



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE UN  
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL CENTRO  
MÉDICO COMUNITARIO DE PUNTA HACIENDA –  
QUINGEO**

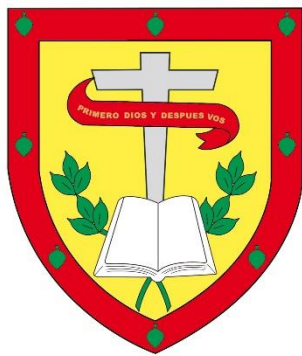
**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTORES: HENRY GEOVANNY MACAS LEÓN Y ALFREDO  
MAURICIO SÁNCHEZ ZHUNIO**

**DIRECTOR: MSc. ING. DANIEL ORLANDO ICAZA ÁLVAREZ  
CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE UN SISTEMA  
SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL CENTRO MEDICO  
COMUNITARIO DE PUNTA HACIENDA – QUINGEO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTORES:**

**MACAS LEÓN HENRY GEOVANNY**

**SANCHEZ ZHUNIO ALFREDO MAURICIO**

**DIRECTOR: MSc. ING. DANIEL ORLANDO ICAZA ÁLVAREZ**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Henry Geovanny Macas León y Alfredo Mauricio Sánchez Zhunio portadores de las cédulas de ciudadanía N° 110438514-9 y 010519456-7. Declaramos ser autores de la obra: “Abastecimiento de energía mediante un sistema solar fotovoltaico para el centro médico comunitario de Punta Hacienda – Quingeo”, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 20 de septiembre de 2022

F: 

Henry Geovanny Macas León  
110438514-9

F: 

Alfredo Mauricio Sánchez Zhunio  
0105194567

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Henry Geovanny Macas León y Sánchez Zhunio Alfredo Mauricio, bajo mi supervisión.



**MSc. Ing. Daniel Orlando Icaza Álvarez**

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi esposa e hijos, mis padres, hermanos quienes me apoyaron durante todo recorrido de mi carrera y cumplir una parte de mis ilusiones en mi vida.

Sin olvidarme de mi tío Miguel León ya que él fue una buena base de apoyo para grandes momentos en los cuales él nunca negó la mano ayuda para salir y seguir adelante.

Y con mucha fe, darle gracias a Dios ya que él fue el primero en todo, en donde él me guio, me ayudó a seguir el camino correcto y justo para llegar a donde él me quería ver.

**Att:** Henry Geovanny Macas León

## DEDICATORIA

Dedico de manera especial este trabajo de investigación primeramente a Dios, quien me dio las fuerzas para seguir adelante para no renunciar a mis metas y sueños.

Por otro lado, quiero dedicar a mis padres Mauro Sánchez y Bertha Zhunio, por su apoyo incansable, por estar a mi lado guiándome, dando ánimos y sobre todo por su amor incondicional, en cada meta, por ser mis ejemplos a seguir, por enseñarme a tener la capacidad y voluntad de lograr todo lo que me proponga.

A mis hermanas Silvia Sánchez y Cristina Sánchez, cuñados y sobrinos, por apoyarme de una o de otra manera incondicionalmente.

A Gabriela Yunga por ser la persona que ha estado apoyándome en las buenas y malas, apoyándome en las noches de desvelo, dándome un aliento para seguir adelante.

Finalmente, a mis docentes y amigos que supieron impartirme sus enseñanzas que fueron pilar fundamental para lograr esta meta.

**Att:** Sánchez Zhunio Alfredo Mauricio

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer a Dios por todas sus bendiciones, a mi esposa por ser mi apoyo incondicional durante toda la trayectoria de mi carrera, a mis hijos por ser inspiración para mejorar cada día.

También dedico a mis padres por sus palabras de aliento y motivación para poder cumplir esta meta en mi vida.

Agradezco también a toda mi familia por su cariño y consejos hicieron que culmine con éxito mi carrera profesional.

De una manera particular a mi compañero de trabajo de titulación Alfredo Sánchez, quien supo apoyarme en este trabajo.

De manera particular agradezco a mi director de tesis Ing. Daniel Orlando Icaza Álvarez, el cual compartió sus conocimientos y su apoyo, guiándome en cada una de las etapas de la tesis para alcanzar los resultados esperados.

Por último, quiero agradecer a la parroquia Quingeo la cual nos supo brindar una honorable confianza y apoyo para poder realizar con seguridad todos los procesos para culminar nuestra tesis.

**Att:** Henry Geovanny Macas León

## **AGRADECIMIENTO**

Al culminar una etapa más de mi vida, quiero agradecer primeramente a Dios por permitirme llegar a cumplir una meta que me ayudará en el proceso de formación personal y profesional.

Además, quiero agradecer a mis padres por ser mis pilares fundamentales para hoy llegar a culminar esta etapa con su apoyo incondicional, a mis hermanas por ser una fuente de apoyo, a mi pareja por brindarme su apoyo constantemente durante el desarrollo de este trabajo. Además, amigos y familiares que contribuyeron con un granito de arena durante esta trayectoria.

Quiero agradecer de una manera especial al Ing. Daniel Orlando Icaza Álvarez, el mismo que puso su empeño, apoyo, experiencia, conocimientos y enseñanza en este proceso de titulación.

De una manera particular a mi compañero de trabajo de titulación Henry Macas, quien supo apoyarme en este trabajo.

Finalmente agradecer particularmente a la Universidad Católica de Cuenca, y a quienes conformamos la misma como autoridades, docentes y compañeros de aula de clases, que conjuntamente logramos adquirir conocimientos, compartir experiencias, anécdotas.

**Att:** Sánchez Zhunio Alfredo Mauricio



## RESUMEN

En la comunidad Punta Hacienda de la parroquia Quingeo de la Ciudad de Cuenca-Azuay existen varios servicios como salud, educación, transporte, etc. Específicamente, el servicio de salud que es brindado en el “centro médico comunitario”, el mismo que fue realizado con material reciclable específicamente de botellas de plástico, que fueron llenadas con arena y posteriormente colocadas como parte de las paredes del centro comunitario. Estas instalaciones cuentan con puntos eléctricos de iluminación y de tomacorrientes los mismos que están alimentados desde las redes de distribución eléctrica de la empresa eléctrica regional Centro Sur C.A.

El objetivo principal de este trabajo de titulación es permitir el uso de la energía solar fotovoltaica y abastecer al centro médico comunitario, logrando así, evitar el pago mensual que genera el consumo eléctrico tradicional. Para esto, se realizó el estudio principal de la radiación solar y temperatura del sector para la instalación de los equipos que permiten generar energía eléctrica. Posteriormente, se procedió con el diseño e implementación del sistema fotovoltaico.

Para asegurar un proceso adecuado de la instalación se realizó la simulación en Simulink Matlab, AutoCAD, Dialux, con el fin de verificar que el sistema fotovoltaico a instalar es eficiente para su posterior implementación. Luego, se realizaron pruebas de los equipos para así obtener un registro de funcionamiento y una guía a seguir para la instalación de todos los equipos, así asegurar una instalación y funcionamiento correcto. Como resultado se obtuvo un sistema fotovoltaico amigable con el ambiente y se logró cubrir la demanda del costo de energía eléctrica.

*Palabras clave:* paneles solares, energía solar, energía eléctrica, sistema fotovoltaico

## ABSTRACT

Several services exist in the Punta Hacienda community of Quingeo parish in Cuenca-Azuay, such as health, education, transportation, etc. Specifically, the health service provided in the "Community Medical Center" was made with recyclable material, specifically plastic bottles, which were filled with sand and then placed as part of the walls of it. These facilities have electrical points for lighting and outlets, which are powered by the electrical distribution networks of the Centro Sur C.A. regional power company.

The main objective of this work is to enable the use of solar photovoltaic energy and supply the community medical center, thus avoiding the monthly payment generated by traditional electricity consumption. For this purpose, a significant study of the sector's solar radiation and temperature was carried out to install the equipment to generate electricity. Subsequently, we proceeded with the design and implementation of the photovoltaic system.

A simulation was performed in Simulink Matlab, AutoCAD, and Dialux to ensure a good installation process and verify that the installed photovoltaic system is efficient for its subsequent implementation. The equipment was then tested to obtain a performance record and a guide to install all equipment to ensure proper setup and operation. As a result, an environmentally friendly photovoltaic system was obtained, and it was possible to cover the demand for the cost of electricity.

*Keywords:* solar panels, solar energy, electrical energy, photovoltaic system

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD .....	III
CERTIFICACIÓN .....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	XI
LISTA DE FIGURAS .....	XVII
LISTA DE TABLAS .....	XXI
LISTA DE ANEXOS .....	XXII
INTRODUCCIÓN .....	XXIII
CAPÍTULO 1.....	1
1.1. Objetivo General.....	1
1.2. Objetivos específicos.....	1
1.3. Alcance .....	1
1.4. Limitación.....	1
1.5. Justificación .....	2
1.6. Propuesta .....	2
1.7. Metodología .....	3
1.8. Estructura del trabajo .....	4

<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. La energía solar fotovoltaica.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. Radiación e irradiación solar .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2.1. Componentes de la irradiancia solar .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3. Efecto fotoeléctrico. ....</b>	<b>8</b>
<b>2.4. Las celdas solares fotovoltaicos .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4.1. Construcciones de celdas solares fotovoltaicas .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.2. Celdas fotovoltaicas monocristalinas y policristalinas.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.3. Modelo matemático de una celda fotovoltaica.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5. Paneles fotovoltaicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.1 Características de paneles fotovoltaicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.1.1. Características de paneles fotovoltaicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.1.2. Características térmicas .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.1.3. Características físicas .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6. Inversores.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6.1. Características eléctricas de un inversor .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.1.1. Potencia de salida .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6.2. Tipos de inversores .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.2.1. Conectados a la red .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.2.2. Desconectados a la red .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6.2.3. Híbridos .....</b>	<b>22</b>

<b>2.7.</b>	<b>Acumuladores .....</b>	<b>23</b>
<b>2.7.1.</b>	<b>Características principales .....</b>	<b>23</b>
<b>2.8.</b>	<b>Conectores de un sistema fotovoltaico .....</b>	<b>25</b>
<b>2.9.</b>	<b>Ángulos de inclinación de paneles .....</b>	<b>26</b>
<b>2.10.</b>	<b>Costos de energía solar fotovoltaica .....</b>	<b>27</b>
	<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>29</b>
	<b>ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO PARA LA PRODUCCIÓN DE</b>	
	<b>ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1.</b>	<b>Ubicación geográfica .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.</b>	<b>Descripción geográfica.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.</b>	<b>Trabajo de inspección inicial .....</b>	<b>30</b>
<b>3.4.</b>	<b>Análisis de carga actual .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>Análisis de la carga eléctrica y diseño eléctrico.....</b>	<b>31</b>
<b>3.5.</b>	<b>Diseño eléctrico de la casa comunal .....</b>	<b>32</b>
<b>3.6.</b>	<b>Análisis de carga proyectada .....</b>	<b>33</b>
<b>3.7.</b>	<b>Condiciones climáticas .....</b>	<b>34</b>
<b>3.8.</b>	<b>Obtención de datos.....</b>	<b>34</b>
<b>3.9.</b>	<b>Descripción y características del software empleado .....</b>	<b>35</b>
<b>3.9.1.</b>	<b>HOMER Pro .....</b>	<b>35</b>
<b>3.9.2.</b>	<b>PVGIS- photovoltaic geographical information system.....</b>	<b>35</b>
<b>3.10.</b>	<b>Interpretación de datos obtenidos .....</b>	<b>36</b>
<b>3.10.1.</b>	<b>Datos de PVGIS .....</b>	<b>37</b>

3.10.1.1. Interpretación de datos recopilados.....	39
3.10.2. Datos de HOMER Pro .....	40
3.11. Cálculo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico .....	41
3.12. Cantidad de paneles solares.....	42
3.12.1. Cantidad de paneles solares con PVGIS.....	42
3.12.2. Cantidad de paneles solares con HOMER Pro .....	42
3.12.3. Análisis del total de paneles solares .....	43
3.13. Cálculo del banco de baterías .....	43
CAPÍTULO 4.....	45
DISEÑOS E INSTALACIÓN .....	45
4.1. Diseños y simulación de Dialux.....	45
4.1.1 Normas de iluminación .....	45
4.1.2. Nivel de iluminación en la casa comunal de Punta Hacienda .....	46
4.1.3. Distribución de luminarias .....	48
4.1.4. Curva de distribución luminosa de luminarias.....	49
4.2. Diseños y simulación de Matlab .....	50
4.3. Proyección para el diseño a una micro red .....	52
4.3.1. Contribución .....	55
4.3.2. Descripción del sistema.....	55
4.3.5. Descripción para obtener la proyección de la microrred .....	57
4.3.5 Solución de los casos en la microrred .....	61
4.3.5.1. Resolución del caso 1-3 .....	63

4.3.5.2. Resolución de acuerdo a equipos electrónicos.....	64
4.4 Descripción y prueba de materiales utilizados en la instalación de paneles solares .....	68
4.4.1 Descripción de inversor solar UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST .....	68
4.4.1.1 Principales características.....	68
4.4.1.2 Especificaciones técnicas UPS HIBRIDA .....	69
4.4.2 Descripción de batería FP12100 (GL) recargable seca 12V a 100amp.....	70
4.4.2.1. Diagramas realizados con datos de especificaciones de batería serie LFP12100 .....	72
4.4.2.2 Principales características de la batería LFP12100 (GL) .....	73
4.4.2.3 Aplicaciones de batería LFP12100 gel.....	74
4.4.3 Descripción de panel solar 48V 150W silicón monocristalino .....	74
4.4.3.1 Diseño de panel solar 48V 150W silicón monocristalino .....	76
4.4.4. Descripción de un temporizador digital programable 120V/16 Amperios .....	77
4.4.4.1. Principales características del temporizador .....	77
4.5. Pruebas de equipos.....	77
4.5.1 Primera prueba eléctrica.....	78
4.5.2 Segunda prueba eléctrica.....	79
4.5.3 Tercera prueba eléctrica .....	80
4.6 Instalación del sistema fotovoltaico .....	80

<b>4.6.1 Instalación de paneles solares.....</b>	<b>80</b>
<b>4.6.2 Instalación del Controlador-Inversor Híbrido .....</b>	<b>81</b>
<b>4.6.3 Instalación de baterías .....</b>	<b>82</b>
<b>4.6.4 Instalación de un temporizador .....</b>	<b>83</b>
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>85</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>85</b>
<b>5.1. Resultados de la instalación .....</b>	<b>85</b>
<b>5.2. Cálculo de consumo mensual .....</b>	<b>94</b>
<b>5.3. Cálculo de recuperación de dinero invertido .....</b>	<b>96</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>98</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>99</b>
<b>GLOSARIO SIGNIFICATIVO .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>104</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO</b>	
<b>INSTITUCIONAL.....</b>	<b>117</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Componentes del método .....	3
<b>Figura 2.</b> Esquema de trabajo .....	5
<b>Figura 3.</b> Radiación solar medida por equipos: a) piranómetros b) pirheliómetro ....	7
<b>Figura 4.</b> Componente de la irradiancia solar.....	8
<b>Figura 5.</b> Efecto fotoeléctrico.....	9
<b>Figura 6.</b> Flujo de electrones y agujeros en una unión fotovoltaica. a) Unión P-N, b) Diagrama de energía .....	9
<b>Figura 7.</b> Barra de conexión y dedos o rejilla de una celda fotovoltaica .....	10
<b>Figura 8.</b> Celdas de tipo policristalino y monocristalino .....	11
<b>Figura 9.</b> Modelo de una celda fotovoltaica .....	12
<b>Figura 10.</b> Arreglos de paneles .....	14
<b>Figura 11.</b> Conexión de celdas dentro de un panel .....	14
<b>Figura 12.</b> Construcción de un panel fotovoltaico .....	15
<b>Figura 13.</b> Interconexión de celdas dentro de un panel fotovoltaico.....	15
<b>Figura 14.</b> Paneles con diodos bypass.....	16
<b>Figura 15.</b> Datos de placa de un panel solar .....	16
<b>Figura 16.</b> Curvas I-V y P-V de un panel solar .....	17
<b>Figura 17.</b> Curva I-V a diferentes niveles de radiación .....	18
<b>Figura 18.</b> Curva I-V a diferentes temperaturas .....	19
<b>Figura 19.</b> Sistema de inversor conectado a paneles, batería y carga.....	20
<b>Figura 20.</b> Esquema básico de conexión de un inversor conectado a la red .....	21
<b>Figura 21.</b> Esquema básico de conexión de un inversor desconectado a la red....	22
<b>Figura 22.</b> Esquema básico de conexión de un inversor híbrido.....	22
<b>Figura 23.</b> Comparación de potencia de salida y energía en diferentes sistemas de almacenamiento de energía .....	23
<b>Figura 24.</b> Comparación de densidad de energía, eficiencia y tiempo de vida útil de diferentes tecnologías de baterías.....	24

<b>Figura 25.</b> Relación entre la vida útil y la profundidad de descarga de una batería de litio .....	25
<b>Figura 26.</b> Conectores MC4 macho y hembra.....	26
<b>Figura 27.</b> Relación entre la corriente de salida y el ángulo de incidencia del sol en una celda solar.....	27
<b>Figura 28.</b> Ángulos de inclinación de un panel solar fotovoltaico.....	27
<b>Figura 29.</b> Costos por KW de energía solar, eólica y gas natural .....	28
<b>Figura 30.</b> Ubicación Geográfica .....	29
<b>Figura 31.</b> Centro médico comunitario.....	30
<b>Figura 32.</b> Plano Estructural del Centro Comunitario .....	30
<b>Figura 33. a y b</b> Diseños eléctricos .....	33
<b>Figura 34.</b> Instalación de la Estación Meteorológica en la Comunidad Punta Hacienda.....	35
<b>Figura 35.</b> Mapa de recursos solares, potencial eléctrico fotovoltaico .....	36
<b>Figura 36.</b> Producción energética estimada para un sistema fotovoltaico autónomo .....	38
<b>Figura 37.</b> Rendimiento de baterías para un sistema FV autónomo.....	38
<b>Figura 38.</b> Probabilidad de estado de carga de baterías al final del día .....	39
<b>Figura 39.</b> Histograma de recurso solar .....	40
<b>Figura 40.</b> Histograma de temperatura .....	41
<b>Figura 41.</b> Diseño en Dialux .....	45
<b>Figura 42.</b> Lux en el consultorio 1 en Dialux.....	46
<b>Figura 43.</b> Lux en el consultorio 1 en Dialux.....	47
<b>Figura 44.</b> Lux en la zona de uso común en Dialux.....	47
<b>Figura 45.</b> Distribución de lámparas de 12W .....	48
<b>Figura 46.</b> Distribución de lámparas de 9w en Dialux .....	48
<b>Figura 47.</b> Distribución luminosa lámpara (Halla burbo 19-214I-10GEE/830, B-12W) .....	49

<b>Figura 48.</b> Distribución luminosa lámpara (Halla Basi 70-003S-10GHE/830-3W)..	49
<b>Figura 49.</b> Diseño de un panel solar en Matlab.....	50
<b>Figura 50.</b> Curva de corriente en Matlab .....	51
<b>Figura 51.</b> Curva de potencia en Matlab.....	51
<b>Figura 52.</b> Curva de voltaje en Matlab .....	52
<b>Figura 53.</b> Diagrama de microred con sistemas renovables .....	57
<b>Figura 54.</b> Diagrama de modelamiento de una Microred.....	62
<b>Figura 55.</b> Resultados obtenidos de casos 1-3 en microrred en Matlab .....	67
<b>Figura 56.</b> Inversor solar UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST (Parte frontal e inferior)	68
<b>Figura 57.</b> Batería First Power recargable seca 12V a 100amp.....	71
<b>Figura 58.</b> Descripción de auto descarga con capacidad de 100% al 20°C en 16 meses.....	72
<b>Figura 59.</b> Compensación 13,50 a 13,80 V de temperatura -18mV/°C - 14,50 a 14,90 V Compensación de temperatura: -30mV/°C .....	72
<b>Figura 60.</b> Temperatura adecuada de 20°C a 25°C, resultando 12 años de vida útil .....	73
<b>Figura 61.</b> Panel solar 48V 150W silicón monocristalino de alta calidad de estable aluminio anodizado .....	75
<b>Figura 62.</b> Panel Solar de 48V, 150W monocristalino de calidad para cargador de batería de 12V .....	76
<b>Figura 63.</b> Temporizador programable, relé control de tiempo, 110V, 120V, CA ...	77
<b>Figura 64.</b> Diagrama de instalación de inversor dado por Powest.....	78
<b>Figura 65.</b> Primera prueba eléctrica, conexión de inversor con una batería .....	79
<b>Figura 66.</b> Segunda prueba eléctrica, se conecta a Centrosur donde tenemos 128 V y de baterías 119V .....	79
<b>Figura 67.</b> Conexión con Centrosur, baterías, paneles solares y un foco .....	80
<b>Figura 68.</b> Elaboración de base de soporte y colocación de paneles solares.....	81
<b>Figura 69.</b> Medición de voltaje .....	81

<b>Figura 70.</b> Colocación del controlador .....	82
<b>Figura 71.</b> Colocación de baterías en la estructura de seguridad .....	83
<b>Figura 72.</b> Instalación y programación del temporizador. ....	83
<b>Figura 73.</b> Comprobación de datos de entrada y salida .....	84
<b>Figura 74.</b> Seguimiento del sistema en Powest .....	85
<b>Figura 75.</b> Registro de eventos en Powest .....	86
<b>Figura 76.</b> Datos cada 360s en Powest.....	86
<b>Figura 77.</b> Datos de funcionamiento del sistema cuando está conectado en Powest .....	87
<b>Figura 78.</b> Datos de funcionamiento del sistema cuando está conectado/desconecto de la red en Powest .....	87
<b>Figura 79.</b> Curva de tensión AC.....	88
<b>Figura 80.</b> Curva de frecuencia AC .....	88
<b>Figura 81.</b> Curva de tensión de entrada PV .....	89
Figura 82. Curva de corriente de entrada PV .....	89
<b>Figura 83.</b> Curva de factor de potencia PV .....	90
<b>Figura 84.</b> Curva de potencia de salida aparente .....	90
Figura 85. Curva de tensión de baterías .....	91
Figura 86. Curva de capacidad de baterías .....	91
Figura 87. Curva de corriente de carga .....	92
<b>Figura 88.</b> Curva de corriente de descarga de batería.....	92
<b>Figura 89.</b> Curva de tensión de salida .....	93
<b>Figura 90.</b> Curva de frecuencia de salida.....	93

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tecnologías comerciales de celdas fotovoltaicas .....	11
<b>Tabla 2.</b> Cuadro de cargas actual .....	31
<b>Tabla 3.</b> Cuadro de cargas proyectada .....	34
<b>Tabla 4.</b> PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar.....	37
<b>Tabla 5.</b> Promedio de Radiación diaria .....	39
<b>Tabla 6.</b> Promedio de radiación diaria.....	40
<b>Tabla 7.</b> Promedio de radiación diaria.....	41
<b>Tabla 8.</b> Características del panel solar SM100W-12V .....	41
<b>Tabla 9.</b> Nivel mínimo de iluminación decreto 486/1997 .....	46
<b>Tabla 10.</b> Nomenclaturas y fórmulas para la proyección de una microrred.....	53
<b>Tabla 11.</b> Referencias (Modelado matemático y descripción del problema).....	56
<b>Tabla 12.</b> Casos prácticos y distintos escenarios.....	62
<b>Tabla 13.</b> Datos de entrada en la microrred .....	63
<b>Tabla 14.</b> Resultados obtenidos de microrredes en los casos 1-3 .....	64
<b>Tabla 15.</b> Datos de electrodomésticos de hogares inteligentes.....	64
<b>Tabla 16.</b> Resultados obtenidos de microrredes en los casos 1-3 .....	65
<b>Tabla 17.</b> Especificaciones UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST .....	69
<b>Tabla 18.</b> Especificaciones físicas de batería serie LFP12100 .....	71
<b>Tabla 19.</b> Especificaciones técnicas de operación.....	71
<b>Tabla 20.</b> Lista de aplicaciones de batería LFP12100 gel .....	74
<b>Tabla 21.</b> Especificaciones y características técnicas del panel solar .....	75
<b>Tabla 22.</b> Se explica cada elemento que posee el panel solar .....	76
<b>Tabla 23.</b> Comparación de consumo eléctrico mensual.....	94
<b>Tabla 24.</b> Valores de planillas.....	96
<b>Tabla 25.</b> Tiempo de inversión .....	96

## **LISTA DE ANEXOS**

<b>ANEXO 1. PRUEBAS DE EQUIPOS .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO 2 INSTALACIÓN DE EQUIPOS .....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO 3 SEGUIMIENTO.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO 4 DATOS DEL SOFTWARE PVGIS .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 5 COTIZACIÓN .....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 6 PLANILLAS .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO 7 CATÁLOGOS.....</b>	<b>115</b>

## INTRODUCCIÓN

La energía renovable ofrece la posibilidad de generar electricidad y calor prácticamente sin emisión, a bajos precios de operación y de manera sustentable, en conjunto con esto cada país tiene un lógico interés aprovechar sus recursos renovables[1] De allí, el tema de investigación se toma en cuenta el recurso de energía renovable fotovoltaica, el cual es energía de recurso natural en donde se toma en cuenta la energía fotovoltaica que es la energía que se recibe de la luz del sol y se convierte en energía eléctrica[2].

Sin embargo, en la actualidad existen problemas que se presentan en el medio ambiente por un conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos o elementos naturales y artificiales, los cuales están relacionados entre sí y cada vez estos se modifican por acción del ser humano, esto es un problema de conservación del medio ambiente en el cual se presenta en el crecimiento tecnológico y en su estabilidad ambiental [3].

Además, es importante recordar que está presente el cambio climático, el mismo que es el aumento de temperatura que el mundo genera a través de emisiones a la atmósfera con los gases de efecto invernadero los cuales son provocados por los seres humanos, que dados de manera natural estos gases no se podrían producir o existir [3].

Afortunadamente, la energía solar no emite gases de efecto invernadero; es decir este tipo de energía no contribuye al calentamiento global, esto se muestra en la tecnología de origen renovable y más eficiente contra el cambio climático [3]. Es importante destacar que la energía solar es inagotable, se renueva al contrario que la energía tradicional, disponibles en todo el mundo, por lo cual se lo puede describir como un sistema energético sostenible que es un desarrollo para las futuras generaciones [2].

Consecuentemente, se debe hacer conciencia sobre el uso e implementación de fuentes energéticas (p.ej., energía hidráulica, térmica, electromagnética, química, nuclear, solar), incluso se debe hacer un análisis del impacto ambiental de estos. Específicamente, la energía solar fotovoltaica y energía solar térmica son unas opciones de aprovechamiento de la radiación electromagnética la cual es procedente del sol [4].

Por otro lado, para la implementación de un sistema energético fotovoltaico se debe considerar los problemas en la obtención de datos de radiación solar en las distintas zonas de estudio. Afortunadamente, Ecuador es una país que tiene una ubicación geográfica privilegiada con alta radiación solar, mediante estudios realizados por diferentes universidades del austro se llegó a concluir que los proyectos de energía fotovoltaica es viable y aprovechable al 100%, de acuerdo a los resultados de las investigaciones existe un promedio de 3.5 kilovatios/hora por metro cuadrado en las diferentes épocas, esto ha permitido predecir un futuro de producción de energía renovable mediante estas fuentes concretamente solares [5].

Por lo tanto, la implementación de la tecnología fotovoltaica es viable y competitiva con la energía no renovable, este tipo de trabajo es la transmisión directa de radiación que transmite el sol en energía eléctrica, esto se lo realiza por la placa o paneles solares que contienen las células fotovoltaicas, la instalación se la puede realizar en pequeña o grandes escalas las cuales producen energía eléctrica dependiendo de la radiación solar

en el sector, por ejemplo como fuente de energía en refugios de montaña, residencial, vehículos solares, cocinas solares, sistemas de calefacción, etc [6].

En este contexto, este trabajo de titulación ejecutado en la comunidad Punta Hacienda de la parroquia Quingeo de la ciudad de Cuenca, muestra un análisis profundo en la implementación de un sistema energético fotovoltaico con la capacidad de producir hasta 1000W/h. Esta cantidad energética permite abastecer al sistema eléctrico del centro médico comunitario; con esto se logra cubrir la demanda económica que provoca el pago del consumo eléctrico mensual.



## **CAPÍTULO 1**

### **1.1. Objetivo General**

Crear y diseñar un sistema renovable para el uso de energía eléctrica en las instalaciones del centro médico de la comunidad Punta Hacienda de la parroquia Quingeo de la ciudad de Cuenca.

Este tema de investigación es un análisis teórico y práctico, con la finalidad del uso de la energía fotovoltaica, la cual será instalada en el Centro Médico de Comunidad Punta Hacienda de Quingeo de la provincia de Cuenca – Azuay, esta alimentación eléctrica tomará la carga de tomacorrientes e iluminación.

### **1.2. Objetivos específicos**

- OBJ1: Evaluar las variables existentes que proporciona la radiación solar, inconvenientes atmosféricos que existen en el sector de la parroquia Quingeo.
- OBJ2: Analizar la cantidad de energía eléctrica que consume el subcentro de salud.
- OBJ3: Analizar las fuentes la luz solar directa y dispersa.
- OBJ4: Establecer los aspectos técnicos necesarios para la implementación de un sistema eléctrico renovable.
- OBJ5: Proponer y diseñar un sistema fotovoltaico que haga uso de energía solar con el fin de evitar costos en energía eléctrica.
- OBJ6: Analizar y calcular el costo total de la implementación del sistema fotovoltaico
- OBJ7: Analizar y ejecutar pruebas de equipos que componen el sistema fotovoltaico.
- OBJ8: Instalar e implementar el sistema fotovoltaico en el subcentro de salud.
- OBJ9: Evaluar el sistema implementado en el subcentro a través de prueba de funcionamiento y la entrega formal a la Comunidad.

### **1.3. Alcance**

Este tema de investigación está proyectado para la presentación técnica y practica en instalaciones de energía eléctrica suministradas por el sol (energía solar), dando una buena adaptación a las celdas fotovoltaicas que serán instaladas en el techo del centro médico de la Comunidad Punta Hacienda, parroquia Quingeo.

Las celdas fotovoltaicas realizaran la conversión de energía luminosa (Luz solar) a energía eléctrica, luego, esta energía será almacena en baterías la cual será distribuida a través del inversor. Para esto, se debe realizar el levantamiento de la radiación solar que existe en el sector, definir los niveles de iluminación y tomacorrientes a instalar dentro del subcentro médico, equipos y sus pertenecientes protecciones.

### **1.4. Limitación**

Este tema de investigación será planteado como proyecto metódico y descriptivo, el mismo que va a brindar las bases necesarias para la instalación de un sistema solar

fotovoltaico para la alimentación de iluminación y tomacorrientes del Centro Médico de la Comunidad Punta Hacienda de Quingeo.

Este trabajo de titulación ha tenido varias limitaciones relacionadas con la sostenibilidad económica, lugar de implementación del sistema y movilización.

Primero, la limitación para la ejecución de este trabajo fue económica debido a que se deben considerar equipos, materiales, movilización, etc. Esta limitación fue cubierta con un análisis de costos previo con el fin de evitar gastos innecesarios. Además, con la implementación de este sistema se logró cubrir la demanda mensual generada por el centro de salud.

La segunda limitación fue el lugar donde se pudiera ejecutar el proyecto, pero gracias a la colaboración de los moradores de la comunidad Punta Hacienda de la parroquia Quingeo se logró llegar a un convenio en el cual se comprometen a brindar sus instalaciones eléctricas para la implementación del sistema fotovoltaico.

Tercero, se tuvo que cotizar costos de materiales en diferentes lugares del país, siendo Guayaquil la ciudad que permitió que el costo inicial estimado se redujera en un 5%.

Por último, sin dejar de lado una de las más grandes limitaciones que fue la pandemia por covid-19 la que afectó negativamente en la ejecución de las tareas de este trabajo. Se pudo solventar esta limitación a través del uso de medidas de bioseguridad, reuniones virtuales y el trabajo de forma presencial por turnos con el fin de evitar el acercamiento social.

### **1.5. Justificación**

En la actualidad las instalaciones eléctricas del Centro Médico de la Comunidad Punta Hacienda de Quingeo son deficientes y no cuenta con un pago mensual de servicio eléctrico a Centro Sur ya que no cuenta con un apoyo económico comunitario. Este tema de tesis es electrificar al Centro Médico según las normas para establecer con servicio continuo de energía eléctrica para los circuitos de tomacorrientes e iluminación sean y estén apropiadas para el centro comunitario, las cuales permitan una buena atención y confort a los usuarios.

### **1.6. Propuesta**

Una vez mencionado el problema principal como son el suministro de energía eléctrica, es aquí donde se involucra nuestro propósito de este tema de trabajo de investigación (tesis), para realizar la simulación de un sistema fotovoltaico para el centro médico comunitario, el cual nos permita conocer a profundidad las principales condiciones y además parámetros que se deben considerar al momento de poner en operación el sistema eléctrico.

Básicamente entre las principales características que se deben tomar en cuenta están las siguientes:

- Confiabilidad.
- Eficiencia.

- Autosustentabilidad.
- Costos accesibles.

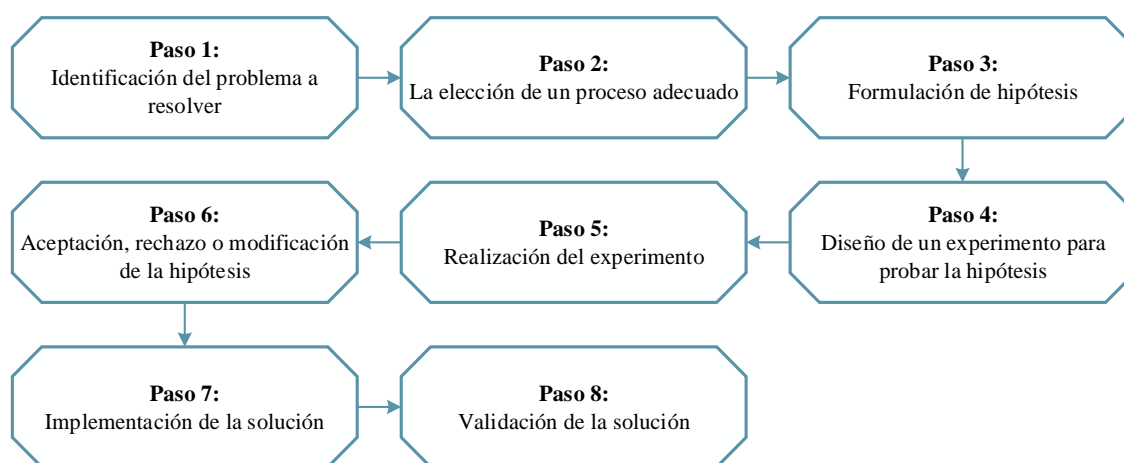
### 1.7. Metodología

En esta investigación se utilizará el método analítico y experimental con el propósito de que los conceptos teóricos terminen en una aplicación real y de servicio a la colectividad, con lo cual se integra la docencia, la investigación y la vinculación con la colectividad [7].

El método analítico es aquel método de investigación que consiste en la división de la investigación en partes elementales, con el propósito de observar las causas, naturaleza y los defectos. Además, se hace una observación y examen final, para llegar a obtener los objetivos planteados [7].

Mientras con el método experimental comprobamos la veracidad de los datos de la investigación con la ayuda del experimento. El método experimental contribuye a perfeccionar los conocimientos, considerar la importancia de la observación de los fenómenos físicos o químicos además de adquirir destrezas en la manipulación y montaje de equipos, validar e interpretar los datos obtenidos y fortalecer la capacidad de autoaprendizaje a través de la actividad experimental [7].

En la Figura 1, se muestra el método empleado para la elaboración de este trabajo de titulación. Este método se compone de las siguientes fases:



**Figura 1.** Componentes del método

Fuente: Elaboración Propia.

1. **Identificación del problema a resolver.** En donde se proponen las preguntas generales de investigación y se identifica el problema.
2. **La elección de un proceso adecuado.** En el cual se realiza el planteamiento formal del problema y se determina la solución que se brindara a ese problema.
3. **Formulación de hipótesis.** En donde se proponen algunas hipótesis de análisis en la solución del problema.

4. **Diseño de un experimento para probar la hipótesis.** En donde se plantean los aspectos fundamentales del proceso experimental.
5. **Realización del experimento.** Incluye la preparación de las muestras y el tratamiento adecuado para la aplicación de los métodos de investigación elegidos de análisis de resultados con el fin de brindar fiabilidad al experimento.
6. **Aceptación, rechazo o modificación de la hipótesis.** Es importante generar un informe que incluya los resultados obtenidos y las limitaciones del estudio realizado para corroborar, rechazar o modificar la hipótesis planteada.
7. **Implementación de la solución.** Finalmente, con los resultados obtenidos se puede llegar a la fase de toma de decisiones, teniendo la responsabilidad de asegurar que las conclusiones obtenidas sean totalmente coherentes con los datos.
8. **Validación de la solución:** En esta fase se realiza la verificación del funcionamiento de la solución implementada.

## **1.8. Estructura del trabajo**

A continuación, se detalla el contenido de cada capítulo. Además, en la (Figura 2) se muestra una breve descripción de las tareas realizadas alineadas a la metodología de investigación usada en este trabajo de titulación.

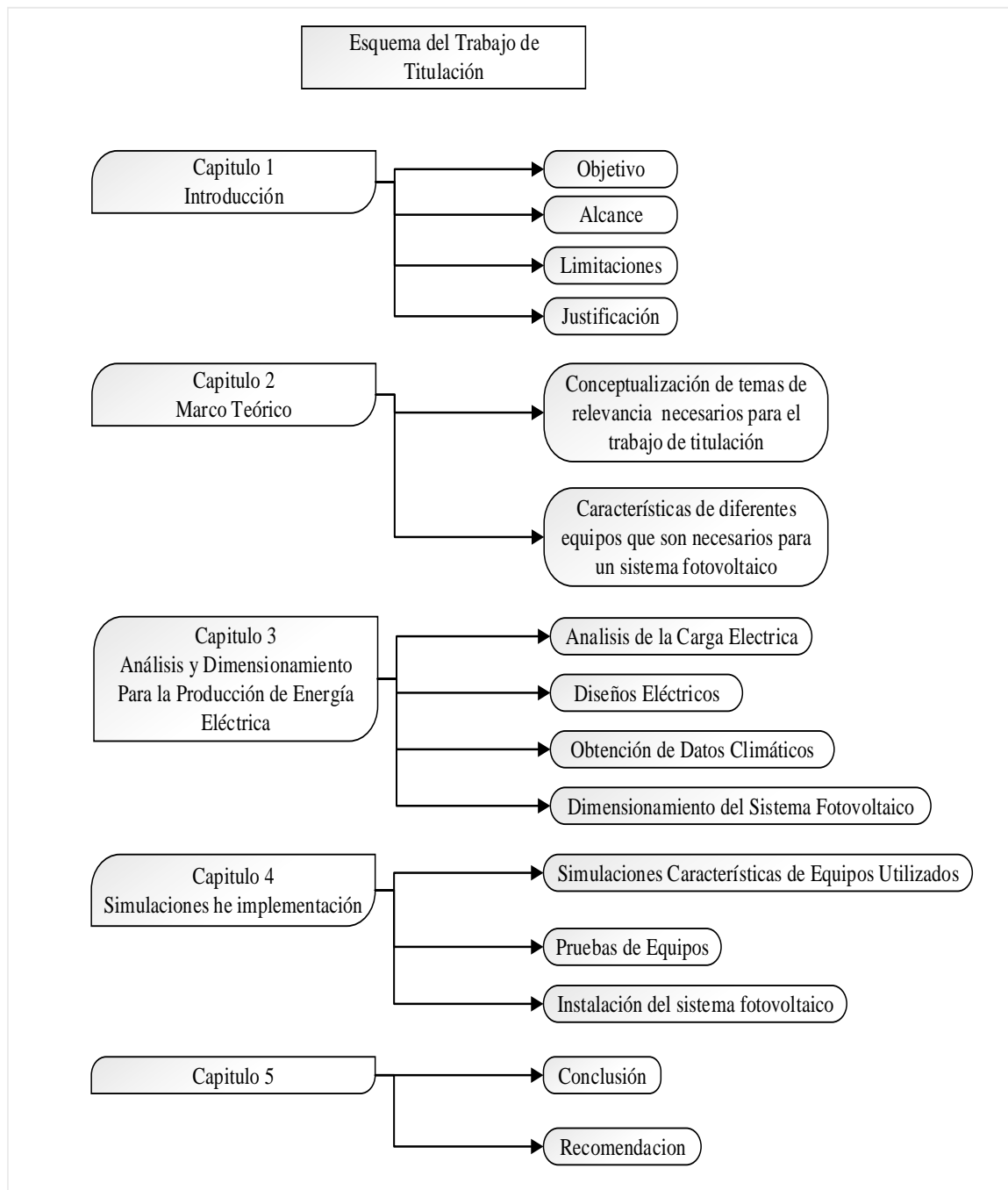
**Capítulo 1 - Introducción:** Este capítulo contiene la introducción, objetivos, alcance, limitaciones, justificación, propuesta y la descripción de las tareas de este trabajo de titulación enlazadas con la metodología empleada.

**Capítulo 2- Marco Teórico:** Este capítulo contiene la conceptualización de temas de relevancia necesarios para este trabajo de titulación. Además, características de diferentes equipos que son necesarios para un sistema fotovoltaico.

**Capítulo 3- Análisis y Dimensionamiento para la producción de energía eléctrica fotovoltaica:** Este capítulo contiene la descripción gráfica, análisis de la carga eléctrica, diseños eléctricos, obtención de datos climatológicos y dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

**Capítulo 4- Simulaciones e implementación:** Este capítulo contienen las simulaciones, características de equipos utilizados, pruebas de equipos e instalación del sistema fotovoltaico en el centro médico Comunitario de Punta hacienda-Quingeo.

**Capítulo 5- Resultados y conclusiones** Este capítulo contiene los resultados obtenidos en la realización de este trabajo de titulación.



**Figura 2.** Esquema de trabajo

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

En este capítulo se detallan conceptos básicos que están relacionados con el trabajo de abastecimiento de energía mediante un sistema solar fotovoltaico, el cual será instalado en Centro Médico Comunitario de Punta Hacienda de Quingeo, en donde se aprovecha la radiación solar la cual es energía de fuente renovable.

#### 2.1. La energía solar fotovoltaica

El planeta tierra recibe  $5.4 \times 10^{24}$  J de energía solar al año, lo que equivale a  $1.5 \times 10^{18}$  kWh/año [8]. Si consideramos el consumo energético del planeta el cual es de 23000TWh ( $2.3 \times 10^{13}$  kWh) durante el año 2018 [9], se puede inferir que la demanda total puede abastecerse con la energía solar.

La energía solar fotovoltaica (PV) es el tipo de energía que puede ser obtenida en el aprovechamiento de la radiación solar mediante su conversión a energía eléctrica a través de la utilización de celdas solares fotovoltaicas[10]. Este proceso se conoce como efecto fotoeléctrico.

Se predice que la energía solar va en crecimiento para los países en desarrollo y el cual es rápido. Los precios de adquisición para la generación de energía solar fotovoltaica están disminuyendo. A nivel mundial los precios de la energía solar fotovoltaica en la actualidad ya son inferiores a la del carbón y el gas, en primer orden encabezan energías renovables a nivel mundial. En donde ocupa la energía solar el primer puesto en energías renovables [11].

