



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA HORA SOLAR PICO PARA EL
DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN LA SALA DE
CONTROL DEL PROYECTO DIRGI-CP2021-008 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA”**

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electromecánica

Autores:

David Alexander Guevara Lozada

Anderson Saul Venegas Lema

Tutor Académico:

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C

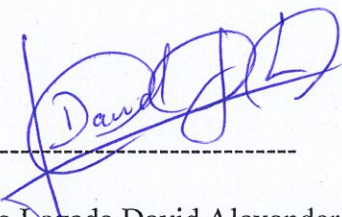
LATACUNGA - ECUADOR

MARZO - 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Guevara Lozada David Alexander, con cédula de ciudadanía No. 1722715578 , Venegas Lema Anderson Saul, con cedula de ciudadanía No. 0504780941 declaramos ser autores del presente **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA HORA SOLAR PICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN LA SALA DE CONTROL DEL PROYECTO DIRGI-CP2021-008 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA”**, siendo el Ing. Cruz Panchi Luis Rolando Ms.C, Tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 2025



Guevara Lozada David Alexander

C.C: 1722715578

AUTOR 1



Venegas Lema Anderson Saul

C.C: 0504780941

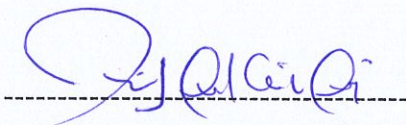
AUTOR 2

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de tutor del proyecto de investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA HORA SOLAR PICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN LA SALA DE CONTROL DEL PROYECTO DIRGI-CP2021-008 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA”, propuesto por el estudiante Guevara Lozada David Alexander, con cédula de ciudadanía N.º 1722715578 y Venegas Lema Anderson Saul con cédula de ciudadanía N.º 0504780941, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho informe investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, febrero del 2025



Ing. Luis Rolando Cruz Panchi Ms.C

CC: 0502595176

TUTOR

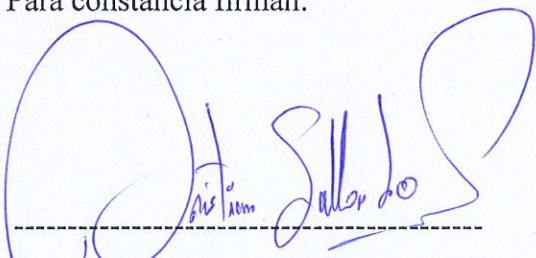
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Guevara Lozada David Alexander, con cédula de ciudadanía N.º 1722715578 y Venegas Lema Anderson Saul con cedula de ciudadanía N.º 0504780941, con el título de Proyecto de titulación: **“EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA HORA SOLAR PICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN LA SALA DE CONTROL DEL PROYECTO DIRGI-CP2021-008 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero del 2025

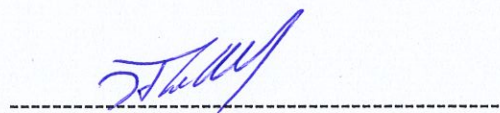
Para constancia firman:



Ing. Gallardo Molina Cristian Fabian Ms.C

C.C: 0502847692

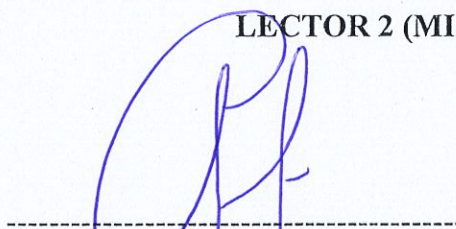
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Laurencio Alfonso Héctor Luis Ms.C

C.C: 1758367252

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Pacheco Mena Carlos Francisco Ms.C.

C.C: 0503072902

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a mi Madre y Padre que han sido el pilar fundamental para cumplir el sueño de ser un profesional.

A mi familia en general que han aportado con sus oraciones en mi vida.

A mis docentes que han sabido impartir su sabiduría y conocimientos en el tiempo de preparación profesional.

Gracias a la Universidad Técnica de Cotopaxi por ser un hogar más de enseñanza para la vida.

David Guevara

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado principalmente a mis padres quienes confiaron en mí y los que siempre me brindaron su apoyo para poder lograr esta meta propuesta.

David Guevara

AGRADECIMIENTO

En primera instancia daré siempre Gracias a Dios y a la Virgencita María por la salud y la vida que nos brinda día a día y bendice siempre con el bienestar de mis padres y de todos mis seres queridos que siempre han estado en mi vida.

El amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban mis padres por mis avances y desarrollo de esta tesis, es simplemente único y se refleja en la vida de un hijo.

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida, gracias a mi padre por siempre desear y anhelar siempre lo mejor para mi vida.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

Anderson Venegas

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis dos madres, María Edelina Lema Lema que está siempre junto a mí en compañía y Martha Margoth Sillo Alomoto que desde el cielo me está cuidando y bendiciendo, pues sin ellas no lo habría logrado. Sus bendiciones a diario a lo largo de mi vida me protegen y me llevan por el camino del bien. Por eso les doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia y amor mis madrecitas lindas, las Amo Inmensamente.

Anderson Venegas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA HORA SOLAR PICO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN LA SALA DE CONTROL DEL PROYECTO DIRGI-CP2021-008 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA”

Autores:

Guevara Lozada David Alexander
Venegas Lema Anderson Saul

RESUMEN

En la sala de control del Proyecto DIRGI-CP2021-008 de Eficiencia Energética se han registrado frecuentes cortes de energía, afectando la continuidad operativa de los equipos. Para mitigar este problema, el estudio evalúa la demanda energética y la Hora Solar Pico (HSP) con el fin de dimensionar un sistema fotovoltaico aislado que garantice el suministro eléctrico continuo. Se realizó un análisis del consumo eléctrico mediante un analizador de calidad de energía, obteniendo un consumo promedio de 200 kWh/día y una demanda máxima de 1681 W. Para la evaluación de la irradiancia solar, se utilizaron datos de una estación meteorológica, determinando una HSP de 5,48 h/día. La metodología incluyó el procesamiento de datos con el software Fluke Analyze para caracterizar la demanda energética. Posteriormente, se dimensionó el sistema fotovoltaico considerando una potencia total instalada de 2100 W, compuesta por 10 paneles solares de 140 W cada uno, con un banco de baterías de 85,92 Ah a y un inversor de 2500 W con eficiencia del 95%. Los resultados indican que el sistema fotovoltaico diseñado puede abastecer la demanda energética de la sala de control con una autonomía de 2 días en períodos de baja irradiancia. La evaluación de la HSP permitió optimizar la cantidad de paneles solares, asegurando una generación suficiente para el proyecto.

Palabras clave: Demanda energética, Hora Solar Pico (HSP), Sistema fotovoltaico aislado, Autonomía energética, Eficiencia energética.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: “EVALUATION OF ENERGY DEMAND AND HSP TO SIZE AN ISOLATED PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN THE CONTROL ROOM OF THE DIRGI-CP2021-008 PROJECT”

Authors:

Guevara Lozada David Alexander

Venegas Lema Anderson Saul

ABSTRACT

Frequent power outages have been recorded in the control room of the DIRGI-CP2021-008 Energy Efficiency Project, affecting the operational continuity of the equipment. To mitigate this issue, the study evaluates the energy demand and Peak Sun Hour (PSH) to size an off-grid photovoltaic system that ensures a continuous power supply. An analysis of electrical consumption was carried out using a power quality analyzer, obtaining an average consumption of 200 kWh/day and a maximum demand of 1681 W. For the solar irradiance assessment, data from a meteorological station were used, determining a PSH of 5.48 h/day. The methodology included data processing with Fluke Analyze software to characterize the energy demand. Subsequently, the photovoltaic system was sized considering a total installed capacity of 2100 W, consisting of 10 solar panels of 140 W each, a battery bank of 85.92 Ah, and a 2500 W inverter with 95% efficiency. The results indicate that the designed photovoltaic system can meet the energy demand of the control room with an autonomy of 2 days during periods of low irradiance. The evaluation of the PSH allowed the optimization of the number of solar panels, ensuring sufficient generation for the project.

Keywords: Energy demand, Peak Sun Hour (PSH), Off-grid photovoltaic system, Energy autonomy, Energy efficiency.

AVAL DE TRADUCCIÓN

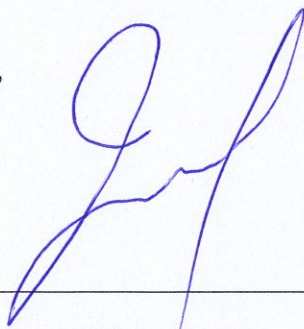
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés de la propuesta tecnológica cuyo título versa: **“EVALUACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA Y LA HSP PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO EN LA SALA DE CONTROL DEL PROYECTO DIRGI-CP2021-008”** presentado por: **Guevara Lozada David Alexander y Venegas Lema Anderson Saul**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2025

Atentamente,



Mg. María Fernanda Aguaiza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 050345849-9



**CENTRO
DE IDIOMAS**

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	iii
AVAL DE MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
<i>AGRADECIMIENTO</i>	v
<i>DEDICATORIA</i>	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT	viii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
Modalidad de titulación:	1
Trabajo de Titulación Vinculada al Proyecto:.....	1
Equipo de trabajo de Titulación:	1
Área de conocimiento:	1
Línea de investigación:	1
Sub líneas de investigación:	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. Situación problemática	2
2.2. Formulación del problema.....	3
2.3. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3.1. Objeto de estudio	3
2.3.2. Campo de acción.....	3
2.4. BENEFICIARIOS	3
2.5. JUSTIFICACIÓN.....	3
2.6. OBJETIVOS.....	4
2.6.1. Objetivo general.....	4
2.6.2. Objetivos específicos	4
2.7. SISTEMA DE TAREAS	5
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
3.1. Fundamentos de la energía solar fotovoltaica	6
3.2. Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica	7

3.3.	Definición de un sistema fotovoltaico	7
3.4.	Tipos de sistemas fotovoltaicos (aislado y conectado a la red)	8
3.4.1.	Diferencias del sistema fotovoltaico aislado y conectado a la red.....	9
3.4.2.	Principio de funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado	10
3.4.3.	Componentes de un sistema fotovoltaico aislado	12
3.5.	Definición de la demanda energética	15
3.5.1.	Métodos de medición y análisis de la demanda.....	16
3.5.2.	Impacto de la hora solar pico en la demanda energética	16
3.6.	Definición de la hora solar pico (HSP).....	17
3.6.1.	Importancia de la HSP en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	18
3.6.2.	Concepto de irradiancia e irradiación	18
3.6.3.	Fórmula para calcular la HSP	19
3.7.	Definición de Eficiencia energética.....	19
3.7.1.	Diferencia entre eficiencia y ahorro energético	20
3.8.	Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado	20
3.8.1.	Fórmulas para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.....	21
3.8.2.	Tipo de inversores.....	23
3.8.3.	Normativa para sistemas fotovoltaicos aislados	24
3.8.4.	Consideraciones técnicas de la Normativa	25
4.	METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO	26
4.1.	Declaración de variables.....	27
4.1.1.	Variable independiente	27
4.1.2.	Variable dependiente	27
4.2.	Diagrama de metodología.....	27
4.3.	Descripción de equipos y condición actual en la sala de control del proyecto.	28
4.4.	Recolección de datos y consumo de energía	32
4.4.1.	Conexión del Analizador al Tablero de Distribución.	33
4.4.2.	Configuración del sistema y registro de datos.	37
4.4.3.	Variables de consumo: Tensión, Corriente, Potencia y Energía.....	37
4.5.	Datos Meteorológicos.....	38
4.5.1.	Irradiación solar	38
4.5.2.	Fórmula para el cálculo de la hora solar pico (HSP).	39

4.6.	Demanda energética	40
4.7.	Dimensionamiento del sistema y selección del inversor	41
4.7.1.	Fórmulas para el cálculo de componentes del sistema fotovoltaico	41
4.7.2.	Componentes del sistema fotovoltaico	42
4.7.3.	Tipo de inversores y selección.....	43
4.8.	Montaje del inversor.....	47
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	49
5.1.	Análisis de valores de consumo energético.....	49
5.2.	Análisis de datos meteorológicos.....	54
5.2.1.	Análisis de la hora solar pico (HSP).....	57
5.3.	Análisis de la Demanda Energética.....	59
5.4.	Cálculo de componentes del Sistema Fotovoltaico	66
5.4.1.	Cálculo de paneles	66
5.4.2.	Cálculo de la capacidad del banco de baterías.....	67
5.4.3.	Cálculo del inversor	68
5.4.4.	Cálculo del regulador de carga	68
5.4.5.	Arreglo fotovoltaico.....	68
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1.	CONCLUSIONES.....	68
6.2.	RECOMENDACIONES	69
7.	REFERENCIAS	69
8.	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica [6].	7
Figura 2 Sistema solar fotovoltaico [8].	8
Figura 3 Sistema aislado de la red [10].	9
Figura 4 Sistema conectado a la red [11].	9
Figura 5 Esquema del funcionamiento de un sistema aislado [15].	12
Figura 6 Componentes de una celda fotovoltaica [16].	13
Figura 7 Esquema de función de una batería solar [17].	14
Figura 8 Función del regulador de carga [16].	15
Figura 9 Inversor fotovoltaico y función [18].	15
Figura 10 HSP horas – irradiancia [18].	17
Figura 11 Diagrama de metodología.	28
Figura 12 Diagrama unifilar del tablero instalado en la sala de control.	30
Figura 13 Esquema de la sala de control, componentes y equipos.	31
Figura 14 Analizador de redes Fluke Energy Analyze 1777.	33
Figura 15 Panel de conectores.	34
Figura 16 Panel frontal.	35
Figura 17 Esquema de conexión – Analizador de red.	36
Figura 18 Esquema de una estación meteorológica [31].	39
Figura 19 Ejemplo de HSP área bajo la curva [32].	40
Figura 20 Interfaz de los datos de tendencia en el programa Fluke Energy Analyze Plus 3.11. .	41
Figura 21 Diagrama del sistema fotovoltaico aislado.	43
Figura 22 Inversor Sure Sine [33]	46
Figura 23 Plano de instalación del inversor y vista en general de quipos.	49
Figura 24 Valores promedios de tensión Fase A-B y Neutro.	50
Figura 25 Valores promedios de corriente Fase A-B y Neutro.	51
Figura 26 Valores promedios de potencia Fase A-B.	52
Figura 27 Valores promedios de energía Fase A y B.	54
Figura 28 Irradiancia total de 30 días.	54
Figura 29 Curvas de irradiancia mínima, media y máxima.	55
Figura 30 Irradiancia mínima.	56

Figura 31 Irradiancia máxima.....	57
Figura 32 Irradiancia Total promediado.....	59
Figura 33 Área bajo la curva de la irradiancia total.	59
Figura 34 Demanda mínima y sus estimaciones de cada día.	60
Figura 35 Demanda media y sus estimaciones de cada día.....	61
Figura 36 Demanda máxima y sus estimaciones de cada día.....	62
Figura 37 Demanda mínima – media – máxima.	63
Figura 38 Valor de la demanda máxima en W a partir del consumo energético.....	64
Figura 39 Potencia del inversor Sure Sine.....	65
Figura 40 Valor de la potencia de la demanda máxima e inversor en W a partir del consumo energético.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.....	1
Tabla 2 Objetivos y actividades a realizar.....	5
Tabla 3 Diferencia de un SSFA y SSFC [13].....	10
Tabla 4 Ejemplo de datos de consumo y potencia en equipos para los cálculos necesarios [24].	21
Tabla 5 Equipos de la sala de control.....	29
Tabla 6 Equipos que componen la sala de control.....	31
Tabla 7 Descripción de elementos para el uso de conectores.....	34
Tabla 8 Descripción de elementos para el uso de conectores.....	35
Tabla 9 Descripción de elementos.....	36
Tabla 10 Tipos de inversores y características.....	43
Tabla 11 Ficha técnica del inversor Sure Sine.....	46
Tabla 12 Tensión entre fases A-B, neutro y tierra.....	50
Tabla 13 Corriente de fase A-B y neutro.....	51
Tabla 14 Potencia fase A y B.....	52
Tabla 15 Energía en las fases A y B.....	53
Tabla 16 Datos de menor irradiancia.....	55
Tabla 17 Datos de mayor irradiancia.....	56
Tabla 18 Datos promedio por hora de Irradiancia solar.....	57
Tabla 19 Demanda energética mínima.....	60
Tabla 20 Demanda energética media.....	60
Tabla 21 Demanda energética máxima.....	61

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto:

Evaluación de la demanda energética y la hora solar pico para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado en la sala de control del proyecto DIRGI-CP2021-008 de eficiencia energética.

Modalidad de titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación

Trabajo de Titulación Vinculada al Proyecto:

DIRGI-CP2021-008 Implementación de tecnologías de eficiencia energética en el sector productivo del sector San Felipe para reducir las pérdidas en la red eléctrica.

Equipo de trabajo de Titulación:

Guevara Lozada David Alexander

Venegas Lema Anderson Saul

ING. Cruz Panchi Luis Rolando

Área de conocimiento:

Tomando como referencia a la norma CINE – UNESCO las áreas de conocimiento se detallan a continuación:

Tabla 1 Campos de la Ciencia y Tecnología UNESCO.

330000. Ciencias Tecnológicas	3306. Ingeniería y Tecnología eléctricas	3306.02 Aplicaciones eléctricas
		3311.05 Equipos eléctricos de control
		3311.06 Instrumentos eléctricos

Línea de investigación:

Eficiencia Energética en Sistemas Electromecánicos y Uso de Fuentes Renovables.

Sub líneas de investigación:

Energética en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el acceso a fuentes de energía sostenibles y eficientes es un factor clave para el desarrollo de infraestructuras y la optimización de recursos energéticos en diversas industrias y sectores. La generación de energía a partir de fuentes renovables, como la solar fotovoltaica, ha cobrado un papel fundamental en la transición hacia un sistema eléctrico más sustentable y menos dependiente de combustibles fósiles. En este contexto, el dimensionamiento adecuado de los sistemas fotovoltaicos aislados resulta esencial para garantizar su eficiencia y confiabilidad. [1]

El presente estudio, titulado "Evaluación de la Demanda Energética y la Hora Solar Pico para el Dimensionamiento de un Sistema Fotovoltaico Aislado en la Sala de Control del Proyecto DIRGI-CP2021-008 de Eficiencia Energética", tiene como objetivo analizar la demanda energética de la sala de control y determinar la capacidad requerida de un sistema fotovoltaico aislado, considerando la disponibilidad de irradiación solar en la región de estudio.

Para lograr este objetivo, se lleva a cabo un análisis detallado del consumo energético de los equipos instalados en la sala de control, con base en mediciones obtenidas mediante un analizador de calidad de energía. Asimismo, se realiza un estudio de la Hora Solar Pico (HSP), utilizando datos de irradiancia proporcionados por estaciones meteorológicas y aplicando distribuciones estadísticas para mejorar la estimación de la generación solar.

2.1. Situación problemática

La sala de control del Proyecto DIRGI-CP2021-008 enfrenta desafíos en el suministro eléctrico debido a cortes de energía recurrentes. Estas interrupciones afectan la operatividad de los equipos y comprometen la continuidad de las operaciones, lo que evidencia la necesidad de una fuente de energía alternativa confiable. [2]

La dependencia de la red eléctrica expone la instalación a variaciones de voltaje y apagones, poniendo en riesgo los dispositivos electrónicos y la eficiencia del sistema de control. La falta de un sistema de respaldo puede generar pérdidas económicas y reducir la productividad de la sala de control.

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado surge como una solución viable para mitigar estos problemas, reducir la dependencia de la red y garantizar la operatividad

continua de la instalación. La evaluación de la demanda energética y la estimación precisa de la Hora Solar Pico (HSP) permitirán diseñar un sistema eficiente y sostenible que asegure el abastecimiento energético de manera autónoma. [3]

2.2. Formulación del problema

La sala de control del Proyecto DIRGI-CP2021-008 presenta cortes de energía que afectan el funcionamiento de equipos eléctricos sensibles y el almacenamiento de datos continuos ya que carece de autonomía energética es necesario evaluar su demanda y la hora solar pico para dimensionar un sistema aislado que provea energía sin cortes.

2.3. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de estudio

Sistema fotovoltaico aislado.

2.3.2. Campo de acción

3322.05 Fuentes no convencionales de energía

2.4. BENEFICIARIOS

Directos: Investigadores del proyecto, docentes universitarios.

Indirectos: Colectividad universitaria

Este estudio servirá como referencia para futuras implementaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en infraestructuras similares, contribuyendo a la sostenibilidad energética y la reducción de la huella de carbono.

2.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se centra en la necesidad de asegurar un suministro eléctrico ininterrumpido en la sala de control del Proyecto DIRGI-CP2021-008, la cual experimenta cortes de energía que obstaculizan el funcionamiento de equipos críticos. La instalación de un sistema fotovoltaico autónomo permitirá disminuir la dependencia de la red eléctrica y optimizar la continuidad operativa, garantizando de esta manera un entorno de trabajo estable y eficiente.

Desde una perspectiva académica, este estudio aporta al análisis teórico y práctico de la demanda energética y la hora solar pico, lo cual posibilita la aplicación de metodologías de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. Adicionalmente, proporciona un enfoque metodológico basado en datos reales para la toma de decisiones en eficiencia

energética.

En el ámbito laboral y social, la propuesta busca optimizar el consumo energético mediante el uso de fuentes renovables, en concordancia con estrategias de sostenibilidad y reducción de costos operativos. La transición hacia energías limpias no solo mejora la autonomía energética de la instalación, sino que también minimiza el impacto ambiental al disminuir el uso de energía proveniente de fuentes convencionales.

A nivel personal, esta investigación representa una oportunidad para aplicar y fortalecer conocimientos adquiridos en ingeniería electromecánica, contribuyendo a la solución de problemas energéticos reales y promoviendo el desarrollo de tecnologías sostenibles en entornos industriales y comerciales.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo general

Evaluar la demanda energética y la Hora Solar Pico (HSP) en la sala de control del Proyecto DIRGI-CP2021-008, mediante el análisis de consumo eléctrico y datos de irradiancia solar obtenidos con un analizador de calidad de energía y una estación meteorológica, para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado que garantice el suministro eléctrico continuo y mitigue los efectos de los cortes de energía.

2.6.2. Objetivos específicos

- Analizar la demanda energética actual de la sala de control referente al consumo promedio y máximo.
- Determinar la hora solar pico en la ubicación del Proyecto DIRGI-CP2021-008 mediante el análisis de datos meteorológicos.
- Diseñar un sistema fotovoltaico aislado que satisfaga la demanda energética de la sala de control.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

Tabla 2 Objetivos y actividades a realizar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	TÉCNICAS, MEDIOS E INSTRUMENTOS
Analizar la demanda energética actual de la sala de control referente al consumo promedio y máximo.	<ul style="list-style-type: none"> - Listado de los equipos eléctricos en la sala de control. - Registro del consumo energético con un analizador de calidad de energía. - Cálculo del consumo diario total. 	<ul style="list-style-type: none"> - Documento con los datos del consumo energético y la actividad de los equipos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Analizador de calidad de energía (Fluke Analyze). - Reportes de consumo eléctrico. - Hojas de datos en Excel.
Determinar la hora solar pico en la ubicación del Proyecto DIRGI-CP2021-008 mediante el análisis de datos meteorológicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de la información de irradiancia de una estación meteorológica. - Aplicación de fórmulas para la Hora Solar Pico (HSP) anual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Base de datos con valores de irradiancia y HSP durante el año. - Gráficos con las variaciones de la irradiación en el año. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de la estación meteorológica. - Programas de análisis como Excel
Diseñar un sistema fotovoltaico aislado que satisfaga la demanda energética de la sala de control.	<ul style="list-style-type: none"> - Elección de los componentes del sistema como paneles, baterías, inversor y regulador de carga. - Definición de los valores para un funcionamiento con eficiencia y autonomía. 	<ul style="list-style-type: none"> - Documento con el diseño del sistema fotovoltaico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Normas y reglas para sistemas eléctricos. - Hojas de cálculo con las fórmulas necesarias. - Diagrama unifilar eléctrico

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. Fundamentos de la energía solar fotovoltaica

La energía solar opera captando la energía solar y transformándola de manera silenciosa y eficiente en electricidad para su vivienda o empresa.

