



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

SEDE
ESMERALDAS

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**ANÁLISIS TÉCNICO, REGULATORIO Y ECONÓMICO PARA LA
INSTALACIÓN DE UN SISTEMA ALTERNO DE SUMINISTRO
ELÉCTRICO BASADO EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN
COMUNIDADES RURALES DE ESMERALDAS.**

TFM previo a la obtención del título de **Magíster en Electricidad**

Autor: Javier Benito Trejo Márquez

Tutor: MSc. Carlos Iván Rueda

Esmeraldas – Ecuador

Junio 2022

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el Reglamento de Grado de la PUCESE previa la obtención del título de MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD.

.....
MSc. Carlos Iván Rueda
Tutor de Tesis

.....
MSc. Iván Patricio Pazmiño Ordoñez
Lector 1

.....
MSc. Xavier Quiñonez Ku
Lector 2

.....
MSc. Manuel Nevárez Toledo
Coordinador

AUTORÍA

Yo, JAVIER BENITO TREJO MÁRQUEZ portador de la cédula de identidad No. 0801827197 declaro que los resultados obtenidos en la investigación que presento como informe final, previo a la obtención del título de “Magíster en Electricidad” son absolutamente originales, auténticos y personales.

En tal virtud, declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprenden del trabajo propuesto de investigación y luego de la redacción de este documento son y serán de mi sola, exclusiva responsabilidad legal y académica.

.....
Javier Benito Trejo Márquez
C.I. 0801827197

CERTIFICACIÓN

Yo Carlos Iván Rueda, docente investigador de la PUCE-Esmeraldas, certifico que: La tesis de grado realizada por JAVIER BENITO TREJO MÁRQUEZ, bajo el título “ANÁLISIS TÉCNICO, REGULATORIO Y ECONÓMICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA ALTERNO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO BASADO EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COMUNIDADES RURALES DE ESMERALDAS”, reúne los requisitos de calidad, originalidad y presentación exigibles a una investigación científica y que han sido incorporadas al documento final las sugerencias realizadas, en consecuencia, está en condiciones de ser sometida a la valoración del Tribunal encargado de juzgarla.

Y para que conste a los efectos oportunos, firma la presente en Esmeraldas, 7 de febrero del 2023.

MSc. Carlos Iván Rueda
Asesor de Tesis

DEDICATORIA

A mi esposa Delia C. por su apoyo incondicional en todo tiempo, a mis hijos que han sido mi fortaleza para avanzar en busca de un mejor porvenir guiándoles a que lo que nos propongamos lo podemos lograr con esfuerzo y honestidad, porque todo se lo debo a mis padres, por inculcar en mí la importancia del estudio, y valores positivos para mi bienestar en el futuro.

A mis hermanos por ser mi apoyo en todo momento. A mi familia por ser siempre apoyo incondicional e inspiración.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la sabiduría e inteligencia fortaleciéndome para culminar esta etapa académica.

A mis docentes y compañeros de la maestría en Electricidad por sus enseñanzas en este tiempo de estudio.

A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede Esmeraldas, en cuyas instalaciones me profesionalicé.

Finalmente, a mi tutor MSc. Iván Rueda por su guía, comprensión y valiosos consejos a lo largo de este proceso.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
PRESENTACIÓN DEL TEMA	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
<i>Objetivo general</i>	3
<i>Objetivos específicos</i>	3
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	5
2.1.1. RADIACIÓN SOLAR.....	5
2.1.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	7
2.1.3. MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	8
2.1.4. REGULADOR DE CARGA.....	10
2.1.5. ALMACENADOR DE ENERGÍA.....	11
2.1.6. INVERSOR	13
2.1.7. ESTRUCTURA DE SOPORTE	16
2.1.8. PROTECCIONES DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO	17
2.1.9. PUESTA A TIERRA	18
2.2 ANTECEDENTES	18
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL	22
III. METODOLOGÍA.....	24
3.1. DELIMITACIÓN ESPACIO-TEMPORAL	24
3.2. TIPO DE ESTUDIO.....	25
3.3. DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	26
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	28
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	28
3.6. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	29

IV. RESULTADOS	30
4.1. ANÁLISIS DEL RECURSO SOLAR EN LA COMUNIDAD	30
4.2. ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA DEL PROYECTO FOTVOLTAICO	37
4.3. ESTIMACIÓN DE LA CARGA EN UN HOGAR ESTÁNDAR DE LA COMUNIDAD	38
4.4. PARÁMETROS GENERALES DE DISEÑO	39
4.4.1. UBICACIÓN	39
4.4.2. ÁNGULO DE INCLINACIÓN	39
4.4.3. ORIENTACIÓN DE LOS PANELES SOLARES.....	40
4.4.4. ÁNGULO AZIMUT	40
4.4.5. HORA SOLAR PICO	41
4.4.6. NIVEL DE TENSIÓN PARA EL SISTEMA FOTVOLTAICO	42
4.5. DIMENSIONAMIENTO	42
4.5.1. DIMENSIONAMIENTO DE PANELES SOLARES.....	46
4.5.2. DIMENSIONAMIENTO DE BANCO DE BATERÍAS	49
4.5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR DE CARGA	52
4.5.4. DIMENSIONAMIENTO DE INVERSOR.....	54
4.6. ESTRUCTURA PARA MONTAJE DE MÓDULOS FOTVOLTAICOS	56
4.7. PUESTA A TIERRA.....	57
4.8. PROTECCIONES	58
4.9. ANÁLISIS DE DATOS	60
<i>Resultados de la encuesta</i>	60
4.10. SIMULACIÓN	68
4.11. SELECCIÓN DE EQUIPOS	73

4.12.	PROYECCIÓN ENERGÉTICA.....	78
4.13.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	79
V.	DISCUSIÓN	80
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
6.1.	CONCLUSIONES.....	82
6.2.	RECOMENDACIONES	83
VII.	LIMITACIONES Y PROSPECTIVA	84
7.1.	LIMITACIONES	84
7.2.	PROSPECTIVA	84
	REFERENCIAS	86
	ANEXOS.....	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Tipos de Radiación Solar [3]	6
Figura 2 Partes de célula solar [6]	8
Figura 3 Panel Monocristalino [6].....	9
Figura 4 Panel Policristalino [6].....	9
Figura 5 Panel Amorfo [6].....	10
Figura 6 Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica [7]	11
Figura 7 Partes de una batería monobloque de Pb-Ácido [3].....	13
Figura 8 Diagrama de un sistema fotovoltaico aislado [3].....	14
Figura 9 Diagrama de bloques esquemático de un inversor básico [3].....	15
Figura 10 Onda cuadrada generada por las interrupciones [3].....	15
Figura 11 Onda senoidal obtenida a la salida del inversor [3]	15
Figura 12 Tipos de soportes [6].....	16
Figura 13 Protecciones en DC [3]	18
Figura 14 Ubicación Geográfica de la comunidad	24
Figura 15 Distancia entre comunidad y último tramo de tendido eléctrico.....	25
Figura 16 Software PVsyst [23]	29
Figura 17 Mapa de Radiación Solar en el Ecuador 2019 [12].....	31
Figura 18 Superposición de Mapa en Google Earth.....	31
Figura 19 Interfaz de Software PVsyst.....	32
Figura 20 Opción para ingreso de sitio.....	32
Figura 21 Ingreso de información para la base de datos	33
Figura 22 Datos climáticos generados en PVsyst.....	33
Figura 23 Pantalla de Bienvenida POWER DATA ACCES.....	34
Figura 24 Ingreso de información en POWER DATA ACCESS	35
Figura 25 Datos generados en POWER DATA ACCESS	36
Figura 26 Orientación de paneles solares [24]	40
Figura 27 Ángulo azimut de los paneles solares [24].....	41
Figura 28 Selección de tipo de sistema en PVsyst	43
Figura 29 Selección de sitio en base de datos para proyecto.....	43

Figura 30 Ingreso de parámetros principales.....	44
Figura 31 Ingreso de parámetros de campo.....	44
Figura 32 Ingreso de artefactos eléctricos al software	45
Figura 33 Definición de horas de uso para cada artefacto eléctrico	46
Figura 34 Habilitación de opción para coordinación de componentes.....	46
Figura 35 Ingreso de nivel de voltaje y días de autonomía al sistema	47
Figura 36 Paneles sugeridos por el software	47
Figura 37 Disposición de paneles solares.....	48
Figura 38 Selección de tipo de temperatura para batería.....	49
Figura 39 Parámetros de batería	49
Figura 40 Parámetros de regulador de carga	52
Figura 41 Esquema de regulador de carga e inversor independientes [27]	53
Figura 42 Perno de suspensión con riel [29]	57
Figura 43 Conjunto de sistema de montaje [29].....	57
Figura 44 Pinza de puesta a tierra [30]	58
Figura 45 Artefactos eléctricos comunes	61
Figura 46 Cantidad de focos led por vivienda.....	62
Figura 47 Cantidad de Teléfonos por vivienda	63
Figura 48 Frecuencia de uso de focos	65
Figura 49 Frecuencia de uso de licuadora	66
Figura 50 Frecuencia de uso de plancha.....	66
Figura 51 Frecuencia de uso de carga de teléfonos	67
Figura 52 Frecuencia de uso de radio	68
Figura 53 Distancia entre filas de paneles [5]	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características Principales de baterías.....	12
Tabla 2 Operacionalización de Variables	26
Tabla 3 Datos de Radiación Solar generados por la NASA.....	36
Tabla 4 Métodos de Análisis de Recurso Solar	37
Tabla 5 Descripción de carga de hogar estándar	38
Tabla 6 Tensión de trabajo en función de la potencia instalada	42
Tabla 7 Parámetros para dimensionar inversor	55
Tabla 8 Potencia Instalada en corriente alterna	55
Tabla 9 Artefactos eléctricos comunes	60
Tabla 10 Cantidad de artefactos eléctricos comunes por vivienda.....	62
Tabla 11 Frecuencia de uso de artefactos eléctricos.....	64
Tabla 12 Características de panel solar elegido.....	73
Tabla 13 Características de batería seleccionada	75
Tabla 14 Características de regulador seleccionado.....	76
Tabla 15 Características de inversor seleccionado	76
Tabla 16 Balances y resultados principales	78
Tabla 17 Presupuesto estimado	79

RESUMEN

La energía eléctrica permite el desarrollo de las comunidades, satisfaciendo las necesidades de demanda energética requerida para la ejecución de tareas generales del ser humano, en la comunidad “San Pedro del Sereno” ubicada en el cantón Atacames en la provincia de Esmeraldas, se ha evidenciado la carencia del sistema eléctrico, causando que los habitantes opten por el uso de pequeños generadores de energía eléctrica a base de combustibles lo que se traduce en contaminación auditiva, así como ambiental en esta zona. Por ello, este trabajo presenta el estudio de un sistema fotovoltaico autónomo con respaldo de baterías en base al consumo estimado de los hogares que aproximadamente es de 4.86 kWh al día. Se determinó los artefactos eléctricos más comunes en las viviendas, así como la viabilidad técnica de uno de los parámetros fundamentales como la radiación solar donde se demostró que es idóneo el lugar para el aprovechamiento del recurso solar promediando 4.7 kWh/m²/día durante todo el año, con ello, se procedió con el dimensionamiento de los principales componentes del sistema fotovoltaico que permitan la captación y conversión de energía solar a eléctrica, obteniendo cinco paneles solares, un regulador de carga, cuatro baterías y el inversor que conjuntamente deben producir alrededor de 1700 kWh al año, energía necesaria para cualquier hogar de la comunidad con al menos un día de autonomía, además se estableció otros criterios como montaje de paneles, protecciones y consideraciones generales para el caso de ser considerado el proyecto como implementación, la energía renovable mejorará las condiciones de vida de cada habitante optimizando sus actividades cotidianas y reduciendo el impacto ambiental considerablemente.

Palabras claves: energía renovable, radiación solar, autoconsumo, sistemas fotovoltaicos.

ABSTRACT

Electric energy allows the development of communities, satisfying the needs of energy demand required for the execution of general tasks of human beings, in the community "San Pedro del Sereno" located in the canton of Atacames in the province of Esmeraldas, the lack of the electrical system has been evidenced, causing the inhabitants to opt for the use of small fuel-based electric power generators which results in noise pollution, as well as environmental pollution in this area. Therefore, this work presents the study of an autonomous photovoltaic system with battery backup based on the estimated household consumption of approximately 4.86 kWh per day. The most common electrical appliances in the homes were determined, as well as the technical feasibility of one of the fundamental parameters such as solar radiation where it was demonstrated that the location is suitable for the use of the solar resource averaging 4.7 kWh/m²/day throughout the year, with this, we proceeded with the sizing of the main components of the photovoltaic system that allow the collection and conversion of solar energy to electricity, obtaining five solar panels, a charge controller, four batteries and the inverter that together should produce about 1700 kWh per year. In addition, other criteria were established such as panel assembly, protections and general considerations in case the project is considered for implementation. Renewable energy will improve the living conditions of each inhabitant, optimizing their daily activities and reducing the environmental impact considerably.

Keywords: renewable energy, solar radiation, self-consumption, photovoltaic systems.

I. INTRODUCCIÓN

Presentación del tema

La energía es uno de los elementos más necesarios y que juega un papel importante en el crecimiento económico de los países. Varios factores, como la urbanización, la implementación de nuevas tecnologías y el crecimiento de la población humana, conducen a un incremento considerable de la demanda mundial de energía. Si bien es cierto en algunos lugares existe la generación convencional de energía para suplir lo requerido, esta no puede ser trasladada hasta el usuario final por las complicadas condiciones geográficas en aquellas zonas. Bajo este contexto, en la actualidad y con el auge de la transición en la matriz energética se propicia la investigación, diseño e implementación de energías renovables como alternativa puesto que las nuevas tecnologías permiten el autoconsumo a pequeña escala.

Observando aquellas necesidades, el presente trabajo busca promover la investigación y diseño de sistemas fotovoltaicos aislados como la forma más idónea para proveer de energía aquellas zonas rurales donde las empresas eléctricas no han podido llegar, en este caso específico la comunidad “San Pedro del Sereno” del Recinto Taseche en Tonsupa-Esmeraldas.

Planteamiento del problema

En el desarrollo actual del sector energético se presta un gran nivel de atención a las fuentes de generación de energía renovable en sistemas domésticos para autoconsumo. La energía distribuida permite un control flexible del propio sistema y la reducción de las pérdidas de energía durante la transmisión a los consumidores.

La temática a abordar en el presente proyecto, se ejecutará en la comunidad “San Pedro del Sereno” ubicada en la parroquia Tonsupa del cantón Atacames, donde se encuentran alrededor de unas 20 casas, donde se ha evidenciado la carencia de tendido eléctrico que

permita abastecer mediante la red de distribución a esta zona, como consecuencia de ello los habitantes se ven obligados a adquirir generadores eléctricos y estos a la vez producen algún tipo de impacto ambiental por la quema de combustible así como impacto en la salud a largo plazo por el ruido emitido durante su uso.

La situación energética de la provincia de Esmeraldas debido a la falta de proyectos eléctricos en zonas rurales ha obligado a plantearse la búsqueda de fuentes de energías renovables que subsanen las necesidades de las poblaciones con un servicio indispensable para el desarrollo y buen vivir. De esta manera se pretende dar solución en la comunidad establecida para este estudio y aquello pueda servir como plan piloto en otros lugares remotos donde se pueda replicar y así promover este tipo de proyectos de nuevas tecnologías en la Provincia de Esmeraldas.

Justificación

El impacto ambiental causado por la generación de energía eléctrica por métodos convencionales está llevando al mundo a priorizar cada vez más la necesidad de implementar energías renovables, es por ello que energías como la solar fotovoltaica y eólica surgen como gran alternativa a desplegar dentro de los planes que permitan conservar la sostenibilidad tanto para la sociedad como para el medio ambiente [1].

La investigación del análisis técnico, regulatorio y económico para la instalación de un sistema alternativo de suministro eléctrico basado en energía solar fotovoltaica en la provincia de Esmeraldas comunidad “San Pedro del Sereno” es importante porque pretende fomentar la generación de energías limpias amigables con el medio ambiente, pero sobre todo porque plantea la solución al desabastecimiento por parte de CNEL Esmeraldas en este tipo de zonas que no ha sido estudiado ni analizado bajo el ámbito de energías renovables como recurso.

En este estudio, se tomó en cuenta el perfil de carga, así como otros factores tales como ubicación, radiación solar, ángulos de inclinación, con el fin de poder dimensionar un sistema

fotovoltaico autónomo que permita abastecer de energía eléctrica a cada vivienda con opción de almacenamiento para días nublados y poder garantizar la continuidad del servicio.

El beneficio es directamente para todos los habitantes de esta comunidad del cantón Atacames la cual se ha elegido porque no existe en la actualidad un adecuado abastecimiento de energía eléctrica, tal como sucede con muchas zonas remotas de nuestro país, y por lo tanto persiste ese interés fundamental de promover y crear conciencia en estas comunidades remotas acerca de la existencia de estas nuevas tecnologías que pueden dar solución a sus necesidades energéticas.

Objetivos

Objetivo general

Realizar el análisis técnico, regulatorio y económico para la instalación de un sistema de generación de energía eléctrica en base a energía fotovoltaica para la comunidad “San Pedro del Sereno” perteneciente al recinto Taseche de la parroquia rural Tonsupa del cantón Atacames en la provincia Esmeraldas.

Objetivos específicos

- Revisar los fundamentos teóricos y aspectos regulatorios (aplicables en Ecuador) de los sistemas de generación fotovoltaica idóneos para zonas rurales aisladas de la red eléctrica convencional.
- Establecer la viabilidad técnica del proyecto a través del análisis de datos de radiación solar proporcionados por fuentes meteorológicas haciendo uso del software PVSyst.
- Identificar los criterios de diseño del sistema fotovoltaico, de acuerdo con los niveles de la carga que requiere una vivienda estándar en la comunidad de San Pedro del Sereno del recinto Taseche.

- Determinar con ayuda del software PVSyst u otras herramientas, las especificaciones técnicas de los equipos requeridos para la comunidad de San Pedro del sereno del recinto Taseche.
- Realizar un presupuesto para la instalación fotovoltaica propuesta.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Energía solar fotovoltaica

En la actualidad existen algunas definiciones sobre la energía renovable, pero según la Agencia Internacional de Energía (IEA), se la puede establecer como aquella que proviene de recursos naturales que pueden ser reemplazados más rápido de lo que son aprovechados, tales como energía eólica, solar, hidráulica o algunas variantes de biomasa [2].

La energía solar es aquella fuente inagotable captada de la radiación electromagnética proveniente del sol y según la manera en la que sea receptada puede ser aprovechada como energía eléctrica o energía térmica. Puede clasificarse en: pasiva, siendo aquella que se utiliza de manera directa sin ser convertida; y activa, esta segunda se subdivide en lo que se conoce como térmica y fotovoltaica la cual es de interés para el desarrollo de esta investigación y se profundiza a continuación [2].

La energía solar fotovoltaica se define como la energía proveniente del sol que incide sobre la Tierra en forma de fotones y para ser convertida en eléctrica estos fotones deben ser captados a través de la exposición de materiales semiconductores cristalinos; el funcionamiento como tal de estas “células” se explica más adelante en el apartado de módulos fotovoltaicos [3].

2.1.1. Radiación solar

Se origina en el interior del sol cuando se producen reacciones de fisión nuclear en consecuencia de las altas temperaturas cuyo valor medio es de 5727 °C provocando que se genere un desgaste de masa que se desprende en forma de energía y es expulsada al exterior en conjuntos de radiaciones electromagnéticas, siendo medida en la Tierra como Irradiancia Solar mediante la potencia reflejada en función de la superficie a través de la unidad W/m^2 [4].

La radiación solar percibida por la Tierra sufre algunas variaciones debido a diversos factores que influyen en su trayectoria, por ello, se descompone en 3 tipos que en conjunto conforman

la radiación global. Dichos tipos de radiación solar se ilustran en la Figura 1 y se describen a continuación [3]

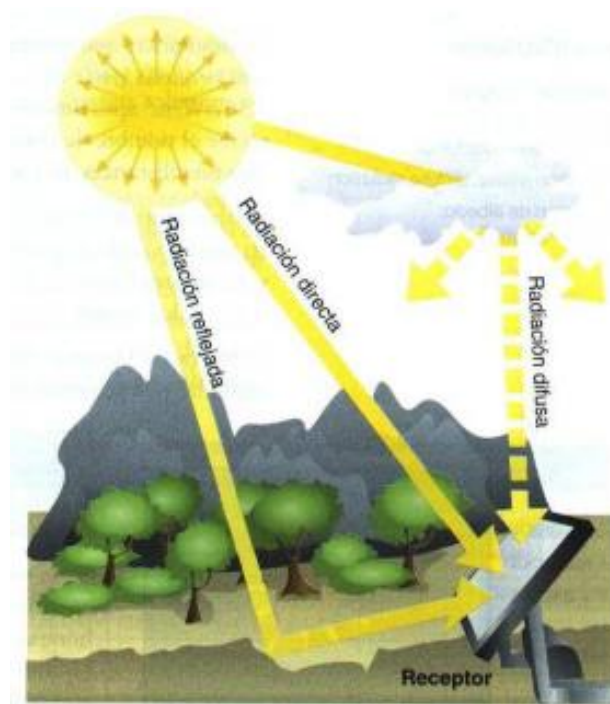


Figura 1 Tipos de Radiación Solar [3]

- **Radiación Directa:** es aquella percibida sin ninguna interferencia al atravesar la atmósfera, directamente de los rayos del sol.
- **Radiación Difusa:** es la que se percibe de varias direcciones por dispersión en la atmósfera debido a factores como las nubes, por ejemplo.
- **Radiación Reflejada o albedo:** consiste en toda radiación que es captada por el receptor luego de haber sido desviada en la superficie terrestre debido a la reflexión sobre la naturaleza o edificios, por ejemplo.

2.1.2. Sistemas fotovoltaicos

Se interpreta como sistema fotovoltaico al conjunto de equipos que hará posible la conversión de la energía solar en energía eléctrica, considerando desde los elementos principales tales como paneles solares, reguladores de carga, inversores y baterías, hasta los secundarios como estructuras y anclajes, cableado, protecciones, sistema de puesta a tierra, medición, entre otros.

La clasificación más común que existe para estos sistemas se basa en su aplicación, y se pueden diferenciar básicamente dos variantes explicadas a continuación:

- **Sistemas aislados u Off Grid:** Este conjunto fotovoltaico se emplea generalmente para lugares remotos o de difícil acceso, puesto que su funcionamiento es autónomo, es decir, independiente de una red de distribución eléctrica. Están conformados principalmente por los paneles, el regulador de carga, el inversor y el sistema de almacenaje de energía. Se encuentran muy a menudo a pequeña escala en aplicaciones domésticas, así como en iluminación de lugares [5]
- **Sistemas Conectados a la Red u On Grid:** Por otra parte, existen también soluciones para las zonas donde se cuenta con redes de distribución, los componentes no varían mucho respecto al anterior sistema, salvo las características del inversor que según las necesidades se puede adaptar no solo para funcionar junto a la red eléctrica; sino también para aportar a ella el excedente de lo generado por el conjunto fotovoltaico, además en este caso el sistema de almacenamiento de energía (baterías) es algo de lo que se puede prescindir por el simple hecho de que estos sistemas se instalan generalmente para ahorrar energía durante el día en industrias por ejemplo. Hay otros casos donde se instalan junto a un banco de baterías como en el caso aislado, cuando su función es ser respaldo de la red eléctrica y garantizar la operación de equipos, cabe recalcar que se puede encontrar componentes adicionales como medidores bidireccionales, sistemas de control para monitoreo, entre otros [5].

En el presente trabajo de investigación se emplea un sistema aislado, puesto que la idea es solventar la problemática ante la falta de tendido eléctrico por parte de la empresa eléctrica para la comunidad, a continuación, se detalla brevemente sobre los principales componentes del sistema fotovoltaico y sus funciones.

2.1.3. Módulo Fotovoltaico

La forma de captar la energía radiante del sol es por medio de la utilización de un panel solar fotovoltaico o módulo fotovoltaico, ya que estos son contruidos por materiales semiconductores que presentan determinadas características que posibilitan la conversión de energía, y a estos se los puede conectar eléctricamente de modo que produzcan tensiones y corrientes que se puedan utilizar en las aplicaciones cotidianas [6].

El panel se encuentra constituido por células solares, las cuales actúan como un diodo, siendo “N” la parte donde refleja la radiación y “P” la parte ubicada en lo oscuro cada zona con su respectivo terminal, como se muestra la figura 2 [6].

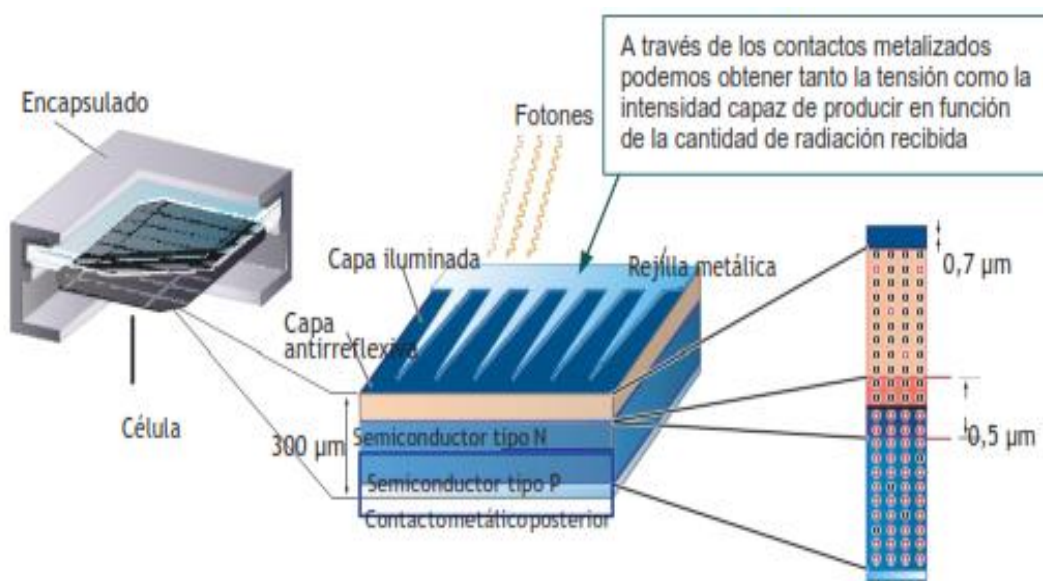


Figura 2 Partes de célula solar [6]

La principal clasificación de los paneles solares es en base al contenido interno de cada célula en cuanto al silicio empleado para la construcción y se pueden diferenciar tres tipos:

Panel Monocristalino

Estos se fabrican a base de silicio puro y mezclado con boro, generalmente son de color azul, en pruebas de laboratorio presentan un rendimiento de hasta 24% y en rendimiento directo entre 15 – 18%, se observa en la figura 3 un ejemplo [6].



Figura 3 Panel Monocristalino [6]

Panel Policristalino

En cuanto a la fabricación estos se asemejan a los monocristalinos salvo las fases de cristalización que son menos. Físicamente, pueden presentar algunas tonalidades de azul como se aprecia en la figura 4. Además, en pruebas de laboratorio mantienen un rendimiento entre 19 – 20% y en rendimiento directo entre el 12 – 14% [6].

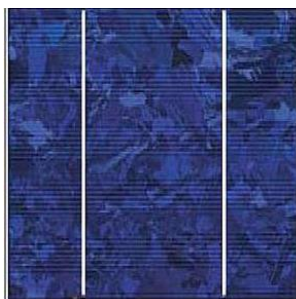


Figura 4 Panel Policristalino [6]

Panel amorfo

Una gran ventaja es el hecho de poder construirse ubicando el silicio como una delgada lámina, físicamente pueden tener un color homogéneo marrón como indica la figura 5, en

pruebas de laboratorio se obtiene un rendimiento de 16% pero en rendimiento directo es inferior al 10%. [6]



Figura 5 Panel Amorfo [6]

El arreglo fotovoltaico es la conexión en serie o paralelo de los paneles, lo cual se establece según los requerimientos del diseño e instalación, si se necesita aumentar la tensión entonces se debe formar un arreglo en serie, y si se desea aumentar la corriente se debe hacer un arreglo en paralelo.

