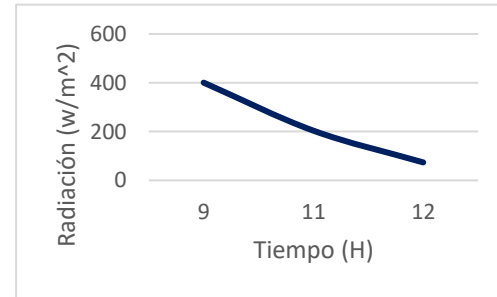
(c)



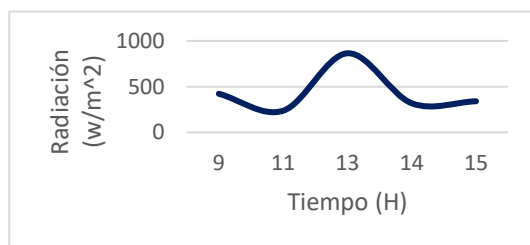
(d)



(e)



(f)



(g)

Gráfico 41 Av. Las Américas a) zona 5 del día 1, b) zona 5 del día 2, c) zona 5 del día 3, d) zona 5 del día 4, e) zona 5 del día 5, f) zona 5 del día 6, y g) zona 5 del día 7.

## CONCLUSIONES

En la presente investigación se ha desarrollado un prototipo de medición para medir la radiación solar de manera portátil y georreferenciada. Esto permitió obtener mediciones de la radiación solar y relacionarlas con las trayectorias y el entorno en un vehículo. Se trata de una aproximación diferente a la habitual del potencial de generación solar con paneles fijos en edificaciones. Los resultados obtenidos en el apartado 3.1 muestran que la radiación tiene una gran dependencia de las condiciones meteorológicas como un cielo nublado y a pesar de estar en horas con un ángulo de incidencia solar directo (12:00 a 14:00 horas) podrían disminuir los valores de la radiación captada.

Uno de los datos más relevantes en esta investigación son las gráficas de radiación versus ubicación en la trayectoria de un vehículo (calles y avenidas) ver Gráfico 2. Esto muestra la incidencia de los obstáculos como los árboles y los edificios de altura en las sombras que afectan a los paneles solares. Sin embargo, en las peores condiciones con sombras y nubosidad es evidente que se puede obtener valores de radiación útiles para la generación de energía.

En el Anexo 1, se adjunta el enlace a la base de datos obtenida en este caso de estudio para que pueda ser utilizado en otras investigaciones. Se llega a la conclusión que la energía solar es viable en la ciudad de Cuenca, ya que la radiación solar llega a la superficie de la ciudad de una manera uniforme y esto genera  $268,21 \text{ w/m}^2$  promedio en diferentes condiciones climáticas (soleado, parcialmente soleado, nublado y parcialmente nublado). La energía solar es una fuente viable, se puede emplear como energía móvil añadiendo paneles solares en los autos y una batería lo suficientemente fuerte para almacenar aproximadamente con unas 5 horas pico de sol al día, involucra 300Wp, se producirá 1500W de energía al día o lo que es lo mismo, 1,5 kWh al día

## RECOMENDACIONES

Para comprender mejor las implicaciones de estos resultados, los estudios futuros podrían abordar rutas de análisis más extensas con diferentes trayectorias dentro de la ciudad de Cuenca, con la finalidad de determinar sectores ideales para la captación de la radiación solar.

A su vez, se recomienda realizar pruebas de investigación en zonas rurales de la ciudad, para identificar otros factores que influyen en la captación de la radiación solar, como son la excesiva cantidad de árboles o montañas que provoca sombra en la zona vial; con esto se podría determinar las zonas críticas y zonas apropiadas.

Los estudios futuros podrían abordar varios meses del año en las dos estaciones del año, para lograr determinar los meses favorables y menos favorables para la recolección de radiación solar; de esta forma, se obtendrá un análisis óptimo para la utilización de paneles fotovoltaicos.

