



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO  
AISLADO Y PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO PARA EL CENTRO DE  
SALUD Y SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA LA COMUNIDAD  
AMAZÓNICA WASAKENTSA - MORONA SANTIAGO**

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

**AUTORES: OSCAR VINICIO QUINCHE BRAVO**

**ELVIS MICHAEL SALINAS GUAMAN**

**TUTOR: ING. FREDDY FERNANDO CAMPOVERDE ARMIJOS, Msc.**

Cuenca - Ecuador

2024

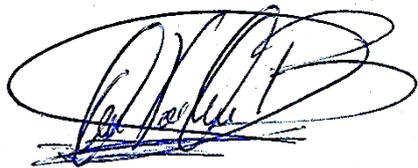
## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Oscar Vinicio Quinche Bravo con documento de identificación N° 1105675654 y Elvis Michael Salinas Guaman con documento de identificación N° 1150039160; manifestamos que:

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

Cuenca, 1 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Oscar Vinicio Quinche Bravo

1105675654



---

Elvis Michael Salinas Guaman

1150039160

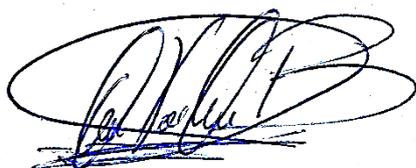
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Oscar Vinicio Quinche Bravo con documento de identificación N° 1105675654 y Elvis Michael Salinas Guaman con documento de identificación N° 1150039160, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño, implementación y desarrollo de un sistema fotovoltaico aislado y plan de mantenimiento sistemático para el centro de salud y sistema de telecomunicaciones para la comunidad amazónica Wasakentsa - Morona Santiago”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 1 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Oscar Vinicio Quinche Bravo

1105675654



---

Elvis Michael Salinas Guaman

1150039160

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Freddy Fernando Campoverde Armijos con documento de identificación N° 0102339470, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO Y PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO PARA EL CENTRO DE SALUD Y SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES PARA LA COMUNIDAD AMAZÓNICA WASAKENTSA - MORONA SANTIAGO, realizado por Oscar Vinicio Quinche Bravo con documento de identificación N° 1105675654 y por Elvis Michael Salinas Guaman con documento de identificación N° 1150039160, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 1 de agosto del 2024

Atentamente,



---

Ing. Freddy Fernando Campoverde Armijos, Msc.

0102339470

## AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi aprecio a Dios por haberme brindado la sabiduría necesaria para alcanzar mis metas y crecer tanto en mi vida personal como profesional. A mis padres, Jorge y Rosa, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus invaluable consejos a lo largo de mi formación académica. A mis hermanos, Isaac y Monse, por su compañía, su cariño y por ser un pilar fundamental en mi vida.

A mi tutor, Freddy Campoverde, por su guía experta, su paciencia y su dedicación durante todo el proceso de investigación y redacción. Sus valiosas recomendaciones y su confianza en mí fueron cruciales para culminar este proyecto. A la docente del programa de IEEE Mónica Huerta, quienes compartieron sus conocimientos y experiencia, enriqueciendo mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos, por su ayuda, sus sugerencias y por hacer de esta experiencia una más llevadera y memorable. A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro también les pertenece.

Oscar Vinicio Quinche Bravo

Desde lo más profundo de mi corazón, le agradezco infinitamente a Dios por haberme otorgado la fortaleza y la salud necesarias para culminar con éxito este proyecto tan importante para mí. A mis amados padres, Manuel Valerio Salinas Zhigui y Maria Angelita Guaman Tene, les debo un eterno agradecimiento por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso, incluso en los momentos más desafiantes. Del mismo modo, extendiendo mi más sincera gratitud a toda mi familia, incluidos mis hermanos Sara, Gabriel, Cristina, Cristian, Tamia y Sairo, quienes con su cariño y aliento constante han sido un pilar fundamental en mi formación y desarrollo.

Asimismo, reconozco y valoro enormemente la valiosa orientación y los conocimientos que mi director de tesis compartió conmigo, los cuales enriquecieron de manera invaluable mi aprendizaje a lo largo de este proyecto. También quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis compañeros y a todas aquellas personas que me acompañaron y ayudaron en la implementación del sistema fotovoltaico en la comunidad amazónica, su colaboración y esfuerzo fueron cruciales para lograr este objetivo.

Elvis Michael Salinas Guaman

## DEDICATORIA

A mis amados padres Jorge y Rosa, por su infinito amor, paciencia y apoyo incondicional durante esta etapa. A mis hermanos Isaac y Monse, por ser mis compañeros y cómplices en los momentos alegres y difíciles. A mis queridos amigos, quienes con su amistad y compañía hicieron este camino más llevadero. Y a mis dedicados docentes Freddy Campoverde y Mónica Huerta, cuya guía y sabiduría fueron fundamentales para culminar esta importante meta.

Oscar Vinicio Quinche Bravo

Este logro es dedicado con todo mi ser a mis amados padres. Ellos, con su infinito amor, apoyo incondicional y sabia guía, han sido mi mayor soporte a lo largo de este camino. A mi familia entera, quienes con su cariño y aliento constante me han motivado a seguir adelante hasta alcanzar esta meta. Y sobre todo, a Dios, por concederme la fortaleza, los medios y la determinación necesarios para culminar con éxito este importante proyecto que tanto significado tiene para mí.

Elvis Michael Salinas Guaman

## RESUMEN

Esta tesis trata sobre el diseño, implementación y desarrollo de un sistema fotovoltaico aislado y un plan de mantenimiento sistemático para el centro de salud y el sistema de telecomunicaciones en la comunidad amazónica de Wasakentsa, ubicada en la provincia de Morona Santiago. La investigación surge de los desafíos significativos que enfrenta la comunidad debido a su ubicación remota, lo que dificulta el acceso a servicios eléctricos y de telecomunicaciones fiables y sostenibles.

En primera instancia, se realizó un análisis completo de las necesidades energéticas del centro de salud y el sistema de telecomunicaciones de la comunidad. A partir de este análisis, se diseñó un sistema fotovoltaico capaz de proporcionar una fuente de energía limpia, renovable y constante. La implementación incluyó la instalación de paneles solares, inversores, baterías y todos los componentes necesarios para asegurar un suministro eléctrico estable y duradero.

Paralelamente, se desarrolló un plan de mantenimiento sistemático para garantizar su larga duración y eficiencia del sistema fotovoltaico. Dicho plan incluye directrices para el mantenimiento preventivo y correctivo, así como capacitación para los miembros de la comunidad en prácticas de mantenimiento y uso responsable de la electricidad. El objetivo es dar a conocer a la comunidad como gestionar y mantener el sistema de manera autónoma.

Los resultados obtenidos son significativos. El centro de salud ahora puede operar de manera más eficiente y confiable, lo que se traduce en una mejora en la atención médica para los residentes de Wasakentsa. Asimismo, el sistema de telecomunicaciones proporciona una comunicación más efectiva, vital para la integración y el desarrollo de la comunidad. Además, el uso de energía solar reduce la dependencia de combustibles fósiles, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuyendo a la protección del medio ambiente.

**Palabras clave:** Energía solar fotovoltaica, Mantenimiento, Hora pico solar

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>ENERGÍA RENOVABLE</b>	<b>5</b>
1.1	Fuentes de energía renovable . . . . .	5
1.2	La energía solar fotovoltaica . . . . .	7
1.2.1	El movimiento del sol en la tierra . . . . .	7
1.2.2	Radiación solar . . . . .	8
1.2.3	Hora pico solar . . . . .	8
1.3	Sistemas fotovoltaicos aislados . . . . .	9
1.3.1	Componentes de la instalación . . . . .	9
1.3.1.1	Paneles solares . . . . .	9
1.3.1.2	Baterías . . . . .	10
1.3.1.3	Regulador . . . . .	11
1.3.1.4	Inversor . . . . .	12
1.3.1.5	Cable para sistema fotovoltaico . . . . .	13
1.3.1.6	Protecciones . . . . .	15
<b>2</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA COMU- NIDAD WASAKENTSA</b>	<b>16</b>
2.1	Datos previos . . . . .	16
2.2	Dimensionamiento de Sistema Solar Fotovoltaico . . . . .	17
2.2.1	Ubicación . . . . .	17
2.2.2	Características técnicas de los elementos receptores . . . . .	18
2.2.3	Orientación e inclinación de paneles . . . . .	19
2.2.4	Criterio de dimensionamiento del mes crítico . . . . .	20
2.2.5	Hora Solar Pico . . . . .	20
2.2.6	Necesidades energéticas . . . . .	21
2.2.7	Estimación de Potencia instalada y Consumos eléctricos . . . . .	22
2.2.7.1	Estudio de Carga de la Casa de Salud . . . . .	22
2.2.7.2	Estudio de Carga para el Sistema de Telecomunica- ciones . . . . .	24
2.2.8	Cálculos de energía requerida para Instalación del Sistema . . . . .	26
2.3	Dimensionamiento de los Paneles Solares . . . . .	26
2.3.1	Configuración de Serie y Paralelo de paneles fotovoltaicos . . . . .	28
2.4	Dimensionamiento de las Baterías . . . . .	30
2.4.1	Configuración de Serie y Paralelo del Banco de Baterías . . . . .	30
2.5	Dimensionamiento del Inversor . . . . .	32
2.6	Regulador . . . . .	33
2.7	Cableado para el sistema fotovoltaico . . . . .	34
2.8	Protecciones para el sistema fotovoltaico . . . . .	38

2.8.1	Protecciones DC para el sistema fotovoltaico de la Casa de salud . . . . .	39
2.8.2	Protecciones DC para el sistema fotovoltaico de telecomunicaciones . . . . .	40
2.8.3	Protecciones AC para el sistema fotovoltaico de la Casa de salud . . . . .	40
2.8.4	Protecciones AC para el sistema fotovoltaico de telecomunicaciones . . . . .	41
2.8.5	Conexión a Tierra para Protección de Sobrevoltajes de los Sistemas fotovoltaicos . . . . .	41
2.9	Propuestas de requerimiento para el el sistema fotovoltaico . . . . .	42
2.9.1	Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud . . . . .	42
2.9.2	Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones . . . . .	44
<b>3</b>	<b>Implementación de los Sistema Fotovoltaicos</b>	<b>45</b>
3.1	Logística del Proyecto . . . . .	45
3.1.1	Planificación del Proyecto . . . . .	45
3.1.2	Transporte de Componentes . . . . .	46
3.2	Implementación de los sistemas . . . . .	46
3.2.1	Análisis de sitio para colocar los Módulos Solares . . . . .	46
3.2.2	Montaje de los Módulos Solares . . . . .	47
3.2.2.1	Preparación de las bases de cimentación . . . . .	47
3.2.2.2	Hormigonado de las bases . . . . .	47
3.2.2.3	Montaje de los soportes en las bases . . . . .	48
3.2.2.4	Montaje de los módulos solares en los soportes . . . . .	48
3.2.3	Montaje de baterías, regulador de carga e inversores . . . . .	49
3.2.3.1	Armado de los soportes para las baterías . . . . .	49
3.2.3.2	Montaje de las baterías en los soportes . . . . .	49
3.2.3.3	Montaje de los Gabinetes eléctricos . . . . .	50
3.2.3.4	Montaje de los equipos y protecciones en el Gabinete . . . . .	50
3.2.4	Cableado y Conexiones . . . . .	51
3.2.4.1	Conexión de los módulos solares . . . . .	51
3.2.4.2	Conexión de toma a tierra . . . . .	52
3.2.4.3	Conexión de los elementos de protecciones y desconexión . . . . .	52
3.2.5	Ejecución y puesta en marcha los sistemas fotovoltaicos. . . . .	53
3.2.5.1	Verificación de conexiones . . . . .	53
3.2.5.2	Energización progresiva . . . . .	53
3.2.5.3	Configuración final . . . . .	54
3.2.5.4	Conexión de la carga al inversor . . . . .	55
3.2.5.5	Puesta en servicio . . . . .	55
<b>4</b>	<b>Plan de mantenimiento sistemático para el usuario de sistemas fotovoltaicos aislados en la comunidad Wasakentsa</b>	<b>56</b>
4.1	Manual de Mantenimiento para Sistemas Fotovoltaicos Aislados de la comunidad amazónica Wasakentsa . . . . .	58
4.1.1	Alcance de la guía . . . . .	58

4.1.2	Descripción del proyecto . . . . .	59
4.1.3	Especificaciones del proyecto . . . . .	59
4.1.4	Consideración de Seguridad y salud en el mantenimiento . . .	60
4.1.5	Plan de Mantenimiento . . . . .	62
4.1.5.1	Programa de mantenimiento preventivo . . . . .	62
4.1.5.2	Programa de mantenimiento correctivo . . . . .	68
<b>5</b>	<b>Análisis Económico e Impacto ambiental de la Implementación del Sistema Fotovoltaico</b>	<b>74</b>
5.1	Análisis de Costos del Sistema Fotovoltaico Aislado . . . . .	74
5.1.1	Costos de Inversión Inicial . . . . .	74
5.2	Impacto ambiental . . . . .	78
5.2.1	Ventajas medioambientales . . . . .	79
5.2.2	Impactos causa-efecto . . . . .	80
5.2.3	Medidas de prevención . . . . .	81
<b>6</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>83</b>
6.1	Conclusiones . . . . .	83
6.2	Recomendaciones . . . . .	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Movimiento de la tierra . . . . .	8
1.2	Hora solar pico . . . . .	9
1.3	Tipos de ondas en inversores . . . . .	13
1.4	Intensidades máximas admisibles [1] . . . . .	14
2.1	Diagrama de flujo para el dimensionamiento del sistema aislado. . . . .	17
2.2	Ubicación georeferenciada de la comunidad Wasakentsa. . . . .	18
2.3	Inclinación de módulos para la comunidad amazónica[2]. . . . .	19
2.4	Mapa solar del ecuador [3]. . . . .	21
2.5	Perfil de consumo del centro de salud. . . . .	24
2.6	Perfil de consumo del sistema de telecomunicaciones. . . . .	25
2.7	Diagrama de conexión serie-paralelo de paneles solares para la Casa de Salud. . . . .	29
2.8	Diagrama de conexión del panel solar para el sistema de Telecomunicaciones. . . . .	29
2.9	Diagrama de conexión serie-paralelo de baterías para la casa de salud. . . . .	31
2.10	Diagrama de conexión en paralelo de baterías para el sistema de telecomunicaciones. . . . .	32
2.11	Propuesta del sistema fotovoltaico para la Casa de salud. . . . .	43
2.12	Propuesta del sistema fotovoltaico para el sistema de Telecomunicaciones. . . . .	44
3.1	Transporte utilizado en el proyecto . . . . .	46
3.2	Selección de espacios para la instalación de los sistemas fotovoltaicos. . . . .	47
3.3	Perforaciones para las bases de las estructuras. . . . .	47
3.4	Hormigonado de las bases para las estructuras. . . . .	48
3.5	Soportes para los módulos fotovoltaicos. . . . .	48
3.6	Módulos solares sobre la estructura. . . . .	49
3.7	Estructuras para el bancos de baterías. . . . .	49
3.8	Bancos de baterías para los sistemas fotovoltaicos. . . . .	50
3.9	Gabinete de Protecciones y Equipos. . . . .	50
3.10	Equipos y protecciones para los sistemas fotovoltaicos. . . . .	51
3.11	Cableado eléctrico y colocación de manguera politubo. . . . .	51
3.12	Conexión de los módulos solares. . . . .	52
3.13	Conexión de toma a tierra. . . . .	52
3.14	Conexión de los equipos y protecciones. . . . .	53
3.15	Equipos energizados para los sistemas fotovoltaicos . . . . .	54
3.16	Potencia, voltaje, corriente del sistema y estado de carga del banco de baterías en el día 1 y el día 3. . . . .	54
3.17	Conexión la nueva acometida al tablero de distribución. . . . .	55

4.1	Procedimiento de la norma ISO 13381 para el mantenimiento . . . . .	57
4.2	Equipos de protección personal . . . . .	60
4.3	Riesgo eléctrico . . . . .	61
4.4	Panel solar sucio por polvo . . . . .	62
4.5	Panel solar sucio por excremento de aves . . . . .	63
4.6	Panel solar obstaculizado por animales . . . . .	63
4.7	Panel solar obstaculizado por ramas y sombra . . . . .	63
4.8	Panel solar limpio . . . . .	64
4.9	Revisión de las conexiones en los paneles solares por el técnico . . . . .	65
4.10	Baterías en el cuarto de almacenamiento . . . . .	66
4.11	Panel roto por caída de objetos . . . . .	68
4.12	Efecto sombra sobre paneles solares . . . . .	69
4.13	Cable con daños en su aislamiento por corte . . . . .	70
4.14	Manual de Mantenimiento del usuario . . . . .	71
4.15	Procedimiento de conexión . . . . .	72
4.16	Proceso de desconexión . . . . .	73
5.1	Visualización del ultimo punto de red en la 3 de Noviembre-Taisha mediante GIS de la EERCS y Google Maps . . . . .	78
5.2	Pregunta de carácter ambiental aplicada . . . . .	82

# Índice de tablas

2.1	Voltaje recomendada en función de la potencia instalada [4]. . . . .	18
2.2	Irradiación solar de los últimos 5 años de Wasakentsa [3]. . . . .	20
2.3	Cálculo de la HSP bajo influencia de criterio del mes crítico. . . . .	21
2.4	Análisis de la Carga Eléctrica Instalada en la Casa de Salud. . . . .	23
2.5	Análisis de Consumo Energético diario para la Casa de Salud. . . . .	23
2.6	Análisis de la Carga Eléctrica Instalada para el sistema de Telecomunicaciones. . . . .	24
2.7	Análisis de Consumo Energético diario para el sistema de Telecomunicaciones. . . . .	25
2.8	Especificaciones técnicas del panel solar. . . . .	28
2.9	Conductores para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud. . . . .	37
2.10	Conductores para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones. . . . .	38
2.11	Protecciones en DC requerida para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud. . . . .	39
2.12	Protecciones en DC requerida para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones. . . . .	40
2.13	Protecciones en AC requerida para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud. . . . .	41
2.14	Protecciones en AC requerida para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones. . . . .	41
2.15	Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud. . . . .	43
2.16	Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de la Telecomunicaciones. . . . .	44
5.1	Gastos principales para el sistema la Casa de Salud. . . . .	75
5.2	Gastos principales para el sistema de Telecomunicaciones. . . . .	75
5.3	Gastos secundarios les para el sistema la Casa de Salud. . . . .	75
5.4	Gastos Secundarios para el sistema de Telecomunicaciones. . . . .	76
5.5	Gastos terciarios para los sistemas fotovoltaicos. . . . .	76
5.6	Gasto total invertidos en los sistemas fotovoltaicos. . . . .	76
5.7	Análisis si existiera una red eléctrica en la zona . . . . .	77
5.8	Análisis económico con paneles solares a 25 años . . . . .	77
5.9	Tiempo de recuperación de la inversión . . . . .	77

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, diversos científicos han llevado a cabo experimentos para aprovechar la energía solar en la Tierra y proporcionar energía al mundo. La energía solar directa del sol es significativa y, si se aprovecha adecuadamente, puede generar una cantidad equivalente a veinte veces la energía de todas las reservas de combustibles fósiles [5].

En 1870, el profesor W. Grylls Adams y su estudiante R. Evans Day realizaron experimentos con el selenio y observaron la generación de electricidad al exponerlo a la luz, lo cual denominaron "efecto fotoeléctrico". En 1885, Charles Fritts construyó el primer módulo fotoeléctrico con una capa de selenio sobre un soporte metálico recubierto con una lámina transparente de oro. Presentó estos paneles solares a Werner von Siemens, quien los presentó ante la Real Academia de Prusia como la primera evidencia de conversión directa de la energía de la luz en energía eléctrica [6].

En 1920, Albert Einstein explicó el efecto fotovoltaico al describir cómo los electrones absorbían fotones de luz proporcionalmente a la frecuencia de la luz, lo cual le valió el Premio Nobel de Física en 1921 [7].

En 1955, la administración norteamericana solicitó a la industria la producción de elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones espaciales [8].

Desde 1958, cuando se utilizaron células solares en el satélite Vanguard I, la tecnología fotovoltaica ha progresado significativamente. Los avances en los materiales semiconductores han reducido el precio de los paneles solares en más de 30 veces en los últimos 30 años [9]. Sin embargo, la eficiencia de la transformación y el precio por vatio de la energía solar fotovoltaica aún no son competitivos en comparación con las energías convencionales.

En 1962, se lanzó el primer satélite comercial de telecomunicaciones, Telstar, equipado con una capacidad fotovoltaica de 14 vatios. En 1973, la producción mundial de células solares alcanzó los 100 kilovatios, mientras que el satélite Skylab llevaba paneles solares con una capacidad de 20 kW [10].

En 1973, los Laboratorios Solar Power Corporation produjeron la primera célula de silicio cristalino no puro logrando fabricar módulos a un costo de 10 dólares por vatio [11].

En 1975, las aplicaciones terrestres superaron en número a las aplicaciones fotovoltaicas espaciales. En 1998, se alcanzaron 1.000 megavatios pico (MWp) de sistemas fotovoltaicos instalados. La producción de módulos fotovoltaicos continuó aumentando en los años siguientes, con más de 500 MW producidos en 2002, seguidos por 1.000 MW en 2004 y 2.000 MW en 2007 [12].

Hoy en día las aplicaciones de la fotovoltaica son innumerables: telecomunicaciones, alumbrado de calles y carreteras, desalación de aguas, electrificación de viviendas, plantas de producción, bombeo, entre otras. Hasta 2010, la capacidad instalada a nivel mundial alcanzó los 40.000 MW, y la producción de células solares fue de 27.200 MW en ese año [13].

En 2022, en un proyecto de vinculación de la UPS se implementó un sistema fotovoltaico aislado en una vivienda de la comuna Masa 2 del Golfo de Guayaquil con el objetivo de proporcionar energía eléctrica a esta comunidad que carecía de este servicio básico [14]. Mediante el análisis de datos de irradiación solar y el uso del software PVsyst, se dimensionaron los paneles solares, las baterías, el regulador de carga, el inversor y las protecciones eléctricas. Esta implementación ha permitido mejorar la calidad de vida de la comunidad al brindar un suministro confiable de energía eléctrica.

Esta investigación tiene como objetivo profundizar en estas relaciones críticas entre la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos aislados y las prácticas de mantenimiento. Busca ofrecer recomendaciones concretas y estratégicas para optimizar la implementación y el rendimiento de la energía solar fotovoltaica en entornos aislados, reconociendo el mantenimiento como un pilar esencial en el ciclo de vida de la infraestructura fotovoltaica.

## **Grupo Objetivo**

El principal beneficiario será la comunidad amazónica Wasakentsa que mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos aislados y un plan de mantenimiento sistemático, se garantizará un suministro constante de energía sostenible para la comunidad. Esto resultará en mejoras significativas en la calidad de vida de los habitantes de Wasakentsa, abarcando aspectos como iluminación, comunicación, educación y oportunidades económicas.

## **Justificación**

La ejecución de este proyecto reviste de gran importancia debido a los beneficios que aportará a la comunidad de Wasakentsa. Mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos aislados y la implementación de un plan de mantenimiento sistemático, se garantizará el acceso ininterrumpido a la energía durante las 24 horas del día, lo que redundará en una mejora significativa de la calidad de vida de los residentes. Este avance posibilitará una iluminación adecuada en los hogares, la carga de dispositivos electrónicos, la conservación de medicamentos mediante la refrigeración y facilitará el desarrollo de actividades productivas y educativas.

Además, al optar por la energía solar como fuente principal, se reducirá la dependencia de fuentes no renovables y se contribuirá a la preservación del entorno natural de la Amazonía. En consecuencia, la puesta en marcha de este proyecto también impulsará el desarrollo de habilidades locales, pues se ofrecerá formación a los habitantes de Wasakentsa en el mantenimiento y la gestión de los sistemas fotovoltaicos, generando así oportunidades de empleo y fortaleciendo el empoderamiento comunitario.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar, implementar y desarrollar un sistema fotovoltaico aislado, junto con el establecimiento de un plan de mantenimiento sistemático tanto para el centro de salud y el sistema de telecomunicaciones, asegurando su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo.

### **Objetivos Específicos**

- Analizar las necesidades energéticas y demanda del lugar donde se implementará el sistema fotovoltaico aislado, teniendo en cuenta el consumo de energía, la radiación solar y las condiciones climáticas locales.
- Dimensionar e implementar de manera efectiva un sistema fotovoltaico adecuado para el centro de salud y sistema de telecomunicaciones en la comunidad Wasakentsa.
- Desarrollar un plan de mantenimiento sistemático para el usuario del sistema de generación fotovoltaica aislada, aplicada en la comunidad Wasakentsa.
- Evaluar y analizar el impacto socioeconómico y ambiental de la implementación de sistemas fotovoltaicos aislados en la comunidad de Wasakentsa.

La electrificación de instalaciones especiales con servicios prioritarios, como los centros de salud, presenta desafíos únicos debido a la imperiosa necesidad de asegurar un suministro energético confiable y continuo. En este contexto, los sistemas fotovoltaicos aislados emergen como una solución eficiente y sostenible, particularmente relevante para abastecer de energía a estas instalaciones ubicadas en áreas remotas o de difícil acceso a la red eléctrica convencional.

