



1859

UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales No Renovables

Maestría en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia

“Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo de la Unidad Educativa Fiscomisional La Dolorosa”

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad. Mención Sistemas Eléctricos de Potencia.

AUTOR:

Ing. Edwin Marcelo Sozoranga Benítez

DIRECTOR:

Ing. Alba Elizabeth Vargas Naula, Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 25 de enero de 2024

Ing. Alba Elizabeth Vargas Naula, Mg.Sc.

DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

C E R T I F I C O:

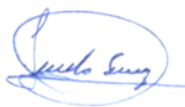
Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de Titulación: **“Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo de la Unidad Educativa Fiscomisional La Dolorosa”**, previo a la obtención del título de **Magíster en Electricidad. Mención Sistemas Eléctricos de Potencia**, de autoría del estudiante **Edwin Marcelo Sozoranga Benítez**, con cédula de Identidad Nro. **1103769418**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Alba Elizabeth Vargas Naula, Mg.Sc.

DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Edwin Marcelo Sozoranga Benítez**, declaro ser autor del 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 del Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de Identidad: 1103769418

Fecha: 25/01/2024

Correo electrónico: edwin.sozoranga@unl.edu.ec

Teléfono: 0985621049

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

Yo, **Edwin Marcelo Sozoranga Benítez**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación: “**Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo de la Unidad Educativa Fiscomisional La Dolorosa**”, como requisito para optar el título de **Magíster en Electricidad, Mención Sistemas Eléctricos de Potencia**, 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 de la siguiente manera 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 investigación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticinco días del mes de enero del dos mil veinticuatro.

Firma:

Autor: Ing. Edwin Marcelo Sozoranga Benítez

Cédula: 1103769418

Dirección: Av. Pablo Palacio y Eduardo Mora Moreno

Correo electrónico: edwin.sozoranga@unl.edu.ec

Teléfono: 0985621049

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de investigación: Ing. Alba Elizabeth Vargas Naula, Mg.Sc.

Dedicatoria

A Dios, a la virgen Santísima, al señor del Cautivo por darme fortaleza y valor para hacer las cosas correctas. A mis padres en especial a mi Mamá María Dolores quienes me han ofrecido amor, palabras de aliento y confianza. A mi esposa, hijas y mis hermanas por su apoyo incondicional
A mis compañeros, amigos y a todos aquellos que me acompañaron a largo de mi carrera.

Edwin Marcelo Sozoranga Benítez

Agradecimiento

Mi agradecimiento primero A Dios, a la virgen Santísima, al señor del Cautivo por darme la sabiduría, fortaleza, valor para concluir el presente trabajo y hacer las cosas correctas. A mis padres en especial a mi Mamá María Dolores, por brindarme el apoyo incondicional. A mi esposa e hijas y mis hermanas por su apoyo tanto moral como económico para estudiar y lograr el objetivo planteado para un mejor futuro.

A la Universidad Nacional de Loja, Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables porque en ella me formé para un futuro prometedor como Magíster en Electricidad. De igual manera a mis queridos formadores, en especial a Alba Elizabeth Vargas Naula, Mg.Sc. e Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg.Sc. pues ellos fueron quienes guiaron para hacer el presente trabajo, quienes se encargaron de encarar la complicada tarea de transferir sus conocimientos a otra persona, ofreciéndome lo mejor de ellos.

Edwin Marcelo Sozoranga Benítez

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	5
4.1 CAPÍTULO 1:	5
4.1.1.1 Sistemas conectados a la red	5
4.1.1.2 Sistemas fotovoltaicos Independientes.....	6
4.1.2 Paneles fotovoltaicos.....	7
4.1.2.1 Clasificación de los paneles fotovoltaicos.....	7
4.1.2.1.1 Paneles Monocristalinos.....	7
4.1.2.1.2 Paneles Policristalinos.....	7
4.1.3 Baterías.....	9
4.1.3.1 Características de las Baterías	9
4.1.3.2 Tipos de Baterías	10
4.1.4 Inversores	12

4.1.4.1	Características eléctricas para controladores de carga:	12
4.1.5	Líneas Eléctricas	12
4.1.6	Dispositivos de Protección.....	13
4.1.7	Medidores de Energía y Sistema de Control.....	13
4.1.8	Sistema de Puesta a Tierra	14
4.1.9	Radiación solar para dimensionado	14
4.1.9.1	Irradiancia.....	15
4.1.9.2	Irradiación	15
4.1.9.3	Radiación directa.....	15
4.1.9.4	Radiación difusa	15
4.1.9.5	Radiación reflejada.....	15
4.1.9.6	Radiación Global.....	15
4.1.9.7	Hora solar pico	16
4.1.10	Normativa nacional para el dimensionamiento de Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV).....	16
5.	Metodología.....	17
5.1.1	Generalidades técnicas.....	18
5.2	Área de Estudio	19
5.2.1	Descripción de las instalaciones de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”	19
5.2.2	Ubicación Geográfica	19
5.3	Procedimiento.....	20
5.3.1	Energía Eléctrica Consumida por la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”	22
5.3.2	Cálculo de Paneles Solares.	24
5.3.3	Selección de módulos fotovoltaicos.....	24

5.3.4	Diagrama de conexión de los modulos fotovoltaicos	25
5.3.5	Dimensionamiento y selección del Inversor	26
5.3.6	Cálculo de la Sección del Conductor	27
5.3.7	Cálculo de distancia de sombra.....	27
5.3.8	Cálculo de distancia del área del sistema fotovoltaico.....	29
5.3.9	Costos de los componentes y materiales complementarios	29
5.3.10	Gastos de mantenimiento	30
5.3.11	Método 1	30
5.3.12	Método 2	30
5.4	Técnicas	30
5.4.1	Técnica 1	30
6.	Resultados.....	31
7.	Discusión.....	33
8.	Conclusiones.....	33
9.	Recomendaciones.....	33
10.	Bibliografía	35
11.	Anexos	37

Índice de Tablas:

Tabla 1.	Normativa nacional e internacional sobre energías renovables.....	16
Tabla 2.	Ubicación geográfica de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”	19
Tabla 3.	Ángulos de inclinación para sistemas fijos	20
Tabla 4.	Datos de irradiación solar (mes por mes) durante cinco años.....	21
Tabla 5.	Cálculo de horas solar pico (HSP).....	22
Tabla 6.	Demanda de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”	22
Tabla 7.	Cobertura de demanda de energía en un 80% de la Unidad Educativa Fiscomisional "La Dolorosa"	23
Tabla 8.	Cálculo de paneles solares	25
Tabla 9.	Características del inversor	26
Tabla 10.	Cálculo de la sección del cable	27
Tabla 11.	Distancia de sombra.....	28
Tabla 12.	Distancia del área del sistema.....	29
Tabla 13.	Costos de componentes y materiales complementarios.....	29
Tabla 14.	Cálculo VAN-TIR.....	31

Índice de figuras:

Figura 1.	Componentes de una instalación conectada a la red.....	6
Figura 2.	Componentes de una instalación conectad	6
Figura 3.	Panel monocristalino.....	7
Figura 4.	Panel Policristalino	8
Figura 5.	Batería de plomo	10
Figura 6.	Batería AGM.....	10
Figura 7.	Batería GEL	11
Figura 8.	Batería tipo Trojan	11
Figura 9.	Batería OPzS.....	12
Figura 10.	Dispositivo de protección contra sobretensiones de corriente continua (modelo EBS2UZ).....	13
Figura 11.	Medidor bidireccional.....	13
Figura 12.	Intercambio de Energía consumidor –red de distribución	14
Figura 13.	Ubicación Geográfica del proyecto.....	20
Figura 14.	Irradiación (kWh/m ²).....	21
Figura 15.	Arreglo de paneles	26
Figura 16.	Distancia de sombra.....	28

Índice de Anexos:

Anexo 1.	Panel Fotovoltaico (Datasheet "Monocristalino" LONGI PERC HALF CELL)	37
Anexo 2.	Inversores.....	38
Anexo 3.	Certificación de traducción del resumen.....	39

1. Título

“Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo de la Unidad Educativa Fiscomisional La Dolorosa”

2 Resumen

El presente trabajo consiste en el diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red de distribución para autoconsumo de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa” (UEFLD) ubicada en la parroquia El Sagrario, cantón Loja, provincia de Loja.

La evaluación del recurso solar (irradiación solar), según los datos obtenidos de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), en el cantón Loja se tiene un valor promedio de 4,27 kWh/m². Es por este motivo que se propuso el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica como alternativa para reducir costos, aprovechar las energías renovables y contribuir a la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero.

Para el dimensionamiento de los elementos que conforman el sistema fotovoltaico conectado a la red ON-GRID, se usan los valores de latitud y longitud obtenidos de la ubicación geográfica y el consumo máximo de energía de la UEFLD; esto permite determinar la cantidad de paneles solares y la selección del inversor.