2.1.4. Regulador de Carga

Es uno de los principales componentes del sistema, encargado de administrar la carga y descarga de las baterías controlando la corriente que recibe del conjunto generador, así como la que dosifica a las cargas conectadas a la salida del inversor [7].

Se pueden encontrar dos tipos de reguladores normalmente, de tipo **PWM** los cuales trabajan limitando la potencia entregada por los paneles solares y por ello se obtienen muchas pérdidas, aunque cabe recalcar que son los más económicos, la opción más viable es del tipo **MPPT** que están hechos de manera que su electrónica interna les permita buscar el punto de potencia máxima y así optimizar el rendimiento para todo el sistema [5].

En la figura 6 se puede observar la implementación del regulador en un sistema fotovoltaico.

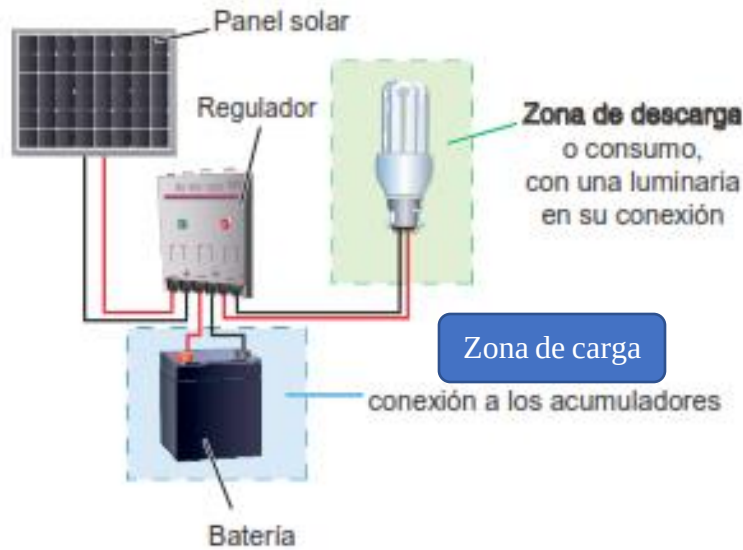


Figura 6 Conexiones del regulador en una instalación fotovoltaica [7]

2.1.5. Almacenador de Energía

Este componente se representa por una batería o un banco de baterías según sea el caso y/o requerimientos de la instalación, el tamaño del banco de baterías está estrechamente ligado al número de días de autonomía que se solicita. Este documento debe garantizar la entrega de energía durante los días pocos soleados para los cuales ha sido dimensionado.

El funcionamiento se basa en la reacción electroquímica reversible de dos sustancias, compuesto por una que se oxida y otra que se reduce. Dicho proceso permite el intercambio de electrones y por consecuencia se crea una corriente eléctrica. Además, para posibilitar aquello debe incluir dos electrodos y un electrolito que facilite el cambio de iones [8]. Todo este proceso es necesario para convertir la energía química almacenada brindada por los paneles en energía eléctrica para el consumo.

Entre los tipos de baterías más usadas en este ámbito de la energía solar se pueden diferenciar 5: las baterías **Monoblock** que son recomendadas para sistemas autónomos, las baterías **AGM** que contienen un válvula para regular los gases y con ello su rendimiento, las baterías **Estacionarias** diseñadas para largos consumos y con extendida vida útil, baterías de **Gel** que son recomendadas en caso de ser ubicadas en una zona de difícil mantenimiento ya que no

necesitan ser abiertas, y las más rendidoras y con mejor proceso de carga y descarga pero así mismo más cara, la batería de **Litio** [5].

En la tabla 1 se puede apreciar algunos tipos de batería según el electrolito empleado en su fabricación, donde se exponen algunas de sus características principales:

Tabla 1. Características Principales de baterías

Tipo de batería	Tensión por Vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad por tamaño	Precio
Plomo-Ácido	2	8-16 h	< 5%	Medio	30-50 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (Níquel-cadmio)	1,2	1 h	20%	Elevado	50-80 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (Níquel-metalhidruro)	1,2	2-4 h	20%	Medio	60-120 Wh/kg	Medio
Li ion (ion litio)	3,6	2-4 h	6%	Medio – Bajo	110-160 Wh/kg	Alto

[6]

En la figura 7 se detalla las partes esenciales de una batería, tal es el caso del tipo monobloque, el siguiente ejemplo corresponde a una fabricada con Plomo-Ácido, se muestra

su despiece identificando básicamente los electrodos que suelen ser placas, los separadores, la tapa con sus tapones o terminales según sea el tipo de batería y el recipiente.

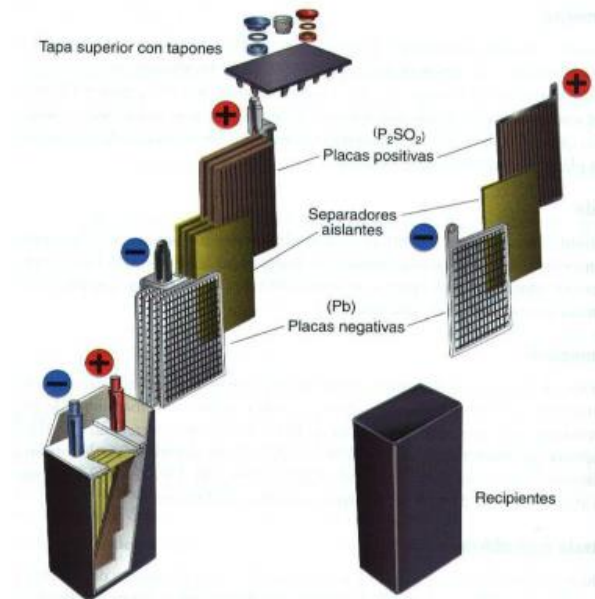


Figura 7 Partes de una batería monobloque de Pb-Ácido [3]

2.1.6. Inversor

Es otra pieza fundamental en el sistema fotovoltaico, ya que se encarga de convertir la corriente continua que a él ingrese ya sea proveniente directamente de los paneles o desde las baterías para obtener en la salida corriente alterna apta para el consumo de las cargas.

Si el sistema fotovoltaico es diseñado para conectarse a la red, entonces obligatoriamente se debe hacer la conversión de la corriente. En el caso de los sistemas autónomos es opcional debido a que es viable utilizar aparatos eléctricos comunes que funcionen con corriente continua como focos, por ejemplo, pero generalmente los receptores adecuados para trabajar en DC son más costosos y sobre todo complicados de conseguir, por lo que cabe recalcar que igual en los sistemas aislados lo ideal es utilizar los inversores [3].

La clasificación de los inversores se basa en la aplicación que estos tengan, por lo que generalmente se encuentran para sistemas aislados y para sistemas conectados a la red. En este caso de estudio se necesita un sistema con un esquema eléctrico sencillo como el

mostrado en la figura 8, el cual presenta los componentes necesarios para que el sistema sea autónomo, es decir, aislado.

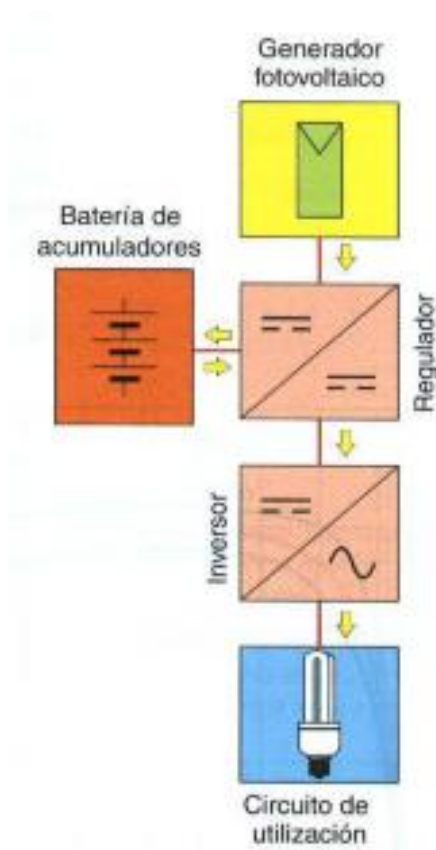


Figura 8 Diagrama de un sistema fotovoltaico aislado [3]

Para el funcionamiento del inversor se utiliza principalmente electrónica de potencia. Cabe recalcar que el cambio de DC a AC sinusoidal requiere de algunas fases.

En la figura 9, se puede observar un esquema básico y simplificado de las etapas para entender el principio de operación, implementando en la entrada un condensador encargado de suministrar los picos de corriente necesarios para la etapa de conmutación, que es aquella donde se ejecutan interrupciones combinadas en semiperiodos para formar una onda cuadrada. Cuando los interruptores A y D permanezcan abiertos y C y B cerrados, entonces se obtiene la parte positiva de la onda; para obtener la parte negativa, las combinaciones de interrupciones deben ser viceversas como se muestra en la figura 10, en este punto aún no se puede utilizar aquella onda para los aparatos convencionales, para ello pasa por una última

etapa donde se encuentra un filtro inductivo a la salida, absorbiendo las bobinas la energía cuando los interruptores están cerrados y entregándola a la carga en el semiperiodo que estos se abren, generando así finalmente la onda senoidal como se observa en la figura 11 [3].

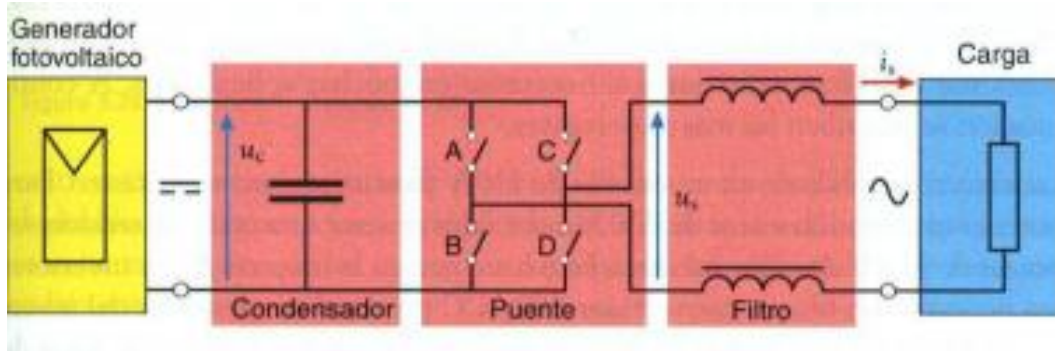


Figura 9 Diagrama de bloques esquemático de un inversor básico [3]



Figura 10 Onda cuadrada generada por las interrupciones [3]

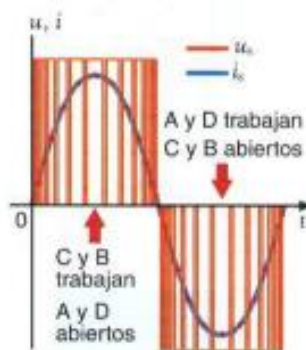


Figura 11 Onda senoidal obtenida a la salida del inversor [3]

2.1.7. Estructura de soporte

Los paneles solares son un solo módulo que no incluye sujeción a las superficies donde van a ser instalados, por ello es importante una adecuada selección de estas estructuras que no solo permitirán fijarlos sino también una función muy relevante como mantener el ángulo de inclinación óptimo que se establece y deben ser capaces también de tolerar varios factores climáticos como fuertes vientos, por ejemplo [6].

En la figura 12, se muestra una clasificación típica de estas estructuras en base al lugar de instalación de los paneles.

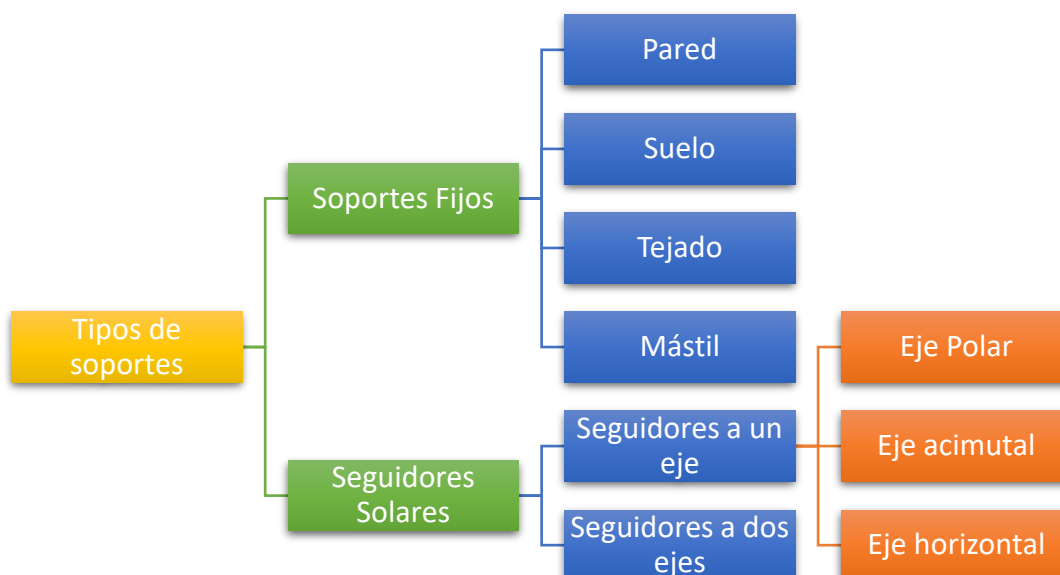


Figura 12 Tipos de soportes [6]

Entre los más utilizados del diagrama de la figura 12 se encuentran los seguidores solares, que son empleados en las centrales fotovoltaicas a gran escala donde se necesita aprovechar el máximo rendimiento. En cuanto a los soportes fijos son usualmente más usados los de mástil cuando son instalados en aplicaciones de telecomunicaciones como antenas, por ejemplo, y en el caso de aplicaciones a pequeña escala como de uso doméstico se usan los soportes de suelo y tejado [6].

2.1.8. Protecciones de un Sistema Fotovoltaico Aislado

Al igual que cualquier sistema eléctrico, todo conjunto fotovoltaico debe incluir protecciones que garanticen la seguridad en primer lugar de cualquier ser vivo, así como de cada componente que lo conforma para extender su vida útil.

Algunas de las protecciones principales que se deben dimensionar son:

- **Protección contra sobreintensidades.** Pese a que a los diseños de los paneles solares están pensados en autolimitarse en cuanto a corrientes generadas, cuando existen varios módulos conectados en paralelo tienden a generarse corrientes inversas en aquellas ramas cuando disminuye la tensión de circuito abierto. Para proteger a los módulos se pueden colocar diodos de bloqueo o fusibles; generalmente, se utilizan fusibles que actúen entre 1,5 y 2 veces la corriente de cortocircuito del módulo [3].
- **Protección contra sobretensiones.** En el caso de estas fallas que puedan originarse en el conjunto de paneles, se deben implementar protectores contra sobretensiones en la caja de conexiones de estos, los cuales se deben instalar entre el positivo, negativo y tierra [3].
- **Protección de Inversor y circuitos de utilización.** Estas protecciones son en el lado de corriente alterna y están enfocadas a las sobrecargas y cortocircuitos; por lo tanto, los dispositivos que deben dimensionarse para ello son los interruptores automáticos magnetotérmicos y para contactos directos el interruptor diferencial [3].

En la figura 13, se puede observar cómo se disponen las protecciones antes mencionadas enfocadas al conjunto generador fotovoltaico (fusibles y protector de sobretensiones).

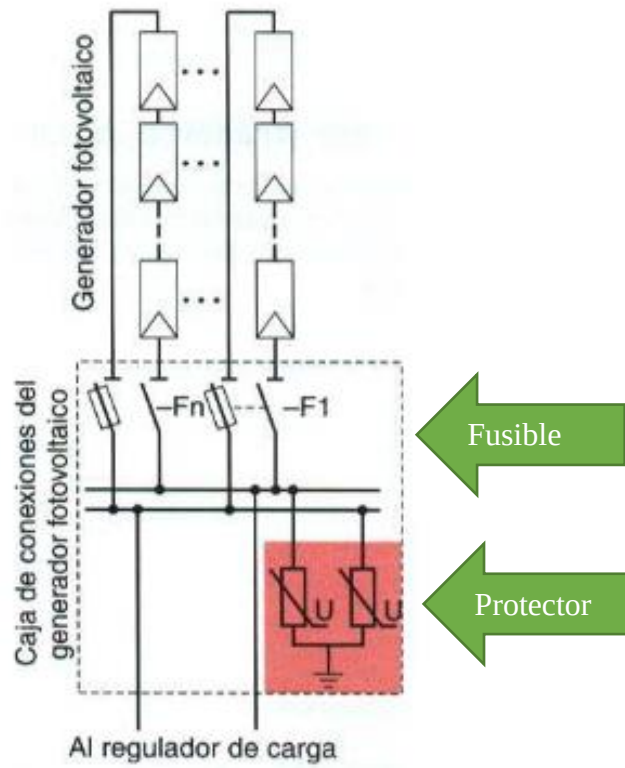


Figura 13 Protecciones en DC [3]

2.1.9. Puesta a tierra

Es esencial conectar todas las masas metálicas de los diferentes componentes del sistema fotovoltaico a tierra, que generalmente a pequeña escala en autónomos domésticos, basta con un electrodo, con el fin de preservar la instalación frente a tormentas y contra contactos de manera indirecta.

2.2 Antecedentes

Para el desarrollo del presente estudio, se ha realizado la revisión bibliográfica de trabajos que guarden estrecha relación con el mismo, considerando investigaciones internacionales, nacionales y hasta del ámbito local dentro de los últimos cinco años.

La primera revisión denominada “*Diseño y Cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*” desarrollada por Alvarado J. [9] para la Universidad Politécnica de Madrid en el año 2018, que tiene como fin diseñar y calcular una instalación de generación eléctrica fotovoltaica que opere de forma autónoma y permita abastecer de energía a grupos indígenas de la región amazónica en Colombia, bajo este contexto se relaciona con esta investigación en el aspecto técnico, debido a que ambos estudios buscan satisfacer las necesidades básicas de la población en términos de energía. En esta investigación se busca esencialmente electrificar un sistema de generación y potabilización de agua, puesto que en aquella zona esta es abundante pero no adecuada para ser consumida, es por ello que se efectúa el respectivo estudio y a través de cálculos se determina los componentes principales para este propósito, así como para otras aplicaciones tales como iluminación y comunicación.

La segunda investigación considerada se titula “*Autoconsumo fotovoltaico. Aplicación a una depuradora rural*” planteada por Sánchez D. [10] para la Universidad de Valladolid en el año 2021, presenta el aspecto técnico-económico en el diseño de una instalación fotovoltaica con el fin de ser implementada en una depuradora rural con una potencia de 30kW, en aquel estudio se proponen las guías para establecer como autoconsumo dicho sistema, como resultado de ello se muestra el dimensionamiento de los componentes haciendo uso del software PVsol el cual permite la optimización de la instalación.

La tercera investigación internacional escogida se denomina “*Diseño del Sistema Fotovoltaico de 2kW en zonas rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del distrito de Pacuas-Huari-Ancash*” propuesta por Y. Príncipe [11] para la Universidad Tecnológica de Perú en el año 2019. Este es un trabajo que se relaciona en el aspecto técnico con la investigación aquí planteada, puesto que se busca proveer de energía eléctrica a pobladores que carecen de este servicio básico, para ello se realizó el análisis de consumo diario en cada vivienda así como el análisis del recurso solar para el aprovechamiento de la radiación en las zonas establecidas, los cuales mediante la aplicación de ecuaciones en el dimensionamiento se obtuvo como resultado los parámetros específicos a considerar para la selección de componentes que permitan generar alrededor de 3kW, valor que se consideró el consumo

máximo y además se muestra brevemente un análisis económico para la implementación de este sistema.

Ecuador es un país privilegiado por su situación geográfica sobre la línea ecuatorial, lo que se traduce, en términos de energía renovable, en contar con un recurso solar constante durante casi todos los meses del año. Las zonas más privilegiadas son las de la región Sierra puesto que la altitud supone tener menos nubes y con ellos mayor radiación directa, aunque en general los niveles de radiación solar en el país son propicios para la instalación de plantas solares sean estas térmicas o fotovoltaicas [12].

Según Cevallos S. y Ramos M. [13] el 75% del territorio ecuatoriano puede ser explotado en recurso solar, debido a que la mayoría de zonas están por encima de los **3.8 kWh/m² día** en cuanto a niveles de radiación, valor promedio que sugieren tomar en cuenta para determinar la viabilidad de un proyecto [12]. Se muestra a continuación algunos estudios de carácter nacional con similitud al trabajo desarrollado:

La cuarta investigación, se escogió en base a proyectos fotovoltaicos realizados en Ecuador, denominada *“Diseño e implementación de electrificación en un sector rural del golfo de Guayaquil mediante sistema fotovoltaico aislado”* propuesto por Reinoso W. y Sánchez D. [14] para la Universidad Politécnica Salesiana en el año 2022, donde los investigadores se enfocaron en desarrollar un sistema fotovoltaico autónomo para una casa de la comuna Masa II que al ser implementado permita satisfacer la demanda energética de esta y sirva de plan piloto para las demás casas, para ello emplearon el software PVsyst con el que se les facilitó la determinación de los componentes a utilizar tales como paneles, regulador, inversor, baterías y protecciones, una vez que estudiaron el recurso solar de la zona. De esta manera, este trabajo sirve como guía en el aspecto técnico para el desarrollo del sistema piloto en la comunidad San Pedro del Sereno.

La quinta investigación cuyo título es *“Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial”* y es presentada por Crespo A. [15] para la Universidad Católica Santiago de Guayaquil en el año 2021, se enmarca a nivel de instalaciones comerciales, pero se la considera por su

metodología empleada para la selección de componentes de una instalación autónoma bien basada en las normativas. En ella se plantea el dimensionamiento de una planta solar, que siendo sostenible con el medio ambiente aproveche el recurso solar en Ecuador, para lo que se realizó el estudio pertinente para una capacidad de 300kWp que aunque fue diseñado para autoconsumo, bien puede adaptarse a la red convencional de distribución en la ciudad de Guayaquil, se muestran los cálculos efectuados para ciertas condiciones climáticas del lugar escogido mediante la base de datos Meteonorm, en ese sentido se relaciona también con el presente trabajo en el método escogido principalmente para el análisis de radiación solar mensual, además se utiliza el software Solergo para la identificación de parámetros generales que faciliten la selección de cada componente. Por último, se presenta también un análisis económico en función a la producción y consumo de energía eléctrica.

La sexta investigación en la que se basa este trabajo se denomina *“Diseño de un sistema de abastecimiento de energía eléctrica con el uso de energías renovables como la solar en viviendas unifamiliares en la parroquia Atahualpa, cantón Ambato, provincia Tungurahua”* propuesto por Quintana R. [16] para la Universidad Técnica de Ambato en el año 2020, cuyo fin es el cálculo y dimensionamiento de los componentes de un sistema fotovoltaico que funcione de forma independiente de la red para dotar de energía eléctrica a hogares de escasos recursos aprovechando la situación geográfica respecto al sol. Este estudio se lo considera por su metodología empleada para el sondeo en la determinación de la demanda de energía relacionado al aspecto técnico de la presente investigación, donde se realiza un estudio a 54 viviendas, luego se analizó el valor de la radiación solar para medir la viabilidad del proyecto, luego de los cálculos se determinó las características de los componentes a ser instalados como su cantidad y disposición de estos, además se presenta un breve análisis económico en caso de ejecutarse la implementación.

Finalmente, en el ámbito local, es necesario recalcar, que para el desarrollo de esta investigación no existen estudios previos de instalaciones solares fotovoltaicas para la zona de “San Pedro del Sereno” en los cuales tener una referencia o acotar al respecto, pero si hay proyectos de investigación en esmeraldas orientados a soluciones para el autoconsumo fotovoltaico.

Se toma como séptima investigación y guía el proyecto *“Estudio y Diseño de Instalación Eléctrica a través de energía solar fotovoltaica en agrícola “Los Rosales” para procesamiento de cacao en polvo”* elaborado por Ulloa J. [5] para la Universidad Técnica de Esmeraldas Luis Vargas Torres en la parroquia Tabiazo durante el año 2020 porque guarda relación con el presente trabajo al haber realizado un estudio para un lugar rural de la provincia de Esmeraldas, en similares condiciones climáticas y geográficas como las que se manifiestan aquí, cuyo fin fue diseñar un sistema que permita energizar maquinaria empleada para procesar cacao y optimizar la producción de una agrícola, a través del dimensionamiento y cálculos respectivos para conocer los componentes de una instalación autónoma, bajo el uso de normas nacionales, internacionales y el software PVsyst, presentando la viabilidad técnica del proyecto en función de la zona geográfica donde se aprovecha el recurso solar.

2.3. Fundamentación legal

En enero del 2015 se aprobó la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, donde uno de sus objetivos enmarca desarrollar mecanismos para el aprovechamiento a nivel técnico y económico de los recursos energéticos del país focalizando en promover la implementación de proyectos a base de energías limpias [17].

La Agencia de Regulación y Control de Electricidad, también mediante resolución ARCONEL-003/18 titulada “Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica” plantea las condiciones para proyectos de autoconsumo en viviendas o edificios que no superen los 100kW de capacidad instalada [18].

La regulación más reciente para las instalaciones fotovoltaicas autónomas, está expedida por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, denominada “Marco Normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica” donde se aborda la habilitación y requerimientos para la implementación, operación y mantenimiento de autoconsumo, así como los procesos para conexión en caso de generación distribuida [19].

Por otra parte, el presente trabajo también se basa en normativas internacionales, seleccionadas por su amplio uso en el diseño de sistemas fotovoltaicos, y que permiten un adecuado dimensionamiento como criterios técnicos:

Una de ellas es el “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red” emitido por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) en España, la cual se toma como guía por ser parte de los países pioneros en estas tecnologías y montajes, y porque propone algunos criterios para garantizar el mejor rendimiento, seguridad y eficacia de las instalaciones [20].

También se diseña bajo el “Reglamento Electrotécnico de baja tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias”, por las consideraciones planteadas para las generadoras y receptoras de autoconsumo que este incluye [21].

III. METODOLOGÍA

3.1. Delimitación espacio-temporal

La comunidad “San Pedro del Sereno” se encuentra ubicada cerca al recinto “Taseche” perteneciente a la parroquia Tonsupa, en el cantón Atacames, de la provincia de Esmeraldas, es decir sur de la provincia. Durante los meses de junio y julio se ha efectuado el levantamiento de datos requeridos para el estudio, las coordenadas del lugar son:

UTM 17S: X = 635938, Y= 10091138

Grados Decimales: 0.824364837, -79.778327068

Elevación (Obtenida de Google Earth): 335m aproximadamente

Las coordenadas han sido ingresadas en el software Google Earth para presentar la ubicación geográfica y evidenciar la lejanía respecto a zonas como Tonsupa o Atacames como se muestra en la figura 14.

