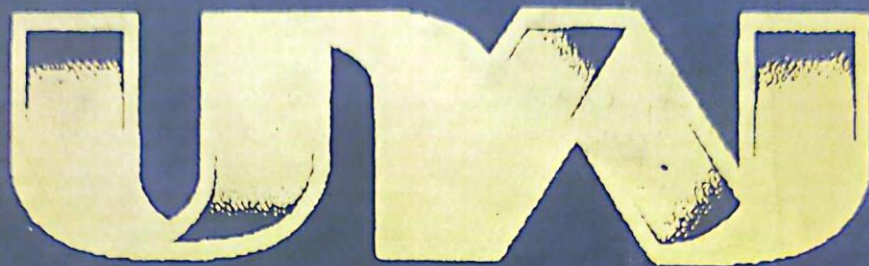




UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA
DE UN INVERSOR/CARGADOR DE 5.0KW CONECTADO
A LA RED CON UN SISTEMA DE RESPALDO PARA EL
SUMINISTRO DE UNA CARGA DEL CENTRO DE
CÓMPUTO EN LA EPIER-AYABACAS

Bach. Deysi Thalía Lipa Machaca

Bach. Eduardo Huanca Ticona

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Asesor: M.Sc. Reynaldo Condori Yucra



JULIACA - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA
DE UN INVERSOR/CARGADOR DE 5.0KW CONECTADO
A LA RED CON UN SISTEMA DE RESPALDO PARA EL
SUMINISTRO DE UNA CARGA DEL CENTRO DE
CÓMPUTO EN LA EPIER-AYABACAS

Bach. Deysi Thalía Lipa Machaca

Bach. Eduardo Huanca Ticona

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Asesor: M.Sc. Reynaldo Condori Yucra



JULIACA - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES



DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN
INVERSOR/CARGADOR DE 5.0KW CONECTADO A LA RED CON
UN SISTEMA DE RESPALDO PARA EL SUMINISTRO DE
UNA CARGA DEL CENTRO DE CÓMPUTO EN LA
EPIER-AYABACAS

Bach. Deysi Thalía Lipa Machaca

Bach. Eduardo Huanca Ticona

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS
RENOVABLES

Asesor: MSc. Reynaldo Condori Yucra

Juliaca, 2025

Ficha catalográfica

Lipa, D. & Huanca, E. (2025). *Diseño, implementación y evaluación económica de un inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red con un sistema de respaldo para el suministro de una carga del centro de cómputo en la EPIER-Ayabacas*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.

AUTORES: Deysi Thalía Lipa Machaca, Eduardo Huanca Ticona

TÍTULO: Diseño, implementación y evaluación económica de un inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red con un sistema de respaldo para el suministro de una carga del centro de cómputo en la EPIER-Ayabacas. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2025

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (186 pp)

NOTA: Tesis - Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables - Universidad Nacional de Juliaca

CÓDIGO: 002-000041-02/C76

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: MSc. Reynaldo Condori Yucra

PALABRAS CLAVE: Baterías LiFePO₄-ZTT, eficiencia, energía fotovoltaica, evaluación económica, inversor/cargador

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN
INVERSOR/CARGADOR DE 5.0KW CONECTADO A LA RED CON
UN SISTEMA DE RESPALDO PARA EL SUMINISTRO DE
UNA CARGA DEL CENTRO DE CÓMPUTO EN LA
EPIER-AYABACAS**

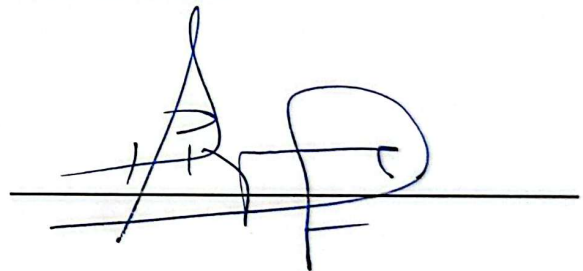
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentado por:

Bach. Deysi Thalía Lipa Machaca
Bach. Eduardo Huanca Ticona

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. HENRY PIZARRO VIVEROS
PRESIDENTE DE JURADO.



Mg. JHON EDUARDO ABARCA SUCA
JURADO (Secretario).



2° MIEMBRO

Mtro. JOSMELL TITO CALDERON
JURADO (Vocal).



3° MIEMBRO



M.Sc. REYNALDO CONDORI YUCRA
ASESOR DE TESIS

12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 10%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
11 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



M.Sc. REYNALDO CONDORI YUCRA
ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por su gracia y misericordia que impartió en mi vida.

A mis padres, Jacinto Lipa y Alsida Machaca, de todo corazón atribuyo que ellos fueron el soporte principal para que este logro fuera posible, mi padre quién siempre mostró orgullo y aspiración por mi persona, mi madre que siempre estuvo conmigo en todo momento, fueron quienes me aconsejaron, apoyaron y motivaron para alcanzar mis anhelos.

A mi hermana, Yamileth, quién es mi cobijo e impulso. Quién siempre confía en que podré.

Deysi Thalía Lipa Machaca.

DEDICATORIA

A Dios: Por darme las fuerzas de continuar mis sueños y permitiéndome alcanzar mis metas para así poder ser un gran profesional.

A mi madre: Dominga Ticona, quien cumple el rol de padre, madre un ejemplo de fortaleza quien siempre ha estado aconsejándome, apoyándome y ha creído en mí, la cual fue mi inspiración en todo momento.

A mis hermanos menores: Luz Clara y José Armando quienes estuvieron alentándome a no rendirme y hoy les demuestro mi logro. Que mi logro sea un ejemplo a seguir.

Eduardo Huanca Ticona.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por el don de la vida, por fortalecerme en los momentos de dificultad y brindarme la oportunidad de culminar esta etapa. A mis padres, quienes nunca me desampararon y me guiaron con su amor incondicional; y a mi hermana, por su constante ánimo y motivación.

A mi asesor de tesis, M. Sc. Reynaldo Condori Yucra, por su paciencia, dedicación y valiosas enseñanzas compartidas a lo largo de este proceso.

A la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional de Juliaca, por el financiamiento en el marco del VI Concurso de proyectos de tesis para la obtención del título profesional, ganadores mediante la resolución de consejo de comisión organizadora N°616-2023-CCO-UNAJ”

A la empresa Innova Solar, por la confianza, la guía brindada, así como por facilitarme la orientación y el acceso a los equipos necesarios para el desarrollo de este trabajo. También a mis amigos, compañeros y superiores, quienes contribuyeron a la realización de esta tesis.

Deysi Thalía Lipa Machaca.

AGRADECIMIENTO

A Dios: Por darme la vida, guiarme en el buen camino, por brindarme sabiduría para así poder concluir en esta etapa de mi vida.

A mi Asesor de Tesis: M. Sc. Reynaldo Condori Yucra en confiar en mí, por haberme brindado sus enseñanzas y permitirme reforzar mis conocimientos a través de su orientación y su experiencia.

A la Escuela Profesional de Energías Renovables: Por su invaluable apoyo al desarrollo de la investigación. Su contribución fue fundamental al facilitarnos el acceso a los equipos, y laboratorios, que permitieron la ejecución y culminación exitosa de nuestro proyecto de tesis.

A la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional de Juliaca: por el financiamiento en el marco del VI Concurso de proyectos de tesis para la obtención del título profesional, ganadores mediante la resolución de consejo de comisión organizadora N°616-2023-CCO-UNAJ”

Eduardo Huanca Ticona.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento.....	v
índice de tablas.....	x
índice de figuras.....	xii
índice de anexos.....	xv
Lista de siglas.....	xvi
Lista de abreviatura.....	xvii
Resumen.....	xviii
Abstract.....	xix
Introducción.....	xx

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema de investigación.....	22
1.1.1 Aporte de la investigación.....	24
1.2 Preguntas de la investigación.....	24
1.2.1 Problema general.....	24
1.2.2 Problemas específicos.....	24
1.3 Objetivos de la investigación.....	25
1.3.1 Objetivo general.....	25
1.3.2 Objetivos específicos.....	25
1.4 Justificación de la investigación.....	25
1.4.1 Justificación técnica.....	25
1.4.2 Justificación económica.....	26
1.4.3 Justificación social.....	26
1.4.4 Justificación ambiental.....	26
1.5 Variables de investigación.....	26

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación.....	27
---	----

2.2	Bases teóricas de la investigación.	30
2.2.1	Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.....	30
2.2.2	Sistema con inversor/cargador conectado a la red.....	31
2.2.3	Inversores.	31
2.2.4	Tipos de Inversores.....	32
2.2.5	Usos y aplicaciones del Inversor/Cargador.	33
2.2.6	Tecnologías y Configuraciones de Sistemas de Respaldo de Energía.	34
2.2.7	Batería.....	34
2.2.8	Tipo de baterías.	35
2.2.9	Funcionamiento de las baterías LiFePO ₄	37
2.2.10	Profundidad de descarga de la batería.	38
2.2.11	Proceso de carga de la batería.....	39
2.2.12	Suministro eléctrico a una carga.....	40
2.2.13	Tablero eléctrico de distribución.	41
2.2.14	Cuadro de cargas.	41
2.3	Bases conceptuales de la Investigación.....	41
2.3.1	Potencia eléctrica.....	41
2.3.2	Temperatura.....	41
2.3.3	Voltaje.	41
2.3.4	Corriente eléctrica.....	42
2.3.5	Eficiencia energética.....	42
2.3.6	Cableado.	42
2.3.7	Evaluación económica.....	42

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Hipótesis de la investigación.....	43
3.1.1	Hipótesis general.	43
3.1.2	Hipótesis específicas.....	43
3.2	Materiales y/o equipos.....	43
3.2.1	Módulo fotovoltaico.	43
3.2.2	Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.....	45
3.2.3	Sistema de respaldo.	47
3.2.4	Equipos de protección.	48
3.2.5	Dispositivo de monitoreo Growatt Shine WIFI.....	50

3.2.6	Medidores de monitorización en DC/AC.	51
3.2.7	Convertidor RS485 USB.	52
3.2.8	Accesorios y herramientas.	53
3.3	Metodología.	53
3.3.1	Tipo, nivel y diseño de investigación.	53
3.3.2	Población y muestra	54
3.3.3	Instrumentos de recolección de datos.	54
3.3.4	Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos.	54
3.4	Diseño y selección de componentes del GFV 3.0kW.	55
3.4.1	Perfil metodológico.	55
3.4.2	Diseño eléctrico.	56
3.4.3	Localización geográfica del diseño.	62
3.4.4	Análisis de Curvas I-V y P-V del Generador Fotovoltaico 3.0kW.	65
3.4.5	Performance ratio PR.	66
3.4.6	Energía producida del generador fotovoltaico de 3.0kW.	70
3.4.7	Factor de planta	72
3.4.8	Dimensionamiento de carga energética del centro de cómputo.	73
3.4.9	Selección de voltaje del sistema.	73
3.4.10	Selección del Inversor/cargador convencional.	74
3.4.11	Configuración del controlador-MPPT y la carga del centro de cómputo.	75
3.4.12	Selección del sistema de respaldo (baterías).	76
3.4.13	Selección de los conductores.	81
3.4.14	Selección de dispositivos de protección.	85
3.4.15	Selección de medidores de AC y DC.	88
3.4.16	Diseño por medio del software SAM.	89
3.5	Implementación del sistema	89
3.5.1	Ubicación.	89
3.5.2	Inspección pre-implementación.	91
3.5.3	Montaje de la estructura de soporte y módulos fotovoltaicos.	92
3.5.4	Montaje del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.	93
3.5.5	Montaje del sistema de respaldo.	94
3.5.6	Montaje del tablero y sus protecciones DC/AC y control.	95
3.5.7	Tendido eléctrico.	97
3.5.8	Activación del sistema.	98
3.5.9	Monitoreo de parámetros mediante Shine Wifi-F.	99

3.5.10	Monitoreo de parámetros mediante LabVIEW.	100
3.6	Análisis económico.	101
3.6.1	Presupuesto.	101
3.6.2	Financiamiento.	103
3.6.3	Flujo de caja.	103
3.6.4	Valor actual neto (VAN).	107
3.6.5	Tasa interna de retorno (TIR).	107
3.6.6	Periodo de recuperación de la inversión (PRS).	108
3.6.7	Beneficio/costo.	109
3.6.8	Costo nivelado de energía (LCOE).	109
3.6.9	Simulación en Homer Pro.	109

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1	Resultados del primer objetivo específico.	111
4.1.1	Resultado del diseño en el software SketchUp/ AutoCAD.	111
4.1.2	Resultado del diseño por método “teórico” /software SAM.	112
4.2	Resultados del segundo objetivo específico.	117
4.2.1	Resultado de monitoreo mediante la plataforma Shine Server.	117
4.2.2	Resultado de monitoreo mediante el software LabVIEW.	121
4.3	Resultados del tercer objetivo específico.	123
4.3.1	Relación VAN, TIR, B/C, PRI.	123
4.3.2	Costo nivelado de energía.	128
4.3.3	Escenarios de Sensibilidad.	129
4.3.4	Resultado de la evaluación económica mediante el software Homer Pro.	132
4.4	Discusión de la investigación.	133

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.	135
5.2	Recomendaciones.	136
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	138
	ANEXOS.	146

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Comparación de Tecnologías de Baterías: AGM, GEL y LiFePO ₄	37
Tabla 2 Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico.	44
Tabla 3 Especificaciones técnicas del arreglo fotovoltaico.	45
Tabla 4 Especificaciones técnicas del Inversor/cargador.	46
Tabla 5 Parámetros eléctricos de la batería de litio	47
Tabla 6 Características técnicas de componentes de protección en DC.	49
Tabla 7 Características técnicas de los componentes de protección en AC.....	49
Tabla 8 Características del Shine WIFI-F Growatt.....	50
Tabla 9 Característica técnica del medidor Eastron DCM230.....	52
Tabla 10 Características del convertidor USB.....	53
Tabla 11 Localización geográfica del lugar a implementar el inversor/Cargador.....	63
Tabla 12 Datos de la irradiación solar anual promedio.	63
Tabla 13 Datos de temperatura y humedad relativa anual.	64
Tabla 14 Análisis comparativo del modulo	66
Tabla 15 Característica del módulo fotovoltaico SOLARPLUS	67
Tabla 16 Pérdida por temperatura promedio anual.	68
Tabla 17 Energía producida mensual.....	71
Tabla 18 Factor de planta.....	72
Tabla 19 Especificación de la carga total a inyectar al laboratorio de cómputo.....	73
Tabla 20 Criterio de selección de voltaje.....	73
Tabla 21 Verificación de límites del generador fotovoltaico al controlador-MPPT.....	75
Tabla 22 Verificación de límite del Inversor/cargador hacia la carga.	76
Tabla 23 Cargas críticas del centro de cómputo.	77
Tabla 24 Ampacidades para conductores basados en una temperatura ambiente.....	84
Tabla 25 Presupuesto del sistema implementado.	102

Tabla 26 Presupuesto total del sistema.	102
Tabla 27 Equipos de adquisición de datos.	103
Tabla 28 Datos de partida	104
Tabla 29 Flujo de caja con un interés de 10.98%	105
Tabla 30 Flujo de caja con un interés de 8.58%	106
Tabla 31 Resultados del diseño.....	117
Tabla 32 Datos obtenidos del servidor Growatt.....	118
Tabla 33 Datos extraídos del ShineServer en prueba de cargas crítico.	120
Tabla 34 Datos obtenidos mediante el interfaz LabVIEW.	121
Tabla 35 Evaluación económica con una tasa de interés 10.98%.....	125
Tabla 36 Evaluación económica con una tasa de interés 8.58%.....	126
Tabla 37 Cálculo del costo nivelado de energía.	128
Tabla 38 Ahorro económico	128
Tabla 39 Fluctuación del precio por kWh (cuando incrementa).....	129
Tabla 40 Fluctuación del precio por kWh (cuando disminuye).....	130
Tabla 41 Fluctuación de la inversión inicial.	130
Tabla 42 Fluctuación de valores incrementales.	131
Tabla 43 Fluctuación del costo de inversor/cargador y baterías.	132

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Generador fotovoltaico de 3.0kW.	23
Figura 2 Propuesta de implementación.....	24
Figura 3 Sistema Fotovoltaico Conectado a red.	30
Figura 4 Sistema con Inversor/cargador conectado a la red.	31
Figura 5 Conexión en paralelo monofásico y trifásico.	33
Figura 6 Conexión en Serie y conexión Paralelo.....	34
Figura 7 Baterías solares de plomo ácido NVS.	35
Figura 8 Baterías solares AGM y Gel.....	36
Figura 9 Baterías Solares de Litio.....	36
Figura 10 Funcionamiento de una batería de litio.	38
Figura 11 Curvas de descarga típicas de una batería de iones de litio.....	39
Figura 12 Etapas de carga típico de una batería de litio.	40
Figura 13 Módulo fotovoltaico policristalino.	44
Figura 14 Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.....	46
Figura 15 Batería de LiFePO ₄ -ZTT -48v50Ah.....	47
Figura 16 Equipos de protección corriente continua.	48
Figura 17 Equipos de protección eléctricas en corriente alterna.	49
Figura 18 Dispositivo Shine WIFI-F	50
Figura 19 Medidores de energía en DC y AC.	51
Figura 20 Convertidor USB a RS485.	52
Figura 21 Diagrama de bloques de la metodología del proyecto.	55
Figura 22 Diagrama de conexión.....	56
Figura 23 Diagrama unifilar del GFV de 3.0kW.	56
Figura 24 Diseño de la estructura de soporte vista en diferentes modalidades.	58
Figura 25 Base de estructura empotrada en el piso.	58

Figura 26	Vista de planta del generador fotovoltaico de 3.0kW.	59
Figura 27	Diseño del gabinete de protección para el inversor/cargador.....	59
Figura 28	Diseño de la batería de litio.	60
Figura 29	Estructura para las baterías de litio.....	60
Figura 30	Vista isométrica del sistema FV con inversor/cargador.	61
Figura 31	Simulación de sombra inmueble, parapeto y sistema fotovoltaico.	61
Figura 32	Diseño del centro de cómputo	62
Figura 33	Curva I-V y P-V del generador fotovoltaico de 3.0kW.	65
Figura 34	Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables.	90
Figura 35	Ubicación geográfica de la EPIER.....	90
Figura 36	Sistema fotovoltaico previa a la instalación del proyecto de investigación.	91
Figura 37	Tablero eléctrico previa a la instalación del proyecto de investigación.....	92
Figura 38	Instalación de los 12 módulos fotovoltaicos.	93
Figura 39	Montaje del Inversor/cargador Growatt 5.0kW.	93
Figura 40	Montaje de la batería de LiFePO ₄ -ZTT.....	94
Figura 41	Tablero de protección en DC.....	95
Figura 42	Tablero de protección en AC.....	96
Figura 43	Tablero de control del centro de cómputo.....	97
Figura 44	Cableado de alumbrado del laboratorio de la sala de cómputo.....	98
Figura 45	Plan de la programación de trabajo en el inversor/cargador 5.0kW.	99
Figura 46	Inputs-outputs del diseño de la implementación.	110
Figura 47	Energía Producida anual por el método teórico.	113
Figura 48	Datos de irradiación solar horizontal global.....	113
Figura 49	Datos de temperatura ambiente.	114
Figura 50	Energía total entregada por el sistema durante un año SAM.	115
Figura 51	Resultados de las pérdidas por sombreado SAM.	115
Figura 52	Pérdidas de energía y la irradiación durante el día SAM.	116

Figura 53 Pérdidas del sistema en porcentaje SAM.	116
Figura 54 Corriente y tensión en DC.	118
Figura 55 Corriente y tensión en AC.	119
Figura 56 Prueba de la producción fotovoltaico.	119
Figura 57 Prueba de la producción del almacenamiento.	121
Figura 58 Potencia, corriente y tensión del GFV.....	122
Figura 59 Comportamiento de la carga en base al tensión, corriente y potencia.	123
Figura 60 Relación entre Ingreso/Egreso.....	124
Figura 61 Relación VAN/TIR para ambas situaciones.....	127
Figura 62 Relación B/C para ambas situaciones.	127
Figura 63 Resultados económicos con distintas insuficiencias de capacidad.	132
Figura 64 Relación entre ahorro y vida útil del sistema.	133

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Manejo del Software SAM.	146
Anexo 2 Manejo de la plataforma Shine Growatt.	150
Anexo 3 Manejo del Software LabVIEW.	152
Anexo 4 Manejo del software HOMER Pro.	154
Anexo 5 Cuerpo documental del proyecto de Investigación.	159
Anexo 6 Simulación del GFV 3.0kW en el trazador de curvas a las 12:30pm.	163
Anexo 7 Simulación del GFV 3.0kW en el trazador de curvas a las 10:33am.	163
Anexo 8 Simulación de la irradiación nominal SAM.	164
Anexo 9 Simulación de la temperatura SAM.	164
Anexo 10 Simulación del diseño fotovoltaico SketchUp.	165
Anexo 11 Simulación de sombra SketchUp.	165
Anexo 12 Diagrama Arquitectónico del centro de cómputo.	166
Anexo 13 Diagrama Eléctrico de Carga.	167
Anexo 14 Diagrama Eléctrico de interruptor/tomacorriente.	168
Anexo 15 Diagrama General del Generador fotovoltaico de 3.0kW.	169
Anexo 16 Diagrama Unifilar de Generador fotovoltaico de 3.0kW.	170
Anexo 17 Ficha técnica del módulo fotovoltaico.	171
Anexo 18 Ficha técnica del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.	172
Anexo 19 Entradas para la conexión del inversor/cargador.	173
Anexo 20 Programación del inversor/cargador Growatt SPF5.0kW.	174
Anexo 21 Ficha técnica de la batería LiFePO ₄ -ZTT.	175
Anexo 22 Ficha técnica del Growatt Shine Wifi-F.	176
Anexo 23 Ficha técnica de termomagnéticos de la marca FEEO.	177
Anexo 24 Ficha técnica del medidor Eastron DCM230 DC.	178
Anexo 25 Ficha técnica del medidor Carlo Gavazzi EM24-DIN.	180

LISTA DE SIGLAS

AC	: Alternating Current (Corriente Alterna).
DC	: Direct Current (corriente continua).
DOD	: Depth Of Discharge (Profundidad de descarga).
DPS	: Dispositivos de Protección contra Sobretensiones.
GFV	: Generador Fotovoltaico.
HOMER	: Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources (Modelo de optimización híbrido para múltiples recursos energéticos).
HSP	: Hora Solar Pico.
IEC	: International Electrotechnical Commission.
LabVIEW	: Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.
LCOE	: Costo Nivelado de Energía.
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Trabajo del panel en su punto de máxima potencia).
NOM	: Normas Oficiales Mexicanas.
PRI	: Periodo de Recuperación de la Inversión.
PVGIS	: Photovoltaic Geographical Information System (Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica).
SAM	: System Advisor Model (Modelo de asesora de sistema).
SFCR	: Sistema Fotovoltaico Conectado a Red.
SPF	: Solar Power Frequency (Frecuencia de energía solar).
TIR	: Tasa Interna de Retorno.
UNE	: Organismo de Normalización Española.
VAN	: Valor Actual Neto.

LISTA DE ABREVIATURA

C_{bat_lit}	: Capacidad de la batería LiFePO ₄ -ZTT [Ah].
C_{bat_min}	: Capacidad mínima requerida [Ah].
E_{max_bat}	: Energía máxima producida del banco de batería LiFePO ₄ -ZTT [Wh].
E_P	: Energía total producida en un día [kWh].
$G_{(\alpha;\beta)}$: Irradiancia que incide al módulo [W/m ²].
G_{STC}	: Irradiancia en condiciones estándar 1000W/m ² .
I	: Irradiancia incidente en los módulos [W/m ²].
I_{SC}	: Corriente máxima del Generador fotovoltaico [A].
$L_{inv/carg_bat}$: Longitud del conductor del Inversor/cargador hasta la batería [m].
N_{ban_bat}	: Cantidad de baterías.
N_{ban_ser}	: Cantidad de baterías en serie.
P_{max_gen}	: Potencia máxima del generador fotovoltaico [W].
P_{max_MPP}	: Punto de máxima potencia del generador fotovoltaico [W].
P_{rend_pot}	: Rendimiento de módulos respecto a la producción [%].
P_P	: Potencia Instalada [W].
P_{PMP}	: Potencia en el punto de máxima potencia a la temperatura del módulo [%].
$S_{GFV_{INV_CARG}}$: Sección del generador fotovoltaico en [mm ²].
T_{amb}	: Temperatura de ambiente máxima [°C].
T_{celda}	: Temperatura del Módulo [°C].
T_{NOCT}	: Dato provisto del fabricante del módulo [°C].
T_{STC}	: Temperatura en condiciones estándar 25°C.
V_{bat}	: Voltaje de la batería LiFePO ₄ -ZTT [V].
V_{sis}	: Voltaje del sistema [V].
ΔU	: Caída de tensión [%].
η_{global}	: Rendimiento global [%].
η_{mod}	: Rendimiento del módulo estándar [%].
ρ_{CU}	: Resistividad del conductor de cobre [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$].
γ	: Coeficiente de temperatura para la potencia [°C].