Los mercados internacionales han permitido la reducción de precios en los cuales fortalecen las instituciones en el campo energético, que elaboran los marcos legales y mejoran sus políticas, reglamentos para obtener expansión de energía solar en diferentes países [11].

En el ranking mundial los países con mayor energía renovable solar instalada son [12]:

- China que ocupa el primer puesto en instalaciones solares con un 35%
- Estados Unidos ocupa el segundo puesto con el 10.6% de instalaciones solares.

El Ecuador cuenta con potencial de energía solar fotovoltaica, según el registro de Conelec Ecuador tiene zonas de hasta 6.3 Wattios/horas. Con este inicio existen empresas con la generación de energías alternativas [13].

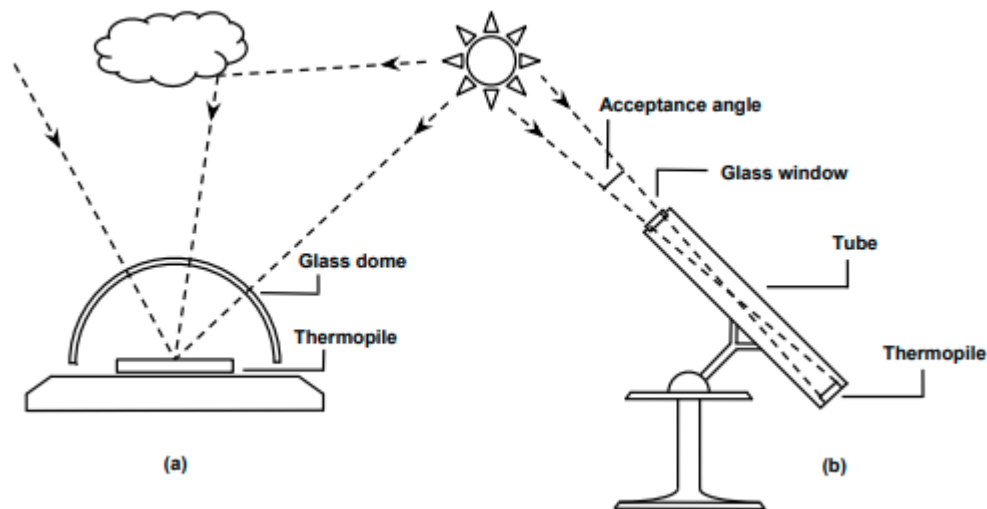
La ventaja que brinda esta energía es un potencial ya sea en investigación o en desarrollo, el cual brinda inversiones directas o de financiamiento. La energía solar tiene el 1% de generación en nuestro país [14]. Según la empresa GlobalData ofrece el informe de crecimiento al 15%, lo cual representa un potencial en aumento de uso de energía solar en el Ecuador[15].

## 2.2. Radiación e irradiación solar

La radiación solar es la energía incidente del sol en una superficie por unidad de área, se expresa en kWh/m<sup>2</sup> y normalmente se obtiene como promedio diario, mensual o anual. También se la conoce como insolación o horas de sol pico. Otro concepto utilizado comúnmente es la irradiancia solar, la cual es la potencia por unidad de superficie, se expresa en kW/m<sup>2</sup>[16].

La determinación de la irradiancia solar en superficies inclinadas se determina mediante mediciones en el plano horizontal. La radiación solar se mide comúnmente por dos clases principales de instrumentos: pirheliómetros y piranómetros [17].

Un pirheliómetro mide la radiación solar que proviene del Sol y de una porción limitada del cielo con una incidencia normal. En estos equipos la luz solar ingresa a una termopila, la cual convierte el calor producido por la radiación en una señal eléctrica proporcional, y se convierte en W/m<sup>2</sup> (Ver Figura 3) [17].

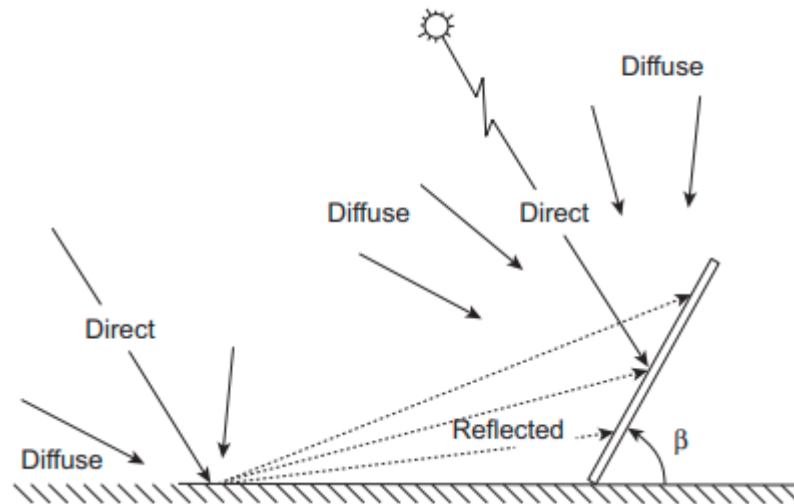


**Figura 3.** Radiación solar medida por equipos: a) piranómetros b) pirheliómetro

Fuente: Bibliografía número [17].

### 2.2.1. Componentes de la irradiancia solar

La irradiancia solar que se puede medir con los instrumentos mencionados en el subcapítulo anterior se conoce como irradiancia global y es la suma de tres componentes: radiación directa, difusa y reflejada (Ver Figura 4) [18].



**Figura 4.** Componente de la irradiancia solar

Fuente: Bibliografía número [18].

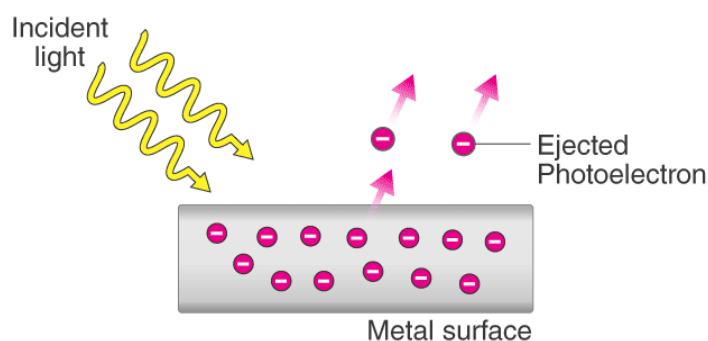
- Irradiancia directa: es la irradiancia que incide normalmente en el panel fotovoltaico y proviene directamente del sol.
- Irradiancia difusa: es la irradiancia recibida por efectos atmosféricos debido a la difusión y difracción de la irradiancia global. Este componente es aproximadamente el 15% de la irradiación global en días despejados, sin embargo, durante días nublados puede ser mayor a la irradiación directa.
- Irradiancia reflejada: conocida también como albedo. Consiste en la irradiancia reflejada por la superficie de la Tierra, y depende del coeficiente de reflexión de la superficie.

### 2.3. Efecto fotoeléctrico.

Cuando un haz de luz entra en contacto con un material metálico, los electrones del metal son expulsados del mismo debido a la energía de los fotones de la luz que impactan directamente con el material. Este fenómeno se conoce como efecto fotoeléctrico o fotoemisión (Figura 5 ) [19].

En el caso en que el mencionado haz de luz entre en contacto con un elemento de tipo semiconductor, el cual está compuesto por uniones tipo N y tipo P, los electrones liberados del material generan un flujo de electrones, lo cual se conoce como corriente eléctrica. Este es el principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica [19].



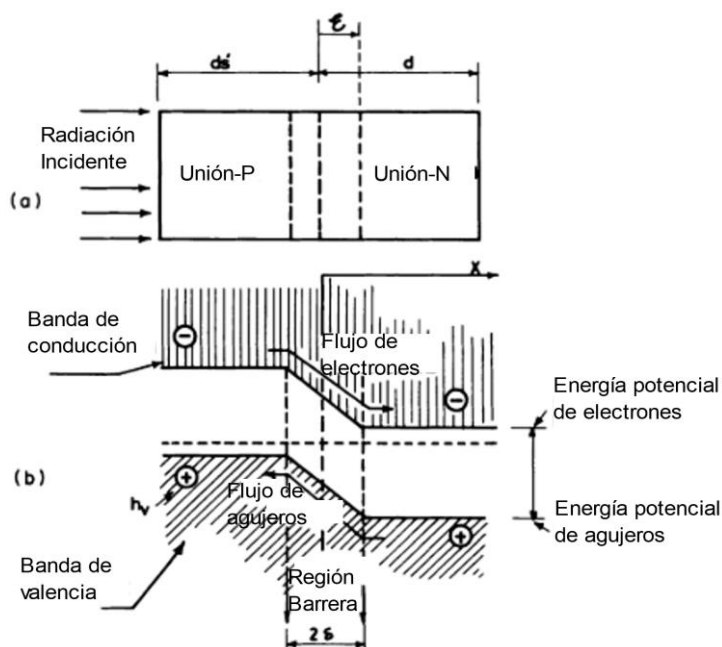


**Figura 5.** Efecto fotoeléctrico

Fuente: Bibliografía número [19].

## 2.4. Las celdas solares fotovoltaicas

Por otro lado, una celda fotovoltaica es un dispositivo semiconductor que tiene una unión P-N que convierte la energía de los rayos solares en energía eléctrica aprovechando el efecto fotoeléctrico mencionado en el subcapítulo anterior. Consiste básicamente en un semiconductor con unión P-N (Ver Figura 6), en el cual el flujo de electrones y de agujeros (ausencia de electrones) ocurre debido a la radiación solar que incide en la unión P. Este flujo de electrones genera un campo magnético en el semiconductor y una diferencia de potencial entre los terminales de las uniones P-N. Esta diferencia de potencial es la tensión de la celda fotovoltaica, y la corriente generada por el efecto fotoeléctrico permite aprovechar la energía resultante para abastecer cargas directamente desde la celda [8].



**Figura 6.** Flujo de electrones y agujeros en una unión fotovoltaica. a) Unión P-N, b) Diagrama de energía

Fuente: Bibliografía número [8].

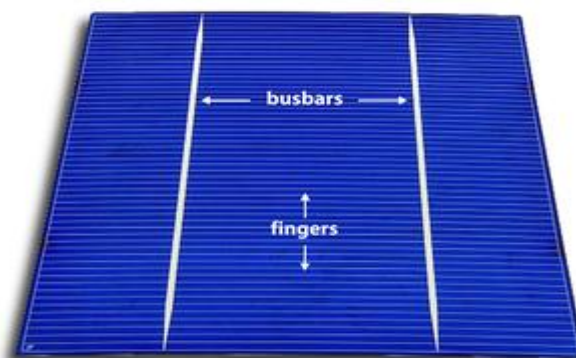
Las celdas fotovoltaicas convencionales generalmente están construidas a base de silicio (material semiconductor), el cual es ampliamente utilizado en la elaboración de circuitos electrónicos [8].

#### 2.4.1. Construcciones de celdas solares fotovoltaicas

Las celdas fotovoltaicas de silicio son construidas en su mayoría de material tipo P, con la parte frontal dopada o empobrecida con fósforo para crear la capa de tipo N, pero también pueden ser construidas utilizando silicio tipo N, con una capa dopada o empobrecida con boro [20].

Esta unión entre las superficies resultantes entre los materiales tipo N y tipo P crea una región conocida como separación de carga en la cual se pueden almacenar los electrones expulsados del material por el efecto fotoeléctrico creando una diferencia de potencial. La superficie de la celda (que puede ser tipo N o P) se conoce como emisor, y la parte más gruesa se la denomina como base [20].

Las celdas fotovoltaicas cuentan normalmente con contactos metálicos (normalmente contruidos de aluminio) los cuales funcionan como colectores de electrones para el flujo de corriente. Estos colectores están ubicados tanto en la parte superior como inferior de la celda fotovoltaica y se denominan “dedos” (fingers en literatura anglosajona), corredores o líneas de rejilla de la celda fotovoltaica. Estos “dedos” se permiten transportar la corriente generada en las uniones n-p hacia la barra o cinta de conexión de aluminio (Ver Figura 7) lo cual permite extraer la corriente de la totalidad de la celda y su conexión con una carga o con otras celdas en el interior de un panel [21].



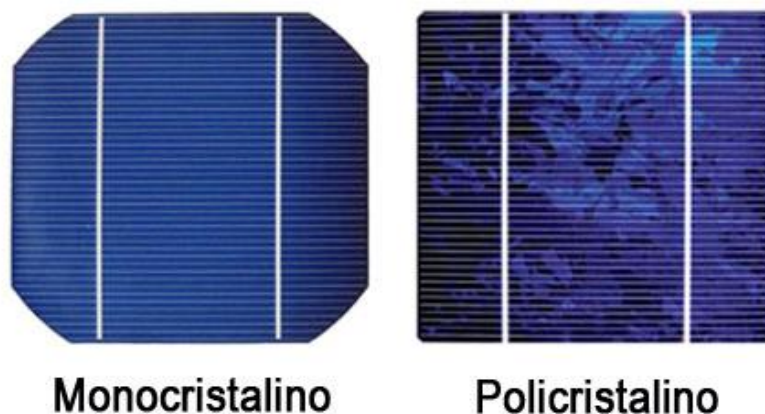
**Figura 7.** Barra de conexión y dedos o rejilla de una celda fotovoltaica

Fuente: Bibliografía número [21].

#### 2.4.2. Celdas fotovoltaicas monocristalinas y policristalinas

Las celdas cuya construcción se basa en silicio (c-Si) son celdas que alcanzan una eficiencia de 20%, debido a la gran calidad de los componentes utilizados en su proceso de elaboración, lo cual permite también que se tengan tiempos de vida útil de las celdas de aproximadamente 25 años [22].

Estas celdas pueden ser de tipo monocristalino, policristalino (o multicristalino), tipo cinta (ribbon), cinta de crecimiento de sustrato RGS (Ribbon Growth Substrate) y de crecimiento alimentado por película definida por borde EFG (Edge-defined Film-fed Growth). Entre estas, las celdas más utilizadas son las de tipo monocristalino y policristalino (Ver Figura 8 ) [22].



**Figura 8.** Celdas de tipo policristalino y monocristalino

Fuente: Bibliografía número [22].

Las celdas de tipo policristalino se caracterizan por tener coeficientes de temperatura menores a las de tipo monocristalino, esto significa que sus características eléctricas pueden variar en menor proporción ante temperaturas elevadas en comparación con su contraparte monocristalina. En cuanto a costos, las celdas policristalinas son más económicas que las monocristalinas. Por otro lado, las celdas de tipo monocristalino son normalmente más eficientes en su relación de tamaño, de esta manera se requiere un área menor de celdas monocristalinas para generar una misma cantidad de energía que con celdas policristalinas [23].

La diferencia entre los diferentes tipos de celdas se basa en la eficiencia de conversión de energía solar en energía eléctrica como se muestra en la tabla (Ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Tecnologías comerciales de celdas fotovoltaicas

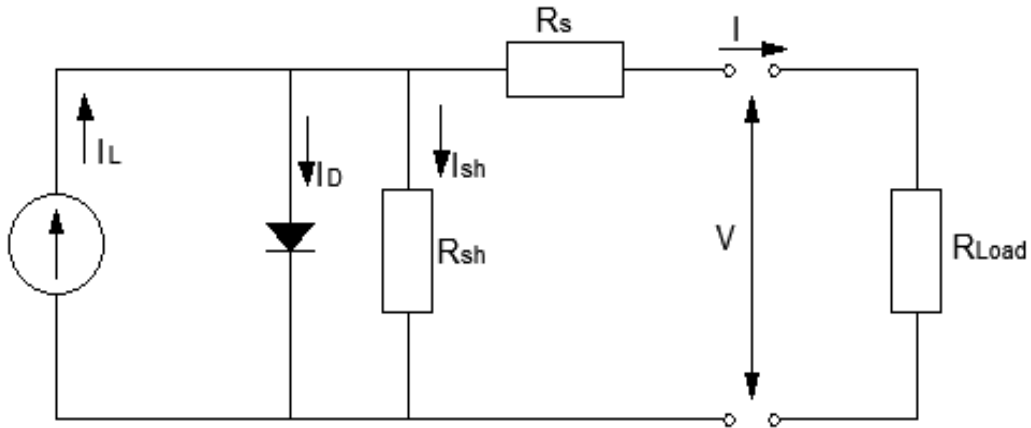
<b>Tecnología</b>	<b>Eficiencia (%)</b>	<b>Área/kW (m<sup>2</sup>/kW)</b>	<b>Vida útil (años)</b>
Monocrystalino	13-19	7	30
Policristalino	11-15	8	30

Fuente: Bibliografía número [23].

### 2.4.3. Modelo matemático de una celda fotovoltaica

Una celda fotovoltaica puede ser modelada matemáticamente considerando sus características eléctricas, las cuales pueden aproximarse a un generador eléctrico común. El modelo matemático utilizado debe predecir la respuesta de la celda ante diferentes condiciones de funcionamiento, variaciones de radiación solar y de temperatura [24].

El modelo comúnmente utilizado para representar una celda fotovoltaica (Ver Figura 9). Este modelo considera a la celda como un diodo en paralelo a una fuente de corriente. Esta fuente debe ser considerada además como una fuente dependiente donde el valor que la controla es la radiación solar incidente en la celda. Además, se consideran dos resistencias las cuales modelan el comportamiento de impedancia de salida de la celda y también su dependencia a la temperatura. En este modelo la corriente que entrega la celda fotovoltaica  $I_L$  es proporcional a la radiación solar menos las corrientes que circulan por el diodo  $I_D$  y la resistencia en paralelo  $R_{SH}$  [24].



**Figura 9.** Modelo de una celda fotovoltaica

Fuente: Bibliografía número [24].

Con este modelamiento eléctrico o circuito equivalente de la celda fotovoltaica se puede inferir el modelo matemático considerando las corrientes de la celda. Este modelo es propuesto por William Nicholson en [25]. Se conoce como “Modelo de un diodo” o “Modelo de 5 parámetros”. Así, si consideramos una temperatura y una radiación constante, el modelo matemático de la celda se muestra en las ecuaciones 1 y 2.

$$I = I_L - I_D - I_{SH} = I_L - I_o \left[ \exp\left(\frac{V + IR_s}{a}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{SH}} \quad (\text{Eq 1.})$$

$$a = \frac{nN_s kT}{q} \quad (\text{Eq 2.})$$

Donde:

$I$ =corriente entregada por la celda fotovoltaica

$I_L$ = corriente inducida por la radiación solar

$I_D$ =corriente del diodo

$I_{SH}$ =corriente de la resistencia en paralelo

$I_0$ =corriente de saturación inversa del diodo

$V$ =tensión en terminales

$R_S$ = resistencia serie

$R_{SH}$ = resistencia paralela

$a$ =factor de idealidad

$k$ = constante de Boltzmann ( $1.381 \times 10^{-23}$  [J/K])

$T$ = temperatura de la celda (Kelvin)

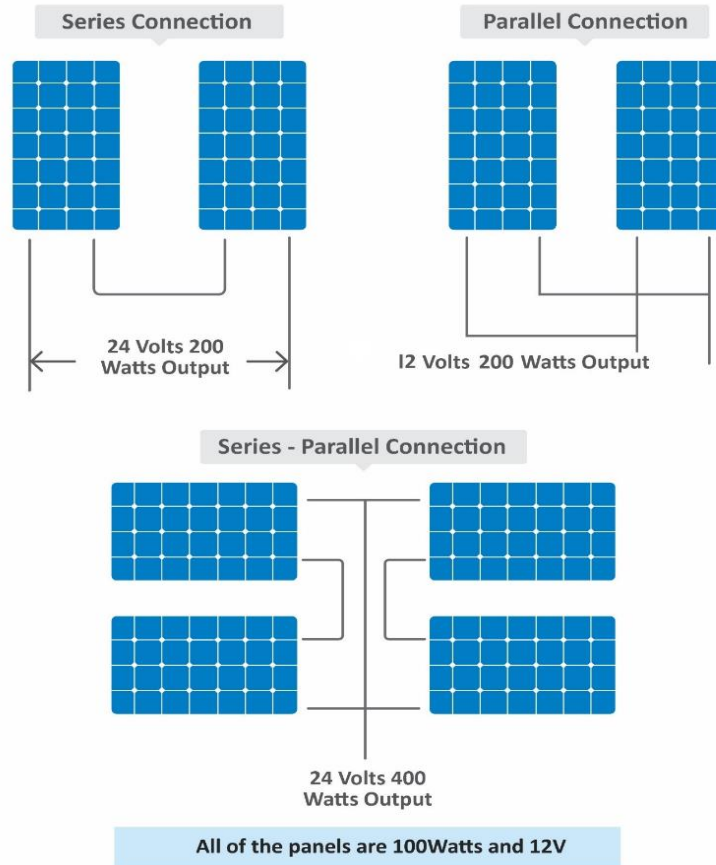
$N_S$ =número de celdas en serie

$q$ =carga de un electrón ( $1.602 \times 10^{-19}$  [C])

$n$ =factor de idealidad del diodo

## **2.5. Paneles fotovoltaicos**

Debido a que una única celda fotovoltaica es capaz de generar 0.6VDC, valor que es muy bajo para algunas aplicaciones comerciales y más aún para generación de energía eléctrica a gran escala, la utilización de una sola celda tiene limitaciones prácticas. Así, para un uso comercial, las celdas deben ser agrupadas mediante conexiones en serie y paralelo, lo cual se conoce como un panel solar fotovoltaico. Estos paneles también pueden conectarse en serie y en paralelo para formar un arreglo de paneles (Ver Figura 10) [23].



**Figura 10.** Arreglos de paneles

Fuente: Bibliografía número [23].

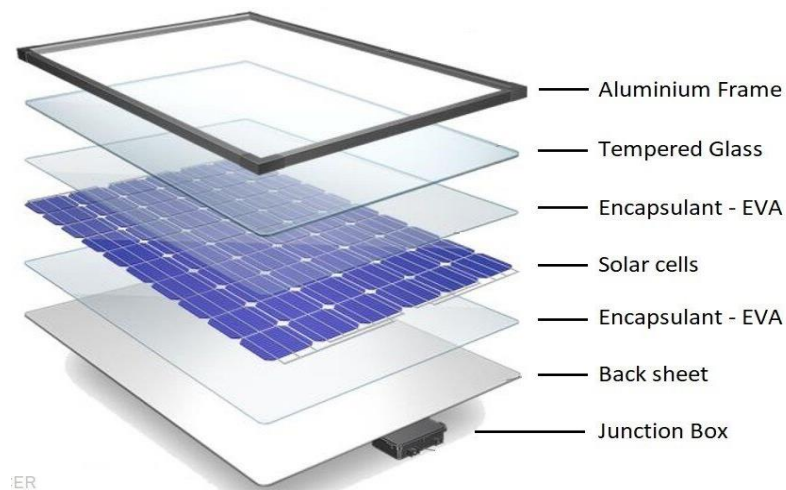
En el interior de un panel fotovoltaico la conexión entre las celdas se utiliza uniando tiras de cobre o de aluminio. Esta conexión permite elevar tanto la tensión como la corriente del panel, lo cual facilita su uso comercial en generación (Ver Figura 11) [23].



**Figura 11.** Conexión de celdas dentro de un panel

Fuente: Bibliografía número [23].

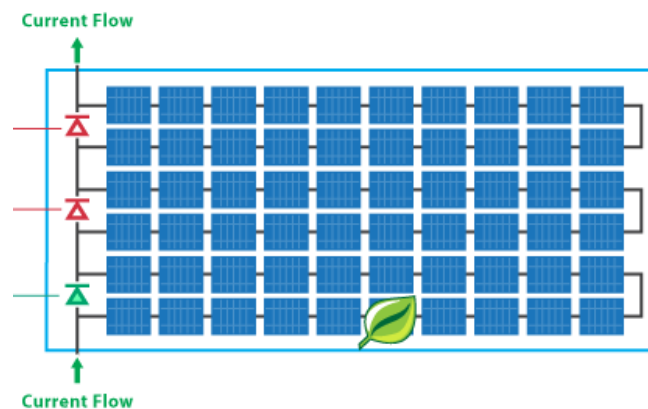
Debido a que el silicio que conforma una celda fotovoltaica es un material frágil, y además las uniones de las celdas tienen un riesgo de corrosión cuando están expuestas al aire libre, condiciones medioambientales adversas y golpes o atracciones mecánicas durante la instalación y transporte, los paneles se construyen utilizando capas con materiales plásticos o de vidrio para proteger a las celdas (Ver Figura 12) [26].



**Figura 12.** Construcción de un panel fotovoltaico

Fuente: Bibliografía número [26].

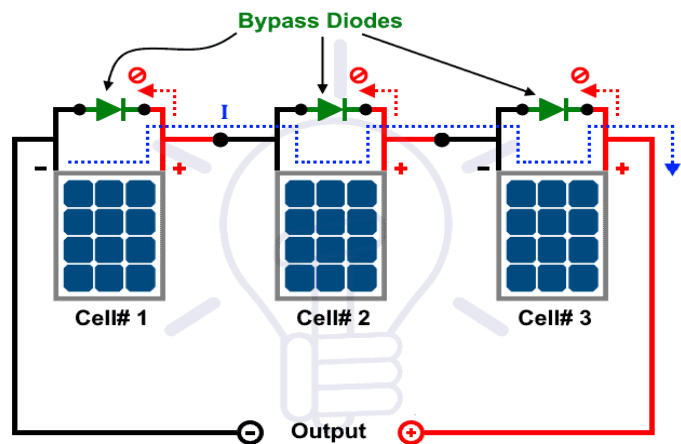
En el interior del panel fotovoltaico, las celdas que lo componen se conectan en serie con el objetivo de alcanzar tensiones que puedan ser utilizadas dentro de la instalación fotovoltaica (Ver Figura 13). En esta conexión se utilizan diodos de paso (bypass) que cumplen la función de proveer un camino alternativo para la corriente en el caso de que una de las celdas fotovoltaicas falle, o cuando existe una sombra sobre el panel fotovoltaico [27].



**Figura 13.** Interconexión de celdas dentro de un panel fotovoltaico

Fuente: Bibliografía número [27].

Siguiendo el mismo principio, dentro de una instalación fotovoltaica que contiene paneles en serie, también se utilizan diodos de bypass internos dentro del panel o dentro de una caja de conexiones contigua al mismo, los cuales cumplen el mismo objetivo de direccionar la corriente ante el fallo de un panel, o cuando uno de los paneles presenta un desajuste en su potencia ante condiciones de radiación irregular sobre su superficie (Ver Figura 14) [28].





**Figura 14.** Paneles con diodos bypass

Fuente: Bibliografía número [28].

### 2.5.1 Características de paneles fotovoltaicos

Estas características definen principalmente los parámetros de funcionamiento del panel y están expresadas en condiciones estándar de funcionamiento o STC (Standard Test Conditions). Las condiciones STC se especifican por el fabricante a  $1\text{ kW/m}^2$  de radiación,  $25^\circ\text{C}$  de temperatura y 1.5 atmósferas de presión [29].

Los fabricantes de paneles solares fotovoltaicos colocan los valores de las características eléctricas y físicas en una placa normalmente ubicada en la parte posterior del panel (Ver Figura 15) [29].

ZAMP SOLAR	
Model NO:	ZS-M-145
Cell type:	monocrystalline
Peak power(Pmax)	145W
Power tolerance range(%)	+/-3%
Open circuit voltage / Voc(V)	21.8
Max.power voltage / Vmp(V)	17.9
Short circuit current / Isc(A)	8.748
Max.power current / Imp(A)	8.1
Maximum System Voltage(V)	1000V DC
Dimension(mm)	1482*670*35
Weight(KG)	11.8
Above Specification at standard test conditions (STC): $1000\text{ W/m}^2$ , cell temperature $25^\circ\text{C}$ , AM1.5	
 	
www.zampsolar.com	

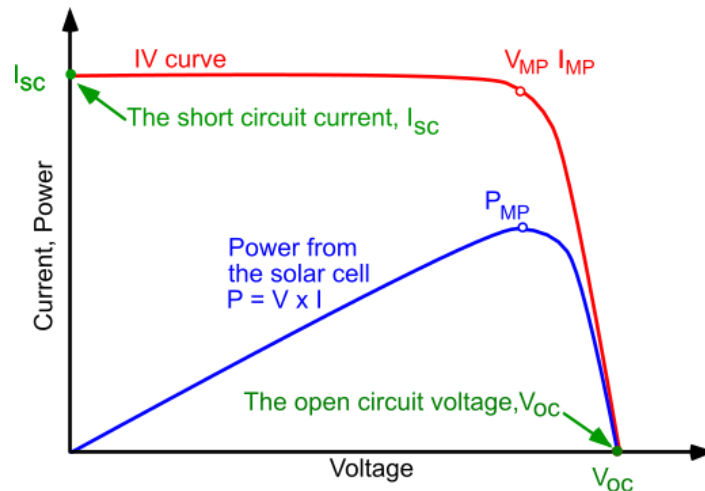
**Figura 15.** Datos de placa de un panel solar

Fuente: Bibliografía número [29].



### 2.5.1.1. Características de paneles fotovoltaicos

Un panel fotovoltaico puede ser caracterizado mediante su curva de respuesta ante variaciones de corriente, tensión y potencia. Esta curva se conoce como curva I-V (curva corriente-tensión) y curva P-V (curva potencia-tensión) (Ver Figura 16) [30].



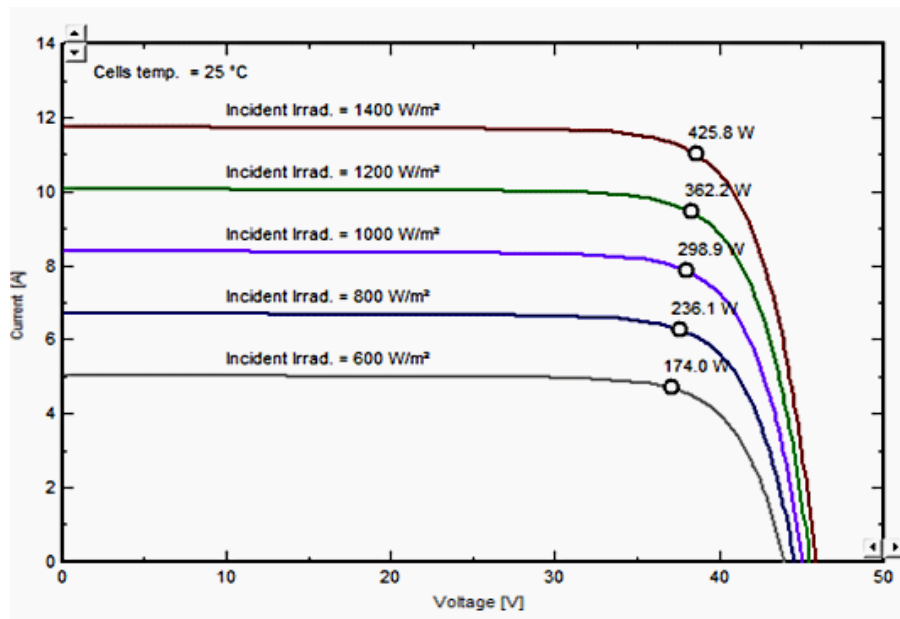
**Figura 16.** Curvas I-V y P-V de un panel solar

Fuente: Bibliografía número [30].

De esta manera, un panel fotovoltaico está caracterizado por los siguientes parámetros:

1. **Potencia Nominal.** - Potencia nominal del panel, medida en STC.
2. **Eficiencia.** - Eficiencia máxima del panel en STC.
3. **Punto de máxima potencia (MPP).** - Punto de máxima potencia del panel para una tensión y corrientes determinadas.
4. **Potencia del punto de máxima potencia ( $P_{MPP}$ ).** - potencia máxima de la curva P-V.
5. **Corriente del punto de máxima potencia ( $I_{MPP}$ ).** - corriente máxima de la curva I-V.
6. **Tensión del punto de máxima potencia ( $V_{MPP}$ ).** - tensión máxima de la curva I-V.
7. **Corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ).** - Corriente de cortocircuito en terminales.
8. **Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ).** - tensión de circuito abierto en terminales.
9. **Tensión máxima del sistema.** - Tensión máxima total del sistema medida en terminales de paneles conectados en serie y en condiciones de circuito abierto.

La  $I_{sc}$  del panel depende de la radiación incidente sobre su superficie, lo cual ocasiona que las corrientes generadas varíen a las expresadas en STC, así, (Ver Figura 17) se observa una curva I-V de un panel fotovoltaico expuesto a una temperatura constante, pero con una radiación incidente que varía con el tiempo [31].



**Figura 17.** Curva I-V a diferentes niveles de radiación

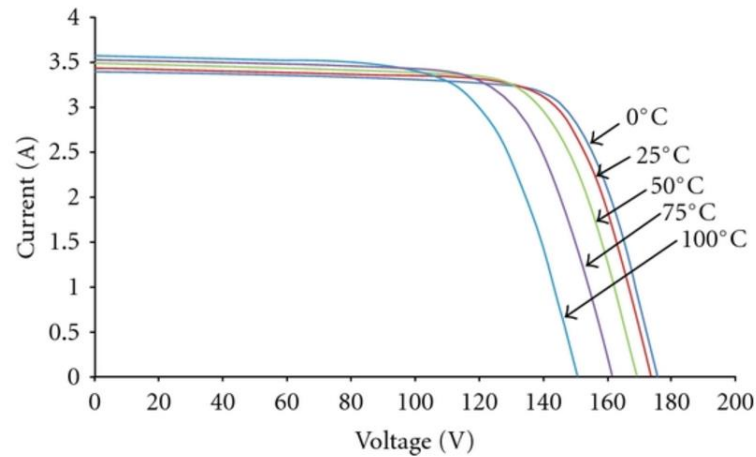
Fuente: Bibliografía número [31].

### 2.5.1.2. Características térmicas

Un panel fotovoltaico genera una salida que depende de la temperatura debido a las características constructivas y eléctricas del silicio que lo compone [31]. Los parámetros del panel en cuanto a la temperatura son:

1. Coeficiente de temperatura de ISC ( $\alpha$ ). - Cambio de la corriente de cortocircuito ante un cambio de temperatura.
2. Coeficiente de temperatura de VOC ( $\beta$ ). - Cambio de la tensión de circuito abierto ante un cambio de temperatura.
3. Coeficiente de temperatura de P ( $\gamma$ ). - Cambio de la potencia ante un cambio de temperatura.

La tensión ( $V_{OC}$ ) de un panel fotovoltaico guarda una relación importante con la temperatura de la superficie del panel, lo cual ocasiona la generación de tensiones diferentes a las especificadas en condiciones STC. (Ver Figura 18) se puede observar la curva I-V de un panel a radiación constante pero que tiene una temperatura que varía con el tiempo [31].



**Figura 18.** Curva I-V a diferentes temperaturas

Fuente: Bibliografía número [31].

### 2.5.1.3. Características físicas

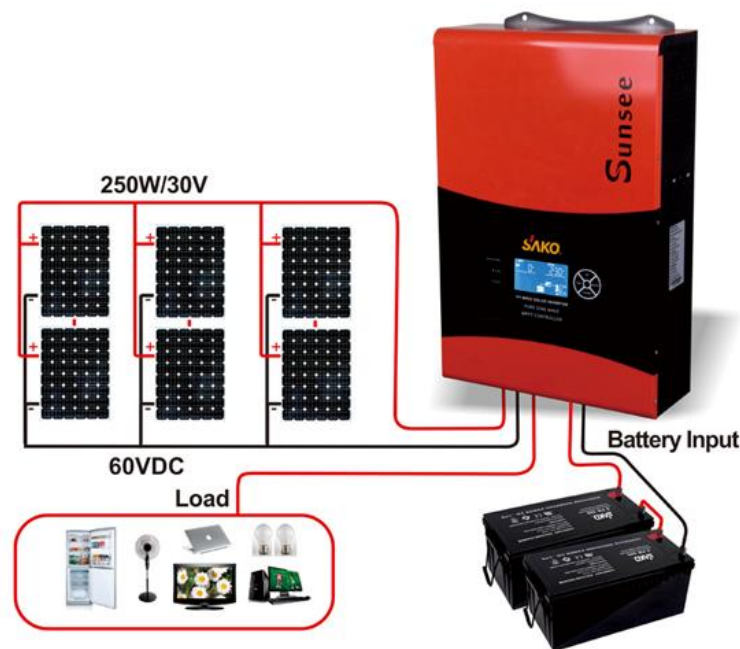
Para dimensionar adecuadamente una instalación fotovoltaica, los fabricantes de paneles solares entregan las siguientes características físicas [31].

1. Dimensiones del panel
2. Peso
3. Área del panel
4. Tipo y tamaño de celda.
5. Número de celdas en serie
6. Tipo de caja de conexiones.
7. Tipo de cables y conectores (calibre de cable y conectores normalizados)

Estas características deben considerarse al momento de dimensionar los soportes y el área donde se ubicarán los paneles en la instalación.

## 2.6. Inversores

Un inversor es uno de los equipos más importantes en un sistema de energía solar. Es un dispositivo que convierte la electricidad de corriente continua (CC) generada por un panel fotovoltaico, en corriente alterna (CA) utilizada por la red eléctrica (Ver Figura 19) [32].



**Figura 19.** Sistema de inversor conectado a paneles, batería y carga

Fuente: Bibliografía número [32].

Los inversores utilizados para sistemas solares fotovoltaicos presentan como mínimo las siguientes características:

- Eficiencia. - conversión mínima del 80% o superior de la potencia en CC de entrada con la potencia en CA de salida.
- Pérdidas. - bajas pérdidas en modo sin carga.
- Regulación de frecuencia. - El inversor debe proporcionar la frecuencia requerida ante variaciones de carga (50 o 60Hz).
- Distorsión Armónica. - El inversor debe asegurar una baja distorsión armónica ante efectos de cargas inductivas o capacitivas.
- Sistema de carga de baterías. - El inversor debe permitir la integración o tener integrado un sistema de carga de baterías.

### **2.6.1. Características eléctricas de un inversor**

Cuando se selecciona un inversor para un sistema fotovoltaico se debe considerar las siguientes especificaciones eléctricas:

#### **2.6.1.1. Potencia de salida**

Esto indica la potencia máxima que puede suministrar el inversor durante su funcionamiento. Es importante elegir un inversor que satisfaga los requisitos de carga máxima del sistema, permitiendo manejar todas las cargas en CA que pueden conectarse simultáneamente. Sin embargo, se debe tener especial cuidado en no sobredimensionar el inversor debido a que esto podría ocasionar una disminución en la eficiencia total del sistema e incrementar los costos de implementación. Para esto se

considera que la potencia nominal se debe mantener entre el 80% y 90% de la potencia pico del sistema [32].

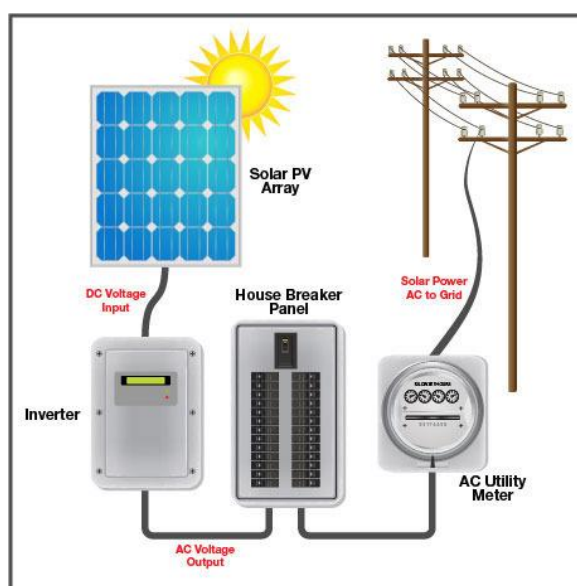
## 2.6.2. Tipos de inversores

La función principal de un inversor es cambiar la electricidad de CC de los módulos fotovoltaicos y las baterías a electricidad de CA y alimentar cargas de CA. Los inversores también pueden inyectar energía a la red.

### 2.6.2.1. Conectados a la red

Los inversores diseñados para alimentar la red se denominan inversores conectados a la red o conectados a línea. Estos inversores se utilizan en plantas de energía fotovoltaica a gran escala propiedad de empresas de servicios públicos que generan electricidad para la red, así como en sistemas residenciales que suministran electricidad a la red en modo bidireccional [33].

Estos inversores se utilizan sin un sistema de baterías de respaldo y permiten el intercambio de energía con la empresa distribuidora de energía. El inversor contiene los sistemas electrónicos internos capaces de ejecutar la sincronización con la red eléctrica interna e inyectar la energía sobrante del sistema para entregarla a la red (Ver Figura 20) [33].

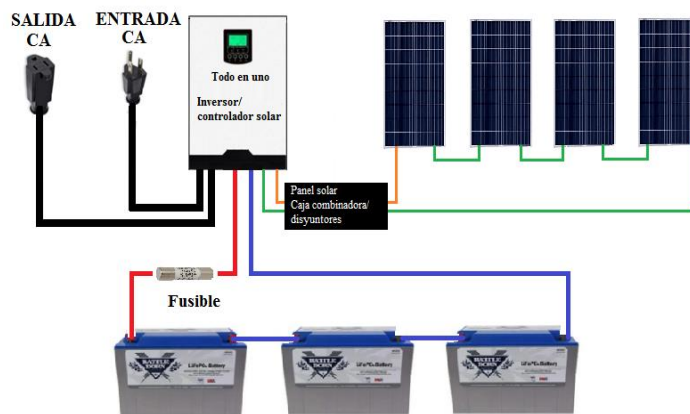


**Figura 20.** Esquema básico de conexión de un inversor conectado a la red

Fuente: Bibliografía número [33].

### 2.6.2.2. Desconectados a la red

Por otro lado, los inversores diseñados para abastecer cargas que no poseen una conexión a la red eléctrica pública se conocen como inversores desconectados de la red u off-grid (Ver Figura 21) Estos inversores requieren de un sistema de baterías de almacenamiento. El sistema de almacenamiento permite entregar energía a las cargas cuando no se cuenta con radiación solar disponible [34].

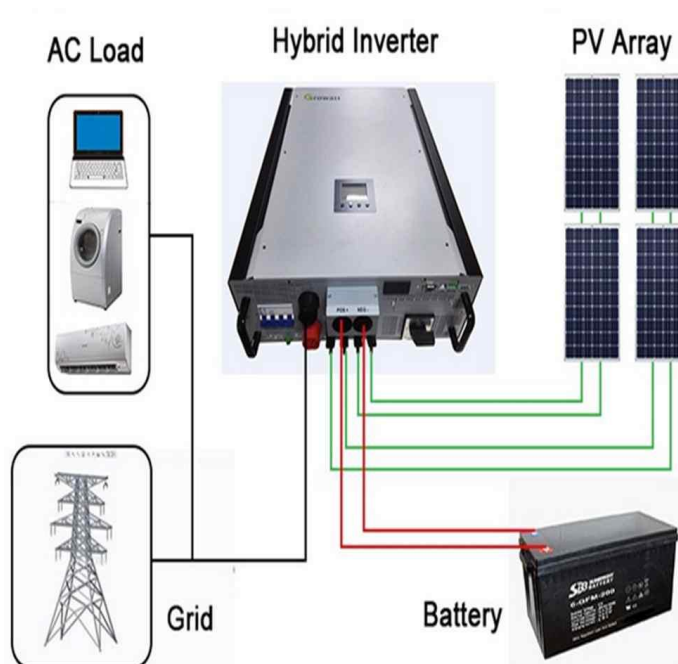


**Figura 21.** Esquema básico de conexión de un inversor desconectado a la red

Fuente: Bibliografía número [34].