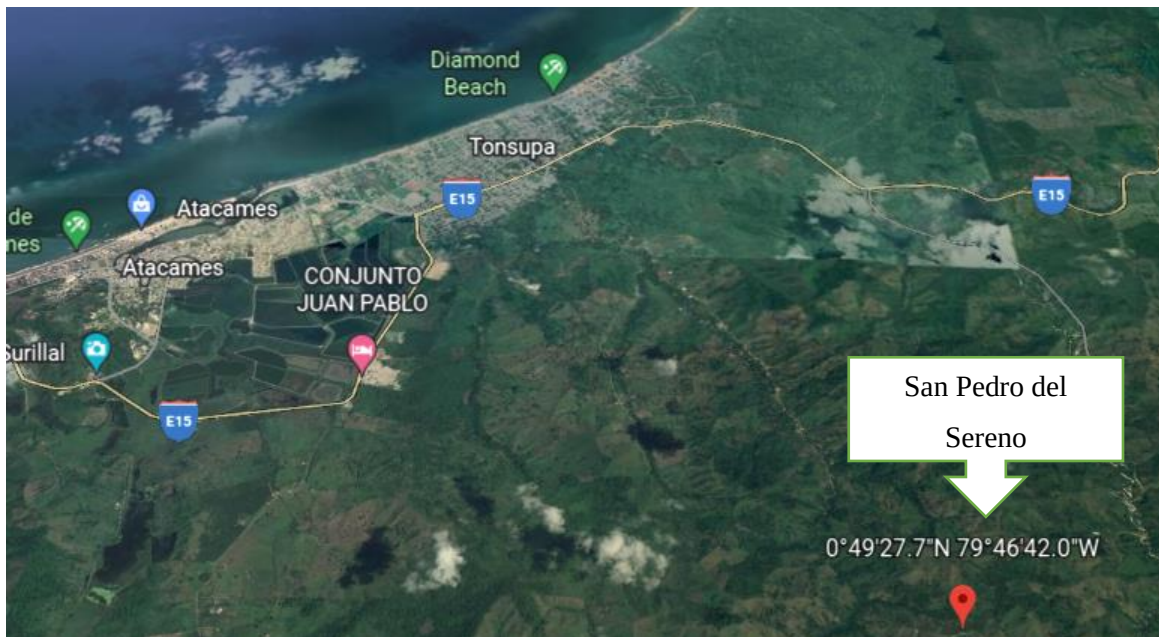


Figura 14 Ubicación geográfica de la comunidad

Fuente: Elaboración Propia

Adicional se ha ingresado en el sistema Geoportal de CNEL que contiene toda la información del sistema eléctrico, para demostrar hasta qué punto hay tendido eléctrico más cercano a la comunidad, se observa en la figura 15.

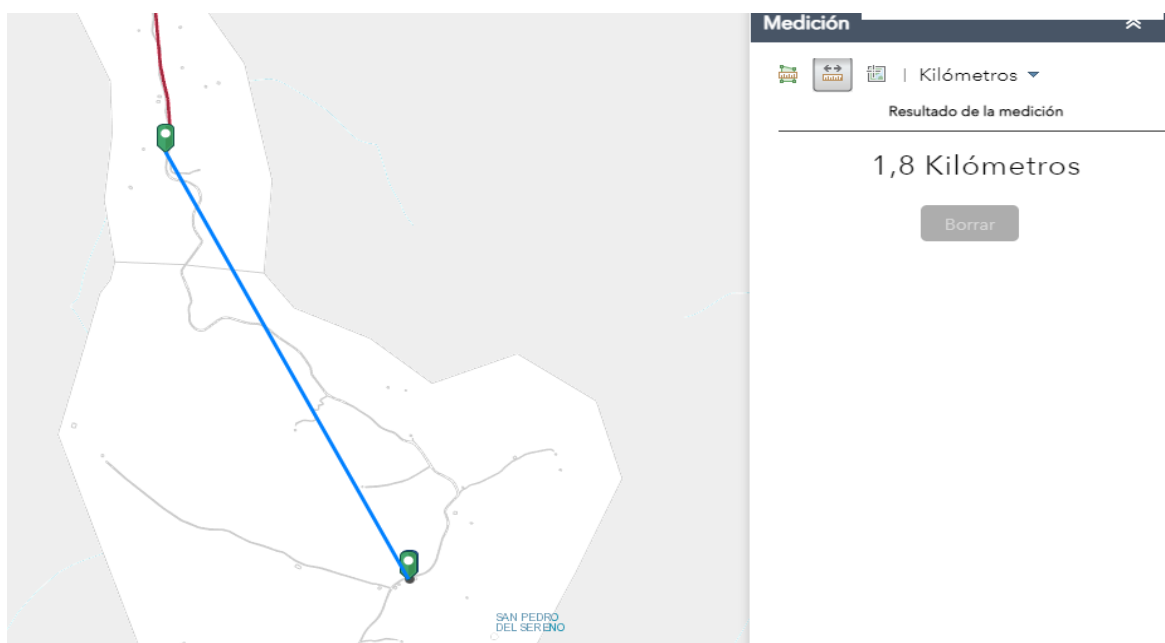


Figura 15 Distancia entre comunidad y último tramo de tendido eléctrico

Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar en el gráfico de Geoportal de la figura 15, que, desde el último tramo de tendido eléctrico hasta la comunidad, hay alrededor de 1,8 kilómetros de distancia trazando de forma lineal, es decir sin considerar rutas, esto solo por efectos de demostración.

3.2. Tipo de Estudio

Para el desarrollo del presente proyecto se ha establecido cuatro tipos de investigación fundamentales tales como:

- Investigación aplicada: dado que se centra en la solución a una problemática hallada, misma que ha sido profundizada en capítulos anteriores, a la que se ofrece una

propuesta mediante la implementación de energías limpias como finalidad de este trabajo.

- Investigación de campo: para conocer las condiciones climáticas del lugar, así como inspección de los hogares, lo que permitirá realizar un óptimo dimensionado y selección de componentes.
- Investigación descriptiva: debido a que se realiza un sondeo en la comunidad que facilite la adquisición de datos importantes para determinar parámetros de diseño.
- Finalmente, y no menos importante gran parte de este trabajo corresponde a investigación de tipo documental por la revisión bibliográfica realizada en documentos como artículos y sobre todo tesis con relación al tema de estudio, así como búsqueda de información en fuentes oficiales que proveen datos para proyectos eléctricos en el Ecuador.

3.3. Definición conceptual y operacionalización de las variables

Para realizar la operacionalización de variables en el presente proyecto, es importante determinar las variables dependiente e independiente:

- **Variable Independiente:** Sistema Fotovoltaico Aislado
- **Variable Dependiente:** Energía Eléctrica para los hogares

En la tabla 2 se detallan los parámetros de las variables, tales como: definición conceptual, definición operacional, dimensiones e indicadores.

Tabla 2 Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
----------	-----------------------	------------------------	-------------	-------------

Sistema Fotovoltaico Aislado	Son un tipo de sistema fotovoltaico que capta energía solar y convierte en eléctrica sin depender de una red de distribución [6].	a. Determinar el Recurso Solar b. Determinar la potencia Instalada c. Determinar la autonomía del sistema	a. Radiación Solar b. Generador FV c. Banco de Baterías	a. W/m^2 b. Watts c. Amperios / Horas
Energía Eléctrica para los hogares	La electricidad es una de las formas de energías más versátiles y que mejor se adapta a aparatos que la utilizan como fuente [6].	a. Determinar la cantidad de aparatos y sus horas de uso.	a. Consumo de Energía	a. kW/h

Fuente: Elaboración Propia

3.4. Población y muestra

Debido a que no se encontró información demográfica en las fuentes oficiales gubernamentales respecto al lugar en estudio (Comunidad “San Pedro del Sereno”), se procedió a realizar una inspección en campo, donde se pudo evidenciar la existencia de alrededor de 20 casas, aproximadamente 55 habitantes. Para la aplicación de la encuesta que permitió identificar características de los aparatos eléctricos más comunes, así como detalles de uso se decidió tomar como muestra el total de las viviendas al ser una comunidad pequeña y para tener más efectividad en el sondeo.

3.5. Técnicas e instrumentos

Para adquirir los datos necesarios sobre los aparatos eléctricos de cada casa que permitan establecer un hogar estándar para el dimensionamiento, se ha procedido a realizar un sondeo directo en cada hogar aplicando una encuesta que contiene 3 preguntas cerradas con opción a agregar datos que no estén dentro del listado, a fin de conocer características cualitativas como el tipo de aparatos disponibles, y cuantitativas como el número de estos aparatos y la cantidad de horas que funcionan durante el día. La misma se adjunta en el **ANEXO A**, y los resultados se exponen en el capítulo IV de este trabajo.

Además, otras herramientas importantes en el desarrollo de esta investigación son los softwares y bases de datos meteorológicas, de los que destacan Google Earth que permitió obtener información geográfica de la zona en base a las coordenadas y realizar la superposición de imágenes para la determinación del rango de radiación solar así como el software PVsyst que es el instrumento principal para el dimensionamiento de los componentes una vez que se ha levantado datos y determinado parámetros esenciales para su simulación.

El software PVsyst (véase figura 16), está diseñado para ejecutar un completo estudio de sistemas fotovoltaicos, sean estos conectados a la red, de bombeo, o aislados como es el caso del presente trabajo, permitiendo emplear fiables datos de meteorología, comprende algunas funciones desde el dimensionado de componentes básicos hasta la simulación de producción de energía, rendimiento de la instalación y hasta análisis financieros de ser el caso [22].



Figura 16 Software PVsyst [23]

3.6. Procedimiento de recolección de datos

Para la adquisición de datos, primero se estableció la información que se necesitaba conocer para la cual el sistema fotovoltaico debe satisfacer los requerimientos tales como: aparatos eléctricos disponibles en el hogar, cantidades de aparatos eléctricos y horas de uso de estos.

Una vez establecidos los parámetros a conocer, se elaboró el cuestionario con las preguntas adecuadas para identificar los valores cualitativos y cuantitativos que se desean determinar.

Posteriormente, se acudió presencialmente a la comunidad para aplicar el cuestionario bajo autorización de los habitantes dueños de cada hogar.

Finalmente, se realizó el ingreso de los datos en utilitario de Microsoft “Excel”, ordenando los datos en tablas, para obtener gráficos de tipo barras, por ejemplo, para realizar el respectivo análisis estadístico.

IV. RESULTADOS

4.1. Análisis del recurso solar en la comunidad

Realizar un breve estudio de la radiación solar en el lugar, es el primer paso y lo más importante antes de empezar un dimensionamiento de equipos, pues esto, nos proporcionará información para definir las especificaciones técnicas de los principales componentes del sistema fotovoltaico en base a las condiciones climáticas de la zona.

En el presente trabajo de investigación se evaluarán tres métodos diferentes para hallar el valor de radiación: primero, haciendo uso del mapa solar del Ecuador del año 2019; como segunda opción utilizando las bases de datos que maneja el software PVsyst, y finalmente, con los datos que proporciona la NASA.

Radiación Solar obtenida en el Mapa Solar del Ecuador

En el año 2008, el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) presentó el Atlas Solar realizado con estimaciones satelitales del Laboratorio de Energías Renovables de Estados Unidos, el mismo que fue modificado con más precisión en el año 2015.

Para el año 2019, la Escuela Politécnica Nacional tomó estos datos y los comparó con estaciones meteorológicas para optimizar los datos de radiación solar [12]. El Mapa nos muestra por escala de colores según los valores de radiación, por ello es poco probable atinar por simple inspección un valor determinado en “x” punto del mapa, por esta razón se hizo el siguiente procedimiento:

- Exportar el mapa de Irradiación Solar Global Horizontal Anual a un archivo de imagen.
- Realizar la superposición de esta imagen en el software Google Earth
- Ingresar las coordenadas en el software y verificar en qué rango de la escala se puede ubicar la comunidad en cuanto a radiación solar.

En la figura 17, se muestra el mapa solar del Ecuador, y en la figura 18 la superposición.

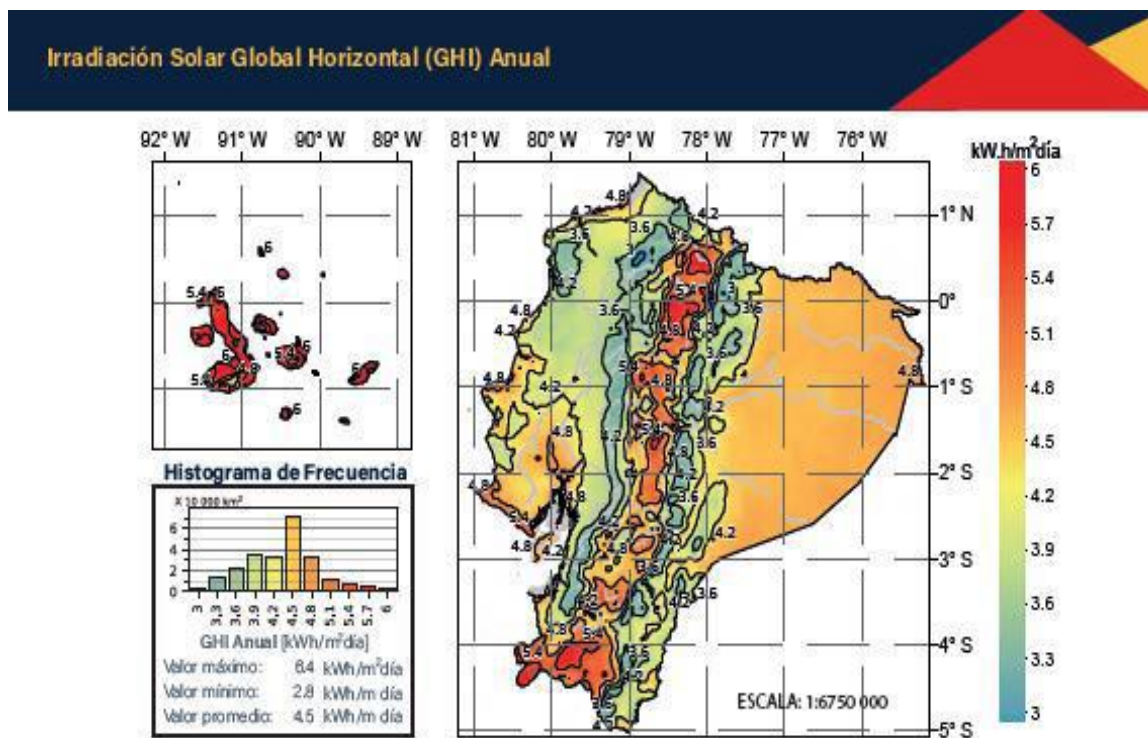


Figura 17 Mapa de Radiación Solar en el Ecuador 2019 [12]

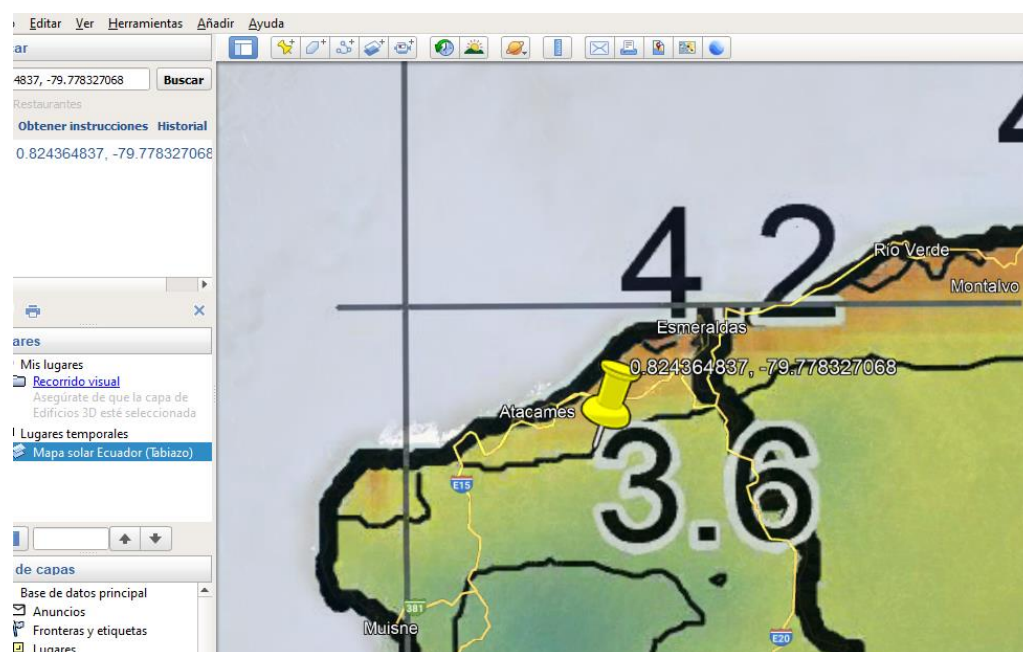


Figura 18 Superposición de Mapa en Google Earth

Fuente: Elaboración Propia

Radiación Solar obtenida en el software PVsyst.

Este es el software más utilizado para efecto de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos de todo tipo debido a su versatilidad, y además que cuenta con la mayoría de componentes comerciales para una mejor realización del diseño. Además, trabaja con una fuente meteorológica de alta precisión como lo es Meteonorm, usada por gran parte de los programas de simulación solar [5]. Para ello ejecutamos el software, y en la interfaz de inicio seleccionamos base de datos, la misma que quedará registrada para el posterior dimensionamiento.

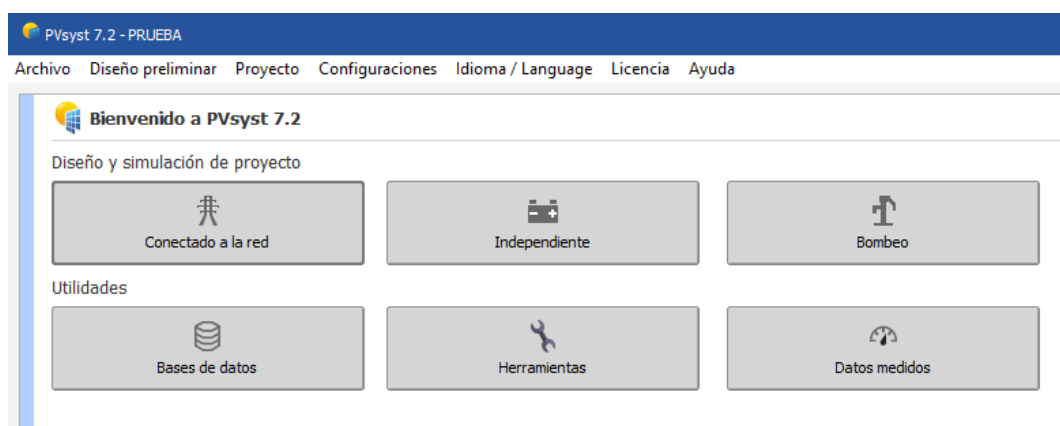


Figura 19 Interfaz de Software PVsyst

Fuente: Elaboración Propia

Se selecciona Sitios geográficos para ingresar las coordenadas:

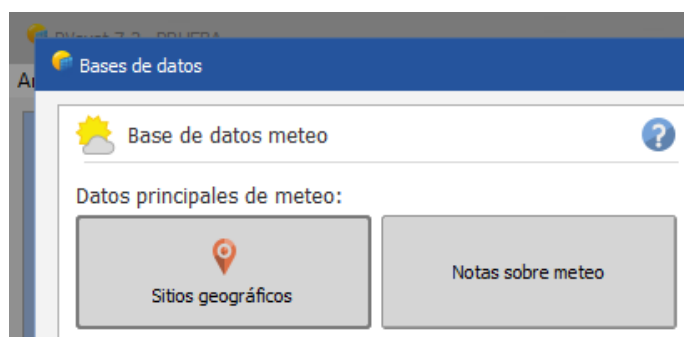


Figura 20 Opción para ingreso de sitio

Fuente: Elaboración Propia

En la siguiente interfaz (mostrada en la figura 21), se proporcionan las coordenadas y la altitud del lugar antes determinada en Google Earth aproximada, además se elige la región en este caso América del sur, y se establece la zona horaria (-5:00).

Ubicación

Nombre del sitio

Obtener de coordenadas

País
Región

Coordenadas geográficas

Recorridos solares

Decimal
Grad. Min. Seg.

Latitud [°] (+ = Norte, - = Hemisferio Sur)

Longitud [°] (+ = Este, - = Oeste de Greenwich)

Altitud M por encima del nivel del mar

Zona horaria

Corresponde a una diferencia promedio

Hora Legal - Hora Solar = 0h 19m

?

Obtener del nombre

Figura 21 Ingreso de información para la base de datos

Fuente: Elaboración Propia

Luego se obtienen los datos climáticos como se observa en la figura 22.

Sitio	Comunidad "San Pedro del Sereno" (Ecuador)					
Fuente de datos	Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100%					
	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m ² /día	kWh/m ² /día	°C	m/s	[-]	%
Enero	4.36	2.12	24.1	2.79	3.504	79.2
Febrero	4.50	2.66	24.2	2.20	3.814	83.4
Marzo	4.91	2.85	24.6	2.20	3.959	81.9
Abril	5.56	2.53	24.2	2.40	3.890	82.1
Mayo	5.15	2.62	24.1	2.89	3.836	78.6
Junio	4.40	2.28	22.7	3.41	3.869	81.7
Julio	4.40	2.41	22.5	3.70	3.815	80.3
Agosto	4.46	2.80	22.0	3.89	4.165	80.4
Septiembre	4.08	2.39	21.7	3.90	4.573	81.2
Octubre	3.89	2.49	22.2	3.90	4.110	79.8
Noviembre	4.06	2.41	22.2	3.80	4.129	80.1
Diciembre	4.70	2.36	23.5	3.59	3.872	76.8
Año ?	4.54	2.49	23.2	3.2	3.961	80.5

Figura 22 Datos climáticos generados en PVsyst

Datos de Radiación Solar de la NASA

La Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), maneja amplia información de ciencia atmosférica de la tierra, trabajando con satélites de última tecnología para la adquisición de datos, por lo que es un sitio relevante para análisis. Entre sus herramientas tiene una sección denominada “Power Data Access Viewer” donde se alojan los datos que nos interesan para este trabajo de investigación [5].

Nos dirigimos al siguiente link: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> y en la ventana que aparece se da clic en aceptar, como se muestra en la figura 23.

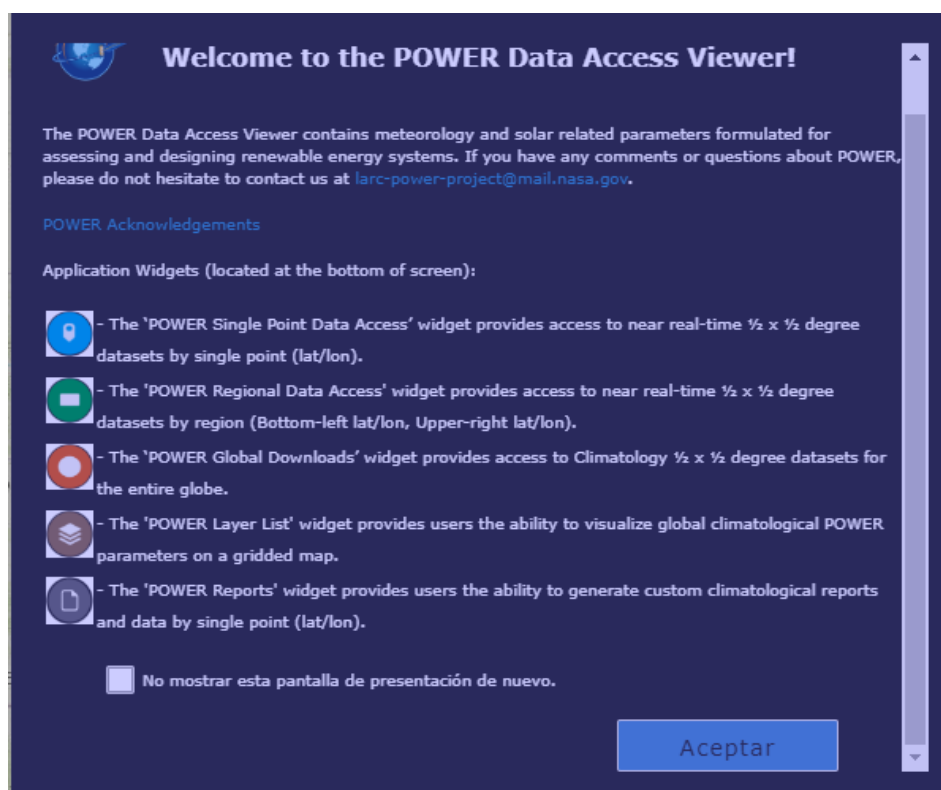
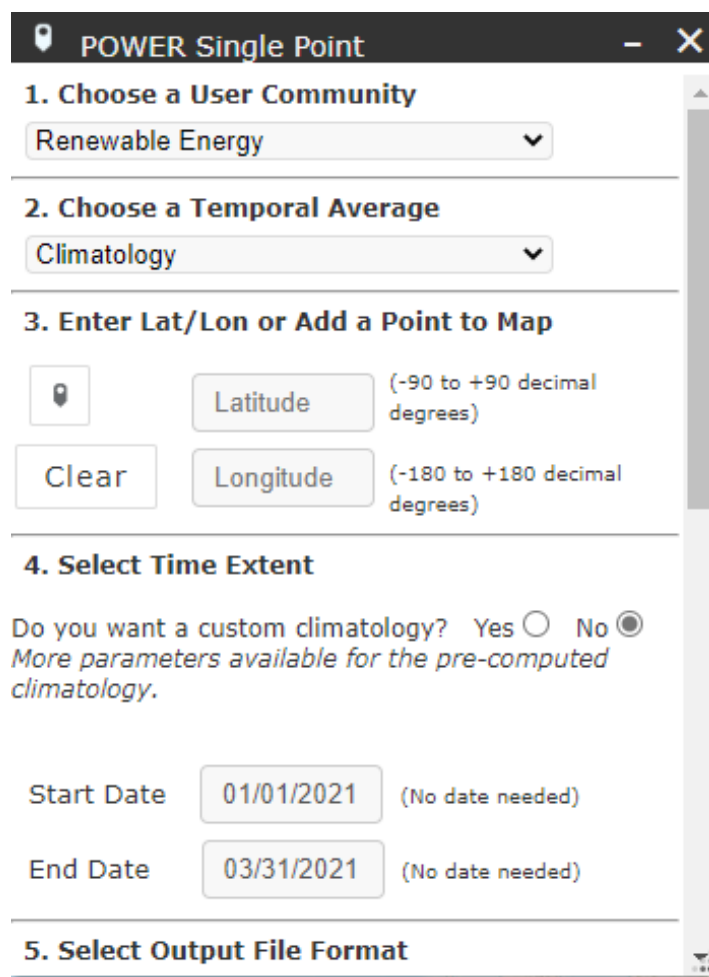


Figura 23 Pantalla de Bienvenida POWER DATA ACCES

Se procede a ingresar los datos en la siguiente ventana (ver figura 24), donde se selecciona datos de energía renovable en el apartado 1, en el apartado 2 se escoge climatología, en el

apartado 3 se ingresan las coordenadas del lugar en estudio, en el apartado 4 se elige el rango de tiempo para el que se desea los datos (generalmente para efectos de diseño este apartado no se modifica y se deja por defecto a menos que se requiera un año en específico), finalmente, en último apartado se elige el formato de generación de los datos y se elige que parámetro se requiere.



The screenshot shows a web application window titled "POWER Single Point". It contains five numbered sections for data input:

- 1. Choose a User Community:** A dropdown menu with "Renewable Energy" selected.
- 2. Choose a Temporal Average:** A dropdown menu with "Climatology" selected.
- 3. Enter Lat/Lon or Add a Point to Map:** Includes a location pin icon, a "Clear" button, and input fields for "Latitude" (range: -90 to +90 decimal degrees) and "Longitude" (range: -180 to +180 decimal degrees).
- 4. Select Time Extent:** Includes a question "Do you want a custom climatology?" with "Yes" and "No" radio buttons. The "No" button is selected. Below it, text states: "More parameters available for the pre-computed climatology." There are also input fields for "Start Date" (01/01/2021) and "End Date" (03/31/2021), both with "(No date needed)" text to their right.
- 5. Select Output File Format:** This section is partially visible at the bottom of the form.

Figura 24 Ingreso de información en POWER DATA ACCESS

Fuente: Elaboración Propia

Una vez realizado el procedimiento, y generados los datos, se obtiene el archivo que contiene lo que se muestra en la figura 25.