RESUMEN

Las energías renovables son energía inagotables, limpias y amigables con el medio ambiente, caracterizadas por su independencia de los combustibles fósiles. Entre ellas, la energía fotovoltaica destaca por su capacidad de aprovechar directamente la radiación electromagnética solar. En la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca-Ayabacas, se identificó la subutilización de un Generador Fotovoltaico de 3.0kW existente, cuya energía no era aprovechada debido a la ausencia de un inversor. Ante esta problemática esta investigación desarrolla el diseño, implementación y evaluación económica del generador fotovoltaico con un inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW conectado a la red con respaldo mediante baterías LiFePO₄-ZTT, destinado al abastecimiento de una carga del centro de cómputo de la EPIER. Metodológicamente, se adoptó un enfoque aplicado y cuantitativo, con un análisis de datos correlacional basado en la estadística donde el sistema prioriza el uso de energía solar, seguido por baterías y finalmente la red eléctrica, garantizando continuidad del suministro. El diseño eléctrico se realizó mediante SketchUp, AutoCAD y SAM; la selección de componentes se basó en el método del Amper-hora y criterios de eficiencia. La monitorización se llevó en tiempo real en las plataformas como: ShineServer y LabVIEW. Los resultados revelan una producción energética anual del sistema entre 5,704.52 kWh y 5,615.0 kWh, promediando 13.59 kWh diarios. Los indicadores económicos obtenidos (VAN: S/ 16,995.77; TIR: 15%; PRI: 7.09 años; B/C: 1.56). Estos indicadores confirman la viabilidad y rentabilidad del sistema que permite un ahorro directo anual de 4960.35 kWh en el consumo de energía eléctrica, considerando una tarifa MT4 y un valor de venta de energía de S/ 0.6 por cada kWh. Este proyecto contribuye a la eficiencia energética y uso sostenible de recursos renovables en entornos institucionales.

Palabra clave: Baterías LiFePO₄-ZTT, eficiencia, energía fotovoltaica, evaluación económica, inversor/cargador.

ABSTRACT

Renewable energies are inexhaustible, clean and environmentally friendly, characterised by their independence from fossil fuels. Among them, photovoltaic energy stands out for its ability to directly harness solar electromagnetic radiation. At the Professional School of Renewable Energy Engineering at the National University of Juliaca-Ayabacas, the underutilisation of an existing 3.0kW photovoltaic generator was identified, whose energy was not being harnessed due to the absence of an inverter. In response to this problem, this research develops the design, implementation and economic evaluation of a photovoltaic system with a Growatt SPF-5.0kW inverter/charger connected to the grid with backup via LiFePO₄-ZTT batteries, intended to supply power to the EPIER computer centre. Methodologically, an applied and quantitative approach was adopted, with a correlational data analysis based on statistics where the system prioritises the use of solar energy, followed by batteries and finally the electrical grid, ensuring continuity of supply. The electrical design was carried out using SketchUp, AutoCAD and SAM; the selection of components was based on the ampere-hour method and efficiency criteria. Monitoring was carried out in real time on platforms such as ShineServer and LabVIEW. The results reveal an annual energy production of between 5,704.52 kWh and 5,615 kWh, averaging 13.59 kWh per day. The economic indicators obtained (NPV: S/ 16,995.77; IRR: 15%; PRI: 7.09 years; B/C: 1.56). These indicators confirm the viability and profitability of the system, which allows for direct annual savings of 4,960.35 kWh in electricity consumption, considering an MT4 tariff and an energy sale value of S/ 0.6 per kWh. This project contributes to energy efficiency and the sustainable use of renewable resources in institutional environments.

Keywords: LiFePO₄-ZTT batteries, efficiency, photovoltaic energy, economic evaluation, inverter/charger.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la tecnología de la energía solar fotovoltaica ha revolucionado la forma en que se produce y consume energía a nivel global. Al ser una fuente de energía limpia, renovable e inagotable, genera electricidad sin emitir gases de efecto invernadero, lo que contribuye de manera significativa a la mitigación del cambio climático y garantiza un suministro a largo plazo. Actualmente, la energía solar está a la cabeza de la expansión de la capacidad de generación renovable a nivel global (IRENA, 2022). Además, los sistemas fotovoltaicos destacan por su gran facilidad de instalación, su bajo requerimiento de mantenimiento y una prolongada vida útil, consolidándose como una solución energética sostenible y confiable (Schmerler et al., 2019).

Una de las características más destacadas de la tecnología fotovoltaica es su versatilidad para integrarse en diversas configuraciones. Por un lado, en los sistemas conectados a la red (on-grid), la energía generada por los módulos fotovoltaicos se dirige hacia un inversor para ser inyectada directamente en el punto de interconexión común de la red eléctrica, lo que aporta ventajas tanto a los consumidores como a la infraestructura eléctrica en general (Sánchez & Zegarra, 2022). En contraste, los sistemas aislados (off-grid) operan de manera completamente autónoma. En esta configuración técnica, la energía generada por los módulos fotovoltaicos es almacenada en un banco de baterías, el cual se encarga de alimentar las cargas eléctricas y de garantizar un suministro constante y confiable, incluso en ausencia de radiación solar (Narvaez, 2023).

El presente estudio se centra en el diseño, implementación y evaluación económica del generador con un inversor/cargador. El propósito principal de la investigación es optimizar el aprovechamiento de la energía producida por un Generador Fotovoltaico (GFV) de 3.0 kW, para alimentar una carga crítica del centro de cómputo. Para ello, se complementó la infraestructura existente con la incorporación de nuevos equipos, tales como: un inversor/cargador de 5.0 kW, baterías de almacenamiento y dispositivos de protección.

La principal innovación del sistema propuesto reside en el inversor/cargador, el cual dispone de una programación de prioridad SBU (Solar, Batería, Utilidad). Esta configuración garantiza el suministro de energía a la carga priorizando la fuente solar; cuando esta es insuficiente, el sistema se abastece de las baterías y, en caso de que ambas fallen, la energía es suministrada por la red pública. Adicionalmente, el sistema fue diseñado con baterías de litio para lograr una

sinergia y un rendimiento superior con el inversor/cargador, e incluye un sistema de monitoreo de datos en DC/AC para la supervisión.

El trabajo de investigación está dividido en cinco capítulos:

CAPÍTULO I: En este apartado hace mención el origen del problema, la justificación de la investigación, la creación de las posibles soluciones para optar una mejora y también se hace detalle de los objetivos general y específicos.

CAPÍTULO II: En este apartado hace mención sobre los antecedentes de la investigación, el desarrollo de las bases teóricas, el marco conceptual referente a la variable independiente, dependiente y la dimensión, así como: sistemas conectados a red, inversor/cargador, tipos de inversores, baterías, entre otros.

CAPÍTULO III: En este apartado contiene la descripción de la hipótesis general y específicos, también se desarrolla los materiales de la investigación como una breve descripción de cada una las herramientas utilizadas. Además, se desarrolla la metodología: La descripción del lugar de investigación, ubicación geográfica, tipo de investigación, cálculo del diseño, selección de componentes, la implementación y la evaluación económica.

CAPÍTULO IV: En este apartado se desarrolla los resultados de la investigación, dando inicio con el primer objetivo específico: diseño y selección de componentes, segundo objetivo específico: la monitorización de datos y el tercer objetivo específico: evaluación económica. De la misma manera se dispone parte de las discusiones de investigación.

CAPÍTULO V: En este apartado se realiza la conclusión respondiendo a cada una de las hipótesis elaboradas, también se desarrolla las recomendaciones futuras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema de investigación.

El mundo se enfrenta a una compleja situación energética: por un lado, la demanda de energía aumenta, pero por otro los recursos energéticos disponibles suelen ser limitados y su uso tiene un impacto negativo en el medio ambiente. La población mundial y el crecimiento económico hacen que consumamos cada vez más energía. Según IRENA (2020) en regiones desarrolladas como Europa y Norteamérica, es cada vez más común ver sistemas fotovoltaicos instalados en tejados y fachadas de edificios. Esto se debe a varios factores, entre ellos la flexibilidad y escalabilidad de la tecnología, así como la considerable reducción de costos de los módulos fotovoltaicos, que disminuyeron más de un 85% entre 2009 y 2018.

En Perú, según MINAM (2023) el sector energético es el segundo mayor generador de gases de efecto invernadero (GEI), responsable del 30.06% de las emisiones netas del país en el año 2019, la potencia energética no convencionales (ERNC) es la siguiente: la energía eólica supera los 22.000MW, la geotérmica alcanza los 3.000MW, mientras que el potencial de energía solar y biomasa aún está por determinar. Según MINEM (2024), en noviembre de 2023, la producción de energía renovable en Perú alcanzó el 8.2% de la producción nacional, lo que representa un aumento significativo comparado con el 5.4% registrado en el mismo mes de 2022. Este crecimiento se dio en un contexto donde la producción total de energía eléctrica del país, que llegó a 5,115 GWh, solo creció un 0.4% en el mismo periodo.

En Arequipa según REM (2023) San Martín, es un claro ejemplo del avance tecnológico en la energía solar. Con una potencia instalada de 300 MW, esta planta utiliza módulos solares de 665 Wp y un sistema de seguimiento de un eje para optimizar la captación de energía. La capacidad del proyecto para generar más de 830 GWh al año no solo lo convierte en la planta solar más grande de Perú, sino que también subraya el impacto positivo de las energías limpias, contribuyendo a la seguridad energética del país y reduciendo significativamente las emisiones de CO₂.

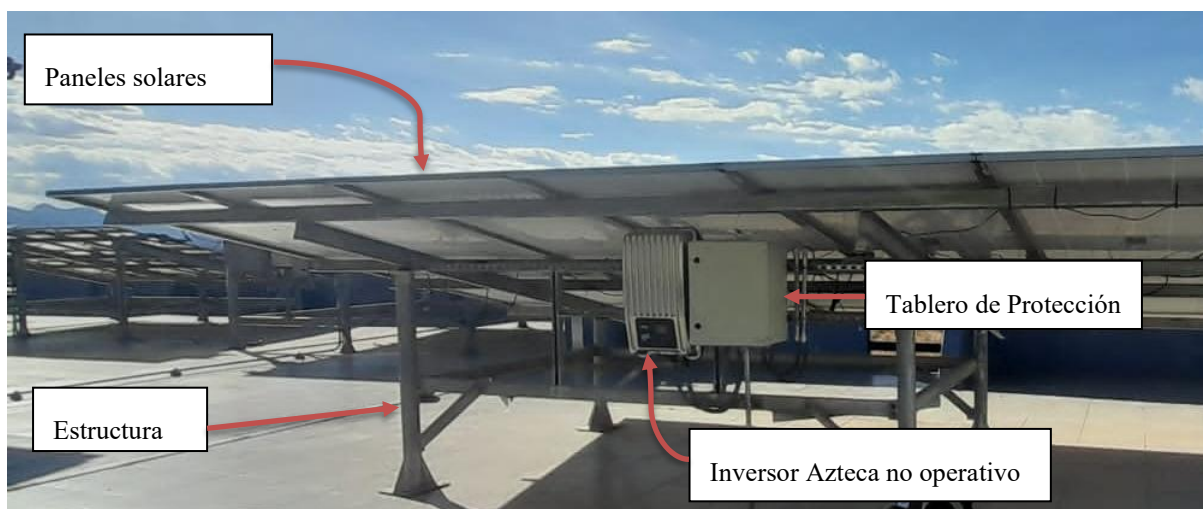
En Juliaca el proyecto de investigación, titulado "Diseño e implementación de un analizador con sistema Scada para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini parque solar fotovoltaico de 3.0 kW en sistemas aislados y conectados a la red para la UNAJ", realizado por

Condori et al. (2019) en la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ) en Ayabacas, identificó un problema crucial: la energía generada por el generador fotovoltaico (GFV) no estaba siendo utilizada de manera eficiente debido a la falta de un inversor que pudiera convertir la energía eléctrica de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC). Esta deficiencia representaba un obstáculo para la comunidad académica, impidiendo que el laboratorio trabajara en condiciones técnicas óptimas y resultando en un significativo desperdicio de energía. Dicha energía podría ser aprovechada para alimentar cualquier carga de la escuela, lo que a su vez generaría un ahorro económico. Para resolver este problema, el presente proyecto propone aprovechar el mismo conjunto de paneles fotovoltaicos e integrar un inversor/cargador de 5.0 kW, una tecnología que no existe previamente en la UNAJ.

Basados en los datos mediante Atlas solar (2024), la provincia de San Román a una altitud de 3,832 msnm, tiene un gran potencial de radiación sobre 5kWh/m^2 , que puede aprovecharse para generar electricidad a pequeña y mediana escala a partir de los recursos disponibles mediante un sistema fotovoltaico. El problema principal se centra en la subutilización del conjunto fotovoltaico ilustrado en la Figura 1, debido a la ausencia de un inversor operativo. Esta limitación impide aprovechar plenamente la capacidad de generación del sistema, lo que afecta la eficiencia en el suministro de energía para las cargas y limita el rendimiento general del proyecto. Para su diseño, es crucial considerar los recursos disponibles para su óptimo funcionamiento.

Figura 1

Generador fotovoltaico de 3.0kW.



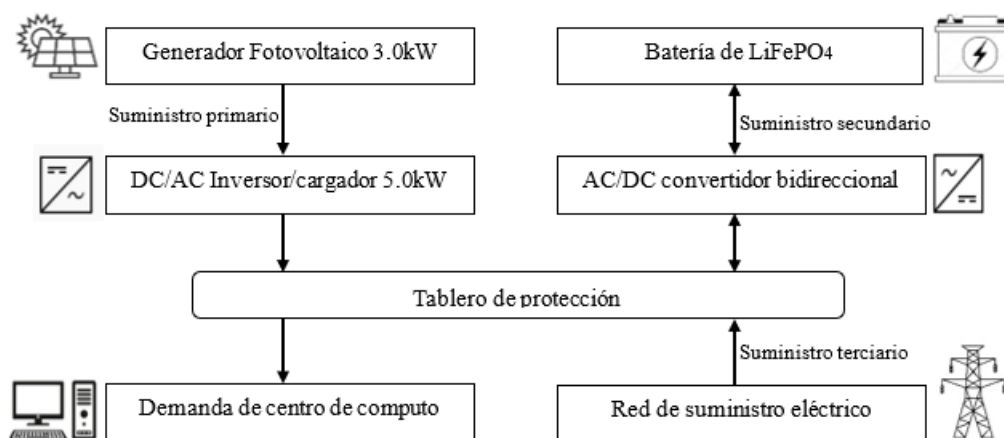
Nota. Adaptado del lugar instalado el generador fotovoltaico.

1.1.1 Aporte de la investigación

La solución a esta problemática se plantea mediante el reemplazo del inversor Azteca por un inversor/cargador con un sistema de respaldo, lo que aporta una mejora sustancial en la gestión energética. La contribución de esta propuesta es vital para asegurar la continuidad del suministro de energía dirigida al centro de cómputo, optimizando el rendimiento del generador y garantizando una operación más robusta. En la Figura 2 muestra una propuesta de implementación del sistema con un inversor/cargador de 5.0kW.

Figura 2

Propuesta de implementación.



Nota. Se propone la implementación del sistema con inversor/cargador 5.0kW.

1.2 Preguntas de la investigación.

1.2.1 Problema general.

¿De qué manera se podrá realizar el diseño, la implementación y la evaluación económica del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a red con un sistema de respaldo para el suministro de una carga en la sala de cómputo EPIER -Ayabacas?

1.2.2 Problemas específicos.

- ¿Qué parámetros se deben considerar para el diseño y selección de componentes del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red para el suministro de energía a una carga del centro de cómputo de la EPIER-Ayabacas?
- ¿En qué medida se implementará los componentes del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red que permitirá el suministro de energía a una carga del centro de cómputo EPIER-Ayabacas?

- ¿Será viable económicamente el generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red para suministrar energía a una carga del centro de cómputo de la EPIER- Ayabacas?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

Diseñar, implementar y evaluar económicamente del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a red con un sistema de respaldo para el suministro de una carga en la sala de cómputo en la EPIER -Ayabacas.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Diseñar y seleccionar los componentes del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a red para el suministro de energía a una carga al centro de cómputo de la EPIER-Ayabacas.
- Implementar los componentes del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red para determinar el suministro de energía a una carga del centro de cómputo EPIER-Ayabacas.
- Analizar económicamente la rentabilidad del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red para suministrar energía a una carga del centro de cómputo de la EPIER-Ayabacas.

1.4 Justificación de la investigación.

1.4.1 Justificación técnica.

Con un promedio 5kWh/m² de irradiación solar, el generador fotovoltaico y la implementación con la tecnología de un inversor/cargador SPF-5.0kW conectado a red con un sistema de respaldo, será aprovechado para alimentar a una carga del centro de cómputo, donde en horas de ausencia de la red eléctrica pueda aprovechar el recurso energético solar, así mismo de no tener energía solar suficiente para la carga de las baterías se usará la energía de la red para el suministro continuo de una carga del centro de cómputo con un día de autonomía.

1.4.2 Justificación económica.

Para la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables, realizando una previa evaluación de los costes de implementación y el ahorro por consumo de la demanda, este es beneficioso para la disminución de la tarifa eléctrica. Puede ser mucho mejor aprovechar al máximo el sistema solar fotovoltaico. Este tipo de instalaciones nos representarán una alta rentabilidad y ahorro a lo largo de la vida útil de la misma.

1.4.3 Justificación social.

En el ámbito social contribuye de manera directa a la EPIER. La implementación de este sistema de generación y distribución de energía eléctrica no solo tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de los estudiantes y docentes, sino que también busca garantizar un suministro eléctrico confiable y continuo, superando las limitaciones de las interrupciones del servicio de la red eléctrica. Además, este proyecto servirá como una plataforma tecnológica y un caso de estudio práctico, impulsando futuras investigaciones y proyectos que beneficiarán a toda la universidad. De esta forma, se fomenta el desarrollo institucional en el campo de las energías renovables y se brinda una herramienta tangible para la capacitación y la formación de los futuros profesionales del sector.

1.4.4 Justificación ambiental.

El presente proyecto justifica desde una perspectiva ambiental por su contribución directa a la transición hacia una matriz energética más sostenible. Al promover el uso de la energía solar fotovoltaica, no solo se fomenta la conciencia sobre la importancia de las energías limpias y renovables, sino que también se aborda de forma práctica la problemática del agotamiento de los recursos no renovables. La adopción de esta tecnología es fundamental para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la mitigación del cambio climático y la preservación de los ecosistemas, lo que garantiza la sostenibilidad a largo plazo y la protección del medio ambiente.

1.5 Variables de investigación.

- **Variable independiente:** Inversor/cargador de 5.0kW conectado a red con un sistema de respaldo.
- **Variable dependiente:** Suministro de una carga del centro de cómputo.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación.

Internacionales

Halty (2020)., llevó a cabo un estudio de investigación en la Universidad de la República en Montevideo, Uruguay. El objetivo de esta tesis de maestría fue analizar la viabilidad y el impacto de incorporar recursos de almacenamiento energético en el sistema eléctrico uruguayo, como una alternativa estratégica para aumentar su flexibilidad. El proyecto anticipó que, al realizar estudios de impacto sobre el sistema eléctrico simulado en el software SimSEE, la incorporación de un banco de baterías para el almacenamiento de energía.

Pandero (2021)., El objeto del proyecto de maestría es diseñar la instalación fotovoltaica de mediana potencia 36,45 kWp con almacenamiento en baterías de litio de capacidad 50 kWh conectada a la red de baja tensión para el autoconsumo colectivo entre 17 residencias en Valencia-España. En cuanto a la metodología se basó al alcance del diseño que basa en los datos de entrada y en la viabilidad técnica y económica. Se parte de las condiciones de contorno y de los perfiles de las curvas de demanda. Como resultados obtuvo el ahorro energético total debido al autoconsumo y vertido de excedentes del 72%. El periodo de retorno está comprendido entre 8 y 9 años, el TIR entre 9 y 11% y el ahorro económico entre 72% y 80%.

Nacionales

Romero (2020)., el presente trabajo de tesis se realizó en la Universidad Nacional del Centro del Perú SENATI-Huancayo, la cual tiene como objetivo evaluar los componentes del sistema solar fotovoltaico, también la acumulación de energía al utilizar tipos de baterías para obtener mayor disponibilidad de energía eléctrica utilizada en iluminación de ambientes en el centro de formación profesional del SENATI. En la investigación se espera una mayor disponibilidad de energía provenientes del solar fotovoltaico del edificio SENATI, para ello se evalúa diferentes tipos de tecnologías de batería para un mayor almacenamiento de energía y así iluminar los ambientes del centro.

Apaza (2021)., la presente tesis de investigación se realizó en la Universidad Católica de Santa María Arequipa-Perú, tiene como objetivo predecir el estado de carga de las baterías para

sistemas fotovoltaicos en el sector minero utilizando técnicas de aprendizaje automático supervisado. Se espera que mediante un sistema de monitoreo se controle la predicción de estado de carga de la batería para una mayor vida útil y a si realizar una supervisión automático más adecuada.

Chunga (2020)., este trabajo se realizó en la Universidad de Piura-Perú, cuyo objetivo fue diseñar de sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para el radar de lluvias de UDEP, dimensionando dos configuraciones cuya diferencia es principalmente en el costo y rendimiento energético (una conectada a la red y la otra autónoma con respaldo de la red). Se espera que este sistema debe garantizar el funcionamiento del radar en caso de emergencias y apagón de emergencia teniendo en cuenta el consumo de energía del radar.

Araujo (2022)., llevó a cabo un estudio en la plaza Las Américas, ubicada en el distrito de Cerro Colorado, Arequipa-Perú. El objetivo principal de esta investigación fue el diseño para la implementación de un sistema de iluminación artificial mediante paneles solares fotovoltaicos, complementado con una fuente de alimentación de respaldo. El proyecto se planteó con la finalidad de disminuir el consumo de energía eléctrica convencional, lo que resultaría en un ahorro económico significativo en el recibo mensual para la municipalidad de dicho distrito. Los resultados del diseño incluyeron la selección de 16 módulos fotovoltaicos de 540 Wp, un inversor/cargador de 5200 W, un controlador de 80 A y un banco de baterías de litio compuesto por 3 unidades de 200 Ah.

Carvalho (2021)., presentó una tesis cuyo objetivo fue el diseño de un sistema fotovoltaico integrado en la carrocería de una Unidad Médica Móvil. Dicho sistema buscaba suministrar energía eléctrica a equipos biomédicos en zonas rurales y alejadas de la región de Lambayeque. El autor empleó dos metodologías de diseño provenientes de fuentes distintas, las cuales fueron sometidas a los mismos parámetros de evaluación para determinar la más conveniente entre ambas. La investigación optó por su segundo método de diseño, a partir del cual se determinaron los componentes del sistema fotovoltaico: cuatro paneles solares de 350 Wp, cuatro baterías de 550 Ah, un controlador MPPT de 60 A y un inversor/cargador de 800 W.

Barbaran (2024)., desarrolló un proyecto de tesis cuyo objetivo principal fue la investigación de una alternativa sostenible y limpia para la generación de energía eléctrica y térmica. Esto se logró mediante el diseño de un sistema fotovoltaico y termo-solar integrado en una edificación ubicada en la ciudad de Ayacucho. La metodología empleada incluyó la medición de la

demanda energética, registrando una energía eléctrica de 12,190.00 Wh y una potencia activa de 3,622.05 W durante el mes de agosto de 2023, mediante el uso de un multímetro para medir corriente y tensión en cada piso. Como resultado del diseño, el autor logró cubrir completamente la demanda energética de la edificación, seleccionando los siguientes componentes: un conjunto de 8 paneles monocristalinos de 500 Wp, 5 baterías de litio de 3.5 kWh cada una, un controlador MPPT de 250 V y un inversor/cargador de 5200 W.

Locales

Choque (2022)., se propuso diseñar, implementar y evaluar económicamente un sistema fotovoltaico destinado a suministrar energía eléctrica constante y limpia a una máquina de ordeño mecánico. Este proyecto se llevó a cabo en el establo Bonanza, ubicado en la localidad de Copachica, centro poblado de Hanaquija, en el distrito y provincia de Azángaro (UNAJ). Para ello, se empleó una metodología de diseño fotovoltaico que consideró la potencia requerida por la máquina de ordeño mecánico, estimada en 550 W. Los resultados de la investigación arrojaron la selección de un módulo fotovoltaico de 405 W, un inversor/cargador de 1600 W y dos baterías de 100 Ah. La evaluación económica, proyectada para 10 años de funcionamiento del sistema, demostró su viabilidad financiera con una relación Beneficio/Costo (B/C) de 1.08, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 21.99 % y un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 5,938.91.

Chura (2020)., llevó a cabo una investigación enfocada en el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico conectado a red (SFCR) en la ciudad de Juliaca. El sistema propuesto incorporó 12 módulos policristalinos de 270 Wp y un inversor Sunny Boy de 3 kW, logrando una generación anual de 6142.56 kWh. La inversión para esta instalación se cuantificó en S/. 19,985.29, y su viabilidad económica fue demostrada considerando los índices económicos VAN, TIR, PRS y B/C de S/. 19985.29, 16%, con un período de recuperación de la inversión de 10 años y 1.76 respectivamente, dando lugar a que el proyecto sea rentable.