Finalmente, para obtener una mejor recolección de la radiación solar, se recomienda implementar un sistema de seguimiento solar, así se podría obtener un mayor aprovechamiento de radiación solar, debido a que el panel solar colocado en el techo de un vehículo es estático y no puede aprovechar al 100% la radiación solar.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alsema, E., De Wild-Scholten, M., & Fthenakis, V. (2006). Environmental impacts of pv electricity generation-a critical comparison of energy supply options. *In: 21st European photovoltaic solar energy conference.*
- André, F., De Castro, L., & Cerdá, E. (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Cuadernos económicos, 83*, 11-36.
- Apergis, N., Jebli, M., & Youssef, S. (2018). Does renewable energy consumption and health expenditures decrease carbon dioxide emissions? Evidence for sub-Saharan Africa countries. *Renewable energy, 127*, 1011-1016.
- Ashoor, F., & Robinson, F. (2012). A variable step size perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. *International Universities Power Engineering Conference*, 1-6.
- Barragán, E., Zalamea, E., Terrados, J., & Vanegas, P. (2019). Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad. *EURE, 45(134)*, 259-277.
- Bellos, B. J. (2019). Development of empirical models for estimation of global solar radiation exergy in India. *J. Clean. Prod.*, 1-16.
- Benghanem, M. (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Mandinah, Saudi Arabia. *Appl. Energy*, 1427 - 1433.
- Bertinat, P. (2016). Transición energética justa: pensando la democratización energética. *Friedrich-Ebert-Stiftung.*
- Blanc, I., Belon, D., Payet, J., Jacquin, P., Adra, N., & Mayer, D. (2008). Espace-pv: key sensitive parameters for environmental impacts of gridconnected pv systems with lca. *In: 23rd European Photovoltaic Energy Conference.*

- Correa, P., González, D., & Pacheco, J. (2016). Energías renovables y medio ambiente: su regulación jurídica en Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(3), 179-183.
- Cortez, O., & Rosa, G. (2016). Internet de las cosas: aplicación en monitoreo de un sistema de generación fotovoltaico. *Entorno*(61), 40-46.
- Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 4(2), 157-175.
- Dogan, E., & Seker, F. (2016). Determinants of CO2 emissions in the European Union: the role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429-439.
- Elum, Z., & Momodu, A. (2017). Climate change mitigation and renewable energy for sustainable development in Nigeria: A discourse approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 72-80.
- Espejo, C. (2004). La energía solar fotovoltaica en España. *Nimbus*(13-), 5-31.
- Fontalvo, J., Ramirez, P., & Constante, J. (2018). Self-Generation Prospective in Ecuador using the LEAP. *Revista Técnica "energía"*(15), 1-11.
- Genera, J., Ruiz, J., & Horta, I. (2020). Energías Renovables y su relación con los Sistemas de Gestión Ambiental. *Ingeniería Industrial*, 1-14.
- Gimeno, F., Seguí, S., & Orts, S. (2011). Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño. *Universitat Politècnica de València*.
- Gottschalg, R., Infield, D., & Kearney, M. (2003). Experimental study of variations of the solar spectrum of relevance to thin film solar cells. *Solar Energy materials and solar cells*, 79(4), 527-537.

