



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA  
FOTOVOLTAICA PARA ELECTRIFICACIÓN EN ZONA COSTERA  
DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTORES:** EDGAR JORMAN OLIVO BRAVO  
WASHINGTON OMAR CHANGO CHALAN  
**TUTOR:** ING. JUAN MIGUEL MORALES OLIVA, MSc.

Guayaquil-Ecuador

2023

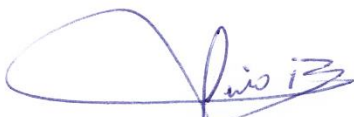
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Edgar Jorman Olivo Bravo con documento de identificación No 0950822262 y Washington Omar Chango Chalan con documento de identificación No 0931245534; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

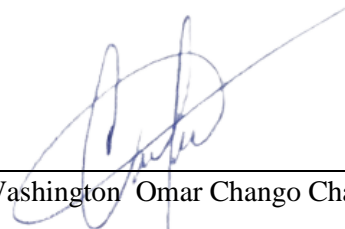
Guayaquil, 23 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Edgar Jorman Olivo Bravo  
0950822262



---

Washington Omar Chango Chalan  
0931245534

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Edgar Jorman Olivo Bravo con documento de identificación No. 0950822262 y Washington Omar Chango Chalan con documento de identificación No. 0931245534, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico “Implementación de un sistema de energía fotovoltaica para electrificación en zona costera de la provincia del guayas.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

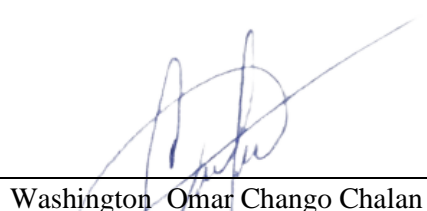
Guayaquil, 23 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Edgar Jorman Olivo Bravo  
0950822262



---

Washington Omar Chango Chalan  
0931245534

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Ing. Juan Miguel Morales Oliva, MSc. con documento de identificación No.0960155067, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA ELECTRIFICACIÓN EN ZONA COSTERA DE LA PROVINCIA DEL GUAYAS, realizado por Edgar Jorman Olivo Bravo con documento de identificación No. 0950822262 y Washington Omar Chango Chalan con documento de identificación No. 0931245534, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 23 de marzo del 2023

Atentamente,



---

Ing. Juan Miguel Morales Oliva , MSc.  
0960155067

## **DEDICATORIA**

El trabajo es dedicado a mis padres por todo lo que han hecho para educarme enseñarme y mejorar cada día, A mi abuelita quien me ayudo incasables veces y a mi compañera de vida Geovanella Real por apoyarnos a cumplir nuestras metas juntos.

**Edgar Olivo**

Dedico de todo corazón el trabajo puesto en esta tesis a mi familia y a cada uno de mis amigos que siempre han estado apoyándome para seguir adelante y no abandonar los estudios

**Washington Chango**

## RESUMEN

La implementación de sistemas de energías renovables es considerada como el punto de desarrollo de muchas comunidades que se encuentran en lugares de difícil acceso especialmente en islas, donde los servicios básicos son inexistentes. El uso de generadores de electricidad a base de combustibles fósiles ha ido en aumento en los últimos años en lugares aislados, pero el funcionamiento del equipo es por horas debido a los costos del combustible y la dificultad del transporte del combustible, sin mencionar el impacto ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero.

El trabajo de titulación presenta una Propuesta de sistema de energía fotovoltaica para electrificación de comuna rural en el golfo de Guayaquil. Por medio del levantamiento de información realizado en la vivienda se identifica que la necesidad energética es de 32.4 kWh mensuales. Por medio de dos métodos se dimensiona el sistema fotovoltaico aislado, en el primero se utiliza ecuaciones matemáticas, el segundo es por medio del software PVsyst. La evaluación económica se lleva a cabo y se obtiene los siguientes resultados, el costo de la implementación es de 1183 dólares, el costo de la energía es de 0.21 USD/kWh. Por otro lado, el sistema está conformado por un panel solar de 405 W, un controlador de carga MPPT 75/15, dos baterías de 12 V, 100 Ah y un inversor de 250VA. La aportación más importante del trabajo es la propuesta de electrificación junto a la implementación del sistema solar.

**Palabras claves:** Energía renovable, Paneles fotovoltaico, PVSyst, Comunidad aislada, Electrificación.

## ABSTRACT

The implementation of renewable energy systems is considered as the point of development of many communities that are in places of difficult access, especially on islands, where basic services are non-existent. The use of electricity generators based on fossil fuels has been increasing in recent years in isolated places, but the operation of the equipment is for hours due to fuel costs and the difficulty of transporting the fuel, not to mention the environmental impact. for the emission of greenhouse gases.

The titling work presents a Proposal for a photovoltaic energy system for the electrification of a rural community in the Gulf of Guayaquil, through the collection of information carried out in the home, it is identified that the energy need is 32.4 kWh per month. By means of two methods the isolated photovoltaic system is dimensioned, in the first mathematical equations are used, the second is through the PVsyst software, the economic evaluation is carried out and the following results are obtained, the cost of the implementation is 1183 dollars, the cost of energy is 0.21 USD/kWh, on the other hand the system is made up of a 405 W solar panel, an MPPT 75/15 charge controller, two 12 V, 100 Ah batteries and an inverter of 250VA. The most important contribution of the work is the electrification proposal together with the implementation of the solar system.

**Keywords:** Renewable energy, Photovoltaic panels, PVSyst, remote community, Electrification.

## ÍNDICE

<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....</b>	<b>3</b>
<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>11</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>13</b>
<b>1. EL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	15
1.2. Antecedentes.....	15
1.3. Importancia y alcance .....	15
1.4. Beneficiarios .....	16
1.5. Delimitación del Problema .....	16
1.5.1. Delimitación académica.....	17
1.6. Objetivos.....	17
1.6.1. Objetivo general .....	17
1.6.2. Objetivos específicos.....	17
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
2.1. Efecto Fotovoltaico .....	17
2.2 La energía del sol .....	18
2.2.1 Celdas Solares .....	20
2.3 Módulos, matrices, y sistemas.....	20
2.3.1 Colectores de placa plana .....	21
2.3.2 Balance de Sistemas.....	22
2.4 Dispositivos de almacenamiento .....	23



2.4.1 Tecnologías de almacenamiento de energía.....	24
2.4.2. Mecánico .....	25
2.4.3 Eléctrico.....	26
2.4.4 Electroquímico.....	27
2.4 Controlador de carga .....	30
2.4.1 Controles simples de 1 o 2 etapas .....	30
2.4.2 PWM (modulado por ancho de pulso) .....	30
2.4.3 Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).....	31
2.5 Inversor de red.....	32
2.5.1 Inversor/cargador .....	33
2.5.2 Inversores híbridos .....	33
2.6 Estructuras de montaje.....	34
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>34</b>
3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución .....	35
3.2 Método empleado.....	35
3.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas sin conexión a la red.....	36
3.3.1 Sistema fotovoltaico DC-COUPLING.....	36
3.3.2 Sistema fotovoltaico AC-COUPLING.....	37
3.3.3. Modo de funcionamiento del sistema .....	38
3.4 Situación de la vivienda a intervenir .....	41
3.4.1 Levantamiento de la carga eléctrica .....	42
3.4.2 Cálculo de la demanda de la instalación .....	42
3.4.3 Calculo del circuito de iluminación.....	43
3.4.4 Calculo del circuito de tomacorrientes .....	44
3.4.5 Consumo total diario de la vivienda.....	45
3.5 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	45
3.5.1 Estimación del consumo.....	45
3.5.2 Valores de radiación solar .....	46
3.5.3 Ángulo óptimo de inclinación de paneles.....	46
3.5.4 Pérdidas por Orientación e Inclinación .....	47
3.5.5 Cálculo del número de paneles fotovoltaico .....	47
3.5.6 Dimensionamiento del banco de baterías.....	47

3.5.7 Dimensionamiento del controlador de carga .....	50
3.5.8 Dimensionamiento del inversor .....	51
3.6 Sistema fotovoltaico propuesto.....	52
3.7 Plano arquitectónico de la vivienda .....	54
3.8 Diagrama unifilar de la vivienda.....	55
<b>4. SIMULACIÓN EN SOFTWARE PVSYS.....</b>	<b>56</b>
4.1 Dimensionamiento y simulación en PVSystem.....	56
4.2 Variables meteorológicas .....	57
4.3 Selección de los elementos del sistema fotovoltaico .....	60
4.3.1 Selección del banco de baterías.....	60
4.3.2 Selección del panel solar .....	61
4.3.3 Selección del controlador de carga .....	62
4.3.4 Selección del inversor de red .....	63
4.4 Simulación del sistema .....	64
4.4.1 Evaluación económica.....	68
4.2 Implementación del sistema solar en Masa II.....	69
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>77</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comunidad Masa II. ....	16
Figura 2. Tipos de radiación solar .....	19
Figura 3. Celda, módulo y matriz fotovoltaico.....	21
Figura 4. Colectores de placa plana .....	22
Figura 5. Batería de gel, frontal .....	23
Figura 6. Volante de inercia para un parque eólico. ....	25
Figura 7. Batería de litio de 2.4 kWh .....	29
Figura 8. Conexión del controlador de carga.....	32
Figura 9. Señales en corriente directa y alterna .....	32
Figura 10. Inversor híbrido Trifásico .....	33
Figura 11. Metodología para el desarrollo de la metodología.....	35
Figura 12. Sistema fotovoltaico DC - Coupling.....	37
Figura 13. Sistema fotovoltaico AC - Coupling .....	38
Figura 14. Modo de funcionamiento directo.....	39
Figura 15. Modo de funcionamiento con exceso de energía. ....	39
Figura 16. Esquema solar donde las baterías cumplen el rol de generador.....	40
Figura 17. Esquema fotovoltaico con generador de soporte .....	41
Figura 18. Valores de corriente a diferentes voltajes.....	48
Figura 19. Baterías conectadas en serie .....	50
Figura 20. Esquema de conexión del inversor.....	52
Figura 21. Esquema de conexión del sistema solar .....	53
Figura 22. Plano arquitectónico de la vivienda.....	54
Figura 23. Diagrama unifilar del sistema solar.....	55
Figura 24. Selección del tipo de proyecto a dimensionar .....	56
Figura 25. Ubicación del lugar de implementación .....	57
Figura 26. Descarga de variables meteorológicas en Masa II. ....	58
Figura 27. Orientación e inclinación del panel solar .....	59
Figura 28. Ingreso de consumo y horas de utilización.....	60
Figura 29. Selección de elementos del SF .....	61
Figura 30. Características técnicas del panel solar .....	62
Figura 31. Parámetros técnicos del controlador de carga .....	63
Figura 32. Detalles técnicos del inversor Victron.....	64
Figura 33. Parámetros técnicos generales del SF .....	65
Figura 34. Parámetros, características y pérdidas del SF .....	66
Figura 35. Resultados energéticos del sistema solar .....	67

Figura 36. Resultados económicos del sistema fotovoltaico .....	68
Figura 37. Construcción de la base del panel solar .....	69
Figura 38. Fundición de la estructura que soporta la base del panel. ....	70
Figura 39. Colocación y conexión del panel solar fotovoltaico .....	71
Figura 40. Conexión de los elementos del sistema solar. ....	72
Figura 41. Instalación eléctrica residencial.....	72
Figura 42. Luminaria encendida en la vivienda .....	73
Figura 43. Estado del sistema solar .....	74

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de la vivienda .....	42
---------------------------------------	----

## INTRODUCCIÓN

En el golfo de Guayaquil se ubican islas, islotes y manglares donde viven una gran diversidad de especies, varias personas han migrado a estas zonas asentándose cerca para la recolección y pesca de peces y cangrejos.

La comercialización de estos productos sirve de ingresos para los habitantes, dentro de los poblados y comunidades se encuentra la comunidad de Masa II. Esta comunidad por estar lejos de la urbe carece de servicios básicos como energía eléctrica de la red, agua potable y atención médica.

Su única forma de obtener energía eléctrica en la actualidad es un grupo electrógeno de combustión interna que produce un gasto adicional para los moradores en combustible y mantenimiento, así como contaminación del aire y afectaciones respiratorias a la comunidad.

Existen otros métodos para suministrar energía eléctrica en poblaciones aisladas por medios limpios y energías fósiles. Los sistemas sustentables pueden ser: fotovoltaica, eólica y mareomotriz [1], se debe optar por un sistema que brinde calidad, sostenibilidad y confiabilidad a sus usuarios.

Se propone minimizar el uso de combustibles fósiles mediante un caso de estudio referente al uso de un sistema fotovoltaico off grid, los sistemas fotovoltaicos se utilizan para dotar de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos compuestos de celdas que se encargan de convertir la luz emitida por el sol en energía eléctrica.

Los sistemas fotovoltaicos no conectados a red convencional, también denominados off-grid (denominación en idioma inglés) o aislados. Se utilizan cuando el servicio eléctrico convencional no cubre en zonas rurales remotas o geográficamente aisladas, en estos lugares no existe red de electrificación pública y cuyos altos costos de instalación limitan la implementación [2].

## **1. EL PROBLEMA**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La falta de energía eléctrica suministrada por las empresas distribuidoras (CNEL EP) es uno de los problemas que aún afecta a ciertos sectores de Guayaquil como sucede en la comunidad Masa II, esta falta de energía eléctrica impide a sus habitantes vivir en las óptimas condiciones. Es por esto que se propuso de realizar un caso de estudio para implementar un sistema fotovoltaico off grid en la comunidad Masa II ubicado en la Parroquia Puná, dicho sector está excluido y alejado de la urbe porteña la cual carece de ciertos servicios primarios como son el agua potable y la luz eléctrica.

La vivienda intervenida tiene la instalación eléctrica residencial en mal estado, por lo que es propensa a sufrir algún corto circuito.

### **1.2. Antecedentes**

La comunidad Masa II cuenta con un aproximado de 23 familias estas están fraccionadas un total de 17 viviendas. Los moradores manifiestan que el grupo electrógeno se utiliza en horarios entre las 18H40 y las 22H00 para iluminación de sus viviendas también indican malestar por el ruido, el humo y la dificultad en el abastecimiento y transporte de combustible.

Los generadores que se utilizan en la comunidad consumen un promedio de 0,55 L/h durante 4 horas de uso a un valor de \$1,37 por galón a la semana se realiza un gasto de \$9,60 y al mes un valor de \$41,10 sin contar con el mantenimiento del generador.

### **1.3. Importancia y alcance**

Es importante el desarrollo de este caso de estudio planteando el diseño y características de implementación del sistema fotovoltaico como una alternativa para

minimizar el uso de combustibles fósiles, gastos operativos y contaminación ambiental.

Realizando este estudio se contribuirá al uso de energía renovable la cual generará cambios físicos para la comunidad, permitiéndoles tener un mejor estilo de vida para sus familias, ayudar al medio ambiente y contribuir a la estabilidad eléctrica en la zona rural.

#### **1.4. Beneficiarios**

Los beneficiarios del caso de estudio serán los habitantes de la comunidad Masa II quienes por estar lejos de la urbe carece de servicios básicos como energía eléctrica de la red, agua potable y atención médica.

#### **1.5. Delimitación del Problema**

El caso de estudio es para la comunidad Masa II, la cual se encuentra en las coordenadas (-2.384311085742019,-79.86044317995247). A esta población se puede llegar por vía fluvial y terrestre. Antes de ir se debe obtener el debido permiso para el ingreso terrestre a las diferentes camaroneras por medio de la directora de la Escuela Simón Bolívar. En la figura 1 se puede observar la Ubicación Geográfica de la comunidad Masa II.

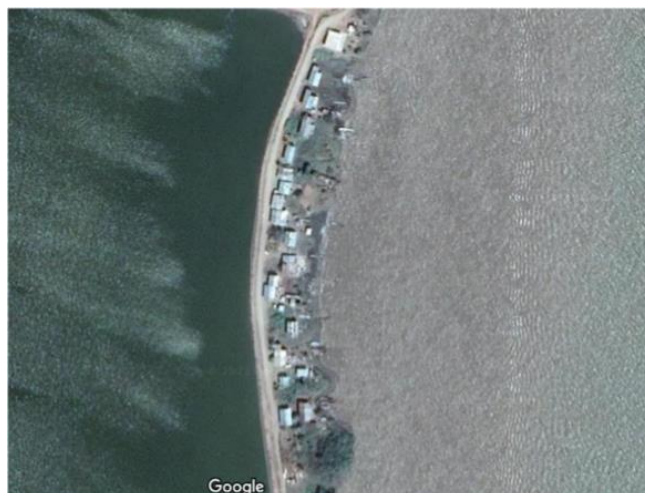


Figura 1. Comunidad Masa II. Fuente: Google maps



### **1.5.1. Delimitación académica**

Esta propuesta de trabajo de grado está en línea con los principios de la Politécnica Salesiana, utilizando para ello los conocimientos adquiridos en el aula y en los laboratorios obtenidos en la carrera ingeniería eléctrica, que desde entonces se ha complementado con el desarrollo de aspectos investigativos que han dado forma de ejecución del proyecto.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Proponer un sistema de generación fotovoltaica como proyecto de electrificación de la comuna rural Masa II en la ciudad de Guayaquil.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Estimar la demanda del consumo eléctrico a partir del levantamiento de la información técnica necesaria.
- Estudiar los niveles de radiación promedio a partir del análisis de los diferentes modelos existentes y las distintas variables atmosféricas a considerar.
- Diseñar los planos eléctricos del sistema necesarios.
- Validar el diseño y redimensionamiento de la propuesta utilizando la simulación del sistema fotovoltaico por medio del software PVSyst.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Efecto Fotovoltaico**

El efecto fotovoltaico es el proceso físico donde a través de una celda fotovoltaica convierte la luz del sol en electricidad. La emisión luz del sol está compuesta por paquetes de fotones de energía solar [1].

Los fotones se componen de diferentes cantidades de energía con lo cual corresponden a la diferentes medidas o longitudes de onda del espectro solar. En cierto instante los fotones golpean una celda fotovoltaica pueden reflejarse o ser

absorbidos, también pueden pasar a través. Los fotones absorbidos son los que generan electricidad.

La energía de un fotón es transferida a un electrón en un átomo del dispositivo semiconductor. En este caso el electrón se mueve de su posición normal asociada en el silicio con un solo átomo para convertirse en la corriente generada en el circuito eléctrico cerrado.

