



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional De Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales  
no Renovables

Carrera de Ingeniería En Electrónica y Telecomunicaciones

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ÁRBOL SOLAR COMO  
MODELO EDUCATIVO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL I2TEC DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”

Trabajo de Titulación previa a optar  
por el Título de Ingeniero en  
Electrónica y Telecomunicaciones

**AUTOR:**

Anderson Josué Mendoza Sotomayor

**DIRECTOR:**

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 27 de junio del 2023

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ÁRBOL SOLAR COMO MODELO EDUCATIVO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL I2TEC DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, de la autoría del estudiante **Anderson Josué Mendoza Sotomayor**, con cedula de identidad Nro. **11004113947**, el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **Autoría**

Yo, **Anderson Josué Mendoza Sotomayor**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cedula:** 1104113947

**Fecha:** 4 de septiembre del 2023

**Correo electrónico:** anderson.mendoza@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0999442559

**Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, de Trabajo de Titulación.**

Yo, **Anderson Josué Mendoza Sotomayor**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ÁRBOL SOLAR COMO MODELO EDUCATIVO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL I2TEC DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**, como requisito para optar al título de: **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta y un días del mes de agosto del dos mil veintitrés.

**Firma:**

**Autor:** Anderson Josué Mendoza Sotomayor

**Cédula:** 1104113947

**Dirección:** Loja, (Barrio Epoca)

**Correo electrónico:** anderson.mendoza@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0999442559

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc

## **Dedicatoria**

A todos aquellos que han sido parte de este viaje,

A mi abuelita Luz Aurora Benítez, que, aunque ya no está físicamente con nosotros, su espíritu y amor incondicional han sido una constante en cada paso de este camino. Su sabiduría y enseñanzas siguen vivas en mi corazón y han sido una guía en los momentos más oscuros.

A mis padres Ángel Mendoza y Mónica Sotomayor, cuyo amor y apoyo incondicional han sido la base sobre la que se ha construido este logro. Su fe inquebrantable en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido la luz que me ha guiado a través de este viaje. Su sacrificio y dedicación han sido mi inspiración y motivación para seguir adelante.

A mi hermana Karen Mendoza, que siempre ha estado a mi lado, compartiendo risas y lágrimas, éxitos y fracasos. Tu fortaleza y determinación son un ejemplo para mí y me han enseñado que no hay obstáculo que no pueda superarse.

A mi familia extendida, que siempre ha estado allí para celebrar cada pequeño logro y para brindar consuelo en cada contratiempo. Su amor y apoyo han sido un pilar fundamental en mi vida.

A mi director de Trabajo de Titulación, cuya sabiduría y paciencia han sido invaluableles en este proceso. Su orientación y consejo han sido esenciales para la realización de este trabajo. Su pasión por el conocimiento y la enseñanza ha sido una fuente de inspiración y me ha impulsado a esforzarme al máximo.

Y finalmente a mis compañeros, con los que he compartido gratos momentos en todos estos años de estudio y quienes me supieron brindar su apoyo.

A todos ustedes, dedico este trabajo. Sin su amor, apoyo y guía, no habría sido posible. Gracias por creer en mí y por ayudarme

*Anderson Josué*

## **Agradecimiento**

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por permitirme tener esta maravillosa experiencia de formación en la Universidad Nacional de Loja.

A las Autoridades y Docentes de la Facultad de la Energía, Las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. Especialmente, quiero agradecer a los profesores de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones por compartir sus conocimientos de manera desinteresada durante toda mi formación académica.

También quiero agradecer a mi familia, en particular a mis padres, por su constante apoyo y motivación.

***Josué Mendoza***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Carta de autorización</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenidos</b> .....	vii
Índice de tablas .....	ix
Índice de figuras .....	x
Índice de anexos .....	xi
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
2.1. Abstract .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco teórico</b> .....	7
4.1. Energía Solar .....	7
4.2. Energía solar fotovoltaica .....	7
4.3. Sistemas de energía solar fotovoltaica .....	8
4.4. Tipos de sistemas de energía solar fotovoltaica .....	9
4.5. Sistema no autónomo .....	9
4.6. Sistema autónomo .....	10
4.7. Árbol solar .....	10
4.8. Componentes de un árbol solar .....	11
4.8.1. Célula fotovoltaica o celdas solar .....	11
4.8.2. Controlador de carga .....	12

4.8.3.	Acumuladores o baterías .....	13
4.8.4.	Inversor .....	13
4.8.5.	Iluminarias LED .....	14
4.8.6.	Cableado .....	14
4.8.7.	Estructura metálica .....	15
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>16</b>
5.1.	Tipo y diseño de investigación .....	16
5.2.	Proceso metodológico .....	16
5.2.1.	Fase 1. Recolección de datos .....	16
5.2.2.	Fase 2. Diseño .....	19
5.2.3.	Fase 3. Ejecución .....	26
<b>6.</b>	<b>Resultados</b> .....	<b>27</b>
6.1.	Construcción de la estructura .....	27
6.2.	Implementación .....	31
6.3.	Evaluación de energía .....	35
6.4.	Presupuesto .....	38
<b>7.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>39</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>41</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones</b> .....	<b>42</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>43</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>47</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Radiación solar promedio en la ciudad de Loja .....	19
<b>Tabla 2.</b> Establecimiento de cargas para el árbol solar .....	20
<b>Tabla 3.</b> Calculo del consumo energético teórico .....	22
<b>Tabla 4.</b> Características técnicas del panel solar .....	23
<b>Tabla 5.</b> Características técnicas del regulador de carga .....	24
<b>Tabla 6.</b> Características técnicas de la batería .....	25
<b>Tabla 7.</b> Características técnicas del inversor .....	25
<b>Tabla 8.</b> Componentes del sistema solar fotovoltaico .....	26
<b>Tabla 9.</b> Materiales empleados en la construcción de la estructura. ....	27
<b>Tabla 10.</b> Energía promedio generada en una hora .....	36
<b>Tabla 11.</b> Potencia y consumo real del árbol solar.....	37
<b>Tabla 12.</b> Presupuesto .....	38

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Fases de la investigación .....	6
<b>Figura 2.</b> Componentes de la radiación solar .....	7
<b>Figura 3.</b> Energía solar fotovoltaica .....	8
<b>Figura 4.</b> Sistema fotovoltaico no autónomo. ....	9
<b>Figura 5.</b> Sistema fotovoltaico autónomo .....	10
<b>Figura 6.</b> Árbol solar .....	11
<b>Figura 7.</b> Paneles solares .....	12
<b>Figura 8.</b> Controlador de carga.....	12
<b>Figura 9.</b> Batería .....	13
<b>Figura 10.</b> Inversor de corriente .....	14
<b>Figura 11.</b> Luces LED .....	14
<b>Figura 12.</b> Flor cartucho .....	20
<b>Figura 13.</b> Árbol solar modelado en 3D .....	21
<b>Figura 14.</b> Primer paso, tubos metálicos rolados .....	28
<b>Figura 15.</b> Segundo paso, diseño y corte de la hoja en pancha de acero .....	28
<b>Figura 16.</b> Tercer paso, hoja en acero galvanizado .....	29
<b>Figura 17.</b> Cuarto paso, elaboración de la flor .....	29
<b>Figura 18.</b> Quinto paso, pintado de la estructura .....	30
<b>Figura 19.</b> Elaboración de la base de concreto.....	31
<b>Figura 20.</b> Construcción de la maceta .....	32
<b>Figura 21.</b> Instalación de elementos del sistema fotovoltaico .....	32
<b>Figura 22.</b> Diagrama de conexión de elementos .....	33
<b>Figura 23.</b> Inclinación de paneles en la hoja izquierda .....	33
<b>Figura 24.</b> Inclinación de los paneles en la hoja derecha .....	34
<b>Figura 25.</b> Inclinación de los paneles .....	34
<b>Figura 26.</b> Mediciones de corriente y voltaje demandado por las cargas .....	37

## **Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Manual de usuario y mantenimiento .....	47
<b>Anexo 2.</b> Datos de radiación Global Solar Atlas .....	54
<b>Anexo 3.</b> Datos de radiación Solarius PV .....	57
<b>Anexo 4:</b> Elaboración de la estructura del prototipo .....	58
<b>Anexo 5.</b> Implementación de la estructura .....	59
<b>Anexo 6.</b> Instalación de equipos .....	60
<b>Anexo 7.</b> Árbol en funcionamiento .....	61
<b>Anexo 8.</b> Poster del árbol solar .....	62
<b>Anexo 9.</b> Código QR.....	63
<b>Anexo 10.</b> Datos de radiación solar recopilados por la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Loja. ....	63
<b>Anexo 11.</b> Certificación traducción del resumen .....	64

## **1. Título**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ÁRBOL SOLAR COMO  
MODELO EDUCATIVO DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL I2TEC DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA”**

## 2. Resumen

En el siguiente trabajo de investigación se diseñó, modelo e implemento un árbol solar en forma de flor cartucho en la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja, con la finalidad de ayudar a la concienciación del uso de energías renovables, además se dimensionó un sistema solar fotovoltaico para que el árbol funcione como iluminaria así mismo como estación de carga de dispositivos móviles.

La estructura del árbol solar consta de cuatro partes las cuales son dos hojas y una flor elaboradas en metal galvanizado, además consta de una maceta de concreto, para su funcionamiento se estableció el uso de un sistema solar fotovoltaico aislado, empleando cuatro paneles solares de 50 W, el sistema emplea un controlador de carga de 20 A que permite almacenar energía eléctrica en una batería 100 Ah, además utiliza de un inversor de corriente que permite la conversión de corriente continua a corriente alterna, la cual es empleada por dos grupos de cargas, siendo la primera tiras y ojos de buey LED que funcionaran por tres horas, mientras que el segundo grupo de cargas corresponde a dos tomacorrientes USB de carga rápida y un tomacorriente tipo B dimensionado para cargar ordenadores de 50 W hasta por cinco horas.

Dentro del funcionamiento del árbol solar se encontró que el consumo real de las luminarias se aproxima al calculado teórico, mientras que los tomacorrientes consumen un 43,1% menos a lo estimado en el dimensionamiento, además se encontró que la energía generada por el árbol solar dentro de 12 horas supera los 840 Wh.

***Palabras clave:** Energía renovable, sistema solar fotovoltaico, árbol solar, dimensionamiento.*

## 2.1. Abstract

In the following research work, a solar tree shaped like a cartridge flower was designed, modeled, and implemented at the Energy Faculty of the Universidad Nacional de Loja, with the aim of helping to raise awareness of the use of renewable energies. In addition, a photovoltaic solar system was sized to allow the tree to function as both an illuminator and a mobile device charging station.

The structure of the solar tree consists of four parts which are two leaves and a flower made of galvanized metal, it also consists of a concrete pot, and for its operation, was established the use of an isolated photovoltaic solar system employing four 50 W solar panels. The system uses a 20 A charge controller that allows electric energy to be stored in a 100 Ah battery and also uses a current inverter that allows the conversion of direct current to alternating current, which is used by two load groups, the first being LED strips and LED portholes that will operate for three hours, while the second group of loads corresponds to two fast-charging USB sockets and a type B socket sized to charge 50 W computers for up to five hours.

Within the operation of the solar tree, it was found that the real consumption of the luminaires is close to the theoretical calculation, while the power outlets consume 43,1% less than the estimated in the sizing. Additionally, it was found that the energy generated by the solar tree over 12 hours exceeds 840 Wh.

**Keywords:** *Renewable energy, solar photovoltaic system, solar tree, sizing.*

### 3. Introducción

Cuando hablamos de cambio climático nos referimos a la alteración de las variables climáticas, esta alteración está ocurriendo a una velocidad y magnitud sin precedentes en la historia de la humanidad, sus efectos se están sintiendo en todo el mundo y pueden tener consecuencias devastadoras tanto para el medio ambiente como para las personas. La principal causa de este problema ambiental es la actividad humana, especialmente la quema de combustibles fósiles, que produce la liberación de gases de efecto invernadero (Greenpeace, 2023). Según la Organización Meteorológica Mundial (2021), la temperatura media mundial ha aumentado ya  $1,11 \pm 0,13$  °C desde la época preindustrial, las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global siguen aumentando cada año, alcanzando el máximo de 59 GT CO<sub>2</sub>, En adición a esto Greenpeace (2023) menciona que en los peores escenarios probables el aumento de temperatura podría llegar a los 4,8 °C para final de siglo. Según Valdés García (2019), la contaminación del aire es un problema ambiental que impacta a las comunidades, regiones y naciones. Por lo tanto, los líderes y científicos le otorgan una gran importancia con el propósito de disminuir o eliminar sus consecuencias perjudiciales.

En torno a ello se encontró que en Latinoamérica y el Caribe nace la Organización Latinoamericana de Energía encargada de fomentar la integración, conservación, racional aprovechamiento, comercialización y defensa de los recursos energéticos de la región, el 4 de mayo de 2022 en una rendición de cuentas realizada en la ciudad de Quito Ecuador Alfonso Blanco, secretario ejecutivo de OLADE comentó que, «en relación al aprovechamiento de energías renovables, del 2019 a 2020, América Latina pasó del 58% al 61% de participación de este tipo de energía. La región tiene en marcha una iniciativa muy ambiciosa apoyada por OLADE y por otras agencias que tiene como meta llevar la participación de renovables en la generación de electricidad al 70% hasta el 2030» (Olade, 2022).

