



# INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en  
Mecánica Automotriz**

**Autores:** Isaac Xavier Chica Rivas

Sebastián Arturo Yagual Aranda

**Tutor:** Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

**Implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico Utilizando  
Paneles Solares Policristalinos para Uso en Micromovilidad**



### **Certificado de Autoría**

Nosotros, Isaac Xavier Chica Rivas y Sebastián Arturo Yagual Aranda, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada. Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

---

Isaac Xavier Chica Rivas

C.I.: 0923725220

---

Sebastián Arturo Yagual Aranda

C.I.: 0931475065

### **Aprobación del Tutor**

Yo, Fernando Gómez Berrezueta certifico que conozco a los autores del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

---

Ing. Fernando Gómez Berrezueta, M.Sc.

Director de Proyecto

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios invaluable. A mi familia y amigos, por su aliento y comprensión a lo largo de este camino. A mis profesores y mentores, por su guía y enseñanzas que han sido fundamentales en mi formación académica. Y a todas las personas que creyeron en mí y me inspiraron a seguir adelante. Este logro es también de ustedes.

***Sebastián Arturo Yagual Aranda***

## **Dedicatoria**

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y sacrificios realizados para que yo pudiera alcanzar mis metas. A mi director de tesis, por su guía experta y dedicación a lo largo de este proceso. A mis amigos y seres queridos, por su ánimo constante y comprensión durante este viaje. A todos aquellos que creyeron en mí y me inspiraron a seguir adelante. Esta tesis está dedicada a ustedes. Gracias por ser mi luz en los momentos oscuros y mi alegría en los momentos de triunfo.

*Isaac Xavier Chica Rivas*

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al desarrollo y finalización de esta tesis. Agradezco especialmente a mi tutor, Fernando Gómez

Berrezueta, por su orientación, apoyo y valiosos comentarios a lo largo de este proceso. También quiero agradecer a mi familia y amigos por su constante apoyo y ánimo. Este logro no habría sido posible sin su ayuda. Muchas gracias.

*Sebastián Arturo Yagual Aranda*

## **Agradecimiento**

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Fernando Gómez Berrezueta por su orientación invaluable y apoyo constante durante la realización de este proyecto. También quiero agradecer a mi familia y amigos por su aliento y comprensión a lo largo de este viaje académico.

Agradezco a todas las personas que contribuyeron al desarrollo de este proyecto.

Estoy profundamente agradecido por su ayuda y confianza en este proyecto.

**Isaac Xavier Chica Rivas**

## Índice General

Certificado de Autoría.....	iii
Aprobación del Tutor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Dedicatoria.....	vi
Agradecimiento.....	vii
Agradecimiento.....	viii
Índice General.....	ix
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Tablas.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
Capítulo I.....	1
Antecedentes.....	1
1.1 Tema de Investigación.....	1
1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema.....	1
1.2.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2.2 Formulación del Problema.....	6
1.2.3 Sistematización del Problema.....	6
1.3 Objetivos de la Investigación.....	6
1.3.1 Objetivo General.....	6
1.3.2 Objetivos Específicos.....	6
1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación.....	7
1.4.1 Justificación Teórica.....	7
1.4.2 Justificación Metodológica.....	7

1.4.3 Justificación Práctica.....	8
1.4.4 Delimitación Temporal.....	9
1.4.5 Delimitación Geográfica.....	9
1.4.6 Delimitación del Contenido.....	9
Capítulo II.....	12
Marco Referencial.....	12
2.1 Marco Teórico .....	12
2.1.1 Eficiencia de los Paneles Solares.....	13
2.1.2 Micromovilidad como Solución Innovadora de Transporte .....	14
2.1.3 Conceptos Básicos de las Energías Renovables .....	14
2.1.4 Factores Afectan a la Eficiencia de los Paneles Solares .....	15
2.1.5 Inclinación del Panel Solar.....	16
2.1.6 Orientación Adecuada para los Paneles Solares.....	17
2.2 Marco Conceptual .....	18
2.2.2 Factores que Hacen Destacar un Árbol Solar .....	18
2.2.3 Panel Solar Policristalino .....	20
2.2.4 Sistemas Solares Fotovoltaicos .....	21
2.2.5 Radiación Solar.....	22
2.2.6 Radiación Solar en Ecuador .....	23
Capítulo III.....	25
Implementación de un Sistema de Árbol Fotovoltaico con Paneles Policristalinos.....	25
3.1 Estimación del Potencial Solar en la Zona a Implementar el Sistema del Árbol Solar .	27
3.2.1 Uso de una Herramienta de Ángulo en Línea.....	29
3.2.2 Factores que Afectan el Ángulo del Panel Solar.....	29
3.3 Calculadora del Ángulo de Inclinación del Panel Solar.....	30

3.2.1 <i>Mapa de Datos de Recursos</i> .....	31
3.2.2 <i>Elegir la Inclinación Correcta</i> .....	32
3.2.3 <i>Resultados</i> .....	34
3.3 <i>Consideraciones Técnicas</i> .....	35
3.4 <i>Metodología Aplicada</i> .....	40
3.4.1 <i>Métodos</i> .....	40
3.6.2 <i>Tipo de Estudio</i> .....	41
3.6.3 <i>Tipo de Investigación</i> .....	42
Capítulo IV.....	43
Procedimiento Técnico de Implementación de Árbol Solar .....	43
4.1 <i>Descripción</i> .....	43
4.1.1 <i>Normativa IEC 61215</i> .....	44
4.1.2 <i>Diseño de un Sistema de Árbol</i> .....	47
4.1.3 <i>Dimensionamiento de los Sistemas Fotovoltaicos del Árbol Solar</i> .....	48
4.1.4 <i>Diseño Estructural del Sistema de Árbol Solar</i> .....	49
4.1.2 <i>Evaluación de Costos de Construcción y Ensamblaje de un Sistema de Árbol</i> .....	56
Conclusiones .....	60
Recomendaciones .....	62
Bibliografía .....	63

## Índice de Figuras

Figura 1 <i>Micromovilidad</i> .....	3
Figura 2 <i>Adiciones de Capacidad de Electricidad Renovable por Tecnología y Segmento, 2016-2028</i> .....	5
Figura 3 <i>Producción de Recursos Energéticos en el Mundo</i> .....	15
Figura 4 <i>Inclinación y Orientación Módulos Fotovoltaicos</i> .....	17
Figura 5 <i>Árbol Solar</i> .....	18
Figura 6 <i>Partes de un Árbol Fotovoltaico</i> .....	20
Figura 7 <i>Partes de un Panel Fotovoltaico</i> .....	21
Figura 8 <i>Radiación Solar en Ecuador</i> .....	24
Figura 9 <i>Determinación de la Ubicación</i> .....	28
Figura 10 <i>Cálculo de Latitud y Longitud</i> .....	31
Figura 11 <i>Mapa de Datos de Recursos</i> .....	31
Figura 12 <i>Información del Sistema a Instalar</i> .....	32
Figura 13 <i>Cálculo de las Pérdidas del Sistema</i> .....	33
Figura 14 <i>Verificar el Motor</i> .....	35
Figura 15 <i>Orientación e Inclinación de los Paneles</i> .....	38
Figura 17 <i>Tipos de Viabilidad de un Proyecto</i> .....	41
Figura 17 <i>Normativa IEC 61215</i> .....	45
Figura 18 <i>Panel Solar Policristalino Marca Powest</i> .....	46
Figura 19 <i>Planta Liquen de Tres Copas</i> .....	47
Figura 20 <i>Diagnóstico de Vehículos Usando Escáner Launch PAD VII</i> .....	48
Figura 21 <i>Diseño del Árbol Solar</i> .....	50
Figura 22 <i>Determinación del Lugar donde se Ubica el Árbol</i> .....	51
Figura 23 <i>Cimentación del Lugar donde se Ubica el Árbol</i> .....	51

Figura 24 <i>Armado del Árbol</i> .....	52
Figura 25 <i>Aseguramiento del Árbol</i> .....	52
Figura 26 <i>Fijación del Árbol</i> .....	53
Figura 27 <i>Árbol Ubicado en su Lugar</i> .....	53
Figura 28 <i>Árbol Instalado con la Cabina de Control en su Lugar</i> .....	54
Figura 29 <i>Ubicación de los Conectores de Carga y Cabina de Control</i> .....	55
Figura 30 <i>Proceso de Carga de Bicicletas Eléctricas mediante Árbol Fotovoltaico</i> .....	55
Figura 31 <i>Proyecto de Árbol Fotovoltaico Terminado</i> .....	56

**Índice de Tablas**

Tabla 1 <i>Elementos Generales de los Sistemas Fotovoltaicos</i> .....	22
Tabla 2 <i>Tipo de Módulo</i> .....	36
Tabla 3 <i>Resultados de la Instalación Realizada</i> .....	39

## Resumen

El proyecto de investigación se centra en la implementación de un sistema de árbol fotovoltaico utilizando paneles solares policristalinos para su aplicación en micromovilidad. Este sistema busca aprovechar la energía solar para alimentar dispositivos eléctricos utilizados en micromovilidad, como scooters eléctricos, bicicletas eléctricas o vehículos similares. Se propone utilizar paneles solares policristalinos debido a su eficiencia y costos relativamente bajos en comparación con otras tecnologías solares. El objetivo principal es desarrollar un sistema que sea práctico, rentable y sostenible para su implementación en entornos urbanos donde la micromovilidad está en aumento. El proyecto incluye la fase de diseño y fabricación del sistema de árbol eléctrico, así como la instalación piloto en áreas universitarias. Se realizarán pruebas y monitoreo del sistema para evaluar su desempeño en condiciones reales de operación, así como su impacto en la reducción de emisiones de carbono. Este proyecto de investigación busca contribuir al desarrollo de soluciones energéticas renovables y promover el uso de tecnologías limpias en el transporte personal urbano.

***Palabras Clave:*** Árbol fotovoltaico, micromovilidad, paneles policristalinos, costos.

### **Abstract**

The research project focuses on the implementation of a photovoltaic tree system using polycrystalline solar panels for application in micromobility. This system seeks to harness solar energy to power electrical devices used in micromobility, such as electric scooters, electric bicycles or similar vehicles. Polycrystalline solar panels are proposed to be used due to their efficiency and relatively low costs compared to other solar technologies. The main objective is to develop a system that is practical, cost-effective and sustainable for implementation in urban environments where micromobility is on the rise. The project includes the design and manufacturing phase of the electric tree system, as well as the pilot installation in university areas. Testing and monitoring of the system will be carried out to evaluate its performance in real operating conditions, as well as its impact on the reduction of carbon emissions. This research project seeks to contribute to the development of renewable energy solutions and promote the use of clean technologies in urban personal transportation.

***Keywords:*** Photovoltaic tree, micromobility, polycrystalline panels, costs.

## **Capítulo I**

### **Antecedentes**

#### **1.1 Tema de Investigación**

Implementación de un sistema de árbol eléctrico utilizando paneles solares policristalinos para su uso en micromovilidad.

#### **1.2 Planteamiento, Formulación y Sistematización del Problema**

La alta demanda del uso de combustibles de origen fósil a nivel mundial cada día crece sobremanera lo que origina que se plantee el uso de nuevas fuentes de energías, fuentes renovables como la energía hidráulica, solar, eólica, entre otras (Ajayan, 2020).

Desde el año de 1970 se tenía planteado el tema de energías renovables como alternativa a las energías tradicionales, ya sea por la disponibilidad de estas y la garantía de su uso en el futuro, como por su bajo impacto en el medio ambiente, con el aumento de la tecnología y paso de los años, el término energía alternativa se ha cambiado por energías renovables.

Actualmente la energía solar se presenta como una de las alternativas más eficientes y de valor económico más accesible en comparación de otros tipos de energías renovables. Se define que un sistema de energía renovable eficiente debe capturar la mayor cantidad de energía recibida en un lugar determinado (Toranzo; Cervantes, 2015).

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, las causas que originan esta contaminación son diversas, sin embargo, la combustión empleada para generar energía eléctrica o movimiento es el proceso de emisión de contaminantes más significativo (Velasco Alvarado 2003). Actualmente la micromovilidad, se presenta como un medio de transporte que se desarrolla en distancias cortas, principalmente en el centro de las ciudades, mediante el uso de vehículos ligeros. La Sociedad americana de automoción (SAE) define en su nueva taxonomía los vehículos para micromovilidad como aquellos que tienen un

peso inferior a 227 kg (500 lb) y una velocidad máxima inferior a 47 km/h (30 mph), excluyendo de estos, los vehículos de propulsión humana.

Desarrollar fuentes de energías renovables y amigables con el medio ambiente que permitan recargar vehículos eléctricos como: bicicleta eléctrica, motocicleta ligera eléctrica, monopatín eléctrico, entre otros, es dar un paso hacia el desarrollo de la movilidad urbana de forma sustentable en la UIDE, la ciudad y el país.

### ***1.2.1 Planteamiento del Problema***

En la actualidad, el crecimiento de la micromovilidad, representada principalmente por dispositivos como scooters y bicicletas eléctricas, ha experimentado un aumento significativo en entornos urbanos. Sin embargo, uno de los desafíos más importantes que enfrentan estos sistemas es la necesidad de una infraestructura de carga eficiente y sostenible. La dependencia de baterías eléctricas recargables conectadas a la red de energía puede ser costosa y no siempre amigable con el medio ambiente.

