



1859



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

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

#### Carrera de Ingeniería Electromecánica

# Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en una vivienda-taller de carpintería ubicada en la ciudad de Loja.

Trabajo de Titulación, previo a  
la obtención del título de  
Ingeniero Electromecánico

#### AUTOR:

Galo Fabian Pucha Agüinsaca

#### DIRECTOR:

Ing. Fernando Vicente Ramírez Cabrera MSc.

Loja – Ecuador

2023

Educamos para **Transformar**

## Certificación

Loja, 08 de septiembre de 2023

Ing. Fernando Vicente Ramírez Cabrera MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en una vivienda-taller de carpintería ubicada en la ciudad de Loja.**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **Galo Fabian Pucha Agüinsaca**, con **cédula de identidad Nro. 1105169260**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**FERNANDO VICENTE  
RAMIREZ CABRERA**

Ing. Fernando Vicente Ramírez Cabrera MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Galo Fabian Pucha Agüinsaca**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mí Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional - Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1105169260

**Fecha:** 15 de diciembre del 2023

**Correo electrónico:** gfpuchaa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0995511270

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

Yo, **Galo Fabian Pucha Agüinsaca**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en una vivienda-taller de carpintería ubicada en la ciudad de Loja.**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio 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, suscribo, en la ciudad de Loja, a los quince días del mes de diciembre del dos mil veintitrés.



**Firma:**

**Autor:** Galo Fabian Pucha Agüinsaca

**Cédula:** 1105169260

**Dirección:** Loja, Barrio Ciudadela del Chofer "Pitas II".

**Correo electrónico personal:** gfpuchaa@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0995511270

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Fernando Vicente Ramírez Cabrera, PhD.

## **Dedicatoria**

A mis padres por haberme educado como la persona que soy ahora, muchas de las metas que he cumplido se los debo a ustedes entre los que se incluye esta. Me instruyeron con reglas y algunas libertades, pero al final de todo, me motivaron constantemente para alcanzar mis más grandes metas.

A mis hermanos que cuando necesitaba apoyo incondicional en la parte moral, económica y emocional no dudaron en extenderme la mano para poder llegar a ser un profesional con éxito y humildad.

A mis profesores que con su ayuda y profesionalismo lograron sembrar su conocimiento y ética laboral.

A mis amigos que forjaron lazos de amistad que espero duren toda la vida y sean fructíferas en la vida profesional.

Finalmente, y no menos importante, a Dios, gracias a su ayuda y bondad me dio la seguridad para poder derrumbar cada obstáculo en el camino y la sabiduría para elegir las mejores opciones que se me presentaban

***Galo Fabian Pucha Agüinsaca.***

## **Agradecimientos**

El amor que recibí, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaba mi familia por el avance y desarrollo de este trabajo de titulación.

Gracias al todo poderoso por permitir tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a mis compañeros por cada momento compartido en la Universidad

***Galo Fabian Pucha Agüinsaca***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de tablas: .....	x
Índice de figuras: .....	xi
Índice de anexos: .....	xii
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1 Fundamentos de la energía solar.....	6
4.1.1 La energía solar.....	6
4.1.2 Radiación solar.....	6
4.1.2.1 Parámetros de la radiación solar.....	7
4.1.2.2 Medición de la radiación solar.....	7
4.1.3 Tipos de radiación solar.....	8
4.1.4 Energía solar .....	9
4.1.4.1 Energía solar pasiva.....	9
4.2 Sistema fotovoltaico.....	11
4.2.1 Concepto de sistemas fotovoltaicos.....	11
4.2.1.1 Componentes de los sistemas fotovoltaicos.....	11
4.2.2 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.....	12
4.2.2.1 Sistemas Autónomos.....	12
4.2.2.2 Sistemas conectados a la Red.....	13
4.2.2.3 Sistemas Híbridos.....	15
4.3 Diseño del sistema fotovoltaico.....	15
4.3.1 Componentes de un sistema fotovoltaico.....	15
4.3.1.1 Generador fotovoltaico.....	15

4.3.2	Módulos fotovoltaicos. ....	16
4.3.2.1	Celda fotovoltaica. ....	16
4.3.2.2	Reacción fotovoltaica ....	16
4.3.2.3	Tipos de módulos fotovoltaicos. ....	16
4.3.2.4	Orientación e Inclinación. ....	18
4.3.2.5	Pérdidas por Orientación e Inclinación. ....	18
4.3.2.6	Coordenadas geográficas del sistema fotovoltaico. ....	18
4.3.3	Inversor. ....	19
4.3.3.1	Tipos de inversores. ....	19
4.3.4	Medidor Bidireccional ....	20
4.3.5	Cableado del sistema fotovoltaico. ....	20
4.3.6	Calibre de los conductores. ....	21
4.3.7	Protección contra sobre corriente. ....	21
4.3.8	Consumo. ....	22
4.3.8.1	Como se mide el consumo. ....	23
4.3.9	Circuitos eléctricos. ....	24
4.3.9.1	Partes de un circuito eléctrico. ....	25
4.3.9.2	Circuito de alimentación. ....	25
4.3.9.3	Circuito de iluminación. ....	25
4.3.10	Normativa legal en Ecuador para el uso de un sistema fotovoltaico según la regulación ARCERNNR 001-2021. ....	26
<b>5.</b>	<b>Metodología</b> .....	<b>27</b>
5.1	Área de estudio .....	27
5.2	Materiales y equipos .....	27
5.3	Métodos. ....	27
5.4	Procedimiento .....	28
5.4.1	Propuesta del diseño. ....	29
5.4.1.1	Características del recurso solar. ....	29
5.4.1.2	Cálculo del ángulo óptimo. ....	29
5.4.1.3	Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación. ....	30
5.4.1.4	Factor de sombra. ....	31
5.4.1.5	Irradiación sobre el módulo. ....	31
5.4.1.6	Dimensionamiento del generador. ....	32
5.4.1.7	Consumo de la vivienda-taller de carpintería. ....	32



5.4.1.1 Módulos fotovoltaicos.....	33
5.4.1.2 Cálculo de números en paralelo.....	35
5.4.1.3 Potencia máxima del SFCR.....	35
5.4.1.4 Selección del inversor.....	36
5.4.1.5 Selección del calibre de conductor para corriente continua .....	36
5.4.1.6 Análisis económico.....	37
<b>6. Resultados.....</b>	<b>38</b>
6.1 Recurso Solar.....	38
6.2 Cálculo del ángulo óptimo .....	39
6.3 Pérdidas por orientación e inclinación.....	39
6.4 Factor de sombra.....	40
6.5 Irradiación sobre el módulo.....	41
6.6 Consumo de la vivienda-taller de carpintería.....	41
6.6.1 Consumo Diario.....	42
6.7 Dimensionamiento del generador.....	43
6.8 Calcular la energía máxima diaria total.....	44
6.9 Dimensionamiento.....	44
6.9.1 Módulos fotovoltaicos.....	45
6.9.1.1 Cálculo de números de serie máximo.....	45
6.9.1.2 Cálculo de números de serie mínimo.....	45
6.9.2 Cálculo de números en paralelo.....	46
6.9.3 Potencia máxima del SFCR.....	46
6.9.4 Selección del inversor.....	46
6.9.5 Selección del calibre de conductor para corriente continua.....	47
6.9.5.1 Voltaje de los conductores en CC.....	47
6.9.5.2 Caída de tensión y selección de conductores en CC.....	47
6.9.6 Diagrama Unifilar .....	47
6.9.7 Análisis económico.....	50
<b>7. Discusión .....</b>	<b>57</b>
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>59</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>60</b>
<b>10. Bibliografía .....</b>	<b>61</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>65</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Límites de pérdidas por orientación e inclinación. ....	30
<b>Tabla 2.</b> Periodo de diseño para sistemas fotovoltaicos.....	31
<b>Tabla 3.</b> Valores de PR de acuerdo al sistema. ....	32
<b>Tabla 4.</b> Matriz de oferta solar mensual (sumatoria). ....	38
<b>Tabla 5.</b> Matriz de ofertas solares promedio mensual .....	38
<b>Tabla 6.</b> Consumo del circuito de iluminación .....	42
<b>Tabla 7.</b> Consumo del circuito de tomacorrientes.....	42
<b>Tabla 8.</b> Consumo del circuito de motores .....	43
<b>Tabla 9.</b> Potencia total de la vivienda-taller de carpintería.....	43
<b>Tabla 10.</b> Cables y protecciones del SFCR.....	47
<b>Tabla 11.</b> Presupuesto del SFCR.....	50
<b>Tabla 12.</b> Presupuesto del mantenimiento preventivo. ....	50
<b>Tabla 13.</b> Generación Mensual del SFCR.....	51
<b>Tabla 14.</b> Pérdida de eficiencia anual del sistema fotovoltaico. ....	51
<b>Tabla 15.</b> Aumento del consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería. ....	52
<b>Tabla 16.</b> Tasa anual de inflación de la energía.....	53
<b>Tabla 17.</b> Consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería con el SFCR en funcionamiento. ....	54
<b>Tabla 18.</b> Ahorro económico anual de la vivienda-taller de carpintería. ....	55
<b>Tabla 19.</b> Especificaciones de los conductores AWG. ....	69

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Sol en un período de mínimo solar.....	9
<b>Figura 2.</b> Esquema vivienda bioclimática pasiva.....	10
<b>Figura 3.</b> Funcionamiento de una célula solar. ....	11
<b>Figura 4.</b> Parte de un panel solar fotovoltaico. ....	12
<b>Figura 5.</b> SFA recibiendo radiación solar .....	13
<b>Figura 6.</b> Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	14
<b>Figura 7.</b> Sistema fotovoltaico híbrido. ....	15
<b>Figura 8.</b> Módulo Solar fotovoltaico mono cristalino.....	17
<b>Figura 9.</b> Módulo Solar fotovoltaica poli cristalino.....	18
<b>Figura 10.</b> Inversor solar.....	19
<b>Figura 11.</b> Evolución de la demanda de energía por sector (kBEP).....	23
<b>Figura 12.</b> Circuito Eléctrico. ....	24
<b>Figura 13.</b> Ubicación de la vivienda por medio de Google Maps. ....	27
<b>Figura 14.</b> Radiación Solar Global Promedio.....	39
<b>Figura 15.</b> Orientación de la vivienda y techo.....	40
<b>Figura 16.</b> Estudio de sombras.....	41
<b>Figura 17.</b> Características generales del módulo. ....	44
<b>Figura 18.</b> Característica de temperatura y curva IV del módulo.....	45
<b>Figura 19.</b> Características técnicas del inversor.....	46
<b>Figura 20.</b> Diagrama Unifilar del SFCR.....	49
<b>Figura 21.</b> Producción anual del SFCR tomando en cuenta la pérdida de eficiencia anual. ..	52
<b>Figura 22.</b> Aumento del consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería.....	53
<b>Figura 23.</b> Tasa anual de inflación de la energía. ....	54
<b>Figura 24.</b> Factor de corrección k para superficies inclinadas.....	65

**Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Tabla de factor de corrección k para superficies inclinadas. ....	65
<b>Anexo 2.</b> Guía de estudio de sombra para el SFCR en SolariusPV .....	66
<b>Anexo 3.</b> Tabla de especificaciones técnicas de los conductores.....	69
<b>Anexo 4.</b> Diagrama Unifilar del SFCR.....	70
<b>Anexo 5.</b> Planillas eléctricas de la vivienda- taller de carpintería. ....	71
<b>Anexo 6.</b> Diagramas de los motores con arranque suave. ....	77
<b>Anexo 7.</b> Certificación de traducción del resumen .....	80

## **1. Título**

**Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en una vivienda-taller de carpintería ubicada en la ciudad de Loja.**

## 2. Resumen

En el presente trabajo de titulación se plantea, calcula y diseña un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR), con el objetivo de lograr autonomía en el suministro de energía eléctrica durante el día, independizándose de la red local. La vivienda para la cual se diseña el SFCR, se ubica en la ciudad de Loja del cantón Loja, sector que cuenta con los recursos solares necesarios para generar electricidad con esta fuente renovable. A través de la metodología empleada se recopila información bibliográfica, datos de radiación solar, catálogos de los equipos que conforman el SFCR, artículos científicos y tesis. Una vez organizada toda la información requerida se sistematiza y se considera los datos requeridos por el SFCR para el cálculo y selección de los componentes del sistema. El SFCR fue diseñado para un consumo diario de 4 219,577 kWh/día, y funciona mediante el aprovechamiento de la radiación solar para generar potencia con los 6 módulos fotovoltaicos de 415 W, y luego transforma la energía continua a alterna con el inversor de carga de 3kW. En el análisis económico se examina la rentabilidad del SFCR comparando la inversión de \$ 2 373,27 incluido los 4 mantenimientos preventivos que tienen como objetivo revisar el estado en el que se encuentran los componentes del sistema, con el consumo en energía eléctrica durante 25 años dando un valor de \$ 2 130,16. En los anexos se recopila la tabla de factor de corrección k (con el que se hizo la corrección de la inclinación de los módulos), guía del estudio de sombra, especificaciones técnicas de los conductores, diagrama unifilar del SFCR, las planillas eléctricas y los circuitos de mando y fuerza de los arrancadores suaves de los motores del taller de carpintería.

**Palabras clave:** *Generación fotovoltaica, SFCR, radiación, conexión a red, red de baja tensión.*

**Abstract.**

The present degree works planned, calculated, and designed a photovoltaic system (PS). It was connected with (the SFCR) network whose objective was to achieve autonomy by providing electric energy during the day, and being independent of the local network.

The dwelling for which the SFCR was designed is located in Loja City, Loja parish. This sector has the necessary solar resources to generate electricity with this renewable source

The bibliographic information, dates about solar radiation, catalogs related to APS, scientific articles, and thesis were gathered through the methodology.

Once all the needed information is organized, the data required for SFCR will be calculated to select the system components.

The SFCR was designed for the daily consumption of 4219,577 kWh/ day, works through the use of solar radiation to generate power from 6 photovoltaic modules of 415 W, then change it from continue energy to alter ones with 3kW Charge inverter.

In the economic analysis, the SFCR rentability was examined by comparing the investment of \$ 2 197, 79 included the four-preventive maintenance with the consumption of electricity for 25 years with a value of \$ 2 397,5.

In the annex, the chart of correction factor k (in which the correction of the inclination of the modules was made) shadow study guide, technical specifications of the conductors, one-line diagram of SFCR, electric sheets, and the command and power circuits of the soft starters of the carpentry shop motors were gathered together

**Keywords:** *Photovoltaic generation, SFCR, radiation. Grid conection, low-voltage network.*

### 3. Introducción

La energía solar es la que se puede aprovechar de algunas formas, una de ellas es mediante la tecnología de módulos fotovoltaicos para poder generar electricidad limpia y renovable. Las células fotovoltaicas existentes en estos módulos transforman la energía fotoeléctrica en eléctrica. La ubicación del Ecuador, permite que nuestro país pueda aprovechar el recurso solar durante la mayor parte del año con un nivel de radiación promedio de 4 574,99 Wh/m<sup>2</sup>/día, según el ATLAS SOLAR DEL ECUADOR elaborado por el Consejo Nacional de Electricidad – CONELEC (Francisco, Luis, Juan, & Garcia, 2015). Es decir que, para nuestro objeto de estudio, una vivienda-taller de carpintería ubicada en la ciudad de Loja se podría diseñar un sistema fotovoltaico conectado a la red pública de baja tensión que genere electricidad para satisfacer la demanda de energía eléctrica en el día, con el propósito de evaluar el diseño y analizar si podría proveer energía de calidad de manera confiable.

El objetivo principal del proyecto es diseñar una propuesta de solución para la reducción de los costos en la factura de energía eléctrica según la autonomía resultante de la vivienda-taller de carpintería aprovechando la captación de energía fotoeléctrica para convertirla en energía eléctrica.

Este trabajo se relaciona con otros modelos fotovoltaicos desarrollados en el país que tratan sobre la implementación de estas tecnologías amigables con el medio ambiente, entre los que se puede mencionar “ La implementación gracias al apoyo de la empresa Renova Energía un sistema de 68 paneles solares en el edificio central del campus Loja que cubre alrededor de 130 metros en 2019. Posteriormente, con los datos de ahorro obtenidos, en 2021 se ha instalado un segundo sistema de 135 paneles solares en el edificio 7, cubriendo así el 80% del consumo actual de ambos edificios”. (UTPL, 2021).

Este tema toma relevancia en el beneficio que según (González, 2003) causa a la red de baja o media tensión como por ejemplo: el suavizar los picos de demanda al coincidir la curva de demanda de consumo con la curva de generación fotovoltaica, se reduce las pérdidas en los conductores por la transmisión y distribución de la energía eléctrica, la compensación de potencia reactiva en el alimentador, etc.

Es por ello que la tecnología fotovoltaica ha ido en crecimiento constante y es del agrado de muchos como alternativa más limpia en generación eléctrica.

Los objetivos que se planteó para este trabajo de titulación son:

#### **Objetivo general**



Diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red para determinar el ahorro energético de una vivienda-taller de carpintería ubicado en la ciudad de Loja.

### **Objetivos específicos**

Determinar las cargas que genera la vivienda-taller de carpintería durante las diferentes horas del día.

Diseñar un sistema fotovoltaico interconectado a la red que satisfaga la demanda de los consumos energéticos, de manera que se logre autonomía eléctrica durante el día.

Analizar el ahorro energético que va a tener la vivienda-taller de carpintería durante el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

## **4. Marco teórico**

### **4.1 Fundamentos de la energía solar.**

#### **4.1.1 La energía solar.**

La energía solar es uno de los principales tipos de energía renovable y tiene un papel clave en la transición energética. Ayuda a impulsar economías más limpias que protejan el medio ambiente, mejoren el bienestar de las personas y garanticen la sostenibilidad de las empresas.

Los avances tecnológicos han transformado la energía solar en una de las más eficientes y económicas del sector de las renovables. Así pues, esta fuente inagotable de energía además de contribuir a la sostenibilidad del planeta atrae la inversión, genera empleo y aumenta la competitividad de las empresas.

En un momento en el que la responsabilidad hacia nuestro planeta y el medioambiente es un objetivo prioritario, conviene saber los diferentes tipos de energía solar, su funcionamiento y cómo extender su uso como fuente de generación eléctrica (Repsol Global, 2022).

#### **4.1.2 Radiación solar.**

El sol produce una cantidad de energía constante que, en el momento de incidir sobre la superficie terrestre pierde parte de su potencia debido a distintos fenómenos ambientales. La potencia radiante de 1367 W/m<sup>2</sup>, denominada constante solar, que llega al Planeta Tierra no es la que finalmente alcanza la superficie terrestre debido a la influencia de los fenómenos atmosféricos, la actividad humana, la forma propia de la Tierra, el ciclo día/noche y la órbita elíptica de la Tierra (Alonso, 2015).

#### **Importancia de la radiación solar**

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del Sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrogeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar.

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie

es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera.

Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología, dentro de las cuales se destacan: su empleo como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad y en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructura, el monitoreo del crecimiento de plantas, la deshidratación de alimentos, implicaciones en la salud (ej. cáncer de piel o tratamientos curativos), el análisis de la evaporación e irrigación, su importante rol en los modelos de calidad del aire y de predicción del tiempo y el clima y muchas otras aplicaciones y usos que emplean la radiación solar como una de sus fuentes de energía.

La radiación solar nos proporciona efectos fisiológicos positivos tales como: estimular la síntesis de vitamina D, que previene el raquitismo y la osteoporosis; favorecer la circulación sanguínea; actúa en el tratamiento de algunas dermatosis y en algunos casos estimula la síntesis de los neurotransmisores cerebrales responsables del estado anímico. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.)

#### **4.1.2.1 Parámetros de la radiación solar.**

Grijalva y Vélez (como se citó en Goswami, 2010) de la radiación solar podemos extraer dos parámetros que serían de gran relevancia a la hora de entender el potencial energético de la radiación solar. Estos parámetros son:

**Irradiancia:** Es la densidad de potencia de radiación solar incidente en una superficie y se expresa en  $W/m^2$ .

**Irradiación:** Es la densidad de la energía de radiación solar incidente en una superficie, expresándose en  $Wh/m^2$ .

Radiación del sol:  $63\ 450\ 720\ W/m^2$ .

Constante solar:  $1\ 353\ W/m^2$ .

#### **4.1.2.2 Medición de la radiación solar.**

Los científicos determinan el valor de la energía solar que se recibe en lugares específicos en diferentes épocas del año, luego lo comparan con la que recibe regiones en la misma latitud con climas similares. Las mediciones de la energía solar se expresan típicamente como radiación total en una superficie horizontal o como en radiación total en una superficie que sigue al sol. Los datos de radiación para sistemas solares eléctricos (fotovoltaicos) a menudo se representan el kilovatios-hora por metro cuadrado ( $KWh/m^2$ ). Las estimaciones directas de la energía solar también se pueden expresar

como vatios por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). Los datos de radiación para sistemas de calentamiento solar de agua y calefacción de espacios generalmente se representan en unidades térmicas británicas por pie cuadrado ( $Btu/ft^2$ ). (Wald, 2007, págs. 1-16)

#### **4.1.3 Tipos de radiación solar.**

La radiación solar se divide en:

##### **Radiación solar directa.**

Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. (Arenas & Hodman, 2011, pág. 23).