Según datos del año 2021 la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA, 22 C.E.) en el perfil de energía de Ecuador menciona que la principal fuente de energía renovable en este país es la energía hidroeléctrica marina, la cual produce un 96% del total de energía renovable en todo el país, seguido de la producción de energía eólica, bioenergía, y energía solar Guastay Cajo y Llanes Cedeño (Guastay Cajo & Llanes Cedeño, 2020) dentro de su estudio posicionan al Ecuador como el quinto país del mundo productor de energía eléctrica hídrica.

El Gobierno Nacional del Ecuador ha impulsado grandes proyectos de energías renovables dentro de las cuales podemos encontrar el proyecto fotovoltaico El Aromo en la ciudad de Manabí y el proyecto eólico El Villonaco en la ciudad de Loja. El Ministerio de

Energía y Minas del Ecuador (2021) dentro del Balance Energético Nacional 2021 menciona que «la producción de energía renovable registró un crecimiento del 87,6% durante el periodo 2011-2021, debido principalmente al crecimiento de la generación hidroeléctrica», además menciona que la participación de las fuentes renovables en la producción de energía primaria ha sido menor que la del petróleo y gas natural.

Contreras García (2022) manifiesta que la ciudad de Loja está encaminada a ser la primera ciudad inteligente en el Ecuador, el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información otorgo una certificación de sus progresos hacia ser una ciudad inteligente. El municipio de Loja que ha impulsado el concepto de ciudad inteligente, según Alvarado (2015) ha implementado el uso de energía solar fotovoltaica en algunas paradas de autobús, así mismo se tiene registro que centros educativos como la Universidad Técnica Particular de Loja produce el 20% de energía limpia y gratuita a través de paneles solares para su consumo directo.

La Universidad Nacional de Loja mediante la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables ha impulsado investigaciones de las energías renovables, dentro de estos podemos encontrar proyectos como: monitoreo de los niveles de radiación solar en el campus de la Facultad de la Energía (Orozco Jaramillo & Ordóñez Mendieta, 2019), un prototipo de estación meteorológica (Cabrera Samaniego & Poma Godoy, 2015), diseño de seguidores solares para mejorar el rendimiento de producción de energía fotovoltaica (Medina Sánchez. & Solano Jiménez, 2022), estaciones de carga para monopatinos y bicicletas eléctricas empleando energía fotovoltaica (Cabrera Ordoñez & Merino Vivanco, 2023).

En este contexto el Centro de Investigación I<sup>2</sup>TEC de la Universidad Nacional de Loja, que es un centro sin fines de lucro, que busca el desarrollo de soluciones tecnológicas y prototipos a través de la innovación e implementación de estrategias colaborativas para dar soluciones puntuales y potencializar operaciones en diferentes sectores productivos de la industria dentro de ellas el campo de las energías cree necesario el diseño y construcción de un prototipo de árbol solar con el fin de concienciar a las personas sobre el uso de las energías renovables, empleando la energía solar como base para este proyecto, por lo que se planteó los siguientes objetivos a cumplir:

**Objetivo general:**

Diseñar y construir un prototipo de árbol solar como modelo educativo de energías renovables para el I<sup>2</sup>TEC de la Universidad Nacional de Loja

**Objetivos específicos:**

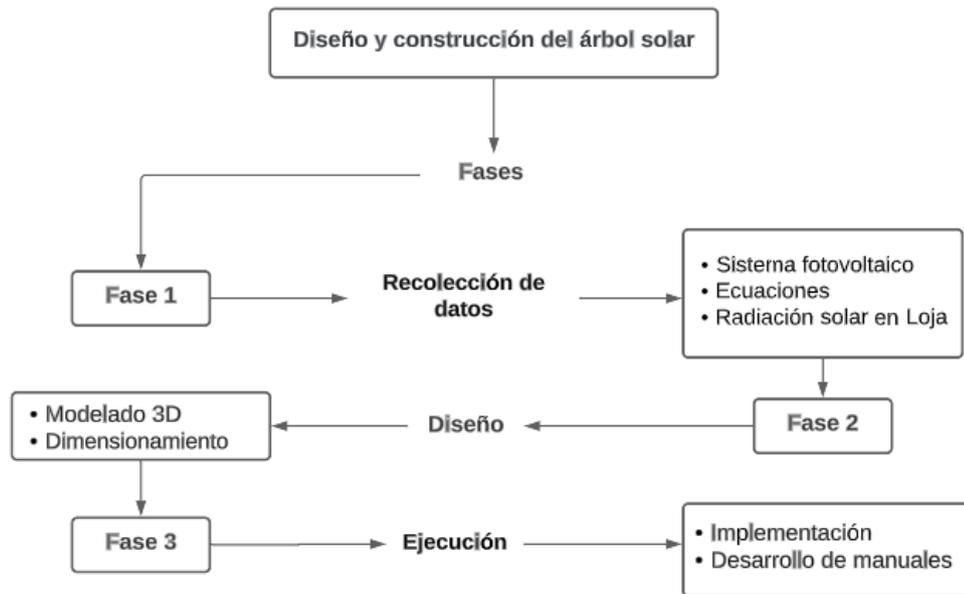
- Realizar una revisión bibliográfica acerca de los componentes de un sistema de energía solar fotovoltaico.

- Diseñar un prototipo de árbol solar.
- Desarrollar los manuales de usuario y mantenimiento.
- Implementar el prototipo diseñado en la UNL.

Para dar cumplimiento a estos objetivos, el trabajo de titulación se dividió en tres Fases las cuales se pueden observar en la Figura 1.

**Figura 1.**

Fases de la investigación



*Nota.* En la presente figura se presenta las Fases realizadas para cumplir con los objetivos planteados.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Energía Solar

La energía solar es un tipo de energía natural que se clasifica en la familia de las energías renovables o verdes. Esta energía se obtiene a través de la radiación producida por el sol, motivo por el cual se considera un tipo de energía de las más sencillas de producir, al captar la radiación solar a través de colectores solares para posteriormente ser transformada a energía eléctrica (factorenergia, 2021).

Según Luis Macancela (2012) la radiación solar al incidir en la atmosfera se puede descomponer en tres componentes, estos componentes toman el nombre de radiación difusa, radiación directa y radiación total.

#### Figura 2.

Componentes de la radiación solar



*Nota.* En el grafico se observa los componentes de radiación solar. Tomado de Oscarmtznarva.(2020)

**Radiación difusa:** se produce cuando la radiación solar sufre choques sucesivos con moléculas y partículas presentes en el aire, este tipo de radiación no posee dirección alguna, motivo por el cual puede considerarse uniforme para todo el hemisferio celeste.

**Radiación directa:** en viceversa a la radiación difusa, quien define una dirección a este tipo de radiación es la atmosfera, esto ocurre cuando un rayo solar choca la superficie terrestre.

**Radiación total:** es la adición de la radiación directa a la radiación difusa o viceversa.

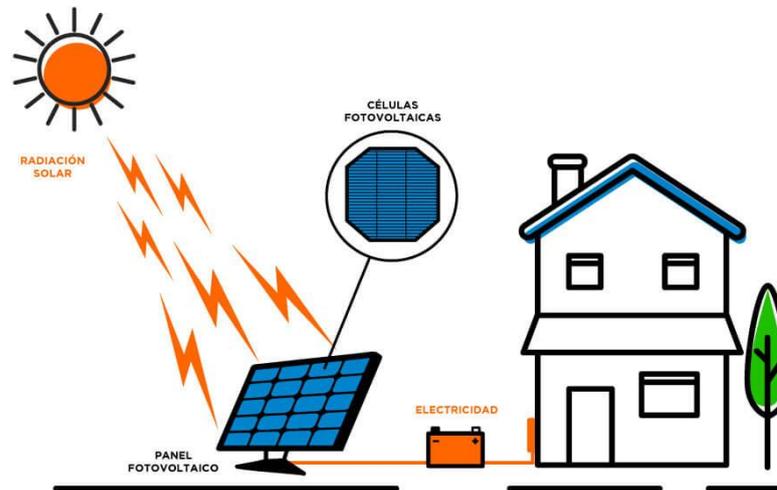
### 4.2. Energía solar fotovoltaica

Javier María & Rafael (2011) manifiestan que energía solar fotovoltaica se le denomina a la energía solar convertida en energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico, que ocurre

durante la interacción de la radiación luminosa y el material semiconductor del colector solar, que al momento de recibir luz solar absorbe fotones, para luego emitir electrones.

### Figura 3.

Energía solar fotovoltaica



*Nota.* La energía solar fotovoltaica es energía eléctrica producida por paneles solares a través del efecto fotovoltaico. Tomado de Energíasolar (2021).

#### 4.3. Sistemas de energía solar fotovoltaica

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes mecánicos y electrónicos que permiten la captación de la luz solar y su conversión en energía eléctrica utilizable (Álvarez & Cabrera, 2014).

Un sistema fotovoltaico consta de un cierto número de módulos o celdas fotovoltaicas individuales. El número de módulos depende de la potencia nominal requerida por el arreglo y la potencia pico de los módulos seleccionados. El voltaje de salida de la matriz es el voltaje de trabajo del inversor, el cual se obtiene al conectar en serie un número de paneles, la potencia nominal del módulo que se genera al conectar un número determinado de series de paneles en paralelo (González et al., 2003).

Los sistemas fotovoltaicos presentan las siguientes características (Moisés & Cesar, 2016):

- Accesibles Para Todo Tipo De Público.
- Son De Fácil Instalación.
- Sencillos De Manejar.
- Requieren De Muy Poco Mantenimiento.
- Vida Útil De Aproximadamente 15 Años.

#### 4.4. Tipos de sistemas de energía solar fotovoltaica

En la actualidad, los sistemas de energía solar fotovoltaica pueden competir con la red eléctrica tradicional, para brindar servicios en áreas geográficas rurales y urbanas, por lo que se pueden dividir en dos grupos dependiendo si se encuentran conectadas a la red o no (Álvarez & Cabrera, 2014).

Existen dos posibles configuraciones para realizar la conexión de un sistema solar fotovoltaico, las cuales son (Sánchez Guevara & Franco Gil, 2016):

- Sistema aislado o sistema autónomo.
- Sistema de conexión a la red o sistema no autónomo.

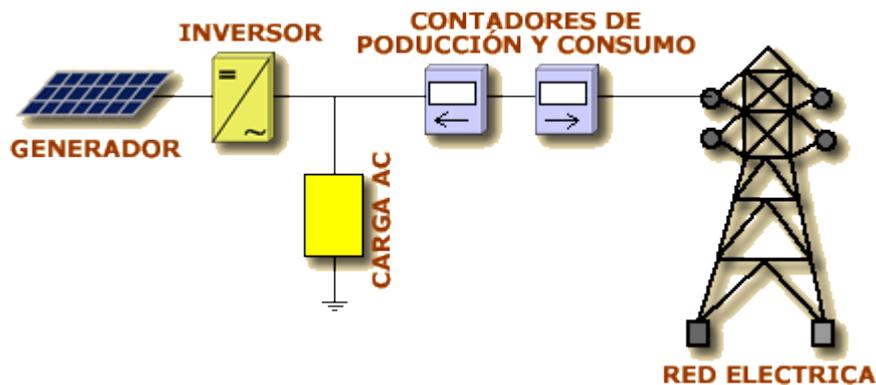
#### 4.5. Sistema no autónomo

Sistema de energía solar no autónomo también conocido por sus siglas como SFRC (Sistema fotovoltaico conectado a la red), el cual se encarga de producir energía eléctrica para posteriormente se consumida total o parcialmente en los alrededores, en caso de existir energía eléctrica sobrante esta será inyectada en la red eléctrica para ser consumida en algún otro punto, los sistemas no autónomos están conformados por los siguientes elementos (Lamigueiro, 2013):

- Paneles fotovoltaicos.
- Inversor DC/AC.
- Protecciones eléctricas.

**Figura 4.**

Sistema fotovoltaico no autónomo.



*Nota.* El sistema fotovoltaico no autónomo a través de paneles solares genera energía eléctrica si la producción de energía es superior a la consumida por las cargas se inyecta a la red eléctrica y en ausencia de radiación toma energía de la red. Tomado de Solartik (2020).

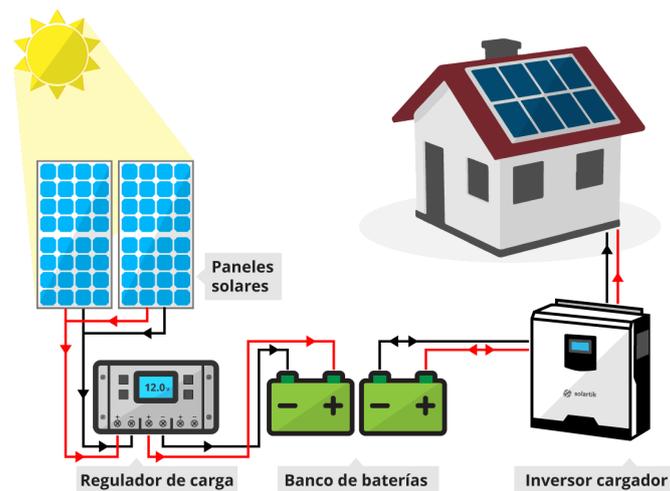
#### 4.6. Sistema autónomo

Un sistema solar fotovoltaico aislado, comparte las mismas características que un sistema fotovoltaico no autónomo para transformar la radiación solar en energía eléctrica, con la diferencia de que toda esta energía producida es almacenada para su posterior uso cuando la radiación solar no esté presente, este caso es muy práctico, ya que se puede implementar en zonas rurales alejadas y aisladas del tendido eléctrico tradicional, por lo tanto, un sistema autónomo está conformado por (Sánchez Guevara & Franco Gil, 2016):

- Paneles fotovoltaicos.
- Inversor DC/AC.
- Regulador.
- Baterías.