Los sistemas fotovoltaicos aislados operan mediante la captación de radiación solar a través de paneles solares fotovoltaicos, los cuales convierten esta energía solar en electricidad. La energía eléctrica generada se almacena en sistemas de baterías avanzadas para su utilización durante periodos de baja irradiación solar, como la noche o días nublados, garantizando así un suministro continuo y confiable de electricidad. La capacidad de estos sistemas puede ser dimensionada específicamente para satisfacer las necesidades energéticas particulares de cada instalación, proporcionando una flexibilidad y adaptabilidad significativas en su implementación y operación [15].

Para la implementación exitosa de sistemas fotovoltaicos aislados en centros de salud, es fundamental realizar una selección rigurosa y científica de los componentes del sistema. Los paneles solares, las baterías de almacenamiento, y los controladores de carga deben ser seleccionados considerando una serie de factores críticos, tales como:

- **Capacidad de Generación:** Determinada por la eficiencia de conversión de los paneles solares y la irradiación solar disponible en la ubicación específica.
- **Eficiencia Energética:** La relación entre la energía solar captada y la energía eléctrica utilizable.
- **Durabilidad:** La capacidad de los componentes para mantener su rendimiento a lo largo del tiempo, resistiendo a la degradación y al desgaste.
- **Resistencia a Condiciones Ambientales Adversas:** La capacidad de los componentes para operar eficazmente bajo condiciones climáticas extremas, como altas temperaturas, humedad, y exposición a los rayos UV.

Para asegurar un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada de los sistemas fotovoltaicos, es indispensable establecer y seguir un plan de mantenimiento sistemático y riguroso. Este plan debe incluir las siguientes actividades:

- **Inspecciones Regulares:** Evaluación periódica del estado físico y funcional de los paneles solares, las baterías y los controladores de carga.
- **Limpieza:** Eliminación de polvo, suciedad y otros contaminantes de la superficie de los paneles solares para maximizar la captación de energía.
- **Monitoreo Continuo:** Uso de sistemas de monitoreo en tiempo real para rastrear el desempeño energético y detectar cualquier anomalía operativa.
- **Revisiones Periódicas del Rendimiento Energético:** Análisis detallado del rendimiento del sistema para identificar posibles degradaciones en la eficiencia y tomar medidas correctivas oportunas.

La implementación de estas estrategias de mantenimiento permite la detección temprana y la resolución de irregularidades o deterioros que podrían comprometer la eficiencia y la longevidad del sistema fotovoltaico. De esta manera, se garantiza que los centros de salud, especialmente aquellos ubicados en áreas remotas, puedan contar con un suministro eléctrico confiable y sostenible, esencial para el funcionamiento continuo y seguro de sus servicios prioritarios.

# CAPÍTULO 1

## ENERGÍA RENOVABLE

### 1.1 Fuentes de energía renovable

La energía es fundamental para nuestra vida y desarrollo. El hombre viene utilizándola desde el descubrimiento del fuego. Fue en la Primera Revolución Industrial, con la aparición de la máquina de vapor, cuando se inició el consumo de energía a gran escala en la industria y en el transporte. A finales del siglo XIX empezó a desarrollarse la tecnología eléctrica y con ella, la demanda de esta nueva energía que procede de otras energías transformadas en electricidad. Las fuentes de energía en el inicio de la Revolución Industrial fueron el carbón y la hidráulica, a la que se añadieron posteriormente la electricidad, el petróleo, luego la energía nuclear, después el gas natural y últimamente las energías renovables. Las fuentes de energía se dividen en dos grupos:

- Fuentes de energía primaria, que son las que se encuentran de forma natural o espontánea en la naturaleza. A este grupo pertenecen los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural, la energía nuclear y las energías renovables.
- Fuentes de energía secundaria son aquellas energías que se obtienen por transformación de las energías primarias, como es el caso de la electricidad y el hidrógeno.

#### **Fuentes de Energía No Renovables**

Las fuentes de energía no renovables provienen de recursos que existen en cantidades limitadas y se agotan con el tiempo. Su explotación y uso tienen un impacto ambiental significativo debido a la emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.

1. **Petróleo:** Es un hidrocarburo líquido que se extrae del subsuelo y se refina para producir gasolina, diésel, queroseno, y otros productos petroquímicos. Alta densidad energética y facilidad de transporte y almacenamiento. Emisión de gases contaminantes y contribución al cambio climático, además de riesgos de derrames y accidentes.

2. Gas Natural: Compuesto principalmente por metano, se extrae junto con el petróleo o de yacimientos independientes. Menos contaminante que otros combustibles fósiles y con una eficiencia de combustión alta. Emisión de gases de efecto invernadero y posibles fugas de metano, un potente gas de efecto invernadero.
3. Carbón: Es un combustible fósil sólido que se extrae de minas y se quema para generar electricidad y calor. Abundante y relativamente barato. Alta emisión de dióxido de carbono y otros contaminantes, causando graves impactos ambientales y de salud pública.
4. Energía Nuclear: Se genera a partir de la fisión y fusión de átomos de uranio o plutonio en reactores nucleares. Alta eficiencia energética y bajas emisiones de gases de efecto invernadero durante su operación. Producción de residuos radiactivos peligrosos y riesgos asociados a accidentes nucleares.

## **Fuentes de Energía Renovables**

Las fuentes de energía renovables son aquellas que se obtienen de recursos naturales que se regeneran a una velocidad mayor o igual a la que son consumidos. Estas fuentes son más sostenibles y tienen un impacto ambiental menor en comparación con las fuentes de energía no renovables. A continuación, se describen las principales fuentes de energía renovables:

1. Energía Solar: Proviene de la radiación solar que puede ser convertida en electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos o en calor mediante colectores solares. Es abundante, inagotable, y no produce emisiones contaminantes durante su generación. Es utilizada en sistemas de generación de electricidad, calentamiento de agua y calefacción de espacios.
2. Energía Eólica: Se genera a partir del viento, que mueve las palas de aerogeneradores, produciendo electricidad. Es una fuente limpia y renovable, con un bajo costo de operación y mantenimiento.
3. Energía Hidroeléctrica: Proviene del aprovechamiento del movimiento del agua, normalmente en embalses y presas, para generar electricidad. Es una fuente confiable y constante de energía renovable y no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero.
4. Energía Geotérmica: Se obtiene del calor almacenado en el interior de la Tierra, que puede ser aprovechado para generar electricidad o calefacción. Es una fuente constante y fiable de energía, con bajas emisiones de carbono. Es aplicada en la generación de electricidad y calefacción en áreas con actividad geotérmica.
5. Biomasa: Proviene de materia orgánica, como residuos agrícolas, forestales, y de animales, que pueden ser convertidos en biocombustibles o quemados directamente para generar energía. Ayuda a reducir los residuos y puede ser una fuente de energía neutra en carbono si se gestiona adecuadamente.

Las fuentes de energía renovables representan una opción más sostenible y ambientalmente amigable en comparación con las fuentes no renovables. Sin embargo, cada tipo de energía tiene sus propias ventajas y desventajas, y la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible requiere una combinación de tecnologías y estrategias adaptadas a las condiciones locales y necesidades energéticas en los lugares de implementación.

## **1.2 La energía solar fotovoltaica**

### **1.2.1 El movimiento del sol en la tierra**

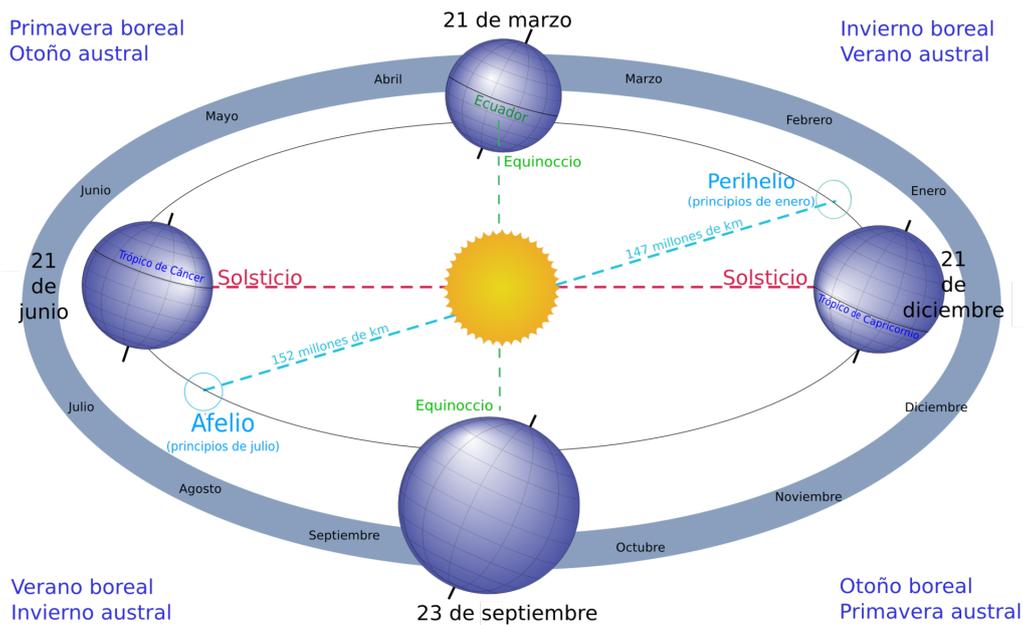
El sol se proyecta en la tierra gracias a que es el astro rey de nuestra galaxia, su movimiento varia de acuerdo al efecto de rotación y traslación del mismo sobre el eje de la tierra.

En el solsticio de invierno, que ocurre el 21 de diciembre, el Sol alcanza su posición más meridional, iluminando de forma perpendicular al Trópico de Capricornio en el hemisferio sur. Por otro lado, en el hemisferio norte los rayos solares inciden de manera oblicua, debido a la inclinación del eje de la Tierra, lo que reduce la duración del día.

Por el contrario, en el solsticio de verano, que tiene lugar el 21 de junio, la radiación solar llega de manera más perpendicular al Trópico de Cáncer en el hemisferio norte, favoreciendo un mayor número de horas de luz solar a lo largo del día en esta región.

Durante los equinoccios de primavera y otoño, que se producen el 21 de marzo y el 21 de septiembre respectivamente, el Sol se sitúa sobre el Ecuador, por lo que la inclinación del eje terrestre no afecta a la duración del día y la noche, siendo ambas iguales.

En el Ecuador, debido a su ubicación en la línea ecuatorial, los días y las noches tienen casi la misma duración durante todo el año, con aproximadamente 12 horas cada uno. Durante los equinoccios de primavera y otoño (21 de marzo y 21 de septiembre), el Sol se encuentra directamente sobre el Ecuador, resultando en una distribución uniforme de la luz solar. En los solsticios, aunque el Sol se desplaza ligeramente hacia el norte o sur, la variación en la duración del día y la noche es mínima. Esta constancia proporciona una intensa radiación solar durante todo el año, contribuyendo a un clima tropical con temperaturas relativamente estables.



**Figura 1.1:** Movimiento de la tierra

Este patrón de variación estacional en la iluminación solar se debe a la inclinación del eje de rotación de la Tierra respecto al plano de su órbita alrededor del Sol.

### 1.2.2 Radiación solar

La radiación solar directa es aquella que incide sobre cualquier superficie con un ángulo único y preciso. la radiación viaja en línea recta pero los gases dentro del planeta los dispersan un poco como el aire, la atmósfera, gases de invernadero, etc...

Las variaciones de la radiación dependen también de las siguientes condiciones:

- Condiciones meteorológicas.
- Inclinación de la superficie respecto al plano horizontal.
- Presencia de superficies reflectantes.

### 1.2.3 Hora pico solar

La hora pico solar es un parámetro para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos correspondiente al número de horas sobre una hipotética irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$  como se indica en la figura 2.4.

Para calcular la HPS se debe tener en cuenta la siguiente fórmula:

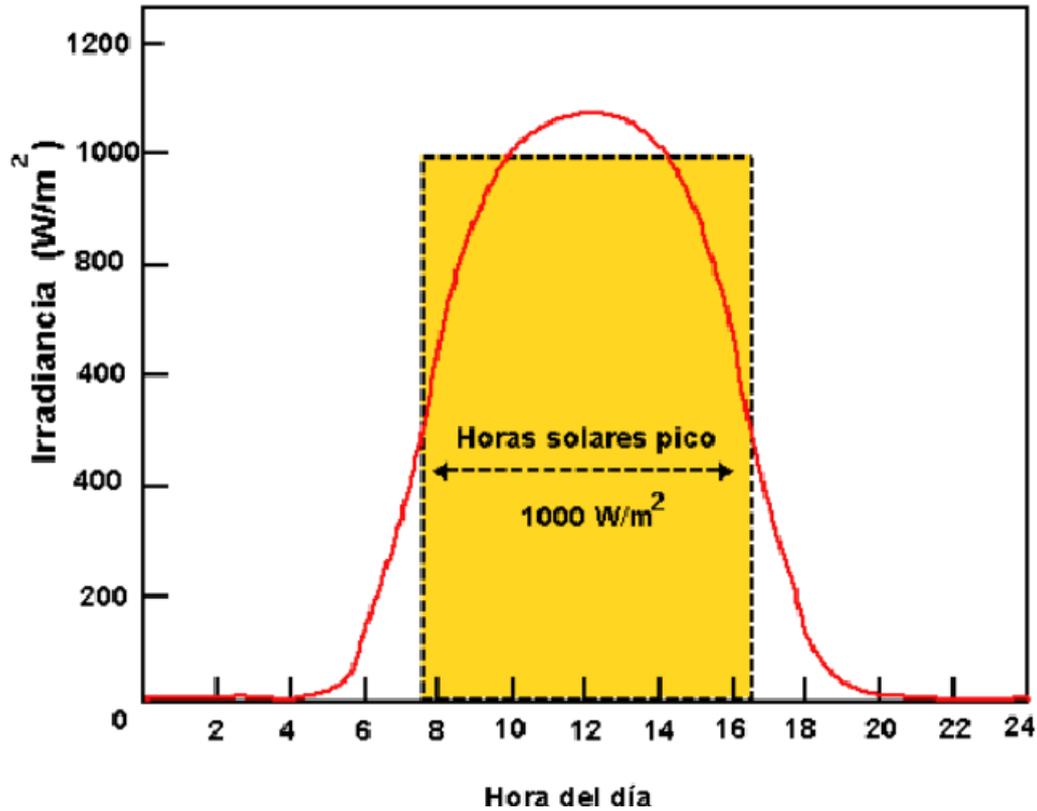


Figura 1.2: Hora solar pico

$$HPS_{\beta} = \frac{G_{\beta}}{I_{\beta}(CEM)}$$

Donde:

$HSP_{\beta}$ : horas pico solar para un ángulo de inclinación  $\beta$

$G_{\beta}$ : Irradiación solar media diaria en  $Wh/m^2$  por día, para un ángulo de inclinación  $\beta$

$I_{\beta}(CEM)$ : horas pico solar para un ángulo de inclinación  $\beta$

## 1.3 Sistemas fotovoltaicos aislados

### 1.3.1 Componentes de la instalación

#### 1.3.1.1 Paneles solares

Los paneles fotovoltaicos son los generadores que captan la energía proveniente del sol para transformarla en energía eléctrica dando como resultado un elemento que es compacto, de fácil manejo y resistente a agentes externos.

- Panel de silicio policristalino: Los módulos policristalinos están formados por láminas de silicio perfectamente cuadradas. Sin embargo, debido a la fusión de los materiales semiconductores, estas obleas pueden contener impurezas, lo que provoca una ligera disminución de la eficiencia de conversión fotovoltaica del módulo solar.

Aunque hay una pequeña diferencia de rendimiento en comparación con los módulos monocristalinos, los módulos policristalinos producidos en forma cuadrada tienen ventajas como la facilidad de integración y la adaptabilidad a los formatos estándar de los sistemas fotovoltaicos.

- Panel de silicio monocristalino: Las células solares monocristalinas se fabrican a partir de bloques de cilindros de silicio. En el proceso de fabricación, se cortan las cuatro esquinas del cilindro de silicio, lo que supone un desperdicio importante de este material semiconductor.

Sin embargo, este proceso está diseñado para producir paneles solares con esquinas redondeadas. Este diseño da lugar a células monocristalinas con una gran pureza del material, lo que proporciona un excelente rendimiento fotovoltaico y una alta eficiencia de conversión.

Las células monocristalinas suelen ser de color azul oscuro, gris oscuro o negro. Su proceso de producción implica un enfriamiento gradual y continuo para mantener la alta calidad del material semiconductor.

### 1.3.1.2 Baterías

Las baterías para los sistemas solares fotovoltaicos son las encargadas de acumular la energía proveniente de los paneles solares diariamente, la cual podrá ser utilizada por la instalación en las horas donde no se produce energía como en la noche.

Estos elementos requieren de:

- Almacenar toda la energía producida por el panel solar
- Mantenimiento mínimo
- Fácil transportación e instalación
- Larga vida útil
- Gran rendimiento

Así mismo las baterías proporcionan a la instalación constante suministro de energía según se requiera, por ello hay distintos tipos de baterías actualmente entre las cuales se encuentran las siguientes:

- Batería de plomo ácido: La batería de plomo-ácido consta de seis celdas conectadas en serie por inmersión en una solución de ácido sulfúrico. Cada celda

tiene placas con polaridad alterna positiva y negativa que actúan como electrodos de la batería.

Esta estructura, formada por varios componentes individuales conectados entre sí, permite a las baterías de plomo-ácido alcanzar un alto rendimiento energético. Su coste de producción relativamente bajo las hace muy adecuadas para aplicaciones autónomas y fuera de la red.

- **Batería de gel:** Estas baterías de gel contienen un electrolito de gel y una construcción completamente sellada que impide la liberación de gases nocivos. Gracias a esta construcción, pueden instalarse con seguridad en zonas poco ventiladas.

Además, la batería de gel soporta descargas profundas repetidas y puede utilizarse hasta 800 veces. Este elevado número de ciclos de carga y descarga garantiza una larga vida útil de la batería.

Las baterías de gel no necesitan mantenimiento gracias a su diseño sellado, que impide que el electrolito se evapore. Las baterías sin mantenimiento también son muy fáciles de gestionar.

- **Batería de litio:** Se cargan más rápido, tienen una mayor densidad energética y una vida útil más larga que otros tipos de pilas recargables. Además, no tienen efecto memoria, lo que significa que pueden descargarse hasta la mitad o la totalidad de su capacidad sin que ello afecte a su rendimiento.

Las baterías de iones de litio tienen una estructura física diferente a la de otras baterías compuestas, pero son más independientes energéticamente y más ligeras, lo que las hace más fáciles de transportar y trasladar. Gracias a estas características de diseño, las baterías de litio no necesitan mantenimiento y no emiten gases, por lo que pueden instalarse en interiores sin necesidad de ventilación.

### 1.3.1.3 Regulador

El regulador es el componente que se encarga de controlar el consumo de las cargas y descargas directo de los paneles, baterías protegiéndolos y evitando daños por sobrecargas o descargas profundas alargando su vida útil.

Según el tipo de controlador, también puede evitar que la batería se descargue por la noche y proporcionar información sobre el estado de carga y los ajustes del sistema a través de la pantalla integrada.

- **Regulador PWM:** Los reguladores de modulación de anchura de impulsos (PWM) sólo pueden utilizarse si la voltaje del panel solar y de la batería es la misma, es decir, ambas de 24 V. Si la voltaje del panel es de 24 V y la de la batería de 12 V, la única opción viable es utilizar un regulador MPPT.

Los controladores PWM son más baratos que los MPPT. Su tamaño depende de la potencia máxima de la placa y del voltaje de la batería. Estos controladores pueden fallar cuando se supera la potencia nominal. Además, sólo funcionan con placas de 36 y 72 celdas, es decir, módulos de 12 y 24 voltios.

- Regulador MPPT: Los reguladores de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) pueden maximizar la corriente de salida de la batería. Estos dispositivos pueden ajustar la voltaje de entrada de los módulos solares a la voltaje de la batería. De este modo, el módulo solar puede funcionar en su punto de máxima potencia, garantizando la máxima eficiencia de generación en todo momento.

El tamaño del regulador MPPT depende de la potencia instalada de los módulos fotovoltaicos y de la voltaje de la batería conectada. Sin embargo, estos reguladores pueden fallar si se supera la voltaje de entrada máxima del sistema FV.

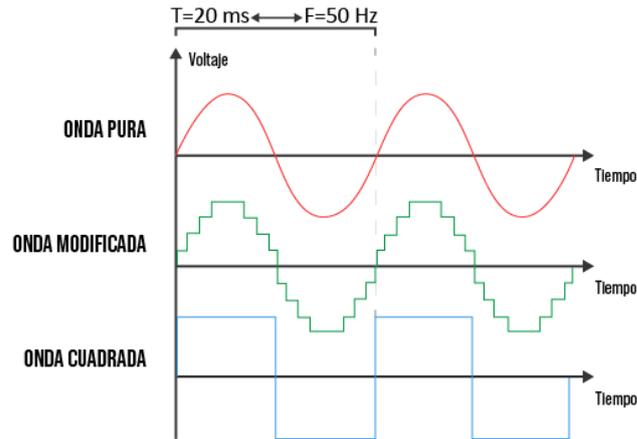
Estos reguladores MPPT pueden funcionar con distintas configuraciones de módulos solares, como módulos de 36 células, 72 células y módulos conectados a la red.

#### 1.3.1.4 Inversor

El inversor es el elemento que transforma la CC/CA que permite la transformación de 12V, 24V o 48V CC en 125V o 220V AC con la que pueden funcionar la mayoría de los componentes de una vivienda convencional.

La conversión de CC a CA puede ser realizada por diferentes tipos de inversores como se muestra en la figura 1.3, entre los que se encuentran:

- Inversor de onda cuadrada: Este tipo es el menos eficiente debido a sus características, ya que trata de imitar a una onda senoidal que cambia de valores positivos a negativos bruscamente. Por ello tienen compatibilidad con televisores, ordenadores o aparatos eléctricos pequeños que no sobrepasen los 300W de potencia por su grandes pérdidas en si transformación.
- Inversor de onda senoidal modificada: Este tipo utiliza el principio de la onda cuadrada pero con la ligera modificación del ancho de pulso (PWM). debido a esto la onda es mas parecida a una onda senoidal, por lo que pueden funcionar mas aparatos eléctricos con este inversor, sin embargo el inversor de este tipo puede generar interferencias y ruido en las comunicaciones con los sistemas.
- Inversor de onda senoidal pura: Este tipo es el mas sofisticado, ya que genera una frecuencia y voltaje del sistema con mayor precisión generando una onda senoidal pura, dando como resultado mayor estabilidad en la red y seguridad a los sistemas instalados.



**Figura 1.3:** Tipos de ondas en inversores

### 1.3.1.5 Cable para sistema fotovoltaico

En toda instalación eléctrica se debe tener en cuenta el cable que va a transportar la energía, en este caso para un sistema fotovoltaico con voltajes relativamente bajos y corrientes altas se tiene en cuenta la caída de voltaje que afecta negativamente a la energía que se entrega directamente de los paneles y la regulación de carga.

Cuando se trata de reducir la caída de voltaje en sistemas fotovoltaicos, los cables de cobre son una excelente opción. El cobre es un excelente conductor eléctrico, lo que lo hace ideal para estas aplicaciones. Los cables de cobre tienen una resistencia eléctrica relativamente baja, lo que ayuda a disminuir la caída de voltaje. Además, el cobre tiene una alta capacidad de conducción de corriente, permitiendo el uso de secciones transversales más pequeñas sin comprometer la eficiencia.

Por otro lado, los cables de aluminio pueden ser una alternativa más económica. Si bien el aluminio no es tan buen conductor como el cobre, puede ser una opción viable, especialmente para tramos cortos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los cables de aluminio requieren un mayor diámetro en comparación con los de cobre para obtener la misma capacidad de conducción.

Independientemente del material, utilizar cables con una sección transversal más grande también ayuda a disminuir la caída de voltaje. Esto se debe a que la resistencia eléctrica del cable es inversamente proporcional a su sección transversal. No obstante, es importante considerar el equilibrio entre el costo y el espacio disponible para la instalación al seleccionar cables de mayor sección.

Además, existen cables diseñados específicamente para aplicaciones fotovoltaicas que tienen una resistencia eléctrica aún más baja que los cables convencionales. Estos cables pueden ser una opción más eficiente para minimizar la caída de voltaje, especialmente en instalaciones de gran escala o con largas distancias entre los paneles y los componentes del sistema.

En este caso para el dimensionamiento se considerara el uso de la norma ITC-BT-19, establece los requisitos técnicos y de seguridad para las instalaciones eléctricas de baja voltaje, incluyendo a los sistemas fotovoltaicos. Esta normativa es de vital importancia para garantizar la correcta instalación y funcionamiento de los componentes eléctricos en las plantas fotovoltaicas.

Según la ITC-BT-19, se deben cumplir con los criterios de sección de conductores, caídas de voltaje permitidas, sistemas de protección contra sobrecorrientes y puesta a tierra, entre otros aspectos. Adicionalmente, la norma exige que los elementos de la instalación fotovoltaica, como cables, interruptores y dispositivos de protección, cuenten con las certificaciones y homologaciones correspondientes. El apego a los lineamientos de la ITC-BT-19 es fundamental para asegurar la seguridad de las personas, la integridad de los equipos y el desempeño confiable de los sistemas fotovoltaicos a lo largo de su vida útil [1].