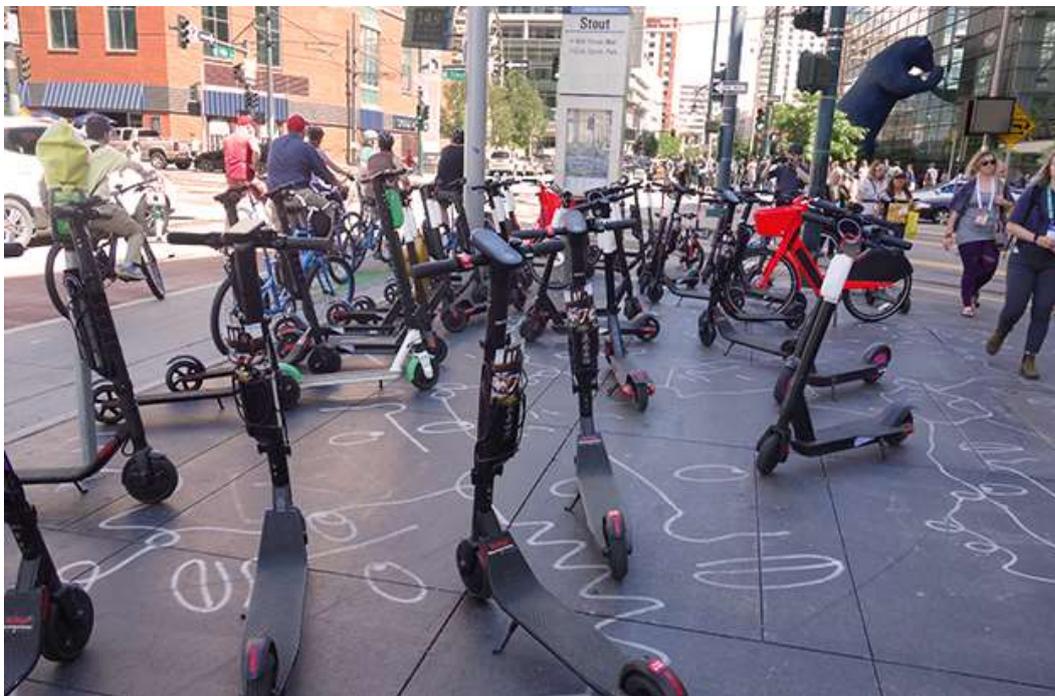
Para abordar este problema, se propone la implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico utilizando paneles solares policristalinos. Este sistema estaría diseñado para proporcionar una solución de carga autónoma y sostenible para la micromovilidad en entornos urbanos. Sin embargo, la viabilidad técnica, económica y ambiental de este enfoque aún no se ha explorado completamente.

Por lo tanto, el problema principal de este proyecto es determinar si la implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico utilizando paneles solares policristalinos es una solución práctica y efectiva para la carga de dispositivos de micromovilidad en entornos urbanos. Esto implica investigar aspectos como la eficiencia y capacidad de carga del sistema, los costos asociados con la implementación y mantenimiento, así como su impacto ambiental en comparación con los métodos de carga convencionales.

La micromovilidad ha proliferado rápidamente en ciudades de todo el país, demostrando ser una opción de transporte popular para muchos usuarios. En respuesta a la creciente demanda de instalaciones para caminar y andar en bicicleta en ciudades y pueblos de todo el país, muchas jurisdicciones están explorando la micromovilidad como un modo alternativo para viajes cortos y transporte activo (Figura 1).

### **Figura 1**

#### *Micromovilidad*



Tomado de: <https://highways.dot.gov/public-roads/spring-2021/02>

La energía fotovoltaica (a menudo abreviada como PV) recibe su nombre del proceso de convertir la luz (fotones) en electricidad (voltaje), lo que se denomina efecto fotovoltaico. Este fenómeno fue explotado por primera vez en 1954 por científicos de los Laboratorios Bell que crearon una célula solar funcional hecha de silicio que generaba una corriente eléctrica cuando se exponía a la luz solar.

Pronto se empezaron a utilizar células solares para alimentar satélites espaciales y objetos más pequeños como calculadoras y relojes. Hoy en día, la electricidad procedente de

células solares se ha vuelto competitiva en términos de costos en muchas regiones y se están implementando sistemas fotovoltaicos a gran escala para ayudar a alimentar la red eléctrica.

La eficiencia con la que las células fotovoltaicas convierten la luz solar en electricidad varía según el tipo de material semiconductor y la tecnología de las células fotovoltaicas. La eficiencia de los paneles fotovoltaicos disponibles comercialmente promediaba menos del 10 % a mediados de la década de 1980, aumentó a alrededor del 15 % en 2015 y ahora se acerca al 25 % para los módulos de última generación.

Las células fotovoltaicas experimentales y las células fotovoltaicas para mercados especializados, como los satélites espaciales, han alcanzado una eficiencia cercana al 50 %.

La Oficina de Tecnologías de Energía Solar (SETO) del Departamento de Energía de EE. UU. apoya proyectos de investigación y desarrollo fotovoltaico que reducen los costos de la electricidad generada por energía solar al mejorar la eficiencia y la confiabilidad. Los proyectos de investigación fotovoltaica en SETO trabajan para mantener el liderazgo estadounidense en este campo, con un sólido historial de impacto en las últimas décadas.

Aproximadamente la mitad de los registros de eficiencia de células solares del mundo, que son rastreados por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, fueron respaldados por el DOE, principalmente por la investigación fotovoltaica de SETO. SETO está trabajando para lograr un costo nivelado de \$0,02 por kilovatio-hora (kWh) para energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos, \$0,04 por kWh para sistemas fotovoltaicos comerciales y \$0,05 por kWh para sistemas fotovoltaicos residenciales en tejados.

En 2023, la energía solar fotovoltaica por sí sola representó tres cuartas partes de las adiciones de capacidad renovable en todo el mundo.

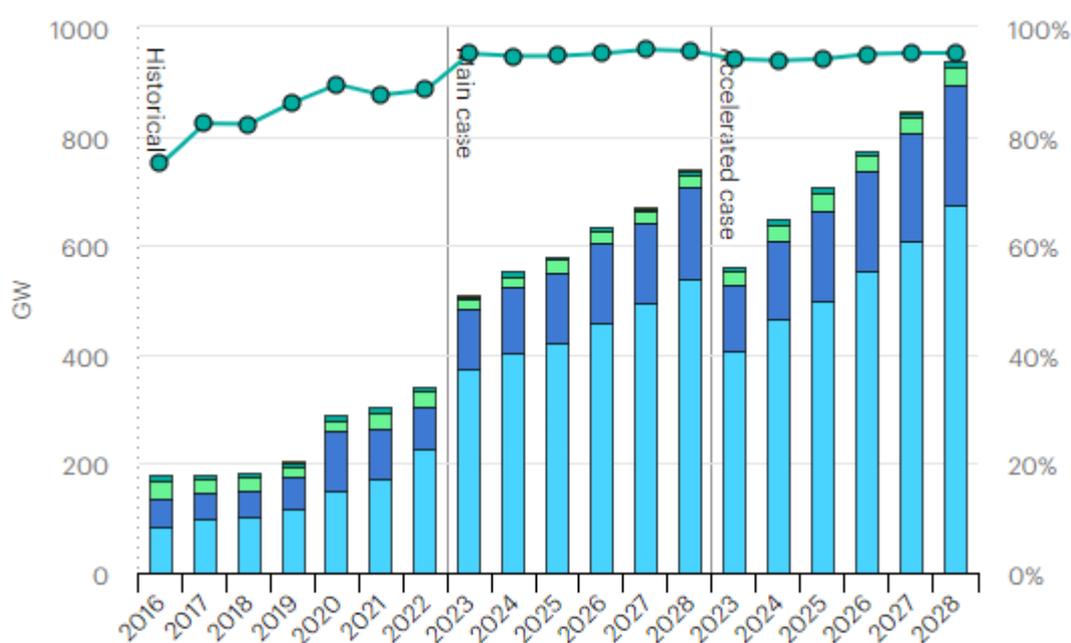
Las adiciones de capacidad de energía renovable seguirán aumentando en los próximos cinco años, y la energía solar fotovoltaica y la eólica representarán un récord del 96 % porque

sus costos de generación son más bajos que los de las alternativas fósiles y no fósiles en la mayoría de los países y las políticas continúan apoyando a ellos.

Se pronostica que las adiciones de energía solar fotovoltaica y eólica se duplicarán para 2028 en comparación con 2022, batiendo récords continuamente durante el período previsto para alcanzar casi 710 GW (Figura 2).

**Figura 2**

*Adiciones de Capacidad de Electricidad Renovable por Tecnología y Segmento, 2016-2028*



AIE. Licencia: CC BY 4.0

- Energía solar fotovoltaica
- Viento
- energía hidroeléctrica
- Bioenergía
- geotérmica
- CSP
- Océano
- % de eólica y fotovoltaica

Tomado de: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>

Debido a los niveles significativamente altos de irradiación en el Ecuador, aproximadamente con una media diaria de 4,2 kWh/m<sup>2</sup>, resulta pertinente considerar la explotación del recurso solar. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo es divulgar el

conocimiento al presentar un resumen de los principios fundamentales de la tecnología solar, incluyendo su configuración básica, que abarca paneles solares, inversores, estructuras de soporte y otros dispositivos relacionados.

### **1.2.2 Formulación del Problema**

¿Cuáles son los aspectos técnicos para la implementación de un sistema de árbol fotovoltaico que use paneles policristalinos siguiendo especificaciones técnicas que garanticen un correcto aprovechamiento de la energía solar para ser usado en la micromovilidad?

### **1.2.3 Sistematización del Problema**

- ¿Cuáles son los requisitos técnicos y operativos que debe cumplir un sistema de árbol eléctrico basado en paneles solares policristalinos para su implementación en entornos urbanos de micromovilidad?
- ¿Cuál es la relación entre el ángulo de inclinación del módulo solar y la eficiencia en la captación de energía solar?
- ¿Cuáles son los costos directos e indirectos asociados con la construcción de un sistema de árbol fotovoltaico de paneles policristalinos, incluyendo materiales, mano de obra y equipos necesarios?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Implementar un sistema de árbol fotovoltaico que use paneles policristalinos siguiendo especificaciones técnicas que garanticen un correcto aprovechamiento de la energía solar para ser usado en la micromovilidad.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Estimar el potencial solar en la zona a implementar el sistema del árbol solar de paneles policristalinos para la micromovilidad.

- Determinar el ángulo óptimo de inclinación del módulo solar según la normativa IEC 612115.
- Evaluar costos de construcción y ensamblaje del sistema de árbol fotovoltaico de paneles policristalinos.

#### **1.4 Justificación y Delimitación de la Investigación**

La presente investigación se enfoca en implementar un sistema de árbol eléctrico que utilice paneles policristalinos, para lo cual será necesario calcular el potencial solar de la ciudad de Guayaquil, en la Escuela de Ingeniería Automotriz, luego se determinará el ángulo, que permita obtener la mayor eficiencia posible del sistema, y se evaluarán los costos de construcción y de ensamblaje, del sistema de árbol fotovoltaico, para así desarrollar una fuente de energía amigable, que puedan utilizar los estudiantes de la UIDE para la micromovilidad..

##### ***1.4.1 Justificación Teórica***

Para implementar el árbol de energía solar, se realiza una estimación del potencial solar en la ciudad de Guayaquil, se obtendrán datos para evaluar el recurso energético que puede proveer la zona a estudiar y así aprovechar de la forma más eficiente un recurso natural, como indica González Peña, D. (2014) la energía solar alcanza el mayor rendimiento energético por superficie de tierra utilizada, por esto se aprovechará su energía, también se estimará el ángulo óptimo de inclinación del módulo solar, y así proveer energía renovable y brindar un desarrollo sostenible. La evolución en materia de movilidad urbana, hacia modelos con menor consumo energético y bajos en emisiones de gases contaminantes, es uno de los principales objetivos de muchas grandes ciudades (Aguilera-García et al, 2020). Siendo la micromovilidad una alternativa para una movilidad urbana más sostenible.

##### ***1.4.2 Justificación Metodológica***

La justificación metodológica del proyecto "Implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico Utilizando Paneles Solares Policristalinos para uso en Micromovilidad" se

fundamenta en la necesidad de establecer un enfoque claro y efectivo para llevar a cabo la implementación de este sistema innovador. Aquí hay una justificación metodológica que se emplea:

Selección de metodología adecuada: Se optará por una metodología de investigación que permita abordar de manera integral los aspectos técnicos, económicos y operativos involucrados en la implementación del sistema de árbol eléctrico. Una combinación de métodos cualitativos y cuantitativos será utilizada para obtener un entendimiento profundo y holístico del proyecto.

### ***1.4.3 Justificación Práctica***

La justificación práctica del proyecto "Implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico Utilizando Paneles Solares Policristalinos para uso en Micromovilidad" se basa en varias consideraciones importantes que demuestran la relevancia y la necesidad de llevar a cabo esta iniciativa:

- **Sostenibilidad ambiental:** La implementación de sistemas de energía solar utilizando paneles policristalinos contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la conservación de recursos naturales al aprovechar una fuente de energía renovable y limpia.
- **Promoción de la movilidad sostenible:** La micromovilidad, que incluye medios de transporte como bicicletas eléctricas, scooters y patinetes, está ganando popularidad como alternativa más ecológica y eficiente para el desplazamiento urbano. La disponibilidad de un sistema de árbol eléctrico con energía solar puede impulsar aún más esta tendencia al ofrecer una infraestructura de carga limpia y accesible.
- **Reducción de la dependencia de combustibles fósiles:** Al proporcionar una fuente de energía renovable para la carga de vehículos de micromovilidad, se reduce la dependencia de combustibles fósiles y se fomenta la diversificación de la matriz

energética, lo que contribuye a la seguridad energética y la resiliencia ante fluctuaciones en los precios del petróleo.

- **Desarrollo de infraestructura urbana inteligente:** La implementación de un sistema de árbol eléctrico con paneles solares policristalinos promueve el desarrollo de una infraestructura urbana inteligente y sostenible, al integrar tecnologías innovadoras para la generación y distribución de energía.
- **Beneficios económicos y sociales:** Además de los beneficios ambientales, la adopción de esta tecnología puede tener impactos económicos y sociales positivos, como la creación de empleo en el sector de las energías renovables, la reducción de los costos de energía para los usuarios y la mejora de la calidad del aire en áreas urbanas.

#### ***1.4.4 Delimitación Temporal***

El proyecto se realiza desde el mes de marzo del 2023 hasta marzo del 2024, periodo de tiempo en el que se permite ejecutar la investigación y desarrollar el proyecto.

#### ***1.4.5 Delimitación Geográfica***

El sistema de árbol eléctrico de paneles policristalinos se implementa en la Universidad Internacional del Ecuador, sede Guayaquil en la Escuela de Ingeniería Automotriz, el proyecto se utiliza como fuente de energía en los patios de la institución.

#### ***1.4.6 Delimitación del Contenido***

La delimitación del contenido del proyecto "Implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico Utilizando Paneles Solares Policristalinos para uso en Micromovilidad" implica establecer los límites y alcances específicos que guían el desarrollo del proyecto. Aquí hay una propuesta de delimitación del contenido:

- Enfoque en la implementación: El proyecto se centra en la fase de implementación del sistema de árbol eléctrico, desde la planificación inicial hasta la instalación y puesta en funcionamiento del sistema.
- Uso de paneles solares policristalinos: Se utilizan exclusivamente paneles solares policristalinos como fuente de energía para el sistema de árbol eléctrico. No se consideran otras tecnologías de paneles solares, como los paneles monocristalinos o de película delgada.
- Aplicación en micromovilidad: El sistema de árbol eléctrico está diseñado y adaptado específicamente para su uso en micromovilidad, lo que incluye vehículos eléctricos pequeños como bicicletas eléctricas, scooters y patinetes eléctricos.
- Consideración de aspectos técnicos y operativos: Se abordan aspectos técnicos y operativos clave relacionados con la implementación del sistema de árbol eléctrico, como la capacidad de carga, la eficiencia energética, la integración urbana y la interoperabilidad con los vehículos de micromovilidad.
- Limitaciones geográficas y temporales: El proyecto se lleva a cabo dentro de un contexto geográfico específico y se establece un marco temporal definido para la ejecución de las actividades planificadas.
- Exclusión de aspectos financieros detallados: Si bien se evalúa la viabilidad económica del proyecto, no se profundizará en aspectos financieros detallados, como el análisis de costos y beneficios a largo plazo.
- Exclusión de aspectos legales y regulatorios: Aunque se consideran algunas implicaciones legales y regulatorias relacionadas con la implementación del sistema de árbol eléctrico, no se abordan en profundidad cuestiones legales y regulatorias específicas.