2.2 Bases teóricas de la investigación.

2.2.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a la red.

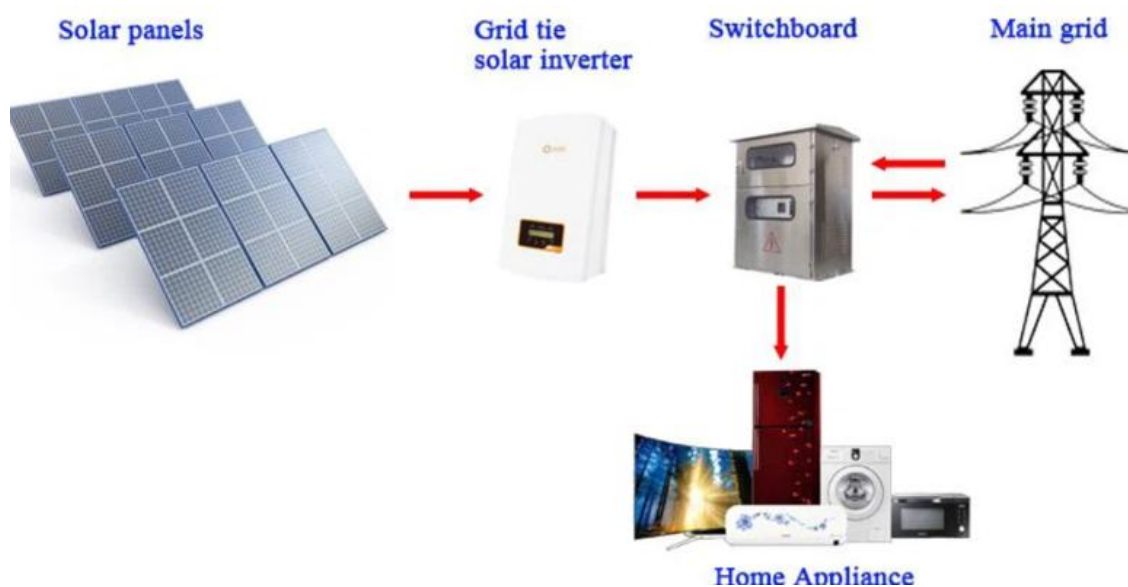
La Figura 3, se muestra el comportamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red (on-grid), el cual se caracteriza por permanecer interconectado de forma permanente al suministro eléctrico general. Este tipo de instalación está diseñada para interactuar directamente con la red pública, permitiendo un flujo de energía bidireccional (Reynoso & Sanchez, 2022). El funcionamiento del sistema varía según las condiciones de irradiación solar y la demanda de la carga:

En periodos de alta irradiación solar: La energía generada por el sistema fotovoltaico se utiliza para cubrir la demanda energética del inmueble. Si la producción solar supera el consumo, el excedente de energía se inyecta automáticamente a la red eléctrica (Moreno, 2022). Esta inyección puede ser registrada mediante un medidor bidireccional para compensar el consumo futuro, lo que reduce significativamente la factura de electricidad.

En periodos de baja o nula irradiación: Durante días nublados, en las noches o cuando el consumo es mayor que la producción, el sistema fotovoltaico no es capaz de cubrir la demanda por sí solo. En estos casos, la red eléctrica se encarga de suministrar la energía necesaria para la carga, garantizando un servicio continuo y sin interrupciones (Cornejo, 2013).

Figura 3

Sistema Fotovoltaico Conectado a red.



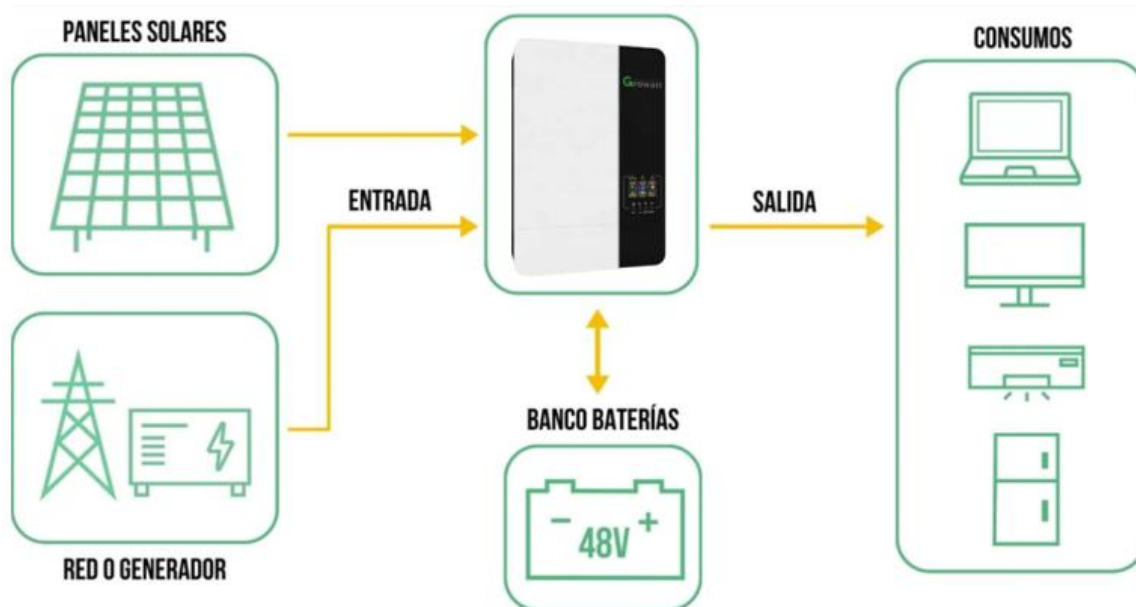
Nota. Extraído desde la web (DS New Energy, 2023).

2.2.2 Sistema con inversor/cargador conectado a la red.

Los sistemas con inversor/cargador son componentes esenciales en las configuraciones conectadas a la red, y se encuentran disponibles en arquitecturas monofásicas y trifásicas para adaptarse a las distintas necesidades de carga (Gil, 2022). Estos sistemas son cruciales para mantener la operatividad durante eventos críticos, como interrupciones del fluido eléctrico o en días nublados donde la generación fotovoltaica es insuficiente. Como se ilustra en la Figura 4, estos sistemas tienen la capacidad de operar con un banco de baterías, cuya integración depende del modelo seleccionado y de la potencia de salida requerida (Syscom, 2023).

Figura 4

Sistema con Inversor/cargador conectado a la red.



Nota. Extraído desde la web (Ecco solar Perú, 2023).

2.2.3 Inversores.

Los inversores son equipos electrónicos que tiene la función de convertir la energía de corriente directa producida por las celdas solares en energía senoidal (corriente alterna) a una frecuencia de 50 a 60Hz. Así llevando la energía producida a los equipos de consumo que funcionan a corriente alterna. Los inversores en general varían según su características y tipos en la cual se pueden ajustar según al requerimiento del usuario (Villegas & Alcivar , 2020).

2.2.4 Tipos de Inversores.

Inversor fuera de la red.

Este tipo de inversores son más comerciales, usados en sistemas fotovoltaicos independientes o aislados a la red, compuestas además de controladores y baterías. La corriente de salida del generador fotovoltaico es dirigida a la batería, siendo este convertido en corriente alterna a través de un inversor para abastecer la carga (Mehedi, 2021).

Inversores conectados a red.

Este tipo de inversor está diseñado para trabajar con la red eléctrica en sistema fotovoltaico. Su funcionamiento es recibir la corriente continua de las celdas solares al inversor y a la salida del inversor, la corriente alterna es acoplada a la red, para luego abastecer el consumo (Leon & Fernandez , 2021). Este tipo de dispositivo son conectado directamente con la red eléctrica, no cuenta con controladores ni baterías (Mehedi, 2021).

Inversores Híbridos.

Este tipo de inversores son capaces de trabajar con la red eléctrica pública, también con un banco de baterías. Su función es que estos ersores pueden usar la energía eléctrica para cargar y mantener las baterías en carga máxima, actúa como un sistema de autoconsumo ya que permite depender de la energía aprovechada del sol (Diaz, 2025).

Inversores/cargadores

Estos inversores pertenecen a la familia de inversores aislados, que a menudo integran un controlador de carga, tienen como función principal cargar las baterías con la energía solar. Si esta no es suficiente, extraen energía de un generador de corriente alterna como respaldo para mantener el nivel de carga de la batería. En contraste, un inversor/cargador conectado a la red (on-grid) posee una funcionalidad bidireccional. Este dispositivo puede convertir la corriente alterna de la red a corriente continua para cargar las baterías, y también convertir la energía continua de las baterías a corriente alterna para el consumo de las cargas. En algunas configuraciones, el sistema tiende a depender de la red eléctrica en caso de que las baterías se encuentren con una baja carga y el generador (si está presente) no sea suficiente para el suministro. (Olivo & Chango, 2023).

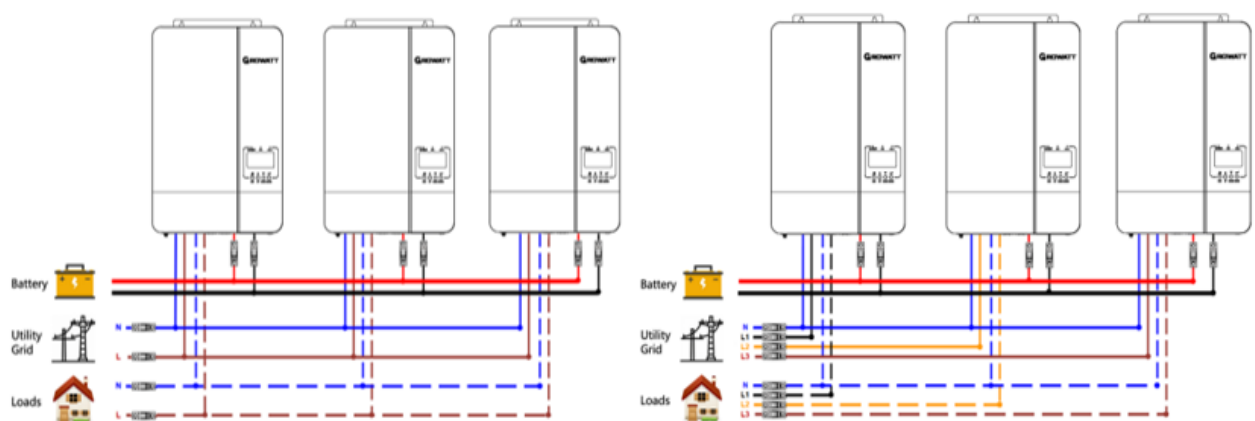
2.2.5 Usos y aplicaciones del Inversor/Cargador.

Los inversores/cargadores solares han sido diseñados para operar en instalaciones exigentes debido a su capacidad para desempeñar múltiples funciones de manera simultánea. Aunque son versátiles, su uso se concentra principalmente en instalaciones sistemas autónomos, donde las baterías solares son indispensables para garantizar la independencia energética del consumo. A continuación, se detallan sus principales aplicaciones: (Samlexamerica, 2023).

- **Aplicaciones residenciales:** Son ideales para viviendas ubicadas en zonas sin acceso a la red eléctrica o en áreas donde el suministro es ineficiente, proporcionando una solución de energía autónoma y confiable.
- **Sistemas de respaldo (UPS):** Funcionan como una fuente de alimentación ininterrumpida (UPS). Ante un corte en el fluido eléctrico, el sistema de baterías entra en funcionamiento de manera inmediata, garantizando la continuidad del suministro de energía sin interrupciones.
- **Ambiente industrial:** Una de las aplicaciones clave en el entorno industrial es la capacidad de conectar varios inversores/cargadores en paralelo. Esto permite escalar la potencia del sistema para abastecer la alta demanda energética, como se ilustra en la Figura 5.

Figura 5

Conexión en paralelo monofásico y trifásico.



Nota. Extraído desde el Manual de Usuario (Growatt, 2024).

2.2.6 Tecnologías y Configuraciones de Sistemas de Respaldo de Energía.

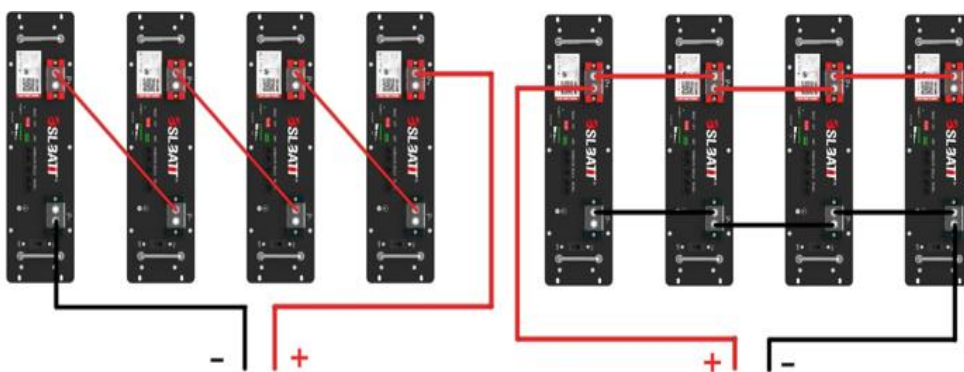
En la actualidad hay distintos tipos de tecnología de respaldo de energía en el mercado, en la cual una de las tecnologías de almacenar la energía eléctrica proveniente de sistema fotovoltaico asilados es mediante las baterías que son más comunes, conocido como componente electroquímico que almacena la energía químicamente como las baterías, otra forma de almacenar la energía es mecánicamente conocido por su gran potencia, por lo general en sistemas de almacenaje de energía mecánica, estas son la energía hidráulica bombeada (PHS0) y almacenamiento de energía de aire comprimido (CAES) (Olivo & Chango, 2023).

2.2.7 Batería.

Las baterías son dispositivos electrolitos que almacenan la energía eléctrica, diseñadas para cargarse y descargarse. Generalmente la aplicación de las baterías es proporcionar la energía eléctrica almacenada proveniente del sol cuando los paneles solares no se encuentren en funcionamiento (NOVUM, 2024). Sin embargo, según Kun et al., (2022), en sistemas de mayor energía de consumo se componen por un banco de baterías, en los cuales los paneles fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas o cargar las baterías en caso estén descargadas. Durante la noche y horas tempranas de la mañana toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías. Por otro lado, existen dos tipos de conexiones, uno en paralelo el otro en serie según su requerimiento del sistema como se ilustra en la Figura 6.

Figura 6

Conexión en Serie y conexión Paralelo.



Nota. Adaptado de Guía principal para las conexiones de baterías en serie y paralelo (BSLBATT, 2024).

2.2.8 Tipo de baterías.

Las baterías se categorizan según su tecnología de fabricación y el tipo de electrolito que emplean. Los principales modelos disponibles en el mercado se distinguen por sus características básicas, que definen su rendimiento y aplicaciones.

Baterías solares de Plomo-Ácido.

En la Figura 7, muestra las baterías de plomo-acido que son más usadas en la actualidad por la industria fotovoltaica, suele ser una buena opción de almacenamiento para las aplicaciones solares de baja capacidad para que soporte ciclos repetitivos de carga y descarga, No obstante, su utilidad es bastante limitada debido a su corta vida útil y a la imposibilidad de soportar descargas profundas sin sufrir daños. Esta tecnología sigue siendo más constante, constituidas básicamente por un ánodo de dióxido de plomo, conocido como electrodo negativo y un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua (Quintanilla, 2020). Las baterías de plomo-ácido suelen utilizarse en muchas aplicaciones a pequeña escala, seleccionadas en función de su capacidad.

Figura 7

Baterías solares de plomo ácido NVS.



Nota. Extraído desde la web (NOVUM, 2024).

Baterías solares de Electrolito Inmovilizado

En la Figura 8, muestra las también llamadas baterías AGM y GEL, son recargables compuestas por electrolitos líquidos que transportan los iones entre los electrodos durante el

periodo de carga y descarga. Se utilizan ampliamente en sistemas fotovoltaicos debido a su capacidad superior y a sus favorables características de ciclo de carga y descarga (Calle, 2024).

Figura 8

Baterías solares AGM y Gel.



Nota. Extraído desde la web (Ecofener, 2024).

Baterías solares de LiFePo4

Como se ilustra en la Figura 9, las baterías de ion de litio (LiFePO₄ o LFP) representan una de las tecnologías más modernas y avanzadas del mercado actual. Aunque su densidad energética suele ser inferior a la de otras químicas de litio (como NMC o NCA), se distinguen por su elevada eficiencia energética y rendimiento superior. Por ejemplo, con eficiencias de carga y descarga que superan el 95%, son notablemente más eficientes que las baterías tradicionales, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de la energía y una mayor vida útil.

Figura 9

Baterías Solares de Litio.



Nota. Extraído desde la web (NOVUM, 2024).

Las baterías, también llamadas acumuladores solares, se encargan de acumular energía eléctrica, almacenarla y proporcionar energía solar. En este caso generada los las celdas solares y disponer la energía en cualquier momento, normalmente en caso de los días de poco sol o

cuando es la noche y las celdas solares no están generando mucha energía solar. Se destaca por su mayor descarga que se encuentra entre 80% a 90% y tienen un mayor ciclo de vida, la capacidad de una batería se expresa comúnmente en amperios-hora (Ah), unidad que indica la cantidad de carga eléctrica que pasa por los terminales de la batería por unidad de tiempo y si se quiere saber la energía almacenada expresada Wh se debe tener en cuenta la tensión de la batería (Llopis, 2021).

En la Tabla 1, presenta una comparación concisa y muy relevante de tres tecnologías comunes de baterías utilizadas en sistemas de almacenamiento de energía (como los fotovoltaicos o UPS): AGM, GEL y LiFePO₄. A continuación, se ve que “las baterías LiFePO₄ superan a las tecnologías AGM y GEL en todos los parámetros críticos: ofrecen una mayor capacidad utilizable por ciclo, una vida útil significativamente más larga y una mayor eficiencia energética. Aunque inicialmente pueden tener un costo más elevado, estas ventajas suelen traducirse en un menor costo total de propiedad (TCO) y una mayor fiabilidad y rendimiento a lo largo de la vida útil del sistema” (Sánchez J. M., 2020).

Tabla 1

Comparación de Tecnologías de Baterías: AGM, GEL y LiFePO₄.

Parámetro	AGM	GEL	LiFePO₄
DOD (%)	50-60	50-60	80-90
Ciclos	600-800	1000-1200	3000+
Eficiencia (%)	-85	-85	95-98

Nota. Se expone diferencias entre los tipos de baterías (Elaboración propia).

2.2.9 Funcionamiento de las baterías LiFePO₄.

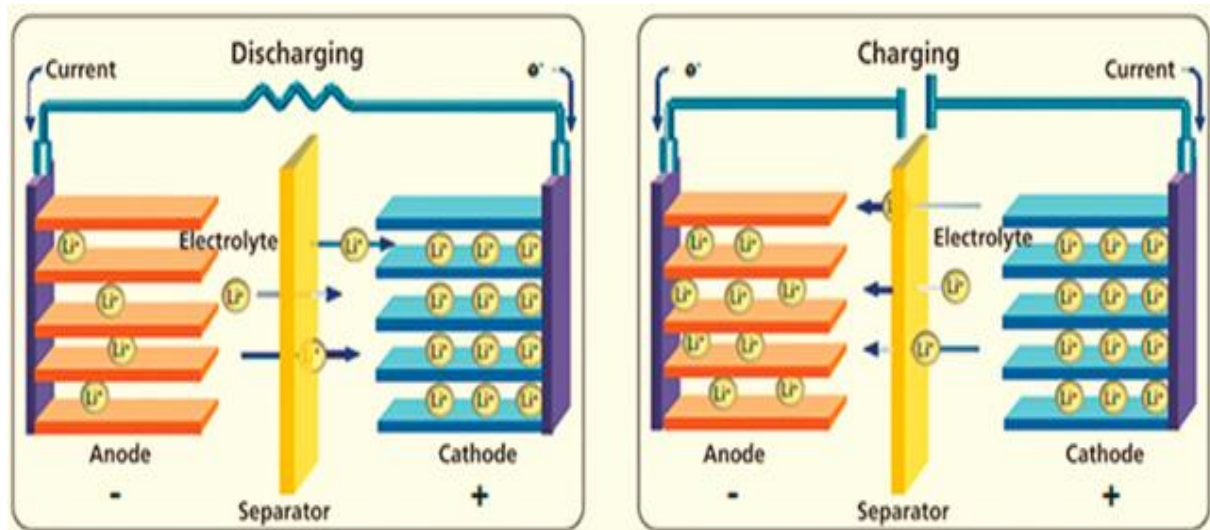
El litio, al ser el metal más ligero, posee un elevado potencial electroquímico que le confiere una alta energía específica, fundamental en las aplicaciones de baterías. Dentro de las químicas, las baterías de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄ o LFP), si bien presentan una menor densidad energética en comparación con otras composiciones como Níquel-Manganeso-Cobalto (NMC) o Níquel-Cobalto-Aluminio (NCA), destacan por ofrecer una seguridad superior y una vida útil considerablemente más prolongada (Battery University, 2024).

La Figura 10, muestra el comportamiento de una batería recargable de iones de litio durante la fase de descarga y carga. En el proceso de descarga los iones de litio van desde el ánodo al cátodo, produciendo una corriente eléctrica a través de un circuito externo y en el proceso de

carga una fuente de energía externa impulsa a los iones de litio a tener un comportamiento opuesto al de descarga, almacenando así energía química para ser luego aprovechada.

Figura 10

Funcionamiento de una batería de litio.



Nota. Extraído de un trabajo científico Neha et al. (2019).

2.2.10 Profundidad de descarga de la batería.

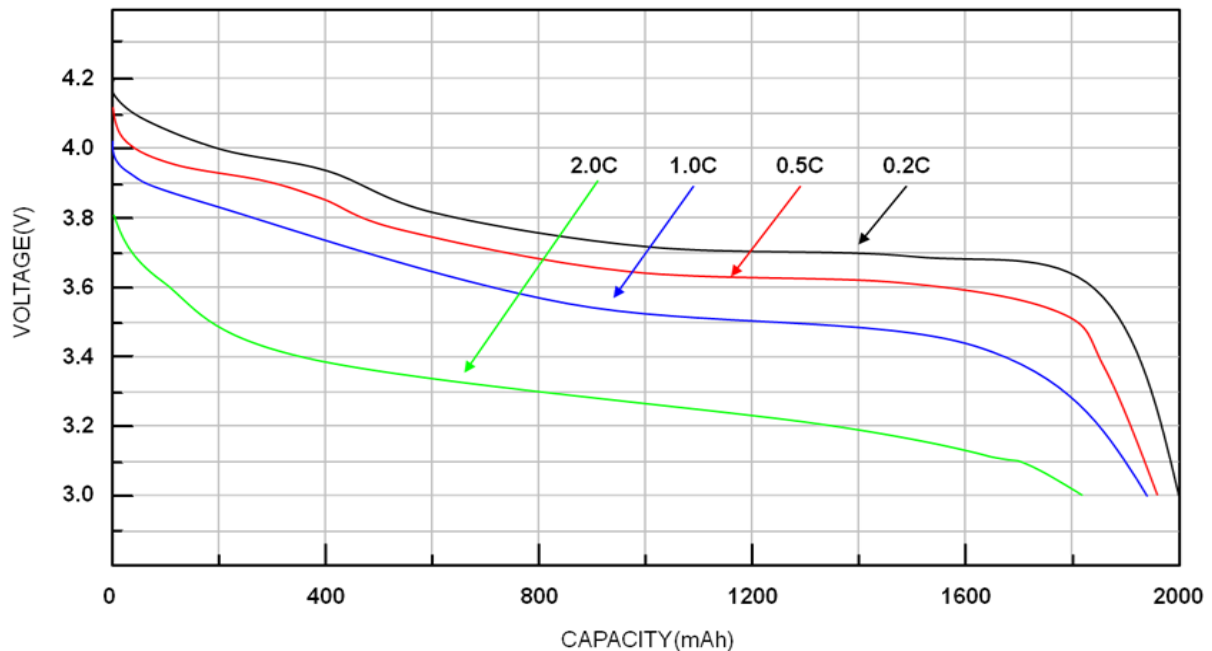
La profundidad de descarga (DOD) se define como la proporción de energía extraída de una batería en relación con su capacidad total nominal. Un ciclo de descarga-carga completo se registra cuando una batería es descargada y, posteriormente, recargada por completo.

En el caso específico de las baterías de ion de litio, estas operan dentro de un rango de tensión estrictamente definido, que oscila entre un mínimo y un máximo alrededor de su valor nominal. No obstante, la tensión real durante la operación varía considerablemente en función de la corriente de carga o descarga y de la temperatura. Esta alta sensibilidad a las condiciones operativas y ambientales hace que la estimación precisa del estado de carga (SOC), basada únicamente en la medición de tensión, sea un proceso que presenta desafíos considerables (Llopis, 2021).