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>A</b>		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
<b>A2</b>		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
<b>B</b>		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC			3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>B2</b>		Cables multiconductores en tubos en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR		2x XLPE o EPR			
<b>C</b>		Cables multiconductores directamente sobre la pared <sup>1)</sup>				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
<b>E</b>		Cables multiconductores al aire libre <sup>2)</sup> . Distancia a la pared no inferior a 0.3D <sup>3)</sup>					3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
<b>F</b>		Cables unipolares en contacto mutuo <sup>4)</sup> . Distancia a la pared no inferior a D <sup>5)</sup>						3x PVC				3x XLPE o EPR <sup>1)</sup>	
<b>G</b>		Cables unipolares separados mínimo D <sup>3)</sup>								3x PVC <sup>1)</sup>		3x XLPE o EPR	
		mm <sup>2</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Cobre</b>		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
	240				315	350	374	419	455	490	552	711	
	300				360	404	423	484	524	565	640	821	

Figura 1.4: Intensidades máximas admisibles [1]

### 1.3.1.6 Protecciones

Las protecciones eléctricas son un elemento fundamental para la seguridad y el buen funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Estos sistemas requieren de dispositivos de protección adecuados, como fusibles, interruptores termomagnéticos y diodos, que deben seleccionarse cuidadosamente para que sean compatibles con los valores de voltaje y corriente de la instalación. Los fusibles, por ejemplo, se utilizan para proteger contra sobrecorrientes accidentales, evitando daños a los componentes del sistema. Por otra parte, los interruptores termomagnéticos cumplen la función de desconectar el sistema en caso de sobrecargas o cortocircuitos, preservando la integridad de los equipos. Asimismo, los diodos de bloqueo impiden el flujo inverso de corriente, lo que podría dañar los paneles fotovoltaicos. La correcta selección y coordinación de estos dispositivos de protección eléctrica es crucial para garantizar la seguridad y el óptimo rendimiento del sistema fotovoltaico.

Además de los dispositivos de protección eléctrica, la puesta a tierra es otro elemento crítico para la seguridad de los sistemas fotovoltaicos. Una adecuada puesta a tierra permite desviar a tierra las corrientes de fuga o de descarga eléctrica, evitando así posibles riesgos de descarga para los usuarios y daños a los equipos. En las instalaciones fotovoltaicas, es necesario conectar a tierra todos los marcos metálicos de los módulos, las estructuras de soporte, los inversores y cualquier otro componente metálico del sistema. Esto se logra mediante la instalación de electrodos de puesta a tierra, los cuales deben dimensionarse y ubicarse correctamente para garantizar una resistencia de puesta a tierra baja, que facilite el drenaje seguro de las corrientes de falla. Un sistema de puesta a tierra bien diseñado y ejecutado, en conjunto con las protecciones eléctricas adecuadas, contribuye significativamente a la seguridad y confiabilidad del sistema fotovoltaico.

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA COMUNIDAD WASAKENTSA

#### 2.1 Datos previos

Se ha descrito en el capítulo 1 las definiciones iniciales para el cálculo de un sistema fotovoltaico aislado, que permite una primera estimación para el diseño. El dimensionado más preciso es un proceso relativamente complejo ya que hay muchos parámetros a considerar, un imponderable (la meteorología del sitio) y sobre todo, muchas interacciones entre las posibles elecciones. Por ejemplo, el consumo del regulador de carga debe agregarse al de los receptores para definir el consumo total del sistema. Por otra parte, la elección del regulador depende del tamaño del sistema fotovoltaico, que a su vez está determinado por el consumo. Por tanto, la concepción de un sistema fotovoltaico es el resultado de una optimización realizada por itinerarios.

El diagrama que aparece en la Figura 2.1 resume la marcha a seguir en el caso más sencillo de un sistema fotovoltaico aislado. El estudio detalla la ejecución y progreso de cada una de las etapas del proyecto, como se expone a continuación:

Etapa 1: Determinación de las necesidades del usuario: voltaje, potencia de los aparatos y tiempo de funcionamiento de los mismos.

Etapa 2: Cuantificado de la energía solar recuperable según el emplazamiento y la situación geográfica.

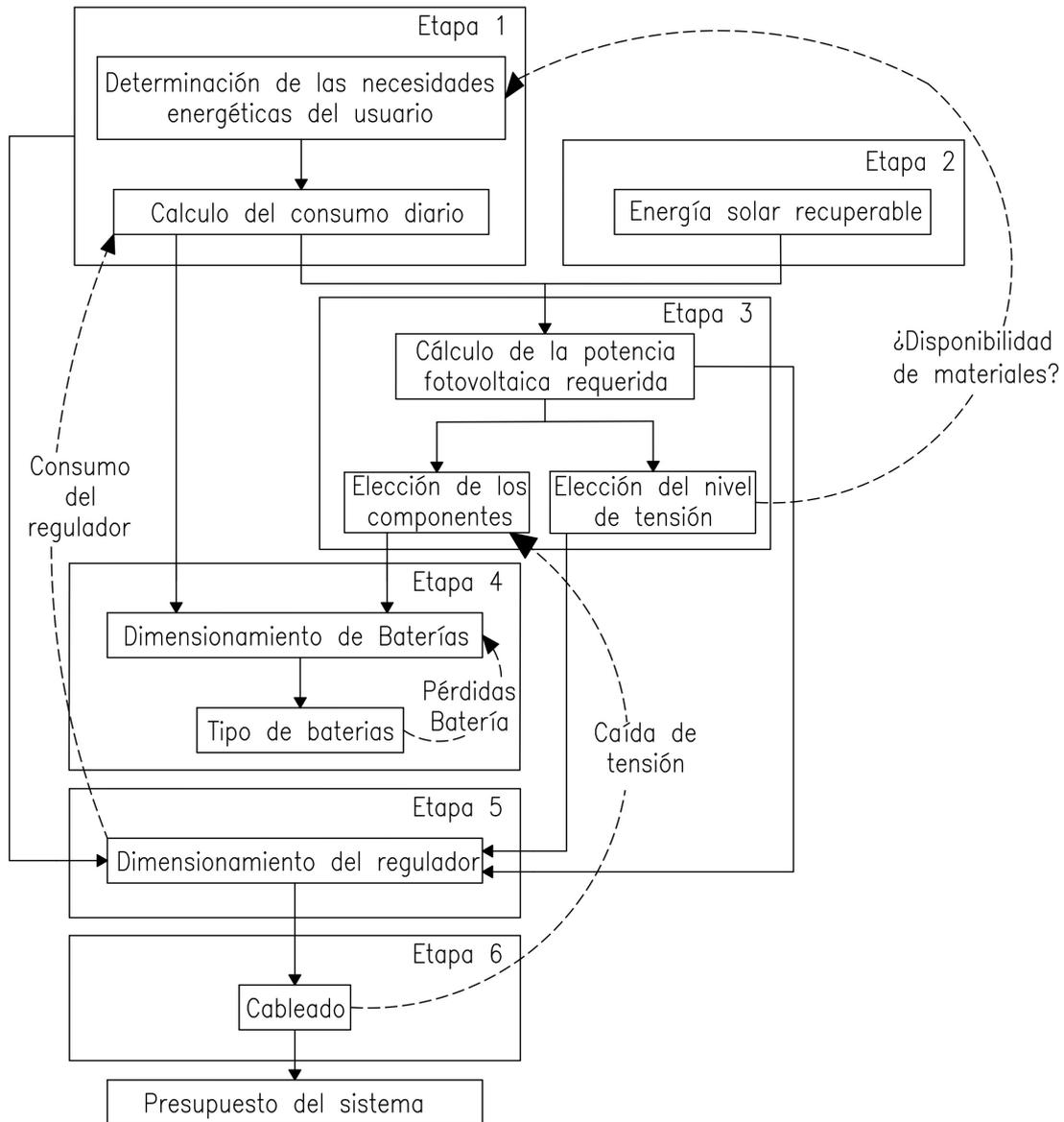
Etapa 3: Elección de los módulos fotovoltaicos: voltaje de funcionamiento, tecnología, potencia total a instalar.

Etapa 4: Elección de la capacidad de la batería y de su tecnología.

Etapa 5: Elección del regulador.

Etapa 6: Plan de cableado (determinación de los accesorios del cableado, sección de los cables, etc.).

Etapa 7: Coste del sistema.



**Figura 2.1:** Diagrama de flujo para el dimensionamiento del sistema aislado.

## 2.2 Dimensionamiento de Sistema Solar Fotovoltaico

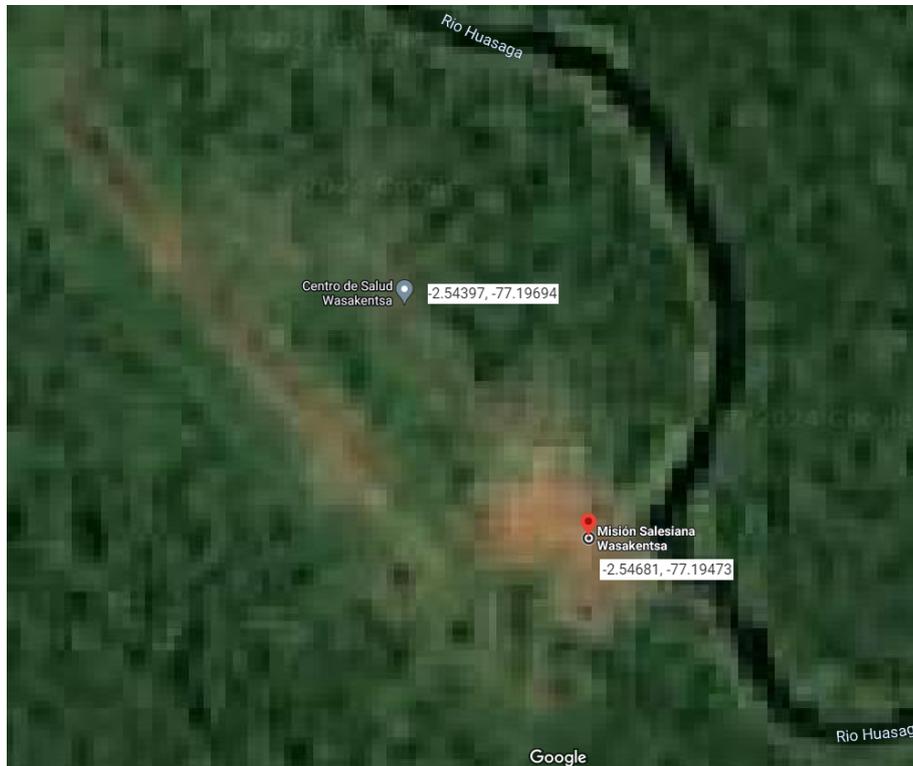
Para efectuar un dimensionamiento apropiado del sistema fotovoltaico que abastecerá a la casa de salud como el sistema de telecomunicaciones, se llevó a cabo un análisis de los diferentes equipos y dispositivos eléctricos presentes.

### 2.2.1 Ubicación

La comunidad amazónica Wasakentsa se encuentra en el oriente ecuatoriano donde la comunidad salesiana y el ministerio de salud publica brindan sus servicios con el fin de potenciar las capacidades de la ciudadanía y promover una educación innovadora,

inclusiva y de calidad en todos los niveles mejorar la calidad de vida, y generar oportunidades y bienestar para las zonas rurales.

La ubicación georeferenciada de cada lugar se detalla en la figura 2.2.



**Figura 2.2:** Ubicación georeferenciada de la comunidad Wasakentsa.

Centro de salud: Latitud: -2.54397 Longitud: -77.19694

Misión Salesiana: Latitud: -2.54681 Longitud: -77.19473

### 2.2.2 Características técnicas de los elementos receptores

En función de la potencia instalada se determinara el nivel de voltaje para el sistema fotovoltaico, dependiendo de sus consumos se deberá tener en cuenta los siguientes niveles de voltaje como lo indica la tabla 2.1:

**Tabla 2.1:** Voltaje recomendada en función de la potencia instalada [4].

Potencia (W)	Voltaje del sistema
$P \leq 1000$	12
$1000 < P < 2500$	24
$2500 \leq P < 5000$	48
$P \geq 5000$	120

### 2.2.3 Orientación e inclinación de paneles

La orientación solar incidente sobre los módulos fotovoltaicos pueden variar de acuerdo al ángulo que se forme con la horizontal. La latitud se define como la distancia desde un punto en la superficie terrestre hasta el Ecuador, con valores que van de 0° a +90° hacia el norte y de 0° a -90° hacia el sur. Por ejemplo, el Ecuador se encuentra a 2°32'38.1" al sur de latitud y 77°11'49.0" al oeste de longitud, por ende se deberán orientar en dirección norte.

La inclinación óptima puede cambiar durante el año, siendo mayor en verano y menor en invierno. Por ello, en instalaciones con módulos fijos, especialmente en sistemas aislados, se suele seleccionar una inclinación que maximice la potencia media anual recibida. Esta inclinación puede ajustarse si la instalación está diseñada para funcionar solo en verano, en cuyo caso se elegiría una inclinación que maximice la potencia durante esos meses.

La inclinación ideal depende del uso previsto y de la latitud del lugar; para un uso anual, generalmente se selecciona un ángulo cercano a la latitud para optimizar la captación solar en invierno en comparación con el verano. Existe una ecuación que permite calcular la inclinación óptima ( $\beta_{opt}$ ) en función de la latitud del lugar (a), utilizando la siguiente fórmula:

$$\beta_{Opt} = 3.7 + 0.69 \times a^{\circ}$$

<b>Latitud del lugar</b>	<b>Ángulo de inclinación</b>	<b>Ángulo de inclinación</b>
<b>Instalación (en grados)</b>	<b>INVIERNO</b>	<b>VERANO</b>
0 a 15°	15°	15°
15a 25°	IGUAL QUE LATITUD	IGUAL QUE LATITUD
25 a 30°	Latitud + 5°	Latitud - 5°
30 a 35°	Latitud + 10°	Latitud - 10°
35 a 40°	Latitud + 15°	Latitud - 15°
> 40°	Latitud + 20°	Latitud - 20°

**Figura 2.3:** Inclinación de módulos para la comunidad amazónica[2].

## 2.2.4 Criterio de dimensionamiento del mes critico

De acuerdo a la norma IEC 61724-1, El *Rendimiento del sistema fotovoltaico. Parte 1: Monitorización* informa que para el diseño de un sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta el criterio del peor mes considera que, si la instalación es idónea para administrar el suministro eléctrico en el periodo en el cual la radiación solar disponible y el consumo energético es mas critico no haya problema en el suministro en esa época o durante el año.

Se centra en tomar la radiación del peor mes con el fin de cubrir la capacidad requerida necesaria durante los días de bajo nivel de radiación, lo que radica en los días de autonomía, por ende esta estará determinada por la característica climatológica de la zona y del uso de la instalación.

Mediante el uso del programa online *PVGis* de la unión europea se permitió acceder a una amplia gama de base de datos de la radiación solar[9], el cual proporciona datos de la radiación mensual para cualquier ángulo de inclinación de los paneles. Lo que se recopiló para Wasakentsa se encuentra en la tabla 2.2 y los valores de la radiación solar en el lugar establecido están en  $kWh/m^2$

**Tabla 2.2:** Irradiación solar de los últimos 5 años de Wasakentsa [3].

MES/AÑO	2015	2016	2017	2018	2019	PROM
ENERO	146,68	126,46	113,19	122,21	100,47	121,802
FEBRERO	116,41	111,88	106,48	103,53	113,36	110,332
MARZO	138,23	129,71	126,75	108,45	112,99	123,226
ABRIL	140,55	141,97	149,15	110,47	137,31	135,89
MAYO	132,24	141,54	144,22	134,36	133,6	137,192
JUNIO	131,8	151,09	129,2	126,28	125,43	132,76
JULIO	138,45	145,64	145,74	138,86	131,55	140,048
AGOSTO	163,4	164,52	139,62	151,18	160,4	155,824
SEPTIEMBRE	152,88	99,03	155,02	156,79	171,01	146,946
OCTUBRE	161,95	162,41	172,42	152,22	157,16	161,232
NOVIEMBRE	134,45	145,24	137,4	125,6	134,65	135,468
DICIEMBRE	121,27	131,26	141,23	129,41	119,68	128,57
<b>ANUAL</b>	1678,31	1650,75	1660,42	1559,36	1597,61	<b>1629,29</b>

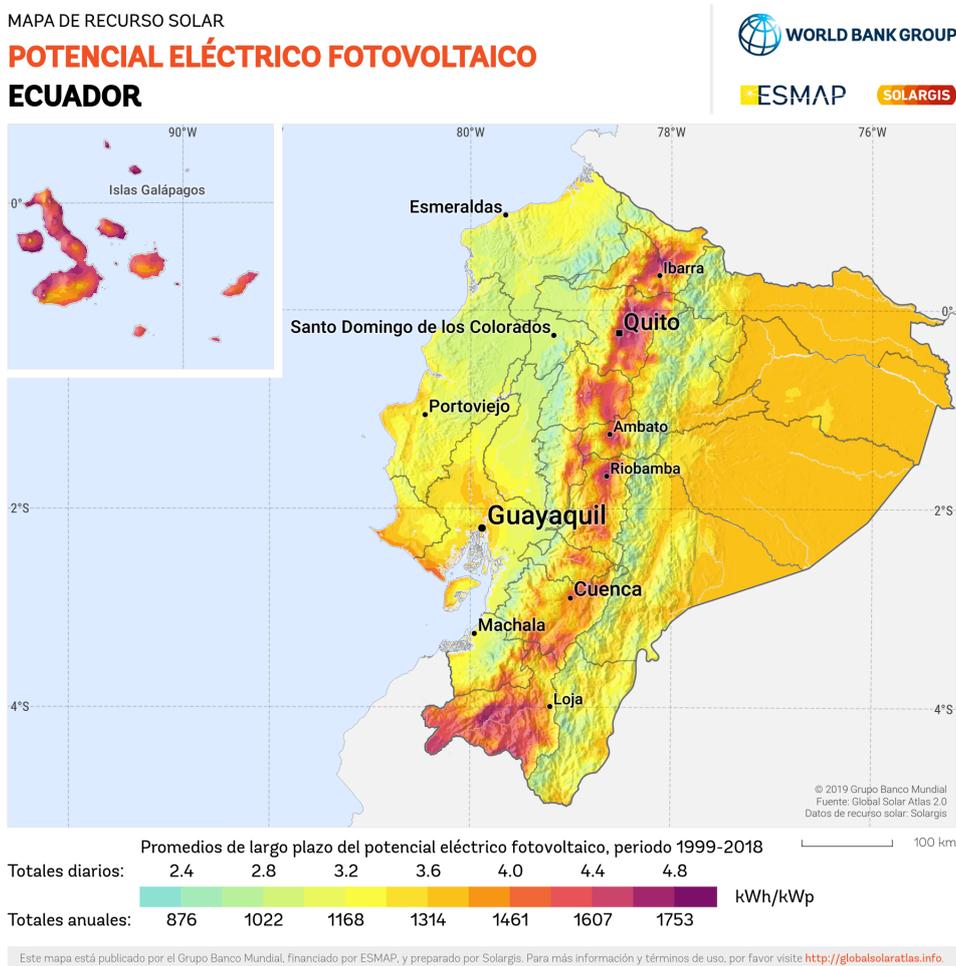
## 2.2.5 Hora Solar Pico

La Hora Pico Solar (HSP) diaria es importante para el sistema solar fotovoltaico por lo que se encuentra con los datos de la irradiación de la tabla 2.2 de la cual se toma los valores promedio de cada mes y verificamos la cantidad de horas durante el un día. revisara la unidad de medida de la hora solar pico.

En la figura 2.4 se muestra el mapa solar del ecuador en el 2019 y se puede confirmar que la HPS calculada en la tabla 2.3 se debe aproximar a la promediada por SOLARGIS en la barra de color.

**Tabla 2.3:** Cálculo de la HSP bajo influencia de criterio del mes crítico.

	MES		
	MEJOR	MEDIA	PEOR
Irradiación ( $kWh/m^2$ )	161,2	135,8	110,3
HSP (h)	5,37	4,53	<b>3,68</b>



**Figura 2.4:** Mapa solar del Ecuador [3].

Por lo tanto la peor situación de radiación solar que puede tener el sector es de 3,68 horas en el peor mes, por lo que se debe tener en cuenta para el diseño de los paneles y la autonomía de los sistemas fotovoltaicos.

## 2.2.6 Necesidades energéticas

Las necesidades energéticas se disponen de los requerimientos del usuario adaptando toda la exigencia suplementaria que se resumirá en el adecuado dimensionamiento de paneles, capacidad de baterías, reguladores, inversores, cable, protecciones, etc...

En el proyecto de electrificación del centro de salud de la comunidad amazónica Wasakentsa estará dimensionado bajo la consideración de un centro aislado y sistema

de uso permanente en el año, lo que es decisivo para el constante suministro de energía al centro de salud y sistema de telecomunicaciones.

### 2.2.7 Estimación de Potencia instalada y Consumos eléctricos

La potencia instalada del sistema es aquella que tienen todos los dispositivos de una vivienda, por lo tanto para determinar la potencia total instalada en nuestro sistema sumaremos todas las potencias por la cantidad de dispositivos que haya en la instalación y esa será nuestra Potencia total instalada como se indica en la ecuación 2.1:

$$P_{ti} = P_1 * Cant_{P_1} + P_2 * Cant_{P_2} + P_3 * Cant_{P_3} + \dots + P_n * Cant_{P_n} \quad (2.1)$$

Donde:

$P_{ti}$ : Potencia total instalada en Watts.

$P_n$ : Potencia n del dispositivo instalado en el sistema.

$Cant_{P_n}$ : Cantidad de dispositivos instalados de la potencia n en el sistema.

La energía eléctrica es otra magnitud a tener en cuenta en el dimensionamiento del sistema, ya que es la que está por la unidad de tiempo como se indica en la ecuación 2.2:

$$Et_{Cons} = P_1 * Cant_{P_1} * t_{uso} + P_2 * Cant_{P_2} * t_{uso} + \dots + P_n * Cant_{P_n} * t_{uso} \quad (2.2)$$

Donde:

$Et_{Cons}$ : Energía consumida total ( $Wh/día$ )

$P_n$ : Potencia n del dispositivo instalado en el sistema.

$Cant_{P_n}$ : Cantidad de dispositivos instalados de la potencia n en el sistema.

$t_{uso}$ : Tiempo que de funcionamiento del dispositivo durante el día (h).

#### 2.2.7.1 Estudio de Carga de la Casa de Salud

- POTENCIA TOTAL INSTALADA

Para calcular la potencia total instalada en el sistema, se multiplica la potencia de cada dispositivo eléctrico por la cantidad de unidades del mismo y se suman todas estas contribuciones individuales. Por tanto, la potencia total instalada ( $P_{ti}$ ) en la Casa de Salud es: 1693,6 W que se muestra en la Tabla 2.4.

**Tabla 2.4:** Análisis de la Carga Eléctrica Instalada en la Casa de Salud.

<b>ANÁLISIS DE CARGA PARA LA CASA DE SALUD</b>				
Ítem	Electrodomésticos	Cantidad	Potencia(W)	Potencia total(W)
1	Laptops	7	45	315
2	Focos	20	10	200
3	Antenas Starlink	1	75	75
4	Celulares	4	50	200
5	Cargador de batería	1	12	12
6	Ventilador	1	57,2	57,2
7	Ultrasonido	1	150	150
8	Intantometro	1	3	3
9	Tellímetro	1	3	3
10	Esterilizador	1	500	500
11	Microscopio #1	1	102	102
12	Microscopio #2	5	50,4	50,4
13	Microscopio #3	1	20	20
14	Tensiómetro digital	1	6	6
			<b>Total</b>	<b>1693,6</b>

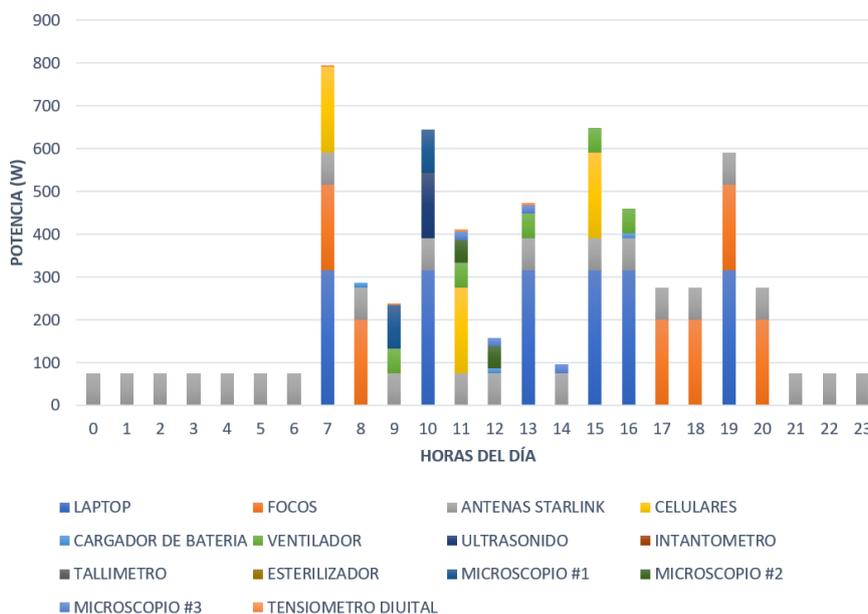
- CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO

Para calcular el consumo diario, se multiplica la potencia total por las horas de uso. Por tanto el consumo total de la Casa de Salud es: 6553,3 Wh/día, tal como se muestra en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5:** Análisis de Consumo Energético diario para la Casa de Salud.