Esta delimitación del contenido proporciona una guía clara sobre los aspectos que se incluirán y los que se excluyen del proyecto "Implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico Utilizando Paneles Solares Policristalinos para uso en Micromovilidad", lo que ayuda a enfocar los esfuerzos y recursos de manera efectiva hacia el logro de los objetivos del proyecto.

## Capítulo II

### Marco Referencial

#### 2.1 Marco Teórico

El marco teórico para la implementación de un sistema de árbol eléctrico utilizando paneles solares policristalinos para uso en micromovilidad podría abordar varios aspectos fundamentales relacionados con la energía solar, la movilidad urbana y la tecnología de paneles solares. Aquí hay una propuesta de elementos que podrían incluirse en el marco teórico:

- **Energía y paneles solares policristalinos:** Introducción a los principios básicos de la energía solar y la tecnología de paneles solares policristalinos. Explicación de cómo funcionan los paneles solares para convertir la luz solar en energía eléctrica y una descripción detallada de las características y ventajas de los paneles policristalinos en comparación con otras tecnologías.
- **Movilidad urbana y micromovilidad:** Contextualización de la micromovilidad dentro del panorama más amplio de la movilidad urbana sostenible. Descripción de los diferentes modos de transporte de micromovilidad, como bicicletas eléctricas, scooters y patinetes eléctricos, y su creciente importancia en la reducción de la congestión y la contaminación en entornos urbanos.
- **Sistemas de árboles eléctricos:** Descripción de los sistemas de árboles eléctricos como una solución innovadora para la integración de infraestructura de carga de vehículos eléctricos en espacios urbanos. Explicación de cómo funcionan estos sistemas, su diseño básico y sus posibles aplicaciones en entornos de micromovilidad.
- **Beneficios y desafíos de la implementación:** Análisis de los beneficios potenciales de implementar un sistema de árbol eléctrico con paneles solares policristalinos para la micromovilidad, como la generación de energía renovable, la reducción de

emisiones y la promoción de la movilidad sostenible. También se deben abordar los desafíos y obstáculos asociados con esta implementación, como la eficiencia energética, la ubicación y la integración urbana.

- Estudios de casos y ejemplos prácticos: Revisión de estudios de casos y ejemplos prácticos de proyectos similares de implementación de sistemas de árboles eléctricos en entornos urbanos, destacando lecciones aprendidas, mejores prácticas y resultados obtenidos.
- Marco regulatorio y políticas públicas: Exploración del marco regulatorio y las políticas públicas relevantes que pueden influir en la implementación de un sistema de árbol eléctrico con paneles solares policristalinos para la micromovilidad, incluyendo incentivos fiscales, normativas de construcción y regulaciones de transporte.

Este marco teórico proporcionaría una base sólida para comprender los fundamentos y las implicaciones de la implementación de un sistema de árbol eléctrico utilizando paneles solares policristalinos para uso en micromovilidad, permitiendo un enfoque informado y estratégico en el desarrollo del proyecto.

### ***2.1.1 Eficiencia de los Paneles Solares***

En los últimos años, ha habido un notable avance en la eficiencia de los paneles solares, con un aumento significativo en la tasa de conversión de la luz solar en energía utilizable, pasando de alrededor del 15 % a casi un 20 %. Incluso, algunos paneles solares de alta eficiencia pueden llegar a alcanzar hasta un 23 %. Además, la potencia nominal de los paneles de tamaño estándar también ha experimentado un aumento considerable, pasando de 250 W a 370 W. Es importante destacar que la eficiencia de los paneles solares se determina tanto por la eficiencia de la célula fotovoltaica, que está influenciada por el tipo y diseño de la célula, como por la eficiencia total del panel, que considera factores como el tipo de célula, la

disposición y el tamaño. Para evaluar la eficiencia de los paneles solares, un método común es consultar el índice de eficiencia proporcionado por el fabricante, el cual se basa en condiciones de ensayo estándar y ofrece una medida confiable del rendimiento. En resumen, cuanto mayor sea la eficiencia de un panel solar, mayor será su producción en comparación con un panel menos eficiente, lo que implica la necesidad de menos paneles para satisfacer las necesidades energéticas.

### ***2.1.2 Micromovilidad como Solución Innovadora de Transporte***

La micromovilidad es una solución innovadora de transporte urbano destinada a ofrecer opciones de viaje de corta distancia, incluidos los viajes del primer y último kilómetro. El atractivo de la micromovilidad es que proporciona una alternativa de transporte flexible, sostenible, rentable y bajo demanda (Shaheen et al., 2020) y reduce la dependencia del uso de vehículos privados para viajes de corta distancia (Clewlow, 2018, Tiwari, 2019). Las soluciones de micromovilidad incluyen una gama de dispositivos livianos o minivehículos que operan a velocidades que generalmente no exceden los 45 km/h. Estos dispositivos, que incluyen bicicletas, scooters, patinetas, segways y patinetas flotantes, pueden ser de propulsión humana o eléctricos y son de propiedad privada o compartidos (Dia, 2019). El valor de las soluciones de micromovilidad para las ciudades es que representan un cambio hacia modos de transporte sostenibles y con bajas emisiones de carbono y que pueden ser una fuerza positiva para alterar el uso de vehículos privados, especialmente para viajes de corta distancia. Su popularidad también es un reflejo del creciente reconocimiento de que los automóviles, los vehículos privados, tienen impactos adversos en la salud y la calidad de vida, especialmente cuando se tienen en cuenta la congestión, las emisiones y la calidad del aire (Sperling, 2018).

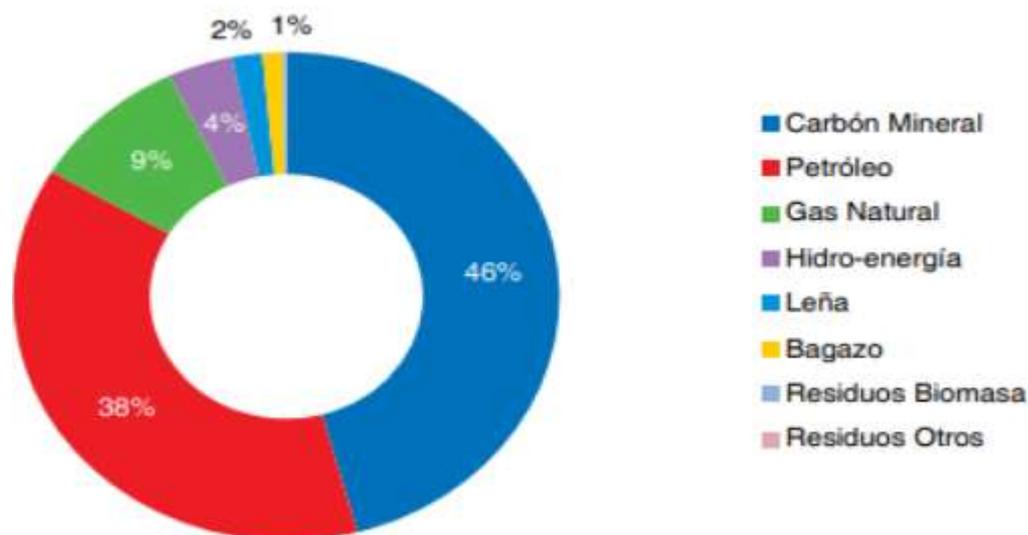
### ***2.1.3 Conceptos Básicos de las Energías Renovables***

Las energías renovables se refieren a fuentes de energía que se basan en la utilización del sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal. A diferencia de las fuentes

convencionales, no dependen de combustibles fósiles, sino de recursos que pueden renovarse de forma ilimitada. Estas fuentes energéticas tienen un impacto ambiental menor, ya que no solo no agotan recursos finitos, sino que tampoco generan contaminantes. A nivel global, la mayor parte de la energía consumida proviene de fuentes fósiles como el petróleo, el gas y el carbón, que se derivan de materia orgánica como algas, microorganismos y plantas. Por el contrario, solo un pequeño porcentaje del consumo energético mundial corresponde a energías renovables, como la hidroenergía y la biomasa, que representan aproximadamente el 4 % y el 3 % respectivamente, mientras que el 93 % restante proviene de recursos de origen fósil (Figura 3).

**Figura 3**

*Producción de Recursos Energéticos en el Mundo*



Tomado de: [http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen\\_idearioenergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf)

#### **2.1.4 Factores Afectan a la Eficiencia de los Paneles Solares**

La eficiencia de las células fotovoltaicas (FV) que componen un panel solar se calcula en función de la energía de la luz solar que los semiconductores convierten en electricidad. Un panel solar eficiente es aquel que genera más electricidad ocupando menos espacio. Los fabricantes clasifican los paneles solares según su eficiencia, que oscila entre el 15 % y el 20

% de conversión de la energía solar en electricidad utilizable. Hay muchos factores que afectan a la eficiencia de los paneles solares, más allá de la clasificación de los fabricantes:

- La cantidad de luz reflejada fuera de la superficie de la célula.
- La intensidad del sol.
- La cantidad de nubes.
- La acumulación de calor, que afecta a la conductividad de los semiconductores de las células fotovoltaicas.

Estos son algunos de los principales factores que afectan a la eficiencia de los paneles solares.

### ***2.1.5 Inclinación del Panel Solar***

La orientación de los paneles solares –llamada ángulo o inclinación del panel solar– es importante para obtener todas las ventajas de la radiación solar. Los paneles planos respecto al suelo no funcionan tan bien como los inclinados hacia el sol. La inclinación óptima depende de la latitud de tu casa o instalación y de la época del año. En la práctica, sin embargo, la mayoría de las situaciones no permiten ajustar la inclinación de los paneles en cada estación.

Los módulos fotovoltaicos deben estar siempre orientados al Sur. La salida y el rendimiento de los paneles solares variarán según muchos factores, incluido el ángulo de inclinación del panel solar (Figura 4).

En el caso de no poder ser así, el ángulo de desvío respecto al Sur se llama acimut o azimut, y se representa por la letra  $\alpha$ .

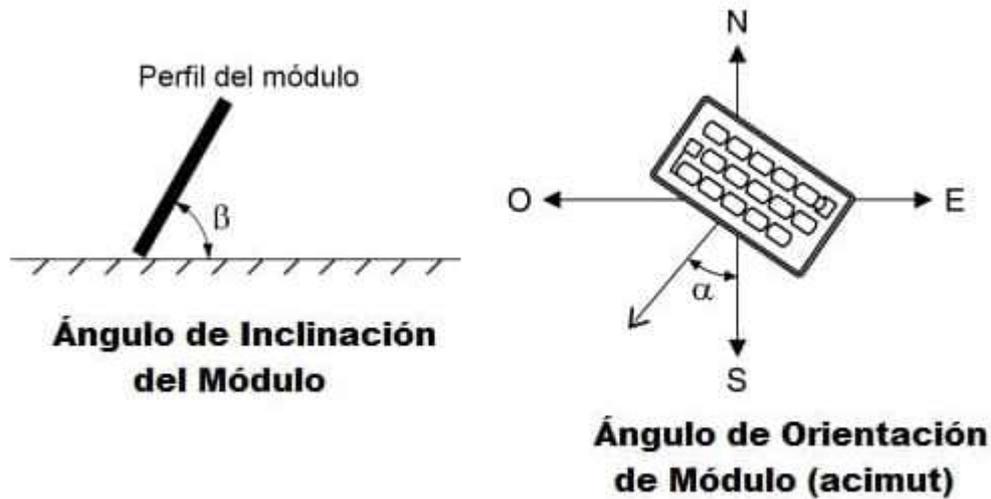
Orientación Ideal  $\alpha = 0^\circ$

Todo lo que se desvíe genera pérdidas.

Las pérdidas por orientación se calculan junto con las pérdidas por Inclinación.

**Figura 4**

*Inclinación y Orientación Módulos Fotovoltaicos*



Tomado de: <https://areatecnologia.com/electricidad/perdidas-fotovoltaica.html>

### **2.1.6 Orientación Adecuada para los Paneles Solares**

Al buscar la orientación ideal para la ubicación de los paneles solares, es crucial considerar la dirección de los rayos solares. Orientar adecuadamente los paneles resulta ser un factor determinante para lograr una producción óptima de energía solar.

Es necesario alinear los paneles solares de manera que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre su superficie. En el caso del hemisferio norte, esto implica orientar los paneles hacia el sur, mientras que, en el hemisferio sur, se deben orientar hacia el norte.

En situaciones donde no sea posible una alineación exacta con la dirección correcta, es posible ajustar la orientación unos pocos grados, pero es importante no desviarse demasiado, ya que esto podría ocasionar una disminución significativa en la producción de energía.

Una ventaja de utilizar paneles solares en Ecuador radica en que los rayos solares inciden de manera más perpendicular sobre la superficie, lo que facilita la generación de energía solar.

## 2.2 Marco Conceptual

### 2.2.1 *Árbol Solar o E-Tree*

Los árboles solares representan una forma muy creativa de utilizar paneles solares, lo que demuestra que la energía solar no solo es práctica, sino que puede ser hermosa al mismo tiempo. Un árbol fotovoltaico alimentado por energía solar es un generador de energía con una apariencia visual similar a un árbol y con los paneles solares como hojas.

Lo que distingue a un árbol solar fotovoltaico de otro tipo de instalaciones solares basadas en un poste es su diseño único (Figura 5).

#### **Figura 5**

##### *Árbol Solar*



Tomado de: <https://arqzoneblog.wordpress.com/2018/10/17/arboles-solares/>

### 2.2.2 *Factores que Hacen Destacar un Árbol Solar*

Los árboles solares representan más que una alternativa a las líneas eléctricas convencionales. Además, proporcionan una fuente de energía completamente limpia y renovable.

#### **Iluminación**

- El alumbrado que utiliza energía solar proveniente de sistemas fotovoltaicos, especialmente durante la noche.