*POWER_Point_Climatology_000d8244N_079d7783W_LST: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

-BEGIN HEADER-

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Climatology Climatologies

20-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 2001 - December 2020)

Location: Latitude 0.8244 Longitude -79.7783

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 34.83 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Horizontal Surface (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Minus 15 Tilt (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Tilt (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Latitude Plus 15 Tilt (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance for Equator Facing Vertical Surface (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal (kW-hr/m^2/day)
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Optimal Angle (Degrees)
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG_ORT	SRB V4/CERES SYN1deg Solar Irradiance Tilted Surface Orientation (N/S Orientation)

-END HEADER-

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	3.55	3.81	4.11	4.17	3.60	3.24	3.26	3.38	3.33	3.34	3.40	3.33	-999.00
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	3.65	3.85	4.06	3.99	3.39	3.03	3.05	3.21	3.25	3.34	3.47	3.44	-999.00
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	3.56	3.82	4.12	4.16	3.59	3.23	3.25	3.37	3.33	3.35	3.41	3.34	-999.00
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	3.65	3.84	4.04	3.95	3.35	2.99	3.01	3.18	3.23	3.33	3.47	3.44	-999.00
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	2.01	1.84	1.55	1.38	1.34	1.22	1.21	1.24	1.24	1.51	1.86	1.96	-999.00
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	3.65	3.85	4.12	4.17	3.60	3.24	3.26	3.38	3.33	3.36	3.47	3.45	-999.00
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	17.00	10.50	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	15.00	19.00	-999.00
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG_ORT	S	S	S	N	N	N	N	N	N	S	S	S	

Figura 25 Datos generados en POWER DATA ACCESS

Fuente: Elaboración Propia

De estos datos generados, solo de interés para el estudio son los de el parámetro “SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL” el cual como se indica está dado en **kWh/m² día**, y se muestra en la tabla 3, en resumen:

Tabla 3 Datos de Radiación Solar generados por la NASA

DATOS GENERADOS EN POWER DATA ACCESS DE LA NASA												
(EXPRESADOS EN kWh/m ² día)												
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO ANUAL
3,55	3,81	4,11	4,17	3,60	3,24	3,26	3,38	3,33	3,34	3,40	3,33	3,29

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Análisis de viabilidad técnica del proyecto fotovoltaico

Una vez que se ha determinado la radiación solar mediante los 3 métodos planteados para el presente estudio se han obtenido los siguientes datos resumidos en la tabla 4, los cuales permiten discutir si el lugar es apto para el aprovechamiento del recurso solar

Tabla 4 Métodos de Análisis de Recurso Solar

Análisis Viabilidad Técnica		
Método	Rango	Promedio
Mapa Solar Ecuador	3,6 – 4,2 kWh/m ² día	3,9 kWh/m ² día
Meteonorm (PVsyst)	3,89 – 5,56 kWh/m ² día	4,7 kWh/m ² día
Power Data Access (NASA)	3,24– 4,17 kWh/m ² día	3,7 kWh/m ² día

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la tabla de resumen, en el mapa solar del Ecuador, se identificó que la zona comprende un rango que promedia los **3,9 kWh/m² día** a lo largo del año. Utilizando la fuente meteorológica “Meteonorm 8.0” del software PVsyst, se obtuvo un promedio anual de **4,7 kWh/m² día**, donde el mes de más baja radiación solar corresponde a octubre y el mes más alto a abril, finalmente comparando con los datos de la herramienta “Power Data Access” de la NASA, se determinó un promedio de **3,7 kWh/m² día** durante el año, siendo junio el mes más bajo y abril el mes más alto.

Como criterio de diseño, al dimensionar el sistema fotovoltaico con el software PVsyst, el método analizado bajo el que se realizará el proyecto será la fuente “Meteonorm” y los dos métodos restantes se toman como referencia para comparación, es así que se establece el desarrollo del presente estudio como viable para el aprovechamiento del recurso solar, ya

que según Cevallos-Sierra y Ramos-Martín [13] el valor promedio energético para que un proyecto en Ecuador pueda rendir respecto a la radiación solar es alrededor de **3.8 kWh/m² día**. Cabe recalcar que los tres métodos analizados bordean este valor.

4.3. Estimación de la carga en un hogar estándar de la comunidad

Puesto que el presente proyecto propone un sistema fotovoltaico que pueda ser replicado en cada hogar de la comunidad “San Pedro del Sereno”, es necesario mediante la aplicación de la encuesta determinar qué aparatos eléctricos se disponen, también conocer cuántos de ellos existen y durante el día cuantas horas funcionan. De esta manera, se establece lo que llamaremos “hogar estándar” cuyos aparatos serán comunes en todas las viviendas. Se muestra a continuación la tabla 5 obtenida del sondeo a los habitantes, ya especificando la información de los aparatos seleccionados y proyectados.

Tabla 5 Descripción de carga de hogar estándar

Nombre	Cantidad	Potencia (W)	Uso Diario (h)	Demanda Energética (Wh/día)
Aparatos determinados actualmente				
Focos Led	5	9W	5h	225
Carga de Celular	2	10W	2h	40
Licuadaora	1	500W	1h	500
Radio	1	450W	2h	900
Plancha	1	1200W	1h	1200
Aparatos proyectados				
Televisor	1	200W	4h	800
Nevera	1	1200W	Permanente	1200
TOTAL				4865 Wh/día

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Parámetros Generales de Diseño

Antes de iniciar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es necesario determinar algunos parámetros requeridos para el ingreso de información al software, los cuales permitirán ajustar lo más preciso posible el diseño a las necesidades en función del lugar y otras características que se detallan a continuación:

4.4.1. Ubicación

Los paneles solares deben situarse sobre un área despejada de sombras y cualquier obstrucción a fin de evitar pérdidas en la generación de energía, mientras que los demás componentes deben instalarse lo más próximo para evitar se extienda demasiado el tendido de conductores, en el presente trabajo se propone instalar los paneles sobre la superficie de los techos de cada vivienda adecuando los demás componentes en un espacio destinado dentro de la misma.

4.4.2. Ángulo de Inclinación

Para determinar el ángulo óptimo de la inclinación de los paneles respecto al lugar de la instalación, se empleará el método de la inclinación óptima anual, el cual consiste en sacar el máximo provecho del recurso solar sobre el panel en base a la latitud del lugar [5], mediante la siguiente expresión:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |\phi| \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

β_{opt} es Ángulo óptimo buscado

$|\phi|$ es Latitud del lugar

Sabiendo que la latitud del lugar en estudio es 0.824364837, reemplazando la ecuación 1 se obtiene:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 \cdot |0.824364837|$$

$$\beta_{opt} = 4,26^\circ$$

Por lo tanto, se establece un ángulo de 4,26° como óptimo para la inclinación de los paneles para la comunidad “San Pedro del Sereno”.

4.4.3. Orientación de los paneles solares

La orientación de los módulos sobre el techo se determina según la ubicación geográfica donde se desarrolla el estudio con relación a los hemisferios, tomando en cuenta que, si el lugar se encuentra en el hemisferio norte, los paneles deben orientarse con cara hacia el sur, y si el lugar se encuentra en el hemisferio sur se deben orientar con cara hacia el norte [5], tal como se aprecia en la figura 26.

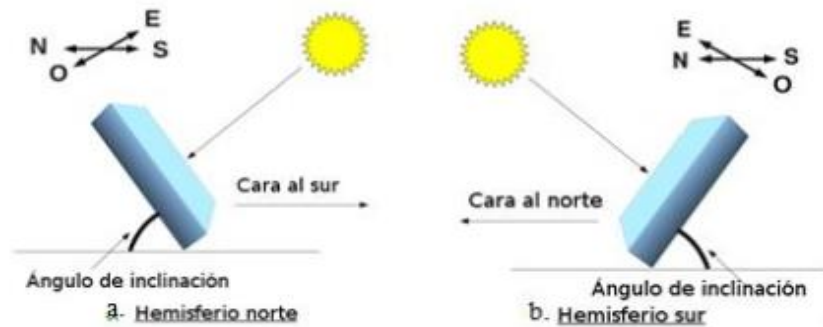


Figura 26 Orientación de paneles solares [24]

Dado que la comunidad se encuentra en el hemisferio norte, los paneles deberán orientarse con cara al sur, es decir en sentido norte a sur inclinados.

4.4.4. Ángulo azimut

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía de España (IDAE), este parámetro indica el ángulo que se genera entre la proyección sobre el plano horizontal del panel solar y el meridiano de la ubicación [20], en otras palabras, es la rotación que se le da al panel en sentido este a oeste como se ilustra en la figura 27.

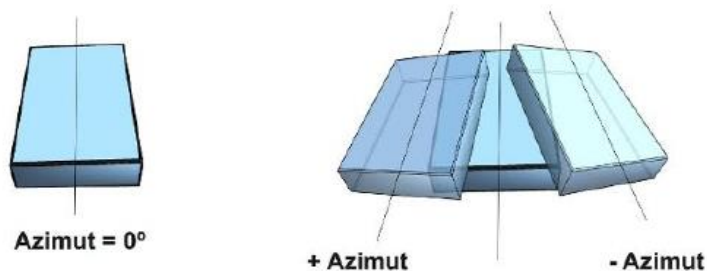


Figura 27 Ángulo azimut de los paneles solares [24]

Para establecer este parámetro debe estar definida previamente la orientación de los módulos, si estos se encuentran ubicados en sentido hacia el sur o hacia el norte horizontalmente entonces el valor debe ser $\alpha = 0^\circ$, para paneles cuya orientación sea hacia el este $\alpha = -90^\circ$ y para paneles orientados hacia el oeste $\alpha = 90^\circ$ [24]. En el presente trabajo, la orientación de los paneles es con cara al sur, por lo tanto, el ángulo azimut será $\alpha = 0^\circ$.

4.4.5. Hora solar pico

La hora solar pico (HSP) es la máxima potencia que un módulo fotovoltaico puede entregar en condiciones ideales de 1000 Wh/m²/día y a 25°C respecto al comportamiento real [25], se la relaciona siempre con el mes más bajo de recurso solar para dimensionar sobre ese valor, y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$HSP = \frac{\text{Radiación Solar mes bajo}}{1000 \text{ Wh/m}^2/\text{día}} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

HSP = Hora solar pico

Radiación solar mes bajo = Valor tomado de la base Meteonorm del software PVsyst.

Del análisis del recurso solar para la zona de la comunidad donde se desarrolla el estudio, se obtuvo de la base de datos “Meteonorm” que el mes más bajo corresponde a octubre con un valor de 3,89 kWh/m² día. Sustituyendo este valor en la ecuación 2, se obtiene:

$$HSP = \frac{3890 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}{1000 \text{ Wh/m}^2/\text{día}}$$

$$HSP = 3,89$$

El factor de hora solar pico para emplear en el dimensionamiento será de 3,89.

4.4.6. Nivel de tensión para el sistema fotovoltaico

Para establecer el nivel de voltaje bajo el que se dimensionará los componentes, es necesario considerar la energía demandada por la carga instalada en términos de potencia [5]. Para ello, Mascaros [26] propone emplear la tabla 7 como referencia en este parámetro.

Tabla 6 Tensión de trabajo en función de la potencia instalada

Tensión nominal de trabajo (V)	Potencia demandada por las cargas (W)
12V	Menor a 1500W
12V o 48V	Entre 1500W y 5000W
48V o 120V	Mayor a 5000W

Fuente: Mascaros [26]

La carga instalada para un hogar estándar en la comunidad, considerando lo existente actualmente más los aparatos que se proyectan (ver Tabla 5), implica una potencia de 3,6kW, motivo por el cual para el dimensionamiento se establece trabajar con un nivel de tensión DC de 48V.

4.5. Dimensionamiento

Una vez que se han determinado los parámetros generales para el diseño, se ingresan los datos en el software PVsyst, como se indica a continuación paso a paso, para establecer las especificaciones técnicas de los componentes que formarán el sistema fotovoltaico. La figura 28, muestra la interfaz de bienvenida del software, en donde la opción “independiente” será la escogida para este tipo de proyecto aislado de la red.

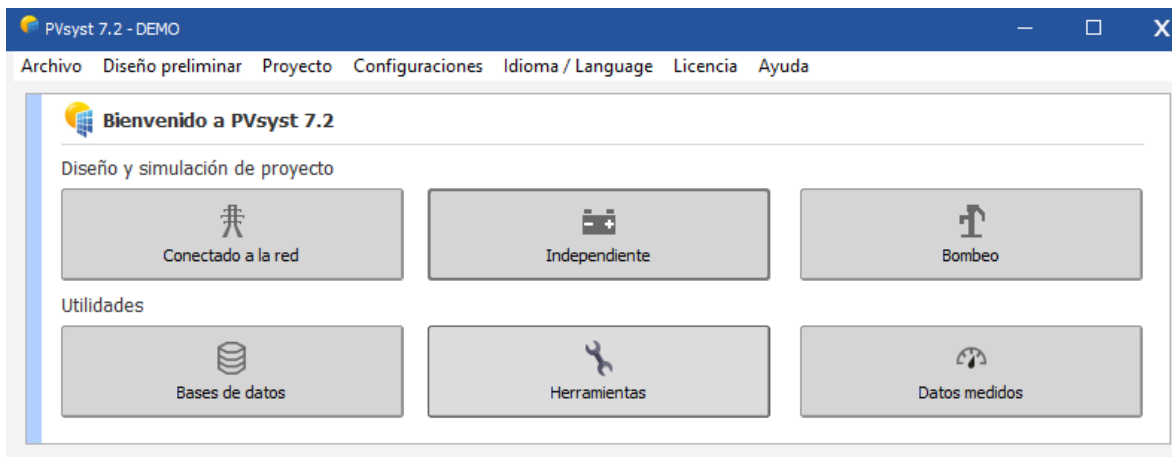


Figura 28 Selección de tipo de sistema en PVsyst

Fuente: Elaboración Propia

Se procede a elegir el sitio antes establecido en la base de datos meteorológica, el mismo que contiene los datos de radiación solar que ya fueron evaluados, como se muestra en la figura 29.

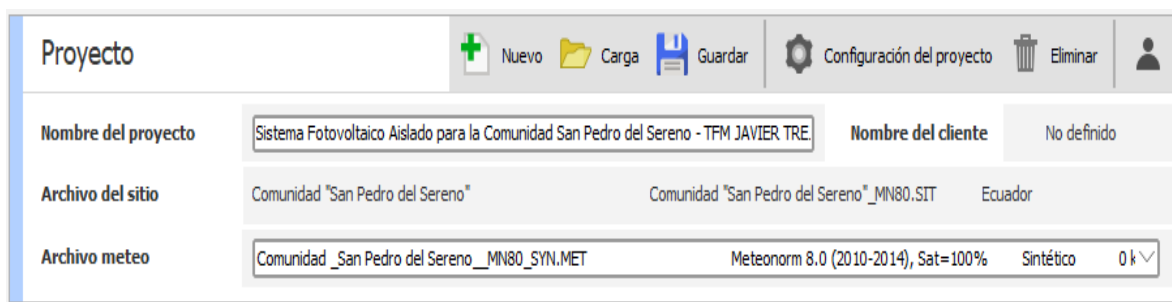


Figura 29 Selección de sitio en base de datos para proyecto

Fuente: Elaboración propia

Cuando se ha elegido el sitio, se ingresa en la sección de parámetros principales, dando clic en el apartado “orientación, como lo indica la figura 30.

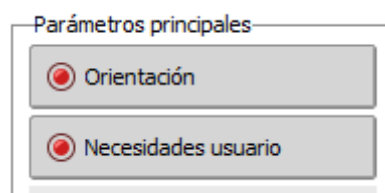


Figura 30 Ingreso de parámetros principales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31, se observan los datos ingresados, modificando el tipo de campo y los parámetros de campo que se han determinado antes.

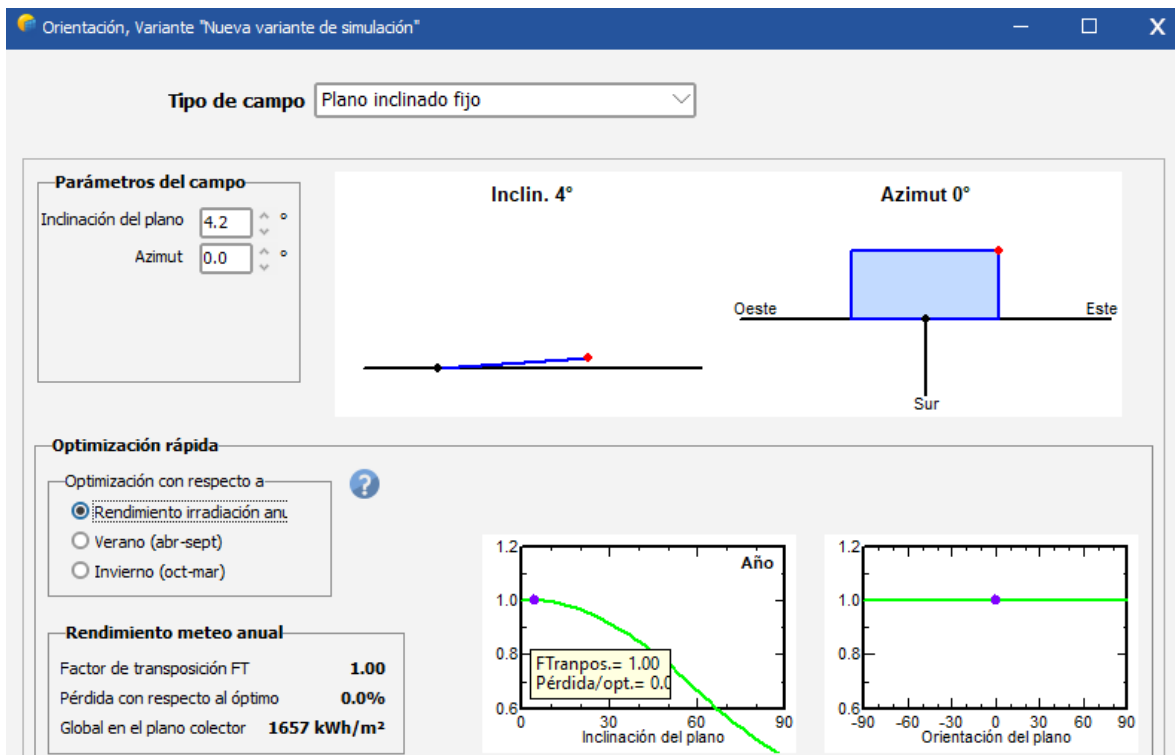


Figura 31 Ingreso de parámetros de campo

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidos aquellos valores, se regresa al menú de la figura 30 y se escoge “necesidades de usuario”, en este apartado se ingresa cada una de las cargas planteadas para el diseño del sistema. Los datos son provenientes del sondeo realizado en la comunidad sobre el uso de los artefactos eléctricos, por ello se ingresa la cantidad, el número de horas de funcionamiento y la potencia. Cabe recalcar que se han agregado dos aparatos como “proyectados” los cuales son considerados en un hogar básico. Las potencias de estos aparatos y sus periodos de utilización han sido asumidas por el diseñador. En la figura 32, se muestra cómo se ingresa la información al software.

Uso diario de energía, variante "Nueva variante de simulación"

Definición de consumos domésticos diarios para el año.

Consumo Distribución por hora

Consumos diarios

Número	Aparato	Potencia	Uso diario	Distrib. por hora	Daily energy
5	Focos LED	9 W/lámpara	5.0 h/día	OK	225 Wh
2	Carga Teléfono	10 W/apar.	2.0 h/día	OK	40 Wh
1	Licuadaora	500 W/apar.	1.0 h/día	OK	500 Wh
1	Nevera	1.20 kWh/día	24.0 h/día	OK	1200 Wh
1	Radio	450.0 W prom	2.0 h/día	OK	900 Wh
1	Plancha	1200 W/apar.	1.0 h/día	OK	1200 Wh
1	Televisor	200 W/apar.	4.0 h/día	OK	800 Wh
Consumidores en espera		0 W tot	24 h/día		0 Wh
Energía diaria total					4865 Wh/día
Energía mensual					146.0 kWh/mes

Info aparatos

Definición de consumo por

☒ Años ☐ Estaciones ☐ Meses

Fin de semana o uso semanal

☐ Usar solo durante

días en una semana

Figura 32 Ingreso de artefactos eléctricos al software

Fuente: Elaboración propia

También es importante el ingreso de las horas de uso frecuente de cada aparato, esto permitirá al software optimizar la simulación y obtener un diseño más preciso. En la figura 33, se observa un ejemplo de la asignación de horas de uso a cada aparato, información que ha sido obtenida del sondeo.

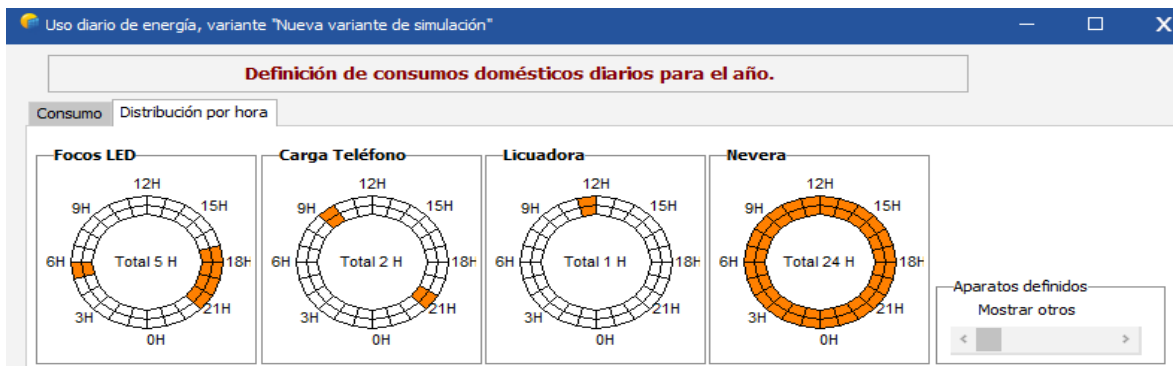


Figura 33 Definición de horas de uso para cada artefacto eléctrico

Fuente: Elaboración propia

4.5.1. Dimensionamiento de paneles solares

Cuando se ha completado el ingreso de los aparatos eléctricos, se retrocede al menú de ingreso de datos y ya se observa habilitada la opción “sistema” como se aprecia en la figura 34, la que sirve para especificar técnicamente los componentes del sistema fotovoltaico a través del software PVSyst.

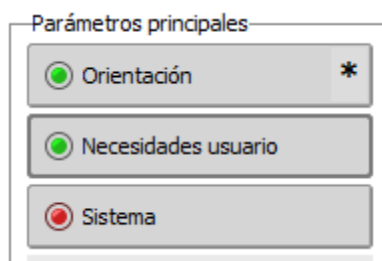


Figura 34 Habilidad de opción para coordinación de componentes

Fuente: Elaboración propia

Al ingresar a sistema, lo primero que se realiza es configurar unos parámetros generales, tales como:

- Voltaje de la batería el cual fue definido anteriormente en el nivel de tensión del sistema, siendo este de 48V, los días de autonomía valor que se establece en 1 día, es decir en condiciones de poca captación del recurso solar el sistema tendrá la capacidad de abastecer durante este tiempo.
- El campo de “PLOL aceptado” es un porcentaje que se refiere las pérdidas, el mismo que se deja por defecto en 5% sugerido por el software, en la figura 35 se muestran estos detalles.

Necesidades diarias prom. Ingrese PLOL aceptado: 4.9 kWh/día
 Autonomía solicitada: 1.0 día(s)
 Voltaje de la batería (usuario): 48 V
 Capacidad sugerida: 119 Ah
 Potencia FV sugerida: 2075 Wp (nom.)

Pre-dimens. detallado

Figura 35 Ingreso de nivel de voltaje y días de autonomía al sistema

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se han establecido estos parámetros previos, ya se puede acceder a la pestaña “Generador FV”. En este apartado el software ya con la información ingresada es capaz de asistir en el diseño recomendando parámetros o especificaciones técnicas de paneles en base a lo requerido; para ello, se despliega una lista y se puede seleccionar, según el diseñador vea conveniente. En este caso, se busca un panel de manufactura actual y que tenga al menos 400W de potencia, para ahorrar espacio y evitar colocar tantos paneles de baja potencia, como se muestra en la figura 36.

Almacenamiento | **Generador FV** | Respaldo | Esquema Simplificado

Nombre y orientación del subconjunto:
 Nombre: Generador FV
 Oriente: Plano inclinado fijo
 Inclinación: 4°
 Azimut: 0°

Ayuda de pre-dimensionamiento
☐ Sin dimensionar
 Ingrese potencia planeada: 2.0 kWp
☐ ... o área disponible: 9 m²
 Redimens.

Seleccione el módulo FV
 Dispo. el año pasado
 Ordenar módulos: ☒ Potencia ☐ Tecnología

Modulo	Wp	V	Tecnología	Modelo	Desde
SunPower	400	55V	Si-mono	SPR-MAX3-400	Desde 202
	375	53V	Si-mono	SPR-MAX3-375-BLK	Desde 202
	390	53V	Si-mono	SPR-MAX3-390	Desde 202
	395	54V	Si-mono	SPR-MAX3-395	Desde 202
	400	37V	Si-mono	SPR-P3-400-COM-1500	Desde 202
	400	55V	Si-mono	SPR-MAX3-400	Desde 202
	405	37V	Si-mono	SPR-P3-405-COM-1500	Desde 202
	410	37V	Si-mono	SPR-P3-410-COM-1500	Desde 202
	410	61V	Si-mono	SPR-E19-410-COM-1500V	Desde 201
	410	61V	Si-mono	SPR-E19-410-COM	Desde 201

Módulos necesarios aprox: 5
 Seleccione el modo de operación: ☐ Controlador universal

Figura 36 Paneles sugeridos por el software

Fuente: Elaboración propia

Cuando se selecciona el panel, el software también indica la configuración que deben tener estos en serie y paralelo y muestra en base a lo elegido, que área podría ocupar en la superficie, como se observa en la figura 37.

Diseño generador FV

Número de módulos y cadenas

Mód. en serie ☒ entre 1 y 1 debe ser/estar:

Núm. cadenas ☐ entre 3 y 6

Perdida sobrecarga **0.0%**

Proporción Phom **1.00**

Núm. de módulos 5 Área 9 m²

Figura 37 Disposición de paneles solares

Fuente: Elaboración propia

Cabe recalcar que en este apartado el software recomendó colocar 6 paneles en paralelo, pero para ahorro de componentes se redujo a 5 empleando un área de 9m², siendo permitido por el software que indica que se puede seleccionar un valor entre de 3 y 6 para ese campo. Además, se puede corroborar lo elegido mediante la aplicación de la siguiente expresión.

$$NP = \frac{E}{PR \cdot Wp \cdot HSP} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

NP es el número de paneles

E representa la energía diaria

PR es un factor de rendimiento general del sistema considerado entre 0,65 y 0,9

Wp es la potencia del panel solar elegido

HSP es el factor de hora solar pico

Sustituyendo entonces en la expresión los datos que antes han sido determinados como la energía diaria y la hora solar pico y considerando un PR de 0,65, se obtiene:

$$NP = \frac{4865}{0,65 \cdot 400 \cdot 3.89}$$

$$\underline{NP = 4,81 \approx 5 \text{ paneles}}$$

4.5.2. Dimensionamiento de banco de baterías

Luego de haber corroborado la cantidad de paneles, se procede a determinar los parámetros de la batería. Para ello se ingresa en la sección “almacenamiento” y lo primero será elegir el tipo de temperatura, se escoge temperatura ambiente porque estas se situarán al interior de cada hogar.

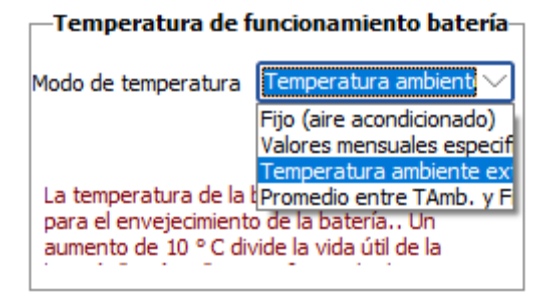


Figura 38 Selección de tipo de temperatura para batería

Fuente: Elaboración propia

Al igual que los paneles solares, se despliegan una serie de opciones de baterías basadas en la información registrada y ya coordinada con los datos de panel solar. Para este proyecto se trata de buscar componentes viables económicamente por lo que se descartan las baterías de ion-litio por tener costos elevados, se escoge una batería de plomo ácido del tipo AGM, ya que estas son de larga vida útil y poco mantenimiento al ser selladas. En la figura 39, se observa lo descrito.