Nuestra estrella solar funciona como un reactor nuclear natural. Emite pequeños paquetes de energía conocidos como fotones, que recorren los 149,6 millones de kilómetros desde el sol hasta la Tierra en aproximadamente 8,5 minutos. Cada hora, nuestro planeta recibe suficientes fotones para producir energía solar suficiente para cubrir teóricamente las demandas energéticas mundiales durante un año completo.

La energía solar no produce electricidad constantemente, pero sí cuando se requiere más. Es decir, durante el día y en las épocas de sol y calor, cuando la necesidad de electricidad alcanza su máximo nivel [4].

Por otro lado, en el año 1972, tuvieron lugar dos acontecimientos que marcaron una ventaja para el desarrollo de la fotovoltaica: El primero es el embargo petrolífero realizado por los que producían el petróleo en el Golfo Pérsico, que tuvo una gran repercusión en la toma de medidas en los países industrializados. El segundo fue la formación de la primera organización, creada y mantenida por un gobierno, el de Estados Unidos, denominada “Agencia de Desarrollo e Investigación en Energía”. La ingeniería de Telecomunicación siempre ha estado relacionada con el desarrollo de la tecnología fotovoltaica desde sus orígenes. Así, por ejemplo, en España, en 1981 se fundó la empresa Isofotón como una spin-off de la Universidad Politécnica de Madrid, y fundada por un profesor de la Escuela de Telecomunicaciones de dicha universidad. Esta empresa llegó a convertirse en la número dos de Europa. A partir de la década de 1980 comenzó a ampliarse el concepto de tamaño de las celdas, y comenzaron las primeras plantas de fotovoltaica que alcanzaban varios megavatios, en Europa este mercado fue impulsado por las ayudas de los gobiernos y las mejoras en las infraestructuras de producción. En los años 90 se comenzó a instalar placas solares sobre los tejados, gracias a las ventajas gubernamentales que ofrecían, entre ellas, las tarifas ofrecidas a aquellos particulares que vertieran a la red eléctrica

3.2. Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica

Un dispositivo electrónico conocido como celda fotovoltaica transforma la energía luminosa, la luz, en energía eléctrica. En otras palabras, absorbe los fotones de la luz con el fin de liberar electrones que pueden ser utilizados en una corriente eléctrica. Los paneles solares simplemente son varias celdas que colaboran para producir un mayor potencial eléctrico. Algunos paneles poseen 36 celdas o más.

La labor de la celda consiste en estimular la transición de los electrones libres de un material semiconductor a otro en la búsqueda de un "hueco" que cubrir. Esto genera una variación de potencial y, consecuentemente, una corriente eléctrica. Esto significa que se generará un flujo eléctrico desde el punto de mayor potencial hasta el de menor hasta que ambos sean uno, hasta que ambos sean uno [5].

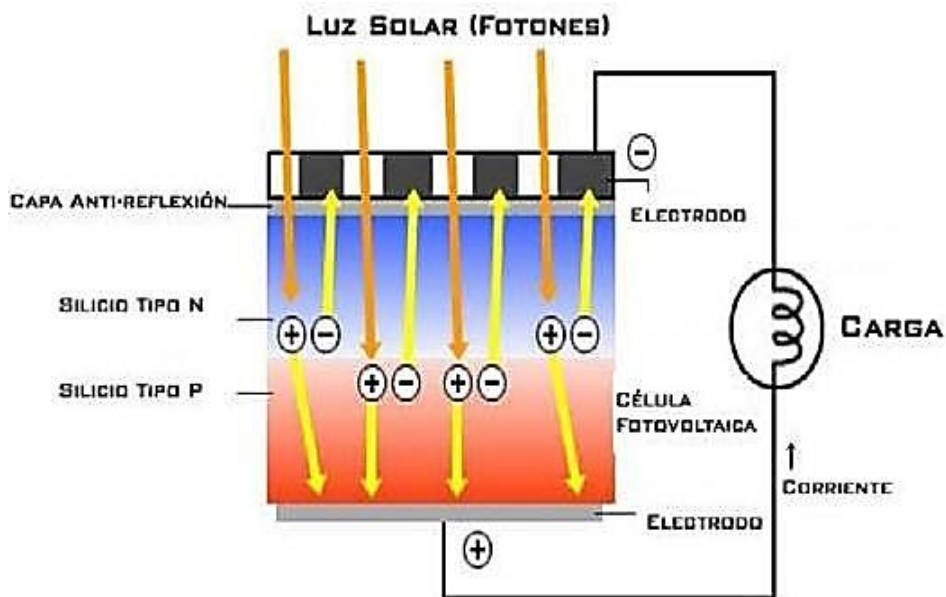


Figura 1 Principio de funcionamiento de una celda fotovoltaica [6].

3.3. Definición de un sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos transforman la energía renovable del sol directamente en energía eléctrica que puede ser aprovechada por usuarios aislados de la red o conectados a la red. Generalmente en usuarios aislados los SFV son pequeños de pocos cientos de vatios hasta micro redes donde el sistema está centralizado y sirve a varios usuarios mediante redes de distribución.

Un SFV se puede conectar a la red para aportar con la producción de energía y mejorar las condiciones del servicio. En casos de fallas de la red un SFV con respaldo en batería puede actuar como un generador independiente que suministra la energía a las cargas mientras se restituye el servicio [7].

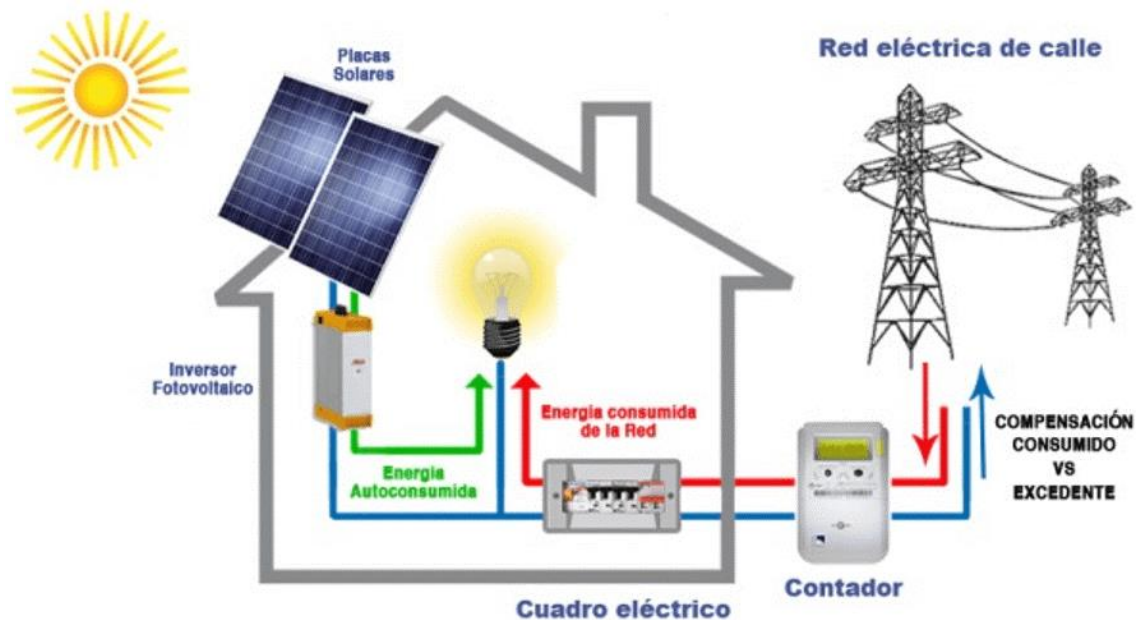


Figura 2 Sistema solar fotovoltaico [8].

3.4. Tipos de sistemas fotovoltaicos (aislado y conectado a la red)

Sistema asilado:

Una instalación fotovoltaica aislada es un sistema de autoconsumo que genera electricidad a partir de paneles solares sin estar conectado a la red pública. Estos sistemas autónomos se instalan cuando existe conexión a la distribución general o en lugares remotos donde la conexión a la red es poco estable o es muy cara.

Una instalación aislada se diferencia de otros sistemas por su independencia, a diferencia de las conectadas a la red que pueden vender excedentes y usar la red como respaldo. Las instalaciones solares aisladas requieren mayor capacidad de almacenamiento y un diseño robusto para asegurar el suministro constante [9].

La instalación de placas solares fotovoltaicas aisladas es la que no posee una conexión eléctrica con la red de distribución. Así, el consumidor es autosuficiente para generar energía y no está sujeto a ninguna empresa de comercialización.

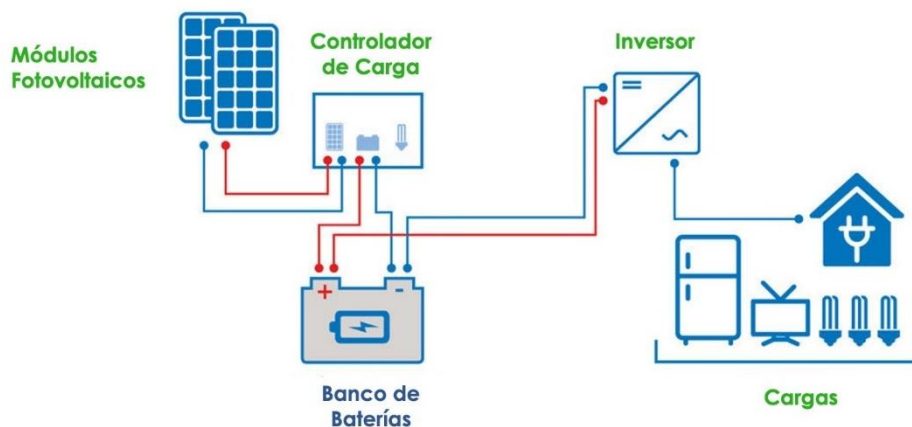


Figura 3 Sistema aislado de la red [10].

Sistema conectado a la red:

Un sistema fotovoltaico conectado a la red (On-Grid) es un sistema de generación de energía solar que opera en conjunto con la red eléctrica pública. Su principal función es suministrar electricidad al usuario y, en caso de excedentes, inyectar energía a la red. Este tipo de sistema es ampliamente utilizado en hogares, comercios e industrias para reducir el consumo de electricidad de la red y disminuir costos energéticos [10].

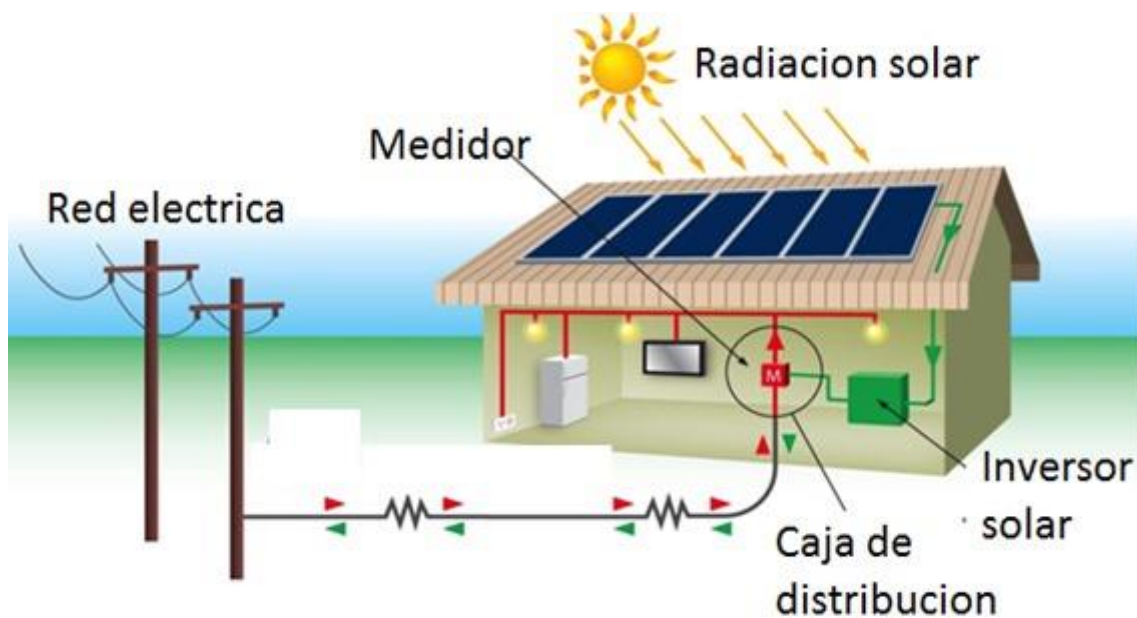


Figura 4 Sistema conectado a la red [11].

3.4.1. Diferencias del sistema fotovoltaico aislado y conectado a la red

Conexión a la Red Eléctrica

Sistemas Aislados (Off-Grid):

Estos sistemas no están conectados a la red pública. Operan de manera independiente, lo que significa que la energía generada por los paneles solares es utilizada de forma autónoma, y no se comparte ni se recibe energía de la red.

Ventaja: Ideal para zonas rurales o alejadas donde no hay acceso a la red eléctrica.

Desventaja: Necesitan un sistema de almacenamiento (baterías) para garantizar un suministro de energía constante.

Sistemas Conectados a la Red (On-Grid):

Estos sistemas están interconectados con la red eléctrica pública, lo que les permite tanto consumir energía de la red cuando la producción solar es insuficiente, como inyectar energía a la red cuando se genera un excedente de electricidad.

Ventaja: Se optimiza la producción y se reduce la necesidad de almacenamiento.

Desventaja: Depende de la disponibilidad de la red eléctrica [12].

A continuación, se presenta las principales características de estos sistemas:

Características	Instalación fotovoltaica aislada	Instalación fotovoltaica conectada
Conexión	✓	X
Baterías solares	✓	Opcional
Tarifa solar	X	✓
Compensación de excedentes	X	✓

Tabla 3 Diferencia de un SSFA y SSFC [13].

3.4.2. Principio de funcionamiento de un sistema fotovoltaico aislado

El principio de funcionamiento de un sistema fotovoltaico se basa en la conversión de la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Este proceso ocurre en los módulos fotovoltaicos, que son los componentes clave del sistema. A continuación, los pasos fundamentales de este proceso:

1. Conversión de la Radiación Solar en Electricidad

El principio básico del funcionamiento de un sistema fotovoltaico es el efecto fotovoltaico, que se refiere a la capacidad de ciertos materiales para generar electricidad cuando son expuestos a la luz solar. Este efecto ocurre en los paneles solares (módulos fotovoltaicos), que están compuestos por celdas solares.

Proceso detallado:

Absorción de la Radiación Solar:

Los módulos fotovoltaicos están hechos principalmente de silicio, un material semiconductor. Cuando la luz solar incide sobre las celdas solares, la energía fotónica (partículas de luz) es absorbida por el material semiconductor.

Generación de Pares de Electrones y Huecos:

Al absorber la luz solar, los fotones excitan los electrones en el silicio, lo que provoca que algunos electrones sean liberados de sus átomos, creando así pares de electrones y huecos. Los electrones se mueven libremente dentro del material.

Movimiento de Electrones:

Debido a un campo eléctrico creado dentro de la celda fotovoltaica (por la estructura de unión de diferentes tipos de silicio, generalmente tipo P y N), los electrones libres se dirigen hacia un lado de la celda, mientras que los huecos se dirigen hacia el otro lado.

Generación de Corriente Eléctrica:

Este movimiento de electrones crea una corriente eléctrica continua (CC) en el material semiconductor. Cuando las celdas fotovoltaicas están conectadas en serie y paralelo, se aumenta tanto la tensión como la corriente, respectivamente.

2. Conversión de la Corriente Continua (CC) en Corriente Alterna (CA)

La electricidad generada por las celdas fotovoltaicas es de corriente continua (CC), pero la mayoría de los dispositivos eléctricos y las redes eléctricas utilizan corriente alterna (CA). Por lo tanto, se necesita un inversor para convertir la corriente continua en corriente alterna.

Inversor (Convertidor CC-CA):

El inversor toma la corriente continua generada por los paneles solares y la convierte en corriente alterna compatible con el sistema eléctrico de la casa, empresa o red.

3. Distribución de la Energía Generada

Una vez que la corriente se convierte en corriente alterna por el inversor, la electricidad puede ser:

Consumida en el sitio: En el caso de sistemas de autoconsumo, la energía se utiliza directamente para alimentar los dispositivos eléctricos conectados al sistema.

Inyectada a la Red: En los sistemas conectados a la red, el excedente de energía generada se puede inyectar a la red eléctrica pública, lo que puede resultar en créditos o compensación económica.

4. Control y Monitoreo

En sistemas fotovoltaicos más avanzados, los sistemas de monitoreo permiten supervisar el rendimiento del sistema fotovoltaico en tiempo real, asegurando que la producción de energía esté optimizada y detectando posibles fallos o pérdidas [14].

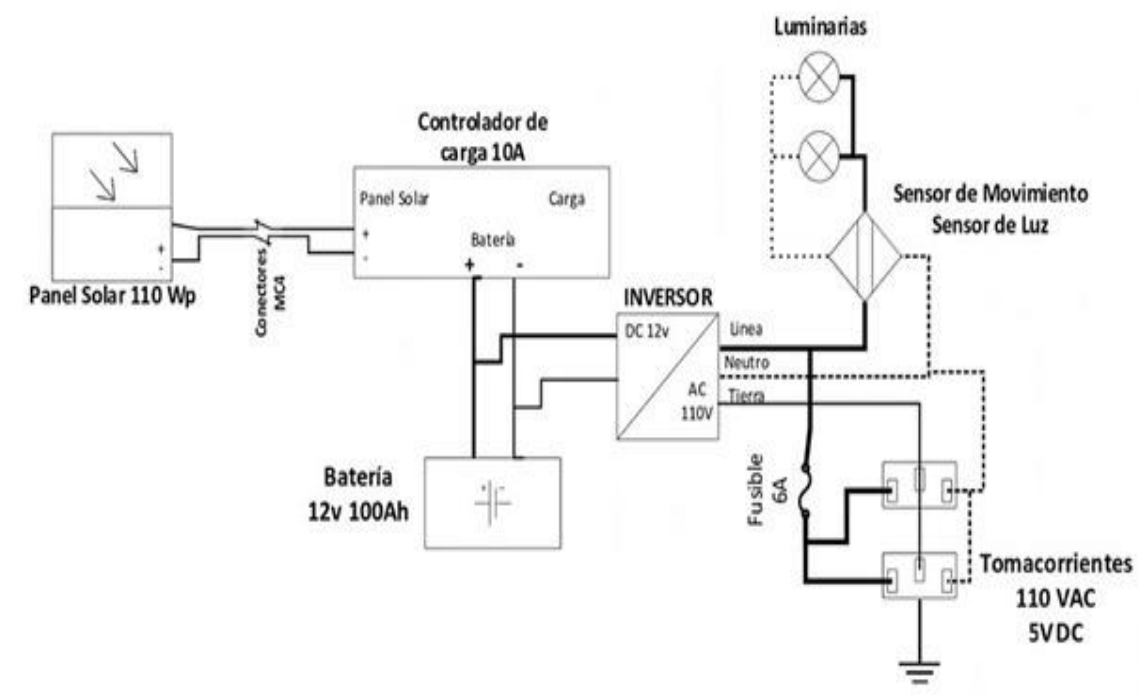


Figura 5 Esquema del funcionamiento de un sistema aislado [15].

3.4.3. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado

Para implementar un sistema fotovoltaico aislado, se requieren algunos componentes que pueden fluctuar dependiendo de las particularidades del sitio donde se llevará a cabo la instalación y las demandas de los usuarios. No obstante, existen cuatro que son esenciales:

- Panel solar

Los módulos o paneles solares son los elementos fundamentales de cualquier sistema solar fotovoltaico y su misión es captar la energía solar incidente para generar una corriente eléctrica.

Los paneles solares están formados por los siguientes elementos, cubierta frontal, material encapsulante, células o celdas solares y sus conexiones eléctricas, cubierta posterior, marco metálico, otros elementos como mecanismos de seguimiento, sensores, etc [16].

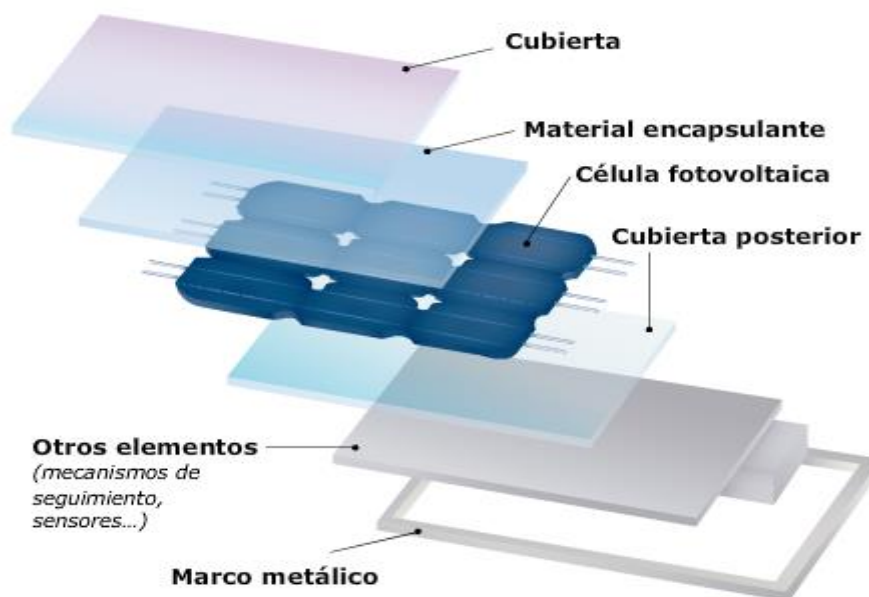


Figura 6 Componentes de una celda fotovoltaica [16].

- Batería

Es la que guarda la energía eléctrica que no se utiliza de forma directa. Facilita el surgimiento del lugar durante las noches, días de lluvia o, en términos generales, cuando la energía solar no se encuentra accesible. Por esta razón, tiene un rol tan crucial en los sistemas aislados, ya que, sin ella, el abastecimiento estaría restringido a los instantes en los que exista luz, algo que no siempre ocurre.

Las baterías pueden variar, pero sobresalen las de plomo-ácido, que son las más habituales hoy en día, y las de litio, que son un poco más caras, pero con mayor eficacia. Además, se pueden emplear dos en una sola instalación para incrementar la capacidad de almacenaje. En estas situaciones, es aconsejable que sean del mismo tipo [16].