### 2.6.2.3. Híbridos

Finalmente, se cuenta con inversores híbridos, los cuales son inversores que pueden funcionar tanto como inversores conectados a la red e inversores desconectados de la red. Cuentan con un sistema de almacenamiento de energía y permiten la entrega de energía a la red eléctrica en el caso de contar con un excedente (Ver Figura 22) [35].



**Figura 22.** Esquema básico de conexión de un inversor híbrido

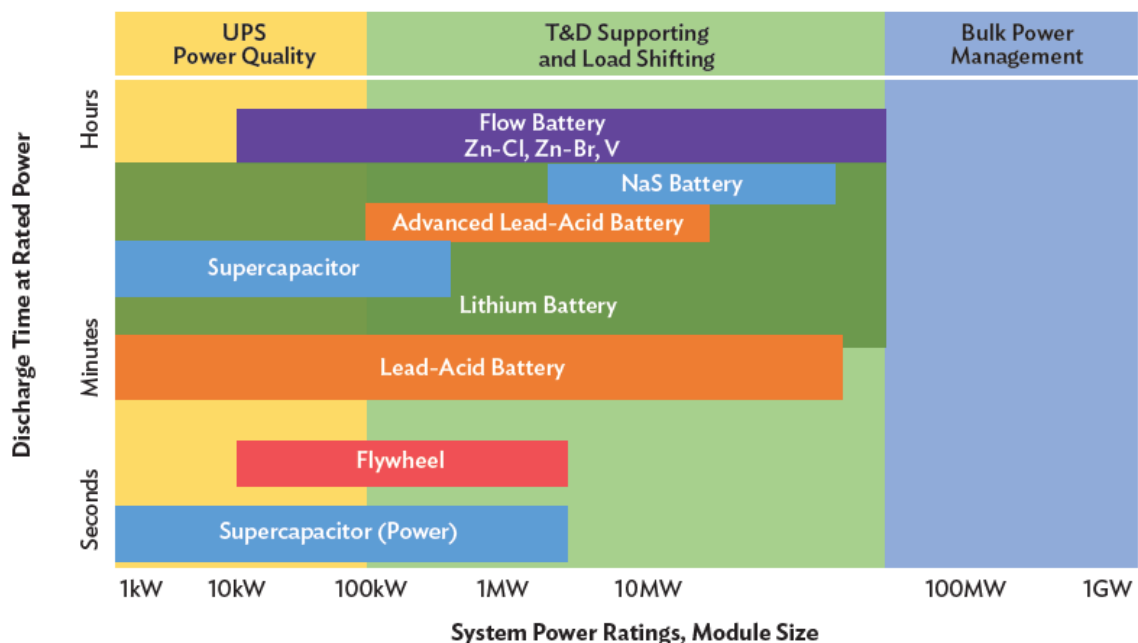
Fuente: Bibliografía número [35].

## 2.7. Acumuladores

Los dispositivos de almacenamiento de energía o acumuladores pueden clasificarse como dispositivos mecánicos, electroquímicos, químicos o térmicos, según la tecnología de almacenamiento utilizada. En los sistemas de energía solar fotovoltaica los más utilizados son los basados en químicos o baterías, entre estas se tienen [36].

- flujo de reducción-oxidación (redox),
- sodio-azufre (Na-S),
- plomo-ácido
- litio

Además, existen sistemas de almacenamiento basados en supercapacitores y ruedas inerciales. Así, (Ver Figura 23) se muestra el uso común de sistemas de almacenamiento tanto para sistemas de poder ininterrumpidos (UPS), transporte y distribución de energía y almacenamiento masivo. Se observa que las baterías de litio predominan en aplicaciones con potencias inferiores a 100 MW con tiempos de descarga que pueden llegar a horas de funcionamiento [36].



**Figura 23.** Comparación de potencia de salida y energía en diferentes sistemas de almacenamiento de energía

Fuente: Bibliografía número [36].






### 2.7.1. Características principales

Para elegir adecuadamente la tecnología de las baterías que se van a utilizar en una aplicación en particular se deben considerar las siguientes características principales (Ver Figura 24) [36].

**Densidad de energía.** - La elección de los sistemas de almacenamiento se basa principalmente en la densidad de energía, expresada en kW/kg. Este valor indica la potencia que puede ser obtenida de una batería en relación con su peso, así, el peso de los sistemas de almacenamiento constituye una variable importante debido a que, en sistemas de gran potencia, el peso de las baterías puede requerir la construcción de infraestructura adicional para poder albergar tanto el volumen de las baterías como su peso.

**Eficiencia.** - Otro parámetro a considerar es la eficiencia del sistema de almacenamiento, es decir la energía total que podemos obtener de la batería en relación con la energía que se utilizó para cargarla. En este aspecto destacan las baterías de litio con un 95% de eficiencia.

**Tiempo de vida útil.** – La vida útil de las baterías es un aspecto importante por considerar, debido a que el costo de una batería nueva y de su reemplazo debe tenerse en cuenta en una instalación.

	Energy density (kW/kg)	Round Trip Efficiency (%)	Life Span (years)
Li-ion 	1st 150–250	1st 95	1st 10–15
NaS 	2nd 125–150	2nd 75–85	2nd 10–15
Flow 	3rd 60–80	3rd 70–75	4th 5–10
Ni-Cd 	4th 40–60	4th 60–80	3rd 10–15
Lead Acid 	5th 30–50	5th 60–70	5th 3–6

**Figura 24.** Comparación de densidad de energía, eficiencia y tiempo de vida útil de diferentes tecnologías de baterías

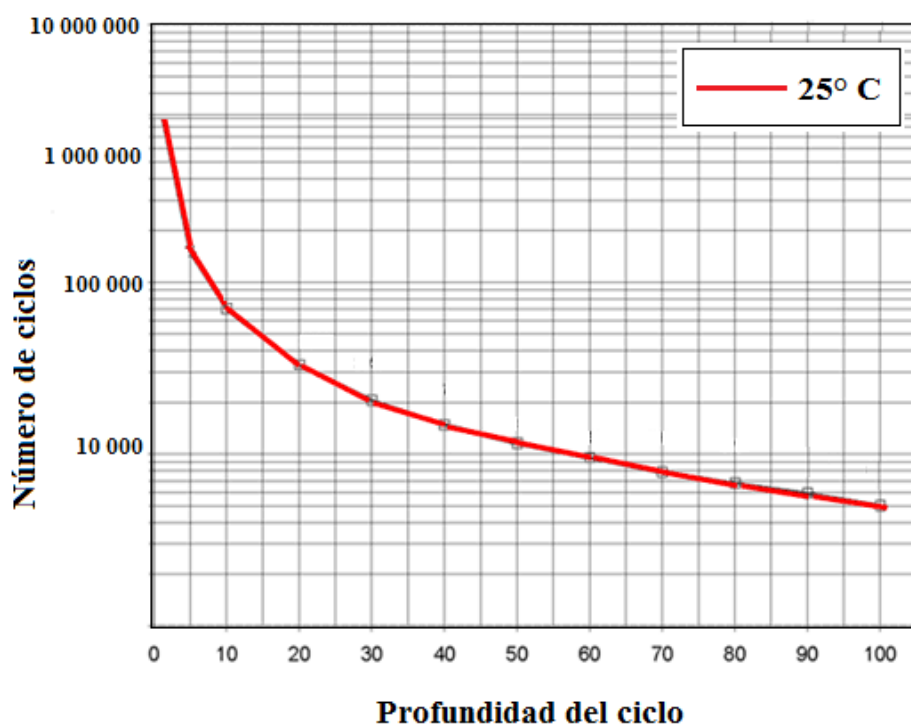
Fuente: Bibliografía número [36].

Además, se deben considerar las siguientes características eléctricas de las baterías:

- **Capacidad.** – Las baterías cuentan con una característica conocida como capacidad y se expresa en amperios-hora. Esta característica indica la cantidad de energía que puede obtenerse en una descarga total de la batería completamente cargada en un tiempo de descarga determinado. Así, por ejemplo, una batería de 10Ah puede suministrar 10 amperios durante 1 hora.



- **Tensión nominal.** – Valor de tensión expresado en voltios de una batería completamente cargada y en circuito abierto.
- **Tensión de carga.** – Valor de tensión expresado en voltios requerido para el proceso de carga de la batería.
- **Profundidad de descarga.** – Valor expresado que indica la relación entre la energía que se obtiene de la batería. Así, por ejemplo, si se tiene una batería de 10Ah a la cual se la descarga a 2Ah, representa una profundidad de descarga del 20%. Este valor tiene relación con el tiempo de vida útil de la batería, así, (Ver Figura 25), se muestra el número de ciclos de carga y descarga que puede soportar una batería de litio y su relación con la profundidad de descarga. Se observa que ante un ciclo de mayor profundidad de descarga la batería tiene una duración estimada menor que ante profundidades de descarga mayores. Este parámetro clasifica a las baterías en: baterías de descargas profundas (60-80%) y baterías de descargas superficiales (20%).



**Figura 25.** Relación entre la vida útil y la profundidad de descarga de una batería de litio

Fuente: Bibliografía número [36].

## 2.8. Conectores de un sistema fotovoltaico

Los conectores macho y hembra específicos para instalaciones fotovoltaicas suelen instalarse en los cables de cada módulo. Los conectores proporcionan un contacto eléctrico duradero y seguro para aumentar la seguridad total del sistema. Los conectores más usados en sistemas fotovoltaicos se conocen como MC4 (Multi-Contact 4mm), los cuales permiten la interconexión de paneles fotovoltaicos (Ver Figura 26) [37].



**Figura 26.** Conectores MC4 macho y hembra

Fuente: Bibliografía número [37].

Las principales características por observar en un conector MC4 son las siguientes:

- Tensión máxima: Tensión máxima que soporta el conector. La tensión hace referencia a la que se obtiene de todos los módulos conectados en serie en el sistema. Puede ser de 600VDC, 1000VDC o 1500VDC.
- Corriente máxima: Valor de la corriente máxima que soporta el conector, puede ser de 30A, 50A o 65A.
- Grado de seguridad IP: grado de protección ante condiciones climáticas adversas, se recomienda IP67.

## 2.9. Ángulos de inclinación de paneles

Un criterio importante por considerar durante la ubicación de los paneles fotovoltaicos es la inclinación del panel con respecto al sol y al horizonte. El motivo por el que se deben posicionar bien los paneles con los ángulos adecuados radica en que la celda fotovoltaica funciona de manera más eficiente cuando los rayos solares inciden directamente y de manera perpendicular en la celda. Así, la corriente de salida de la celda está dada por la ecuación (3) [38].

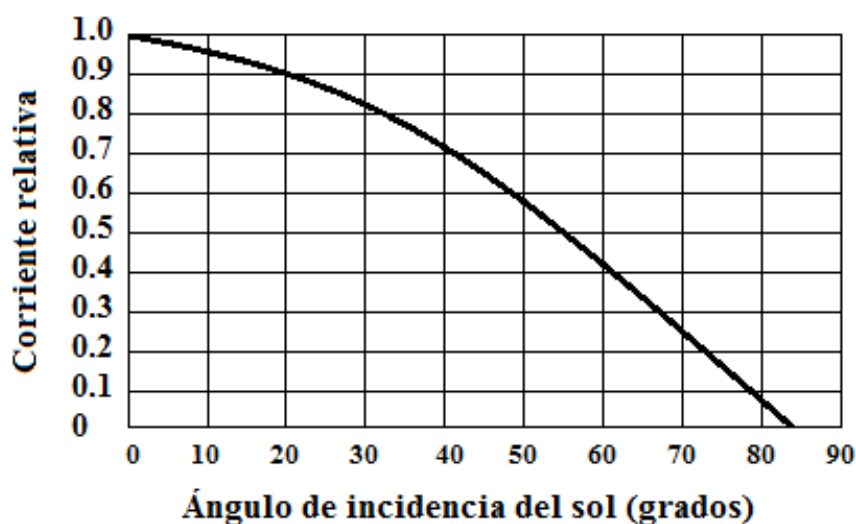
$$I = I_0 \cos \theta \quad (Eq\ 3.)$$

Donde:

$I_0$  : corriente cuando el sol incide perpendicularmente sobre la celda.

$\theta$  : ángulo medido entre la perpendicular (normal) de la superficie del panel y el ángulo del sol.

Esta ley del coseno se cumple para ángulos desde 0° hasta 50°. Para valores superiores la salida de la celda o panel se desvía significativamente, en la práctica llegando a producir 0W de salida a un ángulo de 85° (Ver Figura 27) [38].

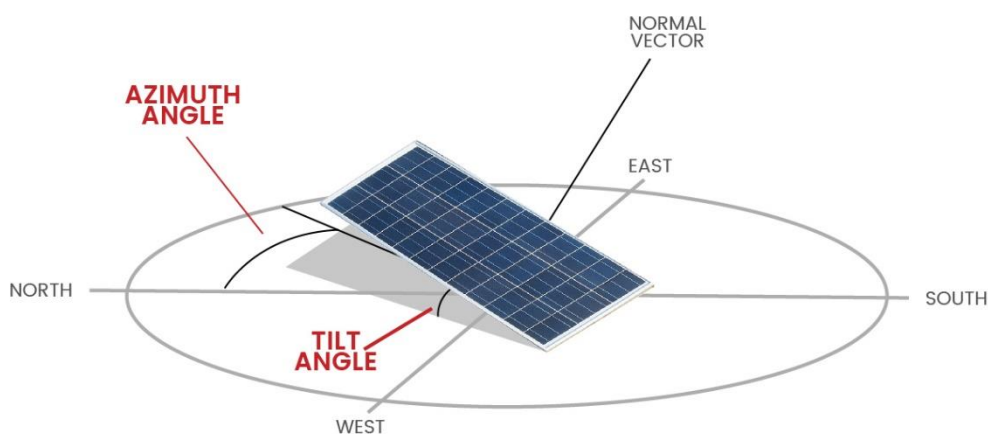


**Figura 27.** Relación entre la corriente de salida y el ángulo de incidencia del sol en una celda solar

Fuente: Bibliografía número [38].

Para evitar este efecto se requiere direccionar los paneles solares de manera óptima en cada caso en particular, por lo que se definen dos ángulos (Ver Figura 28), elevación y azimuth [39].

- Elevación. – El ángulo de elevación (Tilt en inglés) es el ángulo entre el panel y la superficie terrestre.
- Acimut. – El ángulo de orientación o azimuth es el ángulo entre el panel y el norte.



**Figura 28.** Ángulos de inclinación de un panel solar fotovoltaico

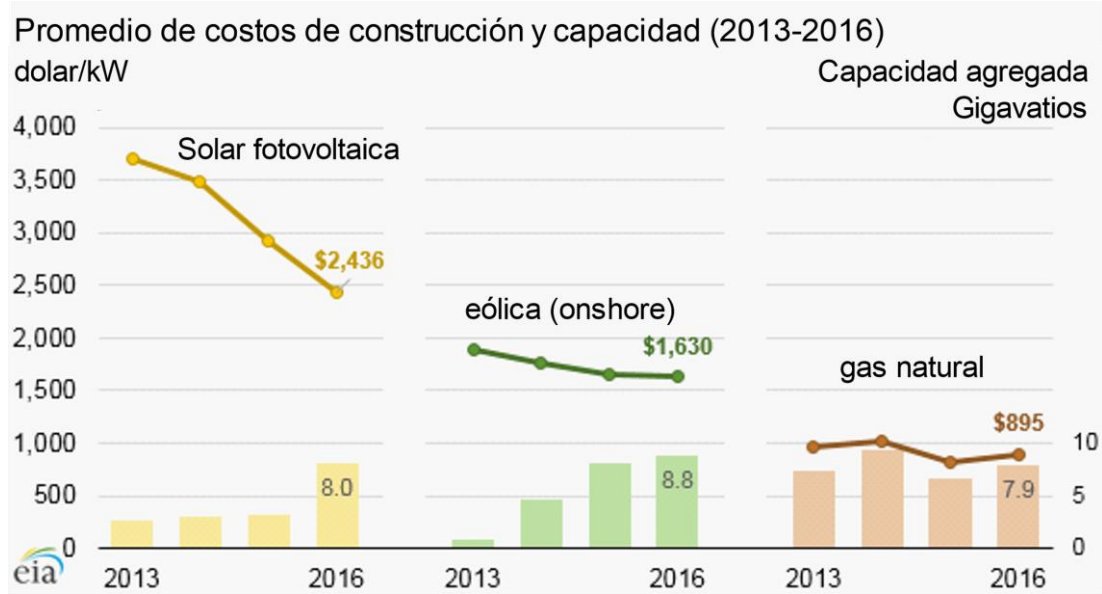
Fuente: Bibliografía número [39].

## 2.10. Costos de energía solar fotovoltaica

Durante las últimas décadas el costo de paneles fotovoltaicos ha experimentado una constante disminución debido al adelanto tecnológico en sus procesos de fabricación y

a la alta demanda del mercado. (Ver Figura 29), se muestra el costo en USD/kW para la construcción de plantas o centrales de generación a gas natural, generación eólica y generación fotovoltaica a manera de comparación [40].

Se observa que en la energía fotovoltaica el costo desde el año 2013 hasta el año 2016 disminuye drásticamente. También se observa que, la tendencia de los costos por kWh en energía solar fotovoltaica es decreciente [40].



**Figura 29.** Costos por KW de energía solar, eólica y gas natural

Fuente: Bibliografía número [40].

## CAPÍTULO 3

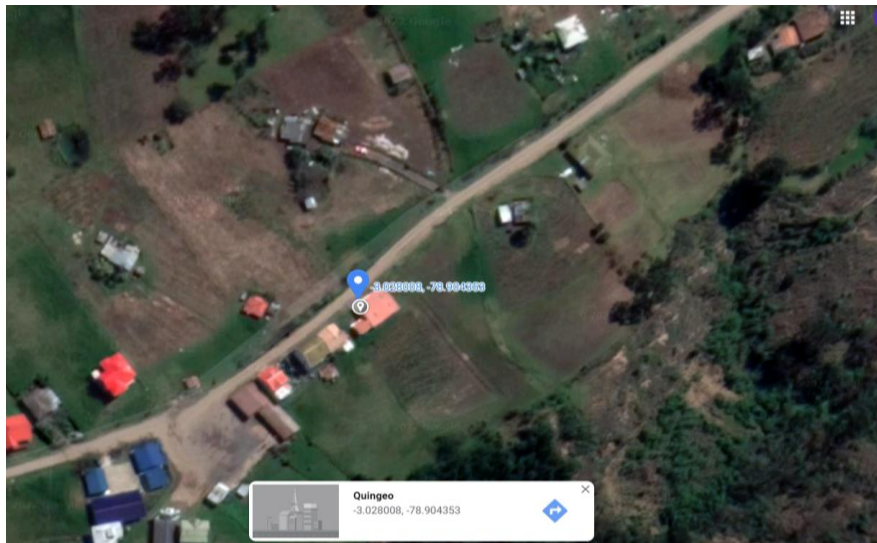
### ANÁLISIS Y DIMENSIONAMIENTO PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

#### 3.1. Ubicación geográfica

Para los distintos sistemas fotovoltaicos es prescindible tener información de radiación solar del lugar que se va a implementar el sistema fotovoltaico. Específicamente, la comunidad “PUNTA HACIENDA” perteneciente a la parroquia Quingeo, Cuenca-Azuay, ubicada en las siguientes coordenadas 3°01′41.05″ S, 78°54′15.78″ O.

#### 3.2. Descripción geográfica

La comunidad Punta hacienda se encuentra a 15 minutos de la parroquia Quingeo, a 37 kilómetros de la ciudad de Cuenca, aproximadamente una hora. La parroquia mantiene sus costumbres, tradiciones ancestrales, además posee una diversificación arquitectónica; en la Figura 30, se visualiza una ilustración geográfica obtenida desde Google Maps, en donde se encuentran marcadas las coordenadas de las instalaciones del centro médico comunitario.



**Figura 30.** Ubicación Geográfica

Fuente: Google Maps.

Esta zona tiene características climáticas similares a las de la ciudad de Cuenca, esto quiere decir que es una zona despejada, aunque sea temporada de lluvias el cielo no presenta nubosidad espesa, en ciertas horas del día aproximadamente entre las 15:30 a 18:00 las nubes normalmente son cúmulos, estratos y cumulonimbos. Por ello, entre las 10:00 y 15:00 se registra mayor intensidad de radiación solar, en esta hora se registra la mayor cantidad de kWh de energía eléctrica obtenida a través del sistema fotovoltaico.

En la fotografía representada en la Figura 31, se puede apreciar el centro de salud comunitario, donde se tuvo la oportunidad de instalar el sistema fotovoltaico y a la vez conectado a un sistema eléctrico tradicional que provee la Empresa Pública Regional Centro Sur C.A.

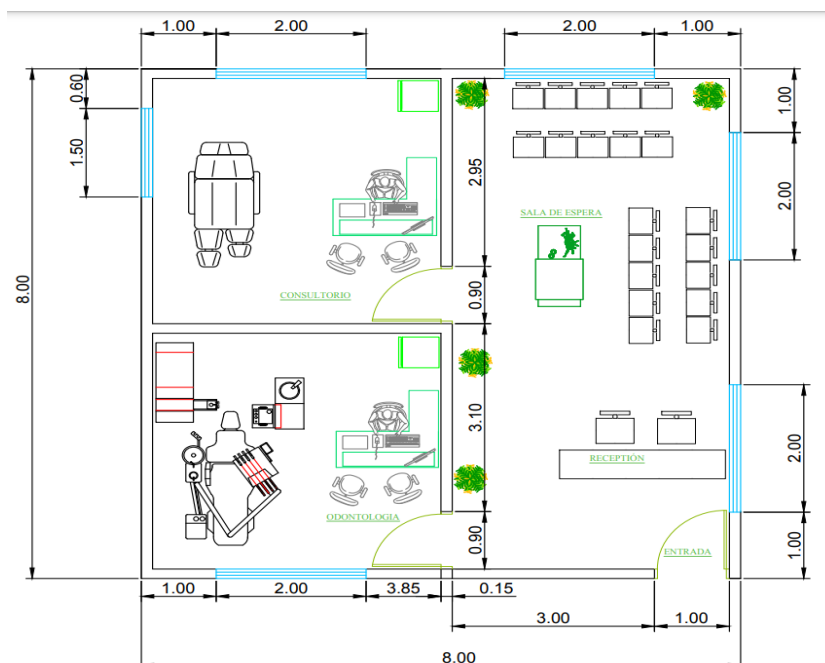


**Figura 31.** Centro médico comunitario

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Trabajo de inspección inicial

Previo a la instalación del sistema fotovoltaico, se realizó una inspección técnica, en el cual se obtuvo las dimensiones del centro médico comunitario y su distribución interna, para realizar planos estructurales y eléctricos de las instalaciones existentes (Ver Figura 32).



**Figura 32.** Plano Estructural del Centro Comunitario

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Análisis de carga actual

#### 3.4.1. Análisis de la carga eléctrica y diseño eléctrico

Para saber la carga actual del centro médico comunitario se realizó un levantamiento del sistema eléctrico interno. En la tabla 2, se presenta en detalle el tipo de carga, la cantidad de equipos eléctricos existentes, la potencia de cada elemento y el número de horas que consume cada dispositivo electrónico, estos datos fueron captados en la visita técnica inicial.

Para realizar los cálculos en la tabla 2 se considera las siguientes formulas:

$$\text{Energía máxima diaria} = \frac{\text{cantidad} * \text{potencia} * \text{horas de uso}}{\text{días de la semana}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Donde

Cantidad = Numero de luminarias.

Potencia = Potencia de la luminaria (W).

Horas de uso diario = horas al día en las que funcionará la carga.

**Tabla 2.** Cuadro de cargas actual

Análisis de carga actual						
Descripción	Cant	Watts	H de uso	Energía diaria	Energía semanal 7/3	Energía mensual
Foco de 7W	2	7	3	42	126	504
Foco de 12W	4	12	4	192	576	2304
Comp. Escrit.	2	300	4	2400	7200	28800
Watts totales		319		11	33	132
Horas de uso total			11			
Energía diaria total kWh/día				2,645		
Energía semanal total kWh/semanal					7,935	
Energía mensual total kWh/semanal						31,740

Fuente: Elaboración propia.

En resumen, la energía consumida diaria es 2,645 kWh/día, semanalmente tenemos 7,935 kWh/semanal y mensualmente es de 31,740 kWh/mensual.

Para obtener el costo mensual a pagarse con este análisis se considera las siguientes formulas:

$$\text{Costo (\$)} = \text{kWh/mensuales} * 0.1044 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\text{Costo (\$)} = 31,740 \frac{\text{kWh}}{\text{mensuales}} * 0.1044$$

$$\text{Costo (\$)} = 3.17$$



Donde:

Costo = Tarifa a pagar.

KWh/mensuales = Energía mensual consumida.

0.1044 = Precio tarifario de la empresa eléctrica Centro Sur [41].

Por lo cual representa el consumo mensual eléctrico del centro médico comunitario, lo que representa un costo de 3.17 dólares mensuales aproximados, a este valor se agrega el precio de alumbrado público y el precio de terceros como: recolección de basura y pago al cuerpo de bomberos Cuenca.

Con esto se corroboró la información brindada por los habitantes del sector.

### 3.5. Diseño eléctrico de la casa comunal

En las Figuras 33. A y B se puede observar el diseño del centro médico comunitario, el cual se encuentra distribuido de la siguiente manera: el primer ambiente es un centro odontológico, el segundo ambiente es de medicina ancestral, y el tercer ambiente para medicina general. En la figura 33.a se muestra el diseño eléctrico de tomacorrientes y en la figura 33.b se muestra el diseño de iluminación.

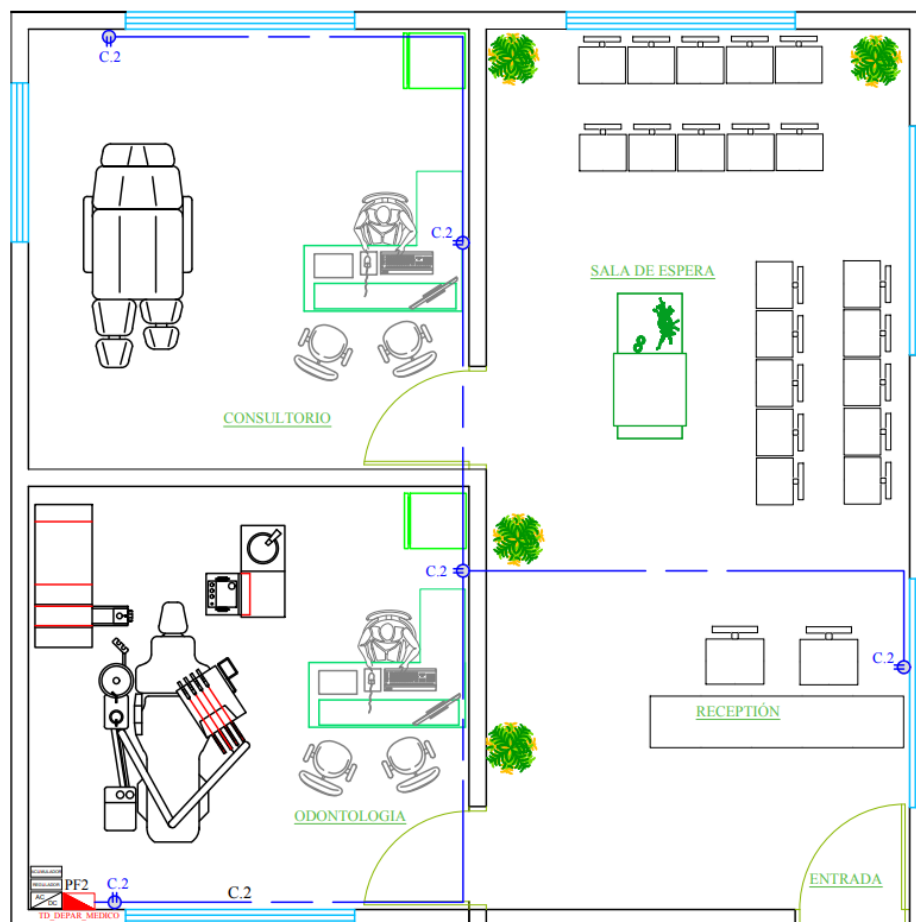
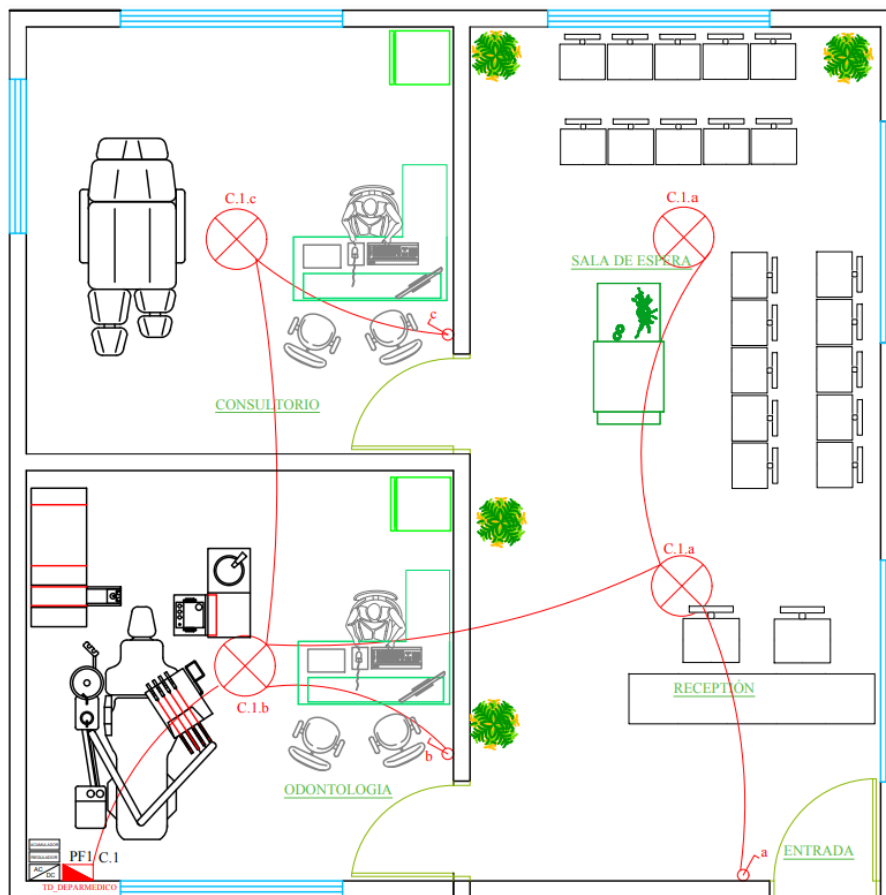


Figura 33. a) Circuito de tomacorrientes





**Figura 33. b) Circuito de Iluminación**

**Figura 33. a y b Diseños eléctricos**

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Análisis de carga proyectada

Una vez levantada la información de las cargas eléctricas actuales, se habló con los dirigentes del sector y manifestaron que la carga eléctrica bajaría si existiera un cambio de luminarias y el reemplazo de conexión de equipos, como por ejemplo carga de computadoras de escritorio por laptops o luminarias incandescentes por luminarias LED, cabe mencionar que los cálculos se re realizaron con las ecuaciones tomadas en la Tabla 2.

En la tabla 3, se puede visualizar el análisis de una carga proyectada con el cambio de luminarias y cargas de computadoras.

**Tabla 3.** Cuadro de cargas proyectada

Análisis de carga proyectada						
Descripción	Cant	Watts	H de uso	Energía diaria	Energía semanal7/3	Energía mensual
Lámpara 9W	2	9	3	54	162	648
Lámpara 12W	4	12	4	192	576	2304
Laptops	2	200	2	800	2400	9600
Watts totales		221		1046	3138	12552
Horas de uso total			9			
Energía diaria total kWh/día				1,046		
Energía semanal total kWh/semanal					6,276	
Energía mensual total kWh/semanal						25,104

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se puede visualizar la carga proyectada en la tabla 3, el consumo promedio diaria es de 1,046 kWh/día, el consumo semanal utilizando tres días a la semana será de 6,276 kWh/semanal, y el consumo final por mes será de 25,104 kWh/mensual. Con esto se observa que existe una gran diferencia entre el consumo actual y el consumo proyectado aplicando las recomendaciones de los habitantes.

### 3.7. Condiciones climáticas

El clima del sector es muy variable de acuerdo al comportamiento de la atmósfera como: temperatura, humedad, presión y precipitación, lo que facilita clasificar y zonificar el clima en el sector. Además, la diversificación de los parámetros climatológicos de la parroquia Quingeo fue tomada mediante sensores, los mismos fueron recopilados por la estación “Data Logger” mencionada en la investigación de Salto [42], la misma que fue ejecutada en la comunidad Punta Hacienda.

En este contexto, con el propósito de dimensionar el sistema fotovoltaico, la toma de datos se puede realizar de dos formas: i) con una estación meteorológica y ii) con la utilización de diferentes programas de software enfocados en esta área. Con esto, se obtienen datos de la temperatura y la radiación solar [43].

### 3.8. Obtención de datos

Las bases de datos de radiación solar son elementales para diseñar y proyectar correctamente una instalación solar fotovoltaica, dicha base tiene algunos datos entre ellos está la temperatura ambiente, humedad y radiación solar.

Para ello, es necesario recopilar esos datos de la zona, lugar en donde se ejecutaron los proyectos de generación eléctrica fotovoltaica como se observa en la Figura 34. Los datos deben ser tomados en un periodo menor a un año debido a que estos datos son variables según la recomendación dada en [26]. En este trabajo de titulación se consideran los datos obtenidos por los diferentes programas de software de uso profesional y también datos recopilados en tesis anteriores.



**Figura 34.** Instalación de la Estación Meteorológica en la Comunidad Punta Hacienda

Fuente: Salto, bibliografía número [42].

### **3.9. Descripción y características del software empleado**

Para la recopilación de datos fue necesario apoyarse en el uso de programas de software que permitan conocer el índice de radiación solar estimados de la zona en la que se está instalado el sistema fotovoltaico. Para ello, se van a utilizar distintos programas, con la finalidad de proporcionar datos aproximados para el diseño de un sistema fotovoltaico y con esto obtener mayor precisión y fiabilidad.

#### **3.9.1. HOMER Pro**

Es un software de diseño de sistemas eléctricos renovables en todo el mundo, por ejemplo, energía solar fotovoltaica, eólica, hidráulica, térmica, biomasa, y electricidad combinados, etc. Este software es utilizado por profesionales, estudiantes que desarrollan proyectos de energía renovable. Homer pro permite simular diferentes sistemas de energía renovable durante todo el año [27].

#### **3.9.2. PVGIS- photovoltaic geographical information system**

Es un software gratuito de los países europeos, que permite calcular la producción fotovoltaica en cualquier parte del mundo, permitiendo conocer las ventajas y desventajas que tendría instalar un equipo de autoconsumo en una zona de coordenadas geográficas determinadas [28].

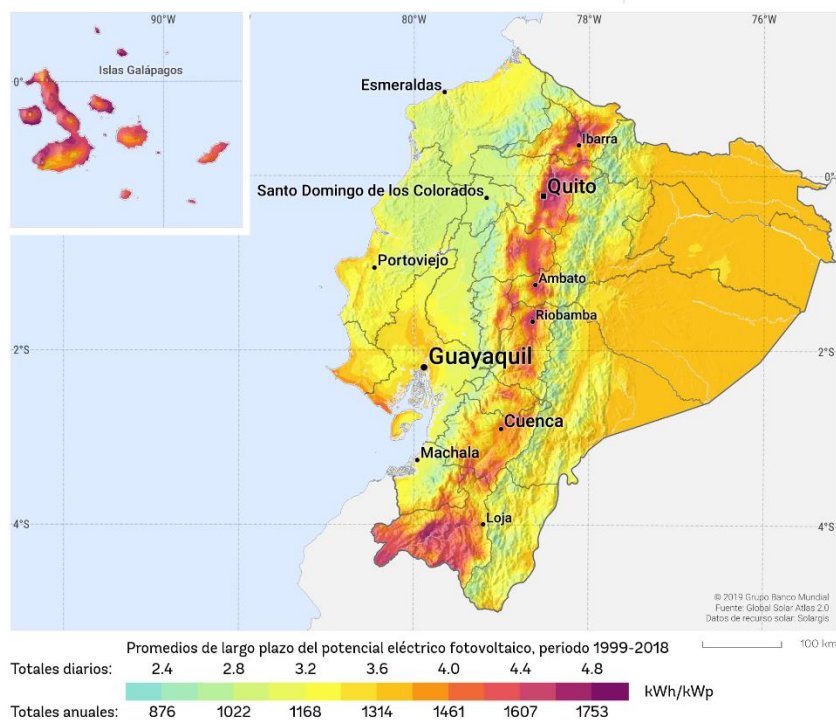
La página de PVGIS está integrada por una serie de mapas de radiación solar con el fin de indicar la heterogeneidad espacial de la generación fotovoltaica entre los diferentes países del mundo. Los mapas de radiación solar, turbidez y el coeficiente de difusión global a lo largo de los años, lo que nos lleva a que los datos sean precisos y fiables[29].

### 3.10. Interpretación de datos obtenidos

Para determinar el tipo de panel solar y la cantidad de los mismos, se necesita realizar un estudio de radiación solar en la zona de interés con el propósito de instalar el sistema fotovoltaico. Con ello se establece la cantidad del material para adquirir en alguna distribuidora.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**<sup>35</sup>, representa la radiación anual total para un ángulo de inclinación óptimo de un panel fotovoltaico (el ángulo de inclinación óptimo del panel recibe el máximo posible de irradiación anual global). Los valores están dados en [kWh/m<sup>2</sup>/año]. Comparando la inclinación de los módulos, la media anual de generación de potencia de un sistema fotovoltaico con módulos inclinados en ángulos de 15, 25 y 40°, respectivamente incrementan entre 7-12, 10- 17 y 9-20%, cuando son comparados respectivamente con la irradiación horizontal [29].

Según el Atlas de radiación solar del Ecuador, existen regiones del país que tiene mayor índice UV, como son la provincia de Loja, pichincha, Latacunga y Ibarra, en su gran parte de las regiones mencionadas presentan niveles de radiación por encima del promedio nacional alrededor de los 6,0 kWh/m<sup>2</sup>/d [30].



**Figura 35.** Mapa de recursos solares, potencial eléctrico fotovoltaico

Fuente: Auto Solar, bibliografía número [30].

En el Ecuador los promedios mensuales de radiación solar global multianual los presenta el (INAMHI), quien cuenta con la base de datos más importante relacionado a esta tema y constituye un aspecto significativo como línea base del proyecto, por lo que el funcionamiento de los paneles solares está directamente relacionado con el comportamiento climático del lugar de instalación, aunque no se analizan variables

como brillo solar y precipitación, se puede visionar el potencial energético posiblemente a obtener, siendo funcional para el suministro de producción de energía del sistema fotovoltaico, el índice UV aproximado es de 10 (hs) [30].

A continuación, se manifiestan los datos estadísticos obtenidos de diferentes programas de software que nos señalan la radiación global en la comunidad Punta Hacienda.

### 3.10.1. Datos de PVGIS

La página web de PVGIS permite buscar condiciones climatológicas en la base de datos GIS, los cuales brindan datos actuales de irradiación global y el potencial de generación de energía fotovoltaica, esto se realiza introduciendo la latitud y la longitud en dicha página así se obtendrá los datos meteorológicos del lugar requerido.

Los mapas que muestran el potencial de la producción de generación de potencia fotovoltaica presentan valores medios a un nivel regional, así esta información es más sencilla de entender para tomar decisiones. La tabla 4, muestra una media de la potencia fotovoltaica generada [kWh/año] de un sistema con potencia instalada de 1 kW en zona urbana, con los módulos inclinados en el ángulo óptimo [29].

**Tabla 4.** PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar

DATOS PROPORCIONADOS			
Latitud/Longitud	-3.024, -78.894	FV instalado	496 Wp
Horizonte	Ninguno	Capacidad de la batería	1000 Wh
Base de datos	PVGIS-NSRDB	Resultados de la simulación Porcentaje días batería cargada	83%
Limitador de descarga	40%	Porcentaje días batería descargada	100%
Consumo diario	1100 Wh	Energía media no capturada	505.92 Wh
Ángulo de inclinación	35°	Energía media que falta	166.15 Wh
Ángulo de azimut	0°		

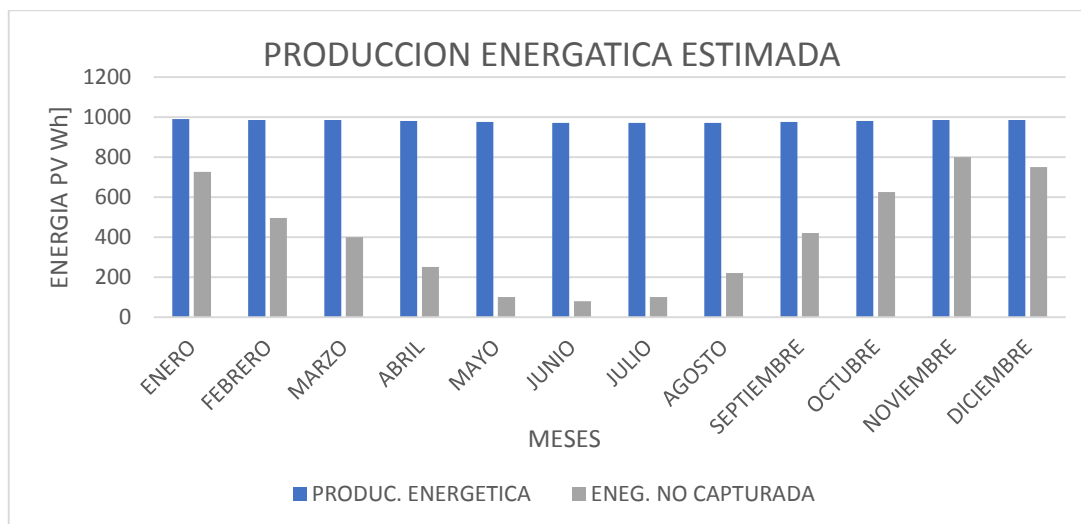
Fuente: Auto Solar, bibliografía número [29].

Los resultados del cálculo de un sistema FV autónomo son de tres tipos diferentes:

- Valores medios mensuales y anuales de la producción eléctrica diaria y valores medios mensuales de la energía no capturada debido a una batería completamente cargada (ambos expresados en Wh).

- Promedio mensual y anual del número de días en los que la batería se carga y descarga completamente.
- Histograma del estado de carga de la batería.

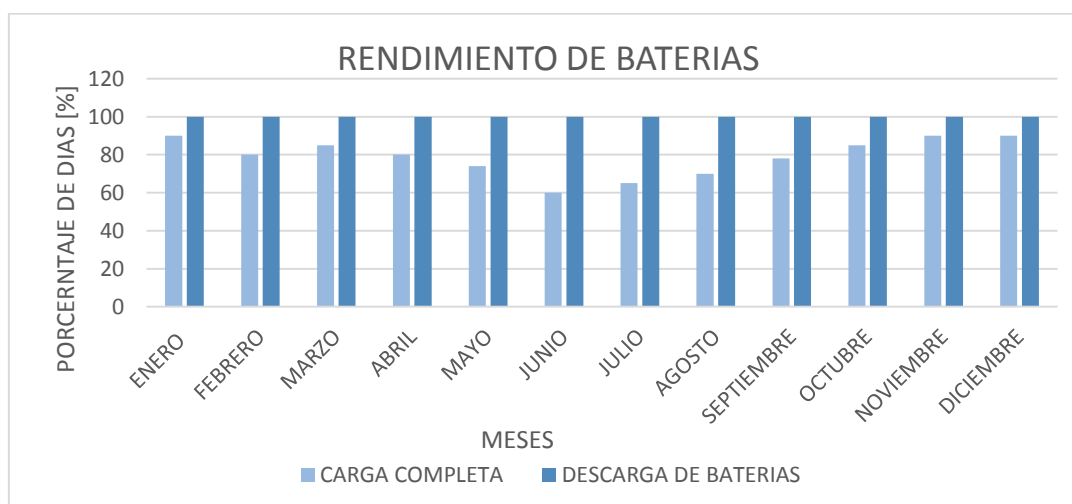
En la Figura 36, se observa la producción de energía estimada cada mes correspondiente a un año.