Especifique el conjunto de batería

Ordenar baterías por ☒ voltaje ☐ capacidad ☐ fabricante

Sunlight 12 V 159 Ah Pb Sealed Gel 12V 3 RES OPzV 185 Desde 2021

Plomo-ácido

4	☒ baterías en series	Número de baterías	4	Voltaje paquete de baterías	48 V
1	☒ baterías en paralelo	Número de elementos	24	Capacidad global	159 Ah
100.0	% Estado inicial de desgaste (núm. de ciclos)			Energía almacenada (80% DOD)	6.1 kWh
100.0	% Estado inicial de desgaste (estático)			Peso total	293 kg
				Núm. de ciclos a 80% DOD	1350
				Energía total almacenada durante la vida útil de la batería	9148 kWh

Figura 39 Parámetros de batería

El software sugiere una capacidad de al menos 117Ah para suplir la demanda de energía según los días de autonomía establecidos, pero se escoge una batería de 159Ah que excede este valor para evitar inconvenientes por pérdidas. Además, la batería seleccionada cumple con una profundidad de descarga de 80% valor que según la normativa de la IDAE no se debe sobrepasar. Se aprecia en la figura 39 que el software sugiere un arreglo de 4 baterías en serie, esto con el fin de alcanzar el nivel de voltaje 48v puesto que las baterías seleccionadas son de 12v. Para corroborar estos valores, se emplean las siguientes ecuaciones.

La siguiente expresión permite conocer la capacidad del banco de baterías que se debe suplir.

$$CN_{bat} = \frac{E \cdot N}{V_n \cdot DOD} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

CN_{bat} es la capacidad nominal del banco de baterías

E representa la energía diaria

N son los días de autonomía

V_n es la tensión de trabajo del sistema (48V en este caso)

DOD es el porcentaje de profundidad de descarga (80%)

Sustituyendo los valores en la expresión, se obtiene:

$$CN_{bat} = \frac{4865 \cdot 1}{48 \cdot 0.8}$$

$$\underline{CN_{bat} = 126,69Ah}$$

Se puede observar que el banco de baterías elegido está por encima de este valor (159Ah), siendo apto para complementar el sistema fotovoltaico.

Ahora se procede a conocer el número de baterías que deben instalarse en serie y paralelo, la expresión Ec. (5) permite conocer cuantas baterías deben configurarse en serie.

$$NB_s = \frac{Vn}{Vn_b} \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde:

NB_s es la cantidad de baterías en serie

Vn es la tensión de trabajo del sistema (48V en este caso)

Vn_b es el voltaje de la batería elegida

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$NB_s = \frac{48}{12}$$

$$\underline{NB_s = 4 \text{ baterías en serie}}$$

Para conocer cuántos arreglos en paralelo deben hacerse, se emplea la expresión Ec. (6).

$$NB_p = \frac{CNbat}{C_b} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

NB_p es la cantidad de baterías en paralelo

$CNbat$ es la capacidad del banco de baterías

C_b es la capacidad de la batería elegida

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$NB_p = \frac{126,69Ah}{159Ah}$$

$$NB_p = 0,79 \approx 1 \text{ arreglo en paralelo}$$

Se ha corroborado la información generada por el software.

4.5.3. Dimensionamiento del regulador de carga

El tercer componente para dimensionar es el regulador de carga. Puesto que éste depende de los valores que se hayan determinado tanto en paneles solares como en banco de baterías, al igual que los otros dos componentes, el software despliega un listado de reguladores disponibles que son compatibles con los parámetros que se han establecido antes.

Se ha escogido de lo sugerido por PVsyst, un regulador de carga con nivel de tensión de 48v, capaz de admitir en su entrada un voltaje de 150V y una corriente de 45A, de tipo MPPT por ser los más óptimos en este ámbito, como se observa en la figura 40.

Figura 40 Parámetros de regulador de carga

Fuente: Elaboración propia

Para corroborar que el regulador de carga elegido y sugerido por el software, sea compatible con los demás componentes del sistema fotovoltaico, se deben aplicar las siguientes expresiones para verificar que la corriente de entrada sea inferior a la del regulador, y que el conjunto de paneles solares no supere la tensión permitida. Cabe recalcar que, en este caso en particular, la corriente de salida no es una condición para determinar el uso del regulador, puesto que ésta sería aproximadamente la misma que la corriente de entrada debido a que se busca independizar regulador de inversor. Solo cuando el inversor toma la carga directamente desde el regulador entonces hay que analizar la corriente de salida [27], pero se implementará un inversor que tome la energía desde las baterías como se muestra en la figura 41.



Figura 41 Esquema de regulador de carga e inversor independientes [27]

Para conocer la corriente de entrada máxima se emplea la siguiente expresión.

$$I_e = FS \cdot I_{sc} \cdot NP_p$$

Ec. (7)

Donde:

I_e es la corriente de entrada calculada

FS es un factor de seguridad para el regulador, la norma ecuatoriana de construcción NEC [28] en su apartado de energías renovables establece un 25% de aumento.

I_{sc} es la corriente de cortocircuito del panel solar elegido, dato que proporciona el software en este caso es 6.58A

NP_p es el número de arreglos en paralelo de los paneles

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$I_e = 1.25 \cdot 6.58 \cdot 5$$

$$\underline{I_e = 41.12A < 45A \text{ (Corriente permitida por el regulador)}}$$

Se puede observar que el regulador de carga elegido cumple la condición de la corriente de entrada, es importante mencionar que inicialmente se seleccionó un regulador de carga de

35A, y que es validado y sugerido por el software, teóricamente funcional, pero al aplicar el factor de seguridad no era suficiente por lo que se escaló a uno de 45A

Para determinar si el conjunto de paneles solares no excede la tensión máxima permitida en el ingreso al regulador, se emplea la expresión Ec. (8):

$$V_{MPP} = V_{MPPpanel} \cdot NP_{serie} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

V_{MPP} es la tensión máxima del conjunto de paneles solares

$V_{MPPpanel}$ es la tensión máxima del módulo elegido (MPP) (65,8V según el software)

NP_{serie} es el total de paneles en serie (1 panel)

Sustituyendo la expresión se obtiene:

$$V_{MPP} = 65,8V \cdot 1$$

$$V_{MPP} = 65,8V < 150V \text{ (Tensión de entrada del regulador)}$$

Se corrobora entonces las dos condiciones para que el regulador sea compatible con los componentes dimensionados en el software.

Hasta este punto el software nos ha asistido en el dimensionamiento, en la sección III (Resultados) se encuentran más detalles del informe de la simulación.

4.5.4. Dimensionamiento de inversor

Cabe recalcar que PVsyst no tiene una sección para la determinación del inversor, por lo que se procede a calcular en base a los datos ya obtenidos hasta el momento, al igual que en el regulador, se aplica un factor de seguridad de 25% para evitar problemas por distintos tipos

de pérdidas ocasionadas por la temperatura o el cableado. La tabla 7 muestra los parámetros a considerar para determinar el inversor.

Tabla 7 Parámetros para dimensionar inversor

Parámetros para Inversor	
Tensión nominal del sistema	48V
Tensión del banco de baterías	48V
Potencia Instalada en corriente Alterna	Véase Tabla 8
Factor de seguridad	1,25

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 8, resume la potencia instalada en corriente alterna, para posterior cálculo del inversor.

Tabla 8 Potencia Instalada en corriente alterna

Nombre	Cantidad	Potencia (W)	Total
Focos Led	5	9W	45W
Carga de Celular	2	10W	20W
Licuada	1	500W	500W
Radio	1	450W	450W
Plancha	1	1200W	1200W
Televisor	1	200W	200W
Nevera	1	1200W	1200W
Potencia total instalada			3615W

Fuente: Elaboración Propia

Para conocer la potencia mínima que debe tener el inversor que se elija, se emplea la expresión Ec. (9):

$$P_{INV} = FS \cdot P_{AC} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

P_{INV} es la potencia mínima requerida por el inversor

FS es el factor de seguridad

P_{AC} es la potencia instalada en corriente alterna

Sustituyendo la expresión se obtiene:

$$P_{INV} = 1.25 \cdot 3615W$$

$$P_{INV} = 4518,75W$$

El inversor que se seleccione, debe ser capaz de abastecer al menos una potencia de 4518,7W y debe trabajar con nivel de tensión de 48V.

4.6. Estructura para montaje de módulos fotovoltaicos

Algunos detalles a tomar en cuenta para la estructura de los paneles solares están sugeridos por la NEC, e indican entre ellos que esta debe tener garantizado al menos 10 años de duración en la intemperie y es muy importante que sea capaz de resistir al menos 100km/h respecto a velocidades de vientos.

En este apartado cabe recalcar que la disposición elegida para los paneles en el software fue establecida sobre el techo de la vivienda, dado que en la comunidad “San Pedro del Sereno” la mayoría de estas cuentan con techo inclinado en esos casos no será necesario darles más elevación a los paneles.

Se propone emplear anclajes de aluminio o acero inoxidable para montaje de los paneles, ya que estos materiales presentan buena resistencia frente a la corrosión que se puede manifestar en el lugar debido a los altos niveles de salinidad, al estar a unos kilómetros del mar.

El tipo de estructura sugerida para esta instalación es el denominado “Sistema de montaje de perno de suspensión”, puesto que es un anclaje estándar para diferentes tipos de techos de zinc, el cual consiste en pernos adaptados con rieles que se fijan para sujetar los paneles sobre

el techo [29]. A continuación, se muestra un ejemplo del fabricante “Solaracks” en la figura 42.



Figura 42 Perno de suspensión con riel [29]

En la figura 43, se puede observar cómo quedaría la estructura sobre el zinc.

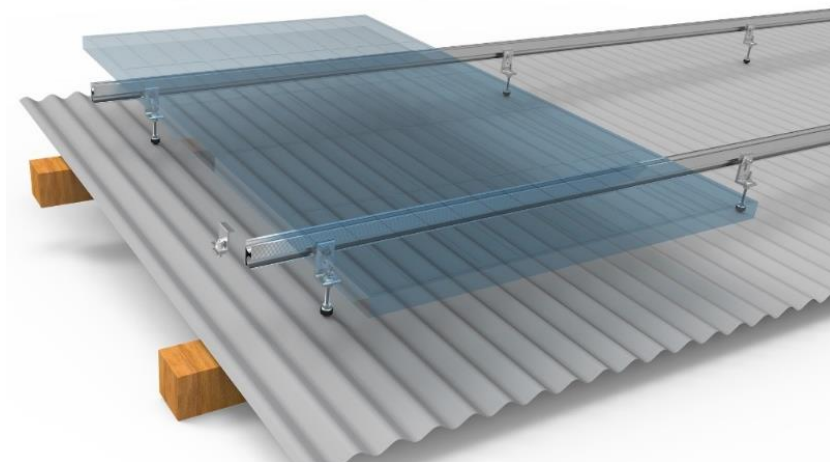


Figura 43 Conjunto de sistema de montaje [29]

4.7. Puesta a tierra

En toda instalación eléctrica es necesario implementar puesta a tierra para limitar la tensión de las masas metálicas. Además, la NEC indica que se debe instalar una o más varillas según la resistividad del suelo la cual debe estar bajo los 20 ohm y si se comprueba que es superior

a este valor, se debe proceder a realizar el mejoramiento del suelo. Se sugiere para esta instalación una varilla de Cobre Copperweld de al menos 5/8" de diámetro y 2,4m de longitud.

A esta varilla deben ir conectadas todas las masas metálicas del conjunto fotovoltaico de preferencia con conductor de cobre 12AWG.

Para el caso de los paneles solares, se recomienda la implementación de pinzas de puesta a tierra sobre los anclajes antes sugeridos, las cuales permiten la sujeción de cobre desnudo para unir todas las masas metálicas de estos, como se muestra en la figura 44 el accesorio del fabricante "Landpower".

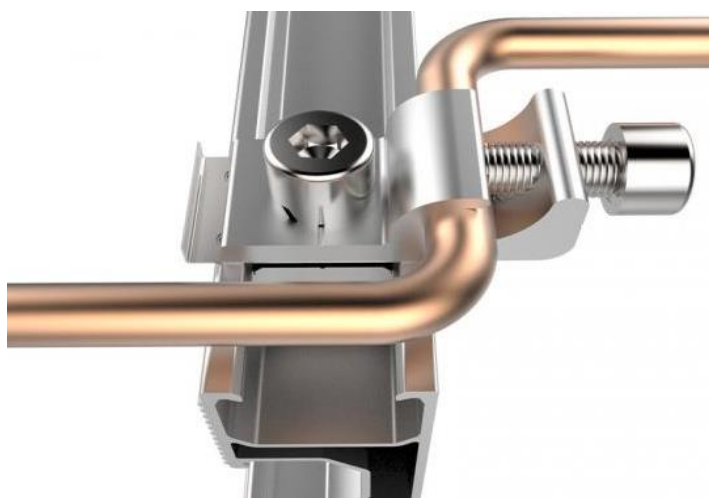


Figura 44 Pinza de puesta a tierra [30]

4.8. Protecciones

Para el tramo en Corriente Continua los fusibles más utilizados en el área fotovoltaica son los tipos NH y gPV por su rápida actuación, para la selección se basa en la corriente que debe soportar [5].

Para efectuar el cálculo se necesita saber cómo están distribuidos los paneles para calcular la corriente en base a la Intensidad máxima del panel (dato dado por el fabricante).

El panel según el software tiene una $I_{MPP} = 6,08A$, la distribución está dada por un arreglo de 5 paneles en paralelo, para determinar la corriente mínima a la que debe actuar el fusible se emplea la expresión Ec. (10)

$$I_n = I_{MPP} \cdot NP_P \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

I_n es la intensidad mínima que debe tener el fusible

I_{MPP} es la intensidad máxima del panel

NP_P es el número de paneles en paralelo

Sustituyendo en la expresión se obtiene:

$$I_n = 6,08A \cdot 5$$

$$I_n = 30,4A$$

Para el tramo en corriente alterna del inversor al centro de carga, se ha implementado un breaker el cual estará dimensionado en base a la potencia que entrega el inversor, siendo esta de $P = 4518,75 W$

Cabe recalcar que esta es la potencia mínima que debe tener el inversor, puesto que en el apartado resultados se establece el breaker en base al inversor seleccionado para el sistema.

Mediante la expresión se conoce la corriente a la que debe actuar el dispositivo de protección para este tramo.

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{Ec. (11)}$$

Sustituyendo, se obtiene:

$$I = \frac{4518,75W}{120V}$$

$$I = 37,7A$$

Se debe seleccionar un termomagnético superior a la intensidad aquí estimada, y sobre todo que sea establecido en base a la selección final del inversor.

4.9. Análisis de datos

Resultados de la encuesta

La encuesta presentada en el ANEXO A, se aplicó a un total de 20 viviendas, los resultados de las tres preguntas realizadas se presentan a continuación:

La pregunta nº1 consiste en conocer los aparatos eléctricos más comunes entre las viviendas, se pidió seleccionar aquellos que tengan disponibles y en caso de tener otros agregarlos, en la Tabla 9 se muestra la información obtenida.

Tabla 9 Artefactos eléctricos comunes

Artefactos	Casas	Porcentaje
Focos	20	100%
Licuada	14	70%
Computador	0	0%
Nevera	1	5%
Horno Microondas	0	0%
Plancha	10	50%
Aspiradora	0	0%
Congelador	0	0%
Lavadora	0	0%
Secadora	0	0%
Teléfono	13	65%
Radio	15	75%
Televisor	2	10%
Total de casas	20	

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 45 se puede observar los porcentajes de existencia de cada artefacto de acuerdo a la Tabla 9. En el presente trabajo a criterio del diseñador los valores iguales o mayor al

50% se han considerado como los más comunes entre las casas para el dimensionamiento, cabe recalcar que, aunque se ha recolectado esta información, para el diseño se han proyectado otras cargas que en un hogar básico deben ser tomadas en cuenta. Se han seleccionado los artefactos:

- Focos con un porcentaje de 100% en común.
- Licuadora con un porcentaje de 70%.
- Plancha con un porcentaje de 50%.
- Teléfono con un porcentaje de 65%.
- Radio con un porcentaje de 75%.

En la Tabla 5 se describen otros que han sido proyectados para que puedan funcionar en caso de implementarse el sistema fotovoltaico.

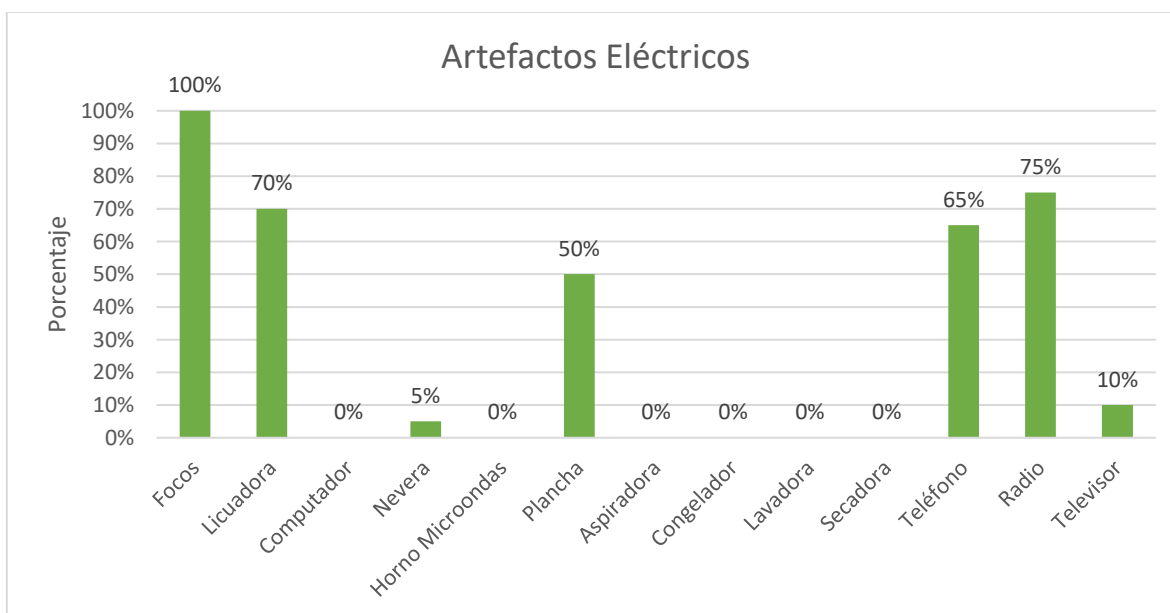


Figura 45 Artefactos eléctricos comunes

Fuente: Elaboración propia

La pregunta n°2 busca conocer qué cantidad existe de los aparatos eléctricos comunes que han sido seleccionados en cada vivienda. Debido a que la pregunta anterior ya estableció los cinco aparatos más comunes, en esta pregunta y en la siguiente solo se mostrarán los

resultados de estos, los demás aparatos son irrelevantes para estas preguntas ya que no se tomarán en cuenta por poca o nada existencia en las viviendas. La Tabla 10 muestra la información general:

Tabla 10 Cantidad de artefactos eléctricos comunes por vivienda

Artefacto	Cantidad por casas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Focos Led	1	3	3	5	8	0	0	0	0	0
Licuada	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plancha	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teléfono	4	7	2	0	0	0	0	0	0	0
Radio	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 46 se puede observar la cantidad de focos led existentes por cada casa, donde por ejemplo, el 40% de casas tienen 5 focos, el 25% 4 focos, el 15% 3 focos, otro 15% tiene 2 focos y el 5% tiene 1 foco; como se busca un valor común, en este caso es el de mayor porcentaje.

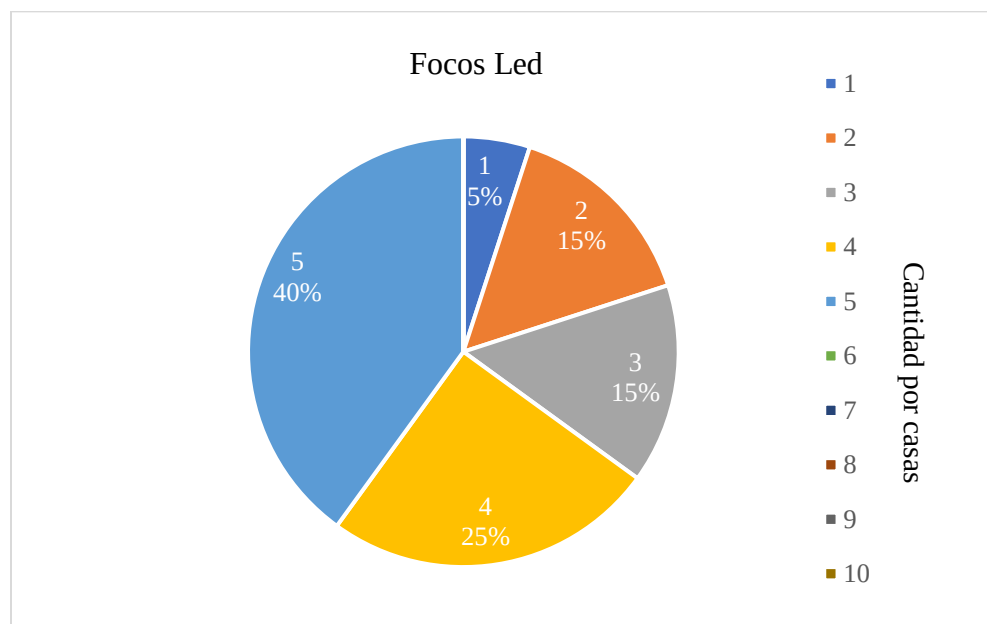


Figura 46 Cantidad de focos led por vivienda

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 47 se puede observar la cantidad de teléfonos (móviles) existentes por casas, donde el 54% de casas tiene 2 teléfonos, el 31% tiene 1 teléfono y el 15% restante tiene 3 teléfonos. Al igual que con los focos led el valor común de teléfonos será el mayor porcentaje existente entre las viviendas.

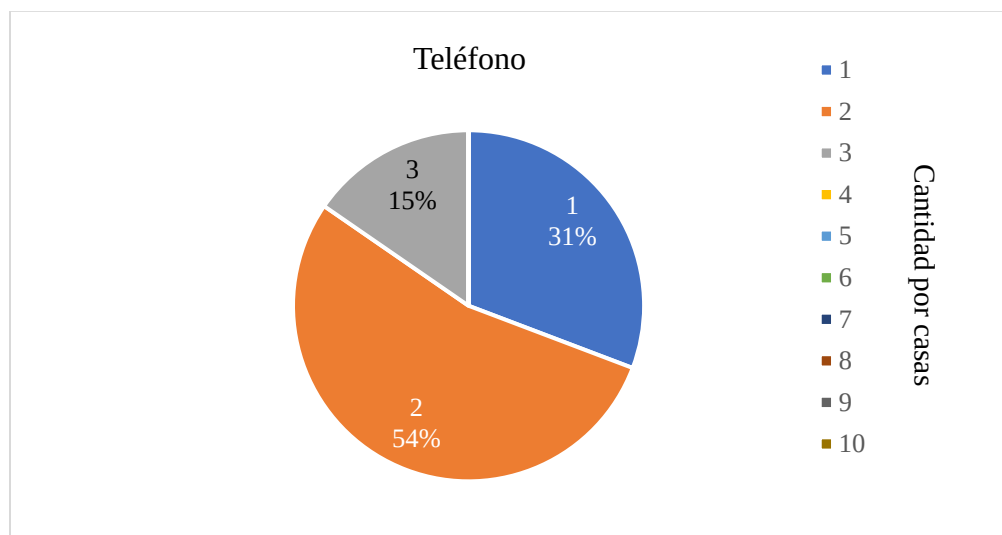


Figura 47 Cantidad de Teléfonos por vivienda

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de los artefactos: licuadora, radio y plancha no se muestran gráficos dado que el total de estos según el sondeo solo es 1 por cada vivienda que lo dispone. En cuanto a los focos led el porcentaje más alto es 40% e indica que se establece un total de 5 focos en común entre las viviendas. Finalmente, el gráfico de los teléfonos muestra que el porcentaje más alto es 54% estableciendo un total de 2 teléfonos en común entre las viviendas.

La pregunta nº3 brinda dos tipos de información necesaria. Permite determinar cuántas horas al día funciona cada aparato eléctrico seleccionado como disponible en casa, y además permite conocer durante que tramos del día se utilizan con frecuencia. La primera información mencionada permite calcular la demanda de energía total diaria consumida por el hogar estándar y la segunda información que nos genera esta pregunta facilita identificar los horarios de funcionamiento, en la Tabla 11 se observa la información recaba.

Tabla 11 Frecuencia de uso de artefactos eléctricos

Artefacto	Cantidad de viviendas que usan el artefacto en determinadas horas del día																								
	00:00 a 01:00	01:00 a 02:00	02:00 a 03:00	03:00 a 04:00	04:00 a 05:00	05:00 a 06:00	06:00 a 07:00	07:00 a 08:00	08:00 a 09:00	09:00 a 10:00	10:00 a 11:00	11:00 a 12:00	12:00 a 13:00	13:00 a 14:00	14:00 a 15:00	15:00 a 16:00	16:00 a 17:00	17:00 a 18:00	18:00 a 19:00	19:00 a 20:00	20:00 a 21:00	21:00 a 22:00	22:00 a 23:00	23:00 a 00:00	Permanente
Focos	0	0	0	0	0	12	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	20	20	20	8	3	0
Licuada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Plancha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	5	2	0	0	0	0	0
Teléfono	0	0	0	0	0	0	1	2	0	2	8	0	1	1	0	2	1	0	1	0	7	2	0	1	0
Radio	0	0	0	0	0	0	12	4	0	0	0	0	2	1	0	0	0	5	8	4	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 11, se ha podido determinar las horas más frecuentes de uso de cada aparato, como criterio de diseño al igual que en la pregunta nº1 se seleccionarán aquellos valores que sean igual o mayor al 50% para que sea común entre las viviendas y se detallan a continuación en términos de porcentaje de usuarios que utilizan a específicas horas.

La Figura 48 muestra que de un total de 20 viviendas que utilizan focos, el 60% lo usan entre las 5:00 y 6:00 am, el 20% entre las 6:00 y 7:00 am, el 75% entre las 6:00 y 7:00 pm, el 100% entre las 7:00 y 10:00 pm, el 40% entre las 10:00 y 11:00 pm y un 15% entre 11:00 y 12:00 de la noche, lo cual nos indica una frecuencia común de 5 horas al día considerando las horas donde al menos el 50% de las viviendas hagan uso de este artefacto.