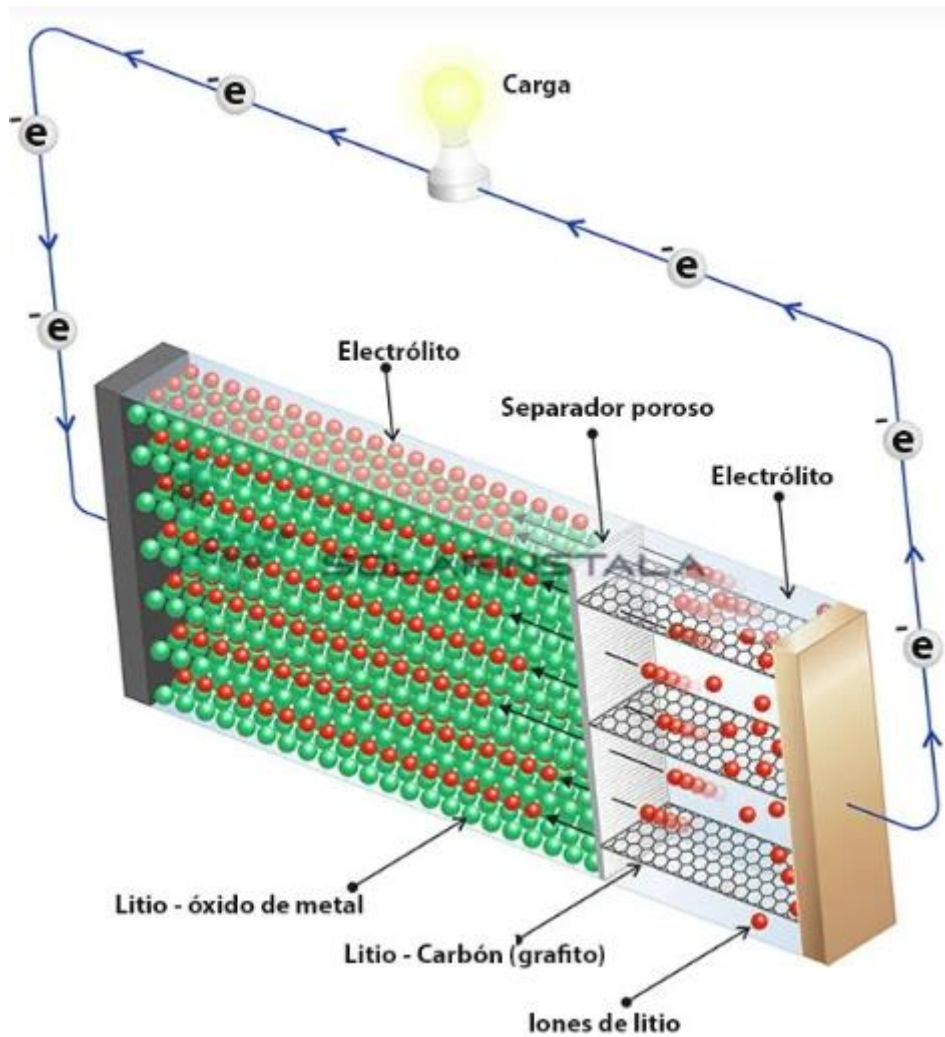


Figura 7 Esquema de función de una batería solar [17].

- Regulador de carga

Su papel es controlar el volumen de energía eléctrica que fluye de las células solares hasta los sistemas de distribución y almacenaje. Es crucial para prevenir que se suministre más energía eléctrica de la requerida, lo que podría provocar sobrecargas peligrosas en la red y reducir la duración de la batería [16].

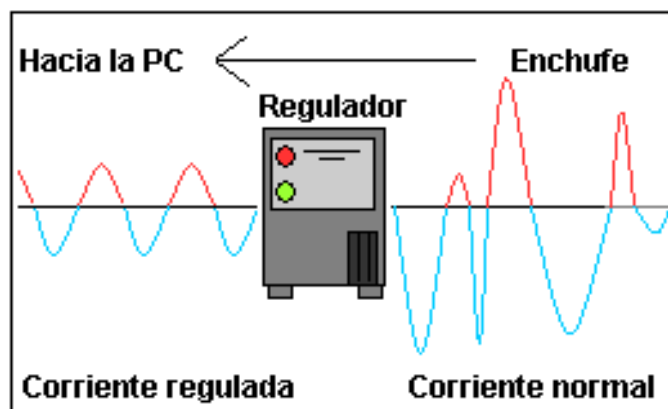


Figura 8 Función del regulador de carga [16].

- Inversor

El propósito es convertir la corriente eléctrica continua (DC) en corriente alterna (AC), la cual se emplea en los dispositivos e instalaciones eléctricas de cualquier construcción. Sin él, resultaría inviable utilizar la energía producida [16].



Figura 9 Inversor fotovoltaico y función [18].

3.5. Definición de la demanda energética

Se refiere a la cantidad total de energía que un sistema requiere para su funcionamiento. Este sistema puede variar desde una vivienda individual hasta una ciudad entera, un país o incluso el planeta en su conjunto. La demanda energética se mide en unidades de energía, como kilovatios hora (kWh) o megavatios hora (MWh).

Es importante tener en cuenta que la demanda energética no es constante, sino que fluctúa a lo largo del tiempo. Esta variación depende de diversos factores, como la hora del día, la época del año, las condiciones climáticas y el nivel de actividad económica. Por ejemplo, es común que la demanda energética sea más alta durante las horas de mayor actividad, como por la mañana y por la tarde, y en las estaciones de mayor calor o frío.

La demanda energética es un indicador clave del desarrollo económico y social de un país. A medida que una nación progresa, es habitual que su demanda energética aumente, ya que las personas tienen un mayor acceso a la energía

para sus hogares, negocios y actividades de transporte.

Además, la demanda energética está estrechamente relacionada con el cambio climático. La mayor parte de la energía que se utiliza en el mundo se genera a partir de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles liberan gases de efecto invernadero, que son los principales causantes del calentamiento global.

Para hacer frente a la creciente demanda energética y mitigar el cambio climático, es fundamental utilizar la energía de manera más eficiente. Esto se puede lograr mediante la adopción de tecnologías más eficientes, como bombillas LED y electrodomésticos de bajo consumo, así como mediante la promoción de hábitos de consumo responsables, como apagar las luces cuando no se necesitan y reducir el uso de la calefacción y el aire acondicionado [19].

3.5.1. Métodos de medición y análisis de la demanda

Medidores inteligentes: Los medidores inteligentes registran el consumo de energía en tiempo real y proporcionan datos detallados sobre el perfil de carga del usuario. Esta información es esencial para analizar patrones de consumo, identificar horarios de mayor demanda y optimizar el funcionamiento del sistema FV.

Sistemas de monitorización: Los sistemas de monitorización permiten recopilar datos de consumo de energía de diferentes circuitos o equipos en un edificio o industria. Esta información puede ser utilizada para identificar áreas de alto consumo y oportunidades de mejora.

Análisis de facturación: Los datos de facturación de los proveedores de energía pueden ser utilizados para estimar el consumo energético a nivel agregado. Sin embargo, esta información no suele ser suficiente para un análisis detallado de la demanda.

Encuestas y muestreos: Se pueden realizar encuestas y muestreos para obtener información sobre los hábitos de consumo y la demanda energética en diferentes grupos de población. Esta información puede ser útil para planificar la instalación de sistemas FV a gran escala [19].

3.5.2. Impacto de la hora solar pico en la demanda energética

La hora solar pico tiene un impacto significativo en la demanda energética, especialmente en sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica:

Durante las horas de mayor radiación solar, la generación de energía

fotovoltaica puede coincidir con los picos de demanda eléctrica. Esto puede ayudar a reducir la demanda máxima que debe ser cubierta por otras fuentes de energía, como las centrales eléctricas convencionales.

La generación de energía fotovoltaica durante las horas solares pico puede desplazar parte de la demanda energética hacia estas horas, lo que puede tener un impacto positivo en la gestión de la red eléctrica y en la reducción de costos de energía.

La disponibilidad de hora solar pico varía a lo largo del día y del año, lo que puede generar fluctuaciones en la generación de energía fotovoltaica. Esto puede requerir sistemas de almacenamiento de energía o fuentes de energía de respaldo para garantizar un suministro eléctrico confiable.

El conocimiento de la hora solar pico en un lugar determinado es fundamental para dimensionar correctamente un sistema fotovoltaico y estimar su producción de energía. Esto permite maximizar el retorno de inversión y garantizar que el sistema FV pueda cubrir las necesidades energéticas del usuario [20].

3.6. Definición de la hora solar pico (HSP)

La Hora Solar Pico (HSP) se define como la cantidad de energía solar que recibe una superficie de un metro cuadrado durante una hora en condiciones de irradiancia estándar (1000 W/m^2). En otras palabras, es una medida de la cantidad de energía solar que está disponible para ser convertida en electricidad por un sistema fotovoltaico en un lugar y momento determinados [20].

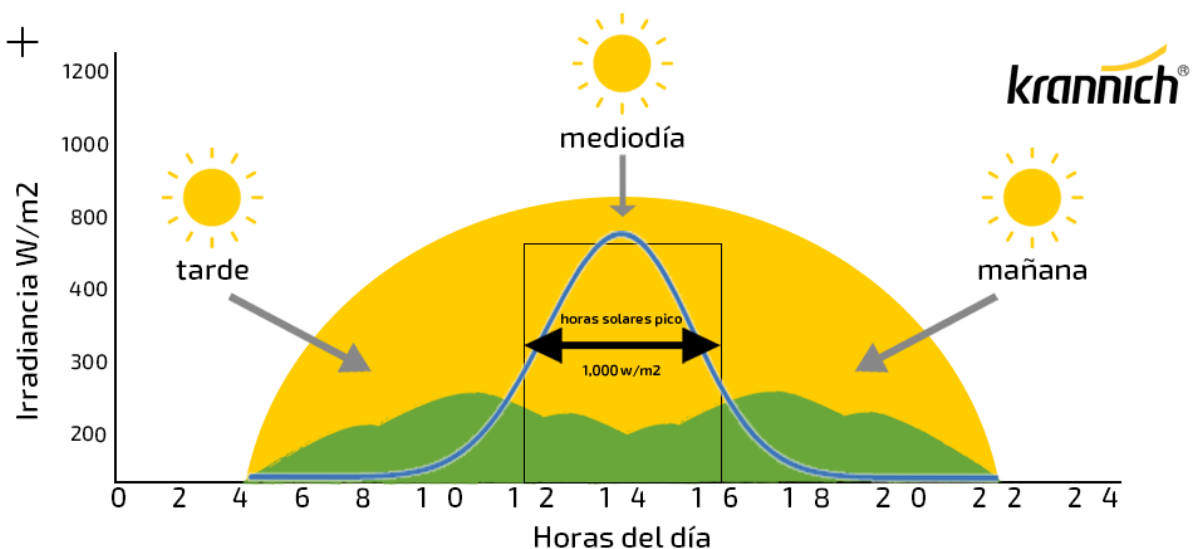


Figura 10 HSP horas – irradiancia [18].

3.6.1. Importancia de la HSP en el dimensionamiento del sistema

fotovoltaico

La Hora Solar Pico (HSP) es un factor crítico en el diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos (FV) aislados, aquellos que no están conectados a la red eléctrica. En estos sistemas, la HSP determina la cantidad de energía solar disponible en un lugar específico y, por lo tanto, la capacidad del sistema FV para satisfacer las necesidades energéticas del usuario de manera autónoma.

La HSP es fundamental por las siguientes razones:

Cálculo de la producción de energía: La HSP se utiliza para estimar la cantidad de energía que un sistema FV puede generar en un lugar determinado. Al conocer la HSP, se puede calcular la producción de energía de los paneles solares y determinar el número de paneles necesarios para cubrir la demanda energética del usuario.

Dimensionamiento de la batería: En un sistema FV aislado, la batería es un componente esencial que almacena la energía generada por los paneles solares durante las horas de mayor radiación solar. La HSP influye en el dimensionamiento de la batería, ya que determina la cantidad de energía que se debe almacenar para garantizar un suministro eléctrico continuo, incluso en períodos de baja radiación solar o durante la noche.

Optimización de la configuración del sistema: La HSP puede influir en la configuración general del sistema FV, incluyendo la capacidad del inversor y el tipo de regulador de carga. Al conocer la HSP, se puede optimizar la configuración del sistema para maximizar la eficiencia y garantizar un suministro eléctrico confiable.

Consideración de la estacionalidad: La HSP varía a lo largo del año, con valores más altos en verano y más bajos en invierno. Al dimensionar un sistema FV aislado, es crucial considerar la HSP mínima en el peor escenario (generalmente en invierno) para asegurar que el sistema pueda cubrir la demanda energética incluso en los meses de menor radiación solar [21].

3.6.2. Concepto de irradiancia e irradiación

El autoconsumo es una forma de ahorrar energía produciendo la energía necesaria para el uso doméstico con paneles solares. Esta energía se obtiene gracias a la radiación solar, que es la energía que se recibe de la luz del sol. Pero junto a este concepto encontramos otros que nos permiten entender mejor

el autoconsumo, entre ellos destacan la irradiación e irradiancia, conceptos que debemos diferenciar.

La irradiancia solar es la energía solar total que incide por unidad de área por unidad de tiempo sobre una superficie. Esta energía se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Esta energía es la que se usa para producir la energía eléctrica necesaria para el autoconsumo.

La irradiación se refiere a la cantidad de energía solar recibida en un momento específico. Esta energía se mide en vatios por hora (W/h). La irradiación varía según la hora del día y la ubicación geográfica.

Eso significa que, mientras que la irradiancia mide la potencia por superficie (kW/m^2), la irradiación es una medida de energía (kWh). Como ves, la irradiancia y la irradiación son conceptos distintos, pero cada uno de ellos es igual de importante para entender cómo funciona el autoconsumo y saber cuánta energía eléctrica se puede obtener con la instalación de placas solares.

3.6.3. Fórmula para calcular la HSP

La fórmula para calcular la HSP es bastante sencilla:

Donde:

$$HSP = \frac{E_{solar\ diaria} Wh/m^2}{1000 W/m^2} \quad (1)$$

Energía solar diaria (Wh/m^2): Es la cantidad total de energía solar que incide sobre una superficie de un metro cuadrado durante un día. Esta información se puede obtener de mapas de radiación solar, bases de datos meteorológicas o mediciones directas con piranómetros.

1000 W/m^2 : Es el valor estándar de irradiancia solar utilizado como referencia para definir la HSP.

3.7. Definición de Eficiencia energética

Se define eficiencia energética como el uso eficiente de la energía. Un aparato, proceso o instalación es energéticamente eficiente cuando consume una cantidad inferior a la media de energía para realizar una actividad.

Una persona, servicio o producto eficiente comprometido con el medio ambiente, además de necesitar menos energía para realizar el mismo trabajo, también busca abastecerse, si no por completo, con la mayor cantidad posible

de energías renovables (también llamadas energías alternativas).

La eficiencia energética busca proteger el medio ambiente mediante la reducción de la intensidad energética y habituando al usuario a consumir lo necesario y no más.

Las emisiones de CO₂ que enviamos a la atmósfera son cada vez mayores y, por ese motivo, la eficiencia energética se ha convertido en una forma de cuidar al planeta ya que, no solo está en usar electrodomésticos que consuman menos, sino en que seamos nosotros quienes consumamos menos y de forma más “verde” [22].

3.7.1. Diferencia entre eficiencia y ahorro energético

El ahorro energético trata de reducir el consumo de energía cambiando el hábito de comportamiento, pudiendo implicar disminuir el confort, los servicios o la producción (en el caso de procesos industriales).

Sin embargo, la eficiencia energética (con la que también se ahorra energía) trata de reducir el consumo de energía, pero sin afectar ni reducir el confort, los servicios o la producción. Esto quiere que decir que se reduce la cantidad de energía necesaria para proporcionar los mismos productos y servicios, es decir, hacer un uso más responsable de los recursos [23].

3.8. Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado

Para calcular un sistema fotovoltaico aislado, se siguen 6 pasos, listados a continuación [9].

- Estimación del consumo. Aquí siempre es fundamental los datos aportados por el consumidor, y deben ser siempre lo más realistas posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento. Si la instalación es para una vivienda de uso diario todo el año, se escogerá el valor medio de todo el año. Si la instalación es para el uso ocasional, por ejemplo, en verano, hay que escoger los valores de los meses de verano.
- Datos del lugar donde se realizará la instalación para saber la irradiación de la que dispondremos.
- Dimensionado del generador fotovoltaico (número de paneles necesarios).
- Dimensionado del sistema de acumulación (número de baterías solares). Para

el dimensionado del sistema de acumulación es muy importante tener en cuenta los días de autonomía que se van a otorgar a la instalación, para proyectos domésticos se suelen tomar entre 3 y 5 días de autonomía, 6 o 7 días en caso de tratarse de zonas con baja irradiación donde pueden producirse periodos de varios días en condiciones de poca luz. Para sistemas remotos suelen tomarse 7 y 10 días de autonomía.

- Dimensionado del controlador de carga.
- Dimensionado del inversor.

Dispositivo	Cant. de Equipos	Potencia Unit. (W)	Potencia Total (W)	Horas de uso al día
Refrigerador	1	150	150	24
Aire acondicionado (1 ton)	1	1500	1500	4
Aire acondicionado (2 ton)	3	3000	9000	18
Aire acondicionado (3 ton)	1	4500	4500	24
Parrilla eléctrica	1	1500	1500	1
Horno de microondas	1	1000	1000	1
Foco LED	5	10	50	5
Ventilador de techo	4	70	280	8
Computadora de escritorio	3	200	600	4
Pantalla de TV (LED)	3	100	300	6
Cargador de celular	5	5	25	4
Lavadora	1	500	500	4
Secadora de ropa	1	3000	3000	4
Calentador de agua	1	4000	4000	2
Deshumidificador	1	300	300	8
POTENCIA TOTAL REQUERIDA			26,705	

Tabla 4 Ejemplo de datos de consumo y potencia en equipos para los cálculos necesarios [24].

3.8.1. Fórmulas para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico

A continuación, se detallan las fórmulas que se emplean para estos cálculos [25].

Cálculo de consumo energético diario

$$C_d = \sum (P_i * H_i) \quad (2)$$

C_d = Consumo diario total en Wh

P_i = Potencia de cada dispositivo en W

H_i = Horas de uso diario de cada dispositivo

Cálculo de número de paneles

$$N_p = \frac{C_d}{P_p * H_s} \quad (3)$$

N_p = Numero de paneles solares

C_d = Consumo diario total en Wh

P_p = Potencia del panel solar en W

H_s = Horas solares pico disponible por dia

Cálculo de la capacidad de las baterías

$$C_b = \frac{C_d * D}{V_b} \quad (4)$$

C_b = Capacidad de la bateria en Ah

D

= Días de autonomía deseados (las baterías suministren energía sin recarga).

V_b = Voltaje del sistema en V

Cálculo de la potencia del inversor

$$P_i = \frac{C_{max}}{\eta * F} \quad (5)$$

P_i = Potencia del inversor en W

C_{max} = Carga máxima total en W (suma de las potencias de todos los dispositivos)

η = Eficiencia del inversor

F = Factor de seguridad

Cálculo de la energía generada por un panel

$$E_p = H_s * P_p * R \quad (6)$$

E_p = Energia generada por el panel en Wh

H_s = Horas solares pico

P_p = Potencia del panel solar en W

$R = \text{Rendimiento del sistema}$

Cálculo de la hora solar pico

$$HSP = \frac{E_{total}}{P_p} \quad (7)$$

$HSP = \text{Hora solar pico}$

$E_{total} = \text{Energía total consumida en Wh}$

$P_p = \text{Potencia de los paneles en W}$

3.8.2. Tipo de inversores

Los inversores fotovoltaicos pueden clasificarse en tres categorías fundamentales, que incluyen: inversores de conexión a red, inversores híbridos e inversores de conexión aislada [26].

Inversores que están vinculados a la red

Este inversor conectado a la red posee la habilidad de adaptar la frecuencia y longitud de la onda de energía a las particularidades de la red. Estos inversores, generalmente incluidos con los demás materiales requeridos para la instalación, se pueden clasificar en tres categorías.

String inversores. Este inversor es el más habitual y se distingue por su conexión en serie. Uno se emplea para cada tramo de placa solar.

Micro interruptores. Estos aparatos son los más reducidos y proporcionan características superiores que los previos. Uno de sus principales beneficios es su instalación sencilla y la habilidad que poseen para mitigar el efecto de las sombras.

Potenciadores optimizados. En este contexto, esta alternativa es la más eficaz y menos cara. La meta es incrementar al máximo la generación de energía [27].

Inversores para instalaciones independientes

Además, hay inversores solares independientes de la red que operan a través de baterías. Estos componentes se han creado específicamente para este modo, por lo que se requiere la utilización de baterías para conservar la energía.

Inversores aislados. Uno de los principales beneficios del inversor aislado es que incrementa la capacidad de las baterías. Estos aparatos incluyen las acciones de protección requeridas para prevenir sobrecargas o cortocircuitos.

Cargadores inversores. Este sistema de carga posee la habilidad de proporcionar energía a las baterías en situaciones de menor producción.

Inversores híbridos. Este modelo de convertidor de energía brinda una de las mayores ventajas de que puede emplearse tanto en instalaciones vinculadas como independientes de la red [27].

3.8.3. Normativa para sistemas fotovoltaicos aislados

De acuerdo con la regulación ARCERNR 001-2021 que entró en vigencia en abril de 2021, cualquier persona puede instalar paneles solares en su casa o empresa para generar energía eléctrica para autoconsumo. La legalización del sistema fotovoltaico se debe realizar a través de la distribuidora energética de la región (empresa eléctrica), quien revisará parámetros técnicos previo a la aprobación.

Esta normativa contempla el sistema de Balance Neto que vuelve aún más viables los proyectos fotovoltaicos. La empresa eléctrica reemplaza el medidor convencional por un medidor bidireccional que cumple dos funciones principales:

Mantener la interconexión a la red pública, lo que asegura la operación de la empresa, incluso si hubiera un fallo en el sistema fotovoltaico.

Inyectar a la red pública el excedente de energía que no alcanza a consumir durante el día. El medidor bidireccional lo contabiliza como un crédito que es cruzado con la energía que se utiliza de la red en horarios en los que el sistema fotovoltaico no está trabajando, normalmente en horarios de la noche.

Otros puntos para tomar en cuenta en la normativa son:

La normativa tiene una limitante de 1MW de potencia instalada para uso corporativo y 100 KW para uso residencial.

La duración del convenio que se firma con la empresa eléctrica es de 25 años renovables.

La normativa permite el uso de espacios que no necesariamente deben estar dentro del predio de operación para el montaje de paneles solares.

Un usuario puede acumular excedente de energía hasta por 24 meses [4].

3.8.4. Consideraciones técnicas de la Normativa

En el diseño de un sistema fotovoltaico es preciso tomar en cuenta las siguientes consideraciones técnicas:

- Tipo de sistema fotovoltaico: de acuerdo a la clasificación.
- Carga instalada y demanda energética individual y total para el caso de micro redes. Se debe tomar en cuenta:

El tipo de carga y el servicio que prestará dicha carga para la selección de los componentes del SFV.

Los consumos en espera (stand-by) de los equipos y el rendimiento de cada uno de ellos cuando la potencia que se especifica no lo ha hecho.

Cuando el sistema esté previsto para servir a cargas en CC y CA se realizará el dimensionamiento por separado.

Se debe presentar la estimación del consumo diario de energía en una tabla en la que deben constar como mínimo las columnas de: nombre de los equipos, número de equipos, potencia unitaria de los equipos, número de horas promedio diarias de uso y energía promedio diaria, en Wh, necesaria para la instalación. Se recomienda la elaboración de la curva de carga diaria del SFV.

- Si la instalación no es de uso todo el año se debe especificar el periodo de diseño del sistema.
- Reserva futura. El valor mínimo aceptable es de 10%.
- Radiación solar del emplazamiento. De acuerdo a las referencias recomendadas o medidas en el sitio.
- Voltaje y corriente del arreglo fotovoltaico. El voltaje se trabajará de preferencia en valores múltiplos de 12 V CC (12, 24, 36, 48). La corriente máxima estará limitada a la corriente del regulador de carga que atiende al módulo o al arreglo de módulos. En caso de necesidad de capacidades de corriente mayores se instalará varios reguladores en paralelo.
- Pérdidas del sistema (PR). Según las especificaciones indicadas en el párrafo de producción energética

- Días de autonomía. De 2 a 5.
- Tipo de batería. Según la clasificación.
- Profundidad de descarga del banco de baterías. Dependiendo del tipo de baterías. En ningún caso será superior a 80%.
- Voltaje del banco de baterías. Se trabajará de preferencia en voltajes múltiples de 12 V, CC (12, 24, 36, 48) [7].

4. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO

La presente investigación se enfocó en la evaluación de la demanda energética y la hora solar pico para el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado en la sala de control del proyecto DIRGI-CP2021-008 de eficiencia energética. Para lograr este objetivo, se propone una metodología mixta que combina elementos cuantitativos y cualitativos, permitiendo un análisis exhaustivo y detallado del problema de investigación.

La etapa cuantitativa de la investigación se centró en la recopilación y análisis de datos numéricos. Se recopilieron datos sobre el consumo de energía de la sala de control del proyecto DIRGI-CP2021-008, incluyendo información sobre los equipos y dispositivos eléctricos presentes, sus patrones de uso y su potencia nominal. Estos datos se obtuvieron a través de mediciones directas, registros históricos.

Con los datos recopilados, se realizó un análisis de la demanda energética actual y futura de la sala de control. Se utilizaron métodos estadísticos y herramientas de software especializadas para proyectar la demanda futura, considerando factores como el crecimiento del proyecto, la incorporación de nuevos equipos y las variaciones estacionales en el consumo de energía.

Para determinar la hora solar pico en la ubicación del proyecto, se utilizaron datos meteorológicos históricos y herramientas de software especializadas. Se analizaron datos de irradiancia solar y otros parámetros relevantes para calcular la hora solar pico y la energía solar disponible en la zona.

Con la información recopilada, se procedió al diseño y dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado. Se utilizaron herramientas de software especializadas para simular el comportamiento del sistema y seleccionar los componentes, incluyendo los paneles solares, el inversor, las baterías y el

regulador de carga.

La metodología propuesta permitió obtener resultados sólidos y confiables, que servirán de base para la toma de decisiones en el proyecto DIRGI-CP2021-008 y para futuras investigaciones en el área de la energía solar fotovoltaica.

4.1. Declaración de variables

4.1.1. Variable independiente

Hora solar pico (HSP)

4.1.2. Variable dependiente

Sistema fotovoltaico aislado

4.2. Diagrama de metodología

El diagrama de metodología se caracterizó por la obtención de todos los pasos a seguir en cada punto de los métodos y procedimientos.

La Figura 11 posee los parámetros a seguirse en la estructura del contenido para los análisis de resultados y datos obtenidos en el desarrollo del presente trabajo.

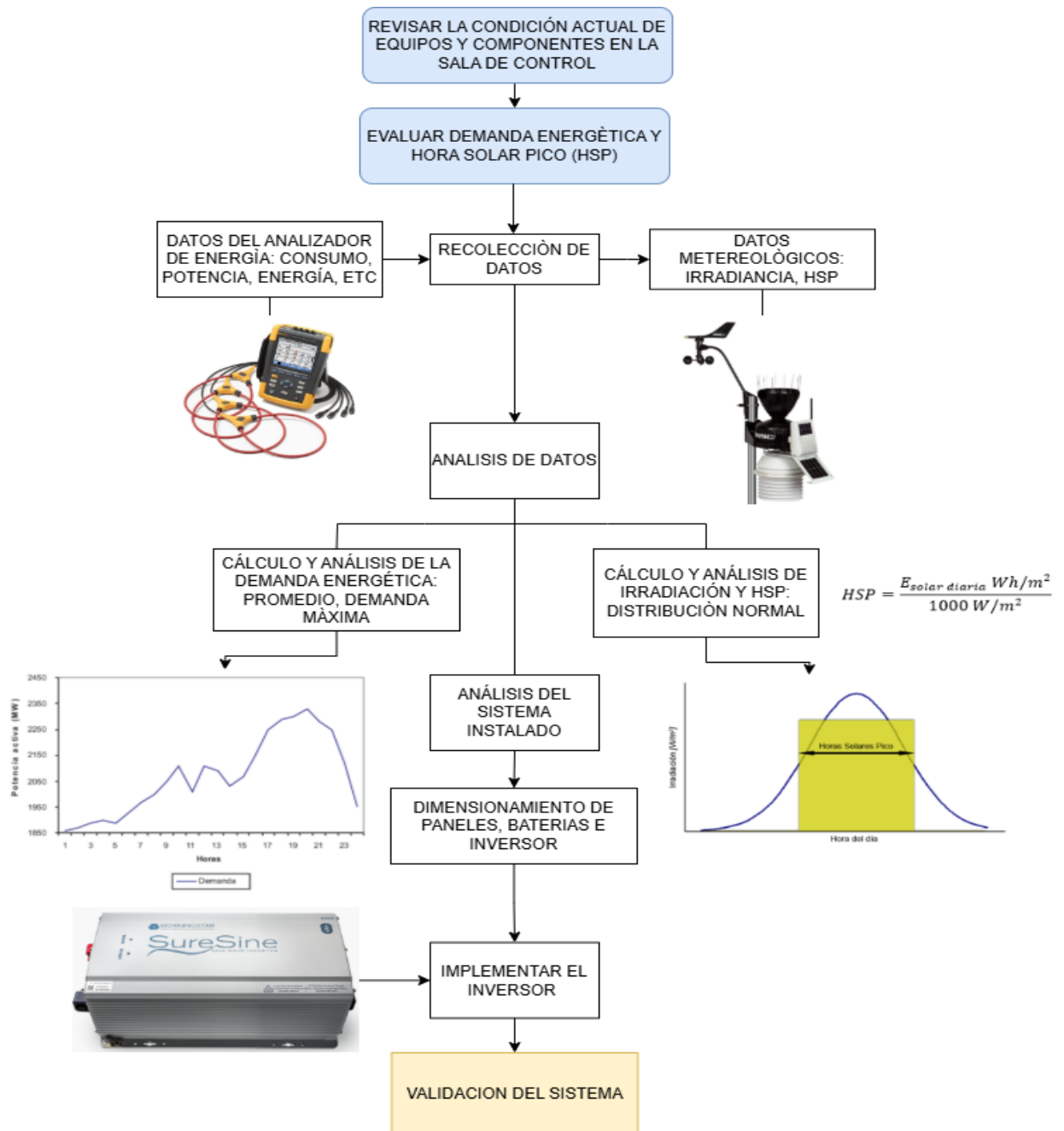


Figura 11 Diagrama de metodología.

4.3. Descripción de equipos y condición actual en la sala de control del proyecto.

La sala de control del Proyecto DIRGI-CP2021-008 de Eficiencia Energética está ubicada en la terraza del edificio bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.

La sala de control tiene variedad de equipos y componentes que se han implementado para el proyecto DIRGI-CP2021-008

En la Tabla 3 se detalla el nombre de los equipos y sistemas presentes con sus

respectivas potencias medidas en (Watts) conectados al tablero de distribución, los cuales son mostrados mediante el número de indicador en la Figura 14.

Tabla 5 Equipos de la sala de control.

N°	Equipo	Potencia (W)
(1)	Seguidor solar de un eje (2)	160
(2)	Analizador de calidad de energía	20
(3)	Línea “EPS” gestor de redes	5
(4)	Celda calibrada	120
(5)	Estación meteorológica	150
(6)	Seguidor solar de dos ejes	200
(7)	Tomacorrientes (3)	360
(8)	Iluminación	20
(9)	Servidor	800
(10)	Pantalla 42" 4K	400
(11)	Computador portátil	80
(12)	Tablero de control de energía	40
(13)	Carga Futura	700

El sistema eléctrico de la sala de control es un sistema monofásico que cuenta con una acometida de la red, un breaker de alto voltaje dos cajas de distribución que suministran energía a los distintos equipos instalados. La tensión de alimentación es de 127 V/220 V y opera a una frecuencia de 60Hz. El sistema cuenta con protecciones eléctricas adecuadas, incluyendo interruptores automáticos y dispositivos de protección contra sobretensiones.

La Figura 12 presenta el diagrama unifilar del tablero de distribución y los indicadores de los equipos mencionados en la Tabla 3 con el fin de ver el estado de conexión y como se distribuyen en la sala de control.

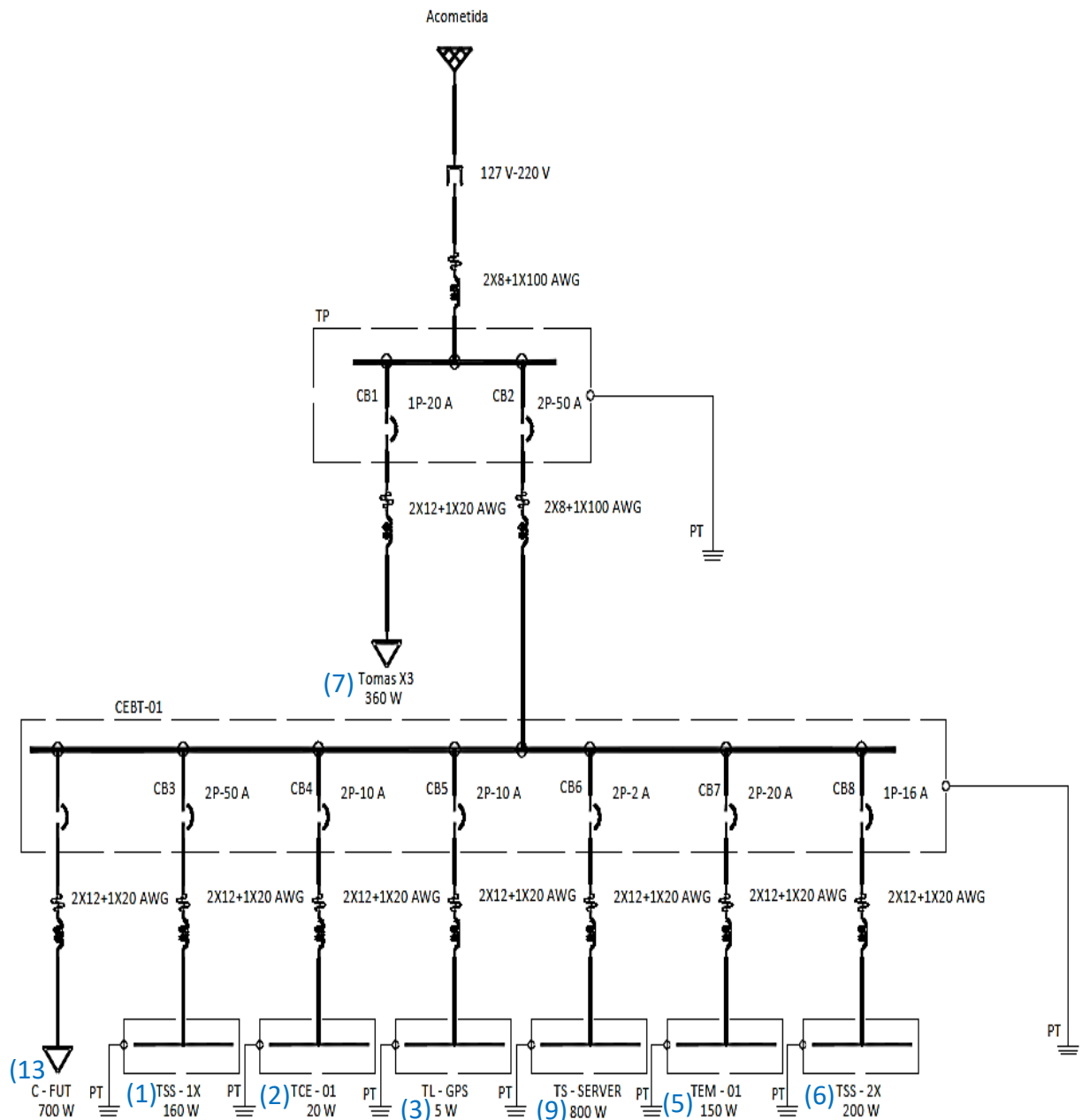


Figura 12 Diagrama unifilar del tablero instalado en la sala de control.

La sala de control cuenta con varios dispositivos ya mencionados en la Tabla 3, además posee varios componentes en la parte exterior, los cuales tienen diferentes usos, esta cuenta con una dimensión de 40 m^2 y su distribución se la detalla a continuación.

En la Figura 13 se muestran los componentes y equipos distribuidos en la sala de control del proyecto, en la Tabla 4 se detallan todos los equipos y componentes del sistema.

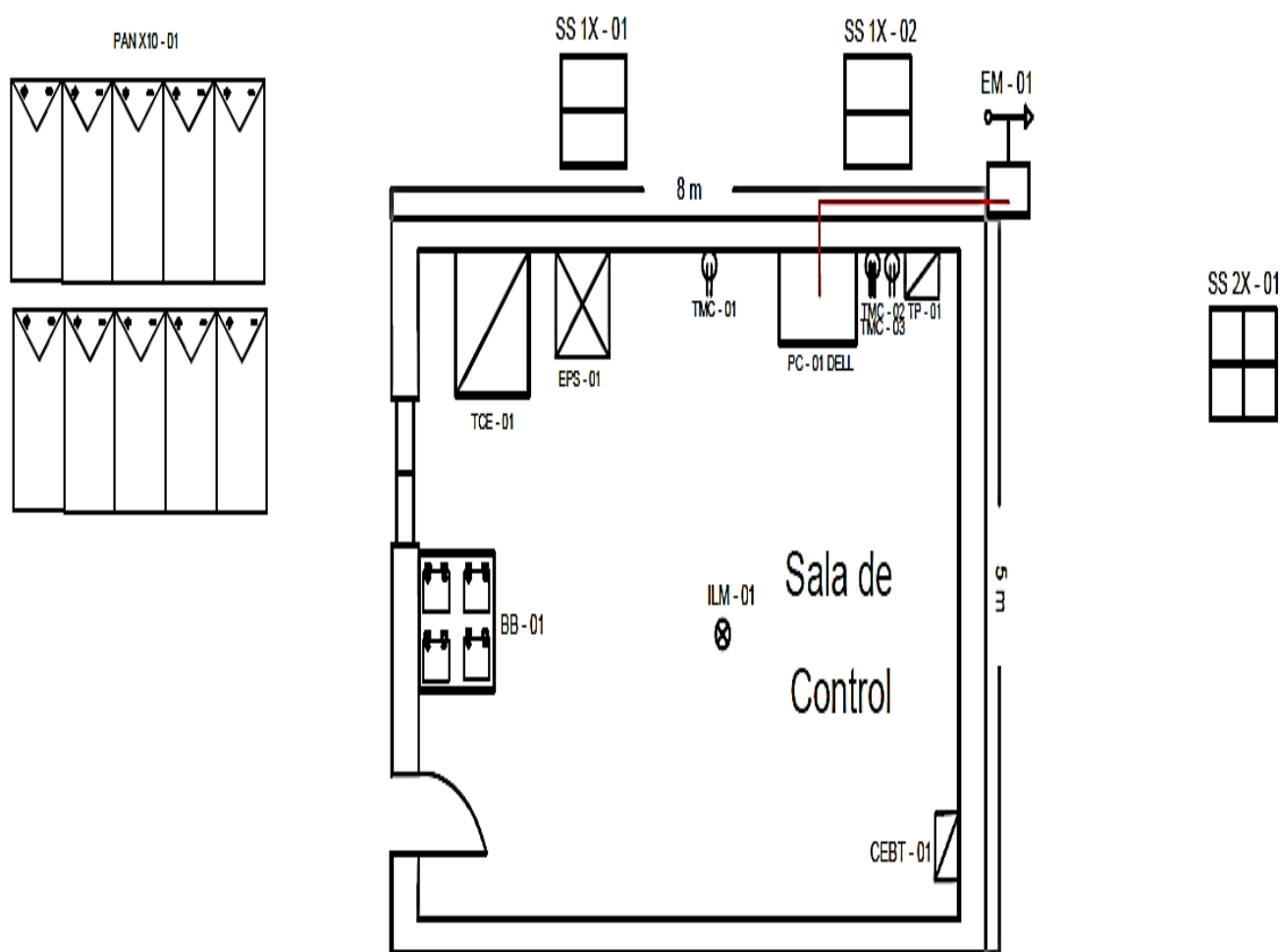


Figura 13 Esquema de la sala de control, componentes y equipos.

En la Tabla 6 se indica los nombres de los equipos que componen la sala de control interna y externamente en torno a la etiqueta mostrada en la Figura 13.

Tabla 6 Equipos que componen la sala de control.

Equipo	Etiqueta
Seguidor solar de un eje (2)	SS 1X – 01 SS 1X - 02
“EPS” gestor de redes	EPS - 01
Estación meteorológica	EM - 01
Seguidor solar de dos ejes	SS 2X - 01
Tomacorrientes (3)	TMC – 01

	TMC – 02 TMC - 03
Pantalla 42" 4K DELL	PC – 01 DELL
Tablero de control de energía	TCE - 01
Banco de baterías	BB - 01
Tablero de distribución	TP – 01 CEBT - 01
Panel solar (10)	PAN X10 - 01

4.4. Recolección de datos y consumo de energía

Mediante el analizador de redes Fluke Energy 1777 se sacaron los datos de consumo energético de la sala de control, siendo este colocado en la barra de la caja de distribución en el periodo de una semana (22 de octubre – 29 de octubre), tomando estos datos cada hora del día, es decir 24 datos por hora día, y así poder extraer mediante el software de Excel con la tabla de valores del consumo energético y variables importantes que nos da el equipo mencionado.

La Figura 14 muestra un analizador de calidad de energía Fluke, un dispositivo portátil utilizado para medir y registrar parámetros eléctricos en sistemas de baja y media tensión. El equipo tiene un diseño robusto, con una carcasa de color amarillo y negro, característico de la marca, y una pantalla que permite visualizar las mediciones en tiempo real.

En la parte frontal, se observa una serie de botones y controles que facilitan la navegación por las distintas funciones del dispositivo. La pantalla digital muestra valores clave como tensión, corriente, potencia, energía, además de otros parámetros utilizados en el análisis de la calidad de energía.

El equipo está conectado a varios cables de prueba y sensores que permiten la medición en un sistema eléctrico en funcionamiento. Estos accesorios incluyen pinzas amperimétricas y sondas de voltaje, esenciales para registrar datos precisos.

El analizador Fluke es una herramienta fundamental en este estudio, ya que permite obtener datos reales sobre el comportamiento eléctrico de la instalación, información clave para evaluar la demanda energética y determinar la viabilidad del sistema fotovoltaico propuesto. [28].



Figura 14 Analizador de redes Fluke Energy Analyze 1777.

4.4.1. Conexión del Analizador al Tablero de Distribución.

Para la medición de parámetros eléctricos en la sala de control, se utilizó el analizador de redes conectado directamente al tablero de distribución. La conexión se realizó siguiendo los procedimientos de seguridad y normativas eléctricas vigentes.

El analizador de redes se instaló en el tablero de distribución principal, el cual suministra energía a los diferentes equipos de la sala de control. La conexión se realizó en el circuito de alimentación principal, permitiendo la medición en tiempo real de variables eléctricas como voltaje, corriente, potencia activa y energía consumida.

En la Figura 15 se brinda las indicaciones sobre el panel de conectores.

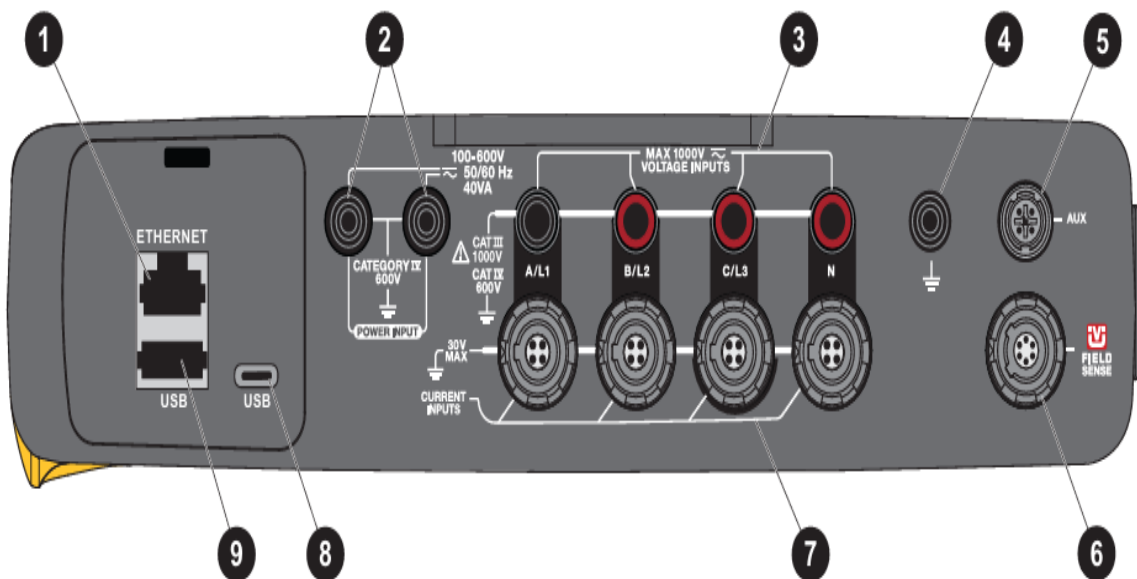


Figura 15 Panel de conectores.

En la Tabla 7 se detalla el indicador del elemento y la descripción de los conectores respecto a la Figura 15.

Tabla 7 Descripción de elementos para el uso de conectores.

Descripción	Elemento
Ethernet	1
Entrada de alimentación de 600 V, 50/60 Hz y 40VA	2
Entradas de medición de tensión (3 fases + neutro)	3
Entrada de medición de puesta a tierra	4
Entrada auxiliar 1/2	5
Entrada de FieldSense	6
Entradas de medición de corriente (3 fases + neutro)	7
Conector USB - C	8
Conector USB – 2.0 tipo A	9

En la Figura 16 se tiene las indicaciones sobre el panel frontal.

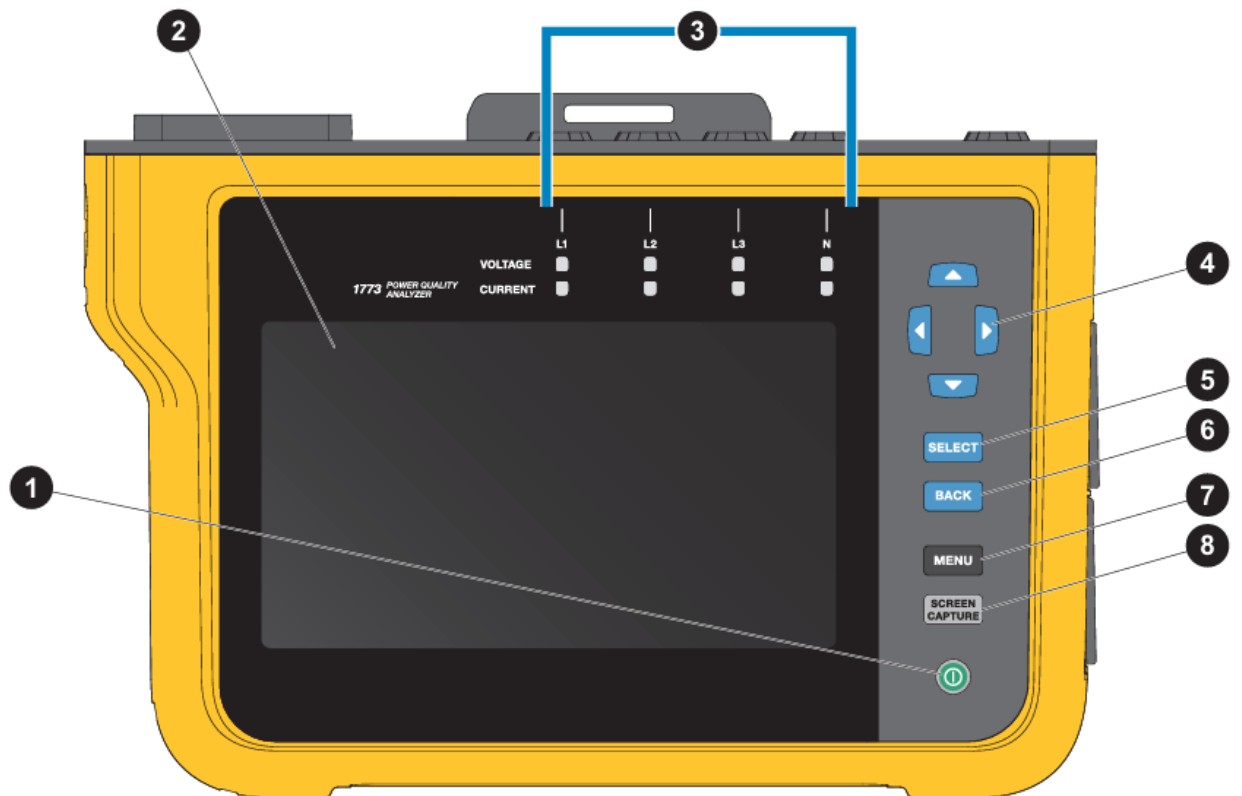


Figura 16 Panel frontal.