**Figura 5.**

Sistema fotovoltaico autónomo



*Nota.* El sistema fotovoltaico autónomo genera energía eléctrica mediante paneles solares, esta energía se almacena en baterías para luego ser utilizada por las cargas. Tomado de Solartik (2020).

#### 4.7. Árbol solar

Los árboles solares son dispositivos tecnológicos autosustentables, que producen energía eléctrica a partir del uso de paneles solares colocados en forma de ramas u hojas sobre un poste o torre, con la finalidad de satisfacer necesidades energéticas, favoreciendo su entorno y al medioambiente (Cornejo, 2015).

El árbol solar fue inventado por el diseñador industrial Ross Lovegrove, creando una idea innovadora en iluminación, en la cual se agrupa el diseño, la autosustentabilidad y la

tecnología. Ross en el año 2007 en la ciudad de Viena presenta el primer prototipo de árbol solar, el cual constaría de un conjunto estructural, en el cual a partir de un tallo brotan ramas, las cuales a sus extremos contienen paneles solares con iluminación LED (ANDRES FELIPE, 2020).

**Figura 6.**

Árbol solar



*Nota.* Un árbol solar es un dispositivo tecnológico que genera energía solar a través de paneles solares, el uso de la energía generada depende del diseñador. Tomado de Juan Pablo Castaño (2022).

#### **4.8. Componentes de un árbol solar**

Como lo indica su definición, el árbol solar se encarga de agrupar el diseño, la autosustentabilidad y la tecnología, como tal, sus constituyentes dependen de sus propósitos de los cuales podemos destacar dos tipos, el primer tipo de árbol solar es aquel que ofrece iluminación, el segundo tipo de árbol añade la función de ser una estación de carga para dispositivos móviles, se debe tener en cuenta que estos pueden estar o no conectados a la red, teniendo varias posibilidades de dispositivos que se pueden adaptar a un árbol solar a continuación se expondrán componentes básicos que debe tener un árbol solar que usa su energía como iluminación.

##### ***4.8.1. Célula fotovoltaica o celdas solar***

Las células fotovoltaicas son placas echas de semiconductores interconectadas en serie y en paralelo, que reaccionan a la presencia de la radiación solar, es decir que ante la presencia

de esta radiación pueden crea un diferencial de potencia, dicho de otro modo, permiten crear energía eléctrica a partir de energía solar (Cruz Ardila & Hernández Díaz, 2017).

**Figura 7.**

Paneles solares



*Nota.* Los paneles solares son dispositivos que nos permiten generar energía eléctrica a través del efecto fotovoltaico que se genera cuando perciben radiación solar. Tomado de Ecoinventos (2022).

**4.8.2. Controlador de carga**

Dispositivo electrónico que cumple con la función de nodo para los elementos de un sistema solar, su función está en controlar los estados de carga de los acumuladores capturando voltaje contantemente, de tal manera que pueda protegerlos ante cualquier sobre carga, además de proteger y ofrecer más vida útil a todo el sistema proporciona una salida de tensión fija y continua (Patiño Abella et al., 2009).

**Figura 8.**

Controlador de carga



*Nota.* El controlador de carga permite la carga y descarga de la batería, es decir que si la batería está cargada este no dejara pasar más energía de los paneles.

#### 4.8.3. *Acumuladores o baterías*

Un acumulador de energía es un dispositivo electroquímico que gracias a su capacidad de almacenar la energía eléctrica que le ofrecen los paneles solares, dota a todo el sistema fotovoltaico de la capacidad de poder ser desconectados del tendido eléctrico, teniendo así un sistema fotovoltaico autónomo, los acumuladores utilizados para este fin, deben tener la capacidad de ser recargables, la capacidad de energía que estas deben almacenar dependerá totalmente del diseño (Valdiviezo, 2014).

#### **Figura 9.**

Batería



*Nota.* Las baterías permiten almacenar la energía eléctrica que producen los paneles solares esta energía será tomada por las cargas cuando la requieran.

#### 4.8.4. *Inversor*

Inversor o convertidor CC-CA (corriente continua – corriente alterna) es un dispositivo electrónico capaz de transformar las características de la tensión eléctrica que producen las células solares, ya que al transformar la radiación solar en energía eléctrica esta se encuentra en forma de corriente continua, dependiendo de los dispositivos que se requiera energizar estos utilizarán corriente continua o corriente alterna, es de gran importancia que los inversores cumplan con una alta fiabilidad y buen rendimiento, por el hecho de que este dependerá totalmente del diseño del árbol solar (Mesones Abanto, 2019).

**Figura 10.**

Inversor de corriente



*Nota.* E\*

0}+q 11|11 inversor permite la transformación de corrientes de continua a alterna.

#### **4.8.5. Iluminarias LED**

Las iluminarias o lámparas led son aquellas que como fuente emisora de luz utiliza al diodo LED, que por sus características permite un ahorro energético y mayor vida útil, además de tener varias modelos y tamaños reducidos son ideales para implementación en árboles solares permitiendo un diseño más armonioso.

**Figura 11.**

Luces LED



*Nota.* Las luces led son fuentes emisoras de luz, su característica es demandar poca energía. Tomado de Stylepark (2018).

#### **4.8.6. Cableado**

Las características del cableado como lo son, calibre del conductor, material conductor, aislamiento, tensión, resistencia a la luz solar y temperatura de operación varían en relación con los requerimientos del diseño.

Para el presente diseño se empleó cable flexible de  $4 \text{ mm}^2$  o calibre 10 AGW que es el recomendado por el fabricante del controlador de carga, asimismo el cable soporta tensiones superiores a 15 A.

#### ***4.8.7. Estructura metálica***

La estructura metálica en un árbol solar es aquella que además de dar soporte a todos los materiales permite dar un diseño variado, por lo tanto, el diseño de la estructura como sus componentes depende directamente de la persona encargada del mismo.

## 5. Metodología

En el siguiente segmento se explica el tipo y diseño de la investigación, el proceso metodológico, los instrumentos o materiales que se emplearon para el desarrollo de este trabajo.

### 5.1. Tipo y diseño de investigación

La siguiente investigación es de carácter experimental, según Walliman (2022), en este tipo de investigación, se diseñan experimentos lo cual implica diseñar y construir prototipos, realizar pruebas para evaluar su funcionamiento y recopilar datos sobre su rendimiento.

En esta investigación se diseñó y construyó un prototipo de árbol solar en forma de flor el cual representa una manera atractiva en el uso de energía solar con el fin de concientizar a las personas, además se dimensionó un sistema fotovoltaico con el fin de emplear la energía generada en luminarias y como estación de carga de dispositivos móviles.

### 5.2. Proceso metodológico

En este segmento se describe el proceso que se realizó para cumplir con todos los objetivos planteados en esta investigación, el cual está dividido en tres Fases.

#### 5.2.1. Fase 1. Recolección de datos

En esta Fase se realizó una revisión bibliográfica en la cual se analizó información referente a los sistemas fotovoltaicos, se encontraron dos tipos de sistemas dentro de los cuales se estableció como base un sistema fotovoltaico aislado, debido a sus capacidades, en la que se destaca el almacenamiento de energía eléctrica para su consumo, además de su independencia del tendido eléctrico, haciéndolo ideal para implementarlo en cualquier zona.

A partir de la revisión bibliográfica se estudió y analizó cual es el proceso para establecer la capacidad de los componentes de un sistema fotovoltaico aislado, se encontró que a este proceso se le denomina dimensionamiento y para el cálculo de la capacidad de los componentes se realiza mediante ecuaciones, en este contexto tras investigaciones se identificó y estableció las ecuaciones descritas por Roitman et al ( 2015) en la Revista de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, las ecuaciones son las siguientes:

- **Consumo energético teórico ( $E_t$ )**

El consumo energético teórico se calcula sumando el producto de la potencia consumida por una carga durante un determinado período de tiempo, y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E_t = \sum_{i=1}^n (P \times t \times U) \quad (1)$$

Donde

$P$  es la potencia que demanda una carga [W];

$t$  es el tiempo que permanecerá activa la carga [h];

$U$  es el número de unidades de carga.

Cuando hablamos de cargas se hace referencia a dispositivos eléctricos o electrónicos que utilizara energía eléctrica para funcionar.

- **Hora solar pico (HSP)**

Se define como HSP el tiempo en horas en el que se produce el mejor índice de irradiación solar en un día, (Roitman et al., 2015). La hora solar pico se define por la ecuación:

$$HSP = \frac{RP}{1000} \quad (2)$$

Donde

$RP$  es la radiación promedio [kW/m<sup>2</sup>];

**1000** representa una hora solar pico [kW/m<sup>2</sup>].

- **Número de paneles solares ( $N_p$ )**

Para calcular el número de paneles necesarios para un sistema fotovoltaico hay que tener en cuenta la potencia de los paneles solares. Esta potencia la especifica el fabricante. El número de paneles viene dado por la ecuación:

$$N_p = \frac{E_t}{P_p \times HSP} \quad (3)$$

Donde

$E_t$  es el consumo energético teórico [Wh];

$P_p$  es la potencia del panel solar [W];

$HSP$  es la hora solar pico.

- **Capacidad del regulador de carga ( $I_{max}$ )**

La capacidad del regulador de carga se basa en la intensidad generada por los paneles, para calcular la capacidad del regulador o controlador de carga se emplea la siguiente ecuación:

$$I_{max} = I_c \times N_p \quad (4)$$

Donde:

$I_c$  es la corriente máxima del panel solar [A];

$N_p$  es el número de paneles solares.

- **Capacidad de la batería (C)**

Al tratarse de un sistema solar fotovoltaico aislado se utilizará un sistema de almacenamiento, por lo tanto, se debe calcular la capacidad del sistema de almacenamiento, además el diseñador debe establecer la autonomía del sistema y profundidad de descarga de la batería. La capacidad de las baterías se calcula mediante la ecuación:

$$C = \frac{E_t \times N}{V \times P_d} \quad (5)$$

Donde

$E_t$  es el consumo energético teórico [Wh];

$N$  es el número de días de autonomía;

$V$  es el voltaje del sistema [V];

$P_d$  es la profundidad de descarga de la batería.

Analizadas las ecuaciones se identificó que la radiación solar es una de las tres bases para un correcto dimensionamiento, siendo las otras dos la potencia del panel y el establecimiento de cargas que forman parte del árbol solar.

En la revisión bibliográfica sobre radiación se encontró que esta tiende a variar por diversos factores, siendo uno de ellos la zona geográfica, por lo que se procedió a analizar la radiación solar mensual durante un año en la ciudad de Loja. Para esto se empleó herramientas como software solarius PV, este es un programa bajo licencia que permite dimensionar sistemas fotovoltaicos, además posee datos de radiación solar dentro de los cuales se encontró la ciudad de Loja, también se utilizó la página web Global solar atlas, la cual es una web gratuita que respaldada por el World Bank Grup que ofrece datos del potencial de recursos solares, adicional a esto se encontró un estudio de la Escuela Politécnica Nacional denominado Mapa solar del Ecuador 2019, dentro del cual recopila información de radiación solar en todo el Ecuador, como ultima fuente de información se procedió a solicitar al encargado de la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Loja los datos de radiación solar recopilados en el año 2021; estos valores se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1.**

Radiación solar promedio en la ciudad de Loja

<b>Radiación Solar kWh/m<sup>2</sup></b>					
<b>Mes</b>	<b>Software SolariusPV</b>	<b>Global Solar Atlas</b>	<b>Mapa solar del Ecuador 2019</b>	<b>Estación meteorológica UNL</b>	<b>Promedio</b>
<b>Enero</b>	5,37	3,62	4,30	3,78	4,26
<b>Febrero</b>	5,64	3,00	4,30	3,73	4,16
<b>Marzo</b>	5,91	3,34	4,40	3,87	4,38
<b>Abril</b>	5,78	3,61	4,40	3,74	4,38
<b>Mayo</b>	5,56	4,03	4,20	3,71	4,37
<b>Junio</b>	5,52	4,12	3,90	3,67	4,30
<b>Julio</b>	5,21	4,29	4,00	3,54	4,26
<b>Agosto</b>	5,69	4,27	4,50	3,32	4,44
<b>Septiembre</b>	6,04	3,84	4,9	3,83	4,65
<b>Octubre</b>	6,06	4,11	4,9	4,06	4,78
<b>Noviembre</b>	5,76	4,35	4,8	4,21	4,78
<b>Diciembre</b>	5,72	3,64	4,5	4,09	4,48

Nota. Dentro de esta tabla se pueden rescatar valores de radiación solar promedio durante todo el año en la ciudad de Loja, al observar el promedio realizado en la Tabla 1 podemos notar que el mes con menor radiación es febrero, el cual cuenta con un valor de radiación de, 4160 Wh/m<sup>2</sup> o 4,16 kWh/m<sup>2</sup>, se seleccionó el mes con menos radiación, ya que al momento de dimensionar el sistema fotovoltaico este tendrá la capacidad de suplir energía en condiciones adversas con baja radiación solar.

### **5.2.2. Fase 2. Diseño**

En este apartado se cumplió con el segundo objetivo específico, teniendo en cuenta se diseñó la estructura del árbol solar, así también se procedió a calcular la capacidad de los elementos del sistema fotovoltaico, como primera instancia se estableció una condición en el diseño del árbol solar la cual expresa que los paneles solares deberían ocultarse lo máximo posible a la vista, motivo por el cual se estableció el diseño de la estructura, tomando como referencia la planta *Zantedeschia Aethiopica* o conocido comúnmente como cartucho, la cual podemos observar en la Figura 12.