**Figura 36.** Producción energética estimada para un sistema fotovoltaico autónomo

Fuente: Elaboración propia realizada en el software PVGIS.

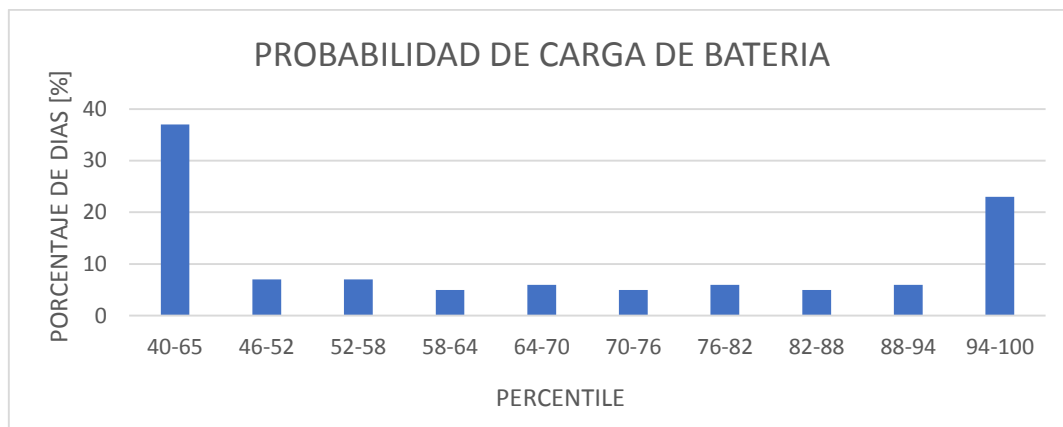
En la Figura 37, se observa la proyección de rendimiento de baterías para un sistema FV autónomo de cada mes durante un año.



**Figura 37.** Rendimiento de baterías para un sistema FV autónomo

Fuente: Elaboración Propia realizada en el software PVGIS.

En la Figura 38, se muestra la probabilidad de carga de la batería al lapso de un día.



**Figura 38.** Probabilidad de estado de carga de baterías al final del día

Fuente: Elaboración propia realizada en el software PVGIS.

### 3.10.1.1. Interpretación de datos recopilados

Después de obtener datos de radiación solar se ha obtenido los datos que se visualizan en la Tabla 5. En esta tabla se obtiene la clasificación mensual de: i) la producción energética media diaria (E-D), ii) la energía media diaria (E-I), iii) el porcentaje de días con baterías cargadas completamente (F-F) y iv) el porcentaje de días en los que las baterías se descargan completamente (F-E).

**Tabla 5.** Promedio de Radiación diaria

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
E-D	6	5.9	5.99	5.99	6	6	6	6	5.99	6	6	600
E-I	2105	1748	1591	1332	1098	971	1056	1226	1591	1987	2262	2189
F-F	100	100	100	100	100	100	100	99	99	100	100	100
F-E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E-D	Producción energética media diaria [Wh/día]											
E-I	Energía media diaria no capturada [Wh/día]											
F-F	Porcentaje de días con baterías cargadas completamente [%]											
F-E	Porcentaje de días en los que las baterías se descargan completamente [%]											

Fuente: Elaboración propia realizada en el software PVGIS.

Como resultado se puede visualizar la radiación promedio diaria obtenida durante todos los meses del año, la cual sirve como referencia para obtener la hora pico solar.

El objeto de la adquisición de los datos en la comunidad Punta Hacienda de la parroquia Quingeo es para la implementación de un sistema fotovoltaico en el centro médico comunitario del sector.

### 3.10.2. Datos de HOMER Pro

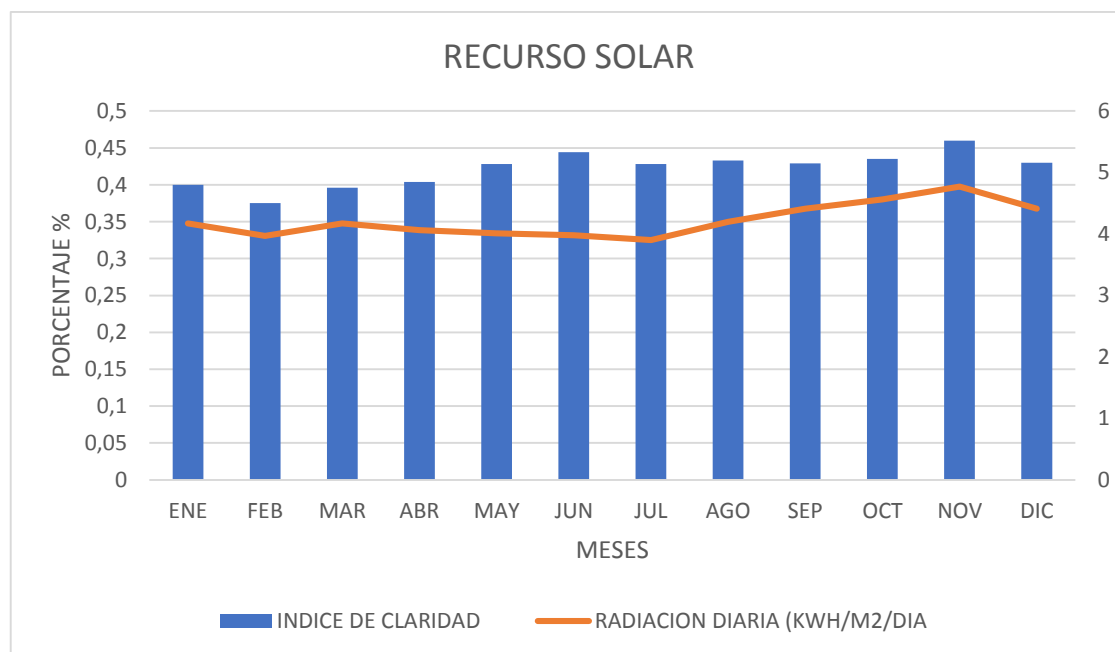
HOMER Pro permite buscar condiciones climatológicas, los cuales son pronósticos de recursos energéticos mundiales de la NASA. Los mismos permiten obtener estadísticas de un promedio de radiación solar en la zona que se planteó el estudio e implementación de los equipos fotovoltaicos.

En la tabla, se muestra los datos de índices de radiación solar. En donde se observa el índice de claridad y la radiación diaria clasificada por meses. De la misma forma en la figura 39, se muestran los datos representados gráficamente, allí se observa que los valores obtenidos mensuales son similares y/o aproximados en cada caso.

**Tabla 6.** Promedio de radiación diaria

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Índice de claridad	0,4	0,375	0,396	0,404	0,428	0,444	0,428	0,433	0,429	0,435	0,46	0,43
Radiación diaria (kWh/m2/día)	4,17	3,97	4,17	4,06	4,01	4,40	3,9	4,2	4,41	4,56	4,77	4,41

Fuente: Elaboración propia realizada en el software HomerPro.



**Figura 39.** Histograma de recurso solar

Fuente: Elaboración propia realizada en el software Homer Pro.

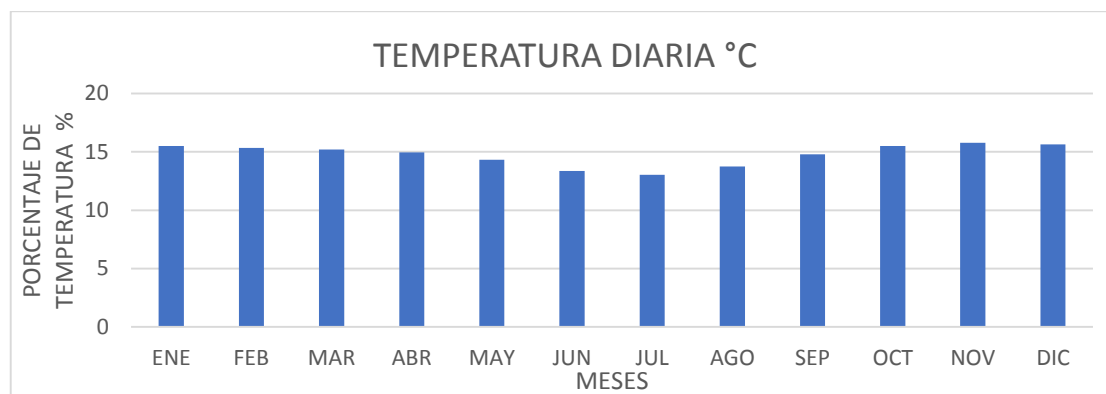
Además, en la tabla 7 se muestran los datos de índices de temperatura mensual en la zona de Punta Hacienda. De la misma forma en la figura 40, se muestran los datos representados gráficamente, allí se observa que los valores obtenidos mensuales son similares y/o aproximados en cada caso.



**Tabla 7.** Promedio de radiación diaria

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura diaria °C	15,49	15,34	15,2	14,95	14,32	13,36	13,04	13,74	14,79	15,51	15,78	15,64

Fuente: Elaboración propia realizada en el software Homer Pro.



**Figura 40.** Histograma de temperatura

Fuente: Elaboración propia realizada en el software Homer Pro.

### 3.11. Cálculo para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para dimensionar el sistema fotovoltaico se requiere diferentes elementos que componen el sistema, para ello, primeramente se debe considerar la potencia generación de un panel solar, por lo que se tomará como referencia al panel solar monocristalino SM150W-12V, se realizará cálculos para el sistema, las características de este panel solar se encuentran detalladas en la tabla 8 [49].

**Tabla 8.** Características del panel solar SM150W-12V

Especificaciones eléctricas		Características mecánicas	
Modelo	Sm150w-12v	Dimensiones	[1400*680*35mm]
Potencia max. (pmax)	100w	Peso	11,7 kg
Eficiencia celda	20%	Celdas solares	36 celdas en serie
Max.pot.voltaje. (vmp)	18v	Cable de cobre	(2,5mm <sup>2</sup> )
Max.pot.corriente (imp)	11,12 a	Longitud	700mm (-) y 700mm (+)
Voltaje abierto del cir.	22,80 v	Conector	Mc4 plug typs
Corriente de corto circuito	11,70 a	Tipo de vidrio	High transmits, low iron, 3,2mm tempered glass
Tolerancia de potencia	±3%	Marco	Aleación de aluminio
Max. Voltaje del sistema	1000 v		
Clasificación de fusibles en serie	15		
Numero de diodos en derivación	2		
Temperatura de operación	[40°(to+85°)]		
Max. Voltaje del sistema dc	1000		

Fuente: Bibliografía número [49].

### 3.12. Cantidad de paneles solares

Es necesario realizar un muestreo de datos con distintos programas para esto se realiza el cálculo con los datos de dos softwares como son el PVGIS y el HomerPro.

#### 3.12.1. Cantidad de paneles solares con PVGIS

Para determinar la cantidad de paneles solares necesarios en el software PVGIS se realizaron los siguientes pasos[50]:

1. Suma de los Wh/día que se va a consumir, cabe recalcar que se considera para el sistema fotovoltaico una carga aproximada de 1 kWh por el hecho que no todas las cargas se encenderán al mismo momento.
2. Obteniendo la radiación de Valencia, en este caso, del mes más desfavorable (junio para sierra y costa), observamos que sale un valor en HSP (hora solar pico) de 5.99 kWh/M<sup>2</sup>/DÍA para una inclinación del panel de 35° hacia el sur.
3. Ingresar la potencia panel solar de 150 Wp (Vatios pico).

Considerar la siguiente ecuación:

$$N.º \text{ de paneles} = \frac{\text{Consumo diario}}{(\text{Potencia panel} \times \text{HSP} \times 0.70)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Donde:

Consumo diario = Energía consumida proyectada diaria.

Potencia panel = Capacidad de energía producida por el panel fotovoltaico.

HSP= Horas solar pico.

0.70= Factor global de funcionamiento.

$$N.º \text{ de paneles} = \frac{1000 \text{ Wh}}{(150 \times 5.96 \times 0.70)}$$

$$N.º \text{ de paneles} = 1.597 \approx 2$$

Finalmente, se ha obtenido que se requiere un total de 2 paneles de 150WP, para el sistema FV a instalar con una carga aproximada de 1 kWh/día con los datos de software de PVGIS.

#### 3.12.2. Cantidad de paneles solares con HOMER Pro

Para determinar la cantidad de paneles solares necesarios en el software HOMER Pro se realizaron los siguientes pasos:

1. Suma de los Wh/día que se va a consumir, cabe recalcar que se considera para el sistema fotovoltaico una carga aproximada de 1 kWh por el hecho que no todas las cargas se encenderán al mismo momento.
2. Obtenido la radiación de Valencia, en este caso, del mes más desfavorable (junio

- y julio para sierra y costa), observamos que sale un valor en HSP (hora solar pico) de 4.4 para una inclinación del panel de 35° hacia el sur.
3. Ingresar la potencia panel de 150 Wp (Vatios pico).
  4. Considerar la siguiente ecuación

$$N.^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{\text{Consumo diario}}{(\text{Potencia panel} \times \text{HSP} \times 0.70)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Donde:

Consumo diario = Energía consumida proyectada diaria.

Potencia panel = Capacidad de energía producida por el panel fotovoltaico.

HSP= Horas solar pico.

0.70= Factor global de funcionamiento.

$$N.^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{1000 \text{ Wh}}{(150 \times 3.90 \times 0.70)}$$

$$N.^{\circ} \text{ de paneles} = 2.442 \approx 2$$

Finalmente, la cantidad de paneles empleados en este software son de 2 paneles solares de 150Wp, para el sistema FV que se va a instalar con una carga aproximada de 1 kWh/día en el software de HomerPro.

### 3.12.3. Análisis del total de paneles solares

Luego, se va a realizar un promedio de los datos obtenidos utilizando los programas PVGIS y HOMER Pro en la ecuación 7.

$$\text{Promedio de Paneles} = \frac{(N^{\circ} \text{ de paneles de PVGIS} + N^{\circ} \text{ de paneles de HomerPro})}{2} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$\text{Promedio de Paneles} = (1.597 + 2.442)/2$$

$$\text{Promedio de Paneles} = 2.019$$

$$\text{Promedio de Paneles} \approx 2$$

Como resultado del análisis realizado previamente se ha determinado que se requieren 2 paneles solares de 150 Wp, para la carga proyecta en el centro médico comunitario.

### 3.13. Cálculo del banco de baterías

Considerando que la profundidad de descarga no debe superar el 70% de la capacidad nominal de la batería, en consecuencia, será ecuación 8 [51]:

$$C \approx \frac{1.1 * E * \text{autonomia}}{\text{profundida de descvarga} * V} \quad (\text{Eq. 8})$$

Donde:

C = Capacidad de la batería.

E = Energía máxima diaria.

Días de autonomía = se eligen 1.5 día, al no existir radiación solar en el lapso de los días.

Profundidad de descarga = 0,7 por norma.

V= Voltaje del sistema 12v, se considera este voltaje por los equipos que se van adquirir funcionan con este voltaje.

$$C = \frac{1.1 * \frac{1000wh}{dia} * 1.5 dias}{0.7 * 12v} = 196.428 Ah$$

Las baterías estacionarias están especialmente ideadas para aplicaciones de uso estacionario y continuo con consumos medios-altos con profundidades de descarga y picos de corriente moderados que se pueden descargar y volver a cargar. Utilizando baterías estacionarias de gel de 12 V - 100 Ah para ello se calcula el número de baterías en paralelo en la Eq.9.

$$Num_{bat} \geq \frac{c}{c_{fabricante}} \quad (Eq. 9)$$

Donde:

C = capacidad del sistema.

C fabricante = capacidad comercial a utilizar.

$$Num_{bat} \geq \frac{196.428}{100}$$

$$Num_{bat} \geq 1.964$$

Entonces, el número de baterías son de 1.964 como se muestra en la ecuación 9:

Finalmente, el sistema consta con 2 baterías de 12V - 100Ah, porque el valor es más cercano al dos según este análisis.

## CAPÍTULO 4

### DISEÑOS E INSTALACIÓN

#### 4.1. Diseños y simulación de Dialux

En este apartado, se muestran los diseños realizados en el software Dialux, tomando en cuenta las normativas que se describe en la sección 4.1.1, de nivel de iluminación vigentes para el uso espacio. Para esto, se consideran los diseños y análisis realizados anteriormente en el capítulo 3 de la edificación que se encuentra en la comunidad Punta Hacienda.

En la Figura 41 se puede apreciar el diseño realizado en el software de Dialux en el cual se observa la distribución del centro médico comunitario.



**Figura 41.** Diseño en Dialux

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.1 Normas de iluminación

Para realizar el diseño se tomó en cuenta la real normativa del decreto 486/1997 del ministerio de trabajo y asuntos sociales[52], en el cual se establece las disposiciones, condiciones mínimas de seguridad y salud en los hogares y zonas de trabajo, por ello, se establecieron las condiciones mínimas de iluminación en la cual se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9.** Nivel mínimo de iluminación decreto 486/1997

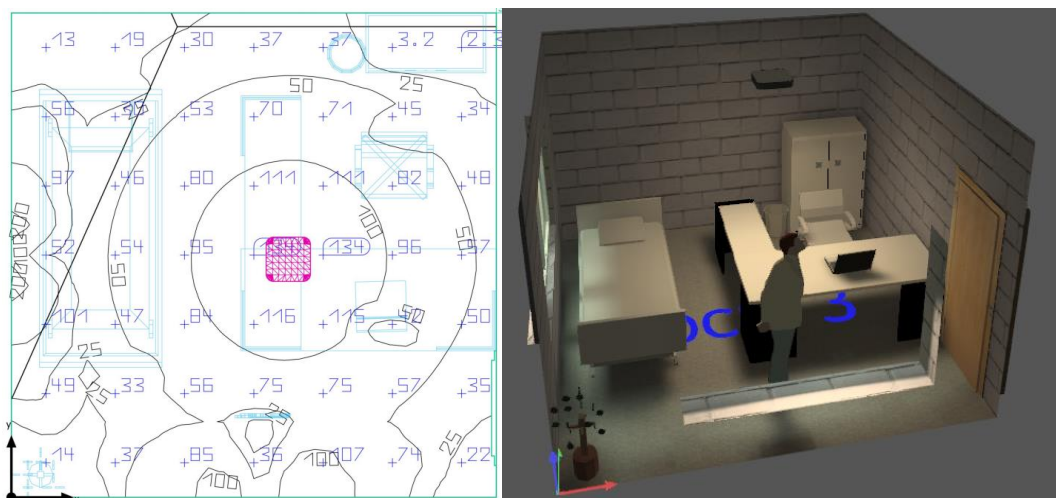
Nivel mínimo de iluminación	
Zona o lugar de trabajo	Nivel mínimo de iluminación (lux)
1 Bajas exigencias visuales	100
2 Exigencias visuales moderadas	200
3 Exigencias visuales altas	500
4 Exigencias visuales muy altas	1000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Fuente: Normativa del decreto 486/1997 del ministerio de trabajo y asuntos sociales, bibliografía número [52].

#### 4.1.2. Nivel de iluminación en la casa comunal de Punta Hacienda

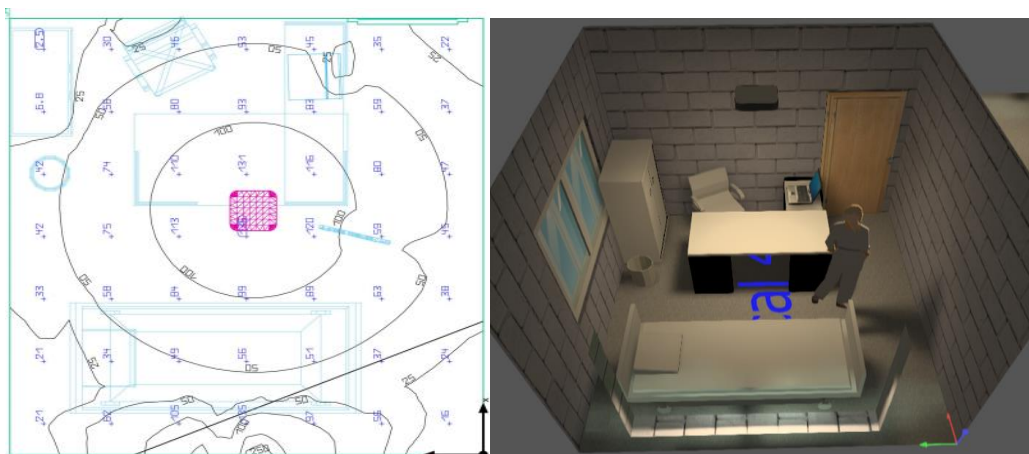
Según el decreto 486/1997[52], para áreas o locales de uso habitual se encuentra con 100 lux y exigencias visuales moderadas es de 200 lux, para ello, se considera que existe dos zonas las cuales comprenden la una en consultorios y la otra zona de uso compartido.

En la zona de consultorios son de uso de visualización de uso moderado. En la Figura 42 y Figura 43 se visualiza los lux aproximados en el área de los dos consultorios.



**Figura 42.** Lux en el consultorio 1 en Dialux

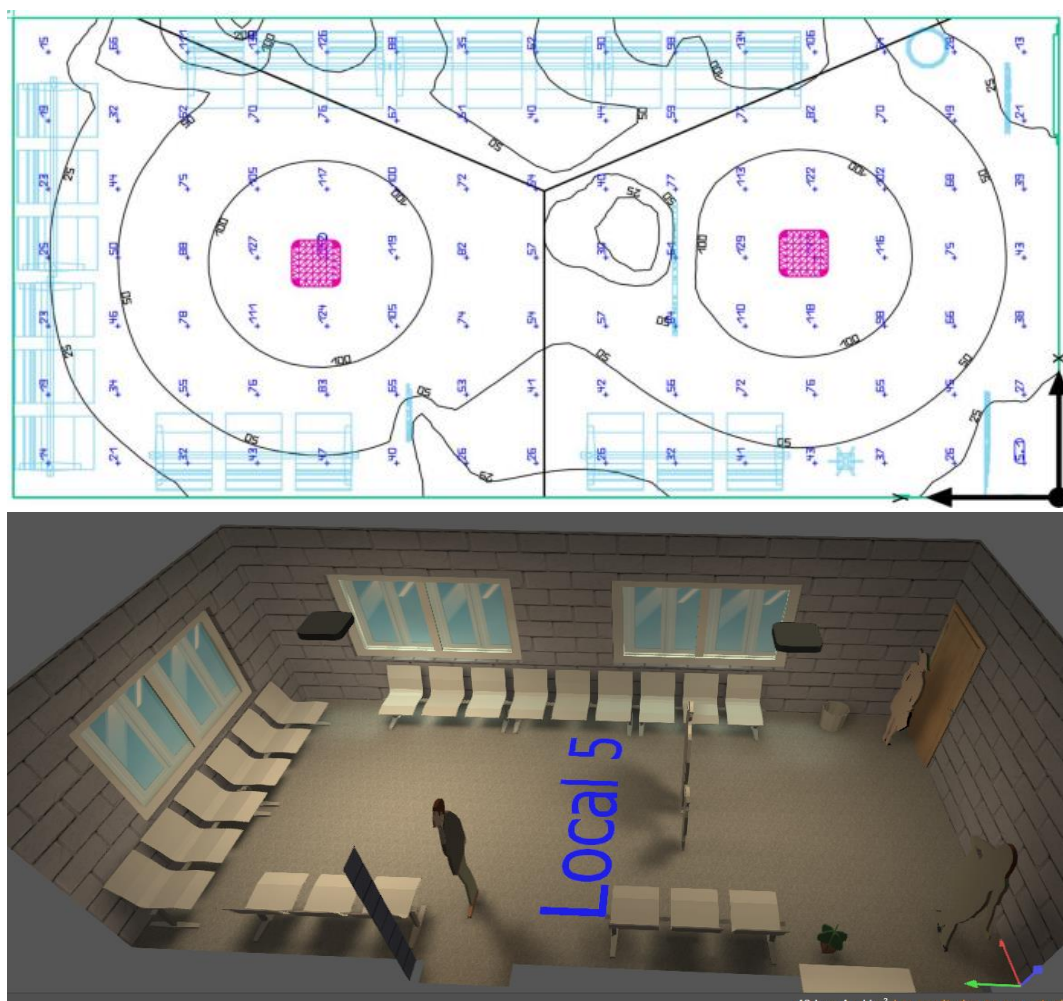
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 43.** Lux en el consultorio 1 en Dialux

Fuente: Elaboración propia.

Además, en la figura 44, se observa la zona de uso común, la misma que es de uso habitual.



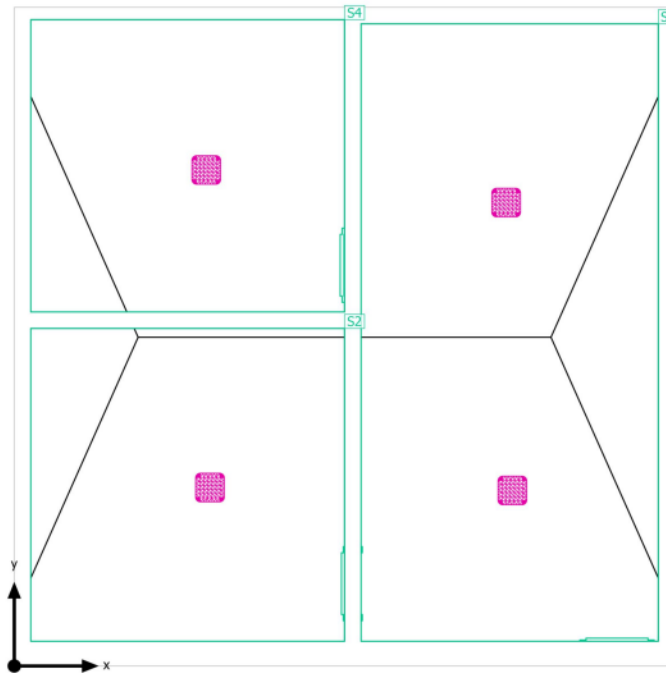
**Figura 44.** Lux en la zona de uso común en Dialux

Fuente: Elaboración propia.

Como se pudo apreciar en los diseños de Dialux los parámetros de intensidad lumínica se encuentran dentro de los rangos en las distintas zonas del centro comunitario[53].

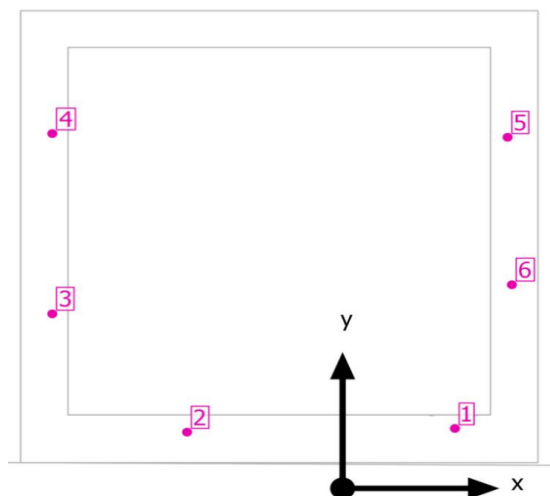
#### 4.1.3. Distribución de luminarias

En la Figura 45 y en la Figura 46, se observan las luminarias led, también se observa la distribución de la siguiente forma cuatro lámparas de 12W en el interior y 6 lámparas de 3w en el exterior.



**Figura 45.** Distribución de lámparas de 12W

Fuente: Elaboración propia.



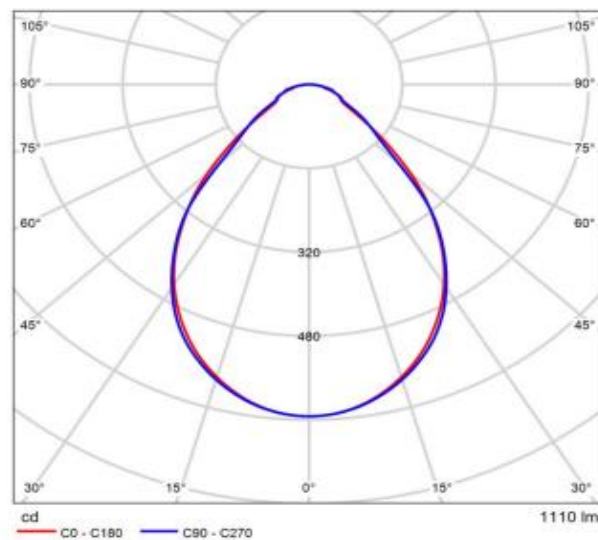
**Figura 46.** Distribución de lámparas de 9w en Dialux

Fuente: Elaboración propia en Dialux.



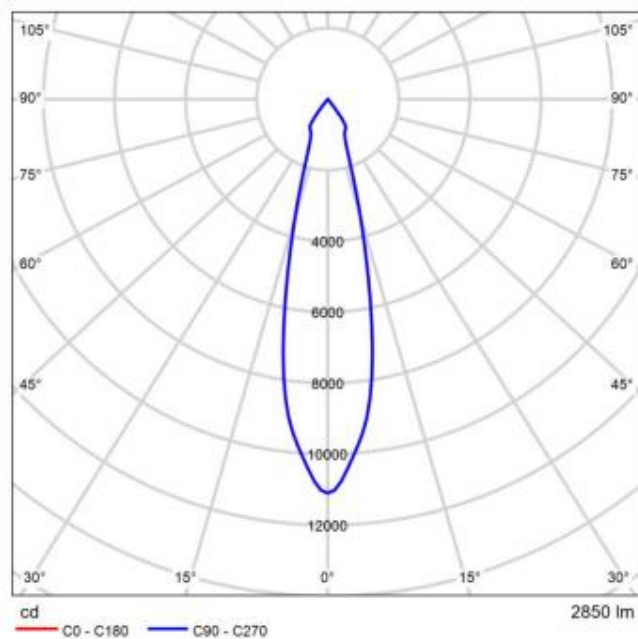
#### 4.1.4. Curva de distribución luminosa de luminarias

También es conocida como curva fotométrica, la cual define la forma y la dirección de la distribución de la luz emitida por la luminaria en una zona. Es el resultado de mediciones de intensidad de una luminaria en diversos ángulos alrededor de ella, los cuales son transcribirse en forma gráfica, específicamente en coordenadas polares. En la Figura 47 y 48 se puede apreciar la curva de distribución luminosa de las dos distintas luminarias que se utilizaron para nuestro estudio.



**Figura 47.** Distribución luminosa lámpara (Halla burbo 19-214I-10GEE/830, B-12W)

Fuente: Elaboración propia en Dialux.

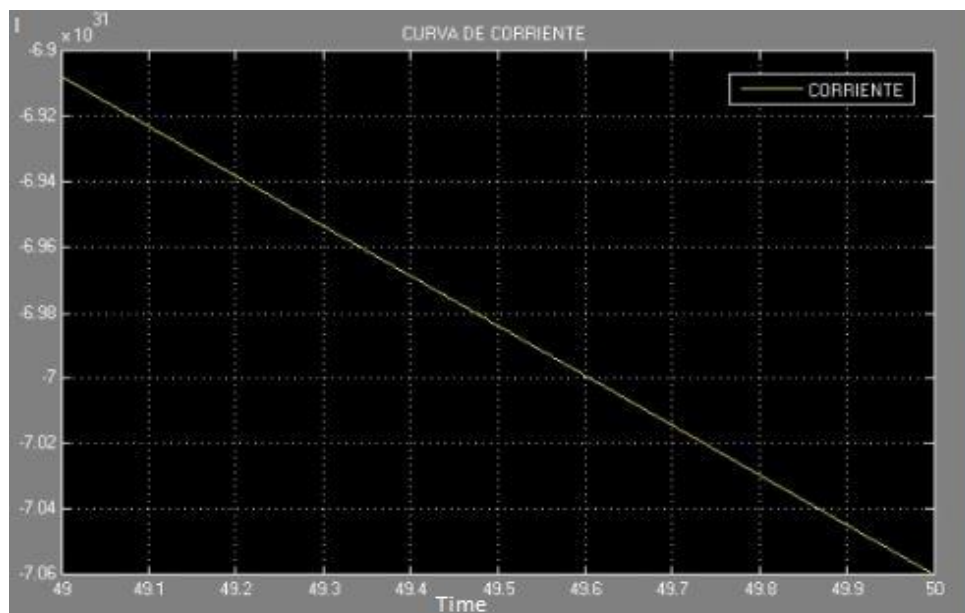


**Figura 48.** Distribución luminosa lámpara (Halla Basi 70-003S-10GHE/830-3W)

Fuente: Elaboración propia en Dialux.



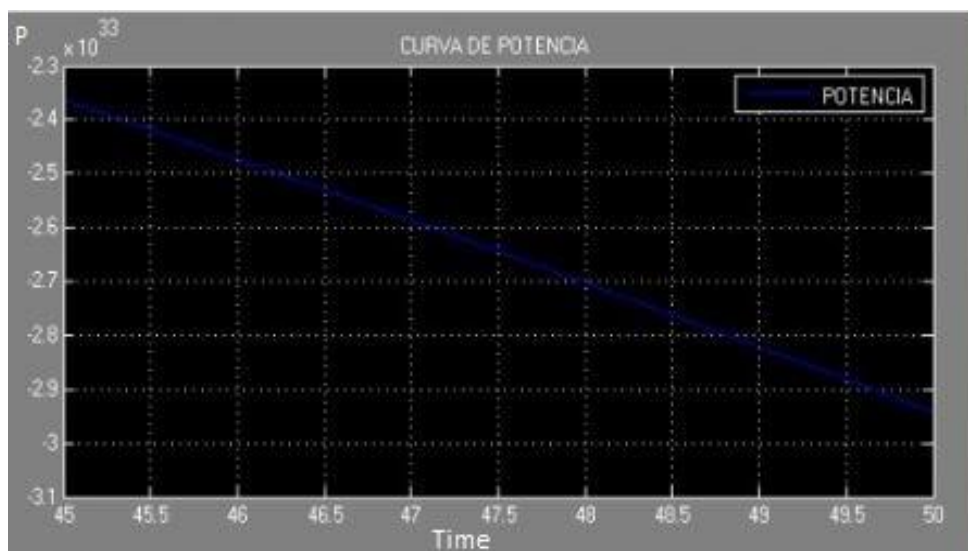
En la Figura 50 se muestra los resultados de la curva de comportamiento de la corriente dc con respecto al tiempo del panel solar.



**Figura 50.** Curva de corriente en Matlab

Fuente: Elaboración propia.

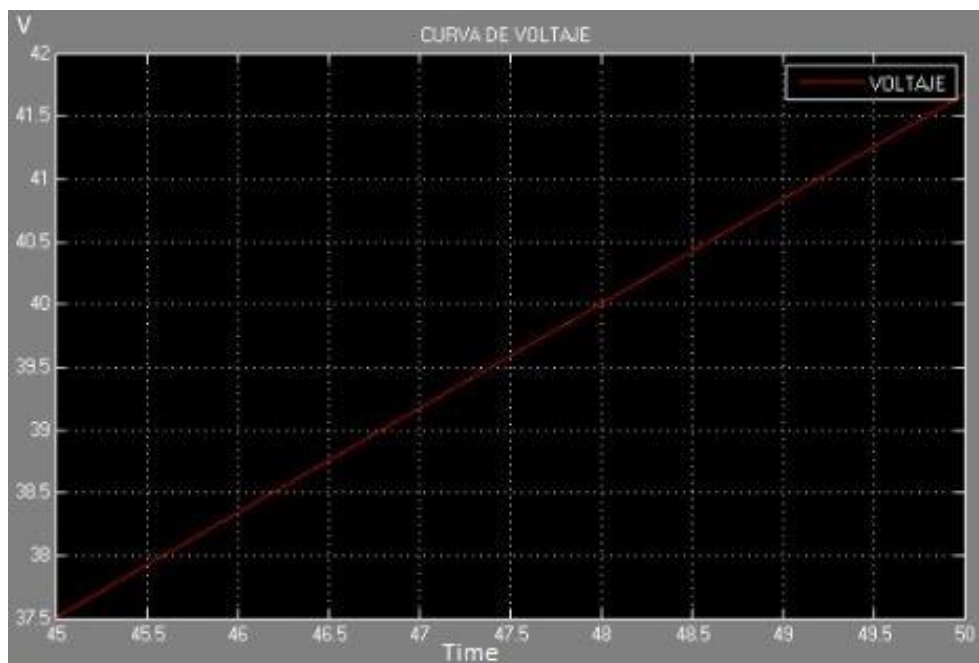
En la Figura 51 se visualiza la curva de comportamiento de los resultados de potencia en la simulación de un panel fotovoltaico.



**Figura 51.** Curva de potencia en Matlab

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52, se observa la curva de comportamiento de los resultados de voltaje con respecto al tiempo, los mismo que se obtuvieron a partir del diseño en la modelación del panel fotovoltaico en las condiciones de operación del sector de estudio



**Figura 52.** Curva de voltaje en Matlab

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Proyección para el diseño a una micro red

En la actualidad es una problemática sobre el calentamiento global y los impactos ambientales con el uso irracional de recursos de combustibles fósiles, por lo cual se ha desarrollado distintos modelos de gestión de recursos, por lo cual una de las formas de reducir el acelerado calentamiento global es cambiar el uso de energías no renovables por el uso de energías amigables con el medio ambiente o energías renovables, por ello se plantea el siguiente modelamiento para un diseño de una microred renovable futura, en el sector de la parroquia Quingeo.

Los datos reales han sido obtenidos a través de estudios previos e instalaciones realizadas en el sector. Esto, con el fin de realizar un análisis efectivo de la microred renovable a implementarse en investigaciones futuras.

En la siguiente tabla se describen las siguientes nomenclaturas y fórmulas para la proyección de una microred con el uso de energía renovable en el sector de investigación.

**Tabla 10.** Nomenclaturas y fórmulas para la proyección de una microred

Abreviaturas			
PCC	Punto de acoplamiento común	$D_{n,t,sc}$	Curva de demanda diaria (kW)
RTP	Precios en tiempo real	$SoC_{e,t,sc}$	Estado de carga del sistema EES (kWh)
TOU	Tiempo de uso	$p_{e,t,sc}^{Ch}/p_{e,t,sc}^{Dch}$	Nivel de carga/descarga del sistema EES (kW)
CPP	Precio pico crítico	$I_{g,t,sc}^{DGS}$	Variable binaria del estado de las generaciones distribuidas
PAR	Proporción pico a promedio	$I_{n,x,t,sc}^{App}$	Variable binaria del estado de las generaciones de electrodomésticos (kW)
UCL	Nivel de comodidad del usuario	$Q_g^{Min}/Q_g^{Max}$	Potencia reactiva mínima/máxima de la térmica generación (kVAr)
UTR	Rango de tiempo de utilización	$\eta^{DGS}$	Eficiencia eléctrica de generaciones distribuidas (%)
PTR	Intervalo de tiempo preferido	$\rho_{sc}$	Probabilidad de escenarios (%)
LOT	Duración del tiempo de operación	$\lambda_t^{PCC}$	Precio de la electricidad (\$/kWh)
EEC	Consumo de energía estimado Nivel	$\lambda_{Avg}^{PCC}$	Precio medio de la electricidad (\$/kWh)
MDL	Máximo de incomodidad	$\lambda_g^{DG}$	Costo de operación de las generaciones distribuidas (\$/kWh)
INDICE		$\lambda^{DR}$	Costo de uso de respuesta a la demanda (\$/kWh)
t	Índice del tiempo	$\lambda_g^{EES}$	Costo de uso del sistema de almacenamiento (\$/kWh)
sc	Índice de los escenarios	$\gamma^{PCC}$	Factor de emisión del intercambio de energía con la red aguas arriba (kg/kW)
n, m	Índice de los nodos	$\gamma_g^{DGS}$	Factor de emisión de las generaciones térmicas (kg/kW)
sub	Índice de las subestaciones	$\check{P}_{g, t, sc}^{Viento}$	Valor esperado de la potencia eólica disponible (kW)
mg	Índice de las microrredes	$\check{P}_{g, t, sc}^{PV}$	Valor esperado de la energía solar disponible (kW)
x, y	Índice de los electrodomésticos	$D_{sc}^{Promedio}$	Valor medio de la curva de demanda diaria (kW)
g	Índice de las generaciones	$W_x$	Coefficiente de ponderación que refleja la importancia de los accesorios
l	Índice de las ramas	$\check{D}_{n, x, t, l}^{App}$	Curva de demanda diaria preprogramada de los aparatos (kW)
e	Índice de los sistemas de almacenamiento de energía	$UCL^{Min}$	Valor mínimo del nivel de confort del usuario (%)
$\Lambda^{Subestación}$	Conjunto de los nodos conectados a subestaciones	$NC_n$	Número de consumidores
$\Lambda^{Termico}$	Conjunto de los nodos conectados a las generaciones térmicas	$D_{t, sc}^{Fix}$	Valor fijo de la curva de demanda diaria (kW)
$\Lambda^{Solar}$	Conjunto de los nodos conectados a las generaciones eólicas	$E_x^{App}$	Consumo total de energía de los electrodomésticos (kWh)
$\Lambda^{Viento}$	Conjunto de los nodos conectados a las generaciones solares	$U_x^{App}$	Hora total de uso de los aparatos (h)
$\Lambda^{Inteligente}$	Conjunto de los nodos inteligentes	$\alpha_x/\beta_x$	Hora de inicio/finalización de la programación del dispositivo (h)

$\Lambda^{Tradicional}$	Conjunto de los nodos tradicionales	M	Número grande positivo
$\Lambda^{Linea}$	Conjunto de los nodos inicial y final de las ramas	$\epsilon$	Número pequeño positivo menor que uno
$\Lambda^{Type1}$	Conjunto de electrodomésticos de tipo 1	$\alpha_t^{Ordenar}$	Valor de pedido del índice de tiempo
$\Lambda^{Type2}$	Conjunto de electrodomésticos de tipo 2	$Gap^{Max}$	Intervalo de tiempo máximo permitido entre las operaciones del electrodoméstico (h)
$\Lambda^{Type3}$	Conjunto de electrodomésticos de tipo 3	$D^{Max}$	Consumo de energía máximo permitido de una casa inteligente (kW)
<b>PARÁMETROS</b>		$DR_{n,t}^{Max+} / DR_{n,t}^{Max-}$	Nivel máximo de uso de DR para aumento/disminución demanda horaria (kW)
dt	Paso de tiempo (h)	$SoC^{Min} / SoC^{Max}$	Estado de carga mínimo/máximo del sistema EES (kWh)
$P_l^{Max} / Q_l^{Max}$	Flujo máximo de potencia activa/reactiva de los ramales (kW/kVAr)	$\eta^{Ch} / \eta^{Dch}$	Eficiencia de carga/descarga del sistema EES (%)
$V_n^{Min} / V_n^{Max}$	Magnitud de tensión máxima/mínima de los nodos (p.u)	$P_{Max}^{Ch} / P_{Max}^{Dch}$	Nivel máximo de carga/descarga del sistema EES (kW)
$\delta_n^{Min} / \delta_n^{Max}$	Ángulo de voltaje máximo/mínimo de los nodos (rad)	$SoC^{Inicial}$	Estado inicial de carga del sistema EES (kWh)
$\Psi_{g,n}^{Map}$	Conjunto de las d generaciones que pertenecen a los nodos	$B^{up} / B^{do}$	El porcentaje máximo de aumento/disminución de la carga (%)
$\Psi_{e,n}^{Map}$	Conjunto de los sistemas EES que pertenecen a los nodos	$\epsilon^{up} / \epsilon^{do}$	Coefficientes de elasticidad de carga (%)
$\Psi_{es,n}^{Map}$	El conjunto de sistemas en almacenamiento inteligente pertenece a los nodos	<b>VARIABLES</b>	
$\Psi_{l,n}^{Map}$	Conjunto de las ramas que pertenecen a los nodos	$f_{(.)}$	Funciones objetivas
$\Psi_{sub,n}^{Map}$	Conjunto de las subestaciones que pertenecen a los nodos	$f_{(.)}^{Min} / f_{(.)}^{Max}$	Valores Max/Min de funciones objetivo en frente de Pareto
$G_{t,sc}^a$	Irradiación del sol ( $W/m^2$ )	$\mu_{(.)}$	Funciones objetivo valor normalizado
$G_o^a$	Irradiación del sol en condiciones estándar ( $W/m^2$ )	$\mu$	Valor mínimo de las funciones objetivo normalizadas
$PV_g^{Cap}$	Potencia máxima del panel solar en condiciones estándar (kW)	$P_{g,t,sc}^{DGs} / Q_{g,t,sc}^{DGs}$	Potencia activa/reactiva generada por distribución generaciones (kW/kVAr)
$\zeta^{Temperatura}$	Factor de efectividad térmica (kW/°C)	$C_{g,t,sc}^{DGs}$	Costo de operación de generaciones distribuidas (\$)
$T_{t,sc}^a$	Temperatura (°C)	$G_{g,t,sc}^{DGs}$	Gas consumido por generación térmica (kW)
NOCT	Temperatura normal de funcionamiento de celda de panel solar (°C)	$DR_{n,t,sc}^{+} / DR_{n,t,sc}^{-}$	Aumento/disminución de potencia por programa DR (kW)
$T_o$	Temperatura del panel solar en la condición estándar (°C)	$P_{sub,t,sc}^{PCC} / Q_{sub,t,sc}^{PCC}$	Intercambio de potencia activa/reactiva entre microrredes y aguas arriba de la red (kW)
$p_g^r$	Potencia nominal de la turbina eólica (kW)	$D_{sc}^{Peak}$	Valor pico de la curva de demanda diaria (kW)
$V_{t,sc}$	Velocidad del viento (m/s)	$UCL_{n,sc}$	Nivel de comodidad del usuario (%)
$V_{ci} / V_r / V_{co}$	Conexión/desconexión/velocidad nominal del aerogenerador (m/s)	$P_{l,t,sc}^{Linea} / Q_{l,t,sc}^{linea}$	Flujo de potencia activa/reactiva de los ramales (kW)
$F1_l / F2_l$	Conductancia/susceptancia de las ramas (Siemens)	$P_{l,t,sc}^{perdida}$	Pérdida de potencia activa de las ramas (kW)
$r_l / x_l$	Resistencia/inductancia de las ramas ( $\Omega$ )	$I_{n,y,t,sc}^{permitir}$	Variable binaria para un tiempo de funcionamiento permitido del accesorio

$p_g^{Min}/p_g^{Max}$	Potencia activa mínima/máxima de termo	$I_{n,x,t,sc}^{Comienzo}/I_{n,x,t,sc}^{Fin}$	Variable binaria de hora de inicio/fin de los accesorios
$V_{n, t, sc}$	Magnitud de voltaje de los nodos (p.u)	$I_{n,t,sc}^{DR+}/I_{n,t,sc}^{DR-}$	Variable binaria para cambio hacia arriba/cambio hacia abajo del programa DR
$\delta_{n, t, sc}$	Ángulo de voltaje de los nodos (rad)	$I_{e,t,sc}^{Ch}/I_{e,t,sc}^{Dch}$	Variable binaria de carga/descarga del sistema EES modo operativo
$D_{n,x,t,sc}^{App}$	Curva de demanda diaria programada de los aparatos (kW)		

Fuente: Bibliografía número [55].