Dichas propiedades energéticas especiales del campo eléctrico que tiene incorporado en la célula solar proporcionan el voltaje necesario para que pueda conducir la corriente a través de un circuito cerrado por una carga externa [3].

## **2.2 La energía del sol**

La energía del sol es vital para la vida en la Tierra. Brinda la temperatura de la superficie terrestre y suministra toda la energía necesaria para los sistemas naturales globales y sus ciclos. Aunque algunas otras estrellas son enormes fuentes de energía en forma de rayos X y señales de radio, el sistema solar libera el 95% de su energía como luz visible [3].

La luz visible representa solo una fracción del total espectro de radiación, los rayos infrarrojos y ultravioleta también son partes significativas del espectro solar.

Cada porción del espectro solar está asociada con un diferente nivel de energía Dentro de la parte visible del espectro, el rojo está en el extremo de baja energía y el violeta está en el extremo de alta energía.

En las porciones invisibles del espectro, los fotones en la región ultravioleta, que hacen que la piel se broncee, tienen más energía que los de la región visible.

Los fotones en la región infrarroja, que hacen que se sienta como calor, tienen menos energía que los fotones en la región visible. El movimiento de la luz de un lugar a otro se puede describir mejor como si fuera una onda, y los diferentes tipos de radiación se caracterizan por sus longitudes de onda individuales.

Estas longitudes de onda, la distancia desde el pico de una onda hasta el pico de la siguiente, indican radiación con diferentes cantidades de energía; cuanto más larga es la longitud de onda, menor es la energía. La luz roja, por ejemplo, tiene una longitud de onda mucho más larga lo que se traduce en menos energía que la luz violeta. En la figura 2 se muestra los diferentes tipos de radiación solar [4].



Figura 2. Tipos de radiación solar. Fuente: [4]

Cada segundo, el sol libera una enorme cantidad de energía radiante al sistema solar. La Tierra recibe una pequeña fracción de esta energía; aun así, una media de 1367 Watts llega a cada metro cuadrado (m<sup>2</sup>) del borde exterior de la atmósfera terrestre. La atmósfera absorbe y refleja parte de esta radiación, incluida la mayoría de los rayos X y los rayos ultravioletas.

Sin embargo, la cantidad de energía solar que golpea la superficie de la Tierra cada minuto es mayor que la cantidad total de energía que la población humana del mundo consume en un año.

Cuando la luz procedente del sol arriba a la corteza terrestre, se distribuye de manera desigual en diferentes regiones. No es sorprendente que las áreas cercanas al ecuador reciban más radiación solar que cualquier otro lugar de la Tierra.

### **2.2.1 Celdas Solares**

La celda es el elemento práctico más pequeño que aprovecha el efecto fotovoltaico para generar electricidad. Aunque hay muchos materiales semiconductores disponibles, el silicio monocristalino es actualmente la opción más popular para las celdas comerciales.

El silicio es el segundo elemento que se encuentra con más abundancia en la tierra (oxígeno es el más abundante). El silicio se presenta con mayor frecuencia en la naturaleza como dióxido de silicio (sílice,  $\text{SiO}_2$ ) y como silicatos (compuestos que contienen silicio, oxígeno, metales y tal vez hidrógeno).

La arena y el cuarzo son dos de sus formas más comunes. La arena generalmente es demasiado impura para ser procesada en silicio, pero los depósitos de cuarcita de alto grado pueden tener casi un 99% de sílice puro.

Esta sílice se procesa en el silicio que eventualmente se convierte en el material básico de una celda solar de silicio. Otros materiales fotoeléctricos son: silicio policristalino, silicio amorfo, diseleniuro de indio y cobre, telururo de cadmio y arseniuro de galio [5].

### **2.3 Módulos, matrices, y sistemas**

La celda fotovoltaica es el alma del panel o también conocido como unidad básica del panel solar. Una celda fotovoltaica individual normalmente produce entre 1 y 2 W, energía apenas suficiente para pequeñas aplicaciones. Pero se puede aumentar la potencia cuando se conectan células solares en búsqueda de unidades más grandes llamadas módulos.

Los módulos, a su vez, se pueden conectar para formar generadores fotovoltaicos aún más grandes llamadas matrices o huertos solares, que se pueden interconectar para obtener más energía, y así sucesivamente. De esta manera, como se observa en la Figura 2, se puede construir un generador solar para satisfacer cualquier carga, sin importar cuán grande o pequeña sea.

Los módulos o paneles solos no son un sistema fotovoltaico. Se necesita instalar más componente y tener estructuras para el montaje y apuntarlos hacia el sol, y componentes que tomen la electricidad de corriente continua (CC) generada por los módulos o matrices y acondicionen la electricidad para que pueda ser utilizada en la aplicación.

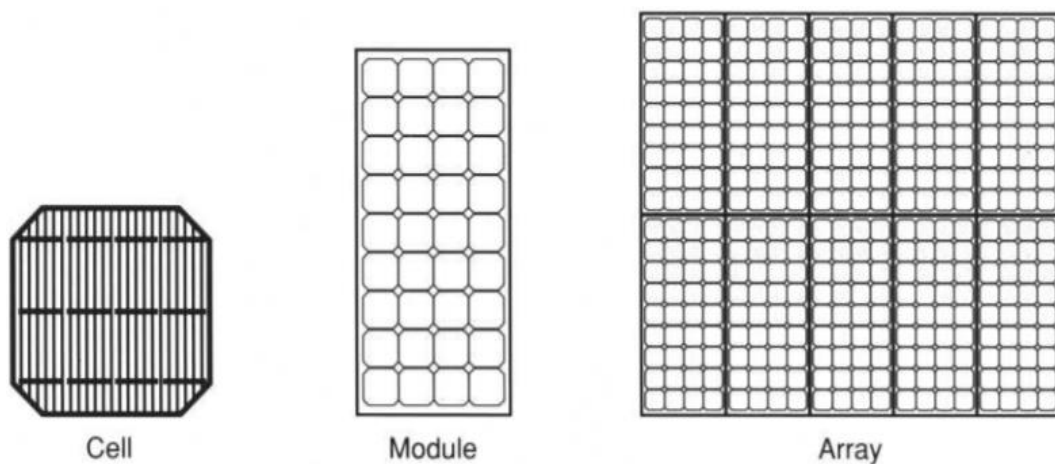


Figura 3. Celda, módulo y matriz fotovoltaico. Fuente: [3]

### 2.3.1 Colectores de placa plana

Los colectores de placa plana generalmente usan grandes cantidades o áreas de celdas que están montadas en una superficie rígida y plana. Estas celdas están encapsuladas con una cubierta transparente que permite pasar la luz del sol y las protege del medio ambiente.

Los colectores de placa plana tienen varias ventajas en comparación con los colectores concentradores. Ellos son más simples de diseñar y fabricar. No requieren ópticas especiales, celdas especialmente diseñadas o estructuras de montaje que debe seguir el sol con precisión. Además, los colectores de placa plana pueden utilizar toda la luz solar que les llega, tanto la luz solar directa como la luz solar difusa que se refleja en las nubes, el suelo y los objetos cercanos como se muestra en la Figura 4.

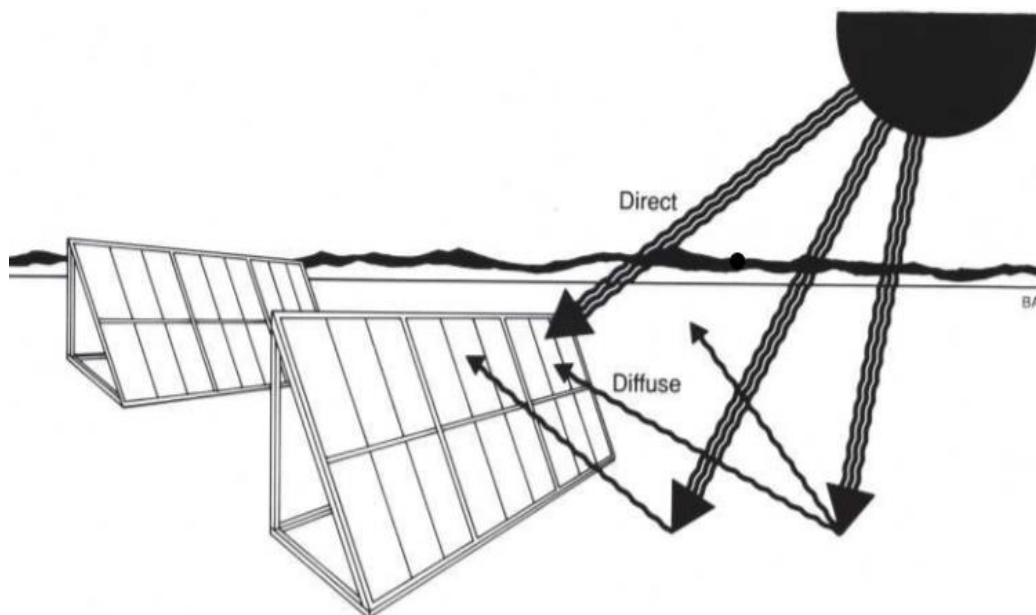


Figura 4. Colectores de placa plana. Fuente: [3]

Pero tienen inconvenientes, el más importante de los cuales es que deben usar una gran cantidad de celdas y, por lo tanto, dependen de grandes áreas de material fotovoltaico para producir energía comparable a la producida por colectores concentradores mucho más pequeños.

### 2.3.2 Balance de Sistemas

Se puede pensar en un sistema fotovoltaico completo como compuesto por tres subsistemas. Por un lado, se tiene los dispositivos fotovoltaicos (módulos, matrices, etc.) que convierten la luz solar en electricidad. Por otro lado, se tiene la carga, la aplicación a la que se destina la electricidad fotovoltaica. En el medio, se tiene un tercer subsistema, un conjunto de componentes y estructuras que permiten que la energía fotovoltaica se aplique de manera correcta a las cargas. Este tercer subsistema generalmente se conoce como el "balance del sistema".

El balance del sistema normalmente contiene estructuras para montar los conjuntos o módulos fotovoltaicos y el equipo de acondicionamiento de energía que adapta y convierte la electricidad en la forma y magnitud adecuadas requeridas por una carga de corriente alterna (CA). Si es necesario, el balance del sistema también incluye dispositivos de almacenamiento, como baterías, para almacenar electricidad fotovoltaica durante los días opacos y la noche.

## 2.4 Dispositivos de almacenamiento

Una forma de almacenar energía eléctrica fotovoltaica es conectando el sistema fotovoltaico a una red pública. Cuando se genera más electricidad fotovoltaica de la que se utiliza, se puede convertir a corriente alterna, la misma frecuencia que la de la red pública, y alimentar a la red. Asimismo, cuando el sistema fotovoltaico no proporciona suficiente electricidad, se puede obtener la cantidad adicional necesaria de la red. Esta estrategia generalmente se usa en sistemas grandes y en sistemas residenciales cuando se desea un sistema de respaldo conveniente.

En sistemas autónomos, sin embargo, el uso de la utilidad como medio de almacenamiento puede no ser deseable o incluso posible. En tales casos, las baterías son la alternativa más común.

Pero las baterías tienen algunos inconvenientes. Por ejemplo, disminuyen la eficiencia del sistema solar, ya que solo se puede recuperar aproximadamente el 80% de la energía canalizada hacia ellos.

También se suman al gasto del sistema fotovoltaico y duran solo entre cinco y diez años. Ocupan un espacio considerable en el piso, plantean algunos problemas de seguridad y requieren mantenimiento periódico. Al igual que las células fotovoltaicas, las baterías son dispositivos de corriente continua y son directamente compatibles solo con las cargas. En la figura 5 se muestra una batería de gel frontal de 172 Ah [6].



Figura 5. Batería de gel, frontal. Fuente: [6]

En el lado positivo, las baterías no solo almacenan energía eléctrica, sino que también pueden servir como acondicionadores de energía. Al ser parte del circuito en el que circula la energía del suministro fotovoltaico, la batería almacena la energía eléctrica casi constante. El conjunto fotovoltaico puede diseñarse de tal forma que opere más cerca de su potencia de máxima de salida.

Hoy en día, existen varios tipos de baterías diseñadas específicamente para sistemas fotovoltaicos; las más utilizadas son las tipo de plomo-ácido y las baterías de níquel-cadmio. Aunque las baterías de níquel-cadmio cuestan más que sus contrapartes de plomo-ácido, generalmente duran más, requieren menos mantenimiento y pueden resistir condiciones más extremas.

La mayoría de las baterías deben protegerse contra sobrecargas y descargas excesivas, que pueden provocar la pérdida de electrolitos e incluso dañar o arruinar las placas de la batería. La protección suele estar a cargo de un controlador de carga, que también mantiene el voltaje del sistema.

La mayoría de los controladores de carga también tienen un mecanismo que evita que la corriente fluya de la batería a la matriz durante la noche. Un mecanismo de estado sólido que hace esto es un diodo de bloqueo, que restringe el flujo de electricidad en una dirección, bloqueando la electricidad para que no entre en la matriz y, por lo tanto, protegiendo la matriz de daños y ahorrando energía.

#### **2.4.1 Tecnologías de almacenamiento de energía**

En la actualidad hay varios tipos de tecnologías disponibles para almacenamiento de energía en el mercado. Estos se pueden clasificar en términos de los medios para almacenar la energía. Las tecnologías se pueden clasificar en mecánicas, eléctricas y electroquímicas. Las tecnologías que se van a detallar son para el almacenamiento de energía eléctrica de las plantas solares fotovoltaicas. En los siguientes contenidos se pretenden proporcionar una breve descripción general de las tecnologías en uso y resumir sus características con cifras cuantitativas de las mismas.



## 2.4.2. Mecánico

Los sistemas o dispositivo de almacenamiento de energía mecánica se distinguen en dos grandes grupos principales que se pueden clasificar por el tiempo de respuesta, potencia y por la clasificación de energía también.

Los sistemas de almacenaje de energía mecánica son lentos, pero generalmente de gran capacidad, están representados por el almacenamiento de energía hidráulica bombeada (PHS) y el almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES), ambas tecnologías hoy en día son maduras. El primer tipo PHS se basa en bombear agua a un embalse superior utilizando electricidad fuera de las horas pico y luego liberarla cuesta abajo a un embalse más bajo para alimentar un generador de electricidad, esta tecnología tiene un alto rendimiento con un rango entre el 95 % y el 99 %.

Otra tecnología que da sus primeros pasos de forma comercial son los sistemas CAES donde el funcionamiento consta en comprimir aire y lo almacenan en cavernas, tuberías o recipientes subterráneos. Cuando es necesario, el aire fluye a través de la turbina de aire o se impulsa con combustible a una turbina de gas, junto con un generador que produce electricidad.

Mientras que los sistemas mecánicos de respuesta rápida están representados principalmente por los sistemas Flywheel Energy Storage (FES), que almacenan energía eléctrica en forma de energía cinética rotatoria. En la figura 6 se muestra un volante de inercia utilizado para aerogeneradores [7].

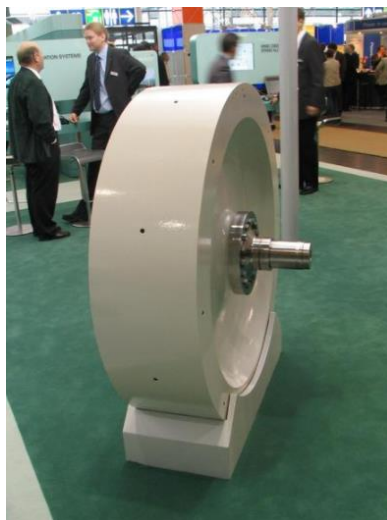


Figura 6. Volante de inercia para un parque eólico. Fuente: [7]

Durante la fase de carga, se utiliza energía eléctrica para acelerar un motor que está conectado a una masa giratoria a través de un eje. Durante la fase de descarga, la masa giratoria transfiere la energía cinética almacenada a un generador que se encuentra conectado en el mismo eje .

Las dos primeras tecnologías revisadas HS y CAES pueden tener una potencia nominal de cientos de MW para funcionar continuamente durante varias horas, pero el dispositivo de volante de inercia tiene una potencia nominal limitada a unos pocos cientos de kW y puede generar la potencia nominal durante unos minutos como máximo. Por lo tanto, su aplicación en grandes plantas de energía fotovoltaica es a través de la inclusión de varias unidades de volante en paralelo, para alcanzar las calificaciones requeridas para tener un impacto significativo en la producción de energía de la planta.

### **2.4.3 Eléctrico**

Otra tecnología como los supercondensadores, ultra condensadores, y condensadores de doble capa (DLC), son una realidad comercial competitiva con muchas aplicaciones de almacenamiento de energía. El principio de funcionamiento de los supercondensadores y las baterías es totalmente diferente a otro tipo de tecnología. La principal diferencia es que en las baterías, el voltaje entre terminales se debe a reacciones electroquímicas en los electrodos de la celda. Por otro lado, no ocurren reacciones electroquímicas en los super capacitores, pero el voltaje de la celda se debe al campo electrostático dentro de la celda.

El almacenamiento de energía de un supercondensador depende de dos factores: la capacidad, que suele llegar incluso a miles de faradios, y el cuadrado del voltaje de la celda. Los supercondensadores pueden considerarse competidores de los volantes de inercia. Permiten desarrollar altas tasas de potencia de rampa, con tiempos de respuesta en el rango de milisegundos, se utiliza en equipos con un arranque pesado como los tranvías. La vida útil, debido a que no se producen reacciones químicas, puede alcanzar millones de ciclos de carga y descarga.

Existen numerosos fabricantes de supercondensadores a nivel mundial que ofrecen productos compactos, capaces de integrar sistemas modulares de pocos MW de potencia. Los super capacitores son de aplicación en redes eléctricas de transmisión

y distribución, para el control de frecuencia, y de sistemas de alimentación ininterrumpida para la protección de cargas críticas contra fallas principales. También se aplican en trenes, para frenado regenerativo. En las energías renovables, por ejemplo, en los aerogeneradores, se aplican para la actuación de los mecanismos de paso de las palas.