La metodología seleccionada para la proyección de este trabajo, consiste en la recopilación, análisis de investigaciones y procesamiento de datos para la elección de cada elemento. Además, se realiza el análisis económico de la propuesta presentada, respecto a la recuperación de la inversión; y, finalmente, se analiza la comercialización del sistema fotovoltaico conectado a la red.

Palabras claves: *Sistema de generación fotovoltaico, energía solar, autoconsumo, generación eléctrica.*

Abstract

This work consists of the design of a photovoltaic generation system connected to the distribution network for self-consumption of the Unidad Educativa Fiscomisional "La Dolorosa" (UEFLD), located in the parish of El Sagrario, Canton of Loja, Province of Loja.

The evaluation of the solar resource (solar radiation), according to data obtained from the National Aeronautics and Space Administration (NASA), has an average value of 4.27 kWh/m² in the Canton of Loja. For this reason, the design of an electric power generation system was proposed as an alternative to reduce costs, take advantage of renewable energy and contribute to the reduction of greenhouse gasses.

The size of the photovoltaic system that will be connected is determined by the lat/long coordinates of the site and the maximum power consumption of the UEFLD, which will help determine the number of solar panels needed and the selection of the appropriate converter.

The methodology used for the projection of this work, consists of the collection, analysis of research and data processing for the selection of each element. In addition, the economic analysis of the presented proposal is carried out, regarding the recovery of the investment; and finally, the commercialization of the photovoltaic system connected to the grid is analyzed.

Keywords: *Photovoltaic generation system, solar energy, self-consumption, electricity generation.*

3 Introducción

El presente trabajo de titulación consiste en el diseño de un sistema de generación fotovoltaico conectado a la red de distribución para autoconsumo de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”.

Se realiza el cálculo del recurso solar en el sitio. Una vez obtenido dicho valor, se determina el consumo máximo de energía para la institución educativa. Luego, se dimensionan los distintos elementos que conforman el sistema de generación. Además, se realiza el análisis económico de la propuesta presentada, con lo referente a recuperación de la inversión.

Uno de los métodos más simples para convertir la energía del sol en electricidad es usando sistemas fotovoltaicos. El uso de energía renovable en grandes cantidades es muy importante, debido a que trae beneficios como: reducir las emisiones contaminantes para el ecosistema, satisfacer la demanda de energía eléctrica, evitar el racionamiento de energía en épocas de estiaje, y generar calor y electricidad para el desarrollo de varias comunidades.

4 Marco teórico

4.1 CAPÍTULO 1:

4.1.1 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas

4.1.1.1 Sistemas conectados a la Red

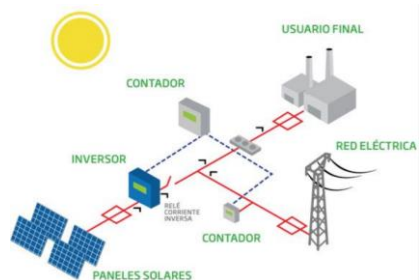
Son instalaciones que introducen su energía a la red eléctrica, sin necesidad de que exista un dispositivo de acumulación. La red eléctrica debe tener una frecuencia definida y las instalaciones de generación fotovoltaica deben proporcionar la misma frecuencia para evitar perturbar el comportamiento de la red. Es por ello que, en este tipo de instalaciones, el dispositivo inversor cumple una función importante y decisiva. Las instalaciones conectadas a la red eléctrica se dividen en dos criterios diferentes; por un lado, están las instalaciones monofásicas, bifásicas y trifásicas; por otro, existen las instalaciones en baja, media o alta tensión.

En estos sistemas no es necesario el acumulador ni el regulador de carga, dado que la electricidad es enviada directamente a la red de distribución. Los componentes son: módulos fotovoltaicos, inversor y los elementos de conexión a la red (ondulantes); tal como se muestra en la Figura 1.

Los elementos de conexión a la red separan los diferentes estados del conjunto colector para interrumpir o reanudar el suministro a la red, y realizar un control de fase para que la corriente alterna producida en los módulos se acople a la fase de energía de la red. Para realizar esta operación se utilizan interruptores manuales y automáticos para la desconexión de la instalación, en el caso que exista una avería en la red eléctrica. También, se instalan contadores de energía eléctrica para medir lo que se produce y, de esta manera, vender y comprar de la red la energía necesaria para el usuario.

Figura 1.

Componentes de una instalación conectada a la red



Fuente: (“Datos tomados de Método de simulación para el dimensionamiento de instalaciones solares a través del BIM” 2019)(Herrera Lizarazo, 2019)

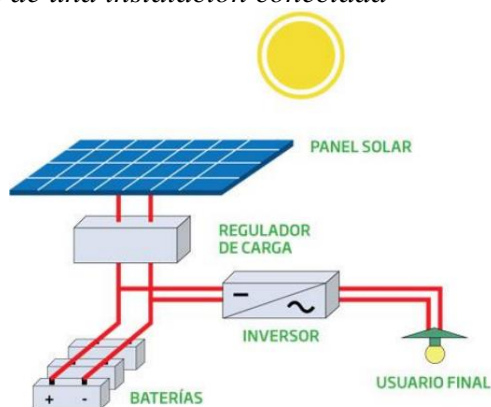
4.1.1.2 Sistemas Fotovoltaicos Independientes

Son aquellos sistemas que no están conectados a la red eléctrica, debido a que cuentan con baterías para la acumulación de energía.

Estos sistemas son una forma de generar electricidad para un consumo independiente de la red eléctrica. La energía captada durante las horas en las que existe presencia de sol se almacena en baterías, desde donde se inyecta a la red de consumo. Se utilizan para alumbrado público, electrificación de zonas rurales, alimentación eléctrica en viviendas situadas en lugares de difícil acceso, entre otras. En la Figura 2 se muestran los componentes de una instalación independiente.

Figura 2.

Componentes de una instalación conectada



Fuente: (“Datos tomados de Método de simulación para el dimensionamiento de instalaciones solares a través del BIM” 2019)(Herrera Lizarazo, 2019)

4.1.2 Paneles fotovoltaicos

Son placas rectangulares que están formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas de silicio y tienen un marco de vidrio. Son los encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica a través del proceso fotoeléctrico. Cabe recalcar que se fabrican paneles con eficiencia del 20 % y esto depende de su composición, es decir si son **monocristalinos** o **policristalinos**. La vida útil que brinda los fabricantes y para la cual aplican garantías de un panel solar es de 20 años, aunque en realidad puede llegar hasta los 25 años.

4.1.2.1 Clasificación de los paneles fotovoltaicos

4.1.2.1.1 Paneles Monocristalinos.

Están fabricados a partir de silicio muy puro que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro, y se componen de varias celdas fotovoltaicas conectadas entre sí. Es una de las tecnologías más utilizadas para la producción de energía fotovoltaica. En las placas monocristalinas, las celdas están hechas de un solo cristal y, en ellas, el silicio no está fundido, sino que se encuentra dividido en láminas, tal como se muestra en la Figura 3. Esta característica confiere a las placas una pureza más alta y una mayor eficiencia.

Figura 3.

Panel monocristalino



Fuente: ("Diseño de una huerta solar fotovoltaica con conexión a red" 2020)

4.1.2.1.2 Paneles Policristalinos

A pesar de que tienen un rendimiento menor que los monocristalinos, se comportan mejor en altas temperaturas. Al dejar solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de panel policristalino.

Figura 4.

Panel Policristalino



Fuente: (“Diseño de una huerta solar fotovoltaica con conexión a red” 2020)(Aranda Villalba, 2020)

Las características más importantes de un panel fotovoltaico son las siguientes:

- **Potencia máxima o potencia nominal (P. máx.) (W).** - Es un valor de pico, es decir, la máxima potencia que puede entregar el panel en un determinado momento. El panel funcionará correctamente en la instalación en la que va a ser colocado si este valor es superior al del consumo máximo (en vatios) para el que se ha diseñado el sistema fotovoltaico. Además, indica el valor por el cual se clasifican comercialmente los paneles, y se especifica en condiciones de prueba estándar (STC acrónimo en inglés) de 1.000 W/m² a 25 °C.
- **Voltaje de circuito abierto (Voc) (V).** - Es el valor máximo que se puede obtener de un panel fotovoltaico sin carga.
- **Corriente de corto circuito (Isc) (A).** - Es la corriente máxima cuando el voltaje del panel es cero.
- **Voltaje a la máxima potencia (Vmp) (V).** - Es cuando el panel a alcanzado el punto de máxima de la potencia cuando esté trabajando.
- **Corriente a potencia máxima (Imp) (A).** Es el valor de la corriente proporcionada por el panel cuando se encuentra en el punto de máxima potencia.
- **Eficiencia del módulo (%).** Este parámetro define la eficiencia de conversión (η); es decir, la cantidad de potencia radiación incidente sobre el panel que es capaz de convertirse en potencia eléctrica.
- **Temperatura Nominal de operación de la Célula (TONC) °C.**- Es la temperatura que alcanzan las células cuando se las somete a una irradiancia de 800 W/m², temperatura ambiente de 20 °C, y velocidad del viento de 1 m/s.