##### **Radiación solar difusa.**

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por estas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque solo ven la mitad. (Arenas & Hodman, 2011, pág. 23)

##### **Radiación solar reflejada.**

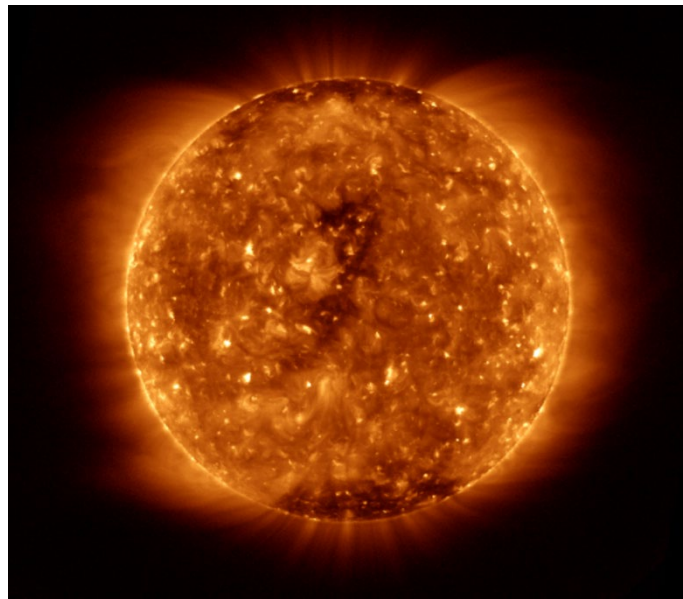
La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, llamado también albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. (Arenas & Hodman, 2011, pág. 23)

##### **Radiación solar global.**

Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones. En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa. Los distintos tipos de colectores solares aprovechan de forma distinta la radiación solar. Los colectores solares planos, por ejemplo, captan la radiación total (directa+difusa), sin embargo, los colectores de concentración solo captan la radiación directa. Por esta razón, los colectores de concentración suelen situarse en zonas de muy poca nubosidad y con pocas brumas, en el interior, alejadas de las costas. (Arenas & Hodman, 2011, pág. 23)

#### **4.1.4 Energía solar**

La energía solar es la fuente principal de vida en el planeta: dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en la Tierra, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El sol (como se muestra en la **Figura 1**), nos suministra alimentos mediante la fotosíntesis y como es la energía del sol la que induce el movimiento del viento, del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables (la energía mareomotriz, energía de la biomasa, la energía hidroeléctrica, la energía eólica y de la energía solar). (Arenas & Hodman, 2011, pág. 18)



*Figura 1 Sol en un período de mínimo solar.*

*(National Geographic, 2019)*

##### **4.1.4.1 Energía solar pasiva.**

La energía solar térmica pasiva consiste en el aprovechamiento de la energía solar de forma directa sin la necesidad de transformarla en otro tipo de energía, para su utilización inmediata o para su almacenamiento sin la necesidad de sistemas mecánicos ni aporte externo de energía. Esta tecnología hace referencia especialmente a la arquitectura bioclimática o arquitectura solar pasiva. En esta, la energía solar es captada, almacenada y distribuida a través de diferentes estructuras constructivas, con lo cual se aprovecha la energía solar térmica sin necesidad de procesos ni dispositivos complejos, sino a través del diseño arquitectónico y estructural, considerando factores como el entorno, materiales, forma y orientación de los edificios, techos, aislamiento térmico, etc. Con ello se reducen las necesidades de iluminación y calefacción (o enfriamiento).

La tecnología solar pasiva incluye sistemas con ganancia directa e indirecta para el calentamiento de espacios, el uso de masa térmica y de materiales con cambio de fase para suavizar las oscilaciones de la temperatura del aire, chimeneas solares para mejorar la ventilación natural y el propio calor de la tierra. Como se muestra en la **Figura 2**, la energía no se aprovecha por medio de captadores industrializados, sino que son los propios elementos constructivos los que absorben la energía de día y la redistribuyen por la noche. (Francisco, Luis, Juan, & Garcia, 2015)



Figura 2 Esquema vivienda bioclimática pasiva.

(FIATC MF , 2022)

#### 4.1.4.1.1 Energía solar Fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía limpia y de origen renovable que utiliza la radiación solar para generar electricidad a partir de ella. Tiene su base física en el llamado efecto fotoeléctrico, que viene a decir que algunos materiales pueden absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. (Alonso, 2015).

##### Conversión Fotovoltaica.

La tecnología solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la radiación del Sol en electricidad, conversión que se realiza a través de los módulos o generadores fotovoltaicos. El generador fotovoltaico, encargado de transformar la energía del Sol en energía eléctrica, está formado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie y/o paralelo, a su vez cada módulo fotovoltaico está formado por unidades básicas llamadas células fotovoltaicas o células solares.

La conversión fotovoltaica ocurre sin necesidad de ciclos térmicos, cambios químicos o procesos mecánicos que impliquen partes móviles. Esta conversión se produce

en los dispositivos llamados células solares que aprovechan ciertas propiedades de los materiales semiconductores.

Un semiconductor es un sólido que permite la circulación de corriente a través de él bajo ciertas condiciones. De esta manera puede operar como un conductor o un aislante según, por ejemplo, la radiación luminosa incidente. Cuando un fotón (partícula de luz, portadora de todas aquellas formas de radiación electromagnética) incide sobre una célula solar puede reflejarse, transmitirse o absorberse, cediendo su energía a un electrón del material. Este electrón con exceso de energía podrá moverse por el material hasta alcanzar un contacto. El resultado es la generación por la luz de una corriente eléctrica. En la **Figura 3** se ilustra un semiconductor sobre el cual incide la luz y como se produce el fenómeno fotoeléctrico. (José L. , 2006).

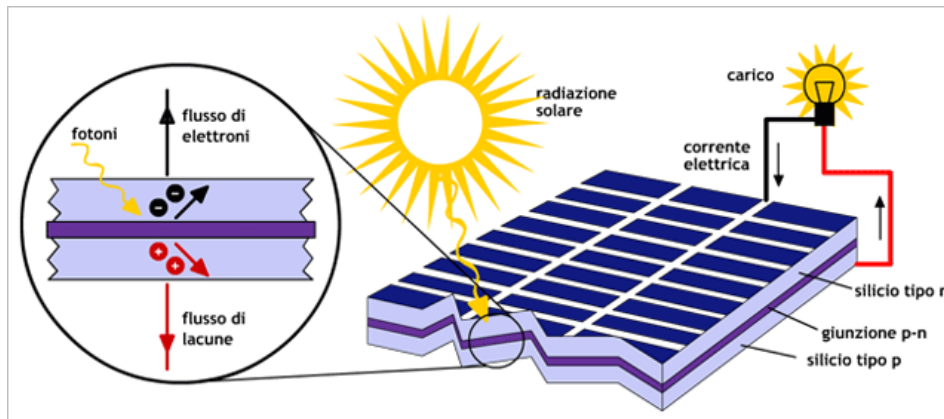


Figura 3 Funcionamiento de una célula solar.

(MR WATT SRL, 2022)

## 4.2 Sistema fotovoltaico.

### 4.2.1 Concepto de sistemas fotovoltaicos.

Los sistemas fotovoltaicos fueron creados con el fin de suplir el consumo de energía eléctrica convencional y al mismo tiempo disminuir la contaminación ambiental.

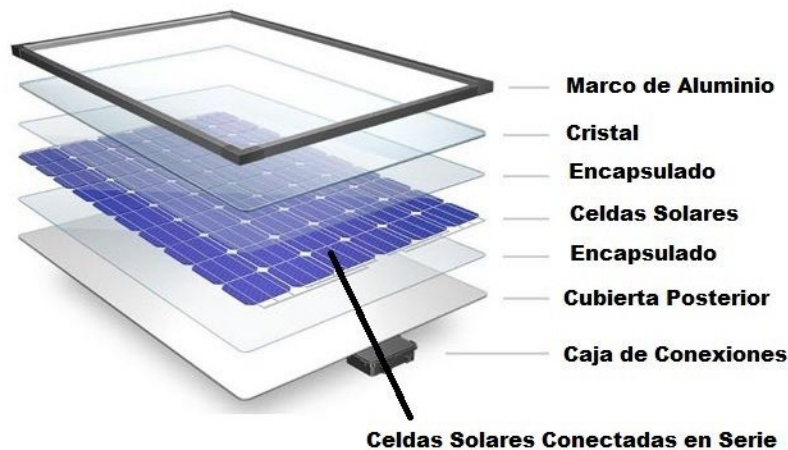
El sistema fotovoltaico permite la generación de energía mediante un medio renovable, usa como elemento principal el sol, específicamente los rayos solares.

#### 4.2.1.1 Componentes de los sistemas fotovoltaicos.

Según (Rodríguez L. , 2004), dicta que todo sistema fotovoltaico debe tener los siguientes componentes:

**Un panel fotovoltaico:** conformado por celdas solares de silicio, comúnmente, recibe los rayos solares y mediante el efecto fotoeléctrico se logra la conversión directa de la energía que proviene del sol a energía eléctrica continua. El panel entrega un voltaje

de 12 VDC, dependiendo de las dimensiones del panel y del clima, a continuación, en la **Figura 4** vemos las partes que conforman un panel fotovoltaico.



*Figura 4 Parte de un panel solar fotovoltaico.*

*(Rodríguez, s.f.)*

**Baterías:** funcionan como acumulador de la energía generada, la cual es distribuida a sus cargas cuando la generación es baja o cuando no existe (ausencia de sol).

**Regulador:** Es un dispositivo electrónico que trabaja en conjunto con las baterías y el panel, permitiendo que una vez estén totalmente cargadas las baterías dirija las energías hacia otro destino, como las cargas. Además, regula las descargas de las baterías.

**Inversor:** Este dispositivo permite la conversión de Corriente Continua (DC) en corriente alterna (AC), permitiendo que cargas que trabajan con AC puedan funcionar sin ningún problema. (Rodríguez L. , 2004)

#### **4.2.2 Clasificación de los sistemas fotovoltaicos.**

Los sistemas fotovoltaicos pueden tener tres tipos de configuraciones dependiendo de las necesidades energéticas y de los recursos a su disposición son:

Sistema fotovoltaico autónomo.

Sistema fotovoltaico conectado a la red.

Sistema fotovoltaico híbrido.

##### **4.2.2.1 Sistemas Autónomos.**

Es un sistema que alimenta ciertas cargas a través de la energía fotovoltaica y que no está conectada a la red eléctrica. Su objetivo principal es el de satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica en lugares donde no ha llegado la red eléctrica. Los SFA tienen una gran aplicabilidad a distintas escalas, desde pequeños sistemas fotovoltaicos que alimentan lámparas, hasta redes que son capaces de suministrar energía eléctrica para poblaciones completas. Habitualmente cuentan con un



sistema de acumulación de energía que les permite funcionar cuando no existe recurso solar, momento en la cual suele haber mayor demanda de energía. (Abella, 2016).

Según (Bayod,2009) estos sistemas autónomos poseen varias aplicaciones entre las cuales se aplica la electrificación de viviendas, sistema de alumbrado, aplicaciones agropecuarias, bombeo y tratamiento de agua, motores, señalización, comunicación, motores entre otros. Como se explica en la **Figura 5** un SFA.

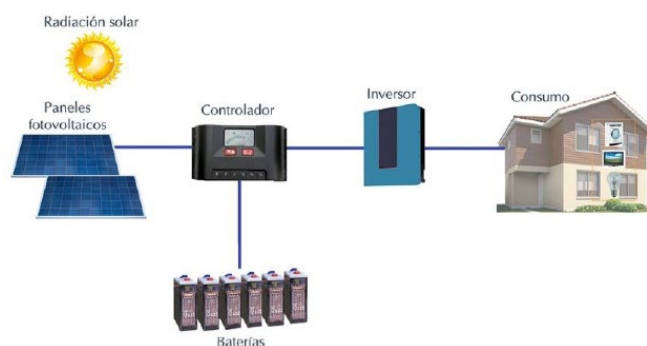
Los componentes que generalmente se encuentran en un SFA:

**Generador fotovoltaico:** Es el dispositivo encargado de producir la energía eléctrica, este absorbe la energía solar y la transforma para la obtención de la energía requerida para la operación del sistema.

**Acumulador:** Se encarga del almacenamiento de la energía sobrante con el fin de que el sistema tenga la capacidad de usarla posteriormente, en aquellos momentos en donde la generación sea mínima.

**Regulador de carga:** Gestiona la carga y la descarga del acumulador de forma que su descarga sea controlada y se pueda prolongar su vida útil.

**Inversor:** Es el elemento encargado de transformar la corriente directa en corriente alterna para el suministro de los circuitos conectados al sistema.



*Figura 5 SFA recibiendo radiación solar*

*(Bayod,2009)*

#### **4.2.2.2 Sistemas conectados a la Red.**

Un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR) consiste en una tecnología dual, el cual dispone de un generador de tipo fotovoltaico, además de estar conectado a una red de energía convencional como sistema de reserva. En estos sistemas el inversor realiza la gestión entre las cargas y ambos generadores; el fotovoltaico y la red convencional (Mena, Ortiz, & Macias, 2013).

De esta forma, permite que el inversor demande energía de la red cuando el generador fotovoltaico no produzca energía suficiente, e incluso que se inyecte energía

en la red eléctrica cuando la generación fotovoltaica sea superior al consumo. Por lo general no cuentan con acumulador, hecho que provoca una disminución de los gastos relacionados a la adquisición de equipos. También disponen de elementos para el control de la tensión de la red de distribución, de forma que se certifique una correcta gestión de la energía cuando sea necesario. (Mena, Ortiz, & Macias, 2013)

Los sistemas conectados a la red eléctrica tienen como principal objetivo incrementar mensual o anualmente la producción de energía eléctrica que es transmitida a la red.

Muchas de las aplicaciones se encuentran en viviendas o edificaciones donde se prefieren un uso de energía limpia además de abaratar costos en el consumo por parte de la red. En la **Figura 6** se observa un SFCR con las partes que le componen. (Enriquez, Fernandez, & Gonzalez, 2007).

#### 4.2.2.2.1 Componentes de un sistema fotovoltaico conectado a la red.

Los componentes que generalmente se encuentran en estos sistemas son los siguientes:

**Módulos fotovoltaicos:** Tal como en el SFA es un dispositivo que tiene como finalidad proveer de energía eléctrica a través de la transformación de la energía solar.

**Inversor de conexión a red:** Como en los SFA tienen como finalidad convertir la energía eléctrica de corriente que generan los módulos fotovoltaicos de continua a alterna para el consumo de las cargas convencionales. Sin embargo, los inversores con conexión a la red también se encargan de la gestión entre el sistema y la red eléctrica.

**Contador de energía:** mide la energía inyectada y consumida de la red eléctrica para hacer un balance entre ambas y poder tarifar (Santos, Hernandez, & Diaz, 2017).

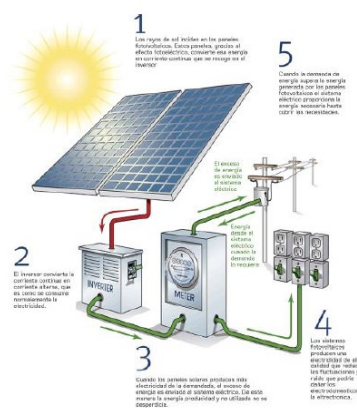


Figura 6 Sistema fotovoltaico conectado a la red.

(Abella, 2016)

### 4.2.2.3 Sistemas Híbridos.

Los sistemas fotovoltaicos híbridos son aquellos sistemas que poseen un apoyo adicional como fuente de energía como un generador de combustible fósil o un generador con energía renovable con la opción de estar o no conectado a la red eléctrica. Los sistemas híbridos tienen la posibilidad de aumentar su capacidad de generación añadiendo potencia adicional o aportando energía al sistema acumulador.

Hay sistemas híbridos los cuales cuentan con dos inversores bidireccionales donde uno de ellos tiene la función de convertir la corriente del sistema fotovoltaico en corriente alterna y otro inversor acoplado al sistema de apoyo como un generador de combustible fósil, pequeñas turbinas eólicas, pequeñas turbinas hidroeléctricas que transforman la corriente alterna que genera en corriente continua para alimentar el sistema acumulador. (Abella, 2016)

Según (Abella, 2016) Esta solución, cuando hay otros recursos energéticos disponibles, suele dar fiabilidad al sistema, abaratando los costos de manera drástica del sistema. En la **Figura 7** se explica el sistema fotovoltaico híbrido con todos sus componentes.

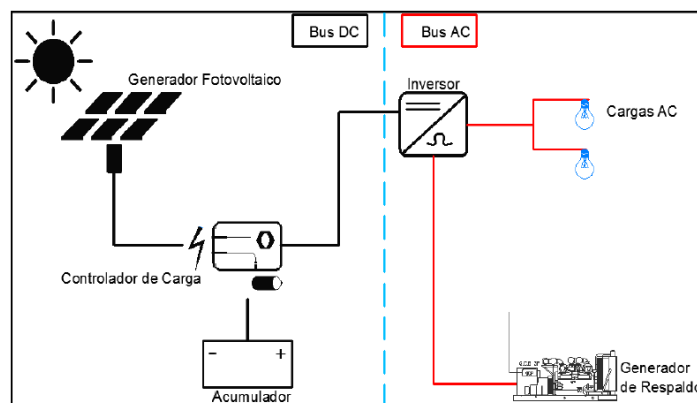


Figura 7 Sistema fotovoltaico híbrido.

(Abella, 2016)

## 4.3 Diseño del sistema fotovoltaico.

### 4.3.1 Componentes de un sistema fotovoltaico.

#### 4.3.1.1 Generador fotovoltaico.

Es el dispositivo encargado de producir la energía eléctrica, este absorbe la energía solar y la transforma para la obtención de la energía requerida para la operación del sistema (Abella, 2016).

### **4.3.2 Módulos fotovoltaicos.**

#### **4.3.2.1 Celda fotovoltaica.**

Todo material o dispositivo posee características fotovoltaicas al ser expuesto a la luz solar siendo capaz de transformar los fotones recibidos en energía eléctrica, se considera al sol como un gran emisor de radiación con una temperatura de unos 5800°K y con una constante solar medida perpendicularmente hacia la atmosfera a una distancia de 1 unidad astronómica o también llamado espectro de Masa de aire con un promedio de  $1\ 366.1 \frac{W}{m^2}$ .

El ingreso de la radiación solar hacia la atmosfera sufre varios procesos de dispersión por selección de longitud de onda, vapor de agua y gases provocando la descomposición de la luz. Para la medición de características eléctricas de celdas solares en paneles fotovoltaicos planos se usa como patrón el espectro de Masa de aire a 1.5 la misma que está estandarizada y se forma de radiación directa y difusa con una densidad de potencia de  $1\ 000 \frac{W}{m^2}$ , al utilizar concentradores solares se toma en cuenta la radiación directa con una densidad de potencia de  $900 \frac{W}{m^2}$  (Huerta Mascotte et al.,2016).

#### **4.3.2.2 Reacción fotovoltaica**

La celda fotovoltaica al ser expuesta a radiación solar excita a los electrones para generar voltaje y corriente desde la celda a un circuito eléctrico. Las celdas fotovoltaicas son fabricadas con silicio que es un material abundante de la Tierra de propiedades semiconductoras, el mismo que es purificado formando una estructura cristalina.

El silicio es sometido a un proceso de dopado con el uso de boro y fosforo disperso en este creando un desbalance en las cargas moleculares y aumentando la conducción de electrones donde se modifican sus propiedades naturales para un mejor flujo eléctrico.

Cuando la masa cristalina toma una forma cilíndrica se visualizan obleas las cuales son rebanadas y dopadas, entonces cuando el boro presente una deficiencia de electrones crea un material tipo P o positivamente cargado, y al tener un exceso de electrones en el fosforo este se difunde en el silicio creando un material tipo N o negativamente cargado. Por esta razón denominamos unión P-N a la región entre las capas positiva y negativa (Enriquez, Fernandez, & Gonzalez, 2007)

#### **4.3.2.3 Tipos de módulos fotovoltaicos.**

##### **4.3.2.3.1 Módulos fotovoltaicos mono cristalinos**

La tecnología monocristalina hace referencia a la manera en la cual están fabricadas las placas solares. Un panel solar se fabrica principalmente con silicio y se

compone de varias celdas fotovoltaicas que se conectan eléctricamente entre sí en serie y en paralelo. Tal y como indica el nombre de esta tecnología, los paneles solares monocristalinos están formados por celdas de un solo cristal de silicio. (Hilcu, s.f.).

Una de las grandes ventajas de los módulos solares monocristalinos es la pureza con la que salen las láminas de silicio tras su “cocción”. Naturalmente, esto afectará a su rendimiento, el cual, será mayor. Sin embargo, en su contra, se derrocha gran cantidad de esta materia prima al descartar el sobrante una vez hechas las cuatro láminas. (Plena Energía , 2017).

Un módulo monocristalino suele tener unas 60 o 72 células solares, dependiendo de su tamaño. Muchas instalaciones de autoconsumo solar en el hogar usan módulos de silicio monocristalino de 60 células. En la **Figura 8** se aprecia con claridad un módulo fotovoltaico mono cristalino. (Grupo Villamir, 2022).



*Figura 8 Módulo Solar fotovoltaico mono cristalino.*

*(Auto Solar, s.f.)*

#### ***4.3.2.3.2 Módulos fotovoltaicos poli cristalinos.***

Su nombre también nos da la pista, los módulos policristalinos son los que están hechos de varios cristales de silicio, en lugar de uno solo.

Su fabricación es similar a los monocristalinos, colocando un cristal «semilla» en el silicio fundido. Sin embargo, en lugar de extraer ese cristal semilla, toda la cuba de silicio se enfría. Este proceso hace que se formen múltiples cristales.

Dichos cristales son los que hacen que los módulos tengan ese aspecto azul brillante y, al igual que los módulos monocristalinos, los policristalinos pueden contener 60 o 72 células. En la **Figura 9** se aprecia ese color azul que caracteriza un módulo fotovoltaico poli cristalino (Grupo Villamir, 2022)



*Figura 9 Módulo Solar fotovoltaica poli cristalino.*

*(Auto Solar, s.f.)*

#### **4.3.2.4 Orientación e Inclinación.**

Para una correcta orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos debemos saber que este cuenta con dos ángulos.

Sabiendo la trayectoria que tiene el sol se puede deducir que este sale por el Este y se esconde por el Oeste en cualquier punto geográfico del planeta es por eso que los paneles fotovoltaicos deben tener su orientación con dirección al Ecuador. (Udemy, 2020)

#### **4.3.2.5 Pérdidas por Orientación e Inclinación.**

Según el código Técnico de Edificación dictado por el Gobierno de España, (2019) se ha establecido que dependiendo el caso se puede tener desde el 10 a 40% de pérdidas. El caso general cubre el 10% y se considera cuando se quieren instalar módulos fotovoltaicos sobre una losa, el caso de superposición nos permite el 20% cuando se tienen techos muy inclinados y en el caso de integración arquitectónica se refiere a sustituir ciertos elementos estructurales como ventanas solares para unir a las edificaciones. (Gobierno de España, 2019)

#### **4.3.2.6 Coordenadas geográficas del sistema fotovoltaico.**

Las coordenadas geográficas forman parte de un sistema ampliamente utilizado para ubicar cualquier sitio del globo terrestre, a partir de números y letras. Casi todos alguna vez han escuchado o leído que la ubicación de un sitio, una persona o un objeto se encuentra a una latitud o longitud determinada.