**Figura 12.**  
Flor cartucho



*Nota.* Se tomó como referencia esta flor para el diseño del árbol solar, debido a su estructura. Tomado de herbariornamental (2022).

- **Modelado 3D**

Para comenzar con el diseño, se establecieron las cargas que forman parte del árbol solar, por lo que se consideró la definición de árbol solar mencionada en el apartado 4.7, a partir de esto se estableció el uso de iluminarias, ojos de buey y tiras LED, además se consideró la carga de dispositivos móviles a través de tomacorrientes de tipo USB y B, en la Tabla 2 se puede observar los dispositivos considerados como cargas.

**Tabla 2.**

Establecimiento de cargas para el árbol solar

Carga	Potencia demandada (W)
	<p><b>Cargador móvil USB</b> <b>Carga rápida</b> 20 W</p>
	<p><b>Ojo de buey LED</b> 4,5 W</p>
	<p><b>Tiras LED</b> 5 W/m</p>



**Computadora  
portátil**

50 W

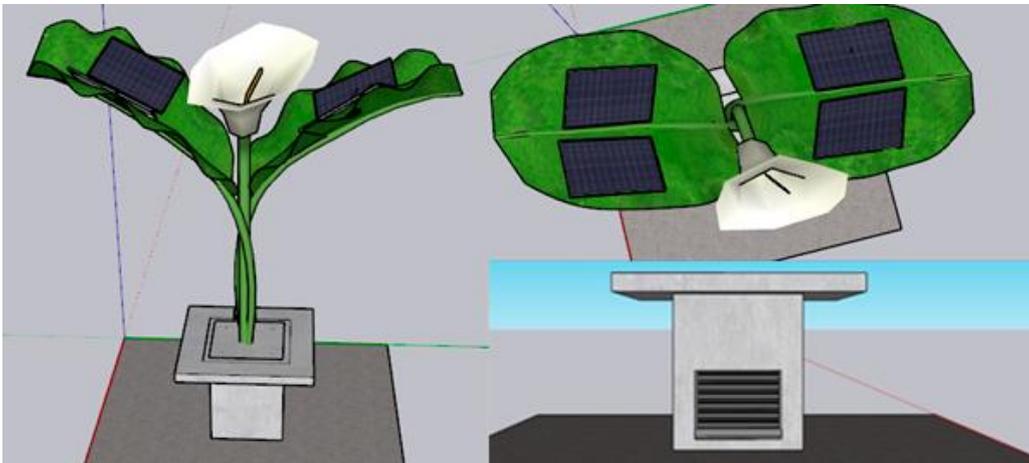
---

*Nota.* Los valores de potencia presentados en la tabla se tomaron directamente de las características del dispositivo expuestas por el fabricante, excepto para el computador ya que para cargarlo se hace uso de un tomacorriente tipo B.

Con base a lo expuesto y considerando las cargas establecidas para el dimensionamiento, se procedió a elaborar un diseño 3D empleando el software SketchUp, el cual como su sitio web lo indica «es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones basado en caras» (Software de Diseño 3D | Modelado 3D En La Web | SketchUp). El resultado del modelado 3D empleando este software se presenta en la Figura 13.

**Figura 13.**

Árbol solar modelado en 3D



*Nota.* En la figura se observa el diseño 3D del árbol solar realizado en el software SketchUp.

La estructura está diseñada en cuatro partes, una flor, dos hojas donde se alojará las iluminarias y los paneles, además consta de una maceta la cual en su parte interior alberga parte de los dispositivos del sistema fotovoltaico como la batería, inversor y controlador de carga, mientras que la parte externa cumplirá la función banca, además en los tallos de las hojas se alojan tomacorrientes que permiten la carga de dispositivos móviles.

- **Dimensionamiento**

En este apartado se emplearán las ecuaciones establecidas en la Fase 1, calculando el consumo energético teórico, la capacidad del controlador de carga, inversor y batería.

- **Consumo energético teórico**

Luego de establecer las cargas y los valores de potencia que estas demandan se tomó en cuenta las horas en las que estas permanecerán activas. Se consideró que la Universidad Nacional de Loja trabaja en dos jornadas diurna y vespertina, en horarios de 8h00 a 13h00 y de 15h00 a 21h00 respectivamente, teniendo esto en cuenta se estableció que las luminarias funcionen tres horas seguidas de 18h30 a 21h30, mientras que los tomacorrientes permitan la carga de dispositivos móviles toda la semana en cualquier horario, pero para dimensionar el sistema fotovoltaico se estableció un trabajo continuo de cinco horas para cargar dispositivos móviles en dos puertos USB de carga rápida y un tomacorriente tipo B dimensionado para cargar ordenadores portátiles de hasta 50 W.

Teniendo en cuenta estos factores se empleó la Ecuación (1) para el cálculo del consumo energético teórico, el cual se observa en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

Calculo del consumo energético teórico

<b>Dispositivo</b>	<b>Potencia demandada (W)</b>	<b>Cantidad de Dispositivos</b>	<b>Tiempo activo (h)</b>	<b><math>E_t</math> (Wh)</b>	<b><math>E_t</math> con 20% de margen de seguridad (Wh)</b>
<b>Cargador USB</b>	20	2	5	200	240
<b>Ojo de buey</b>	4,5	4	3	54	64,8
<b>Tiras LED</b>	60	1	3	180	216
<b>Laptop</b>	50	1	4	200	240

*Nota.* En la tabla se observa el consumo energético teórico requerido para cada carga, la suma nos da un total de 634 Wh, la potencia requerida por las tiras led corresponde a que cada metro demanda una 5 W y se empleó 12 metros de tiras led, lo que da un total de 60 W.

Se aplicó un margen de seguridad del 20% a las cargas, teniendo en cuenta que el sistema fotovoltaico podrá presentar pérdidas en el rendimiento por envejecimiento de los equipos o en el proceso de conversión de energía, así resulta un consumo energético teórico de 760,8 Wh.

De esta manera se estableció un día de autonomía para el dimensionamiento solar fotovoltaico, así mismo una profundidad de descarga de la batería de 0,7 o 70%, estos valores se establecieron considerando el presupuesto, ya que establecer más días de autonomía la capacidad de la batería aumentaría y por ello su costo.

Para la selección de los paneles se realizó una revisión de los data sheet considerando una relación entre la potencia que generan y las dimensiones de los módulos, así se eligió paneles de 50 W, ya que son más compactos y ocupan menos espacio en comparación con paneles de mayor capacidad y presentan una potencia considerable en comparación a paneles de menor capacidad. Las características de los paneles seleccionados se presentan en la siguiente Tabla 4.

**Tabla 4.**

Características técnicas del panel solar

	<b>Panel solar</b>	
	<b>Modelo</b>	RD50PC
<b>Tipo</b>	Policristalino	
<b>Dimensiones</b>	638×540×30 mm	
<b>Eficiencia</b>	13,73%	
<b>Potencia</b>	50 W	
<b>Voltaje</b>	12 V	
<b>Corriente potencia máxima</b>	2,75 A	
<b>Corriente circuito cerrado</b>	2,98 A	
<b>Voltaje circuito abierto</b>	22,24 V	
<b>Voltaje potencia máximo</b>	18,17 V	

- **Hora solar pico**

De acuerdo a la Ecuación (2) la hora solar pico tendrá un valor de:

$$HSP = 4,16h$$

- **Número de paneles solares**

El número de paneles solares de acuerdo a la Ecuación (3) es de:

$$N_p = 3,65 \approx 4 \text{ paneles}$$

Como el número de paneles resultantes queda en decimales se redondeó al número entero próximo superior, las características de los paneles se pueden observar en la Tabla 4.

- **Capacidad del controlador de carga**

De acuerdo a la Ecuación 4 la capacidad del regulador deberá ser superior a:

$$I_{max} = 11A$$

Dentro del mercado el valor próximo superior a la capacidad del controlador requerida fue de 20 A motivo por el cual se lo adquirió, ya que sus capacidades no afectan al sistema, las características del regulador se observan en la Tabla 5.

- **Capacidad de baterías**

De acuerdo a la Ecuación 5 la capacidad de las baterías deberá ser igual o superior a:

$$C = 90,57Ah$$

Para la elección de la batería se eligió una de 100 Ah cuyas características técnicas se observan en la Tabla 6.

**Tabla 5.**

Características técnicas del regulador de carga




---

**Controlador de carga**

---

<b>Modelo</b>	FT2024-20A
<b>Voltaje</b>	12 V / 24 V
<b>Máxima entrada de voltaje</b>	55 V
<b>Apropiado para baterías tipo</b>	GEL
<b>LVD</b>	11,0 V
<b>LVR</b>	12,6 V
<b>Voltaje flotante</b>	13,8 V
<b>Protección de sobrecarga de la batería</b>	16,5 V
<b>Carga de corriente</b>	20 A
<b>Potencia máxima</b>	260 W a 12 V 520 W a 24 V

---

**Tabla 6.**

Características técnicas de la batería

		<b>Batería</b>
	<b>Modelo</b>	Baace CNFJ100-12
	<b>Voltaje nominal</b>	12
	<b>Capacidad</b>	100 Ah
	<b>Tipo</b>	Batería de plomo-ácido regulada por válvula

- **Capacidad del inversor**

Para calcular la capacidad del inversor se realizó la adición de potencia demandada por todas las cargas, teniendo como resultado que la capacidad del inversor puede ser mayor o igual a 168 W, por esta razón se adquirió el inversor de 200 W, las características del equipo se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7.**

Características técnicas del inversor

<b>Especificaciones técnicas del inversor</b>	
Modelo	Truper 200 W
<b>Corriente directa</b>	
Tensión de entrada	12 V
Intensidad	20 A
Punto de apagado por batería baja	10,5 V ± 0,3
Punto de apagado por batería alta	15,5 V ± 0,3
Fusible	35 A
Eficiencia	85%
<b>Corriente alterna</b>	
Forma de onda	Sinusoidal modificada
Frecuencia de salida	58 Hz – 62 Hz
Tensión de salida	120 V
Potencia de salida	200 W
Potencia de sobrecarga	800 W



- **Inclinación de los paneles**

La inclinación en los paneles, es un factor muy importante ya que una correcta orientación e inclinación se reflejará en su eficiencia, la inclinación de los paneles se basó en el estudio realizado por Álvarez Lozano(2017), cuyo resultado expresa que, debido a la latitud de nuestro país debemos orientar los paneles al este con una inclinación de cero a treinta grados, para establecer el ángulo de los paneles se consideró la conclusión mencionada, los valores de inclinación se muestran en resultados, con esta consideración se finaliza con el dimensionamiento, las capacidades de los equipos se resumen en la Tabla 8.

**Tabla 8.**

Componentes del sistema solar fotovoltaico

<b>Sistema solar fotovoltaico del árbol solar</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Unidades</b>
<b>Panel solar</b>	50 W	4
<b>Controlador de carga</b>	20 A	1
<b>Batería</b>	100 Ah	1
<b>Inversor</b>	200 W	1

### **5.2.3. Fase 3. Ejecución**

En esta Fase se cumplió con el objetivo específico tres y cuatro, se construyó el árbol solar, se implementó en la Universidad Nacional de Loja, además se realizó el manual de usuario y mantenimiento el cual aborda una descripción general del árbol solar, el uso, conexiones, mantenimiento y la solución de posibles problemas, esto lo puede encontrar de manera detallada en el apartado de resultados y en el anexo 1 respectivamente.

Cabe destacar que en esta Fase también se cumple con el objetivo general planteado en esta investigación, el cual consiste en diseñar y construir un prototipo de árbol solar como modelo educativo de energías renovables para el I<sup>2</sup>TEC de la Universidad Nacional de Loja.

## 6. Resultados

En este apartado encontrará la elaboración de la estructura, implementación e instalación de los elementos del sistema fotovoltaico, producción y consumo real de energía del árbol solar y como por último se encontrará con el presupuesto empleado para la elaboración del árbol solar.

### 6.1. Construcción de la estructura

Para la construcción de la estructura del árbol se empleó herramientas como, amoladoras, taladros, compresor de aire, soldadoras y martillos, en adición a esto en la Tabla 9 se encuentran los materiales que se empleados en la elaboración de la estructura.

**Tabla 9.**

Materiales empleados en la construcción de la estructura.

<b>Materiales para la construcción de la estructura</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
Plancha de acero galvanizado	1/20×1,1	2
Tubo de acero redondo	3×2	1
Tubo de acero redondo	2×2	2
Tubo de acero redondo	5/8×1,5	2
Disco de corte	Número 9	1
Disco de pulir	60/80	1
Electrodo fino	3/32	11b
Fondo whass primer	Verde olivo	2lt
Lija de agua	Número 80	4
Pernos	1/4×1/2	32

Contando con todos los materiales y herramientas se procedió a la construcción de la estructura, como primer paso se realizó el corte y rolado de los tubos que representan los tallos de la planta, los tubos fueron cortados de las siguientes medidas:

- Tubos de acero de 2 pulgadas se cortaron a 3,5 metros
- Tubo de 3 pulgadas fue cortado a 2,8 metros

Luego del corte fueron llevados a un taller de metales donde se procedió a rolar los tubos de 2 pulgadas, el resultado de esto podemos observarlo en la Figura 14, como segundo paso se realizó el diseño de la hoja en las planchas de acero y se procedió al recorte empleando una amoladora, el diseño de la hoja la podemos observar en las Figuras 15, el tercer paso correspondió a soldar la hoja de acero al tubo, además se procedió a cortar y rolar los tubos de menor calibre que representan las nervaduras de las hojas, obteniendo el resultado que se

observa en la Figura 16, el cuarto paso de este proceso fue la creación de la flor, para la cual se empleó una plancha de acero galvanizado, la cual se dobló en forma de cono se recortó sus excesos y con ayuda de un martillo y un tubo se procedió a moldear una curvatura en la parte superior del cono, el resultado de este proceso se puede observar en la Figura 17, como quinto y último paso se aplicó el fondo whass primer empleando el compresor y la pistola de pintura, luego que el fondo seicara se aplicó pintura del collar característico de la flor, este proceso se lo puede observar en la Figura 18.