4.1.3 Baterías

Son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. Para llevar a cabo la elección de las baterías, se realiza una relación entre el costo y vida útil, considerando que las especificaciones de cada una de las baterías en el mercado y su ficha técnica se adapten a los requerimientos del proyecto. Las baterías utilizadas para instalaciones fotovoltaicas se conocen como baterías solares. Éstas admiten un alto porcentaje de descarga y poseen la capacidad de soportar muchos ciclos de descarga. Teniendo en cuenta que la generación fotovoltaica se produce mientras hay sol, la energía producida se almacena en las baterías; para luego ser distribuida a las cargas del edificio.

4.1.3.1 Características de las Baterías

4.1.3.1.1 Amperios-Hora (Ah)

Es el máximo valor de corriente que puede entregarse a una carga fija, en forma continua, durante un determinado número de horas de descarga.

4.1.3.1.2 Régimen de carga (o descarga)

Es la capacidad para entregar energía en horas. Ejemplo: baterías de 600 Ah a C100 (uso solar). La batería se descarga en 100 horas a una corriente de 6 Amperios (Aldo Paul Bernaola Canturin, 2018).

4.1.3.1.3 Vida útil

Es el número máximo de ciclos de carga y descarga de la batería. Por ejemplo: baterías solares de 3.000 ciclos con un Depth of discharge (DoD) del 20 % (Aldo Paul Bernaola Canturin, 2018).

4.1.3.1.4 Nivel de tensión de las baterías solares

Está en función de la potencia (W) necesaria o potencia instalada.

4.1.3.1.5 Capacidad de las baterías solares

Está en relación a los días de autonomía, la tensión de las baterías, uso de energía por día y la profundidad de descarga.

4.1.3.2 Tipos de Baterías

4.1.3.2.1 Batería de plomo ácido

Tiene un tiempo de duración de 4 - 5 años. Su uso se da en aplicaciones que requieren una baja potencia. Para su mantenimiento es necesaria agua destilada. El número de ciclos es de 500. La principal característica de estas baterías es su precio accesible (Aldo Paul Bernaola Canturin, 2018). En la Figura 5 se observa un ejemplo de batería de plomo.

Figura 5.

Batería de plomo



Fuente: (Valdivieso Matos, 2021) (Valdivieso Matos, 2021)

4.1.3.2.2 Batería AGM

Posee una duración aproximada de 8 a 10 años y sirve para todo tipo de aplicación. El número de ciclos es de 1.000 y no requiere mantenimiento alguno (Aldo Paul Bernaola Canturin, 2018). En la Figura 6 se puede apreciar un ejemplo de este tipo de batería.

Figura 6.

Batería AGM



Fuente: (Valdivieso Matos, 2021) (Valdivieso Matos, 2021)

4.1.3.2.3 Batería GEL

El tiempo de vida aproximado es de 4 a 8 años. Cuenta con 500 a 1.000 ciclos y aplica para todo tipo de uso. La principal ventaja de estas baterías es que no necesitan mantenimiento (Aldo Paul Bernaola Canturin, 2018). En la Figura 7 se muestra una batería de gel.

Figura 7.

Batería GEL



Fuente: (Valdivieso Matos, 2021) (Valdivieso Matos, 2021)

4.1.3.2.4 Batería Trojan

Tiene un tiempo de vida aproximado de 10 años y 1.200 ciclos. Para el mantenimiento es necesario colocar agua destilada. Posee una buena relación calidad precio (Aldo Paul Bernaola Canturín, 2018). En la Figura 8 se muestra un ejemplo.

Figura 8.

Batería tipo Trojan



Fuente: (Valdivieso Matos, 2021) (Valdivieso Matos, 2021)

4.1.3.2.5 Batería OPzS

El tiempo de vida aproximado es de 15 a 20 años. Se la utiliza en instalaciones habituales, tales como: vivienda e industria. El número de ciclos es de 2.600 al 50 %. Para su mantenimiento se necesita agua destilada. Su principal ventaja es que trabaja en vasos de 2 V, de modo tal que si se requiere 12 V, sería necesario 6 vasos en serie (Aldo Paul Bernaola Canturín, 2018). En la Figura 9 se indica un ejemplo de esta batería.

Figura 9.

Batería OPzS



Fuente: (Valdivieso Matos, 2021) (Valdivieso Matos, 2021)

4.1.4 Inversores

Son dispositivos electrónicos encargados de controlar y convertir de manera adecuada la corriente continua generada por los módulos a corriente alterna, a la frecuencia industrial de 50 o 60 Hz. Además, monitorean la tensión de la red siempre que se encuentre dentro de los valores especificados para para su funcionamiento, ya sea de tensión y frecuencia. Existen actualmente inversores para sistemas autónomos de baja potencia que pueden llegar a tener potencias de hasta 5.000 W. Así también, existen aquellos con conexión a red, los cuales permiten inyectar en forma total o parcial la energía producida por el campo fotovoltaico a la red eléctrica. Las potencias de los inversores conectados a la red pueden ir desde valores que van en el orden de 1 kW hasta superiores a los 500 kW (Valdivieso Matos, 2021).

4.1.4.1 Características eléctricas para los controladores de carga:

- Voltajes típicos de operación: 12, 24 y 48 Vcc.
- Voltajes especiales: hasta 220 Vcc.
- Corrientes típicas: de 10 a 60 A.
- Corrientes especiales: hasta 200 A.
- Existen con medidores y sin ellos.

4.1.5 Líneas Eléctricas

Las líneas eléctricas de los sistemas fotovoltaicos son de corriente continua. La conexión de los cables se realiza de la barra de origen hacia la de destino, sin corte de conductores ni empalmes. El cableado DC subterráneo debe ir bajo tubo de PVC, y tiene que ser marcado y

etiquetado para su identificación. El cableado AC puede ir enterrado o bajo tubo, y no debe tener empalmes ni uniones enterradas no accesibles.

4.1.6 Dispositivos de Protección

Los paneles fotovoltaicos y los inversores deben estar protegidos ante la tensión y frecuencia de la red cuando éstos se encuentren fuera de los márgenes de funcionamiento normal; tal como: temperatura elevada, tensión baja del generador, intensidad del generador baja, falla en la red eléctrica, entre otros. En la Figura 10 se observa un ejemplo de estos dispositivos.

Figura 10.

Dispositivo de protección contra sobretensiones de corriente continua. (modelo EBS2UZ)



Fuente: Ebasse.com

4.1.7 Medidores de Energía y Sistema de Control

Los sistemas conectados a red requieren medidores de energía que controlen la entrada y salida de energía a la red. Por lo general, se utilizan medidores de tipo bidireccional, los cuales permiten conocer la cantidad de energía suministrada a la red como la energía consumida de la red. En la Figura 11 se muestra un ejemplo de medidor bidireccional.

Figura 11.

Medidor bidireccional

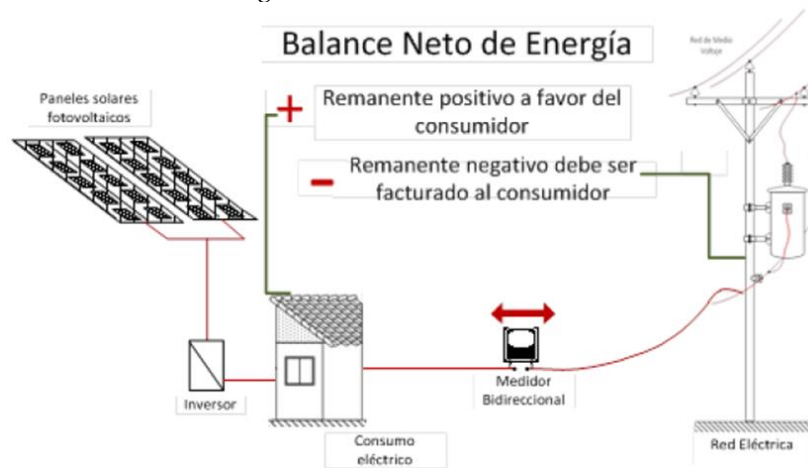


Fuente: <https://www.energia2050.cl/medidores-bidireccionales/>

Los inversores cuentan con sistemas de monitorización bastante variables para un mejor control de los equipos que permiten conocer la producción de energía en tiempo real. En el caso de las plantas fotovoltaicas se cuenta con sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) para el control de parámetros como: humedad, irradiación y velocidad de viento. En la Figura 12 se ve representado el proceso de intercambio de energía consumidor - red de distribución.