En general, un punto es referido por estos valores: latitud y longitud; ambos son puntos sobre las líneas imaginarias llamadas paralelos y meridianos. La latitud expresa el ángulo entre el ecuador y la línea recta que pasa por el punto específico, mientras que la longitud es el ángulo al este u oeste de la Tierra con respecto a los meridianos. Recuerda:

la latitud se mide “de norte a sur”, la longitud “de este a oeste” y los ángulos se miden en grados o en grados, minutos y segundos. (Geo Enciclopedia, s.f.).

### **4.3.3 Inversor.**

El inversor solar o inversor fotovoltaico es el encargado de convertir la tensión continua procedente de las baterías o de los módulos en una tensión alterna senoidal, similar a la que nos proporciona la red eléctrica, 110V a 60Hz. Los inversores solares abarcan tensiones de entrada de 12V, 24V o 48V cuando se utilizan en instalaciones aisladas de la red eléctrica. Para inversores solares conectados a la red, la tensión de entrada suele ser mayor, ya que prioriza alcanzar tensiones elevadas, reduciendo la intensidad de corriente que circula por ellos, y reduciendo así las pérdidas por cableado. En la **Figura 10** se aprecia un modelo de inversor solar.



*Figura 10 Inversor solar.*

*(Auto Solar, s.f.)*

#### **4.3.3.1 Tipos de inversores.**

Los inversores solares para instalaciones aisladas van siempre conectados al banco de baterías, con una tensión de entrada admisible acorde a la tensión nominal que llegan a alcanzar dichas baterías.

Los inversores solares para instalaciones aisladas los podemos clasificar en 4 tipos: inversores de onda senoidal pura, inversores de onda modificada, inversor híbridos e inversores cargadores. A continuación, se definen.

##### **Inversores de onda senoidal pura**

Son inversores que generan una energía eléctrica siempre sinusoidal o senoidal pura, de la misma calidad que genera la red eléctrica convencional.

##### **Inversores de onda cuadrada modulada**

Son inversores que pueden ser utilizados en equipos que vayan a convertir la energía eléctrica en calor, en motores universales etc. Se debe prestar especial atención

en que se va a conectar ya que en cualquier equipo que disponga de transformador o en motores no universales podría ocasionarle una avería.

#### **Los inversores híbridos.**

Son inversores que permiten el uso de la red convencional y el uso de baterías, es decir, pueden funcionar tanto en instalaciones solares conectadas a la red como en instalaciones solares aisladas.

#### **Los inversores cargadores.**

Son inversores que además de convertir la corriente continua en corriente alterna tienen la función adicional de regular la carga de las baterías, es decir, el regulador de carga necesario para controlar la carga de las baterías lo lleva incorporado el mismo inversor.

#### **Los inversores de conexión a red.**

Son inversores que extraen la energía del campo fotovoltaico siempre que la producción fotovoltaica sea suficiente para abastecer los consumos, en caso contrario, durante las horas nocturnas o un día con baja radiación, las cargas que no pudieran ser alimentadas con los paneles solares las alimentaría directamente la red eléctrica. (Auto Solar, s.f.).

#### **4.3.4 Medidor Bidireccional**

Un contador bidireccional es un gadget que se utiliza para medir la utilización y la edad de la energía, es en su mayor parte utilizado en los hogares donde hay algún tipo de establecimiento fotovoltaico, la actividad es que durante el día suponiendo que hay un establecimiento fotovoltaico en el hogar, la luz del día crea energía y esta se infunde en la matriz por lo que esta energía se utiliza donde hay alguna utilización de energía, hacia el final del periodo de carga, se hace un balance de los watts consumidos del marco y de los watts que se han conocido con la matriz y un total se añade a seguir cargando la utilización.

Es vital hacer referencia a que cuando hay un establecimiento fotovoltaico en una casa, la utilización de la energía tendrá continuamente como fundamentalmente importante consumir energía del establecimiento fotovoltaico cercano (KeeUI Solar, 2023).

#### **4.3.5 Cableado del sistema fotovoltaico.**

El cableado de un Sistema Fotovoltaico es importante ya que se debe acatar las normativas pertinentes y normativas locales como requisitos tanto de seguridad como para verificar su funcionalidad y seguridad. El sistema de cableado en corriente continua es



muy diferente al de corriente alterna ya que en corriente continua se utilizan bajos voltajes y en una sola dirección además de usar calibre de conductores más grandes.

Se conoce que los conductores de cobre son los más utilizados por su conductividad y comercialización al igual que los conductores de aluminio por ende y por normativa no es recomendable usar conductores de aluminio ya que estos son útiles para entradas de servicio aéreo o subterráneo. (Díaz, 2020).

El aislamiento de los conductores a utilizar por normativa puede ser la siguiente:

- THHN dirigida a interiores y en condiciones secas
- THW, THWN y TW dirigido a interiores o exterior húmedos
- UF y USE para aplicaciones subterráneas o húmedas.

Con respecto a cables y conductos se recomienda por normativa poseen la siguiente nomenclatura:

- NM utilizado para interiores y sitios secos.
- NMC utilizado para sitios secos, húmedos o mojados.
- UF utilizado y permitido para cableados interiores en sitios húmedos, secos o corrosivos.

#### **4.3.6 Calibre de los conductores.**

El calibre de conductor dimensionado tomando en cuenta como parámetros la capacidad de corriente y caída de voltaje.

La ampacidad o capacidad de corriente se refiere a la habilidad que posee el conductor para transportar la corriente necesaria sin producir sobrecalentamiento y previniendo riesgos de fuego.

Para determinar los conductores que van desde los módulos fotovoltaicos al controlador o al sistema acumulador se lo hace tomando la corriente máxima de cortocircuito por el número de módulos en paralelo.

#### **4.3.7 Protección contra sobre corriente.**

Las normativas eléctricas especifican de manera obligatoria que todo circuito eléctrico debe estar protegido contra sobre voltajes, sobre corrientes y cortocircuitos o falla a tierra brindando seguridad a la vida humana y a sus elementos.

Los interruptores o disyuntores termo magnéticos deben ser aprobados por la normativa respectiva y diferenciados del tipo de corriente a utilizar ya que la corriente directa tiende a crear arcos eléctricos cuando se suspende el circuito, en cambio los

interruptores termo magnéticos de corriente alternan tienden a quemar sus contactos para protección.

Los elementos de protección contra sobre corrientes vienen en nominales estandarizados y se debe dimensionar siendo menor o igual a la ampacidad del conductor a usarse. (Diaz, 2020).

#### **4.3.8 Consumo.**

Para entrar en más detalle, el consumo energético es el gasto total de la energía, y normalmente incluye más de una fuente energética. Lo asociamos al gasto de luz y de energía eléctrica, pero aquí entrarían también el gas, el gasoil o la biomasa. Además, el consumo de energía está conectado a la eficiencia energética. De esta forma, a mayor consumo energético, menor es la eficiencia, y, por lo tanto, menor es también el ahorro en las facturas. (Energies, 2021).

Según el Balance Energético Nacional 2019, el consumo de energía eléctrica por persona entre 2009 y 2019 mostró un incremento del 39,4%, pasando de 1.088 kWh por habitante a 1.517 kWh por habitante. En este documento elaborado por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR) y el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), se puede apreciar que el consumo eléctrico por habitante incrementó en 2% entre 2018 y 2019, pasando de 1 488 kWh por habitante a 1.517 kWh por habitante.

Otros datos recogidos en el BEN 2019, indican que la fuente energética primaria de mayor producción en el período 2009-2019 en Ecuador fue el petróleo; así, en el 2019 se tuvo una producción de energía primaria de 223 millones de Barriles Equivalentes de Petróleo (BEP). Del total producido, 86,9% estuvo conformado por petróleo, 4,4% por gas natural y 8,7% por energía de origen renovable (hidroenergía, leña, productos de caña, energía eólica, fotovoltaica y biogás). El año pasado hubo un incremento del 3,4% en la producción primaria total con respecto a 2018, a causa del aumento en la producción de petróleo y de hidroenergía, que crecieron 2,7% y 19,3% respectivamente. (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2019).

La demanda energética en el país se incrementó 36,2% durante el período de análisis, pasando de 69 millones BEP en el año 2009 a 94 millones BEP en 2019. Acorde con la tendencia histórica, el sector transporte es el mayor demandante de energía, con un valor promedio de 37,9 millones de BEP en los últimos diez años. Seguido por el sector industrial con un valor promedio de 13,3 millones de BEP en este mismo período. Finalmente, la tercera mayor demanda de energía del país proviene del sector residencial,

con un promedio de 12 millones de BEP, como se puede observar en la **Figura 11**. (IIGE, 2019)

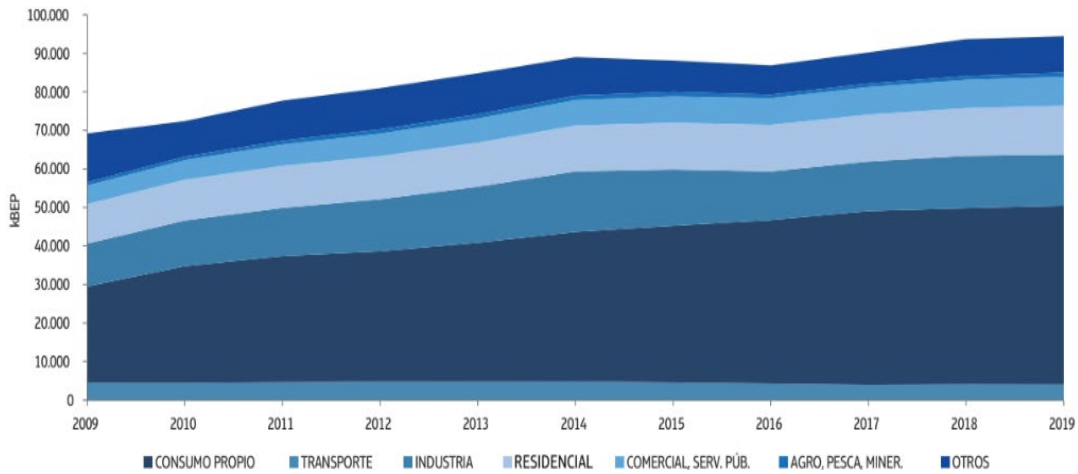


Figura 11 Evolución de la demanda de energía por sector (kBEP).

(IIGE, 2019)

#### 4.3.8.1 Como se mide el consumo.

En concreto, se mide en kilovatios por hora o kWh. Si hablamos de un kWh, significa que durante una hora se consumen 1000 vatios. Es la medida que utilizan las empresas para saber el consumo de viviendas y negocios y emitir las facturas correspondientes. El consumo energético de tu negocio, sería así la cantidad de energía consumida en sus instalaciones durante un periodo de tiempo determinado. Para calcularlo, puedes sumar tus facturas energéticas. Es un paso clave si quieres saber si estás haciendo un consumo eficiente de la energía y si necesitas ahorrar.

Debes tener en cuenta, que son muchos los factores que influyen en el consumo energético, como el tipo de actividad que realiza tu negocio, el número de trabajadores, los hábitos de consumo, e incluso el rendimiento energético del edificio en el que se encuentra, entre otros. Con la adecuada información y gracias a la tecnología, es posible hacer un uso responsable de la energía y reducir el gasto en la factura energética. (Energies, 2021).

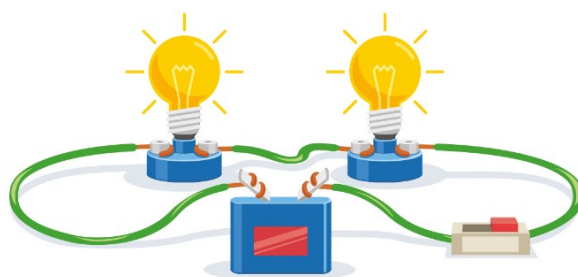
Si se utilizan cargas en corrientes continuas y están dirigidos a un tablero de cargas, los conductores son determinados aplicando la corriente máxima de las cargas tomando en cuenta dos factores de seguridad. El primer factor es un margen de seguridad del 125% para evitar que el conductor sobrepase los 80% de su capacidad bajo condiciones continuas. El segundo factor es un margen de seguridad del 125% para los conductores que conectan los módulos fotovoltaicos con el inversor, controlador o baterías.

Estos factores protegen al sistema cuando la temperatura ambiente es excesiva permitiendo que el conductor maneje la corriente de manera segura. (Enriquez, Fernandez, & Gonzalez, 2007)

#### **4.3.9 Circuitos eléctricos.**

Un Circuito Eléctrico es un conjunto de elementos conectados entre sí por los que puede circular una corriente eléctrica.

La corriente eléctrica es un movimiento de electrones, por lo tanto, cualquier circuito debe permitir el paso de los electrones por los elementos que lo componen. Solo habrá paso de electrones por el circuito si el circuito es un circuito cerrado. Los circuitos eléctricos son circuitos cerrados, aunque podemos abrir el circuito en algún momento para interrumpir el paso de la corriente mediante un interruptor, Pulsador u otro elemento del circuito. En la **Figura 12** se observa un circuito eléctrico básico. (AREA TECNOLÓGICA, s.f.)



*Figura 12 Circuito Eléctrico.*

*(Medina Cruz, 2022)*

#### **¿Cómo funciona el circuito eléctrico?**

La electricidad es la energía que se transmite gracias al movimiento de los electrones por medio de un material conductor. Es generada en plantas de energía o instalaciones eléctricas, y para llegar a tu hogar se almacena dentro de baterías o se distribuye por medio de la red eléctrica pública.

Los circuitos eléctricos comienzan a funcionar cuando se enciende o activa el interruptor. La electricidad viaja desde la fuente de alimentación hasta las resistencias, piezas que permiten el flujo de electrones en su interior y, por ende, el paso de la corriente eléctrica.

Existen circuitos cerrados y circuitos abiertos, los primeros hacen referencia al paso continuo de corriente eléctrica que permite un flujo permanente. Por otro lado, los circuitos abiertos interrumpen el camino de la corriente eléctrica cuando un punto de la instalación se abre. (Medina Cruz, 2022).

#### **4.3.9.1 Partes de un circuito eléctrico.**

**Generador:** Producen y mantienen la corriente eléctrica por el circuito. Son la fuente de energía.

**Conductores:** Es por donde se mueve la corriente eléctrica de un elemento a otro del circuito. Son de cobre o aluminio, materiales buenos conductores de la electricidad, o lo que es lo mismo que ofrecen muy poca resistencia eléctrica a que pase la corriente por ellos.

**Receptores:** Son los elementos que transforman la energía eléctrica que les llega en otro tipo de energía. Por ejemplo las lámparas eléctricas transforman la energía eléctrica en luminosa o luz, los radiadores en calor, los motores en movimiento, etc.

**Elementos de mando o control:** Permiten dirigir o cortar a voluntad el paso de la corriente eléctrica dentro del circuito. Existen interruptores, pulsadores, conmutadores, etc.

**Elementos de protección:** Protegen los circuitos y a las personas cuando hay peligro o la corriente es muy elevada y puede haber riesgo de quemar los elementos del circuito.

Existen fusibles, Magnetotérmicos, Diferenciales de Luz, etc. (AREA TECNOLÓGICA, s.f.)

#### **4.3.9.2 Circuito de alimentación.**

El circuito eléctrico de tomacorrientes es una de las instalaciones más sencillas de realizar en una vivienda porque todos los tipos de tomacorrientes tienen sólo dos terminales. Los dos conductores eléctricos que “alimentan” el circuito deben conectarse directamente a cada uno de los terminales del tomacorriente. Si la instalación del circuito de tomacorrientes se realiza con dos alambres de colores diferentes, como por ejemplo rojo y azul; el alambre rojo debe llegar a uno de los terminales de todos los tomacorrientes y el alambre azul, al segundo de todos. Los tomacorrientes a emplear pueden ser simples, dobles o triples, y en cada caso la instalación es la misma. (Anónimo).

#### **4.3.9.3 Circuito de iluminación.**

Se considerará instalación de alumbrado a toda aquella en que la energía eléctrica se utilice preferentemente para iluminar el o los recintos considerados, sin perjuicio que a la vez se le utilice para accionar artefactos electrodomésticos o máquinas pequeñas similares conectadas a través de enchufes. Por razones de operación, facilidad de mantención y de seguridad, las instalaciones de alumbrado se dividirán en circuitos, los cuales en lo posible deberán servir áreas limitadas. Cada circuito de alumbrado estará

formado por centros de consumo, entendiéndose por tales a los artefactos de iluminación que se instalen en puntos físicos determinados o a los enchufes hembra que permitan la conexión de artefactos susceptibles de conectarse a este tipo de circuito. (Villegas Ochoa, 2020).

#### ***4.3.10 Normativa legal en Ecuador para el uso de un sistema fotovoltaico según la regulación ARCERNNR 001-2021.***

De acuerdo con la regulación ARCERNNR 001-2021 que entró en vigencia en abril de 2021, cualquier persona puede instalar paneles solares en su casa o empresa para generar energía eléctrica para autoconsumo. La legalización del sistema fotovoltaico se debe realizar a través de la distribuidora energética de la región (empresa eléctrica), quien revisará parámetros técnicos previo a la aprobación.

Esta normativa contempla el sistema de Balance Neto que vuelve aún más viables los proyectos fotovoltaicos. La empresa eléctrica reemplaza el medidor convencional por un medidor bidireccional que cumple dos funciones principales:

- Mantener la interconexión a la red pública, lo que asegura la operación de la empresa, incluso si hubiera un fallo en el sistema fotovoltaico.
- Inyectar a la red pública el excedente de energía que no alcanza a consumir durante el día. El medidor bidireccional lo contabiliza como un crédito que es cruzado con la energía que se utiliza de la red en horarios en los que el sistema fotovoltaico no está trabajando, normalmente en horarios de la noche.

Otros puntos para tomar en cuenta en la normativa son:

- La normativa tiene una limitante de 1MW de potencia instalada para uso corporativo y 100 kW para uso residencial.
- La duración del convenio que se firma con la empresa eléctrica es de 25 años renovables.
- La normativa permite el uso de espacios que no necesariamente deben estar dentro del predio de operación para el montaje de paneles solares.
- Un usuario puede acumular excedente de energía hasta por 24 meses. (Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables, 2021).

## 5. Metodología

### 5.1 Área de estudio

Para localizar con precisión el sector en donde se hizo el estudio del sistema fotovoltaico se lo ejecutó por medio de coordenadas geográficas.

**Lat.:** -03° 58'18'' S

**Long.:** -79°12'39'' O

**Elevación:** 2 055 m.s.n.m.

**Temperatura:** 17.9°C.

En la **Figura 13** se observa con ayuda del Google Maps la vivienda a intervenir.



*Figura 13 Ubicación de la vivienda por medio de Google Maps.*

*Editada por (Pucha, 2023).*

### 5.2 Materiales y equipos

Los materiales que se usaron para el desarrollo del proyecto están a continuación:

- Recurso humano: Director de Tesis.
- Material referencial y bibliográfico.
- Materiales de oficina: laptop, internet, cuaderno, etc.
- Datos de campo: Atlas Solar Mundial, Nasa.
- Software de diseño: AutoCAD ®, Microsoft Excel ®.

### 5.3 Métodos.

En este apartado se abordó el análisis del recurso solar, del sistema fotovoltaico desarrollado en el Marco Teórico y el análisis del ahorro energético que se obtuvo en la vivienda-taller de carpintería, que se basó en la recopilación teórica y experimental.

Para la parte experimental se empleó software de procesamiento de datos que permitió realizar los cálculos de la radiación del sistema fotovoltaico en donde se corroboró la hipótesis planteada en el estudio en cuestión y finalmente el de recolección

que por medio de una base de datos que proporcionó los valores de irradiancia y radiación necesarios para los cálculos respectivos.

Para que todo este proceso se lleve a cabo se trabajó de la siguiente manera:

Recolección de la irradiancia solar existente en la ciudad de Loja que permitió calcular el porcentaje de reducción de consumo eléctrico de la vivienda-taller de carpintería caso de estudio, esto fue analizado por medio de la base de datos correspondiente.

Para determinar el cálculo del SFCR se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

- **El consumo diario de la vivienda-taller de carpintería:** En este apartado se trabajó recolectando los datos de cada uno de los equipos conectados a la red de la vivienda-taller de carpintería, así como el tiempo de uso de cada uno de ellos para determinar los kWh/día que se consumieron y en base a los resultados proyectar el sistema fotovoltaico que sea capaz de suministrar la energía necesaria para satisfacer la demanda calculada. Los cálculos fueron realizados utilizando Microsoft Excel
- **Los módulos fotovoltaicos:** Se seleccionó los módulos que se acoplen al consumo diario que se obtuvo por medio de un análisis de datos expuesto en el punto anterior, la radiación, la Hora solar Pico, la inclinación, su eficiencia, costo económico y la potencia pico con la que se trabajó. Los módulos se seleccionaron revisando catálogos del mercado actual.
- **Inversor:** Una vez que se realizó el cálculo del número de paneles y su tipo de conexión ya sea en serie, paralelo o mixto se seleccionó el inversor de acuerdo a la potencia pico del sistema fotovoltaico, su voltaje máximo, así como su corriente máxima; finalmente se utilizó catálogos para la selección del equipo

#### 5.4 Procedimiento

El enfoque de la investigación es cuantitativo porque se analizaron datos de irradiancia, para determinar el potencial solar fotovoltaico; asimismo, se registró información técnica de los elementos eléctricos de la vivienda-taller de carpintería objeto de estudio. Finalmente se desarrolló métodos cuantitativos para del diseño del sistema fotovoltaico que satisfaga las necesidades de consumo de electricidad de la vivienda estudiada.