En la Tabla 8 se detalla el indicador del elemento y la descripción de los controles y funciones respecto a la Figura 16.

Tabla 8 Descripción de elementos para el uso de conectores

Descripción	Elemento
Encendido/Apagado	1
Pantalla táctil	2
Luces LED de estado de corriente y tensión	3
Controles de cursor	4
Seleccionar	5
Atrás	6
Menú	7
Captura de pantalla	8

La Figura 17 presenta diferentes tipos de conectores, en este caso usamos las pinzas para medir corriente. Corresponde de 3 pinzas para medir en L1, L2 y Neutro, así mismo los conectores para voltaje, de igual manera son conectados a L1, L2 y Neutro, los dos tipos de conectores poseen diferentes polaridades como se detallan a

continuación en la figura.

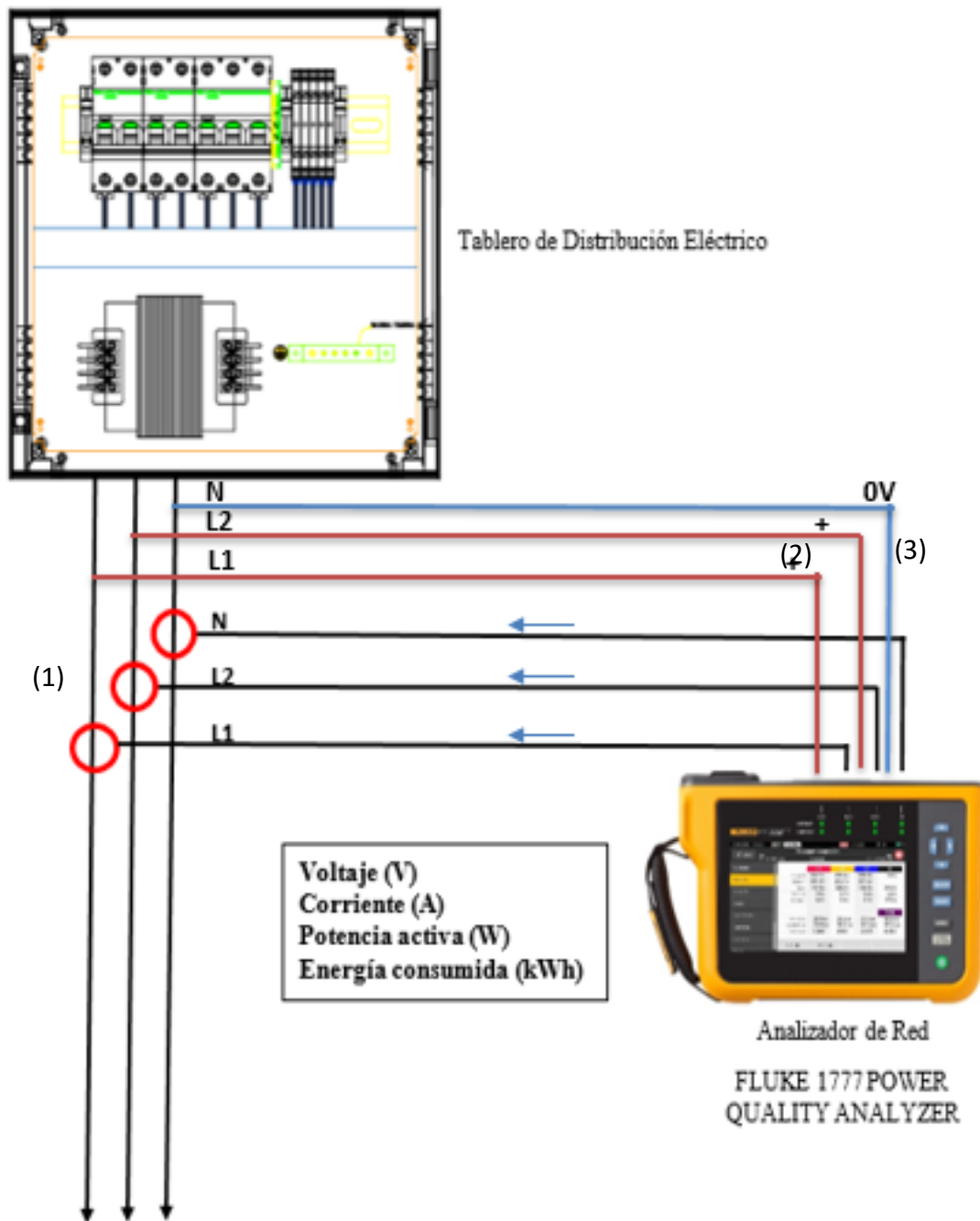


Figura 17 Esquema de conexión – Analizador de red.

En la Tabla 9 se detalla la descripción del esquema con sus respectivos elementos.

Tabla 9 Descripción de elementos.

Descripción	Elemento
Conector de corriente	1
Conector de voltaje	2
Conector de neutro	3

4.4.2. Configuración del sistema y registro de datos.

El analizador de energía necesitó realizar una configuración en su interfaz para obtener los datos, lo cual lleva una serie de pasos en su procedimiento.

A continuación, los pasos de configuración:

1. Encendido del equipo.
Asegurarse que el equipo este encendido y listo para su uso.
2. Selección del tipo de sistema.
En la pantalla se muestra dos opciones del tipo de sistema monofásico y trifásico, en la cual se escogió el sistema monofásico.
3. Configuración del intervalo de muestreo.
Se ajustó según la necesidad del proyecto siendo este la elección de un intervalo de 60 minutos por dato.
4. Tipo de datos a registrar.
Seleccionar los parámetros a medirse, estos fueron: Tensión, Corriente, Potencia y Energía.
5. Inicio del registro.
Una vez configurado los parámetros, seleccionar la opción para iniciar el registro, el dispositivo comenzará a recopilar los datos.
6. Conectar y guardar los datos.
Se debe conectar el equipo al software de Excel para guardar y poder procesar los datos.

4.4.3. Variables de consumo: Tensión, Corriente, Potencia y Energía.

El analizador de energía registró variables como tensión, corriente, potencia activa y energía consumida, los datos se guardaron en archivos CSV.

Tensión.

El analizador de redes registró valores de **tensión (V)**, en cada fase del sistema monofásico, permitiendo identificar variaciones o desequilibrios que pueden

afectar el desempeño de los equipos conectados.

Corriente.

La corriente eléctrica corresponde al flujo de carga en el sistema, se mide en **amperios (A)**. Se registró los valores de corriente en cada una de las fases, lo que permite evaluar la carga conectada y detectar posibles sobrecargas o desbalances en el sistema eléctrico.

Potencia.

Se tomó valores de potencia activa, expresada en **vatios (W)**, representa la potencia realmente utilizada por los equipos eléctricos.

Energía.

Se obtuvo valores de energía eléctrica, representa la cantidad total de electricidad consumida en un período de tiempo. Se expresa en **kilovatios-hora (kWh)** y se obtiene a partir de la integración de la potencia activa en el tiempo.

4.5. Datos Meteorológicos

4.5.1. Irradiación solar

Dentro del proyecto existe una estación meteorológica con la cual se obtuvo datos de irradiancia solar.

La estación meteorológica se encuentra ubicada en la Universidad Técnica de Cotopaxi (la Matriz), ciudad de Latacunga, cuyas coordenadas geográficas corresponden a latitud $0^{\circ} 55' 04''$ S, longitud $78^{\circ} 37' 58''$ O. Perteneciente a la provincia de Cotopaxi, situada en la Sierra central del país, cerca del volcán Cotopaxi a 2750 metros sobre el nivel del mar. Es la ciudad más grande y poblada la cual es atravesada por los ríos Cutuchi y Pumacunchi [29].

La irradiancia solar es un factor determinante en el diseño del sistema fotovoltaico. Se tomaron registros de una estación meteorológica local, obteniendo valores de 30 días en diferentes horas del año 2024.

La estación meteorológica tiene la función de medir y registrar variables ambientales y climáticas que permiten evaluar las condiciones meteorológicas de un lugar específico, como la irradiancia solar que mide la cantidad de energía solar recibida en un área específica, fundamental para aplicaciones fotovoltaicas [30].

Los datos que se recopilaron de 30 días fueron descargados mediante la base de

datos que posee la estación meteorológica.

La Figura 18 presenta los componentes que ayudaron a recolectar los datos para los respectivos cálculos.

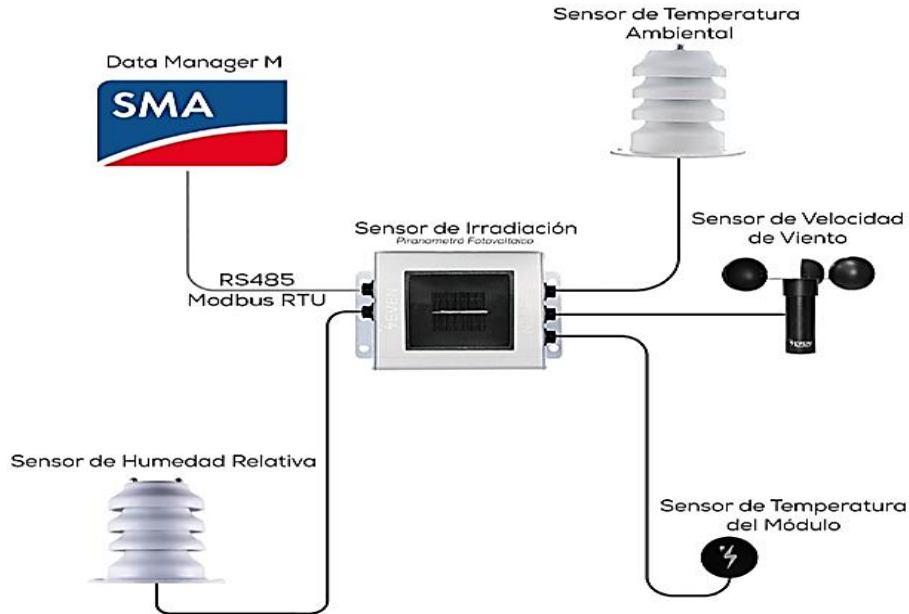


Figura 18 Esquema de una estación meteorológica [31].

Los valores recolectados de la irradiancia solar en (W/m^2) en este punto se detallan a partir de los datos de 30 días.

Estos datos fueron procesados en el software de Excel.

4.5.2. Fórmula para el cálculo de la hora solar pico (HSP).

La fórmula indica que el HSP se obtiene dividiendo la irradiancia total recibida en un día en Wh/m^2 entre la irradiancia estándar de $1000 W/m^2$. De esta manera, se obtiene el número de horas equivalentes en las que la irradiancia es de $1000 W/m^2$, facilitando la estimación de la producción de energía de los paneles solares.

A continuación, se presenta la fórmula.

$$HSP = \frac{E_{sol} Wh/m^2}{1000 W/m^2}$$

HSP: Hora solar pico en (h)

(8)

E_{sol} : Energía solar incidente en la superficie Wh/m^2

1000: Referencia de irradiancia estandar en W/m^2

A su vez la hora solar pico se la calcula con el área bajo la curva, la cual se obtiene mediante los datos promedios por cada hora.

En la Figura 19 se presenta una gráfica referente al área bajo la curva para el cálculo de la hora solar pico.



Figura 19 Ejemplo de HSP área bajo la curva [32].

4.6. Demanda energética

Para el cálculo de la demanda energética se obtuvieron valores de la potencia, en base a esta se obtiene la demanda ya que se los mide en kW mediante el analizador de redes, se utilizan funciones para el cálculo de la demanda mínima, media y máxima en el software de Excel.

La Figura 20 presenta la interfaz del equipo Fluke 1777 para seleccionar valores de potencia activa máxima, mínima y media en el índice de datos de tendencia que corresponde a la demanda energética, para posterior a ello exportar los datos hacia el programa de Excel.

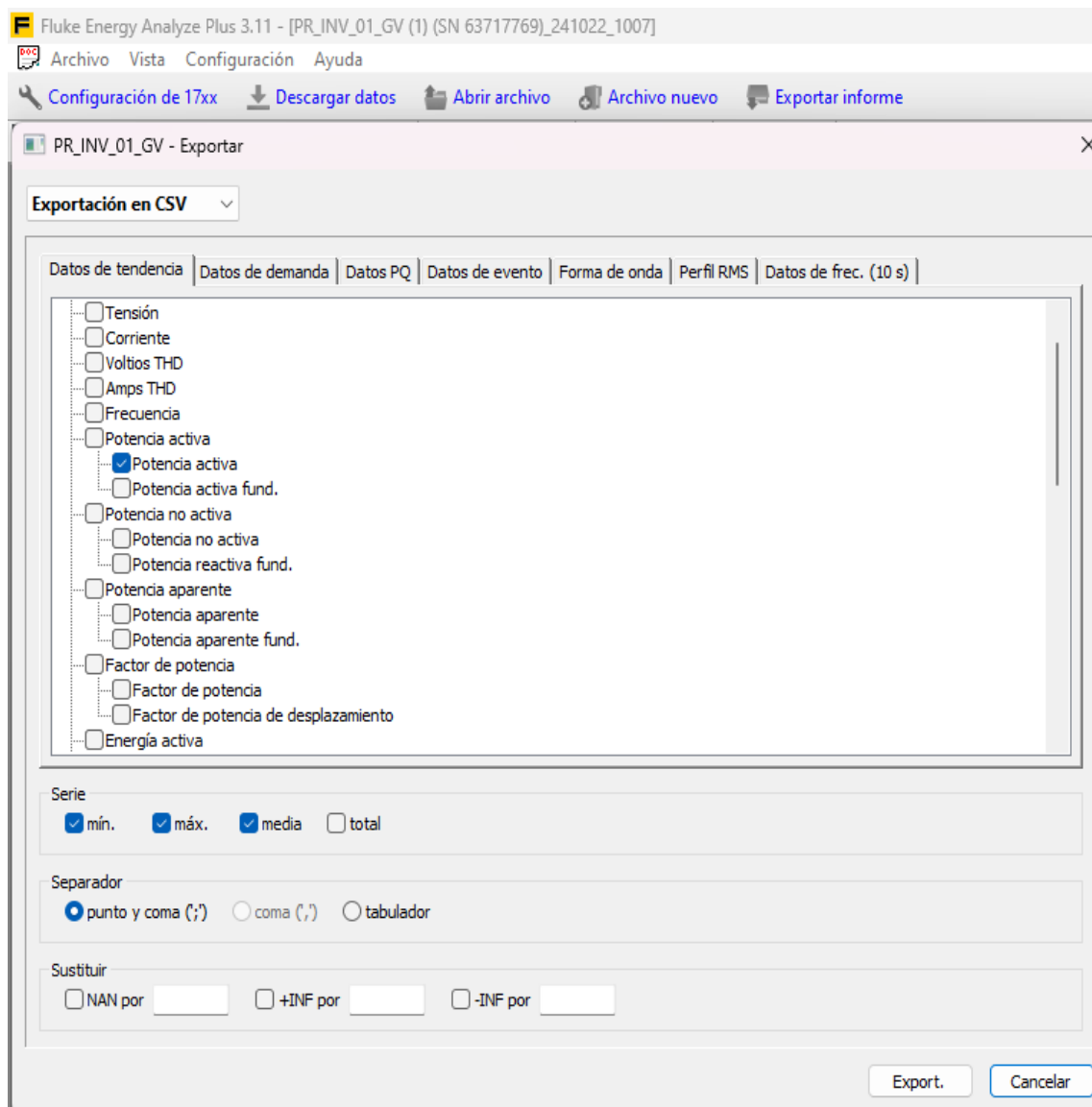


Figura 20 Interfaz de los datos de tendencia en el programa Fluke Energy Analyze Plus 3.11.

La demanda energética de la sala de control fue lo primordial para determinar cuánta energía se necesitó en el sistema fotovoltaico. Este dato fue esencial porque permitió calcular cuántos paneles solares necesitó el sistema para abastecer esa demanda, teniendo en cuenta factores como la hora solar pico (HSP) y la capacidad de generación de los paneles solares.

4.7. Dimensionamiento del sistema y selección del inversor

4.7.1. Fórmulas para el cálculo de componentes del sistema fotovoltaico

Las fórmulas que fueron empleadas para hallar el número de componentes son muy indispensables para obtener valores con exactitud de lo que requiere el arreglo fotovoltaico.

A continuación, se detallan las fórmulas utilizadas.

Para el cálculo de paneles, la fórmula a usar es la siguiente:

$$E_{panel} = P_{panel} * HSP \quad (9)$$

$$\# \text{ Paneles} = \frac{\text{Demanda diaria}}{E_{panel}} \quad (10)$$

Para el cálculo de baterías, la fórmula a usar es la siguiente:

$$C_{bb} = \frac{\text{Demanda diaria} * D_{aut}}{V * P_{desc} * \eta_{inv}} \quad (11)$$

$$\# \text{ Baterias} = \frac{C_{bb}}{C_{bateria}} \quad (12)$$

Para el cálculo del inversor, la fórmula a usar es la siguiente:

$$P_{inversor} = P_{demanda \ max} * F_{seg} \quad (13)$$

Para el cálculo del regulador de carga, la fórmula a usar es la siguiente:

$$I_{regulador} = \frac{P_{total \ paneles}}{V_{sistema}} \quad (14)$$

4.7.2. Componentes del sistema fotovoltaico

En la Figura 21 se presenta el arreglo del sistema fotovoltaico que se usó para la evaluación y dimensionamiento, constando de paneles solares, regular de carga, inversor de AC- DC, banco de baterías y la carga de consumo.

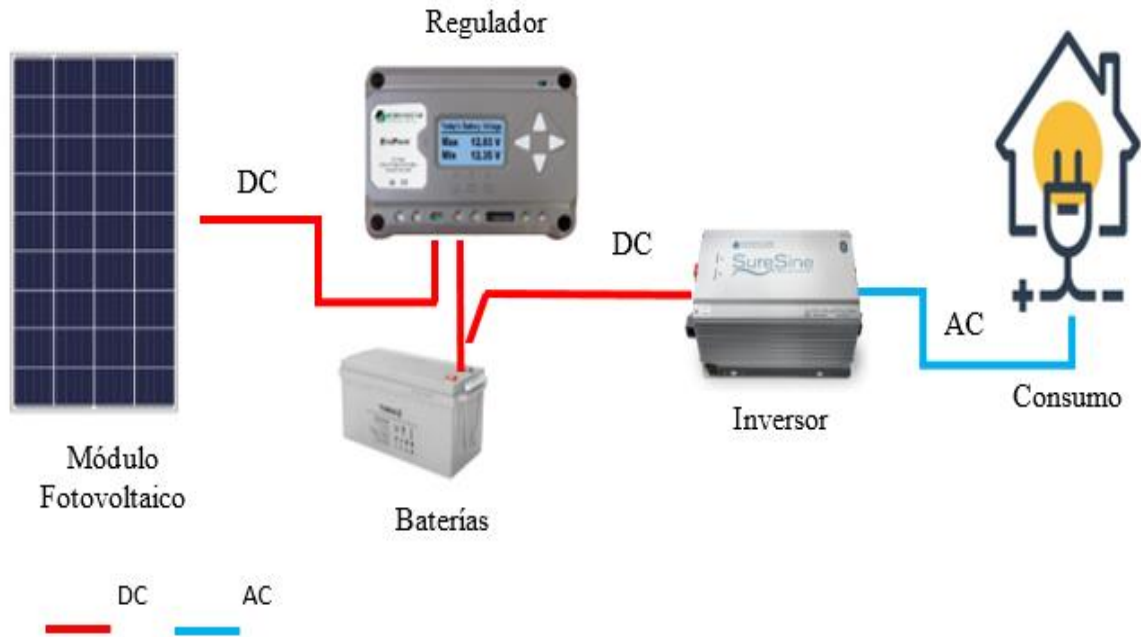


Figura 21 Diagrama del sistema fotovoltaico aislado.

4.7.3. Tipo de inversores y selección

En los sistemas fotovoltaicos, el inversor desempeña un rol crucial al transformar la corriente continua (CC) producida por los paneles solares en corriente alterna (CA), facilitando su aplicación en aparatos eléctricos tradicionales. Es fundamental la elección del tipo de inversor correcto para asegurar la eficiencia, estabilidad y compatibilidad del sistema con la carga eléctrica.

La Tabla 10 presenta los tipos de inversores con respectivas características, de la cual se escoge el que se implementó en el sistema fotovoltaico.

Tabla 10 Tipos de inversores y características.

TIPO	CARACTERISTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Inversor de Onda Senoidal Pura	Produce una onda de corriente alterna (CA) con forma de seno perfecta, similar a la que se obtiene de la red eléctrica. Es el tipo de inversor más compatible con todo tipo de equipos eléctricos y electrónicos, incluyendo	Mayor compatibilidad con equipos electrónicos sensibles. Menor riesgo de dañar equipos. Mayor eficiencia.	Mayor costo.

	<p>aquellos sensibles a la calidad de la energía.</p> <p>Suele ser más costoso que otros tipos de inversores.</p>		
<p>Inversor de Onda Senoidal Modificada</p>	<p>Produce una onda de CA con forma de onda cuadrada modificada, que se asemeja a una onda senoidal, pero con algunas modificaciones.</p> <p>Es menos costoso que los inversores de onda senoidal pura.</p> <p>Puede no ser compatible con algunos equipos electrónicos sensibles, como algunos tipos de motores o equipos de audio.</p>	<p>Menor costo.</p>	<p>Menor compatibilidad con equipos electrónicos sensibles.</p> <p>Mayor riesgo de dañar equipos.</p> <p>Menor eficiencia.</p>
<p>Micro inversores</p>	<p>Se instalan individualmente en cada panel solar.</p> <p>Convierten la corriente continua a corriente alterna a nivel de cada panel.</p> <p>Permiten optimizar el rendimiento de cada panel individualmente, lo que es beneficioso en casos de sombras parciales o diferencias en la orientación de los paneles.</p> <p>Suelen ser más costosos que los inversores centrales o de string</p>	<p>Mayor eficiencia en casos de sombras parciales o diferencias en la orientación de los paneles.</p> <p>Mayor flexibilidad en el diseño del sistema fotovoltaico.</p> <p>Mayor confiabilidad, ya que si un micro inversor falla, solo se pierde la producción de un panel.</p>	<p>Mayor costo</p>

Inversor Sure Sine 2500 W:

Onda Sinusoidal Pura: La elección de un inversor de onda sinusoidal pura es

ideal para equipos electrónicos sensibles como los que tenemos en la sala de control. Este tipo de onda ofrece una energía más limpia y estable, similar a la de la red eléctrica, lo que reduce el riesgo de daños a los equipos y garantiza un funcionamiento óptimo.

Eficiencia del 95%: Una eficiencia del 95% significa que el inversor convierte la energía de la batería en corriente alterna con muy pocas pérdidas, lo que se traduce en un menor consumo de energía y una mayor duración de la batería.