#### Proporcionar sombra

- Su capacidad para generar sombra los convierte en una opción ideal para integrarse en entornos como parques, ofreciendo un respiro en días soleados.

#### Aprovechamiento del espacio

- La estructura de los árboles solares permite la instalación de asientos o mesas debajo de ellos, maximizando el uso del espacio disponible.

#### Aspecto estético

- Los árboles solares añaden un toque distintivo al entorno donde se ubican, contribuyendo a su estética.

#### Concienciación

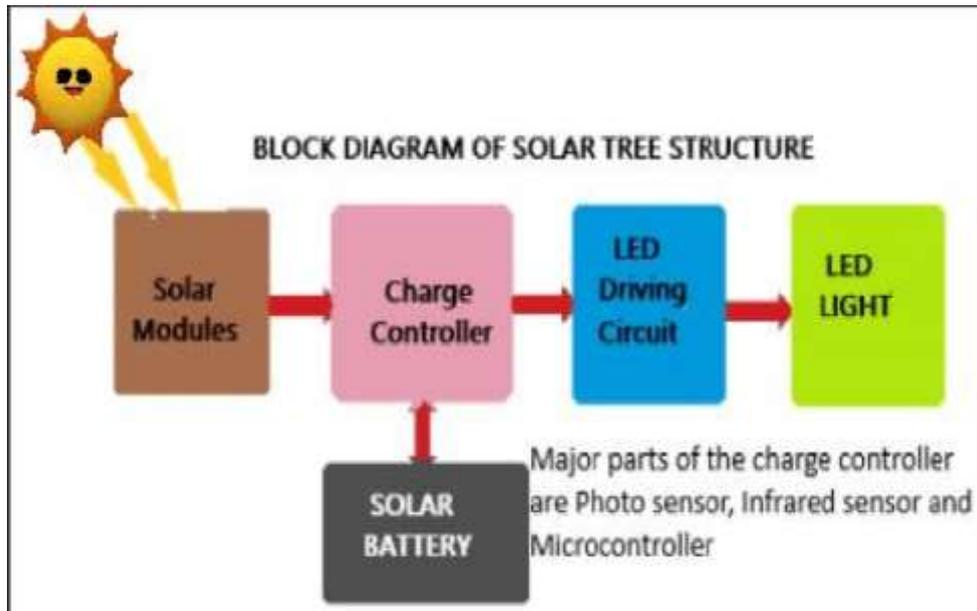
- Contribuyen a aumentar la conciencia global sobre la importancia de las energías renovables y fomentan el uso de paneles solares entre la población.

#### Mantenimiento

- Al igual que cualquier instalación fotovoltaica, el mantenimiento de los árboles solares es sencillo y de bajo costo.

Los árboles solares ofrecen una novedosa y emocionante manera de generar energía (Figura 6). A medida que el mundo avanza hacia una mayor adopción de la energía solar, los árboles solares servirán como símbolos de este progreso y evolución.

Además, con el continuo desarrollo tecnológico, se espera que el costo de los árboles solares disminuya en el futuro.

**Figura 6***Partes de un Árbol Fotovoltaico*

Tomado de: [https://www.researchgate.net/figure/The-block-diagram-of-solar-tree-power-generation-in-the-laboratory\\_fig3\\_345244294](https://www.researchgate.net/figure/The-block-diagram-of-solar-tree-power-generation-in-the-laboratory_fig3_345244294)

### 2.2.3 *Panel Solar Policristalino*

Los paneles solares policristalinos o multicristalinos son paneles solares que constan de varios cristales de silicio en una sola célula fotovoltaica. Varios fragmentos de silicio se funden para formar obleas de paneles solares policristalinos. En el caso de las células solares policristalinas, la tina de silicio fundido utilizada para producir las células se deja enfriar en el propio panel.

Estos paneles solares tienen una superficie que parece un mosaico. Tienen forma cuadrada y una tonalidad azul brillante ya que están formados por varios silicios policristalinos. Como hay múltiples cristales de silicio en cada celda, los paneles policristalinos permiten poco movimiento de electrones dentro de las celdas. Estos paneles solares absorben la energía del sol y la convierten en electricidad.

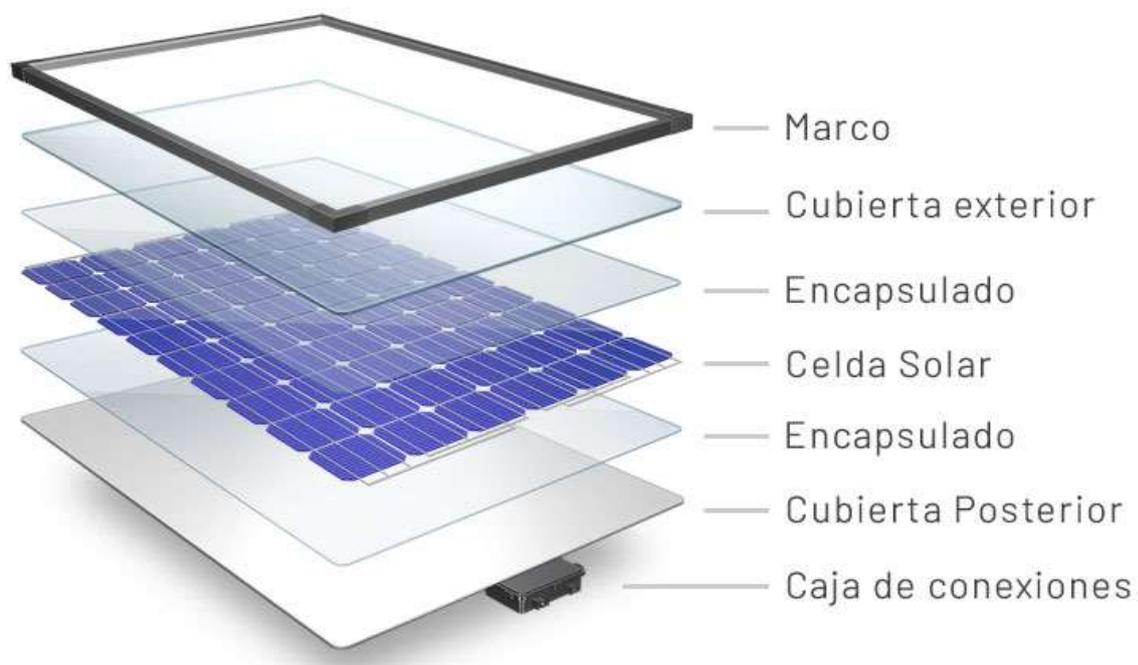
Los paneles solares policristalinos, también conocidos como placas solares policristalinas, presentan diferencias con respecto a los paneles solares monocristalinos.

Destacan por su mayor resistencia al sobrecalentamiento, lo que los hace idóneos para funcionar de manera óptima en regiones con climas habitualmente cálidos. Esta resistencia se debe a su capacidad para absorber el calor a una velocidad más rápida que los paneles solares monocristalinos. En resumen, los paneles solares policristalinos ofrecen una mayor capacidad para resistir el sobrecalentamiento en comparación con los paneles solares monocristalinos.

En la Figura 7 se muestra las partes de un panel fotovoltaico.

### Figura 7

*Partes de un Panel Fotovoltaico*



Tomado de: <https://teslaenergy.cl/paneles-solares-lo-que-necesita-saber-y-mas/>

#### 2.2.4 *Sistemas Solares Fotovoltaicos*

Los sistemas solares fotovoltaicos transforman la radiación solar en energía eléctrica. El panel solar es el componente responsable de realizar esta transformación energética.

Sin embargo, cada una de las partes del sistema solar fotovoltaico desempeña una labor imprescindible para captar la energía solar y llevar a cabo la transformación. A continuación, se muestra cada uno de los componentes que forma un sistema solar fotovoltaico (Tabla 1).

**Tabla 1***Elementos Generales de los Sistemas Fotovoltaicos*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
Celdas fotovoltaicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fabricadas a partir de los años 50 de silicio cristalino, son las encargadas de la conversión fotovoltaica. creando una diferencia potencial y una corriente gracias a la radiación luminosa que cae sobre cada celda.</li> </ul>
Regulador de carga	<ul style="list-style-type: none"> <li>La función de este es proteger las baterías contra las descargas y sobrecargas.</li> </ul>
Placas fotovoltaicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, creando una corriente eléctrica continua, ubicadas estratégicamente con el fin de un mayor rendimiento y eficiencia.</li> </ul>
Baterías	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenan la energía eléctrica, generalmente estacionarias con un ciclo de carga y descarga continuo dependiendo de la radiación obtenida.</li> </ul>
Inversor	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trasforman la corriente continua en corriente alterna generada por las placas fotovoltaicas almacenada en las baterías.</li> </ul>

**2.2.5 Radiación Solar**

El sol emite grandes cantidades de energía de manera constante, y una parte de esta energía llega a la tierra. La cantidad de energía solar que recibimos en un solo día es más que suficiente para satisfacer la demanda mundial de todo un año. Sin embargo, no toda la energía solar que llega puede ser aprovechada de manera efectiva, ya que parte de la luz solar es absorbida por la atmósfera terrestre o reflejada de vuelta al espacio.

La intensidad de la luz solar que alcanza la superficie terrestre varía dependiendo del momento del día, del año, del lugar y de las condiciones climáticas. La cantidad total de energía solar recibida en un período determinado se conoce como radiación, y se expresa en Wh/m<sup>2</sup> por día o en kWh/m<sup>2</sup> por día.

Para simplificar los cálculos basados en la información sobre radiación solar, la energía solar se suele expresar en términos de horas equivalentes de luz solar plena. La luz solar plena tiene una potencia de aproximadamente 1,000 W/m<sup>2</sup>, por lo que una hora de luz solar plena equivale a 1 kWh/m<sup>2</sup> de energía solar terrestre pura.

Todos los lugares de la Tierra reciben luz solar al menos parte del año. La cantidad de radiación solar que llega a cualquier punto de la superficie terrestre varía según:

- Ubicación geográfica.
- Hora del día.
- Estación.
- Paisaje local.
- Clima local.

Debido a que la Tierra es redonda, el sol incide sobre la superficie en diferentes ángulos, que van desde 0° (justo encima del horizonte) hasta 90° (directamente encima). Cuando los rayos del sol son verticales, la superficie de la Tierra recibe toda la energía posible. Cuanto más inclinados están los rayos del sol, más tiempo viajan a través de la atmósfera, volviéndose más dispersos y difusos. Debido a que la Tierra es redonda, las frías regiones polares nunca reciben un sol alto y, debido al eje de rotación inclinado, estas áreas no reciben ningún sol durante parte del año.

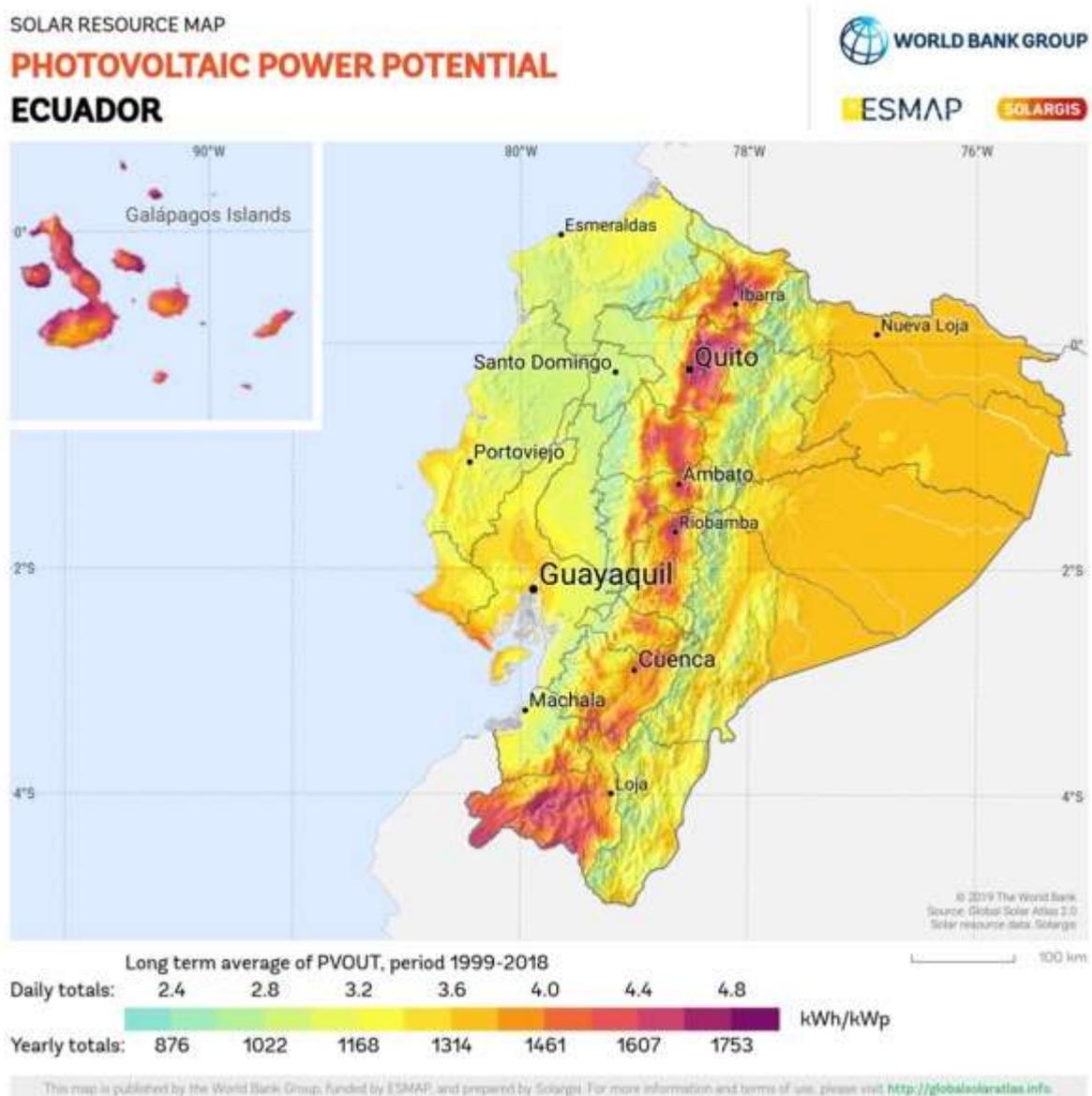
### **2.2.6 Radiación Solar en Ecuador**

El promedio aproximado de radiación solar global en Ecuador es de alrededor de 4200 kWh/año por metro cuadrado, significativamente más alto que el promedio en España, que es

de 1400 kWh/año por metro cuadrado en la parte peninsular. Sin embargo, según [1], se observan variaciones de más del 30 % entre diferentes ubicaciones en el Ecuador continental, y más del 40 % en comparación con las Islas Galápagos. Esto se debe a la amplia gama de condiciones atmosféricas y topográficas en Ecuador, así como al extenso rango de latitudes, que se extiende desde las Galápagos hasta la Amazonia (Figura 8).