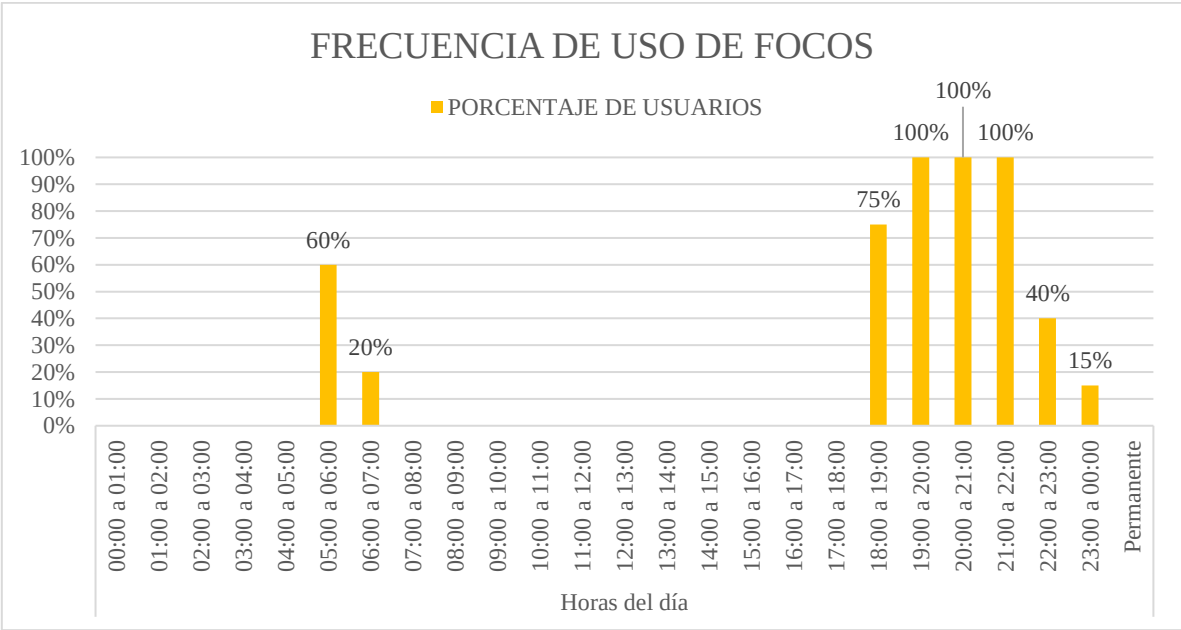


Figura 48 Frecuencia de uso de focos

Fuente: Elaboración propia

La Figura 49 muestra que de un total de 14 viviendas que utilizan licuadora, generalmente el 64% lo hacen entre 11:00 y 12:00 am y un 36% entre las 12:00 y 01:00 pm. En este artefacto es necesario recalcar que, aunque no se utilice una licuadora demasiado tiempo, por efectos de dimensionamiento en el software, se asigna 1 hora como frecuencia de uso donde al menos

el 50% de las viviendas lo utilicen, además con esto queda sobredimensionada para que pueda ser usada en cualquier otro lapso del día respetando el tiempo de funcionamiento.

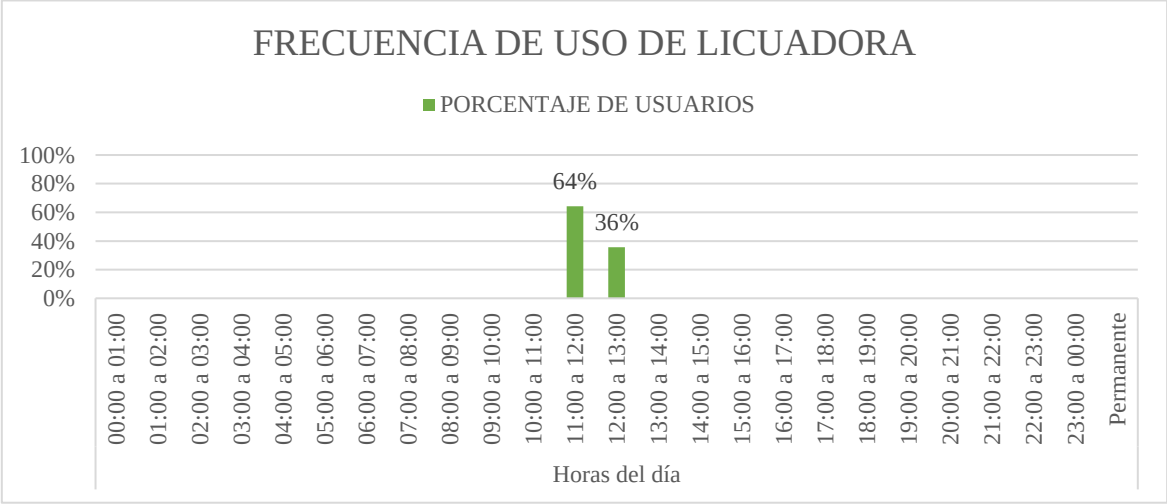


Figura 49 Frecuencia de uso de licuadora

Fuente: Elaboración propia

La Figura 50 muestra que de un total de 10 viviendas que utilizan plancha, al menos el 20% lo hace entre las 10:00 y 11:00 am, el 10% entre las 05:00 y 06:00 pm, el 50% entre las 06:00 y 07:00 pm y un 20% entre las 07:00 y 08:00 pm. Al igual que con la licuadora, para este artefacto, se asigna 1 hora de uso frecuente, aunque no sea empleada todo este tiempo.

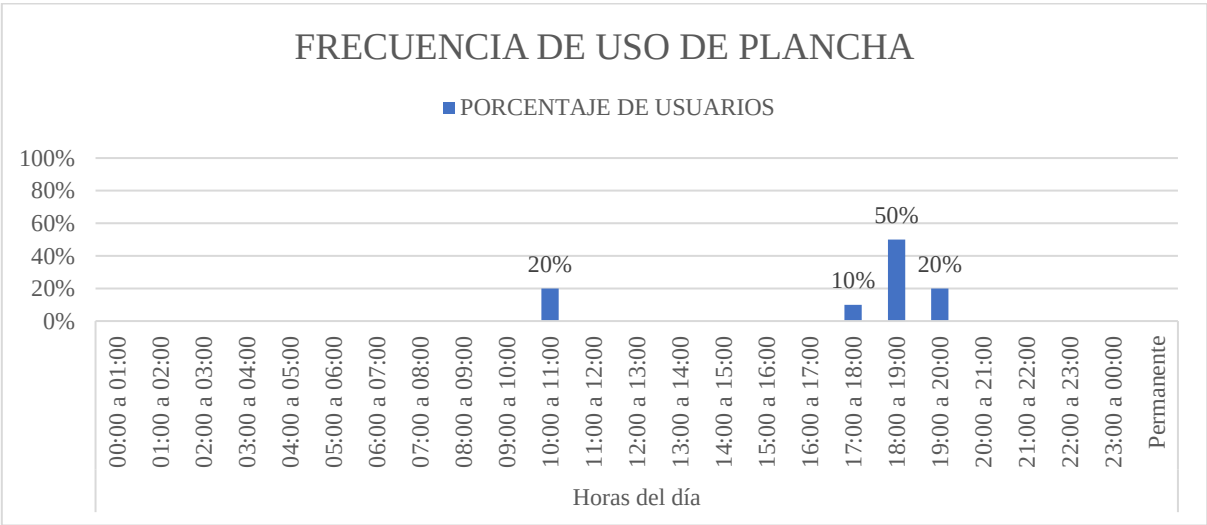


Figura 50 Frecuencia de uso de plancha

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 51 se puede apreciar las horas donde generalmente se realiza la carga de teléfonos móviles, siendo notorio el uso común en 2 horas del día. De 13 viviendas que disponen de estos dispositivos, el 62% los carga principalmente entre las 10:00 y 11:00 am y el 54% lo hace entre las 08:00 y 9:00 pm, existen otras horas donde hacen uso de la carga, pero con bajos porcentajes en común.

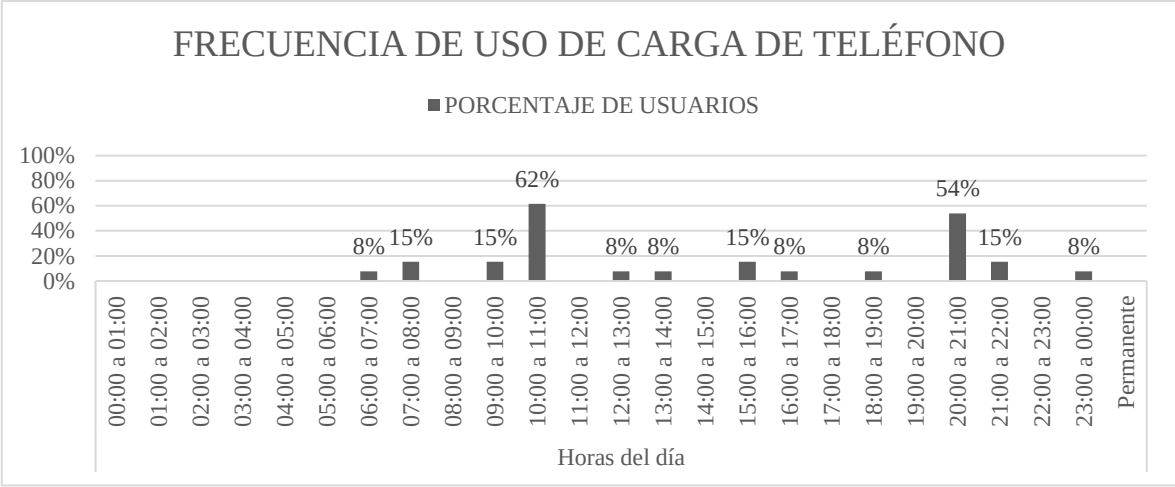


Figura 51 Frecuencia de uso de carga de teléfonos

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para el último artefacto determinado como común, es decir la radio, se muestra en la Figura 52 que de 15 casas que la utilizan, las horas más comunes de uso son entre las 06:00 y 07:00 am con el 80% y entre las 06:00 y 07:00 pm con el 53% de porcentaje en común, cabe recalcar que es usada en otras horas del día, pero por pocos usuarios simultáneamente.

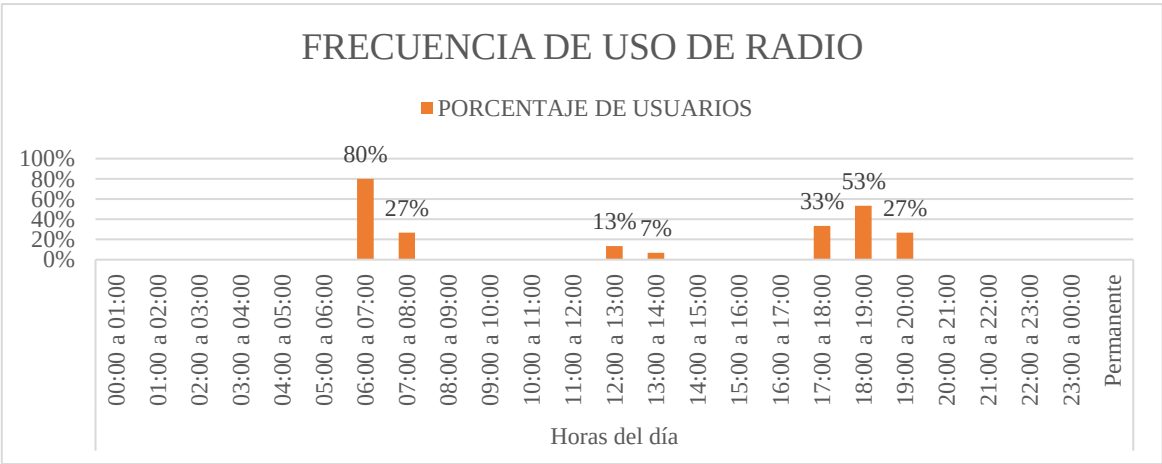


Figura 52 Frecuencia de uso de radio

Fuente: Elaboración propia

4.10. Simulación

Se presenta a continuación los resultados de la simulación generados por el software.



PVsyst V7.2.17

VC0, Fecha de simulación:
05/08/22 12:23
con v7.2.17

Proyecto: Sistema Fotovoltaico Aislado para la Comunidad
San Pedro del Sereno - TFM JAVIER TREJO

Variante: Nueva variante de simulación

Resumen del proyecto

Sitio geográfico

Comunidad "San Pedro del Sereno"
Ecuador

Situación

Latitud 0.82 °N
Longitud -79.78 °W
Altitud 335 m
Zona horaria UTC-5

Configuración del proyecto

Albedo 0.20

Datos meteo

Comunidad "San Pedro del Sereno"
Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100% - Sintético

Resumen del sistema

Sistema independiente

Orientación campo FV

Plano fijo
Inclinación/Azimut 4 / 0 °

Sistema independiente con baterías

Necesidades del usuario

Consumidores domésticos diarios
Constante durante el año
Promedio 4.9 kWh/Día

Información del sistema

Generador FV

Núm. de módulos 5 unidades
Pnom total 2000 Wp

Paquete de baterías

Tecnología Plomo-ácido, sellado, Gel
Núm. de unidades 4 unidades
Voltaje 48 V
Capacidad 159 Ah

Resumen de resultados

Energía disponible	2880 kWh/año	Producción específica	1440 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	51.17 %
Energía usada	1692 kWh/año			Fracción solar (SF)	95.30 %

Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema.	3
Necesidades detalladas del usuario	4
Resultados principales	5
Diagrama de pérdida	6
Gráficos especiales	7



Proyecto: Sistema Fotovoltaico Aislado para la Comunidad
San Pedro del Sereno - TFM JAVIER TREJO

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.2.17

VC0, Fecha de simulación:
05/08/22 12:23
con v7.2.17

Parámetros generales

Sistema independiente

Orientación campo FV

Orientación

Plano fijo

Inclinación/Azmut 4 / 0 °

Necesidades del usuario

Consumidores domésticos diarios

Constante durante el año

Promedio 4.9 kWh/Día

Sistema independiente con baterías

Configuración de cobertizos

Sin escena 3D definida

Modelos usados

Transposición Perez

Difuso Perez, Meteonorm

Circunsolar separado

Características del generador FV

Módulo FV

Fabricante

Generic

Modelo

SPR-MAX3-400

(Base de datos PVsyst original)

Unidad Nom. Potencia 400 Wp

Número de módulos FV 5 unidades

Nominal (STC) 2000 Wp

Módulos 5 Cadenas x 1 En series

En cond. de funcionam. (50°C)

Pmpp 1866 Wp

U mpp 59 V

I mpp 32 A

Controlador

Fabricante

Generic

Modelo

SmartSolar MPPT 150/45 48V

Tecnología

Convertidor MPPT

Coef. temp.

-2.7 mV/°C/Elem.

Convertidor

Eficiencias máxi y EURO

98.0 / 96.0 %

Potencia FV total

Nominal (STC) 2.00 kWp

Total 5 módulos

Área del módulo 8.8 m²

Batería

Fabricante

Generic

Modelo

12V 3 RES OPzV 185

Tecnología

Plomo-ácido, sellado, Gel

Núm. de unidades 4 en series

Descarga mín. SOC 4.6 %

Energía almacenada 7.3 kWh

Características del paquete de baterías

Voltaje 48 V

Capacidad nominal 159 Ah (C10)

Temperatura Temperatura ambiente exterior

Control de gestión de la batería

Comandos de umbral como Voltaje de batería

Cargando 58.5 / 50.1 V

SOC corresp. 0.92 / 0.75

Descarga 40.8 / 48.9 V

SOC corresp. 0.05 / 0.45

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica

Temperatura módulo según irradiancia

Uc (const) 20.0 W/m²K

Uv (viento) 0.0 W/m²K/m/s

Pérdidas de cableado CC

Res. conjunto global 31 mΩ

Frac. de pérdida 1.5 % en STC

Pérdida diodos serie

Caída de tensión 0.7 V

Frac. de pérdida 1.1 % en STC

Pérdida de calidad módulo

Frac. de pérdida -1.3 %

Pérdidas de desajuste de módulo

Frac. de pérdida 0.0 % en MPP

Pérdidas de desajuste de cadenas

Frac. de pérdida 0.1 %

Factor de pérdida IAM

Efecto de incidencia (IAM): Fresnel, revestimiento AR, n(vidrio)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000



Proyecto: Sistema Fotovoltaico Aislado para la Comunidad
San Pedro del Sereno - TFM JAVIER TREJO

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.2.17

VC0, Fecha de simulación:
05/08/22 12:23
con v7.2.17

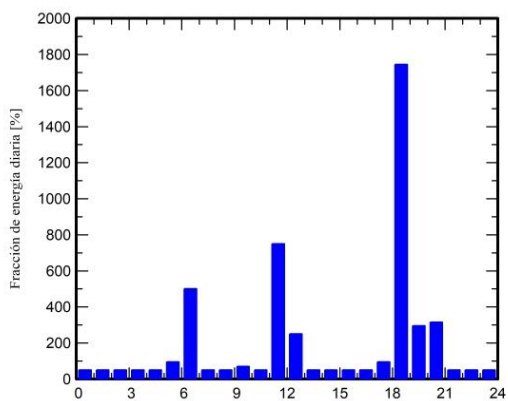
Necesidades detalladas del usuario

Consumidores domésticos diarios, Constante durante el año, promedio = 4.9 kWh/día

Valores anuales

	Número	Potencia	Uso	Energía
		W	Hora/día	Wh/día
Focos LED	5	9W/lámpara	5.0	225
Carga Teléfono	2	10W/apar.	2.0	40
Licuada	1	500W/apar.	1.0	500
Nevera	1		24	1200
Radio	1		2	900
Plancha	1	1200W tot	1.0	1200
Televisor	1	200W tot	4.0	800
Energía diaria total				4865Wh/día

Distribución por hora





Proyecto: Sistema Fotovoltaico Aislado para la Comunidad San Pedro del Sereno - TFM JAVIER TREJO

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.2.17

VC0, Fecha de simulación:
05/08/22 12:23
con v7.2.17

Resultados principales

Producción del sistema

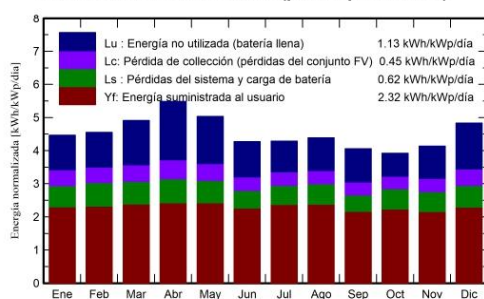
Energía disponible 2880 kWh/año
Energía usada 1692 kWh/año
Exceso (sin usar) 828 kWh/año

Pérdida de carga

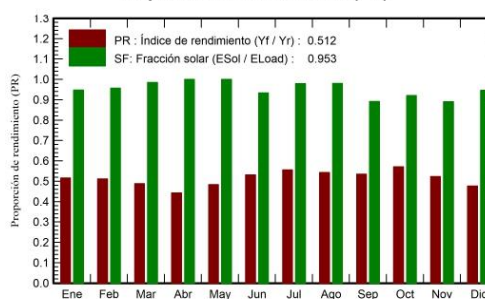
Fracción de tiempo 5.1 %
Energía faltante 83 kWh/año

Producción específica 1440 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento (PR) 51.17 %
Fracción solar (SF) 95.30 %
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)
Ciclos SOW 85.1 %
SOW estático 93.7 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	135.2	134.8	238.1	64.5	7.87	142.9	150.8	0.948
Febrero	126.1	124.2	221.3	58.7	5.80	130.4	136.2	0.957
Marzo	152.1	148.3	265.5	82.6	2.22	148.6	150.8	0.985
Abril	166.8	160.7	287.9	105.8	0.00	146.0	146.0	1.000
Mayo	159.7	151.8	273.3	87.9	0.00	150.8	150.8	1.000
Junio	132.0	124.5	224.1	63.7	9.62	136.3	146.0	0.934
Julio	136.3	129.0	232.5	57.4	3.09	147.7	150.8	0.980
Agosto	138.2	132.3	239.6	60.9	2.98	147.8	150.8	0.980
Septiembre	122.3	118.5	211.4	59.8	15.83	130.1	146.0	0.892
Octubre	120.6	118.2	209.8	42.5	11.97	138.8	150.8	0.921
Noviembre	121.7	120.8	215.3	58.1	16.01	129.9	146.0	0.890
Diciembre	145.8	146.2	261.0	85.9	8.05	142.8	150.8	0.947
Año	1656.9	1609.3	2879.9	827.7	83.43	1692.3	1775.7	0.953

Leyendas

GlobHor Irradiación horizontal global
GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
E_Avail Energía solar disponible
EUnused Energía no utilizada (batería llena)
E_Miss Energía faltante

E_User Energía suministrada al usuario
E_Load Necesidad energética del usuario (Carga)
SolFrac Fracción solar (EUtilizada / ECarga)



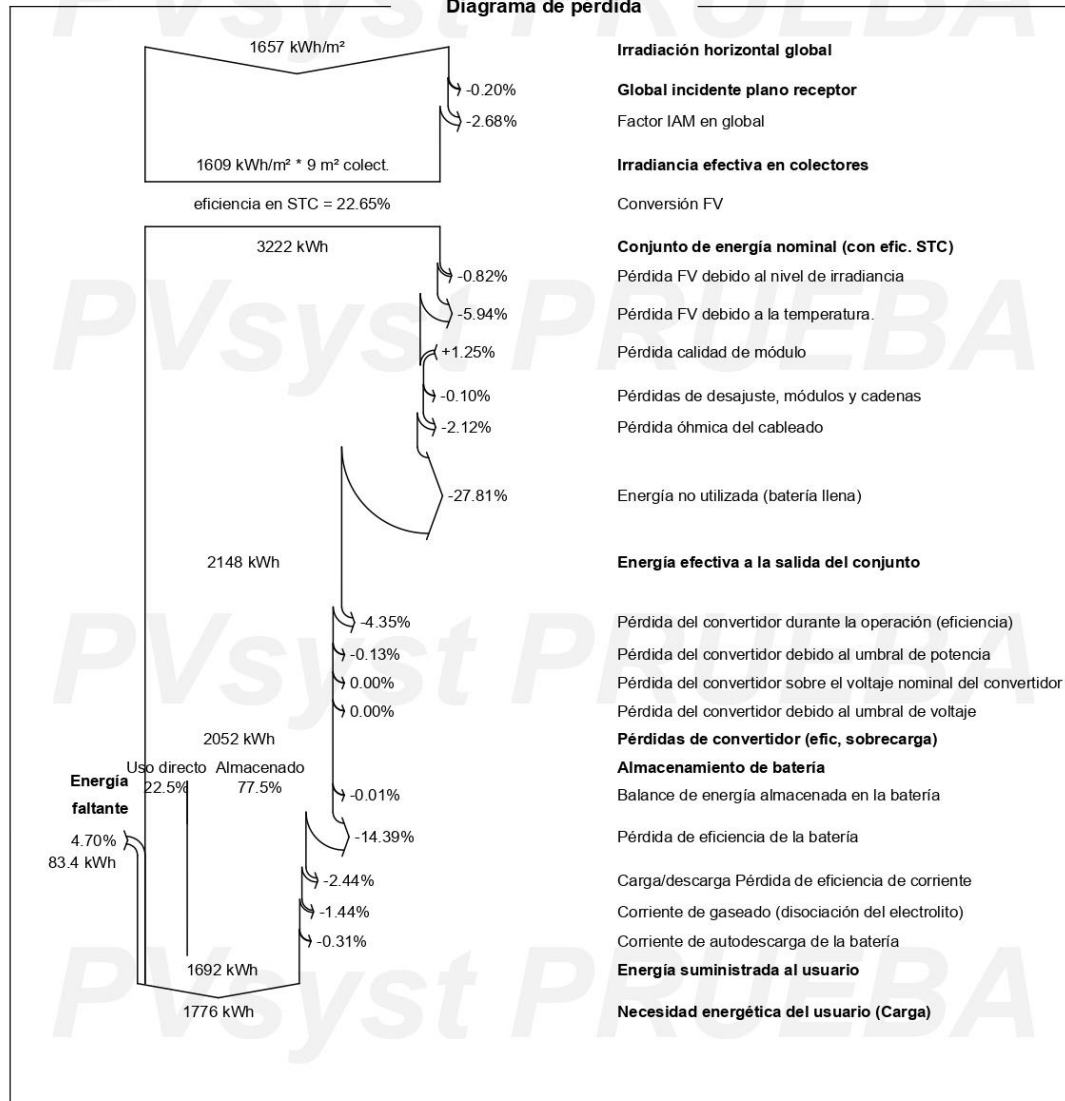
Proyecto: Sistema Fotovoltaico Aislado para la Comunidad
San Pedro del Sereno - TFM JAVIER TREJO

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.2.17

VC0, Fecha de simulación:
05/08/22 12:23
con v7.2.17

Diagrama de pérdida



4.11. Selección de equipos

El panel solar que se ha elegido con las especificaciones técnicas que sugiere el software es de la marca Sunpower, por su alta eficiencia comprobada en instalaciones fotovoltaicas liderando el mercado. Se trata de un módulo de 400W, y en la Tabla 12 se muestran las características principales tomadas del datasheet que se encuentra en el ANEXO B con más detalles. Para cada vivienda se requieren un total de 5 módulos en paralelo.

Tabla 12 Características de panel solar elegido

Parámetro	Descripción
Marca	SunPower
Modelo	SPR-MAX3-400
Potencia	400W
Corriente de cortocircuito (Isc)	6.58A
Corriente nominal (Impp)	5.62A
Voltaje nominal (Vmpp)	72.9V
Tecnología	Silicio Monocristalino

Fuente: Elaboración propia

Es necesario establecer la separación mínima que debe haber entre módulos al instalarlos para evitar pérdidas por sombras entre ellos, para lo cual una vez que se conocen los datos del panel se debe determinar la altura del panel; mientras que, la proyección en el techo sirve para considerar la distancia total que emplearán los módulos una vez instalados, como indica la figura 53.

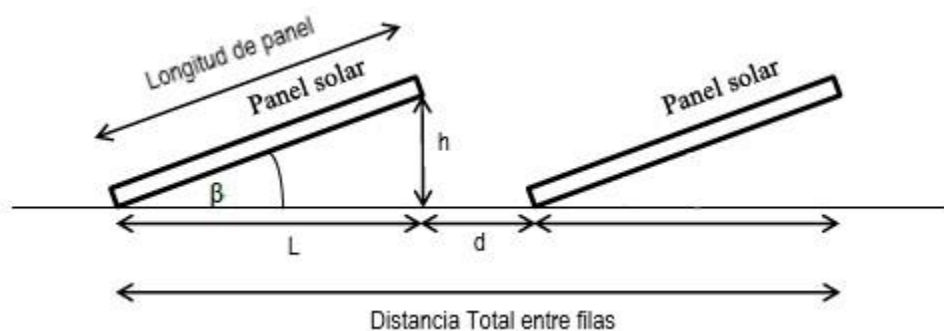


Figura 53 Distancia entre filas de paneles [5]

Donde:

β es el ángulo de inclinación (4,26°)

L es la proyección del panel en el techo respecto al ángulo de inclinación

h es la altura del panel respecto al ángulo de inclinación

d es la distancia mínima entre filas de paneles

El panel seleccionado tiene una longitud de 1.69m. Para conocer la altura de los módulos respecto al techo se emplea la siguiente expresión Ec. (12).

$$h = longitud\ del\ panel \cdot \sin(\beta) \quad Ec. (12)$$

Conociendo los datos, se sustituye y se obtiene:

$$h = 1,69m \cdot \sin(4.26)$$

$$h = 0,125m$$

Para conocer la proyección sobre el techo se emplea la expresión Ec. (13).

$$L = longitud\ del\ panel \cdot \cos(\beta) \quad Ec. (13)$$

Sustituyendo los datos en la expresión se obtiene:

$$L = 1,69m \cdot \cos(4.26)$$

$$L = 1,68m$$

Finalmente se obtiene la distancia entre paneles, empleando la siguiente expresión recomendada en el pliego de condiciones técnicas del IDAE [20].

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \theta)} \quad Ec. (14)$$

Para aplicar esta ecuación, la incógnita θ corresponde a la latitud del lugar donde se realiza el estudio, cuyo valor se ha especificado en el capítulo III y es 0.824364837.

Reemplazando los datos en la expresión se obtiene:

$$d = \frac{0.125m}{\tan(61^\circ - 0.8243^\circ)}$$

$$d = 0.071m$$

Entonces se tendrá que considerar una distancia de al menos 7,1cm entre cada fila de panel. Cabe recalcar que no necesariamente deben instalarse en filas, puede ser en columnas también y esto ya dependerá del espacio disponible en el techo de cada hogar.