#### **2.4.4 Electroquímico**

Una celda de batería es un componente electroquímico se almacena energía químicamente. A través de reacciones de reducción y oxidación en un medio llamado celda electroquímica, esta energía química se transforma en energía eléctrica. Las reacciones químicas ocurren en los electrodos de la celda tanto en el ánodo como en el cátodo. A partir de estas reacciones químicas, aparece un potencial eléctrico entre los electrodos. Este potencial eléctrico impulsa el movimiento de los productos de las reacciones electroquímicas, es decir, iones y electrones libres, entre el ánodo y el cátodo. En particular, los electrones se intercambian entre electrodos a través de un camino externo a la celda, es decir, la carga o la fuente de alimentación a la que está conectada la celda, produciendo una corriente eléctrica. Los iones, se intercambian dentro de la batería, a través de la propia celda y gracias a un medio llamado electrolito.

Las celdas en el interior de las baterías se conectan en serie y en paralelo, el número de celdas utilizadas depende de los requisitos de voltaje y corriente. El voltaje de la batería disminuye progresivamente mientras se descarga hasta alcanzar un voltaje mínimo de funcionamiento. La capacidad de la batería, comúnmente expresada en Ah, depende de las condiciones en las que se realiza la descarga y está limitada por la tensión práctica mínima antes mencionada. Por lo tanto, el estado de carga (SoC) se define como el cantidad de energía almacenada en la batería con respecto a la que se encuentra en condiciones de carga completa.

Algunas características como la temperatura de funcionamiento, la seguridad, la ciclabilidad y la modularidad, ofrece mejoras con rendimientos que facilitan la implementación de baterías en sistemas rurales.

En términos generales, los tipos de baterías disponibles en el mercado ecuatoriano y algunas bajo pedido se pueden agrupar en 4 familias: plomo-ácido, alcalinas, sales

fundidas y iones de litio. Las principales características de cada una se presentan a continuación:

- Las baterías de plomo-ácido (Pb-A) son las opciones más utilizadas en la implementación en sistemas fotovoltaicos, su tecnología es bastante madura, rentable y robustas, además cuentan con un bajo mantenimiento, incluso algunas son libres de mantenimiento como el caso de las monoblock. El voltaje nominal de cada vaso o celda es de 2,04 V. Las baterías de plomo-ácido son la opción más rentable en términos económicos, utilizadas en numerosas aplicaciones estacionarias, como en generación renovable, telecomunicaciones etc. Sin embargo, su principal inconveniente de las baterías de plomo-ácido son una energía específica y una vida útil limitada.

- Las baterías de níquel-cadmio (NiCd) conocidas también como alcalinas, igual que las de plomo ácido la tecnología es bastante madura, las baterías de níquel-cadmio presentan costos competitivos en el mercado local. Los principales inconvenientes de la tecnología son un voltaje de celda muy limitado con 1,3 V y una vida útil no alargada. Además, la auto-descarga es bastante notoria, incluso provocando la descarga completa en un mes sin mecanismos adecuados de compensación de pérdidas.

A diferencia de las baterías económicas como las de plomo-ácido y níquel-cadmio, hoy en día, dos tipos de baterías jóvenes y de alto rendimiento están ganando cada vez más terreno de mercado, las de sal fundida y, especialmente, las de iones de litio.

- Las baterías de sales fundidas (por ejemplo, las basadas en sodio y azufre, NaS) ofrecen voltajes de celda nominales de alrededor de los 2,6 V. Sus características clave de rendimiento son un alto número de ciclos de funcionamiento, modularidad y auto descarga muy limitada. De esta forma, son buenas opciones para aplicaciones estacionarias que requieran decenas de MW de potencia durante varias horas. Sin embargo, un aspecto fundamental y que limita la implementación de esta tecnología es el hecho de que la temperatura de funcionamiento supera los 300 grados centígrados y se necesitan períodos de precalentamiento importantes. Esto excluye la aplicación de baterías NaS en vehículos eléctricos.

- Las baterías de iones de litio (Li-Ion) son las tecnologías que más investigan y desarrollan actualmente para el almacenamiento de energía. Posee una vida útil

superior a los 10 años, el voltaje nominal de la celda es de 3,7 V, según el subtipo de iones de litio, la modularidad y la baja auto descarga son notables ventajas que marcan la diferencia con otro tipo de tecnologías, en la figura se muestra una batería de litio de 48V, 2.4 kWh



Figura 7. Batería de litio de 2.4 kWh. Fuente: [11]

En especial, la capacidad de desarrollar picos de corriente muy elevados y la elevada energía específica Wh/kg, estas son dos de las características que definen a las baterías de iones de litio se recomiendan para aplicaciones portátiles y vehículos eléctricos. El término iones de litio comprende un conjunto de subtipos en función de la electroquímica de los electrodos de la celda.

Otro tipo de baterías son las de flujo, el electrolito no se almacena en la propia celda, sino en dos tanques separados y externos marcando una gran diferencia con las anteriormente estudiadas. Cuando se utiliza la batería, el electrolito se bombea a la celda, lo que permite que se produzcan las reacciones electroquímicas. Así, el tamaño de los tanques electrolíticos determina la cantidad de almacenaje de energía. La capacidad de potencia, a su vez, está determinada por el tamaño de los electrodos, así como por el tamaño de las celdas electroquímicas.

En el mercado de las baterías de flujo se pueden encontrar básicamente dos electroquímicas: las de base vanadio (VRB) y las de zinc-bromo (ZnBr). El voltaje nominal de la celda para el primer tipo es de alrededor de 1,6 V, mientras que alcanza los 1,7 V para el segundo tipo. En términos generales, la autodescarga es casi despreciable en las baterías de flujo y puede descargarse completamente (hasta llegar al 0% de carga) sin que se acentúe la degradación [8].

## **2.4 Controlador de carga**

Un controlador de carga solar son fundamentalmente un controlador de voltaje o corriente que tiene varias funciones entre las principales esta cargar la batería y evitar que se sobrecarguen. Dirige el voltaje y la corriente generado por los paneles solares mediante la conversión de radiación solar en energía eléctrica. Existe una gran variedad de controladores de carga disponibles en diferentes costos y tamaños, comercialmente se puede instalar una gama desde 5A hasta 60 a 80 A, en tres diferentes tipos de controladores que se mencionan a continuación. [9]

### **2.4.1 Controles simples de 1 o 2 etapas**

Es la tecnología menos usada, ha perdido terreno en el mundo comercial, en el diseño electrónico posee transistores shunt que tiene como función controlar el voltaje en uno o dos pasos, de allí proviene el nombre. Este controlador básicamente desconectar el panel solar cuando se llega a un cierto valor de voltaje.

### **2.4.2 PWM (modulado por ancho de pulso)**

Otra tecnología de controladores de carga son los PWM ampliamente usados en sistemas fotovoltaicos de pequeña potencia, menor a los 500 W para evitar la sobrecarga y la descarga excesiva de las baterías protegiendo al sistema de energía solar fotovoltaico.

Los dispositivos de control de carga PWM pueden explicarse como un interruptor eléctrico entre baterías y el panel solar, el interruptor se puede encender y apagar rápidamente para obtener el voltaje deseado y regulado para cargar las baterías. La corriente de carga disminuirá lentamente a medida que se carguen las baterías.

El tamaño del sistema de energía solar es importante para elegir el dispositivo de control de carga. Los reguladores de carga PWM pueden proporcionar un rendimiento suficiente en aplicaciones pequeñas que no necesitan más propiedades ni alcanzar la máxima potencia, alcanzando un balance entre el costo de la instalación y la energía generada. La diferencia de eficiencia entre PWM y MPPT puede no ser suficiente para justificar la diferencia de precio en proyectos pequeños. Sin embargo, en proyectos grandes, juega un papel muy importante en el rendimiento del sistema.

### **2.4.3 Seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT)**

Se ha convertido en el controlador de carga solar MPPT más utilizado en los sistemas solares implementados. Como parte fundamental del trabajo es identificar el mejor voltaje y amperaje de trabajo alcanzado por el panel solar. El resultado es entre un 10 % y un 30 % más de potencia adicional respecto con un controlador PWM. Debido a su costo se recomienda la utilización para sistemas solares de más de 200 vatios.

Entre las características del regulador de carga es proteger la batería (12V) frente a sobrecargas, reducir el mantenimiento del sistema y aumenta la vida útil de la batería, indicación de carga automática por medio de leds o pantalla monocromática, la confiabilidad es alta y supervisa el flujo de corriente inversa

El funcionamiento del controlador se basa en controlar el voltaje del dispositivo y abrir el circuito cuando se necesite detener la carga, si en determinada situación la tensión de la batería sube a un cierto valor.

Generalmente, los sistemas de energía solar utilizan 12V o 24 VDC en las baterías y controlador. Los paneles solares tienen que generar mucho más voltaje para poder almacenar energía electroquímica en la batería, la tensión de carga si se mantiene a un nivel óptimo redujera el tiempo que lleva cargar completamente los dispositivos de almacenamiento de energía. Esto asegura que los sistemas fotovoltaicos siempre funcionen de manera óptima.

Los controladores de carga pueden monitorear cuando no se genera energía de los paneles fotovoltaicos y abrir el circuito separando los paneles solares del sistema solar evitando que se produzca un flujo de corriente inversa. En la siguiente figura se observa la conexión del controlador de carga.

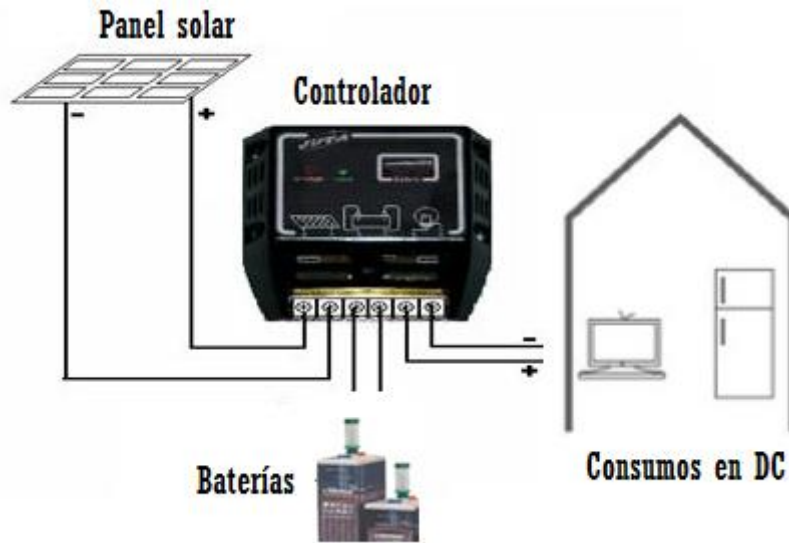


Figura 8. Conexión del controlador de carga. Fuente: Los autores

## 2.5 Inversor de red

La mayoría de electrodomésticos que se posee en una vivienda, funcionan con corriente alterna (AC), sin embargo los sistemas fotovoltaicos aislados generan en corriente directa y la energía almacenada también funcionan en CC [10]. En la figura 9 se muestra la diferencia entre las dos señales.

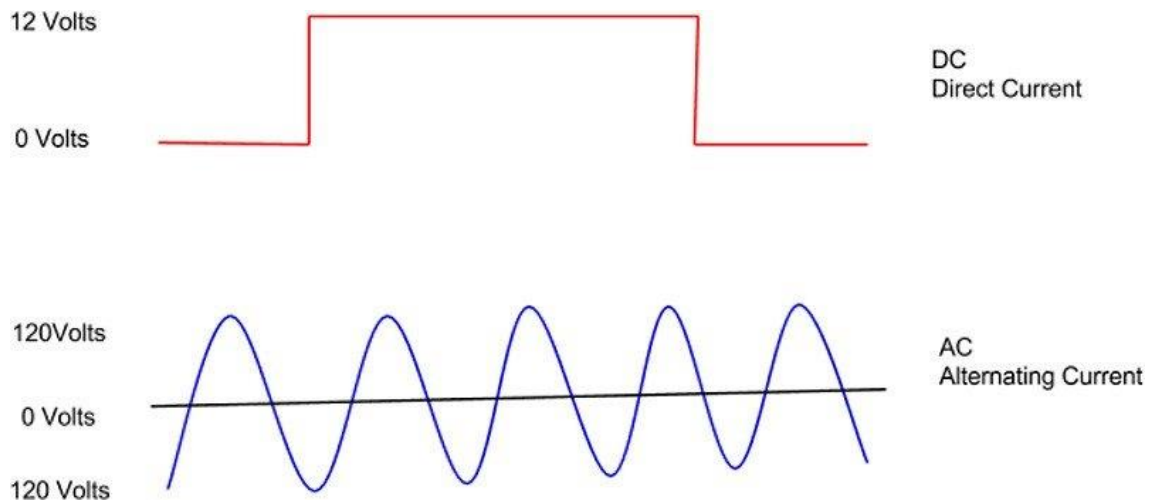


Figura 9. Señales en corriente directa y alterna. Fuente: Los autores

Comercialmente se pueden conseguir varios tipos de inversores, entre los que se destacan los Inversor/cargador y los inversores híbridos.



### 2.5.1 Inversor/cargador

Los primeros se utilizan en sistemas aislados, las baterías son cargadas con los paneles solares, en ocasiones la energía solar por sí sola puede no ser suficiente para cargar el banco de baterías, en estas circunstancias se usa un generador en alterna para mantener el nivel de la batería cargada. El funcionamiento del inversor es convertir la energía de CA del generador para cargar el banco de baterías de CC. Un inversor/cargador fuera de la red convertiría la energía en ambas direcciones, de CA a CC para cargar la batería del generador de CA, y convertiría la energía de CC de la batería a CA para sus electrodomésticos. Algunos inversores/cargadores incluso tienen la opción de iniciar un generador de forma remota cuando la cantidad de carga de las baterías es demasiado bajo.

### 2.5.2 Inversores híbridos

Este tipo de inversor puede trabajar en sistemas aislados o con conexión a la red, cuando las baterías de ciclo profundo se usan como energía de respaldo por motivo de una irrupción de energía de la red convencional, incluso el inversor puede usar la energía de la red para cargar y mantener las baterías en su máximo nivel, especialmente cuando se requiera la energía almacenada.

En la figura 10 se muestra un inversor híbrido del fabricante Huawei, trifásico, el modelo tiene integrado dos maximizadores tipo MPPT para conectar series de paneles solares incluso de diferentes características técnicas, posee de una conexión inalámbrica y puede estar ubicado en el exterior al tener una protección IP65 con una garantía de 5 años [11].



Figura 10. Inversor híbrido Trifásico. Fuente: [11]

En los modelos que tienen dos entradas se pueden conectar agrupaciones de diferentes paneles a diferentes grados de inclinación, con lo cual se garantiza el máximo rendimiento y la recuperación del costo a corto plazo. Se recomienda el uso de vatímetros para comparar la potencia suministrada.

## **2.6 Estructuras de montaje**

Los conjuntos fotovoltaicos deben instalarse en algún tipo de estructura estable y duradera que pueda sostener el conjunto y resistir el viento, la lluvia, el sol, el granizo y otras situaciones adversas. La estructura de montaje puede ser estacionaria o puede seguir la posición del sol.

Las estructuras estacionarias, que se utilizan con sistemas de placa plana, generalmente inclinan el campo fotovoltaico en un ángulo fijo que se determina por la latitud del lugar, los requisitos del consumidor y cuánta sea la disponibilidad de la luz solar. Las estructuras estacionarias se pueden montar en el suelo o en un edificio.

Cuando el espacio es escaso, como para un negocio o una residencia urbana, el montaje en el techo es generalmente la opción preferida. Pero montar un sistema en un techo puede requerir interferir con la integridad del techo o diseños especiales que integren el sistema fotovoltaico con el techo. Para sistemas autónomos más remotos, por otro lado, el montaje en tierra es generalmente preferible porque permite una mayor facilidad de instalación, mantenimiento y operación.

## **3. METODOLOGIA**

La metodología de investigación en un concepto básico se refiere a cómo tratar de forma práctica el entorno para conseguir solucionar la problemática alcanzando los objetivos trazados, el investigador diseña de forma sistemática un estudio que le permita alcanzar resultados válidos y confiables para los fines de la investigación.

### 3.1 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

Para la propuesta de electrificación de una de las viviendas de la comunidad de masa 2, se aplica el método de análisis, recolección de datos y por último el diseño del sistema solar como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Metodología para el desarrollo de la metodología. Fuente: Los autores

El análisis inicia con la revisión del arte de diferentes tipos de soluciones energéticas a base de fuentes renovables y publicado en artículos científicos, la información más relevante se encuentra en las siguientes referencias [12]–[14], con la información recolectada se consigue el procedimiento y técnica a seguir junto a los componentes comerciales que se utilizan para el dimensionamiento del sistema de energía. El siguiente paso para seguir es la recolección de datos respecto a las variables meteorológicas de las fuentes renovables que se tiene en la localidad y de las cargas de la vivienda.

El método específico de la investigación responde al enfoque de las necesidades de diversas formas en el abastecimiento de energía para satisfacer las necesidades de las viviendas, tomando en cuenta la parte ambiental y sobre todo la económica, también por otras razones, las cuales comprenden en lo ambiental y sobre todo en lo económico.

### 3.2 Método empleado

En la actualidad se pueden aplicar diferentes tipos de metodologías para buscar una solución a la problemática, entre los más aplicados y con mejores resultados son los métodos cualitativos y cuantitativos, entre ellos se distinguen si se centran en palabras, números o ambos.

Revisado el estado del arte de las diferentes metodologías empleadas para solucionar el problema, resalta la falta de electrificación de forma casi permanente en la vivienda y todo lo que se relaciona al no tener el servicio básico, por lo tanto se procede al dimensionamiento del sistema solar por medio del método analítico, el procedimiento a seguir se indica a continuación [16], [17]:

1. Estimación del consumo
2. Valores de radiación en el lugar de la implementación
3. Ángulo óptimo de inclinación y pérdidas de los paneles fotovoltaicos.
4. Cálculo de paneles fotovoltaicos.
5. Dimensionamiento del acumulador.
6. Dimensionamiento del controlador de carga
7. Dimensionamiento del inversor.

### **3.3 Tipos de instalaciones fotovoltaicas sin conexión a la red**

Hoy en día se tiene varios tipos de instalaciones aisladas o sin conexión a la red, depende de las necesidades del usuario, los equipos con que cuente, el presupuesto de la instalación etc. Con la teoría presentada el lector del trabajo de titulación puede ajustar la instalación a las condiciones de la vivienda [15].