Potencia Pico de 5000 W: La potencia pico se refiere a la capacidad del inversor para manejar cargas repentinas y elevadas durante un corto período de tiempo. Es útil para equipos que tienen un pico alto.

Características Adicionales: Las características como Bluetooth y la aplicación móvil pueden ser útiles para monitorear y controlar el inversor de forma remota, lo cual es conveniente para una sala de control.

Voltaje DC: El uso de un sistema de 48V permite una menor pérdida de energía durante la conversión y transmisión. A medida que el voltaje aumenta, la corriente disminuye para una potencia constante, lo que reduce las pérdidas resistivas en los cables. Esto es especialmente importante en sistemas con longitudes de cable más largas, donde las caídas de tensión pueden ser significativas.

- Compatibilidad con Baterías

Las baterías de 48V son comunes en aplicaciones solares y permiten una integración sencilla con sistemas de almacenamiento. Este voltaje es adecuado para la mayoría de las configuraciones de baterías, como las de plomo-ácido y litio, proporcionando un equilibrio entre capacidad y tamaño.

- Menor Riesgo de Sobrecarga

Los inversores que operan a 48V tienden a ser más seguros en términos de manejo de sobrecargas. Al trabajar con voltajes más bajos, el riesgo de electrocución o daño por sobrecarga se reduce en comparación con sistemas que operan a voltajes más altos.

Voltaje AC: Al operar a 120V AC, estos inversores permiten conectar directamente equipos eléctricos comunes sin necesidad de transformadores

adicionales.

Los sistemas diseñados para operar a 120V son más fáciles de instalar y mantener, ya que se alinean con los estándares eléctricos existentes en muchas áreas.

La Figura 22 representa al inversor seleccionado de la marca Morningstar Sure Sine 2500 W.



Figura 22 Inversor Sure Sine [33]

La Tabla 11 brinda información sobre las especificaciones técnicas del inversor que se seleccionó para implementar en el sistema fotovoltaico, en el Anexo A más detalles del fabricante del inversor Sure Sine.

Tabla 11 Ficha técnica del inversor Sure Sine.

FICHA TECNICA	ESPECIFICACIONES
Modelo	Sure Sine (Morningstar)
Potencia	2500 W
Potencia pico	5000 W
Tipo	Onda sinusoidal pura
Eficiencia	95%
Voltaje	48V-DC/120V-AC
Frecuencia	60Hz

Peso	22.1 Kg
Dimensiones	544*247*156 (mm)

4.8. Montaje del inversor

El montaje del inversor se llevó a cabo siguiendo las recomendaciones del fabricante y las normas de seguridad eléctrica. Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

Herramientas necesarias:

- Destornillador estrella #2
- Destornillador plano de 5 mm
- Taladro con broca de 3,8 mm
- Multímetro
- Nivel de 20 cm
- Tacos para broca de 3.8 mm

Mediante especificaciones que brinda el fabricante del inversor se tomó los pasos correspondientes para el montaje – instalación del equipo.

Montaje:

Paso 1: Elección de la ubicación de montaje

- A) Elegir cómo y dónde se montará el inversor.
- B) Asegurarse de que el inversor esté protegido del sol, la lluvia y el polvo.

Paso 2: Accesibilidad de cableado y espacio libre para el flujo de aire.

- A) Planificar el acceso al enrutamiento de cables.
- B) Verificar que los tornillos de montaje no penetren cables u otros objetos ubicados en el lado opuesto de la superficie.
- C) Verificar que haya al menos 155 mm de espacio alrededor de la unidad.

Paso 3: Perforación de agujeros

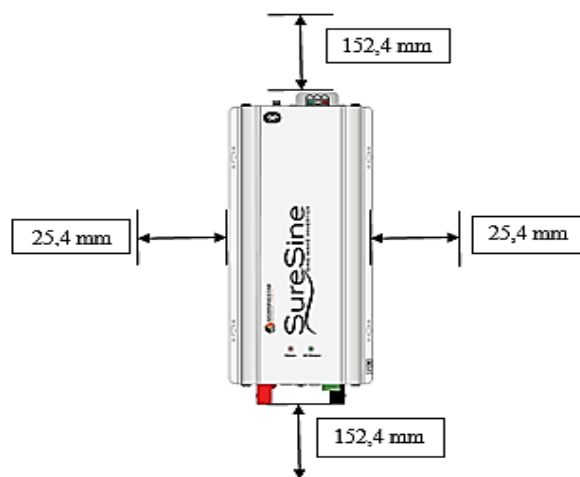
- A) Colocar el inversor en la pared en la ubicación seleccionada.
- B) Con un lápiz o bolígrafo, marcar el centro de cada ranura del ojo de la cerradura; dos en la parte superior y dos en la parte inferior.
- C) Retirar el inversor y realizar cuatro agujeros de 3,175 mm donde se hicieron las marcas.

Paso 4: Asegurar el inversor

- A) Colocar el SureSine sobre la superficie y alinear las ranuras de ojo de cerradura con los cuatro orificios guía.
- B) Usar los cuatro tornillos #10 (incluidos) para asegurar el SureSine a la superficie.

Ubicación: Se seleccionó una ubicación adecuada para el inversor, considerando factores como la ventilación, la proximidad a la fuente de energía y la protección contra la intemperie. Se eligió una pared sólida y nivelada que pudiera soportar el peso del inversor.

La Figura 23 presenta el plano eléctrico y componentes que posee la sala de control, a su vez se pudo visualizar el punto exacto donde fue montado el inversor Sure Sine con las respectivas medidas de instalación, se lo puede encontrar en el Anexo B.



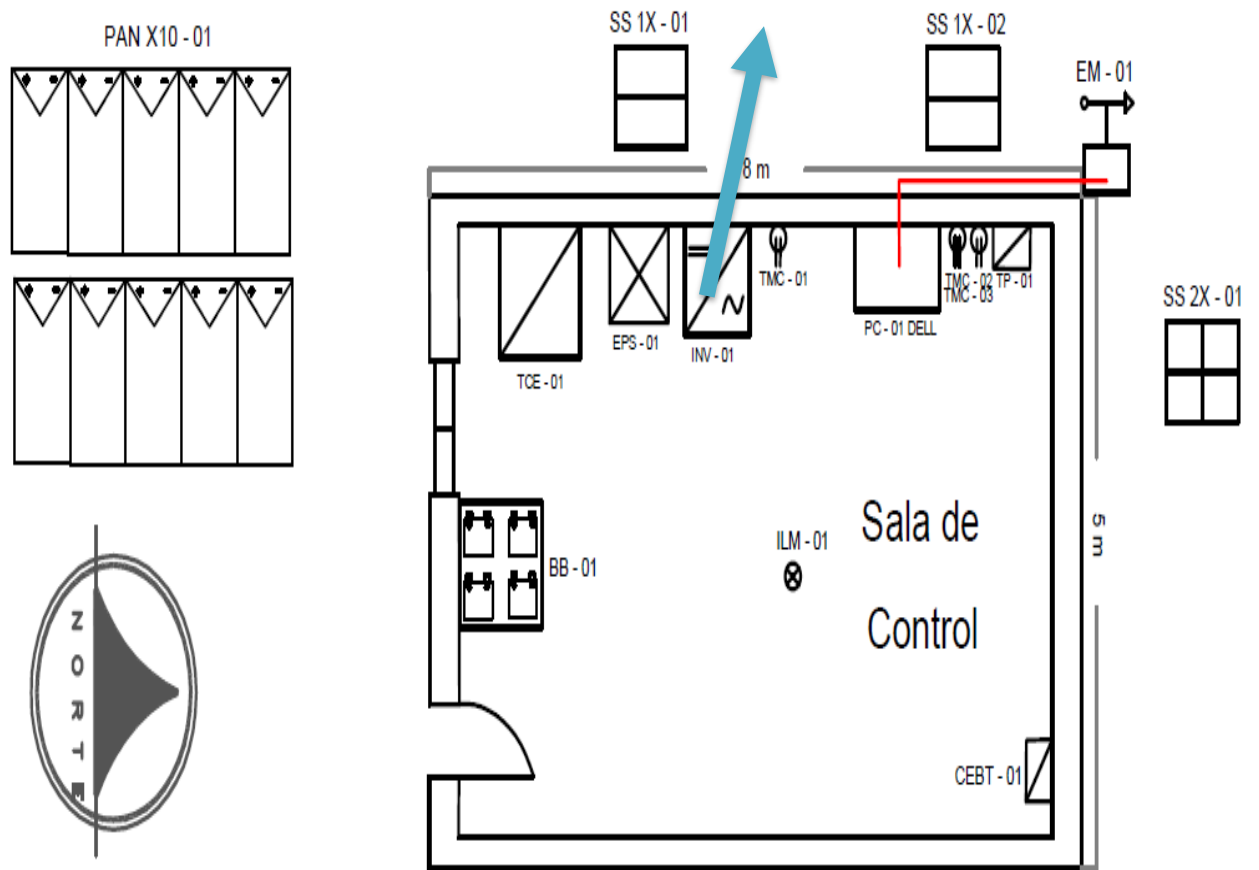


Figura 23 Plano de instalación del inversor y vista en general de equipos.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo, se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la investigación realizada. Se detallan los hallazgos relacionados con la evaluación de la demanda energética en la sala de control del proyecto DIRGI-CP2021-008, incluyendo el análisis de los patrones de consumo, la identificación de los principales factores que influyen en la demanda y la estimación del potencial de ahorro energético. Asimismo, se presentan los resultados del cálculo de la Hora Solar Pico (HSP) en la ubicación del proyecto, destacando su importancia para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico aislado. Se analizan los resultados del dimensionamiento del sistema fotovoltaico, incluyendo la selección de los componentes, la estimación de la capacidad del sistema y la evaluación de su viabilidad técnica y económica. Finalmente, se discuten los resultados obtenidos en el contexto de la literatura existente y se proponen recomendaciones para futuras investigaciones.

5.1. Análisis de valores de consumo energético.

Tensión.

En la Tabla 12 se presentan los valores de tensión generados en el software Excel, promediando los valores que se tomaron en las horas del día, registrados en los diferentes circuitos de la sala de control [28].

Tabla 12 Tensión entre fases A-B, neutro y tierra.

TENSIÓN (V)			
FECHA	A-N	B-N	N-G
22/10/2024	122	120	0
23/10/2024	117	116	16
24/10/2024	124	122	0
25/10/2024	120	119	0
26/10/2024	118	117	0
27/10/2024	124	122	0
28/10/2024	115	114	0
29/10/2024	129	127	0

En la Figura 24 se obtuvo los parámetros de tensión mediante las fases A, B y Neutro. Estos valores fueron cruciales para garantizar que los equipos operen dentro de los niveles seguros de tensión, los datos de la tabla 12 se usaron para el grafica.

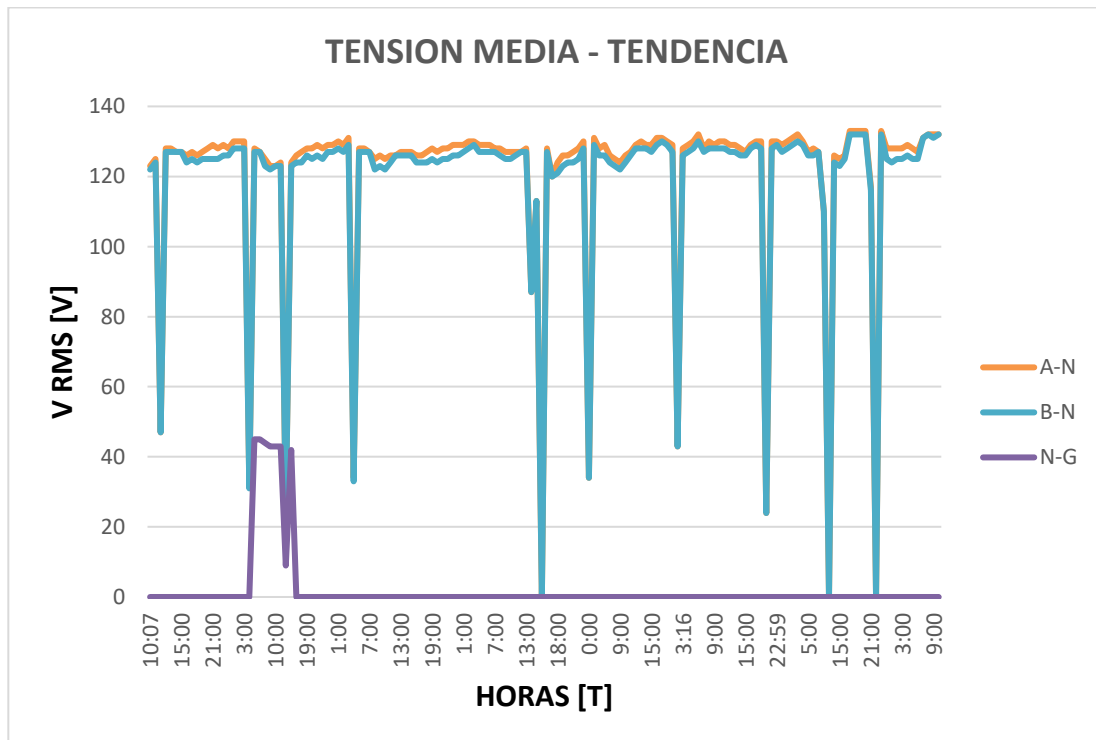


Figura 24 Valores promedio de tensión Fase A-B y Neutro.

Corriente

La Tabla 13 muestra los valores de corriente promedio medidos en la sala de

control respecto a los días de toma de datos, los cuales serán representados gráficamente en la figura 25.

Tabla 13 Corriente de fase A-B y neutro.

CORRIENTE (A)			
FECHA	I-A	I-B	I-N
22/10/2024	0,48	0,20	0,43
23/10/2024	1,92	0,20	1,84
24/10/2024	0,49	0,19	0,45
25/10/2024	0,50	0,19	0,49
26/10/2024	0,23	0,18	0,22
27/10/2024	0,23	0,19	0,20
28/10/2024	0,26	0,18	0,27
29/10/2024	0,23	0,19	0,19

En la Figura 25 se registró la corriente promedio durante los periodos de medición. Este valor fue fundamental para conocer el consumo típico de los equipos bajo condiciones normales de operación. Se observa que la corriente máxima en la fase A, B y NEUTRO se registró EL 23/10/2024, alcanzando el 1,92 (A) fase A, 0,20 (A) fase B y 1,84 en neutro. Este pico de corriente coincide con el horario de mayor actividad en la sala, cuando se utilizan simultáneamente varios equipos, como computadoras, luces y sistemas de implementados. Los datos para la gráfica fueron tomados de la tabla 13.

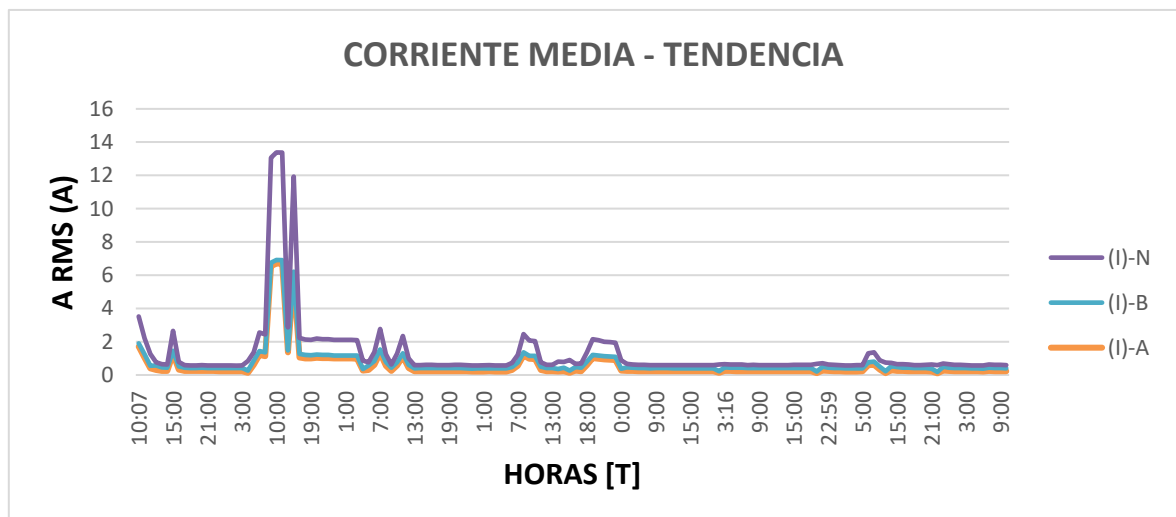


Figura 25 Valores promedios de corriente Fase A-B y Neutro.

Potencia.

La Tabla 14 presenta los valores de potencia promedio medidos en la sala de control. Estos valores fueron cruciales para garantizar que los equipos operen dentro de los niveles seguros de potencia.

Tabla 14 Potencia fase A y B.

POTENCIA (W)		
FECHA	P - A	P - B
22/10/2024	33,53	18,32
23/10/2024	203,64	17,43
24/10/2024	31,74	17,98
25/10/2024	33,09	17,34
26/10/2024	9,14	16,91
27/10/2024	9,54	18,23
28/10/2024	12,36	16,97
29/10/2024	9,74	18,70

La Figura 26 presenta el comportamiento de la potencia en la sala de control mediante los datos proporcionados en la tabla 14, indicando los valores de consumo a lo largo de las fechas de medición, en la cual se verificó que el punto pico de potencia es el 23/10/2024 con un consumo de 203,64 W en la fase A y 17,43 W en la fase B.

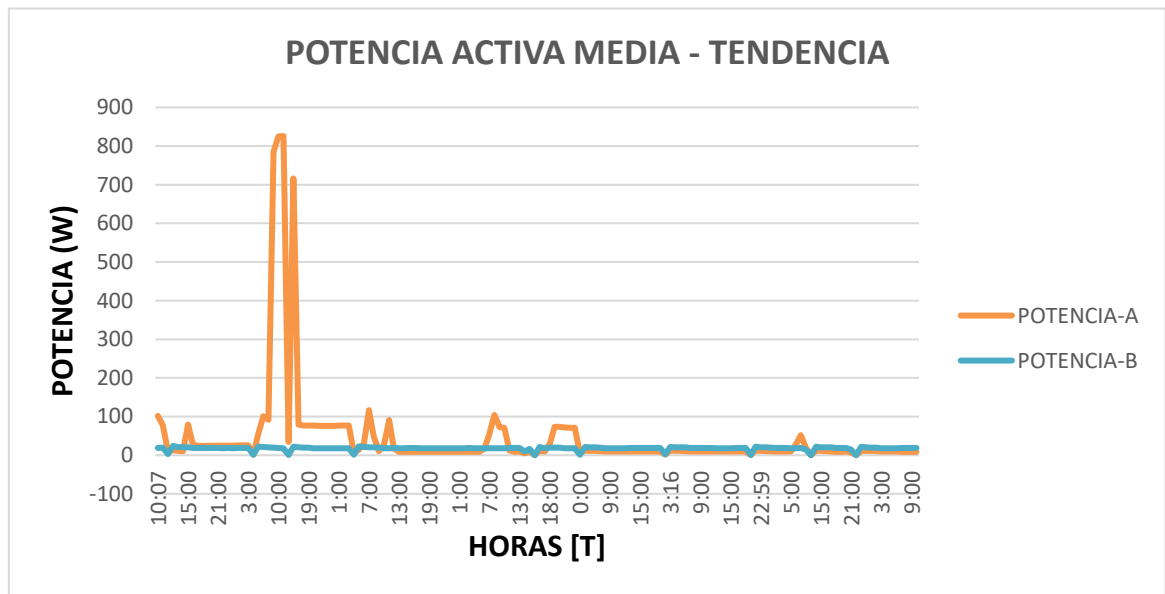


Figura 26 Valores promedios de potencia Fase A-B

Energía.

La Tabla 15 muestra el consumo de energía en la sala de control durante diferentes períodos de tiempo, el cual permite garantizar el funcionamiento

pleno de el equipo en la sala de control.

Tabla 15 Energía en las fases A y B.

ENERGÍA (kWh)		
FECHA	E - Fase A	E – Fase B
22/10/2024	31,45	16,55
23/10/2024	197,19	16,27
24/10/2024	31,15	17,04
25/10/2024	32,90	16,97
26/10/2024	9,05	16,86
27/10/2024	9,36	17,92
28/10/2024	12,07	16,41
29/10/2024	9,17	17,50

En la Figura 27 se indicó el parámetro que se consideró uno de los más relevantes para la evaluación del consumo real de energía, ya que reflejó la potencia que efectivamente se consume para el funcionamiento de los equipos, mostrando que los días de lunes a viernes de la semana tienen un consumo de energía más alto que el fin de semana (26 y 27 de octubre del 2024). Esta diferencia en el consumo de energía se debe probablemente a la mayor actividad en la sala de control durante los días de semana.

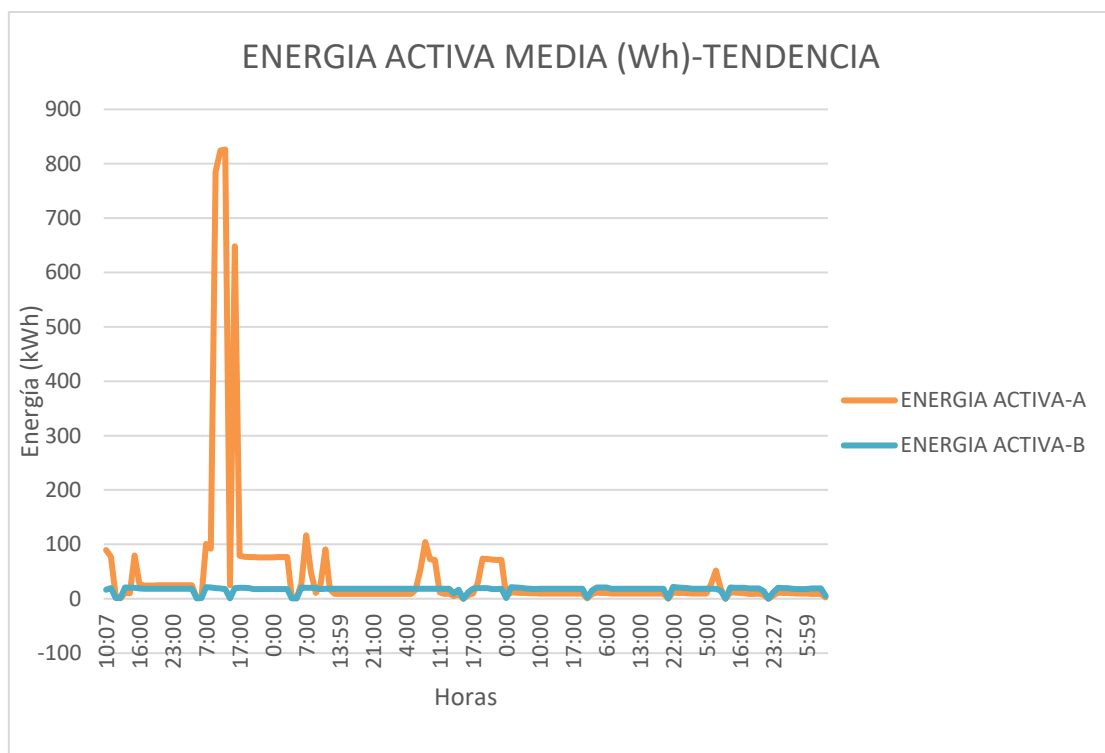


Figura 27 Valores promedios de energía Fase A y B.

5.2. Análisis de datos meteorológicos.

Mediante los datos de irradiancia que se obtuvo a través de la estación meteorológica se logró graficar las curvas importantes referente a la irradiación que se aprovecha en la sala de control del proyecto.

En la Figura 28 se obtuvo la gráfica de irradiancia total de los 30 días en el periodo de medición, en la cual se registró el menor (8) y mayor (9) día de irradiancia. Todos los datos que fueron utilizados para realizar la gráfica se encuentran en el Anexo x.