La batería comercial que se ha elegido para el almacenamiento de energía corresponde a la marca AOKLY con capacidad de 150Ah y voltaje nominal de 12V por ser una batería sellada que no requiere mantenimiento. De este tipo se deben instalar 4 en serie para lograr la tensión del sistema que es 48V, y brindar autonomía de 1 día a la vivienda. La Tabla 13 muestra algunas características principales y en el ANEXO C se encuentra el datasheet de la misma.

Tabla 13 Características de batería seleccionada

Parámetro	Descripción
Marca	AOKLY
Modelo	6GFM150G
Voltaje	12V
Capacidad	150Ah
Tecnología	AGM selladas
Material	Plomo - ácido

Fuente: Elaboración propia

Se ha seleccionado un regulador de la marca VICTRON, puesto que actualmente es una de las marcas más implementadas en sistemas autónomos debido a su alta eficiencia. En este caso el modelo elegido cuenta con una eficiencia de al menos 98%, es decir, reduce el porcentaje de pérdidas por condiciones variadas como por ejemplo humedad o temperatura.

Este dispositivo es capaz de soportar un voltaje de entrada de 150V e intensidad de 50A, y configurarse para trabajar con un banco de baterías desde 12V a 48V; además, trabaja con baterías de plomo, por lo tanto, cumple con los parámetros determinados en el dimensionamiento. En la Tabla 14 se muestran algunas características relevantes y en el ANEXO D se encuentra más detalles.

Tabla 14 Características de regulador seleccionado

Parámetro	Calculado	Elegido	Condición
Máxima Corriente de cortocircuito	41,12A	50A	CUMPLE
Tensión de trabajo del sistema	48V	48V	CUMPLE
Tensión Máxima MPP	65,8V	150V	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

En el dimensionamiento se determinó que el inversor para el sistema fotovoltaico diseñado, debe tener una potencia de al menos 4518,7W, por ello se ha seleccionado un modelo comercial de la marca VICTRON con potencia de 5kW el cual se encargará de tomar la energía desde el banco de baterías como se indica en la figura 41, y entregar a la salida una onda sinusoidal pura de 120V de alta eficiencia para las aplicaciones domésticas. Cabe recalcar que este modelo puede funcionar en paralelo con uno o más inversores si en algún momento se desea ampliar la capacidad de generación. Además, contiene una opción de cargador de batería desde una fuente externa como un grupo electrógeno para ser utilizado en situaciones extremas. En el ANEXO E se encuentra más detalles. Algunas características se pueden observar en la Tabla 15.

Tabla 15 Características de inversor seleccionado

Parámetro	Descripción
Marca	VICTRON
Modelo	Quattro Inverter
Voltaje Salida	120V
Voltaje de entrada VCC	37,2 – 64,4
Potencia	5000W

Eficacia Máxima	95%
-----------------	-----

Fuente: Elaboración propia

En el dimensionamiento se estimó los valores para dos tipos de protecciones, las cuales se definen a continuación:

La protección para corriente continua en el tramo de **Paneles – Inversor** indica que el fusible elegido debe soportar **30,4A**, para lo cual se ha tomado un valor comercial de la marca DF Electric modelo gPV Cilíndricos 1000VDC de valor **In = 32A** que es el inmediato superior, además se recomienda instalar un fusible para aplicaciones fotovoltaicas de **6A** por cada panel para limitar la corriente de cortocircuito. En el ANEXO F se encuentra más información de este dispositivo.

En cuanto a la protección en corriente alterna, se implementó un termomagnético para la sección desde el Inversor – Centro de carga. El valor determinado por el dimensionamiento es de **37,7A** para el caso de una potencia de inversor de 4518W.

Se realiza la rectificación a continuación utilizando la potencia del inversor comercial seleccionado, es decir, una potencia de 5kW.

$$I = \frac{5000W}{120V}$$

$$\underline{I = 41,66A}$$

Se seleccionará un valor comercial de **50A** que es el inmediato superior de la marca Schneider Electric específicamente el modelo Easy9 para proteger contra cortocircuitos y sobrecarga. En el ANEXO G se encuentra más información de este dispositivo.

Finalmente, en el ANEXO H, se indica cual es el esquema unifilar de conexión entre los componentes de la instalación del sistema diseñado.

4.12. Proyección Energética

La Tabla 16 extraída del informe, muestra el detalle más relevante obtenido de la predicción del comportamiento (simulación) de este sistema fotovoltaico usando el software PVSyst.

Tabla 16 Balances y resultados principales

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	proporción
Enero	135.2	134.8	238.1	64.5	7.87	142.9	150.8	0.948
Febrero	126.1	124.2	221.3	58.7	5.80	130.4	136.2	0.957
Marzo	152.1	148.3	265.5	82.6	2.22	148.6	150.8	0.985
Abril	166.8	160.7	287.9	105.8	0.00	146.0	146.0	1.000
Mayo	159.7	151.8	273.3	87.9	0.00	150.8	150.8	1.000
Junio	132.0	124.5	224.1	63.7	9.62	136.3	146.0	0.934
Julio	136.3	129.0	232.5	57.4	3.09	147.7	150.8	0.980
Agosto	138.2	132.3	239.6	60.9	2.98	147.8	150.8	0.980
Septiembre	122.3	118.5	211.4	59.8	15.83	130.1	146.0	0.892
Octubre	120.6	118.2	209.8	42.5	11.97	138.8	150.8	0.921
Noviembre	121.7	120.8	215.3	58.1	16.01	129.9	146.0	0.890
Diciembre	145.8	146.2	261.0	85.9	8.05	142.8	150.8	0.947
Año	1656.9	1609.3	2879.9	827.7	83.43	1692.3	1775.7	0.953

Leyendas

GlobHor Irradiación horizontal global

GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados

E_Avail Energía solar disponible

EUnused Energía no utilizada (batería llena)

E_Miss Energía faltante

E_User Energía suministrada al usuario

E_Load Necesidad energética del usuario (Carga)

SolFrac Fracción solar (EUtilizada / ECarga)

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 16 se puede interpretar que al año hay una energía solar disponible de 2879.9 kWh en el lugar de estudio, de la cual el usuario necesita según la carga ingresada al software un total de 1775.7 kWh, se suministra 1692.3 kWh debido a una pérdida en el sistema de 83,43 kWh al año (alrededor del 5%). Ahora bien, es importante mencionar que el sistema estima estas pérdidas por su naturaleza de simulación y diseño.

Para una instalación real, es por esta razón, que se han considerado factores de seguridad como los aplicados en el regulador de carga e inversor recomendados por las normativas,

además el sistema está ligeramente sobredimensionado porque se ha considerado como 1 hora el funcionamiento de algunos aparatos que solo funcionan minutos como el caso de la licuadora, por ejemplo. Por lo tanto, se pueden despreciar estas pérdidas mostradas por el software.

4.13. Análisis económico

En cuanto al factor económico de este proyecto, se muestra en la Tabla 17 un presupuesto estimado en caso de implementación de este sistema fotovoltaico en la comunidad de aproximadamente \$5000 dólares de implementación de kit por casa. Cabe recalcar que este valor se puede reducir en la adquisición de materiales, variando las marcas y/o importando directamente desde proveedores debido a que en Ecuador al no existir gran demanda de estos equipos aún no hay gran stock de modelos y marcas y los precios aún son elevados.

Tabla 17 Presupuesto estimado

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNIT	PRECIO T.
Panel solar 400W	5	\$300	\$1500
Batería 150Ah 12V	4	\$300	\$1200
Regulador de carga 150V 50A	1	\$380	\$380
Inversor 5000W 110VAC	1	\$600	\$600
Fusible 32A	1	\$5	\$5
Fusibles 6A	5	\$5	\$25
Portafusibles	6	\$7	\$42
Termomagnético 50A	1	\$10	\$10
Cableado		\$150	\$150
Estructura		\$200	\$200
Varios (Conectores, funda sellada, accesorios)		\$200	\$200
Mano de obra		\$600	\$600
TOTAL			\$4912

Fuente: Elaboración Propia

V. DISCUSIÓN

En este apartado se pretende relacionar los resultados obtenidos en el presente trabajo con los resultados de los estudios que se han realizado a nivel nacional o internacional y se han considerado como punto de partida en los antecedentes.

Y. Principe en su trabajo de investigación proporciona un enfoque técnico que sirvió como referencia para determinar la demanda eléctrica de una población rural [11]. En dicho trabajo se consideró consumos promedios empleando fórmulas para determinar la demanda de los artefactos eléctricos, a diferencia de la investigación aquí planteada donde se trató de tener datos precisos para dimensionar correctamente los componentes de un hogar estándar y se procedió a realizar encuestas en cada casa a fin de conocer estrictamente datos tales como: cantidad de artefactos, horas de uso, horarios frecuentes de uso, resultando una mejor metodología.

Otro factor importante para la realización de esta investigación es el análisis de la radiación solar. En este aspecto fue esencial la investigación presentada por S. Cevallos y M. Ramos quienes luego de su fundamentado estudio en metodologías para determinar espacios aprovechables para energías renovables en Ecuador [13], lograron estimar un valor promedio mediante el que se puede calificar como viable una instalación fotovoltaica, y para el cual se ha demostrado en esta investigación que la zona rural en cuestión cumple con este requisito durante la mayoría de los meses, incluso excediendo en la mayoría de ellos el $3,8\text{kWh/m}^2$ al día propuesto como media de radiación solar.

Cabe recalcar que para la determinación de componentes se presenta algunas investigaciones en los antecedentes que mantienen similar metodología para el cálculo y simulación de estos, pero la más relevante por ser de ámbito local es presentada por J. Ulloa donde se expone el estudio y diseño de una instalación para autoconsumo de una agrícola en una zona de Esmeraldas relativamente cercana a la población aquí analizada [5], se corrobora por la radiación solar percibida que solo varía en un 3,52%. En la investigación de J. Ulloa establece un ángulo de elevación de paneles de $4,23^\circ$ mientras que en el presente trabajo resultó un ángulo de $4,26^\circ$, los componentes varían precisamente por la carga eléctrica prevista y los

días de autonomía elegidos donde se ha estudiado con 3 días debido a los procesos de producción que mantienen en dicho lugar, para la comunidad San Pedro del Sereno se considera un día de autonomía debido a la poca carga eléctrica que se encontró en sitio, no se descarta que se pueda variar este valor siempre y cuando un miembro de la comunidad requiera instalar maquinaria para productividad o instalar artefactos eléctricos que estrictamente necesiten estar alimentados continuamente por alguna razón. En la investigación de J. Ulloa se requieren alrededor de 50 paneles, 68 baterías y 4 inversores; mientras que en el presente trabajo se precisa de 5 paneles, 4 baterías y 1 inversor con regulador de carga como kit de un hogar para autoabastecimiento, de hecho al trabajar con un solo nivel de voltaje siendo este de 120V no hace falta instalar inversores especiales como para arranque de motores por ejemplo, lo cual se ve reflejado en los presupuestos de cada instalación con una diferencia considerable.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

En el diseño se han considerado las recomendaciones de normativas nacionales e internacionales que regulan el funcionamiento, así como el montaje de este tipo de instalaciones para obtener el máximo rendimiento y evitar problemas de producción energética, empleando además el software PVsyst como asistencia.

Tomando como referencia el mapa solar del Ecuador y los datos generados en la fuente meteorológica del software PVsyst junto los datos climáticos que facilita la NASA, se determinó que la ubicación geográfica de la comunidad es viable para el aprovechamiento del recurso solar, los componentes del sistema fotovoltaico están dimensionados en relación al mes considerado más bajo respecto a radiación solar.

Se ha realizado en el presente trabajo el análisis y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado de la red, que cumple con la propuesta de proveer energía eléctrica a un hogar básico de la comunidad “San Pedro del Sereno” considerando los niveles de carga.

El sondeo realizado en la comunidad permitió conocer la situación de artefactos eléctricos, lo cual fue un factor clave para tener datos reales y poder establecer un hogar referencial permitiendo que el kit dimensionado se pueda aplicar en cualquier hogar y pueda satisfacer la demanda, teniendo adicionalmente un día de autonomía en caso de problemas por captación de radiación solar.

Se ha presentado un presupuesto estimado para la instalación de este kit fotovoltaico, el cual está sujeto a variaciones en los costos de equipos según la forma de adquisición que se emplee, ya sea buscando características similares en el mercado local o importando los componentes sugeridos en el estudio.

La propuesta de este proyecto contempla una mejora en la calidad de vida de las personas de la comunidad, planteando el uso de energías renovables para erradicar en aquella zona el uso de grupos electrógenos que promueven la quema de combustibles causando contaminación en el ecosistema y perjudicando silenciosamente la salud por factores como el ruido, por ejemplo.

6.2. Recomendaciones

En caso de implementación del presente trabajo, se recomienda:

Elaborar un plan de mantenimiento integral, de acuerdo a las sugerencias de fabricantes de los equipos y considerando las observaciones de las normativas vigentes en Ecuador para el autoconsumo basado en energías renovables.

Determinar adecuadamente las secciones de los conductores a utilizar, las cuales no han sido consideradas en ese diseño puesto que, al ser una propuesta general para todos los hogares, no se han establecido longitudes específicas entre componentes ni la ubicación de los mismos. Aquello depende de la distribución de cada vivienda.

Si se instala otros modelos de componentes, se debe verificar con las expresiones planteadas en este trabajo que las especificaciones técnicas se encuentren dentro de los rangos calculados, a fin de evitar variación en la producción de energía y pérdidas.

Respecto a la metodología empleada en el diseño, para optimizar el mismo se recomienda:

Reducir el impacto de las pérdidas, se sugiere dimensionar los equipos críticos como el panel solar y las baterías considerando los valores de temperatura ambiente en la comunidad generados por alguna fuente meteorológica fiable.

Realizar una clasificación de usuarios respecto a los niveles de carga, para proponer algunas variantes de kits fotovoltaicos según las actividades de cada hogar. Por ejemplo, en caso de viviendas donde se tenga alguna actividad agrícola y se requiera montar algún tipo de maquinaria industrial.

Plantear un estudio más avanzado de implementación de una microrred de generación, donde los excedentes de producción energética en algún hogar puedan ser aprovechados por otro que requiera satisfacer una demanda más alta.

VII. LIMITACIONES Y PROSPECTIVA

7.1. Limitaciones

Una de las limitaciones en la obtención de datos es que no existe en las fuentes gubernamentales información respecto a la comunidad “San Pedro del Sereno” como su demografía, por ejemplo, por lo que no se puede detallar a fondo la población de esta zona, aunque no es un impedimento en la realización del proyecto, cabe recalcar esta situación.

En cuanto al dimensionamiento, si bien se eligió el software PVsyst por las facilidades que brinda en su versión de prueba, este no cuenta con una sección para asistir en el diseño del inversor en sistemas autónomos; toca hacerlo matemáticamente con los parámetros previamente determinados. Existen otros programas para dimensionar, pero sus licencias son de alto costo puesto que son enfocados al ámbito corporativo.

Otra limitante muy relevante es el stock de equipos para sistemas fotovoltaicos. Actualmente en Ecuador no se encuentran fácilmente componentes de las mejores marcas comerciales, o componentes del listado que sugieren los programas de diseño, esto causa inconvenientes al hacer la selección de equipos que se puedan cotizar para poder elaborar un presupuesto preciso teniendo que buscar dispositivos con características similares. En ocasiones resulta mejor tomar referencias de tiendas extranjeras considerando valores aproximados de importación y otros gastos.

7.2. Prospectiva

El desarrollo de este trabajo cumple con la expectativa de presentar una propuesta que solucione la carencia de energía eléctrica en la comunidad de estudio, mediante el análisis que se ha hecho el sistema es aplicable en cualquier hogar para sus necesidades. Este trabajo se puede complementar con un estudio económico a fondo en conjunto con la entidad conveniente en este caso como CNEL, tratando de considerar la implementación de este kit considerando costos de producción de energía fotovoltaica e instalando medidores para aplicar algún tarifario regulado. El proyecto además sirve de gran aporte a la comunidad

estudiantil, siendo referencia base para estudios de otras zonas rurales de cualquier parte del país aplicando las metodologías aquí mostradas.

REFERENCIAS

- [1] C. Zuluaga and L. H. Berrío, “Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: una revisión en el contexto energético mundial,” *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 32, pp. 369–396, 2014, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85232596010>
- [2] M. R. Pelaez and J. L. Espinoza, *Energías renovables en el Ecuador: situación actual, tendencias y perspectivas*, 1st ed. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2015.
- [3] G. Santamaría and A. Castejón, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Valencia: Editex, 2010.
- [4] W. Hidalgo, P. Vásquez, G. Carrillo, and F. Vásquez, *Energías Renovables*. Ambato: Ciencia Digital, 2021.
- [5] J. Ulloa, “Estudio y Diseño de Instalación Eléctrica a través de energía solar fotovoltaica en agrícola ‘Los Rosales’ para procesamiento de cacao en polvo,” UTELVT, Esmeraldas, 2020.
- [6] G. Carmona and T. Díaz, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*, 1st ed. Madrid: MCGRAW-HILL, 2018.
- [7] Biomass Users Network, *Manuales sobre energía renovable solar fotovoltaica*. San José, Costa Rica, 2002.
- [8] L. Jutglar, *Generación de Energía Solar Fotovoltaica*, 1st ed. Barcelona: Marcombo, 2012.
- [9] J. Alvarado, “Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2018.
- [10] D. Sánchez, “Autoconsumo fotovoltaico. Aplicación a una depuradora rural,” Universidad de Valladolid, Valladolid, 2021.

- [11] Y. Príncipe, “Diseño del Sistema Fotovoltaico de 2kW en zonas rurales de Socorro, Huarumpa y Yanuna del distrito de Pacuas-Huari-Ancash,” Universidad Tecnológica de Perú, Lima, 2019.
- [12] D. Vaca and F. Ordóñez, *Mapa Solar del Ecuador 2019*. Quito: EPN, 2020.
- [13] J. Cevallos-Sierra and J. Ramos-Martin, “Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1154–1165, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2017.08.015.
- [14] W. Reinoso and D. Sánchez, “Diseño e implementación de electrificación en un sector rural del golfo de Guayaquil mediante sistema fotovoltaico aislado,” Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2022.
- [15] A. Crespo, “Diseño de una planta solar fotovoltaica de 300kWp para autoconsumo con análisis de eficiencia energética en un centro comercial,” Universidad Católica Santiago de Guayaquil , Guayaquil, 2021.
- [16] R. Quintana, “Diseño de un sistema de abastecimiento de energía eléctrica con el uso de energías renovables como la solar en viviendas unifamiliares en la parroquia Atahualpa, cantón Ambato, provincia Tungurahua,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.
- [17] Asamblea Nacional del Ecuador, *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*. Ecuador, 2015.
- [18] ARCONEL, *Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica*. Ecuador: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/11/ARCONEL-003-18MICROGENERACION.pdf>, 2018.
- [19] ARCERNNR, *Marco Normativo de la Generación Distribuida para autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica*. Ecuador: <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2021/09/resolucion_nro._arcernnr-013-2021ed.pdf, 2021.

- [20] IDAE, *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. España: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos_5654_FV_Pliego_aisladas_de_red_09_d5e0a327.pdf, 2009.
- [21] Servicios del Ministerio de Ciencia y Tecnología, *Guía Técnica de Aplicación del REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión)*. España: https://win.enerxia.net/REBT/1GUIA_compl.pdf, 2015.
- [22] M. Moreno, “Modelado de sistemas fotovoltaicos de concentración para la biblioteca de código abierto PVLIB-Python,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2019.
- [23] PVsyst Team, “PVsyst Photovoltaic Software.” <https://www.pvsyst.com/pvsyst-team/> (accessed Aug. 04, 2022).
- [24] J. Chicaiza, “Sistema Fotovoltáico para proveer energía eléctrica al GAD Parroquial de Curaray en la Provincia de Pastaza,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [25] A. Sánchez, D. Martínez, R. Santos, J. Ortega, and P. Sánchez, *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial*, 1era Ed. Ciudad de México: UNAM, 2017.
- [26] V. Mascaros, *Instalaciones Generadoras Fotovoltaicas*, 1era Ed. Valencia: Ediciones Paraninfo, S.A., 2015.
- [27] E. Rodríguez, “Regulador de Carga Solar: Calculos, Tipos, Funciones.” <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html> (accessed Aug. 02, 2022).
- [28] NEC, *Norma Ecuatoriana de Construcción*. Ecuador: <https://www.cevaconsult.com/2018/05/03/normas-ecuatorianas-de-la-construccion/>.

- [29] Solaracks, “Sistema de montaje de perno de suspensión - China Solaracks.” <https://www.solaracks.com/es/product/sistema-de-montaje-de-perno-de-suspension/> (accessed Aug. 03, 2022).
- [30] Landpower, “fabricantes de china oem sistemas de puesta a tierra de montaje solar - landpower.” https://es.landpowerpv.com/solar-mounting-earthing-systems_p26.html (accessed Aug. 03, 2022).

ANEXOS

ANEXO A. FORMATO DE ENCUESTA



Estimado/a habitante de la comunidad “San Pedro del Sereno” la siguiente encuesta es un instrumento para recabar información necesaria, con el fin de elaborar con datos confiables el trabajo de fin de máster denominado “ANÁLISIS TÉCNICO, REGULATORIO Y ECONÓMICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA ALTERNO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO BASADO EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COMUNIDADES RURALES DE ESMERALDAS” con el fin de proyectar un sistema que sirva para energizar cada vivienda ante la problemática de falta de una red de distribución.

INSTRUCCIONES:

TIEMPO APROXIMADO DE APLICACIÓN: 10 minutos

A continuación, se presenta una lista de artefactos eléctricos más comunes en un hogar residencial, marque con una **X** aquellos que tenga en su vivienda y posteriormente indique la cantidad y en qué horas del día usa generalmente, si algún artefacto no está en la lista puede agregarlo al igual que las horas de uso.

1. Indique cual de los siguientes artefactos eléctricos están instalados en su hogar

Artefacto	Disponibilidad
Focos	
Licuada	
Computador	
Nevera	
Microondas	
Plancha	
Aspiradora	
Congelador	
Lavadora	
Secadora	
Teléfono	

Radio	
Televisor	

Otros: _____

2. Especifique la cantidad de artefactos eléctricos escogidos.

Artefacto	Cantidad									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Focos										
Licuadaora										
Computador										
Nevera										
Microondas										
Plancha										
Aspiradora										
Congelador										
Lavadora										
Secadora										
Teléfono										
Radio										
Televisor										

Otros: _____

3. Marque las horas que usualmente utiliza los aparatos eléctricos que dispone.

Artefacto	Horas del día																								
	00:00 a 01:00	01:00 a 02:00	02:00 a 03:00	03:00 a 04:00	04:00 a 05:00	05:00 a 06:00	06:00 a 07:00	07:00 a 08:00	08:00 a 09:00	09:00 a 10:00	10:00 a 11:00	11:00 a 12:00	12:00 a 13:00	13:00 a 14:00	14:00 a 15:00	15:00 a 16:00	16:00 a 17:00	17:00 a 18:00	18:00 a 19:00	19:00 a 20:00	20:00 a 21:00	21:00 a 22:00	22:00 a 23:00	23:00 a 00:00	Permanente
Focos																									
Licuadaora																									
Computador																									
Nevera																									
Microondas																									
Plancha																									
Aspiradora																									
Congelador																									
Lavadora																									
Secadora																									
Teléfono																									
Radio																									
Televisor																									

Otros: _____

ANEXO B. DATASHEET DE PANEL SOLAR



Fundamentally Different. And Better.



The SunPower Maxeon® Solar Cell

- Enables highest efficiency panels available ²
- Unmatched reliability ³
- Patented solid metal foundation prevents breakage and corrosion



As Sustainable As Its Energy

- Ranked #1 in Silicon Valley Toxics Coalition Solar Scorecard ⁴
- First solar panels to achieve Cradle to Cradle Certified™ Silver recognition ⁵, pending
- Contributes to more LEED categories than conventional panels ⁶

MAXEON® 3 | 400 W

Residential Solar Panel

SunPower Maxeon panels combine the top efficiency, durability and warranty available in the market today, resulting in more long-term energy and savings. ^{1,2}



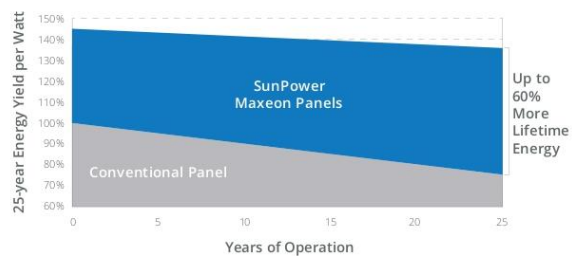
Maximum Power. Minimalist Design.

Industry-leading efficiency means more power and savings per available space. With fewer panels required, less is truly more.



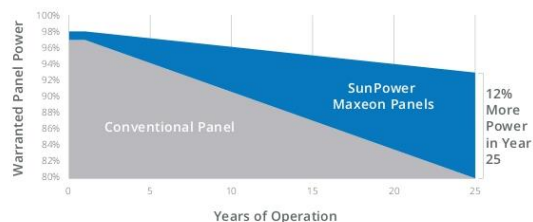
Highest Lifetime Energy and Savings

Designed to deliver 60% more energy in the same space over 25 years in real-world conditions like partial shade and high temperatures. ²



Better Reliability, Better Warranty

With more than 25 million panels deployed around the world, SunPower technology is proven to last. That's why we stand behind our panel with an exceptional 25-year Combined Power and Product Warranty, including the highest Power Warranty in solar.

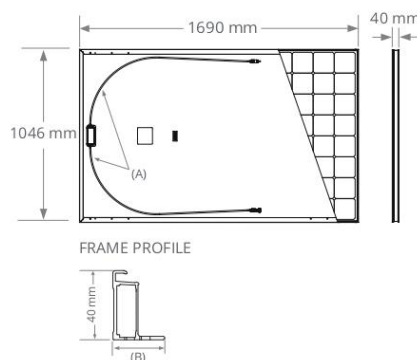


MAXEON® 3 | 400 W Residential Solar Panel

Electrical Data			
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-390	SPR-MAX3-370
Nominal Power (P _{nom}) ⁷	400 W	390 W	370 W
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%
Panel Efficiency	22.6%	22.1%	20.9%
Rated Voltage (V _{mpp})	65.8 V	64.5 V	61.8 V
Rated Current (I _{mpp})	6.08 A	6.05 A	5.99 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc})	75.6 V	75.3 V	74.7 V
Short-Circuit Current (I _{sc})	6.58 A	6.55 A	6.52 A
Max. System Voltage	1000 V IEC		
Maximum Series Fuse	20 A		
Power Temp Coef.	-0.29% / °C		
Voltage Temp Coef.	-176.8 mV / °C		
Current Temp Coef.	2.9 mA / °C		

Tests And Certifications	
Standard Tests ⁸	IEC 61215, IEC 61730
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS (Pending), OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163 (Pending)
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ (Pending)
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804
Available Listings	TUV ⁹

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40° C to +85° C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	104 Monocrystalline Maxison Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, Staubli (MC4), 3 bypass diodes
Weight	19 kg
Max. Load ¹⁰	Wind: 4000 Pa, 408 kg/m² front & back Snow: 6000 Pa, 611 kg/m² front
Frame	Class 1 black anodised (highest AAMA rating)



A. Cable Length: 1200 mm +/-10 mm
B. LONG SIDE: 32 mm
SHORT SIDE: 24 mm

1 SunPower 400 W, 22.6% efficient, compared to a Conventional Panel on same-sized arrays (260 W, 16% efficient, approx. 1.6 m²), 7% more energy per watt (based on PVsyst pan files for avg EU climate), 0.5%/yr slower degradation rate (Jordan, et. al. "Robust PV Degradation Methodology and Application." PVSC 2018).

2 DNV "SunPower Shading Study," 2013. Compared to a conventional front contact panel.

3 #1 rank in "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 3". PVTech Power Magazine, 2015.

4 SunPower is rated #1 on Silicon Valley Toxics Coalition's Solar Scorecard.

5 Cradle to Cradle Certified is a multi-attribute certification program that assesses products and materials for safety to human and environmental health, design for future use cycles, and sustainable manufacturing.