#### **3.3.1 Sistema fotovoltaico DC-COUPLING**

Es la instalación más usada en las diferentes implementaciones, en su principio básico de funcionamiento, consta de un grupo de paneles que conforman un generador fotovoltaico, la energía generada se almacena en un acumulador generalmente conformado por un banco de baterías o bien se envía a la carga por medio de un dispositivo conocido como inversor. En la figura 12 se muestra un sistema fotovoltaico aislado tradicional

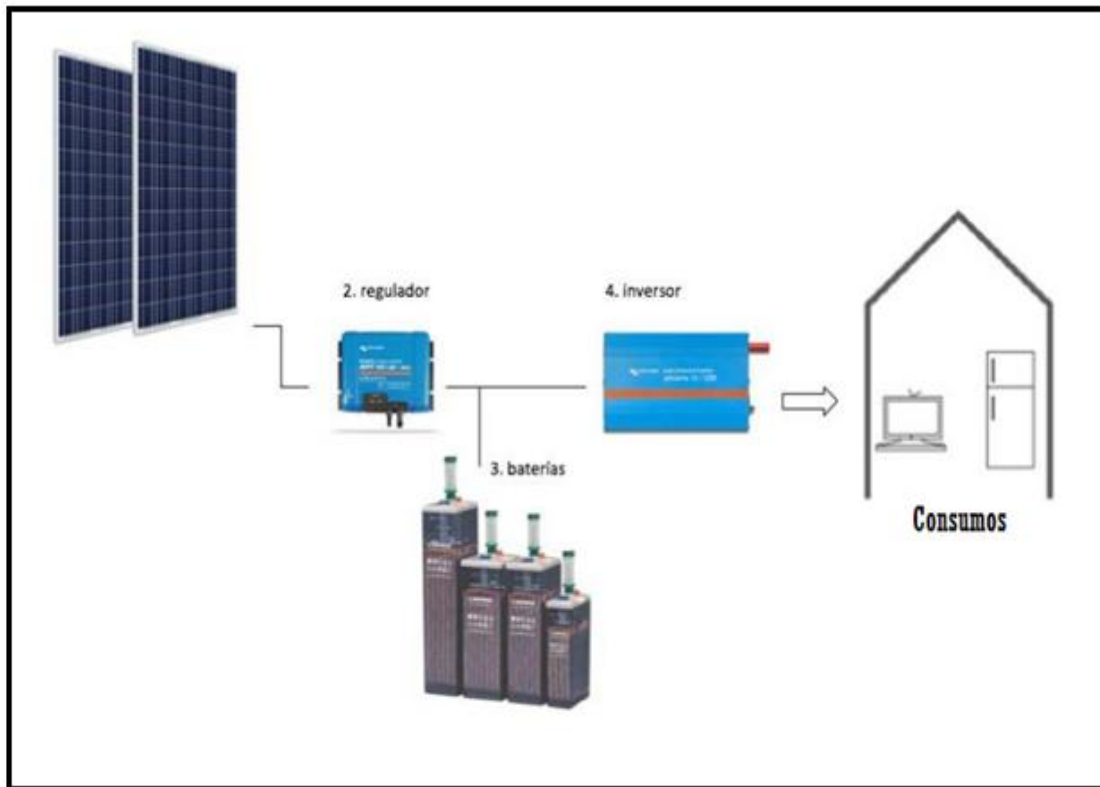


Figura 12. Sistema fotovoltaico DC – Coupling. Fuente: Los autores

El funcionamiento del sistema fotovoltaico es el siguiente:

El panel fotovoltaico transforma la energía del sol en energía eléctrica en corriente directa, se conecta al controlador de carga que cumple la función de regular el voltaje y controlar el proceso de carga y descarga cuidando el buen estado de la batería.

El sistema de baterías almacena el exceso de energía generada por los paneles y lo acumula hasta que la carga lo requiera, para completar el funcionamiento del sistema, el inversor detecta el consumo y transforma la energía generada por los paneles o baterías en corriente alterna para el funcionamiento de los diferentes electrodomésticos de la vivienda. En caso de tener cargas en DC se omite el inversor de carga, se conecta directo a la salida del controlador de carga.

### 3.3.2 Sistema fotovoltaico AC-COUPLING

Son utilizados en sistemas solares de mayor potencia y las cargas siempre funcionan en AC, el funcionamiento del sistema consiste en convertir la energía generada por el generador fotovoltaico en corriente AC por medio de un inversor de conexión a red.

En este tipo de sistemas la carga se alimenta en un alto porcentaje directamente sin utilizar el banco de baterías.

Las ventajas que presenta el sistema AC-Coupling es conseguir una mayor eficiencia energética, al evitar pérdidas del controlador de carga y baterías en caso del consumo directo, el banco de baterías se instala para casos de emergencia por lo tanto la utilización es limitada, con un menor desgaste de las mismas, alargando el tiempo de vida. En la figura 13 se observa el esquema de conexión y componentes del sistema analizado.

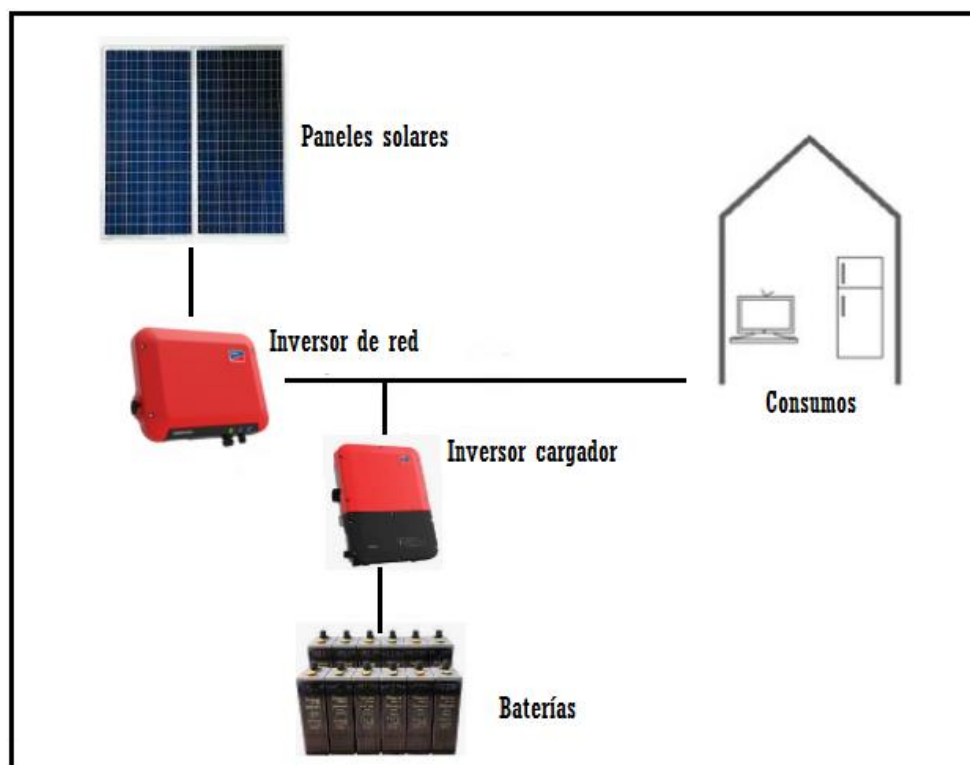


Figura 13. Sistema fotovoltaico AC – Coupling. Fuente: Los autores

### 3.3.3. Modo de funcionamiento del sistema

Una vez implementado el esquema de la figura 13, puede funcionar en diferentes modos de operación, el primero se observa en la figura 14, cuando la carga requiere energía y es igual a la generada por los módulos, esta pasa directamente desde el inversor a la red, puenteando a las baterías.

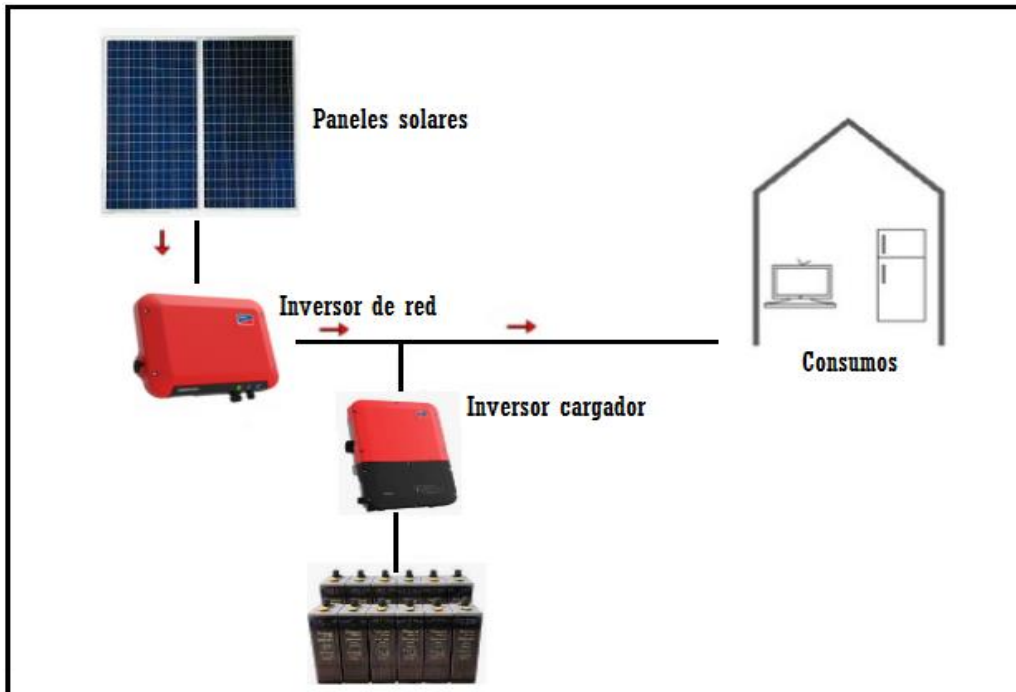


Figura 14. Modo de funcionamiento directo. Fuente: Los autores

En el caso de tener un exceso de energía producida por los paneles solares, la energía no administrada a la carga se almacena en el banco de baterías como se observa en la figura 15.

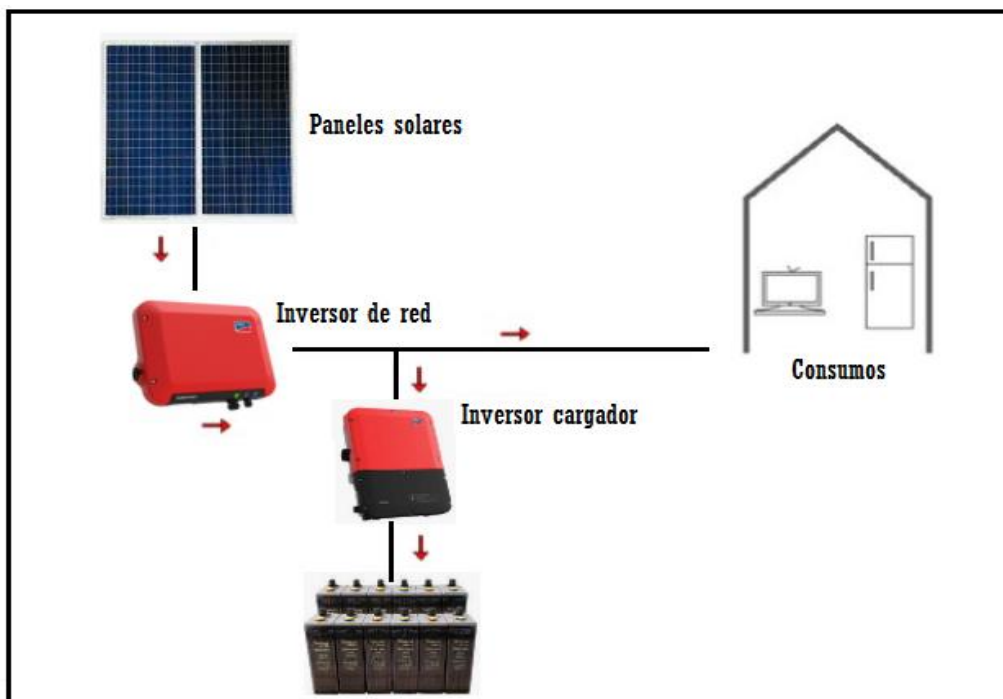


Figura 15. Modo de funcionamiento con exceso de energía. Fuente: Los autores

La energía generada por los módulos solares no es suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de la carga o bien no hay generación fotovoltaica, el banco de baterías cumple con el rol de generador, como se muestra en la figura 16.

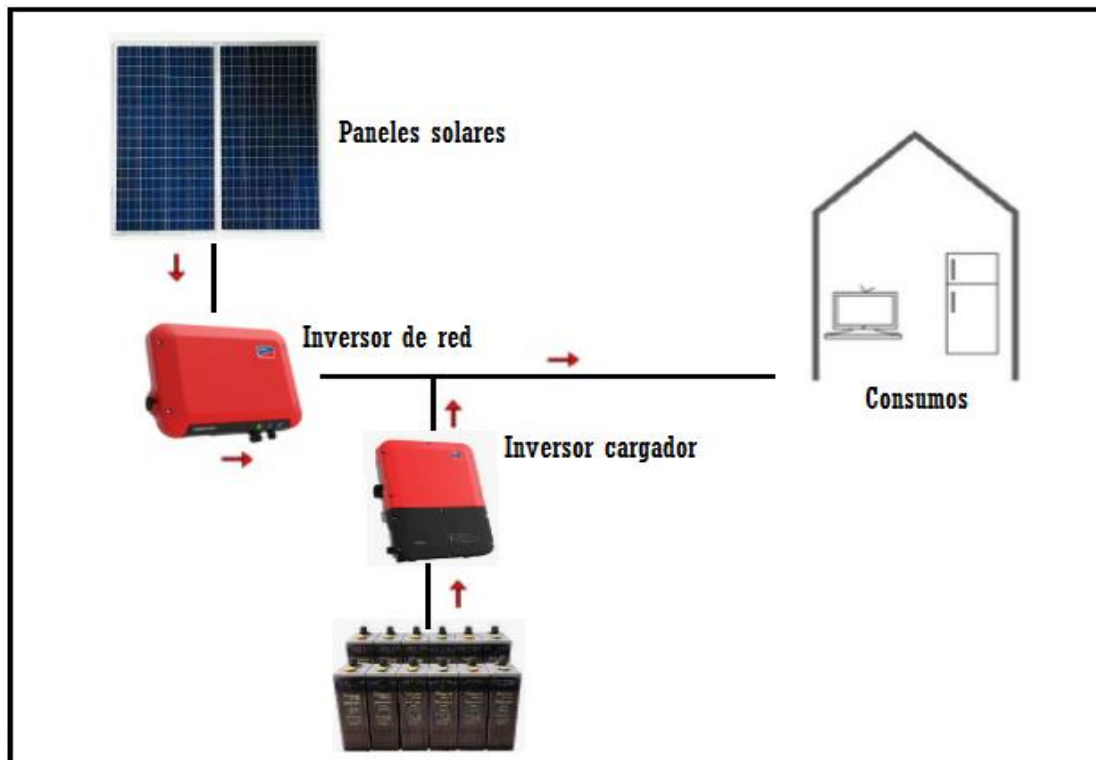


Figura 16. Esquema solar donde las baterías cumplen el rol de generador. Fuente: Los autores

En el caso de no tener consumo la energía generada es acumulado en el banco de baterías mientras no estén cargadas, en esta condición esta supervisado por el controlador de carga.

Algunos sistemas pueden considerar la utilización de inversores cargadores que utilizan la energía de la red o de un grupo electrógeno para cargar las baterías, el esquema se muestra en la figura 17, en este caso no hay producción de energía por parte de los paneles solares.

Generadores de respaldo se pueden utilizar en el sistema para garantizar el suministro de energía, se tiene que verificar que la opción en el inversor, el respaldo puede ser desde una fuente renovable o a base de combustible fósil. Actualmente se



comercializa inversores híbridos que se pueden conectar de forma aislada o con conexión a red.

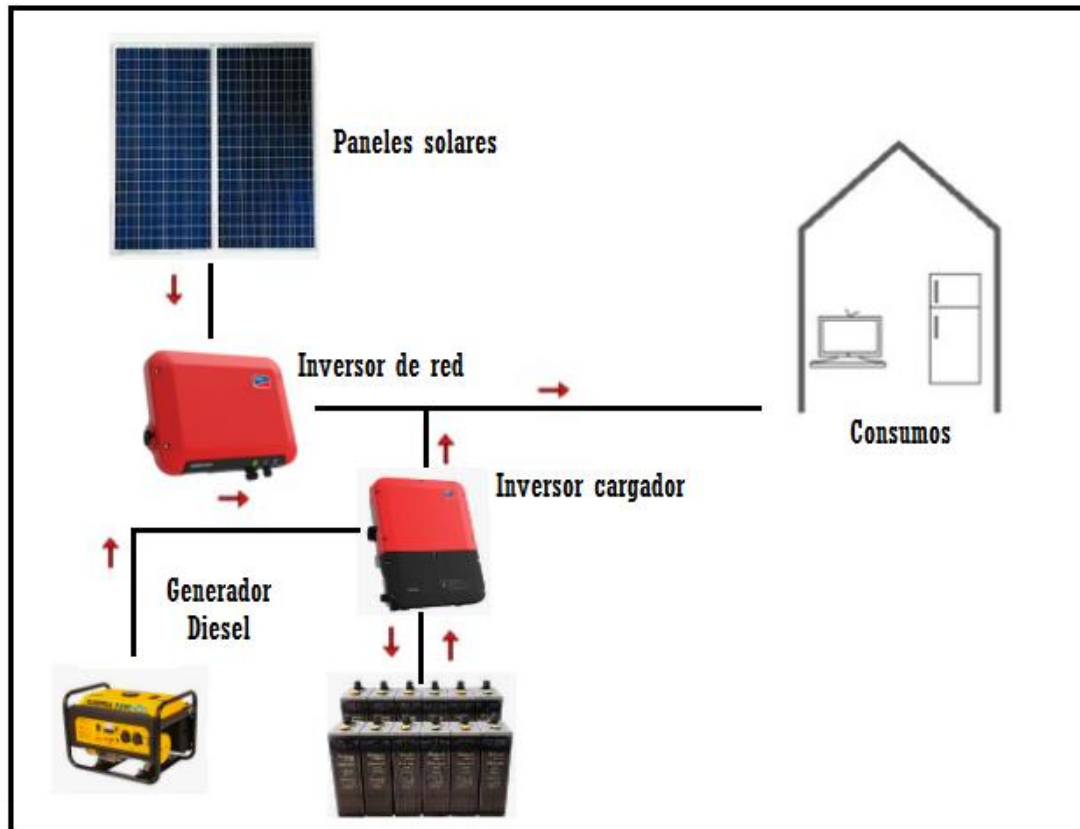


Figura 17. Esquema fotovoltaico con generador de soporte. Fuente: Los autores

### 3.4 Situación de la vivienda a intervenir

Con la visita realizada a la comunidad de Masa II, se selecciona la vivienda a intervenir en ella viven 6 personas, los padres y 4 niños. El cabeza de familia se dedica a la pesca mientras los niños estudian de forma presencial en la escuela que se encuentra en la comunidad.