La Figura 11, muestra la correlación entre tensión y capacidad a diferentes tasas de descargas de una batería. Cuando esta tasa de descarga toma el valor más bajo, la tensión es alta y es constante el porcentaje de su capacidad (eficiente). Sin embargo, cuando la tasa de descarga toma un valor mayor, la tensión disminuye y la capacidad efectiva sufre una reducción, además de que la curva de descarga se vuelve más pronunciada.

Figura 11

Curvas de descarga típicas de una batería de iones de litio.



Nota. Extraído desde la web (RICHTEK, 2020).

2.2.11 Proceso de carga de la batería.

El perfil de carga CC-CV (Corriente Constante-Tensión Constante) es el algoritmo más extendido en la industria para la carga de baterías. Este proceso se divide en dos fases principales:

Fase de Corriente Constante (CC).

En esta etapa, el generador de energía suministra una corriente constante a la batería. Como resultado, la tensión de la celda se incrementa de manera progresiva hasta alcanzar una tensión máxima preestablecida ($\leq V$ máx.) (Shen et al., 2012).

Fase de Tensión Constante (CV).

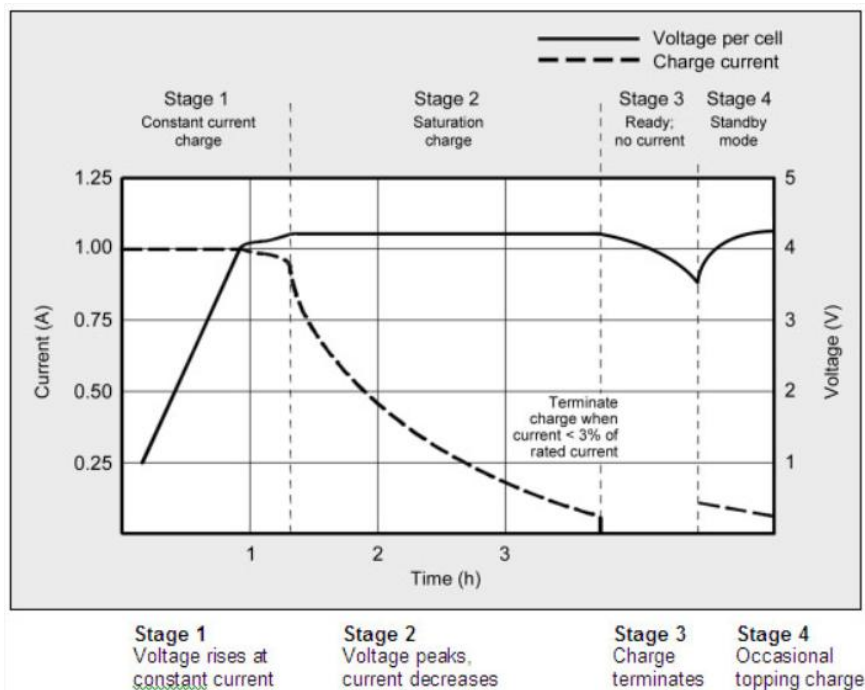
Una vez que se alcanza la tensión máxima, esta se mantiene constante. Durante esta fase, la corriente de carga disminuye de forma exponencial hasta que la batería está completamente cargada (Shen et al., 2012).

La Figura 12, muestra una curva de carga de una batería dividida en cuatro etapas. La imagen representa la relación entre el voltaje (línea continua) y la corriente (línea punteada) de la batería a lo largo del tiempo de carga, divididas en cuatro etapas de procesos de carga.

- Etapa 1: Indica el inicio, donde la corriente se mantiene constante mientras el voltaje de la celda aumenta gradualmente. Esta es la fase principal de la carga.
- Etapa 2: Consta de la carga de saturación, donde una vez que el voltaje alcanza un pico, la corriente comienza a disminuir gradualmente. La carga termina en este punto, cuando la corriente desciende a menos del 3% de su valor nominal. Sin embargo,
- Etapa 3: Listo: sin corriente, la carga se ha completado y el flujo de corriente se interrumpe. El voltaje de la celda permanece estable, indicando que la batería está completamente cargada.
- Etapa 4: Consta del modo en espera, donde después de un tiempo, la batería entra en un modo de "mantenimiento" o recarga ocasional. En este modo, se aplica una pequeña corriente de carga para compensar la autodescarga de la batería, manteniendo su capacidad al máximo.

Figura 12

Etapas de carga típico de una batería de litio.



Nota. Extraído desde la web (Battery university, 2024).

2.2.12 Suministro eléctrico a una carga.

El suministro de la carga es la energía que se le administra a una demanda o carga respectiva, dependerá de la potencia que este trabajo y las horas de uso. En sistemas fotovoltaicos este es un ámbito muy importante, ya que dependerá de cuan eficiente es el sistema (Farina, 2019).

2.2.13 Tablero eléctrico de distribución.

El tablero eléctrico es un componente muy importante ya que se encuentra la presencia de corriente y tensión en diferentes direcciones por medio de dispositivos de protección y medidores de control, lo primordial del trabajo que realiza este sistema es la distribución y control de flujo eléctrico para una respectiva obra de mantenimiento (Farina, 2019).

2.2.14 Cuadro de cargas.

Básicamente es la interpretación de la demanda máxima que se requiere abastecer, en este caso por el sistema fotovoltaico instalado o previa a una instalación, dependerá de la potencia, cantidad y horas de uso del equipo (Jorges, 2021).

2.3 Bases conceptuales de la Investigación.

2.3.1 Potencia eléctrica.

La potencia eléctrica es la fuerza con la que funciona un equipo o también es la energía suministrada por unidad de tiempo por ejemplo el televisor, la iluminaria, etc. Su unidad de medida es en watt (Guzman, 2023).

2.3.2 Temperatura.

La temperatura es una magnitud física que mide la cantidad de energía térmica de un objeto, cuerpo o ambiente, y está directamente relacionada con la transferencia de calor. En el ámbito fotovoltaico, la temperatura es un factor crítico que afecta directamente el rendimiento del sistema. Un aumento de la temperatura en las celdas solares tiene una relación inversa con el voltaje y, por lo tanto, reduce su eficiencia de conversión. De igual manera, interviene significativamente en la operación y disipación de calor del inversor, así como en la capacidad y vida útil de las baterías. La temperatura se expresa principalmente en las escalas de Celsius (°C), Kelvin (K) y Fahrenheit (°F) (Cristobal, 2023).

2.3.3 Voltaje.

El voltaje o diferencia de potencia es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica que dispone para mover la carga eléctrica desde un punto a otro, el voltaje es el que empuja a los electrones a través de un circuito, sin el voltaje los electrones libres no se

moverían, por ende, no se generaría corriente eléctrica en la cual la energía que dispone un equipo no es transportada y su unidad de medida es Voltios (Vera et al., 2020).

2.3.4 Corriente eléctrica.

Es el movimiento de electrones que se transporta mediante los conductores eléctricos de una región a otra, las cargas en movimiento son los electrones por lo que se define a la corriente eléctrica-flujo, en materiales conductores de electricidad como el cobre la plata o el aluminio, los electrones no actúan los mismo ya que para conducir la corriente va depender de la resistividad de cada material, en el ámbito de la electricidad el cobre es la mejor de conducir corriente, su unidad de medida es en amperio (Ricardo, 2018).

2.3.5 Eficiencia energética.

La eficiencia energética es entre la energía consumida y el resultado obtenido por esta energía, cuanto mayor es el resultado obtenido usando la misma cantidad de energía se dice que es más eficiente, en sistemas fotovoltaico empieza desde la generación de energía hasta el consumo, si resulta que la energía producida por las celdas es igual a la energía que llega a las cargas de consumo es eficiente el sistema (Peratikuo & Charalambides, 2021).

2.3.6 Cableado.

Transporta el flujo de la energía producida del SFV, desde la salida de las celdas solares hasta el inversor y luego sale desde el inversor hasta el consumo eléctrico, los cables se interconectan entre los equipos y aparatos que mediante el fluya toda la información Los distintos tipos de cables se determinan según la cantidad de corriente que va ser transportada o la longitud (Brenis, 2024).

2.3.7 Evaluación económica.

La evaluación económica consiste en determinar si un proyecto o inversión es rentable o si tienen ganancias, esto por medio de distintos indicadores económicos: VAN, TIR, PRI y B/C. dependerá de la inversión inicial o capital, mantenimiento, progresión, sustitución de equipos o materiales, tasa de interés (Cristobal, 2023).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Hipótesis de la investigación.

3.1.1 Hipótesis general.

La implementación y evaluación económica permitirá conectar de manera permanente el sistema fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red para el suministro de una carga en la sala de cómputo en la EPIER-Ayabacas

3.1.2 Hipótesis específicas.

- El diseño del sistema fotovoltaico con inversor/cargador 5.0kW conectado a la red dependerá de los parámetros a considerar para la selección de los componentes a fin de suministrar energía a una carga del centro de cómputo de la EPIER-Ayabacas.
- La determinación del suministro de energía a una carga del centro de cómputo del sistema fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW estará en función a la adquisición de datos AC/DC para la implementación de sistema.
- El sistema fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW será rentable económicamente para suministrar energía a una carga del centro de cómputo de la EPIER-Ayabacas.

3.2 Materiales y/o equipos.

3.2.1 Módulo fotovoltaico.

En la Figura 13, se aprecia el tipo de panel fotovoltaico de la marca SOLARD WORDL Sunmodule plus SW-250 policristalino, lo cual, el armado está conformado por un conjunto de 12 paneles fotovoltaicos. Tienen una máxima potencia de 250WP, tensión de circuito abierto 37.6V, Tensión del punto de máxima potencia 30.5V, Corriente de cortocircuito 8.81A, Corriente de punto de máxima potencia 8.27A, Eficiencia del módulo 14.91%.

Normas técnicas:

- Certificado por la norma española IEC 61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) para uso terrestre, Cualificación del diseño y homologación”.
- Certificado por la norma española IEC 61730 “Cualificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV)”.

Figura 13

Módulo fotovoltaico policristalino.



Nota. Extraído desde la web (Monsolar, 2024).

Tabla 2

Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico.

SUNMODULE PLUS SW-250 POLY	
Rendimiento en condiciones de prueba estándar (STC)	
Máxima potencia (P_{max})	250Wp
Tensión de circuito abierto (U_{oc})	37.6V
Tensión del punto de máxima potencia (U_{mpp})	30.5V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	8.81 A
Corriente de punto de máxima potencia (I_{Mpp})	8.27 A
Eficiencia del módulo (η_m)	14.91%
Rendimiento a 800 W/m ² (NOCT)	
Máxima potencia (P_{max})	185.4Wp
Tensión de circuito abierto (U_{oc})	34.2V
Tensión del punto de máxima potencia (U_{mpp})	27.8V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	7.24 A
Corriente de punto de máxima potencia (I_{Mpp})	6.68 A
Eficiencia del módulo (η_m)	14.91%

Nota. Los datos fueron obtenidos desde el catálogo de usuario (Archiexpo/conect, 2023).

En la Tabla 2, se pueden distinguir las especificaciones técnicas de módulo fotovoltaico de 250W. Estos valores forman parte esencial para dimensionar correctamente el sistema fotovoltaico, así también seleccionar adecuadamente los componentes de trabajo. También muestra el rendimiento del módulo fotovoltaico, se reduce de manera considerable al pasar de

condiciones de prueba ideales (STC) a condiciones de operación más realistas (NOCT), lo que es crucial para el dimensionamiento del sistema.

Tabla 3

Especificaciones técnicas del arreglo fotovoltaico.

SUNMODULE PLUS	
Arreglo fotovoltaico de 3.0 Kw	
Máxima potencia (P_{max})	3000Wp
Tensión de circuito abierto (U_{oc})	451.2V
Tensión del punto de máxima potencia (U_{mpp})	366V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	8.81 A
Corriente de punto de máxima potencia (I_{Mpp})	8.27 A

Nota. El generador fotovoltaico está conectado en serie.

En la Tabla 3, se muestra especificaciones técnicas del arreglo fotovoltaico", presenta los parámetros clave de un sistema fotovoltaico de 3.0 kW, que utiliza módulos "SUNMODULE PLUS" de un arreglo fotovoltaico premeditado de 12 paneles, operando en condiciones estándar (STC: 1000W/m², 25°C).

3.2.2 Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.

En la Figura 14, es visible la adquisición del inversor/cargador monofásico con tecnología avanzada de la marca Growatt de 5.0kW, además de transformar la corriente continua (DC) en alterna (AC), permiten que la energía almacenada en las baterías se utilice para satisfacer la demanda. También tienen la capacidad de recargar las baterías a través de la red eléctrica o mediante otros tipos de generadores convirtiendo la energía en corriente continua, cuando estas alcanzan su mínima tensión de trabajo, para que la energía pueda ser utilizada más adelante.

Este tipo de tecnologías con inversor/cargador está equipado con un controlador de carga MPPT y permite la configuración de la prioridad de entrada, ya sea solar o de red. Ofrece monitoreo remoto opcional a través de WIFI/GPRS y admite funcionamiento en paralelo, permitiendo una expansión de capacidad de hasta 30.0kW. Además, en caso de que la energía fotovoltaica no sea suficiente, tanto la energía solar como la de la red se utilizan conjuntamente para alimentar la carga.

Figura 14

Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.



Nota. Extraído desde la página web (Growatt, 2024).

Tabla 4

Especificaciones técnicas del Inversor/cargador.

Salida del inversor	
Potencia nominal	5000VA/5000W
Regulación de voltaje CA	230VAC \pm 5% @ 50/60Hz
Eficiencia (pico)	93%
Forma de onda	Senoidal

<<Continuación>>

Cargador solar	
Potencia max. del conjunto fotovoltaico	6000W
Rango MPPT	120VDC ~ 430VDC
Voltaje del circuito	450VDC
Corriente máxima de carga solar	100 A

Cargador de AC	
Corriente de carga	80 A
Voltaje de entrada de AC	230VAC
Rango de frecuencia	50Hz/60Hz

Entorno operativo	
Humedad	5% a 95% de humedad relativa
Altitud	<2000m
Temperatura de funcionamiento	0°C – 55°C

Nota. Extraído desde el manual de usuario (Growatt, 2024).

En la Tabla 4, se muestra las características eléctricas del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW, organizada previamente en cuatro secciones principales. En la salida del Inversor se detallan las características de la salida de energía, la entrada solar, los parámetros de la carga y el entorno operativo que describe las condiciones ambientales en las que el equipo puede funcionar de manera óptima.

3.2.3 Sistema de respaldo.

En la Figura 15, se observan las baterías integradas de fosfato de iones de litio (LiFePO₄) de la marca ZTT4850. Este Sistema de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS) es un componente recargable diseñado para acumular energía para su uso futuro, lo que contribuye a prolongar su vida útil. Además de ello, en este tipo de tecnologías se muestra en la parte frontal los terminales para la conexión de energía, indicadores LED que muestran el estado de la carga y el puerto de comunicación.

Figura 15

Batería de LiFePO₄-ZTT -48v50Ah.



Nota. Extraído desde la web (ZTT, 2024).

Tabla 5

Parámetros eléctricos de la batería de litio

ZTT-4850	
Tensión nominal	48 V
Voltaje máximo de carga	54 V ± 0,2 V
Tensión de descarga final	40.5 V (ajustable)
Capacidad nominal	50 Ah
Corriente de carga Corriente nominal	0,2C (10 A, ajustable)
Corriente de descarga nominal	0,5C (25 A, ajustable)
Corriente máxima de descarga	1C (50 A)

Nota. Extraído desde el manual de usuario (ZTT, 2024).

En la Tabla 5, se detalla las principales características eléctricas de este tipo de tecnología de batería de litio, se especifica la tensión nominal y una capacidad nominal. También se detallan valores de la tensión de carga y descarga, así como las corrientes nominales y máximas de carga y descarga.

3.2.4 Equipos de protección.

Para la protección tanto en corriente continua y corriente alterna se establece diferentes componentes, cada uno desempeña un papel esencial y altamente especializado, asegurando la integridad y fiabilidad del sistema ante distintitos eventos de falla o mantenimiento.

Sección DC: Los diferentes componentes mencionados en esta sección, son adaptados en la Figura 16 y en la Tabla 6 se muestra las características técnicas de cada una de ellas. Estos componentes integrados pertenecen a la marca FEEO, diseñados para garantizar la seguridad y eficiencia.

Figura 16

Equipos de protección corriente continua.



Nota. Extraídos desde la web (FEEO, 2024).

- **Fusibles:** Tiene la función de proteger contra fallas a tierra en caso de que el diodo de bloqueo este en corto, también protege de sobreintensidades o cortocircuitos a partir de la corriente nominal del Generador Fotovoltaico.
- **Interruptor termomagnético o breaker:** Sirve para interrumpir el paso del flujo de la electricidad, sea con el fin de realizar labores de mantenimiento o como protección contra fallas en alguno de sus componentes.
- **DPS:** Este dispositivo cumple un rol muy importante en el diseño, protege sobretensiones de Generador Fotovoltaico debido a causa de descargas atmosféricas.

Tabla 6*Características técnicas de componentes de protección en DC.*

Cant.	Componente	Marca	Parámetro	Polos
2	Portafusibles	FEEO	20Amp	1P
1	Termomagnético	FEEO	16Amp	2P
1	Supresor de carga	FEEO	600VDC	2P
1	Termomagnético	FEEO	125Amp	2P

Nota. Extraídos desde la página web (FEEO, 2024).

Sección AC: La Figura 17, presenta los diferentes componentes clasificados según el circuito preestablecido. La funcionalidad de estos es tanto como interrumpir el flujo eléctrico (manual y automático) y salvaguardar la vida de las personas como al de los equipos y en la Tabla 7 se especifica sus características técnicas.

Figura 17*Equipos de protección eléctrica en corriente alterna.***Tabla 7***Características técnicas de los componentes de protección en AC.*

Componente	Marca	Parámetro	Polos
Salida del inversor/cargador			
Termomagnético	Schneider	32Amp	2P
Diferencial	Stronger	32Amp	2P
Entrada para la red eléctrica			
Termomagnético	Schneider	40Amp	2P
Diferencial	Schneider	40Amp	2P
Salida para la demanda			
Termomagnético general	Storck	32Amp	2P
Diferencial	Storck pro	25Amp	2P
Termomagnético iluminarias	Storck delta	15Amp	2P
Termomagnéticos tomacorrientes	Storck delta	25Amp	2P

Nota. Características técnicas obtenidos de los propios componentes (Elaboración propia).

3.2.5 Dispositivo de monitoreo Growatt Shine WIFI.

En la Figura 18, muestra el módulo wifi, es un accesorio de información de parámetros del Inversor/cargador Growatt, tiene una comunicación de puerto USB que se conecta al Inversor/cargador y tiene la función de monitorear el rendimiento de un sistema fotovoltaico, adquiriendo datos de producción de energía, estado del sistema y otras estadísticas. Podemos verificar estos parámetros en un teléfono móvil o en una computadora.

Figura 18

Dispositivo Shine WIFI-F



Nota. Extraído desde la web (Aquaclimat, 2024).

Tabla 8

Características del Shine WIFI-F Growatt

	Característica
Seguridad	WEP/WPA-SP/WPA2-PSK/WAPI
Peso	59 gramos
Intervalo de transmisión de datos	5 minutos
Interfaz USB	Tipo A
Interfaz de datos	UART 9600bps; Ethernet 100 Mbps
Voltaje- Corriente de Funcionamiento	5V-1 ^a
Redes soportadas	WIFI 2,4 GHz
Servidor compatible	Shine Server (servidor-cn.growatt.com)
Temperatura de funcionamiento	-20°C ~ +65°C
Tamaño	125x65x20mm
Estándar inalámbrico Wi-Fi	IEEE802.11 b/g/n.
Tipo de red	Modo de estación de punto de acceso suave

Nota. Adaptado desde la ficha técnica (Aquaclimat, 2024).

La Tabla 8, que muestra son características técnicas de un módulo llamado "Shine WIFI-F Growatt". Detalla aspectos como la seguridad, el peso, el intervalo de transmisión de datos, las redes soportadas y la temperatura de funcionamiento. Adicionalmente, cabe destacar que este

dispositivo cuenta con un indicador LED que proporciona una confirmación visual del estado de conexión, lo que permite comprobar si el enlace se ha establecido correctamente.

3.2.6 Medidores de monitorización en DC/AC.

Contamos con el medidor de la marca Eastron DCM230 como se aprecia en la Figura 19, lo cual nos permitirá hacer mediciones y recolectar datos en parámetros eléctricos en corriente continua (DC), las características técnicas se encuentran presentados en la Tabla 9. En cambio, para el flujo de energía en AC (corriente alterna) contamos con el medidor bidireccional de la marca Carlo Gavazzi modelo EM24-DIN, que se encontraba ya presente con anterioridad. cabe recalcar que ambas cuentan con una comunicación modbus RS485 para la transmisión de información de datos.

El medidor Eastron DCM230, está diseñado para operar conjuntamente con una resistencia shunt, dependiendo del tipo de medidor, en este caso con uno de 75mV. Este componente es Imprescindible para la medición precisa de corrientes en gran escala. Es decir que por este componente (resistencia shunt) pasa la corriente alta, lo que creará un voltaje resistente y adaptable para el medidor. El rango de capacidades de estos componentes está entre 45mV, 50mV, 60mV, 75mV. Para la correcta instalación se presenta el Anexo 25, que muestra dos distintas maneras de conexión (según la serie de medidor Eastron).

Figura 19

Medidores de energía en DC y AC.



Nota. Extraídos desde la web (Carlo Gavazzi, 2024).

Tabla 9*Característica técnica del medidor Eastron DCM230*

		Características eléctricas	
Tipo de medición		RMS en sistema de energía CC (1P N)	
Precisión de medición	Fuerza	1% del rango máximo	
	Energía Activa	1% del rango máximo	
	Actual	0,5% del rango máximo	
Voltaje de entrada	Voltaje	0,5% del rango máximo	
	Rango	5-1000 VCC/5-600 VCC/5-300 VCC	
Corriente de entrada	Consumo de energía	≤0,5VA	
	Derivación	75 mV por defecto, 45/60 mV	
	Consumo de energía	≤0,1VA	
Producción	DCM230	Salida de pulsos RS485 Modbus	

Nota. Extraído desde la ficha técnica (Eastron, 2024).

3.2.7 Convertidor RS485 USB.

En la Figura 20, hace referencia al convertidor USB de RS485, es útil para enviar comunicación que usen este protocolo entre equipos electrónicos o dispositivos industriales, permitiendo la transmisión y adquisición de datos, buena para largas distancias de transmisión y también con entradas GND para interrumpir posibles presencias de ondas anarmónicas, emitidas por las interferencias de otros equipos con altas señales de transmisión, haciendo que este tenga una comunicación más fluida. Sus características se muestran en la Tabla 10.

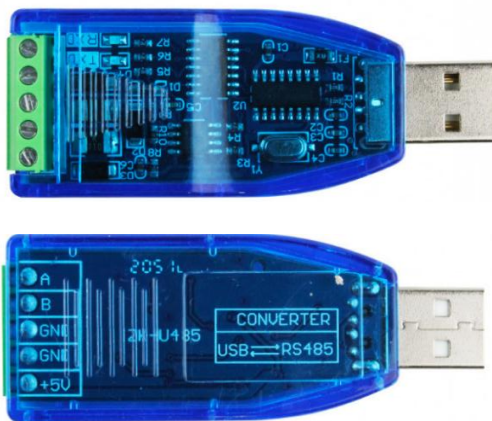
Figura 20*Convertidor USB a RS485.**Nota.* Extraído desde la web (TESLAELECTRONIC, 2024).

Tabla 10*Características del convertidor USB.*

	Especificación
Tipo de alimentación	5V
Distancia de transmisión	Hasta 1200m (en condiciones de 9600bps)
Protocolo de comunicación	Dispositivo de hardware puro, no restringido por protocolo
Velocidad	Alto 921600bps, admite transmisión mutua
Rango de temperatura	-40°C-80°C.
Peso	16g
Dimensiones	Largo, ancho y alto 70x27x13mm/2,76x1,06x0,51 in.
Luces indicadoras	TXD, RXD
Protección	Protección contra sobretensiones, cortocircuito de línea de señal AB y contra cortocircuitos de fuente de alimentación.
Chips	CH340

Nota. Extraído desde la web (JOOM, 2024).

3.2.8 Accesorios y herramientas.

Estos elementos fueron utilizados para diferentes tareas de campo, unas para mantener estable el fluido eléctrico (MC4, terminales, barra de cobre, borneras, cinta aislante), sujetar los conductores eléctricos (tubo corrugado, tubo corrugado conduit, tubo conduit, canaleta, sujeta cables), como componentes de apoyo y protección (pernos, disco de corte, brocas, casco de soldar, guantes, mandil, casco). Así como también las herramientas indispensables, fueron aplicadas para hacer algún tipo de reajuste (Pinza amperimétrica, Alicates de corte, Pelacables, Crimpadora, Alicates, Juego de desarmadores, Cinta métrica, Máquina de soldar, Esmeril, Taladro).

3.3 Metodología.

3.3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación.