### Figura 8

#### *Radiación Solar en Ecuador*



Tomado de: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/ecuador>

### Capítulo III

#### **Implementación de un Sistema de Árbol Fotovoltaico con Paneles Policristalinos**

Aquí se presenta un procedimiento general para implementar un sistema de árbol fotovoltaico utilizando paneles policristalinos, asegurando un adecuado aprovechamiento de la energía solar para su uso en la micromovilidad:

- **Análisis de viabilidad y planificación:**

Realizar un estudio de viabilidad para determinar la idoneidad del lugar de instalación del árbol fotovoltaico.

Considerar factores como la disponibilidad de luz solar, espacio disponible, acceso a la red eléctrica, normativas locales y condiciones climáticas.

Estimar el potencial solar en la zona a implementar el sistema del árbol solar de paneles policristalinos para la micromovilidad.

Diseñar un plan detallado que incluya la ubicación específica del árbol fotovoltaico, el número y disposición de los paneles, y los requerimientos técnicos para la micromovilidad.

- **Selección de equipos y materiales:**

Elegir paneles solares policristalinos de alta calidad y eficiencia que se adapten a las necesidades de energía del sistema de micromovilidad.

Seleccionar los componentes adicionales necesarios, como inversores solares, baterías de almacenamiento si es necesario, estructuras de montaje y cableado adecuado.

- **Diseño y montaje del sistema:**

Diseñar la estructura del árbol fotovoltaico teniendo en cuenta la orientación óptima para maximizar la exposición solar.

Instalar los paneles solares policristalinos en la estructura siguiendo las especificaciones del fabricante y cumpliendo con las normativas de seguridad.

Conectar los paneles solares a los inversores solares y al sistema de almacenamiento si es necesario, asegurando una instalación eléctrica segura y eficiente.

- Pruebas y puesta en marcha:

Realizar pruebas de funcionamiento para asegurarte de que el sistema de árbol fotovoltaico está generando energía de manera adecuada.

Verificar el rendimiento de los paneles solares policristalinos y del sistema en su conjunto en diferentes condiciones de luz solar.

Ajustar la configuración si es necesario para optimizar el rendimiento y la eficiencia del sistema.

- Monitoreo y mantenimiento:

Establecer un sistema de monitoreo para supervisar el rendimiento del sistema de forma regular y detectar posibles problemas.

Realizar un mantenimiento preventivo periódico, que incluya limpieza de los paneles solares, inspección de conexiones eléctricas y revisión del estado de los componentes.

Solucionar cualquier problema o avería que pueda surgir para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema a lo largo del tiempo.

- Educación y divulgación:

Proporcionar información y educación sobre el funcionamiento del sistema de árbol fotovoltaico y los beneficios de la energía solar para la micromovilidad.

Fomentar la participación y el compromiso de la comunidad universitaria para promover el uso de energías renovables y la sostenibilidad en la movilidad urbana.

Siguiendo este procedimiento y prestando atención a las especificaciones técnicas, se puede implementar con éxito un sistema de árbol fotovoltaico utilizando paneles policristalinos para el aprovechamiento de la energía solar en la micromovilidad.

### **3.1 Estimación del Potencial Solar en la Zona a Implementar el Sistema del Árbol**

#### **Solar**

Estimar el potencial solar en la zona donde se implementa el sistema del árbol solar de paneles policristalinos para la micromovilidad es un paso crucial para garantizar un rendimiento óptimo del sistema. Aquí se presenta un procedimiento para realizar esta estimación:

- **Recopilación de datos climáticos:** Obtener datos históricos sobre la radiación solar en la ubicación específica donde se instalará el árbol solar. Estos datos pueden estar disponibles a través de estaciones meteorológicas locales, agencias gubernamentales o instituciones de investigación.
- **Análisis de radiación solar:** Utilizar herramientas de análisis de radiación solar, como software de modelado solar o calculadoras en línea, para determinar la cantidad de radiación solar incidente en la zona durante diferentes períodos del año. Estas herramientas pueden tener en cuenta factores como la ubicación geográfica, la inclinación y orientación de los paneles solares, y la cobertura de nubes.
- **Evaluación de sombreado:** Analizar posibles obstrucciones que puedan causar sombreado en los paneles solares, como edificios, árboles u otras estructuras. Esto puede afectar significativamente el rendimiento del sistema y debe tenerse en cuenta en la estimación del potencial solar.
- **Cálculo de la producción de energía:** Utilizar los datos de radiación solar estimados y la especificación técnica de los paneles solares policristalinos para calcular la producción de energía esperada del sistema. Esto puede realizarse utilizando fórmulas estándar de conversión de radiación solar en energía eléctrica, teniendo en cuenta la eficiencia de los paneles y otros factores de pérdida.

- Verificación y validación: Verificar los resultados de la estimación del potencial solar mediante comparaciones con datos históricos reales de producción de energía de sistemas solares similares en la zona.

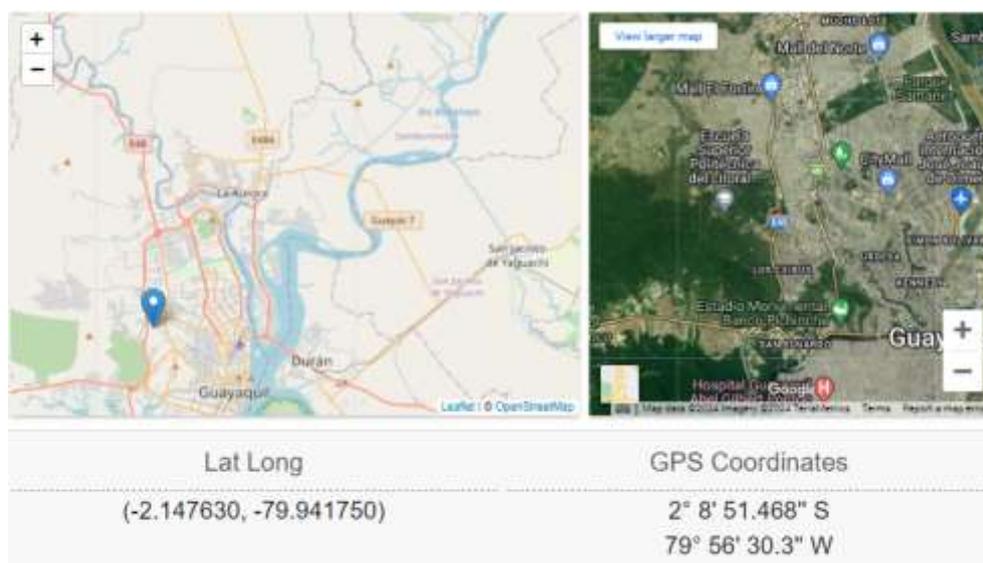
Al seguir este procedimiento, se puede estimar con precisión el potencial solar en la zona donde se implementa el sistema del árbol solar de paneles policristalinos para la micromovilidad, lo que permite dimensionar adecuadamente el sistema y maximizar su rendimiento energético.

### 3.2 Ángulo Óptimo del Panel Solar

A diferencia de la dirección, el ángulo óptimo para su sistema de energía solar no es universal en todo el territorio continental de Ecuador; varía dependiendo de su ubicación nort-sur. Si se tiene que determinar sobre cuál sería el ángulo de inclinación óptimo, primero se encuentra la medida de latitud (Figura 9) Esto proporciona la inclinación equilibrada para cuando el sol esté en el ecuador de la Tierra. Para encontrar la latitud exacta, consultar esta útil herramienta (<https://www.latlong.net/>).

#### Figura 9

##### *Determinación de la Ubicación*



Tomado de: <https://www.latlong.net/>

Por ejemplo, si se vive en Guayaquil, la latitud promedio es de alrededor de 3,4 grados. Por lo tanto, el ángulo ideal del panel solar para el proyecto es de aproximadamente 3,4 grados.

El ángulo de inclinación óptimo durante todo el año: 3,4° desde la horizontal.

### ***3.2.1 Uso de una Herramienta de Ángulo en Línea***

Cuando se busca la inclinación adecuada para los paneles solares, la regla de latitud funciona en la mayoría de los casos. Sin embargo, si se vive en lugares a más de 30-45 grados, o desea la orientación más precisa posible, se recomienda utilizar una calculadora en línea.

Herramientas como PVWatts o Footprint Hero utilizan algoritmos muy sofisticados para calcular varias variables, incluidas:

- Altitud
- Latitud y longitud
- Ángulo de inclinación
- Temperatura del aire y velocidad del viento.
- Coeficientes de temperatura
- Pérdida de eficiencia
- Transferencia radiativa

Estas calculadoras solares en línea tienen acceso a 30 años de datos meteorológicos para proporcionar ángulos de inclinación increíblemente precisos para cualquier lugar del mundo. Sin embargo, en comparación con la regla de latitud, sus recomendaciones solo dan como resultado aproximadamente un 0,7 % más de producción.

Entonces, si bien son excelentes herramientas para instalar paneles solares en el ángulo correcto, no son necesarias.

### ***3.2.2 Factores que Afectan el Ángulo del Panel Solar***

Los factores que influyen son los siguientes:

- Latitud

La latitud de su ubicación juega un papel importante a la hora de determinar el mejor ángulo del panel solar. En todo el territorio continental de Ecuador, la inclinación óptima puede oscilar entre 0 y 15 grados.

- Época del año

Se considera que el ángulo óptimo del panel solar cambia con las estaciones. La mayoría de los casos pueden esperar +/- 15 grados en verano e invierno.

Teniendo esto en cuenta, el mejor método para lograr la máxima eficiencia durante todo el año es alinear el ángulo de inclinación con la posición ecuatorial del sol. Cualquier orientación más o menos resultará en una pérdida desequilibrada de producción.

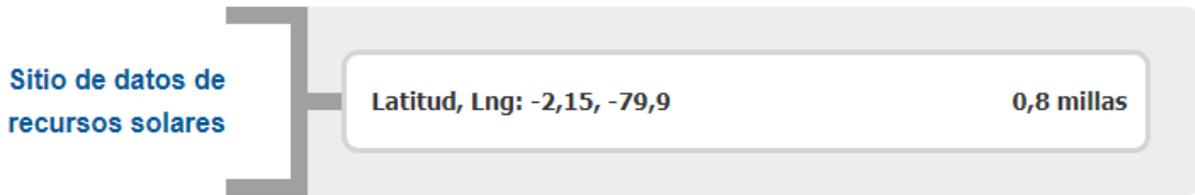
Con tantas variables, determinar la inclinación ideal para sus paneles solares puede resultar abrumador. Pero como se ha realizado un trabajo en cada paso del camino para garantizar que el sistema se vea excelente y genere el máximo rendimiento.

### **3.3 Calculadora del Ángulo de Inclinación del Panel Solar**

La salida y el rendimiento de los paneles solares variarán según muchos factores, incluido el ángulo de inclinación del panel solar. Se muestran las inclinaciones de las ramas del árbol estándar y algunos de los factores que influyen en la eficiencia general de los paneles solares. El ángulo de inclinación se define como el número de grados que su matriz se orienta desde el suelo para poder mirar hacia el sol.

Para generar la mayor parte de los paneles solares, es necesario apuntar el panel solar en la dirección que captura la mayor cantidad de luz solar. Saber cómo calcular el ángulo correcto para los paneles solares puede ayudar a obtener la mayor eficiencia de los paneles.

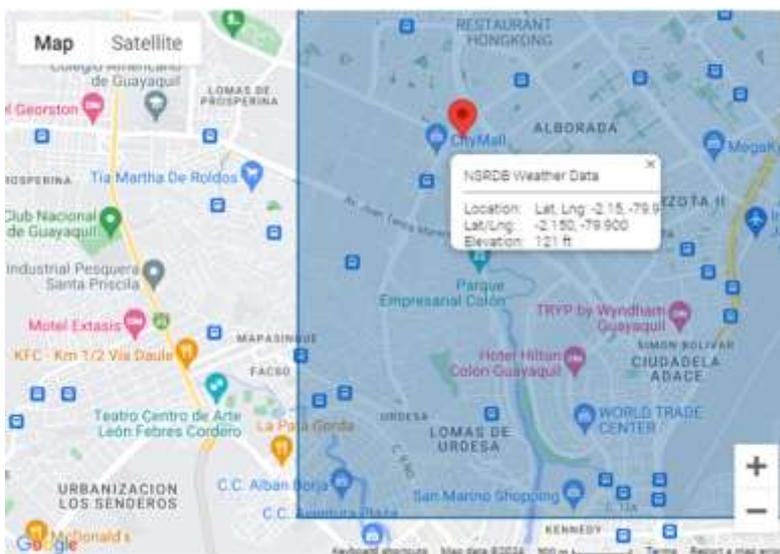
La latitud y longitud del sitio de datos de recursos solares se muestran a continuación, junto con la distancia entre su ubicación y el centro de la celda de la cuadrícula del sitio. Utilizar estos datos a menos que tenga un motivo para cambiarlos (Figura 10).

**Figura 10***Cálculo de Latitud y Longitud*

Fuente: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

### 3.2.1 *Mapa de Datos de Recursos*

El rectángulo azul en el mapa indica la celda de la cuadrícula de la Base de datos nacional de radiación solar (NSRDB) del NREL para la ubicación en la cual se coloca el árbol fotovoltaico. Si se desea utilizar datos para una celda de cuadrícula NSRDB diferente, se hace doble clic en el mapa para mover el rectángulo. Arrastrar el rectángulo no lo moverá. Si la ubicación está fuera del área de NSRDB, el mapa muestra pines para los sitios de datos alternativos más cercanos en lugar de un rectángulo, se hace clic en un marcador para elegir el sitio que se desea usar (Figura 11).

**Figura 11***Mapa de Datos de Recursos*

Fuente: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

### 3.2.2 Elegir la Inclinación Correcta

No necesariamente se tiene que ajustar la inclinación de los paneles cada temporada. Si se encuentra que la energía generada por los paneles solares es suficiente para sus necesidades energéticas de invierno, suponiendo que el mayor consumo de energía es en el invierno, puede dejar los paneles en la misma posición.

Tener en cuenta que los paneles solares de montaje fijo serán menos eficientes durante el verano, la primavera y el otoño, cuando el sol se mueva a través de una gran área del cielo.

En la Figura 12 se muestra la información del sistema que se va a instalar en función de las necesidades.