No tienen generador eléctrico por lo que el servicio lo compran a uno de los vecinos, el grupo electrógeno lo encienden de 18:00 a 21:00 y el costo por el alquiler es de un dólar diario, lo que equivale a 30 dólares mensuales, sin embargo, no tienen un suministro constante de energía por lo que es una limitante para el desarrollo y las actividades diarias y comunes de cualquier pueblo o ciudad.

El generador a diésel tiene varias desventajas, depende del estado que se encuentre los costos operativos aumentan, el ruido es bastante molesto al estar en un lugar aislado, el costo del combustible es volátil por la dificultad del transporte en muchas de ocasiones por medio fluvial sin mencionar la contaminación ambiental por la quema del combustible fósil.

Durante la inspección y levantamiento de información de la vivienda se observa las condiciones de la instalación eléctrica de la vivienda, conexiones inadecuadas, cables sobre puestos, empalmes defectuosos sin cinta aislante etc. Es necesario mencionar que la vivienda está construida con madera por lo que un corto circuito puede producir un conato de incendio y propagarse a las demás viviendas que tienen el mismo material de construcción.

### 3.4.1 Levantamiento de la carga eléctrica

El consumo de la vivienda es limitado debido a que cuenta con energía por pocas horas, durante la visita se toma los datos de placa de los electrodomésticos que tienen, número de luminarias y el tiempo de utilización de los mismos, mediante la recolección de datos se confecciona la tabla 1.

<i>Aparato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tiempo de uso (h)</i>	<i>Potencia Unitaria</i>	<i>Energía diaria (Wh/día)</i>
Televisor	1	4	100	400
Direct Tv	1	4	15	60
Iluminación	5	4	9	180
Iluminación exterior	1	4	60	240
Lavadora	1	1	400	400
Celular	2	2	20	80
Total (Wh/día)				1360

Tabla 1. Consumo de la vivienda

### 3.4.2 Cálculo de la demanda de la instalación

La vivienda cuenta con la instalación eléctrica interior bastante defectuosa, sin contar con las mínimas protecciones como una caja de distribución, la protección que se encontró es una palanca con un alambre de fusible. Debido a ello se procedió a

realizar los cálculos y diseño de la instalación interior a pesar que no es uno de los objetivos del trabajo de titulación.

Se dimensiona dos circuitos, uno para la iluminación y otro para los tomacorrientes, en el panel de distribución se colocan dos disyuntores (Breaker), a continuación, se presenta el cálculo para cada uno de los circuitos.

### 3.4.3 Calculo del circuito de iluminación

En el ramal de iluminación se colocan 5 puntos utilizando focos led de 9W para el interior de la vivienda y un foco de 60 W para el exterior de la misma, para el cálculo de la potencia y la corriente del circuito se utiliza las ecuaciones 1 y 2.

$$PC1 = \sum P_{focos} \quad (1)$$

$$PC1 = (9 W \times 5) + (60W \times 1) = 105 W$$

$$IC1 = \frac{PC1}{V} \quad (2)$$

$$IC1 = \frac{105}{110} = 0.95 A * 1.25 = 1.19 A$$

Donde,  $PC1$  y  $IC1$  son la potencia y corriente del circuito 1.

Una vez calculado la corriente del circuito se da un margen de seguridad del 25 %, el disyuntor a colocar es de 5A o 10 A debido a los valores comerciales que se encuentran en el mercado, los resultados de la energía consumida se realiza mediante la ecuación 3.

$$Econ = P_{C1} * N_d * t \quad (3)$$

Donde,  $Econ$  es la energía consumida por el circuito,  $P_{CA}$  es la potencia del circuito,  $N_d$  es la cantidad de dispositivos y finalmente  $t$  es el tiempo de uso, aplicando la ecuación se obtiene los siguientes resultados:

$$Econ = 9(W) * 5(Focos) * 4(h) + 60(W) * 1(Focos) * 4(h)$$

$$Econ = 420(Wh/día)$$

El conductor utilizado es calibre # 14 AWG, a pesar de estar sobredimensionado se recomienda por el costo que se encuentra en el comercio y en caso de utilizar otros focos que no están considerado en el diseño por parte de los dueños de la vivienda.

#### 3.4.4 Calculo del circuito de tomacorrientes

En el circuito de tomacorrientes se colocan 6 puntos, y se consideran 4 cargas, los puntos adicionales son en caso de que las cargas se muevan como por ejemplo cargar el celular. Para el diseño del circuito de tomacorrientes C2 se consideran las siguientes cargas:

- Teléfono Celular, con un uso de 2 horas diarias.
- Televisor, con un uso de 4 horas al día.
- Decodificador DIRECTV, 4 horas al día
- Lavadora con un uso de 1 hora diaria

Para el cálculo de la potencia y corriente utilizamos las mismas ecuaciones 1 y 2.

$$PC2 = \sum P_{cargas}$$

$$PC2 = (100 W + 15 W + 400 W + 20 W) = 535 W$$

$$IC2 = \frac{PC2}{V}$$

$$IC1 = \frac{535}{110} = 4.8 A * 1.25 = 6.07 A$$

Los tomacorrientes se conectan por medio de conductores calibre # 12 debido a la recomendación anotada en el párrafo anterior, la energía consumida por el circuito 2 se calcula a continuación:

$$De = 100(W) * 1(Tv) * 4(h) + 15(W) * 1(Tv\ cable) * 4(h) + 400(W) * 1(Lavadora) * 1(h) + 20(W) * 2(Celular) * 2(h)$$

$$De = 940 (Wh/día)$$

### 3.4.5 Consumo total diario de la vivienda

El consumo total se calcula como: la suma de la energía consumida del circuito de iluminación y la energía que consume el circuito de tomacorrientes:

$$E_{Tv} = 420 + 940 (Wh/día)$$

$$E_{Tv} = 1360 (Wh/día)$$

## 3.5 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Debido a la falta de electrificación de forma permanente en la vivienda y todo lo que se relaciona al no tener el servicio básico se procede al dimensionamiento del sistema solar por medio del método analítico, el procedimiento a seguir se indica a continuación [16], [17]:

8. Estimación del consumo
9. Valores de radiación en el lugar de la implementación
10. Ángulo óptimo de inclinación y pérdidas de los módulos solares.
11. Cálculo de módulos solares.
12. Dimensionamiento del banco de baterías.
13. Dimensionamiento del controlador de carga
14. Dimensionamiento del inversor.

### 3.5.1 Estimación del consumo

Realizado la inspección y levantamiento de información de las cargas y el tiempo de uso, se estima el consumo medio diario considerando las eficiencias de los elementos que conforman el sistema y el tipo de carga. Mediante la ecuación 4 se calcula el consumo medio diario.

$$C_{md} = \frac{C_{md_{DC}} + \frac{C_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \times \eta_{con}} \quad (4)$$

$$C_{md} = \frac{0 + \frac{1360}{0.95}}{0.92 \times 1} = 1556 \text{ Wh}$$

Donde  $C_{md_{DC}}$  es la carga media diaria en DC, en este diseño no hay cargas en DC,  $C_{md_{AC}}$  es la carga media diaria en AC,  $\eta_{inv}$ ,  $\eta_{bat}$ ,  $\eta_{con}$  son los rendimientos del inversor, batería y conductores respectivamente.

### 3.5.2 Valores de radiación solar

El proyecto se va a implementar en la localidad de masa 2, las coordenadas son (-2.384311085742019,-79.86044317995247), por medio de diferentes bases de datos meteorológicos se puede descargar la información.

Para asegurar el suministro durante todos los meses, para efecto de cálculo se utiliza la hora solar pico (HSP) del peor mes que es la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado, el valor se obtiene dividiendo la irradiación global para 1000 W/m<sup>2</sup>.

### 3.5.3 Ángulo óptimo de inclinación de paneles

Conseguir el mayor rendimiento del generador fotovoltaico está limitado por la ubicación del panel solar y el tipo de células fotovoltaicas utilizadas, el panel solar es más productivo cuando se coloca de forma perpendicular al sol [18], la inclinación del generador fotovoltaico se calcula mediante la ecuación 5, una de las ventajas de la localidad es que esta cerca de la línea ecuatorial.

$$\beta = |\phi| + 5 \quad (5)$$

$$\beta = |2,39| + 5$$

$$\beta = 7,39^\circ$$

Donde,  $\beta$  es el ángulo óptimo,  $\phi$  es la latitud

El ángulo óptimo es de 7.39°, la literatura recomienda poner de 10 a 15° para que el polvo y el agua de la lluvia limpie el panel solar

### 3.5.4 Pérdidas por Orientación e Inclinación

Las pérdidas por inclinación y orientación se pueden calcular fácilmente por medio de la ecuación 4, lograr tener la menor pérdidas por estas características garantiza el suministro de energía:

$$P_{O\&I} = 1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{Opt})^2 \quad ; \quad \beta \leq 15^\circ \quad (6)$$

$$P_{O\&I} = 1.2 * 10^{-4} * (15 - 12.3)^2 \quad ; \quad \beta \leq 15^\circ$$

$$P_{O\&I} = 1.2 * 10^{-4} * (15 - 12.3)^2$$

$$P_{O\&I} = 0,69\%$$

### 3.5.5 Cálculo del número de paneles fotovoltaico

La potencia del generador fotovoltaico está definida por el número de paneles que se requiere para la instalación, es necesario conocer la potencia de paneles que se distribuyen localmente y la hora solar pico del peor mes, para el cálculo de número de paneles fotovoltaicos se utiliza la ecuación 7.

$$N_T = \frac{C_{md}}{P_{MP} \times HSP_{Pm} \times PR} \quad (7)$$

$$N_T = \frac{1556 \text{ Wh}}{405 \text{ W} \times 4.1 \text{ h} \times 0.9} = 1.04$$

Donde  $P_{MP}$  es la potencia del panel seleccionado o que se distribuye localmente,  $PR$  es el factor de rendimiento del sistema (90%), el número de paneles que se necesita es uno.

### 3.5.6 Dimensionamiento del banco de baterías

En banco de baterías es el único elemento que cumplen dos funciones, almacenar el exceso de energía y abastecer la energía que requiere la carga. Para el correcto

diseño del banco se tiene que considerar algunas características que se mencionan a continuación:

La nivel de voltaje o tensión de trabajo del banco de baterías, es requisito para la selección del controlador de carga e inversor, el voltaje se selecciona de acuerdo a la potencia a manejar de la carga, los voltajes a regular son 12, 24 y 48VDC, para cargas menor a 1000 W se utiliza 12 V, para cargas entre 1000 y 3000 W se utiliza 24 V y para cargas de más de 3000W se utiliza 48 VDC [18]. Mientras mayor es el voltaje menor es la corriente, al tener voltajes bajos la corriente que circula por los conductores es de decenas de amperios. En la figura 18 se muestra los valores de corriente a diferentes valores de voltaje [19].

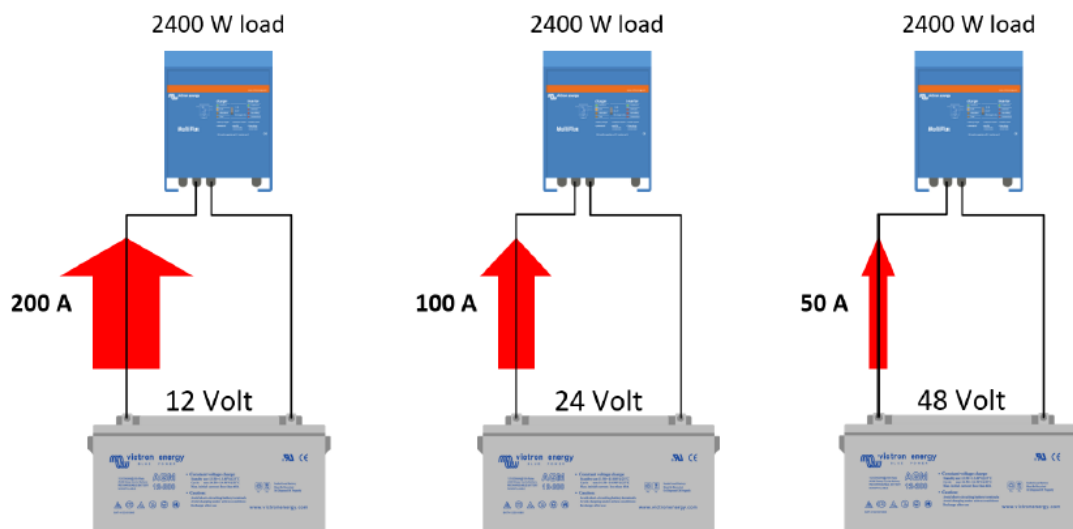


Figura 18. Valores de corriente a diferentes voltajes. Fuente: [19]

La segunda característica es la profundidad de descarga (DOD), la mayoría de controladores tienen programado un set point del 40% el porcentaje depende de la época del año, el lugar a utilizar y del tipo de batería a utilizar [17].

Otra característica importante es los días de autonomía del sistema, lo que este parámetro indica es cuantos días el sistema puede funcionar sin necesidad de recibir irradiación solar por oscuridad o durante días nublados de baja irradiación, para los cálculos en lugares nublados se coloca tres días de autonomía, mientras que en lugares soleados uno o dos días.



En el dimensionamiento propuesto se selecciona un voltaje de 24 V para disminuir la corriente del banco, dejar una reserva para de ampliar la potencia instalada en caso de que los usuarios lo crean necesario y tengan los medios económicos. Para el dimensionamiento del acumulador se utiliza las ecuaciones 6 y 7, la capacidad se calcula en Wh y en Ah respectivamente, estos datos son necesarios para la compra de equipos.

$$C_{ne}(Wh) = \frac{C_{md} * N}{P_{dm}} \quad (8)$$

$$C_{ne}(Wh) = \frac{1556 * 2}{0.75} = 4149 Ah$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}}{V_{bat}} \quad (9)$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{4149}{24} = 172 Ah$$

Donde,  $C_{ne}$  es la capacidad del banco de batería medido en Wh y en Ah,  $C_{md}$  es el consumo medio diario de la vivienda,  $N$  son los días de autonomía,  $P_{dm}$  es la profundidad descarga,  $V_{bat}$  es el voltaje de las baterías.

Para conseguir el voltaje de 24 V, es necesario conectar dos baterías en serie de 12V como se muestra en la figura 19, en la imagen se conectan baterías de 12 V, 200 Ah del fabricante Victron Energy.



Figura 19. Baterías conectadas en serie

### 3.5.7 Dimensionamiento del controlador de carga

El dispositivo se encarga de controlar la carga y descargas de las baterías es el controlador de carga, además de regular el voltaje de entrada proveniente del panel solar, la selección del equipo se realiza por la corriente que circula por el equipo y la potencia del generador fotovoltaico[17].

Para evitar mal funcionamiento del sistema por picos de corriente debido al cambio de la radiación solar se recomienda brindar un factor de seguridad al equipo con un margen en positivo del 20% al 25% de la corriente nominal de operación [18].

Mediante la ecuación 10 se calcula la corriente de entrada del controlador de carga más el margen de seguridad del 25%

$$I_{cc} = Fsg * I_{sc} * N_p \quad (10)$$

$$I_{cc} = 1.25 * 10 * 1 = 12.5 A$$

Donde,  $I_{cc}$  es la corriente que soporta o de entrada del regulador,  $I_{sc}$  es la corriente de cortocircuito del modulo solar,  $N_p$  es el número de modulos solares en paralelo y  $F_s$  es el factor de seguridad del 25%.

Mientras que para conocer el valor de la corriente de salida del controlador se usa la ecuación 11, se considera el voltaje de regulado del controlador

$$I_{sal} = \frac{Fsg * (P_{DC} + \frac{P_{AC}}{n_{inv}})}{V_{bat}} \quad (11)$$

$$I_{sal} = \frac{1,25 * (0 + \frac{595(W)}{0,9})}{24V}$$

$$I_{sal} = 34,4 A$$

Donde,  $P_{DC}$  es la sumatoria de potencia de carga en DC,  $P_{AC}$  es la sumatoria de potencia en AC.

### 3.5.8 Dimensionamiento del inversor

Todos los electrodomésticos que posee la vivienda funcionan en corriente alterna por tal razón es necesario la colocación de un inversor aislado al no estar conectado a la red convencional, para la selección del equipo se considera los siguientes parámetros: La potencia nominal, voltaje de entrada, voltaje de salida, frecuencia de trabajo etc.

Para dimensionar el tipo de inversor a utilizar y la potencia del mismo se utiliza la ecuación 12.

$$P_{inv} = 1,2 * P_{AC} \quad (12)$$

$$P_{inv} = 1,2 * 595$$

$$P_{inv} = 714 W$$

Mientras que en la figura 20 se muestra las terminales del inversor, tiene una entrada de 24VDC y la salida es de 120 VAC, es necesario la conexión a puesta tierra y el tipo de funcionamiento según la tecnología del inversor (eco-normal).