<b>ANÁLISIS DE CONSUMO DIARIO PARA LA CASA DE SALUD</b>				
Ítem	Electrodomésticos	Horas de uso (h)	Potencia Total (W)	Consumo día (Wh/día)
1	Laptops	6	315	1890
2	Focos	6	200	1200
3	Antenas Starlink	24	75	1800
4	Celulares	3	200	600
5	Cargador de batería	3	12	36
6	Ventilador	5	57,2	286
7	Ultrasonido	1,5	150	225
8	Intantometro	0,5	3	1,5
9	Tellímetro	2	3	6
10	Esterilizador	0,2	500	100
11	Microscopio #1	2	102	204
12	Microscopio #2	2	50,4	100,8
13	Microscopio #3	4	20	80
14	Tensiómetro digital	4	6	24
			<b>Total</b>	<b>6553,3</b>

Finalmente se obtiene el perfil de consumo de los dispositivos en el centro de salud como lo indica la figura 2.5:



**Figura 2.5:** Perfil de consumo del centro de salud.

### 2.2.7.2 Estudio de Carga para el Sistema de Telecomunicaciones

- POTENCIA TOTAL INSTALADA.

Al igual que en la casa de salud, para calcular la potencia total instalada en el sistema de telecomunicaciones, se multiplico la potencia de cada dispositivo eléctrico por la cantidad de unidades. Por tanto, la potencia total instalada (Pti) en el sistema de Telecomunicaciones es de 81,4 W tal como se muestra en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6:** Análisis de la Carga Eléctrica Instalada para el sistema de Telecomunicaciones.

ANÁLISIS DE CARGA PARA TELECOMUNICACIONES				
Ítem	Electrodomésticos	Cantidad	Potencia(W)	Potencia total(W)
1	Laptop	1	45	45
2	RBSXT sqG-5acD ANTENA MikroTik CPE 16dBI 5GHz	1	7	7
3	Grandstream GWN7630LR+POE	1	16,5	16,5
4	C5x-25dbi-combo radio modular mimosa ptp 5g	1	12,9	12,9
			<b>Total</b>	<b>81,4</b>

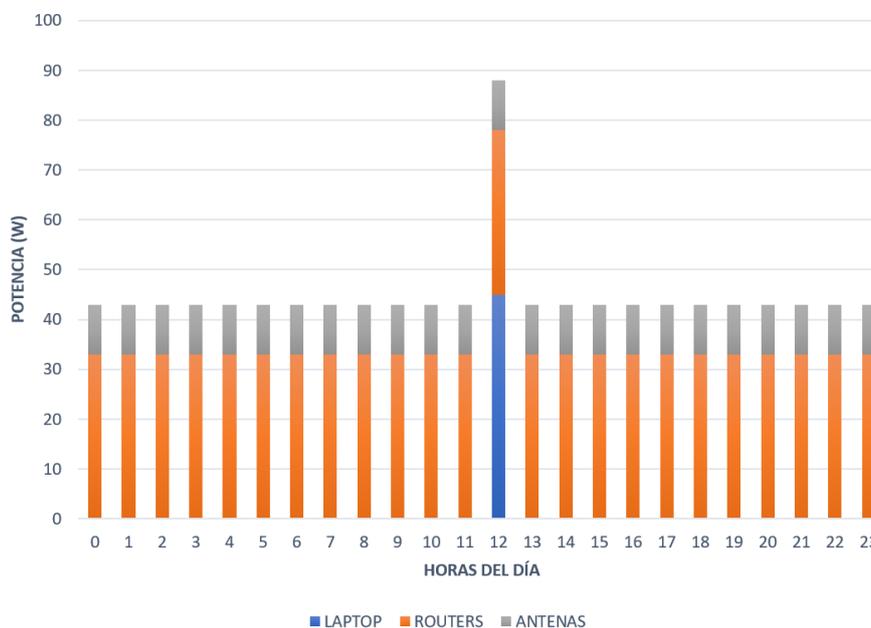
- CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO.

Para calcular el consumo diario, se multiplica la potencia total por las horas de uso. Por tanto el consumo total del sistema de Telecomunicaciones es de  $918,6 \text{ Wh/día}$ , tal como se muestra en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7:** Análisis de Consumo Energético diario para el sistema de Telecomunicaciones.

ANÁLISIS DE CONSUMO DIARIO PARA TELECOMUNICACIONES				
Ítem	Electrodomésticos	Horas de uso (h)	Potencia Total (W)	Consumo día (Wh/día)
1	Laptop	1	45	45
2	RBSXT sqG-5acD ANTENA MikroTik CPE 16dBI 5GHz	24	7	168
3	Grandstream GWN7630LR+POE	24	16,5	396
4	C5x-25dbi-combo radio modular mimosa ptp 5g	24	12,9	309,6
			<b>Total</b>	<b>918,6</b>

Finalmente se obtiene el perfil de consumo de los dispositivos del sistema de telecomunicaciones como lo indica la figura 2.6:



**Figura 2.6:** Perfil de consumo del sistema de telecomunicaciones.

Las tablas 2.4 y 2.6 que se muestran a continuación detallan el listado de los principales artefactos. Para cada uno de ellos, se incluye información sobre la cantidad de unidades, la potencia individual y el cálculo de la potencia total demandada de ambos sistemas.

### 2.2.8 Cálculos de energía requerida para Instalación del Sistema

Para calcular la energía total diaria requerida en la instalación, determinamos a través de la expresión 2.3.

$$E_c = \frac{E_u}{\eta_{reg} \times \eta_{inv}} \quad (2.3)$$

**$E_c$**  = Energía total diaria requerida.

**$E_u$**  = El consumo diario de energía de todos los artefactos.

$\eta_{inv}$  = Rendimiento del inversor.

$\eta_{reg}$  = Rendimiento del regulador.

Con una eficiencia del regulador del 95% y una eficiencia del inversor del 90% en los equipos, se obtuvieron los siguientes datos:

**Casa de salud:**

$$E_c = \frac{6553,3 Wh}{0,95 \times 0.90} = 7664,68 Wh$$

**Sistema de telecomunicaciones:**

$$E_c = \frac{918,6 Wh}{0,95 \times 0.90} = 1074,39 Wh$$

## 2.3 Dimensionamiento de los Paneles Solares

Para determinar la cantidad de paneles solares necesarios para abastecer los requerimientos energéticos de la instalación, se procedió a aplicar un conjunto de cálculos específicos.

Primeramente consideramos factor de seguridad adicional del 25% para hacer frente a posibles variaciones de demanda, a través de la expresión 2.4.

$$E_{mc} = F_s \times E_c \quad (2.4)$$

**$E_{mc}$**  = Energía diaria máxima consumida.

**$E_c$**  = Energía total diaria requerida.

**$F_s$**  = Factor de seguridad.

**Casa de salud:**

$$Emc = 1,25 \times 7664,68 Wh = 9580,85 Wh$$

**Sistema de telecomunicaciones:**

$$Emc = 1,25 \times 1074,39 Wh = 1342,99 Wh$$

Definimos la potencia pico del sistema a través de la expresión 2.5.

$$W_{ps} = \frac{Emc}{HSP} \quad (2.5)$$

**W<sub>ps</sub>** = Potencia pico del sistema.

**Emc** = Energía diaria máxima consumida.

**HSP** = Hora solar pico.

**Casa de salud:**

$$W_{ps} = \frac{9580,85 Wh}{3,68 h} = 2603,49 W$$

**Sistema de telecomunicaciones:**

$$W_{ps} = \frac{1342,99 Wh}{3,68 h} = 364,94 W$$

Considerando la capacidad máxima de nuestro sistema y la potencia del módulo solar, determinamos el número adecuado de módulos fotovoltaicos mediante la expresión 2.6:

$$N_{ps} = \frac{W_{ps}}{P_{ps}} \quad (2.6)$$

**N°ps** = Números de paneles solares.

**W<sub>ps</sub>** = Potencia pico del sistema.

**P<sub>ps</sub>** = Potencia del panel solar.

Para cubrir las necesidades energéticas de la casa de salud y el sistema de telecomunicaciones, hemos optado por utilizar módulos solares con una potencia de 440 Wp cada uno. Sus respectivas especificaciones técnicas se indican en la Tabla 2.8.

**Casa de salud:**

$$N_{ps} = \frac{2603,49 W}{440 W} = 5,92 \approx 6$$

La casa de salud requiere la instalación de seis módulos solares de 440 Vatios.

**Tabla 2.8:** Especificaciones técnicas del panel solar.

Panel Fotovoltaico	
Especificaciones	Descripción
Tipo de célula solar	Monocrystalino
Tamaño de modulo	1762 mm x 1134 mm x 30 mm
Peso del modulo	22 kg
Potencia Máxima(Pmax)	440 Wp
Voltaje de Potencia Máxima(Vmp)	32,81 V
Corriente de Potencia Máxima(Imp)	13,41 A
Voltaje de Circuito Abierto(Voc)	39,38 V
Corriente de Cortocircuito(Isc)	13,86 A
Eficiencia del modulo(%)	22,02 %
No. de celdas	108(2x54)

### Sistema de telecomunicaciones:

$$N_{ps} = \frac{364,94 W}{440 W} = 0,83 \approx 1$$

El sistema de telecomunicaciones requiere la instalación de un modulo solar de 440 vatios.

### 2.3.1 Configuración de Serie y Paralelo de paneles fotovoltaicos

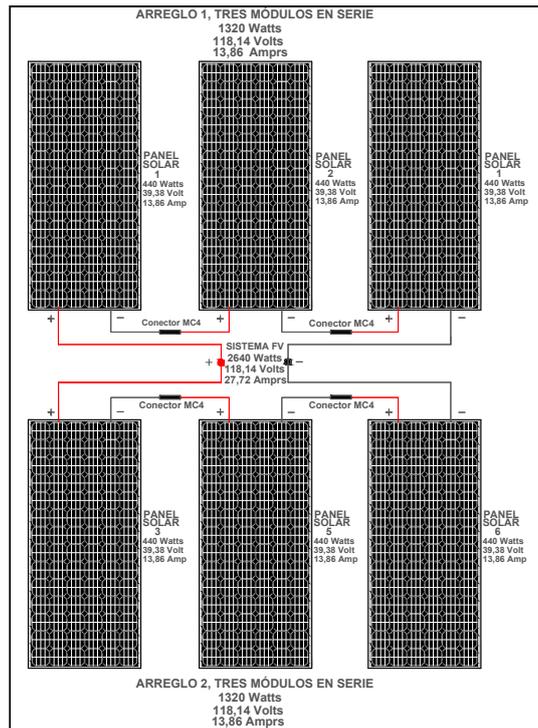
Para configurar eficientemente los módulos solares en nuestros sistemas fotovoltaicos, debemos considerar las propiedades eléctricas específicas de cada uno de los paneles que vamos a utilizar. Dos de los parámetros son el voltaje de circuito abierto (Voc) y la corriente de cortocircuito (Isc). Este aumento en la voltaje eléctrica tiene un impacto directo en los requerimientos de los componentes complementarios, como cables y dispositivos de protección.

Dado que a mayor voltaje, la corriente necesaria para entregar la misma potencia es menor, los cables eléctricos podrán tener un calibre más pequeño, lo que representa un ahorro significativo. De manera similar, los equipos de protección, como interruptores y disyuntores, también podrán ser seleccionados con clasificaciones de corriente más bajas, lo cual se traduce en un costo más accesible.

- Para el sistema fotovoltaico de **la casa de salud**, se ha determinado que la configuración más adecuada para los 6 módulos solares de 450 vatios cada uno sería la siguiente:

Conectar tres módulos en serie y luego agrupar dos de estas ramas en paralelo. De esta manera, el arreglo final quedaría conformado como se ilustra en la Figura 2.7.

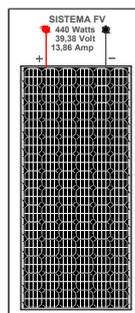
- Para **el sistema de telecomunicaciones**, se ha determinado que se requiere un único módulo solar de 440 vatios. En este caso, no es necesario implemen-



**Figura 2.7:** Diagrama de conexión serie-paralelo de paneles solares para la Casa de Salud.

tar una configuración compleja, por lo que un solo panel cumplirá con los requerimientos energéticos del sistema de telecomunicaciones.

La disposición de este módulo solar se muestra en la Figura 2.8. Al ser un único panel, no es necesario realizar conexiones en serie o en paralelo.



**Figura 2.8:** Diagrama de conexión del panel solar para el sistema de Telecomunicaciones.

## 2.4 Dimensionamiento de las Baterías

Para determinar la cantidad que se requiere para el sistema de baterías se debe usar la siguiente expresión 2.7:

$$C_{bb} = \frac{E_c \times D_u}{M_{fd} \times V_{bb}} \quad (2.7)$$

**C<sub>bb</sub>** = Capacidad del banco de baterías.

**E<sub>c</sub>** = Energía total diaria requerida.

**D<sub>u</sub>** = Días de uso o autonomía.

**V<sub>bb</sub>** = Voltaje del banco de baterías.

**M<sub>fd</sub>** = Máximo fondo de descarga de las baterías.

**Casa de salud:**

$$C_{bb} = \frac{7664,68 \text{ Wh} \times 2}{48 \text{ V} \times 60\%} = 399,20 \text{ Ah}$$

**Sistema de telecomunicaciones:**

$$C_{bb} = \frac{1074,39 \text{ Wh} \times 2}{12 \text{ V} \times 60\%} = 298,49 \text{ Ah}$$

### 2.4.1 Configuración de Serie y Paralelo del Banco de Baterías

Al diseñar el banco de baterías, evaluaremos tanto las conexiones en serie como en paralelo. Para establecer las configuraciones correctas, aplicaremos las expresiones matemáticas 2.8, 2.9 y 2.10 :

$$N_{serie} = \frac{V_{bb}}{V_b} \quad (2.8)$$

$$N_{paralelo} = \frac{C_{bb}}{C_b} \quad (2.9)$$

$$N_{total} = N_{serie} \times N_{paralelo} \quad (2.10)$$

**N<sub>serie</sub>** = Número de baterías configuración Serie.

**V<sub>bb</sub>** = Voltaje del banco de baterías.

**V<sub>b</sub>** = Voltaje nominal de la batería.

**N<sub>paralelo</sub>** = Número de baterías configuración Paralelo.

$C_{bb}$  = Capacidad del banco de baterías.

$C_b$  = Capacidad nominal de la baterías.

$N_{total}$  = Número total de baterías.

### Casa de salud:

La cantidad de baterías en serie que se utilizaran son:

$$N_{serie} = \frac{48 V}{12 V} = 4$$

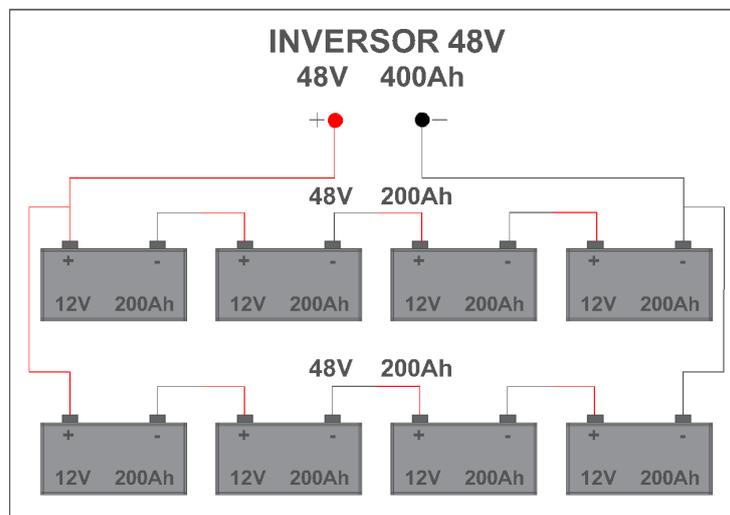
La cantidad de baterías en paralelo que se utilizaran son:

$$N_{paralelo} = \frac{399,20 Ah}{200 Ah} = 1,996 \approx 2$$

La cantidad total para el banco de baterías que se utilizaran son:

$$N_{total} = 4 \times 2 = 8$$

La Casa de Salud requiere un total de ocho baterías de 200 Ah a 12V. De esta manera, el arreglo final quedaría conformado como se ilustra en la Figura 2.9.



**Figura 2.9:** Diagrama de conexión serie-paralelo de baterías para la casa de salud.

### Sistema de telecomunicaciones:

La cantidad de baterías en serie que se utilizaran son:

$$N_{serie} = \frac{12 V}{12 V} = 1$$

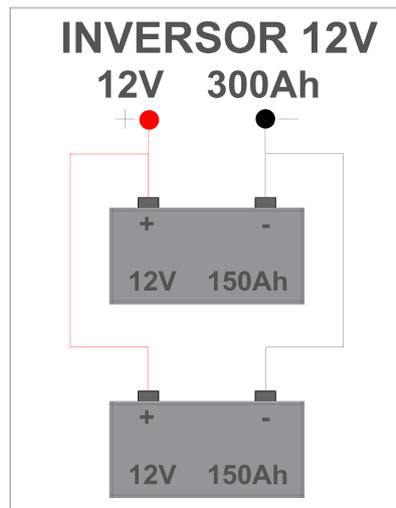
La cantidad de baterías en paralelo que se utilizaran son:

$$N_{paralelo} = \frac{248,54 Ah}{150 Ah} = 1,657 \approx 2$$

La cantidad total para el banco de baterías que se utilizaran son:

$$N_{total} = 2 \times 1 = 2$$

El Sistema de Telecomunicaciones requiere un total de dos baterías de 150 Ah a 12 V. El arreglo final quedaría conformado como se ilustra en la Figura 2.10.



**Figura 2.10:** Diagrama de conexión en paralelo de baterías para el sistema de telecomunicaciones.

## 2.5 Dimensionamiento del Inversor

Para seleccionar el inversor adecuado, es fundamental considerar la carga total que deberá alimentar. Como regla general, se recomienda sobredimensionar la capacidad del inversor en un 20% a 25% para contar con un margen de seguridad. De este modo, se previenen posibles sobrecargos y se garantiza un funcionamiento estable del sistema. Considerando un factor de 20% la potencia del inversor es:

$$P_{invr} = 1,2 \times P_{ti} \quad (2.11)$$

$P_{invr}$  = Potencia del inversor.

$P_{ti}$  = Potencia total instalada.

**Casa de salud:**

$$P_{invr} = 1,2 \times 1693,6 W = 2032,32 W$$

Se requiere un Inversor de 2 kW, Voltaje de entrada 48 V y Voltaje de salida 120 V.

## Sistema de telecomunicaciones:

$$P_{invr} = 1,2 \times 81,4 W = 97,68 W$$

Se requiere un Inversor de 100 W, Voltaje de entrada 12 V y Voltaje de salida 120 V.

## 2.6 Regulador

Al elegir el regulador de carga adecuado para un sistema fotovoltaico, es crucial considerar dos aspectos fundamentales:

Primero, la capacidad de corriente del regulador. Este debe estar diseñado para soportar una corriente de entrada superior a la corriente de cortocircuito máxima de los paneles solares, incluyendo un margen de seguridad del 20% al 25%. Esto evita que el regulador se sobrecargue y funcione de manera estable, incluso ante picos de generación.

En segundo lugar, la voltaje máxima de entrada del regulador debe ser mayor que la voltaje máxima del sistema fotovoltaico. Para determinar esta voltaje máxima, es necesario analizar cuidadosamente la configuración de conexión de los paneles solares. Esto garantiza que el regulador pueda manejar de manera segura la voltaje generada por el sistema. Para determinar los requisitos del regulador de carga, emplearemos las siguientes expresiones:

$$I_{Entr} = 1,25 \times I_{Sc} \times N_P \quad (2.12)$$

$$V_{Max} = 1,25 \times V_{OC} \times N_S \quad (2.13)$$

$I_{Entr}$  = Corriente de Entrada.

$I_{Sc}$  = Corriente de cortocircuito del Modulo Solar.

$N_P$  = Numero de módulos solares en Paralelo.

$V_{Max}$  = Voltaje máximo de Entrada.

$V_{OC}$  = Voltaje del Circuito Abierto del Modulo Solar.

$N_S$  = Numero de módulos solares en Serie.

### Casa de salud:

$$I_{Entr} = 1,25 \times 13,86 A \times 2 = 34,65 A$$

$$V_{Max} = 1,25 \times 39,38 V \times 3 = 147,68 V$$

Se requiere un Regulador  $V_{Max}$  superior a 147,68 V y  $I_{Entr}$  superior a 34,65 A.

### Sistema de telecomunicaciones:

$$I_{Entr} = 1,25 \times 13,86 A \times 1 = 17,86 A$$

$$V_{Max} = 1,25 \times 39,38 V \times 1 = 49,23 V$$

Se requiere un Regulador  $V_{Max}$  superior a 49,23 V y  $I_{Entr}$  superior a 17,86 A.

## 2.7 Cableado para el sistema fotovoltaico

La elección de los cables para un sistema solar requiere un análisis detallado de diversos factores. En primer lugar, es crucial seleccionar cables cuyas características técnicas se ajusten de manera precisa a las necesidades de cada sección del sistema. Esto implica evaluar cuidadosamente los niveles de voltaje y corriente que deberán soportar en cada tramo. Asimismo, la longitud de los cables es un aspecto fundamental a considerar, por lo que a mayores distancias, se deben tener en cuenta los efectos de la caída de voltaje y la necesidad de utilizar secciones de cables más grandes.

Las secciones de los conductores internos y externos utilizados en la instalación de nuestro sistema fotovoltaico deben cumplir con las normas establecidas por el Código Eléctrico Ecuatoriano (NEC) o la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).

- En cuanto a los conductores externos del sistema, Las caídas de voltaje deben mantenerse por debajo del 3% entre el arreglo fotovoltaico y el regulador de carga. Las caídas de voltaje deben ser menores al 1% entre la batería y el regulador de carga. Las caídas de voltaje no deben exceder el 3% entre el regulador de carga y otros componentes. Estos valores de caída de voltaje corresponden a la condición de máxima potencia del sistema [16].
- El cable que conecta el sistema fotovoltaico al regulador de carga debe tener una capacidad de 1,25 veces la corriente nominal de cortocircuito del arreglo fotovoltaico. Asimismo, el cable entre el regulador y las baterías debe dimensionarse adecuadamente [16].
- Los conductores exteriores deben ser aptos para uso en presencia de humedad, con clasificación de temperatura de 90°C, de doble aislamiento y resistentes a los rayos ultravioleta, como los tipos XHHN, superfex o similar[16].
- Para las instalaciones interiores de las viviendas que utilizan sistemas fotovoltaicos aislados de la red, se deben emplear conductores bipolares de doble aislamiento o unipolares instalados en tubería, como cables tipo THW o multifilares[16].

Para dimensionar adecuadamente los conductores del sistema fotovoltaico, es fundamental determinar en primer lugar los parámetros de corriente y longitud de los diferentes tramos de la instalación. Una vez definidos estos valores, se procederá a calcular la sección transversal apropiada de los cables utilizando la expresión.

$$S = \frac{2 \times I_{max} \times L}{\Delta V \times k} \quad (2.14)$$

$S$  = Sección de cable.

$I_{max}$  = Corriente máxima que puede generar en sistema fotovoltaico.

$L$  = longitud de cable.

$\Delta V$  = Caída de voltaje en el tramo.

$k$  = la conductividad eléctrica del cobre.

Siendo los conductores de cobre, se utilizará un valor de conductividad del material de  $56 \text{ m}/\Omega \times \text{mm}^2$ .

#### **Para la Casa de salud:**

Para el tramo **Panel-Regulador** esta dividido en dos partes, el tramo 1 corresponde a la distancia de conexión entre los paneles fotovoltaicos con el conector paralelo MC4 y el tramo 2 corresponde a la salida del conector paralelo MC4 al regulador.

$I_1$  = Corriente máxima del tramo 1

$$I_1 = 1,25 \times I_{sc} = 1,25 \times 13,86 \text{ A} = 17,33 \text{ A} \quad (2.15)$$

$V_{MaxRam}$  = Voltaje máxima de la rama 1

$$V_{MaxRam} = N_s \times V_{mp} = 3 \times 32,81 \text{ V} = 98,43 \text{ V} \quad (2.16)$$

Para la longitud tomamos en cuenta la distancia en del ultimo panel solar al conector paralelo MC4 ubicada en el centro de la estructura.