6 Maxison2 and Maxison3 panels additionally contribute to LEED Materials and Resources credit categories.

7 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.

8 Class C fire rating per IEC 61730.

9 Also certified under names SPR-XY-XXX.

10 Calculated with a 1.5 Safety Factor.

Designed in USA
Made in Philippines (Cells)
Modules Assembled in Mexico

Visit www.sunpower.com.au for more information.

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

©2019 SunPower Corporation. All rights reserved. SUNPOWER, the SUNPOWER logo and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation. Cradle to Cradle Certified™ is a certification mark licensed by the Cradle to Cradle Products Innovation Institute.

1 800 786 769

Please read the safety and installation guide.

SUNPOWER®
MAXEON®

532418 REV A / A4_AU

sunpower.com.au

ANEXO C. DATASHEET DE BATERÍA



YINGDE AOKLY POWER CO., LTD

6GFM150G (12V/150Ah)

GENERAL FEATURES

- Longer cycle life: special paste formula, over dimensioned negative plate, optimized manufacturing process, additives for deep discharge.
- Special high quality separators boost up the battery internal performance.
- Using oxygen recombination technology, maintenance-free.
- Using patented GEL electrolyte, particularly designed for solar energy system.
- Wide operation temperature range: -40°C - +60°C
- Designed to have a lifespan of 12 years for float charging at 25°C
- High strength ABS battery container. (Flame-retardant ABS container is optional)



APPLICATIONS

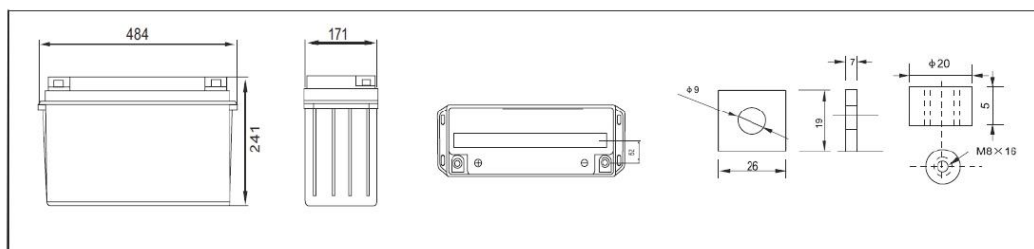
- Electric tools
- Vehicle in place of walking
- Lawn mowers
- Golf trolleys and golf cart
- Power system of special network or local area network
- Electric toys
- Railway and marine systems
- Fire alarms
- Solar and wind power system
- Electric wheelchairs
- Medical equipment



SPECIFICATIONS

Model	Nominal Voltage	12V		
	Rated Capacity (10Hr rate)	150Ah		
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height
	484mm (19.06")	171mm (6.73")	241mm (9.49")	241mm (9.49")
Weight	Approx. 44.2kg± 3%			
Capacity @25°C (77°F)	10 Hour (15A,10.8V)	5 Hour (25.6A,10.5V)	3 Hour (22.6A,10.2V)	1 Hour (82.5A,9.6V)
	150Ah	128Ah	113Ah	82.5Ah
Internal Resistance	Fully charged at 25°C, approx. 3.5mΩ			
Max. Discharge current	1500A (5 Sec.)			
Capacity Affected by Temp. (20Hr)	40°C (104°F)	25°C (77°F)	0°C (32°F)	-15°C (5°F)
	102%	100%	85%	65%
Self Discharge Rate @25°C (77°F)	After 3 months Storage	After 6 months Storage	After 12 months Storage	
	91%	82%	64%	
Charge Method	Cycle Use		Float Charging	
	14.1-14.4V (Initial current less than 55A) @25°C (77°F)		13.5-13.8V@25°C (77°F)	

DIMENSIONS & TERMINALS

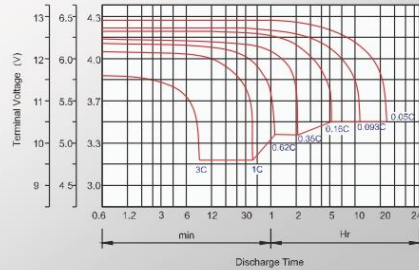




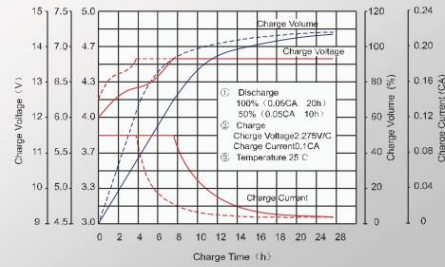
PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Constant Current (Amp.) and Constant Power (Watt) Discharge Table @25°C (77°F)													
Cell Voltage / Time		5min	10min	15min	30min	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	8hr	10hr	20hr
9.60V	A	442.00	291.00	235.00	157.00	83.00	48.00	35.50	27.60	22.80	16.10	14.50	7.80
	W	4562.00	3110.00	2517.00	1692.00	894.00	530.00	394.70	310.50	258.90	185.00	167.40	91.00
10.20V	A	428.00	263.00	221.00	150.00	78.00	46.00	34.50	26.90	22.40	15.70	14.20	7.60
	W	4572.00	2934.00	2474.00	1689.00	880.00	531.00	399.50	312.90	260.60	184.10	167.00	89.00
10.50V	A	414.00	235.00	193.00	141.00	75.00	45.00	33.70	26.50	22.10	15.60	13.90	7.60
	W	4522.00	2674.00	2206.00	1620.00	873.00	522.00	392.30	321.00	258.90	183.40	164.90	89.70
10.80V	A	399.00	221.00	180.00	130.00	73.00	44.00	32.80	26.10	21.50	15.20	13.80	7.50
	W	4478.00	2554.00	2070.00	1503.00	848.00	514.00	387.20	308.00	254.50	179.90	164.00	88.80
11.10V	A	386.00	208.00	166.00	116.00	70.00	43.00	31.70	25.40	21.00	14.80	13.10	7.00
	W	4374.00	2403.00	1931.00	1356.00	828.00	506.00	377.10	302.40	250.30	176.80	158.30	85.30

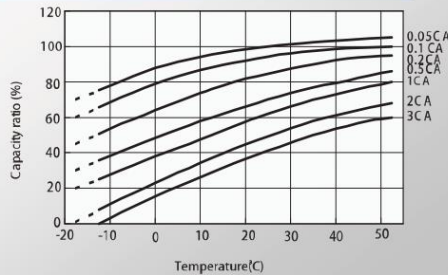
DISCHARGE CHARACTERISTICS



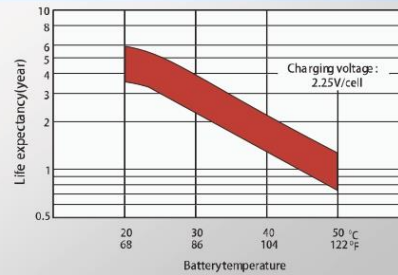
CHARGING CHARACTERISTICS (STANDBY)



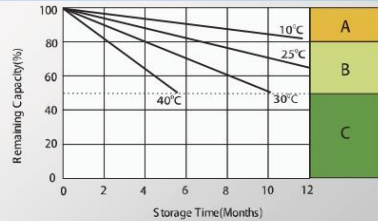
TEMP. EFFECTS IN RELATION TO BATTERY CAPACITY



EFFECT OF TEMP. ON LONG TERM FLOAT DESIGNED LIFE

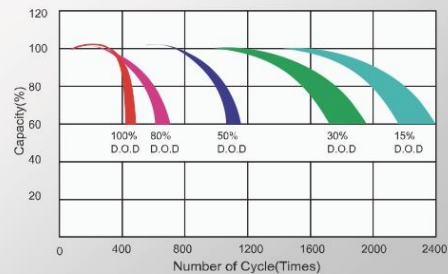


SELF DISCHARGE CHARACTERISTICS



A. No supplementary charge required. (Carry out supplementary charge before use if 100% capacity is required.)
B. Supplementary charge required before use. (Optional charging way as below.)
1. Charged for above 5 days at limited current 0.25CA and constant voltage 2.25V/cell.
2. Charged for above 20 hours at limited current 0.25CA and constant voltage 2.45V/cell.
3. Charged for 5-10 hours at limited current 0.5CA.
C. Supplementary charge may often fail to recover the capacity. The battery should never be left standing till this is reached.

CYCLE LIFE IN RELATION TO THE DEPTH OF DISCHARGE



ANEXO D. DATASHEET DE REGULADOR DE CARGA

Controladores de carga SmartSolar con conexión de tornillo o FV MC4 MPPT 150/45 hasta MPPT 150/100



Controlador de carga SmartSolar
MPPT 150/100-Tr
Con pantalla conectable opcional.



Controlador de carga SmartSolar
MPPT 150/100-MC4
Sin pantalla



Detección de Bluetooth:
Smart Battery Sense



Detección de Bluetooth:
BMV-712 Smart Battery Monitor



Pantalla enchufable SmartSolar

Bluetooth Smart integrado

La solución inalámbrica para configurar, controlar, actualizar y sincronizar los controladores de carga SmartSolar.

Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT)

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial

En caso de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga.

Los MPPT convencionales suelen seleccionar un MPP local, que no necesariamente es el MPP óptimo.

El innovador algoritmo de SmartSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión

Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

Algoritmo de carga flexible

Un algoritmo de carga totalmente programable (consulte la página de *software* de nuestra página web) y ocho algoritmos de carga preprogramados, que se pueden elegir con un selector giratorio (consulte más información en el manual).

Amplia protección electrónica

Protección de sobretensión y reducción de potencia en caso de alta temperatura.

Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.

Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna

Compensa la tensión de carga de absorción y flotación, en función de la temperatura.

Sensor opcional de la tensión y de la temperatura externas de la batería vía Bluetooth

Se puede usar un sensor Smart Battery Sense o un monitor de baterías BMV-712 Smart para comunicar la tensión y la temperatura de la batería a uno o más controladores de carga SmartSolar.

Función de recuperación de baterías completamente descargadas

Empezará a cargar incluso si la batería está descargada hasta cero voltios.

Se reconectará a una batería de ion litio completamente descargada con función de desconexión interna.

VE.Direct

Para una conexión de datos con cable a un Color Control GX, otros productos GX, PC u otros dispositivos.

On/Off remoto

Para conectarse a un VE.BUS BMS, por ejemplo.

Relé programable

Se puede programar (entre otros, con un teléfono inteligente) para activar una alarma u otros eventos.

Opcional: pantalla LCD conectable

Simplemente retire el protector de goma del enchufe de la parte frontal del controlador y conecte la pantalla.



Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | Países Bajos
Centralita: +31 (0)36 535 97 00 | E-mail: sales@victronenergy.com
www.victronenergy.com

victron energy
BLUE POWER

Controlador de carga SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	50A (máx. 30A por conector MC4)			70A (máx. 30A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficacia máxima	98%				
Autoconsumo	Menos de 35 mA a 12 V / 20 mA a 48 V				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)				
Tensión de carga de "equalización"	Valores predeterminados: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (regulable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas (ocho algoritmos preprogramados) o algoritmo definido por el usuario				
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C				
Protección	Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión				
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40 °C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Altura máxima de trabajo	5.000 m (fpotencia nominal completa hasta los 2.000 m)				
Condiciones ambientales	Para interiores, no acondicionados				
Grado de contaminación	PD3				
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth				
Interruptor on/off remoto	Sí (conector bifásico)				
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V AC / 4 A Capacidad nominal CC 4A hasta 35VCC, 1A hasta 60VCC				
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				
CARCASA					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales FV 3)	35 mm ² / AWG2 (modelos Tr) Dos pares de conectores MC4 (modelos MC4)			35 mm ² / AWG2 (modelos Tr) Tres pares de conectores MC4 (modelos MC4)	
Bornes de la batería	35mm ² / AWG2				
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	3 kg			4,5 kg	
Dimensiones (al x an x p) en mm	Modelos Tr: 185 x 250 x 95 mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95 mm			Modelos Tr: 216 x 295 x 103 Modelos MC4: 246 x 295 x 103	
NORMAS					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la entrada de potencia. 1b) La tensión FV debe exceder Vbat + 5V para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V. 2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador. 3) Modelos MC4: se podrían necesitar varios pares de separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares Corriente máximo por conector MC4: 30A (los conectores MC4 están conectados en paralelo a un rastreador MPPT)					

ANEXO E. DATASHEET DE INVERSOR

Quattro Inverter/Charger 120V

3kVA - 10kVA

Lithium Ion battery compatible

www.victronenergy.com



Quattro
48/5000/70-100/100

Two AC inputs with integrated transfer switch

The Quattro can be connected to two independent AC sources, for example the public grid and a generator, or two generators. The Quattro will automatically connect to the active source.

Two AC Outputs

The main output has no-break functionality. The Quattro takes over the supply to the connected loads in the event of a grid failure or when shore/generator power is disconnected. This happens so fast (less than 20 milliseconds) that computers and other electronic equipment will continue to operate without disruption.

The second output is live only when AC is available on one of the inputs of the Quattro. Loads that should not discharge the battery, like a water heater for example, can be connected to this output.

Virtually unlimited power thanks to parallel operation

Up to 6 Quattro units can operate in parallel. Six units 48/10000/140, for example, will provide 48kW / 60kVA output power and 840 Amps charging capacity.

Three phase capability

Three units can be configured for three phase output. But that's not all: up to 6 sets of three units can be parallel connected to provide 144kW / 180kVA inverter power and more than 2500A charging capacity.

PowerControl – Dealing with limited generator, shore side or grid power

The Quattro is a very powerful battery charger. It will therefore draw a lot of current from the generator or shore side supply (16A per 5kVA Quattro at 230VAC). A current limit can be set on each AC input. The Quattro will then take account of other AC loads and use whatever is spare for charging, thus preventing the generator or mains supply from being overloaded.

PowerAssist – Boosting shore or generator power

This feature takes the principle of PowerControl to a further dimension allowing the Quattro to supplement the capacity of the alternative source. Where peak power is so often required only for a limited period, the Quattro will make sure that insufficient mains or generator power is immediately compensated for by power from the battery. When the load reduces, the spare power is used to recharge the battery.

Solar energy: AC power available even during a grid failure

The Quattro can be used in off grid as well as grid connected PV and other alternative energy systems. Loss of mains detection software is available.

System configuring

- In case of a stand-alone application, if settings have to be changed, this can be done in a matter of minutes with a DIP switch setting procedure.
- Parallel and three phase applications can be configured with VE.Bus Quick Configure and VE.Bus System Configurator software.
- Off grid, grid interactive and self-consumption applications, involving grid-tie inverters and/or MPPT Solar Chargers can be configured with Assistants (dedicated software for specific applications).

On-site Monitoring and control

Several options are available: Battery Monitor, Multi Control Panel, Ve.Net Blue Power panel, Color Control panel, smartphone or tablet (Bluetooth Smart), laptop or computer (USB or RS232).

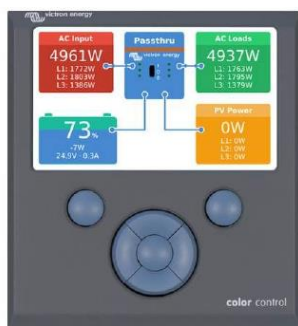
Remote Monitoring and control

Victron Ethernet Remote, Venus GX and the Color Control Panel.

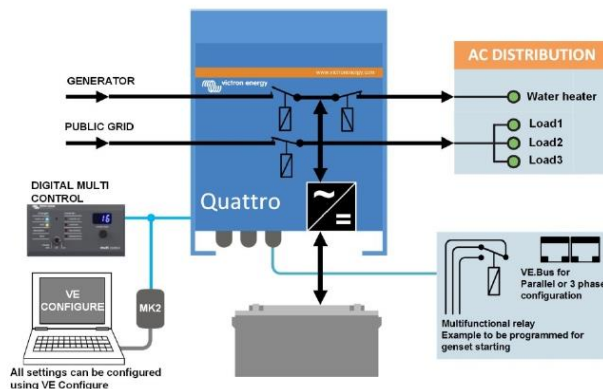
Data can be stored and displayed on our VRM (Victron Remote Management) website, free of charge.

Remote configuring

When connected to the Ethernet, systems with a Color Control panel can be accessed and settings can be changed.



Color Control panel, showing a PV application



Quattro	48/3000/35-50/50 120V		12/5000/220-100/100 120V 24/5000/120-100/100 120V 48/5000/70-100/100 120V	48/10000/140-100/100 120V
PowerControl / PowerAssist	Yes			
Integrated Transfer switch	Yes			
AC inputs (2x)	Input voltage range: 90-140 VAC		Input frequency: 45 – 65 Hz	Power factor: 1
Maximum feed through current	2x 50 A		2x 100 A	2x 100 A
INVERTER				
Input voltage range	9,5 – 17 V 19 – 33V 38 – 66 V			
Output (1)	Output voltage: 120 VAC ± 2% Frequency: 60 Hz ± 0,1%			
Cont. output power at 25°C (3)	3000 VA		5000 VA	10000 VA
Cont. output power at 25°C	2400 W		4000 W	8000 W
Cont. output power at 40°C	2200 W		3700 W	6500 W
Cont. output power at 65°C	1700 W		3000 W	4500 W
Peak power	6000 W		10000 W	20000 W
Maximum efficiency	94 %		94 / 94 / 95 %	96 %
Zero load power	25 W		30 / 30 / 35 W	55 W
Zero load power in AES mode	20 W		20 / 25 / 30 W	35 W
Zero load power in Search mode	12 W		10 / 10 / 15 W	20 W
CHARGER				
Charge voltage 'absorption' (V DC)	57,6 V		14,4 / 28,8 / 57,6 V	57,6 V
Charge voltage 'float' (V DC)	55,2 V		13,8 / 27,6 / 55,2 V	55,2 V
Storage mode (V DC)	52,8 V		13,2 / 26,4 / 52,8 V	52,8 V
Charge current house battery (A) (4)	35 A		200 / 120 / 70 A	140 A
Charge current starter battery (A)	4 A (12V and 24V models only)			
Battery temperature sensor	Yes			
GENERAL				
Auxiliary output (5)	32 A		50 A	50 A
Programmable relay (6)			3x	
Protection (2)			a-g	
VE.Bus communication port	For parallel, split phase and three phase operation, remote monitoring and system integration			
General purpose com. port			2x	
Remote on-off			Yes	
Common Characteristics	Operating temp.: -40 to +65°C		Humidity (non-condensing): max. 95%	
ENCLOSURE				
Common Characteristics	Material & Colour: aluminium (blue RAL 5012) Protection category: IP 21			
Battery-connection	Four M8 bolts (2 plus and 2 minus connections)			
230 V AC-connection	Screw terminals 13 mm² (6 AWG)	Bolts M6		Bolts M6
Weight (kg)	42 lb 19 kg	75 / 66 / 66 lb	34 / 30 / 30 kg	128 lb 58 kg
Dimensions (h x w x d)	14.3 x 10.2 x 8.6 inch 362 x 258 x 218 mm	18,5 x 14,0 x 11,2 inch 17,5 x 13,0 x 9,6 inch 17,5 x 13,0 x 9,6 inch	470 x 350 x 280 mm 444 x 328 x 240 mm 444 x 328 x 240 mm	22.6 x 19,2 x 13,6 inch 572 x 488 x 344 mm
STANDARDS				
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1			
Emission, Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3, IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3			
Road vehicles	12V and 24V models: ECE R10-5			
Anti-islanding	See our website			
1) Can be adjusted to 60 Hz; 120 V 60 Hz on request				
2) Protection key:				
a) output short circuit				
b) overload				
c) battery voltage too high				
d) battery voltage too low				
e) temperature too high				
f) 230 VAC on inverter output				
g) Input voltage ripple too high				
3) Non-linear load, crest factor 3:1				
4) At 25 °C ambient				
5) Switches off when no external AC source available				
6) Programmable relay that can a.o. be set for general alarm, DC under voltage or genset start/stop function				
AC rating: 230 V / 4 A				
DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC				



Digital Multi Control Panel

A convenient and low cost solution for remote monitoring, with a rotary knob to set PowerControl and PowerAssist levels.



Blue Power Panel

Connects to a Multi or Quattro and all VE.Net devices, in particular the VE.Net Battery Controller. Graphical display of currents and voltages.

Computer controlled operation and monitoring

Several interfaces are available:



Color Control GX

Monitoring and control. Locally, and also remotely on the [VRM Portal](#).



MK3-USB VE.Bus to USB interface

Connects to a USB port (see 'A guide to VEConfigure')



VE.Bus to NMEA 2000 interface

Connects the device to a NMEA2000 marine electronics network. See the [NMEA2000 & MFD integration guide](#)



BMV-700 Battery Monitor

The BMV-700 Battery Monitor features an advanced microprocessor control system combined with high resolution measuring systems for battery voltage and charge/discharge current. Besides this, the software includes complex calculation algorithms, like Peukert's formula, to exactly determine the state of charge of the battery. The BMV-700 selectively displays battery voltage, current, consumed Ah or time to go.

ANEXO F. DATASHEET DE FUSIBLE



FOTOVOLTAICOS

FUSIBLES & BASES PORTAFUSIBLES PARA APLICACIONES FOTOVOLTAICAS



Los fusibles cilíndricos 10x38 y 14x51 gPV DF Electric han sido desarrollados para ofrecer una solución de protección compacta, segura y económica de los módulos fotovoltaicos en tensiones hasta 1.000V/1.100V DC.

Proporcionan protección contra sobrecargas y cortocircuitos (clase gPV de acuerdo a la Norma IEC 60269-6 y UL248-19).

Están contruidos con tubo cerámico de alta resistencia a la presión interna y a los choques térmicos lo que permite un alto poder de corte en un reducido espacio. Los contactos están realizados en cobre plateado y los elementos de fusión son de plata, lo que evita el envejecimiento y mantiene inalterables las características.

Para la instalación de estos fusibles se recomienda la utilización de las bases modulares PMX.



10x38

U **1000V DC**

PODER DE CORTE **30kA**

NORMAS

NEUTRO

In (A)	REFERENCIA	EMBALAJE Unid./CAJA
1	491601	10/100
2	491602	10/100
3	491604	10/100
4	491605	10/100
5	491606	10/100
6	491610	10/100
8	491615	10/100
10	491620	10/100
12	491625	10/100
15	491629	10/100
16	491630	10/100
20	491635	10/100
	431000	10/100



14x51

U **1100V DC**

PODER DE CORTE **10kA**

U **1000V DC**

PODER DE CORTE **30kA**

NEUTRO

15	491647	10/50
20	491648	10/50
25	491650	10/50
32	491655	10/50
	432000	10/50



ANEXO G. DATASHEET DE TERMOMAGNÉTICO





Easy9 Interruptores

10kA 127/230V - 6kA 230/400V



Ahora puedes obtener **Easy9**, el breaker mas seguro y accesible en tu distribuidor más cercano.

La nueva gama **Easy9** respalda mejor su negocio, ayudándole para ahorrar tiempo y ofrecer una mejor calidad a sus clientes:

- » Cumplimiento garantizado de las normas.
- » Disponibilidad cuando y donde lo busque
- » Alta confiabilidad a un precio que puede pagar

Aproveche al máximo todas las ventajas que ofrece **Easy9**.

Funciones

- » Protección contra cortocircuitos
- » Protección de los cables contra sobrecargas

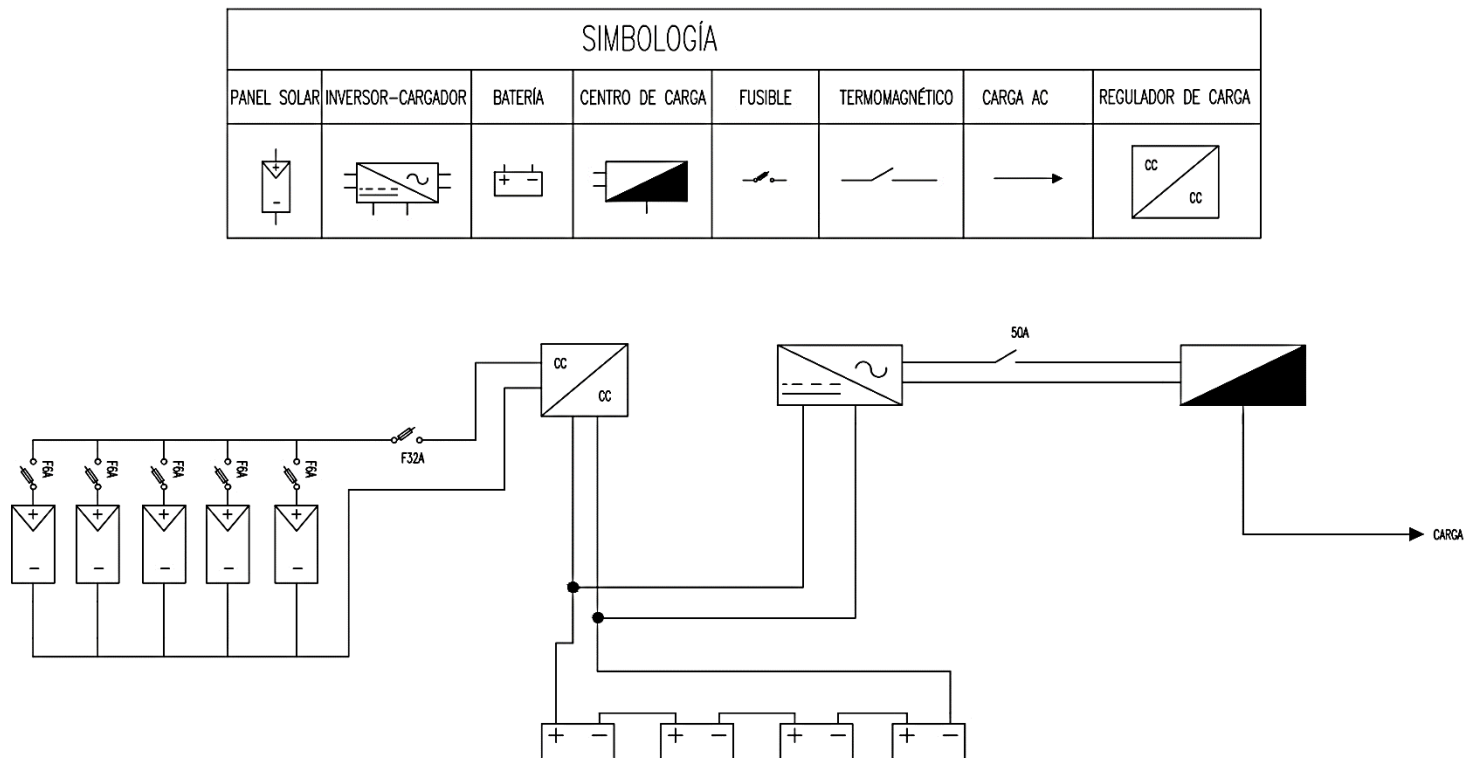
[Conozca más](#)

1P

Breakers	
Corriente (In)	Curva C
6 A	EZ9F56106
10 A	EZ9F56110
16 A	EZ9F56116
20 A	EZ9F56120
25 A	EZ9F56125
32 A	EZ9F56132
40 A	EZ9F56140
50 A	EZ9F56150
63 A	EZ9F56163
Ancho en módulos de 9 mm	2



ANEXO H. ESQUEMA UNIFILAR DE SISTEMA FOTOVOLTAICO



PROYECTO:

ANÁLISIS TÉCNICO, REGULATORIO Y
ECONÓMICO PARA LA INSTALACIÓN DE UN
SISTEMA ALTERNO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO
BASADO EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
EN COMUNIDADES RURALES DE ESMERALDAS.

ELABORADO POR:
TREJO MÁRQUEZ JAVIER BENITO

ESCALA: N/S

FECHA:

REVISADO POR:

ING. CARLOS IVÁN RUEDA

REVISION.	

PLANO:
DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE COMPONENTES

DETALLE:

ARREGLO FOTOVOLTAICO PARA ENERGIZAR UN HOGAR ESTÁNDAR DE LA COMUNIDAD SAN PEDRO DEL SERENO.

NORTE