**Figura 12**

*Información del Sistema a Instalar*

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

RESTAURAR LOS VALORES PREDETERMINADOS

Modifique las entradas siguientes para ejecutar la simulación.

<b>Tamaño del sistema CC (kW):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="1.2"/>	<a href="#">i</a>	
<b>Tipo de módulo:</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="Estándar"/>	<a href="#">i</a>	
<b>Tipo de matriz:</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="Fijo (estante abierto)"/>	<a href="#">i</a>	
<b>Pérdidas del Sistema (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="14.08"/>	<a href="#">i</a>	<a href="#">Calculadora de pérdidas</a>
<b>Inclinación (grados):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	<a href="#">i</a>	
<b>Azimut (grados):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	<a href="#">i</a>	

+
Parámetros avanzados

### Estimador del tamaño de la azotea

Haga clic a continuación para estimar el tamaño del sistema desde el área de su techo en un mapa. (opcional)



Tomado de: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

Durante el proceso de instalación se toma en cuenta cualquier incidencia de sombras de árboles, casas o edificios aledaños. Las sombras en las instalaciones fotovoltaicas bajan sustancialmente el rendimiento de los paneles solares. Que una planta reciba sombra durante unos pocos minutos, parecería no muy relevante, sin embargo, si se calcula la pérdida de generación diariamente durante la vida útil de la planta solar, las pérdidas comienzan a ser considerables.

La presencia de sombras en la instalación de paneles solares ocasiona:

- Pérdida de potencia del sistema fotovoltaico completo.
- Menor rendimiento de la planta.
- Menor rentabilidad sobre la inversión.

En la Figura 13 se puede ver las pérdidas consideradas.

### Figura 13

#### *Cálculo de las Pérdidas del Sistema*

**Calcular el desglose de pérdidas del sistema**
✕

Modifique los parámetros siguientes para cambiar el porcentaje general de pérdidas del sistema para su sistema.

<b>Suciedad (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="2"/>	i	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: #f9f9f9;">           Pérdidas estimadas del sistema:   <span style="font-size: 2em; color: #0070c0; font-weight: bold;">14,08%</span> </div>
<b>Sombreado (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="3"/>	i	
<b>Nieve (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	i	
<b>Discordancia (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="2"/>	i	
<b>Alambrado (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="2"/>	i	
<b>Conexiones (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="0.5"/>	i	
<b>Degradación inducida por la luz (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="1.5"/>	i	
<b>Clasificación de la placa de identificación (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="1"/>	i	
<b>Edad (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="0"/>	i	
<b>Disponibilidad (%):</b>	<input style="width: 90%;" type="text" value="3"/>	i	

AYUDA
REINICIAR
CANCELAR
AHORRAR

Tomado de: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

### 3.2.3 Resultados

La página de Resultados muestra las estimaciones de producción de energía anual y mensual de PVWatts® en kilovatios-hora, junto con la radiación solar promedio mensual y anual en kilovatios por metro cuadrado por día. También muestra un resumen de entradas con métricas de rendimiento adicionales.

Para utilizar los resultados de PVWatts ® en los documentos o aplicaciones, se puede imprimir los resultados como un archivo PDF o descargarlos para generar archivos de texto con valores separados por comas (CSV) de los resultados horarios o mensuales del sistema.

El valor de kilovatio-hora por año (kWh/Año) que aparece en la parte superior de la página de Resultados y los valores mensuales en la tabla son sumas de los valores de producción por hora durante esos períodos. Debido a que PVWatts® calcula estos valores utilizando datos de recursos solares de un año típico a largo plazo, estos resultados no representan la cantidad de electricidad que el sistema genera en un año en particular. En cambio, representan la producción eléctrica típica que se puede esperar durante el período de años representado por los datos del recurso solar. En general, se puede esperar que la producción eléctrica total del sistema para un mes determinado de un año en particular varíe hasta  $\pm 30\%$  del valor típico a largo plazo. De manera similar, la producción anual total para un año en particular puede variar del valor típico a largo plazo hasta en  $\pm 10\%$ .

Nota importante: PVWatts ® utiliza un conjunto de suposiciones que son apropiadas para sistemas fotovoltaicos de placa plana con silicio cristalino o módulos de película delgada. Los resultados de PVWatts ® no son apropiados para sistemas que utilizan colectores concentradores ni para módulos que utilizan tecnologías de celdas o diseños de módulos novedosos.

En la Figura 14 se puede ver los resultados obtenidos.

**Figura 14***Verificar el Motor*

Tomado de: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

### 3.3 Consideraciones Técnicas

- Tipo de módulo

El tipo de módulo describe los módulos fotovoltaicos del sistema. Si no se tiene información sobre los módulos del sistema, se debe utilizar el tipo de módulo Estándar predeterminado. De lo contrario, se puede utilizar la información de la hoja de datos del módulo y la Tabla 2 para elegir el tipo de módulo.

**Tabla 2***Tipo de Módulo*

<b>Tipo de módulo PVWatts®</b>	<b>Material celular</b>	<b>Eficiencia nominal aproximada</b>	<b>Cubierta del módulo</b>	<b>Coefficiente de temperatura de potencia</b>
Estándar	Silicio cristalino	19 %	Vidrio con revestimiento antirreflectante	-0,37 %/°C
De primera calidad	Silicio cristalino	21 %	Vidrio con revestimiento antirreflectante	-0,35 %/°C
Película delgada	Película delgada	18 %	Vidrio con revestimiento antirreflectante	-0,32 %/°C

- Pérdidas del sistema

Las pérdidas del sistema representan las pérdidas de rendimiento que se esperarían en un sistema real y que no se calculan explícitamente mediante las ecuaciones del modelo PVWatts®.

El valor predeterminado para las pérdidas del sistema del 14 % se basa en las categorías de la siguiente tabla y se calcula de la siguiente manera:

$$100 \% \times [ 1 - ( 1 - 0,02 ) \times ( 1 - 0,03 ) \times ( 1 - 0,02 ) \times ( 1 - 0,02 ) \times ( 1 - 0,005 ) \times ( 1 - 0,015 ) \times ( 1 - 0,01 ) \times ( 1 - 0,03 ) ] = 14 \%$$

La eficiencia de conversión de CC a CA del inversor es una entrada independiente en parámetros avanzados con un valor predeterminado del 96 %. No se incluye las pérdidas de conversión del inversor en el porcentaje de pérdidas del sistema.

- Relación de tamaño de CC a CA

La relación de tamaño de CC a CA es la relación entre el tamaño nominal de CC del conjunto y el tamaño nominal de CA del inversor. Para el valor predeterminado de 1,2, un tamaño de sistema de 4 kW sería para un conjunto de 4 kW de CC en condiciones de prueba estándar (STC) y un inversor de  $4 \text{ kW de CC} / 1,2 = 3,33 \text{ kW de CA}$ .

Para un sistema con una alta relación de tamaño de CC a CA, en los momentos en que la salida de potencia de CC del conjunto excede la potencia de entrada de CC nominal del inversor, el inversor limita la salida de energía del conjunto aumentando el voltaje de funcionamiento de CC, lo que mueve el punto de funcionamiento del conjunto hacia abajo de la curva corriente-voltaje (IV). PVWatts ® modela este efecto limitando la potencia de salida del inversor a su tamaño nominal de CA.

El valor predeterminado de 1,20 es razonable para la mayoría de los sistemas. Un rango típico es de 1,10 a 1,25, aunque algunos sistemas a gran escala tienen proporciones tan altas como 1,50. El valor óptimo depende de la ubicación del sistema, la orientación del conjunto y los costos del módulo y del inversor.

- Eficiencia del inversor

La eficiencia nominal de conversión de CC a CA del inversor, definida como la salida de potencia de CA nominal del inversor dividida por su salida de potencia de CC nominal. El valor predeterminado es 96 %.

- Pérdida mensual de irradiancia

Las pérdidas mensuales de irradiancia representan la reducción de la irradiancia solar incidente causada por el polvo u otra suciedad de la superficie del conjunto fotovoltaico que reduce la radiación incidente sobre el conjunto. Las pérdidas por suciedad provocan una reducción uniforme de la irradiancia total incidente en el conjunto. Se debe especificar un porcentaje de pérdida para cada mes, donde 0 % significa que no hay pérdidas y 100 % es para

una matriz completamente oscurecida. De forma predeterminada, la pérdida de irradiancia es cero para todos los meses.

Al considerar la ubicación óptima de los paneles solares, por lo general se pregunta si la orientación o el ángulo son más críticos. Ambos factores desempeñan un papel importante a la hora de determinar la producción de energía, pero la dirección de los paneles solares tiene prioridad sobre el ángulo de inclinación.

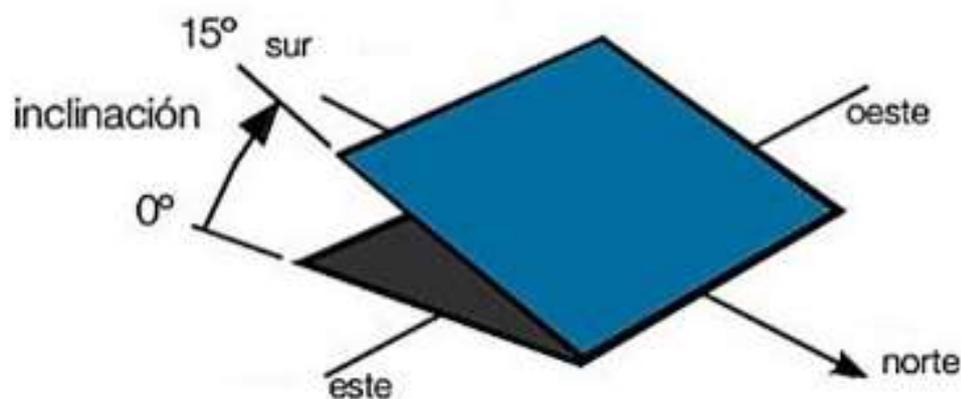
Aunque el ángulo de los paneles solares es fundamental, es secundario a la orientación cuando se trata de producción de energía. El ángulo óptimo permite una mejor absorción de la luz y un ángulo de incidencia menor, maximizando la conversión de energía.

Sin embargo, una orientación inadecuada puede reducir la producción de energía incluso con el ángulo correcto. Para equilibrar la orientación y la inclinación, se debe priorizar la orientación adecuada y ajustar el ángulo para optimizar aún más la producción de energía.

Al alinear ambos factores, se alcanzan los niveles más altos de eficiencia energética (Figura 15).

### **Figura 15**

#### *Orientación e Inclinación de los Paneles*



Tomado de: <https://www.sunalizer.es/post/orientacion-paneles-solares>

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la instalación realizada.

**Tabla 3***Resultados de la Instalación Realizada*

<b>Ubicación e identificación de la estación</b>						
Ubicación solicitada	Guayaquil Urdenor					
Fuente de los datos meteorológicos	Latitud, longitud: -2,15, -79,94 1,0 millas					
Latitud	2,15°S					
Longitud	79,94° O					
<b>Especificaciones del Sistema Fotovoltaico</b>						
Tamaño del sistema de CC	1,2 Kilovatios					
Tipo de módulo	Estándar					
Tipo de matriz	Fijo (estante abierto)					
Pérdidas del sistema	14,08 %					
Inclinación de la matriz	0°					
Azimut de matriz	0°					
Relación de Tamaño de CC a CA	1,2					
Eficiencia del inversor	96 %					
Relación de cobertura del suelo	0.4					
Albedo	Del archivo meteorológico					
Bifacial	No (0)					
Pérdida mensual de irradiancia	Ene	Feb	Mar	Abr	Mayo	Junio
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pérdida mensual de irradiancia	Julio	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Métricas de rendimiento</b>						
Factor de capacidad de CC	14,2 %					

### 3.4 Metodología Aplicada

#### 3.4.1 Métodos

La investigación sobre la implementación de un sistema de árbol eléctrico utilizando paneles solares policristalinos para uso en micromovilidad implica el uso de herramientas y técnicas específicas para recopilar datos relevantes sobre el rendimiento y tipo de sistema a instalar. Aquí hay un método general que podría seguirse en este tipo de investigación.

- Investigación inicial:

Realizar un estudio exhaustivo sobre la micromovilidad, incluyendo las necesidades de energía de los vehículos eléctricos utilizados en este contexto y las limitaciones de los sistemas de carga actuales.

- Análisis de viabilidad:

Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar un sistema de árbol eléctrico utilizando paneles solares policristalinos para la micromovilidad en espacios universitarios.

- Diseño del sistema:

Diseñar el sistema de árbol eléctrico, teniendo en cuenta factores como la capacidad de generación de energía de los paneles solares, la disposición de los puntos de carga.

- Selección de ubicaciones:

Identificar ubicaciones estratégicas para instalar los árboles eléctricos, considerando la accesibilidad, la exposición solar y la demanda de carga de los vehículos eléctricos.

- Desarrollo del prototipo:

Construir un prototipo del sistema de árbol eléctrico utilizando paneles solares policristalinos y componentes de carga eléctrica, y realizar pruebas preliminares para evaluar su funcionamiento.

- **Monitoreo y evaluación:**

Monitorear el rendimiento de los árboles eléctricos y recopilar datos sobre la generación de energía, el uso de carga y la satisfacción del usuario al instalar el sistema.

- **Ajustes y mejoras:**

Realizar ajustes y mejoras en el diseño y la operación del sistema en base a los resultados, con el objetivo de optimizar su eficiencia y usabilidad.

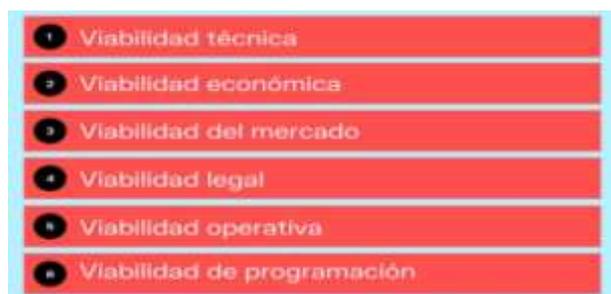
Esta metodología proporciona un marco estructurado para llevar a cabo el proyecto de implementación de un sistema de árbol eléctrico utilizando paneles solares policristalinos para uso en micromovilidad, asegurando una planificación adecuada, una ejecución efectiva y una evaluación rigurosa del proyecto.

### 3.6.2 *Tipo de Estudio*

El tipo de estudio utilizado en el proyecto "Implementación de un Sistema de Árbol Eléctrico Utilizando Paneles Solares Policristalinos para uso en Micromovilidad" probablemente sea un estudio de viabilidad técnica y económica (Figura 16). Este tipo de estudio implica evaluar la viabilidad técnica y económica de un proyecto antes de su implementación. En este caso específico, se estaría evaluando si la instalación de un sistema de árbol eléctrico con paneles solares policristalinos para alimentar la micromovilidad es factible desde el punto de vista técnico y económico.