$L_1$  = Longitud en metros que corresponde al tramo 1

$$L_1 = 2 m + 1,134 m + 1,134 m + 1,134 m = 5,41 m \quad (2.17)$$

La sección del cable sera:

$$S_1 = \frac{2 \times 17,33 \times 4,41}{0,03 \times 98,43 \times 56} = 1,14 mm^2$$

Si bien la sección de cable calculada es de 1,14 mm<sup>2</sup>, se deberá optar por la medida normalizada inmediatamente superior a valor calculado. Esa sección normalizada es de 3,31 mm<sup>2</sup>, la cual corresponde al cable catalogado como número 12 AWG.

$I_2$  = Corriente máxima del tramo 2

$$I_2 = Np \times I_1 = 2 \times 17,33 A = 34,66 A \quad (2.18)$$

La longitud al conector paralelo MC4 ubicada en el centro de la estructura hasta el regulador.

$L_2$  = Longitud en metros que corresponde al tramo 2

$$L_2 = 8 m + 3 m = 11 m \quad (2.19)$$

La sección del cable sera:

$$S_2 = \frac{2 \times 34,66 \times 11}{0,03 \times 98,43 \times 56} = 4,62 mm^2$$

La sección transversal del conductor es de 4,62 mm<sup>2</sup>. Por lo tanto, se deberá optar por la medida normalizada inmediatamente superior a dicho valor calculado. Esa sección normalizada es de 5,26 mm<sup>2</sup>, la cual corresponde al cable catalogado como número 10 AWG.

Para el tramo **Regulador-Baterías**, la longitud de este segmento es de 1,5 metros y la corriente máxima que circula por el tramo es:

$$I_{reg-bat} = \frac{S_{sis}}{V_{sist}} \quad (2.20)$$

$I_{reg-bat}$  = La corriente máxima que circula en el tramo del regulador a las baterías.

$S_{sis}$  = Potencia del sistema solar.

$V_{sist}$  = Voltaje del sistema.

$$I_{bat-invr} = \frac{2640 W}{48 V} = 55 A$$

La sección del cable sera:

$$S_3 = \frac{2 \times 55 \times 1,5}{0,03 \times 60 \times 56} = 1,63 \text{ mm}^2$$

Debido a que la sección del cable es pequeña y circula una corriente de 55 amperios por este tramo. Se utilizará un cable numero 6 AWG de 13,30 mm<sup>2</sup> de sección transversal.

Para el tramo **Baterías-Inversor**, dado que todos los componentes se encuentran alojados en un único gabinete, la longitud de este segmento de cableado es de 1,5 metros. Debido a esta distancia, la caída de voltaje a lo largo del cable es despreciable. Y la corriente máxima que circula por el tramo es:

$$I_{bat-inv} = 1,25 \times \frac{S_{inv}}{V_{sist}} \quad (2.21)$$

$I_{bat-inv}$  = La corriente máxima que circula en el tramo de las baterías al inversor.

$S_{inv}$  = Potencia del inversor.

$V_{sist}$  = Voltaje del sistema.

$$I_{bat-inv} = 1,25 \times \frac{2000 \text{ W}}{48 \text{ V}} = 52,8 \text{ A}$$

Para este tramo se puede optar por un conductor de 13,30 mm<sup>2</sup> de sección transversal, A cual corresponde al cable número 6 AWG que admite una capacidad de 55 amperios.

**Tabla 2.9:** Conductores para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud.

Tramos	Corriente máxima (A)	Sección comercial elegida	AWG
Paneles - MC4	17,33 A	3,31 mm <sup>2</sup>	12
MC4 - Regulador	34,36 A	5,26 mm <sup>2</sup>	10
Regulador - Baterías	55,00 A	13,30 mm <sup>2</sup>	6
Baterías - Inversor	52,80 A	13,30 mm <sup>2</sup>	6
Inversor - Carga	25,00 A	5,26 mm <sup>2</sup>	10

**Para el sistema de telecomunicaciones:**

Para el tramo **Panel-Regulador**, la longitud de este segmento es de 8 metros y la corriente máxima que circula por él es de 17,3 amperios. En consecuencia, se deberá seleccionar un cable cuya sección transversal permita transportar 17,3 amperios en esa distancia determinada, entonces la sección del cable sera:

$$S = \frac{2 \times 17,33 \times 8}{1,45 \times 56} = 3,01 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor necesaria para el trayecto que comunica el sistema fotovoltaico con el regulador es de  $3,01 \text{ mm}^2$ . Por lo tanto, se deberá optar por la medida normalizada. Esa sección normalizada es de  $3,31 \text{ mm}^2$ , la cual corresponde al cable catalogado como número 12 AWG.

Para el tramo **Regulador-Baterías**, la longitud de este segmento es de 1,5 metros, la caída de voltaje a lo largo del cable es despreciable. Por lo tanto, la selección del conductor se basa únicamente en la corriente máxima de 25 amperios que circulará por este tramo. En consecuencia, se utilizará un cable número 10 AWG de  $5,26 \text{ mm}^2$  de sección transversal.

Para el tramo **Baterías-Inversor**, los componentes se encuentran en un único gabinete, la longitud de este tramo es de 1,5 metros. Debido a esta reducida distancia, la caída de voltaje a lo largo del mismo se puede considerar despreciable.

$$I_{bat-invr} = \frac{250 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 20,83 \text{ A}$$

Considerando además un factor de seguridad del 25%, la corriente máxima de diseño para este segmento de 1,5 metros asciende a 26,04 amperios

$$I_{max} = 26,04 \text{ A}$$

Para este tramo se puede optar por un conductor de  $5,25 \text{ mm}^2$  de sección transversal, a cual corresponde al cable número 10 AWG que admite una capacidad de 30 amperios.

**Tabla 2.10:** Conductores para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones.

Tramos	Corriente máxima (A)	Sección comercial elegida	AWG
Paneles - Regulador	17,33 A	$3,31 \text{ mm}^2$	12
Regulador - Baterías	25,00 A	$5,26 \text{ mm}^2$	10
Baterías - Inversor	26,04 A	$5,26 \text{ mm}^2$	10
Inversor - Carga	2,84 A	$2,08 \text{ mm}^2$	14

## 2.8 Protecciones para el sistema fotovoltaico

En instalaciones eléctricas, es crucial implementar sistemas de protección adecuados, tanto para salvaguardar la seguridad de las personas como para preservar los

componentes. Cada elemento requiere una solución específica, pero en general, los dispositivos que operan con corriente continua (DC) deben contar con fusibles, mientras que aquellos que trabajan con corriente alterna (AC) demandan disyuntores magnetotérmicos.

### 2.8.1 Protecciones DC para el sistema fotovoltaico de la Casa de salud

**Circuito Panel-Regulador**, la instalación eléctrica posee dos ramales que operan a 13,86 amperios cada uno. Al estar conectados en paralelo, la corriente total que debe soportar el sistema de protección será de 27,72 amperios. Por lo tanto, se recomienda utilizar un fusible o termomagnético con voltaje nominal superior a 98,43 voltios así como corriente nominal de 32 amperios.

**Circuito Regulador-Batería**, Debido a que el regulador MPPT de 150V/60A utilizado en este circuito opera a 55 amperios, se recomienda instalar un interruptor termomagnético de voltaje nominal superior a 48 voltios así como corriente nominal de 63 amperios. Este dispositivo de protección protegerá a los componentes ante posibles sobrecargas y cortocircuitos, asegurando la seguridad y el funcionamiento confiable de la instalación.

**Circuito Batería-Inversor**, la corriente de operación es de 41,67 amperios, se recomienda instalar un fusible de 50 amperios para su protección. Este elemento de seguridad resguardará a los componentes y a la instalación en general ante eventuales sobrecargas o fallas, garantizando un funcionamiento confiable y adaptado a la demanda de corriente requerida en esta sección.

Adicionalmente, se propone incorporar un **Dispositivo de Protección contra Sobrevoltajes** (DPS) para salvaguardar todo el sistema fotovoltaico de posibles descargas atmosféricas. Este elemento brindará una protección integral, resguardando al circuito completo, desde el regulador y la batería, hasta el inversor, ante cualquier tipo de sobre-intensidad. De esta manera, se asegurará la seguridad y el funcionamiento confiable de la instalación en su totalidad.

**Tabla 2.11:** Protecciones en DC requerida para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud.

<b>Tramos</b>	<b>Corriente máxima (A)</b>	<b>Protección requerida</b>
Paneles - Regulador	27,62 A	Breaker DC 32 A
Regulador - Baterías	55,00 A	Breaker DC 60 A
Baterías - Inversor	41,67 A	Breaker DC 50 A

### 2.8.2 Protecciones DC para el sistema fotovoltaico de telecomunicaciones

**Circuito panel-regulador**, dada la corriente de operación de 13,86 amperios del panel solar en esta instalación, se recomienda utilizar un dispositivo de protección adecuado. Este dispositivo, ya sea un fusible o termomagnético, deberá tener un voltaje nominal superior a 39,38 voltios, así como una corriente nominal de 16 amperios.

**Circuito Regulador-Batería**, Debido a que el regulador MPPT de 100V/20A utilizado en este circuito opera a 17,3 amperios, se recomienda instalar un interruptor termomagnético de voltaje nominal superior a 12 voltios y corriente nominal 20 amperios. Este dispositivo de protección protegerá a los componentes ante posibles sobrecargas y cortocircuitos.

**Circuito Batería-Inversor**, la corriente de operación es de 20,83 amperios, se recomienda instalar un fusible de 20 amperios para su protección. Este elemento de seguridad resguardará a los componentes y a la instalación en general ante eventuales sobrecargas o fallas, garantizando un funcionamiento confiable.

Al igual que el sistema fotovoltaico de la casa de salud, se propone incorporar un **Dispositivo de Protección contra Sobrevoltajes (DPS)** para salvaguardar todo el sistema fotovoltaico de posibles descargas atmosféricas.

**Tabla 2.12:** Protecciones en DC requerida para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones.

Tramos	Corriente máxima (A)	Protección requerida
Paneles - Regulador	13,86 A	Breaker DC 16 A
Regulador - Baterías	17,3 A	Breaker DC 20 A
Baterías - Inversor	20,83 A	Breaker DC 20 A

### 2.8.3 Protecciones AC para el sistema fotovoltaico de la Casa de salud

**Circuito Inversor-Carga**, para proteger el circuito que conecta el inversor con la carga de corriente alterna (CA), se debe seleccionar un termomagnético bipolar adecuado a la corriente máxima estimada. Dado que el inversor tiene una potencia de 2000W y una voltaje de salida de 110V, la corriente máxima sería de aproximadamente 18,18 amperios. Por lo tanto, el termomagnético bipolar con capacidad nominal entre 25 amperios proporcionará la protección necesaria contra sobrecargas y cortocircuitos en este tramo.

Adicionalmente, es fundamental incorporar un Dispositivo de Protección contra Sobrevoltajes (DPS) en esta sección del circuito de CA entre el inversor y la carga. Este DPS actuará como barrera de protección ante posibles picos de voltaje que puedan presentarse.

**Tabla 2.13:** Protecciones en AC requerida para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud.

Tramos	Corriente máxima (A)	Protección requerida
Inversor - Carga	18,18 A	Breaker AC 25 A, 2P

#### 2.8.4 Protecciones AC para el sistema fotovoltaico de telecomunicaciones

**Circuito Inversor-Carga**, para proteger el circuito que conecta el inversor con la carga de corriente alterna (CA), se debe seleccionar un termomagnético bipolar adecuado a la corriente máxima estimada. Dado que el inversor tiene una potencia de 250 vatios y una voltaje de salida de 110 voltios, la corriente máxima sería de aproximadamente 2,08 amperios. Por lo tanto, el termomagnético bipolar con corriente nominal entre 2 a 10 amperios proporcionará la protección necesaria contra sobrecargas y cortocircuitos en este tramo.

Adicionalmente, es fundamental incorporar un Dispositivo de Protección contra Sobrevoltajes (DPS) en esta sección del circuito de CA entre el inversor y la carga.

**Tabla 2.14:** Protecciones en AC requerida para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones.

Tramos	Corriente máxima (A)	Protección requerida
Inversor - Carga	2,27 A	Breaker AC 10 A, 2P

#### 2.8.5 Conexión a Tierra para Protección de Sobrevoltajes de los Sistemas fotovoltaicos

Dado que su sistema solar fotovoltaico se encuentra aislado de la red eléctrica, es crucial incluir una conexión a tierra para brindar protección contra sobrevoltajes. Esta conexión a tierra permitirá un correcto funcionamiento de los Dispositivos de Protección contra Sobrevoltajes (SPD) instaladas en sistema.

De acuerdo con los requisitos del Código Eléctrico Nacional (NEC) para instalaciones fotovoltaicas, se debe implementar un sistema de puesta a tierra. Este sistema deberá contar con una o más varillas de acero recubiertas de cobre (tipo Cooperwell) de un diámetro mínimo de 16 mm (5/8 pulgadas) y una longitud de 1,8 m, las cuales se enterrarán verticalmente en su totalidad. La conexión a tierra debe ser resistente a la corrosión, preferentemente de cobre o bronce, o bien mediante una unión termosoldada [16]. A este sistema de puesta a tierra común se deberán conectar los siguientes elementos del sistema fotovoltaico:

- El borne de tierra del inversor.
- Los Dispositivos de Protección contra Sobrevoltajes (SPD) del circuito de corriente alterna (CA).

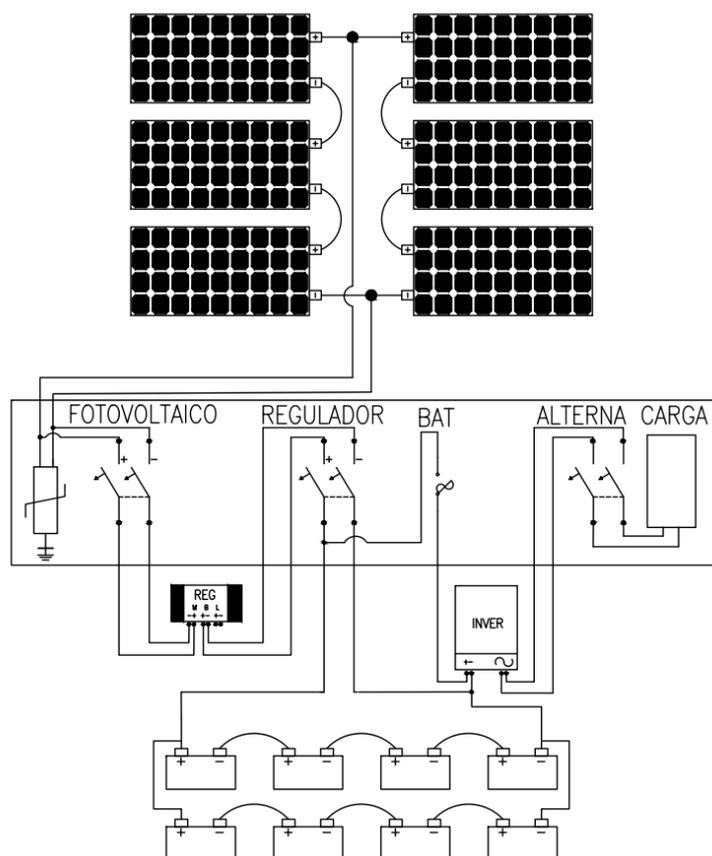
- Los Dispositivos de Protección contra Sobrevoltajes (SPD) del circuito de corriente continua (CC).

Se debe utilizar cables con un alto nivel de aislamiento para interconectar todos estos componentes con el sistema de tierra. Esto garantizará la efectividad y seguridad de la conexión a tierra.

## **2.9 Propuestas de requerimiento para el el sistema fotovoltaico**

De acuerdo con la información presentada en la Figura 2.11 y 2.12, a continuación, se detallan los equipos y materiales necesarios para la adquisición e implementación de los dos sistemas fotovoltaicos.

### **2.9.1 Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud**

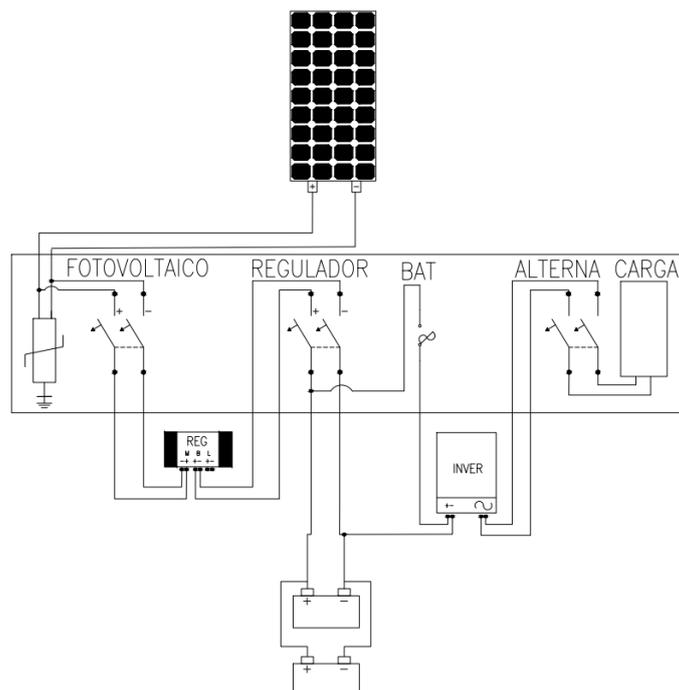


**Figura 2.11:** Propuesta del sistema fotovoltaico para la Casa de salud.

**Tabla 2.15:** Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de la Casa de Salud.

REQUERIMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES			
Ítem	Equipo	Descripción	Cantidad
1	Paneles	Modulo Solar, MONO CRYSTALINO, 440 Wp	6
2	Baterías	Batería de Gel 12 Vdc 200 Ah	8
3	Inversor	Inversor 48V - 3000W - 120V	1
4	Regulador	Smart Solar MPPT 150 V/60 A	1
5	Protección	Interruptor Termomagnético DC 2P 32 A 120 V	1
6	Protección	Interruptor Termomagnético DC 2P 55 o 63 A 48 V	1
7	Protección	Fusible DC 50 A 48 V	1
8	Protección	DC SURGE PROTECTOR 2P 20- 40KA 800VDC	1
9	Protección	Breaker AC 25 A, 2P	1
10	Protección	VARILLA COPPERWELD 5/8 X 1,8 m	1
11	Cable	Cable solar 12 AWG, Ultraflex THHN 600 V 90 °C	12 mtrs
12	Cable	Cable solar 10 AWG, Ultraflex THHN 600 V 90 °C	30 mtrs
13	Cable	Cable 6 AWG, Ultraflex THHN 600 V 90 °C	16 mtrs
14	Cable	Cable 10 AWG, Ultraflex THHN 600 V 90 °C	20 mtrs
15	Cable	Cable 10 AWG, THHN 600 V 90 °C	40 mtrs
16	Conector	Paralelo MC4 para cables calibre 6mm2 (PAR)	2
17	Conector	Conector MC4 para cables calibre 4mm2 (PAR)	2

## 2.9.2 Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de Telecomunicaciones



**Figura 2.12:** Propuesta del sistema fotovoltaico para el sistema de Telecomunicaciones.

**Tabla 2.16:** Requerimiento de equipos para el sistema fotovoltaico de la Telecomunicaciones.

REQUERIMIENTO DE EQUIPOS Y MATERIALES			
Ítem	Equipo	Descripción	Cantidad
1	Paneles	Modulo Solar, MONO CRYSTALINO, 440 Wp	1
2	Baterías	Batería de Gel 12 Vdc 150 Ah	2
3	Inversor	Inversor 12 V - 250 W - 120 V	1
4	Regulador	Smart Solar MPPT 100 V/20 A	1
5	Protección	Interruptor Termomagnético DC 2P 16 A 50 V	1
6	Protección	Interruptor Termomagnético DC 2P 20 A	1
7	Protección	Fusible o Termomagnético DC 2P 20 A	1
8	Protección	DC SURGE PROTECTOR 2P 20- 40KA 800VDC	1
9	Protección	Breaker AC 10 A, 2P	1
10	Protección	VARILLA COPPERWELD 5/8 X 1,8 m	1
11	Cable	Cable solar 12 AWG, Ultraflex THHN 600 V 90 °C	30 mtrs
12	Cable	Cable 10 AWG, Ultraflex THHN 600 V 90 °C	16 mtrs
13	Cable	Cable concentrico 3x12 AWG	60 mtrs
14	Cable	Cable 10 AWG, THHN 600 V 90 °C	40 mtrs
15	Conector	Conector MC4 para cables calibre 4mm2 (PAR)	2

Todos estos equipos y materiales deberán seleccionarse e instalarse cumpliendo con las especificaciones técnicas y los códigos de seguridad y normativas vigentes, para garantizar el correcto funcionamiento y la protección de ambos sistemas fotovoltaicos.

## CAPÍTULO 3

### Implementación de los Sistema Fotovoltaicos

#### 3.1 Logística del Proyecto

La logística para la implementación del proyecto se enmarca en el proceso integral de planificación, coordinación y control de los recursos, equipos y materiales necesarios para la ejecución exitosa del mismo.

##### 3.1.1 Planificación del Proyecto

El proceso de planificación implica realizar la organización y coordinación de todos los materiales y herramientas necesarias para llevar a cabo la implementación de manera rápida.

En la primera etapa de este proceso, se debe realizar la adquisición de los materiales a través de proveedores o contratistas, quienes serán los responsables de brindar la información técnica relevante al cliente.

Los proveedores tendrán la tarea de suministrar los componentes necesarios, tales como paneles solares, baterías y estructuras de soporte, de acuerdo a las especificaciones técnicas requeridas.

En la siguiente fase, la gestión del transporte de los materiales se convierte en un elemento necesario para garantizar la entrega segura y delicada de los paneles, baterías y estructuras hasta el sitio de instalación.

Finalmente, la instalación de los sistemas fotovoltaicos en la comunidad amazónica representa el paso primordial para la puesta en servicio de estos equipos, los cuales tendrán la función de abastecer de energía eléctrica a dicha comunidad de manera sostenible.

### 3.1.2 Transporte de Componentes

Para el transporte de las placas solares, baterías y otros materiales necesarios para la instalación se contrato un bus y una avioneta con las dimensiones necesarias para llevar de forma segura los materiales sin sufrir ningún daño durante los trayectos.



**Figura 3.1:** Transporte utilizado en el proyecto

## 3.2 Implementación de los sistemas

Para una correcta instalación de nuestros sistemas fotovoltaicos se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

### 3.2.1 Análisis de sitio para colocar los Módulos Solares

Para la instalación de los módulos solares tanto para la casa de salud como para el sistema de telecomunicaciones se seleccionó un sitio específico donde no hay obstrucciones que puedan generar sombras sobre los paneles. Este emplazamiento permite que los módulos capturen la radiación solar de manera óptima a lo largo del día.

Una vez seleccionado las áreas requeridas para nuestro sistemas, se llevó a cabo una limpieza de las misma. Se retiró todo el material de desecho, escombros y vegetación presente, dejando los espacios completamente despejados y preparados para la siguiente etapa del proceso.



**Figura 3.2:** Selección de espacios para la instalación de los sistemas fotovoltaicos.

### 3.2.2 Montaje de los Módulos Solares

#### 3.2.2.1 Preparación de las bases de cimentación

Con el terreno debidamente acondicionado, se realizaron las perforaciones necesarias en el terreno para crear las bases de cimentación. Para el sistema de la casa de salud, se efectuaron tres perforaciones cuadradas de 40 centímetros de lado y 60 centímetros de profundidad como se muestran en la figura 3.3. Por otro lado, para el sistema de telecomunicaciones, se efectuó una sola perforación con las mismas dimensiones. Estas excavaciones sirvieron de asiento sólido para el posterior emplazamiento de las diferentes estructuras para los sistemas fotovoltaicos.



**Figura 3.3:** Perforaciones para las bases de las estructuras.

#### 3.2.2.2 Hormigonado de las bases

Luego de colocar las zapatas, se procedió con el hormigonado de las bases que darían soporte a los módulos solares, tanto para la casa de salud como para el sistema de telecomunicaciones como se muestran en la figura 3.4.



**Figura 3.4:** Hormigonado de las bases para las estructuras.

### 3.2.2.3 Montaje de los soportes en las bases

Tras el fraguado adecuado del hormigón vertido, se procedió con el ensamblaje de los soportes metálicas que habrían de soportar los módulos fotovoltaicos. Para ello utilizamos tornillos y tuercas para fijar las estructuras a la altura de dos metros respecto al suelo con una inclinación de 15 grados, tal como se muestra en la figura 3.5.



**Figura 3.5:** Soportes para los módulos fotovoltaicos.

### 3.2.2.4 Montaje de los módulos solares en los soportes

Una vez fijado los soportes, procedemos a colocar los módulos solares sobre la estructura, tal como se muestra en la figura 3.6. Para el sistema de la casa de salud se instalaron seis paneles solares, mientras que para el sistema de telecomunicaciones se utilizó un único panel solar. Para asegurar los módulos a la estructura se emplearon diversos elementos de fijación, como abrazaderas, tornillos, tuercas, arandelas de presión, uniones y sujetadores laterales de paneles solares.