Figura 12.

Intercambio de Energía consumidor – red de distribución



Fuente: ("Seminario Proyectos Fotovoltaicos con Nuevas Regulaciones") (Agencia de Regulación y Control de Energía, 2021)

4.1.8 Sistema de Puesta a Tierra

En cuanto a las protecciones contra corrientes derivadas, todas las instalaciones deben cumplir con lo dispuesto en el Código Nacional de Electricidad. Los sistemas conectados a la red deben tener un sistema de puesta a tierra constituido, ya sea por un conjunto de varillas de cobre enterradas, o un enmallado con conductores de cobre que formen una red equipotencial con resistencias de puesta a tierra inferiores a 2 Ohms.

4.1.9 Radiación solar para dimensionado

Es la energía proveniente del sol que se expande en todas las direcciones en el espacio mediante ondas electromagnéticas. Es conocida como la constante solar $B_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$ (DE LA CRUZ MONTAÑEZ, JOSMEL WILLIAM & BASTIDAS GUZMÁN, YUBICA MARGARITA, 2020). Esta energía es la fuerza que impulsa los procesos atmosféricos y climáticos. Este valor se

ve ligeramente afectado por el movimiento de la tierra en torno al sol, así como por el efecto de la atmósfera terrestre. Para especificar la radiación solar incidente en la superficie de la Tierra se definen los siguientes conceptos:

4.1.9.1 Irradiancia

Se refiere a la densidad de potencia incidente por unidad de superficie. La irradiancia máxima del sol en la superficie de la tierra es aproximadamente 1.000 W/m^2 (De La Cruz Montañez & Bastidas Guzmán, 2020). La irradiancia varía diariamente por efecto de la rotación de la tierra, alcanzando su valor máximo en días despejados a mediodía solar, también varía estacionalmente.

4.1.9.2 Irradiación

Es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado período de tiempo y se mide en kWh/m^2 . Aunque la irradiancia y la irradiación son magnitudes físicas distintas, coinciden numéricamente cuando la unidad de tiempo es la hora. Es habitual medir la irradiación sobre un plano horizontal, por motivos de convenio internacional. Su valor anual varía en función de la latitud del lugar, desde los 800 kWh/m^2 hasta los 2.500 kWh/m^2 en algunas zonas desérticas. La variación estacional (de enero a diciembre) puede variar entre un 25 % para latitudes cercanas al ecuador hasta un factor 10 en lugares con latitudes elevadas (hacia el Norte o Sur del ecuador) (De La Cruz Montañez & Bastidas Guzmán, 2020).

4.1.9.3 Radiación directa

Es la radiación que proviene directamente del sol.

4.1.9.4 Radiación difusa

Corresponde a la radiación solar dispersada por los diferentes componentes de la atmósfera.

4.1.9.5 Radiación reflejada

Es la radiación reflejada por el suelo.

4.1.9.6 Radiación Global

Es el resultado de la suma de todas las radiaciones mencionadas (Cuando la medida de la radiación se realiza sobre una superficie horizontal no se tiene en cuenta la reflejada, en este caso a la suma de la directa y la difusa se la denomina Radiación global) (De La Cruz Montañez & Bastidas Guzmán, 2020).

4.1.9.7 Hora solar pico

Es el número de horas de un día con una radiación supuesta de 1.000 W/m². Proporciona la misma radiación solar que la real de ese día. Para calcular este valor se divide la radiación solar dada en W/m² entre 1.000 W/m²; la operación genera el número de horas solar pico (García Garnica et al., 2018). En la tabla 1 se describe la normativa nacional e internacional usada para energías renovables.

4.1.10 Normativa nacional para el dimensionamiento de Sistema Solar Fotovoltaico (SSFV)

Tabla 1.

Normativa nacional e internacional sobre energías renovables

<i>Normativa nacional e internacional sobre energías renovables</i>	
Artículo 413	La Constitución de la Republica prescribe que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.
Artículo 26 de la LOSPEE	Señala que la actividad de generación de electricidad será realizada por empresas públicas, empresas de economía mixta, y por otras personas jurídicas privadas y de economía popular y solidaria, debidamente habilitadas por la autoridad concedente para ejercer tal actividad; y, que sus operaciones se sujetaran a lo previsto en su respectivo Título Habilitante, así como a las normas constitucionales, legales, reglamentarias y regulatorias que se establezcan.
Artículo 102 del RGLOSPEE	Dispone que los generadores y autogeneradores con capacidad nominal igual o mayor a un (1) MW, y que se encuentren sincronizados al sistema eléctrico, estarán sujetos al despacho económico que efectúe el CENACE; y que los generadores y autogeneradores cuya capacidad nominal sea menor a un (1) MW, remitirán toda la información requerida por el CENACE, con el objeto de cumplir los procesos comerciales establecidos en la regulación respectiva.
ISO 50001	En esta norma se establece requisitos, políticas, responsabilidad, planificación, implementación, operación revisión y verificación para el análisis del desempeño energético para los productos o servicios que requieran del uso de energía.
ISO/TS 12720:2014	Norma que fomenta la aplicación de principios generales y ayuda a las partes interesadas a considerar y/o incorporar el pensamiento de sostenibilidad en todas las fases del ciclo de vida del edificio o de las obras de ingeniería civil.
ISO 15392:2019	Sostenibilidad en edificación y obra civil, establece principios básicos de toma de decisiones y diseño para efectuar proyectos sostenibles.
ISO 16745-1: 2017	Proporciona requisitos para determinar y reportar una métrica de carbono de un edificio existente, asociado con la operación del edificio.

ISO 16745-2:2017	Norma encargada de la verificación de los cálculos métricos de carbono para emisiones nocivas al medio ambiente, se realiza de acuerdo a la ISO anteriormente mencionada (ISO 16745-1).
ISO 16818:2008	Esta norma internacional proporciona una serie de terminología para su empleo en el diseño de edificios energéticamente eficientes. Esta Norma Internacional es aplicable a edificios nuevos y edificios existentes reacondicionados.
ISO 52031:2020	Este documento hace parte de una serie destinada a la armonización internacional de la metodología para evaluar el rendimiento de energía en los edificios.

Fuente. Datos tomados de Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021 y Resolución Nro. ARCERNNR-014/2021 (Edison Javier Verdugo Lozano, 2022)

5 Metodología

El diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red se basa en el fundamento teórico del Capítulo 1. La metodología para el diseño del sistema fotovoltaico se realiza según la ubicación del sistema para determinar el ángulo de inclinación. Además, se utiliza el valor de irradiación solar que se encuentra en la página web de la NASA. Este proceso proporciona los parámetros necesarios para el diseño y demás características sobre el funcionamiento de los equipos.

5.1.1 Generalidades técnicas

El servicio eléctrico proviene de un transformador de 250 kVA conectado desde la acometida de la empresa suministradora al tablero de distribución general, mediante conductores dobles de calibre $3 \times 3/0 + N$.

El sistema solar fotovoltaico y la actuación para la ejecución del mismo, están basados en la Regulación Nro. ARCERNNR-001-2021. Además, se considera para el diseño, reglamentos, normas y especificaciones nacionales e internacionales; las cuales se citan a continuación:

- Regulación ARCERNNR 002/20, en lo referente a nivel de Voltaje
- Perturbaciones rápidas de voltaje, distorsión armónica de voltaje, desequilibrio de voltaje, etc.
- Plan Nacional de Eficiencia Energética, en lo que sea aplicable.
- Procedimientos de Seguridad Industrial.
- Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, en lo que sea aplicable.

Las energías que provienen del petróleo y la sedimentación son de alto grado de contaminación, a diferencia de las energías renovables que no conlleva a ninguna clase de contaminación.(EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA & Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES -ARCERNNR., s. f.)

Tomando en cuenta lo anterior, se justifica la realización del proyecto del “Diseño del sistema de generación eléctrica conectado a la red utilizando paneles fotovoltaicos para el autoconsumo de la Unidad Educativa Fiscomisional La Dolorosa”, es por ello que, con este proyecto, se pretende construir un estudio demostrativo para el uso de energía solar.

5.2 Área de Estudio

Este proyecto está orientado a la generación de energía eléctrica mediante recursos renovables que ayudan a conservar el medio ambiente. Así mismo, incentiva al desarrollo de nuevos proyectos de generación de energía solar, y al análisis de la factibilidad de la implementación de este tipo de proyectos dentro de las zonas urbanas y rurales. En los sistemas de energías alternativas, en el caso específico del sector rural, existe un gran porcentaje de familias que no tiene acceso a electricidad, lo que ocasiona que exista el consumo de combustibles fósiles.