### **Figura 16**

#### *Tipos de Viabilidad de un Proyecto*



Tomado de: <https://www.oberlo.es/blog/viabilidad-de-un-proyecto>

### **3.6.3 Tipo de Investigación**

Es una investigación exploratoria, porque es un enfoque inicial que se utiliza para examinar un problema de investigación de manera amplia y comprenderlo mejor antes de realizar un estudio más detallado y específico. Se procede a determinar los posibles problemas relacionados y los procedimientos técnicos establecidos.

## Capítulo IV

### Procedimiento Técnico de Implementación de Árbol Solar

#### 4.1 Descripción

La implementación de un árbol solar representa un avance significativo en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes para la generación de energía limpia y renovable. Este procedimiento técnico busca detallar el proceso completo para la instalación y puesta en funcionamiento de un árbol solar, una innovadora estructura que integra paneles solares policristalinos para capturar la energía solar y convertirla en electricidad utilizable en diversas aplicaciones, incluida la micromovilidad urbana.

La creciente conciencia sobre la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la transición hacia fuentes de energía más limpias ha llevado al desarrollo y adopción de tecnologías como los árboles solares. Estas estructuras no solo ofrecen una solución sostenible para la generación de energía, sino que también pueden proporcionar beneficios adicionales, como sombra, espacio público interactivo y concienciación sobre la energía renovable.

El presente procedimiento técnico aborda los aspectos clave involucrados en la implementación de un árbol solar, desde la planificación inicial hasta la puesta en marcha y el mantenimiento continuo. Se detallan las etapas de diseño, selección de ubicación, instalación de componentes, conexión a la red eléctrica, configuración del sistema de monitoreo y control, así como las consideraciones de seguridad y cumplimiento normativo.

Este procedimiento está diseñado para servir como una guía práctica y completa para ingenieros, instaladores y otros profesionales involucrados en proyectos de energía solar. Al seguir estos pasos cuidadosamente y aprovechar las mejores prácticas en diseño e instalación, se puede garantizar el despliegue exitoso de árboles solares que contribuyan positivamente a la generación de energía limpia y al desarrollo sostenible de las comunidades urbanas.

#### **4.1.1 Normativa IEC 61215**

IEC 61215 es una norma internacional desarrollada por la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) que especifica los requisitos para el diseño y la cualificación de módulos fotovoltaicos terrestres (FV) de silicio cristalino. Esta norma describe los criterios de ensayo y rendimiento que deben cumplir los módulos fotovoltaicos para garantizar su fiabilidad y seguridad en aplicaciones reales. La norma IEC 61215 está ampliamente reconocida y es utilizada por la industria solar y los organismos de certificación para evaluar y certificar la calidad y el rendimiento de los módulos fotovoltaicos de silicio cristalino.

La normativa IEC 61215 proporciona directrices para la prueba de módulos fotovoltaicos y establece estándares de rendimiento y seguridad. Sin embargo, no especifica un ángulo óptimo de inclinación para los módulos solares. El ángulo óptimo de inclinación de los paneles solares depende de varios factores, como la ubicación geográfica, la estación del año y el tipo de aplicación.

A pesar de esto, se pueden proporcionar recomendaciones generales para determinar el ángulo óptimo de inclinación de los módulos solares según la latitud del lugar donde se instalarán. Estas recomendaciones se basan en la maximización de la captación de energía solar a lo largo del año.

Por ejemplo:

Para ubicaciones cercanas al ecuador, se recomienda un ángulo de inclinación cercano a la latitud del lugar para maximizar la captación de energía solar durante todo el año.

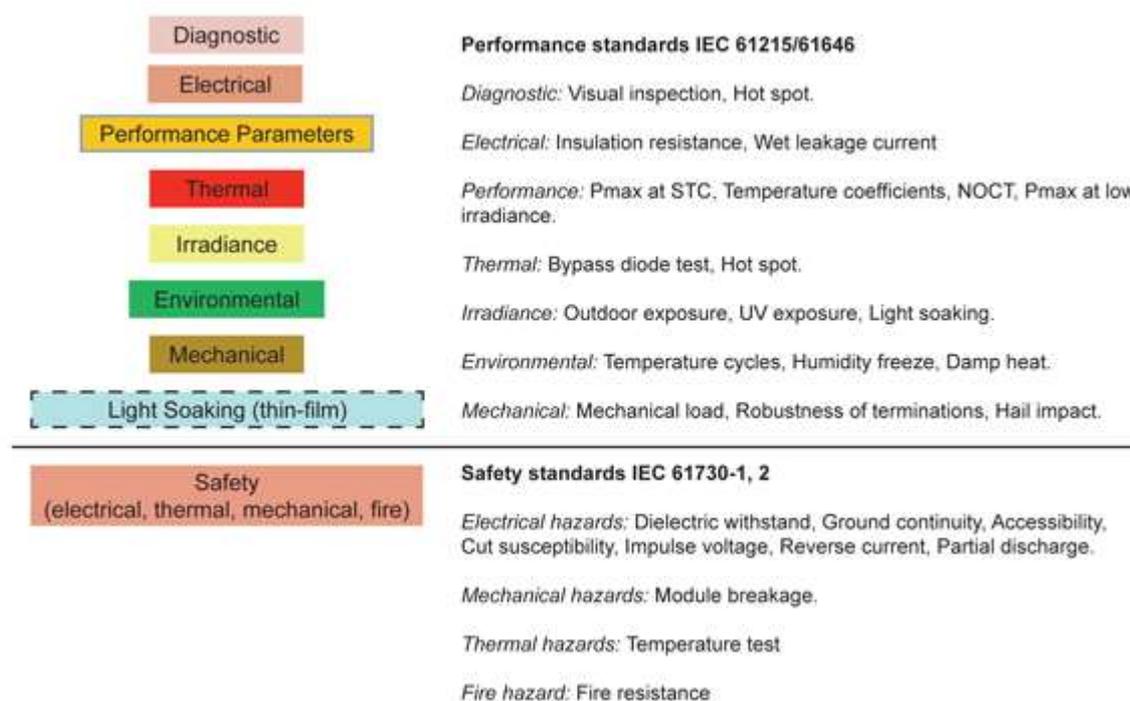
Para ubicaciones alejadas del ecuador, se recomienda un ángulo de inclinación mayor que la latitud en invierno y menor que la latitud en verano para optimizar la captación de energía solar durante las estaciones frías y cálidas, respectivamente.

Además, es importante considerar otros factores como la sombra, el diseño del sistema y las restricciones estructurales al determinar el ángulo óptimo de inclinación de los módulos solares.

En resumen, aunque la normativa IEC 61215 no proporciona directrices específicas sobre el ángulo óptimo de inclinación de los módulos solares, se pueden seguir recomendaciones generales basadas en la latitud y otros factores para maximizar la captación de energía solar (Figura 17).

### Figura 17

#### Normativa IEC 61215



Tomado de: <https://www.dsisolar.com/info/basic-understanding-of-iec-standard-testing-fo-46735805.html>

Los paneles fotovoltaicos POWEST policristalinos de 150 W (Figura 18) son adecuados para su implementación en proyectos de energía a gran escala, comerciales y residenciales, en este caso para un sistema de árbol solar para cargar bicicletas.

**Figura 18***Panel Solar Policristalino Marca Powest*

Tomado de: <https://powest.com/landing/#producto>

Estos paneles cumplen con las normativas establecidas por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC 61215, IEC 61730) e incorporan una serie de pruebas para garantizar su calidad y rendimiento óptimo, que incluyen:

- Evaluaciones de exposición a condiciones exteriores.
- Evaluaciones de aislamiento.
- Pruebas de resistencia a puntos calientes.
- Evaluaciones de preacondicionamiento ultravioleta (UV).
- Pruebas climáticas, tales como exposición a humedad-calor, ciclos térmicos y condiciones de humedad-congelación.
- Evaluaciones de carga mecánica.
- Evaluaciones de fuga de corriente en entornos húmedos.
- Evaluaciones de resistencia a fuerzas externas.

- Evaluaciones de resistencia a impactos de granizo.
- Evaluaciones de continuidad en la conexión a tierra.

Estas pruebas garantizan que los paneles cumplen con los estándares de calidad y seguridad requeridos para su uso en una variedad de aplicaciones, desde proyectos residenciales hasta instalaciones industriales a gran escala.

#### ***4.1.2 Diseño de un Sistema de Árbol***

En este apartado se diseña la estructura del árbol solar y calcula la capacidad de los elementos del sistema fotovoltaico. En primer lugar, se estableció una condición en el diseño del árbol solar que exigía que los paneles solares se ocultaran tanto como fuera posible a la vista. Por esta razón, se optó por diseñar la estructura tomando como referencia la planta Liquen de tres copas (Figura 19).

#### **Figura 19**

*Planta Liquen de Tres Copas*



Tomado de: <https://nosolofiesta.com/producto/arbol-liquen-con-3-copas/>

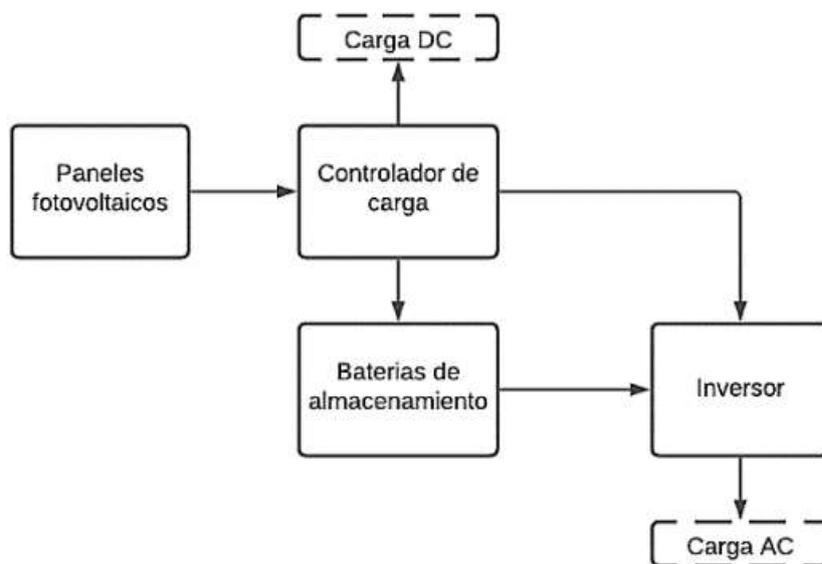
### 4.1.3 Dimensionamiento de los Sistemas Fotovoltaicos del Árbol Solar

El dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos del árbol solar puede realizarse de manera autónoma o conectado a la red eléctrica. En el caso de la seccional de la Universidad de Antioquia, se ha optado por diseñar un árbol solar autónomo, lo que implica que la energía generada debe almacenarse en baterías a través de un controlador de carga. Durante el día, cuando la radiación solar es suficiente para satisfacer las demandas de energía, los paneles fotovoltaicos suministran directamente la energía requerida. Cualquier exceso de energía eléctrica después de satisfacer las cargas se almacena en las baterías, lo que permite utilizarla cuando la generación del sistema fotovoltaico no es suficiente.

Por otro lado, se requiere un inversor para convertir la corriente continua (DC) generada por los paneles solares en corriente alterna (AC) a un voltaje y frecuencia específicos, ya que algunos dispositivos que se conectarán al árbol funcionan con corriente alterna. El diseño del sistema eléctrico del árbol incluye paneles fotovoltaicos, baterías, controlador de carga, inversor, tomacorrientes y cables de conexión, tal como se muestra en la Figura 20.

**Figura 20**

*Diagnóstico de Vehículos Usando Escáner Launch PAD VII*



Tomado de: <https://www.redalyc.org/journal/5537/553772634007/html/>

Es posible conectar el inversor al controlador de carga si este último tiene terminales de salida de corriente continua (DC). Sin embargo, es importante tener en cuenta que el controlador debe ser capaz de manejar la carga total de potencia de la demanda eléctrica de los dispositivos conectados en corriente alterna. Por lo tanto, la intensidad máxima de carga que puede soportar el controlador debe ser igual a la del inversor, lo que podría aumentar el costo del controlador. Para instalaciones de baja potencia o cuando el consumo es igual o menor que la carga proveniente de los paneles solares es posible realizar una conexión directa del inversor al controlador.

Para determinar el número de paneles fotovoltaicos del árbol, se debe hacer un estimado de las cargas que serán conectadas en un día típico al circuito del árbol solar.

#### ***4.1.4 Diseño Estructural del Sistema de Árbol Solar***

El diseño estructural de un árbol solar implica una serie de pasos que abarcan desde el diseño de la base o cimentación de la estructura hasta la definición de la disposición de los paneles fotovoltaicos y el diseño del sistema eléctrico completo, que incluye paneles solares, batería, controlador de carga, inversor, tomas de corriente y cables de conexión. El sistema eléctrico ha sido previamente calculado en secciones anteriores.