**Figura 14.**

Primer paso, tubos metálicos rolados



**Figura 15.**

Segundo paso, diseño y corte de la hoja en pancha de acero



**Figura 16.**

Tercer paso, hoja en acero galvanizado



**Figura 17.**

Cuarto paso, elaboración de la flor



**Figura 18.**

Quinto paso, pintado de la estructura



## 6.2. Implementación

Para el proceso de implementación del árbol solar, se construyó una base de concreto en la cual se anclo una placa de acero en donde se soldó cada parte del árbol, véase la Figura 19, luego de este proceso se realizó una maceta de concreto, refiérase a la Figura 20, se esperó hasta que la maceta se seque, esto debido a su interior hueco, luego se procedió a montar el sistema fotovoltaico, refiérase a la Figura 21, la instalación del sistema fotovoltaico se realizó mediante el diagrama eléctrico que se observa en la Figura 22, el ángulo de los paneles instalados en la hoja derecha presentan una orientación al este con  $10^\circ$  de inclinación, mientras que los paneles de la hoja izquierda se orientan al este con una inclinación de  $7^\circ$  para el primero y de  $0^\circ$  para el segundo esto se presenta en las Figuras 23, 24 y 25, 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 19.

Elaboración de la base de concreto



**Figura 20.**

Construcción de la maceta



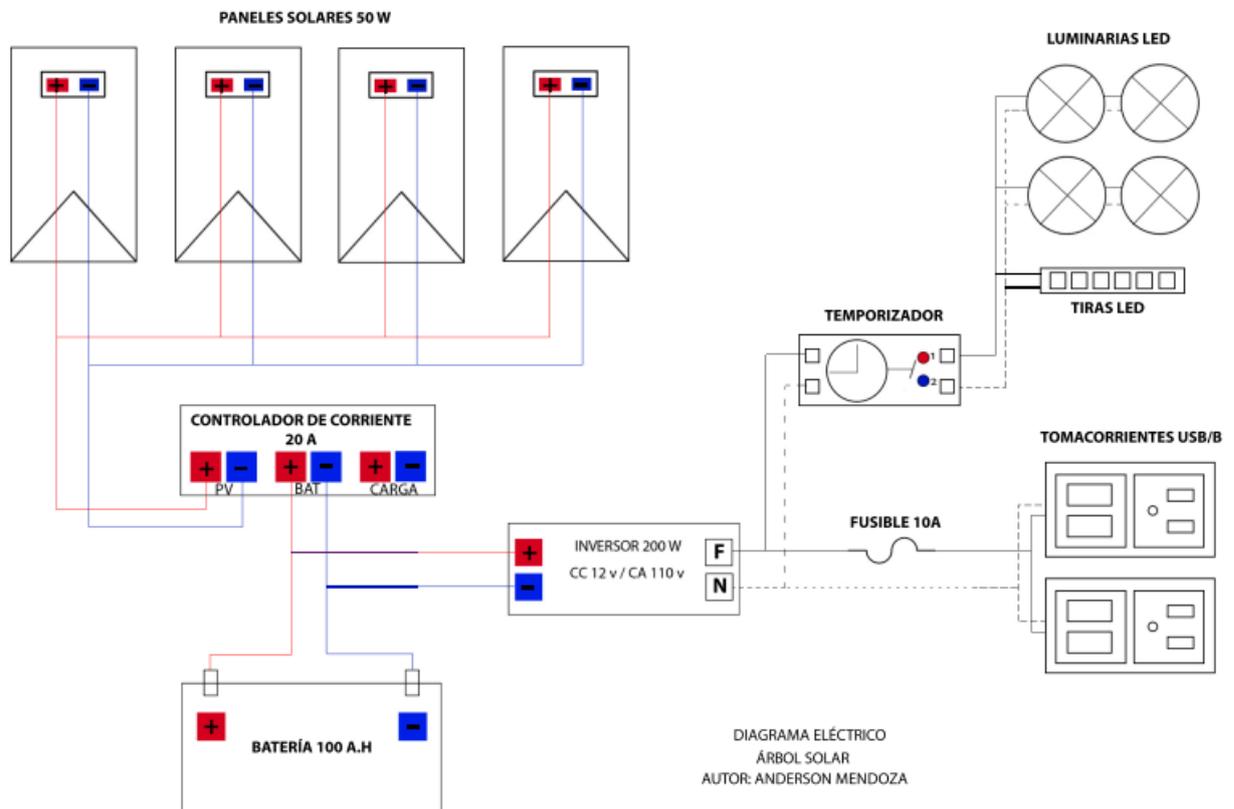
**Figura 21.**

Instalación de elementos del sistema fotovoltaico



**Figura 22.**

Diagrama de conexión de elementos



*Nota.* La presente imagen muestra el diagrama de conexión de cómo se conectaron todos los elementos del sistema fotovoltaico, además en este se añade la conexión del temporizador y un fusible en la salida del inversor para protección del sistema.

**Figura 23.**

Inclinación de paneles en la hoja izquierda



**Figura 24.**

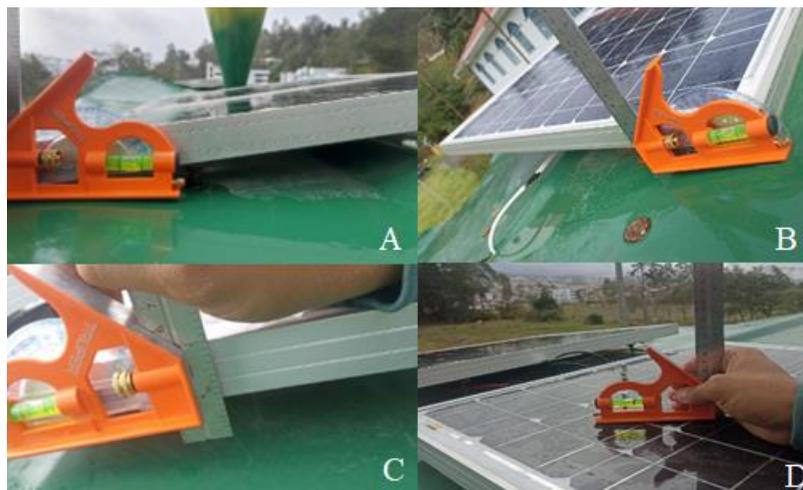
Inclinación de los paneles en la hoja derecha



Nota. En la imagen se observa la inclinación en los paneles que corresponde a  $7^\circ$  al panel izquierdo y de  $0^\circ$  el panel de la derecha.

**Figura 25.**

Inclinación de los paneles



Nota. En el literal A y B se observa la inclinación de los paneles de la hoja derecha del árbol solar los cuales presentan orientación al este y una inclinación de  $10^\circ$ , el literal C muestra la inclinación del primer panel de la hoja izquierda, el cual se orienta al este con una inclinación de  $7^\circ$ , mientras que el literal D muestra la inclinación de  $0^\circ$  del segundo panel de la hoja izquierda.

### **6.3. Evaluación de energía**

- **Energía generada**

Considerando los datos proporcionados por la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Loja, la cual cada cinco minutos por todo un año registro datos de radiación solar, se puede establecer que los paneles solares pueden generar energía a partir de las 6h00 a 18h00 es decir que hay un rango de 12 horas para cargar una batería, para encontrar un estimado de cuanta energía es capaz de producir el sistema fotovoltaico se procedió a medir el voltaje y la intensidad generada por los paneles dentro este intervalo de tiempo de 8h00 a 18h00 cada media hora, el cálculo de potencia se anexan en la Tabla 10.

Tomando en consideración que la capacidad de la batería es de 100 Ah y trabaja a 12v se establece que la cantidad de energía que puede almacenar es de 1200 Wh, otro punto a tener en cuenta es que la profundidad de descarga de la batería empleada en el dimensionamiento es de 0,7 o 70% es decir que la batería mantendrá un valor de carga del 30% de 1200 Wh siendo este valor 360 Wh, en este contexto el sistema fotovoltaico tendrá que cargar 840 Wh.

En referencia a la Tabla 10, se observa que la energía generada por los paneles solares en un día es de 52,45 Wh. Si multiplicamos este valor por 12 horas de funcionamiento, obtenemos una generación total de 626,4 Wh. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este cálculo se basa en la suposición de que la radiación solar se mantiene constante durante media hora, lo que resulta en una producción de energía relativamente baja comparación a los 840 Wh que se pretende superar.

No obstante, se ha comprobado que el sistema fotovoltaico es capaz de cargar al menos el 70% de la capacidad de la batería en menos de 12 horas. Esto implica que la producción de energía supera el 70% de la capacidad de la batería, lo que nos lleva a concluir que la producción diaria de energía es superior a los 840 Wh.

**Tabla 10.**

Energía promedio generada en una hora

<b>Energía producida por el sistema solar fotovoltaico</b>			
<b>Hora</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Voltaje [V]</b>	<b>Potencia [W]</b>
8h00	3,57	13,00	46,41
8h30	3,01	13,20	39,73
9h30	9,62	12,50	120,25
10h00	5,97	12,50	74,62
10h30	4,32	12,50	54,00
11h00	12,67	12,40	157,10
11h30	13,84	12,20	168,84
12h00	2,63	12,20	32,08
12h30	9,10	13,20	120,12
13h00	8,56	12,70	108,71
13h30	13,00	12,70	165,10
14h30	13,39	12,50	167,37
15h30	11,13	12,50	139,12
16h00	11,30	12,50	141,25
16h30	13,59	12,50	169,87
17h00	7,23	12,50	90,37
17h30	2,66	12,50	33,25
18h00	4,82	12,50	60,25
<b>Potencia promedio generada en 0, 5 h [W]</b>			<b>104,9</b>
<b>Energía promedio generada [Wh]</b>			<b>52,45</b>

*Nota.* La tabla nos presenta valores de potencia medidos cada media hora, lo que resulta en un promedio de 104,9 W que en energía representan un valor de 52,45 Wh.

- **Energía consumida**

Para el cálculo del consumo real del árbol solar se procedió a medir la corriente en la salida del inversor, donde existen dos tomacorrientes tipo B, de los cuales uno alimenta los tomacorrientes USB y tipo B, mientras que la otra salida del inversor alimenta las luminarias, para realizar esta medición se emplearon todas las cargas consideradas en el dimensionamiento, los resultados de las mediciones en los puntos antes mencionados se observan en la Figura 26, luego de estas mediciones se procedió con el cálculo de la potencia empleando la Ecuación 6, además se calculó el consumo energético en el número de horas que funcionarían las cargas según el dimensionamiento, los resultados de este cálculo se observan en la Tabla 11.

$$P = I \times V \tag{6}$$

Donde

$P$  es la potencia [W];

$I$  es la corriente [A];

$V$  es el voltaje [V].

**Tabla 11.**

Potencia y consumo real del árbol solar

<b>Potencia real demandada por las cargas</b>			
<b>Dispositivo</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Voltaje [V]</b>	<b>Potencia [W]</b>
Luminarias	0,63	113,8	71,69
Tomacorrientes	0,40	113,8	45,52
<b>Potencia total</b>		<b>117,21 W</b>	
<b>Consumo energético real (Er)</b>			
<b>Dispositivo</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Horas de uso [h]</b>	<b>Er [Wh]</b>
Luminarias	71,96	3	215,88
Tomacorrientes	45,52	5	227,6
<b>Er total</b>		<b>443,48</b>	

**Figura 26.**

Mediciones de corriente y voltaje demandado por las cargas



*Nota.* El literal A corresponde a la medición de corriente que demandan las luminarias, el literal B se muestra la corriente demandada por dos celulares y un computador de 50 W, mientras que el literal C muestra el voltaje usado por las cargas.

#### 6.4. Presupuesto

El costo detallado y total en dólares estadounidenses de la elaboración del prototipo se presenta en la Tabla 12.

**Tabla 12.**

Presupuesto

<b>Sistema fotovoltaico</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Precio total (USD)</b>
Panel solar	4	59,34	237,36
Batería	1	186	186
Controlador de carga	1	19	19
Inversor de corriente	1	54	54
Temporizador	1	8	8
Tomacorrientes	2	7	14
Caja para exteriores	2	3	6
Cable 10 AWG (m)	40	0,6	24
Cinta aislante	2	0,75	1,5
Focos LED 4,5w	4	5	20
Tiras LED (m)	12	2,6	31,2
<b>Total (USD)</b>			<b>601,06</b>
<b>Estructura metálica</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Precio total</b>
Plancha de acero	3	38,39	115,17
Tubo redondo 5/8	2	5,13	10,26
Tubo redondo 2"	2	18,3	36,6
Tubo redondo 3"	1	27,72	27,72
Pintura fondo (lt)	5	7,50	37,5
Pintura (lt)	5	7	35
Diluyente (lt)	10	1,5	15
Cemento	4	7,25	29
Ladrillos	40	0,4	16
Carretillas de arena	5	3	15
<b>Total (USD)</b>			<b>337,25</b>
<b>Mano de obra</b>		<b>Costo por obra (USD)</b>	
Maestro soldador		500	
Maestro constructor		75	
Transporte		50	
<b>Total (USD)</b>		<b>625</b>	
<b>Costo total (USD)</b>		<b>1563,31</b>	

## 7. Discusión

En el proceso de revisión y recopilación bibliográfica para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico se consideró información y ecuaciones presentadas por Roitman et al. (2015) en la revista FCEFYN, eligiendo el sistema solar fotovoltaico autónomo para la implementación en el prototipo.