5.2.1 Descripción de las instalaciones de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”

Datos del titular:

Nombre: Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”

Domicilio social: Olmedo y José Antonio Eguiguren - Loja

Número de medidor: 32377

Número de suministro: 1406362

Latitud: - 4.115058

Longitud: -79.954805

Plano de ubicación geográfica (Google Maps): Figura 13

5.2.2 Ubicación Geográfica

En la Tabla 2 se brindan detalles sobre la ubicación geográfica del lugar en donde se va a realizar el proyecto.

Tabla 2.

Ubicación geográfica de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”

<i>Nombre del proyecto</i>	<i>Instalación de un sistema fotovoltaico on-grid para unidad educativa fiscomisional "La Dolorosa"</i>	<i>Cantón</i>	<i>Loja</i>
		<i>Provincia</i>	<i>Loja</i>
		<i>Distrito</i>	<i>11D01</i>
		<i>Referencia</i>	<i>Olmedo y José Antonio Eguiguren</i>
<i>Latitud</i>	<i>-4,115058</i>	<i>Ángulo de inclinación (β)</i>	<i>15 grados</i>
<i>Longitud</i>	<i>-79,954805</i>		

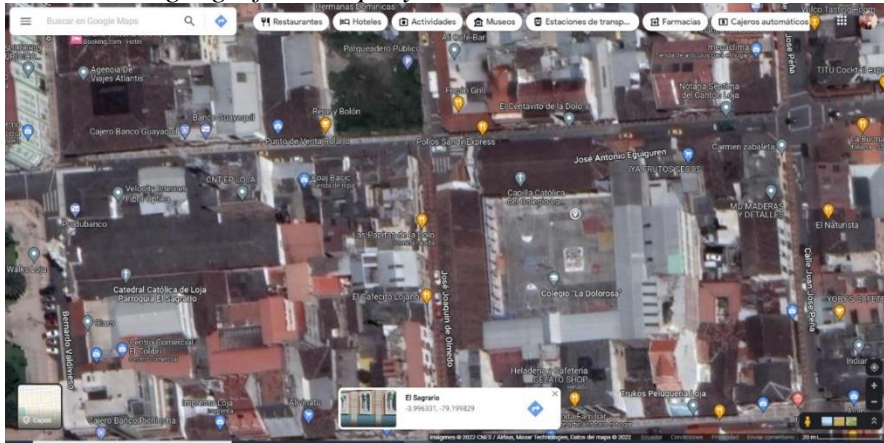
Fuente: Sozoranga E. (2023)

5.3 Procedimiento

Se parte con la identificación de la ubicación geográfica del lugar en el que se va a realizar el diseño del sistema de generación fotovoltaica, la cual se aprecia en la Figura 13. Para ello, se ingresa a Google Maps y se ubica en el punto en donde va a estar el sistema, obteniendo una latitud de -4,115058 y longitud de -79,954805.

Figura 13.

Ubicación geográfica del proyecto



Fuente: Datos Nasa. G

Con la información de latitud, se determina el ángulo de inclinación para los paneles fotovoltaicos aplicando, según lo mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3.

Ángulos de inclinación para sistemas fijos.

Latitud $ \phi $	Ángulo de inclinación “ β ”
0° a <15°	15
15° a <25°	4.115058
25° a <30°	9.115058
30° a <35°	14.115058
35° a <40°	19.115058
40° a más	24.115058

Fuente: Web (Fotovoltaica)

Para obtener los datos de irradiación solar mensual, se ingresa a la página web de la Agencia Espacial Europea, obteniendo los valores mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4.

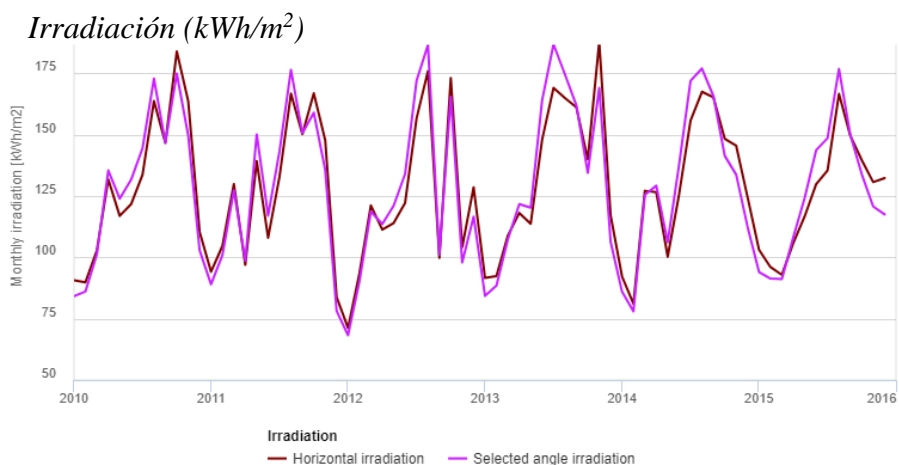
Datos de irradiación solar (mes por mes) durante cinco años.

MES/AÑO	2011	2012	2013	2014	2015	PROMEDIO
Jan	89,03	68,28	84,30	85,99	94,05	84,33
Feb	100,94	90,24	88,51	78,03	91,39	89,822
Mar	127,32	118,66	107,32	125,48	91,15	113,986
Apr	98,60	113,58	121,70	129,19	108,25	114,264
May	150,13	121,12	120,22	106,16	124,28	124,382
Jun	117,00	134,00	164,00	137,8	143,66	139,292
Jul	143,30	171,97	186,86	171,91	148,57	164,522
Aug	176,44	186,53	174,55	176,98	176,81	178,262
Sep	150,52	101,17	161,92	165,79	149,80	145,84
Oct	158,99	165,43	134,45	141,37	133,85	146,818
Nov	135,68	97,92	169,05	133,71	120,72	131,416
Dec	78,20	116,63	106,39	112,39	117,48	106,218
ANUAL (kWh/m ² /mo)	1.526,15	1485,53	1.619,27	1.564,8	1500,01	1.539,152

Fuente: Web (Fotovoltaica)

En la Figura 14 se representa gráficamente los valores de irradiación en kWh/m².

Figura 14.



Fuente: Datos de Agencia espacial europea (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM)

Luego, se realiza el cálculo de la hora solar pico (HSP), según los datos obtenidos del sitio web de la NASA y resumidos en la Tabla 5.

Tabla 5.*Cálculo de horas solar pico (HSP)*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom	Max	Min
Irradiación	84,3	89,8	113,9	114,2	124,3	139	164	178	145	146	131	106	128	178	84
Temperatur a máx.	36,8	36,7	35,57	36,58	36,96	36,4	36,9	37,2	37,8	38,1	36,6	37,1	37	38	36
Temperatur a min.	15,1	16,2	17,33	16,69	15,76	15,1	15,6	15,6	15,8	13,6	13,8	15,4	16	17	14
Días nublados por semana	1,84	2,27	1,72	1,56	1,61	1,85	1,74	2,37	2,28	1,8	2,01	1,62	2	2	2
MES															
	Mejor		Media		Peor										
Irradiación	178,3		128,3		84,3		kWh/m ²								
HSP	5,94		4,28		2,81		h								

Fuente: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA)

5.3.1 Energía Eléctrica Consumida por la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”

Se investigó la demanda energética de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”, correspondiente al periodo de un año para obtener el historial del promedio de consumo, el cual sirve para dimensionar el diseño del sistema fotovoltaico conectado a la red, y contribuye a una correcta eficiencia para el consumo de la institución.

Los datos obtenidos son de consumo de energía por mes durante un año completo, tal como se muestra en la Tabla 6. El costo por kWh considerado para este proyecto es de \$0,093.

Tabla 6.*Demanda de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”*

Análisis del consumo energético				
Consumo de energía (kWh/mes)	Consumo de energía (kWh/mes)	Monto facturado (USD/mes)	Monto facturado solo en energía (USD/mes)	Impuesto mensual, base alumbrado público, bomberos, demanda, entre otros

Julio	3.297	\$370,25	\$306,65	\$63,60	Valor por Kwh \$0,093
Agosto	2.712	\$315,85	\$252,25	\$63,60	
Septiembre	2.102	\$259,05	\$195,45	\$63,60	
Octubre	4.094	\$444,34	\$380,74	\$63,60	
Noviembre	3.854	\$422,02	\$358,42	\$63,60	
Diciembre	3.778	\$414,92	\$351,32	\$63,60	
Enero	3.031	\$345,48	\$281,88	\$63,60	
Febrero	3.466	\$385,97	\$322,37	\$63,60	
Marzo	4.820	\$511,83	\$448,23	\$63,60	
Abril	4.341	\$467,31	\$403,71	\$63,60	
Mayo	4.984	\$527,08	\$463,48	\$63,60	
Junio	4.747	\$505,04	\$441,44	\$63,60	
Total	45.225	\$4.969,16	\$4.205,96	\$763,20	
				4.969,16 USD/año	

Fuente: Sozoranga E. (2024)

5.3.2 Cálculo de Paneles Solares

Se calcula la cantidad de paneles solares necesaria para cubrir el 100 % del consumo de la UEFLD. Estos datos se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7.