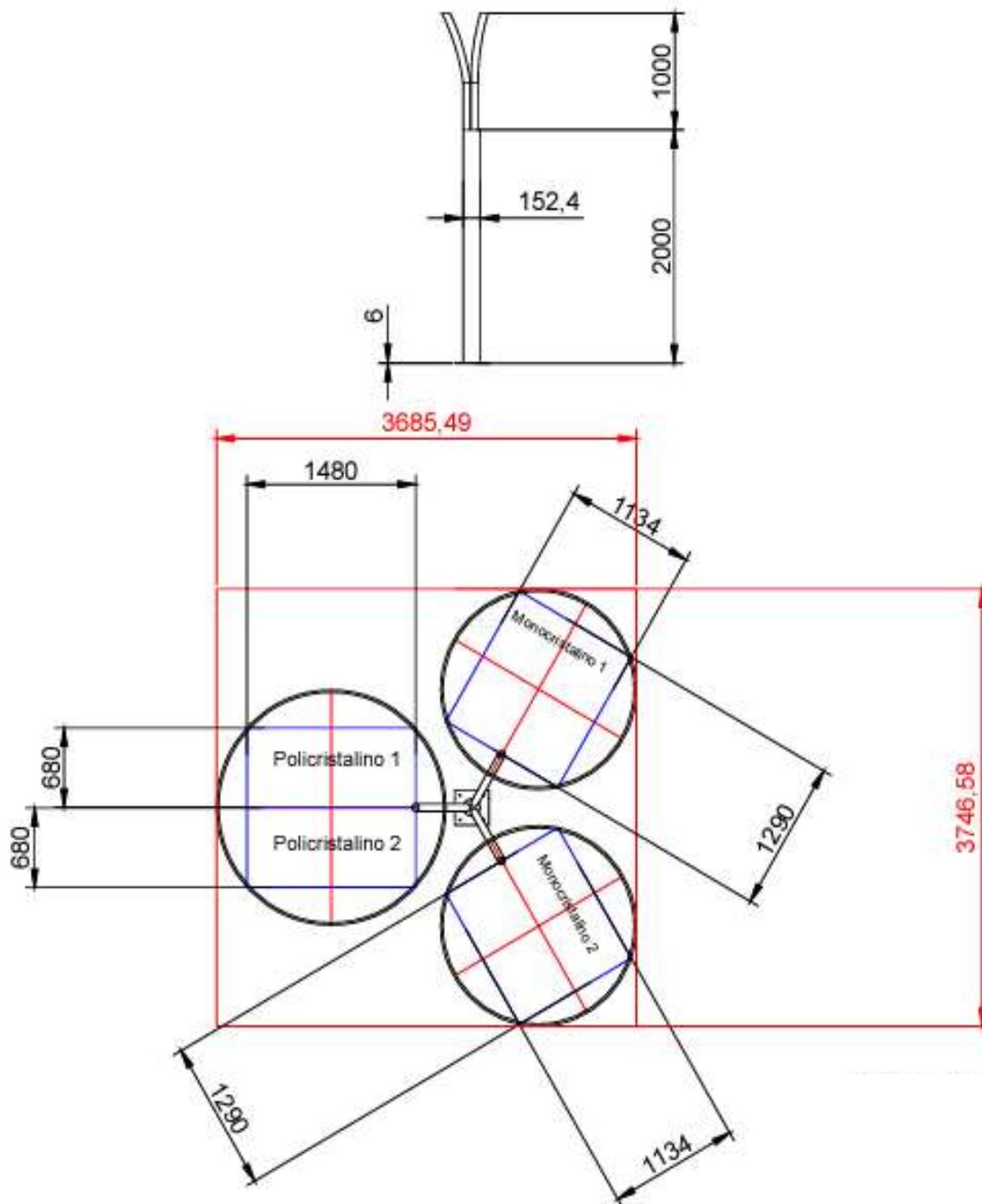
Desde el punto de vista estructural, tanto el tronco del árbol como la cimentación son elementos críticos que determinan la estabilidad del árbol. Esta estabilidad se ve afectada por fuerzas externas, como el peso propio de la estructura, la acción del viento y la carga de los paneles fotovoltaicos. Por lo tanto, es crucial diseñar una base sólida o cimientos para sostener el árbol. Dado que uno de los requisitos estructurales es la portabilidad del árbol, se ha decidido diseñar una base de concreto portable a la que se anclará el árbol.

Además, se coloca una estructura adicional donde se alojará la batería, el inversor y el controlador de carga. La altura del árbol, el número de paneles y las cargas sobre la estructura

determinan el tamaño de la base. El diseño esquemático de la base del árbol se presenta en la Figura 21.

**Figura 21**

*Diseño del Árbol Solar*



En las Figura 22 y 23 se indica donde se va a colocar el árbol fotovoltaico.

**Figura 22**

*Determinación del Lugar donde se Ubica el Árbol*

**Figura 23**

*Cimentación del Lugar donde se Ubica el Árbol*



En las Figura 24 se muestra el proceso de armado de la estructura del árbol y en la Figura 25 se indica el posicionamiento del árbol en el lugar determinado.

**Figura 24***Armado del Árbol***Figura 25***Aseguramiento del Árbol*

Para el proceso de implementación del árbol solar, se construyó una base de concreto en la cual se ancló una placa de acero en donde se soldó cada parte del árbol, véase la Figura

26 y en la Figura 27 se indica la estructura del árbol ya montada previo a la colocación de los paneles solares.

### **Figura 26**

*Fijación del Árbol*



### **Figura 27**

*Árbol Ubicado en su Lugar*



En la Figura 28 se muestra la estructura ya instalada en el lugar específico de la universidad, la instalación del sistema fotovoltaico se realizó mediante el diagrama eléctrico definido, el ángulo de los paneles instalados en las tres hojas presentan una orientación de  $0^\circ$ , si bien en las imágenes se observa los paneles más alejados a la superficie de las hojas, se debe a que esta superficie no es plana, presenta deformaciones debido a su estética por lo que al medir la inclinación se empleó niveles de construcción para tener una referencia plana de  $0^\circ$ .

### **Figura 28**

*Árbol Instalado con la Cabina de Control en su Lugar*



Considerando los componentes instalados con paneles solares con una capacidad de 900 Wp y 12 conectores de carga gracias a las 6 cajas instaladas, como se muestra en la figura

29, se proponen los escenarios para la estimar la energía y eficiencia del árbol eléctrico, para la recarga de bicicletas eléctricas como se muestra en las Figuras 30 y 31.

**Figura 29**

*Ubicación de los Conectores de Carga y Cabina de Control*



**Figura 30**

*Proceso de Carga de Bicicletas Eléctricas mediante Árbol Fotovoltaico*



**Figura 31**

*Proyecto de Árbol Fotovoltaico Terminado*



#### ***4.1.2 Evaluación de Costos de Construcción y Ensamblaje de un Sistema de Árbol***

La evaluación de los costos de construcción y ensamblaje del sistema de árbol fotovoltaico de paneles policristalinos es un paso fundamental en el proceso de implementación de este tipo de infraestructura. Aquí se presenta un enfoque general para llevar a cabo esta evaluación:

- **Identificación de componentes:** Enumerar todos los componentes necesarios para la construcción y ensamblaje del árbol fotovoltaico. Esto incluye los paneles solares policristalinos, estructuras de soporte, sistema de montaje, inversores, cableado, sistema de cimentación, sistema de seguimiento (si aplica), entre otros.

- **Obtención de precios:** Obtener los precios de los componentes identificados en el mercado. Se solicitan cotizaciones a proveedores de paneles solares, fabricantes de estructuras de soporte, distribuidores de baterías, distribuidores de inversores y otros proveedores relevantes. En este caso el proveedor seleccionado fue el Brilliance Light, empresa líder a nivel nacional de elementos para sistemas fotovoltaicos.
- **Estimación de costos de mano de obra:** Estima los costos de mano de obra requeridos para la construcción y ensamblaje del árbol fotovoltaico. Esto puede incluir el costo de instaladores, electricistas y otros profesionales necesarios para llevar a cabo el proyecto.
- **Consideración de costos adicionales:** Se debe tener en cuenta los costos adicionales asociados con el transporte de los componentes al sitio de instalación, costos de ingeniería y diseño, así como cualquier otro gasto indirecto que pueda surgir durante el proceso de construcción.
- **Suma de costos:** Calcular el costo total de construcción y ensamblaje sumando los precios de los componentes, los costos de mano de obra y los costos adicionales identificados.
- **Comparación con presupuesto:** Comparar el costo total estimado con el presupuesto disponible para el proyecto. Si el costo total es superior al presupuesto, es posible que se necesite realizar ajustes en el diseño o buscar formas de reducir los costos sin comprometer la calidad o la eficiencia del sistema.

Al seguir este proceso, se puede evaluar de manera efectiva los costos de construcción y ensamblaje del sistema de árbol fotovoltaico de paneles policristalinos y tomar decisiones informadas sobre la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

Aquí se muestra el desglose de costos para la instalación del árbol solar:

- Materiales:

Paneles solares policristalinos: \$900

Estructura de soporte y poste: \$1000

Cables y conexiones eléctricas: \$400

Sistema de almacenamiento de energía (baterías): \$2000

Equipos de seguridad y herramientas: \$200

Otros materiales varios: \$100

Total de materiales: \$4600

- Mano de obra:

Equipo de instalación: \$100

Ingeniero eléctrico (asesoramiento y supervisión): \$200

Total de mano de obra: \$300

- Gastos Indirectos:

Transporte de materiales: \$100

Costos de diseño y planificación: \$100

Total de gastos indirectos: \$200

- Total de Costos:

Materiales: \$4600

Mano de obra: \$300

Gastos indirectos: \$200

Costo Total de Instalación: \$5100

Estos son los costos que están en función de factores como el tamaño del árbol solar, la ubicación geográfica, los precios locales de los materiales y la mano de obra, entre otros. Es importante realizar un análisis detallado y obtener cotizaciones específicas de los proveedores antes de realizar la instalación, para culminar exitosamente el proyecto.

Un breve análisis de costos de fabricación del árbol se determina en función de los costos de los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del árbol y que han sido consultados con proveedores locales de las ciudades de Guayaquil y Cuenca.

## Conclusiones

Mediante la estimación del potencial solar en la zona destinada a implementar el sistema del árbol solar con paneles policristalinos para la micromovilidad, se ha logrado obtener una perspectiva sólida sobre la viabilidad y el rendimiento esperado de dicho sistema. El análisis detallado de la radiación solar disponible en la zona proporciona una base fundamental para la planificación y la toma de decisiones en el diseño e implementación del árbol solar. Asimismo, esta estimación permite anticipar el nivel de producción de energía solar que se puede esperar, lo que contribuye a una mejor gestión de recursos y una mayor eficiencia en la generación de energía renovable para la micromovilidad.

Al determinar el ángulo óptimo de inclinación del módulo solar según la normativa IEC 612115, se ha alcanzado un hito significativo en la planificación y ejecución del sistema de energía solar. Este proceso proporciona una guía precisa sobre la orientación adecuada de los paneles solares para maximizar la captura de radiación solar y, por lo tanto, optimizar la producción de energía. Al adherirse a los estándares establecidos, se garantiza que el ángulo de inclinación seleccionado sea el más eficiente para la ubicación geográfica específica del proyecto, lo que resulta en un rendimiento óptimo del sistema fotovoltaico. Esta determinación del ángulo óptimo no solo mejora la eficiencia energética, sino que también contribuye a la rentabilidad a largo plazo del proyecto al aumentar la producción de energía y reducir los costos operativos.

Al evaluar los costos de construcción y ensamblaje del sistema de árbol fotovoltaico de paneles policristalinos, se ha logrado obtener una visión integral de los recursos financieros necesarios para llevar a cabo el proyecto. Este análisis detallado proporciona una base sólida para la planificación presupuestaria y la gestión eficiente de los recursos durante todas las etapas del proceso. Al tener en cuenta los costos asociados con los materiales, la mano de obra,

los gastos indirectos y otros aspectos relevantes, se ha podido estimar con precisión el costo total de construcción y ensamblaje del sistema de árbol fotovoltaico.

### **Recomendaciones**

Se debe verificar que la estimación del potencial solar en la zona proporcione información valiosa que respalde el objetivo de implementar un sistema de árbol solar con paneles policristalinos para satisfacer las necesidades de energía de la micromovilidad de manera sostenible y eficiente.

Al realizar el proyecto se debe utilizar materiales duraderos y resistentes a la intemperie para la estructura del árbol y los componentes eléctricos. Esto garantizará la longevidad y fiabilidad del sistema.

Se debe considerar un diseño ergonómico y estético del árbol fotovoltaico de manera que sea visualmente atractivo y se integre armoniosamente en su entorno. Además, asegurarse de que sea accesible y fácil de usar para los usuarios.

Hay que verificar que los costos de construcción y ensamblaje del sistema de árbol fotovoltaico de paneles policristalinos sienten las bases para una gestión financiera eficaz y el éxito general del proyecto de implementación de energía solar, buscando elementos de costo asequible y buena calidad, a través de varias cotizaciones y proveedores.

### **Bibliografía**

- Ajayan, J., Nirmal, D., Mohankumar, P., Saravanan, M., Jagadesh, M., & Arivazhagan, L. (2020). A review of photovoltaic performance of organic/inorganic solar cells for future renewable and sustainable energy technologies. *Superlattices and Microstructures*, 143, 106549.
- Awaze, S. S., Bhamburkar, K. N., Babare, A. P., Asode, A. R., & Bargat, S. P. (2016). Design and Fabrication of Solar Tree. *International Journal of Latest Engineering Research and Applications (IJLERA)*, 3(05), 24-29.
- Cruz Ardila, Y. S., & Hernández Díaz, H. A. Diseño de un Árbol Solar para Carga de Equipos Móviles y Dos Sistemas Fotovoltaicos de Iluminación Pública en Gachalá Cundinamarca.
- Granda Jaramillo, W. O. (2021). Elaboración de un Manual de Manejo Ecodriving para Vehículos M1 en Guayaquil.
- Hernández-Callejo, L., Gallardo-Saavedra, S., & Alonso-Gómez, V. (2019). A review of photovoltaic systems: Design, operation and maintenance. *Solar Energy*, 188, 426-440.
- Khatib, T., Ibrahim, I. A., & Mohamed, A. (2016). A review on sizing methodologies of photovoltaic array and storage battery in a standalone photovoltaic system. *Energy Conversion and Management*, 120, 430-448.
- Martínez, G. C. (2018). Diseño teórico de un árbol solar.
- Nicolás-Martín, C., Santos-Martín, D., Chinchilla-Sánchez, M., & Lemon, S. (2020). A global annual optimum tilt angle model for photovoltaic generation to use in the absence of local meteorological data. *Renewable Energy*, 161, 722-735.
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990.

- Qazi, S. (2016). Standalone photovoltaic (PV) systems for disaster relief and remote areas. Elsevier.
- Rivero, V. L. R., Mero, C. M. L., Barrezueta, M. F. G., & Jaramillo, W. O. G. (2022). Perspectivas del eco-driving como técnica para reducir el consumo de combustible en la ciudad de Guayaquil: Perspectives of eco-driving as a technique to reduce fuel consumption in the city of Guayaquil. *South Florida Journal of Development*, 3(5), 6226-6235.
- Saldarriaga, J., Vélez, K. L., Ocampo, C., & Moro, C. R. (2021). Diseño de protecciones y puesta a tierra para árbol con sistema solar fotovoltaico. In *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (pp. 182-190). Instituto Antioqueño de Investigación (IAI).
- Stanciu, C., & Stanciu, D. (2014). Optimum tilt angle for flat plate collectors all over the World—A declination dependence formula and comparisons of three solar radiation models. *Energy Conversion and Management*, 81, 133-143.
- Stram, B. N. (2016). Key challenges to expanding renewable energy. *Energy Policy*, 96, 728-734.
- Torres, P. W. M., Berrezueta, M. F. G., & Mena, A. F. L. (2020). Análisis de la viabilidad para la implementación de vehículo eléctrico que preste servicio de taxi en la ciudad de Cuenca. *INNOVA Research Journal*, 5(3.2), 295-308.
- Valdiviezo Salas, P. D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.