El método de estudio de la presente es Hipotético-deductivo porque se planteó como hipótesis que: “La irradiancia solar existente en la ciudad de Loja permitirá una reducción de consumo de energía eléctrica de la vivienda caso de estudio.”

Para que el diseño cumpla su meta se realizó lo siguiente:

#### **5.4.1 Propuesta del diseño.**

##### **5.4.1.1 Características del recurso solar.**

Para el diseño del SFCR, se necesitó saber cuál es la cantidad de radiación solar que recibió el módulo fotovoltaico, de forma que pueda dimensionarse en base a lo que se registra en el sector. Para obtener estos datos de radiación se trabajó por medio de la estación meteorológica de la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja, que provee datos de radiación cada 5 minutos. Se realizó una tabla de radiación global diaria por horas durante un año (2022).

Esta radiación global se la debe rectificar con el factor de corrección para superficies inclinadas (K) la cual representa el coeficiente entre energía incidente en un día sobre una superficie orientada hacia el Ecuador e inclinada un determinado ángulo, y otra horizontal, basado en la latitud en donde se ubica el SFCR.

La matriz de oferta solar anual es una tabla en donde se suma el total de las horas de un día en donde la radiación global está presente y obtener la radiación diaria del año.

En la siguiente tabla se expone la matriz de ofertas solares mensual en la cual se hace la sumatoria de todos los días del mes y en la matriz de ofertas solares promedio mensual, como su nombre lo dice se promedia la sumatoria de los días del mes para obtenerlos valores que se va a trabajar para los cálculos del SFCR

##### **5.4.1.2 Cálculo del ángulo óptimo.**

Para el cálculo del ángulo óptimo se recomienda un ángulo de 15° si la latitud comprende entre 0° y 5°, si el sistema fotovoltaico se encuentra en el hemisferio norte del planeta lo más normal es colocar los módulos en dirección sur, mientras que si la instalación fotovoltaica está en el hemisferio sur lo mejor sería colocarlo en dirección norte (Orellana & Delgado, 2015), según la **Ecuación 1:**

$$\beta_{opt} = (3,7 + 0,69 * (|\varphi|)^{\circ}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$\beta_{opt}$  = Inclinación óptima.

$|\varphi|^{\circ}$  = Latitud del sector.

### 5.4.1.3 Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación.

Para una correcta orientación e inclinación de los módulos solares y minimizar las pérdidas se debe tomar en consideración dos tipos de ángulos: el ángulo azimutal ( $\alpha$ ) y el ángulo de inclinación ( $\beta$ ).

Sabiendo cuál es el recorrido que tiene el sol se puede deducir que los módulos fotovoltaicos deben tener su orientación con dirección al Ecuador.

Para la inclinación el punto máximo de captación es perpendicular al sol, es decir, con ángulo de  $90^\circ$ . Con este punto aclarado la inclinación óptima sería de manera horizontal, pero se deben tener en cuenta los factores externos que pueden afectar al rendimiento del módulo, es por eso que mediante el análisis de la radiación se estableció cual es dicho ángulo óptimo.

Según el código Técnico de edificación estipulado por el Gobierno de España, (2019) se ha establecido lo siguiente: que dependiendo el caso se puede tener desde el 10 a 40% de pérdidas como se explica en la **Tabla 1** Límites de pérdidas por orientación e inclinación.

*Tabla 1 Límites de pérdidas por orientación e inclinación.*

Límites de pérdidas	
Caso	Orientación e inclinación
General	10%
Superposición	20%
Integración arquitectónica	40%

*Fuente (Gobierno de España, 2019).*

- El caso general cubre el 10% y se considera cuando se quieren instalar módulos fotovoltaicos sobre una losa.
- El caso de superposición nos permite el 20% cuando se tienen techos muy inclinados.
- El caso de integración arquitectónica se refiere a sustituir ciertos elementos estructurales como ventanas solares para unir a las edificaciones. (Gobierno de España, 2019).

Para el cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación se aplica la **Ecuación**

2.

$$P_{OI} = 1 - [1,2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 * 10^{-5} * \alpha^2]$$

2

**Ecuación**

Donde:

$P_{OI}$  = Pérdidas por orientación e inclinación.

$\beta$  = Inclinación del techo.

$\beta_{opt}$  = Inclinación óptima.

$\alpha$  = Ángulo Azimut.

#### 5.4.1.4 Factor de sombra.

En este apartado, se trabajó con el software Solarius PV para analizar las sombras que interfieren con el Sistema Fotovoltaico conectado a la red (SFCCR) ya que en entornos urbanos es uno de los principales obstáculos que ha afrontado el sistema, disminuyendo la eficiencia, además de presentar puntos calientes que reducen la vida útil de los módulos permanentemente, es por eso que se ha realizado un análisis de sombra en base a memorias fotográficas destacando los obstáculos que generen sombra.

Según (Romero Marquez, 2020) Mediante dicho estudio se ha determinado el factor de sombra que oscila entre 0 y 1, cabe destacar que entre más cercano sea a 1 menor será el sombreado ocasionado.

#### 5.4.1.5 Irradiación sobre el módulo.

Una vez que se calculó las pérdidas por orientación e inclinación se debe hacer un reajuste en la irradiación que va a llegar al módulo fotovoltaico y esto se lo hace mediante la **Ecuación 3**, esto es determinando la orientación e inclinación óptima para el periodo de diseño elegido. En la **Tabla 2** Periodo de diseño para sistemas fotovoltaicos. se presentan los periodos de diseño habituales y la correspondiente inclinación ( $\beta$ ) del módulo que hace que la recolección de energía sea máxima (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2009).

Tabla 2 Periodo de diseño para sistemas fotovoltaicos.

Periodo de diseño	$\beta_{opt}$	$K = \frac{G_{dm}(\alpha = 0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$
Diciembre	$\varphi + 10$	1,7
Julio	$\varphi - 20$	1
Anual	$\varphi + 10$	1,15

Fuente (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2009)

Donde:

$\varphi$  = Latitud del lugar en grados.

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = G_{dm}(0) * K * P_{OI} * FS \quad \text{Ecuación}$$

3

Donde:

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  = Irradiación sobre el módulo

$G_{dm}(0)$  = Irradiación promedio mensual

$K$ = periodo de diseño.

$FS$  = Factor de sombra.

#### 5.4.1.6 Dimensionamiento del generador.

Se dimensionó el generador mediante la potencia mínima, con el rendimiento energético de la instalación o performance ratio, PR que es la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo para el diseño, Este factor considera las pérdidas en la eficiencia energética debido a:

- La temperatura.
- El cableado.
- Las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad.
- Las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia.
- La eficiencia energética,  $\eta_{rb}$ , de otros elementos en operación como el regulador, batería, etc.
- La eficiencia energética del inversor,  $\eta_{inv}$
- Otros (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2009).

En la **Tabla 3** Valores de PR de acuerdo al sistema. se expone los valores típicos con los que se suelen asociar al PR en los diferentes sistemas fotovoltaicos.

Tabla 3 Valores de PR de acuerdo al sistema.

Sistema	PR
Con inversor	0,7
Con inversor y baterías	0,6

Fuente (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2009)

Mediante la **Ecuación 4** se calculó:

$$G_{mp,min} = \frac{E_D * G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) * PR} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$$G_{CEM} = 1 \text{ kW/m}^2$$

$E_D$  = Consumo expresado en kWh/ día

$PR$  = Performance ratio.

#### 5.4.1.7 Consumo de la vivienda-taller de carpintería.

Para saber cuál es la energía de consumo diaria que tiene la vivienda se procedió a censar a todos los equipos eléctricos de la misma, así como los equipos de iluminación que se encuentran conectados a la red y equipos exteriores (electrodomésticos como

licuadora, tostadora, lavadora, herramientas, etc.) que en momentos puntuales se conecten a la misma red de alimentación.

Se ha elaborado una tabla de registro en donde se detallan todos los equipos que se conectan a la red y la cantidad de energía que se les suministra a dichos equipos con su tiempo de uso.

Para calcular el consumo de cada equipo eléctrico, se aplica la **Ecuación 5**.

$$E_D = P * \text{horas de uso por dia} * \frac{\text{Días de uso a la semana}}{\text{Días de la semana}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

$P$  = Potencia de los equipos.

#### **5.4.1.7.1 Estimación del consumo.**

Esta sección se destinó para obtener un estimado del funcionamiento del SFCR en la vivienda. En la ciudad de Loja se tiene un aprovechamiento solar desde las 7 a.m. donde amanece y comienzan a salir los primeros rayos de luz, hasta las 6 p.m. donde la intensidad baja y anochece. Por esta razón, se destina que el sistema solar tendría un aprovechamiento desde las 8 a.m. hasta las 5 p.m.

Para las horas de la noche el consumo será directamente desde la red empezando desde 5 pm hasta las 7 am. Donde el SFCR volverá a funcionar.

#### **5.4.1.7.2 Calcular la energía máxima diaria total.**

Bayod Rújula, (2009) recomienda usar un factor de seguridad y determinar la energía máxima diaria, se aplica la **Ecuación 6**.

$$E_{m\acute{a}x} = G_{mp,min} * f_s \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$f_s$  = Factor de seguridad

#### **5.4.1.1 Módulos fotovoltaicos.**

Para el dimensionamiento del SFCR se debe tener en cuenta los equipos necesarios para cubrir la demanda diaria de la vivienda, lo primero que se debe hacer es calcular la cantidad de módulos que son necesarios para cubrir dicha demanda.

Los módulos se seleccionaron en base a la potencia fotovoltaica y de las características técnicas del módulo que se encontraron en el mercado, entre las más importantes son: la potencia pico del módulo, su eficiencia, voltaje y corriente de máxima potencia, voltaje de circuito abierto, corriente de corto circuito.

Se debe calcular el número de módulos con la **Ecuación 7**:

$$N_m = \frac{E_{m\acute{a}x}}{P_{mod}} \quad \text{Ecuaci3n 7}$$

Donde:

$E_{m\acute{a}x}$  = Demanda máxima del SFCR a cubrir.

$P_{mod}$  = Potencia del m3dulo.

#### 5.4.1.1.1 Cálculo de números de serie máximo.

Se calcula el número de m3dulos máximo que puede soportar el inversor trabajando con la temperatura mínima del sector, sabiendo que entre menor sea la temperatura el m3dulo trabajar en su punto máximo.

Tomando en cuenta la temperatura promedio mínima en Loja es de 10,6°C en el mes de julio y la temperatura promedio máxima de 25°C en agosto.

Para eso se usa la Ecuaci3n 8 de correcci3n de temperatura

$$V_{oc}(Ta) = \left[ 1 + \frac{(Tc - 25) * \sigma_{oc}}{100} \right] * V_{oc} \quad \text{Ecuaci3n 8}$$

Donde:

VOC(Ta)= Voltaje en circuito abierto corregido por temperatura.

Tc= Temperatura ambiente mínima del sector [°C].

$\sigma_{oc}$ = Coeficiente de temperatura del m3dulo en circuito abierto (Figura 17 Características generales del m3dulo.).

VOC= Voltaje del m3dulo en circuito abierto.

Obtenido el voltaje corregido se procede a calcular el número máximo de m3dulos en serie con la **Ecuaci3n 9**.

$$Ms_{m\acute{a}x} = \frac{V_{dc m\acute{a}x} \text{ inversor}}{V_{oc}(Ta)} \quad \text{Ecuaci3n 9}$$

Donde:

Vdc máx inversor= Voltaje en DC máximo del inversor (Figura 19 Características técnicas del inversor.)

#### 5.4.1.1.2 Cálculo de números de serie mínimo.

Se calcul3 la correcci3n de temperatura máxima para poder calcular la cantidad mínima de m3dulos solares del SFCR.

Mediante la **Ecuaci3n 10**.

$$Tc = Tm + 1,25(Tonc - 20) \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$Tm$ = Temperatura máxima del sector [°C].

$Tonc$ = Temperatura de operación nominal de la célula [°C].

Con la **Ecuación 11** se calcula el voltaje con la temperatura corregida

$$V_{mpp}(Tc) = \left[ 1 + \frac{(Tc - 25) * \sigma_{pm\acute{a}x}}{100} \right] * V_{mpp} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$V_{mpp}(Tc)$ = Voltaje de máxima potencia corregido por temperatura.

$Tc$ = Temperatura ambiente máxima del sector [°C].

$\sigma_{pm\acute{a}x}$ = Coeficiente de temperatura del módulo en máxima potencia (Figura 17

Características generales del módulo.).

$V_{mpp}$ = Voltaje de la máxima potencia.

Obtenidos estos valores podremos calcular la serie mínimo con la **Ecuación 12**.

$$Ms_{min} = \frac{V_{dcmin} \text{ inversor}}{V_{mpp}(Tc)} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$V_{dcmin} \text{ inversor}$ = Voltaje en DC mínimo del inversor (Figura 19 Características técnicas del inversor.).

#### 5.4.1.2 Cálculo de números en paralelo.

Para el cálculo de los módulos en paralelo se ejecuta la **Ecuación 13**

$$M_p = \frac{I_{scm\acute{a}x} \text{ inversor}}{I_{sc} \text{ m\acute{o}dulo}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$I_{scm\acute{a}x} \text{ inversor}$ = Corriente máxima del inversor (Figura 20 Características técnicas del inversor.)

$I_{sc} \text{ m\acute{o}dulo}$ = Corriente en corto circuito del módulo (Figura 18 Características generales del módulo.)

#### 5.4.1.3 Potencia máxima del SFCR.

La potencia máxima de los módulos se calcula de la siguiente manera con la **Ecuación 14**:

$$P_{m\acute{a}x} = \text{m\acute{o}dulos}_{fv} * P_{mod}$$

**Ecuaci3n**  
**14**

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$  = Potencia m\acute{a}xima de los m3dulos.

$\text{m\acute{o}dulos}_{fv}$  = M3dulos fotovoltaicos.

$P_{mod}$  = Potencia del m3dulo elegido.

#### 5.4.1.4 Selecci3n del inversor.

Ya que se tuvo todos los c\acute{a}lculos de los componentes finalmente se calcul3 la potencia de inversor que va a soportar toda la carga del SFCR, para esto se tom3 en cuenta los apartados de el voltaje de salida en corriente alterna (AC) y la potencia que este va a soportar. Y se seleccionaron los conductores y el calibre de los mismos.

#### 5.4.1.5 Selecci3n del calibre de conductor para corriente continua

El SFCR necesit3 de conductores especiales para su conexi3n, estos se los denomina cables solares, ya que poseen caracteristicas especiales como: lluvia, temperaturas altas y bajas, polvo, etc.

- **Voltaje de los conductores en CC.**

Se determin3 mediante la Ecuaci3n 15:

$$V_{cc} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{I_{mp_{mod}}}$$

**Ecuaci3n**  
**15**

Donde:

$I_{mp_{mod}}$  = Corriente de m\acute{a}xima potencia del m3dulo.

Ca\cdada de tensi3n y selecci3n de conductor en CC.

Se determin3 con la Ecuaci3n 16:

$$\Delta V_{cc} = \frac{2 * \rho_{cc} * l_{cc} * i_{mp_{mod}}}{S_{cc}}$$

**Ecuaci3n**  
**16**

Donde:

$S_{cc}$  = Secci3n transversal del conductor [mm<sup>2</sup>].

$\rho_{cc}$  = Resistividad del conductor (cobre a 20°C = 0,01786 Ω.m).

$l_{cc}$  = Longitud del tramo del conductor el\cdadrico hasta el inversor [m].

$I_{mp_{mod}}$  = Corriente de m\acute{a}xima potencia del m3dulo.

Con la **Ecuaci3n 17** se calcula que el porcentaje de ca\cdada de tensi3n que va a tener el SFCR en el tramo de los m3dulos hacia el inversor y tiene que ser menor al 3% recomendada por la EERSA.



$$\% \Delta V_{cc} = \frac{\Delta V_{cc}}{V_{ccs}} * 100\%$$

**Ecuación**

17

Donde:

$V_{ccs}$  = Voltaje en CC del sistema

#### **5.4.1.6 Análisis económico.**

En este apartado se analizó si el SFCR es rentable para ello se realizó una comparativa del costo que va a tener la implementación del SFCR contra el costo de ‘facturación energética que tendrá la vivienda.

Para conocer el valor de la implementación del SFCR se enlistó todos los componentes del SFCR y se colocó sus valores de mercado, los gastos no previstos. Se proyectó el costo de los mantenimientos del SFCR, a lo largo de los años de vida útil del sistema, se propuso realizar 4 mantenimientos.

Para los valores de facturación se realizó en base a los valores mensuales registrados en la planilla eléctrica, posterior a eso se realizó el cálculo anual del consumo de la vivienda, y el cálculo de los costos en dólares por mes y año.

## 6. Resultados

Para el diseño se propuso los siguientes cálculos en base a la metodología del IDAE, Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones Conectadas a Red:

### 6.1 Recurso Solar.

En la **Tabla 4** Matriz de oferta solar mensual (sumatoria). se presenta la matriz de oferta solar mensual con diferentes ángulos de corrección para superficies inclinadas (k).

Por medio de las coordenadas geográficas dadas se permitió conocer un factor de corrección de inclinación. En este caso el factor de inclinación se toma en cuenta con la latitud de 4° de la ciudad de Loja. (Ver Anexo 1).

Tabla 4 Matriz de oferta solar mensual (sumatoria).

<b>Matriz de oferta solar mensual</b>				
<b>Mes</b>	$\beta$ (0°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$	$\beta$ (5°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$	$\beta$ (10°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$	$\beta$ (15°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$
<b>Enero</b>	116131,929	118454,568	120777,206	121938,526
<b>Febrero</b>	99941,1153	101939,938	103938,76	104938,171
<b>Marzo</b>	127232,545	129777,196	132321,847	133594,173
<b>Abril</b>	109935,477	112134,187	114332,896	115432,251
<b>Mayo</b>	108390,691	110558,505	112726,319	113810,225
<b>Junio</b>	112593,998	114845,878	117097,758	118223,698
<b>Julio</b>	96187,7197	98111,4741	100035,228	100997,106
<b>Agosto</b>	107166,894	109310,232	111453,57	112525,239
<b>Septiembre</b>	139583,652	142375,325	145166,998	146562,834
<b>Octubre</b>	137631,635	140384,267	143136,9	144513,216
<b>Noviembre</b>	134484,75	137174,445	139864,14	141208,988
<b>Diciembre</b>	123638,212	126110,976	128583,741	129820,123

Fuente (Estación Meteorológica de la Facultad de Energía (UNL))

A continuación, se elaboró la **Tabla 5** Matriz de ofertas solares promedio mensual.

Tabla 5 Matriz de ofertas solares promedio mensual

<b>Matriz de ofertas solares promedio mensual</b>				
<b>Mes</b>	$\beta$ (0°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$	$\beta$ (5°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$	$\beta$ (10°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$	$\beta$ (15°) <i>Wh</i> $\frac{\text{día/m}^2}$
<b>Enero</b>	3746,19126	3821,11509	3896,03891	3933,50082
<b>Febrero</b>	3569,32555	3640,71206	3712,09857	3747,79182
<b>Marzo</b>	4104,27566	4186,36117	4268,44669	4309,48944
<b>Abril</b>	3664,51591	3737,80623	3811,09655	3847,7417
<b>Mayo</b>	3496,4739	3566,40338	3636,33286	3671,2976

<b>Junio</b>	3753,13328	3828,19595	3903,25861	3940,78995
<b>Julio</b>	<b>3102,82967</b>	3164,88626	3226,94285	3257,97115
<b>Agosto</b>	3456,99658	3526,13651	3595,27644	3629,84641
<b>Septiembre</b>	4652,78838	4745,84415	4838,89992	4885,4278
<b>Octubre</b>	4587,72115	4679,47558	4771,23	4817,10721
<b>Noviembre</b>	4637,40518	4730,15328	4822,90139	4869,27544
<b>Diciembre</b>	4263,38662	4348,65436	4433,92209	4476,55596

Fuente (Estación Meteorológica de la Facultad de Energía (UNL))

Obtenido los datos de radiación promedio mensual del cantón Loja detallados en la tabla anterior elegimos el mes con la peor radiación del año para anticiparnos a cualquier inconveniente que pueda presentarse en nuestro SFCR, como se lo explica en la **Figura (14)**.

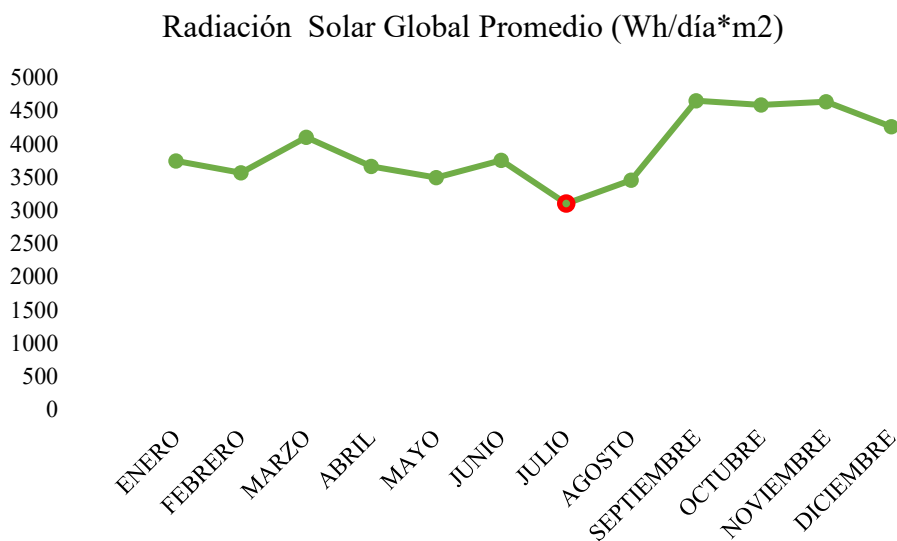


Figura 14 Radiación Solar Global Promedio.