#### 4.3.1. Contribución

En el análisis del tema gestión energética de microrredes en la cual denota en sí la falta de un tema integral, el cual estudia a la vez el dinero operativo, toda radiodifusión e indicador de vínculo de pico término medio (PAR) el trámite energético de microrredes dado en hogares inteligentes y tradicionales. La tabla 11, refleja la igualdad de datos de muestreo que ofrecen estudios relacionados con una microrred de energías renovables [56].

En esta investigación se enseña un patrón tri-objetivo teniendo en cuenta el gasto de funcionamiento, transmisión y el término medio PAR. Este patrón, encima de las casas típicas, asimismo se toma en cuenta las casas inteligentes, además no hay que omitir las dudas de la productividad del recurso energético y venta de energía a los clientes. Se utiliza el temario DR el cual es basado en precios, el cual las casas típicas e inteligentes cooperan en el catálogo PAR al contribuir en el temario. Las funciones importantes de este trabajo son [56]:

- Proporcionar tres objetivos para la gestión energética diaria de las microrredes.
- Investigar sobre la reducción de costo de operación, emisión e índice PAR en el índice de comodidad de los Clientes.
- Investigando el impacto de tres programas de precios en el cronograma obtenido para hogares inteligentes.
- Investigar el efecto de aumentar el uso del programa de respuestas a la demanda (DR) en los costos de operación y el índice PAR.

#### 4.3.2. Descripción del sistema

En la Figura 53, se presenta el análisis de una red con 83 buses y abarca 11 microrredes. La red posee 83 líneas activas y 13 líneas de enlace, la punta de carga activa y reactiva son 28.350 kW y 20.700 kVAR, correspondientemente. Los medios de energía distribuida son recursos energéticos distribuidos cuentan con 13 paneles fotovoltaicos, 1 turbinas eólicas y 2 turbinas de gas [56].

El sistema eléctrico de almacenamiento de energía (EES) junto a los recursos energéticos renovables, que apoyan a disminuir costos de funcionamiento y acrecentar la flexibilidad de la red al acumular parte de energía producida por recursos renovables, en el transcurso de las horas y descargar en horas pico [56].

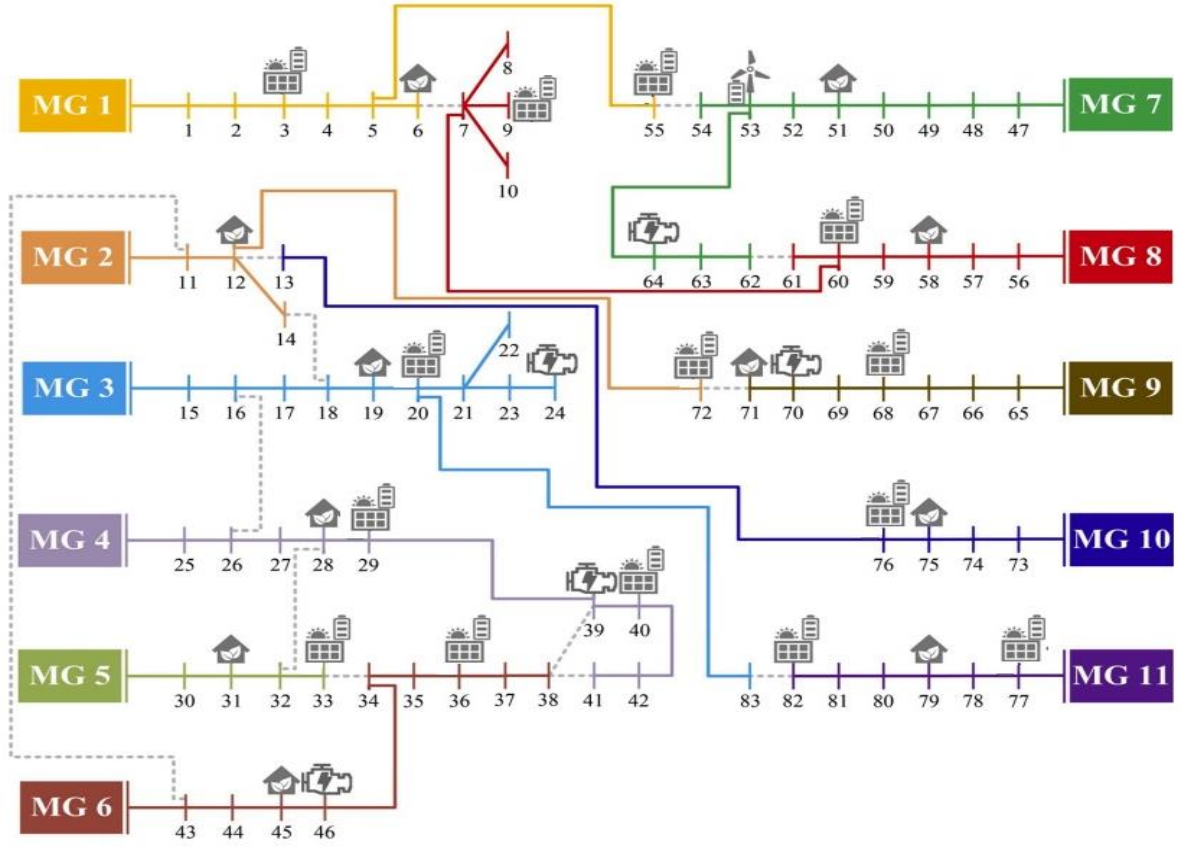
En la Tabla 11, se describen modelos matemáticos y en cada microrred se incorporan hogares típicos e inteligentes, y toda microrred aporta su capacidad a través de recursos energéticos distribuidos (DER) y compras de la red aguas arriba.

**Tabla 11.** Referencias (Modelado matemático y descripción del problema)

REFERENCIA	Descripción modelo	Función objetiva			Tipo de carga		DR	Usuario comodidad	Modelo de precios			RES		SE E	Incertidumbre
		Costo	Emisión	Par	Tradicional	Inteligente			Par	RT P	CP P	Viento	P V		
(Afzal et al., 2020)	MILP	√	×	×	×	√	×	×	√	×	×	×	√	√	×
(Çimen, Çetinkaya, Vasquez, & Guerrero, 2020)	MILP	√	×	×	×	√	×	√	×	√	×	√	√	√	×
(Elkazaz et al., 2020)	MILP	√	×	×	×	√	×	×	√	×	×	×	√	√	×
(Hussain, Ullah, Ullah, Bibi, Naeem, Singh, Krichen et al., 2020)	MINLP	√	×	√	×	√	√	√	×	√	×	×	×	×	×
(Hasankhani & Hakimi, 2021)	MINLP	√	×	×	√	×	×	×	×	√	×	√	√	√	√
(Alilou, Tousi, & Shayeghi, 2020)	MINLP	√	×	√	×	√	×	×	×	√	×	×	√	√	√
(Hakimi & Hasankhani, 2020)	MILP	√	×	×	×	√	√	×	×	√	×	√	×	√	×
(Leonor, Martino, Frattale Mascioli, & Rizzo, 2020)	MINLP	√	×	×	√	×	×	×	√	×	×	×	√	√	×
(Hussain, Ullah, Ullah, Bibi, Naeem, Singh, Singh et al., 2020)	MINLP	√	×	√	×	√	×	√	×	√	×	√	√	√	×
(Leonori, Paschero, Frattale Mascioli, & Rizzi, 2020)	MINLP	√	×	×	√	×	√	×	√	×	×	×	√	√	√
(Khemakhem, Rekik, & Krichen, 2020)	MINLP	×	×	√	√	×	√	×	×	×	×	×	×	√	×
(Hakimi, Hasankhani, Shafie-khah, & Catalão, 2020)	MINLP	√	×	×	√	√	√	×	×	√	×	√	√	√	√
ESTE PAPEL	MIQCP	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Fuente: Bibliografía número [55].





**Figura 53.** Diagrama de microred con sistemas renovables

Fuente: Bibliografía número [55].

#### 4.3.5. Descripción para obtener la proyección de la microrred

Las siguientes formulas fueron utilizadas para el proceso de obtener el modelado de una microrred, las cuales son descritas paso a paso para su uso y descripción en remplazo de valores en las mismas.

$$f_1 = \min Cost$$

$$= \sum_{sc} \rho_{sc} \left( \sum_{n \in \Lambda_{Subestación}} \sum_t \lambda_t^{PCC} P_{n,t,sc}^{PCC} dt + \sum_{g \in \Lambda_{\{Térmica, eólica, solar\}}} \sum_t C_{g,t,sc}^{DGs} + \sum_{e \in \Lambda_{EES}} \sum_t \lambda_t^{EES} (P_{e,t,sc}^{Ch} + P_{e,t,sc}^{Dch}) \right) \quad (a1)$$

$$f_2 = \min Emission =$$

$$\sum_{sc} \rho_{sc} \left( \sum_{n \in \Lambda_{Subestación}} \sum_t \gamma^{PCC} P_{n,t,sc}^{PCC} + \sum_{g \in \Lambda_{Términa}} \sum_t \gamma^{PCC} P_{n,t,sc}^{PCC} \right) dt \quad (a2)$$

$$f_3 = \min PAR = \sum_{sc} \rho_{sc} \frac{D_{sc}^{Cima}}{D_{sc}^{Promedio}} \quad (a3)$$

$$D_{sc}^{Cima} \geq \sum_n D_{n,t,sc} \quad (a4)$$

$$UCL_{n,sc} = \sum_{sc} \rho_{sc} \left( 1 - \frac{\sum_t \sum_x \mathcal{W}_x - \tilde{D}_{n,x,t,sc}^{App}}{MDL} \right) \forall_n \in \Lambda^{Inteligente} \quad (b1)$$

$$UCL_{n,sc} \geq UCL^{Min} \quad \forall_n \in \Lambda^{Inteligente} \quad (b2)$$

$$D_{n,t,sc} = NC_n \left( D_{t,sc}^{Arreglar} + \sum_x \tilde{S}_{n,x,t,sc}^{App} \right) + DR_{n,t,sc}^+ - DR_{n,t,sc}^- \quad (b3)$$

$$\forall t, sc, n \in \Lambda^{Tradicional}$$

$$D_{n,t,sc} = NC_n \left( D_{t,sc}^{Arreglar} + \sum_x D_{n,x,t,sc}^{App} \right) + DR_{n,t,sc}^+ - DR_{n,t,sc}^- \quad (b4)$$

$$\forall t, sc, n \in \Lambda^{Inteligente}$$

$$D_{n,x,t,sc}^{App} = \frac{E_x^{App}}{U_x^{App}} I_{n,x,t,sc}^{App} \quad \forall t, sc, x, n \in \Lambda^{Inteligente} \quad (b5)$$

$$\sum_{t \in [a_x, \beta_x]} I_{n,x,t,sc}^{App} = U_x^{App} \quad \forall sc, x, n \in \Lambda^{Inteligente} \quad (b6)$$

$$\sum_{t \in [a_x, \beta_x]} |I_{n,x,t,sc}^{App} - I_{n,x,t-1,sc}^{App}| \leq 2 \quad \forall sc, n, x \in \Lambda^{Tipo 1} \quad (b7)$$

$$(I_{n,y,t,sc}^{Permitir} - 1)M \leq \sum_{t \in [a_x, \beta_x]} I_{n,x,t,sc}^{App} - U_x^{App} + \varepsilon \leq I_{n,y,t,sc}^{Permitir} M \quad (b8)$$

$$\forall sc, t, n, (x, y) \in \{\Lambda^{Tipo 2}, \Lambda^{Tipo 3}\}$$

$$0 \leq I_{n,y,t,sc}^{App} \leq I_{n,y,t,sc}^{Permitir} \quad \forall sc, t, n, (x, y) \in \{\Lambda^{Tipo 2}, \Lambda^{Tipo 3}\} \quad (b9)$$

$$I_{n,x,t,sc}^{Comienzo} - I_{n,x,t,sc}^{Fin} = I_{n,x,t-1,sc}^{App} - I_{n,x,t-1,sc}^{App} \quad \forall sc, t, n, (x, y) \in \Lambda^{Tipo 3} \quad (b10)$$

$$0 \leq I_{n,x,t,sc}^{Comienzo} + I_{n,x,t,sc}^{Fin} \leq 1 \quad \forall sc, t, n, (x, y) \in \Lambda^{Tipo 3} \quad (b11)$$

$$\sum_t I_{n,x,t,sc}^{Comienzo} \alpha_t^{ordenar} - \sum_t I_{n,x,t,sc}^{Comienzo} \alpha_t^{ordenar} \leq Gap^{Max} \quad \forall sc, t, n, (x, y) \in \Lambda^{Tipo 3} \quad (b12)$$

$$D_{t,sc}^{Fix} + \sum_x D_{n,x,t,sc}^{App} \leq D^{Max} \quad \forall sc, t, n \in \Lambda^{Inteligente} \quad (b13)$$

$$\sum_{t=1}^T DR_{n,t,sc}^+ = \sum_{t=1}^T DR_{n,t,sc}^- \quad \forall sc, t, n \quad (b14)$$

$$DR_{n,t,sc}^+ \geq \varepsilon^{Arriba} D_{n,t,sc} \left( 1 - \frac{\lambda_t^{PCC}}{\lambda_{Avg}^{PCC}} \right) \quad \forall sc, t, n \quad (b15)$$

$$DR_{n,t,sc}^- \geq \varepsilon^{do} D_{n,t,sc} \left( \frac{\lambda_t^{PCC}}{\lambda_{Avg}^{PCC}} - 1 \right) \quad \forall sc, t, n \quad (b16)$$

$$DR_{n,t,sc}^+ \leq B^{Arriba} D_{n,t,sc} I_{n,t,sc}^{DR+} \quad \forall sc, t, n \quad (b17)$$

$$DR_{n,t,sc}^- \leq B^{do} D_{n,t,sc} I_{n,t,sc}^{DR-} \quad \forall sc, t, n \quad (b18)$$

$$0 \leq I_{n,t,sc}^{DR+} + I_{n,t,sc}^{DR-} \leq 1 \quad \forall sc, t, n \quad (b19)$$

$$SoC^{Min} \leq SoC_{e,t,sc} \leq SoC^{Max} \quad \forall e, t, sc \quad (c1)$$

$$0 \leq P_{e,t,sc}^{Ch} \leq P_{Max}^{Ch} I_{e,t,sc}^{Ch} \quad \forall e, t, sc \quad (c2)$$

$$0 \leq P_{e,t,sc}^{Dch} \leq P_{Max}^{Dch} I_{e,t,sc}^{Dch} \quad \forall e, t, sc \quad (c3)$$

$$0 \leq I_{e,t,sc}^{Ch} + I_{e,t,sc}^{Dch} \leq 1 \quad \forall e, t, sc \quad (c4)$$

$$SoC_{e,t,sc} = SoC_{e,t-1,sc} + \left( P_{e,t,sc}^{Ch} \eta^{Ch} - \frac{\lambda_t^{PCC}}{\lambda_{Avg}^{PCC}} \right) dt \quad \forall e, t, sc \quad (c5)$$

$$SoC_{e,t=0,sc} = SoC^{Initial} \quad \forall e, sc \quad (c6)$$

$$SoC_{e,t=24,sc} \geq SoC^{Initial} \quad \forall e, sc \quad (c7)$$

$$P_{g,t,sc}^{\sim PV} = \frac{G_{t,sc}^a}{G_0^a} \left[ PV_g^{Cap} + \zeta^{Temp} \left( T_{t,sc}^a + G_{t,sc}^a \frac{NOCT - 20}{800} - T_0 \right) \right] \forall t, sc, g \in \Lambda^{Solar} \quad (d1)$$

$$P_{g,t,sc}^{\sim Wind} = \begin{cases} 0, V_{t,sc} \geq V_{co}, V_{t,sc} \leq V_{ci} \\ p_g^r \left( \frac{V_{t,sc} - V_{ci}}{V_r - V_{ci}} \right), V_{ci} \leq V_{t,sc} \leq V_r \\ P_r, V_r \leq V_{t,sc} \leq V_{co} \end{cases} \quad \forall t, sc, g \in \Lambda^{Wind} \quad (d2)$$

$$P_{e,t,sc}^{DGs} = \eta^{DGs} G_{e,t,sc}^{DGs} \quad \forall t, sc, g \in \Lambda^{Thermal} \quad (d3)$$

$$P_g^{Min} I_{g,t,sc}^{DGs} \leq P_{g,t,sc}^{DGs} \leq P_g^{Max} I_{g,t,sc}^{DGs} \quad \forall t, sc, g \in \Lambda^{Thermal} \quad (d4)$$

$$Q_g^{Min} I_{g,t,sc}^{DGs} \leq Q_{g,t,sc}^{DGs} \leq Q_g^{Max} I_{g,t,sc}^{DGs} \quad \forall t, sc, g \in \Lambda^{Thermal} \quad (d5)$$

$$C_{g,t,sc}^{DGs} = \lambda_g^{DGs} G_{g,t,sc}^{DGs} dt \quad \forall t, sc, g \in \Lambda^{Thermal} \quad (d6)$$

$$C_{g,t,sc}^{DGs} = \lambda_g^{DG} (P_{e,t,sc}^{DGs} - P_{g,t,sc}^{\sim Wind}) dt \quad \forall t, sc, g \in \Lambda^{Wind} \quad (d7)$$

$$C_{g,t,sc}^{DGs} = \lambda_g^{DG} (P_{e,t,sc}^{DGs} - P_{g,t,sc}^{\sim PV}) dt \quad \forall t, sc, g \in \Lambda^{Solar} \quad (d8)$$

$$F1_l = \frac{r_l}{r_l^2 + x_l^2} \quad \forall l \quad (e1)$$

$$F2_l = \frac{x_l}{r_l^2 + x_l^2} \quad \forall l \quad (e2)$$

$$P_{l,t,sc}^{Line} = F1_l (V_{n,t,sc} - V_{m,t,sc}) + F2_l (\delta_{n,t,sc} - \delta_{m,t,sc}) + \frac{P_{l,t,sc}^{Loss}}{2} \quad \forall l, t, sc, (n, m) \in \Lambda^{line} \quad (e3)$$

$$Q_{l,t,sc}^{Line} = F2_l (V_{n,t,sc} - V_{m,t,sc}) - F1_l (\delta_{n,t,sc} - \delta_{m,t,sc}) \quad \forall l, t, sc, (n, m) \in \Lambda^{line} \quad (e4)$$

$$-P_l^{Max} \leq P_{l,t,sc}^{Line} \leq P_l^{Max} \quad \forall l, t, sc \quad (e5)$$

$$-Q_l^{Max} \leq Q_{l,t,sc}^{Line} \leq Q_l^{Max} \quad \forall l, t, sc \quad (e6)$$

$$V_n^{Min} \leq V_{n,t,sc} \leq V_n^{Max} \quad \forall n, t, sc \quad (e7)$$

$$\delta_n^{Min} \leq \delta_{n,t,sc} \leq \delta_n^{Max} \quad \forall n, t, sc \quad (e8)$$

$$\begin{aligned} \sum_{sub} \Psi_{sub,n}^{Map} P_{Sub,t,sc}^{PCC} + \sum_g \Psi_{g,n}^{Map} P_{g,t,sc}^{DGs} + \sum_e \Psi_{e,n}^{Map} (P_{e,t,sc}^{Dch} - P_{e,t,sc}^{Ch}) \\ = D_{n,t,sc} + \sum_l \Psi_{l,n}^{Map} P_{l,t,sc}^{Line} \quad \forall n, t, sc \end{aligned} \quad (e9)$$

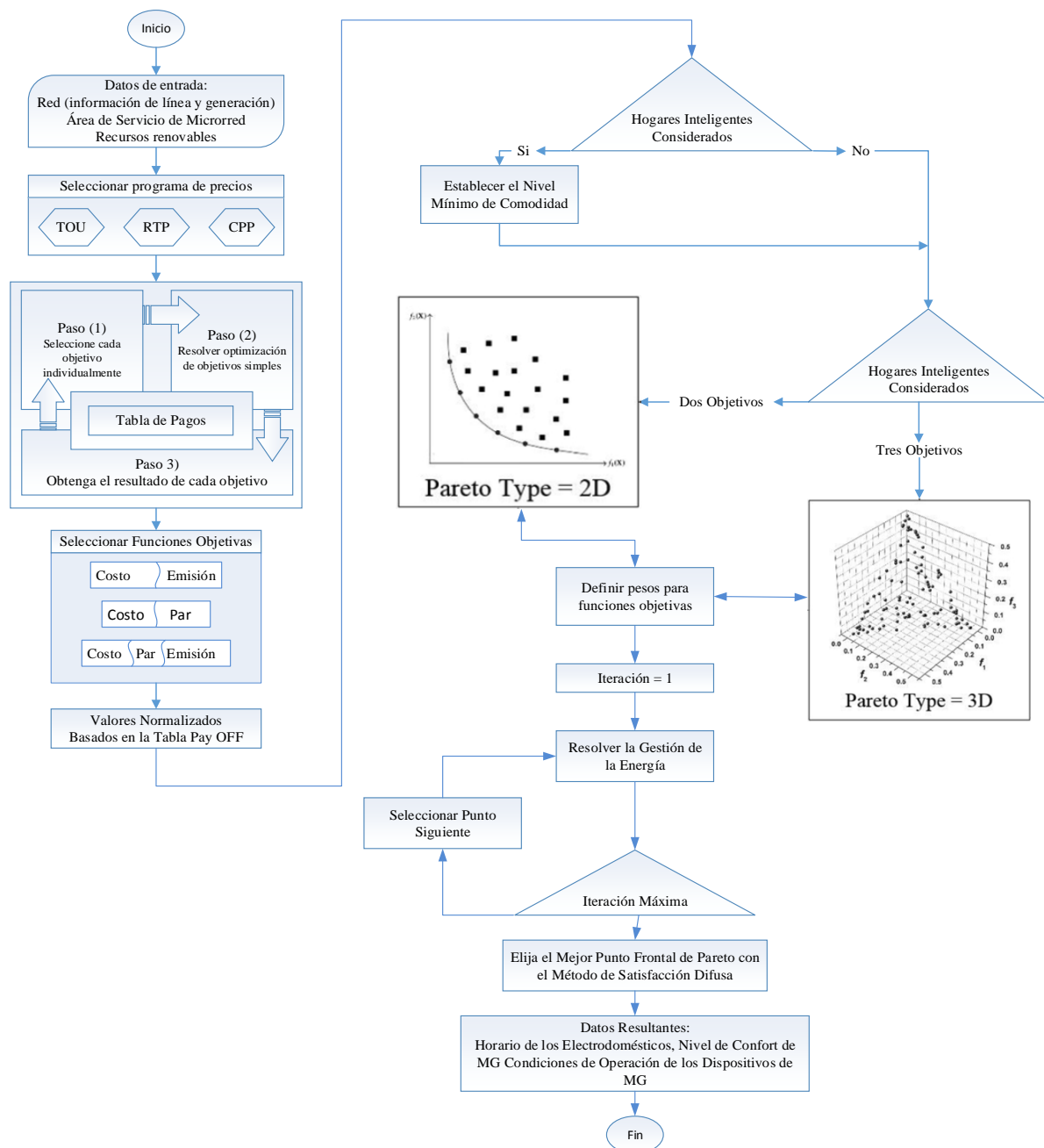
$$\begin{aligned} \sum_{sub} \Psi_{sub,n}^{Map} Q_{Sub,t,sc}^{PCC} + \sum_g \Psi_{g,n}^{Map} Q_{g,t,sc}^{DGs} = Q_{n,t,sc} \\ + \sum_l \Psi_{l,n}^{Map} Q_{l,t,sc}^{Line} \quad \forall n, t, sc \end{aligned} \quad (e10)$$

$$P_{l,t,sc}^{Loss} = F2_l (\delta_{n,t,sc} - \delta_{m,t,sc})^2 \quad \forall l, t, sc, (n, m) \in \Lambda^{line} \quad (e11)$$

Como se puede observar en las funciones del modelamiento propuesto en el grupo de ecuaciones a, b y c, incluyen las emisiones, además los diferentes sistemas de energía eléctrica tanto renovable como energía no renovable, además se puede visualizar el consumo de energía para cada aparato por hora, cabe recalcar que cada electrodoméstico existe en un domicilio se divide en dos clases de prioridad de uso, por ello se debe realizar un método para diferenciar el uso de cada electrodoméstico.

#### 4.3.5 Solución de los casos en la microrred

En la Figura 54 se puede observar el modelo múltiple objetivo propuesto en esta sección de estudio. En primer lugar, se debe obtener datos, la velocidad de viento, la irradiancia y la demanda de carga incluirlos en la información de la microrred, como son datos inciertos se debe hacer un muestreo y generar diferentes escenarios, en el segundo lugar se determina el programa de precios de acuerdo al tiempo de uso, en un tercer lugar se determina los objetivos de optimización [57].



**Figura 54.** Diagrama de modelamiento de una Microred

Fuente: Elaboración propia, Bibliografía número [55].

En esta sección se resuelve la problemática de gestión energética en diferentes casos de estudio, con los problemas objetivo y su programa de precio. En la Tabla 12 se muestra los casos prácticos de acuerdo a los distintos escenarios [57].

**Tabla 12.** Casos prácticos y distintos escenarios

No caso	Casas inteligentes	Función objetiva			Precios de la electricidad programa		
		Jefe	Emisión	Par	Para ti	RTP	CPP
1	√	√	√	X	√	X	X

2	√	√	X	√	√	X	X
3	√	√	√	√	√	X	X
4	√	√	√	√	X	√	X
5	√	√	√	√	X	X	√
6	X	√	√	√	√	X	X

Fuente: Elaboración propia, Bibliografía número [55].

Cabe mencionar los casos 3, 4 y 5 se modelan con el objetivo operacional, las emisiones y el índice UV, el caso 5 todo el consumidor de la red se consideran hogares tradicionales, y ausencia de hogares inteligentes, cabe recalcar que en la Tabla 13 se muestra el número de clientes y dispositivos en cada microrred[57].

**Tabla 13.** Datos de entrada en la microrred

Mg	Servicio de autobuses	Número de clientes		Capacidad del equipo (kW)			
		Casas tradicionales	Casas inteligentes	Turbina gas	Peso	Fotovoltaica	Ver
1	1-6, 55	197	185	500	500	–	400
2	11, 121, 472	152	202	–	500	–	–
3	15-24, 83	460	202	500	750	–	400
4	25-29, 39-42	124	302	300	250	250	–
5	30-33	68	302	500		–	–
6	34-38, 43-46	213	134	300	250	–	400
7	47-54, 62-64	420	134	500	750	–	400
8	7-10, 56-60	228	101	300	500	150	400
9	65-71	75	336	300	500	–	–
10	13, 73-76	184	202	–	750	–	400
11	77-82	202	336	–	750	250	–

Fuente: Elaboración propia, Bibliografía número [55].

#### 4.3.5.1. Resolución del caso 1-3

En la Tabla 14 se presentan los resultados del problema de operación en el caso 1-3, separados por una microrred y del sistema de distribución, realizando el debido análisis se considera que el menor costo de operación del sistema de distribución.

**Tabla 14.** Resultados obtenidos de microrredes en los casos 1-3

Microrred	Costo de operación			Emisión			Par		
	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 1	Caso 2	Caso 3
1	2433,78	2159,19	2279.45	20953.75	24326.57	22322.52	1,16	1,14	1,17
2	2347,12	2347,73	2347.25	16588.07	16592.06	16588.96	1,2	1,16	1,19
3	4839,18	4671,19	4785	39276.39	41748.4	39817.29	1,15	1,12	1,14
4	3004,59	2816.27	2896.65	23201.87	25443.38	24141.39	1,26	1,22	1,3
5	2249,08	2250.85	2248.96	16056.89	16059.33	16056.16	1,22	1,22	1,27
6	2703,42	2571.96	2647.91	21676.71	23478.55	22166.84	1,16	1,16	1,21
7	3882,62	3696.59	3795.23	32326.91	34911.13	33189.99	1,16	1,12	1,13
8	2027,77	1933.22	1994.09	17676.3	19103.65	18034.42	1,16	1,12	1,13
9	2402,91	2300.36	2359.3	20349.75	21,843	20808.95	1,32	1,17	1,26
10	2235,17	2235.49	2235.01	15925.4	15925.57	15924.24	1,17	1,15	1,2
11	3363,36	3363.75	3363.8	23938.11	23940.87	23941.02	1,22	1,15	1,21
La red	31,49	30346.6	30952.65	247970.2	263372.5	252991.8	1,2	1,1	1,17

Fuente: Elaboración propia, Bibliografía número [55].

#### 4.3.5.2. Resolución de acuerdo a equipos electrónicos

En la Tabla 15 se muestran los electrodomésticos en hogares inteligentes y el rango de tiempo de su operación.

**Tabla 15.** Datos de electrodomésticos de hogares inteligentes

Accesorios	UTR	PTR	LOTE	CEE	W
Lavadora	9:00– 17:00	10:00– 11:00	2	1	1
Lavavajillas	12:00– 19:00	15:00– 16:00	2	1.4	1
secadora de ropa	11:00- 19:00	12:00– 12:00	1	1.8	1
Planchar	5:00- 9:00	6:00– 6:00	1	1.1	1
Aspiradora	9:00– 19:00	11:00– 11:00	1	0,65	1
Microondas	11:00– 16:00	13:00– 13:00	1	0.9	1
Olla arrocera	10:00– 15:00	12:00– 13:00	2	0.6	1
Hervidor eléctrico	6:00– 10:00	7:00– 7:00	1	1	1
Tostadora	6:00– 10:00	7:00– 7:00	1	0.8	1
Aire acondicionado	1:00– 20:00	1:00– 16:00	dieciséis	38.4	1
Secador de pelo	16:00– 17:00	17:00– 17:00	1	1.2	1
Televisión	18:00– 24:00	18:00– 22:00	5	1.4	1
Horno	21:00– 24:00	22:00– 23:00	2	2.4	1

Fuente: Elaboración propia, Bibliografía número [55].

En la tabla 16 se muestra los resultados al resolver el problema de operación en casos 1-3, muestra cuando se usa un programa RTP, con eso el costo de operación es mucho más bajo que los casos 1-3.

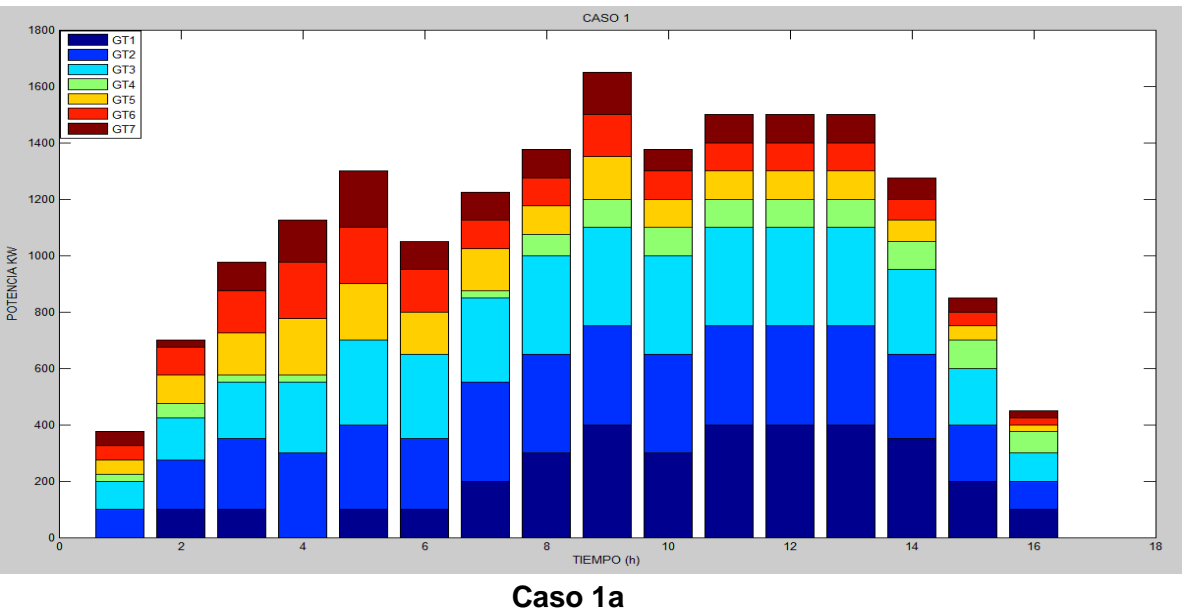


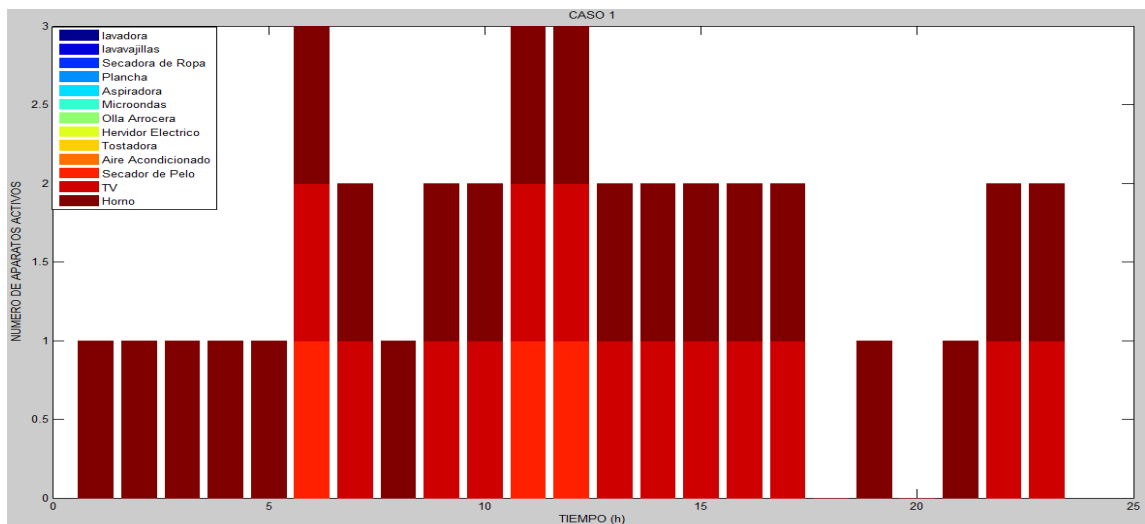
**Tabla 16.** Resultados obtenidos de microrredes en los casos 1-3

Microrred	Costo de operación		Emisión		Par	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 3
1	2145.9	2342.8	24316.96	23768.33	1.19	1.3
2	2310.83	2521.59	16586.68	16585.29	1.15	1.3
3	4591.03	4935.11	41699.67	41463.74	1.10	1.21
4	2792.88	3109.56	25410.04	24709.43	1.20	1.37
5	2227.3	2455.71	16055.19	16050.93	1.26	1.5
6	2534.07	2772.58	23285.13	22700.47	1.05	1.31
7	3639.54	3875.83	34851.35	34903.01	1.03	1.19
8	1915.57	2052.93	19091.31	19064.19	1.14	1.21
9	2290.42	2510.45	21836.11	21757.1	1.23	1.25
10	2211.04	2411.07	15922.28	15919.65	1.10	1.31
11	3328.41	3653.94	23937.55	23927.18	1.19	1.33
La red	29986.99	32641,57	262992,3	260849,3	1,15	1,3

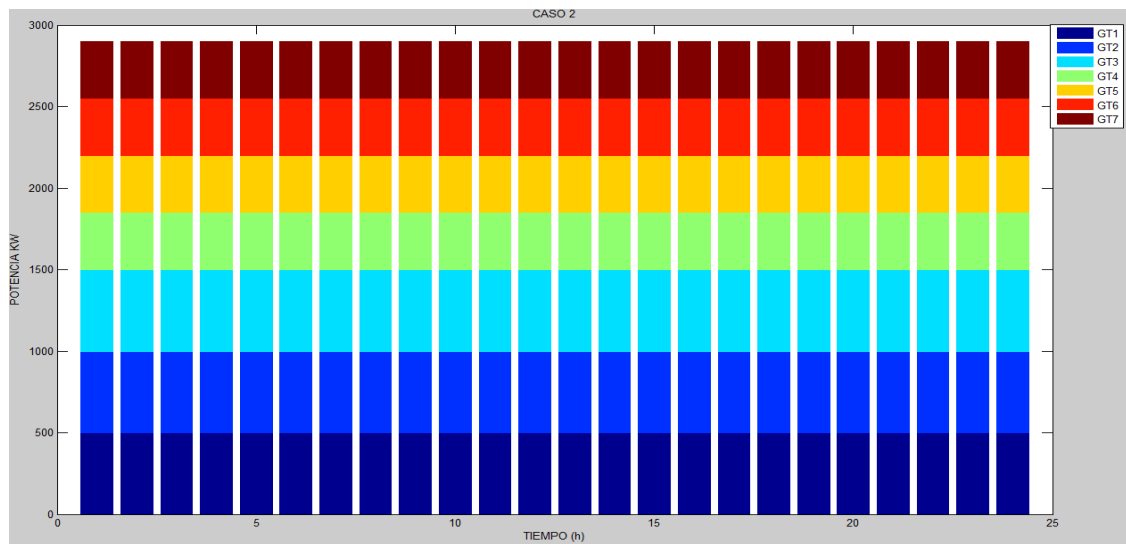
Fuente: Elaboración propia, Bibliografía número [55].

En la figura 54 Se presenta histogramas de resultados obtenidos a partir de las tablas realizadas en los diferentes casos.