- Tipo de investigación aplicado, se emplea conocimientos previos para resolver el problema encontrado, como también mejorar y/o innovar tecnologías.
- Nivel de investigación cuantitativo, se adquiere y analiza los datos obtenidos, realizando comparaciones y/o explicando los valores.
- Diseño de investigación correlacional, se identifica si los cambios en las variables son influenciados entre sí.

3.3.2 Población y muestra.

Población de estudio, la comunidad estudiantil de la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables, sede de Ayabacas, donde existen instalaciones fotovoltaicas con diferentes tipos de inversores aisladas y conectadas a la red.

Tamaño de la muestra, el sistema fotovoltaico de 3.0kW del proyecto de investigación docente titulado “Diseño e implementación de un analizador con sistema Scada para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini parque solar fotovoltaico de 3.0kW en sistemas aislados y conectados a red para la UNAJ”.

3.3.3 Instrumentos de recolección de datos

- Observación directa: Se utilizará para alcanzar información del lugar de estudio (sistema fotovoltaico, inversor/cargador, centro de cómputo, sala de monitoreo).
- Módulos de adquisición de datos: Growatt Shine WIFI, medidores de energía.
- Equipos portátiles de medición: Voltímetro, pinza amperimétrica, trazador de curvas.
- Ficha de análisis de documentos: Este instrumento será práctico para recopilar información y datos de documentos (Tesis, Artículos, revistas, etc.), normas y manuales técnicos, que sean pertinentes para el objetivo de la investigación.

3.3.4 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de datos.

Para el diseño del modelado de los componentes del generador fotovoltaico con Inversor/cargador de 5.0kW se utilizó los programas SketchUp (SketchUp, 2024) y AutoCAD (Autodesk Inc, 2024), creando diagramas y detalles eléctricos de montaje e implementación. Así mismo, para la selección de componentes se procedió al dimensionamiento aplicando el método “Amper-hora”, a ello se le adjunta el detalle realizado en el software SAM (NREL, 2023). La implementación de los componentes del GFV comprende el montaje del Inverso/cargador, el sistema de respaldo con baterías, el cableado en lado DC/AC y dispositivos de protección, considerando las normativas, código nacional de electricidad, la utilización de herramientas y equipo. Por otra parte, para realizar el análisis económico de la rentabilidad del sistema fotovoltaico con Inversor/cargador, se realiza de la información obtenida utilizando varios algoritmos matemáticos: valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR), período de recuperación (PRI), beneficio/costo (B/C) y así mismo se simuló en el software Homer pro (Figueroa & Culqui, 2022).

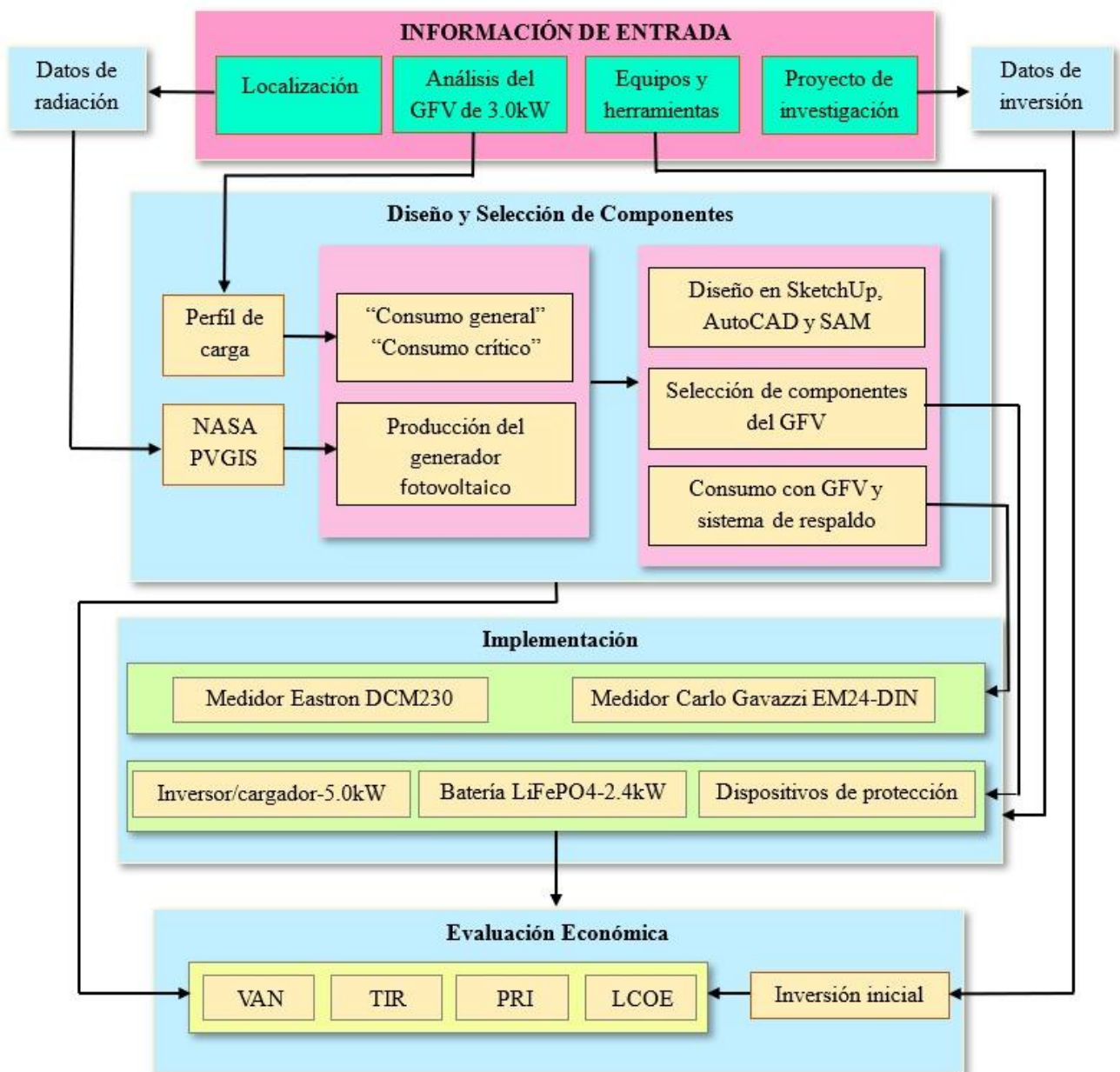
3.4 Diseño y selección de componentes del GFV 3.0kW.

3.4.1 Perfil metodológico.

En la Figura 21, ilustra el flujo de trabajo del proyecto, el cual se inicia con la recopilación de datos de entrada. A partir de estos datos, el proceso se divide en tres etapas principales: el diseño y la selección de componentes, la implementación y, finalmente, la evaluación económica.

Figura 21

Diagrama de bloques de la metodología del proyecto.



Nota. Representación gráfica del procedimiento de proyecto de investigación.

Los diagramas anteriores constan de lo siguiente:

Estos diagramas ilustran de manera detallada las especificaciones técnicas de un inversor/cargador, ofreciendo una visión integral de sus características de funcionamiento bajo diversas condiciones y configuraciones.

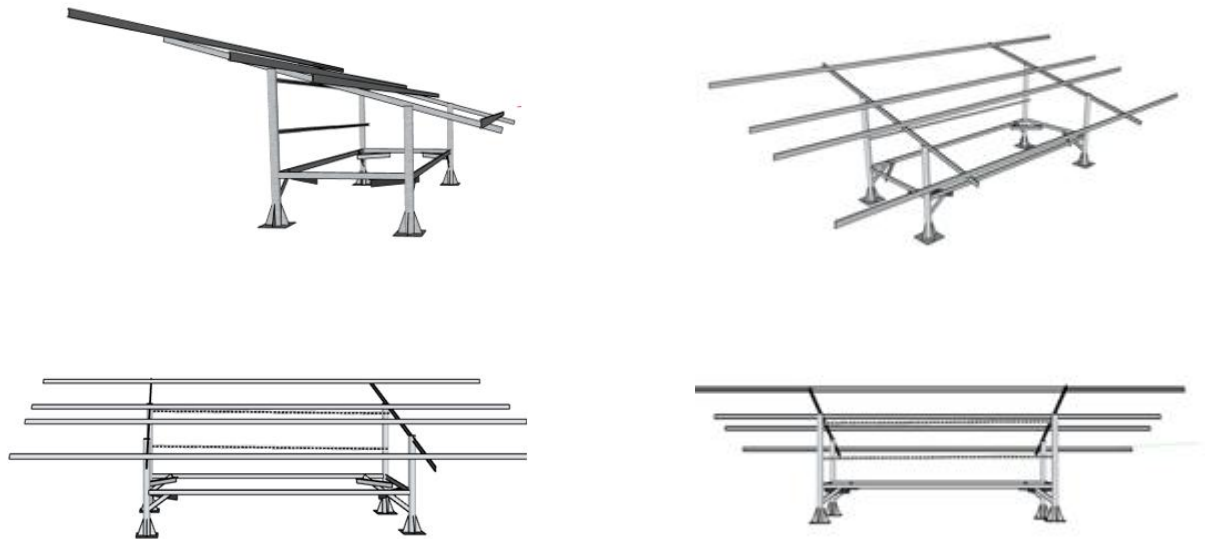
- Los módulos fotovoltaicos conectados en serie están enlazados a los portafusibles, a la llave termomagnética y al supresor de carga, seguida de un empalme con el inversor/cargador por medio del medidor Eastron DCM 230.
- Las baterías interconectadas en paralelo están acopladas al inversor/cargador por medio de una llave termomagnética y su vez tiene una conexión a tierra.
- A través de la salida del inversor/cargador se genera la alimentación de energía al centro de cómputo, pero antes de ello se tiene una conexión a un termomagnético y un diferencial que brindan una protección inicial. Posteriormente, esta corriente es medida por medio de una conexión al medidor en AC EM24-DIN, para luego ser dirigida es empalmada a una llave termomagnética y un disyuntor diferencial general que actúan como punto de seccionamiento principal. Desde esta sección, la energía es distribuida de manera segura mediante la derivación de interruptores termomagnéticos, asegurando una distribución y clasificación controlada, en este caso se plantea la energización de iluminarias y tomacorriente para la conexión de computadoras, laptops, data, celular, etc.
- El diseño del sistema también consta de la conexión a la entrada del inversor/cargador en AC para recibir la energía eléctrica desde la red eléctrica para suplir la demanda en situaciones donde el sistema fotovoltaico no cumpla su función o no sea suficiente.
- En la sección del tablero de control, el sistema de adquisición de datos se encuentra conectadas en paralelo, para la transmisión de información a través de una comunicación RS485 por la misma línea y se secciona una línea para transmitir los datos adquiridos a la computadora. Además de ello el medidor Eastron DCM230 se encuentra empalmada por una resistencia shunt especificada según la potencia de nuestro sistema.
- Además de ello, se ha implementado los respectivos aterramientos para cada equipo, incluyendo los módulos fotovoltaicos, el inversor/cargador y las baterías, componentes, gabinetes metálicos.

Modelado.

En la Figura 24, se contempla una estructura con una geometría rigurosa hacia el norte y una inclinación estratégica de 15° para aprovechar al máximo la energía solar.

Figura 24

Diseño de la estructura de soporte vista en diferentes modalidades.



La estructura se conformó con perfiles de acero galvanizado en forma de C. Cuatro perfiles horizontales y dos inclinados componen el marco principal para los módulos fotovoltaicos, mientras que el soporte inferior se sustenta en perfiles horizontales del mismo tipo. Para asegurar una base firme, se emplearon cuatro varillas de acero circulares empotradas en el suelo. Esta base está diseñada para soportar 12 paneles de 250Wp, el diseño se aprecia en la Figura 25.

Figura 25

Base de estructura empotrada en el piso.

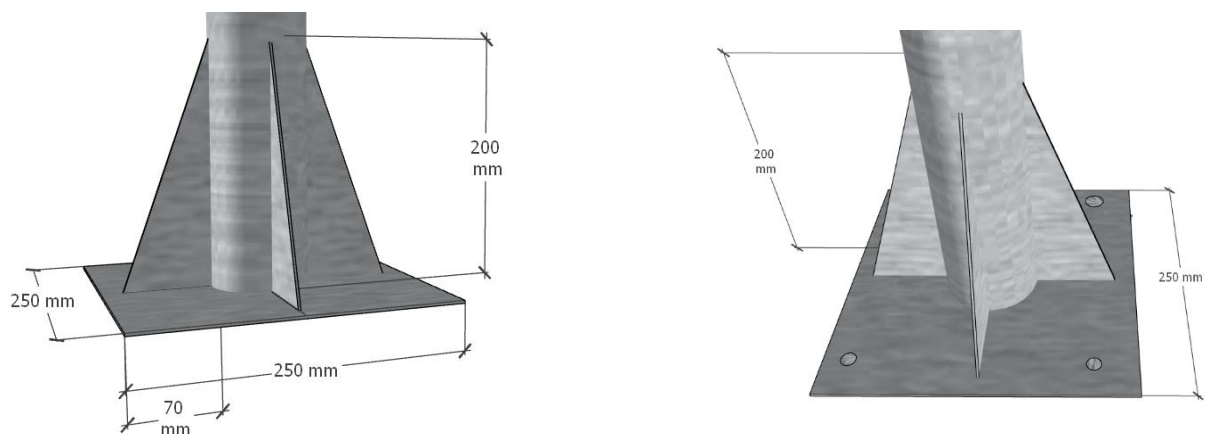


Figura 26

Vista de planta del generador fotovoltaico de 3.0kW.



Para el inversor/cargador se diseñó un gabinete que pueda protegerlo contra las lluvias y temperaturas bajas por la vulnerabilidad del equipo (Figura 27). Por otro lado, la estructura de soporte para las baterías de litio está conformada por los perfiles de tubo de fierro cuadrado para el marco principal y de forma angular como base para la separación de piso y como soporte ante algún movimiento, como medio de cubierta esta puesta una lámina de acero. Además, cuenta como medio de movilidad unas ruedas industriales con frenos para cargas pesadas como es el caso de las baterías de litio y una abertura de vidrio en la parte frontal que permite la visualización del estado de estos (Figura 29).

Figura 27

Diseño del gabinete de protección para el inversor/cargador.

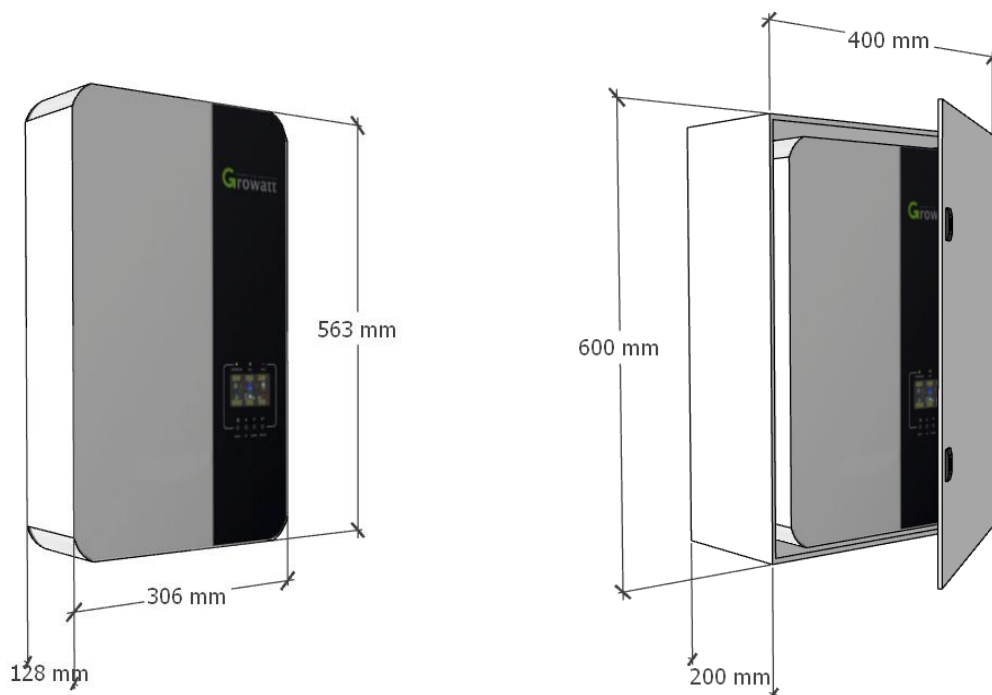


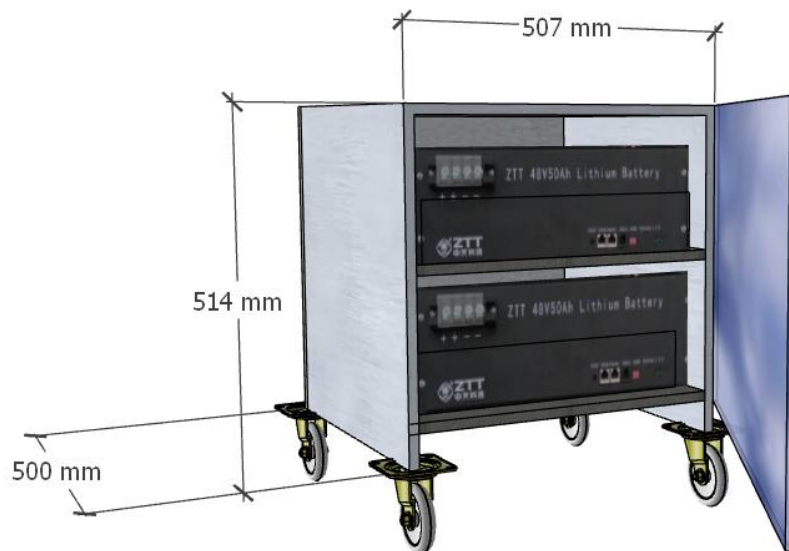
Figura 28

Diseño de la batería de litio.



Figura 29

Estructura para las baterías de litio.

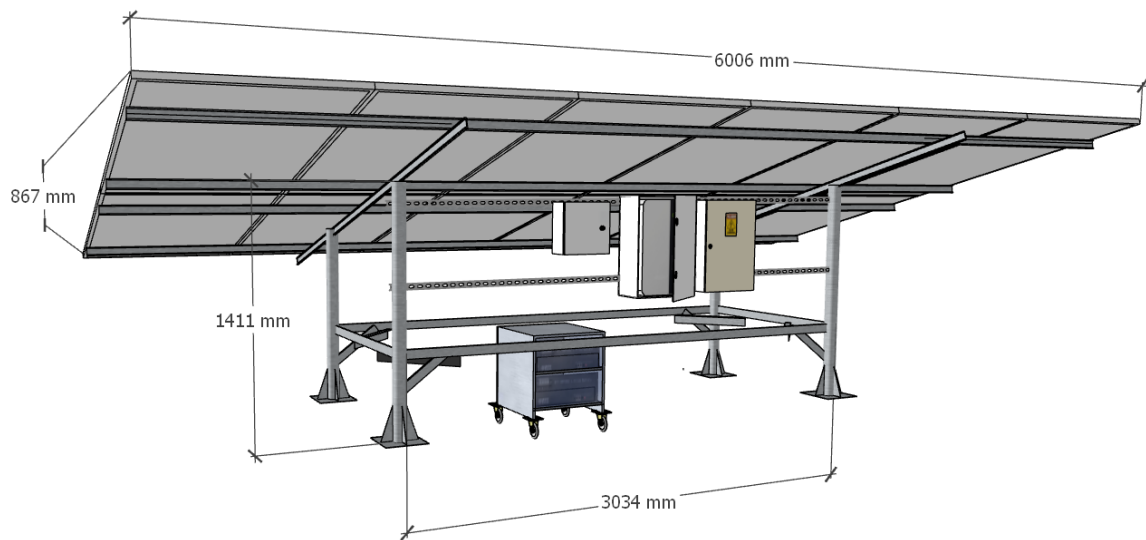


Cabe destacar que una de las características de las baterías, es que, cuentan con protección contra las lluvias, además de ello la misma estructura está cubierta por debajo para impedir cualquier tipo de acenso o rebote de agua, producto del impacto de las gotas contra el suelo.

En la Figura 30, podemos observar el diseño referencial del montaje de la estructura y del generador fotovoltaico incorporando el inversor/cargador, las baterías y los tableros de protección en DC y AC. no es de más destacar la diferencia del espacio (altura) que hay entre los sistemas (que se encuentran los equipos) y el piso: inversor/cargador 83 cm, tablero sección DC 104 cm, tablero sección AC 92 cm, soporte de almacenamiento 40 cm.

Figura 30

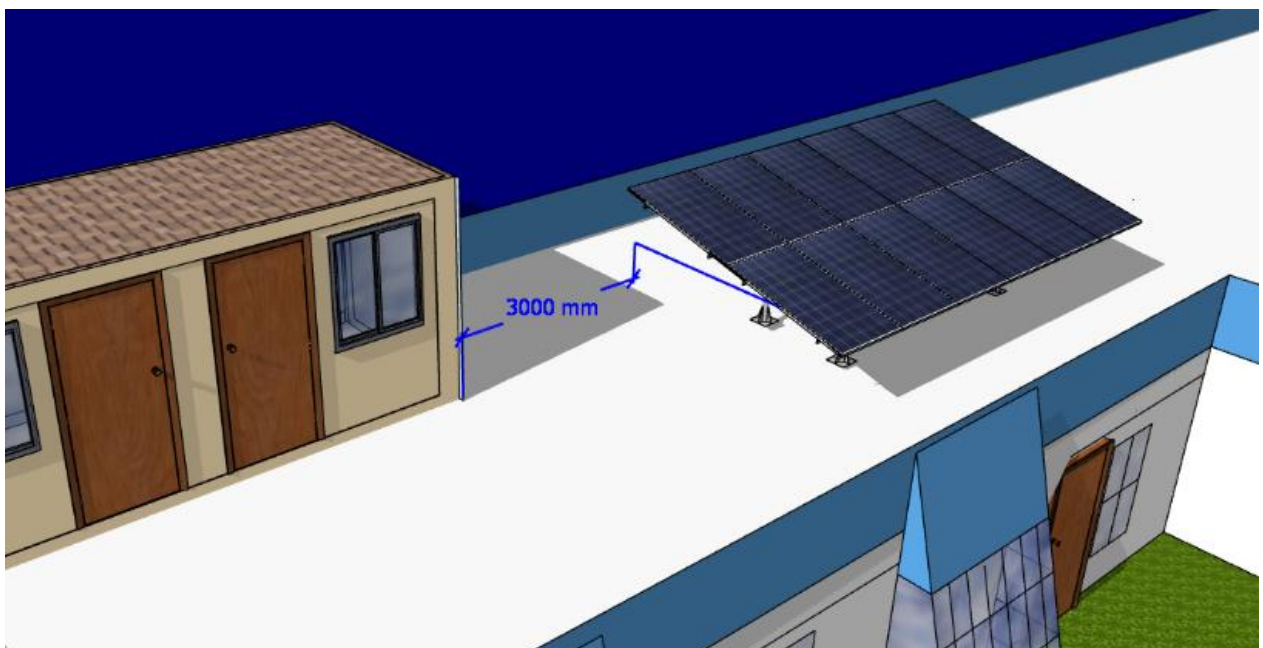
Vista isométrica del sistema FV con inversor/cargador.



En el Anexo 10 y 11 detallar el diseño del sistema como el espacio que hay entre el inmueble y el sistema fotovoltaico, esto por posibles presencias de sombreado, la distancia entre estos es de 3 metros. También se puede apreciar Figura 31, en la simulación no se muestra alguna existencia de este fenómeno. De igual manera la zona del parapeto no interfiere en el generador fotovoltaico, estas características y/o afirmaciones se constata por medio de una supervisión en tiempo real y lo mencionado ya anteriormente (simulación).

Figura 31

Simulación de sombra inmueble, parapeto y sistema fotovoltaico.



En la Figura 32, se muestra el diseño de la fachada del centro de cómputo, se puede observar un pequeño tablero de protección y distribución para las luminarias y tomacorrientes cerca del rack de conexión a internet, ubicada en la parte inferior del ambiente.

Figura 32

Diseño del centro de cómputo



Selección de componentes del GFV de 3.0kW.

Esta sección presenta el dimensionamiento y la selección de diferentes componentes que conforman la implementación del generador fotovoltaico de 3.0kW con un Inversor/cargador conectado a la red (Coronado, 2023). Así mismo los cálculos se realizarán por el método “Amper-hora”, partiendo por las pérdidas del GFV, producidas por la orientación, la inclinación, la suciedad y entre otros factores, por otro lado, se simulará utilizando el software SAM que optimiza el diseño según diversos parámetros. Los resultados que se obtendrán, son una estimación inicial que servirá como base para el diseño.

3.4.3 Localización geográfica del diseño.

En este apartado se toma en cuenta los datos meteorológicos a partir de la ubicación y la sección donde se encuentra el generador fotovoltaico de 3.0kW. La Tabla 11 detalla la localización geográfica y las características del lugar de implementación del inversor/cargador, incluyendo la latitud, longitud y altitud.

Tabla 11*Localización geográfica del lugar a implementar el inversor/Cargador.*

Latitud	15°24'33.5"S
Longitud	70°05'26.1"W
Altitud	3832 m
Inclinación del módulo	15°
Azimut	0
Conexión a red	Si
Área del arreglo Fotovoltaico	20m ²

Nota. Extraídos desde la web (Atlas Solar).