Para el proceso de dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se utilizaron las ecuaciones mencionadas en el párrafo anterior que se pueden observar en el apartado 6.1. En tales ecuaciones se considera una variable, la cual corresponde a la radiación solar en la zona de implementación. De igual manera, en estudios similares, realizados en la misma zona para el cálculo de la radiación solar promedio, como el realizado por González (2022), se utilizaron fuentes de información con valores de radiación solar estimados. En esta investigación, Gonzales determinó que el mes de junio es el mes con menor radiación solar en la zona, teniendo como valor mínimo  $4,71 \text{ kWh/m}^2$ .

Por otro lado, para fundamentar este estudio se emplearon cuatro fuentes de información, siendo la primera, datos reales de radiación solar recopilados cada 5 minutos durante todo un año por la estación meteorológica de la facultad de energía en la Universidad Nacional de Loja, estos datos se complementaron al promediarse con valores de radiación solar estimados que se obtuvieron de fuentes como global solar atlas, solarius PV y datos presentados por el estudio denominado mapa solar del Ecuador 2019, determinando que febrero es el mes como menos radiación con un valor de  $4,16 \text{ kWh/m}^2$ .

La elección de los dispositivos que forman parte del sistema solar autónomo, a excepción de los paneles, fueron elegidos por su capacidad, la cual fue determinada por las ecuaciones antes mencionadas, debemos destacar que los números que representan el valor de la capacidad de cada dispositivo no son números enteros, motivo por el cual hay que redondear a su número inmediato superior.

La elección de la capacidad de los paneles se determinó por el diseño del prototipo, es decir que la condición que se planteó fue que estos sean poco o nada visibles en la estructura del prototipo. La elaboración de la estructura del prototipo se realizó teniendo presente la definición de árbol solar expuesta por Triana (2020), la cual nos menciona que un árbol solar debe agrupar diseño, autosustentabilidad y tecnología, los materiales empleados fueron planchas de acero galvanizado 1/20 debido a que este nos permitió moldear las hojas y flores además de aportar rigidez y un bajo costo.

Para implementar los paneles, se debe utilizar una inclinación en los mismos, para mejorar su eficiencia, al seleccionar la inclinación se recurrió al estudio realizado por Álvarez

(2017), debido a la latitud de nuestro país debemos orientar los paneles al este con una inclinación de cero a treinta grados, Los paneles implementados en este prototipo son cuatro dividiéndose dos en cada hoja, si bien los paneles se orientan al este sus ángulos varían entre cero y diez grados debido las curvaturas de las hojas .

Como último punto tenemos que el cálculo de energía real consumida permitió establecer que la variación más grande en el consumo de energía en el árbol solar se presentó en los tomacorrientes los cuales presentan un valor teórico de 20 W constantes para cinco horas de uso para los USB, mientras que para el tipo B un consumo de 50 W por cuatro horas, resultando en un consumo energético teórico total de 400 Wh. En relación con el consumo energético real medido, haciendo uso de los tomacorrientes USB cargando dos celulares inteligentes y en el tomacorriente tipo B cargando un computador de 50 W el consumo energético real calculado es de 227,6 Wh, es decir que consumen 43,1% de energía menos a lo estimado en el dimensionamiento. Se realizo las debidas investigaciones y se encontró que la demanda de energía en dispositivos que presentan carga rápida no es constante, Pascual Estapé (2021) nos menciona que un dispositivo móvil solo utiliza su carga rápida cuando presenta niveles bajos de batería hasta alcanzar un nivel de carga de 50% o 60%, luego esta potencia reduce su demanda.

## 8. Conclusiones

A partir de esta investigación se puede decir que el diseño y construcción del árbol solar en forma de la flor cartucho demostró que la energía solar puede ser implementada de una forma atractiva, diferente a los métodos tradicionales. Además, contemplando que este prototipo es un modelo educativo sobre las energías renovables, se implementó un código QR en el prototipo, el cual direcciona a un póster descriptivo en donde se explica el funcionamiento del árbol y cada una de las partes que lo conforma. La revisión bibliográfica realizada sobre los sistemas solares fotovoltaicos y los árboles solares fue clave para el diseño del prototipo y el correcto dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.

A partir de la revisión bibliográfica se logró dimensionar un sistema fotovoltaico aislado que permitiendo recargar una batería de 100 Ah dentro de 12 horas, considerando la profundidad de descarga de la batería establecida en el dimensionamiento del 70% se considera que la producción de energía del sistema supera los 840 Wh.

A partir del diseño del árbol solar, se concluye que el consumo de energía real en los tomacorrientes no es el mismo que el consumo energético teórico calculado en el dimensionamiento, ya que en este se estableció un uso diario de 5 horas de trabajo contantes de las dos tomas USB y tipo B, en lo practico se observó que la mayoría de usuarios la mayor parte del tiempo utiliza las tomas USB por cortos periodos, es decir que pocos usuarios cargan sus dispositivos al 100%, lo que significa menos consumo de energía. Caso contrario al de las luminarias ya que su consumo energético real se aproxima al consumo energético teórico calculado en el dimensionamiento.

La elaboración de un manual de usuario y mantenimiento adecuado es esencial para prolongar la vida útil de los dispositivos del sistema fotovoltaico. Al proporcionar a los usuarios una guía detallada sobre cómo utilizar y mantener correctamente los componentes del sistema, se reducen los riesgos de daños y se optimiza su funcionamiento a largo plazo. En última instancia, la implementación de un manual de usuario y mantenimiento se traduce en una mayor durabilidad y rentabilidad del sistema fotovoltaico, así como en una reducción de los costos de reparación y reemplazo a lo largo del tiempo.

## **9. Recomendaciones**

Al realizar el dimensionamiento se recomienda usar un margen de seguridad de un 15%-20%, ya que los equipos pueden presentar diversas pérdidas inesperadas, lo cual permitirá que obtengamos los mejores resultados de manera exitosa.

Cuando se realice la selección de equipos, es necesario tener como primer criterio la relación costo-beneficio. Esto se debe a que un menor costo en los equipos puede llevar a un diseño insuficiente del sistema fotovoltaico, generando un mayor riesgo a futuro.

Se recomienda emplear dispositivos de protección como los fusibles dentro de las instalaciones eléctricas, para garantizar la seguridad del sistema contra cargas que superen el nivel de consumo energético para el cual fue diseñado.

Para mantener las instalaciones en buenas condiciones, se recomienda seguir el manual de usuario y mantenimiento. Esta medida implica hacer una limpieza general de los paneles y una revisión de la operación de los equipos. Así, se podrá garantizar el buen funcionamiento de la instalación.

## 10. Bibliografía

- Alejandro González, M. E. (2022). *Diseño y construcción de un prototipo de estación solar de carga de dispositivos móviles para el i2tec de la universidad nacional de Loja* [Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones]. Universidad Nacional de Loja.
- Alvarado, R. (2015, July 28). *ESTACIÓN DEL SITU CUENTA CON ENERGÍA SOLAR*. <https://www.loja.gob.ec/noticia/2015-07/estacion-del-situ-cuenta-con-energia-solar>.
- Alvarez Lozano, D. A. (2017). *EVALUACIÓN DE LA ORIENTACIÓN Y EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN ÓPTIMO DE UNA SUPERFICIE PLANA PARA MAXIMIZAR LA CAPTACIÓN DE IRRADIACIÓN SOLAR EN CUENCA-ECUADOR* [Universidad Politécnica Salesiana ]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14458/1/UPS-CT007120.pdf>
- Álvarez, V. A., & Cabrera, M. J. (2014). *La energía solar como fuente de electricidad*. Universidad nacional de Tucumán .
- Cabrera Ordoñez, E. S., & Merino Vivanco, R. P. (2023). *Estación de carga solar para bicicletas y monopatín eléctricos de baja potencia para el I2TEC de la UNL*. Universidad Nacional de Loja.
- Cabrera Samaniego, J. P., & Poma Godoy, V. R. (2015). *Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica, con un sistema de telemetría para el área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja*. Universidad Nacional de Loja.
- Contreras García, V. (2022, October 12). Loja será la primera ciudad inteligente de Ecuador y con agricultura conectada. <https://dplnews.com/loja-sera-la-primera-ciudad-inteligente-de-ecuador-y-con-agricultura-conectada/>.
- Cornejo, J. (2015). *Estudio e implementación de un árbol solar inmótico autosustentable desarrollado en software libre*. Escuela de Ingeniería Electrónica.
- Cruz Ardila, Y. S., & Hernández Díaz, H. A. (2017). *Diseño de un árbol solar para carga de equipos móviles y dos sistemas fotovoltaicos de iluminación pública en Gachalá Cundinamarca* [TECNOLOGÍA EN MECÁNICA, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS]. <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6020>
- factorenergia. (2021, June 18). *Energía solar: todo lo que tienes que saber*. <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/energia-solar/>

- González, R., Lagunas, J., Humberto, R., & Jiménez, G. (2003). Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. *Conectados a La Red*. file:///C:/Users/Josu%C3%A9/Desktop/Documentos/Sistemas\_fotovoltaicos\_conectados\_a\_la\_red.pdf
- Greenpeace. (2023, August 13). *Cambio climático*. <https://Es.Greenpeace.Org/Es/Trabajamos-En/Cambio-Climatico/>.
- Guastay Cajo, W. E., & Llanes Cedeño, E. A. (2020). *EL USO DE LA ENERGÍA HIDRÁULICA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL EN EL ECUADOR*. Universidad Internacional SEK.
- IRENA. (2022 C.E.). *ENERGY PROFILE ECUADOR*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical\\_Profiles/South-America/Ecuador\\_South-America\\_RE\\_SP.pdf?rev=2be884e0c6da4b2cb2a1682fd8eb6e33](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/South-America/Ecuador_South-America_RE_SP.pdf?rev=2be884e0c6da4b2cb2a1682fd8eb6e33)
- Lamigueiro, O. P. (2013). *Energía Solar Fotovoltaica*. <https://www.researchgate.net/publication/249012821>
- Macancela Zhumi, L. G. (2012). *Diagnóstico de la implementación de los sistemas fotovoltaicos correspondientes a la primera etapa del proyecto Yantsa* [UNIVERSIDAD DE CUENCA]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/689>
- Medina Sánchez., J. A., & Solano Jiménez, J. C. (2022). *Diseño, construcción y análisis de eficiencia de seguidores solares a un eje y dos ejes con fines de generación fotovoltaica*. Universidad Nacional de Loja.
- Méndez, J. M., & Cuervo, R. (2011). *Energía solar fotovoltaica* (7th ed.). FUND. CONFEMETAL.
- Mesones Abanto, P. F. (2019). *Dimensionamiento y selección de un sistema solar fotovoltaico de conexión a red para el restaurante “el zarco” ubicado en la ciudad de Cajamarca*. UNIVERSIDAD NACIONAL “PEDRO RUIZ GALLO.”
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). Balance Energético Nacional 2021. *Balance Energético Nacional, 10*.
- Molina, M., & Hernández, C. (2016). Prototipo de un Sistema Fotovoltaico Autónomo. *Revista de Aplicaciones de La Ingenieria*, 3, 10–11.
- Olade. (2022, May 5). *La situación del sector energético en la región se expuso en un diálogo con el Cuerpo Diplomático acreditado en Ecuador*. <https://Www.Olade.Org/Noticias/La-Situacion-Del-Sector-Energetico-En-La-Region-Se-Expuso-En-Un-Dialogo-Con-El-Cuerpo-Diplomatico-Acreditado-En-Ecuador/>.

- Organización Meteorológica Mundial. (2021, April 19). *Los indicadores empeoraron y los impactos del cambio climático se agravaron en 2020*. <https://Public.Wmo.Int/Es/Media/Comunicados-de-Prensa/Los-Indicadores-Empeoraron-y-Los-Impactos-Del-Cambio-Clim%C3%A1tico-Se>.
- Orozco Jaramillo, K. R., & Ordóñez Mendieta, Á. J. (2019). *Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de los niveles de radiación solar en el campus de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad*. Universidad Nacional de Loja.
- Pascual Estapé, J. A. (2021, March 20). *Carga rápida de tu móvil: qué es, cómo funciona, diferencias y cuáles son sus ventajas e inconvenientes*. Computerhoy.
- Patiño Abella, J. S., Tello Reyes, J. S., & Hernández Mora, J. A. (2009). *Revista Ingeniería*. *Ingeniería*, 14(2), 13–18. <https://doi.org/10.14483/23448393.2375>
- Roitman, M., Mestrallet, A., Aramburu, M. D., & Rossi, R. (2015). Dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda familiar de la Ciudad de Córdoba. *Revista Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 2(2), 38–40. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/10884>
- Sánchez Guevara, S., & Franco Gil, J. (2016). *Diseño e implementación de un sistema fotovoltaico interconectado a red con soporte de almacenamiento en la universidad tecnológica de Pereira*. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.
- Software de diseño 3D | Modelado 3D en la web | SketchUp*. (n.d.). Retrieved August 11, 2023, from <https://www.sketchup.com/es>
- Triana Sanchez, A. F. (2020). *Propuesta de árbol solar como fuente de energía renovable para la carga de equipos móviles en la sede bosa porvenir de la universidad distrital francisco José de caldas* [TECNOLOGÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y SERVICIOS PÚBLICOS, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS]. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24772/TrianaS%c3%a1nchezAndresFelipe2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valdiviezo, P. (2014). *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP* [Pontificia Universidad Católica del Peru]. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5447/VALDIVIEZO\\_PAULO\\_DISE%c3%91O\\_SISTEMA\\_FOTOVOLTAICO\\_ENERGIA\\_ELECTRICA\\_PUCP.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5447/VALDIVIEZO_PAULO_DISE%c3%91O_SISTEMA_FOTOVOLTAICO_ENERGIA_ELECTRICA_PUCP.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Walliman, N. (2022). Research Methods the basics third edition. In *Routledge Taylor & Francis Group: London And New York*. <https://www.routledge.com/Research-Methods-The-Basics/Walliman/p/book/9780367694081>

## 11. Anexos

### Anexo 1. Manual de usuario y mantenimiento

# Manual de usuario y mantenimiento

## Árbol solar

Autor

Anderson Josué Mendoza Sotomayor

### Contenido

1. Descripción general del árbol solar
2. Uso
3. Conexiones y montaje del árbol solar
4. Mantenimiento
5. Solución de problemas

## 1. Descripción general del árbol solar

El árbol es un dispositivo autosustentable, al igual que las plantas utilizan la energía del sol para obtener energía.