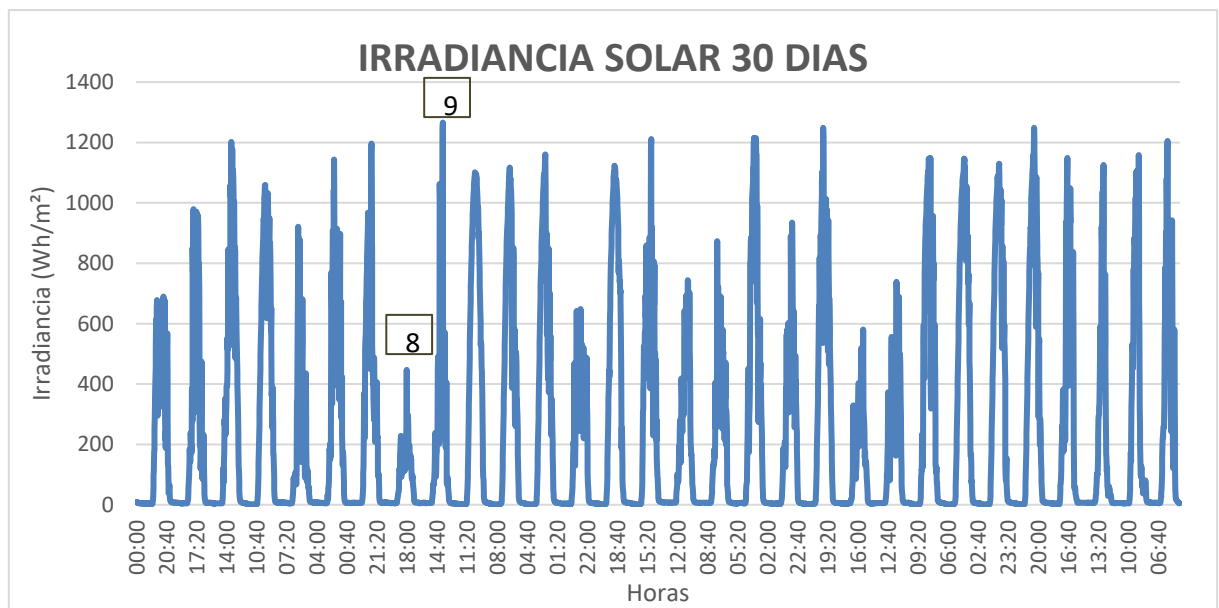


Figura 28 Irradiancia total de 30 días.

En la Figura 29 se obtuvo la gráfica de irradiancia mínima, media y máxima con respecto a las horas de medición, las curvas indicaron los puntos picos y los más bajos en cada parámetro, los valores que se tomaron para esta grafica se los encuentra en el Anexo x.

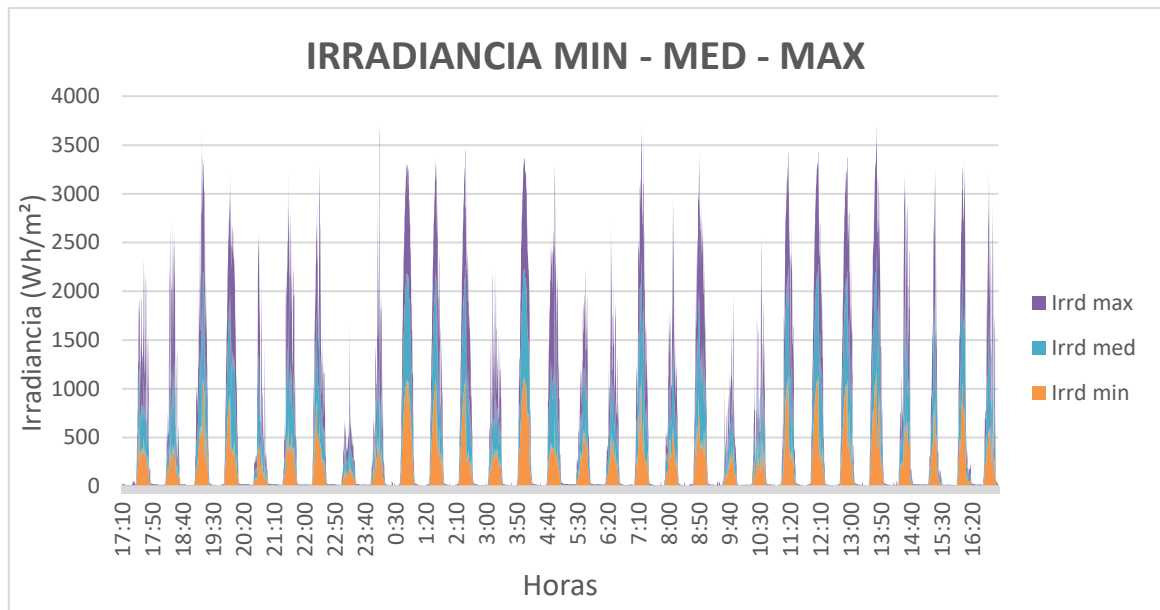


Figura 29 Curvas de irradiancia mínima, media y máxima.

En la Tabla 16 se detallan los valores proporcionados en las 24 horas para la obtención de la curva de menor irradiancia en Wh/m^2 , en el Anexo x se puede verificar todos los valores utilizados.

Tabla 16 Datos de menor irradiancia.

Horas	Irradiancia (Wh/m^2)
0:00	6
1:00	6
2:00	6
3:00	5
4:00	6
5:00	32
6:00	119
7:00	228
8:00	184
9:00	118
10:00	157
11:00	447
12:00	297
13:00	174
14:00	140
15:00	97
16:00	24
17:00	9
18:00	8
19:00	7
20:00	6
21:00	6
22:00	7
23:50	6

En la Figura 30 se observó el comportamiento a lo largo del día con menor

irradiancia, por lo cual se analizó los picos altos y bajos en el octavo día de recolección de datos, en la cual alcanzó los 450 Wh/m^2 (1).



Figura 30 Irradiancia mínima.

En la Tabla 17 se detallan los valores proporcionados en las 24 horas para la obtención de la curva de mayor irradiancia en Wh/m^2 , en el Anexo x se puede verificar todos los valores utilizados.

Tabla 17 Datos de mayor irradiancia.

Horas	Irradiancia (W/m2)
0:00	6
1:00	6
2:00	6
3:00	6
4:00	6
5:00	39
6:00	87
7:00	137
8:00	219
9:00	320
10:00	541
11:00	779
12:00	814
13:00	517
14:00	210
15:00	86
16:00	25
17:00	7
18:00	5
19:00	5
20:00	5
21:00	5
22:00	4

23:00	3
23:50	3

En la Figura 31 se observó el comportamiento a lo largo del día con mayor irradiancia, por lo cual se analizó los picos altos y bajos en el noveno día de recolección de datos, en la cual alcanzó los 1200 Wh/m^2 (1).



Figura 31 Irradiancia máxima.

5.2.1. Análisis de la hora solar pico (HSP)

Para la obtención de la hora solar pico se tomó todos los datos que se encuentran en el Anexo x, luego se promedió cada valor por hora y se obtuvo datos promediados que se generaron en una tabla trabajada estadísticamente en el programa de Excel.

En la Tabla 18 se obtuvo valores de irradiancia con respecto a las 24 horas del día, teniendo una irradiancia total de $5487,47 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$, con la cual se procedió hacer el cálculo matemático y gráfico para la obtención de la hora solar pico.

Tabla 18 Datos promedio por hora de Irradiancia solar.

Horas	Irradiancia (Wh/m ²)
0:00	4,93
1:00	4,47
2:00	4,17
3:00	4,17
4:00	3,97
5:00	4,00
6:00	5,10

7:00	86,67
8:00	269,17
9:00	446,60
10:00	646,83
11:00	747,73
12:00	733,77
13:00	756,17
14:00	628,30
15:00	504,00
16:00	369,07
17:00	196,30
18:00	33,37
19:00	8,57
20:00	7,13
21:00	6,47
22:00	5,87
23:00	5,63
23:50	5,03
Total	5487,47

Para el cálculo matemático se usó la fórmula que se indicó en el punto 4.7.1. en la cual se calcula paso a paso para la obtención de la hora solar pico.

$$HSP = \frac{Irradiación_{diaria} Wh/m^2}{1000 W/m^2}$$

$$HSP = \frac{5487,47 Wh/m^2}{1000 W/m^2} \quad (15)$$

$$HSP = 5,48 h$$

En la Figura 32 se obtuvo los picos de irradiancia, teniendo que el valor más alto fue de 756 Wh/m^2 (1), los datos que se aplicaron para esta gráfica se tomaron de la tabla 20.

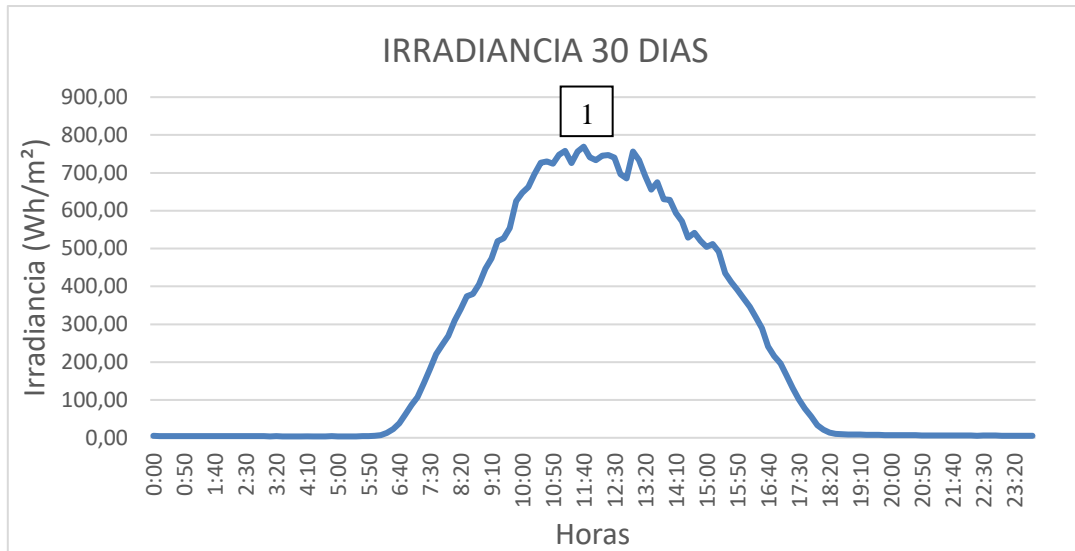


Figura 32 Irradiancia Total promediado.

En la Figura 33 se obtuvo el área bajo la curva, el cual es el valor total de irradiación para el cálculo que obtuvimos, siendo 5,48 HSP para el sistema fotovoltaico del proyecto, los valores para realizar esta gráfica se tomaron de la tabla 20.

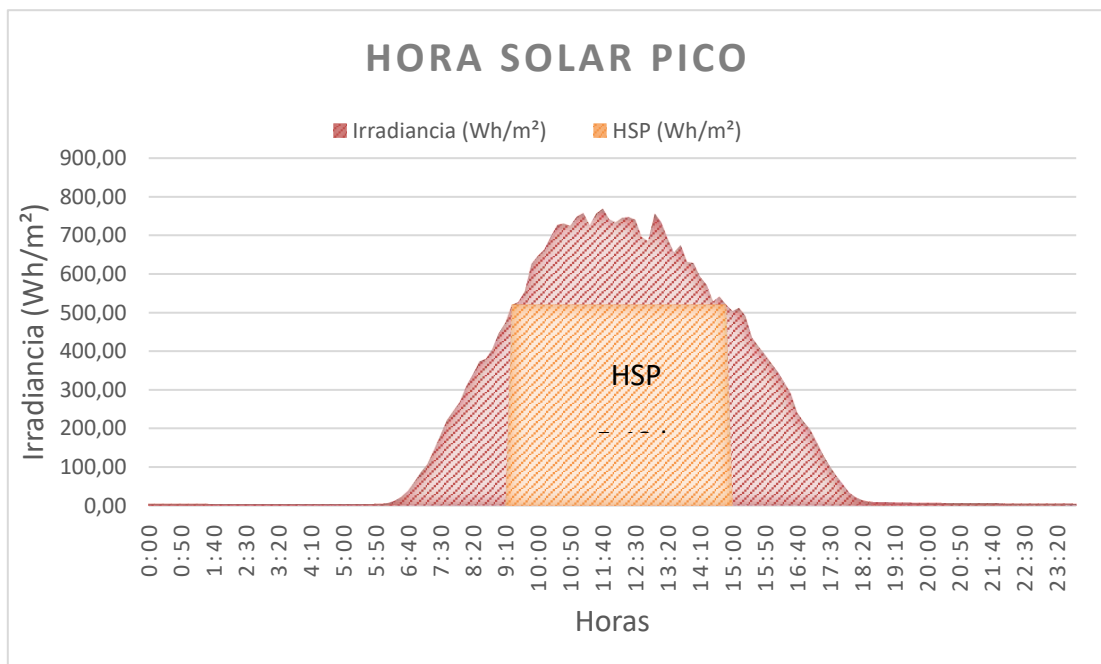


Figura 33 Área bajo la curva de la irradiancia total.

5.3. Análisis de la Demanda Energética.

En la tabla 19 se registró la demanda mínima energética como el valor más bajo de potencia registrada durante un período de 24 horas. Se calculó la demanda mínima promedio durante el período de medición. Se analizaron los patrones y

tendencias en los datos de demanda mínima energética.

Tabla 19 Demanda energética mínima.

FECHA	DEMANDA MINIMA (kW)
22/10/2024	0,03
23/10/2024	0,13
24/10/2024	0,04
25/10/2024	0,04
26/10/2024	0,02
27/10/2024	0,02
28/10/2024	0,02
29/10/2024	0,02

La demanda mínima fue promediada entre todos los valores que dio el analizador y a la vez se tomó el valor promedio de cada día.

La Figura 34 indica mediante un diagrama de barras el comportamiento de la demanda mínima a lo largo de los días que se tomó los datos.

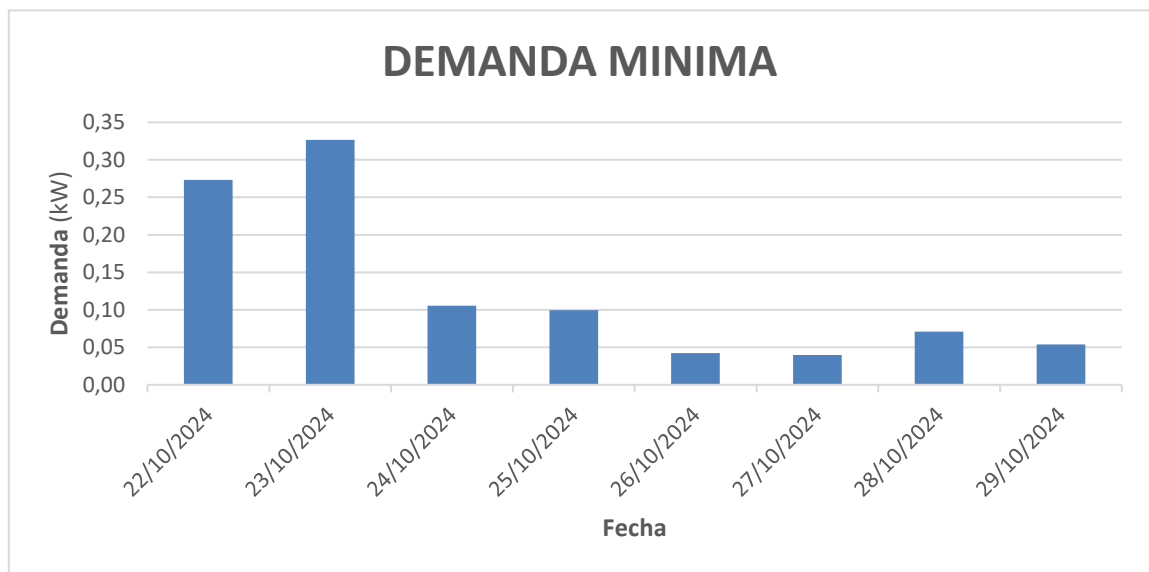


Figura 34 Demanda mínima y sus estimaciones de cada día.

A continuación, se detalla los datos de la demanda media.

La Tabla 20 proporciona datos esenciales de la demanda media para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico. Al conocer el consumo promedio en diferentes períodos, podemos asegurar que el sistema sea capaz de generar suficiente energía para cubrir las necesidades de la sala de control a lo largo del tiempo.

Tabla 20 Demanda energética media.

FECHA	DEMANDA MEDIA (kW)
22/10/2024	0,05
23/10/2024	0,22
24/10/2024	0,05
25/10/2024	0,05
26/10/2024	0,03
27/10/2024	0,03
28/10/2024	0,03
29/10/2024	0,03

La Figura 35 se utilizó para comprender mejor los patrones de consumo de energía en la sala de control y cómo se ven afectados por la Esta información se utilizará para dimensionar el sistema fotovoltaico y para identificar oportunidades para optimizar el consumo de energía.

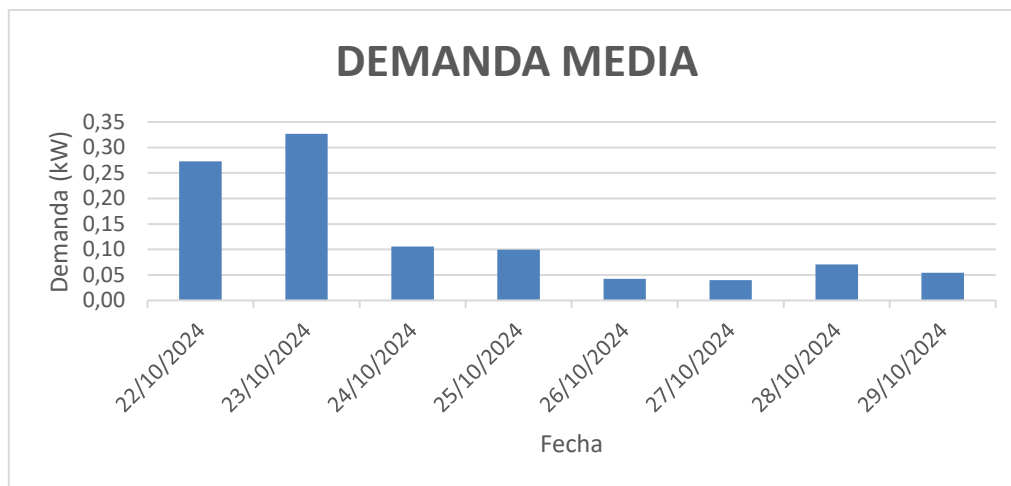


Figura 35 Demanda media y sus estimaciones de cada día.

A continuación, se detalla los datos de la demanda máxima.

La Tabla 21 nos indica datos de demanda máxima que se utilizaron para dimensionar el sistema fotovoltaico, asegurando que pueda satisfacer las necesidades energéticas de la sala de control incluso en los momentos de mayor consumo. Los datos también se utilizaron para identificar oportunidades para optimizar el consumo de energía en la sala de control.

Tabla 21 Demanda energética máxima.

FECHA	DEMANDA MAXIMA (kW)
22/10/2024	0,27
23/10/2024	0,33

24/10/2024	0,11
25/10/2024	0,10
26/10/2024	0,04
27/10/2024	0,04
28/10/2024	0,07
29/10/2024	0,05

Mediante la Figura 36 se analizaron los patrones y tendencias en el gráfico, y se comparó la demanda máxima entre los diferentes días de la semana. Se identificaron los valores máximos en el sistema.

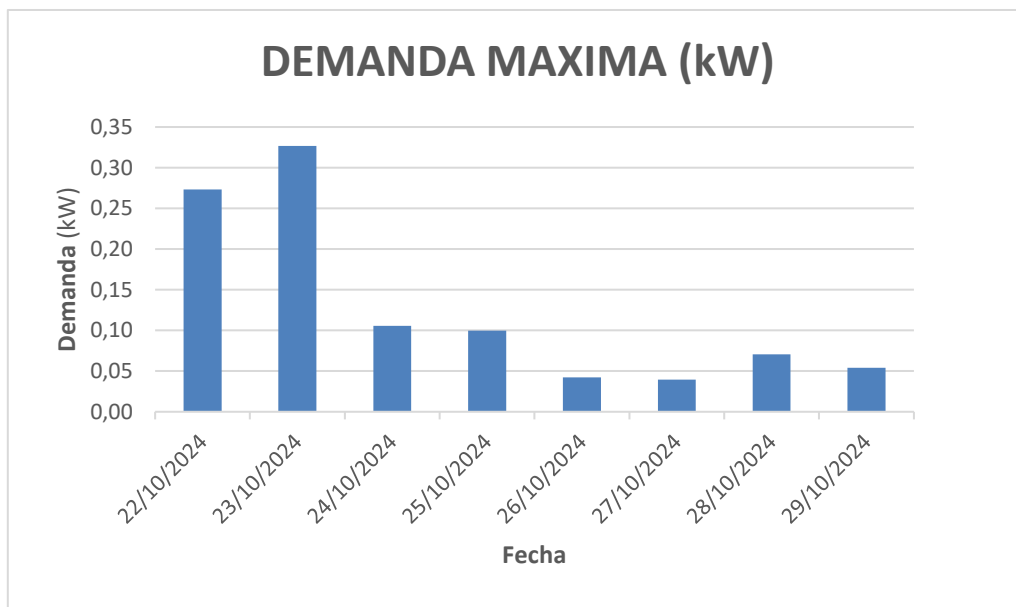


Figura 36 Demanda máxima y sus estimaciones de cada día.

La Figura 37 se presenta las curvas de comportamiento del consumo energético referente a la demanda mínima, media y máxima en la sala de control del proyecto.

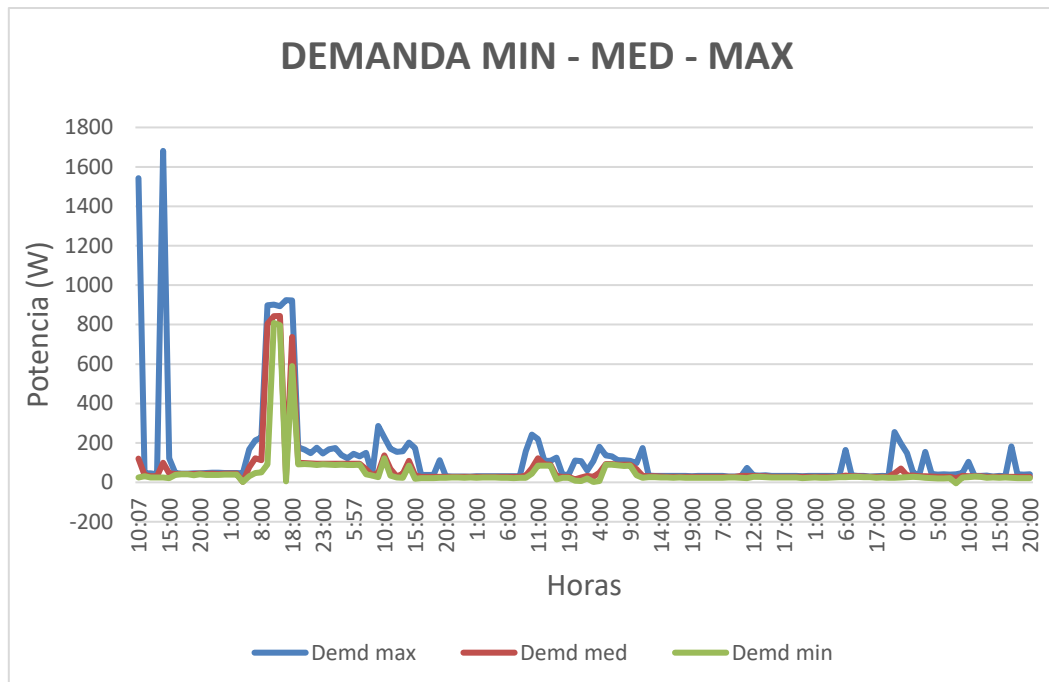


Figura 37 Demanda mínima – media – máxima.