Una vez establecida datos geográficos, es necesario determinar las pérdidas generadas por el GFV, para proyectar la energía necesaria demandada que se puede suministrar al centro de cómputo. Los datos extraídos serán el punto de inicio de nuestro diseño y selección de componentes para un funcionamiento óptimo del sistema. La Tabla 12 presenta el recurso solar (HSP), obtenidos de las bases de datos de PVGIS y NASA. Para el análisis, se promedia los datos para dos configuraciones: una superficie horizontal y con un ángulo de 15°.

Tabla 12*Datos de la irradiación solar anual promedio.*

Mes	PVGIS				NASA	Prom.
	[kWh/m ² /m]	HSP	[kWh/m ² /m] 15°	HSP 15°	HSP	HSP
Enero	232.77	7.51	215.46	6.95	6.56	7.01
Febrero	208.32	7.44	197.87	7.07	6.61	7.04
Marzo	223.77	7.22	216.24	6.98	6.57	6.92
Abril	208.23	6.94	219.05	7.30	6.41	6.88
Mayo	178.49	5.76	206.05	6.65	5.61	6.00
Junio	176.68	5.89	216.31	7.21	5.63	6.24
Julio	184.77	5.96	222.13	7.17	5.82	6.32
Agosto	207.83	6.70	235.68	7.60	7.05	7.12
Septiembre	223.53	7.45	236.19	7.87	7.17	7.50
Octubre	240.30	7.75	237.06	7.65	7.48	7.63
Noviembre	232.61	7.75	217.35	7.25	6.81	7.27
Diciembre	229.61	7.41	226.00	7.29	6.54	7.08

Nota. Los valores fueron extraídos del año 2023 (PVGIS & NASA).

Los resultados indican que el mes de mayo registra el valor mínimo de HSP, con 6.00h, mientras que el valor máximo se obtiene en diciembre con 7.63h. Para los cálculos del diseño, se utiliza el valor mínimo. Esta estrategia de dimensionamiento asegura el funcionamiento óptimo del sistema incluso bajo las condiciones de irradiación más desfavorables.

La Tabla 13, titulada "Datos de temperatura y humedad relativa anual", presenta los valores mensuales de la temperatura máxima, mínima y promedio ambiental, así como la humedad relativa en porcentaje. Los valores fueron obtenidos de la NASA y corresponden al año 2023, presenta los datos de la temperatura ambiente y la humedad relativa. Se observa que la temperatura máxima se registró en el mes de enero con un valor de 21.61°C, mientras que la temperatura mínima fue de 17.53°C en el mes de junio.

Tabla 13

Datos de temperatura y humedad relativa anual.

Mes	T_Max_Amb. [°C]	T_Min_Amb. [°C]	T_Prom_Amb. [°C]	Humedad Relativa [%]
Enero	21.61	2.23	11.92	65.31
Febrero	19.40	2.33	10.87	68.25
Marzo	18.33	2.37	10.35	71.69
Abril	19.58	-1.17	9.20	59.44
Mayo	18.33	-3.51	7.41	52.75
Junio	17.53	-4.27	6.63	53.62
Julio	19.52	-1.94	8.79	57.88
Agosto	19.69	-4.00	7.84	48.56
Septiembre	20.48	-2.06	9.21	42.38
Octubre	21.45	-3.10	9.18	41.38
Noviembre	20.64	-1.17	9.74	44.06
Diciembre	20.76	-2.04	9.36	54.69

Nota. Los valores fueron extraídos del año 2023 (NASA).

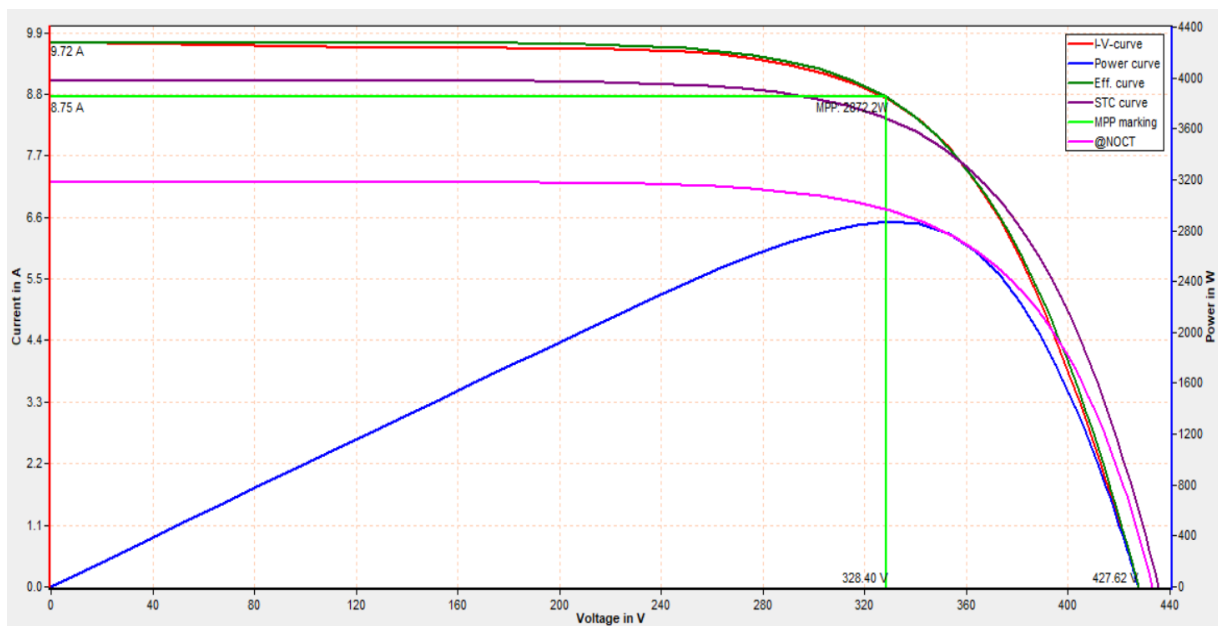
Las variaciones de temperatura a lo largo del año pueden incidir negativamente en el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, afectando sus parámetros eléctricos. Adicionalmente, los datos de humedad obtenidos permiten confirmar que el inversor/cargador operará en un ambiente adecuado, dentro del rango especificado en su ficha técnica.

3.4.4 Análisis de Curvas I-V y P-V del Generador Fotovoltaico 3.0kW.

La Figura 33, es una representación visual de la curvas I-V (Corriente-Voltaje) y P-V (Potencia-Voltaje), que son fundamentales para caracterizar el rendimiento de la cadena del módulo SOLARWORDSW250Poly proporcionando las diferentes condiciones que afectan a la generación de potencia máxima, corriente y tensión que puede entregar, así mismo tenemos la interpretación donde en el eje Y izquierdo es la corriente de salida (Current in A), en el eje Y derecho es la potencia de salida (Power in W) y en el eje X representa la tensión de salida (Voltage in V), de modo que la curva I-V muestra la variación de la corriente de salida a medida que cambia la tensión y en la curva P-V muestra la variación de la potencia de salida a medida que cambia la tensión, no obstante los datos se muestra en la Tabla 14. Este análisis se hizo tres simulaciones al día como muestra en el Anexo 6 y 7, con el fin de verificar que los modulo estén en condiciones de trabajo optimo.

Figura 33

Curva I-V y P-V del generador fotovoltaico de 3.0kW.



Nota. Simulación de modulo a las 14:27 pm (PV-Analizador).

En la Tabla 14, presenta una comparación de parámetros eléctricos y de operación del módulo SOLARWORD-SW250Poly para un sistema configurado de 12 módulos conectados en serie y 1 en paralelo “lo que comúnmente se interpreta como una única cadena de 12 módulos en serie”. Los datos se muestran bajo cuatro escenarios distintos: ponderado, @STC, @NOCT y referencia.

Tabla 14*Análisis comparativo del modulo*

SOLARWORD				
SW250Poly	Ponderado	@STC	@NOCT	Referencia
12 serie/1 paralelo				
Pmax [W, Wp]	2872.20	2765.30	2237.20	3000.00
I _{pmax} [A]	8.75	8.14	6.51	8.27
U _{pmax} [V]	328.40	339.90	343.70	366.00
I _{sc}	9.72	9.050	7.24	8.81
U _{oc}	427.60	435.57	433.08	451.20
R _s [Ohm]	5.90	5.50	6.30	4.30
FF [%]	69.10	70.20	71.40	76.10
E _{eff} [W/m ²]	1075	1000.00	800.00	1000
T _{mod} [DegC]	33.80	25.00	30.30	25.00
T _{amb} [DegC]	20.00	-	20.0	-

Nota. Trazador de curvas PV-Analizador 2024 (Elaboración propia).

3.4.5 Performance ratio PR.

El rendimiento global es un factor energético del sistema, vendría ser la energía que se extrae del generador fotovoltaico de 3.0kWp, teniendo en cuenta las pérdidas que puede presentarse durante la trayectoria desde los módulos hasta la demanda, en la cual se menciona algunas de estas pérdidas que probablemente disminuya el rendimiento del sistema.

$$PR(\%) = 100 - \Sigma_{Perdidas(\%)} \quad (1)$$

Donde: $\Sigma_{Perdidas(\%)}$, presenta la sumatoria de varias pérdidas de energía que puede sufrir el sistema fotovoltaico a lo largo de su operación, las cuales disminuyen su rendimiento general. Estas pérdidas pueden ser como:

- Pérdida por potencia [%].
- Pérdida por distorsión [%].
- Pérdida por suciedad [%].
- Pérdida por sombreado [%].
- Pérdida por el inversor/cargador [%].
- Pérdida por cableado [%].

Perdida por potencia: La pérdida por potencia influye la temperatura e irradiación donde el rendimiento de la generación energética de los módulos puede bajar, por otro lado, la ubicación del generador presenta climas variados durante todo el año, y de esta forma la producción de energía se ve afectada.

Tabla 15

Característica del módulo fotovoltaico SOLARPLUS

Coefficiente de temperatura TC P_{mpp} αP_m	-0.41%/°C
NOCT	46°C

Nota. Extraído de la ficha técnica (Solar Plus).

Para el cálculo de las pérdidas por temperatura se necesita la temperatura del ambiente máxima y la irradiancia global, estos datos se extrajeron por la herramienta PVGIS y NASA, por la cual el cálculo temperatura de celdas se realiza por la siguiente ecuación (basada en el modelo del coeficiente de Ross).

$$T_{celda} = T_{amb} + \frac{(T_{NOCT} - T_{a,NOCT})}{I_{NOCT}} * I \quad (2)$$

Donde:

- T_{celda} : Temperatura del Módulo [°C].
- T_{amb} : Temperatura de ambiente máxima [°C].
- T_{NOCT} : Temperatura nominal de operación del Módulo (provisto del fabricante) [°C].
- $T_{a,NOCT}$: Temperatura ambiente en condiciones NOCT (20 °C).
- I: Irradiancia incidente en los módulos [W/m²].
- I_{NOCT} : Irradiación en condiciones NOCT 800W/m².

Conociendo el valor de la temperatura de la celda y la irradiación que incide, podemos hallar la potencia en el punto máximo mediante la ecuación polinómica de Osterwarld.

$$P_{PMP} = \frac{P_{PMPref} G(\alpha, \beta)}{G_{STC}} [1 + \gamma(T_{celda} - T_{STC})] \quad (3)$$

Donde:

- P_{PMP} : Potencia en el punto de máxima potencia a la temperatura del módulo [%].

- P_{PMPref} : Punto de máxima potencia [W].
- $G_{(\alpha,\beta)}$: Irradiancia que incide al módulo [W/m²].
- γ : Coeficiente de temperatura para la potencia [°C].
- G_{STC} : Irradiancia en condiciones estándar 1000W/m².
- T_{STC} : Temperatura en condiciones estándar 25°C.

Para el cálculo de la producción de energía respecto al rendimiento máximo del módulo se empieza reconociendo el rendimiento de los módulos como muestra en la Tabla 16.

$$P_{rend_pot} = \eta_{modulo} * \frac{P_{PMPref} - P_{PMP}}{P_{PMPref}} \quad (4)$$

Donde:

- P_{rend_pot} : Rendimiento de módulos respecto a la producción [%].
- η_{modulo} : Rendimiento del módulo estándar 14.91%.
- P_{PMPref} : Punto de máxima potencia [W].

Tabla 16

Pérdida por temperatura promedio anual.

Mes	I[W/m ²]	T_Amb. [°C]	T_Celda [°C]	Pot. STC	Pot_pmp	Efi. Pot. [%]	Per. Pot. [%]	Rend. Pot.
En.	232.77	21.61	29.18	250.00	59.19	11.38	3.53	0.97
Feb.	182.32	19.40	25.32	250.00	45.64	12.19	2.72	0.97
Mar.	199.77	19.33	25.82	250.00	50.11	11.92	2.99	0.97
Abr.	199.23	19.58	26.06	250.00	50.02	11.93	2.98	0.97
May.	205.49	18.34	25.01	250.00	51.38	11.85	3.06	0.97
Jun.	176.68	17.53	23.27	250.00	43.86	12.29	2.62	0.97
Jul.	184.77	19.52	25.53	250.00	46.29	12.15	2.76	0.97
Ag.	207.83	19.69	26.45	250.00	52.27	11.79	3.12	0.97
Set.	223.53	20.48	27.74	250.00	56.51	11.54	3.37	0.97
Oct.	240.30	21.45	29.26	250.00	61.12	11.26	3.65	0.96
Nov.	232.61	20.64	28.20	250.00	58.92	11.40	3.51	0.97
Dic.	229.61	20.76	28.22	250.00	58.16	11.44	3.47	0.97

Nota. Pérdida por temperatura promedio anual (Elaboración propia).

Como se observa en la Tabla 16, a medida que la temperatura en los módulos fotovoltaicos se incrementa, se manifiestan las pérdidas por potencia. Según los resultados, el mes de octubre presenta la mayor pérdida, con un 3.65%, mientras que en el mes de junio se registra la menor, con un 2.62%.

Para el diseño del sistema, se considera el valor de pérdida mayor. Esto garantiza que el sistema permanezca operativo y genere energía de manera consistente, incluso en condiciones desfavorables de rendimiento, con una eficiencia de $\eta_{pot} = 0.96$.

Pérdida por distorsión: Son pérdidas a causa de la unión de varios módulos fotovoltaicos con características técnicas ligeramente diferentes, siempre presenta una pequeña distorsión referida a su potencia nominal ya sean del mismo modelo, con lo que pueden presentar variaciones respecto a la potencia pico.

Por configuración, estimamos un valor de pérdida por distorsión del 2% $\eta_{DP} = 0.98$.

Pérdida por suciedad: Las pérdidas por suciedad se ve afectada no solo por la acumulación de polvo, sino que también por la inclinación de los módulos, los excrementos de aves y otros contaminantes que afectan a la llegada de luz a los módulos de tal forma tiende a resultar una pérdida de un 8% cuando están sucias, como también puede ser nulo por las lluvias, por lo tanto, se considera una estimación del 3% de pérdidas debido a que se encuentra el diseño en una zona desértica. Por ende, se toma el valor de pérdida por suciedad del polvo $\eta_{polvo} = 0.97$.

Pérdida por sombreado: La pérdida por sombreado mayormente se ve en casos afectados por: Edificios, arboles, muros donde las pérdidas vendrían a ser tremendos, en nuestro caso la ubicación de los módulos está en una zona desértica por lo que las pérdidas son mínimas, pero consideramos el sombreado de las nubes del 3%. Se toma un valor por las pérdidas por sombreado un factor de $\eta_{sombros} = 0.97$.

Pérdida por inversor/cargador: La pérdida de energía de un inversor se ve definida al comportamiento de su curva de eficiencia en función a la operación. A todo esto, la eficiencia del inversor/cargador se encuentra en el Anexo 18 donde es de $\eta_{inv} = 0.93$ por ende la pérdida es 7%.

Pérdida baterías de Litio: La eficiencia de las baterías de Litio tiene un excelente desempeño, pero puede variar por varios factores: Descargas profundas, calidad de batería, debido a esto

es que el rendimiento va depender a buen uso y cuidado, para ser más preciso el rendimiento casi siempre se encuentra en la ficha técnica que está en el Anexo 21 que es de $\eta_{bat} = 0.95$ por ende la pérdida es 5%.

Perdidas por cableados: Las pérdidas por cableado se considera tanto en corriente continua como en corriente alterna considerando la máxima caída de tensión, uno desde el generador fotovoltaico hasta el Inversor/cargador que se estima entre 1.2% a 1.5%, y el otro desde el Inversor/cargador hasta el centro de cómputo que se considera entre 4% a 5%, esto va depender de la longitud del cableado. Si estimamos para ambas secciones tomando en cuenta la longitud, entonces por lo que la pérdida será igual a 6.5% y su eficiencia $\eta_{DC_AC} = 0.935$.

Tal como se mencionó el rendimiento global del generador, también llamado Rendimiento promedio (Performance Ratio PR), son todas las pérdidas posibles que intervienen en la energía demandada al centro de cómputo, es importante destacar que el cálculo del PR, en este caso, se enfoca estrictamente en el rendimiento de la generación fotovoltaica, por lo que no incluye las pérdidas asociadas del sistema de respaldo (baterías), por ende, esto permite una evaluación pura, precisa del desempeño solar y por ser la fuente primaria.

$$PR(\%) = 100 - [3.65 + 2 + 3 + 3 + 7 + 6.5]\%$$

$$PR(\%) = 0.75$$

3.4.6 Energía producida del generador fotovoltaico de 3.0kW.

Para el cálculo de la producción de energía, se parte de la potencia nominal del generador fotovoltaico (GFV) de 3.0 kW. Este sistema está compuesto por un arreglo en serie de 12 paneles solares policristalinos de la marca SolarPlus, cuyas características específicas se detallan en la Tabla 2.

La cantidad de energía producida por los módulos fotovoltaicos se calculó mediante la Ecuación 6. Dicha ecuación considera el factor de pérdidas del rendimiento global del diseño (Performance Ratio), las horas sol pico y la potencia del arreglo fotovoltaico. Este cálculo se realizó para estimar la energía producida durante un periodo de horas solares y se proyectó para todo el año, utilizando la herramienta Microsoft Excel.

$$E_P = P_P * \eta_{global} * HSP \quad (6)$$

Donde:

- E_P : Energía total producida [kWh].
- P_P : Potencia Instalada [W].
- η_{global} : Rendimiento total del sistema [%].
- HSP: Hora solar pico [h].

Tabla 17

Energía producida mensual

Mes	HSP Promedio	Pot. Inst. [kW]	Rendimiento Potencia	P.R. [%]	Energía diaria [kW/h]	Energía mes [kW/h]
Enero	7.01	3.00	0.97	0.75	15.76	488.50
Febrero	7.04	3.00	0.97	0.76	16.00	448.05
Marzo	6.92	3.00	0.97	0.76	15.68	486.05
Abril	6.88	3.00	0.97	0.76	15.60	467.89
Mayo	6.00	3.00	0.97	0.75	13.59	421.27
Junio	6.24	3.00	0.97	0.76	14.21	426.39
Julio	6.32	3.00	0.97	0.76	14.35	444.83
Agosto	7.12	3.00	0.97	0.75	16.10	499.08
Setiembre	7.50	3.00	0.97	0.75	16.90	506.99
Octubre	7.63	3.00	0.96	0.75	17.13	530.90
Noviembre	7.27	3.00	0.97	0.75	16.35	490.61
Diciembre	7.08	3.00	0.97	0.75	15.93	493.97
Energía Producida al año				0.75		5,704.52

Nota. Se aplicaron las ecuaciones (Elaboración propia).

La Tabla 17 detalla la producción de energía anual del sistema, con un valor total de 5,704.52 kWh, también presenta la producción mensual, donde el mes de octubre registra la producción máxima, con 530.90 kWh, mientras que el mes de mayo tiene la producción mínima, con 421.27 kWh. Esta tendencia se refleja en la producción diaria, con un valor máximo de 17.13 kWh en octubre y un mínimo de 13.59 kWh en mayo. No obstante, para los cálculos subsiguientes, se utiliza el valor mínimo de producción. Esta estrategia de dimensionamiento

asegura que el sistema sea capaz de satisfacer la demanda incluso en las condiciones de generación más desfavorables.

3.4.7 Factor de planta

Llamado también factor de capacidad (Capacity Factor), define la relación entre la energía eléctrica real producida del sistema fotovoltaico de 3.0kW durante el período de la HSP entre la máxima energía que podría haber producido si hubiera funcionado continuamente a su máxima capacidad nominal (Campoverde, 2021). Por lo tanto, en la Tabla 18 muestra el factor de planta mensual y anual representada por la siguiente ecuación:

$$F_{PL} = \frac{E_P}{H_{Op} * P_P} \quad (5)$$

Donde:

- F_{PL} : Factor de planta [%].
- H_{Op} : Horas de operación [h].

Tabla 18

Factor de planta.

Mes	Nº Día	Pot. Inst. [kW]	Horas Diarias [h]	Horas de Operación [h]	Energía mes [kW/h]	Factor de Planta [%]
Enero	31	3.00	24	744	488.50	21.89
Febrero	28	3.00	24	672	448.05	22.22
Marzo	31	3.00	24	744	486.05	21.78
Abril	30	3.00	24	720	467.89	21.66
Mayo	31	3.00	24	744	421.27	18.87
Junio	30	3.00	24	720	426.39	19.74
Julio	31	3.00	24	744	444.83	19.93
Agosto	31	3.00	24	744	499.08	22.36
Setiembre	30	3.00	24	720	506.99	23.47
Octubre	31	3.00	24	744	530.90	23.79
Noviembre	30	3.00	24	720	490.61	22.71
Diciembre	31	3.00	24	744	493.97	22.13
Anual	365	3.00	24	8760	5,704.52	21.71

Nota. Factor de planta durante un periodo de un mes/año (Elaboración propia).

3.4.8 Dimensionamiento de carga energética del centro de cómputo.

A partir la energía producida del GFV de 13.59 kWh estimamos las cargas posibles del centro de cómputo con un factor de protección del 15%, considerando que este no sobrepase a la energía producida por el generador fotovoltaico.

Tabla 19

Especificación de la carga total a inyectar al laboratorio de cómputo.

Nº	Cargas eléctricas	Pot. Nominal [W]	Cantidad	Horas [h]	Pot. Total [W]	Energía [Wh]
1	Celular	12	2	2	24	48
2	Laptop	100	1	6	100	600
3	Luminarias	36	15	6	540	3240
4	Computadora	250	4	6	1000	6000
6	Proyector	312	1	6	312	1872
Potencia total					1976	11760
Energía máxima a inyectar con un factor de protección del 15%.					2272.4	13524

Nota. Demanda a alimentar con 15% de factor de protección (Elaboración propia).

Como podemos apreciar en la Tabla 19, todas las cargas posibles a alimentar del centro de cómputo, un total de 13.52 kWh, por lo tanto, no sobrepasa a la energía mínima calculada de 13.59kWh. Estas cargas se optaron de la forma que en horas de clase el docente utilice algunos de estos equipos por un periodo de 6 horas, ya que, en situaciones de mayor consumo, los equipos estarán conectado todos al mismo tiempo abasteciendo durante un día soleado.

3.4.9 Selección de voltaje del sistema.

Según la Norma NTP 399.403.2006 “criterio y requisitos para el diseño de sistema fotovoltaicos aislados” la selección del voltaje depende de la demanda de energía y la corriente.

Tabla 20

Criterio de selección de voltaje.

	Demanda en CA	Entrada del Inversor/cargador en CC
Criterio 1	<1500 [W]	12 [V]
Criterio 2	1500W-5000 [W]	24 V o 48 [V]
Criterio 3	>5000 [W]	48 V o 120 [V]

Nota. Diferentes criterios de selección de voltaje (Derlis, 2022).

Según la Tabla 20 el criterio 2 se adapta a nuestro sistema ya que posee una carga demandada no superior a 5000W, de tal manera el sistema trabaja con un voltaje de 48V.

3.4.10 Selección del Inversor/cargador convencional.

La selección del Inversor/cargador de 5.0kW conectado a red se rige a la norma IEEE 1547 que cubre a las especificaciones de prueba de interconexión a red, se empieza a partir de la potencia máxima del Generador fotovoltaico de 3.0kW, considerando según la Norma NOM-MN-690-8 para los cálculos se estima un factor de seguridad de 125% para cubrir los picos de potencia que puede presentarse en el equipo.

$$P_{\max_MPP} > F.S.* P_{\max_gener} \quad (7)$$

Donde:

- P_{\max_MPP} : Punto de máxima potencia del generador fotovoltaico [W].
- P_{\max_gener} : Potencia máxima del generador fotovoltaico [W].

$$P_{\max_MPP} > 1.25 * 3000 > 3,750W = 3.75kW$$

Tras la aplicación de la Ecuación 7, se determinó una potencia máxima requerida para el generador fotovoltaico de 3.75 kW. A partir de este requerimiento, se optó por la línea de inversores/cargadores de la marca Growatt, con una capacidad superior a la potencia calculada. La elección de este modelo se fundamentó en su capacidad para conectarse a la red eléctrica solo para recargar baterías o alimentar cargas directamente (modo "bypass"). Además, su lógica programable SBU (Solar, Batería, Utilidad) se ajusta al objetivo de la investigación, ya que optimiza el consumo de energía solar priorizando esta fuente.