El árbol solar utiliza elementos eléctricos y electrónicos para procesar la radiación del sol, transformar la energía solar en eléctrica y posteriormente acumularla para su uso.

Los componentes del árbol solar que permiten procesar la energía solar se basan en un sistema fotovoltaico aislado y se describen a continuación.

- Cuatro paneles solares de 50W
- Un controlador de carga 20A
- Batería 100AH
- Un inversor de corriente 200W

Los componentes que consumirán y permitirán el consumo de energía son los siguientes.

- Cuatro tomacorrientes USB de carga rápida
- Dos tomacorrientes tipo B
- Cuatro ojos de buey LED

## 2. Uso

El presente árbol solar cumple con dos funciones, la primera es servir como estación de carga de dispositivos móviles, se pueden conectar dispositivos con requerimiento máximo de carga de 100Wh, la segunda función del árbol solar es servir como iluminación durante la noche.

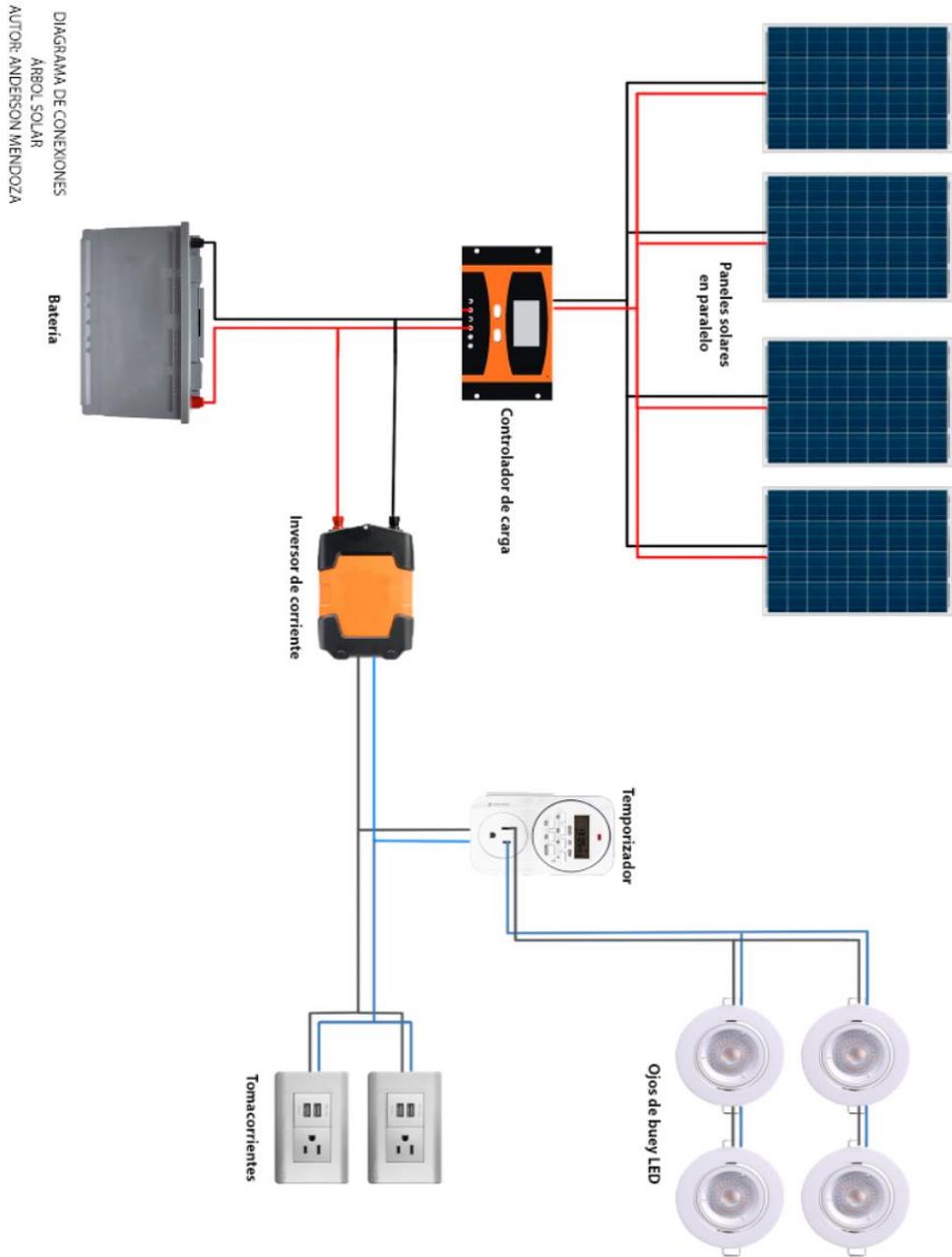
El árbol solar no está diseñado para servir como refugio ante sol o lluvia.

## 3. Conexiones y montaje del árbol solar

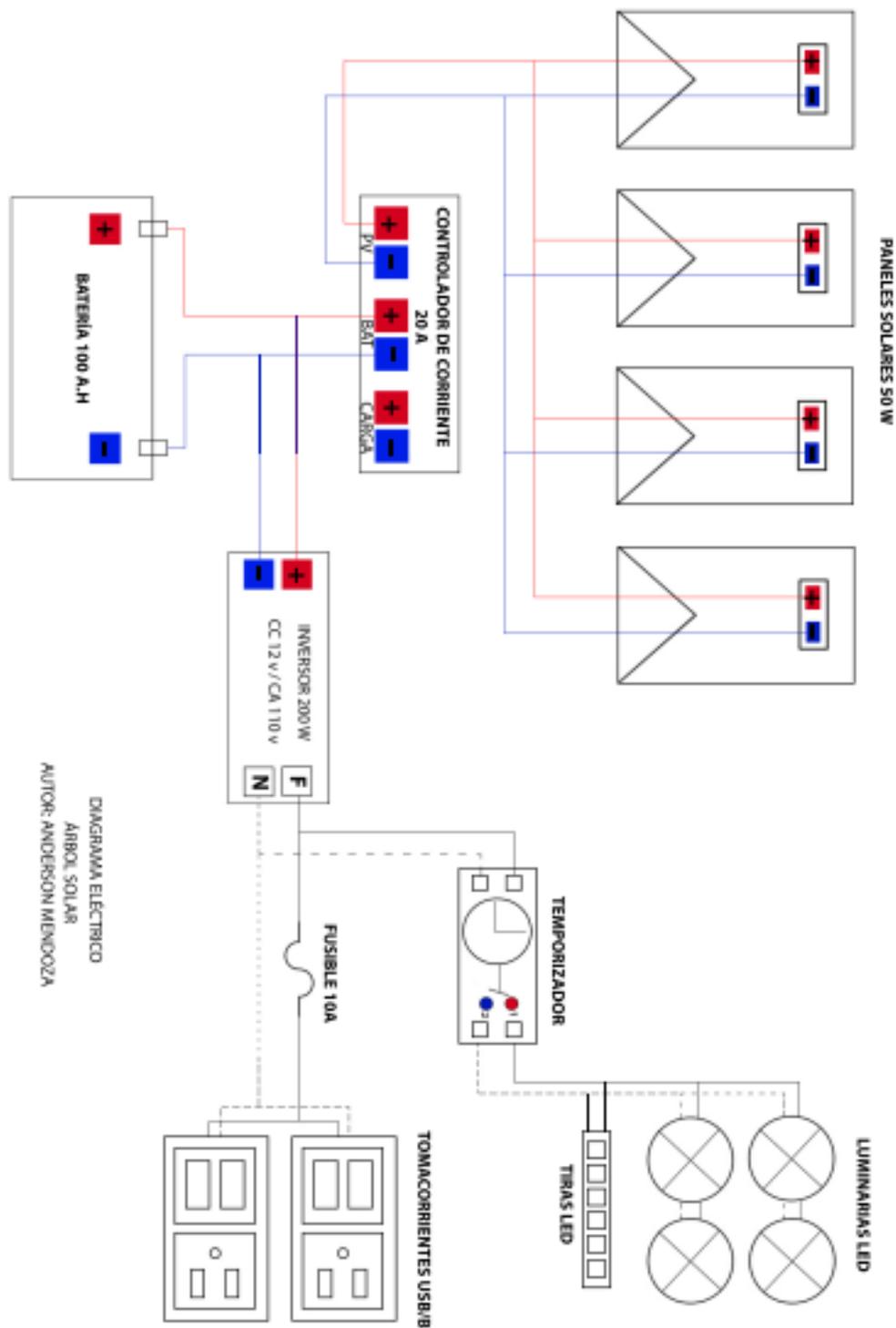
El diagrama de conexiones y el diagrama eléctrico de los elementos que forman parte del árbol solar se presentan en la figura 1 y figura 2 respectivamente.

### **Figura 27**

*Diagrama de conexiones*



**Figura 28**  
*Diagrama eléctrico*



#### 4. Mantenimiento

El mantenimiento del sistema fotovoltaico del árbol solar es muy leve, debido a que la mayoría de sus componentes se encuentran dentro de una caja metálica, el mantenimiento a seguir se deber realizar de dos a tres veces al año y se describe a continuación.

### **Paneles solares**

Para un correcto funcionamiento los paneles solares deben estar limpios motivo por el cual se debe realizar una inspección visual para comprobar que la superficie se encuentre libre de polvo o excremento de aves.

Si la superficie del panel se encuentra contaminada reflejara una caída en la producción de energía, para limpiar el panel se debe emplear agua además de un paño de microfibra no abrasivo.

Se recomienda realizar la limpieza al comenzar el ocaso ya que así evitamos que el sol evapore muy rápido el agua y deje manchas.

### **Controlador de carga, temporizador, luminarias e inversor**

Para estos elementos se recomienda limpiar y revisar los conectores y fusibles para asegurarse que los cables no presenten juego y puedan funcionar correctamente.

Para saber cómo se conectan los dispositivos revisar figura 1 y figura 2.

### **Batería**

Se recomienda limpiar los terminales y superficie de la batería ya que para su buen funcionamiento deben estar limpios y secos, además se recomienda revisar los terminales de los cables se encuentren acoplados a los terminales de la batería de tal manera que no presenten movimiento alguno.

## **5. Solución de problemas**

### **Problemas con el temporizador**

El control de encendido de las luces se realiza mediante un temporizador programable, el cual permite encender a las 18h15 y se apagan a las 21h30, los problemas causados por desconfiguración o fallos de este son:

- Luces no encienden
- Luces encendidas de día
- Luces encendidas un mayor o menor tiempo al manifestado.

Para poder solucionar estos problemas debemos realizar el siguiente proceso:

- 1) Revisar si el temporizador se encuentra funcionando
- 2) Revisar la conexión eléctrica entre inversor-temporizador-luces

- 3) Si todo lo anterior se encuentra de manera correcta significa que el temporizador se encuentra desconfigurado, deberá configurar nuevamente.

### **Tomacorrientes**

Si los tomacorrientes dejan de funcionar deberá realizar el siguiente proceso:

- 1) Comprobar las conexiones eléctricas
- 2) Comprobar la carga de la batería, esto lo podrá hacer observando el controlador de carga.
- 3) Comprobar la continuidad de la fase, como medida de protección del sistema se emplearon fusibles de 10A 110V para abrir el circuito cuando se conectan dispositivos no aptos.
- 4) Si no encuentra continuidad, deberá cambiar el fusible y comprobar si las tomas funcionan nuevamente.

### **Inversor de corriente**

Si no existe energía en los tomacorrientes y luminarias, además escucha un pitido intermitente se debe a que se produjo un cortocircuito en los tomacorrientes, para solucionarlo se debe referir al inversor y buscar el botón de apagado, luego de esto debe encender el inversor y comprobar que funciona adecuadamente.

### **Figura 29**

Inversor de corriente



*Nota.* En la imagen se muestra el botón de apagado del

muestra la ubicación del inversor.

### **Estructura metálica**

Se recomienda pintar la estructura cada año, esto con la finalidad de evitar el óxido en las soldaduras y aumentar el tiempo de vida de la misma.

### **Recomendaciones**

Se recomienda manipular los elementos del sistema fotovoltaico con la indumentaria adecuada.