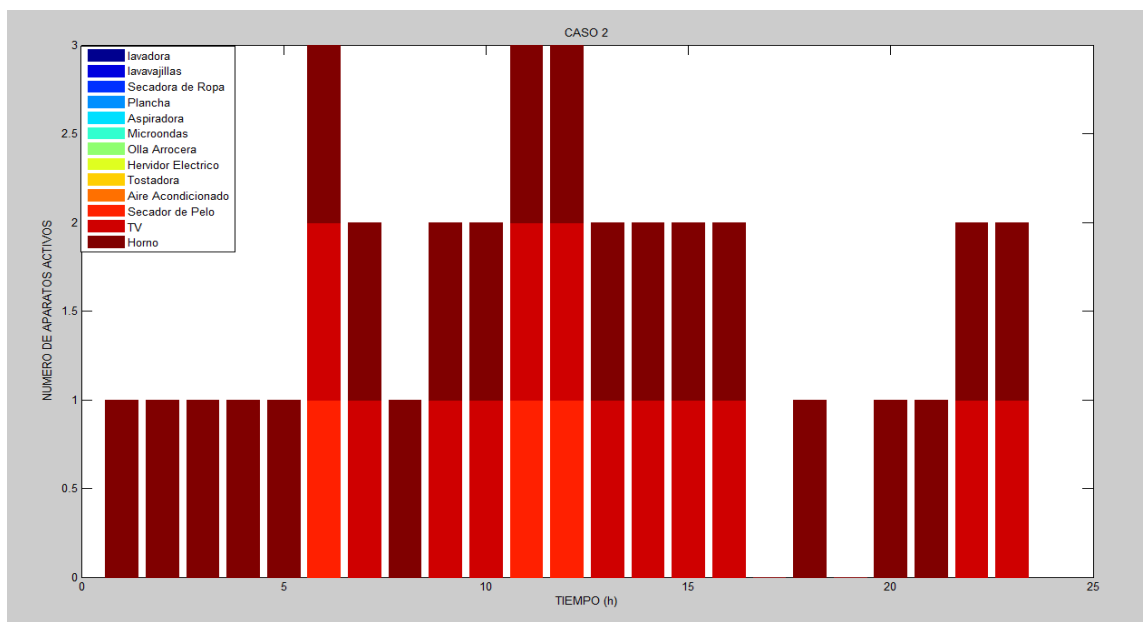




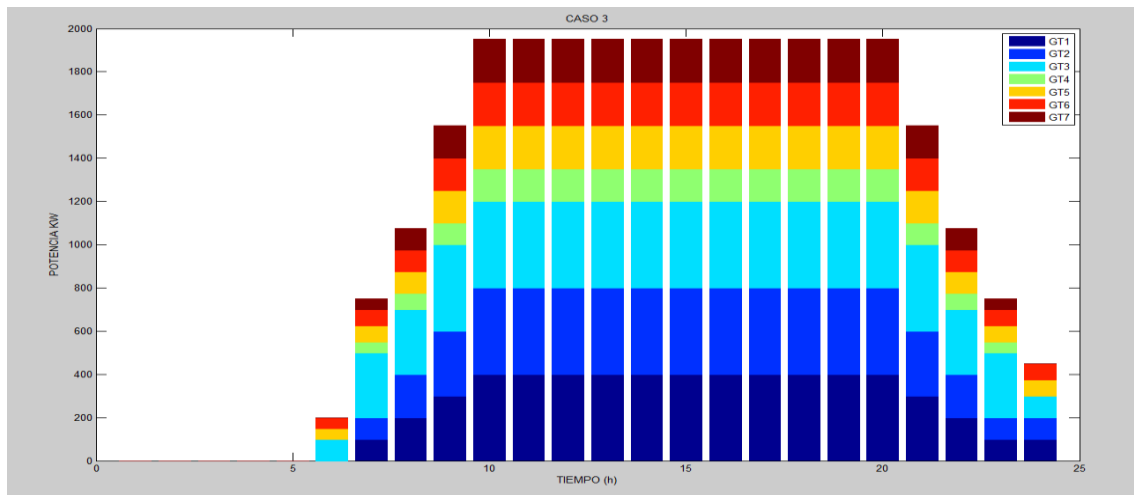
**Caso 1b**



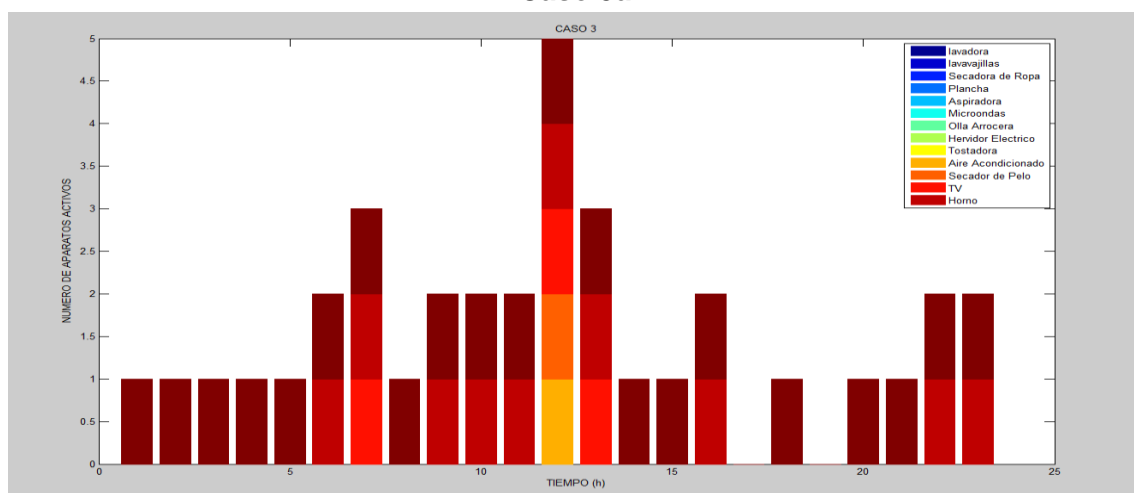
**Caso 2a**



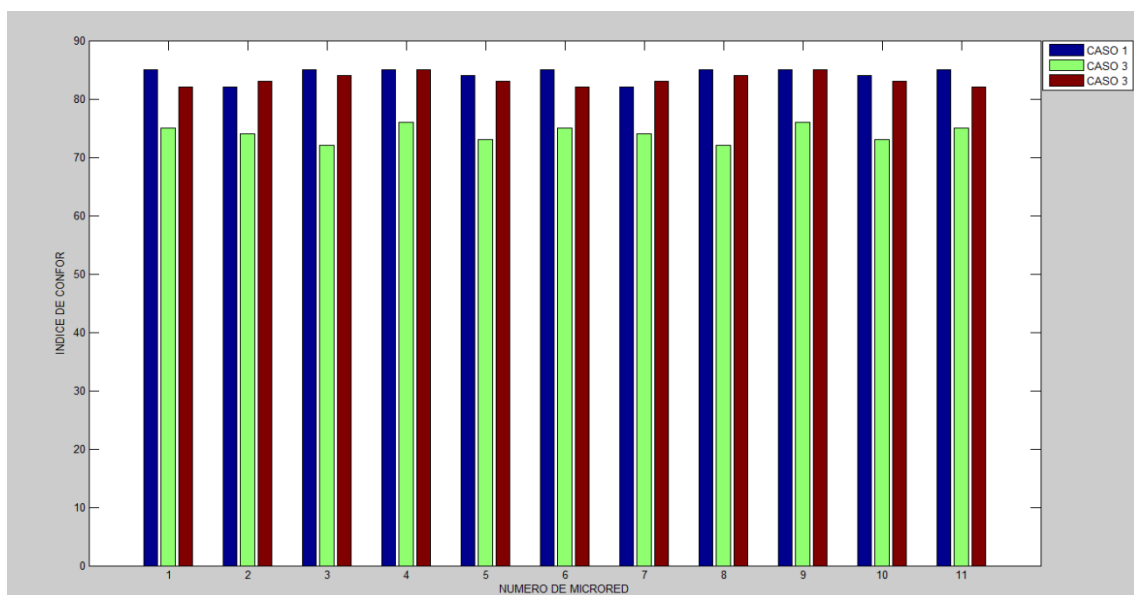
**Caso 2b**



**Caso 3a**



**Caso 3b**



**Figura 55.** Resultados obtenidos de casos 1-3 en microrred en Matlab

Fuente: Elaboración propia, Bibliografía número [55].

## 4.4 Descripción y prueba de materiales utilizados en la instalación de paneles solares

En esta descripción y pruebas detallaremos los elementos instalados, el tiempo de uso de paneles solares y de baterías, esto se realizará para la instalación, uso y funcionamiento correcto de toda la instalación.

### 4.4.1 Descripción de inversor solar UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST

Los sistemas inteligentes de gestión de energía POWEST están equipados con un controlador MPPT (seguidor punto de máxima potencia), que gestiona de manera eficiente la energía de sistemas de baterías, paneles solares, generadores eólicos y red eléctrica; logrando un sistema aislado sin cortes de luz, capaz de trabajar en 19 modos diferentes según la necesidad y la prioridad, equipado con un cargador inteligente que detecta el tipo de batería que se esté implementando (Ver Figura 56).



**Figura 56.** Inversor solar UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST (Parte frontal e inferior)

Fuente: POWEST, bibliografía número [58].

#### 4.4.1.1 Principales características

Se detalla el funcionamiento principal y sus descripciones principales de un buen funcionamiento e instalación de equipos [58].

- Señal de salida onda senoidal pura
- Capacidad de carga **solar MPPT** controlador. - Rendimiento a los paneles y permiten la utilización de paneles que no se pueden usar con reguladores
- Rango de tensión de entrada seleccionable para los electrodomésticos y ordenadores personales
- Compatible con la tensión de red o de un generador
- Auto reinicio mientras que el AC se está recuperando
- Protección de sobrecarga y cortocircuito

- Diseño del cargador de batería inteligente, para un rendimiento optimizado de la batería
- Función de arranque en frío
- Funcionamiento en paralelo hasta con 6 unidades

#### 4.4.1.2 Especificaciones técnicas UPS HÍBRIDA

En la Tabla 17 se detallan las especificaciones y varios aspectos de UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST como la carga eléctrica, conexión, funcionamiento, conexión de baterías, etc.

**Tabla 17.** Especificaciones UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS UPS HÍBRIDA		
Capacidad	1KVA 12V	3KVA 24V
Especificaciones de Entrada		
Topología de entrada	Monofásica	
Voltaje nominal de entrada	120VAc	
Cantidad de hilos	3 (Fase +Neutro +GND)	
Voltaje permitido por el rectificador	95 -140 vac	
Rango de frecuencia de entrada	50Hz o 60Hz (Detección Automática)	
Limitación de corriente de entrada	150% sistema inversor y bypass	
Conexión	Bornera	
Especificaciones de Salida		
Topología de salida	Monofásica	
Voltaje nominal de salida	120VAC	
Factor de potencia de Salida	0,8	
Potencia W	1000VA/800W	3000VA/2400 W
Tipo de onda de salida	Senoidal pura	
Otros voltajes de salida configurables	110/120VAC	
Tiempo de transferencia	10 / 20 ms	
Cantidad de hilos	3(Fase +Neutro+GND)	
Regulación de voltaje	<+/-5%	
Sobre tensión de energía	2 * Potencia Nominal por 5 Segundos	
Frecuencia nominal de salida	50Hz/60Hz	
Capacidad de sobrecarga	5s@≥150% de carga; 10s@110%~150% de carga.	
Protecciones corto circuito	Modo línea: Fusible Modo Batería: Circuito electrónico	
Conexión	Bornera	
Eficiencia	Modo Línea 90%	
Especificaciones de las Baterías		
Tipo de baterías	VRLA / GS / FT / OPz / <b>GEL</b>	
Voltaje DC	12VDC	24VDC
Especificaciones de Cargador Red		
Corriente	10/20 A	20/30 A
Voltaje de carga flotación	13,5VDC	27VDC
Protección de sobre voltaie	15,5VDC	31VDC

Especificaciones de Cargador Solar		
Potencia W	500W	1500W
Eficiencia	98%	
Max PV VOC	102VDC	145VDC
Rango de Operación PV MPPT	15~80DC	30~115VDC
Min Voltaje de Batería para PV cargador	8,5VDC	17VDC
Especificaciones Cargador Red y Solar		
Max Corriente de carga	60A	90A
Configuración por defecto	40A	60A
Especificaciones Físicas		
Dimensiones (Altura x Ancho x Profundo)	316 x 240 x 95 mm	479 x 295 x 140 mm
Peso Neto Kg (Sin Baterías)	5,2	11,5
Display LCD	Display LCD todos los parámetros	
	Condiciones de la carga, capacidad de la Batería, alarmas visuales y auditivas. Estado de operación del UPS (bypass, Línea, Baterías, Falla)	
Conexión de Baterías Externo	Conector bornero	
Interface	La UPS puede ser monitoreada por un PC vía USB	La UPS puede ser monitoreada por un PC vía RS232-USB
Tarjeta de red	NA	Para monitoreo y gestión a través de SNMP (Opcional solo 3KVA)
Conexión Paralelo	NA	hasta 6 unidades
Software	software Windows XP, Windows, Linux	
Gabinete	Tipo pared(indoor) NEMA Tipo 1	
Especificaciones Ambientales		
Humedad	5% ~ 95% sin condensación	
Temperatura de Operación	0°C ~ 55°C	
Temperatura de almacenamiento	0°C ~ 55°C	

Fuente: POWEST, bibliografía número [58].

#### 4.4.2 Descripción de batería FP12100 (GL) recargable seca 12V a 100amp

La batería recargable de gel de 12v – 100ah se puede observar en la Figura 57 y sus especificaciones físicas detalladas en la Tabla 18 [59] y en la Tabla 19 se puede visualizar las especificaciones técnicas de operación.



**Figura 57.** Batería First Power recargable seca 12V a 100amp

Fuente: POWEST, bibliografía número [58].

**Tabla 18.** Especificaciones físicas de batería serie LFP12100

Especificaciones de la serie de baterías estándar (tipo LFP)														
Modelo	Voltaje nominal (V)	Capacidad (Ah)	Resistencia interna (m^Ω)	Dimensiones								Terminal		Peso
				Longitud		Ancho		Altura		Altura total		Tipo	Posición	Kg
LFP12100	12	100	4,5	330	13	171	6,7	214	8,4	224/220	8,8/8,7	T5/T9	C	30,5

Fuente: POWEST, bibliografía [58].

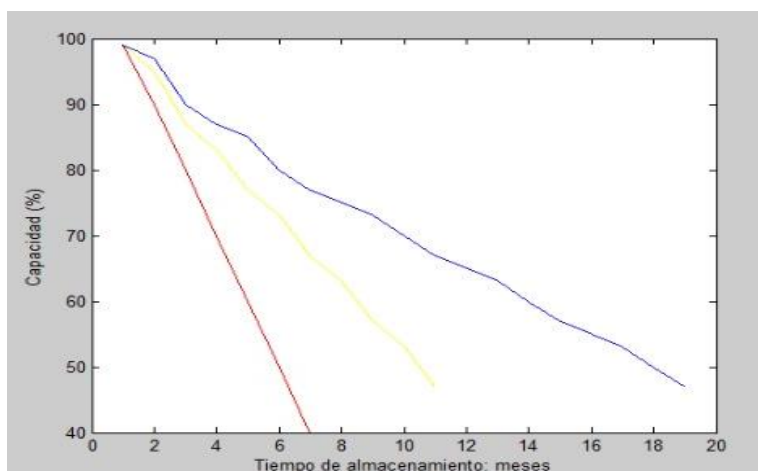
**Tabla 19.** Especificaciones técnicas de operación

Capacidad afectada por la temperatura (10 horas)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Auto descarga (25°C)	3 meses	Capacidad restante: 91%
	6 meses	Capacidad restante: 82%
	12 meses	Capacidad restante: 65%
Funcionamiento nominal la temperatura	25°C ± 3°C (77°F ± 5°F)	
Operando la temperatura rango	Descarga	-15°C ~ 50°C (5°F ~ 122°F)
	Cobrar	-10°C ~ 50°C (14°F ~ 122°F)
	Almacenamiento	-20°C ~ 50°C (-4°F ~ 122°F)
Voltaje de carga flotante (25 °C)	13,50 a 13,80 V Compensación de temperatura: -18mV/°C	
Voltaje de carga cíclica (25 °C)	14,50 a 14,90 V Compensación de temperatura: -30mV/°C	
Corriente máxima de carga	30A	
Material terminal	Cobre	
Corriente máxima de descarga	800A (5 seg)	
Vida flotante diseñada (20 °C)	12 años	

Fuente: POWEST, bibliografía número [58].

#### 4.4.2.1. Diagramas realizados con datos de especificaciones de batería serie LFP12100

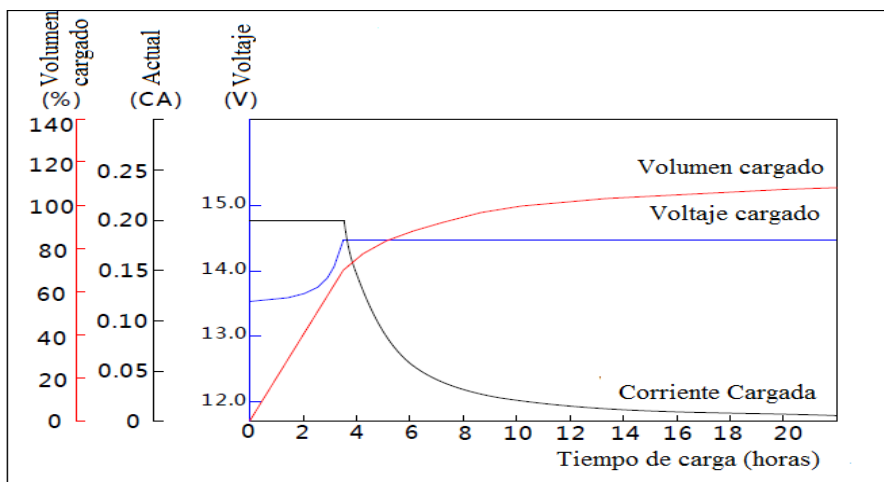
- **Auto descarga.** – Es un proceso electrotérmico autónomo, en el cual la batería se descarga con mayor rapidez, ya sea que esté o no esté conectado algún consumidor eléctrico. Esta es una de las características más importantes de las baterías y acumuladores de energía (Ver figura 58).



**Figura 58.** Descripción de auto descarga con capacidad de 100% al 20°C en 16 meses

Fuente: Bibliografía número [59].

- **Características de carga (25 °C).** – Se lo puede describir en 4 pasos y se representa en la (Ver Figura 59).
  1. Descarga: 100%
  2. Voltaje de carga: 2.40 V/ celda
  3. Corriente de carga: 0.20 (CA)
  4. Temperatura: 20°C



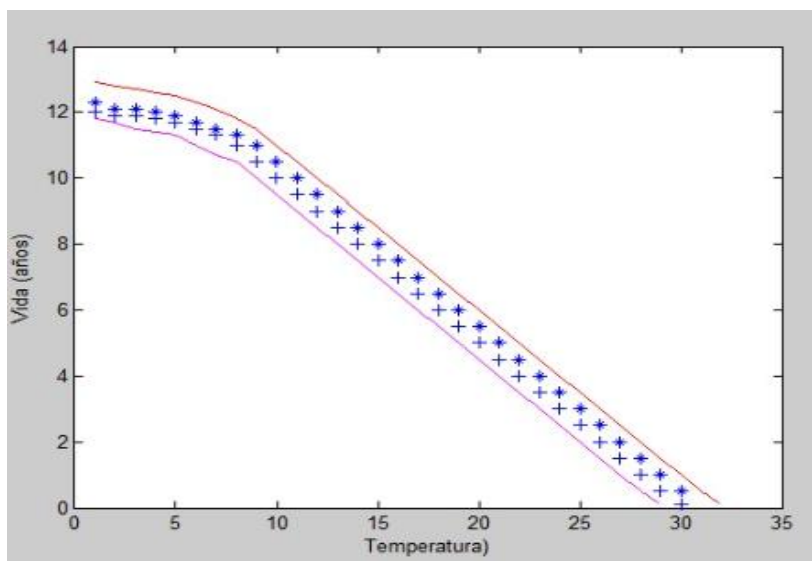
**Figura 59.** Compensación 13,50 a 13,80 V de temperatura -18mV/°C - 14,50 a 14,90 V  
Compensación de temperatura: -30mV/°C



Fuente: Bibliografía número [59].

- **Vida flotante en la temperatura.** – Existen reacciones químicas al momento que se eleva la temperatura, las cuales nos brindan más rendimiento eléctrico de la batería a cambio de la disminución de vida útil de la misma. Pero hay que considerar que con bajas de temperaturas la resistencia interna de la batería aumenta, pero esto hace disminuir la capacidad de rendimiento eléctrico a un 60%.

La vida flotante de las baterías varía, esto depende de la marca y el uso que se le da al mismo. En la Figura 60 se describen los grados de temperatura y el tiempo de vida útil a la batería.



**Figura 60.** Temperatura adecuada de 20°C a 25°C, resultando 12 años de vida útil

Fuente: Bibliografía número [59].

#### 4.4.2.2 Principales características de la batería LFP12100 (GL)

Con las siguientes características presentamos el funcionamiento, operación, calidad y confiabilidad para el uso de la batería [32].

- **No derramable**

La batería First Power LFP12100 gel usa una energía absorbida sistema de electrolitos. Todo el electrolito es absorbido en las placas positivas, placas negativas y los separadores. Junto con el uso de epoxis que son sellados especiales y sellado largo como para caminos de postes, las baterías First Power tienen excepcional resistencia a las fugas y se puede utilizar en cualquier posición.

- **Operación sellada y sin mantenimiento**

No hay generación de gases corrosivos durante uso normal y sin necesidad de comprobar la gravedad específica del electrolito o agregar agua durante la vida de servicio de las baterías.

- **Alta calidad y alta confiabilidad**

La batería FirstPower LFP12100 gel tiene una capacidad estable y capacidad confiable. La batería puede soportar sobrecarga, sobrecarga, vibración y choque. Para asegurar esta alta calidad y confiabilidad, las baterías están 100% probadas en producción, línea de voltaje, capacidad, sellos y seguridad.

#### **4.4.2.3 Aplicaciones de batería LFP12100 gel**

En la Tabla 20 se enlista las aplicaciones donde se puede usar las baterías

**Tabla 20.** Lista de aplicaciones de batería LFP12100 gel

<b>APLICACIONES</b>	
Equipos de telecomunicaciones	Equipo medico
Instrumentos electrónicos	Herramientas eléctricas
Sistemas de alarma y seguridad	Juguetes
Iluminación de emergencia	Luces portátiles de cine y video
Televisión por cable	Sistemas de energía solar
Ordenadores	Sistemas de energía eólica
Cajas registradoras electrónicas	Televisores y videograbadoras
Equipo geofísico	Máquina expendedora
Equipo marino	Fuente de poder ininterrumpida

Fuente: Bibliografía número [32].

#### **4.4.3 Descripción de panel solar 48V 150W silicón monocristalino**

La descripción de este panel monocristalino es muy simple por lo que se puede diferenciar de manera visual al resto de paneles solares, ya que este se diferencia por las células fotovoltaicas de color negro con bornes redondos, con esta diferencia hace que este tenga una mayor eficiencia de conversión en comparación de paneles policristalino con el resultado que produce más kilovatios – hora de electricidad (kh). (Ver Figura 61).



**Figura 61.** Panel solar 48V 150W silicón monocristalino de alta calidad de estable aluminio anodizado

Fuente: Proviento, bibliografía número [34].

Una de las ventajas del panel solar es su uso al aire libre, así producir electricidad gratis permanente, este panel solar tiene un diseño resistente al agua, agua granizada o se puede dar uso en todas las condiciones climáticas. Se detallan las especificaciones y características en la tabla 20.

**Tabla 21.** Especificaciones y características técnicas del panel solar

Especificaciones de panel solar monocristalino	
Potencia máxima	150W
Voltaje de funcionamiento óptimo (vmp)	48V
Voltaje de circuito abierto (voc)	21,6V
Corriente de funcionamiento óptima (imp)	5,56A
Corriente de cortocircuito (isc)	6,1A
Dimensiones	1196x541x30mm/47,08x21,29x1,18 pulgadas
Peso	15,5 libras (7kg)
Garantía de salida de energía	5 años-95% 10 años-90% 25 años-80%
90 cm de cable especial con conectores mc4	
Características	
Excelente en ahorro de energía	
Ayuda al medio ambiente	
Tiene alta eficiencia y calidad	
Consta de un buen rendimiento en condiciones climáticas adversas	
Son paneles reciclables (marco de aluminio)	

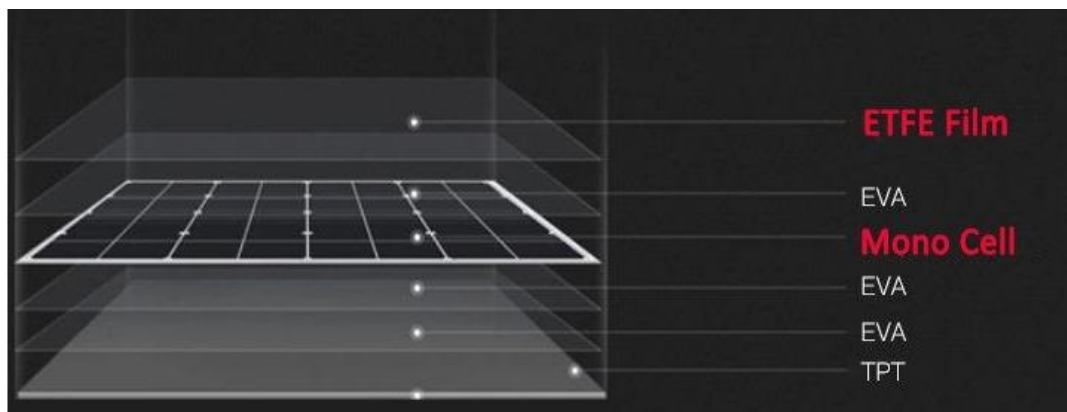
Bien equipados con diodos integrados
Aplicables en barcos, autos, casas, iluminación pública

Fuente: Proviento, bibliografía número [34].

#### 4.4.3.1 Diseño de panel solar 48V 150W silicón monocristalino

En la Figura 62 se muestra las diferentes materias por el cual está compuesto el panel solar y así obtener un producto cargador solar multifuncional el cual pueda ser instalado en diferentes partes como barcos, yates, casas, automóviles y cargar baterías grandes. [34]

Un detalle muy importante es que el panel consta de 18 células monocristalinas y estas constan de un alto grado de eficiencia energética por su alto contenido de silicio.



**Figura 62.** Panel Solar de 48V, 150W monocristalino de calidad para cargador de batería de 12V

Fuente: Proviento, bibliografía número [34].

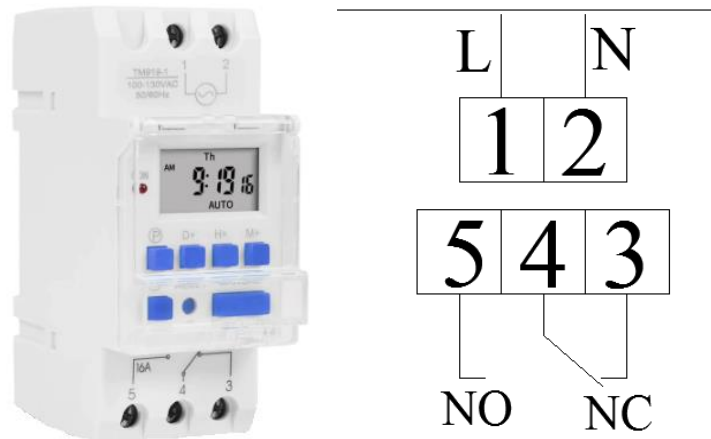
**Tabla 22.** Se explica cada elemento que posee el panel solar

DETALLES DE DISEÑO	
ETFE FILM	Polímero de tetrafluoretileno y etileno
EVA	Papel etileno vinil acetato
MONOCELL	Módulo solar
EVA	Papel etileno vinil acetato
EVA	Papel etileno vinil acetato
TPT	Fluoruro de polivinilo
	Polietilentereftalato

Fuente: Proviento, bibliografía número [34].

#### 4.4.4. Descripción de un temporizador digital programable 120V/16 Amperios

Este elemento es un temporizador electrónico digital, el cual hay como programarlo para encendido o apagado de luces, equipos, motores, alarmas, etc. A este dispositivo se lo puede asegurar colocándolo en el riel din, no es complicado realizar sus conexiones eléctricas de entrada y conexiones eléctricas de salida a los elementos o equipos que vayan a funcionar con el temporizador (Ver Figura 63)[60].



**Figura 63.** Temporizador programable, relé control de tiempo, 110V, 120V, CA

Fuente: Proviento, bibliografía número [60].

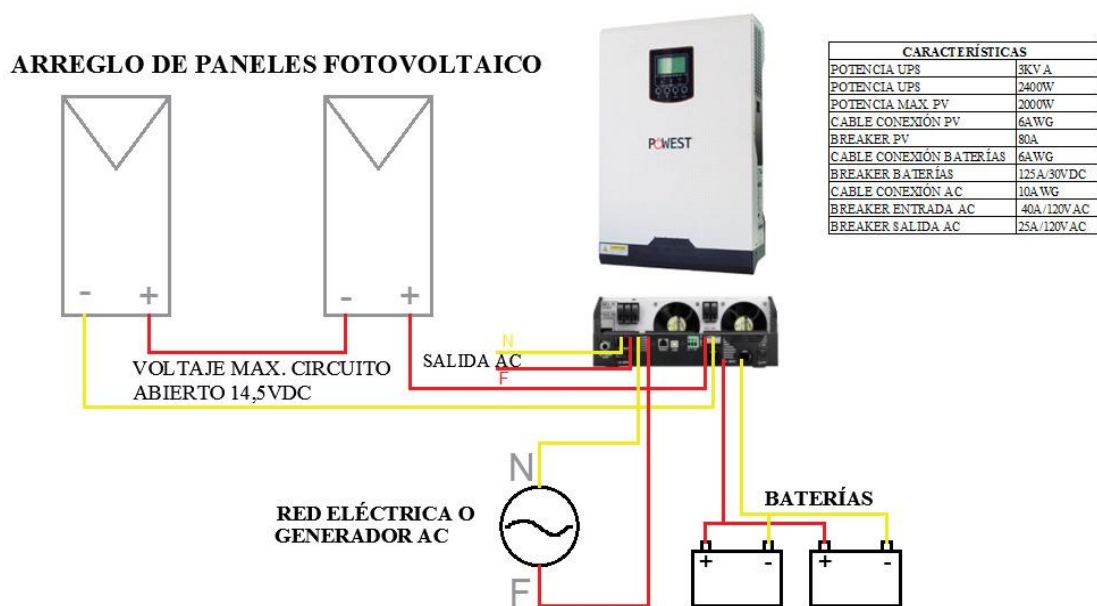
##### 4.4.4.1. Principales características del temporizador

- El timer es suficiente para programar el tiempo en condiciones distintas en diferentes áreas.
- Tiende a ser utilizado en situaciones de investigación, por lo que aporta en tiempos exactos de activar y desactivar equipos en laboratorios.
- El trabajo principal que realiza el timer es la contabilidad del tiempo, en lo que ayuda a estabilizar los patrones y números para así obtener una buena acción o actividad.

#### 4.5. Pruebas de equipos

La Figura 64 muestra el diagrama de la instalación de los equipos fotovoltaicos, con el fin de realizar las pruebas de funcionamiento de los paneles solares.

## DIAGRAMA UNIFILAR INVERSOR SOLAR ALL IN ONE 3KVA ON-GRID



**Figura 64.** Diagrama de instalación de inversor dado por Powest

Fuente: Elaboración propia.

Con esto, se obtuvo pruebas positivas y de funcionamiento correcto de los dispositivos, el cual brinda conocimiento para realizar una instalación correcta y no cometer errores en los mismos. Hay que tomar en cuenta que con los cables o posición que se encuentran los equipos son temporales solo se los realizó para conexiones eléctricas, batería y de iluminación para realizar las demostraciones de funcionamiento.

### 4.5.1 Primera prueba eléctrica

En la primera prueba se realizó una conexión con el inversor solar UPS HÍBRIDA 1KVA POWEST a una batería FirstPower (FP12100), la cual se realizó con cable flexible #10 de la batería al inversor directamente, en la Figura 65 se presenta la instalación de pruebas realizadas antes de la instalación final en la comunidad Punta Hacienda.

En la demostración de la prueba el equipo inversor refleja un voltaje nominal de la batería 12V a 119V, la cual es una alimentación eléctrica de calidad de la batería para una distribución de iluminación en el centro médico comunitario de la comunidad.



**Figura 65.** Primera prueba eléctrica, conexión de inversor con una batería

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5.2 Segunda prueba eléctrica

En la segunda demostración a los equipos ya nombrados anteriormente en la primera prueba se le conectara a la distribución eléctrica brindada por la Empresa Pública Regional Centro Sur C.A, la cual solo va a indicar la carga de entrada al equipo, pero esta alimentación no va a ser tomada en cuenta para la distribución eléctrica de la iluminación y tomacorrientes en el subcentro.

En la siguiente Figura 66, se presenta la prueba realizada, donde se alimenta mediante la red eléctrica es la segunda opción de alimentación al centro médico comunitario, ya que la primera opción de funcionamiento y de carga eléctrica son la alimentación por medio de baterías, en los cuales los paneles solares cumplirán con el funcionamiento de carga de baterías y así poder brindar un buen servicio de energía, rendimiento y durabilidad de carga eléctrica.



**Figura 66.** Segunda prueba eléctrica, se conecta a Centrosur donde tenemos 128 V y de baterías 119V

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.5.3 Tercera prueba eléctrica

En esta prueba eléctrica se demuestra la alimentación de energía eléctrica brindada por la Empresa Pública Regional Centro Sur C.A, baterías, paneles solares y equipos de consumo (foco), los cuales están todos conectados para realizar una prueba de funcionamiento en conjunto y alimentar el consumo de un aparato eléctrico (foco) y se obtuvo buenos resultados a seguir para la instalación en el subcentro de Quingeo.

En la Figura 67 se demuestra la prueba realizada y los valores obtenidos y los equipos instalados.



**Figura 67.** Conexión con Centrosur, baterías, paneles solares y un foco

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6 Instalación del sistema fotovoltaico

Se instaló los equipos mencionados anteriormente, los mismo que tienen 1kw de potencia y entregarán el voltaje necesario para la alimentación de las distintas cargas eléctricas a 110v existentes en el centro médico comunitario de comunidad Punta Hacienda.

##### 4.6.1 Instalación de paneles solares

La instalación se llevó a cabo en diferentes días, los primeros días se realizó la estructura de soporte para los paneles solares, seguidamente se realizó la colocación, estabilización y sujeción de la estructura en el techo del centro médico comunitario, donde se realizó con el máximo cuidado, además de eso se colocó sellamiento para posibles filtraciones en el techo como se observa en la Figura 68.





**Figura 68.** Elaboración de base de soporte y colocación de paneles solares

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 69, se visualizan datos de comprobación del voltaje de salida de los paneles solares que fue de 44V en DC.



**Figura 69.** Medición de voltaje

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.6.2 Instalación del Controlador-Inversor Híbrido**

Luego de instalar los paneles solares se realizó la instalación del controlador cerca del tablero de distribución como se puede observar en la Figura 70, una vez colocado el controlador se realizó las diferentes conexiones tanto de baterías, paneles fotovoltaicos, carga eléctrica del centro médico comunitario, y el sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. Se debe recalcar que cada instalación fue comprobada para una mayor seguridad y confiabilidad.



**Figura 70.** Colocación del controlador

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.3 Instalación de baterías

Una vez instalado el controlador se procedió a la instalación de baterías, el cable a utilizar para la bajante y conexión entre baterías fue el # 6 AWG, se realizó remaches con el terminal ojo. Además, se realizó el apretado necesario, torque en los terminales de las baterías (Ver Figura 71). Se debe mencionar que debe existir un rango de separación entre baterías, entre la estructura de protección y seguridad para ello se agregó un base de madera de 2cm de grosor.





**Figura 71.** Colocación de baterías en la estructura de seguridad

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.6.4 Instalación de un temporizador

Se instaló un temporizador con el propósito de que exista un consumo diario el mismo servirá para que las baterías no se encuentren en su máxima carga eléctrica, con ello exista mejor tiempo de durabilidad como se visualiza en la Figura 72.



**Figura 72.** Instalación y programación del temporizador.

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.6.5 Puesta en funcionamiento del sistema

Una vez instalado los diferentes componentes del sistema, se procedió a encender los equipos, en el cual se pudo verificar el correcto funcionamiento a través de las mediciones correspondientes, y comprobando con los datos de salida en el controlador como se observa en la Figura 73.



**Figura 73.** Comprobación de datos de entrada y salida

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS

#### 5.1. Resultados de la instalación

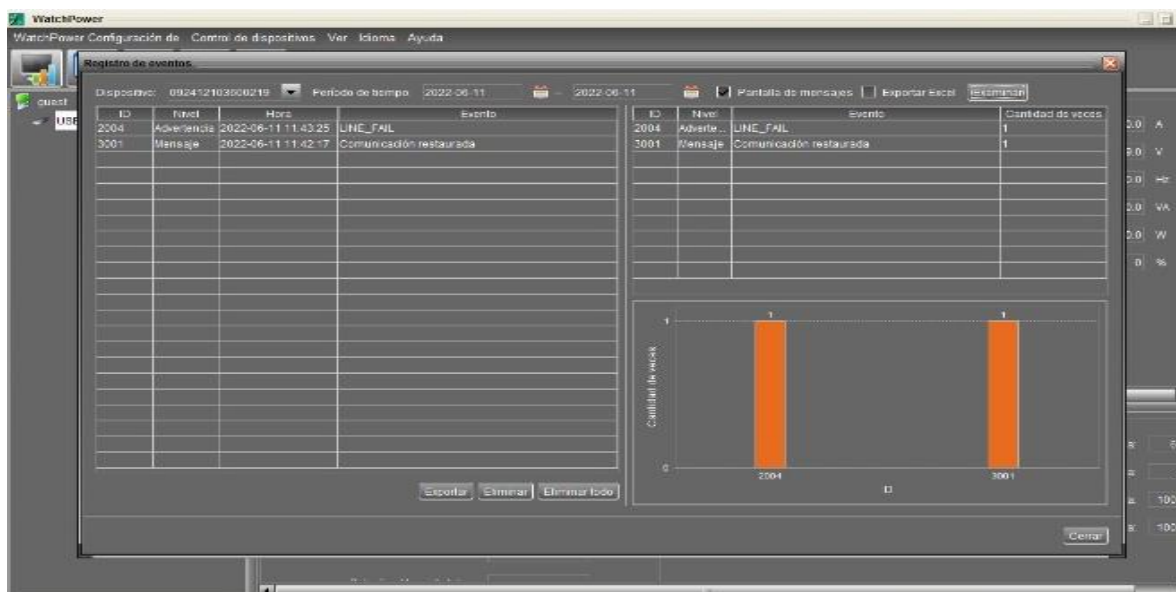
Una vez realizadas las instalaciones, se procedió a dar funcionamiento a los equipos, además se mantuvo un monitoreo constante, con la finalidad de garantizar el correcto funcionamiento y en caso de existir error corregirlos oportunamente. Luego, mediante el uso del software de seguimiento del equipo instalado, se verificaron y se descargaron los datos de funcionamiento y comportamiento del sistema durante un periodo de prueba de 2 semanas de trabajo. En la Figura 74 se visualiza el sistema FV conectado al computador mientras se ejecuta el software de seguimiento proporciona por el proveedor.



**Figura 74.** Seguimiento del sistema en Powest

Fuente: Elaboración propia.

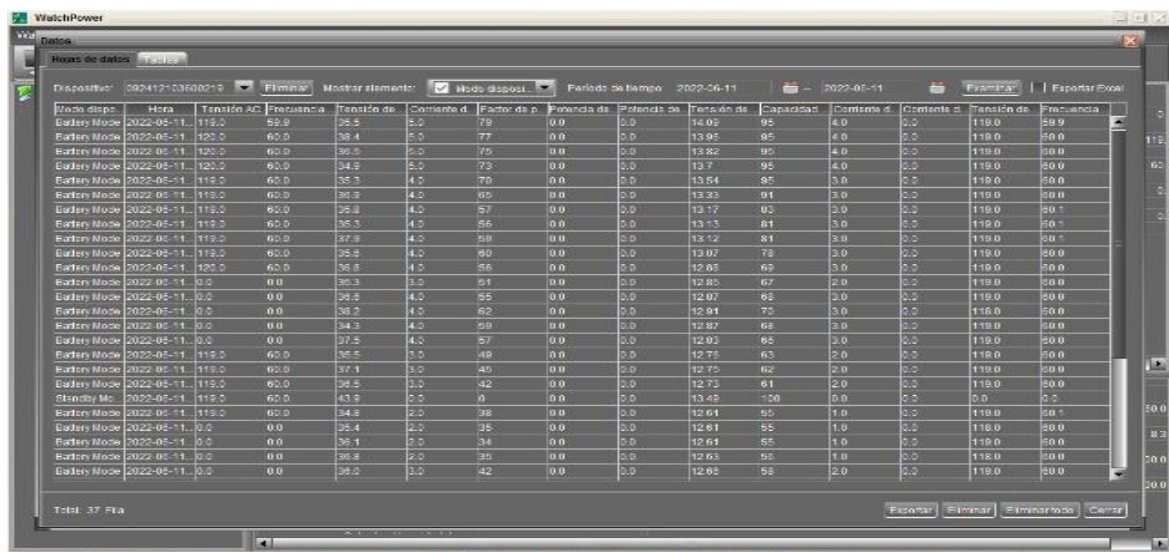
En la Figura 75, se observa los diferentes eventos como conexión o desconexión de alimentación eléctrica, alimentación por baterías, alimentación por paneles fotovoltaicos y cargas, que se han efectuado durante la conexión y funcionamientos del sistema fotovoltaico.



**Figura 75.** Registro de eventos en Powest

Fuente: Elaboración propia.

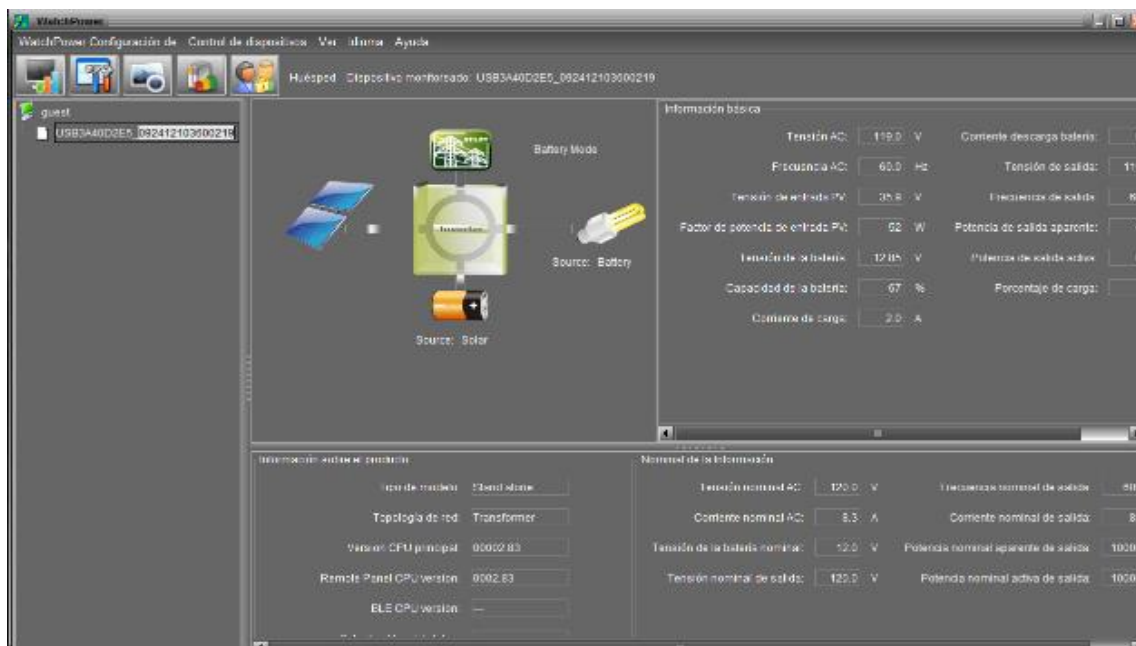
En la figura 76, se puede apreciar los datos de voltaje AC y DC, frecuencia, corriente y potencia registrados durante el tiempo de funcionamiento del sistema.



**Figura 76.** Datos cada 360s en Powest

Fuente: Elaboración propia.