La demanda máxima de consumo eléctrico en la sala de control del proyecto DIRGI-CP2021-008 se registró a partir de datos tomados en una semana, a continuación, se presenta la gráfica que nos dio el pico máximo de consumo con el cual se seleccionó el inversor a implementar en el arreglo del sistema fotovoltaico.

La Figura 38 imparte todos los datos de la demanda máxima y así obtuvimos una gráfica entendible para el caso del consumo energético al que necesitamos abordar en el arreglo del sistema y poder seleccionar el adecuado inversor, en el Anexo x se presenta los datos con los cuales se realizó la gráfica.

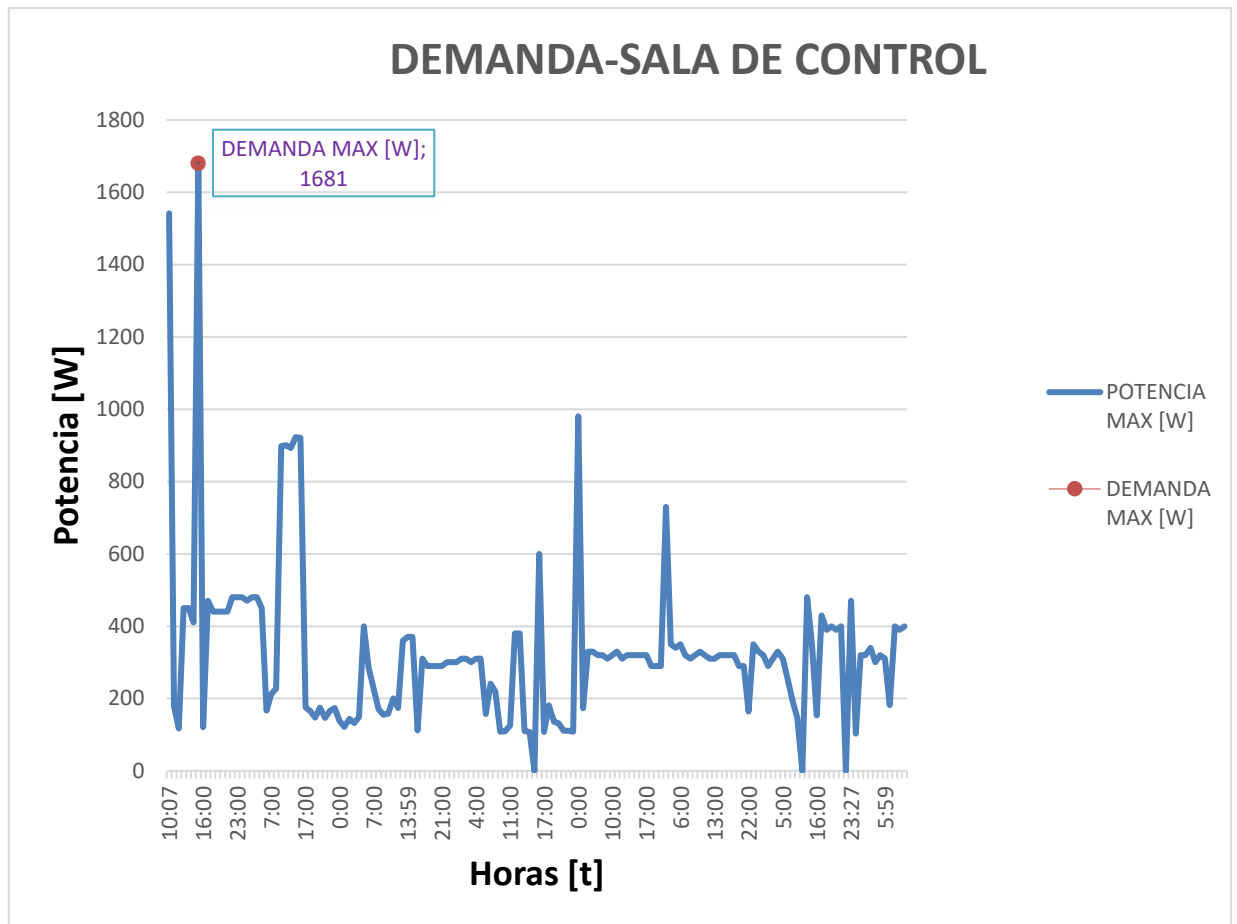


Figura 38 Valor de la demanda máxima en W a partir del consumo energético.

En la Figura 39 se obtuvo el valor de potencia máxima en W del inversor, mediante datos técnicos que nos brindó el fabricante del producto.

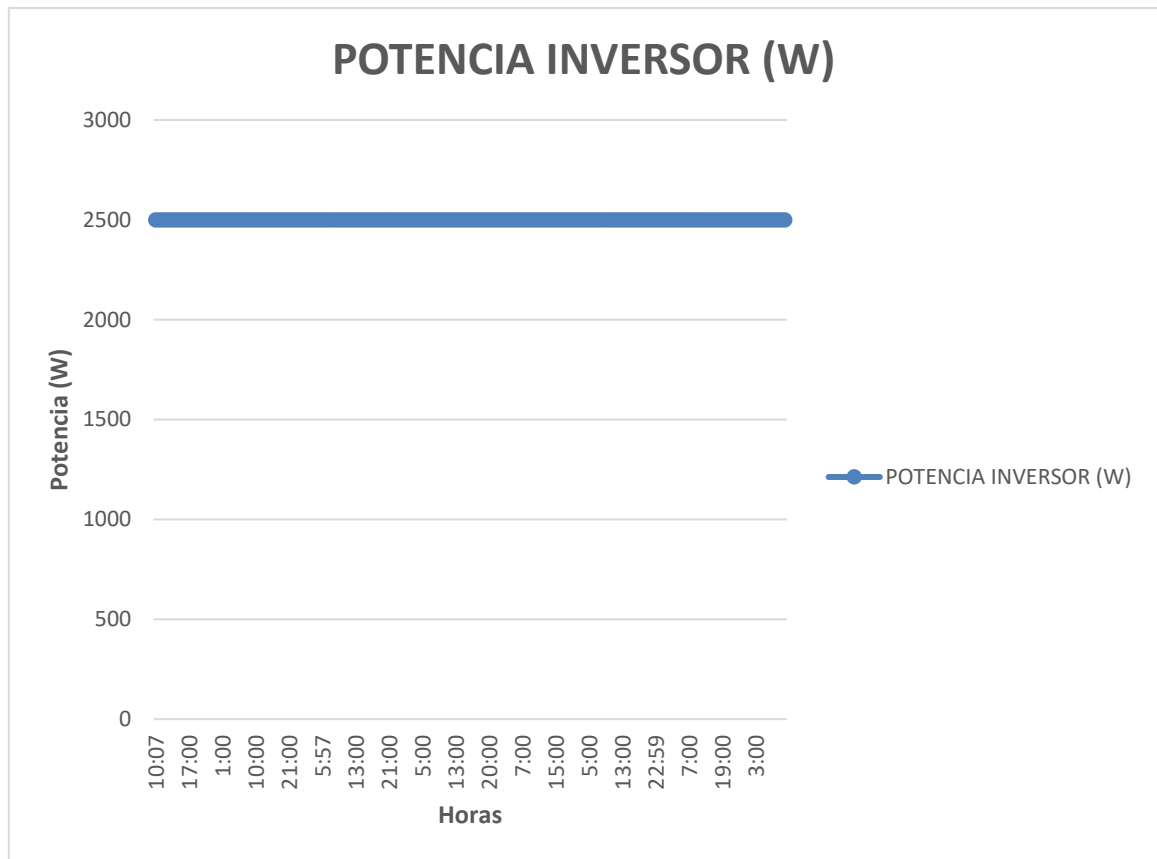


Figura 39 Potencia del inversor Sure Sine.

A partir de la Figura 39 se obtuvo un valor de 1681 W como demanda máxima, con esto se pudo seleccionar el inversor ya mencionado en la metodología ya que todas sus características satisfacen la necesidad de consumo para el sistema fotovoltaico siendo así que:

$$P_{inversor} > P_{demanda}$$

$$2500 [W] > 1681[W]$$

En la Figura 40 se obtuvo la nueva grafica que ayudó a distinguir la presencia de la potencia de inversor ante el consumo energético de los equipos, afirmando así que satisface la necesidad de potencia, a continuación, se detalló la gráfica de consumo.

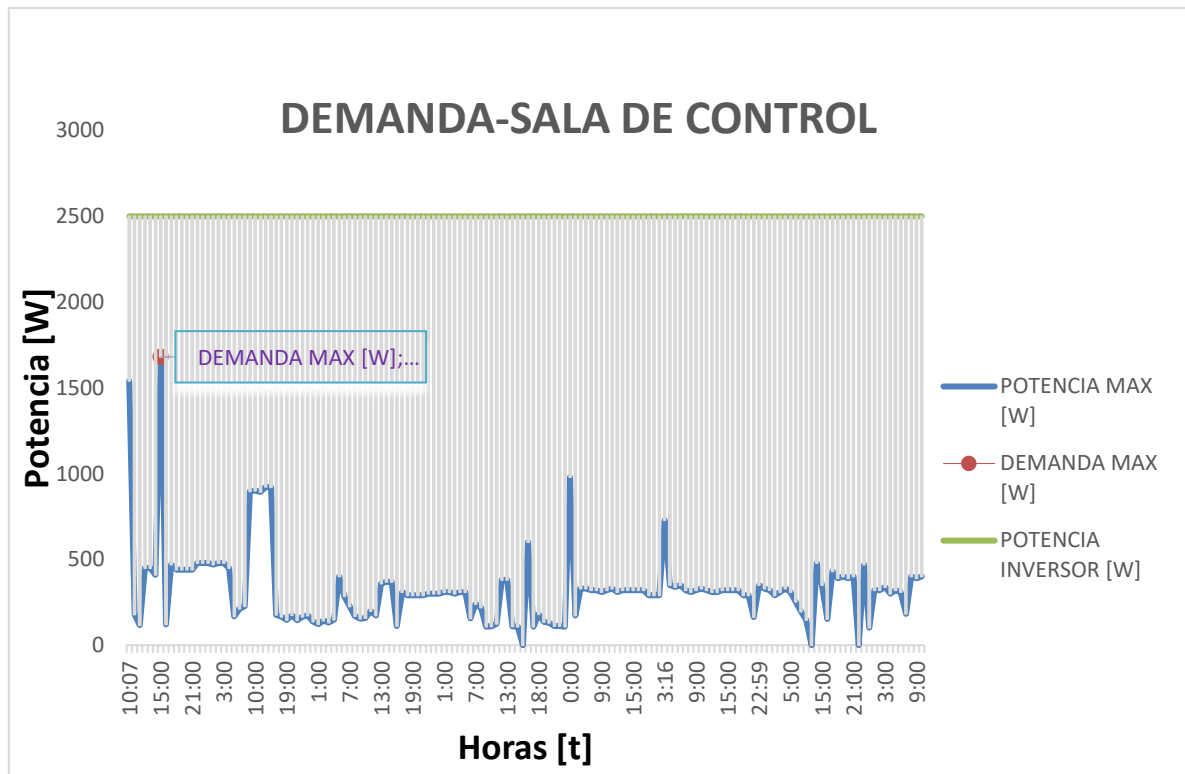


Figura 40 Valor de la potencia de la demanda máxima e inversor en W a partir del consumo energético.

Al haber elegido un inversor con una capacidad (2500 W) superior a la demanda máxima (1681 W) nos da un margen de seguridad para evitar sobrecargar el inversor y prolongar su vida útil. Generalmente, se recomienda un margen de al menos 20-25% por encima de la demanda máxima.

5.4. Cálculo de componentes del Sistema Fotovoltaico

En este punto se obtuvo los siguientes datos mediante los cálculos para los componentes que se ocuparon en el sistema fotovoltaico.

5.4.1. Cálculo de paneles

DATOS:

$$P_{panel} = 140 \text{ W}$$

$$HSP = 5,48 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Consumo diario} = 6,53 \text{ kWh}$$

La eficiencia de los paneles solares en su fabricación, se mide mediante un test que se realiza en laboratorio bajo unas condiciones estándares. De este modo, se establece cuál es el rendimiento oficial del panel y es la información que se imprimirá en su ficha técnica. Aunque, algunos fabricantes también indican

directamente su eficiencia en la misma ficha técnica.

Los paneles solares nuevos tienen una garantía de 25 años, ofreciendo un rendimiento superior al 80% [34].

$$PFV = \frac{\text{Consumo diario kWh}}{HSP * \eta_{\text{sistema}}} \quad (16)$$

$$PFV = \frac{6,53 \text{ kWh}}{5,4 \text{ h} * 0,8}$$

$$PFV = 1,51 \text{ kW}$$

$$\# \text{ Paneles} = \frac{PFV}{P_{\text{panel}}} \quad (17)$$

$$\# \text{ Paneles} = \frac{1,51 \text{ kW}}{0,14 \text{ kW}}$$

$$\# \text{ Paneles} = 10,78 = 10 \text{ paneles}$$

Al tener un arreglo fotovoltaico en serie y paralelo se usó 10 paneles ya que 9 no se puede conectar de manera correcta.

5.4.2. Cálculo de la capacidad del banco de baterías

La profundidad de descarga recomendada puede variar dependiendo del tipo de batería. , en el caso de las baterías de plomo-ácido, se recomienda mantener una profundidad de descarga máxima del 50%. Esto significa que la batería no debe descargarse más allá del 50% de su capacidad total.

Mantener una profundidad de descarga baja en las baterías de plomo-ácido ayuda a prolongar su vida útil y garantizar un rendimiento óptimo. Además, una DOD baja reduce el riesgo de dañar la batería y minimiza la posibilidad de que se produzcan problemas como la sulfatación, que puede afectar negativamente la capacidad de la batería para retener carga [18].

$$C_{bb} = \frac{\text{Consumo diario} * \text{Dias}_{\text{aut}}}{V * P_{\text{desc}} * \eta_{\text{inv}}} \quad (19)$$

$$C_{bb} = \frac{6,53 \text{ kWh} * 3}{48 \text{ V} * 0,5 * 0,95}$$

$$C_{bb} = 859,2 \text{ Ah}$$

$$\# \text{ Baterias} = \frac{C_{bb}}{C_{\text{bateria}}} \quad (20)$$

$$\# \text{ Baterias} = \frac{859,2 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}}$$

$$\# \text{ Baterias} = 8,59 = 8 \text{ Baterias}$$

5.4.3. Cálculo del inversor

$$P_{\text{inversor}} = P_{\text{dem max}} * F_{\text{seg}}$$

$$P_{\text{inversor}} = 1681 \text{ W} * 1,25 \quad (21)$$

$$P_{\text{inversor}} = 2101$$

El inversor que se escogió para este arreglo fue de 2500 W ya que es un valor comercial y específico para el sistema fotovoltaico.

5.4.4. Cálculo del regulador de carga

$$I_{\text{regulador}} = \frac{P_{\text{total paneles}}}{V_{\text{sistema}}}$$

$$I_{\text{regulador}} = \frac{10 * 140 \text{ W}}{48 \text{ V}} \quad (22)$$

$$I_{\text{regulador}} = 30 \text{ A}$$

5.4.5. Arreglo fotovoltaico

El arreglo fotovoltaico cuenta con 10 paneles solares de 140 W, los mismo que se calcularon en el punto anterior y fueron conectados en serie y paralelo, así mismo el número de baterías que fueron 8 de 100 A conectados en serie y paralelo, posee un regulador de carga de 30 A, y a su vez cuenta con un inversor de 2500 W.

En el Anexo x se obtiene el plano del arreglo del sistema fotovoltaico con todos sus componentes y los datos calculados previo a este sistema diseñado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se demostró que la demanda energética de la sala de control del Proyecto DIRGI-CP2021-008 es de [1681] W, considerando el consumo de los equipos críticos y su tiempo de operación. Este cálculo permitió estimar con determinación la capacidad del sistema fotovoltaico aislado.
- A partir del análisis de irradiación solar en la zona de estudio, se calculó

una HSP promedio de [5.48] W/m², lo que facilitó el dimensionamiento del campo fotovoltaico para garantizar la generación suficiente de energía en todas las condiciones climáticas.

- Con base en la demanda energética y la HSP, se diseñó un sistema compuesto por [10] paneles solares de [140] W, un banco de baterías con una capacidad de [85,92] Ah, [8] baterías, un regulador de carga de [26,25] A y un inversor de [2500] W, asegurando autonomía energética para la sala de control.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se sugiere implementar medidas de eficiencia energética, como el uso de dispositivos de bajo consumo y la desconexión de equipos en desuso, para reducir la demanda energética del sistema.
- Es fundamental establecer un plan de mantenimiento preventivo y correctivo del sistema fotovoltaico, incluyendo la limpieza periódica de los paneles solares y la inspección del estado de las baterías para maximizar su vida útil.
- Considerar una posible ampliación del sistema en el futuro, evaluando la instalación de más paneles o baterías en función del crecimiento de la demanda energética de la sala de control.

7. REFERENCIAS

- [1] Enel green power, «La madre de todas las energías». [En línea]. Disponible en: <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar>
- [2] G. Reinoso, «Obstáculos a la transición energética en Ecuador El caso de la generación eléctrica a partir de fuentes fotovoltaicas». Quito de 2023. [En línea]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/9311/1/T4076-MCCSD-Reinoso-Obstaculos.pdf>
- [3] O. Quinche, «La evaluación de la demanda energética y la estimación precisa de la Hora Solar Pico», Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca, 2024. [En línea].

- Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28729/1/UPS-CT011680.pdf
- [4] «Fundamentos de la energía solar: ¿cómo funcionan los paneles solares?», 15 de julio de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://sunpower.global/es/blog/fundamentos-de-la-energia-solar-como-funcionan-los-paneles-solares>
- [5] iluminet, «¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas?», 25 de octubre de 2016. [En línea]. Disponible en: <https://iluminet.com/funcionamiento-paneles-fotovoltaicos-energia-solar/>
- [6] «Célula fotovoltaica», *Enciclopedia de energía*. [En línea]. Disponible en: https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/C%C3%A9lula_fotovoltaica
- [7] Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción, «ENERGÍAS RENOVABLES». 6 de abril de 2011.
- [8] Á. Ordoñez, «El futuro de la energía solar en Ecuador», *CIT*, 19 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://telecomunicaciones.edu.ec/repositorio/articulos-blog/ciencia-y-tecnologia/el-futuro-de-la-energia-solar-en-ecuador>
- [9] J. Alonso, «Instalación fotovoltaica aislada: qué es, esquema y cálculo», Septiembre-4-24. [En línea]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/>
- [10] L. Peña, «Sistema Fotovoltaico Aislado de la Red | Autónomo | Off Grid», 20 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ilumin.online/sistema-fotovoltaico-aislado-de-la-red-autonomo-off-grid/>
- [11] «Como calcular una instalación fotovoltaica aislada y conectada a red para una vivienda». [En línea]. Disponible en: <https://esostenibles.com/?p=66>
- [12] G. Salazar, «Comparación de la eficiencia entre los sistemas de generación fotovoltaicas conectados a la red y los sistemas aislados», Universidad Politecnica Salesiana, 2024.
- [13] I. Haro, «Instalación solar aislada | Calcula tu presupuesto gratis», *Selectra*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://selectra.es/autoconsumo/info/instalacion/aislada#:~:text=La%20fotovoltaica%20aislada%20es%20aquella,no%20depende%20de%20ninguna%20comercializada%20ora.>
- [14] «Fotovoltaica manual de diseño e instalación», Manual. [En línea]. Disponible en:

- https://www.solarenergy.org/wp-content/uploads/2019/11/Fotovoltaica-Condensed.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [15] R. Merino, «Diseño y construcción de un prototipo de estación de carga solar para dispositivos móviles», vol. 35 N°2 Esp, 28 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/844/84444931001/html/>
- [16] «Componentes principales de una instalación solar fotovoltaica.», *Ecosistemas del sureste*, 29 de septiembre de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecosistemasdelsureste.com/news/componentes-principales-de-una-instalacion-solar-fotovoltaica/>
- [17] A. Alventosa, «Guía de baterías solares», *Solarinstala*. [En línea]. Disponible en: <https://www.solarinstala.es/como-funcionan-las-baterias-solares/>
- [18] D. Arenas, «Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico», energía solar fotovoltaica es una solución sustentable. [En línea]. Disponible en: <https://krannich-solar.com/mx-es/blog/dimensionamiento-de-un-sistema-solar-fotovoltaico/>
- [19] E. Guio, «¿Qué es la demanda eléctrica y cuál es la diferencia entre ella y el consumo?», 1 de agosto de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://blog.esferaenergia.com.br/gestao-empresarial/demanda-energia>
- [20] «Energía solar», *IRENA*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>
- [21] A. Lajones, «Dimensionamiento de sistema fotovoltaico aislado en la comunidad masa 2 considerando factores sociodemográficos», Universidad Politecnica Salesiana, Guayaquil, 2022.
- [22] «¿Qué es la eficiencia energética?», *Factorenergía*. [En línea]. Disponible en: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>
- [23] «Diferencia entre ahorro de energía y eficiencia energética. ¿Qué debo hacer?», *Watiofy*. [En línea]. Disponible en: <https://watiofy.com/info/blog/diferencia-ahorro-energia-y-eficiencia-energetica/>
- [24] Genmann generators, «Ejemplo de Cálculo de Consumo para Planta de Luz de Emergencia». [En línea]. Disponible en: <https://genmann.com/productos-tipos/plantas-con-motor-a-gas/>
- [25] Osaka Electronics, «Cómo Calcular y Configurar un Sistema Fotovoltaico Aislado», 9 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://osakaelectronicsltda.com/blog/biblioteca/como-calcular-el-inversor-de-un->

sistema-fotovoltaico

- [26] Autosolar, «¿Qué tipos de inversores fotovoltaicos existen?» [En línea]. Disponible en: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-tipos-de-inversores-fotovoltaicos-existen>
- [27] «Tipos de inversores solares», albablog. [En línea]. Disponible en: <https://albasolar.es/tipos-de-inversores-solares/>
- [28] J. Andache y J. Chavez, «“DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO PARA OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE DEMANDA DE LOS BLOQUES A Y B DEL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”», Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2021. [En línea]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e8fe8398-f26e-4185-abc1-ddd8b6bb3181/content>
- [29] E. Quinchiguango y E. Quispe, «“CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR PARA EVALUAR EL POTENCIAL ENERGÉTICO EN EL CAMPUS MATRIZ DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”», Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Cotopaxi, 2022.
- [30] C. Moscoso y L. Cruz, «Implementación de un sistema de adquisición de datos de energía producida en una estación fotovoltaica de 560 W para la obtención de perdidas de energía», Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2023.
- [31] Proviento, «Estacion meteorológica profesional LSI LASTEM». [En línea]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/estaciones-meteorologicos/149-estacion-meteorologica-profesional-lsi-lastem.html>
- [32] J. Alarcón, «Como averiguar las Horas Solar Pico de una Ubicacion o punto», 20 de septiembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://renovables.tulider.net/conoces-las-horas-solar-pico-de/>
- [33] Proviento, «Los nuevos inversor de alta calidad 300W/12 o 24V MORNINGSTAR». [En línea]. Disponible en: <https://proviento.com.ec/inversores/251-los-nuevos-inversor-de-alta-calidad-300w12-o-24v-morningstar.html>
- [34] «¿Cómo se calcula la eficiencia de los paneles solares y qué factores afectan su rendimiento?», *Damia solar*. [En línea]. Disponible en: <https://www.damiasolar.com/blog/como-se-calcula-la-eficiencia-de-los-paneles-solares-y-que-factores-afectan-su-rendimiento/>