**Figura 3.6:** Módulos solares sobre la estructura.

### 3.2.3 Montaje de baterías, regulador de carga e inversores

#### 3.2.3.1 Armado de los soportes para las baterías

Tras haber identificado los espacios adecuados para el emplazamiento de los bancos de baterías, se dio inicio a la instalación de las estructuras de apoyo necesarias para estos sistemas de almacenamiento energético, tanto para la casa de salud como para los equipos de telecomunicaciones. Este paso fundamental sienta las bases físicas para el posterior montaje y conexión de los bancos de baterías en ambos proyectos, tal como se puede observar en la Figura 3.7.



**Figura 3.7:** Estructuras para el bancos de baterías.

#### 3.2.3.2 Montaje de las baterías en los soportes

Luego de instalar las estructura de soporte, se procedió al montaje de los bancos de baterías. Para el sistema de la casa de salud se utilizaron ocho baterías de 12 voltios y 200 amperios-hora. Mientras que para el sistema de telecomunicaciones se emplearon dos baterías de 12 voltios y 150 amperios-hora, tal como se muestra en la figura correspondiente 3.8.



**Figura 3.8:** Bancos de baterías para los sistemas fotovoltaicos.

### 3.2.3.3 Montaje de los Gabinetes eléctricos

Como siguiente paso, se instalaron los gabinetes destinados a alojar los equipos electrónicos de los sistemas fotovoltaicos, tal como se ilustra en la Figura 3.9. Estos gabinetes proporcionan el espacio adecuado y las condiciones ambientales requeridas para resguardar los componentes.



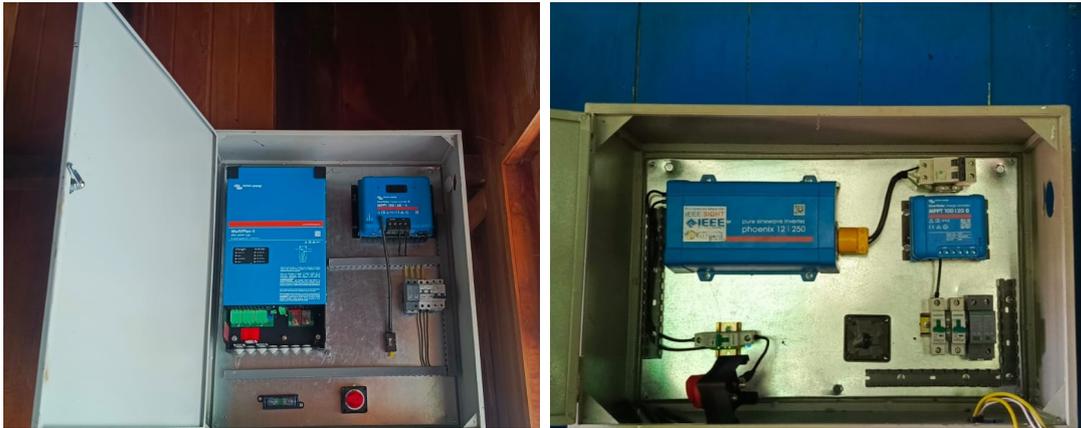
**Figura 3.9:** Gabinete de Protecciones y Equipos.

### 3.2.3.4 Montaje de los equipos y protecciones en el Gabinete

Una vez instalados los gabinetes, se ubicaron los componentes fundamentales del sistema fotovoltaico, incluyendo inversores y reguladores de carga. Asimismo, se implementaron las protecciones eléctricas requeridas, como fusibles, interruptores termomagnéticos y descargadores de sobrevoltaje. Esto garantizó que todos los equipos quedaran debidamente alojados y resguardados contra posibles sobrecargas, descargas atmosféricas u otras condiciones adversas, tal como se muestra en la Figura 3.10.

La correcta instalación y distribución de estos elementos importantes dentro de los gabinetes fue esencial para asegurar la seguridad y el funcionamiento óptimo del sistema fotovoltaico. Cada uno de los componentes desempeña un papel fundamental

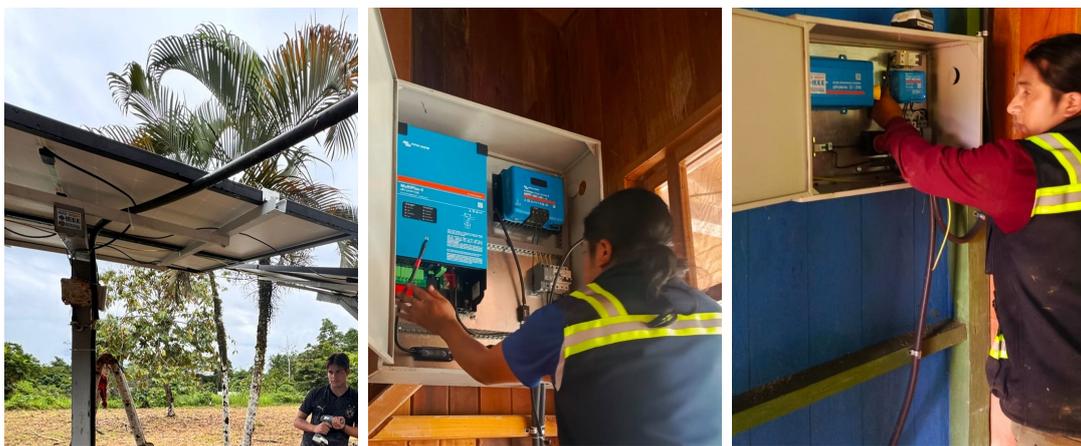
en la generación, regulación, conversión y protección de la energía eléctrica, lo que garantiza una durabilidad de los equipos.



**Figura 3.10:** Equipos y protecciones para los sistemas fotovoltaicos.

### 3.2.4 Cableado y Conexiones

El cableado eléctrico de los sistemas fotovoltaicos se llevó a cabo utilizando conductores de cobre con máximo aislamiento. Estos cables se tendieron a través de manguera plástica politubo y canaletas, las cuales fueron empotradas en las estructuras de soporte y en los gabinetes de protección, siguiendo siempre el trayecto más directo entre los distintos componentes. Con el fin de facilitar las uniones y derivaciones a lo largo del recorrido, se instalaron estratégicamente cajas de conexión. Adicionalmente, todos los empalmes se realizaron mediante conectores tipo MC4, asegurando así una conexión eléctrica segura y resistente a la intemperie.



**Figura 3.11:** Cableado eléctrico y colocación de manguera politubo.

#### 3.2.4.1 Conexión de los módulos solares

Una vez concluida la instalación de las mangueras de canalización y el tendido del cableado eléctrico, se procedió a realizar las conexiones requeridas. Para el sistema de la casa de salud, los tres módulos solares se interconectaron en serie y luego se acoplaron los dos ramales en paralelo. En cuanto al sistema de telecomunicaciones,

al contar con un único panel solar, éste se conectó directamente al regulador, como se aprecia en la Figura 3.12. Adicionalmente, se verificó que todos los elementos de sujeción, como soportes y abrazaderas, quedarán firmemente apretados y asegurados, evitando así posibles movimientos de los paneles durante su funcionamiento.



**Figura 3.12:** Conexión de los módulos solares.

De esta manera, se logró una integración eléctrica adecuada y segura entre los distintos componentes de los sistemas fotovoltaicos instalados.

#### 3.2.4.2 Conexión de toma a tierra

Para la puesta a tierra del sistema fotovoltaico, se instaló una varilla copperweld de 5/8 pulgadas y 1,8 metros de longitud, la cual se enterró a una profundidad de 1,7 metros en el suelo. Desde esta varilla, se tendió un conductor de cobre que se conectó a los marcos metálicos de los módulos solares, las estructuras de soporte, los gabinetes y demás partes metálicas del sistema, tal como se muestra en la Figura 3.13.



**Figura 3.13:** Conexión de toma a tierra.

#### 3.2.4.3 Conexión de los elementos de protecciones y desconexión

Completada la instalación del cableado y con todos los conductores debidamente organizados dentro del gabinete eléctrico, se procedió a realizar las conexiones pertinentes. Cada uno de los cables fue conectado de forma individual a su respectivo

dispositivo de protección, tales como interruptores termomagnéticos, fusibles y un descargador de sobretensiones (DPS), garantizando así la adecuada protección de los diferentes circuitos.



**Figura 3.14:** Conexión de los equipos y protecciones.

Posteriormente, estos circuitos protegidos se acoplaron a los equipos correspondientes, tales como inversores, reguladores y cargas, finalizando de esta manera el proceso de la instalación eléctrica del sistema. Este trabajo aseguró el correcto funcionamiento de todos los componentes, preparando el sistema para su puesta en marcha y operación segura.

### **3.2.5 Ejecución y puesta en marcha los sistemas fotovoltaicos.**

Ya finalizada la respectiva instalación física de los componentes del sistema fotovoltaico, se procede con la ejecución de las siguientes actividades para la puesta en marcha.

#### **3.2.5.1 Verificación de conexiones**

Para asegurar el correcto funcionamiento de este sistema fotovoltaico, se llevó a cabo una revisión detallada de las conexiones. Se verificó que todos los elementos, desde los paneles solares hasta los dispositivos de protección y puesta a tierra, estuvieran debidamente interconectados conforme al diagrama esquemático correspondiente.

#### **3.2.5.2 Energización progresiva**

Primero, se activaron los circuitos del banco de baterías hacia el regulador de carga, verificando que no hubiera cortocircuitos. Luego, se energizaron los circuitos de los módulos solares hacia el regulador de carga. Finalmente, se energizaron los circuitos desde las baterías hasta el inversor. Por último, se activaron los circuitos de corriente alterna, ajustando los parámetros del inversor como se muestra en la figura 3.15.



**Figura 3.15:** Equipos energizados para los sistemas fotovoltaicos .

### 3.2.5.3 Configuración final

Se ajustaron los valores de voltaje, corriente y potencia del regulador de carga utilizando la aplicación VictronConnect, la cual funciona por Bluetooth. Esta herramienta permite observar el estado de carga de los bancos de baterías, así como los niveles de voltaje y corrientes del sistema fotovoltaico, como se muestra en la Figura 3.16.



**Figura 3.16:** Potencia, voltaje, corriente del sistema y estado de carga del banco de baterías en el día 1 y el día 3.

La potencia generada por los módulos solares fue de 184 W, con un voltaje de 74,56 V y una corriente de 2,5 A. Estos valores se obtuvieron en un día lluvioso y nublado, sin presencia de sol, observándose que el banco de baterías estaba en un estado de carga inicial.

Al día siguiente, se pudo ver que el banco de baterías alcanzó el estado de carga de flotación, es decir, estaba cargado al 100%. La potencia generada disminuyó, ya que en la casa de salud no se encontraban conectadas todas las cargas, mientras que

para el sistema de telecomunicaciones solo se energizó el sistema, sin haber instalado aún las cargas para las que fue diseñado.

#### 3.2.5.4 Conexión de la carga al inversor

Una vez configurado todo el equipo del sistema fotovoltaico, se procedió a conectar los cables que alimentarán el tablero de distribución de la casa de salud. Este sistema había sido alimentado anteriormente por un generador, por lo que se desconectaron las acometidas que provenían de dicho generador. A continuación, se conectó la nueva acometida que viene de la protección a la salida del inversor.

Finalmente, se verificó el voltaje que el inversor estaba proporcionando, confirmando que se mantenían los 120 Voltios necesarios para alimentar adecuadamente las cargas de la casa de salud.



**Figura 3.17:** Conexión la nueva acometida al tablero de distribución.

#### 3.2.5.5 Puesta en servicio

Finalmente, tras conectar la carga del centro de salud, queda pendiente la instalación de los demás componentes. El centro de salud está dividido en dos partes, y solo una de ellas ha sido energizada. Esto se debe a que no se consideró el cable necesario para la acometida de la segunda casa, debido al desconocimiento de la ubicación de cargas dispersas en el terreno del centro de salud. La distancia entre los departamentos de las casas de salud es de 40 metros.

Por otra parte, se autorizó la puesta en servicio del sistema fotovoltaico de la casa de salud. Además, se probó el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico para telecomunicaciones, pero no se conectó carga debido a que los equipos de telecomunicaciones, como las antenas, aún no han sido configurados. La conexión de esta carga quedará pendiente hasta que se realice la configuración de los equipos de telecomunicaciones.

## CAPÍTULO 4

### Plan de mantenimiento sistemático para el usuario de sistemas fotovoltaicos aislados en la comunidad Wasakentsa

Un plan de mantenimiento es un documento estratégico que describe las acciones necesarias para asegurar que los equipos y sistemas operen de manera efectiva y eficiente a lo largo de su vida útil. Estos planes detallan las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo que se deben realizar, con el objetivo de minimizar el tiempo de inactividad, prolongar la vida útil de los equipos y reducir costos operativos. En el oriente

Los planes de mantenimiento se utilizan identificando todos los equipos y sistemas que requieren mantenimiento, definiendo las tareas específicas de inspección, calibración y demás que deben realizarse para cada equipo, estableciendo cronogramas con la frecuencia y fechas de ejecución de dichas tareas para llevar a cabo cada actividad, y llevando un registro detallado de todas las actividades de mantenimiento realizadas, lo que permite el seguimiento y ajuste del plan según sea necesario.

- **Prevención de Fallos:** Los planes de mantenimiento ayudan a prevenir fallos inesperados mediante la programación de inspecciones y reparaciones regulares.
- **Optimización de Recursos:** Permiten una mejor asignación de recursos, tanto humanos como materiales, para realizar tareas de mantenimiento de manera eficiente.
- **Seguridad:** Mejoran la seguridad de las operaciones al asegurar que los equipos estén en buenas condiciones de funcionamiento.
- **Cumplimiento Normativo:** Ayudan a cumplir con regulaciones y estándares de la industria que exigen ciertos niveles de mantenimiento.
- **Reducción de Costos:** Al prevenir averías graves y costosas reparaciones de emergencia, se reducen los costos operativos y de mantenimiento a largo plazo.

#### **Norma ISO 13381**

La norma ISO 13381, titulada "*Monitoreo y diagnóstico del estado de las máquinas - Directrices para la aplicación del pronóstico de la salud de la máquina*",

proporciona directrices para la implementación de sistemas de pronóstico que evalúan la condición de las máquinas y predicen su desempeño futuro. Esta norma es fundamental para el mantenimiento predictivo, ya que se enfoca en la identificación de posibles fallos antes de que ocurran, permitiendo acciones proactivas.

El mantenimiento de los sistemas solares puede beneficiarse de la aplicación de los principios y enfoques establecidos en la norma ISO 13381 - Condition monitoring and diagnostics of machines. Esta norma se centra en la implementación de técnicas y herramientas predictivas que permiten predecir el rendimiento y la fiabilidad de los sistemas y componentes. Su aplicación proporciona un marco estructurado para evaluar la condición de los sistemas, pronosticar fallas y tomar decisiones basadas en estos pronósticos [17].



**Figura 4.1:** Procedimiento de la norma ISO 13381 para el mantenimiento

Dentro del contexto del mantenimiento de sistemas solares, se sugiere considerar las siguientes partes de la norma ISO 13381:

1. Directrices generales: Esta parte establece una visión general y un enfoque general para el monitoreo y diagnóstico de la condición de los sistemas y componentes. Puede servir como marco de referencia para establecer los objetivos y los enfoques generales del plan de mantenimiento.
2. Enfoques basados en el rendimiento: Esta parte se enfoca en técnicas y metodologías que evalúan el rendimiento de los sistemas y componentes para identificar posibles problemas o desviaciones. Los enfoques basados en el rendimiento pueden ser utilizados para evaluar el rendimiento energético de los paneles solares y otros componentes clave del sistema fotovoltaico, y tomar acciones correctivas en caso de bajo rendimiento.
3. Técnicas de utilización de la vida útil basadas en ciclos: Esta parte se centra en el uso de datos y análisis para evaluar la vida útil restante de los sistemas y componentes. Las técnicas de utilización de la vida útil basadas en ciclos pueden aplicarse para determinar la vida útil estimada de las baterías y otros elementos del sistema, y programar su reemplazo o mantenimiento preventivo en función de estos pronósticos.
4. Modelos de predicción de la vida útil restante: Esta parte proporciona modelos y métodos para predecir la vida útil restante de los sistemas y componentes. Los modelos de predicción de la vida útil restante pueden ser utilizados para estimar la vida útil restante de los paneles solares, las baterías y otros componentes clave, lo que permite programar el reemplazo o la renovación de manera proactiva.

La incorporación de los principios y enfoques de la norma ISO 13381 en el plan de mantenimiento sistemático contribuirá a mejorar la eficacia y confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos aislados en el centro de salud de la comunidad amazónica Wasakentsa [18].

El mantenimiento adecuado de los sistemas solares en un centro de salud es fundamental para garantizar la disponibilidad continua de energía y la operación óptima de equipos médicos críticos, iluminación y otros dispositivos necesarios. Además de asegurar la fiabilidad y la disponibilidad, un mantenimiento eficiente de los sistemas solares ayuda a reducir costos a largo plazo al minimizar reparaciones no planificadas y maximizar la vida útil de los componentes del sistema. También promueve la sostenibilidad ambiental al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de fuentes de energía convencionales. Además, el mantenimiento adecuado garantiza la seguridad de los equipos y del personal del centro de salud, así como el cumplimiento de las normas y regulaciones de seguridad eléctrica aplicables.

#### Aplicación de la ISO 13381 al Mantenimiento

- **Monitoreo Continuo:** Implementar sistemas de monitoreo continuo que recolecten datos en tiempo real sobre el estado de los equipos, como vibraciones, temperaturas, niveles de ruido, etc.
- **Análisis de Datos:** Utilizar herramientas y técnicas avanzadas de análisis de datos para interpretar la información recolectada y detectar patrones que indiquen posibles problemas futuros.
- **Pronóstico de Fallos:** Desarrollar modelos predictivos que puedan anticipar fallos basados en el análisis de datos históricos y en tiempo real.
- **Toma de Decisiones Informada:** Utilizar la información obtenida del monitoreo y análisis para tomar decisiones informadas sobre cuándo realizar mantenimiento, qué piezas reemplazar y qué acciones tomar para prevenir fallos.
- **Mejora Continua:** Revisar y actualizar regularmente los sistemas de pronóstico y los planes de mantenimiento basados en los resultados obtenidos y en la evolución de la tecnología y las técnicas de mantenimiento.

## **4.1 Manual de Mantenimiento para Sistemas Fotovoltaicos Aislados de la comunidad amazónica Wasakentsa**

### **4.1.1 Alcance de la guía**

El presente manual tiene como propósito proporcionar una guía sistemática para el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos autónomos. Describe en detalle las tareas de mantenimiento preventivo, los procedimientos de emergencia, los requisitos de puesta en marcha y desconexión, así como las consideraciones de seguridad y salud

necesarias para este tipo de sistemas de generación eléctrica renovable. El alcance de este documento abarca los siguientes aspectos fundamentales:

1. Mantenimiento preventivo: Inspección y limpieza periódica de los paneles solares, baterías, controladores de carga y demás componentes; verificación y ajuste de parámetros operativos; reemplazo planificado de piezas según sus ciclos de vida útil.
2. Mantenimiento predictivo: Monitoreo y análisis del desempeño del sistema para identificar problemas o deterioro; pruebas de diagnóstico y mediciones de eficiencia energética; planificación de intervenciones antes de que ocurran fallas.
3. Requisitos de puesta en marcha y desconexión: Pasos detallados para la instalación, configuración y puesta en funcionamiento inicial; procedimientos para la desconexión temporal o definitiva, incluyendo el manejo seguro de los componentes.
4. Consideraciones de seguridad y salud: Medidas de prevención de riesgos eléctricos, mecánicos y ambientales; equipo de protección personal (EPP) requerido; capacitación del personal en prácticas seguras de trabajo.

Este manual aborda de manera sistemática y científica todos los aspectos clave del mantenimiento de sistemas fotovoltaicos aislados, con el objetivo de garantizar su óptimo funcionamiento, prolongar su vida útil y asegurar la seguridad de los operadores.

#### **4.1.2 Descripción del proyecto**

El proyecto consiste en el mantenimiento eléctrico de un sistema fotovoltaico autónomo instalado en un centro de salud rural de interés social ubicado en la comunidad amazónica de Wasakentsa, provincia de Morona Santiago. El sistema de generación eléctrica aislada ha sido diseñado para satisfacer las necesidades energéticas del centro de salud.

#### **4.1.3 Especificaciones del proyecto**

El trabajo se enfoca en garantizar la operatividad y el correcto funcionamiento continuo del sistema fotovoltaico, a fin de asegurar un suministro eléctrico estable y fiable para el centro de salud. El diseño del sistema fotovoltaico ha sido elaborado considerando las condiciones de uso anuales, de modo que pueda operar de manera eficiente y sostenible a lo largo del tiempo.

#### 4.1.4 Consideración de Seguridad y salud en el mantenimiento

En toda actividad eléctrica se debe tener en cuenta la seguridad personal antes de todo por ello en el siguiente inciso tenemos en cuenta la consideración de la seguridad y la salud en el mantenimiento [19].

1. **Evaluación de Riesgos** Antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento, es fundamental llevar a cabo una evaluación de riesgos completa. Esta evaluación debe identificar posibles peligros, como la exposición a la electricidad, trabajos en altura, manipulación de herramientas y equipos pesados, y condiciones climáticas adversas.
2. **Formación y Capacitación** Los técnicos de mantenimiento deben recibir formación adecuada sobre los procedimientos de seguridad específicos para trabajar con sistemas fotovoltaicos. Esto incluye:

Conocimiento de los peligros eléctricos y cómo trabajar de manera segura con sistemas eléctricos. Técnicas de trabajo seguro en altura, incluido el uso correcto de arneses y otros equipos de protección personal (EPP). Procedimientos de primeros auxilios y respuesta a emergencias.

3. **Uso de Equipos de Protección Personal (EPP)** Es obligatorio que todos los trabajadores utilicen el EPP adecuado para la tarea específica. Esto puede incluir:

Cascos de seguridad para protegerse de posibles caídas de objetos. Guantes aislantes para trabajos eléctricos. Ropa y calzado de seguridad adecuados. Arnese y sistemas de anclaje para trabajos en altura. Gafas de protección para evitar daños por destellos o escombros.



Figura 4.2: Equipos de protección personal

4. **Desconexión y Bloqueo de Energía** Antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento, los sistemas fotovoltaicos deben ser desconectados y bloqueados para evitar la generación de electricidad. Este procedimiento, conocido

como "lockout/tagout", asegura que el sistema no pueda ser encendido accidentalmente mientras se realizan las reparaciones o el mantenimiento.

5. **Condiciones Meteorológicas** Los trabajos de mantenimiento en sistemas fotovoltaicos suelen realizarse al aire libre, por lo que es crucial tener en cuenta las condiciones meteorológicas. Evitar trabajos en condiciones de lluvia, tormentas eléctricas, o viento fuerte puede prevenir accidentes y mejorar la seguridad del personal.
6. **Inspección y Mantenimiento Regular** Realizar inspecciones periódicas de los equipos y sistemas de seguridad es esencial para identificar y corregir problemas antes de que se conviertan en riesgos graves. Esto incluye la revisión de las estructuras de soporte, conexiones eléctricas, y la integridad de los módulos fotovoltaicos.
7. **Seguridad Eléctrica** Dado que los sistemas fotovoltaicos generan electricidad, es crucial seguir estrictas normas de seguridad eléctrica. Esto incluye:

Uso de herramientas aisladas. Evitar el contacto directo con componentes energizados. Seguir los procedimientos adecuados para el manejo y desconexión de cables y conexiones eléctricas.

En los lugares donde estarán ubicadas las cajas de conexiones y baterías se debe tener en cuenta la siguiente señalética:

Peligro riesgo eléctrico: Esta señal nos advierte que la caja de conexiones si no la operamos con cuidado nos puede generar una descarga eléctrica, por lo que se debe utilizar los elementos de protección para el usuario como herramientas aisladas y guantes.



**Figura 4.3:** Riesgo eléctrico

8. **Planificación y Comunicación** Una planificación adecuada y una comunicación efectiva entre los miembros del equipo de mantenimiento son vitales para garantizar que todos estén al tanto de los procedimientos de seguridad y los riesgos potenciales. Las reuniones de seguridad antes de comenzar el trabajo pueden ayudar a identificar y mitigar riesgos.

#### 4.1.5 Plan de Mantenimiento

##### 4.1.5.1 Programa de mantenimiento preventivo

###### Paneles

**Actividad:** Limpieza

**Descripción:** La limpieza de los paneles solares es esencial para la generación de energía para el sistema que se está abasteciendo, la acumulación de suciedad y polvo en los módulos fotovoltaicos al igual que objetos que obstruyan la radiación directa sobre el panel como hojas, papel, ramas, hongos incluso animales sobre los módulos reducen drásticamente la generación de energía durante el día. Por ello es muy importante realizar las limpiezas correspondientes, ya que a largo es más económico y la eficiencia del módulo no se verá afectada por puntos calientes o pérdida total del panel por no realizar su mantenimiento respectivo.

En estos casos se debería realizar la limpieza de los paneles



**Figura 4.4:** Panel solar sucio por polvo



**Figura 4.5:** Panel solar sucio por excremento de aves



**Figura 4.6:** Panel solar obstaculizado por animales



**Figura 4.7:** Panel solar obstaculizado por ramas y sombra

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al mes en las horas de la mañana preferiblemente en las horas 06:00 hasta 7:30 am o 16:30 hasta 18:00 cuando haya poca radiación , ya que durante estas franjas horarias, las temperaturas suelen ser más suaves, lo cual facilita el trabajo y evita que los componentes se sobrecalienten, además la demanda energética es menor en las horas de la mañana y tarde-noche, lo que permite realizar el mantenimiento sin interrumpir el funcionamiento normal del equipo o sistema.