Fuente (Autor)

## 6.2 Cálculo del ángulo óptimo

Para saber el ángulo con el cual trabajará el SFCR y se tendrá mejores resultados en cuanto a aprovechamiento de los módulos solares se la calcula con la **Ecuación 1**.

$$\beta_{opt} = (3,7 + 0,69 * (| - 3.581 |))^{\circ}$$

$$\beta_{opt} = 6.171^{\circ}$$

## 6.3 Pérdidas por orientación e inclinación.

Con fin de demostrar el ángulo azimutal que se tuvo en la locación se ha realizado la siguiente **Figura (15)** con ayuda de un graduador virtual para determinar el ángulo  $\alpha$ .



Figura 15 Orientación de la vivienda y techo.

Fuente (Tomado de Google maps y editado por Pucha, 2023)

Obtenido un ángulo  $\alpha = 12^\circ$  que determinó la orientación de los módulos fotovoltaicos sobre el techo.

De acuerdo a la **Tabla 1** Límites de pérdidas por orientación e inclinación. El caso general que cubre el 10% y se considera cuando se quieren instalar módulos fotovoltaicos sobre una losa es el elegido para el SFCR y mediante la **Ecuación 2** se lo ha calculado:

$$P_{OI} = 1 - [1,2 * 10^{-4} * (2 - 6,171)^2 + 3,5 * 10^{-5} * 12^2]$$

$$P_{OI} = 0,993$$

#### 6.4 Factor de sombra.

Al realizar el análisis de sombra, se analiza todos los obstáculos que pueda tener a los alrededores el SFCR, tales como edificaciones, vegetación, e inclusive el relieve montañoso, es por eso que se ha usado la memoria fotográfica del sector para el análisis respectivo.

Se ha usado Solarius PV, el cual usa diagrama de sombras, además del lugar de emplazamiento por medio de sus coordenadas se colocan los posibles obstáculos que generen sombras, para nuestro caso es una vivienda de 3 pisos que está en la parte izquierda y un pequeño obstáculo en la parte posterior del terreno sobresaliente de la construcción que existe ahí, en el gráfico se lo identifica con un sombreado de color rojo y dio como resultado un factor de sombra de **0,97** como se muestra en **Figura (16)**. Ver Anexo 2 para la guía del estudio de sombra.

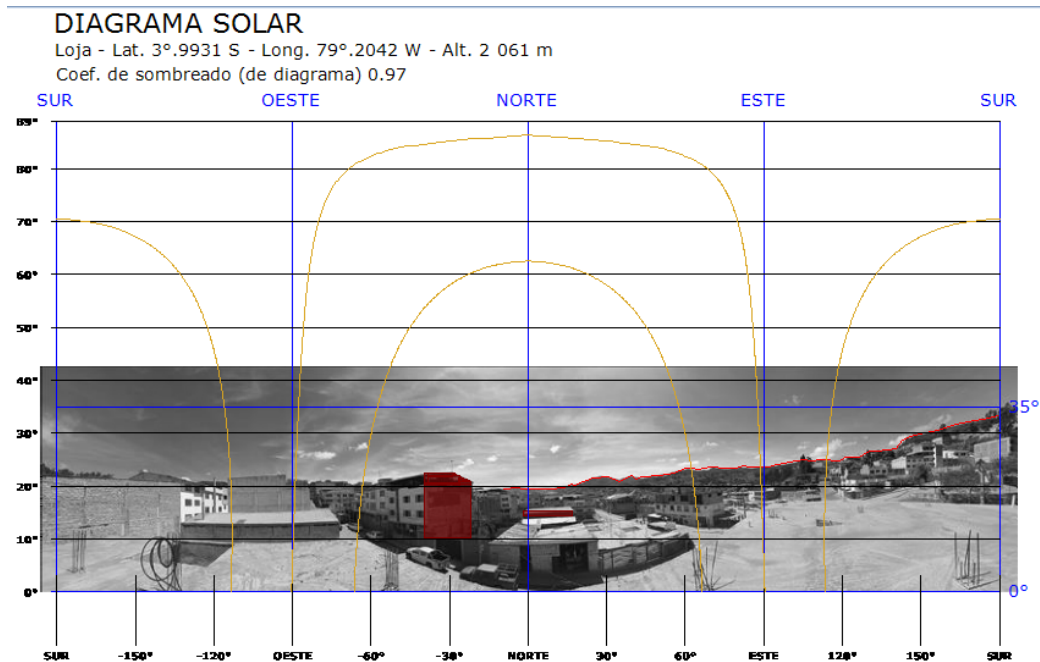


Figura 16 Estudio de sombras.

Fuente (Autor, Solarius PV)

### 6.5 Irradiación sobre el módulo.

El SFCR va a trabar de manera continua durante todo el año sin interrupciones, es por eso que, para realizar el cálculo de la irradiación que va a llegar a nuestros módulos solares se debe realizar los cálculos con las pérdidas que esta va a tener ya sea por inclinación y orientación, sombra, y por el periodo de diseño.

Una vez obtenido todos estos datos se ha calculado mediante la **Ecuación 3**

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 3\,102,830 \frac{Wh}{\text{día}/m^2} * 1,15 * 0,993 * 0,97$$

$$G_{dm}(\alpha, \beta) = 3\,436,978 \frac{Wh}{\text{día}/m^2}$$

Donde:

$G_{dm}$  = Radiación promedio mensual a 0° (Tabla 5 Matriz de ofertas solares promedio mensual)

$K$  = periodo de diseño (Tabla 2 Periodo de diseño para sistemas fotovoltaicos.)

### 6.6 Consumo de la vivienda-taller de carpintería.

El cálculo de la demanda en la vivienda-taller de carpintería tiene como objetivo conocer el consumo promedio por horas y mensual de la vivienda-taller de carpintería, que servirán para tener una aproximación de las horas donde el SFCR estaría en funcionamiento cubriendo la demanda necesaria.

### 6.6.1 Consumo Diario.

El consumo diario de la vivienda-taller de carpintería se calcula para conocer la demanda diaria que se necesita cubrir con el SFCR. Dicha demanda enlista todos los equipos eléctricos y luminarias que generan consumo en la vivienda-taller de carpintería.

Esta **Tabla 6** Consumo del circuito de iluminación se la ha elaborado en base a la **Ecuación 5**, además de esto se lo ha multiplicado por el factor de simultaneidad que recomienda la normativa NEC

Tabla 6 Consumo del circuito de iluminación

<b>Circuito de Iluminación</b>						
<b>C.</b>	<b>Aparato Eléctrico</b>	<b>Pot. de equipos (W)</b>	<b>Pot. Inst. (W)</b>	<b>Horas de uso (h)</b>	<b>Días de uso</b>	<b>Carga diaria (Wh)</b>
1	Lamp. Baño	9	9	0,5	7	4,5
1	Lamp. Cocina	9	9	1	7	9
2	Lamp. Sala	9	18	3	7	54
3	Lamp. Habita.	9	27	1	7	27
4	Lamp. Taller	12	48	1	5	34,286
	<b>F. simultaneidad (0.7)</b>		<b>111</b>			<b>128,786</b>
	<b>Total</b>		<b>77,7</b>			<b>90,15</b>

Fuente (Autor)

A continuación, en la **Tabla 7** Consumo del circuito de tomacorrientes con su respectivo factor de simultaneidad.

Tabla 7 Consumo del circuito de tomacorrientes

<b>Circuito de tomacorrientes</b>						
<b>C.</b>	<b>Aparato Eléctrico</b>	<b>Pot. de equipos (W)</b>	<b>Pot. Inst. (W)</b>	<b>Horas de uso (h)</b>	<b>Días de uso</b>	<b>Carga diaria (Wh)</b>
5	Cargadores	25	125	1	7	125
1	Computadora	180	180	1,5	5	192,857
1	Lavadora	800	800	1	2	228,571
1	Licuada	400	400	0,25	2	28,571
1	Microondas	1100	1100	0,166	5	130,429
1	Plancha	1000	1000	0,333	1	47,571
1	Radio	30	30	8	5	171,429
1	Refrigeradora	120	120	8	7	960
1	Router	12	12	24	7	288
1	TV	130	130	2	7	260
1	Vibradora Dew	288	288	1	2	82
1	Vibradora Mak	360	360	1	2	103
	<b>F. simultaneidad (0.7)</b>		<b>4545</b>			<b>2617,571</b>
	<b>Total</b>		<b>3181,5</b>			<b>1832,3</b>

Fuente (Autor)

Para la **Tabla 8** Consumo del circuito de motores donde están conectadas las cargas pesadas y multiplicadas por el factor de simultaneidad.

*Tabla 8 Consumo del circuito de motores*

<b>Circuito de motores</b>						
<b>C.</b>	<b>Aparato Eléctrico</b>	<b>Pot. de equipos (W)</b>	<b>Pot. Inst. (W)</b>	<b>Horas de uso (h)</b>	<b>Días de uso</b>	<b>Carga diaria (Wh)</b>
1	Cepilladora	2238	2238	0,5	1	159,857
1	Compresor	1492	1492	0,5	1	106,571
1	Fresa de mano	2200	2200	0,5	1	157,143
1	Moladora	2200	2200	0,5	1	157,143
1	M. de lijadora	746	746	0,833	2	177,548
1	M. de sierra	3700	3700	0,833	2	880,600
1	M. de sierra c.	746	746	0,5	1	53,286
1	Rectificadora	373	373	0,5	1	26,643
1	Sierra circular	373	373	1	4	213
2	Taladros Dew.	710	1420	0,6	3	365
	<b>F. simultaneidad (1)</b>		<b>15488</b>			<b>2297,077</b>
	<b>Total</b>		<b>15488</b>			<b>2297,077</b>

*Fuente (Autor)*

El consumo total se lo explica en la **Tabla 9** Potencia total de la vivienda-taller de carpintería.

*Tabla 9 Potencia total de la vivienda-taller de carpintería*

<b>Potencia total de la vivienda-taller de carpintería</b>		
<b>Circuito</b>	<b>Potencia instantánea (W)</b>	<b>Carga diaria (Wh)</b>
Iluminación	77,7	90,15
Tomacorrientes	3181,5	1832,3
Motores	15488	2297,077
<b>Total</b>	<b>18747,2</b>	<b>4219,577</b>

*Fuente (Autor)*

Por lo tanto, el consumo que va a cubrir el SFCR es de **4,219kWh/día**.

## 6.7 Dimensionamiento del generador.

Para el dimensionamiento se calculó por medio de la **Ecuación 4**

$$G_{mp,min} = \frac{4,219 \frac{kwh}{día} * 1 \frac{kW}{m^2}}{3,436 kwh * 0,7}$$

$$G_{mp,min} = 1,754 kW$$

$$G_{mp,min} = 1754,356 W$$

Donde:

$$G_{CEM} = 1 kW/m^2$$

$E_D$  = Consumo expresado en kWh/ día (Ver Tabla 9 Potencia total de la vivienda-taller de carpintería)

$PR$  = Performance ratio (Ver Tabla 3 Valores de PR de acuerdo al sistema.)

### 6.8 Calcular la energía máxima diaria total.

Con la **Ecuación 6** se calculó la energía máxima diaria.

$$E_{m\acute{a}x} = 1,754 \text{ kW} * 1,2$$

$$E_{m\acute{a}x} = 2,105 \text{ kW}$$

Donde:

$f_s$  = Factor de seguridad.

### 6.9 Dimensionamiento.

Para el dimensionamiento del SFCR se deben calcular los equipos que estarán recibiendo energía para la vivienda. Lo primero que se hizo es seleccionar el módulo solar, donde lo más importante para la selección es la potencia entregada y la eficiencia del módulo.

Para este apartado se eligió un módulo Tiger pro 54HC de 415 W, con una eficiencia del 21,25% como se explica en la **Figura (17)**

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM395M-54HL4		JKM400M-54HL4		JKM405M-54HL4		JKM410M-54HL4		JKM415M-54HL4	
	JKM395M-54HL4-V	JKM400M-54HL4-V	JKM405M-54HL4-V	JKM410M-54HL4-V	JKM415M-54HL4-V	STC	NOCT	STC	NOCT	
Maximum Power (Pmax)	395Wp	294Wp	400Wp	298Wp	405Wp	301Wp	410Wp	305Wp	415Wp	309Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	30.32V	28.26V	30.42V	28.42V	30.52V	28.56V	30.62V	28.72V	30.79V	28.88V
Maximum Power Current (Imp)	13.03A	10.40A	13.15A	10.47A	13.27A	10.55A	13.39A	10.62A	13.48A	10.69A
Open-circuit Voltage (Voc)	36.90V	34.83V	36.98V	34.90V	37.06V	34.98V	37.14V	35.05V	37.31V	35.21V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.78A	11.13A	13.85A	11.19A	13.92A	11.24A	14.01A	11.32A
Module Efficiency STC (%)	20.23%		20.48%		20.74%		21.00%		21.25%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

Figura 17 Características generales del módulo.

Fuente (RENOVA Energía, 2023)

En la **Figura 18** se muestra las características térmicas del módulo.



## Electrical Performance & Temperature Dependence

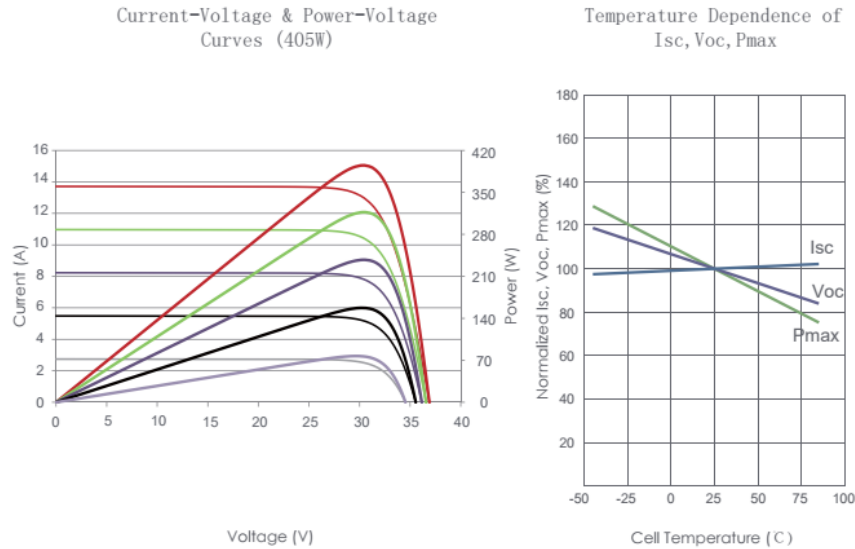


Figura 18 Característica de temperatura y curva IV del módulo.

Fuente (RENOVA Energía, 2023).

### 6.9.1 Módulos fotovoltaicos.

Para saber el número de módulos que se han usado para cubrir el consumo máximo de la vivienda-taller de carpintería es mediante la **Ecuación 7**.

$$N_m = \frac{2\,105\text{ W}}{415\text{ W}}$$

$$N_m = 5,072 \approx 6$$

#### 6.9.1.1 Cálculo de números de serie máximo.

Se calculó en base a la **Ecuación 8**.

$$V_{oc}(T_a) = \left[ 1 + \frac{(10,6 - 25) * (-0,28)}{100} \right] * 37,31\text{ V}$$

$$V_{oc}(T_a) = 38,814\text{ V}$$

Remplazando valores en la **Ecuación 9**

$$M_{s_{m\acute{a}x}} = \frac{600\text{ V}}{38,814\text{ V}}$$

$$M_{s_{m\acute{a}x}} = 15,458 \approx 15$$

#### 6.9.1.2 Cálculo de números de serie mínimo.

Para calcular la serie mínimo del SFCR se trabaja con la **Ecuación 10**.

$$T_c = 25 + 1,25(45 - 20)$$

$$T_c = 56,25^\circ\text{C}$$

Para la corrección de voltaje por temperatura se usó la **Ecuación 11**.

$$V_{mpp}(Tc) = \left[ 1 + \frac{(56,25 - 25) * (-0,35)}{100} \right] * 30,79 V$$

$$V_{mpp}(Tc) = 27,422 V$$

El valor de serie mínimo se lo calculó con la Ecuación 12.

$$Ms_{min} = \frac{180 V}{27,422 V}$$

$$Ms_{min} = 6,563 \approx 6$$

### 6.9.2 Cálculo de números en paralelo.

Para calcular el ramal paralelo del SFCR se calculó con la Ecuación 13.

$$M_p = \frac{18 A}{14,01 A}$$

$$M_p = 1,285 \approx 1$$

### 6.9.3 Potencia máxima del SFCR.

Se calculó con la Ecuación 14:

$$P_{m\acute{a}x} = 6 * 415 W$$

$$P_{m\acute{a}x} = 2490 W$$

### 6.9.4 Selección del inversor.

Para la selección del inversor se trabajó en base a la potencia máxima del arreglo fotovoltaico de los módulos como se lo explica en la Figura (19).

Technical data and types (preliminary)					
Type code	UNO-2.0-TL-OUTD-S-US-A			UNO-3.0-TL-OUTD-S-US-A	
<b>General Specifications</b>					
Nominal Output Power	2000W			3000W	
Maximum output power	2000W			3000W	
Rated grid AC voltage	208V	240V	240V	208V	240V
<b>Input side (DC)</b>					
Number of independent MPPT channels	1			1	
Maximum usable power for each channel	2200W			3200W	
Absolute maximum voltage (Vmax)	600V			600V	
Start-up voltage (Vstart)	150V (Adj. 100-300V)			150V (Adj. 100-300V)	
Full power MPPT voltage range	180-500V			180-500V	
Operating MPPT voltage range	12,5A			0,7*Vstart - 580V (≥ 80V)	
Maximum current (Idc,max)	12,5A			16A	
Maximum short circuit current per channel	15A			22A	
Number of wire landing terminals	2 pairs, capable of connecting two parallel strings.				
Array wiring termination	Terminal block, pressure clamp, AWG20-6				
<b>Output side (AC)</b>					
Grid connection type	1Ø/2W	Split-Ø/3W		1Ø/2W	Split-Ø/3W
Adjustable voltage range (Vmin-Vmax)	183-228V	211-264V		183-228V	211-264V
Grid frequency	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz	60Hz
Adjustable grid frequency range	53-65Hz		53-65Hz		53-65Hz
Maximum current (Iec,max)	10A	9A		15A	13A
Power factor	>0.995, adj. ±0.8 at 2000VA			>0.995, adj. ±0.8 at 3000VA	
Total harmonic distortion at rated power	<3%				
Contributory fault current	17,4A			17,4A	
Grid wiring termination type	Terminal block, pressure clamp, AWG20-4				
<b>Input protections</b>					
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source				
Over-voltage protection type	Varistor				
PV array ground fault detection	Pre start-up RISO and dynamic GFDI				
<b>Output protections</b>					
Anti-islanding protection	Meets UL1741 / IEEE1547 requirements				
Over-voltage protection type	Varistor				
Maximum AC OCPD rating	15A			20A	
<b>Efficiency</b>					
Maximum efficiency	97.3%				
CEC efficiency	96.5%				
<b>Operating performance</b>					
Stand-by consumption	10W				
Nighttime consumption	< 0.1W				
<b>Communication</b>					
User-interface	16 characters x 2 lines LCD display				
Remote monitoring	(1xRS485 incl.) VSN700 Data Logger (opt.), VSN300 Wifi Logger Card (opt.)				

2 ABB solar inverters | Product flyer for UNO-2.0/3.0-TL-OUTD

Figura 19 Características técnicas del inversor.

Fuente (RENOVA Energía, 2023)

Por lo tanto, se eligió 1 inversor de 3 kW para cubrir la potencia de la vivienda.

### 6.9.5 Selección del calibre de conductor para corriente continua.

#### 6.9.5.1 Voltaje de los conductores en CC.

Para el cálculo del voltaje que va a recibir los conductores se calcula por medio de la **Ecuación 15** ya que al ser un arreglo de módulos en serie la corriente de salida es la corriente de máxima potencia

$$V_{cc} = \frac{2\,490\text{ W}}{14,01\text{ A}}$$

$$V_{cc} = 177,730\text{ V}$$

#### 6.9.5.2 Caída de tensión y selección de conductores en CC.

Con la corriente de los conductores calculada se va a determinar la caída de tensión en los conductores en el tramo de los módulos hacia en regulador Se calculó con la **Ecuación 16**:

$$\Delta V_{cc} = \frac{2 * 0,01786\Omega \cdot m * 5 * 14,01\text{ A}}{5,26\text{ mm}^2}$$

$$\Delta V_{cc} = 0,475\text{ V}$$

Se eligió un conductor #10 THHN-AWG obteniendo una caída de tensión menor a la del 3% como lo recomienda la EERSA y como se lo explica en la **Ecuación 17**.

$$\% \Delta V_{cc} = \frac{0,475\text{ V}}{24\text{ V}} * 100\%$$

$$\% \Delta V_{cc} = 1,982\%$$

En la **Tabla 10** Cables y protecciones del SFCR.

Tabla 10 Cables y protecciones del SFCR.

Selección de las protecciones y los conductores				
Ítem	Descripción	Símbolo	Cant.	Und.
1	Salida de Módulos FV a Inversor			
	Intensidad: Im-i= Isc módulo	Im-i	14,01	A
	Cable cobre encauchado aislado de 600V - 75°		2xN°10	THHN-AWG
	Interruptor termomagnético 2P-15 A en DC		2x15x2uni.	A

Fuente (Autor).

### 6.9.6 Diagrama Unifilar

En el siguiente diagrama unifilar de conexión se expone los diferentes elementos y su respectiva configuración dentro del SFCR.

Los 6 módulos fotovoltaicos están conectados en serie, luego de esto se conectará a 1 inversor para satisfacer la carga, finalmente al medidor bidireccional, a la red pública

de baja tensión y a las cajas de distribución de la vivienda y del taller de carpintería como se explica en la **Figura (20)**.