Cobertura de demanda de energía en un 100 % de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”

Promedio total	3.768,80	kWh/mes
Max consumo	4.984	kWh/mes
Mín consumo	2.102	kWh/mes
Cobertura	100 %	De lo que se quiere generar respecto a la energía de la red consumida
Cobertura 100 %	3.768,8	kWh/mes

Fuente: Sozoranga E. (2024)

La instalación solar fotovoltaica estará formada por 84 módulos monocristalinos de 420 W LONGI - MONO PERC.

Para realizar el cálculo de la cantidad de módulos fotovoltaicos, se utiliza la Ecuación 1.

$$M = \frac{Ec}{E_M I_M h_p} \quad (1)$$

En dónde:

- EC = Energía consumida diariamente (Wh)
- E_M = Tensión máxima del módulo (V)
- I_M = Corriente máxima del módulo (A)
- H_P = Radiación en la localidad (kWh/m²)
- M = Número de módulos fotovoltaicos

Para calcular el número de filas en serie de los módulos que se van a conectar al inversor se emplea la Ecuación 2.

$$\text{Número de filas en serie} = \frac{V_{\max in}}{V_{ac \text{ módulo}}} \quad (2)$$

En dónde:

- $V_{\max in}$ = Voltaje máximo del inversor
- $V_{ac \text{ módulo}}$ = Voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico

Para calcular el número de columnas de módulos en paralelo se emplea la Ecuación 3.

$$\text{Número de columnas en paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_{módulo}} \quad (3)$$

En dónde:

- I_{inv} = Corriente máxima del Inversor (A)
- $I_{módulo}$ = Corriente máxima del módulo (A)

5.3.3 Selección de módulos fotovoltaicos.

Para seleccionar los paneles solares, se considera principalmente la eficiencia y la potencia pico, ya que, si se tiene mayor eficiencia y potencia, se necesita menor número de módulos para el área a instalar.

En la Tabla 8 se indica la cantidad de paneles solares necesarios de acuerdo a la demanda energética.

Tabla 8.*Cálculo de paneles solares*

CANTIDAD DE PANELES SOLARES					
Datos iniciales					
Demanda Energética	125.625,91	Wh/día			
HSP	4,28	h/día			
Temperatura max.	38	°C			
Temperatura min.	7	°C			
Potencia del Generador FV	29.383,30	W			
Ficha técnica del panel fotovoltaico					
Marca	LONGI - MONO PERC		Influencia de la temperatura		
P. máx.	420	W	Tc	69,44	°C
			Var. Potencia	-16,44	
Vpm	40,20	V	Var. Voc	3,25	%
Ipm	10,45	A	Var. Isc	2,53	%
Voc	48,80	V	Pot. max corregida	350,94	W
Isc	11,04	A	Voc Corregido	51,21	V
TNOCT	45	°C	Isc Corregido	11,62	A
Coef. Temp. Pmax	-0,37	%	Vmpp en serie	615	V
Coef. Temp. Voc	-0,286	%	ISC en paralelo	11,32	A
Coef. Temp. Isc	0,057	%	Isc en paralelo	9,94	A
Cantidad de paneles FV		84			
	83,73				
N° paneles FV en serie	14,9254	15			
N° paneles FV en paralelo	0,43	1			
Potencia del Generador FV	29.479 W				

Fuente: Sozoranga E. (2024)

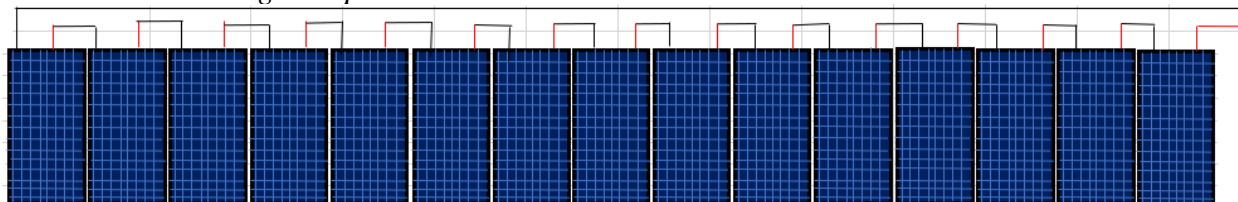
Según el cálculo realizado, para abastecer de energía en un 100 % a la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa” se necesita instalar 84 módulos fotovoltaicos.

5.3.4 Diagrama de conexión de los módulos Fotovoltaicos.

Para mantener las características de los arreglos fotovoltaicos, se conecta cada módulo fotovoltaico en serie. Con este tipo de configuración se tendrá un valor de voltaje y corriente menor al de los inversores que irán conectados a cada arreglo. En la Figura 15 se observa la conexión en serie.

Figura 15.

Arreglo de paneles



Fuente: Sozoranga E. (2024)

5.3.5 Dimensionamiento y selección del Inversor

Para seleccionar el inversor se debe considerar que la forma de onda es senoidal pura, debido a que, para la conexión, la forma de onda en la salida debe ser habitualmente idéntica a la de la red eléctrica de la empresa distribuidora. El inversor regula la tensión de salida y proporciona la frecuencia correcta para hacerla coincidir con el valor de trabajo de la red eléctrica; además, ajusta los valores de irradiación solar, carga eléctrica y temperatura para realizar un seguimiento del punto de máxima potencia. En la Tabla 9 se presentan algunas características de entrada y salida del inversor de potencia de salida de 15.000 W.

Tabla 9.

Características del Inversor

Dimensionamiento del inversor		
Potencia total de consumo	29.383,28	W
Factor de seguridad	1,20	
Voc. Máxima del arreglo paneles	603,00	V
Potencia del Inversor	35.259,93	W
Potencia del Inversor más 10%	38.785,93	W
Potencia del Inversor seleccionado	15.000	W
V entrada Min del Inversor CC	600	V
V entrada Max del Inversor CC	1.000	V
Corriente del Inversor	27	A
Voltaje de salida del inversor AC	280	V

Fuente: Sozoranga E. (2024)

Los datos técnicos de la potencia del inversor se presentan en el Anexo 2.

5.3.6 Cálculo de la Sección del Conductor

Para realizar el dimensionamiento del cable en función de la máxima corriente de salida del generador al inversor y del inversor al generador, se toma en cuenta la máxima caída de tensión admisible que es del 3 %.

Para el cálculo de la sección del conductor, mostrado en la Tabla 10, se considera que el conductor es cable de cobre; por lo tanto, el coeficiente de resistividad es $\rho = 0,022 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Se mide la distancia del generador al inversor, del inversor al tablero de distribución, y aplicando la ecuación 4 se encuentra la sección del conductor.

Tabla 10.

Cálculo de la sección del cable

Cálculo de la sección del cable							
ρ Cu (75°C)	0,022		$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$				
Componente 1	Componente 2	Longitud (m)	Máxima caída de tensión admisible	I (A)	V	S (mm ²)	AWG
Generador	Inversor	15	3%	11,27	40	6,20	8
Inversor	Tablero TD	10	3%	68,18	220	4,55	10

Fuente: Sozoranga E. (2024)

Para calcular la sección del conductor se aplica la Ecuación 4:

$$S = \frac{2 \times \rho \times L \times I}{\% (V_a - V_b)} \quad (4)$$

En dónde:

- S = Sección del conductor en mm²
- ρ = Conductividad del material ($\rho = 0,022 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ para conductor de cobre)
- L = Longitud en metros
- I = Intensidad en amperios
- $V_a - V_b$ = Caída de tensión en voltios

5.3.7 Cálculo de distancia de sombra

Es la sombra generada entre arreglos fotovoltaicos. Estos arreglos deben estar separados con una distancia suficiente para que el primer arreglo no genere sombra sobre el consecutivo. Si

hay otro que antecede, no debe generar sombra sobre el siguiente, y así sucesivamente para todos los arreglos.

La medida del panel se obtiene del fabricante. La altura del panel, por refrigeración, no se debe colocar a la altura de la superficie; en este caso, se la coloca a 1 metro sobre la superficie en donde se va a instalar el sistema. En la Tabla 11 y Figura 16 se muestra la distancia de sombra determinada.

Tabla 11.