### **Procedimiento a seguir**

1. Verificar el estado del panel solar
  2. Desconectar la carga y asegurarse que el circuito esta desconectado del inversor antes de comenzar la limpieza
  3. No se debe colocar ninguna carga sobre los paneles solares
  4. Mojar el panel con agua limpia sin jabones ni aditivos
  5. Con un trapo mojado o un utensilio de limpieza de cerdas suaves (Esponjas, tela o algodón) proceder a limpiar toda el área de los paneles
  6. Con un trapo seco (preferiblemente de microfibra) secar todos los paneles solares sin dejar residuos de polvo o suciedad
  7. Verificar el estado del panel solar que quede sin rayaduras, ni rastros sobre el vidrio del panel.
- ¡¡ADVERTENCIA!! Nunca trate de limpiar suciedades en la cubierta del panel solar con objetos corto punzantes o de cerdas duras ya que la película de captación del modulo puede ser dañada.



**Figura 4.8:** Panel solar limpio

**Actividad:** Verificación de conexiones

**Descripción:** Observar que las conexiones de las terminales conectores MC4 puntas terminales o pernos estén bien ajustadas y que los conductores en exterior se encuentren en buenas condiciones para su operación.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar dos veces al año.



**Figura 4.9:** Revisión de las conexiones en los paneles solares por el técnico

**Actividad:** Verificación de estructura

**Descripción:** Verifique que el estado de la estructura se encuentre en buenas condiciones, revisar su rigidez y estado de la pintura antioxido. Además comprobar que los paneles estén bien sujetos a la estructura

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar dos veces al año.

### **Baterías**

Las baterías son el sistema de acumulación de energía, por lo que es la parte mas peligrosa de la instalación pero su mantenimiento no es complicado, ya que hay que tener en cuenta que solo se debe mantener un orden y limpieza del lugar de acumulación.

**Actividad:** Limpieza

**Descripción:** Mantener el lugar de ubicación de las baterías limpio y ordenado sin acumular cualquier tipo de objeto alrededor de las baterías

### **Consideraciones**

1. No dejar elementos encima de las baterías que puedan provocar fugas o cortocircuitos
2. Realizar una inspección visual de posibles deterioros en la estructura de soporte de las baterías durante una vez cada seis meses.
3. Utilizar constantemente las baterías del sistema para evitar el efecto "autodescarga", ya que una batería cargada que permanece inactiva puede ser nociva para el sistema.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar 4 veces al año.

**Actividad:** Observación de bornes

**Descripción:** Realizar la observación de los bornes de las baterías, en caso de sulfatación o suciedad realizar la limpieza con un trapo mojado de agua carbonatada hasta que el borne quede completamente limpio.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar 2 veces al año.

¡¡REGLA DE GRAN IMPORTANCIA!! Se debe revisar periódicamente los niveles de las baterías, revisar los ciclos de carga y voltaje proporcionado por el sistema de acumulación.



**Figura 4.10:** Baterías en el cuarto de almacenamiento

## **Inversor**

**Actividad:** Comprobación de conexiones

**Descripción:** Revisar si las conexiones del inversor están bien conectadas con tirones de poca fuerza. Los bornes y terminales que posean corrosión o estén flojos proceder a apretarlos con las debidas precauciones de seguridad.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

**Actividad:** Limpieza de disipadores

**Descripción:** Limpiar las entradas de aire del inversor por polvo.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

## **Regulador**

**Actividad:** Limpieza del regulador

**Descripción:** Mantener limpio el regulador por restos de polvo o insectos alojados.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

**Actividad:** Observación del regulador

**Descripción:** Observar que el regulador se mantenga en el lugar inicial de instalación y su posición sea la correcta, mantenerlo en un lugar limpio, seco y protegido de insectos y rayos solares. Si el regulador genera sonidos extraños contactar al personal especializado.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

**Actividad:** Verificación de conexiones

**Descripción:** Verificar que los cables conectados al regulador se encuentren bien sujetos.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

## **Cables**

**Actividad:** Verificación de aislamiento

**Descripción:** Observar los cables en toda la instalación y verificar que su aislamiento no se encuentre en buen estado.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

**Actividad:** Verificación de aislamiento

**Descripción:** Comprobar que los cables dentro de las mangueras se encuentren en perfecto estado, tener en cuenta la estanqueidad dentro de la manguera.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

## Protecciones

**Actividad:** Verificación de termomagnéticos, fusibles y switch

**Descripción:** Verificar el funcionamiento de los elementos de maniobra y mantenimiento como termomagnéticos.

La frecuencia de este mantenimiento se lo debe realizar una vez al año.

### 4.1.5.2 Programa de mantenimiento correctivo

#### Fallas típicas

Debido a las condiciones externas que están expuestos los paneles, reguladores, inversores, baterías y protecciones se puede tener fallas en diferentes aspectos:

#### Paneles

**Caso 1:** Rotura del vidrio del panel



**Figura 4.11:** Panel roto por caída de objetos

#### Procedimiento

1. Se debe desconectar el sistema fotovoltaico teniendo en cuenta las consideraciones en la sección de procedimientos para puesta en marcha y desconexión.
2. Proceder a desmontar el panel afectado.
3. Ajustar el nuevo panel de la misma potencia y asegurar su conexión con los conectores MC4.

## **Caso 2: Efecto sombra**

### **Procedimiento**

Revisar los objetos que provocan sombras puntuales sobre los paneles. para evitar un cambio de modulo eliminar lo que provoca la sombra en el panel como hojas, animales o ramas de arboles sobre los paneles dado el caso realizar los desbroces en los alrededores para evitar un cambio de paneles.



**Figura 4.12:** Efecto sombra sobre paneles solares

## **Baterías**

### **Caso 1: Daño por temperatura**

#### **Procedimiento**

En el caso de que la batería no funcione correctamente, se recomienda proceder a su reemplazo para evitar un desequilibrio en el sistema general. Si se determina que es necesario realizar este cambio, se deberá ubicar una nueva unidad que cumpla con las mismas especificaciones técnicas que la batería afectada. Es fundamental garantizar la compatibilidad entre los componentes para preservar la estabilidad y el rendimiento óptimo del sistema.

Por otra parte, resulta crítico prestar especial atención a las condiciones ambientales en el espacio donde se ubican las baterías. En este sentido, se destaca la importancia de asegurar una adecuada ventilación en dicha área. La temperatura ambiente puede tener un impacto significativo en el desempeño y la vida útil de las unidades de almacenamiento de energía. Por lo tanto, es recomendable implementar soluciones de climatización y manejo de aire que permitan mantener la temperatura en los rangos óptimos especificados por el fabricante.

## Cables y conexiones

Consideración de un conductor dañado que necesita cambio:



**Figura 4.13:** Cable con daños en su aislamiento por corte

En este caso el conductor al estar dañado su aislamiento se debe cambiar el tramo afectado para evitar fugas en el sistema. Esto se debe remediar lo más pronto posible, ya que es fundamental para el transporte de la energía hacia el sistema. Un conductor con aislamiento dañado puede causar fugas en el sistema, lo cual afectaría el transporte de energía. Por lo tanto, es esencial cambiar el tramo afectado tan pronto como sea posible.

## Estructura de paneles y Baterías

Revisar posibles daños que puedan aparecer en las estructuras de soporte y elementos de anclaje de las cajas de conexión. Verificar la estabilidad de la estructura de soporte, como corrosión y oxidación.

## Manual presentado al usuario

El manual del usuario entregado poco después de la instalación del sistema fotovoltaico se centra en detallar las labores de mantenimiento que los clientes pueden ejecutar por sí mismos. Esta aproximación responde a la preocupación de la organización proveedora por ofrecer a los usuarios instrucciones claras y accesibles sobre dichas tareas, con el objetivo de preservar el rendimiento del sistema a lo largo de su ciclo de vida.

En consecuencia, el manual elaborado tiene un enfoque didáctico, empleando lenguaje sencillo, ilustraciones claras y pasos detallados con la finalidad de facilitar la comprensión por parte de los usuarios sobre cómo llevar a cabo correctamente las actividades de mantenimiento autorizadas. Capacitar a los clientes en estas labores persigue asegurar el funcionamiento confiable y óptimo del sistema a lo largo de su vida útil.

Este enfoque está diseñado para dotar a los usuarios de las herramientas necesarias para mantener el producto en condiciones óptimas. Paralelamente, contribuye a mitigar las consultas y problemáticas que podrían surgir si los clientes carecieran de instrucciones claras, lo cual pondría en riesgo la confiabilidad del sistema como se indica en la figura 4.14.

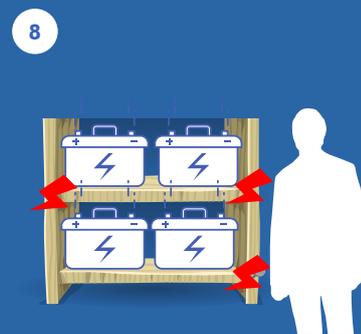


## IMPORTANTE

Realizar la limpieza una vez al mes en horas de la mañana preferiblemente en horario de 06:00 hasta 7:30 am o 16:30 hasta 18:00

No se debe colocar ninguna carga sobre los paneles solares

## CONSIDERACIONES PARA BATERÍAS



**RECUERDE MANTENER UN LUGAR LIMPIO Y SEGURO PARA EVITAR ACCIDENTES O LESIONES**

Figura 4.14: Manual de Mantenimiento del usuario

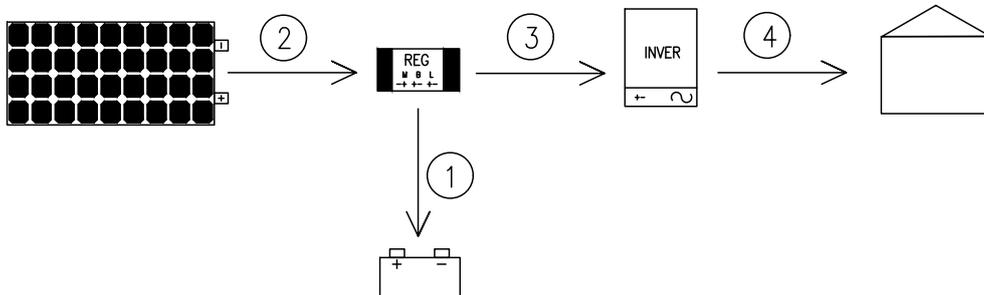
## Procedimientos para puesta en marcha y desconexión

### Procedimiento para conexión

Antes de proceder a la conexión del sistema fotovoltaico, es importante verificar que todos los equipos eléctricos y electrónicos se encuentren apagados. Esto ayudará a prevenir posibles daños por sobretensiones o picos de corriente durante el proceso de conexión.

Una vez hecho esto, sigue estos pasos para conectar el sistema de manera segura:

1. Comienza por conectar el termomagnético que protege la batería o banco de baterías del sistema. Esto asegurará que exista una fuente de alimentación disponible para el resto de los componentes.
2. Identifica el termomagnético que protege los paneles solares y procede a conectarlo. Esto permitirá que la energía generada por los módulos fotovoltaicos fluya hacia el resto del sistema.
3. Finalmente, el termomagnético general que controla la salida de 120V de corriente alterna. Conecta este dispositivo de protección para integrar el sistema al suministro eléctrico principal. Si el inversor tiene un interruptor propio, asegúrate de conectarlo después de haber conectado el interruptor general.



**Figura 4.15:** Procedimiento de conexión

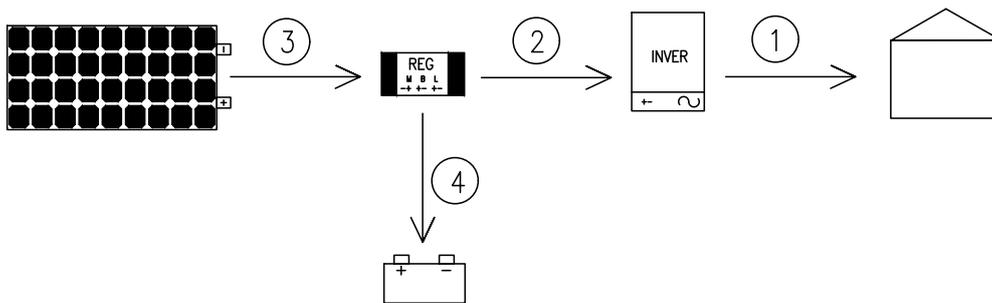
Es importante seguir estos pasos en el orden indicado para garantizar una conexión completa y segura del sistema fotovoltaico. Recuerda que la manipulación de instalaciones eléctricas debe ser realizada por personal capacitado y con el equipo de protección adecuado.

### Procedimiento para desconexión

Antes de proceder a la desconexión del sistema fotovoltaico, es importante tomar algunas precauciones de seguridad. En primer lugar, asegúrate de que has apagado todos los equipos eléctricos y electrónicos conectados al sistema. Esto ayudará a evitar posibles daños por sobretensiones o picos de corriente durante el proceso de desconexión.

Una vez hecho esto, sigue estos pasos para desconectar el sistema de manera segura:

- Localiza el termomagnético general que controla la salida de 120V de corriente alterna. Desconecta este dispositivo de protección para aislar el sistema del suministro eléctrico principal. Si el inversor tiene un interruptor propio, asegúrate de desconectarlo también después de haber desconectado el interruptor general.
- Identifica el termomagnético que protege los paneles solares y procede a desconectarlo. Esto ayudará a evitar que se generen corrientes de retorno peligrosas en los módulos fotovoltaicos.
- Por último, el termomagnético que protege la batería o banco de baterías del sistema y desconéctalo. De esta manera, se garantiza que no queda ninguna fuente de alimentación conectada al sistema.



**Figura 4.16:** Proceso de desconexión

Es importante seguir estos pasos en el orden indicado para asegurar una desconexión completa y segura del sistema fotovoltaico. Recuerda que la manipulación de instalaciones eléctricas debe ser realizada por personal capacitado y con el equipo de protección adecuado.

## CAPÍTULO 5

### Análisis Económico e Impacto ambiental de la Implementación del Sistema Fotovoltaico

#### 5.1 Análisis de Costos del Sistema Fotovoltaico Aislado

##### 5.1.1 Costos de Inversión Inicial

Si bien la implementación de centrales eléctricas de energías renovables puede ser muy costosa, especialmente para países en vías de desarrollo como Ecuador, el sistema fotovoltaico aislado representa la mejor solución para comunidades remotas que carecen de acceso a la red eléctrica. Un claro ejemplo es la comunidad de Wasakentsa, ubicada en la Amazonia ecuatoriana, donde este tipo de sistema fotovoltaico autosuficiente es la alternativa más viable y sostenible para satisfacer sus necesidades energéticas.

Teniendo en cuenta esto, implementar un sistema de energía renovable, como un sistema fotovoltaico, suele requerir una inversión inicial elevada. Además, el transporte de los equipos necesarios hasta comunidades remotas o de difícil acceso puede ser un desafío logístico importante. Sin embargo, este tipo de soluciones energéticas tiene la gran ventaja de ser amigables con el medio ambiente, sin generar contaminación ni impactos negativos.

Wasakentsa se encuentra en una ubicación remota, a la que se debe viajar desde Cuenca hasta la ciudad de Macas, y luego tomar una avioneta para llegar al destino final. Este proceso de transporte de los equipos necesarios representa un reto logístico significativo, que encarece y complica aún más la instalación del sistema.

Sumado a esto, la inversión inicial requerida para este tipo de solución energética es elevada, lo cual puede representar un obstáculo importante para la comunidad, que probablemente tenga recursos limitados. A continuación, analizaremos el aspecto económico de todo el proyecto, evaluando si es rentable:

##### **Gastos principales:**

Los gastos principales entre los dos sistemas fotovoltaico instalados suman un total de 9649,87 USD. Los gastos individuales par cada sistema se puede observar en las tablas 5.1 y 5.2.

**Tabla 5.1:** Gastos principales para el sistema la Casa de Salud.

Can	Equipo	V. Unit (\$)	V. Unit +IVA(\$)	V. Total +IVA(\$)
6	Panel solar Jinko 440 W	157,87	181,34	1088,04
1	Inversor Victron 48/3000/35-50 120 V	1374,98	1581,23	1581,23
1	Regulador Victron MPPT 150/60	599,29	689,18	689,18
8	Baterías, Ritar Power 12Vdc 200Ah	490,00	563,50	4508,00
1	Interface MK3-USB(VE. Bus to USB)	100,80	115,92	115,92
1	Battery switch ON/OFF 275 A	49,61	57,05	57,05
			<b>Subtotal</b>	<b>8039,42</b>

**Tabla 5.2:** Gastos principales para el sistema de Telecomunicaciones.

Can	Equipo	V. Unit (\$)	V. Unit +IVA(\$)	V. Total +IVA(\$)
1	Panel solar Jinko 440 W	157,87	181,34	181,34
1	Phoemix Inverter Victron 12/250 120V	150,82	173,44	173,44
1	Regulador Victron MPPT 100/20	149,63	172,07	172,07
2	Baterías, Ritar Power 12Vdc 150Ah	392,77	451,69	903,37
1	VE. Direct Bluetooth Smart dongle	107,10	123,17	123,17
1	Battery switch ON/OFF 275 A	49,61	57,05	57,05
			<b>Subtotal</b>	<b>1610,45</b>

### Gastos Secundarios:

Los gastos secundarios entre los dos sistemas fotovoltaico instalados suman un total de 935,76 USD. los gastos individuales par cada sistema se puede observar en las tablas 5.3 y 5.4.

**Tabla 5.3:** Gastos secundarios les para el sistema la Casa de Salud.

Can	Descripción	V. Total (\$)	V. Total +IVA(\$)
4	Protecciones DC: Termomagnéticos, fusibles y DPS	168,23	193,46
1	Protecciones AC: Termomagnéticos	6,04	6,95
136	Metros cable máximo aislamiento: 12, 10 y 6 AWG	112,16	128,98
1	Gabinete Metálico de 70×80×23	55	55
6	Conector MC4 para cable 6mm2(PAR)	30,24	34,78
4	Paralelo MC4 para cables 6mm2(PAR)	61,96	71,25
14	Sujetadores de paneles	28	28
10	Uniones de panel	20	20
		<b>Subtotal</b>	<b>538,42</b>

**Tabla 5.4:** Gastos Secundarios para el sistema de Telecomunicaciones.

Can	Descripción	V. Total (\$)	V. Total +IVA(\$)
4	Protecciones DC: Termomagnéticos y DPS	80,48	113,47
1	Protecciones AC: Termomagnéticos	7,99	9,19
104	Metros cable máximo aislamiento: 12, 10 y 6 AWG	71,53	82,26
60	Metros cable Concéntrico: 3X12 AWG	105,42	121,23
1	Gabinete Metálico 60×40×23	40	40
4	Conector MC4 para cable 6mm2(PAR)	20,16	23,18
4	Sujetadores de paneles	8	8
<b>Subtotal</b>		<b>397,33</b>	<b>397,33</b>

**Gastos Terciarios:****Tabla 5.5:** Gastos terciarios para los sistemas fotovoltaicos.

Descripción	V. Total (\$)	V. Total +IVA(\$)
Terminales para cables y borneras tipo tornillo tierra	50,15	57,67
Materiales para estructura y pintura de paneles	182,88	210,31
Pernos para estructura de paneles	29,50	29,50
Mano de obra de la elaboración de estructuras de paneles	445,00	445,00
Gastos varios para la implementación de los sistemas	182,82	210,31
Transporte de técnicos y materiales	4500,00	4500,00
<b>Subtotal</b>	<b>5652,64</b>	<b>5652,64</b>

Como se puede observar en la tabla 5.5, los costos terciarios del proyecto ascienden a 5652,64 USD. Estos costos incluyen los materiales necesarios para la implementación, mantenimiento y transporte de los equipos hasta la comunidad. Cabe destacar que el transporte es el rubro más costoso debido a la dificultad de acceso a la comunidad de Wasakentsa.

**Gasto Total:****Tabla 5.6:** Gasto total invertidos en los sistemas fotovoltaicos.

Gastos principales para el sistema la Casa de Salud	8039,42 USD
Gastos principales para el sistema de Telecomunicaciones	1610,45 USD
Gastos secundarios les para el sistema la Casa de Salud	538,42 USD
Gastos Secundarios para el sistema de Telecomunicaciones	397,33 USD
Gastos terciarios para los sistemas fotovoltaicos	5652,64 USD
<b>Total</b>	<b>16238,26 USD</b>

El costo total del proyecto de implementación de un sistema fotovoltaico aislado para el centro de salud y el sistema de telecomunicaciones en la comunidad de Wasakentsa asciende a 16238,26 USD, un monto muy elevado. Esto se debe principalmente a la ubicación del proyecto.

La comunidad se encuentra en una zona de difícil acceso, requiriendo el uso de avioneta para el transporte, lo que representa 4500,00 USD el rubro más costoso. Si bien la inversión es significativa, este proyecto representa un gran aporte para la comunidad al brindar al centro de salud y al sistema de telecomunicaciones acceso a energía limpia y sostenible.

**Tabla 5.7:** Análisis si existiera una red eléctrica en la zona

PVP kW EERCS	\$ 0,10	USD
Consumo diario	8,74	Kw
Tiempo de uso	25	Años
PVP diario	\$ 0,87	USD/kW día
TOTAL 25 años	\$ 7.975,25	USD

En la tabla 5.7, se evidencia el calculo del valor total que tendría de pagar la comunidad al cabo de 25 años si tuviera una red eléctrica en la zona.

**Tabla 5.8:** Análisis económico con paneles solares a 25 años

Pvp kW panel	\$ 0,10	USD
Consumo diario	8,74	Kw
Tiempo de uso	25	Años
PVP diario	\$ 0,87	USD/kW día
TOTAL 25 años	\$ 7.975,25	USD
Reposición de baterías cada 5 años	\$29.245,48	USD
TOTAL sistema	\$37.220,73	USD

Comparando el valor que se pagaría la inversión de los paneles solares en la comunidad se evalúa utilizando el precio comercial por kW/h en Ecuador, lo cual el sistema no soportaría ya que su tiempo de vida útil es aproximado de 25 años desde que se implementan los sistemas fotovoltaicos

**Tabla 5.9:** Tiempo de recuperación de la inversión

Pvp kW panel	\$ 0,10	USD
Consumo diario	8,74	Kw
Tiempo de uso	51	Años
PVP diario	\$ 0,87	USD/kW día
TOTAL 25 años	\$16.269,51	USD
Reposición de baterías cada 5 años	\$29.245,48	USD
TOTAL SISTEMA	\$45.514,99	USD

Luego de este análisis de costos se tiene que analizar si la comunidad va a estar en perdida o en ganancia respecto al precio final del sistema.

Diferencia entre la empresa eléctrica y los paneles solares

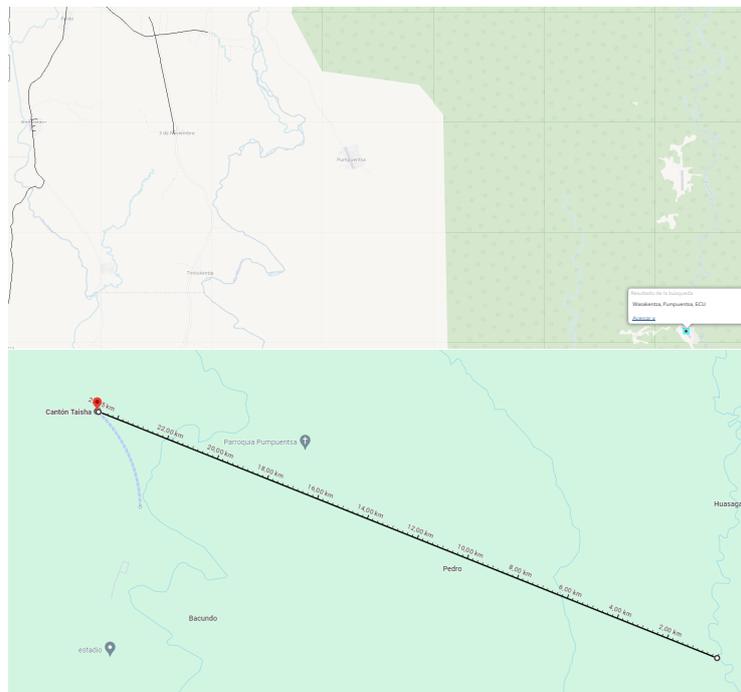
$$\text{Diferencia} = \$45.514,99 - \$7.975,25 = \$37.539,74$$

Realizando el análisis de precios en comparación al costo que tendría el kW en las zonas urbanas y rurales con acceso a redes de la empresa eléctrica relacionado con el costo del sistema para la comunidad representa un gran déficit por la diferencia de precios que tendría que pagar la comunidad por el valor de generación de los paneles lo cual es el doble de precio y la inversión se recuperaría en 51 años por lo cual no es rentable, ya que a los 25 años se cumple la vida útil de los paneles.