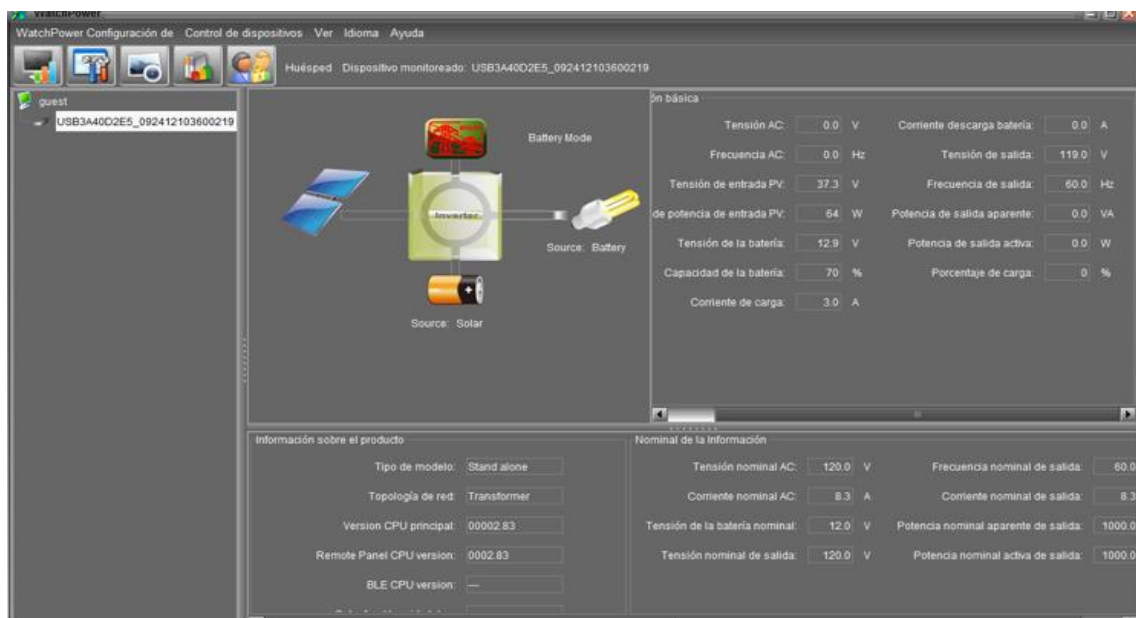
En la Figura 77, se puede visualizar como está el funcionamiento del sistema, como cuando se encuentra conectado del sistema de red pública, además se visualiza los elementos que componen el sistema fotovoltaico.



**Figura 77.** Datos de funcionamiento del sistema cuando está conectado en Powest

Fuente: Elaboración propia.

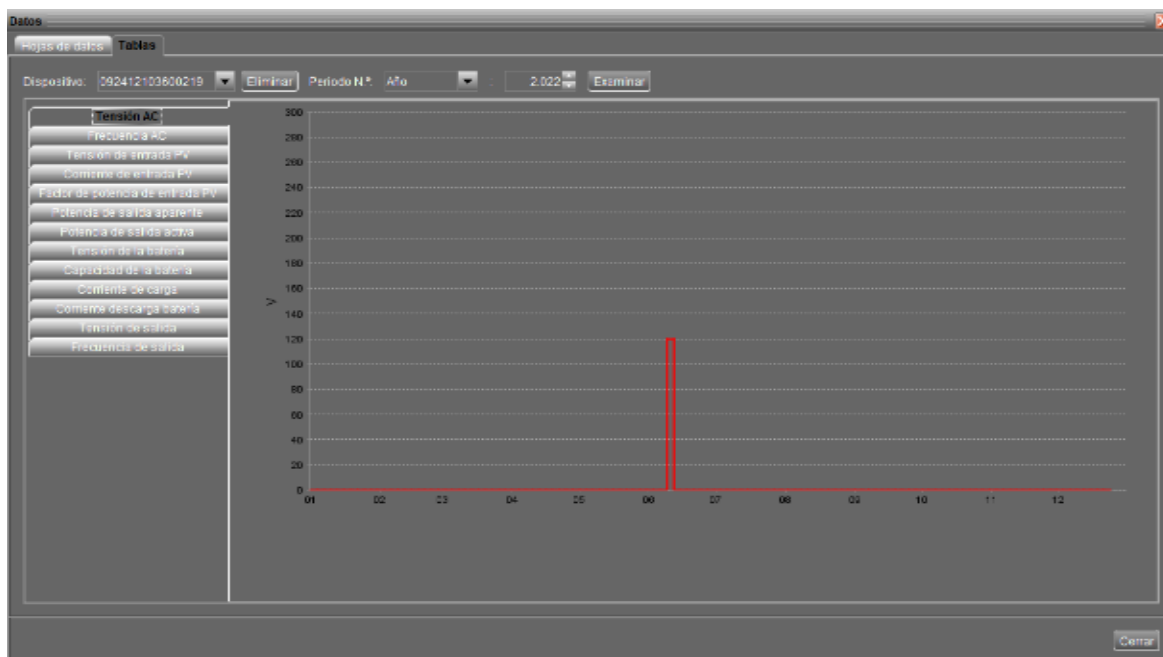
En la Figura 78, se puede visualizar cuando el sistema se encuentra desconectado del sistema de red pública, además se visualiza los elementos que se encuentran conectados al sistema fotovoltaico.



**Figura 78.** Datos de funcionamiento del sistema cuando está conectado/desconecta de la red en Powest

Fuente: Elaboración propia.

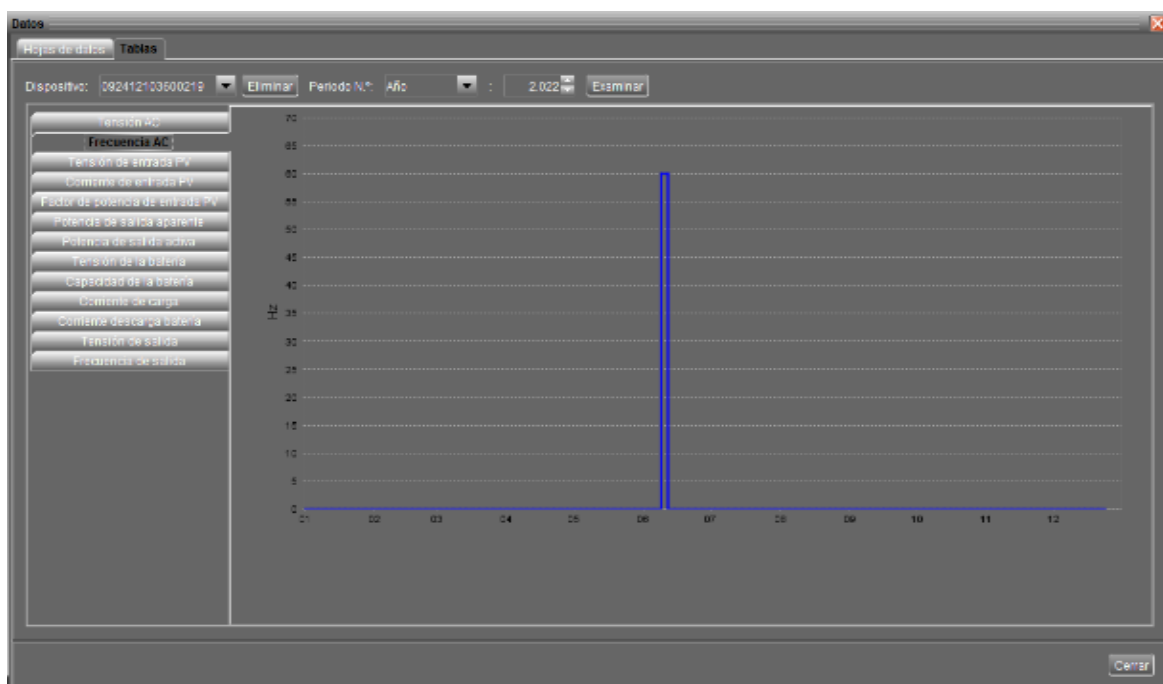
A continuación, en la Figura 79, se puede observar la curva de comportamiento de tensión AC, donde su valor pico es de 120v.



**Figura 79.** Curva de tensión AC

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

En la figura 80, se muestra la curva de comportamiento de la frecuencia AC, la misma que tiene un valor de 60 Hz.

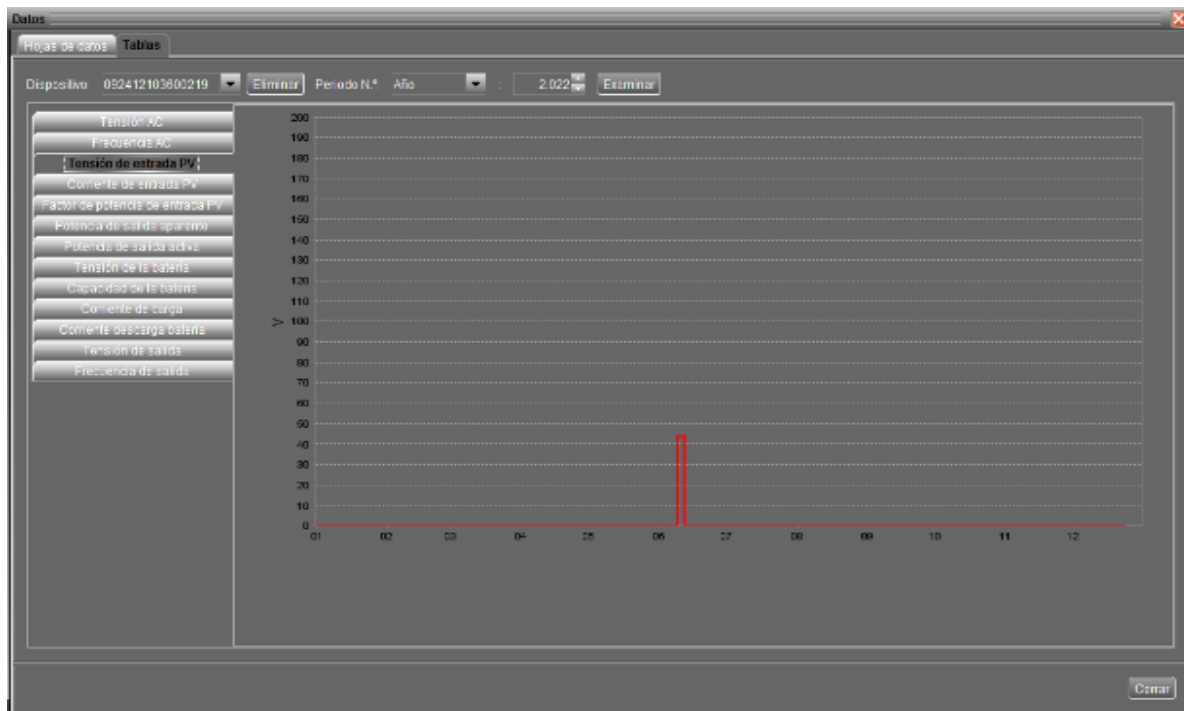


**Figura 80.** Curva de frecuencia AC

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

En la figura 81, se aprecia la curva de comportamiento de la entrada de tensión con respecto a los paneles solares, donde se muestra un valor de 48v.

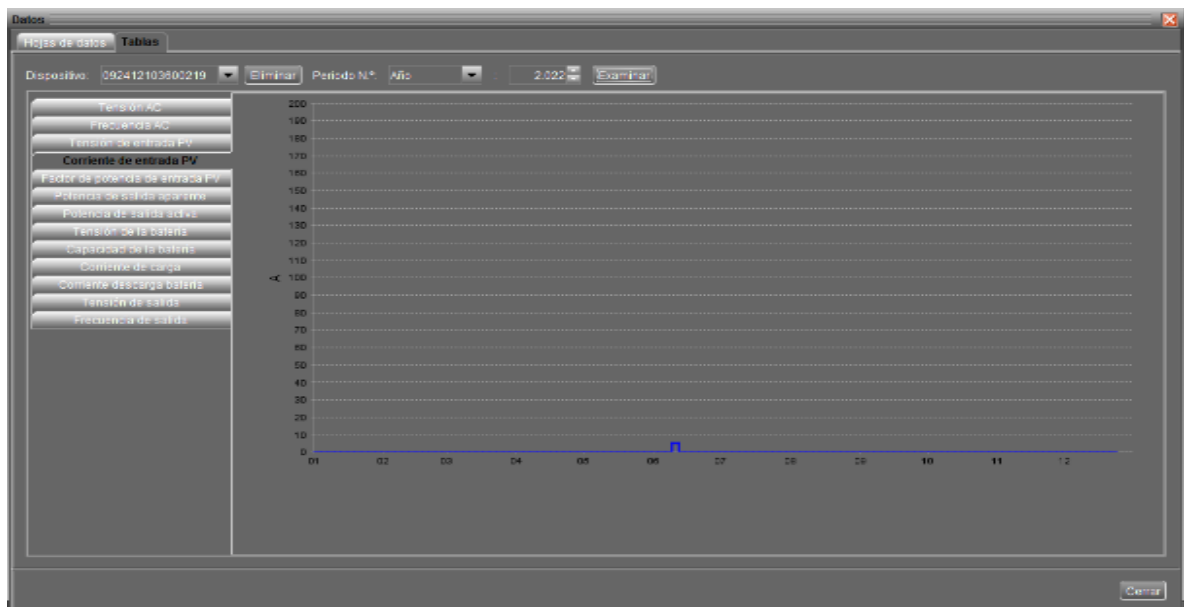




**Figura 81.** Curva de tensión de entrada PV

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

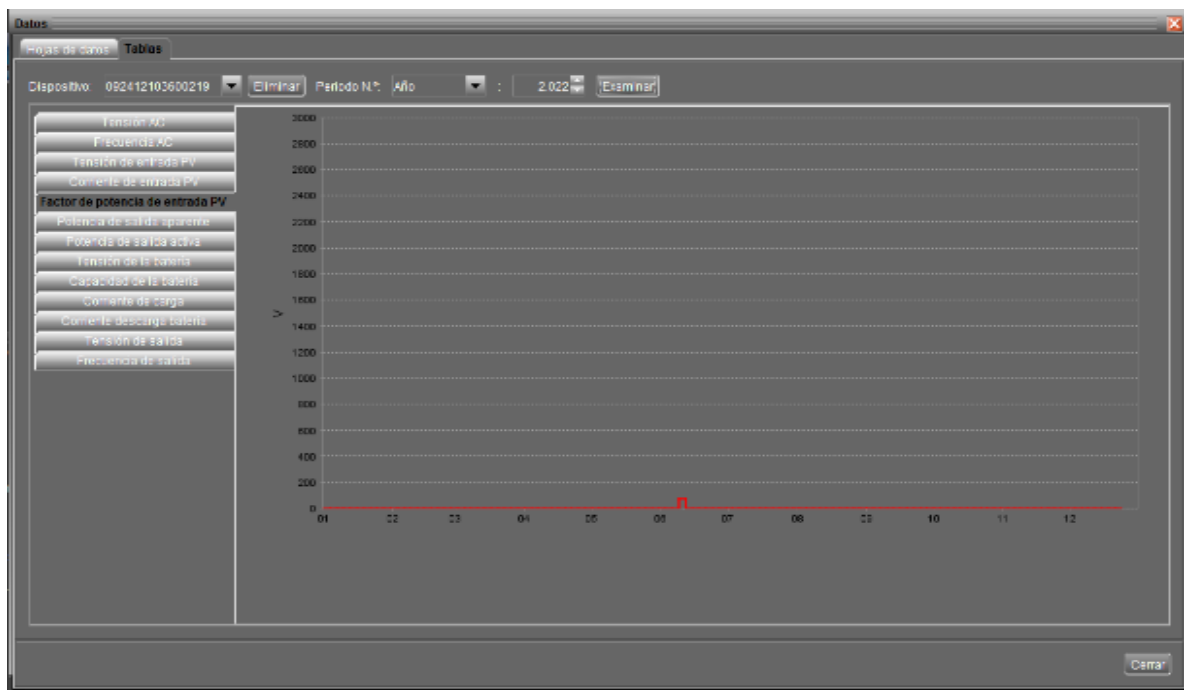
Mientras tanto en la figura 82, se visualiza la curva de comportamiento de la corriente de entra de los paneles solares que tiene un valor de 5 A.



**Figura 82.** Curva de corriente de entrada PV

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

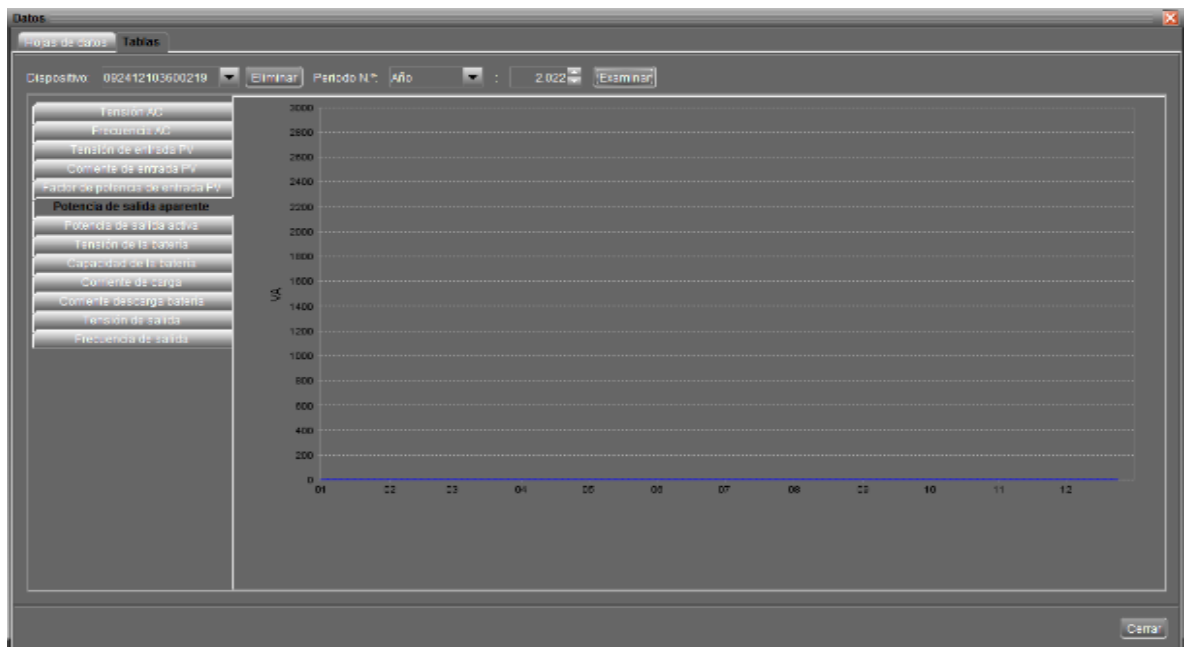
En la figura 83, se observa la curva de comportamiento del factor de potencia de entra de los paneles solares.



**Figura 83.** Curva de factor de potencia PV

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

Mientras tanto en la figura 84, se aprecia la curva de comportamiento de la potencia de salida aparente.



**Figura 84.** Curva de potencia de salida aparente

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

En la figura 85, se puede visualizar la curva de comportamiento de la tensión de la batería donde se muestra un valor de 12v DC.

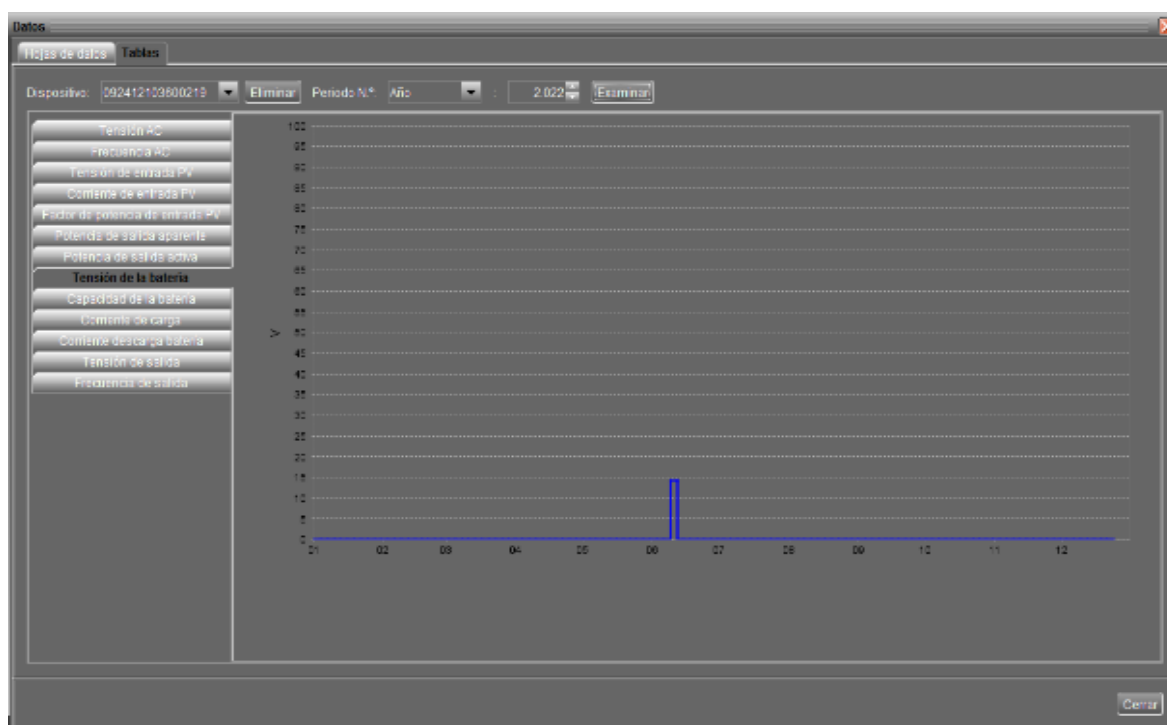


Figura 85. Curva de tensión de baterías

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

En la figura 86, se manifiesta la curve de comportamiento de la capacidad de la batería, donde se encuentra al 100% de su capacidad.

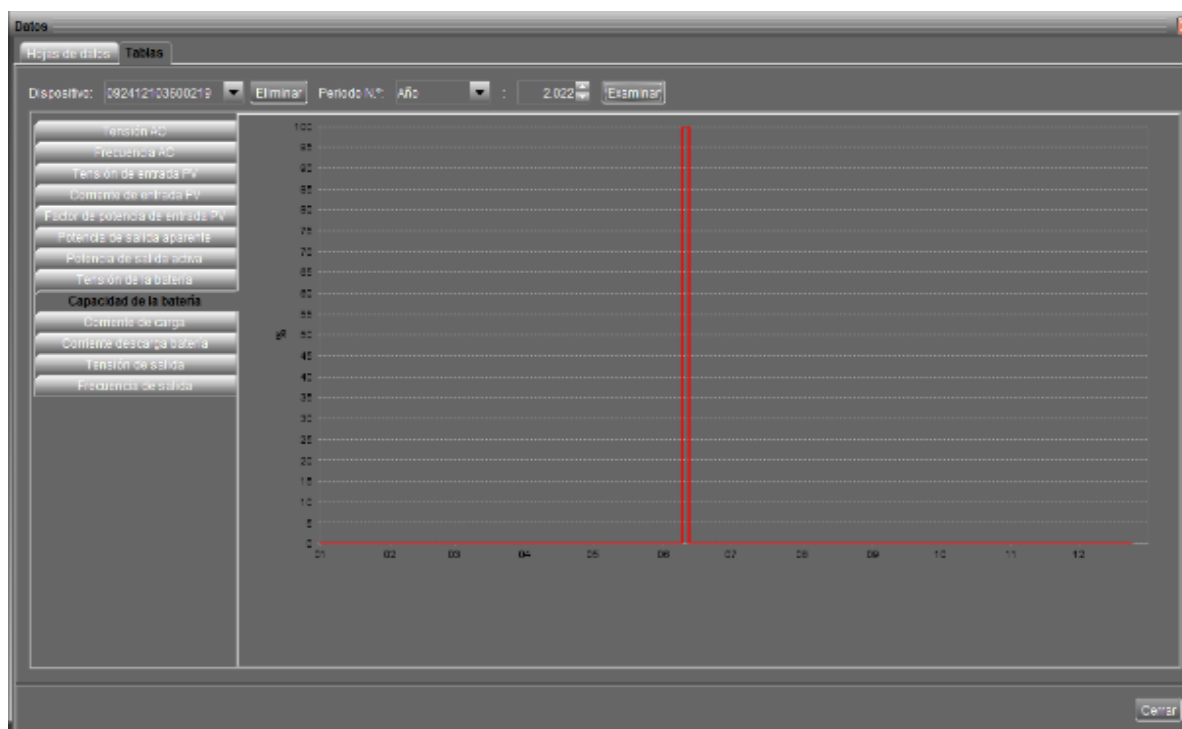


Figura 86. Curva de capacidad de baterías

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

En la figura 87, se aprecia la curva de comportamiento de la corriente con la carga instalada.

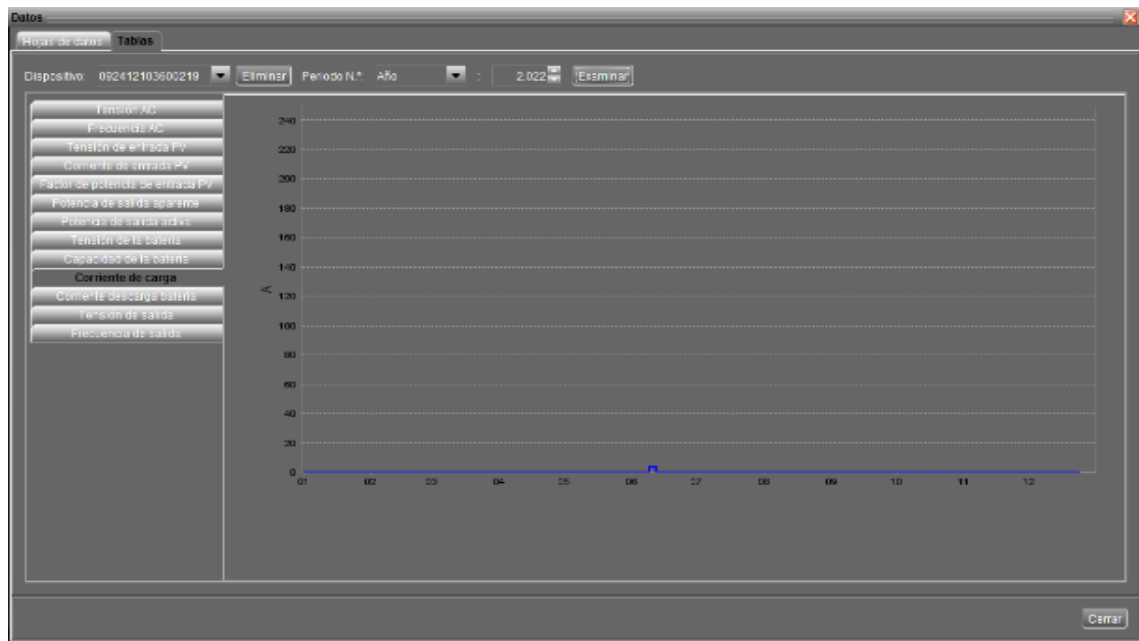


Figura 87. Curva de corriente de carga

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

En la figura 88, se observa la curva de comportamiento de corriente al momento que se descarga la batería.

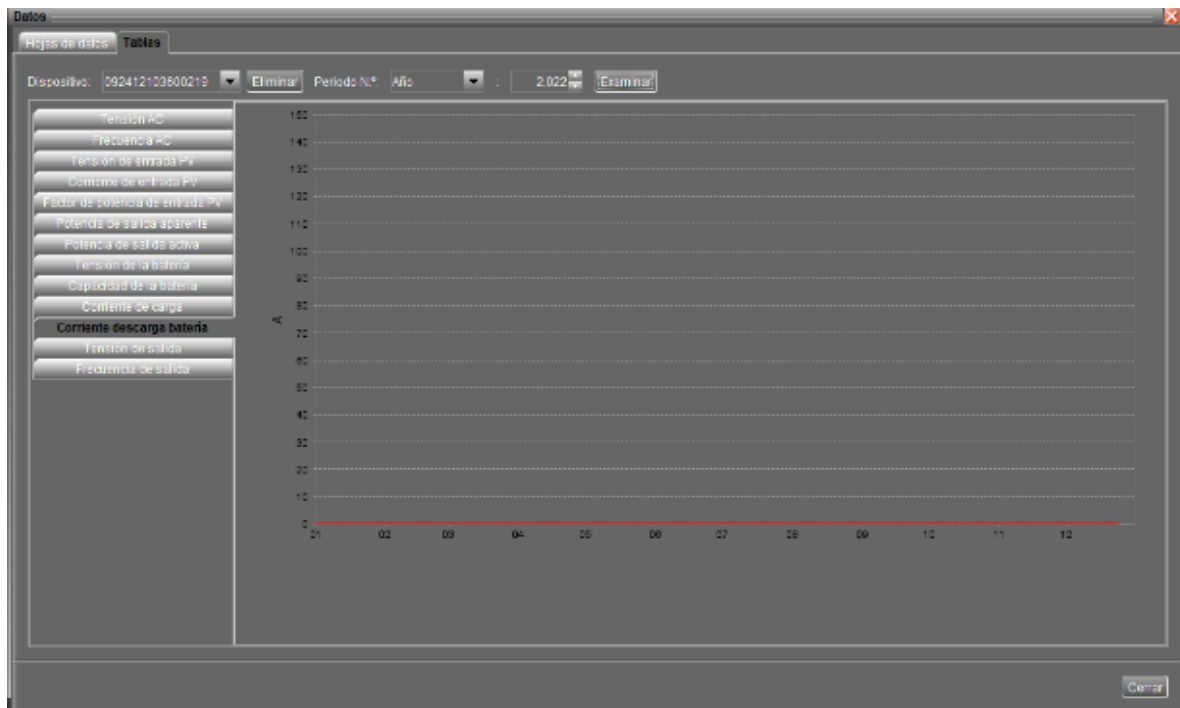
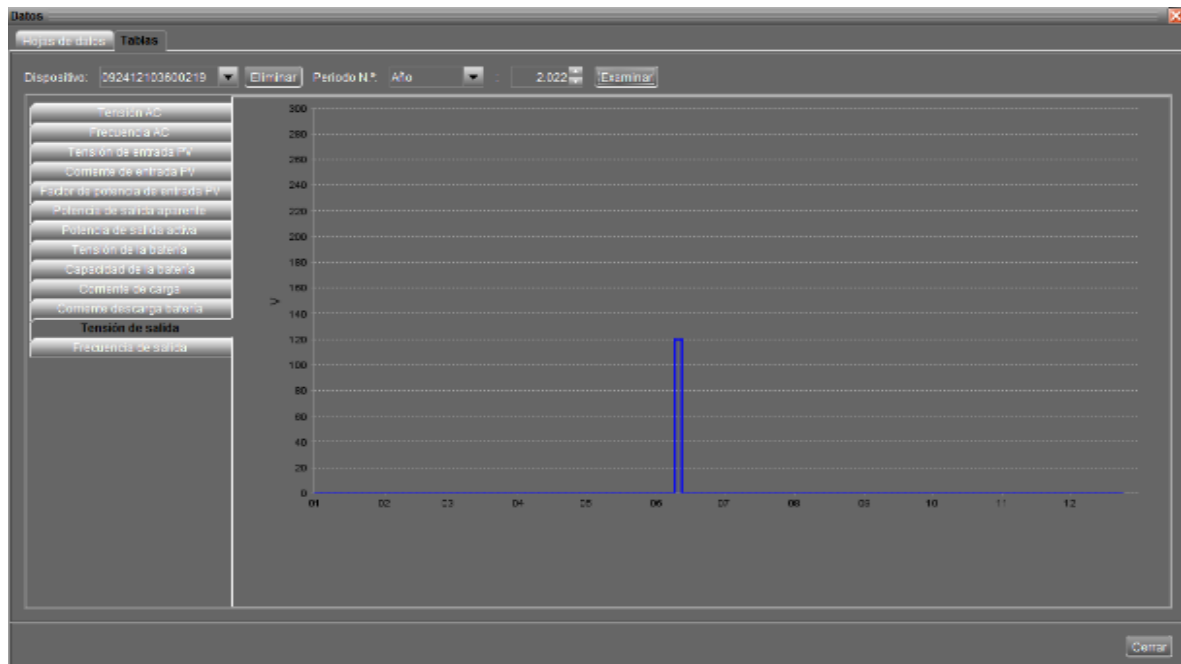


Figura 88. Curva de corriente de descarga de batería

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

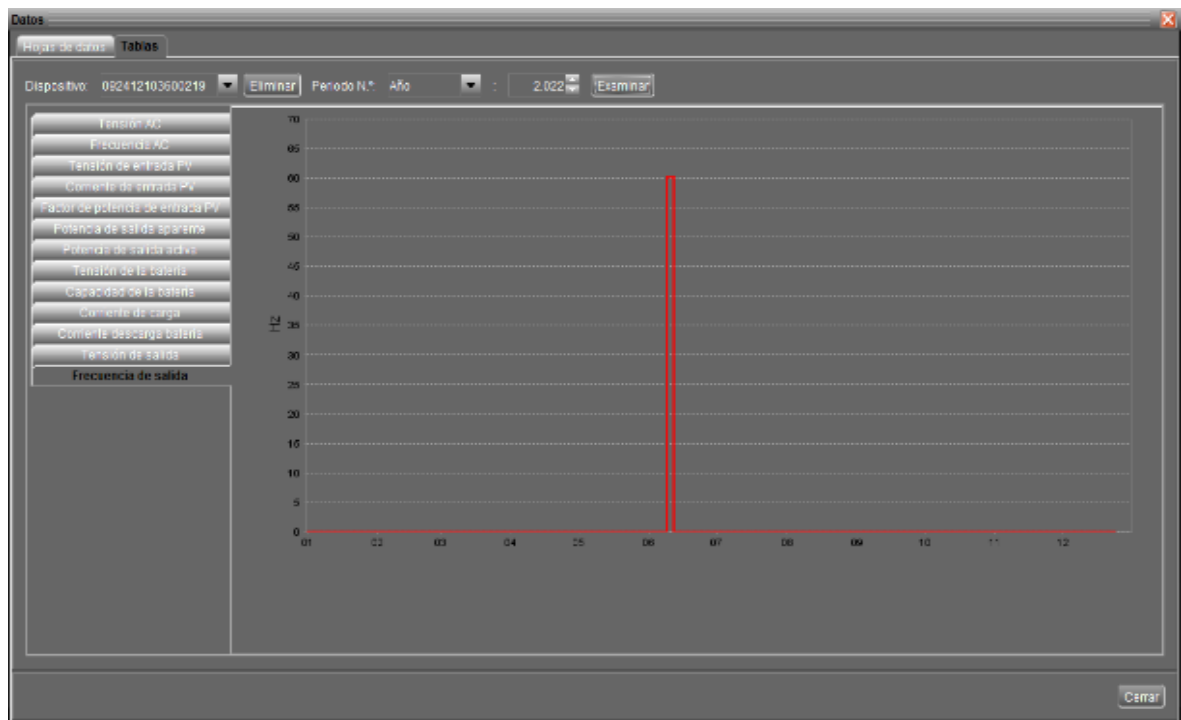
En la figura 89, se observa cómo se comporta la tensión de salida hacia la carga existe en el centro médico comunitario.



**Figura 89.** Curva de tensión de salida

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

En la figura 90, se observa la curva de comportamiento de la frecuencia de salida.



**Figura 90.** Curva de frecuencia de salida

Fuente: Elaboración propia en el software de Powest.

## 5.2. Cálculo de consumo mensual

La instalación realizada de paneles solares en el centro médico comunitario, brinda información favorable de funcionamiento y económico. La comunidad está satisfecha y agradecida, porque ha disminuido considerablemente el pago mensual del consumo eléctrico de la empresa Centrosur, en la Tabla 23 se presentan las planillas de pagos realizados tanto para el año 2021 con respecto al año 2022.

**Tabla 23.** Comparación de consumo eléctrico mensual

CONSUMO MENSUAL	
MES	CENTROSUR
MAYO 2021	57.27
JUNIO 2021	19.23
FOTOVOLTAICO	
MAYO 2022	10.78
JUNIO 2022	11.08

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 24 se muestra el cálculo del promedio de ahorro económico en los meses de instalación del sistema fotovoltaico en el Centro Médico Comunitario en la comunidad Punta Hacienda, para ellos se utiliza las Eq 10, Eq 11, Eq 12, Eq13, para poder obtener el resultado tanto en porcentaje como el precio de consumo promedio.

Fórmula de ahorro:

$$\$/ = 2021 - 2022 \quad (\text{Eq. 10})$$

Formula de % de ahorro:

$$\% = (2021 - 2022)/2021 \quad (\text{Eq. 11})$$

$$\text{Total \%} = \text{respuesta} * 100 \quad (\text{Eq. 12})$$

Formula promedio del consumo eléctrico:

$$\text{Promedio de consumo} = \frac{\text{mes 1} + \text{mes 2}}{2} \quad (\text{Eq. 13})$$

A continuación, se reemplaza los valores en formulas:

- Fórmula de ahorro:

**Mayo 2021- mayo 2022**

$$\text{\$} = 57,27 - 10,78$$

$$\text{\$} = 46,49$$

**Junio 2021- junio 2022**

$$\text{\$} = 19,23 - 11,08$$

$$\text{\$} = 8,15$$

- Formula dé % de ahorro:

**Mayo 2021- mayo 2022**

$$\% = 46.49/57.27$$

$$\% = 0.81176$$

$$\text{Total \%} = 0.81176 * 100$$

$$\text{Total \%} = 81.18$$

**Junio 2021- junio 2022**

$$\% = 8,15/19,23$$

$$\% = 0.4238$$

$$\text{Total \%} = 0.4238 * 100$$

$$\text{Total \%} = 42,38$$

- Formula promedio del consumo eléctrico:

**Año 2021 mayo-junio**

$$Pc = (57.27+19.23) /2$$

$$Pc = 38.25$$

**Año 2022 mayo-junio**

$$Pc = (10,78+11,08) /2$$

$$Pc = 10,93$$

- Fórmula de ahorro con respecto promedio del consumo eléctrico:

**Ahorro promedio mensual**

$$\text{\$} = 38.25 - 10.93$$

$$\text{\$} = 27.32$$

- Formula dé % de ahorro:

**Año 2021-2022**

$$\% = 27.32 / 38.25$$

$$\% = 0.7142$$

$$\text{Total \%} = 0.7142 * 100$$

$$\text{Total \%} = 71.42$$

**Tabla 24.** Valores de planillas

	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>\$ Ahorro</b>	<b>%</b>
<b>Mes mayo</b>	57,27	10,78	46,49	81,18%
<b>Mes junio</b>	19,23	11,08	8,15	42,38%
<b>Promedio</b>	38,25	10,93	27,32	71,42%

Fuente: Elaboración propia.

### 5.3. Cálculo de recuperación de dinero invertido

En la tabla 25 se muestra el cálculo de recuperación de dinero invertido en meses o años con el funcionamiento del sistema fotovoltaico en Centro Médico Comunitario, el precio del sistema fue 1.536,47 dólares. En los cálculos anteriores tenemos como resultado el cálculo promedio de 28,92 dólares de ahorro en dos pagos mensuales realizados en el año 2022 con respecto al 2021, para ellos se utiliza las Eq.14, para obtener el resultado del tiempo de recuperación de la inversión.

Fórmula para el cálculo del tiempo para recuperar la inversión.

$$\text{Tiempo (meses)} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Promedio de ahorro}} \quad (\text{Eq. 14})$$

**Tabla 25.** Tiempo de inversión

<b>INVERSIÓN</b>	<b>PROMEDIO DE AHORRO</b>	<b>MESES</b>
1536.47	28,92	54

Fuente: Elaboración propia.

Se puede concluir que en 4 años 6 meses se recupera el total de la inversión del sistema fotovoltaico, pasado este tiempo el sistema será rentable.



## CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se realizó un análisis teórico y práctico, con la finalidad de impulsar el uso de la energía fotovoltaica, la cual fue instalada en el centro médico comunitario de Comunidad Punta Hacienda de la parroquia Quingeo, Cuenca – Azuay, esta alimentación eléctrica tomará la distribución de tomacorrientes e iluminación. La parte importante fue la instalación de los paneles solares porque estos son los que recargan la batería. Lo más difícil para la instalación de paneles solares fue la adquisición de materiales.

Este trabajo está compuesto por el siguiente objetivo general “Crear y diseñar un sistema renovable para el uso de energía eléctrica en las instalaciones del centro médico comunitario de la comunidad Punta Hacienda de la parroquia Quingeo de la ciudad de Cuenca”. Por lo que se realizó un análisis de la radiación solar que se muestra en la sección 3.8. En el cual se obtuvo en el sector que se obtiene una radiación solar pico de 4.99 hsp aproximadamente con una inclinación de 35° hacia el sur por medio de los diferentes softwares utilizados.

Por otro lado, se determinó la carga eléctrica de consumo eléctrico mensual estimado y a la vez se realizó la proyección de carga eléctrica de consumo para la implementación del sistema fotovoltaico, se tuvieron en cuenta los aspectos físicos y meteorológicos del sector para el correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Además, se realizó un diseño de AutoCAD, Dialux y Matlab del centro de salud comunitario

Se realizó las pruebas necesarias de funcionamiento de equipos obteniendo resultados positivos, con esto se procedió con la instalación de paneles solares para las pruebas de seguimiento que se realizaron con técnicos de distribuidores de equipos, donde nos ayudaron con la forma correcta de instalación. Seguidamente se procedió a instalar los paneles solares en la cubierta, las baterías e inversor híbrido instaladas en parte interna del centro médico, paralelo al tablero eléctrico de distribución. Todos los equipos descritos componen un sistema fotovoltaico con el debido apoyo y asesoramiento del director de tesis el ingeniero Daniel Icaza.

Se realizaron las comprobaciones de funcionamiento de equipos del sistema fotovoltaico. Los resultados son favorables físicamente y económicamente, una vez realizada la evaluación se procedió a una entrega formal a la comunidad de Punta Hacienda.

Este trabajo alcanzó todos los objetivos planteados inicialmente, con lo que se logró que la comunidad cuenta con un sistema energético modelo, el cual puede ser ejecutado o replicado en diferentes sectores de interés social con el fin de cubrir la demanda económica en consumo energético.

## **RECOMENDACIONES**

Considerar la instalación de sistemas fotovoltaicos en gran amplitud, con el objetivo de alimentar al domicilio y a su vez realizar un intercambio económico con la empresa eléctrica Centrosur con medidores bidireccionales. Cabe mencionar, que no existe una ley o reglamento aprobado en Ecuador que permita realizar este tipo de instalaciones, por ello se debería fomentar el uso de sistemas de energía renovables, mediante leyes que incentiven económicamente a zonas de escasos recursos.