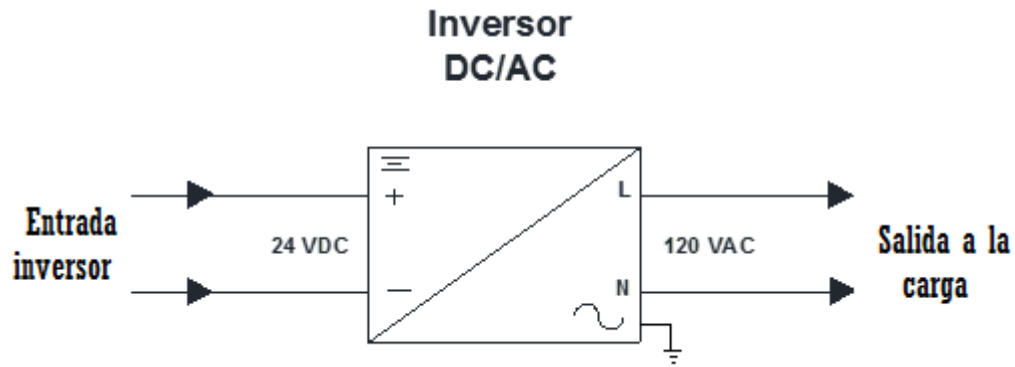


Figura 20. Esquema de conexión del inversor. Fuente: Los autores

### 3.6 Sistema fotovoltaico propuesto

Concluido los cálculos del dimensionamiento se procede a contactar con los proveedores locales para conocer la oferta que se apegue a las necesidades y dimensionamiento teórico, los componentes a adquirir son los siguientes.

- 1 panel solar fotovoltaico Jink Solar JKM405-72H-V 405 Wp.
- 1 controlador de carga Victron Energy SmartSolar MPPT-75/15.
- 2 baterías Ritar Power 12Vdc 100AH.
- 1 inversor Phoenix 24/500.

En la figura 20, se muestra el diagrama o esquema de un sistema fotovoltaico sin conexión de red.

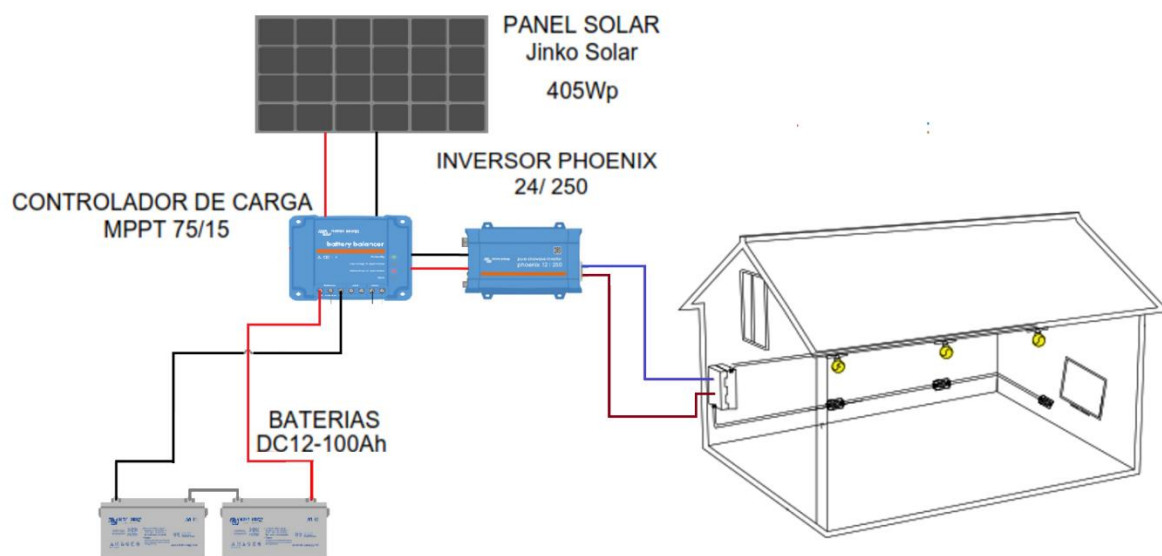


Figura 21. Esquema de conexión del sistema solar. Fuente: Los autores

### 3.7 Plano arquitectónico de la vivienda

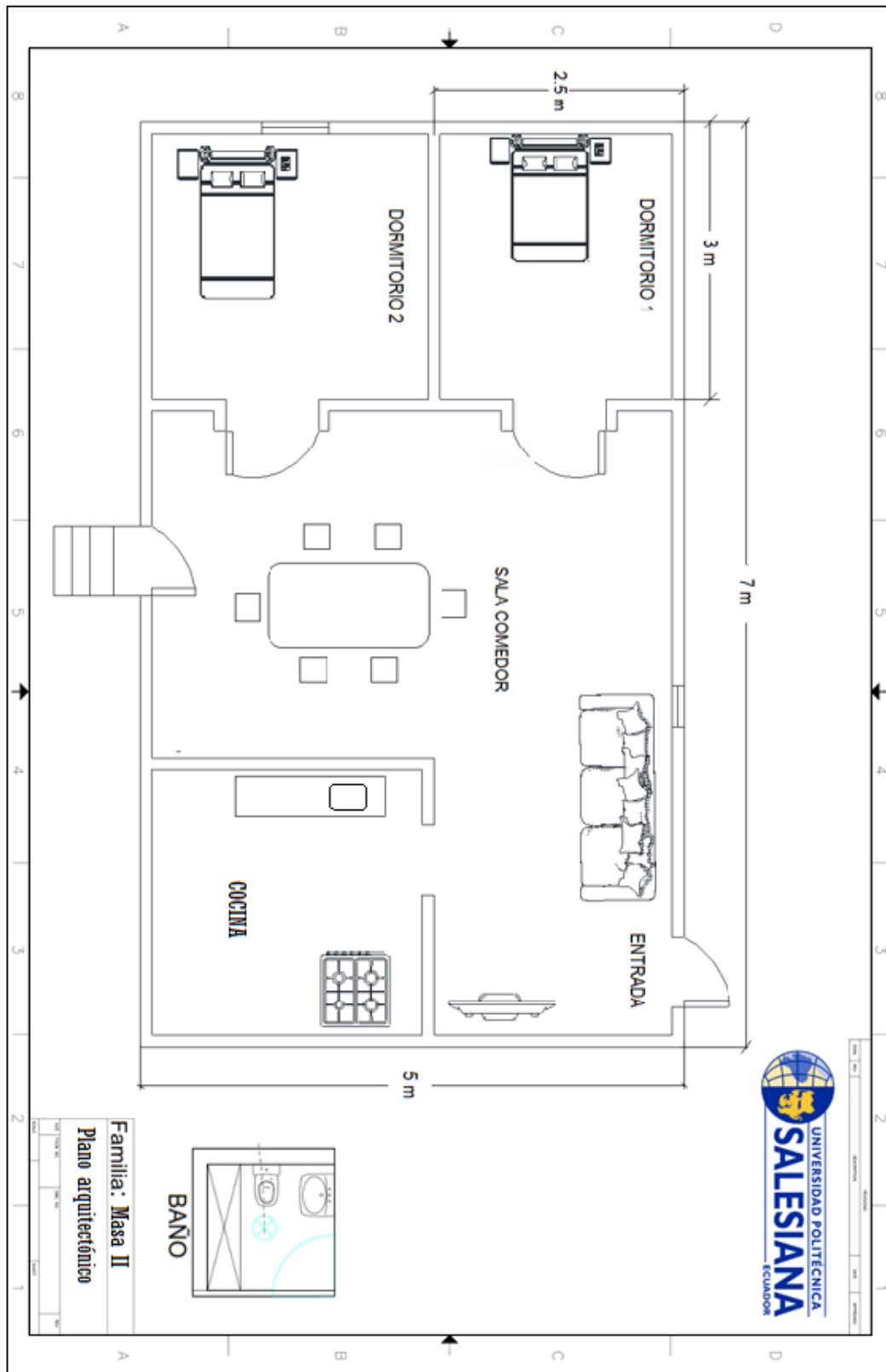


Figura 22. Plano arquitectónico de la vivienda. Fuente: Los autores

### 3.8 Diagrama unifilar de la vivienda

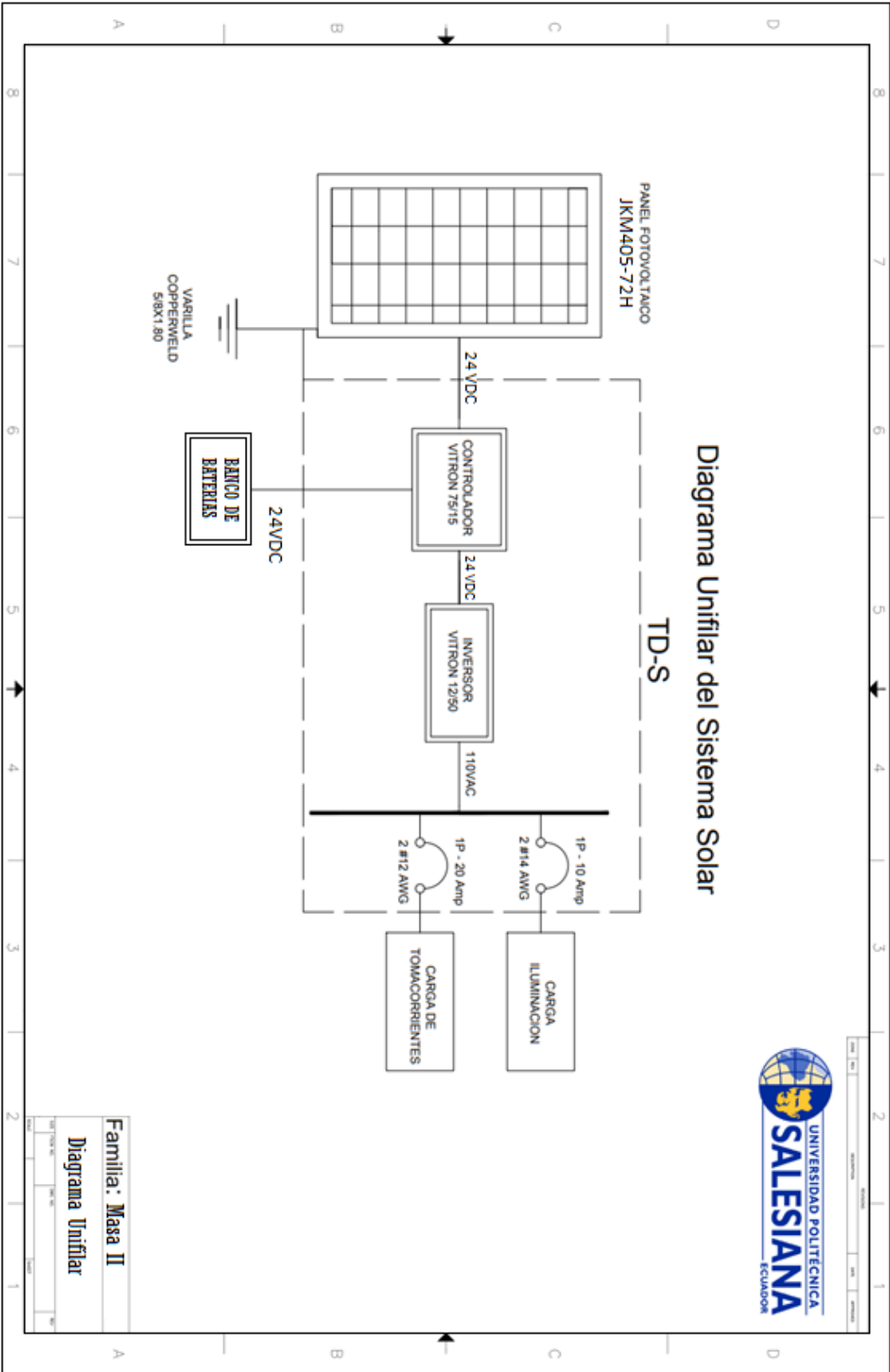


Figura 23. Diagrama unifilar del sistema solar. Fuente: Los autores

## 4. SIMULACIÓN EN SOFTWARE PVSYST

### 4.1 Dimensionamiento y simulación en PVsyst

Varios softwares se tienen a disposición para el dimensionamiento y simulación de sistemas fotovoltaicos, entre los programas más usados se encuentran PVsol, HOMER, PVsyst, Hybrid 2, Retscreen, cada uno tiene unas ventajas sobre otros, la mayoría de los programas permite el uso de la versión demo por 30 días. Luego de la comparación y análisis, el software que más se ajusta a las necesidades es PVsyst, las ventajas que se encontró es la facilidad en la programación, la rapidez y sencillo procedimiento para el dimensionamiento técnico, el pre dimensionamiento como guía que presenta, la amplia librería con componentes comerciales y la evaluación económica.

Durante la simulación que dura menos de un minuto, el programa plantea diferentes escenarios para analizar los comportamientos de cada uno de los componentes o del sistema completo a corto plazo, el rendimiento energético es similar al experimental, el análisis económico toma en cuenta todas las posibilidades y costos ocultos para la implementación. En la figura 25 se muestra la pantalla principal para la selección del sistema a dimensionar



Figura 24. Selección del tipo de proyecto a dimensionar. Fuente [20]



Una vez ingresado las variables de entrada como son el lugar de implementación (datos meteorológicos), ángulo e inclinación del panel solar y la demanda del usuario, el software calcula pre dimensionamiento del sistema, con la guía se selecciona los paneles solares fotovoltaicos por potencia, tipo o voltaje desde la librería de componentes comerciales, se sigue un procedimiento igual para la selección de baterías, controlador de carga. En caso de algún error por nivel de voltaje o potencia el programa no avanza hasta el siguiente paso y le indica el error en que se incurre. El inversor no está considerado en los sistemas aislados, el cálculo y selección se realiza de forma independiente.

Al completar la selección de elementos, el programa por medio de colores envía mensajes de advertencia o error en la selección de componentes, los colores son rojo donde no se puede iniciar la simulación, amarillo indica un mensaje de advertencia y en verde se puede correr la simulación [20].

## 4.2 Variables meteorológicas

El lugar de la implementación es Masa 2, el tipo de sistema es aislado al no tener conexión a la red convencional, para descargar las variables meteorológicas se necesita ingresar las coordenadas del lugar o ubicarse por medio de un mapa interactivo como se muestra en la figura 25.

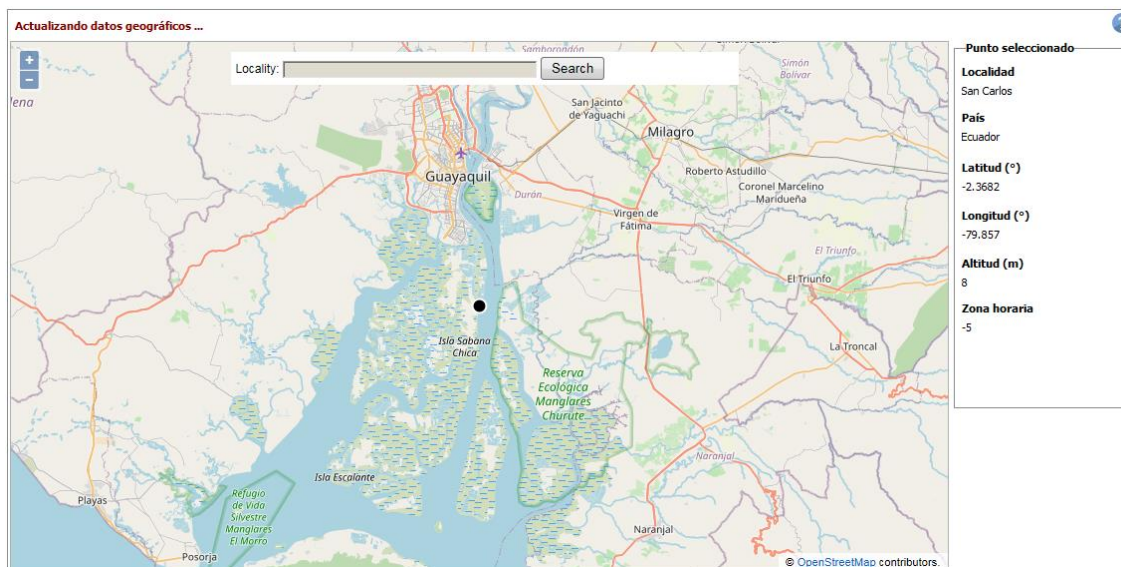


Figura 25. Ubicación del lugar de implementación. Fuente [20]

Al confirmar el punto seleccionado se procede a descargar las variables meteorológicas de cualquiera de las bases que posee el programa, las bases son Meteonorm, Pvgis o de la Nasa, para facilidad del diseñador las unidades de irradiación se presentan en cinco unidades, la más común y utilizada son los kWh/m<sup>2</sup>/día. Guardado el proyecto y la base sintética se descarga las siguientes variables: irradiación horizontal global, irradiación difusa horizontal, temperatura, humedad relativa y la velocidad de viento. La figura 26 detalla mensualmente los valores meteorológicos.

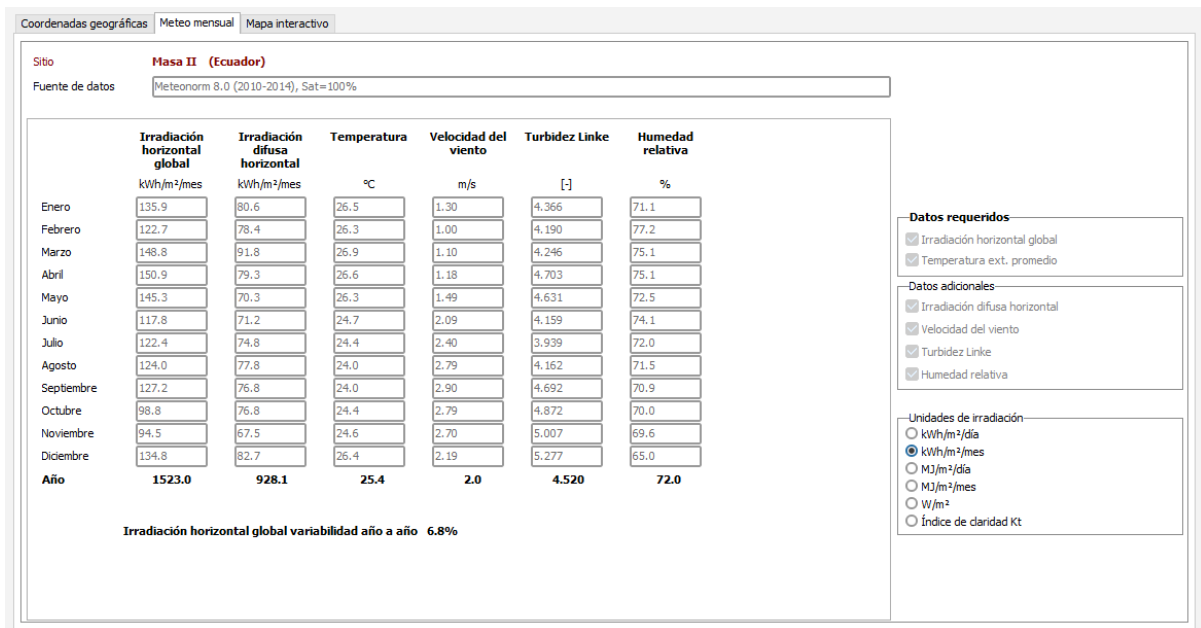


Figura 26. Descarga de variables meteorológicas en Masa II. Fuente [20]

Con la información descargada y guardada se procede a definir la orientación e inclinación del panel fotovoltaico, las condiciones de la vivienda no soportan el peso del panel solar, por lo tanto, se ubica sobre una base sólida solar como se muestra la figura 39, el generador fotovoltaico tiene una inclinación de 15 grados y una orientación de 0 grados respecto al sur.