El diagrama unifilar se adjunta en el Anexo 4

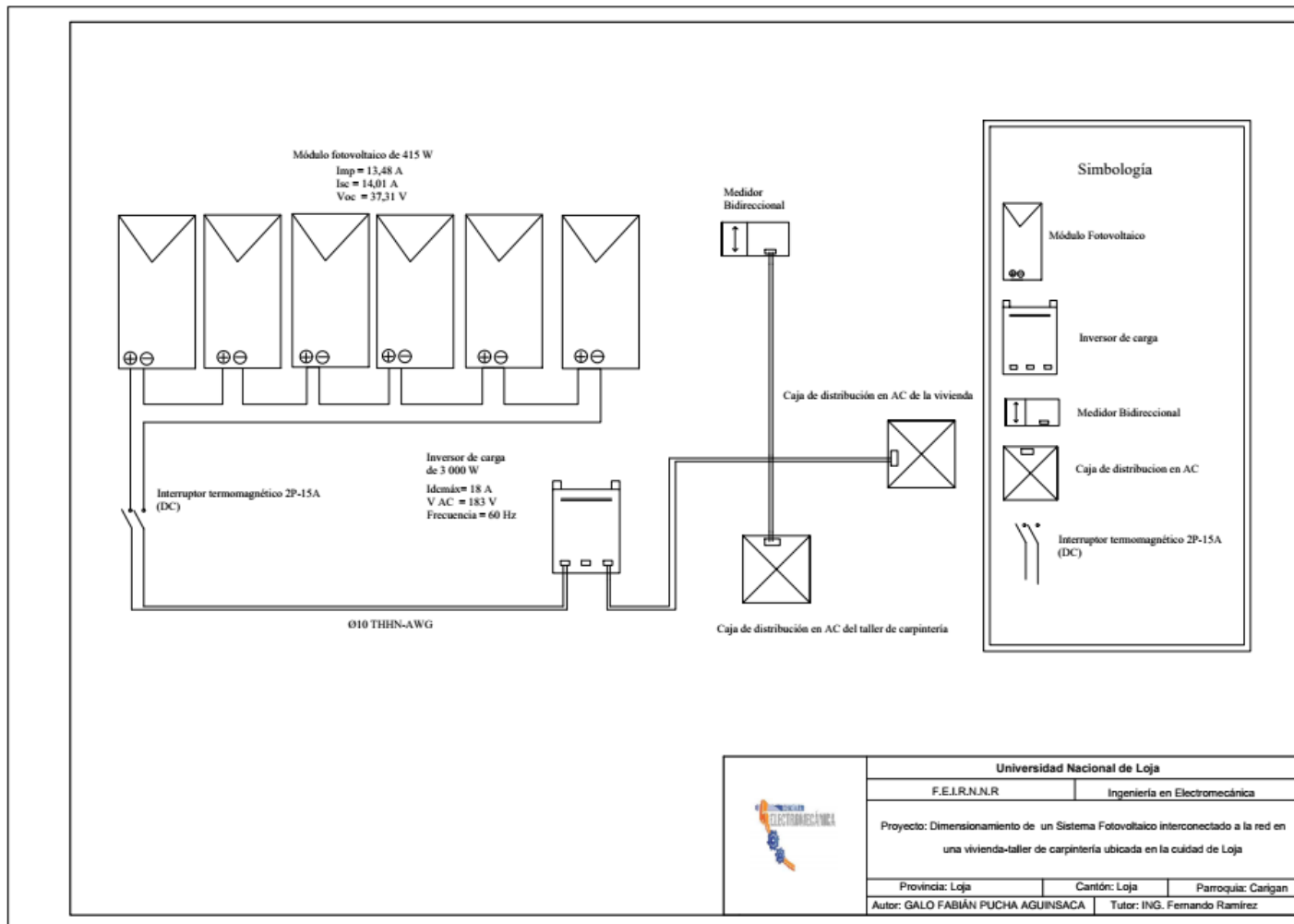


Figura 20 Diagrama Unifilar del SFCR.

Fuente (Autor).

### 6.9.7 Análisis económico.

Para saber si el proyecto diseñado será rentable se ha tomado en cuenta el costo que tendría cada uno de elementos que componen el SFCR, el costo de mantenimiento, costo de la energía mensual (kWh/mes) y el consumo mensual de la vivienda.

Tabla 11 Presupuesto del SFCR.

<b>Presupuesto del SFA</b>			
<b>Cant.</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo unit.</b>	<b>Costo total.</b>
6	Módulo Fotovoltaico Tiger Pro 54HC (415 W)	\$ 128,85	\$ 773,1
1	Inversor ABB UNO 3.0 TL-OUTD	\$ 395,28	\$ 395,28
1	Medidor Fronius Smart meter TS 65A-3	\$ 175,8	\$175,8
	Estructura para montaje de los módulos	\$150	\$150
1	Rollo de cable N°10 THHN	\$ 35,27	\$ 35,27
2	Interrupor termomagnético en DC	\$ 19,07	\$ 38,14
	Gastos no previstos	\$ 50	\$ 50
<b>Total</b>			<b>\$1 617,59</b>

Fuente (Autor).

Inicialmente se ha invertido al implementar el SFCR la cantidad de **\$1 617,59** y se espera recuperar dicho monto en un plazo de 25 años, ya que es el tiempo donde el SFCR va a estar en funcionamiento, además de vida útil que tiene el sistema para su renovación de equipos y también es el tiempo en que el usuario redujo el consumo eléctrico de la vivienda-taller de carpintería. En este lapso de tiempo se tiene previsto realizar cuatro mantenimientos cada cinco años a los equipos del SFCR ya sea por limpieza o cambio de alguna pieza en mal estado.

Tabla 12 Presupuesto del mantenimiento preventivo.

<b>Presupuesto aproximado del mantenimiento preventivo</b>			
<b>Año Mant.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unit.</b>	<b>Costo Total</b>
<b>5</b>	Mantenimiento preventivo de los equipos	\$ 100	\$ 100
<b>10</b>	Mantenimiento preventivo de los equipos	\$ 100	\$ 100
<b>15</b>	Mantenimiento preventivo de los equipos	\$ 100	\$ 100
<b>20</b>	Mantenimiento preventivo de los equipos	\$ 100	\$ 100
<b>Total</b>			<b>\$ 400</b>

Fuente (Autor).

Teniendo el presupuesto de los mantenimientos preventivos del SFCR se sabe que la inversión final a recuperar es de **\$ 2 017,59**.

Adicional a esto se suma la cantidad de dinero que se invirtió en los arrancadores suaves para los 3 motores que se considera de carga más elevada con un total de \$355,68 adicionales para dar un total de **\$ 2 373,27**

Se ha calculado la generación mensual que va a tener el SFCR

Tabla 13 Generación Mensual del SFCR.

<b>Generación Mensual del SFCR</b>		
<b>Mes</b>	<b>Días</b>	<b>kWh/mes</b>
Enero	31	89,9
Febrero	28	81,2
Marzo	31	89,9
Abril	30	87
Mayo	31	89,9
Junio	30	87
Julio	31	89,9
Agosto	31	89,9
Septiembre	30	87
Octubre	31	89,9
Noviembre	30	87
Diciembre	31	89,9
<b>Total</b>		<b>1058,5</b>

Fuente (Autor).

### **Pérdida de eficiencia.**

Según (Romero Marquez, 2020). A partir de la producción anual del SFCR, se ha considerado el factor de pérdida de eficiencia durante el tiempo de funcionamiento del mismo, este valor fue de 0,90% anual.

Tabla 14 Pérdida de eficiencia anual del sistema fotovoltaico.

<b>Pérdida de eficiencia anual del sistema fotovoltaico.</b>		
<b>Año</b>	<b>Pérdida de eficiencia</b>	<b>Producción anual de SFCR (kWh/año)</b>
<b>1</b>		1058,5
<b>2</b>	0,90%	1048,973
<b>3</b>	0,90%	1039,446
<b>4</b>	0,90%	1029,919
<b>5</b>	0,90%	1020,392
<b>6</b>	0,90%	1010,865
<b>7</b>	0,90%	1001,338
<b>8</b>	0,90%	991,811
<b>9</b>	0,90%	982,284
<b>10</b>	0,90%	972,757
<b>11</b>	0,90%	963,23
<b>12</b>	0,90%	953,703
<b>13</b>	0,90%	944,176
<b>14</b>	0,90%	934,649
<b>15</b>	0,90%	925,122
<b>16</b>	0,90%	915,595
<b>17</b>	0,90%	906,068
<b>18</b>	0,90%	896,541
<b>19</b>	0,90%	887,014
<b>20</b>	0,90%	877,487
<b>21</b>	0,90%	867,96

22	0,90%	858,433
23	0,90%	848,906
24	0,90%	839,379
25	0,90%	829,852

Fuente (Autor).

### Producción anual del SFCR tomando en cuenta la pérdida de eficiencia anual

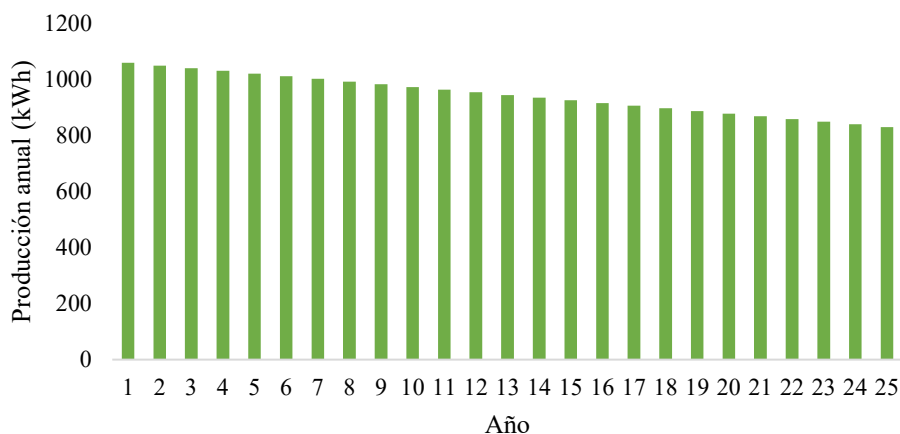


Figura 21 Producción anual del SFCR tomando en cuenta la pérdida de eficiencia anual.

Fuente (Autor).

### Aumento del consumo anual.

Se ha aplicado el factor de aumento de consumo anual del 1% (expansión energética) durante el periodo de los 25 años de funcionamiento del SFCR (Romero Marquez, 2020)

Tabla 15 Aumento del consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería.

Aumento del consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería.		
Año	Aumento de consumo anual	Consumo anual de la vivienda-taller de carpintería (kWh/año)
1		1530
2	1%	1545,3
3	1%	1560,6
4	1%	1575,9
5	1%	1591,2
6	1%	1606,5
7	1%	1621,8
8	1%	1637,1
9	1%	1652,4
10	1%	1667,7
11	1%	1683
12	1%	1698,3
13	1%	1713,6
14	1%	1728,9
15	1%	1744,2
16	1%	1759,5



17	1%	1774,8
18	1%	1790,1
19	1%	1805,4
20	1%	1820,7
21	1%	1836
22	1%	1851,3
23	1%	1866,6
24	1%	1881,9
25	1%	1897,2

Fuente (Autor).

### Aumento del consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería.

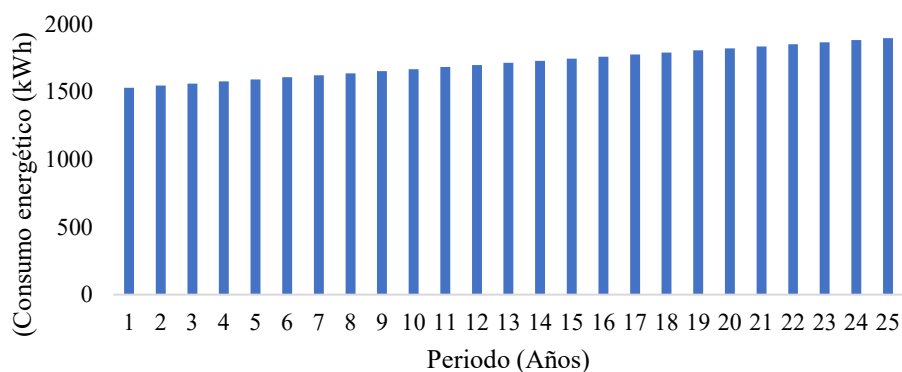


Figura 22 Aumento del consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería.

Fuente (Autor).

### Tasa anual de inflación de la energía.

Obtenido el consumo energético anual, se aplica la tasa de inflación de energía (1%) a lo largo del periodo del funcionamiento del SFCR.

Tabla 16 Tasa anual de inflación de la energía

Tasa anual de inflación de la energía			
Año	Consumo al año kWh/año	Inflación anual	Consumo anual de la vivienda-taller de carpintería
1	1530		139,28
2	1545,3	1%	140,67
3	1560,6	1%	142,07
4	1575,9	1%	143,45
5	1591,2	1%	144,85
6	1606,5	1%	146,24
7	1621,8	1%	147,63
8	1637,1	1%	149,03
9	1652,4	1%	150,42
10	1667,7	1%	151,81
11	1683	1%	153,20

12	1698,3	1%	154,60
13	1713,6	1%	155,99
14	1728,9	1%	157,38
15	1744,2	1%	158,77
16	1759,5	1%	160,17
17	1774,8	1%	161,56
18	1790,1	1%	162,95
19	1805,4	1%	164,35
20	1820,7	1%	165,74
21	1836	1%	167,13
22	1851,3	1%	168,52
23	1866,6	1%	169,92
24	1881,9	1%	171,31
25	1897,2	1%	172,70

Fuente (Autor).

### Tasa anual de inflación de la energía

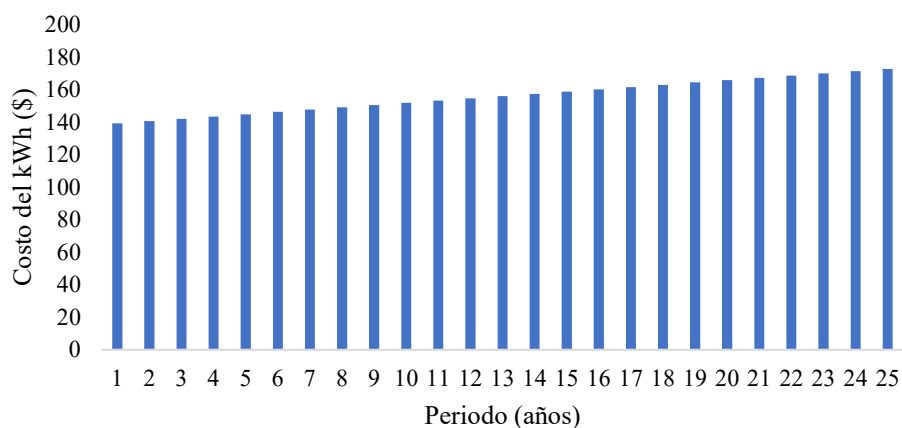


Figura 23 Tasa anual de inflación de la energía.

Fuente (Autor.)

Ahora se proyectó y se comparó el consumo energético anual que va a tener la vivienda-taller de carpintería antes y después de la implementación del SFCR a lo largo de los 25 años.

Tabla 17 Consumo energético anual de la vivienda-taller de carpintería con el SFCR en funcionamiento.

<b>Consumo energético anual con el SFCR en funcionamiento</b>				
<b>Año</b>	<b>Consumo al año kWh/año</b>	<b>SFCR kWh/año</b>	<b>Consumo con el SFCR en funcionamiento</b>	<b>% de reducción de consumo</b>
1	1530	1058,5	471,5	69
2	1545,3	1048,973	496,327	68
3	1560,6	1039,446	521,154	67
4	1575,9	1029,919	545,981	65
5	1591,2	1020,392	570,808	64
6	1606,5	1010,865	595,635	63
7	1621,8	1001,338	620,462	62

8	1637,1	991,811	645,289	61
9	1652,4	982,284	670,116	59
10	1667,7	972,757	694,943	58
11	1683	963,23	719,77	57
12	1698,3	953,703	744,597	56
13	1713,6	944,176	769,424	55
14	1728,9	934,649	794,251	54
15	1744,2	925,122	819,078	53
16	1759,5	915,595	843,905	52
17	1774,8	906,068	868,732	51
18	1790,1	896,541	893,559	50
19	1805,4	887,014	918,386	49
20	1820,7	877,487	943,213	48
21	1836	867,96	968,04	47
22	1851,3	858,433	992,867	46
23	1866,6	848,906	1017,694	45
24	1881,9	839,379	1042,521	45
25	1897,2	829,852	1067,348	44

Fuente (Autor).

El SFCR logrará reducir en el primer año un 69% y al finalizar su vida útil (año 25) un 44% del consumo energético de la vivienda-taller de carpintería.

Según la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), mediante **resolución ARCERNNR-009/2022** del 14 de abril, ha determinado que la tarifa nacional promedio del servicio eléctrico se mantenga en **9,2 centavos de dólar por cada Kilovatio-hora (¢USD/kWh)**.

Si comparamos lo que se cancelaba a la EERSA antes de la implementación del SFCR y después de la implementación vemos que el ahorro monetario es importante.

Tabla 18 Ahorro económico anual de la vivienda-taller de carpintería.

<b>Ahorro económico anual de la vivienda-taller de carpintería.</b>			
<b>Año</b>	<b>Antes del SFCR (\$)</b>	<b>Con el SFCR (\$)</b>	<b>Nuevo valor de facturación (\$)</b>
1	139,28	43,38	95,9
2	140,67	45,66	95,01
3	142,07	47,95	94,12
4	143,45	50,23	93,23
5	144,85	52,51	92,34
6	146,24	54,80	91,45
7	147,63	57,08	90,55
8	149,03	59,37	89,66
9	150,42	61,65	88,77
10	151,81	63,93	87,88
11	153,20	66,22	86,99
12	154,60	68,50	86,10
13	155,99	70,79	85,21
14	157,38	73,07	84,32

15	158,77	75,36	83,42
16	160,17	77,64	82,53
17	161,56	79,92	81,64
18	162,95	82,21	80,75
19	164,35	84,49	79,86
20	165,74	86,78	78,97
21	167,13	89,06	78,08
22	168,52	91,34	77,19
23	169,92	93,63	76,29
24	171,31	95,91	75,40
25	172,70	98,20	74,51
<b>Total</b>			<b>2130,16</b>

*Fuente (Autor).*

Una vez calculada la producción anual a lo largo de los 25 años de servicio del SFCR y calculado el ahorro económico que obtuvo la vivienda-taller de carpintería en dicho periodo de tiempo se declara que NO ES RENTABLE la implementación puesto que el valor de ahorro es menor.

Cabe mencionar que en esta modalidad de autoconsumo bajo la regulación ARCONEL 003/18 no existe ningún tipo de comercialización monetaria entre la empresa distribuidora y el usuario, por lo que el retorno de la inversión está sujeto directamente al ahorro económico debido al consumo energético de la red.

## 7. Discusión

En el presente trabajo de titulación se logró diseñar un SFCR para una vivienda-taller de carpintería en la ciudad de Loja, transformando el consumo convencional de energía eléctrica en generación y autoconsumo por medio de la radiación solar y los módulos fotovoltaicos.

El SFCR se diseñó para las siguientes características: un consumo diario de 4 219,577 kWh/día, distribuido de la siguiente manera: Circuito de iluminación, circuito de tomacorrientes y el circuito de motores, este diseño se basó en observaciones de sistemas fotovoltaicos que cumplan similares características y un tiempo estimado de trabajo de 25 años con intervalos de mantenimiento preventivo de 5 años cada uno, el autoconsumo será diario además de trabajar con 1 inversor que tiene una salida en un rango de 211 a 267 V en AC.

A través de la metodología utilizada se compiló información sobre SFCR y sus componentes como los módulos fotovoltaicos y sus características de trabajo, su orientación e inclinación óptima y finalmente el inversor junto con sus características técnicas en donde se pudo diferenciar procesos de cálculo de los equipos además de sus diferentes configuraciones y parámetros.

Los módulos fotovoltaicos fueron calculados y seleccionados de acuerdo a la demanda de la vivienda y la radiación existente en el sector, además se configuró en serie de tal manera que los módulos se encuentren dentro de los parámetros nominales tanto de intensidad de corriente como de voltaje del inversor seleccionado.

Para el inversor que tiene una capacidad de 3000 W con salida de 211 a 267 V se calculó en base al arreglo fotovoltaico de los módulos, se les conectó los 6 módulos fotovoltaicos en serie para que los valores de voltaje e intensidad del sistema de módulos esté por debajo de los valores nominales.

Además, que el inversor trabaja en autoconsumo, es decir, que la energía viaja directamente de los módulos fotovoltaicos al inversor y transforma la energía directamente para que el SFCR provea la energía necesaria.

La implementación del SFCR es factible ya que todos los componentes los encontramos en el mercado local, y su instalación será hecha por el diseñador teniendo una inversión total de \$1 617,59 agregando a este los costos de mantenimiento que va a tener cada 5 años con un valor aproximado de mantenimiento preventivo en los 25 años de vida útil de \$ 400 con lo que se calcula un costo de \$2 017,59 y sumando el costo que va a tener la implementación de los arrancadores suaves de los motores de mayor carga del taller de carpintería para suavizar los picos de corriente de arranque da un total de \$2373,27. Sin embargo, si comparamos con los costos de consumo de energía eléctrica anual de \$ 139,28 y posterior a la puesta en marcha del

SFCR de \$ 43,38 en su primer año de funcionamiento obteniendo un ahorro anual de \$ 95,9 y al terminar el periodo de 25 años el ahorro será \$74,51 se calcula un valor de ahorro de \$ 2 130,16. Lo que hace que la instalación del SFCR no sea rentable.

## 8. Conclusiones

- Mediante consultas bibliográficas de internet tales como: Repositorio bibliográfico, catálogos, artículos, guías, tesis, informes, libros y videos, se logra discernir todo lo relevante para diseñar un SFCR que satisfaga la demanda diaria de una vivienda-taller de carpintería, la metodología para realizar los cálculos, partiendo de las variables reconocidas como la cantidad de radiación en el sector y la consumo diario en la vivienda que luego permitieron realizar todos los cálculos y analizar todos los componentes que conforman el sistema.
- Se realiza un listado de los equipos eléctricos de la vivienda-taller de carpintería, se tabula el tiempo de uso de cada uno de ellos y se concluye que el consumo mensual más elevado es el mes de enero con un total de 153 kWh y el mes de menor consumo es mes de septiembre con un total consumido 99 kWh, este consumo se divide en los circuitos de iluminación, tomacorrientes y circuito de motores teniendo el mayor consumo en horas del día, ya que es donde el taller de carpintería funciona y el consumo de la vivienda es muy reducido.
- El diseño del SFCR mediante los criterios de radiación solar en el sector y el consumo diario de la vivienda-taller de carpintería, se pudo conocer que se necesita de 6 módulos fotovoltaicos generando una potencia total de 2,490 kW además de un inversor de 3 kW de potencia con una tensión de salida en AC de 211 a 267 V para generar dicha cantidad de energía y distribuirla de acuerdo a la demanda de cada instante.