Aunque la oferta comercial de Growatt abarca potencias desde 3.0kW, 3.5kW y 5.0kW, se determinó que el modelo Growatt SPF de 5.0kW era la alternativa más ventajosa. Esta decisión se justifica por tres razones principales: en primer lugar, la proximidad de su costo con el de la versión de 3.5kW, lo que representa una mayor capacidad con una inversión económica equiparable. En segundo lugar, la discontinuidad del modelo de 3.5kW durante el periodo de implementación, según la información proporcionada por el fabricante. Por último, el diseño del inversor/cargador de 5.0kW ofrece considerables mejoras futuras y actualizaciones

tecnológicas, como la funcionalidad de ampliar su capacidad mediante la conexión en paralelo de hasta cinco unidades adicionales, asegurando su relevancia a largo plazo.

Mediante la ecuación 8, podemos calcular en número de inversores/cargador de acuerdo a la potencia máxima del conjunto del generador fotovoltaico.

$$N_{inv} = \frac{P_{max_MPP}}{P_{max_Inv/carg_DC}} \quad (8)$$

Donde:

- N_{inv} : Cantidad de Inversores/cargadores.
- P_{max_MPP} : Punto de máxima de potencia del generador fotovoltaico [kW].
- $P_{max_Inv/carg_DC}$: Max. potencia del conjunto fotovoltaico [kW].

$$N_{inv} = \frac{3.75}{6.0} = 0.63 \approx 1 \text{ Inversor /cargador}$$

3.4.11 Configuración del controlador-MPPT y la carga del centro de cómputo.

Una vez seleccionado el modelo del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW y la demandada energética, se organiza la conexión del arreglo fotovoltaico para asegurar que la corriente y voltaje enviados al controlador-MP PT incorporado dentro del Inversor/cargador si está dentro de los límites permitidos, por otro lado, también asegurar que la corriente y el voltaje de la energía demanda del centro de cómputo recibida del Inversor/cargador.

Tabla 21

Verificación de límites del generador fotovoltaico al controlador-MPPT.

	Generador fotovoltaico	Inversor/Cargador
V_{max} de entrada	$V_{oc} * N_{p_serie} = 37.6 * 12 = 451.2V$	600 V
I_{max} de cortocircuito	$I_{sc} = 8.81A$	22 A
Rango voltaje MPP	$V_{MPP} * N_{p_serie} = 30.5 * 12 = 366V$	450Vdc
I_{max} de entrada	$I_{MPP} = 8.27A$	16 A
Punto de Máx. Potencia.	$V_{oc} * N_{p_serie} * I_{sc} = 451.2 * 8.81$ $P_{max} = 3.96kW$	6.0kW

Nota. Configuración del generador fotovoltaico e inversor/cargador (Elaboración propia).

En la Tabla 21, nos muestra los parámetros de salida del arreglo fotovoltaico como el voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito de 452.2V/8.81A. Por otro lado, muestra el rango de entrada del Inversor/cargador 600V/22A, así mismo el punto de máxima potencia del GFV de 3.96kW y el rango del inversor/cargador de 6.0kW, en resumen, el voltaje y la corriente del Inversor/cargador se encuentra dentro del límite del arreglo fotovoltaico cabe recalcar que es importante verificar las especificaciones de la ficha técnica del equipo para que exista compatibilidad entre ambos componentes para evitar alguna falla del sistema.

Tabla 22

Verificación de límite del Inversor/cargador hacia la carga.

	Max. entregado por el Inversor/cargador	Corriente Máxima de la carga energética.
Corriente Max. de salida, AC	$\frac{p_{nom_{out}}}{V_{out_{inv_{carg}}} = \frac{5000}{230} = 21,739A$	$\frac{P_{max_{carg}}}{V_{inversor}} = \frac{2272.4}{230} = 9.88 A$

Nota. Los valores se adaptaban al rango de trabajo del inversor/cargador (Elaboración propia).

Tabla 22 muestra una verificación del límite de salida del inversor/cargador. Se calcula que el inversor/cargador puede entregar una corriente máxima de 21.739A, mientras que la corriente máxima de la carga energética es de 9.88A. Este cálculo confirma que la capacidad del inversor es suficiente para alimentar la carga del centro de cómputo.

3.4.12 Selección del sistema de respaldo (baterías).

Según la Norma UNE-EN 62093 "componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos" el proceso de selección del componente de almacenamiento se inicia con la evaluación del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW que trabaja el sistema a 48V y la evaluación de la energía máxima demanda establecida del centro de cómputo, ya que por intermedio de ellas pasara el flujo de la energía y continúa a lo largo de toda la cadena energética, desde la generación hasta el almacenamiento y la demanda energética. Para ello se estableció cargas específicas considerando el uso de la energía crítica del centro de cómputo.

La Tabla 23, presenta las cargas críticas del centro de cómputo. Las cargas analizadas incluyen celulares, laptops, luminarias, un proyector y una computadora. Se calculó una potencia máxima demandada de 1147.7 W y una energía máxima diaria de 3845.6 Wh/Día, considerando un factor de seguridad del 15%.

Tabla 23*Cargas críticas del centro de cómputo.*

Nº	Cargas eléctricas	Pot Nominal [W]	Cantidad	Horas/Operación [h]	Pot. Total [W]	Energía [Wh/Día]
1	Celular	12	1	2	12	24
2	Laptop	100	1	1	100	100
3	Luminarias	36	9	3	324	972
4	Proyector	312	1	4	312	1248
5	Computadora	250	1	4	250	1000
Potencia demandada y Energía de Consumo					998	3644
Potencia Max. demandada y Energía Max. F.S. 15%					1147.7	3845.6

Nota. Cargas alimentadas por sistema de respaldo (Elaboración propia).

El análisis del consumo energético se basa en una sección de clase de 4 horas en el centro de cómputo. Se identificaron las cargas críticas a partir de un estudio visual, incluyendo una computadora, un celular, una laptop, luminarias y un proyector, por su uso frecuente durante una sesión de clase. Para este cálculo, se consideraron 9 luminarias, asumiendo que las de la parte delantera serían apagadas. La energía máxima de consumo del centro de cómputo se determinó en 3845.6 Wh/día, la cual es utilizada por estas cargas críticas.

Una vez determinada la energía demandada del centro de cómputo, el siguiente paso consiste en fijar la capacidad requerida para el banco de baterías. Esta capacidad nos indicará la cantidad de energía que las baterías deben ser capaces de almacenar y suministrar para satisfacer la demanda energética durante los períodos en que no hay generación fotovoltaica, calculamos mediante la ecuación 9.

$$C_{bat_min} = \frac{E_{dia_max} * DOA}{DOD * V_{charg}} \quad (9)$$

Donde:

- E_{dia_max} : Energía máxima que demanda la instalación medida en [Wh/día].
- DOA: Días de autonomía de la batería.
- DOD: Profundidad de descarga de las baterías [%].
- V_{charg} : Voltaje de operación del Inversor/cargador [V].

$$C_{bat_total} = \frac{3845.6 * 1}{0.8 * 48} = 100.1Ah$$

Con base en el requerimiento, la capacidad de energía total a almacenar es de 100.1 Ah. Este dato permite determinar el número de bancos de baterías necesarios para el sistema, que opera con un inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.

Se seleccionó la batería de litio (LiFePO₄) modelo ZTT48V50Ah, una tecnología moderna en el ámbito fotovoltaico. Las características de estas baterías, que se ilustran en la Tabla 5, incluyen la capacidad de operar bajo temperaturas altas y descargas profundas, además de poseer un voltaje constante durante la descarga. Aunque pueden tener un costo inicial superior al de otras tecnologías, su relación costo-beneficio es favorable por su larga vida útil. Por lo tanto, la cantidad de baterías para el sistema se determina mediante la Ecuación 10.

$$N_{banco_bat} = \frac{C_{bat_min}}{C_{bat}} \quad (10)$$

Donde:

- N_{banco_bat} : Cantidad de baterías.
- C_{bat_min} : Capacidad mínima requerida [Ah].
- C_{bat} : Capacidad de la batería LiFePO₄-ZTT [Ah].

$$N_{banco_bat} = \frac{100.1}{50} = 2$$

Tras analizar los requerimientos del sistema de almacenamiento y las especificaciones del modelo de batería LiFePO₄-ZTT, se determinó una configuración óptima.

Esta configuración consiste en conectar las baterías LiFePO₄-ZTT en una matriz que combina conexiones en serie y en paralelo, con dos bancos de baterías para el sistema. La justificación de esta disposición se basa en los cálculos presentados en las Ecuaciones 11 y 12.

$$N_{bat_serie} = \frac{V_{sis}}{V_{bat_litio}} \quad (11)$$

Donde:

- N_{bat_serie} : Cantidad de baterías en serie.

- V_{sis} : Voltaje del sistema [V].
- V_{bat_litio} : Voltaje de la batería LiFePO₄-ZTT [V].

$$N_{bat_serie} = \frac{48}{48} = 1$$

Para alcanzar el voltaje de carga necesario para el inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW, es imprescindible realizar una conexión en serie de las baterías. Los resultados de nuestro diseño indican que una sola batería LiFePO₄-ZTT es suficiente para cumplir con este requisito de voltaje.

$$N_{bat_paralelo} = \frac{C_{bat_min}}{C_{bat_litio}} \quad (12)$$

Donde:

- C_{bat_litio} : Capacidad de la batería LiFePO₄-ZTT [Ah].
- C_{bat_min} : Capacidad mínima de la batería LiFePO₄-ZTT [Ah].
- $N_{bat_paralelo}$: Número de baterías en paralelo.

$$N_{bat_paralelo} = \frac{100.1}{50} = 2$$

Para alcanzar la capacidad de almacenamiento mínima de 100.1 Ah que requiere el centro de cómputo, se necesitan dos baterías LiFePO₄-ZTT. Para lograr la capacidad total del sistema de almacenamiento, se conectan las baterías en paralelo, ya que cada una tiene una capacidad individual de 50 Ah. Finalmente, para optimizar el rendimiento del sistema de almacenamiento de energía, se conectan las baterías LiFePO₄-ZTT de la siguiente manera: dos en paralelo para aumentar la capacidad y una en serie para alcanzar el voltaje de operación requerido.

Energía del sistema de almacenamiento con baterías LiFePO₄-ZTT.

La energía almacenada de las baterías LiFePO₄-ZTT se determina a partir de la cantidad de baterías LiFePO₄-ZTT, como en el apartado anterior se determinó 2 matrices por lo tanto se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$E_{max_bat} = V_{bat} * C_{bat} * N_{bat} * DOD \quad (13)$$

Donde:

- E_{\max_bat} : Energía máx. producida del banco de batería LiFePO₄-ZTT [Wh].
- V_{bat} : Voltaje de la batería LiFePO₄-ZTT [V].
- N_{bat} : Numero de batería.

$$E_{\max_bat} = 48 * 50 * 2 * 0.8 = 3840Wh$$

Del resultado obtenido indica que la energía máxima del banco de batería es de 3840Wh la cual normal cumple, ya que este valor es mínimo la diferencia a la demanda máxima de consumo calculado de 3845.6Wh que muestra la Tabla 23.

Tiempo de duración de las baterías.

Una vez determinada la cantidad y el modelo de batería podemos determinar el tiempo de respaldo de descarga constante que consume la carga demandada al día mediante la siguiente ecuación 14, por otro lado, es recomendable no descargar al 100% así alargar su vida útil.

$$T_{res} = \frac{E_{\max_bat}}{P_{total_carga}} \quad (14)$$

Donde:

- T_{res} : Tiempo de respaldo [h].
- $P_{Demandada}$: Potencia total de la carga [W].

$$T_{res} = \frac{3840}{1047.7} = 3.66 \approx 3h \text{ con } 40min$$

Así obteniendo un tiempo de respaldo de 3 horas con 40 minutos al día, a partir de esto podemos estimar el tiempo de respaldo durante una semana de 25 horas con 40 minutos de una energía contante entregada a la carga.

Potencia de Descarga Requerida para 10h de Autonomía.

El dimensionamiento de potencia de descarga es de una forma crucial, ya que asegura la energía proveniente del sistema de respaldo sea suficiente para cubrir las necesidades de la carga durante el tiempo deseado en caso de un corte de suministro.

$$P_W = \frac{E_{\max_bat} * \eta_{descarga}}{T_{res}} \quad (15)$$

Donde:

- P_W : Potencia requerida [W].
- E_{\max_bat} : Energía máxima de las baterías de litio.
- $\eta_{descarga}$: Eficiencia de descarga 90%.
- T_{res} : Cantidad de tiempo de respaldo [h].

$$P_W = \frac{3840 * 0.9}{10} = 345.6W$$

Del resultado nos da a conocer que el sistema de respaldo va suministrar de forma constante para alimentar una carga critica especifica de 345.6W ejerciendo durante un tiempo de 10h, en vista de ello de la Tabla 23 suministraría a uno o dos equipos.

3.4.13 Selección de los conductores.

Una vez que hemos definido todos los componentes del sistema fotovoltaico, incluyendo los paneles solares, el Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW y las baterías de LiFePO₄-ZTT, según la Norma NOM-MN 690-4 “conductores en sistemas múltiples” es necesario dimensionar adecuadamente el cableado para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Este proceso implica calcular las secciones de los conductores en DC y AC, para la selección se debe tener en cuenta la caída de tensión para cada tramo y no debe acceder más de 4% por otra parte se estima en la línea del generador de 3% también para las baterías de 1-1.5% y en la línea de la carga de 5%, además se considerada el sistema de puesta a tierra para proteger a las personas y los equipos.

Sección en corriente continua.

Para la sección del tramo generador fotovoltaico hasta el Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW se tiene en cuenta la longitud que es de 5 metros, y la resistividad del conductor de cobre 0.0172 Ω·mm²/m calculada mediante la siguiente ecuación:

$$S_{GFV_INV/CARG} \geq \frac{2 * L_{GFV} * I_{SC} * \rho_{cu}}{\frac{\Delta U\%}{100} * V_{sis}} \quad (16)$$

Donde:

- $S_{GFV_INV/CARG}$: Sección del generador fotovoltaico en [mm²].
- I_{SC} : Corriente máxima del Generador fotovoltaico [A].
- ΔU : Caída de tensión [%].
- V_{SIS} : Voltaje de carga [V].
- ρ_{cu} : Resistividad del conductor de cobre [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$].

$$S_{GFV_INV/CARG} \geq \frac{2 * 5 * 8.81 * 0.0172}{\frac{3}{100} * 48} \geq 1.05 \text{mm}^2$$

De acuerdo al resultado seleccionamos un cable de mayor sección, por la cual se optó por un conductor LXPE 6 mm².

Para la sección del tramo del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW hasta las baterías de LiFePO₄-ZTT de una longitud de 2 metros, calculada mediante la siguiente ecuación:

$$S_{INV/CARG_BATERIA} \geq \frac{2 * L_{inv/car_bat} * I_{max_bateria} * \rho_{cu}}{\frac{\Delta U\%}{100} * V_{sis}} \quad (17)$$

Donde:

- $S_{INV/CARG_BATERIA}$: Sección del conductor en [mm²].
- $L_{inv/carg_bat}$: Longitud del conductor [m].
- $I_{max_bateria}$: Corriente máxima admisible del conductor [A].
- ρ_{cu} : Resistividad del conductor de cobre [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$].
- ΔU : Caída de tensión [%].

$$S_{INV/CARG_BATERIA} \geq \frac{2 * 2 * 100 * 0.0172}{\frac{1}{100} * V_{sis}} \geq 14.33 \text{mm}^2$$

Se ha seleccionado un conductor de XLPE de 16 mm², un tamaño superior al requerido por el cálculo. Este cable es adecuado para soportar la corriente necesaria y resistir altas temperaturas, garantizando así la seguridad del sistema.

Sección en corriente alterna.

Para el cálculo de la sección del conductor que conecta el inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW con el tablero de protección de las cargas del centro de cómputo, se considera una longitud de 80 metros. Para este propósito, se empleará la siguiente ecuación.

$$S_{cable_inve} \geq \frac{2 * L_{inv/carg_carga} * I_{max_inv/carg} * \rho_{cu} * \cos\theta}{\frac{\Delta U\%}{100} * V_{Inv_carg}} \quad (18)$$

Donde:

- S_{cable_inve} : Sección de conductor [mm²].
- $I_{max_inv/carg}$: Corriente máxima del Inversor/cargador [A].
- ΔU : Caída de tensión [%].
- ρ_{cu} : Resistividad del conductor de cobre [m/Ω·mm²].
- $\cos\theta$: Factor de potencia [0.9].

$$S_{cable_inve} \geq \frac{2 * 80 * \frac{5000}{230} * 0.0172 * 0.9}{\frac{5}{100} * 230} \geq 4.68mm^2$$

Basándose en los cálculos, se seleccionó un cable de sección superior a 4.68 mm² para soportar el flujo de corriente. Para este propósito, se eligió un cable tipo TW de 5.26 mm² (10 AWG).

Adicionalmente, se procederá con el cálculo de la sección del tramo de cable que conecta el inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW a la red eléctrica, considerando una longitud estimada de 30 metros.

$$S_{Inv/carg_red} \geq \frac{2 * L_{inv/carg_red} * I_{max_red} * \rho_{cu} * \cos\theta}{\frac{\Delta U\%}{100} * V_{red}} \quad (19)$$

Donde:

- $S_{inv/carg_red}$: sección de conductor de la red [mm²].
- I_{max_red} : Corriente máxima admisible de la red [A].
- ΔU : Caída de tensión [%].
- ρ_{cu} : Conductividad del conductor de cobre [m/Ω·mm²].

$$S_{Inv/carg_red} \geq \frac{2 * 30 * \frac{5000}{220} * 0.0171 * 0.9}{\frac{3}{100} * 220} \geq 3.17mm^2$$

A partir del resultado del cálculo de 3.17 mm², se procedió a seleccionar un conductor adecuado. Se optó por un cable THW de 5.26 mm² (10 AWG) para su instalación en el proyecto.

La Tabla 24 se utiliza para corroborar esta selección, ya que en ella se detalla la capacidad de corriente que puede soportar una sección de cable de 5.26 mm², confirmando que el cable de 10 AWG es el apropiado para el diseño.

Tabla 24

Ampacidades para conductores basados en una temperatura ambiente.

Temperatura máxima de operación		Hasta cuatro cables energizados simultáneamente em canalización o cable				Hasta tres conductores de corriente alterna	
		75°C		90°C		125°C	
Tamaño mm2 (AWG o kcmil)		MTW, RHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW		TA, TBS, AS, SIS, PFA, FEP, FEPB, RHH, THHN, XHHW, Z, ZW		FEP, FEPB, PFA, PFAH, AS, TFE, Z, ZW	
mm2	AWG	60 min	30 min	60 min	30 min	60 min	30 min
1.31	16	10	12	-	-	-	-
2.08	14	25	26	31	32	38	40
3.31	12	30	33	36	40	45	50
5.26	10	40	43	49	52	60	65
8.37	8	55	60	63	69	73	80
13.3	6	76	86	83	94	101	119
16.8	5	85	95	95	106	115	134
21.2	4	100	117	11	130	133	157
26.7	3	120	141	131	153	153	183
33.6	2	137	160	149	173	178	214
42.4	1	143	175	158	192	210	253
53.4	1/0	190	233	211	259	253	304
67.4	2/0	222	267	245	294	303	369

Nota. Extraído de la Norma Oficial Mexicana (NOM, 2021).

3.4.14 Selección de dispositivos de protección.

De acuerdo con las Normas NOM-MN 690-9 (a)(b)(c) y CNE-16-161.A, las protecciones del diseño deben seleccionarse para salvaguardar los circuitos y equipos de las sobretensiones, sobrecorrientes y contactos eléctricos, tanto directos como indirectos. Por lo tanto, en cada sección del sistema, se deben instalar dispositivos de protección específicos para la corriente continua (DC) y la corriente alterna (AC) de acuerdo con las normativas mencionadas.

Dispositivos de protección DC.

Fusible: Para ser preciso en el cálculo, es necesario conocer la corriente de corto circuito de los paneles fotovoltaicos.

$$I_{fusible_{GFV}} \geq I_{SC} * N_{pp} * 1.25 \quad (20)$$

Donde:

- $I_{fusible_{GFV}}$: Corriente máxima admisible del generador fotovoltaico [A].
- I_{SC} : Corriente del corto circuito del generador fotovoltaico [A].
- N_{pp} : Numero de paneles en paralelo.

$$I_{fusible_{GFV}} \geq 8.81 * 1 * 1.25 \geq 11.01A$$

A partir de los cálculos realizados, se ha seleccionado un fusible cilíndrico de 20A con dimensiones de 10x38 mm de la marca FEEO, junto con su respectivo portafusible de 1000 Vdc.

Termomagnético del GFV y de la batería: Para saber las características del termomagnético de igual manera se halla a partir de la corriente de cortocircuito del generador y la corriente máxima del Inversor/cargador.

$$I_{breake_{GFV}} \geq I_{SC} * N_{pp} * 1.25 \quad (21)$$

$$I_{breaker_{baterias}} \geq 1.25 * I_{CC_{inver_carg}} \quad (22)$$

Donde:

- $I_{breaker_baterias}$: Corriente máxima admisible del Inversor/cargador [A].
- I_{SC} : Corriente del corto circuito del generador fotovoltaico [A].
- $I_{breaker_GFV}$: Corriente máximo admisible del GFV [A].
- N_{pp} : Numero de paneles en paralelo.

$$I_{breaker_GFV} \geq 8.81 * 1 * 1.25 \geq 11.01A$$

$$I_{breaker_bateria} \geq 1.25 * 100 \geq 125A$$

A partir de los cálculos, se seleccionó un interruptor termomagnético de 2P FEEO/20 Adc para el generador fotovoltaico (GFV). Para el sistema de baterías, se optó por un interruptor termomagnético de 2P FEEO 125A/550 DC.

DPS: Para el dispositivo de protección contra sobretensiones, se empieza por saber la tensión de circuito abierto del arreglo fotovoltaico, a partir de eso calculamos.

$$V_{DPS} \geq V_{OC} * N_{PS} * 1.25 \quad (23)$$

Donde:

- V_{DPS} : Voltaje del supresor de carga [V].
- V_{OC} : Voltaje de circuito abierto del sistema [V].
- N_{PS} : Numero de paneles en serie.

$$V_{DPS} \geq 451.2 * 1.25 \geq 564V$$

Del cálculo obtenido de 564V se selecciona un dispositivo con un voltaje pico que pueda resistir las descargas atmosféricas para desviarlas, por ende, seleccionamos de un voltaje lo más cercano posible y se optó por el equipo de la marca FEEO 600Vdc.

Dispositivos de protección AC.

Termomagnético: Para el tramo que va desde el inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW hasta el centro de cómputo, la selección del interruptor termomagnético se realizará basándose en la corriente máxima que fluye por el conductor.

$$I_{breaker_inv/car} \geq I_{max_inv/car_carga} * 1.25 \quad (24)$$

Donde:

- I_{max_inv/car_carga} : Corriente máximo de Inversor/cargador [A].

$$I_{breaker_inv/car} \geq \frac{5000}{230} * 1.25 = 27.17A.$$

A partir de la respuesta se selecciona por un interruptor Schneider de 2P-30 A. Sin embargo, se tiene en cuenta que, al llegar al tablero del centro de cómputo, la corriente se separa en dos tramos, uno para las tomas de luminarias y el otro para tomas generales, por la cual en la toma de las luminarias se selecciona Stork delta 2P-15A y para las tomas generales se seleccionó interruptor Stork delta 2P-20A para ello también se selecciona conjuntamente el interruptor diferencial para la protección de contactos directos e indirectos de Stronger Pro 2P-30 A.

Termomagnético Red: Para el tramo que llega desde la red pública hasta el Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW se toma en cuenta la corriente de flujo que puede soportar el Inversor/cargador por ende se coloca un interruptor y un diferencial.

$$I_{term_red} \geq I_{max_admisible} * 1.25 \quad (25)$$

Donde:

- $I_{max_admisible}$: Corriente máximo admisible de la red [A].

$$I_{term_inv/car} \geq \frac{5000}{220} * 1.25 = 28.44A$$

A partir del cálculo se selecciona un termomagnético Schneider de 2P-C40 A-400V para la red pública conjuntamente con un diferencial Schneider de 2P-40 A-230V.

Puesta a tierra y pararrayo.

El proyecto incorpora un sistema de puesta a tierra ya implementado, el cual funciona mediante un electrodo de cobre que está enterrado en el suelo y conectado a los contactos eléctricos. El tramo que va desde el electrodo hasta los puntos de conexión constituye el sistema de puesta a tierra. Para la protección del tablero DC/AC, se utiliza un cable de calibre 10 AWG con forro

verde y amarillo, que asegura la conducción de la corriente en caso de fallas. Todos los cables de puesta a tierra convergen en una barra de tierra, una placa de cobre con tornillos instalada dentro del tablero de protección.