La energía disponible sobre el plano colector es 1525 kWh/m<sup>2</sup> con una pérdida del -0.2% respecto al óptimo, con la inclinación seleccionada los paneles solares tienen una menor acumulación de polvo y el agua de lluvia no se acumula en la superficie.

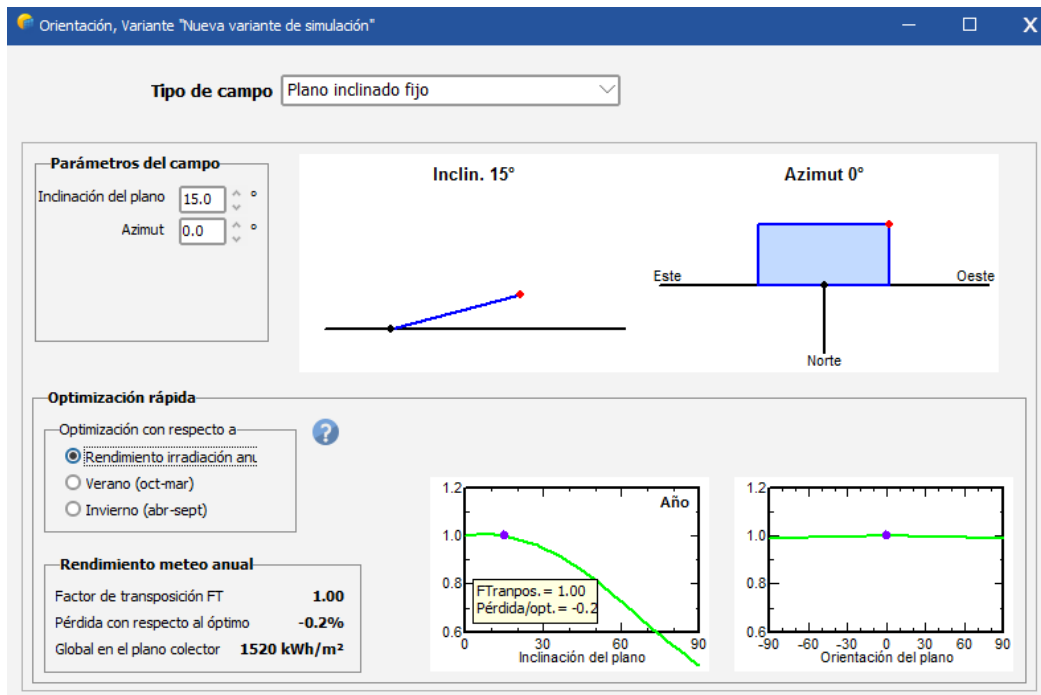


Figura 27. Orientación e inclinación del panel solar. Fuente [20]

El siguiente paso es ingresar todos los consumos o cargas que tiene la vivienda, junto a la distribución horaria, esta opción es una de las mejoras que tiene el programa respecto a otro tipo de software con lo cual asegura el suministro de la energía con el tamaño exacto del sistema.

En la figura 28 se muestra los consumos de la vivienda, la información es levantada en la visita de campo que se realizó, el electrodoméstico que tiene un mayor consumo es la lavadora 400 W, se recomienda utilizar lo menos posible el electrodoméstico, para evitar la descarga de las baterías.

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	Lámparas (LED o fluo)	9 W/lámpara	4.0 h/día	OK	180 Wh
1	TV / PC / móvil	100 W/apar.	4.0 h/día	OK	400 Wh
1	Lavadora	400 W/apar.	1.0 h/día	OK	400 Wh
0	Nevera / congelación profunda	0.00 kWh/día	24.0		0 Wh
1	Direct TV	15.0 W/prom	4.0 h/día	OK	60 Wh
1	Telefono	20 W/apar.	2.0 h/día	OK	40 Wh
0	Otros usos	0 W/apar.	0.0 h/día		0 Wh
Consumidores en espera		0	W tot	24 h/día	0 Wh
<b>Energía diaria total</b>					<b>1080 Wh/día</b>
<b>Energía mensual</b>					<b>32.4 kWh/mes</b>

Info aparatos

**Definición de consumo por**

Años  Estaciones  Meses

**Fin de semana o uso semanal**

Usar solo durante

7 días en una semana

Figura 28. Ingreso de consumo y horas de utilización. Fuente [20]

## 4.3 Selección de los elementos del sistema fotovoltaico

### 4.3.1 Selección del banco de baterías

La selección de los elementos del sistema solar se realiza en base al pre dimensionamiento entregado por el software, y se muestra en la parte superior color rosa de la figura 29, con dos días de autonomía el banco de batería necesita una capacidad de 106 Ah a 24 V, la potencia fotovoltaica sugerida es 435 W<sub>p</sub>, las necesidades diarias son de 1.1 kWh/día.

Con la información relevante obtenida, se procede al dimensionamiento con los elementos comerciales de la librería, el primer elemento en ingresar son las baterías. Se escoge del fabricante Volta que tiene características similares a las distribuidas localmente de marca Ritar, la capacidad es de 100 Ah, a 12 V, tipo AGM, el banco de baterías conformado por dos baterías en serie tiene las siguientes características: Una capacidad global de 100 Ah, la energía almacenada al 80% de profundidad de descarga es de 1.9 kWh, el número de ciclos a igual cantidad de descarga es de 237 con lo cual se asegura algunos años de funcionamiento.

La energía que maneja el banco de acumulación es de 506 MWh, se necesita 12 elementos para la instalación.

Definición de sistema independiente, Variante "Nueva variante de simulación", Variant "Nueva variante de simulación"

Necesidades diarias prom. Ingrese PLOL aceptado 5.0 %  
 1.1 kWh/día Ingrese autonomía solicitada 2.0 día(s)  
 Voltaje de la batería (usuario) 24 V  
 Capacidad sugerida 106 Ah  
 Potencia FV sugerida 442 Wp (nom.)

Almacenamiento Conjunto FV Respaldo Esquema Simplificado

**Procedimiento**  
 Las sugerencias de pre-dimensionamiento se basan en el meteo mensual y la definición de necesidades del usuario  
 1. - Pre-dimensionamiento Defina las condiciones de pre-dimensionamiento deseadas (PLOL, autonomía, voltaje de la batería)  
 2. - Almacenamiento Defina la batería (las casillas de verificación predeterminadas se acercarán al pre-dimensionamiento)  
 3. - Diseño del conjunto FV Diseñe el conjunto FV (módulo FV) y el modo de control. Se recomienda comenzar con un controlador universal.  
 4. - Respaldo Defina un grupo electrógeno eventual

**Especifique el conjunto de batería**  
 Ordenar baterías por  voltaje  capacidad  fabricante  
 Volta 12 V 100 Ah Pb Sealed Tub Volta 6SB100  
 Todas las tecnolog.  
 baterías en series Número de baterías 2  
 baterías en paralelo Número de elementos 12  
 100.0 % Estado inicial de desgaste (núm. de ciclos) Energía total almacenada durante la vida útil de la batería 506 MWh  
 100.0 % Estado inicial de desgaste (estático)

**Temperatura de funcionamiento de la batería:**  
 Modo de temperatura Fijo (aire acondicionac)  
 Temperatura fija 20 °C  
 La temperatura de la batería es importante para el envejecimiento de la batería. Un aumento de 10 °C divide la vida útil de la batería "estática" por un factor de dos.

**Por favor elija el módulo FV !**

Figura 29. Selección de elementos del SF. Fuente [20]

### 4.3.2 Selección del panel solar

Ahora el turno de selección corresponde al panel solar fotovoltaico, de forma comercial se obtiene del fabricante Jinko con una potencia nominal de 405 Wp, la ficha técnica indica los siguientes parámetros técnicos medidos en pruebas de condiciones estándar (STC), el voltaje de circuito abierto (VOC) es de 50.10 V, el voltaje máximo a una irradiancia de 1000 W/m<sup>2</sup> es sobre los 40 V, la corriente medida en corto es de 10 A mientras que la corriente en el punto máximo es de 9.65 A.

El modelo del panel es JKM 405M-72H, las primeras tres letras significan módulo Jinko, los siguientes tres números y letra es la potencia 405 W y el tipo de célula (M)

monocristalino, finalmente los dos números indican el número de células solares, el panel tiene una eficiencia del 22.7% lo cual lo convierte en unos de los paneles con mayor eficiencia que se distribuye en el país. En la figura 30 se muestra el detalle técnico del panel solar utilizado.

**Definición de un módulo FV**

Datos básicos | Tamaños y tecnología | Parámetros del modelo | Datos adicionales | Comercial | Gráficos

Modelo: JKM405M-72H      Fabricante: Jinkosolar  
Nombre de archivo: Jinko\_JKM\_405M\_72H.PAN      Fuente datos: Datasheets 2020  
Base de datos PVsyst original      Prod. desde 2020

Potencia nom. (en STC): 405.0 Wp      Tol. +/-: 0.0 / 3.0 %  
Tecnología: Si-mono

**Especificaciones del fabricante o otras medidas**

Condiciones de referencia	GRef	1000	W/m <sup>2</sup>	TRef	25	°C
Corriente de cortocircuito	Isc	10.480	A	Circuito abierto Voc	50.10	V
Punto de Potencia máx.	Imp	9.650	A	Vmpp	42.00	V
Coeficiente de temperatura	muIsc	5.2	mA/°C	<b>Núm. de células</b>	<b>72 x 2</b>	
	o muIsc	0.050	%/°C			

**Resumen del modelo**

**Parámetros principales**

Derivación R	300 Ω
Rderiv(G=0)	1200 Ω
<b>Modelo serie R</b>	<b>0.32 Ω</b>
Serie R máx.	0.33 Ω
Serie R aparente	0.50 Ω

**Parámetros del modelo**

Gamma	0.999
IoRef	0.02 nA
muVoc	-151 mV/°C
muPMax fijo	-0.36 /°C

**Herramienta de resultado del modelo interno**

Condiciones de operación	GOper	1000	W/m <sup>2</sup>	TOper	25	°C
Punto de Potencia máx.	Pmpp	406.9	W	Coef. temper.	-0.35	%/°C
Corriente	Imp	9.89	A	Voltaje Vmpp	41.1	V
Corriente de cortocircuito	Isc	10.48	A	Circuito abierto Voc	50.1	V
Eficiencia	/ Área células	22.79	%	/ Área módulo	20.22	%

Figura 30. Características técnicas del panel solar. Fuente [20]

### 4.3.3 Selección del controlador de carga

Debido al voltaje del panel solar 42 V no se puede conectar al un controlador de carga tipo PWM, el único controlador a conectarse es tipo MPPT, para que soporte el voltaje el valor mínimo es de 50 V, el dispositivo que se adquiere localmente es de 75V, 15 A y soporta una potencia de 400 W.

Cuenta con dos controles, el externo gestiona la carga sin generador de respaldo, el interno controla el voltaje de la batería para que cargue en los tres modos de operación bulk, absorción y flotación. En la figura 31 se detalla todas las características del regulador de carga.

Figura 31. Parámetros técnicos del controlador de carga. Fuente [20]

#### 4.3.4 Selección del inversor de red

PVSyst no considera el inversor de red en sistemas aislados, pero debido al tipo de carga es necesario la implementación, el dispositivo funciona con una entrada de 24 V y la salida de 110V, el modelo del equipo escogido es Victron Phoenix 24V 250VA, el fabricante presenta una tecnología madura, con funciones de monitoreo incorporado, y una alta potencia de arranque.

Es configurable para los niveles de alarma y se reestablece automáticamente por el nivel de tensión baja de la batería, la frecuencia de salida se configura a 50 o 60 Hz y tiene un modo de funcionamiento ECO. La fiabilidad es probada gracias al

transformador toroidal y la topología tipo puente, tiene protección contra sobrecalentamiento.

#### 4.4 Simulación del sistema

El esquema con los componentes completos se muestra en la figura 32, al ser compatibles todos los elementos y se puede iniciar la simulación.

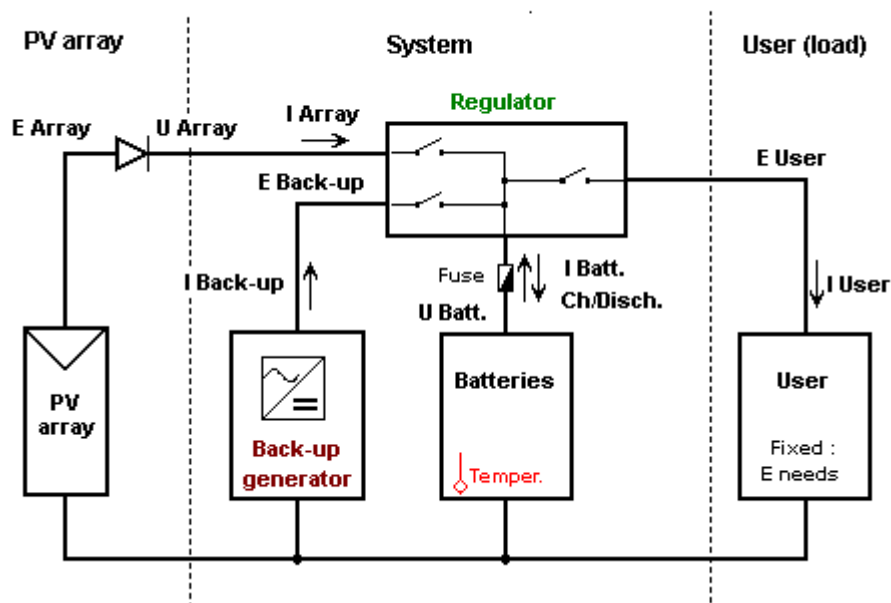


Figura 32. Componentes del esquema solar fotovoltaico. Fuente [20]

El programa en un corto periodo de simulación entrega un completo informe donde se indica desde el resumen del proyecto hasta la evaluación económica y el rendimiento energético para un año. En la figura 32 se detalla las características de los componentes del sistema, se considera un solo panel fotovoltaico para el generador, las dos unidades de baterías están conectadas en serie son de plomo acido.

El controlador Victron MPPT 75/15, tiene una eficiencia del 97%, el control de voltaje está en el rango de 23.6 V para la descarga y 27.4 V por sobre carga con una profundidad de descarga del 20% y 92% respectivamente.

La energía específica es de 1241 kWh/kWp/año, la energía disponible es de 502 kWh/año y la energía usada por la carga es de 370 kWh/año.





**PVsyst V7.2.8**  
VC0, Fecha de simulación:  
12/03/22 12:02  
con v7.2.8

## Proyecto: Masa II.v2

Variante: Nueva variante de simulación

Resumen del proyecto					
<b>Sitio geográfico</b>		<b>Situación</b>		<b>Configuración del proyecto</b>	
<b>Masa II</b>		Latitud	-2.37 °S	Albedo	0.20
Ecuador		Longitud	-79.86 °W		
		Altitud	8 m		
		Zona horaria	UTC-5		
<b>Datos meteo</b>					
Masa II					
Meteonorm 8.0 (2010-2014), Sat=100% - Sintético					

Resumen del sistema					
<b>Sistema independiente</b>			<b>Sistema independiente con baterías</b>		
<b>Orientación campo FV</b>			<b>Necesidades del usuario</b>		
Plano fijo			Consumidores domésticos diarios		
Inclinación/Azimut 15 / 0 °			Constante durante el año		
			Promedio 1.1 kWh/Día		
<b>Información del sistema</b>					
<b>Conjunto FV</b>					
Núm. de módulos		1 Unidad	<b>Paquete de baterías</b>		
Pnom total		405 Wp	Tecnología	Plomo-ácido, sellado, tubular	
			Núm. de unidades	2 unidades	
			Voltaje	24 V	
			Capacidad	100 Ah	

Resumen de resultados					
Energía disponible	502.5 kWh/año	Producción específica	1241 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	60.51 %
Energía usada	370.4 kWh/año			Fracción solar (SF)	93.96 %

Tabla de contenido	
Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del conjunto FV, Pérdidas del sistema.	3
Necesidades detalladas del usuario	5
Resultados principales	6
Diagrama de pérdida	7
Gráficos especiales	8

Figura 33. Parámetros técnicos generales del SF. Fuente [20]

Las características técnicas y pérdidas del conjunto se muestran en la figura 34 la pérdida por calidad del módulo es mínima con un -0.8% mientras que por el ángulo de ubicación o desajuste es del 2% en el punto de máximo de potencia, las pérdidas por el tipo de conductor que se utiliza entre los paneles, controlador y batería es del 1.5% este valor se obtiene en pruebas de condiciones estándares.