## 5.2 Impacto ambiental

La energía solar fotovoltaica se ha erigido como una alternativa prometedora para la generación de energía limpia y sostenible, atrayendo la atención de gobiernos, industrias y particulares en todo el mundo. Sin embargo, al igual que cualquier tecnología, su implementación no está exenta de potenciales impactos ambientales que deben ser cuidadosamente considerados y mitigados. Para mitigar estos impactos ambientales, es fundamental adoptar un enfoque integral que involucre a los fabricantes, los desarrolladores de proyectos, los gobiernos y las comunidades locales. Esto incluye la implementación de regulaciones, incentivos y programas de investigación y desarrollo que fomenten prácticas más sostenibles en toda la cadena de valor de la energía solar fotovoltaica.

El ultimo punto de conexión mas cercano a la comunidad Wasakentsa en media tensión se encuentra en la comunidad 3 de Noviembre lo que implica una distancia de 25 km en línea recta hasta el destino, lo que implicaría la construcción de la red y destrucción 25 hectáreas de bosques nativos de la zona.



**Figura 5.1:** Visualización del ultimo punto de red en la 3 de Noviembre-Taisha mediante GIS de la EERCS y Google Maps

### 5.2.1 Ventajas medioambientales

Uno de los principales beneficios de la energía solar fotovoltaica radica en su naturaleza renovable. A diferencia de los combustibles fósiles, la energía solar es un recurso inagotable que no se agota con el uso, lo que contribuye a la seguridad energética y a la lucha contra el cambio climático.

Además, la energía solar fotovoltaica no produce emisiones directas de gases de efecto invernadero durante su funcionamiento, a diferencia de las centrales de energía que dependen de la combustión de combustibles fósiles. Esto la convierte en una tecnología clave para mitigar el calentamiento global y sus efectos adversos.

La comunidad amazónica Wasakentsa, al enfrentarse a la posibilidad de que una empresa eléctrica implemente una red tradicional en su territorio, puede encontrar en la alternativa de los paneles solares una solución más beneficiosa y acorde a sus necesidades.

Algunos de los principales beneficios de optar por paneles solares en lugar de una red eléctrica convencional en la comunidad Wasakentsa serían:

- La preservación del medio ambiente, ya que la instalación de paneles solares tendría un impacto mínimo en la deforestación y la fragmentación de los ecosistemas de la Amazonía, en comparación con la construcción de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas.
- El respeto a la cultura y autonomía de la comunidad, pues los paneles solares pueden integrarse de manera más armónica con los modos de vida tradicionales de Wasakentsa, fortaleciendo su autonomía energética y evitando conflictos con sus prácticas ancestrales.
- La seguridad energética y resiliencia, ya que los sistemas solares distribuidos brindarían a la comunidad un acceso más autónomo y resiliente a la energía, sin depender de una red centralizada vulnerable a interrupciones.
- Las oportunidades de desarrollo sostenible, ya que la implementación de paneles solares podría generar empleos y oportunidades económicas locales en torno a su instalación, mantenimiento y gestión, contribuyendo al desarrollo sostenible de la comunidad.
- La reducción de la huella de carbono, dado que la energía solar es una fuente renovable y libre de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuiría a mitigar el impacto climático en la región.

La opción de paneles solares en la comunidad Wasakentsa se perfila como una alternativa más respetuosa con el medio ambiente, la cultura y la autonomía de la comunidad, al tiempo que ofrece oportunidades de desarrollo sostenible, seguridad energética y mitigación del cambio climático.

### 5.2.2 Impactos causa-efecto

Si bien la energía solar fotovoltaica ofrece ventajas ambientales significativas, es importante reconocer que su ciclo de vida completo también conlleva potenciales impactos que deben ser abordados tal como:

- Impactos durante la fabricación

La fabricación de paneles fotovoltaicos implica la extracción y procesamiento de materias primas como silicio, aluminio, cobre y otros elementos. Este proceso puede generar impactos ambientales como la contaminación del agua y el aire, la emisión de gases de efecto invernadero y la generación de residuos peligrosos. La huella de carbono de un panel solar varía según la tecnología utilizada, pero se estima en un promedio de 30 a 50 kg de CO<sub>2</sub>eq por kWp [20].

- Impactos durante la instalación

La instalación de sistemas fotovoltaicos generalmente requiere la preparación del terreno, lo que puede conllevar la deforestación, la erosión del suelo y la alteración del hábitat natural [21]. Además, la construcción de infraestructura asociada, como torres de alta voltaje y subestaciones eléctricas, puede generar impactos visuales y paisajísticos.

- Impactos durante la operación

La operación de los sistemas fotovoltaicos no genera emisiones directas al aire ni contamina el agua. Sin embargo, existen potenciales impactos indirectos relacionados con el uso de la tierra y la posible degradación del suelo [22]. Además, la reflexión de la luz solar por los paneles puede afectar la fotosíntesis de las plantas circundantes [23].

- Impactos al final de la vida útil

Al final de su vida útil, que se estima en alrededor de 25 a 30 años, los paneles fotovoltaicos deben ser desechados adecuadamente. Algunos materiales, como el silicio, pueden ser reciclados, mientras que otros, como el telurio y el plomo, pueden representar un riesgo para el medio ambiente si no se manejan adecuadamente.

Si bien una solución a optar sería la construcción de una red eléctrica hasta el punto de consumo, lo que implicaría la Amazonía virgen, esto plantea una serie de desafíos ambientales y sociales que deben ser cuidadosamente analizados. La Amazonía, el pulmón verde del planeta, es un ecosistema frágil y de una importancia fundamental para la salud del planeta.

Sin embargo, las presiones del desarrollo económico y la creciente demanda de energía amenazan constantemente la integridad de este invaluable bioma. Para lo cual se considera importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La construcción de líneas de transmisión eléctrica y subestaciones en la Amazonía virgen requeriría la remoción de grandes extensiones de vegetación nativa, lo que conlleva a la pérdida de hábitats y biodiversidad.

La deforestación provocada por el proyecto amenazaría a numerosas especies de flora y fauna únicas de la región, algunas de ellas aún no descubiertas. Este impacto podría ser particularmente grave en áreas protegidas y reservas indígenas, donde la integridad ecológica es crucial.

- La instalación de la red eléctrica dividiría los extensos bosques de la Amazonia en fragmentos más pequeños, lo que dificultaría el movimiento y la supervivencia de muchas especies. Esta fragmentación podría alterar los ciclos hidrológicos, los flujos de nutrientes y los procesos de polinización, afectando el equilibrio y la resiliencia de los ecosistemas.
- La presencia de la infraestructura eléctrica en la Amazonía podría generar tensiones y conflictos con las comunidades indígenas y tradicionales que habitan la región. Estos grupos podrían ver afectados sus modos de vida, sus prácticas culturales y su acceso a los recursos naturales. Es fundamental respetar los derechos y la autonomía de estas comunidades, así como involucrarlas en el proceso de planificación y toma de decisiones.
- La deforestación asociada a la construcción de la red eléctrica liberaría grandes cantidades de carbono almacenado en los bosques, lo que contribuiría al cambio climático. Además, la extracción y el transporte de los materiales necesarios para el proyecto también generarían emisiones que deben ser consideradas.
- La instalación y el mantenimiento de la red eléctrica podrían conllevar riesgos de derrames de sustancias peligrosas o accidentes que podrían contaminar el suelo, el agua y el aire. Estos incidentes podrían tener consecuencias devastadoras para los frágiles ecosistemas amazónicos.

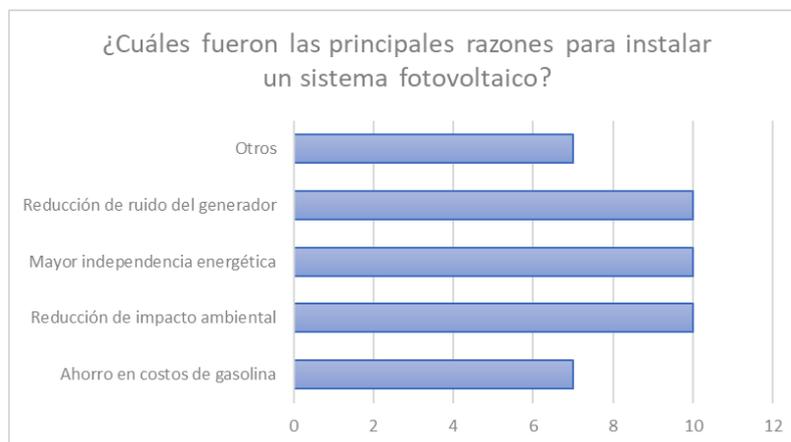
### 5.2.3 Medidas de prevención

Es fundamental adoptar estrategias para minimizar los impactos ambientales de los sistemas fotovoltaicos a lo largo de su ciclo de vida. Un análisis completo del ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos revela que, si bien la fase de operación presenta un bajo impacto ambiental, las fases de fabricación y desmantelamiento deben ser cuidadosamente gestionadas para minimizar su huella ecológica [24]. La investigación y el desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles para la fabricación y el reciclaje de paneles fotovoltaicos son fundamentales para reducir aún más su impacto ambiental.

Al educar a los usuarios sobre prácticas de ahorro energético y la importancia del mantenimiento preventivo, se promueve un uso más eficiente y sostenible de los recursos disponibles. Esto no solo contribuye a la reducción de costos operativos, sino que también alinea el uso de la electricidad con principios ambientales, reduciendo la huella de carbono de la comunidad. Esto incluye:

1. Mejorar la eficiencia de los paneles: Reducir la cantidad de materiales necesarios para generar la misma cantidad de energía.
2. Utilizar materiales reciclados y de bajo impacto: Disminuir la huella ambiental de la fabricación.
3. Implementar prácticas de instalación sostenibles: Minimizar la alteración del paisaje y el ecosistema.
4. Desarrollar mejores programas de reciclaje y reutilización: Evitar la disposición final inadecuada de los paneles al final de su vida útil.
5. Desarrollo de mantenimientos enfocados a largo plazo: Enfocar mantenimientos de los sistemas fotovoltaicos ayuda que los paneles y baterías alargando su vida útil.

Como medida de prevención la comunidad Wasakentsa a implementado los sistemas fotovoltaicos para no depender del uso del generador, por ello en una encuesta realizada a los habitantes del lugar se evidencio que al verse afectada la naturaleza se utiliza nuevas tecnologías como la fotovoltaica para disminuir el la contaminación auditiva como la quema de combustibles para uso eléctrico.



**Figura 5.2:** Pregunta de carácter ambiental aplicada

La energía solar fotovoltaica presenta un gran potencial para convertirse en una fuente de energía limpia y sostenible, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático y la diversificación de la matriz energética. Sin embargo, es crucial considerar y mitigar los potenciales impactos ambientales asociados a su ciclo de vida completo.

La investigación, el desarrollo de tecnologías más eficientes, la implementación de prácticas sostenibles y la planificación cuidadosa son elementos clave para garantizar que la energía solar fotovoltaica se desarrolle de manera responsable y armoniosa con el medio ambiente. Solo así podremos aprovechar al máximo los beneficios de esta tecnología sin comprometer la salud de nuestro planeta.

## CAPÍTULO 6

### Conclusiones y Recomendaciones

#### 6.1 Conclusiones

- La implementación efectiva del sistema fotovoltaico aislado para el centro de salud y el sistema de telecomunicaciones en la comunidad de Wasakentsa representa una solución clave para mejorar significativamente la calidad y continuidad de los servicios básicos en esta zona remota. Al proporcionar energía limpia y confiable, se logra un impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes, facilitando el acceso a atención médica, comunicaciones y otros servicios esenciales.
- El diseño e implementación de los sistemas fotovoltaicos aislado para el centro de salud y el sistema de telecomunicaciones en Wasakentsa ha sido fundamental para garantizar un servicio continuo y de calidad a la comunidad. El dimensionamiento adecuado de los componentes del sistema, en función del consumo eléctrico, la radiación solar y las condiciones climáticas locales, ha asegurado que el sistema opere de manera eficiente y confiable.
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos implementados en la comunidad Wasakentsa es un aspecto fundamental hacia la mejora de la confiabilidad y sostenibilidad del sistema eléctrico local. Este manual no solo proporciona directrices claras y prácticas para el mantenimiento regular y preventivo de los equipos, sino que también capacita a los miembros de la comunidad en prácticas adecuadas y responsables para el uso de la electricidad.
- El impacto ambiental positivo de esta implementación es significativo. Un sistema eléctrico bien mantenido y operado de manera eficiente reduce el consumo innecesario de energía, lo que a su vez disminuye la demanda de generación eléctrica. Esto puede resultar en una menor dependencia de fuentes de energía no renovables, disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes asociados con la producción de electricidad. Además, al prolongar la vida útil de los equipos, se reduce la generación de residuos electrónicos y la necesidad de fabricar nuevos dispositivos, contribuyendo así a la conservación de recursos naturales.

- El uso generalizado de sistemas fotovoltaicos ha tenido un impacto positivo y significativo en la calidad de vida de los miembros de la comunidad Wasakentsa. Al disponer de una fuente de energía eléctrica confiable y asequible, los residentes han podido mejorar sus condiciones de vida, aumentar el acceso a servicios básicos y desarrollar actividades productivas de manera más eficiente. Además, la adopción de paneles solares ha representado un beneficio económico tangible para la comunidad, al reducir considerablemente los gastos en combustibles fósiles, como la gasolina, que tradicionalmente se utilizaban para generar energía. Esta disminución en los costos de energía ha liberado recursos que pueden ser reinvertidos en otras áreas de desarrollo comunitario.
- La adopción de sistemas fotovoltaicos no solo ha mejorado la calidad de vida y reducido los costos energéticos, sino que también ha influido positivamente en la percepción sociocultural sobre las energías renovables. Los encuestados muestran una actitud muy positiva hacia el uso de fuentes de energía sostenibles, lo que sugiere una creciente conciencia y valoración de prácticas ecológicas dentro de la comunidad. Esta tendencia refleja un cambio cultural hacia una mayor responsabilidad ambiental y una preferencia por tecnologías que minimicen el impacto ecológico.
- Los miembros de la comunidad Wasakentsa expresan una visión muy optimista y entusiasta sobre el futuro de los sistemas fotovoltaicos en su región. Consideran que esta tecnología tiene un potencial de crecimiento y adopción aún mayor en los próximos años, lo que les genera expectativas positivas y un interés continuo en el desarrollo de energías renovables. Esta percepción refleja la confianza que la comunidad ha depositado en la energía solar, reconociéndola como una solución eficaz, sostenible y alineada con sus necesidades y aspiraciones de desarrollo. La proyección de un futuro prometedor para la energía solar en Wasakentsa sugiere que esta comunidad seguirá fortaleciendo su compromiso y liderazgo en la transición hacia fuentes de energía limpias y renovables.

## 6.2 Recomendaciones

- Para asegurar la continuidad y maximizar los beneficios a largo plazo de este proyecto, es fundamental mantener un programa de mantenimiento y monitoreo sistemático del sistema fotovoltaico. Esto requerirá capacitar a miembros de la comunidad de Wasakentsa en las tareas de gestión y cuidado del sistema.
- Este modelo de solución energética fotovoltaica aislada puede y debe ser replicado en otras comunidades que carecen de acceso a la red eléctrica convencional. Sin embargo, es importante adaptar el diseño a las necesidades y particularidades de cada localidad, considerando factores como la demanda, los recursos solares disponibles y las condiciones geográficas y climáticas específicas.

- Los encuestados que ya utilizan paneles solares deberían continuar manteniendo adecuadamente sus sistemas para maximizar su eficiencia y longevidad. Esto incluye limpieza regular de los paneles y revisión técnica periódica para asegurar que todo funcione correctamente y así continuar disfrutando de los beneficios económicos y ambientales.
- Para aquellos que han encontrado dificultades con la instalación o el mantenimiento, sería beneficioso participar en programas de capacitación que ofrezcan conocimientos sobre la operación y el cuidado de sistemas fotovoltaicos. Esto no solo podría ayudar a resolver problemas técnicos, sino también a optimizar el rendimiento del sistema.
- Dado que todos los encuestados recomendarían la instalación de sistemas fotovoltaicos y ven un futuro prometedor para esta tecnología, es recomendable que se conviertan en embajadores de la energía solar en su comunidad. Esto puede incluir compartir experiencias positivas, beneficios y conocimientos con amigos, familiares y vecinos, fomentando una mayor adopción y un impacto positivo en el medio ambiente local.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA. Guía técnica de aplicación: Instalaciones interiores o receptoras. prescripciones generales, septiembre 2003. Revisión 1.
- [2] Anne Labouret and Michel Viloz. *ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA: MANUAL PRÁCTICO*. Mundi-Prensa Libros, S.A, 2008.
- [3] Paul Stackhouse. NASA POWER — Data Access Viewer.
- [4] Amador Martínez Jiménez. *Dimensionado de Instalaciones solares fotovoltaicas*. COFIS, 2012.
- [5] Willam Bladimir Cevallos Cevallos, Dennys Franklin Rojas Llangarí, Luis Eduardo Dominguez Ruiz, Brandon Alexis Cruz Manyá, and Mishell Esthefanny Yerovi Juiña. La energía fotovoltaica. *Contribuciones a la Economía*, 17(1):12, 2019.
- [6] Marta Jofra Pep Puig. Energía solar fotovoltaica. *Fundación de la energía*, 26, 2007.
- [7] Hector L Gasquet. *Conversión de la luz solar en Energía Eléctrica: Manual Teórico y Práctico sobre los sistemas Fotovoltaicos*. Gasquet, 1997.
- [8] Gloria Liliana Ossa. Estudio técnico y financiero para la implementación de sistemas solares de alumbrado público en las zonas comunes de conjuntos residenciales. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 2016.
- [9] FUNIBER. *Energía solar fotovoltaica*. Barcelona, 2015.
- [10] Ángel Javier González López. Estudio de la integración de la energía solar fotovoltaica en la edificación y su aplicación para el diseño de una instalación de 53kwp. B.S. thesis, Universidad Politecnica Salesiana, 2009.
- [11] Aarón Sánchez Juárez, Dalia Martínez, Rocío de la Luz Santos Escobar, and José Ortega Cruz Magdaleno. Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar. *Recuperado de <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf>*, 2017.
- [12] Larry Wilsón Rivera Sosa. *Diseño de un sistema fotovoltaico en el bloque A para la Universidad Piloto de Colombia seccional del Alto Magdalena sede Girardot Cundinamarca con base en análisis descriptivo de la infraestructura año 2020*. PhD thesis, Universidad Piloto de Colombia, 2020.

- [13] Tomás Rodríguez Villanueva. *Energía Solar Fotovoltaica: Manual del Arquitecto*. Graficas Celarayn, 2004.
- [14] Sanchez Delver Reinoso, William. Diseño e implementación de electrificación en un sector rural del golfo de guayaquil mediante sistema fotovoltaico aislado. Master's thesis, Universidad Politecnica Salesiana, 2022.
- [15] V Karthikeyan, S Rajasekar, Vipin Das, P Karuppanan, and Asheesh Kumar Singh. Grid-connected and off-grid solar photovoltaic system. *Smart energy grid design for island countries: Challenges and opportunities*, pages 125–157, 2017.
- [16] Nec 2011 - cap 14 - energías renovables. <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/nec2011-cap-14-energ3adas-renovables-021412.pdf>, 2011. Accessed: 2024-06-27.
- [17] Diego A. Tobon-Mejia, Kamal Medjaher, and Nouredine Zerhouni. The iso 13381-1 standard's failure prognostics process through an example. In *2010 Prognostics and System Health Management Conference*, pages 1–12, 2010.
- [18] Erkki Jantunen, Urko Zurutuza, Luis Lino Ferreira, and Pal Varga. Optimising maintenance: What are the expectations for cyber physical systems. In *2016 3rd International Workshop on Emerging Ideas and Trends in Engineering of Cyber-Physical Systems (EITEC)*, pages 53–58. IEEE, 2016.
- [19] Maria Elvira de las Heras León. *MF0837<sub>2</sub> : Mantenimientodeinstalacionessolaresfotovoltaicas*. PODiPrint, 2017.
- [20] M Raugei, A Tecchio, and M Fantozzi. Life cycle assessment. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 2012.
- [21] J Hern'andez-Diagones, JF Huertas-P'erez, and G Bocchini. Environmental impact of photovoltaic solar energy: Life cycle assessment. *Renewable Energy*, 82:144–152, 2015.
- [22] A Parra and G Munuera. Land-use requirements for large-scale photovoltaic energy in spain. *Energy Policy*, 38(11):7213–7220, 2010.
- [23] B Franco, A Gasparatos, M Paneta, and J Reyes. Photovoltaic modules' impact on biodiversity: A review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 17(6):585–595, 2009.
- [24] D. Peng, Q. Sun, and W. Hong. Review on life cycle assessment of solar photovoltaic cells and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19:192–202, 2013.

## ANEXOS



### Encuesta de satisfacción de sistemas fotovoltaicos en la comunidad amazónica Wasakentsa



Datos:

Nombre: Taisha      Fecha: /07/2024      Provincia: Morona Santiago  
Cantón: Taisha      Parroquia: Huasaga      Comunidad: Wasakentsa

Estimado(a) participante,

Estamos realizando una encuesta para comprender mejor cómo los sistemas fotovoltaicos han influido en la vida de las personas en comunidades que no tienen acceso a la red eléctrica y dependen de generadores que utilizan gasolina. Su participación es muy valiosa para nosotros y nos ayudará a evaluar el impacto y la percepción de esta tecnología en su vida diaria. Por favor, seleccione la respuesta que mejor se aplique a su situación para cada pregunta.

Pregunta	Respuesta
1. ¿Utiliza paneles solares en su hogar o lugar de trabajo?	Sí
	No
2. ¿Desde cuándo utiliza sistemas fotovoltaicos?	Menos de 1 año
	1-3 años
	Más de 3 años
3. ¿Cuáles fueron las principales razones para instalar un sistema fotovoltaico? (Seleccione todas las que correspondan)	Ahorro en costos de gasolina
	Reducción de impacto ambiental
	Mayor independencia energética
	Reducción de ruido del generador
	Otros
4. ¿Ha notado una reducción en sus gastos en gasolina desde que comenzó a utilizar energía solar?	Sí, una gran reducción
	Sí, una reducción moderada
	No, no he notado cambios
5. ¿Qué impacto ha tenido el uso de sistemas fotovoltaicos en su percepción sobre el uso de energías renovables?	Muy positivo
	Positivo
	Neutro
	Negativo
	Muy negativo
6. ¿Considera que el uso de energía solar ha mejorado su calidad de vida?	Sí, mucho
	Sí, un poco
	No ha cambiado
	Ha empeorado
7. ¿Ha tenido alguna dificultad o inconveniente con la instalación o el mantenimiento de su sistema fotovoltaico?	Sí
	No
8. ¿Cómo cree que sería su vida sin el uso de sistemas fotovoltaicos en términos de costos y calidad de vida?	Mucho peor
	Un poco peor
	Igual
	Mejor
9. ¿Recomendaría a otras personas la instalación de sistemas fotovoltaicos?	Sí, definitivamente
	Sí, con reservas
	No estoy seguro
	No
10. ¿Qué futuro ve para los sistemas fotovoltaicos en su comunidad o país?	Muy prometedor
	Prometedor
	Neutro
	Poco prometedor
	Nada prometedor

## RESULTADOS DE LA ENCUESTA

Pregunta	Respuesta	RESULTADOS
1. ¿Utiliza paneles solares en su hogar o lugar de trabajo para suministro de energía eléctrica?	Sí	20
	No	0
2. ¿Desde cuándo utiliza sistemas fotovoltaicos?	Menos de 1 año	4
	1-3 años	0
	Más de 3 años	16
3. ¿Cuáles fueron las principales razones para instalar un sistema fotovoltaico? (Seleccione todas las que correspondan)	Ahorro en costos de gasolina	7
	Reducción de impacto ambiental	10
	Mayor independencia energética	10
	Reducción de ruido del generador	10
4. ¿Ha notado una reducción en sus gastos en gasolina desde que comenzó a utilizar energía solar?	Otros	7
	Sí, una gran reducción	13
	Sí, una reducción moderada	7
	No, no he notado cambios	0
5. ¿Qué impacto ha tenido el uso de sistemas fotovoltaicos en su percepción sobre el uso de energías renovables?	Muy positivo	20
	Positivo	0
	Neutro	0
	Negativo	0
6. ¿Considera que el uso de energía solar ha mejorado su calidad de vida?	Muy negativo	0
	Sí, mucho	20
	Sí, un poco	0
	No ha cambiado	0
7. ¿Ha tenido alguna dificultad o inconveniente con la instalación o el mantenimiento de su sistema fotovoltaico?	Ha empeorado	0
	Sí	7
	No	13
8. ¿Cómo cree que sería su vida sin el uso de sistemas fotovoltaicos en términos de costos y calidad de vida?	Mucho mejor	0
	Mejor	0
	Igual	3
	Peor	17
9. ¿Recomendaría a otras personas la instalación de sistemas fotovoltaicos?	Sí, definitivamente	20
	Sí, con reservas	0
	No estoy seguro	0
	No	0
10. ¿Qué futuro ve para los sistemas fotovoltaicos en su comunidad o país?	Muy prometedor	20
	Prometedor	0
	Neutro	0
	Poco prometedor	0
	Nada prometedor	0

**RESULTADOS DE LA ENCUESTA**