Al conocer que el costo final del SFCR es de \$2373,27 con un periodo de servicio de 25 años con cuatro mantenimientos programados y 3 arrancadores suaves para los motores para amortiguar la corriente de arranque, ante los \$ 2 130,16 que se deja de pagar en las planillas mensuales por energía eléctrica consumida se concluye que el SFCR NO es rentable puesto que el costo de implementación supera al de ahorro energético de la vivienda taller de carpintería.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda trabajar con más de un banco de datos para la recopilación de datos de radiación y de meteorología, para tener mayor información del lugar donde se podría instalar un SFCR.
- Se recomienda para futuros proyectos tener en cuenta otros parámetros en el diseño del SFCR tales como un seguidor solar para mejorar la captación de radiación solar por medio de los módulos fotovoltaicos con el objetivo de que el módulo esté la mayor parte del día perpendicular al sol, además del análisis energético que conlleva dicha implementación.
- Para el sector en donde se quiera instalar un SFCR se recomienda realizar un estudio de trayectoria solar ya que este proporcionará información más concreta si el sistema es viable ya que al estar en un entorno urbano las edificaciones cercanas ocasionan sombra y los módulos no podrán trabajar de manera eficiente y con eso pérdida de potencia en el Sistema fotovoltaico.



## 10. Bibliografía

Efimarket. (s.f.). *El blog de Efimarket.com*. Obtenido de <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/>

Abella, M. (2016). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos*. Madrid: CIEMAT Centro de investigación de energía .

Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables. (5 de Abril de 2021). Obtenido de [https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/resolucion\\_nro.\\_arcernnr-013-2021ed.pdf](https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/resolucion_nro._arcernnr-013-2021ed.pdf)

Alonso, J. (2015). *SUNFIELDS Europe*. Obtenido de SUNFIELDS Europe: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/>

Anónimo. (s.f.). *Circuito de tomacorrientes de una vivienda*.

AREA TECNOLÓGICA. (s.f.). Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/circuitos-electricos.html>

Arenas, D., & Hodman, Z. (2011). *LIBRO INTERACTIVO SOBRE ENERGIA SOLAR Y SUS APLICACIONES*. Pereira.

Auto Solar. (s.f.). Obtenido de <https://autosolar.es/panel-solar-12-voltios/panel-solar-180w-12v-monocristalino-era>

cleanenergysolar. (s.f.). Obtenido de [www.clearenergysolar.com](http://www.clearenergysolar.com)

Diaz, N. G. (28 de Octubre de 2020). Obtenido de Academia: [https://www.academia.edu/11821375/ART%C3%8DCULO\\_690\\_SISTEMAS\\_SOLARES\\_FOTOVOLTAICOS](https://www.academia.edu/11821375/ART%C3%8DCULO_690_SISTEMAS_SOLARES_FOTOVOLTAICOS)

ECO GREEN ENERGY. (2022). Obtenido de [www.eco-greenenergy.com](http://www.eco-greenenergy.com)

Electrocables . (2023). Obtenido de [www.electrocable.com](http://www.electrocable.com)

Energies, T. (14 de Abril de 2021). *Total Energies* . Obtenido de <https://www.totalenergies.es/es/consumo-energetico#:~:text=Como%20definici%C3%B3n%20b%C3%A1sica%2C%20el%20consumo,el%20proceso%20productivo%2C%20por%20ejemplo.>

Enriquez, Fernandez, & Gonzalez. (2007). *manual de diseños e instalaciones de FV*.

FIATC MF . (2022). *Seguro Hogar* . Obtenido de <https://www.segurohogar.com/casa-pasiva-hacia-consumo-energetico-cero/>

Francisco, V., Luis, U., Juan, E., & Garcia, M. (2015). *ENERGIAS RENOVABLES EN EL ECUADOR: Situación actual, tendencias y perspectivas*. Cuenca.

GAD Loja. (2022). Obtenido de <https://www.loja.gob.ec/contenido/loja>

Geo Enciclopedia. (s.f.). Obtenido de <https://www.geoenciclopedia.com/coordenadas-geograficas/>

Gobierno de España. (2019). *Código técnico de la edificación*. Obtenido de <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/parte1.html>

González, R. (2003).

Grupo Villamir. (2022). *Enérgya. VM*. Obtenido de <https://www.energyavm.es/question-los-paneles-solares-monocristalinos-y-policristalinos/>

Hilcu, M. (s.f.). *Otovo*. Obtenido de Otovo: <https://www.otovo.es/blog/placas-solares/placas-solares-monocristalinas/>

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (s.f.). Obtenido de IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta>

IIGE, I. d. (2019). *Balance Energético Nacional 2019*. Quito.

Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2019). *Instituto de Investigación Geológico y Energético*. Obtenido de <https://www.geoenergia.gob.ec/consumo-electrico-por-habitante-continua-creciendo-en-ecuador/>

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2009). *Pliego de Condiciones Técnicas de instalaciones Aisladas de Red*. Madrid: C/ Madera, 8.

José, L. (2006). *Energía Solar Térmica*. Madrid : Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. IDAE.

KeeUI Solar. (2023). Obtenido de <https://keeui.com/2021/11/19/que-es-un-medidor-bidireccional/>

Medina Cruz, J. (2022). *Aprender Institute*. Obtenido de <https://aprende.com/blog/oficios/instalaciones-electricas/como-funciona-un-circuito-electrico/#:~:text=Un%20circuito%20el%C3%A9ctrico%20es%20la,da%20la%20posibilidad%20de%20controlarla.>

Mena, Ortiz, & Macias. (2013). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en el nuevo campus de la escuela politécnica del ejército extensión Latacunga*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Ministerio de Industria, E. y. (2014). *Energía Solar*. Obtenido de <https://www.energiasolar.gub.uy/index.php/investigacion-e-innovacion/recurso-solar/ano-meteorologico-tipico#:~:text=Un%20AMT%20es%20una%20serie,en%20general%2C%20de%20largo%20plazo.>

MR WATT SRL. (2022). *MR WATT Make your own energy*. Obtenido de <https://www.mrwatt.eu/es/content/come-funziona-una-cella-solare>

National Geographic. (15 de diciembre de 2019). *National Geographic*. Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>

Orellana, & Delgado. (2015). *Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8428>

Pedro. (s.f.). *Energía Solar Térmica*. Obtenido de Paper Blog: <https://es.paperblog.com/energia-solar-termica-1002919/>

Plena Energía . (17 de Noviembre de 2017). *Plena Energía* . Obtenido de <https://www.plena-energia.com/post/paneles-solares-monocristalinos-policristalinos>

POWER | Data Access Viewer. (s.f.). Obtenido de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

RENOVA Energía. (2023). *Renovaenergía S.A.®*. Obtenido de <https://www.renova-energia.com/productos/jinko-solar-tiger-neo-n-type-jkm560n-72hl4-v/>

Repsol Global. (2022). *Repsol*. Obtenido de [https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/energia-solar/index.cshhtml#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20es%20aquella,generar%20electricidad%20\(sistema%20fotovoltaico\).](https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/energia-solar/index.cshhtml#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20es%20aquella,generar%20electricidad%20(sistema%20fotovoltaico).)

Rodriguez, E. (s.f.). *Aerotecnologías* . Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

Rodriguez, L. (2004). *COMPONENTES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO*.

Romero Marquez, C. (2020). *DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS*. Loja.

Santos, A., Hernandez, Y., & Diaz, R. (2017). diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda. *VII Conferencia Internacional Ciencia y Tecnología por un desarrollo sostenible* , (págs. 1-5). Las Tunas .

Udemy. (2020). Obtenido de <https://www.udemy.com/course/energia-solar-fotovoltaica-completo-teorico-y-practico/>

UTPL. (24 de Junio de 2021). *noticiasutpl.edu.ec*. Obtenido de <https://noticias.utpl.edu.ec/utpl-unica-universidad-en-el-sur-del-ecuador-con-paneles-solares#:~:text=Actualmente%20la%20UTPL%20se%20ubica,la%20vida%20%C3%BAtil%20del%20sistema.>

Villegas Ochoa, R. L. (2020). *INSTALACIONES DE ALUMBRADO CONCEPTOS GENERALES*.

Wald, I. (2007). *solar radiation energy (fundamentals)*, *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* (Vol. 1).

## 11. Anexos

**Anexo 1.** Tabla de factor de corrección k para superficies inclinadas.

Latitud = 4°

Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.02	1.01	1	.99	.97	.97	.97	.98	1	1.02	1.03	1.03
10	1.04	1.02	1	.96	.94	.93	.94	.96	1	1.03	1.05	1.05
15	1.05	1.02	.98	.94	.9	.88	.9	.93	.98	1.03	1.06	1.07
20	1.06	1.02	.97	.9	.85	.83	.85	.9	.96	1.03	1.07	1.08
25	1.05	1.01	.94	.86	.8	.77	.8	.86	.94	1.02	1.07	1.08
30	1.05	.99	.91	.82	.74	.71	.74	.81	.91	1	1.06	1.07
35	1.03	.97	.87	.77	.68	.64	.67	.76	.87	.98	1.05	1.06
40	1.01	.94	.83	.71	.61	.57	.6	.7	.82	.95	1.03	1.04
45	.98	.9	.78	.65	.54	.5	.53	.64	.77	.91	1	1.02
50	.95	.86	.73	.59	.47	.42	.46	.57	.72	.87	.97	.99
55	.91	.81	.67	.52	.39	.34	.38	.5	.66	.82	.93	.95
60	.86	.76	.61	.45	.31	.25	.3	.43	.6	.76	.88	.91
65	.81	.71	.55	.37	.23	.17	.22	.35	.53	.7	.83	.86
70	.76	.65	.48	.3	.15	.12	.13	.27	.46	.64	.77	.81
75	.7	.58	.41	.22	.12	.11	.1	.19	.38	.57	.71	.75
80	.64	.52	.34	.14	.11	.1	.1	.11	.31	.5	.64	.69
85	.57	.45	.26	.12	.1	.09	.09	.09	.23	.43	.57	.62
90	.5	.37	.19	.11	.1	.09	.08	.08	.15	.35	.5	.55

Figura 24 Factor de corrección k para superficies inclinadas

Fuente (cleanenergysolar, s.f.)

## Anexo 2. Guía de estudio de sombra para el SFCR en SolariusPV

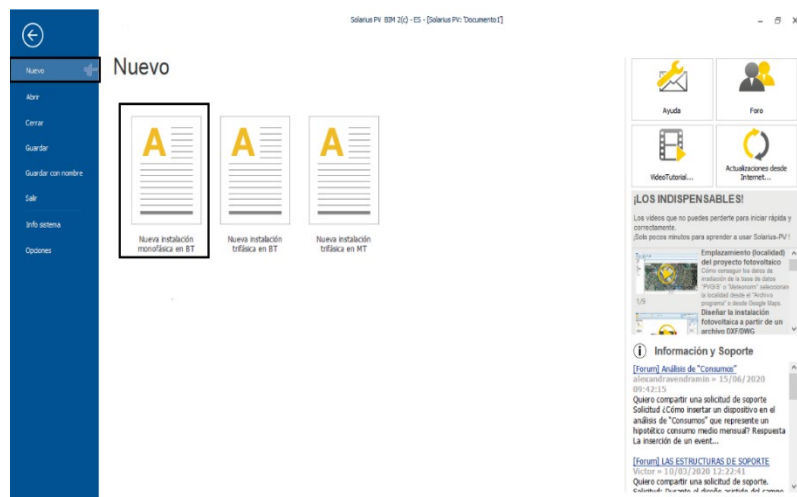
El estudio de sombra se lo realizó con el software SolariusPV, el cual es específico para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos.

Para la guía se siguen los siguientes pasos:

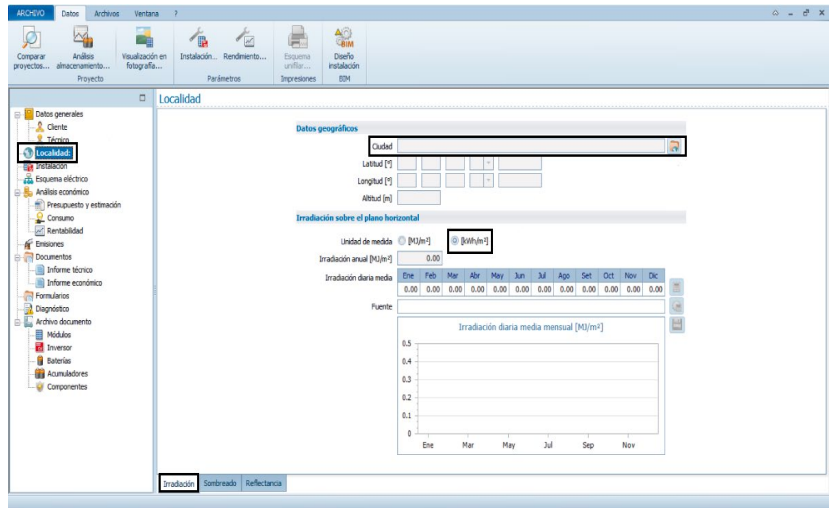
1. Para el primer paso se necesitó tener una fotografía panorámica de la ubicación de emplazamiento del SFCR, para identificar los obstáculos cercanos, como edificaciones, arboles, antenas, etc.



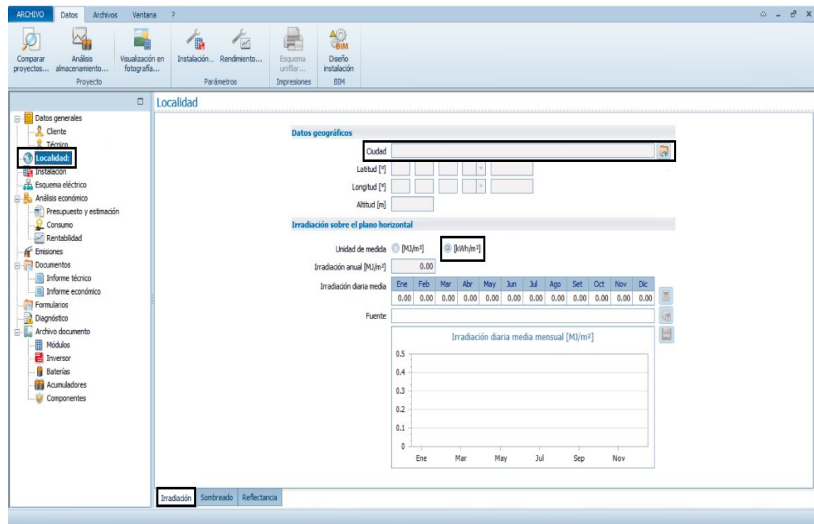
2. Dentro del entorno del software SolariusPV se procedió a crear un nuevo documento.



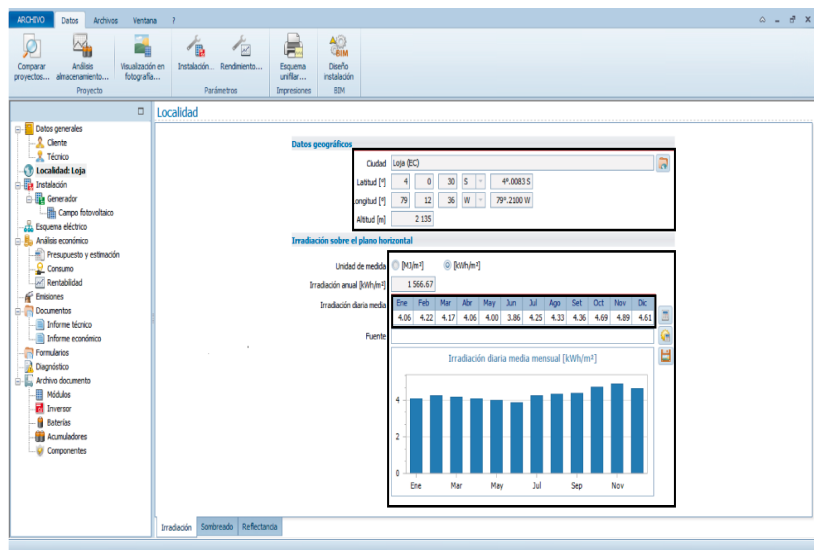
3. En este punto se selecciona la localidad, luego se trabaja con irradiación, luego se elige las unidades las unidades con las que se va a trabajar y se finaliza con elegir la ciudad en donde está el SFCR.



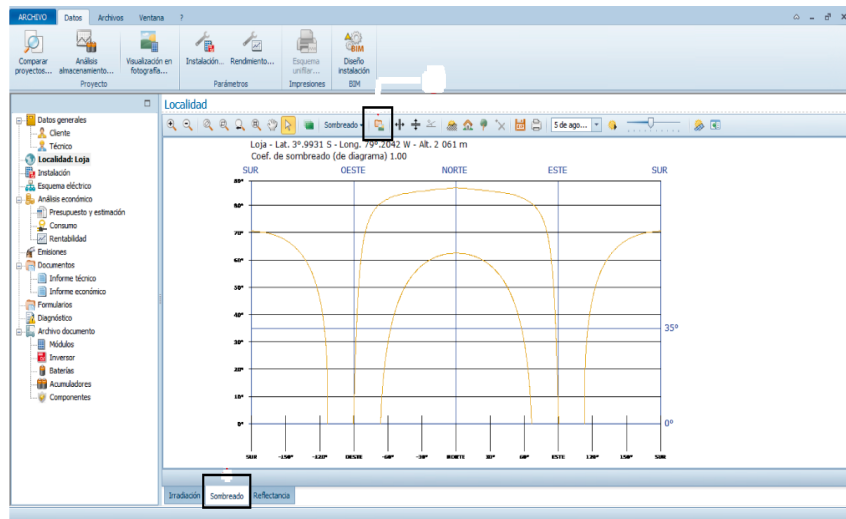
4. Se elige el país, luego la ubicación en este caso Loja, se elige las unidades de trabajo y se da en seleccionar.



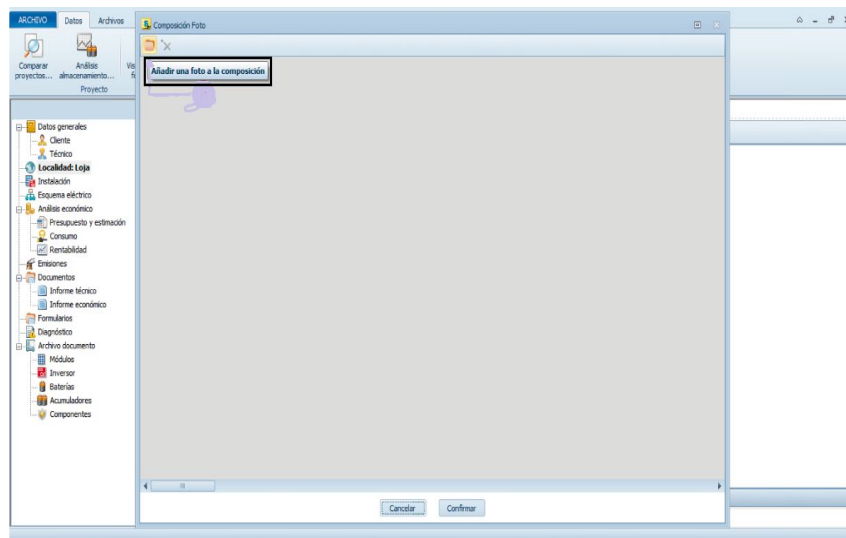
5. Obtenido todos estos datos podemos ver la irradiación según la localidad seleccionada.



6. En la pestaña Sombreado se elige exportar imagen.

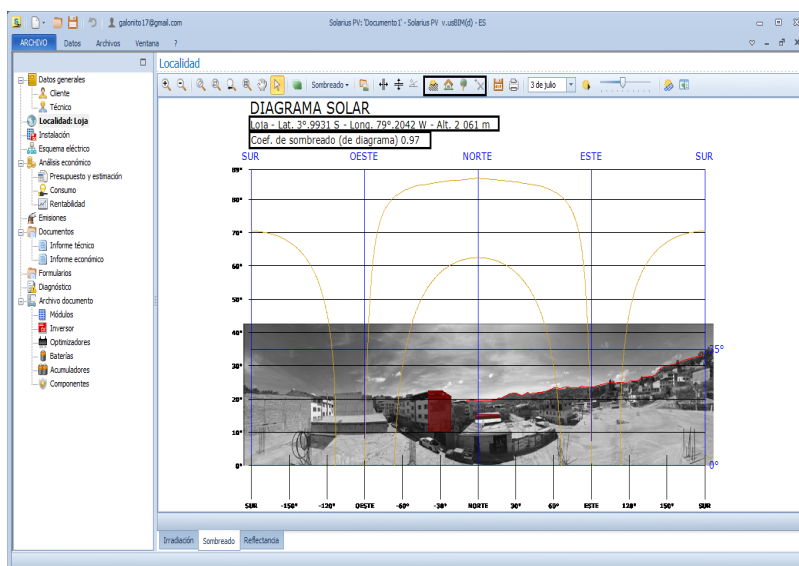


7. En esta pestaña se exporta la imagen del apartado 1 para su respectivo análisis.



8. Al exportar la imagen agregamos los obstáculos por construcción, arboles, la hora de salida del sol y el perfil montañoso del sector para obtener el coeficiente de sombra.