PVsyst V7.2.8

VC0, Fecha de simulación:  
12/03/22 12:02  
con v7.2.8

Proyecto: Masa II.v2

Variante: Nueva variante de simulación

Parámetros generales			
<b>Sistema independiente</b>		<b>Sistema independiente con baterías</b>	
<b>Orientación campo FV</b>		<b>Configuración de cobertizos</b>	
<b>Orientación</b>		Sin escena 3D definida	
Plano fijo		<b>Modelos usados</b>	
Inclinación/Azimut	15 / 0 °	Transposición	Perez
		Difuso	Perez, Meteonorm
		Circunsolar	separado
<b>Necesidades del usuario</b>			
Consumidores domésticos diarios			
Constante durante el año			
Promedio	1.1 kWh/Día		
Características del conjunto FV			
<b>Módulo FV</b>		<b>Batería</b>	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	JKM405M-72H	Modelo	Volta 6SB100
(Base de datos PVsyst original)		Tecnología	Plomo-ácido, sellado, tubular
Unidad Nom. Potencia	405 Wp	Núm. de unidades	2 en series
Número de módulos FV	1 Unidad	Descarga mín. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	405 Wp	Energía almacenada	1.9 kWh
Módulos	1 Cadena x 1 En series	<b>Características del paquete de baterías</b>	
<b>En cond. de funcionam. (50°C)</b>		Voltaje	24 V
Pmpp	370 Wp	Capacidad nominal	100 Ah (C10)
U mpp	37 V	Temperatura	Fijo 20 °C
I mpp	9.9 A		
<b>Controlador</b>		<b>Control de gestión de la batería</b>	
Fabricante	Generic	Comandos de umbral como	Voltaje de batería
Modelo	SmartSolar MPPT 75/15 24V	Cargando	26.8 / 25.1 V
Tecnología	Convertidor MPPT	SOC corresp.	0.90 / 0.75
Coef. temp.	-2.7 mV/°C/Elem.	Descarga	23.5 / 24.4 V
<b>Convertidor</b>		SOC corresp.	0.19 / 0.45
Eficiencias máxi y EURO	98.0 / 96.0 %		
<b>Potencia FV total</b>			
Nominal (STC)	0 kWp		
Total	1 módulos		
Área del módulo	2.0 m <sup>2</sup>		
Área celular	1.8 m <sup>2</sup>		
Pérdidas del conjunto			
<b>Factor de pérdida térmica</b>		<b>Pérdidas de cableado CC</b>	
Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	62 mΩ
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Frac. de pérdida	1.5 % en STC
Uv (viento)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s		
<b>Pérdida de calidad módulo</b>		<b>Pérdidas de desajuste de módulo</b>	
Frac. de pérdida	-0.8 %	Frac. de pérdida	2.0 % en MPP
		<b>Pérdidas de desajuste de cadenas</b>	
		Frac. de pérdida	0.1 %
		<b>Pérdida diodos serie</b>	
		Caída de voltaje	0.7 V
		Frac. de pérdida	1.7 % en STC

Figura 34. Parámetros, características y pérdidas del SF. Fuente [20]

En horas donde no se utiliza la carga y la batería es cargada la energía se desperdicia, el exceso es de 101.4 kWh/año, mientras que en momentos pico donde todas las cargas requieren energía y no es capaz de ser satisfecha tanto por el panel o baterías, la energía faltante es de 23.8 kWh durante todo un año, es necesario que el usuario controle la carga para evitar desabastecimientos energéticos y evitar el uso de

electrodomésticos que no han sido considerados. En la figura 35 se presenta todos los valores y resultados energéticos que están



PVsyst V7.2.8

VC0. Fecha de simulación:  
12/03/22 12:02  
con v7.2.8

Proyecto: Masa II.v2

Variante: Nueva variante de simulación

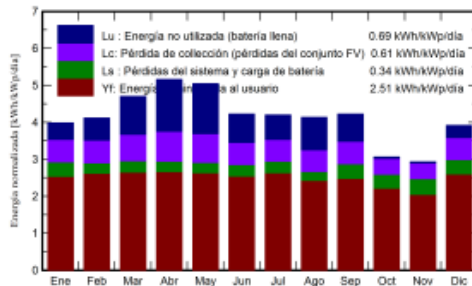
### Resultados principales

#### Producción del sistema

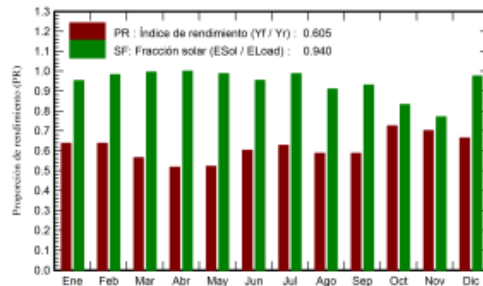
Energía disponible	502.5 kWh/año
Energía usada	370.4 kWh/año
Exceso (sin usar)	101.4 kWh/año
<b>Pérdida de carga</b>	
Fracción de tiempo	7.9 %
Energía faltante	23.8 kWh/año

Producción específica	1241 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento (PR)	60.51 %
Fracción solar (SF)	93.96 %
<b>Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)</b>	
Ciclos SOW	79.5 %
SOW estático	90.0 %

#### Producciones normalizadas (por kWp instalado)



#### Proporción de rendimiento (PR)



#### Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	135.9	119.3	40.67	5.54	1.601	31.88	33.48	0.952
Febrero	122.7	111.8	38.29	6.75	0.519	29.72	30.24	0.983
Marzo	148.8	142.0	48.49	12.78	0.157	33.32	33.48	0.995
Abril	150.9	151.4	51.51	17.04	0.000	32.40	32.40	1.000
Mayo	145.3	153.1	52.04	16.89	0.435	33.04	33.48	0.987
Junio	117.8	123.8	42.58	9.31	1.498	30.90	32.40	0.954
Julio	122.4	127.2	43.74	8.27	0.433	33.05	33.48	0.987
Agosto	124.0	125.2	43.07	11.05	3.013	30.47	33.48	0.910
Septiembre	127.2	123.4	42.30	8.88	2.254	30.15	32.40	0.930
Octubre	98.8	91.8	31.28	0.46	5.626	27.85	33.48	0.832
Noviembre	94.5	85.1	28.63	0.32	7.450	24.95	32.40	0.770
Diciembre	134.8	117.3	39.95	4.08	0.837	32.64	33.48	0.975
<b>Año</b>	<b>1523.0</b>	<b>1471.5</b>	<b>502.53</b>	<b>101.37</b>	<b>23.824</b>	<b>370.38</b>	<b>394.20</b>	<b>0.940</b>

#### Leyendas


GlobHor	Irradiación horizontal global	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E_Load	Necesidad energética del usuario (Carga)
E_Avail	Energía solar disponible	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada / ECarga)
EUnused	Energía no utilizada (batería llena)		
E_Miss	Energía faltante		

Figura 35. Resultados energéticos del sistema solar. Fuente [20]

#### 4.4.1 Evaluación económica

La evaluación económica por medio del costo de la energía es el parámetro considerado punto de inflexión para la toma de decisiones, en la figura 36 se muestra los resultados económicos del sistema, el costo de la implementación es de 1183 dólares, el costo por operación y mantenimiento es de 20 dólares anuales, el costo es bajo debido a que los paneles no tienen partes móviles y solo necesita limpieza.

El costo nivelado de la energía COE es de 0.21 USD/kWh, a pesar que el costo del kWh es de 10 centavos, se tiene que considerar que el sistema es aislado y el precio está dentro de otros estudios realizados [21], [22].



Proyecto: Masa II.v2

Variante: Nueva variante de simulación

**PVsyst V7.2.8**  
 VCO, Fecha de simulación:  
 12/03/22 12:02  
 con v7.2.8

**Costo del sistema**

<b>Costes de instalación</b>			
Artículo	Cantidad unidades	Costo USD	Total USD
Módulos FV			
JKM405M-72H	1	187.00	187.00
Soportes para módulos	1	120.00	120.00
Baterías	2	233.00	466.00
Controladores			150.00
Otros componentes			
Accesorios, sujetadores	1	80.00	80.00
Cableado	1	40.00	40.00
Caja de conexiones	1	30.00	30.00
Instalación			
Costo de instalación global por módulo	1	80.00	80.00
Transporte	1	30.00	30.00
<b>Total</b>			<b>1183.00</b>
Activo amortizable			1003.00

<b>Costos de operación</b>	
Artículo	Total USD/año
Mantenimiento	
Salarios	20.00
<b>Total (OPEX)</b>	<b>20.00</b>

<b>Resumen del sistema</b>	
Costo total de instalación	1183.00 USD
Costos de operación	20.00 USD/año
Exceso de energía (batería llena)	101 kWh/año
Energía solar usada	370 kWh/año
Costo energético usado	0.214 USD/kWh

Figura 36. Resultados económicos del sistema fotovoltaico. Fuente [20]

## 4.2 Implementación del sistema solar en Masa II

Conocido el tipo de terreno, coordenadas de la vivienda se procede a la fabricación de la base que soporta el panel solar como se muestra en la figura 37, el tubo utilizado es de 3 pulgadas galvanizado, la base es de metal en plancha cuadrada de 20 cm por lado y el espesor de 6mm.



Figura 37. Construcción de la base del panel solar. Fuente: Los autores

El terreno donde se encuentra ubicada la vivienda es de relleno, por lo tanto, es necesario que la base sea fundida en concreto, resista el tipo de clima, la salinidad del ambiente e inundaciones en caso de lluvia o que la marea suba, en la figura 38 se muestra la estructura y el método de fundición junto a la vivienda intervenida.



Figura 38. Fundición de la estructura que soporta la base del panel. Fuente: Los autores

Completo el proceso de fundición de la columna que tiene una altura de 3 m se procede a la colocación del panel solar a una inclinación de  $15^\circ$  con orientación hacia el sur, en la figura 39 se observa a los autores ubicación al panel sobre la estructura, desde allí se conecta la acometida en conductor #12 hacia el controlador de carga,



Figura 39. Colocación y conexión del panel solar fotovoltaico. Fuente: Los autores

El controlador de carga, inversor y banco de baterías se colocan en una estructura abierta dentro de la vivienda como se muestra en la figura 40, con los elementos asegurados se inicia la conexión de los mismo, para evitar daños en los equipos primero se conecta el banco de baterías en el controlador de carga, luego el panel solar.

Finalmente, el inversor, para la desconexión se invierte el proceso. Se utiliza un interruptor termo magnético para proteger sobre corriente o corto circuitos el regulador, la protección se coloca entre el panel y el controlador de carga.



Figura 40. Conexión de los elementos del sistema solar. Fuente: Los autores

La instalación eléctrica residencial de la vivienda se encuentra en malas condiciones por lo tanto se procede a realizar una nueva instalación siguiendo la norma técnica y utilizando tubería plástica para proteger a los conductores, como se muestra en la figura 41.



Figura 41. Instalación eléctrica residencial. Fuente: Los autores



Se coloca un panel de protecciones 2-4 con dos circuitos como se proyectó en la unidad anterior, para el circuito de iluminación como para el circuito de tomacorrientes.

Concluida la instalación eléctrica y la conexión del sistema solar fotovoltaico se procede con las pruebas de funcionamiento, en la imagen 42 se muestra encendida una de las luminarias de la vivienda y se comprueba el voltaje en cada uno de los tomacorrientes.



Figura 42. Luminaria encendida en la vivienda. Fuente: Los autores

Luego de dos semanas de funcionamiento se regresa a la vivienda para comprobar el funcionamiento del sistema, el controlador de carga tiene incorporado una conexión bluetooth para cualquier dispositivo Android con lo cual se puede monitorear el funcionamiento del sistema incluso tiene un historial almacenado de una semana atrás.

En la figura 43 se muestra el interfaz de victron connect, tiene tres pantallas, el estado donde indica la potencia, voltaje y corriente generada por el panel solar, la tensión y corriente de las baterías y en qué modo de funcionamiento se encuentra, la segunda

pantalla es el historial con un registro de hasta 7 días de información y finalmente en la pantalla de tendencias se observa la curva de funcionamiento.



Figura 43. Estado del sistema solar. Fuente [20]

## CONCLUSIONES

En la propuesta de titulación se presenta la implementación de un sistema de generación solar fotovoltaica para satisfacer energéticamente una vivienda que se encuentra sin el servicio de la empresa pública debido a que se encuentra en una isla del golfo de Guayaquil. La propuesta es diseñada y calculado de dos maneras, en la primera se realiza cálculos matemáticos para el dimensionamiento técnico, sin embargo, la exactitud de los resultados carece de confiabilidad por no considerar el horario de uso de los electrodomésticos, ni tampoco se refleja información del funcionamiento del sistema durante el funcionamiento del mismo.

En la segunda metodología se utiliza el software PVSyst para el dimensionamiento y simulación del sistema, presenta varias ventajas desde usar una base meteorológica, distribución horaria de la carga, evaluación económica etc. Por medio del uso de estas herramientas se logró cumplir los siguientes objetivos:

Por medio de varias visitas realizadas a la comunidad y específicamente a la vivienda se levantó información del consumo energético, donde se registró, evaluó y analizo los tipos de carga, adicional se decidió cambiar en su totalidad la instalación eléctrica residencial.

El segundo objetivo se cumple al analizar el estado del arte y utilizar una de las diferentes bases de datos meteorológicas para conocer si los niveles de radiación promedio existe en la localidad es rentable para proponer e implementar sistemas de energía fotovoltaica.

El último objetivo se cumple al diseñar el esquema del sistema solar, el unifilar del sistema eléctrico a implementar, el diseño es validado y simulado en el software PVSyst, el costo de la energía es de 0.21 USD/kWh.

Al cumplir los objetivos específicos planteados se cumple el objetivo principal que es presentar una propuesta para la implementación de un sistema fotovoltaico aislado para satisfacer las necesidades energéticas de la vivienda.

## **RECOMENDACIONES**

Al realizar el trabajo de titulación y palpar la realidad de muchas personas que viven en lugares remotos y aislados, recomendamos seguir animando a los estudiantes para ofrecer soluciones energéticas y darles una posibilidad de desarrollo.

En la parte técnica se recomienda capacitar a un grupo de pobladores para que puedan evaluar y solucionar fallas de funcionamiento del sistema, debido a la distancia y costos de reparación es complejo que técnicos capacitados puedan visitarlos con frecuencia.

## REFERENCIAS

- [1] J. G. Rueda-Bayona, A. Guzmán, J. J. C. Eras, R. Silva-Casarín, E. Bastidas-Arteaga, and J. Horrillo-Caraballo, “Renewables energies in Colombia and the opportunity for the offshore wind technology,” *J. Clean. Prod.*, vol. 220, pp. 529–543, May 2019.
- [2] M. Baneshi and F. Hadianfard, “Techno-economic feasibility of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for non-residential large electricity consumers under southern Iran climate conditions,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 127, pp. 233–244, Nov. 2016.
- [3] ZYTECH, “Célula solar fotovoltaica y el efecto fotoeléctrico.” [Online]. Available: <http://zytech.es/que-es-una-celula-solar-y-el-efecto-fotoelectrico/>. [Accessed: 13-Apr-2019].
- [4] Sfe-Solar, “Radiación Solar | Tipos, conceptos y aplicaciones,” 2021. [Online]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/radiacion-solar/>. [Accessed: 17-Jan-2022].
- [5] “Funcionamiento de las células solares fotovoltaicas, en Vivienda.” [Online]. Available: <http://www.revistavivienda.com.ar/empresas/novedades-del-mercado/funcionamiento-de-las-celulas-solares-fotovoltaicas>. [Accessed: 02-Feb-2022].
- [6] “Batería GEL 12V 172Ah Ultracell Frontal | al Mejor Precio Perú.” [Online]. Available: <https://autosolar.pe/baterias-de-gel-12v/bateria-gel-frontal-172ah-ultracell-12v>. [Accessed: 06-Mar-2022].
- [7] “6.2.2.- Volante de inercia.” [Online]. Available: [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/622\\_volante\\_de\\_inercia.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947673/contido/622_volante_de_inercia.html). [Accessed: 06-Mar-2022].
- [8] E. Bullich-Massagué *et al.*, “A review of energy storage technologies for large scale photovoltaic power plants,” *Appl. Energy*, vol. 274, p. 115213, Sep. 2020.
- [9] “Solar Charge Controller Types, Working Functionality and Applications.” [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/solar-charge-controller/>. [Accessed: 04-Mar-2022].
- [10] “¿Qué es un inversor/cargador? | Noticias de energía solar y consejos solares de bricolaje.” [Online]. Available: <https://www.altestore.com/blog/2015/09/what-is-an-invertercharger/#.YiLLBThByUk>. [Accessed: 04-Mar-2022].
- [11] “Kits solares fotovoltaicos | La tienda solar líder [2022].” [Online]. Available: <https://autosolar.pe/kits-solares-fotovoltaicos>. [Accessed: 16-Jan-2022].
- [12] A. Chauhan and R. P. Saini, “Size optimization and demand response of a stand-alone integrated renewable energy system,” *Energy*, vol. 124, pp. 59–73, 2017.
- [13] W. Feng *et al.*, “A review of microgrid development in the United States – A decade of progress on policies, demonstrations, controls, and software tools,” *Appl. Energy*, vol. 228, pp. 1656–1668, 2018.
- [14] R. Luna-Rubio, M. Trejo-Perea, D. Vargas-Vázquez, and G. J. Ríos-Moreno, “Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies,” *Sol. Energy*, vol. 86, no. 4, pp. 1077–1088, 2012.

- [15] "TIPOS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS Placas solares | Energía Solar | Tecnosol." [Online]. Available: <https://tecnosolab.com/noticias/tipos-de-instalaciones-fotovoltaicas-aisladas/>. [Accessed: 04-Mar-2022].
- [16] Asociación Municipal de Colonos del Pato - AMCOP, "Informe de calculos para sistema solar fotovoltaico," *Abb*, 2017.
- [17] P. S. ABAD MARIÑOS and E. A. FLORES MENDO, "DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PLATAFORMA DE DESCARGA DE LA PESQUERA EXALMAR -CHIMBOTE PERÚ," 2016.
- [18] M. Alonso Abella, "Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos - Master en Energías Renovables y Mercado Energético Escuela de Organización Industrial," p. 15, 2011.
- [19] V. Energy, "Charge controllers," 2021. [Online]. Available: <https://www.victronenergy.com/es/upload/documents/Datasheet-BlueSolar-Charge-Controllers-12-24V-LCD&USB-ES.pdf>. [Accessed: 06-Mar-2021].
- [20] Version 6.67, "PV syst Home," 2018. [Online]. Available: <http://www.pvsyst.com/en/>. [Accessed: 04-Jan-2018].
- [21] J. M. Clairand, X. Serrano-Guerrero, A. González-Zumba, and G. Escrivá-Escrivá, "Techno-Economic Assessment of Renewable Energy-based Microgrids in the Amazon Remote Communities in Ecuador," *Energy Technol.*, vol. 10, no. 2, p. 2100746, Feb. 2022.
- [22] P. Arévalo, D. Benavides, J. Lata-García, and F. Jurado, "Techno-economic evaluation of renewable energy systems combining <scp>PV-WT-HKT</scp> sources: Effects of energy management under Ecuadorian conditions," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 30, no. 10, Oct. 2020.