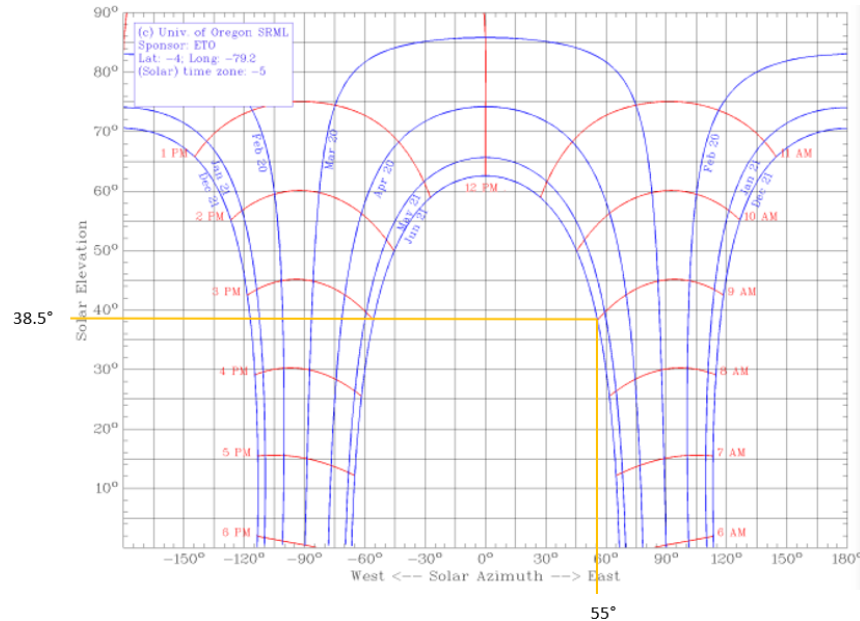
Distancia de sombra

Ángulo de inclinación (β)	15	grados
Medida del largo del panel	2.115	m
Altura elevada del panel	1	m
Elevación solar (Ys)	38,50	grados
Azimut solar (Ys)	55	grados
Distancia de sombra (Ds)	1.116	m
Factor de seguridad	15	%
Distancia de sombra (Ds)	1.283	m

Fuente: Sozoranga E. (2024)

Figura 16.

Distancia de sombra



Fuente: Sozoranga E. (2024)

5.3.8 Cálculo de distancia del área del sistema fotovoltaico

Para el cálculo del área del sistema fotovoltaico se consideran las dimensiones de los paneles seleccionados. El cálculo de distancia del área del sistema fotovoltaico se ve representado en la Tabla 12.

Tabla 12.

Distancia del área del Sistema

Cálculo de distancia del área del sistema fv		
Medidas de Panel Solar		
Alto	2.115	mm
Largo	1.052	mm
Ancho	35	mm
Cantidad de paneles	76	
Distancia de sombras	1,20	m
Área sin sombras	169,10	m ²

Fuente: Sozoranga E. (2024)

5.3.9 Costos de los componentes y materiales complementarios

En la Tabla 13 se indica el costo de los componentes y los materiales complementarios necesarios para este proyecto.

Tabla 13.

Costos de componentes y materiales complementarios

Costo de los componentes			
	USD	Cantidad	TOTAL USD
Equipos			
Panel solar	\$212	84	\$17.808
Inversor	\$500	5	\$2.500
		TOTAL	\$22.893
Costo de materiales complementarios			
EQUIPOS	USD	Cantidad	TOTAL S/.
Termomagnético 15A IC60N ABB	\$40	5	\$200
Cableados	\$95	3	\$285
Estructura hierro galvanizado	\$200	8	\$1.600
Puesta a tierra	\$500	1	\$500
		TOTAL	\$2.585
		TOTAL	\$22.893

Fuente: Sozoranga E. (2024)

5.3.10 Gastos de mantenimiento

Estas instalaciones requieren un mantenimiento periódico en el que se haga una limpieza general de los paneles y se verifique la operación de equipos, entre otras actividades. Se debe contemplar que es necesario reemplazar algunos elementos una vez cumplan su vida útil.

5.3.11 Método 1

La presente investigación está basada en una metodología experimental, a través de un estado descriptivo, ya que se trabajará en función de energías renovables en la generación de energía eléctrica conectada a la red para el autoconsumo de la UEFLD. Se interviene directamente sobre las variables, registrando sus medidas en la aplicación de aspectos tecnológicos a situaciones puntuales de potencial de energía en sistemas fotovoltaicos conectados a la red para generar energía eléctrica para el autoconsumo de la UEFLD.

El estudio se realiza considerando los siguientes aspectos: Evaluación del potencial energético del sol (irradiación), desarrollo del cálculo de HSP, obtención de la potencia total requerida para la UEFLD y la definición de la metodología para el diseño del sistema de generación conectado a la red.

5.3.12 Método 2

Se define la localización geográfica de la ubicación del sistema de generación fotovoltaico y se determina el ángulo de inclinación. Además, se consideran todos los componentes necesarios para realizar y culminar el estudio planteado, entre los cuales están: costo de inversión de equipos, costo de inversión en cables y costo de diseño y construcción.

5.4 Técnicas

5.4.1 Técnica 1

Se utiliza la energía del sol proyectado sobre una unidad de superficie en un tiempo determinado y definida en Wh/m^2 o kWh/m^2 . El sistema está compuesto por un generador fotovoltaico conectado a la red eléctrica de la empresa distribuidora a través de un inversor, produciéndose un intercambio energético entre ésta y el sistema fotovoltaico. El sistema inyecta energía a la red cuando su producción supera al consumo local, y extrae energía de la red en el caso de que el consumo local supera a la producción.

6 Resultados

Para determinar el consumo de energía que tiene la UEFLD se considera el consumo histórico de energía y, de acuerdo a este valor, se diseña el sistema fotovoltaico. Se estima el consumo pico considerando un año de consumo, desde el mes de enero hasta diciembre. Luego, se realiza el análisis económico con el fin de verificar la factibilidad.

Las características del sistema fotovoltaico proyectado son:

- ✓ Es un sistema ON GRID
- ✓ La potencia del generador fotovoltaico es de 29.479 W
- ✓ La potencia máxima de cada panel fotovoltaico es de 420 W
- ✓ La potencia corregida para el panel fotovoltaico es de 350,94 W
- ✓ Se necesitan 84 módulos FV.
- ✓ El Inversor de potencia de salida es de 15.000 W, con una tensión de entrada nominal de 600 V.

El costo para implementar el proyecto es de \$ 22.893, con el cual se determina la factibilidad del proyecto. El periodo de vida útil es de 25 años. En la Tabla 14 se expone el cálculo del TIR – VAN.

Tabla 14.

Cálculo VAN-TIR

AÑO	INGRESOS	ENERGÍA GENERADA - kWh/año	EGRESOS	GASTOS X MTTO.	FLUJO DE CAJA ECONÓMICO
0	0	0	22.893	0	-22.893
1	5.972,22	45.853,46	48	48	5.924,22
2	5.957,32	45.738,82	48	48	5.909,32
3	5.942,45	45.624,48	48	48	5.894,45
4	5.927,62	45.510,42	48	48	5.879,62
5	5.912,83	45.396,64	48	48	5.864,83
6	5.898,08	45.283,15	48	48	5.850,08
7	5.883,36	45.169,94	48	48	5.835,36
8	5.868,68	45.057,01	48	48	5.820,68
9	5.854,04	44.944,37	48	48	5.806,04
10	5.839,43	44.832,01	2.500	2.500	3.339,43
11	5.824,86	44.719,93	48	48	5.776,86
12	5.810,33	44.608,13	48	48	5.762,33

13	5.795,83	44.496,61	48	48	5.747,83
14	5.781,37	44.385,37	48	48	5.733,37
15	5.766,94	44.274,41	48	48	5.718,94
16	5.752,55	44.163,72	48	48	5.704,55
17	5.738,20	44.053,31	48	48	5.690,20
18	5.723,88	43.943,18	48	48	5.675,88
19	5.709,60	43.833,32	48	48	5.661,60
20	5.695,36	43.723,74	2.500	2.500	3.195,36
21	5.681,15	43.614,43	48	48	5.633,15
22	5.666,97	43.505,39	48	48	5.618,97
23	5.652,83	43.396,63	48	48	5.604,83
24	5.638,73	43.288,14	48	48	5.590,73
25	5.624,66	43.179,92	48	48	5.576,66
VAN					\$28.577,45
TIR					25,220265 %

Fuente: Sozoranga E. (2024)

En la Tabla 14 se muestra un VAN > 0 y el TIR > que la tasa de interés, por lo que se puede determinar que el proyecto es viable.

7 **Discusión**

El costo de transformación de energía solar es amortizable en el tiempo. El uso de sistemas de generación de energía utilizando tecnología fotovoltaica, además de proporcionar el potencial adecuado para la UEFLD, permite un significativo ahorro económico. La Hora Solar Pico (HSP), en el mejor de los casos, es de 5,94 kWh/m²; mientras que la media es de 4,28 kWh/m². La secuencia de cálculos permite identificar los equipos que conforman la propuesta de generación fotovoltaica con el respectivo beneficio técnico y económico que representaría la implementación del proyecto.