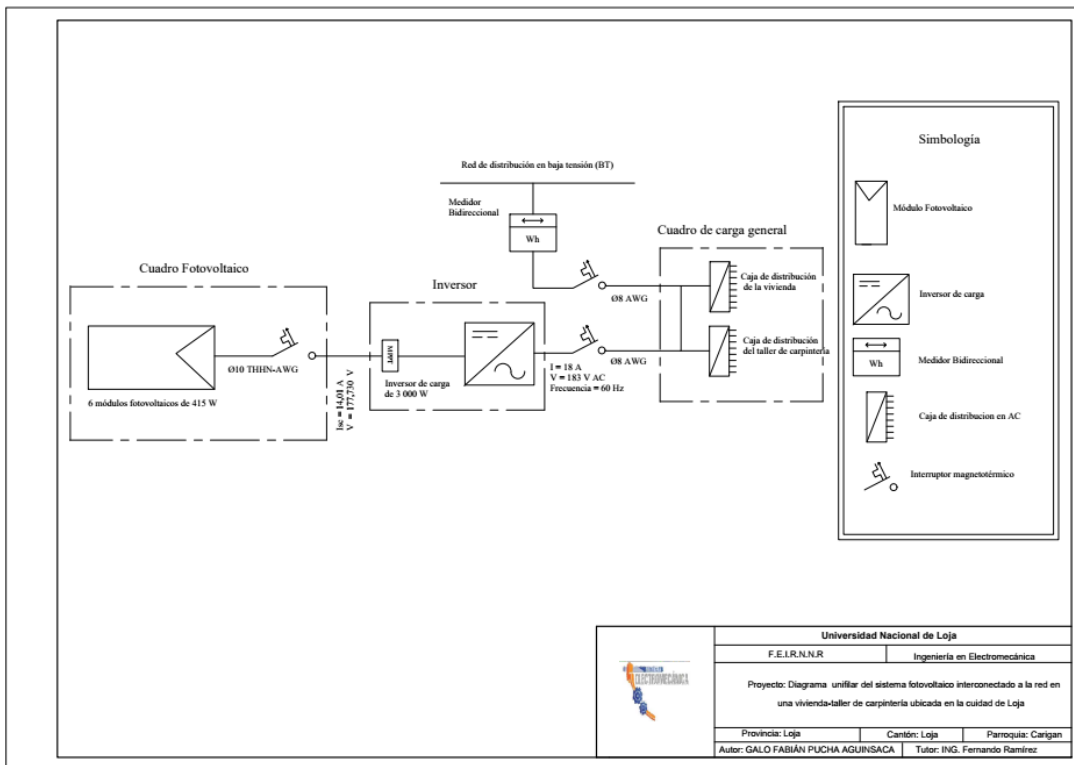
### Anexo 3. Tabla de especificaciones técnicas de los conductores.

Tabla 19 Especificaciones de los conductores AWG.

<b>Conductores AWG</b>				
#	Sección (mm <sup>2</sup> )	Ø (mm)	Resistencia Ω/km	I (A)
1	42,4	7,35	0,47	110
2	33,6	6,54	0,57	95
3	26,7	5,83	0,71	85
4	21,2	5,19	0,91	70
6	13,3	4,11	1,44	55
8	8,34	3,26	2,36	40
<b>10</b>	<b>5,26</b>	<b>2,59</b>	<b>3,64</b>	<b>30</b>
12	3,31	2,05	5,41	20
14	2,08	1,63	8,79	15

*Fuente (Electrocables , 2023)*

## Anexo 4. Diagrama Unifilar del SFCR.



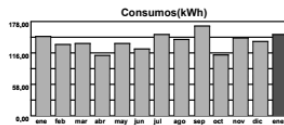
## Anexo 5. Planillas eléctricas de la vivienda- taller de carpintería.

### Enero.

#### Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 03-12-2021  
 Fecha hasta 03-01-2022  
 Días facturados 32

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	03-01-2022	6681.00	6528.00	0,00	153,00	0,00	153,00	kWh	11,17



#### Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Valor Consumo	11,17
Comercialización	1,41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	12,58
Servicio Alumbrado Público General	0,62
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0,62
Intereses por Mora	0,56
Subtotal Otros Rubros	0,56
Base I.V.A. 0%	13,20
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,56
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>13,76</b>

#### Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

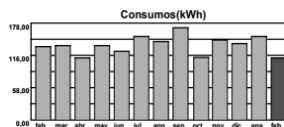


### Febrero.

#### Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 04-01-2022  
 Fecha hasta 02-02-2022  
 Días facturados 30

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	02-02-2022	6795.00	6681.00	0,00	114,00	0,00	114,00	kWh	8,32



#### Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Valor Consumo	8,32
Comercialización	1,41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	9,73
Servicio Alumbrado Público General	0,62
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0,62
Intereses por Mora	0,58
Subtotal Otros Rubros	0,58
Base I.V.A. 0%	10,35
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,58
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>10,93</b>

#### Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

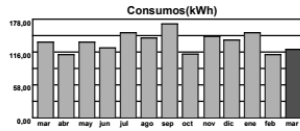


### Marzo.

**. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 03-02-2022  
 Fecha hasta 02-03-2022  
 Dias facturados 28

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	02-03-2022	6918,00	6795,00	0,00	123,00	0,00	123,00	kWh	8,98



**Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Valor Consumo	8,98
Comercialización	1,41
<b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b>	<b>10,39</b>
Servicio Alumbrado Público General	0,62
<b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b>	<b>0,62</b>
Intereses por Mora	0,64
<b>Subtotal Otros Rubros</b>	<b>0,64</b>
Base I.V.A. 0%	11,01
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,64
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>11,65</b>

**. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor**

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

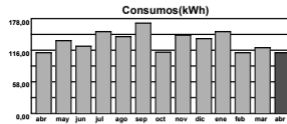


**Abril.**

**. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 03-03-2022  
 Fecha hasta 04-04-2022  
 Dias facturados 33

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	04-04-2022	7032,00	6918,00	0,00	114,00	0,00	114,00	kWh	8,32



**Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Valor Consumo	8,32
Comercialización	1,41
<b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b>	<b>9,73</b>
Servicio Alumbrado Público General	0,62
<b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b>	<b>0,62</b>
Intereses por Mora	0,37
<b>Subtotal Otros Rubros</b>	<b>0,37</b>
Base I.V.A. 0%	10,35
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,37
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>10,72</b>

**. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor**

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

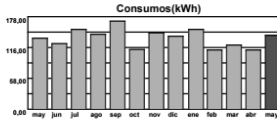


**Mayo.**

**Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 05-04-2022  
 Dias facturados 28  
 Fecha hasta 02-05-2022

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	02-05-2022	7174,00	7032,00	0,00	142,00	0,00	142,00	kWh	10,37



**Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Valor Consumo	10,37
Comercialización	1,41
<b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b>	<b>11,78</b>
Servicio Alumbrado Público General	0,62
<b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b>	<b>0,62</b>
Intereses por Mora	0,39
<b>Subtotal Otros Rubros</b>	<b>0,39</b>
Base I.V.A. 0%	12,40
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,39
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>12,79</b>

**Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor**

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

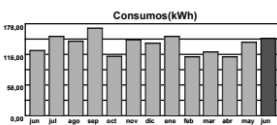


**Junio.**

**Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 03-05-2022  
 Dias facturados 31  
 Fecha hasta 02-06-2022

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	02-06-2022	7323,00	7174,00	0,00	149,00	0,00	149,00	kWh	10,88



**Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Valor Consumo	10,88
Comercialización	1,41
<b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b>	<b>12,29</b>
Servicio Alumbrado Público General	0,62
<b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b>	<b>0,62</b>
Base I.V.A. 0%	12,91
I.V.A. 0%	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>12,91</b>

**Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor**

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------



**Julio.**

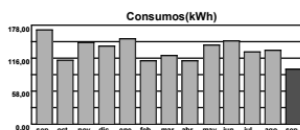


## Septiembre.

### . Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 02-08-2022  
 Dias facturados 32  
 Fecha hasta 02-09-2022

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	02-09-2022	7684,00	7585,00	0,00	99,00	0,00	99,00	kWh	7,23



Servicio Eléctrico y Alumbrado Público	
Valor Consumo	7,23
Comercialización	1,41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	8,64
Servicio Alumbrado Público General	0,62
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0,62
Intereses por Mora	0,32
Subtotal Otros Rubros	0,32
Base I.V.A. 0%	9,26
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,32
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>9,58</b>

### . Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

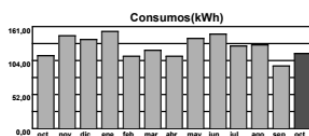


## Octubre.

### . Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 03-09-2022  
 Dias facturados 31  
 Fecha hasta 03-10-2022

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	03-10-2022	7802,00	7684,00	0,00	118,00	0,00	118,00	kWh	8,61



Servicio Eléctrico y Alumbrado Público	
Valor Consumo	8,61
Comercialización	1,41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	10,02
Servicio Alumbrado Público General	0,62
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0,62
Intereses por Mora	0,40
Subtotal Otros Rubros	0,40
Base I.V.A. 0%	10,64
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,40
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>11,04</b>

### . Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

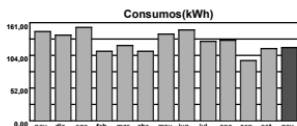


# Noviembre.

## . Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 04-10-2022  
 Fecha hasta 01-11-2022  
 Días facturados 29

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	01-11-2022	7922,00	7802,00	0,00	120,00	0,00	120,00	kWh	8,76



Servicio Eléctrico y Alumbrado Público	
Valor Consumo	8,76
Comercialización	1,41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	10,17
Servicio Alumbrado Público General	0,62
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0,62
Intereses por Mora	0,50
Subtotal Otros Rubros	0,50
Base I.V.A. 0%	10,79
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,50
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>11,29</b>

## . Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------

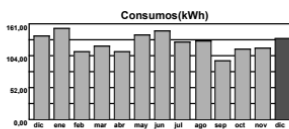


# Diciembre

## . Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000374101  
 Tipo de consumo leído  
 Fecha desde 02-11-2022  
 Fecha hasta 02-12-2022  
 Días facturados 31

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	02-12-2022	8058,00	7922,00	0,00	136,00	0,00	136,00	kWh	9,93



Servicio Eléctrico y Alumbrado Público	
Valor Consumo	9,93
Comercialización	1,41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	11,34
Servicio Alumbrado Público General	0,62
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0,62
Intereses por Mora	0,48
Subtotal Otros Rubros	0,48
Base I.V.A. 0%	11,96
I.V.A. 0%	0,00
Base Exento de IVA	0,48
Exento de IVA	0,00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>12,44</b>

## . Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

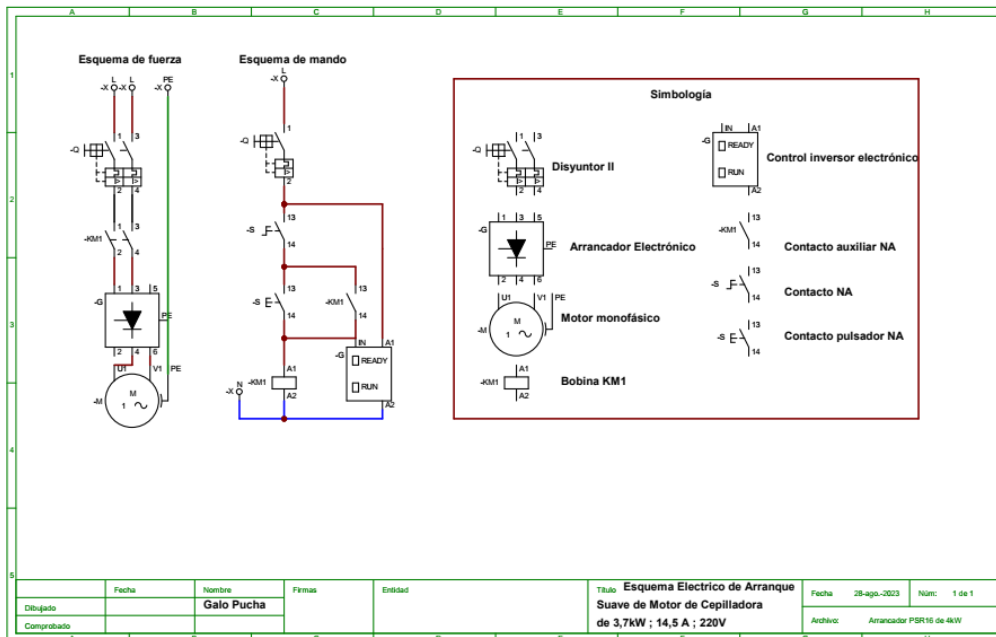
PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0,00
------------------------------	------





## Anexo 6. Diagramas de los motores con arranque suave.

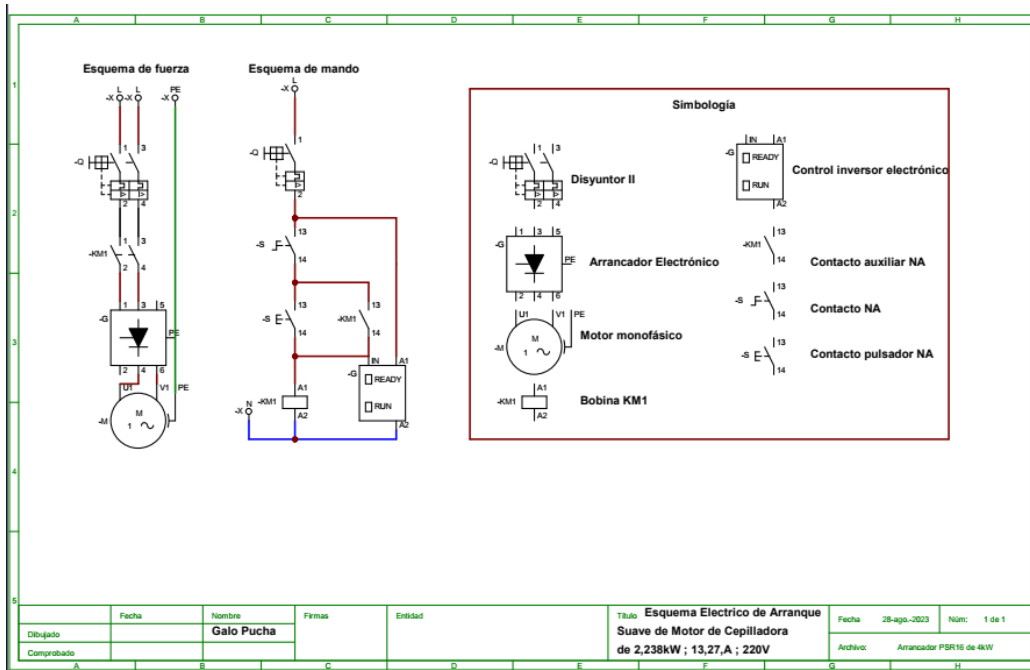
### Motor de sierra de 3,7kW con arrancador PSR16 de 4kW.



#### Technical

Tensión nominal de operación	208 ... 600 V AC
Tensión nominal de alimentación de control (U <sub>c</sub> )	24 V AC/DC
Tensión nominal del circuito de control (U <sub>c2</sub> )	24 V DC
Frecuencia nominal (f)	50/60 Hz Main Circuit 50 / 60 Hz
Potencia operativa nominal - Conexión en línea (P <sub>e</sub> )	(230 V) 4 kW (400 V) 7.5 kW (500 V) 7.5 kW
Corriente nominal de funcionamiento - Conexión en línea (I <sub>e</sub> )	16 A
Factor de servicio en porcentaje	100 %
Protección contra sobrecargas	Recommended MS132 10.00 ... 16.00
Sobrecarga electrónica integrada	No
Corriente nominal ajustable del motor I <sub>e</sub>	No
Capacidad de arranque a la máxima corriente nominal I <sub>e</sub>	4xI <sub>e</sub> for 6s
Tiempo de rampa	0 ... 20 second [unit of time] 1 ... 10 second [unit of time]
Tensión inicial durante el arranque	40 ... 70 %
Rampa especial de bajada de tensión	100 ... 60 %
Función de límite de corriente	No
Interruptor para la conexión interior del Delta	No
Relé de señal de marcha	Yes
Relé de señalización de derivación	No
Relé de señalización de averías	No
Relé de señal de sobrecarga	No
Indicación de señal de rampa de arranque completada (LED)	Green
Indicación de la señal de preparado para el arranque/espera ON (LED)	Green
Indicación de señal en marcha R (LED)	Green

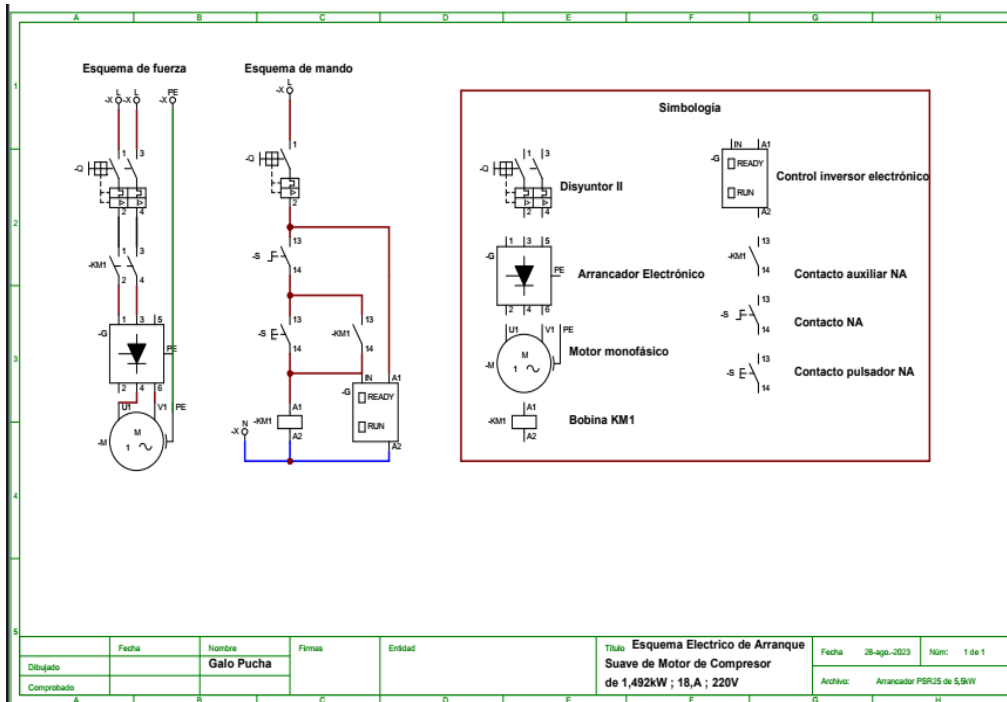
### Motor de cepilladora de 2,238kW con arrancador PSR16 de 4kW.



### Technical

Tensión nominal de operación	208 ... 600 V AC
Tensión nominal de alimentación de control (U <sub>a</sub> )	24 V AC/DC
Tensión nominal del circuito de control (U <sub>c</sub> )	24 V DC
Frecuencia nominal (f)	50/60 Hz Main Circuit 50 / 60 Hz
Potencia operativa nominal - Conexión en líneas (P <sub>e</sub> )	(230 V) 4 kW (400 V) 7.5 kW (500 V) 7.5 kW
Corriente nominal de funcionamiento - Conexión en líneas (I <sub>e</sub> )	16 A
Factor de servicio en porcentaje	100 %
Protección contra sobrecargas	Recommended MS132 10.00 ... 16.00
Sobrecarga electrónica integrada	No
Corriente nominal ajustable del motor I <sub>e</sub>	No
Capacidad de arranque a la máxima corriente nominal I <sub>e</sub>	4xI <sub>e</sub> for 6s
Tiempo de rampa	0 ... 20 second [unit of time] 1 ... 10 second [unit of time]
Tensión inicial durante el arranque	40 ... 70 %
Rampa especial de bajada de tensión	100 ... 60 %
Función de límite de corriente	No
Interruptor para la conexión interior del Delta	No
Relé de señal de marcha	Yes
Relé de señalización de derivación	No
Relé de señalización de averías	No
Relé de señal de sobrecarga	No
Indicación de señal de rampa de arranque completada (LED)	Green
Indicación de la señal de preparado para el arranque/espera ON (LED)	Green
Indicación de señal en marcha R (LED)	Green

**Motor de compresor de 1,492kW con arrancador PSR25 de 5,5kW.**



## Technical

Tensión nominal de operación	208 ... 600 V AC
Tensión nominal de alimentación de control (U <sub>s</sub> )	100 ... 240 V AC
Tensión nominal del circuito de control (U <sub>c</sub> )	24 V DC
Frecuencia nominal (f)	50/60 Hz Main Circuit 50 / 60 Hz
Potencia operativa nominal - Conexión en línea (P <sub>e</sub> )	(230 V) 5.5 kW (400 V) 11 kW (500 V) 15 kW
Corriente nominal de funcionamiento - Conexión en línea (I <sub>e</sub> )	25 A
Factor de servicio en porcentaje	100 %
Protección contra sobrecargas	Recommended MS132 20 ... 25
Sobrecarga electrónica integrada	No
Corriente nominal ajustable del motor I <sub>e</sub>	No
Capacidad de arranque a la máxima corriente nominal I <sub>e</sub>	4xI <sub>e</sub> for 6s
Tiempo de rampa	0 ... 20 second [unit of time] 1 ... 10 second [unit of time]
Tensión inicial durante el arranque	40 ... 70 %
Rampa especial de bajada de tensión	100 ... 60 %
Función de límite de corriente	No
Interruptor para la conexión interior del Delta	No
Relé de señal de marcha	Yes
Relé de señalización de derivación	Yes
Relé de señalización de averías	No

**Anexo 7.** Certificado de traducción al idioma inglés.

Cristian Andrés Macas Córdova, identificado con numero de cedula 110523959  
Licenciado en ciencias de la educación Idioma Ingles,

**CERTIFICA:**

Que el texto traducido al idioma ingles que compone el **Resumen** del trabajo de titulación denominado **“Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico interconectado a la red en una vivienda-taller de carpintería ubicada en la ciudad de Loja”** correspondiente al **Sr. Galo Fabian Pucha Agüinsaca**, con número de cedula 1105169260, fue realizado y verificado bajo mi supervisión.

Es todo cuanto puedo indicar en nombre de la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente documento para fines que crea pertinente.

Loja, 7 de septiembre del 2023



.....  
Lic. Cristian Andrés Macas  
Córdova 1105233959