- Granda, E., Orta, O., Gutierrez, J., Jiménez, M., Osorio, M., & González, M. (2013). Modelado y simulación de celdas y paneles solares. *Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica.*, 35, 17-22.
- Güney, T. (2019). Renewable energy, non-renewable energy and sustainable development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 26(5), 389-397.
- Kannan, R., Leong, K., Osman, R., Ho, H., & Tso, C. (2006). Life cycle assessment study of solar pv systems: An example of a 2.7 kwp distributed solar pv system in singapore. *Solar energy*, 80(5), 555-563.
- Khalid, F., Dincer, I., & Rosen, M. (2016). Analysis and assessment of an integrated hydrogen energy system. *International Journey of Hydrogen Energy*, 41(19), 7960 - 7967.
- Marique, A., & Reiter, S. (2014). A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale. *Energy and Buildings*, 82, 114-122.
- Meinel, A., & Meinel, M. (1982). Aplicaciones de la energía solar. *Reverte*.
- Mueller, S., Frankl, P., & Sadamori, K. (2016). Next generation wind and solar power from cost to value. *International Energy Agency*.
- Muñoz, J., Rojas, M., & Barreto, C. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(19), 60-68.
- Nandwani, S. (2005). Energía solar. Conceptos básicos y su utilización. *Universidad Nacional, Heredia*, 1-26.
- Pelaez, M., Garcia, M., Cortez, L., Oscullo, J., & Olmedo, G. (2007). Energy sector in Ecuador: Current status. *Energy Policy*, 35(8), 4177-4189.

- Perez, M. (2014). Legislación, normativa y proyectos oficiales del Ecuador vinculados a la Arquitectura y la Construcción Sostenible. *ASRI: Arte y sociedad. Revista de investigación*, 7(12).
- Poponi, D., Bryant, T., Burband, K., Cazzola, P., Dulac, J., Pales, A., . . . Munuera, L. (2016). Energy technology perspectives 2016: towards sustainable urban energy systems. *International Energy Agency*.
- Puentes, E., Medina, A., & Sánchez, F. (2012). Diseño de instrumentación para el monitoreo de instalaciones solares fotovoltaicas. *Ingeniería y Región*(9), 115-124.
- Rasero, C. (2011). Energía solar fotovoltaica, situación actual. *Energía solar fotovoltaica*, 4.
- Robles, C., & Rodríguez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia. *Revista Espacios*, 39(34), 10-26.
- Roper, L. (6 de Abril de 2016). *World photovoltaic energy*.
- Rúa-Ramírez, E., Mendoza-Jiménez, I., Torres-Suarez, E., Flórez-Serrano, E., & Serrano-Rico, J. (2021). Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos. *UIS Ingenierías*, 1-10.
- S. Saud, B. J. (2020). Performance improvement of empirical models for estimation of global solar radiation in India: A k-fold cross-validation approach,". *Sustain. Energy Technol. Assessments*, 100768.
- Sandoval, C. (2021). Laboratorio de Energías Renovables y Aplicaciones Ambientales. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 41(2), 169-178.
- Sepúlveda, S. (2014). Radiación solar: Factor clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos. *Mundo FESC*, 4(8), 60-65.

- T. O. Kaddoura, M. A.-T. (2016). On the estimation of the optimum tilt angle of PV panel in Saudi Arabia. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 626-634.
- Típan, L., & De la Torre, E. (2021). Caracterización de Energía Solar Fotovoltaica utilizando el Modelo Aniso Trópico de Muneer. *Técnica" energía"*, 17(2), 65-73.
- Trombe, F., & Vinh, A. (1973). Thousand kW solar furnace, built by the National Center of Scientific Research, in Odeillo (France). *Solar energy*, 15(1), 57-61.
- Vallesteros, V., & Gallego, A. (2019). Model of Education in Renewable Energies from the Public Engagement and the Energetic Attitude. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(52), 27-42.
- Verdezoto, P., Castro, M., Litardo, J., Cunha, M., & Soriano, G. (2019). Análisis y proyección de los resultados del programa de eficiencia energética PEC en Ecuador. *Memorias del Congreso Internacional I+ D+ i-Sostenibilidad Energética*, 1(1), 103-115.
- Y. Zhu, J. L. (2020). Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection. *Appl. Energy*, 114647.

## ANEXOS

### 2.1.Anexo 1

<https://figshare.com/s/c48977ef3968e3724449>

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Robert Javier Machuca Ordoñez** portador de la cédula de ciudadanía N.º **0941120529**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Potencial de generación fotovoltaica en trayectorias de transporte urbano (caso de estudio en la ciudad de 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, **21 de marzo de 2022**

F: 

Robert Javier Machuca Ordoñez

0941120529