Como recomendación principal es la implementación de este sistema en otros sectores (educación, ambiente, salud, etc.). considerando el costo inicial y la adquisición de materiales con el menor costo posible sin dejar de lado la calidad.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] «Las energías renovables: características y tipos», *Consumo Responde*, 3 de mayo de 2018.  
[https://www.consumoresponde.es/art%C3%ADculos/las\\_energias\\_renovables\\_caracteristicas\\_y\\_tipos](https://www.consumoresponde.es/art%C3%ADculos/las_energias_renovables_caracteristicas_y_tipos) (accedido 22 de julio de 2022).
- [2] «Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual».  
<https://www.accionacom.es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/> (accedido 22 de julio de 2022).
- [3] A. M. Rodríguez Bertheau, M. Martínez Varona, I. Martínez Rodríguez, H. Fundora Hernández, y T. Guzmán Armenteros, «Desarrollo tecnológico, impacto sobre el medio ambiente y la salud», *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 49, n.º 2, pp. 308-319, ago. 2011.
- [4] «Energía solar fotovoltaica y térmica: ventajas y desventajas», *Selectra*, 25 de enero de 2021. <https://climate.selectra.com/es/que-es/energia-solar> (accedido 22 de julio de 2022).
- [5] «En Cuenca ya aprovechan la energía solar - Diario El Mercurio».  
<https://elmercurio.com.ec/2022/07/18/en-cuenca-ya-aprovechan-la-energia-solar/> (accedido 22 de julio de 2022).
- [6] «¿Conoces todo lo que te puede aportar la Energía Solar?», *Otovo Blog*, 29 de mayo de 2021. <https://www.otovo.es/blog/energia/que-es-la-energia-solar/> (accedido 22 de julio de 2022).
- [7] «Metodología de la Investigación». <https://instituciones.sld.cu/ih/metodologia-de-la-investigacion/> (accedido 26 de julio de 2022).
- [8] C. Backus *et al.*, *Solar Energy Engineering*. Academic Press, Inc., 1977.
- [9] International Energy Agency, «Global energy demand rose by 2.3% in 2018, its fastest pace in the last decade», 2019.  
<https://www.iea.org/newsroom/news/2019/march/global-energy-demand-rose-by-23-in-2018-its-fastest-pace-in-the-last-decade.html> (accedido 9 de octubre de 2019).
- [10] «Norma Rosario flores Rivera, Miguel Ángel Domínguez Ramírez Maestría en Energías Renovables.pdf». Accedido: 23 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en:  
<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/791/1/Norma%20Rosario%20flores%20Rivera%20C%20Miguel%20C%81ngel%20Dom%20C%ADnguez%20Ram%20C%ADrez%20Maestr%20C%ADa%20en%20Energ%20C%ADas%20Renovables.pdf>
- [11] «Energía solar», *World Bank*.  
<https://www.bancomundial.org/es/results/2017/11/29/solar> (accedido 23 de julio de 2022).
- [12] «Ranking de países con mayor capacidad de energía solar en 2021».  
<https://www.catorce6.com/actualidad-ambiental/internacional/19298-ranking-de-paises-con-mayor-capacidad-de-energia-solar-en-2021> (accedido 23 de julio de 2022).
- [13] «La luz solar enciende esta idea | Revista Líderes».  
<https://www.revistalideres.ec/lideres/luz-solar-enciende-idea.html> (accedido 23 de julio de 2022).
- [14] T. Partridge, «El proyecto solar El Aromo y el reto de las renovables en Ecuador», *IPS Agencia de Noticias*, 3 de febrero de 2021.

- <https://ipsnoticias.net/2021/02/proyecto-solar-aromo-reto-las-renovables-ecuador/> (accedido 23 de julio de 2022).
- [15] «Global Data: El plan solar de Ecuador a 2030 - Mining Press». <https://miningpress.com/333845/global-data-el-plan-solar-de-ecuador-a-2030> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [16] I. R. H. Gallegos, «PARA OBTENER EL GRADO DE», p. 85.
- [17] J. Widén y J. Munkhammar, *Solar Radiation Theory*. 2019. doi: 10.33063/diva-381852.
- [18] J. Reca-Cardena y R. López-Luque, *Design Principles of Photovoltaic Irrigation Systems*, vol. 1. 2018. doi: 10.1016/B978-0-12-812959-3.00009-5.
- [19] K. Academi, «Photoelectric effect». <https://www.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect> (accedido 26 de diciembre de 2019).
- [20] L. P. Lewis Fraas, *Solar Cells and Their Applications*. 2010. doi: 10.1002/9780470636886.
- [21] M. Paggi, M. Corrado, y I. Berardone, «A global/local approach for the prediction of the electric response of cracked solar cells in photovoltaic modules under the action of mechanical loads», *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 168, n.º February, pp. 40-57, 2016, doi: 10.1016/j.engfracmech.2016.01.018.
- [22] Tindo Solar, «Poly vs Mono Crystalline». <https://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/> (accedido 27 de octubre de 2019).
- [23] D. Thorpe, *Solar Energy Pocket Reference*. Taylor & Francis Group, 2018. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [24] W. A. B. John A. Duffie, Wiley: *Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition - John A. Duffie, William A. Beckman*. 2013.
- [25] A. M. M. Rueda, «TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO EN ENERGIAS», p. 112.
- [26] Viridian Solar, «Solar PV Panels». <http://www.viridiansolar.co.uk/resources-4-3-PV-solar-modules.html> (accedido 27 de octubre de 2019).
- [27] M. H. Velasco, «Performance Evaluation of Different PV-Array Configurations under Weak Light Conditions and Partial Shadings», n.º 164, p. 87, 2012.
- [28] A. Energy, «Bypass Diode Ensures Solar Panel Protection». <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/bypass-diode.html> (accedido 30 de diciembre de 2019).
- [29] Monsolar, «Calculo de regulador solar PWM necesario». <https://www.monsolar.com/blog/calculo-de-regulador-solar-pwm-necesario/> (accedido 23 de enero de 2022).
- [30] E. T. Hashim y A. A. Abbood, «Temperature Effect on Photovoltaic Modules Power Drop», *Al-Khawarizmi Engineering Journal*, vol. 11, n.º 2, pp. 62-73, 2015.
- [31] Atersa, «Atersa A-250M datasheet». pp. 0-1, 2019.
- [32] SAKO, «Solar inverter, MPPT solar inverter, Solar inverter with charger, High frequency solar inverter». [http://www.sakopower.com/sunsee-series-pure-sine-wave-high-frequency-hybrid-solar-inverter-with-mppt-inside\\_92925.html](http://www.sakopower.com/sunsee-series-pure-sine-wave-high-frequency-hybrid-solar-inverter-with-mppt-inside_92925.html) (accedido 16 de enero de 2022).
- [33] Satvikk Oorja, «SOLAR ON GRID INVERTER -»». <https://satvikkoorja.com/solar-on-grid-inverter/> (accedido 16 de enero de 2022).
- [34] Coulee, «How to Size the All-in-one Inverters (Off-grid) | Coulee Limited». <https://couleenergy.com/how-to-size-the-all-in-one-inverters/> (accedido 16 de enero de 2022).

- [35] Hinerger, «Hybrid Solar Power Inverter Grid Tied and Off Grid Solar Inverter | Hinerger». <https://www.hinerger.net/product/hybrid-solar-inverter-3/> (accedido 16 de enero de 2022).
- [36] D. K. Kim, S. Yoneoka, A. Z. Banatwala, Y.-T. Kim, y K.-Y. Nam, *Handbook on Battery Energy Storage System*, n.º December. 2018.
- [37] Campbell Scientific, «34703: Set of MC4 Plastic Male/Female Connectors». <https://www.campbellsci.com/34703> (accedido 18 de enero de 2022).
- [38] M. R. Patel, *Book Review: Wind and Solar Power Systems—Design, Analysis, and Operation*, vol. 30, n.º 3. 2006. doi: 10.1260/030952406778606197.
- [39] kuga, «Optimum Solar Panel Angle: A Guide | Kuga Commercial Solar News». <https://www.13kuga.com.au/solar-panel-orientation-vs-production/> (accedido 23 de enero de 2022).
- [40] U. S. E. I. A. (EIA), «Average U.S. construction costs for solar and wind continued to fall in 2016». <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=36813> (accedido 27 de octubre de 2019).
- [41] «Ecuador tiene tarifas eléctricas más económicas que Colombia y Perú», *Ekos Negocios*. <https://www.ekosnegocios.com/articulo/ecuador-tiene-tarifas-electricas-mas-economicas-que-colombia-y-peru> (accedido 10 de septiembre de 2022).
- [42] Á. B. Salto Uzhca, «Análisis de factibilidad para el uso de la energía fotovoltaica aislada en sistemas de iluminación en la Comunidad Puntahacienda de Quingeo», *Universidad Católica de Cuenca*, 2018, Accedido: 24 de julio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7948>
- [43] J. P. Garzón Sanmartín, «Estudio y análisis experimental de rendimiento dinámico del Sistema Híbrido de Fotovoltaico y Turbina a Viento hasta 2kw», *Universidad Católica de Cuenca*, 2018, Accedido: 2 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8209>
- [44] S. U. Á. Bolívar, «TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO», p. 222.
- [45] «HOMER Pro - Software de microrredes para diseñar microrredes híbridas optimizadas». <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html> (accedido 30 de enero de 2022).
- [46] «JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission». [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/tools.html#MR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#MR) (accedido 30 de enero de 2022).
- [47] A. S. Pastor, «PVGIS para el cálculo de instalaciones fotovoltaicas», p. 15.
- [48] I. R. H. Gallegos, «PARA OBTENER EL GRADO DE», p. 85.
- [49] «IV\_FIN\_109\_TI\_Jamjachi\_Rojas\_2021.pdf». Accedido: 27 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9879/2/IV\\_FIN\\_109\\_TI\\_Jamjachi\\_Rojas\\_2021.pdf#page=43&zoom=100,109,730](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9879/2/IV_FIN_109_TI_Jamjachi_Rojas_2021.pdf#page=43&zoom=100,109,730)
- [50] M. H. Jimbo Jimbo, «Iluminación del parqueadero de la Universidad Católica de Cuenca con energía fotovoltaica», *Universidad Católica de Cuenca*, 2018, Accedido: 2 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8231>
- [51] E. X. Urgilés Bermeo, «Diseño, modelado e implementación de un sistema fotovoltaico para la capilla de la comunidad Macas alto de la parroquia Quingeo del cantón Cuenca», *Universidad Católica de Cuenca*, 2019, Accedido: 2 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8250>
- [52] «Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.», p. 14.

- [53] F. F. Sangurima Paute, «Diseño, modelado y simulación de un sistema fotovoltaico para abastecimiento de energía del cerro Curiquina», *Universidad Católica de Cuenca*, 2020, Accedido: 2 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/10686>
- [54] «329132445007.pdf». Accedido: 27 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329132445007.pdf>
- [55] D. Hidalgo-García y J. Arco-Díaz, «Modeling the Surface Urban Heat Island (SUHI) to study of its relationship with variations in the thermal field and with the indices of land use in the metropolitan area of Granada (Spain)», *Sustainable Cities and Society*, vol. 87, p. 104166, dic. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2022.104166.
- [56] Y. E. G. Vera, «GESTIÓN DE MICRORREDES ELÉCTRICAS BASADAS EN FUENTES RENOVABLES EN COLOMBIA.», p. 166.
- [57] A. G. J. Cedeño, «Red de monitoreo de aire en la Refinería del Pacífico en el sitio El Aromo del cantón Manta», *Dominio de las Ciencias*, vol. 5, n.º 1, pp. 363-384, 2019.
- [58] «POWEST – UPS Híbrida 1 KVA | Powest». <https://powest.com/landing/producto/powest-ups-hibrida-1-kva/> (accedido 28 de julio de 2022).
- [59] «FirstPower Rechargeable Lead Acid Battery». <http://efirstpower.com/> (accedido 28 de julio de 2022).
- [60] J. L. R, «TEMPORIZADOR | ¿Que es, tipos, partes y como funciona?», 11 de septiembre de 2019. <https://como-funciona.co/un-temporizador/> (accedido 10 de septiembre de 2022).

## GLOSARIO SIGNIFICATIVO

- **MILP** = (Problema lineal entera mixta, programación lineal entera – mixta, entrevista de Monash de psiquiatría de enlace)
- **MINLP** = Programación no lineal entera mixta
- **MIQCP** = Programas de enteros mixtos con una o más restricciones incluidos los términos cuadráticos
- **PV** = Panel fotovoltaico
- **DC** (corriente continua)
- **AC** (corriente alterna)
- **RES** (recursos energéticos renovables)
- **PAR** (Relación pico a promedio)
- **EES** (eléctrico almacenamiento de energía)
- **DR** (Respuesta a la demanda)
- **GSCP** (Impacto de prácticas de la cadena de suministro verde)
- **MILP** (programación lineal entera mixta)
- **MINLP** (Programación no lineal entera mixta)
- **MIQCP** (restricciones cuadráticas de enteros mixtos)
- **DSM** (gestión del lado de la demanda)
- **RTP** (precios en tiempo real)
- **HEMS** (sistema de gestión de energía del hogar)
- **DER** (recursos energéticos distribuidos)
- **TOU** (tiempo de uso)
- **CPP** (fijación de precios pico críticos)
- **UV** (radiación ultravioleta)
- **MPTT** (seguidor punto de máxima potencia)
- **Batería Firs Power** (Primer poder)
- **Batería FP** (Firs Power)
- **Batería LFP** (Litio-Ferro fosfato)
- **OBJ** (Objetivos)

## ANEXOS

### ANEXO 1. PRUEBAS DE EQUIPOS



Fuente: Elaboración propia.

### ANEXO 2 INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Instalación de paneles solares



Fuente: Elaboración propia.





Fuente: Elaboración propia.

#### Instalación del controlador/Inversor



Fuente: Elaboración propia.

## Instalación de baterías



Fuente: Elaboración propia.

## Funcionamiento del sistema



Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 3 SEGUIMIENTO





WatchPower

Datos

Hojas de datos Tablas

Dispositivo: 092412103600219 Eliminar Mostrar elemento Modo disposi... Período de tiempo: 2022-06-11 Examinar Exportar Excel

Modo disp.	Hora	Tensión AC	Frecuencia	Tensión de	Corriente de	Factor de p.	Potencia de	Potencia de	Tensión de	Capacida	Comente s.	Comente s.	Tensión de	Frecuencia
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	36.6	4.0	55	0.0	0.0	12.87	68	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	38.2	4.0	62	0.0	0.0	12.91	70	3.0	0.0	118.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	34.3	4.0	59	0.0	0.0	12.87	68	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	37.5	4.0	57	0.0	0.0	12.83	66	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	119.0	60.0	35.5	3.0	49	0.0	0.0	12.76	63	2.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	119.0	60.0	37.1	3.0	45	0.0	0.0	12.75	62	2.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	119.0	60.0	36.5	3.0	42	0.0	0.0	12.73	61	2.0	0.0	119.0	60.0
Standby Mo...	2022-06-11	119.0	60.0	43.9	0.0	0	0.0	0.0	13.49	100	0.0	0.0	0.0	0.0
Battery Mode	2022-06-11	119.0	60.0	34.8	2.0	38	0.0	0.0	12.61	55	1.0	0.0	119.0	60.1
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	35.4	2.0	35	0.0	0.0	12.61	55	1.0	0.0	118.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	36.1	2.0	34	0.0	0.0	12.61	55	1.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	36.8	2.0	35	0.0	0.0	12.63	56	1.0	0.0	118.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	36.0	3.0	42	0.0	0.0	12.66	58	2.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	35.1	3.0	45	0.0	0.0	12.7	60	2.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	36.4	3.0	49	0.0	0.0	12.8	65	2.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	35.6	3.0	49	0.0	0.0	12.76	63	2.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	37.4	3.0	52	0.0	0.0	12.97	73	2.0	0.0	120.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	37.0	4.0	55	0.0	0.0	12.9	70	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	35.8	4.0	59	0.0	0.0	12.9	70	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	36.6	4.0	62	0.0	0.0	12.92	71	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	35.9	4.0	54	0.0	0.0	12.9	70	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	36.4	4.0	60	0.0	0.0	12.89	69	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	37.0	4.0	58	0.0	0.0	12.87	68	3.0	0.0	120.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	0.0	0.0	37.1	4.0	56	0.0	0.0	12.87	68	3.0	0.0	119.0	60.0
Battery Mode	2022-06-11	120.0	59.9	34.0	4.0	55	0.0	0.0	12.85	67	3.0	0.0	119.0	60.0

Total: 37 Fila

Exportar Eliminar Eliminar todo Cerrar

WatchPower Configuración de: Control de dispositivos Ver Idioma Ayuda

Huésped Dispositivo monitoreado: USB3A4002E5\_092412103600219

guest

USB3A4002E5\_092412103600219

Battery Mode

Source: Battery

Source: Solar

En básica:

Tensión AC: 0.0 V Corriente descarga batería: 0.0 A

Frecuencia AC: 0.0 Hz Tensión de salida: 119.0 V

Tensión de entrada PV: 37.3 V Frecuencia de salida: 60.0 Hz

Potencia de entrada PV: 64. W Potencia de salida aparente: 0.0 VA

Tensión de la batería: 12.9 V Potencia de salida activa: 0.0 W

Capacidad de la batería: 70. % Porcentaje de carga: 0. %

Corriente de carga: 3.0 A

Información sobre el producto

Tipo de modelo: Stand alone

Topología de red: Transformer

Versión CPU principal: 00002.83

Remote Panel CPU version: 0002.83

BLE CPU version: —

Nominal de la Información

Tensión nominal AC: 120.0 V Frecuencia nominal de salida: 60.0

Corriente nominal AC: 8.3 A Corriente nominal de salida: 8.3

Tensión de la batería nominal: 12.0 V Potencia nominal aparente de salida: 1000.0

Tensión nominal de salida: 120.0 V Potencia nominal activa de salida: 1000.0

WatchPower Configuración de: Control de dispositivos Ver Idioma Ayuda

Huésped Dispositivo monitoreado: USB3A4002E5\_092412103600219

guest

USB3A4002E5\_092412103600219

Battery Mode

Source: Battery

Source: Solar

En básica:

Tensión AC: 119.0 V Corriente descarga batería: 0.0 A

Frecuencia AC: 60.0 Hz Tensión de salida: 119.0

Tensión de entrada PV: 37.3 V Potencia de salida aparente: 0.0

Potencia de entrada PV: 64.0 A Potencia de salida activa: 0.0

Tensión de la batería: 12.9 V Potencia de salida activa: 0.0

Capacidad de la batería: 65. % Porcentaje de carga: 0.0

Corriente de carga: 3.0 A

Información sobre el producto

Tipo de modelo: Stand alone

Topología de red: Transformer

Versión CPU principal: 00002.83

Remote Panel CPU version: 0002.83

BLE CPU version: —

Capacidad de la batería: —

Corriente de carga: —

Nominal de la Información

Tensión nominal AC: 120.0 V Frecuencia nominal de salida: 60.0 Hz

Corriente nominal AC: 8.3 A Corriente nominal de salida: 8.3 A

Tensión de la batería nominal: 12.0 V Potencia nominal aparente de salida: 1000.0 VA

Tensión nominal de salida: 120.0 V Potencia nominal activa de salida: 1000.0 W

Fuente: Elaboración propia.

## ANEXO 4 DATOS DEL SOFTWARE PVGIS

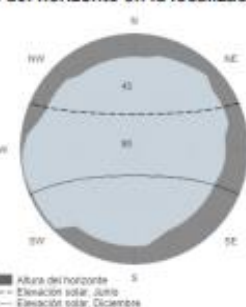


PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar

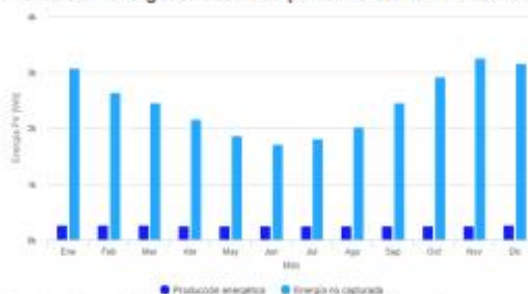
#### Datos proporcionados

Latitud/Longitud:	-3.025,-78.893	Ángulo de inclinación:	35 °
Horizonte:	Calculado	Ángulo de azimut	0 °
Base de datos:	PVGIS-NSRDB	<b>Resultados de la simulación</b>	
FV instalado:	1000 Wp	Porcentaje días batería cargada:	100 %
Capacidad de la batería:	200 Wh	Porcentaje días batería descargada:	100 %
Limitador de descarga:	40 %	Energía media no capturada:	2459.35 Wh
Consumo diario:	400 Wh	Energía media que falta:	141.22 Wh

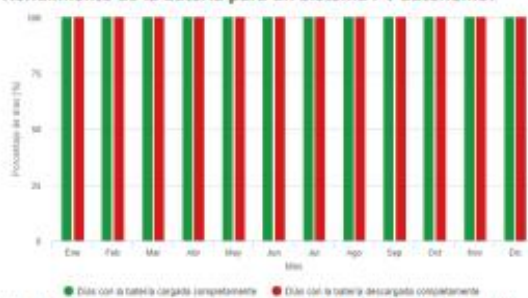
#### Perfil del horizonte en la localización seleccionada



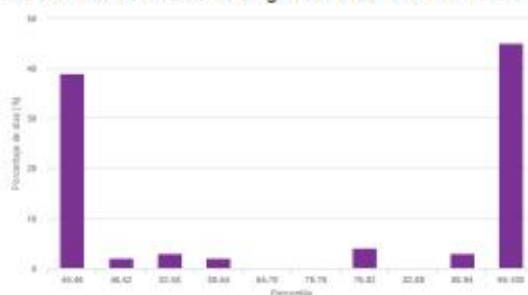
Producción energética estimada para un sistema FV autónomo:



**Rendimiento de la batería para un sistema FV autónomo:**



Probabilidad del estado de carga de la batería al final del día:



La Comisión Europea mantiene esta web para facilitar al sector público y a la información sobre sus actividades y las políticas de la Unión Europea en general. Nuestra prioridad es mantener la información precisa y actual. También deseamos recoger los comentarios que nos ayudarán a mejorar. La Comisión desea hacer responsable de la información publicada en esta web.

Nuestro personal no puede proporcionar al público los servicios técnicos, algunos datos o informaciones sensibles en su totalidad. No podemos proporcionar información en formato de archivo o formato de datos, y no podemos garantizar que la información o el diseño de algunas partes de la web. Si usted tiene alguna pregunta o comentario sobre los problemas, que pueden surgir al utilizar esta web o si usted desea ser notificado al respecto.

Para obtener más información, visit [ec.europa.eu/press](http://ec.europa.eu/press) o [ec.europa.eu/press/en](http://ec.europa.eu/press/en)

## Rendimiento medio mensual

Mes	E_d	E_l	f_f	f_o
Enero	265.3	3089.3	100.0	100.0
Febrero	264.8	2645.6	100.0	100.0
Marzo	264.5	2462.3	100.0	100.0
Abril	256.2	2156.7	100.0	100.0
Mayo	256.5	1866.2	100.0	100.0
Junio	256.4	1708.2	100.0	100.0
Julio	256.3	1814.4	100.0	100.0
Agosto	256.3	2024.4	100.0	100.0
Septiembre	256.5	2456.6	100.0	100.0
Octubre	256.1	2924.4	100.0	100.0
Noviembre	257.0	3253.5	100.0	100.0
Diciembre	259.8	3160.7	100.0	100.0

$E_d$ : Producción energética media diaria [Wh/día].  
 $E_t$ : Energía media diaria no capturada [Wh/día].  
 $f_c$ : Porcentaje de días con la batería cargada completamente [%].  
 $f_d$ : Porcentaje de días en los que la batería se descarga completamente [%].

Cs	Cb
40-46	39.0
46-52	2.0
52-58	3.0
58-64	2.0
64-70	0.0
70-76	0.0
76-82	4.0
82-88	0.0
88-94	3.0
94-100	45.0

Cc: Estado de carga al final de cada día [%].  
Cfr: Porcentaje de días con este estado de carga [%].

PVGIS ©Unión Europea, 2001-2022.  
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged,  
save where otherwise stated.

Informe creado el 2022/03/23

## ANEXO 5 COTIZACIÓN



TODO EN AUDIO Y VIDEO

CARDENAS VERDUGO FAUSTO LEONARDO SUCRE 242 Y MANUEL VEGA

Phone: 2838514 0987219441

Mail: audioec@hotmail.es

CLIENTE: ALFREDO SANCHEZ

Dirección factura: CONTROL SUR

Tel: 0978801820

**Petición N° 000000640**

Su referencia	Fecha de petición	Comercial	Plazo de pago
	05/03/2022	MARIA NIETO	

Descripción	Cantidad	Precio por unidad	Precio
[G01134] PANEL SOLAR MONO 100W-GENERIC [ 3]	2.00 UNIDAD	193.7500	\$ 386.5000
[CON-30050] CONTROLADOR DE CARGA PARA PANEL SOLAR 50V 30AMP 2USB-GENERICO [ 3]	1.00 UNIDAD	540.7143	\$ 540.7143
[G01136] BATERIA GEL 12V 100AMP CICLO PROF G-GENERICO [ 1]	2.00 UNIDAD	222.3214	\$ 444.6428
Total neto:			\$ 1371.85
Impuestos:			\$ 164.62

Total: \$ 1536.47

Teléfono: 2838514 - 0987219441 | Email: audioec@hotmail.es | Sitio web:  
www.goberp.com Contacto: MARIA NIETO - Pag: 1

Fuente: Audioec.



ALMACEN  
**Juan Montero**  
Cía. Ltda.

**ALMACEN JUAN MONTERO CIA LTDA**

AV. GIL RAMIREZ DAVALOS 3-48 Y ELIA LIUT  
E-mail: [ventas@ajm.ec](mailto:ventas@ajm.ec)  
Teléfonos: 2863755

PROFORMA No. 112002  
FECHA 09/feb/2022  
CLIENTE TORRES LUNA RODRIGO NIKOLAS  
DIRECCION MANUEL GUILLÉN Y VASQUEZ CORREA  
RUC 0106889801001  
TELEFONO 0995345826

De mi consideración:

A continuación me es grato presentar la oferta de productos y/o servicios, solicitados por usted:

Detalle						
No.	Código	Referencia	Descripción	Cant	P.U.	P.T.
1	310215	I-0304	Gabinete Modular Metalico 40x30x20cm S	1.00	44.5300	44.53
2	090091	1SDA066499	Breaker Fijo 2F A1N 30 amp. Abb	2.00	64.8000	129.60
3	300028	C10-6	Terminal Comp. Corto 8 AWG 6mm Camsc	20.00	0.2400	4.80
4	130002	RIEL-ALUM-	RIEL DIN 35 mm. Reforzada	1.00	1.4800	1.48
5	110049	RT10-32A 1	Base Fusible 10x38mm 1P EDASGE/CNC	12.00	1.5900	19.08
6	110052	RS14-20 1A	Fusible Cilindrico 10x38mm 0.5-32a 500	12.00	0.4800	5.76
7	080187	AD-22DVOLT	Luz Pil. Voltmetro roja 22mm CNC	6.00	2.6000	15.60
8	310007	P-0063	CANAleta Ranurada Gris 60 x 60mm 2mt	1.00	11.8400	11.84
9	300001		CINTA Aislante 10 Yardas	2.00	0.4680	0.94
10	310190	D-1028/JEW	Tope de Borne LEIPOLE/WONKEDQ	10.00	0.1832	1.83
11	100055	CE015008	Terminal Puntera Rojo 16-14 /Awg Camsc	100.00	0.0219	2.19
12	110035	DB19/20862	CABLE FLEXIBLE # 18 TFF AWG	10.00	0.2900	2.90
13	140090	CF08 / 208	CABLE Superflex # 8 XLPE 1KV	6.00	2.3800	14.28
14	310043	C63-111/64	Transf.Manual Tripolar Levas 3P-63a 60	1.00	46.9700	46.97
15	900011		VARIOS MATERIAL MENUDO M.O	1.00	55.0000	55.00

SUMAN	244.93
IVA 12%	29.39
<b>TOTAL</b>	<b>274.32</b>



ATENCION: C  
FORMA DE PAGO:  
TIEMPO DE ENTREGA:  
VALIDEZ:

DETALLES:

Muy Atentamente,

JOSE GUAMAN

## ANEXO 6 PLANILLAS

	Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. Matriz: AV MAX UHLE S/N y AV. PUMAPUNGO RUC: 0190003809001 Contribuyente especial, resolución No. 3257 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD	Nro. factura: 001-003-023305689 Nro. doc. interno: 3050882908 Fecha de emisión: 11-05-2021 Fecha de vencimiento: 26-05-2021 Número de autorización: 1105202101019000380900120010030233056890004078916
 K201000879340		<b>VALOR TOTAL: 19,23</b>

---

**Información del Consumidor**

<b>CUENTA CONTRATO 201000879340</b>		<b>Código Único Eléctrico</b> 0510020019	
Nombre cliente	QUITUISACA SUCONOTA JOSE MIGUEL	Tipo de tarifa Arcanal	BTGG5D01 - BT Comercial
Cédula	0101249878	Geocódigo	0508M077000026
Celular	0990804936	Código postal	010217
Correo Electrónico	JMQUITUISACA1955@GMAIL.COM	Unidad de Lectura	0508M077
Dirección del servicio	SIN NOMBRE S/N / EC / QUINGEO - CUENCA		

---

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Número de medidor	1000504286	Días facturados	31
Tipo de consumo	leído	Fecha hasta	11-05-2021
Fecha desde	11-04-2021		

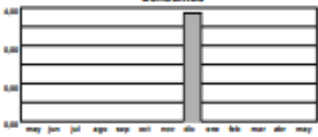
Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	11-05-2021	32.00	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh	0.00

**2. Valores Pendientes**

VALORES PENDIENTES (2)	0.00
------------------------	------

Consumos



**Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

Valor Consumo	0.00
Comercialización	1.41
<b>Subtotal Servicio Eléctrico (SE)</b>	<b>1.41</b>
Servicio Alumbrado Público General	0.26
<b>Subtotal Alumbrado Público (APG)</b>	<b>0.26</b>
Reconexión	4.51
<b>Subtotal Otros Rubros</b>	<b>4.51</b>
Base I.V.A. 0%	10.69
I.V.A. 0%	0.00
<b>TOTAL SE Y APG (1)</b>	<b>10.69</b>

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

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0.00
------------------------------	------

**Formas de Pago**

FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	10.69	15	días

**TOTAL (A)**

Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	10.69
Valores Pendientes (2)	0.00
Planes de Financiamiento (3)	0.00
<b>TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (1+2+3)</b>	<b>10.69</b>

---

**Mensajes**

---

**Recaudación Terceros**

<b>ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA</b>
--

**4. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTÓN CUENCA**

Beneficiario	C. BOMBEROS CUENCA
R.U.C Beneficiario	0160012440001
Fecha de Emisión	11-05-2021
Cuenta Contrato	201000879340
Cédula	0101249878
Nombre	QUITUISACA SUCONOTA JOSE
Dirección Servicio	SIN NOMBRE S/N / EC / QUINGEO - CUENCA

CONCEPTO	VALOR
Contribución Bomberos	0.00
<b>TOTAL CONTRIBUCIÓN BOMBEROS (4)</b>	<b>0.00</b>

**5. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA LA TASA RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN CUENCA**

Beneficiario	EMAC - EP
R.U.C Beneficiario	0160047900001
Fecha de Emisión	11-05-2021
Cuenta Contrato	201000879340
Cédula	0101249878
Nombre	QUITUISACA SUCONOTA JOSE
Dirección Servicio	SIN NOMBRE S/N / EC / QUINGEO - CUENCA

CONCEPTO	VALOR
Tasa de Recolección Basura	2.54
<b>TOTAL RECOLECCIÓN BASURA (5)</b>	<b>2.54</b>

<b>RESUMEN DE VALORES</b>	
Total Sector Eléctrico (A)	10.69
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	2.54
<b>VALOR TOTAL (USD)</b>	<b>13.23</b>

Fuente: Consulta y pago de planillas Centro Sur.





Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.  
Matriz: AV MAX UHLE SIN y AV. PUMAPUNGO  
Ruc: 0190003809001  
Contribuyente especial, resolución No. 3257  
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD



K201000879340

Nro. factura 001-003-022869051  
Nro. doc. interno 2520991636  
Fecha de emisión 12-04-2021  
Fecha de vencimiento INMEDIATO  
Número de autorización 1204202101019000380900120010030228690510004078918

VALOR TOTAL: 57,27

#### Información del Consumidor

#### CUENTA CONTRATO 201000879340

Nombre cliente QUITISACA SUCONOTA JOSE MIGUEL  
Cédula 0101249878  
Celular 0990894936  
Correo Electrónico JMQUITISACA1955@GMAIL.COM  
Dirección del servicio SIN NOMBRE SIN / EC / QUINGEO - CUENCA

Código Único Eléctrico 0510020019

Tipo de tarifa Arancel BTCSGD01 - BT Comercial  
Geocódigo 0508M077000026  
Código postal 010217

Unidad de Lectura 0508M077

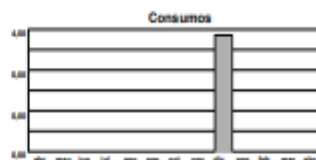
#### 1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000584286  
Tipo de consumo leído  
Fecha desde 11-03-2021  
Días facturados 31  
Fecha hasta 10-04-2021

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	10-04-2021	32.00	32.00	0.00	0.00	0.00	0.00	kWh	0.00

#### 2. Valores Pendientes

Saldo Planillas Anteriores 4 mes(es)	47.00
Subtotal Planillas Anteriores	47.00
VALORES PENDIENTES (2)	47.00



#### Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Valor Consumo	0.00
Comercialización	1.41
Subtotal Servicio Eléctrico (SE)	1.41
Servicio Alumbrado Público General	0.26
Subtotal Alumbrado Público (APG)	0.26
Intereses por Mora	0.07
Subtotal Otros Rubros	0.07
Base I.V.A. 0%	1.67
I.V.A. 0%	0.00
Base Exento de IVA	0.07
Exento de IVA	0.00
TOTAL SE Y APG (1)	1.74

#### 3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3)	0.00
------------------------------	------

#### Formas de Pago

FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	1.74	15	días

TOTAL (A)	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	1.74
Valores Pendientes (2)	47.00
Planes de Financiamiento (3)	0.00
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (1+2+3)	48.74

#### Mensajes

#### Recaudación Terceros

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

#### 4. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTÓN CUENCA

Beneficiario C. BOMBEROS CUENCA  
R.U.C Beneficiario 0190012440001  
Fecha de Emisión 12-04-2021  
Cuenta Contrato 201000879340  
Cédula 0101249878  
Nombre QUITISACA SUCONOTA JOSE  
Dirección Servicio SIN NOMBRE SIN / EC / QUINGEO - CUENCA

CONCEPTO	VALOR
Contribución Bomberos	6.00
TOTAL CONTRIBUCIÓN BOMBEROS (4)	6.00

#### 5. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA LA TASA RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN CUENCA

Beneficiario EMAC - EP  
R.U.C Beneficiario 0190047900001  
Fecha de Emisión 12-04-2021  
Cuenta Contrato 201000879340  
Cédula 0101249878  
Nombre QUITISACA SUCONOTA JOSE  
Dirección Servicio SIN NOMBRE SIN / EC / QUINGEO - CUENCA

CONCEPTO	VALOR
Tasa de Recolección Basura	2.53
TOTAL RECOLECCIÓN BASURA (5)	2.53

RESUMEN DE VALORES	
Total Sector Eléctrico (A)	48.74
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	8.53
VALOR TOTAL (USD)	57.27

Fuente: Consulta y pago de planillas Centro Sur.



Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A.  
Matriz: AV. MAX UHLE S/N y AV. PUMAPUNGO

Ruc: 0190003809001  
Contribuyente especial, resolución No. 3257  
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD



K201000879340

Nro. factura 001-003-028110996  
Nro. doc. interno 2411310353  
Fecha de emisión 11-04-2022  
Fecha de vencimiento 26-04-2022  
Número de autorización 1104202201019000380900120010030281109960004078914

VALOR TOTAL: 10,78

#### Información del Consumidor

#### CUENTA CONTRATO 201000879340

Nombre cliente QUITUSACA SUCONOTA JOSE MIGUEL  
Cédula 0101246878  
Celular 0990804936  
Correo Electrónico JMQUITUSACA1955@GMAIL.COM  
Dirección del servicio SIN NOMBRE SIN / EC / QUINGEO - CUENCA

Código Único Eléctrico 0510020019

Tipo de tarifa Arancel BTGSD01 - BT Comercial  
Geocódigo 0508M077000026  
Código postal 010217  
Unidad de Lectura 0508M077

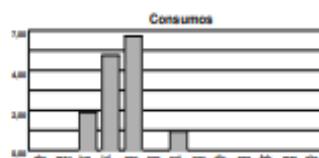
#### 1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Número de medidor 1000594286  
Tipo de consumo leído  
Fecha desde 11-03-2022  
Días facturados 32  
Fecha hasta 11-04-2022

Descripción	Fecha Hasta	Lectura Actual	Lectura Anterior	Diferencia Consumo	Consumo Subtotal	Consumo Interno Transformador	Consumo Total	Unidad Medida	Monto (\$)
Energía activa total	11-04-2022	48,00	48,00	0,00	0,00	0,00	0,00	kWh	0,00

#### 2. Valores Pendientes

VALORES PENDIENTES (2) 0,00



#### Servicio Eléctrico y Alumbrado Público

Valor Consumo 0,00  
Comercialización 1,41  
Subtotal Servicio Eléctrico (SE) 1,41  
Servicio Alumbrado Público General 0,26  
Subtotal Alumbrado Público (APG) 0,26  
Base I.V.A. 0% 1,67  
I.V.A. 0% 0,00

TOTAL SE Y APG (1) 1,67

#### 3. Planes de Financiamiento Autorizados por el Consumidor

PLANES DE FINANCIAMIENTO (3) 0,00

#### Formas de Pago

FORMA DE PAGO	VALOR	PLAZO	TIEMPO
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	1,67	15	días

TOTAL (A)	
Servicio Eléctrico y Alumbrado Público (1)	1,67
Valores Pendientes (2)	0,00
Planes de Financiamiento (3)	0,00
TOTAL SECTOR ELÉCTRICO (1+2+3)	1,67

#### Mensajes

#### Recaudación Terceros

ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

#### 4. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA EL CUERPO DE BOMBEROS DEL CANTÓN CUENCA

Beneficiario C. BOMBEROS CUENCA  
R.U.C Beneficiario 0160012440001  
Fecha de Emisión 11-04-2022  
Cuenta Contrato 201000879340  
Cédula 0101246878  
Nombre QUITUSACA SUCONOTA JOSE  
Dirección Servicio SIN NOMBRE SIN / EC / QUINGEO - CUENCA

CONCEPTO	VALOR
Contribución Bomberos	0,38
TOTAL CONTRIBUCIÓN BOMBEROS (4)	0,38

#### 5. NOTIFICACIÓN DE PAGO DEL TRIBUTO PARA LA TASA RECOLECCIÓN DE BASURA DEL MUNICIPIO DEL CANTÓN CUENCA

Beneficiario EMAC - EP  
R.U.C Beneficiario 0160047900001  
Fecha de Emisión 11-04-2022  
Cuenta Contrato 201000879340  
Cédula 0101246878  
Nombre QUITUSACA SUCONOTA JOSE  
Dirección Servicio SIN NOMBRE SIN / EC / QUINGEO - CUENCA

CONCEPTO	VALOR
Tasa de Recolección Basura	2,73
TOTAL RECOLECCIÓN BASURA (5)	2,73

RESUMEN DE VALORES	
Total Sector Eléctrico (A)	1,67
Total Recaudación de Terceros (4+5+6)	0,11
VALOR TOTAL (USO)	10,78

Fuente: Consulta y pago de planillas Centro Sur.



**POW**  
UPS Híbrida 1 - 3



Los sistemas inteligentes de gestión de energía POWEST están equipados con un controlador MPPT que gestiona de manera eficiente la energía de sistemas de baterías, paneles solares, generadores eólicos y red eléctrica; logrando un sistema aislado sin cortes de luz, capaz de trabajar en 19 modos diferentes según la necesidad y la prioridad, equipado con un cargador inteligente que detecta el tipo de batería que se esté implementando.

- Señal de salida onda
- Capacidad de carga solar MPPT
- Rango de tensión de entrada seleccionable para los electrodomésticos y
- Selección de corriente para carga basado en
- Configurable AC / prioridad de entrada solar a través de
- Compatible con la tensión de red o de un
- Auto reinicio mientras que el AC se está
- Protección de sobrecarga y
- Diseño del cargador de batería inteligente, para un rendimiento
- Función de arranque
- Funcionamiento en paralelo hasta con 6

Fuente: Catalogo de compra de equipo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS UPS HÍBRIDA		
Capacidad	1KVA 12V	3KVA 24V
Especificaciones de Entrada		
Topología de entrada	Monofásica	
Voltaje nominal de entrada	120VAc	
Cantidad de hilos	3 (Fase +Neutro +GND)	
Voltaje permitido por el rectificador	95 -140 vac	
Rango de frecuencia de entrada	50Hz o 60Hz (Deteccion Automatica)	
Limitación de corriente de entrada	150% sistema inversor y bypass	
Conexión	Bornera	
Especificaciones de Salida		
Topología de salida	Monofásica	
Voltaje nominal de salida	120VAC	
Factor de potencia de Salida	0,8	
Potencia W	1000VA/800W	3000VA/2400 W
Tipo de onda de salida	Senoidal pura	
Otros voltajes de salida configurables	110/120VAC	
Tiempo de transferencia	10 / 20 ms	
Cantidad de hilos	3(Fase +Neutro+GND)	
Regulación de voltaje	<+/-5%	
Sobre tension de energia	2 * Potencia Nominal por 5 Segundos	
Frecuencia nominal de salida	50Hz/60Hz	
Capacidad de sobrecarga	5s@≥150% de carga; 10s@110%~150% de carga.	
Protecciones corto circuito	Modo línea: Fusible    Modo Batería: Circuito electronico	
Conexión	Bornera	
Eficiencia	Modo Línea 90%	
Especificaciones de las Baterías		
Tipo de baterías	VRLA / GS / FT / OPz / GEL	
Voltaje DC	12VDC	24VDC
Especificaciones de Cargador Red		
Corriente	10/20 A	20/30 A
Voltaje de carga flotación	13,5VDC	27VDC
Protección de sobre voltage	15,5VDC	31VDC
Especificaciones de Cargador Solar		
PotenciaW	500W	1500W
Eficiencia	98%	
Max PV VOC	102VDC	145VDC
Rango de Operación PV MPPT	15~80DC	30~115VDC
Min Voltaje de Batería para PV caragdor	8,5VDC	17VDC
Especificaciones Cargador Red y Solar		
Max Corriente de carga	60A	90A
Configuracion por defecto	40A	60A
Especificaciones Físicas		
Dimensiones (Altura x Ancho x Profundo)	316 x 240 x 95 mm	479 x 295 x 140 mm
Peso Neto Kg (Sin Baterías)	5,2	11,5
Display LCD	Display LCD todos los parámetros	
	Condiciones de la carga, capacidad de la Batería, alarmas visuales y auditivas. Estado de operación del UPS (bypass, Línea, Baterías, Falla)	
Conexión de Baterías Externo	Conector bornera	
Interface	La UPS puede ser monitoreada por un PC via USB	La UPS puede ser monitoreada por un PC via RS232-USB
Tarjeta de red	NA	Para monitoreo y gestión a través de SNMP (Opcional solo 3KVA)
Conexión Paralelo	NA	hasta 6 unidades
Software	software Windows XP, Windows , Linux	
Gabinete	Tipo pared(indoor) NEMA Tipo 1	
Especificaciones Ambientales		
Humedad	5% ~ 95% sin condensacion	
Temperatura de Operación	0°C ~ 55°C	
Temperatura de almacenamieto	0°C ~ 55°C	

\* Sujeto a modificaciones sin previo aviso, según requerimiento del cliente, según disponibilidad de inventario y/o bajo pedido del cliente. \* Fotos de referencia, accesorios se venden por separado.

Fuente: Catalogo de compra de equipo de POWEST.

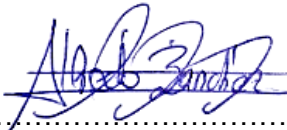
## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, Henry Geovanny Macas León y Alfredo Mauricio Sánchez Zhunio portadores de las cédulas de ciudadanía N.º 110438514-9 y 010519456-7. En calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Abastecimiento de energía mediante un sistema solar fotovoltaico para el centro médico comunitario de Punta Hacienda – Quingeo” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 20 de septiembre de 2022

F: 

Henry Geovanny Macas León  
110438514-9

F: 

Alfredo Mauricio Sánchez Zhunio  
010519456-7