8. Conclusiones

Para cubrir la demanda energética de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa” en un 100 % del consumo total, se realizó el cálculo de los elementos que intervienen en el mismo, obteniendo como resultado que se necesitan 84 módulos fotovoltaicos y 5 inversores, conectados a los 15 arreglos fotovoltaicos dimensionados, consiguiendo una potencia nominal de salida de 29.479 kW.

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se utilizó el valor del consumo más alto del periodo en estudio, y el nivel de radiación medio. Al tomar estos dos criterios, se cubre con la mayor demanda de energía y el medio escenario de radiación de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”

El dimensionamiento del sistema propuesto es viable para las instalaciones de la Unidad Educativa Fiscomisional “La Dolorosa”, ya que el consumo actual de la UEFLD es de 3.768,80 kWh/mes, y con el sistema propuesto se generará 29.479 W/día.

9. Recomendaciones

El inversor debe constar con dispositivos de protección contra sobre corrientes y sobre tensiones. Adicionalmente, se deben instalar cajas de protección para los circuitos de corriente continua provenientes de los strings (conjunto de paneles solares fotovoltaicos que están conectados en serie).

Efectuar un análisis de costos y determinar la factibilidad de instalar este tipo de sistemas de generación para entidades fiscomisionales y edificios públicos.

10. Bibliografía

- Agencia de Regulación y Control de Energía. (2021, julio 21). *Seminario Proyectos Fotovoltaicos con Nuevas Regulaciones*.
- Aldo Paul Bernaola Canturín. (2018). *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la generación de energía eléctrica en el pabellón de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional del Centro del Perú*.
- Aranda Villalba, D. (2020). *Diseño de una huerta solar fotovoltaica con conexión a red*.
- De La Cruz Montañez, J. W., & Bastidas Guzmán, Y. M. (2020). *Evaluación de tres modelos matemáticos de la eficiencia de un panel fotovoltaico*.
- DE LA CRUZ MONTAÑEZ, JOSMEL WILLIAM & BASTIDAS GUZMÁN, YUBICA MARGARITA. (2020). *EVALUACIÓN DE TRES MODELOS MATEMÁTICOS DE LA EFICIENCIA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO [TESIS]*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ.
- Edison Javier Verdugo Lozano. (2022). *Análisis de métodos de eficiencia energética para vivienda existente ubicada en la ciudad de Duitama*. Universidad Antonio Nariño.
- EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA & Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES -ARCERNNR. (s. f.). *Resolución Nro. ARCERNNR-013/2021*.
- García Garnica, J. E., Sepúlveda Mora, S. B., & Ferreira Jaimes, J. (2018). Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de agua. *INGE CUC*.
- Herrera Lizarazo, A. B. (2019). *Método de simulación para el dimensionamiento de instalaciones solares a través del BIM*.
- Valdivieso Matos, A. M. (2021). *Uso de paneles fotovoltaicos de silicio cristalino para la optimización de la Planta Fotovoltaica de 22 MW en Majes-Arequipa*.

11. Anexos

Anexo 1. Panel fotovoltaico (Datasheet "Monocristalino" LONGI PERC HALF CELL)

Temperature Ratings (STC)

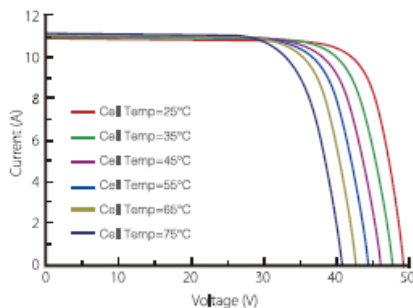
Temperature Coefficient of I_{sc}	+0.057%/°C
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.286%/°C
Temperature Coefficient of P_{max}	-0.370%/°C

Mechanical Loading

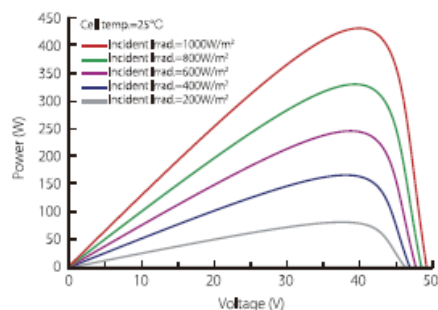
Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

I-V Curve

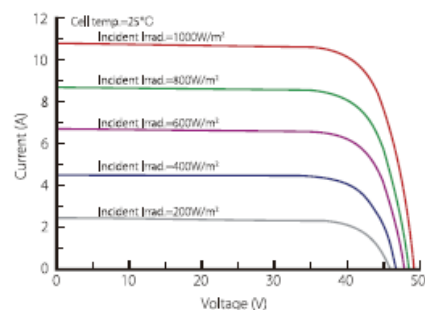
Current-Voltage Curve (LR4-72HPH-430M)



Power-Voltage Curve (LR4-72HPH-430M)



Current-Voltage Curve (LR4-72HPH-430M)



LONGI

Room 801, Tower 3, Lujiazui Financial Plaza, No.826 Century Avenue, Pudong Shanghai, 200120, China
 Tel: +86-21-80162606 E-mail: module@longi-silicon.com Facebook: www.facebook.com/LONGI Solar

Note: Due to continuous technical innovation, R&D and improvement, technical data above mentioned may be of modification accordingly. LONGI Solar have the sole right to make such modification at anytime without further notice; Demanding party shall request for the latest datasheet for such as contract need, and make it a consisting and binding part of lawful documentation duly signed by both parties.

V10

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25 °C, Spectra at AM1.5

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20 °C, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/s

Anexo 2. Datos Técnicos del Inversor

DATOS TÉCNICOS		DATOS GENERALES	
DATOS DE ENTRADA		Peso	43,4 kg
Número de seguidores MPP	2	Dimensión / anchura	510 mm
Máxima corriente de entrada ($I_{dc\ max}$)	33,0 / 27,0 A	Dimensión (altura)	725 mm
Máxima corriente de cortocircuito por serie FV	49,5 / 40,5 A	Dimensión (profundidad)	225 mm
Rango de tensión de entrada CC ($U_{cc\ min.} - U_{cc\ max.}$)	200 - 1000 V	Tipo de protección	IP 66
Tensión CC mínima de puesta en marcha ($U_{dc\ arranque}$)	200 V	Clase de protección	1
Tensión de entrada nominal ($U_{dc,r}$)	600 V	Categoría de sobretensión (CC / CA) ¹⁾	2 / 3
Rango de tensión MPP ($U_{mpp\ min.} - U_{mpp\ max.}$)	320 - 800 V	Consumo nocturno	< 1 W
Rango de tensión de punto de rendimiento máximo utilizable	200 - 800 V	Concepto de inversor	Sin transformador
Número de entradas CC	3 + 3	Refrigeración	Refrigeración de aire regulada
Máxima salida del generador FV ($P_{cc\ max.}$)	22,5 kWpeak	Instalación	Instalación interior y exterior
DATOS DE SALIDA		Rango de temperatura ambiente	-40°C - +60°C
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	15 kW	Humedad del aire admisible	0 - 100 %
Máxima potencia de salida ($P_{ac\ max}$)	15 kVA	Máxima altitud ²⁾	2,000 m / 3,400 m
Corriente de salida CA ($I_{ca\ nom}$)	21,7 A	Tecnología de conexión CC	Conexión de 6x CC+, 6x CC- bornes roscados 2,5 mm ² - 16 mm ²
Acoplamiento a la red ($U_{ca,r}$)	3~ NPE 400/230, 3~ NPE 380/220 V	Tecnología de conexión principal	Conexión de 5 polos CA bornes roscados 2.5 - 16 mm ²
Rango de tensión CA ($U_{min.} - U_{max.}$)	150 - 280 V	Certificados y cumplimiento de normas	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097
Frecuencia (f_r)	50 / 60 Hz		
Rango de frecuencia ($f_{min} - f_{max}$)	45 - 65 Hz		
Coefficiente de distorsión no lineal	1,5 %		
Factor de potencia ($\cos \varphi_{ac,r}$)	0 - 1 ind./cap,		

Anexo 3. Certificación de traducción del resumen

Anexo 3: Certificación de traducción del resumen

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 24 de enero de 2024

Paula Michelle Armijos Iñiguez

LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN IDIOMA INGLÉS

Certifico:

Que he traducido minuciosamente el resumen del Trabajo de Titulación denominado: "DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CONECTADO A LA RED UTILIZANDO PANELES FOTOVOLTAICOS PARA EL AUTOCONSUMO DE LA UNIDAD EDUCATIVA FISCOMISIONAL LA DOLOROSA", previo a la obtención del título de Magister en Electricidad en de la autoría del estudiante Edwin Marcelo Sozoranga Benitez, con cédula de identidad Nro. 1103769418, de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, autorizando al interesado, hacer uso del presente en lo que estime conveniente.

Atentamente.


.....
Lic. Paula Michelle Armijos Iñiguez
CI: 1106067026
Registro Senescyt: 1008-2016-178840