## Anexo 2. Datos de radiación Global Solar Atlas

### GLOBAL SOLAR ATLAS BY WORLD BANK GROUP

#### Loja

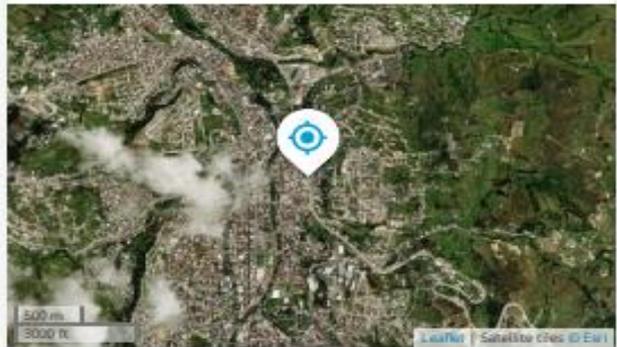
-03.979341°, -079.200439°  
Jose M. Samaniego, Loja, Loja, Ecuador  
Time zone: UTC-05, America/Guayaquil [ECT]

Report generated: 1 Jun 2023

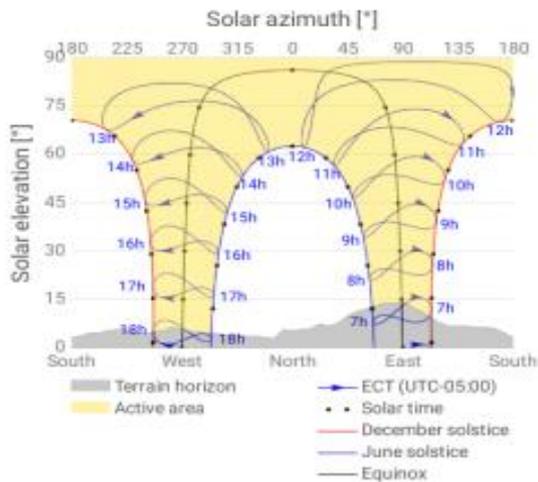
#### SITE INFO

Map data		Per year	
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1385.1	kWh/kWp
Direct normal irradiation	DNI	1118.1	kWh/m <sup>2</sup>
Global horizontal irradiation	GHI	1699.6	kWh/m <sup>2</sup>
Diffuse horizontal irradiation	DIF	901.9	kWh/m <sup>2</sup>
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1697.5	kWh/m <sup>2</sup>
Optimum tilt of PV modules	OPTA	5 / 0	°
Air temperature	TEMP	17.9	°C
Terrain elevation	ELE	2046	m

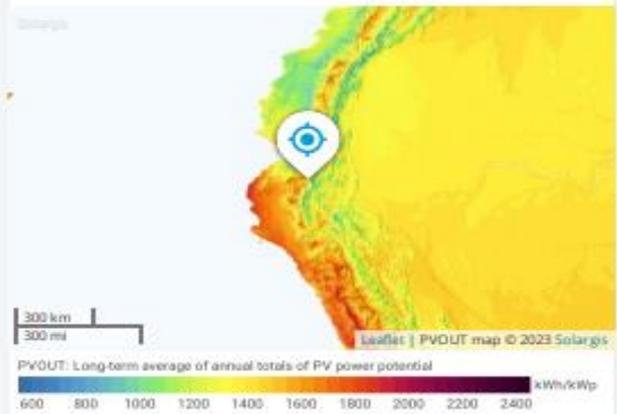
#### Map



#### Horizon and sunpath



#### PVOUT map



# GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

## PV ELECTRICITY AND SOLAR RADIATION

### Annual averages

Direct normal irradiation

# 1130.9

kWh/m<sup>2</sup> per year

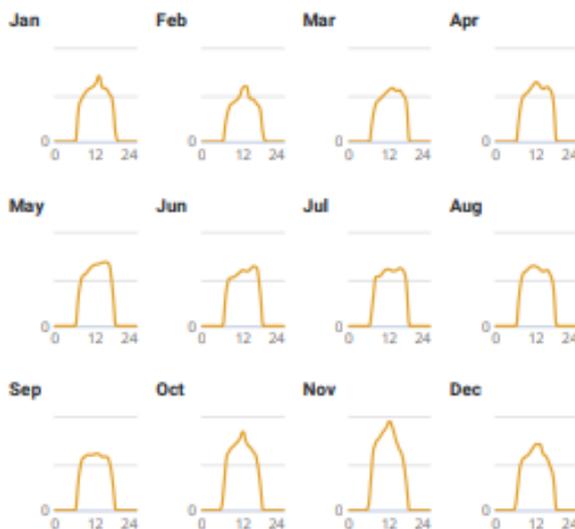
### Monthly averages

Direct normal irradiation



### Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m<sup>2</sup>]



UTC-05

### Average hourly profiles

Direct normal irradiation [Wh/m<sup>2</sup>]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0-1												
1-2												
2-3												
3-4												
4-5												
5-6												
6-7										53	57	40
7-8	183	116	126	148	171	178	125	178	175	265	292	213
8-9	234	188	206	239	264	257	266	278	273	321	367	275
9-10	266	209	226	259	280	262	268	297	291	342	390	290
10-11	284	223	243	280	303	273	287	316	300	362	421	308
11-12	295	245	264	304	323	288	305	324	298	384	444	338
12-13	313	293	281	322	331	301	305	320	305	425	480	357
13-14	355	300	290	302	335	295	297	308	302	365	441	357
14-15	292	233	274	285	342	303	299	294	289	342	374	305
15-16	287	229	278	295	344	322	312	302	289	316	327	286
16-17	259	204	253	282	330	315	302	280	265	279	280	240
17-18	215	178	213	219	196	196	234	212	158	154	150	176
18-19	33	32										
19-20												
20-21												
21-22												
22-23												
23-24												
Sum	3016	2450	2657	2934	3221	2990	3000	3108	2944	3607	4024	3184

# GLOBAL SOLAR ATLAS

BY WORLD BANK GROUP

## GLOSSARY

Acronym	Full name	Unit	Type of use
DIF	Diffuse horizontal irradiation	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Average yearly, monthly or daily sum of diffuse horizontal irradiation (© 2021 Solargis)
DNI	Direct normal irradiation	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Average yearly, monthly or daily sum of direct normal irradiation (© 2021 Solargis)
ELE	Terrain elevation	m, ft	Elevation of terrain surface above/below sea level, processed and integrated from SRTM-3 data and related data products (SRTM v4.1 © 2004 - 2021, CGIAR-CSI)
GHI	Global horizontal irradiation	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Average annual, monthly or daily sum of global horizontal irradiation (© 2021 Solargis)
GTI	Global tilted irradiation	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation (© 2021 Solargis)
GTI_opta	Global tilted irradiation at optimum angle	kWh/m <sup>2</sup> , MJ/m <sup>2</sup>	Average annual, monthly or daily sum of global tilted irradiation for PV modules fix-mounted at optimum angle (© 2021 Solargis)
OPTA	Optimum tilt of PV modules	°	Optimum tilt of fix-mounted PV modules facing towards Equator set for maximizing GTI input (© 2021 Solargis)
PVDUT_total	Total photovoltaic power output	kWh, MWh, GWh	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by the total installed capacity of a PV system (© 2021 Solargis)
PVDUT_specific	Specific photovoltaic power output	kWh/kWp	Yearly and monthly average values of photovoltaic electricity (AC) delivered by a PV system and normalized to 1 kWp of installed capacity (© 2021 Solargis)
TEMP	Air temperature	°C, °F	Average yearly, monthly and daily air temperature at 2 m above ground. Calculated from outputs of ERA5 model (© 2021 ECMWF, post-processed by Solargis)

## ABOUT

This pdf report (the "Work") is automatically generated from the Global Solar Atlas online app (<https://globalsolaratlas.info/>), prepared by Solargis under contract to The World Bank, based on a solar resource database that Solargis owns and maintains. It provides the estimated solar resource, air temperature data and potential solar power output for the selected location and input parameters of a photovoltaic (PV) power system.

Copyright © 2021 The World Bank  
1818 H Street NW, Washington DC 20433, USA

The World Bank, comprising the International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) and the International Development Association (IDA), is the commissioning agent and copyright holder for this Work, acting on behalf of The World Bank Group. The Work is licensed by The World Bank under a Creative Commons Attribution license (CC BY 4.0 IGO) with a mandatory and binding addition (please refer to the GSA website for full terms and conditions of use <https://globalsolaratlas.info/support/terms-of-use>).

The World Bank Group disclaims all warranties of any kind related to the provision of the Work.

The Work is made available solely for general information purposes. Neither the World Bank, Solargis nor any of its partners and affiliates hold the responsibility for the accuracy and/or completeness of the data and shall not be liable for any errors, or omissions. It is strongly advised that the Work be limited to use in informing policy discussions on the subject, and/or in creating services that better educate relevant persons on the viability of solar development in areas of interest. As such, neither the World Bank nor any of its partners on the Global Solar Atlas project will be liable for any damages relating to the use of the Work for financial commitments or any similar use cases. Solargis has done its utmost to make an assessment of solar climate conditions based on the best available data, software, and knowledge.

Sources: Solar database and PV software © 2021 Solargis

### Anexo 3. Datos de radiación Solarius PV

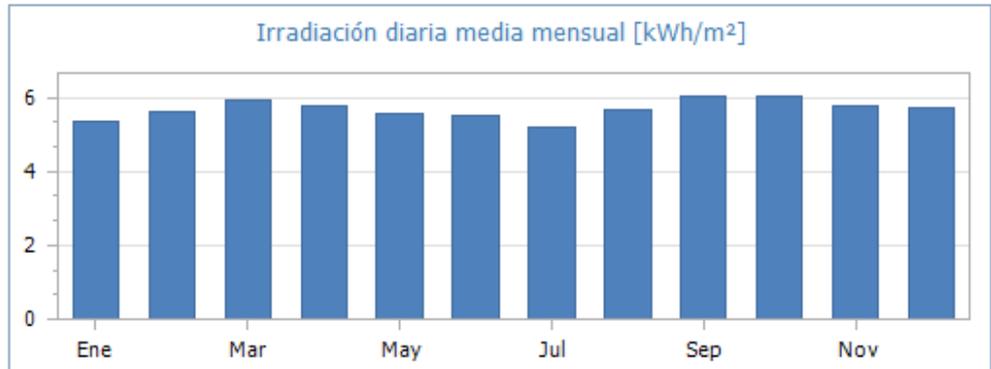
#### Irradiación sobre el plano horizontal

Unidad de medida  [MJ/m<sup>2</sup>]  [kWh/m<sup>2</sup>]  [Wh/m<sup>2</sup>]

Irradiación anual [kWh/m<sup>2</sup>] 2 076.040

Irradiación diaria media	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	5.370	5.640	5.910	5.780	5.560	5.520	5.210	5.690	6.040	6.060	5.760	5.720

Fuente: Meteonorm 7.1



#### Anexo 4. Elaboración de la estructura del prototipo



## Anexo 5. Implementación de la estructura



## Anexo 6. Instalación de equipos



## Anexo 7. Árbol en funcionamiento



## Anexo 8. Poster del árbol solar

# ÁRBOL SOLAR

Un árbol solar es una idea innovadora en iluminación, produce energía eléctrica a través de paneles solares, su construcción considera la autosustentabilidad, el diseño y la tecnología

**PROYECTO:**  
Diseño y construcción de un prototipo de árbol Solar como modelo educativo de energías renovables para el I²TEC de la Universidad Nacional de Loja.

**AUTOR:**  
Anderson Josué Mendoza Sotomayor

**DIRECTOR:**  
Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc

### PARTES DEL ÁRBOL SOLAR

La base del árbol solar es un sistema fotovoltaico aislado, por lo tanto, sus componentes son:

- Paneles solares
- Controlador de carga
- Batería
- Inversor
- Temporizador
- Luces LED
- Tomacorrientes

**PANELES SOLARES**  
Encargados de transformar la energía solar en eléctrica. El árbol consta de cuatro paneles de 50W.

**CONTROLADOR DE CARGA**  
Recibe la energía eléctrica del panel solar, carga la batería si esta se encuentra descargada. El árbol solar consta de un controlador de 20A.v

**BATERÍA**  
Guarda la energía eléctrica suministrada por el controlador de carga, la capacidad de la batería del árbol solar es de 100Ah.

**INVERSOR**  
Transforma la corriente de la batería de DC a AC para suministrar las luces LED y tomacorrientes. La capacidad del inversor es de 200W.

**LUCES LED**  
El árbol solar como iluminaria utiliza tiras y ojos de buey LED.

**TOMACORRIENTES**  
Permite cargar dispositivos móviles, toma energía suministrada por el inversor. El árbol solar consta de cuatro tomas USB y dos tomas tipo B.

**TEMPORIZADOR**  
Permite configurar el encendido y apagado automático de luces. El árbol solar enciende sus luces a las 6h30 y apaga a las 21h30v

UNL Universidad Nacional de Loja

CIEYT

I²TEC Investigación Innovación Tecnología

## Anexo 9. Código QR



## Anexo 10. Datos de radiación solar recopilados por la estación meteorológica de la Universidad Nacional de Loja.

Ubicado en disco denominado: Anexo 10.

## Anexo 11. Certificación traducción del resumen



Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS

### **CERTIFICO:**

Yo, Karina Yajaira Martínez Luzuriaga con cédula de identidad Nro. 1104902679, **Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Inglés** por la Universidad Técnica Particular de Loja, con número de registro 1031-2022-2574017 en la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, señalo que el presente documento es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del resumen del Trabajo de Titulación denominado **“Diseño y construcción de un prototipo de árbol solar como modelo educativo de energías renovables para el I2TEC de la Universidad Nacional de Loja”** elaborado por el Sr. Anderson Josué Mendoza Sotomayor, con cédula de identidad Nro. 1104113947, estudiante egresado de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Nacional de Loja.



Lic. Karina Yajaira Martínez Luzuriaga

C.I. 1104902679

REGISTRO SENESCYT N°: 1031-2022-2574017