Adicionalmente, se ha seleccionado un pararrayos Delta 603 de 600V (277-480V, 50-60Hz) para proteger el sistema. Este dispositivo, que debe ubicarse en la parte más elevada del diseño, tiene la función de atraer las descargas eléctricas atmosféricas y conducir las a tierra. Su propósito es prevenir daños a los equipos eléctricos, deformaciones o rupturas en las estructuras, y evitar riesgos de incendios, electrocuciones y quemaduras a personas y animales.

3.4.15 Selección de medidores de AC y DC.

Según, Rasheed et al., (2021), la selección de los medidores en corriente continua y corriente alterna son vitales para un monitoreo de corriente, voltaje, potencia, frecuencia, para el registro de datos, por ende, para medir los parámetros de la corriente continua se seleccionó un medidor analógico del modelo Eastron DM230CC 1PN 5-1000Vcc por la parte de corriente alterna se seleccionó un medidor Carlo Gavazzi-DIM-EM-24 ambos con un bus de comunicación de RS485.

Normas utilizadas.

- NOM-MN 690-4. Instalación de sistemas fotovoltaico, identificación y agrupamiento, conductores de sistemas múltiples.
- NOM-MN 690-8(a). Cálculo de corriente máxima del circuito se debe calcular de acuerdo a la corriente de GFV considerando por un 125 por ciento.
- NOM-MN 690-9(a)(c)(d). Protección contra sobre corrientes en circuitos y equipos en sistemas fotovoltaicos.
- Norma CNE-180-E.1. Tablero de control se aplican a los gabinetes que alojan dispositivos lógicos de estado sólido, tubos electrónicos o relés con dispositivos lógicos tales como control lógico de: calderas, lluvias, etc.
- Norma CNE-16-161. A. Protección contra sobre corrientes requerida los conductores y el aislamiento deberán ser protegidos contra el calentamiento excesivo mediante el diseño del sistema y a través de dispositivos de sobre corriente.

- IEC 61427-1 Celdas y baterías para almacenamiento de energía renovables-requerimiento generales y métodos de evaluación. Parte 1 Aplicaciones fotovoltaicas OFF-Grid.
- Norma Técnica EM.010 Instalaciones Eléctricas Interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones y el Código Nacional de Electricidad (Ministerio de Energía y Minas).
- IEEE 1547 (interconexión con red) cubre el escenario específico de conexión a red.
- Norma NTP 399.403.2006. Criterio y requisitos para el diseño e instalación de sistemas fotovoltaicas asilados de la red eléctrica principal.
- UNE-EN 62093 Componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaico.
- UNE-EN 50380 Información de hoja de datos y placa características de los módulos fotovoltaicos.
- Norma UL-4703 Estándar para cable fotovoltaico.
- Norma NTP IEC 60529-2010 Grado de protección proporcionado por las envolventes de los equipos eléctricos, utilizados el código IP.

3.4.16 Diseño por medio del software SAM.

El software SAM (System Advisor Model) es de acceso libre que podemos encontrarlo mediante la web, donde puede usarse a fines comerciales, académico y personales bajo los términos legales que están detallados en su página web. Lo grande de este software es una herramienta eficaz para el análisis de sistemas de energía renovables (NREL, 2024), por consiguiente para nuestro diseño en el Software se ingresa la ubicación, y las características de los componentes seleccionados como: los paneles solares, Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW esto con el fin de comparar los datos teóricos que se obtuvieron mediante el método Amper-hora, así teniendo la energía producida mensual y anual, en la cual estos resultados serán específicamente del diseño, donde en el Anexo 1 se muestra el proceso de la simulación.

3.5 Implementación del sistema

3.5.1 Ubicación.

En la Figura 34, se aprecia la Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables, ubicada en el departamento de Puno, provincia San Román, distrito de Juliaca. Lugar donde se encuentra instalado el SFCR con inversor/cargador.

Figura 34

Escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables.



Según la Tabla 12, los datos son obtenidos mediante la NASA y PVGIS donde la irradiación normal directa en la zona seleccionada asciende a $2,700\text{kWh/m}^2$. Esta favorable condición climática convierte a la ubicación (Figura 35) en un lugar óptimo para la instalación de este tipo de sistemas, además de que está orientada de manera que favorece el almacenamiento de energía, permitiendo que la energía generada durante las horas de sol pueda ser utilizada en momentos de menor irradiación.

Figura 35

Ubicación geográfica de la EPIER



3.5.2 Inspección pre-implementación.

Antes de realizar la instalación del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW con su sistema de respaldo se procedió a realizar una verificación del estado de los módulos fotovoltaicos, tablero eléctrico, conexiones y el sistema de adquisición de datos.

La Figura 36, muestra el sistema con el inversor conectado a red (Azteca), para la cual se hizo una inspección a los módulos fotovoltaicos, se llevó a cabo una medición del voltaje y corriente nominal con el objetivo de evaluar y proyectar las posibles pérdidas que podrían estar ocurriendo. Este análisis es especialmente relevante, dado que los módulos han estado en uso durante un periodo de seis años. Este tiempo de operación continuo puede contribuir a la aparición de pérdidas asociadas a la degradación de los materiales y el rendimiento del sistema. Durante el proceso de medición, se registró una disminución severa en la corriente, observándose una caída del 33% en corriente. Esta diferencia podría ocasionar en la recolección de energía y ser indicativa de problemas en la eficiencia de los módulos fotovoltaicos. Además, se hizo una revisión visual de posibles roturas u oxidación en los módulos fotovoltaicos.

Figura 36

Sistema fotovoltaico previa a la instalación del proyecto de investigación.



La consideración de ser removida el empotramiento del generador fotovoltaico estuvo en debate; Sin embargo, al ver los benéficos y conflictos que hubo se tomó la decisión de que este en el mismo lugar y la implementación de las nuevas tecnologías permanezcan en la misma sección inicial. El espacio para el empotramiento del sistema es adecuado ya que la misma

edificación de la escuela no presenta construcciones cercanas, ni ambientes en el tejado que puedan ocasionar sombreado u obstaculizar la recolección de energía.

En la Figura 37, se muestra los equipos encargados de medir los datos del sistema, se identificó que algunos de estos equipos no estaban operando en condiciones óptimas, lo que podría afectar tanto la calidad de las mediciones como la seguridad y el rendimiento general del sistema fotovoltaico. La falta de un funcionamiento adecuado en los equipos de medición y protección es un factor crítico que debe ser considerado para asegurar un rendimiento adecuado y eficiente del sistema a lo largo de su vida útil. Es fundamental enfatizar que el conjunto de equipos presentados en la Figura 37 ya se encontraban al inicio de comenzar este proyecto de investigación, plenamente operativos y desarrollando sus funciones designadas. De este modo, se llevó a cabo una exhaustiva verificación para constatar que las unidades recientemente adquiridas y transportadas al sitio de implementación hubiesen sido transportadas en condiciones óptimas, garantizando su integridad y funcionalidad. Esta inspección incluyó la revisión minuciosa de todos los materiales de apoyo y componentes auxiliares que acompañaban a dichos equipos, asegurando así su disposición completa para una integración exitosa en el entorno de trabajo.

Figura 37

Tablero eléctrico previa a la instalación del proyecto de investigación.



3.5.3 Montaje de la estructura de soporte y módulos fotovoltaicos.

En la Figura 38, la implementación preliminar del sistema fotovoltaico ha sido satisfactoriamente ejecutada en las instalaciones de la prestigiosa Universidad Nacional de Juliaca. Este proyecto de extensión se materializó gracias a la valiosa cooperación y respaldo

técnico brindado por la Universidad de Jaén, una colaboración que delimita dentro de un convenio estratégico cuidadosamente diseñado para fomentar y potenciar el mutuo intercambio de tecnologías avanzadas y conocimientos especializados entre ambas instituciones académicas.

Figura 38

Instalación de los 12 módulos fotovoltaicos.



3.5.4 Montaje del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.

Este tipo de inversores es crucial mencionar que su diseño intrínseco, caracterizado por una clasificación de protección de ingreso (IP) de 20, inherentemente restringe su idoneidad para operar en ambientes laborables que disminuya los 0°, o en periodos lluviosos.

Figura 39

Montaje del Inversor/cargador Growatt 5.0kW.



la Figura 39 hace representación a la opción seleccionada como resguardo mediante un gabinete de 60x40x20cm con protección IP 65 de doble cerradura presentado el. La ubicación fue dada mediante una evaluación visual que permita el anclaje y conexión adecuada, por ende, fue puesta estratégicamente en la parte posterior de la estructura metálica de los módulos fotovoltaicos.

3.5.5 Montaje del sistema de respaldo.

El sistema ha sido diseñado con el objetivo principal de proporcionar un respaldo ininterrumpido para las cargas críticas del centro de cómputo. Este respaldo incluye un conjunto de dos baterías de almacenamiento, conectadas en paralelo, que se activan automáticamente en caso de interrupción del suministro de los módulos fotovoltaicos. Estas baterías están dimensionadas para ofrecer una autonomía de un día, garantizando así la operatividad de las cargas críticas durante el tiempo que sea necesario.

Figura 40

Montaje de la batería de LiFePO₄-ZTT.



Para el montaje, se diseñó una estructura que se adaptara a las dimensiones y peso de las baterías, facilitara su movimiento y permitiera la visualización de su estado. Como se observa en la Figura 40, se seleccionaron perfiles de acero estructural de tipo cuadrado (1x1.2mm) para el marco principal y angular (1x2mm) para la estabilidad de las baterías. La estructura se

complementó con una plancha metálica de 1/32 mm como cubierta, fijada con tornillos autorroscantes de 10x1 ½.

Con el fin de facilitar la reubicación, la estructura fue equipada con ruedas industriales con freno, lo que le confiere un uso más versátil y adaptable. Una vez finalizada la construcción, la estructura se situó debajo de los módulos fotovoltaicos, y posteriormente se procedió a la instalación de las baterías LiFePO₄-ZTT

3.5.6 Montaje del tablero y sus protecciones DC/AC y control.

Para una mejor organización y visualización, la distribución de los componentes se clasificó según el tipo de corriente. Estos equipos se instalaron en la parte superior-posterior de la estructura metálica fotovoltaica.

Para el flujo de corriente continua (CC), se implementó un tablero de 30x30cm que aloja los equipos necesarios para la protección del arreglo fotovoltaico, las baterías y la entrada de energía hacia el inversor/cargador, tal como se observa en la Figura 41.

Para el flujo de corriente alterna (CA), se instalaron equipos de protección y medición diseñados para alimentar las cargas y gestionar la conexión a la red eléctrica. Como se ilustra en la Figura 42, estos componentes se encuentran dentro de un tablero de 40x50cm con grado de protección IP65, que ya estaba disponible en el lugar, tal como se aprecia en la Figura 37.

Figura 41

Tablero de protección en DC

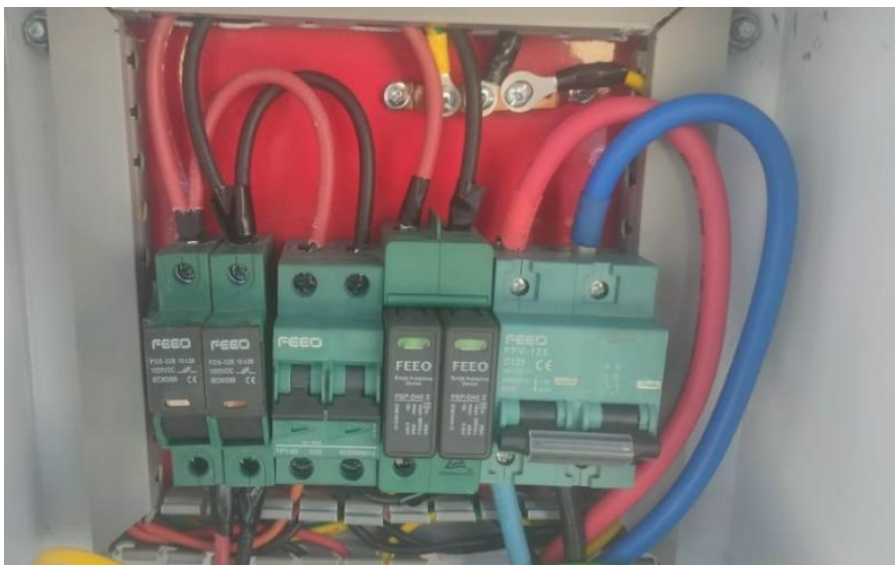
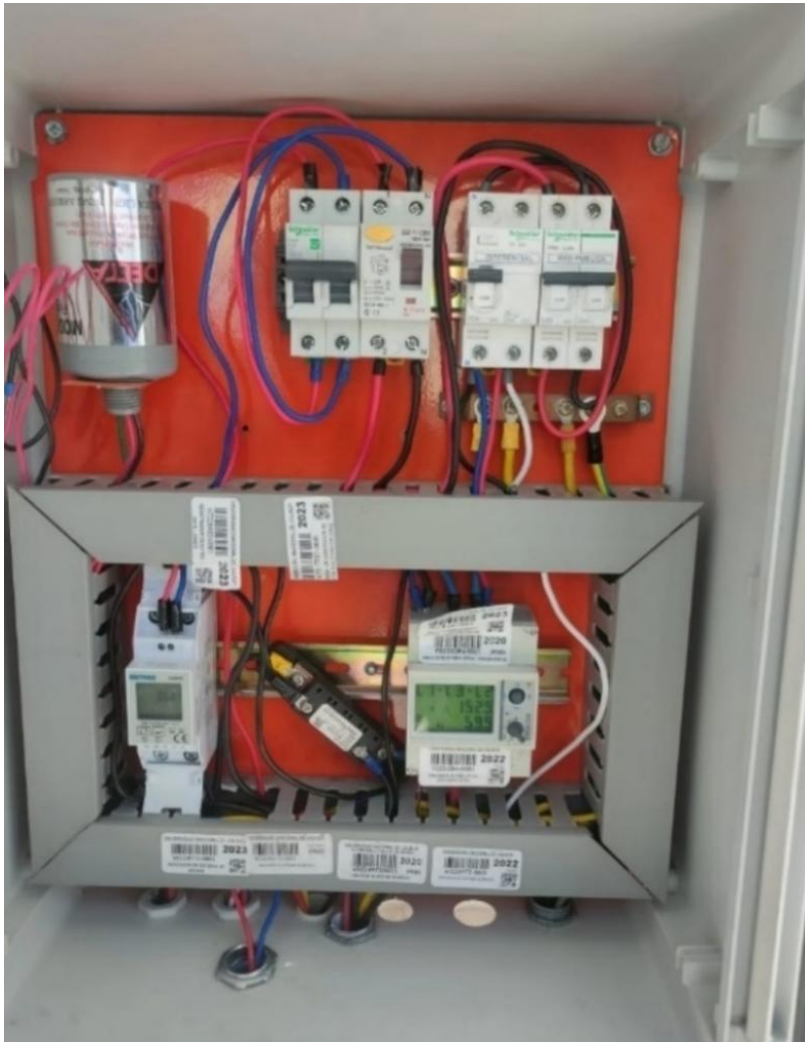


Figura 42

Tablero de protección en AC.



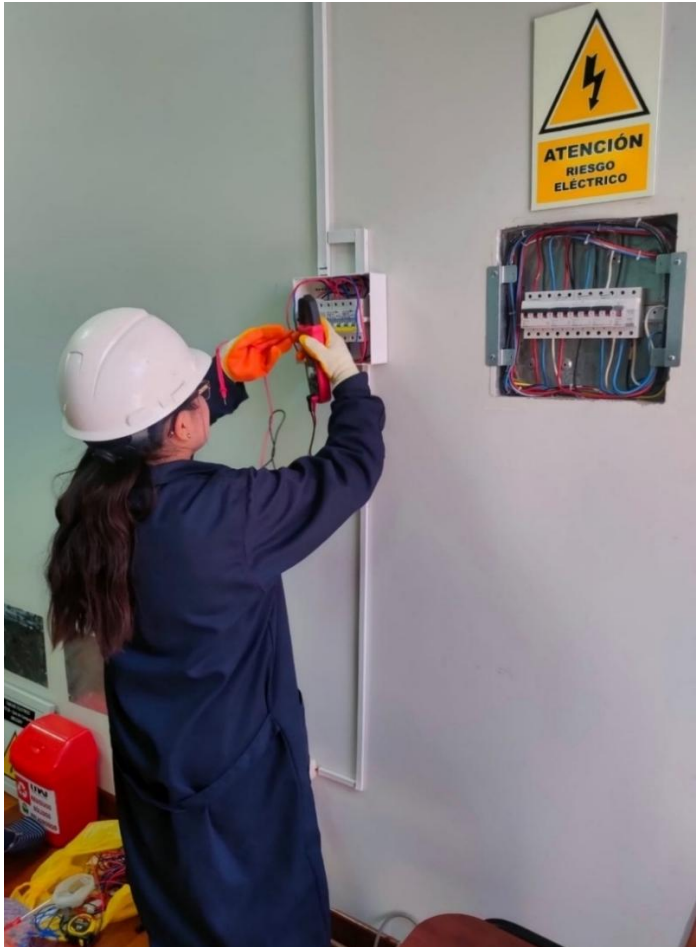
La selección de los cables se realizó de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 370.250, la cual establece la codificación de colores de los conductores según el tipo de flujo de corriente (por ejemplo: rojo para la fase, azul para el neutro). Es importante destacar que estos sistemas cumplen una doble función: salvaguardar la vida del personal y proteger los equipos, además de permitir interrupciones temporales para mantenimiento.

En la Figura 43, se ilustra la instalación de un tablero eléctrico en el centro de cómputo. Este tablero, empotrado en la pared dentro de una cubierta térmica, está diseñado para facilitar el acceso y el mantenimiento.

El tablero contiene un disyuntor, un interruptor termomagnético general y una clasificación de interruptores termomagnéticos para las luminarias y los tomacorrientes. Las características técnicas de estos componentes se detallan en la Tabla 6.

Figura 43

Tablero de control del centro de cómputo.



3.5.7 Tendido eléctrico.

El cableado se extendió desde la salida de la llave termomagnética, ubicada en el tablero de protección de CA junto al generador fotovoltaico, hasta el centro de cómputo. Este tramo tiene una longitud de 80 m con una sección de 5.26 mm².

Para proteger la sección expuesta a condiciones térmicas, los cables fueron instalados dentro de tubos EMT de $\frac{3}{4}$ x 4 m y conducto corrugado de $\frac{3}{4}$ x 25 m. Los tramos internos del edificio se colocaron en canaletas cerradas con adhesivo (51 m) para lograr una estética visual adecuada, así como muestra en el Anexo 5.

Durante este proceso, fue necesario independizar la conexión del flujo de energía que se realizaba directamente desde la red y se compartía con otro ambiente. El objetivo de esta acción fue separar la fuente de alimentación de las luminarias del centro de cómputo para integrarlas al circuito del sistema fotovoltaico, como se muestra en la Figura 44.

Figura 44

Cableado de alumbrado del laboratorio de la sala de cómputo.



3.5.8 Activación del sistema.

Como se muestra en la Figura 45, la activación del sistema se realiza una vez que se completa la implementación de todos los equipos de operación y protección con sus respectivas conexiones. El proceso se ejecuta en la siguiente secuencia:

1. **Encendido del sistema de baterías:** Se enciende el interruptor de las baterías. Tras un minuto, se procede a encender el inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW, que opera con baterías de 48V.
2. **Activación de las protecciones:** Posteriormente, se activan los dispositivos de protección del generador fotovoltaico, la red eléctrica y la carga.

Una vez encendido, se configura manualmente en el inversor/cargador como indica en el Anexo 20, el modo de operación SBU (Solar, Batería, Utilidad), el cual establece las siguientes prioridades para la alimentación de la demanda:

- **Solar:** El inversor utiliza la energía de los módulos fotovoltaicos.
- **Batería:** Si la energía solar no es suficiente para la carga (por ejemplo, por sombreado o lluvia), la energía almacenada en las baterías se utiliza para el abastecimiento.

- **Utilidad:** Como última opción, si las dos fuentes anteriores son insuficientes, el inversor utiliza un bypass para tomar energía de la red pública, la cual alimenta la demanda y, a su vez, recarga las baterías.

En el caso de que el generador fotovoltaico no sea capaz de abastecer la demanda o cargar las baterías debido a condiciones desfavorables, y sea la red eléctrica la que esté supliendo estas funciones, el sistema reaccionará ante una interrupción del suministro.

En esta situación, el inversor/cargador asegura de manera automática e instantánea la continuidad del suministro de energía a la carga, utilizando la energía almacenada en las baterías. La cuestión es si la batería van estar al 100% podrán abastecer a las cargas críticas por un periodo de 4 horas.

En la Figura 45, podemos observar la pantalla LCD de inversor/cargador con las lecturas de trabajo en tiempo real, además de ello podemos hacer un monitoreo virtual mediante el código del datalogger Growatt.

Figura 45

Plan de la programación de trabajo en el inversor/cargador 5.0kW.



3.5.9 Monitoreo de parámetros mediante Shine Wifi-F.

Este accesorio es un componente de monitorización en tiempo real que necesita conectarse al WIFI, en este caso al WIFI de la sala de monitoreo para poder enviar señal del

Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW implementado, de tal forma que por medio de este dispositivo se puede observar la producción del GFV, los ingresos y el estado del generador, la principal función es mandar datos al servidor Growatt que puede estar ubicada en cualquier parte del lugar y existen dos tipos de plataformas Shine de Growatt:

ShinePhone APP.

Es un software de monitoreo desde un celular que es descargada de la tienda Google Play, donde se visualizan los datos del GFV que es enviada desde el Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW hasta la APP, el manejo de la APP se especifica en el Anexo 2. Los parámetros que se pueden visualizar dentro de la aplicación son:

- Información de la planta fotovoltaico.
- Configuración de la planta fotovoltaico.
- Alertas de fallos.
- Ajustes de parámetros.
- Gestión de dispositivos.

ShineServer.

Es una plataforma de monitoreo desde un portátil o una computadora habilitada para internet, es una solución confiable de monitorización que proporciona un acceso inmediato a los datos del GFV en cualquier momento, una de las funciones es la información de la productividad de la planta fotovoltaica y el rendimiento de las operaciones, el manejo de la plataforma se especifica en el Anexo 2. Los parámetros que se pueden visualizar dentro de la plataforma son:

- Información del GFV.
- Monitoreo del estado de los componentes.
- O&M remoto.
- Servicio en línea.
- Actualización lejana.

3.5.10 Monitoreo de parámetros mediante LabVIEW.

Según, Cevallos et al., (2020) LabVIEW es un entorno de programación gráfico que está orientado a la programación de forma de iconos que tienen entradas y salidas que emulan el comportamiento de indicadores eléctricos como los medidores. Su lenguaje de diseño gráfico

tiene mucha utilidad en lo que es la parte de monitorización del proyecto donde se visualiza el proceso de adquisición de datos y la comunicación mediante el protocolo RS485, así mismo muestra el panel de control y el diagrama de bloque en el Anexo 3.

3.6 Análisis económico.

Para el tercer objetivo, se llevó a cabo un análisis económico con el fin de determinar la viabilidad del proyecto. Para ello, se definieron dos escenarios de evaluación:

- **Primer Escenario:** Se limitó el análisis a los equipos y componentes implementados en el proyecto (inversor/cargador y baterías de litio). El estudio se basó en una vida útil de 15 años, y su presupuesto detallado se presenta en la Tabla 25. Este enfoque permitió un examen minucioso del rendimiento y la eficiencia económica de los dispositivos seleccionados.
- **Segundo Escenario:** Se adoptó un enfoque más amplio y realista, extendiendo el alcance del análisis para incluir los paneles fotovoltaicos y la infraestructura de soporte. Este estudio se proyectó a un periodo de 25 años, con un presupuesto que se detalla en la Tabla 26. Esta ampliación permite una evaluación holística del sistema en su totalidad.

Para la elaboración del flujo de caja, se consideraron los costos de mantenimiento, el consumo energético y los ingresos generados por los ahorros directos en el consumo de energía eléctrica.

Finalmente, se aplicaron criterios económicos como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) y la Relación de Beneficio/Costo. Estos criterios se calcularon a partir de la inversión inicial, la tasa de interés y los datos de partida mencionados en la Tabla 28.

3.6.1 Presupuesto.

Para la determinación de los parámetros económicos, es necesario detallar el presupuesto total del sistema. En la Tabla 25, se presenta el coste para el primer escenario, que incluye el Impuesto General a las Ventas (IGV). Este presupuesto desglosa los costos de cada equipo principal (inversor/cargador y baterías), así como los de los componentes y accesorios.

Por otro lado, en la Tabla 26 se observa el presupuesto para el segundo escenario propuesto. Para contextualizar el costo de los elementos mencionados, se tomó como referencia el trabajo de investigación previamente realizado por los autores (Torres & Condori, 2019).

Tabla 25*Presupuesto del sistema implementado.*

DESCRPCIÓN	CANT.	PU (S/.)	SUBTOTAL
Materiales			
Inversor/cargador de 5kw MPPT Growatt	1	S/ 3,600.00	S/ 3,600.00
Batería litio de 50Ah 48V	2	S/ 1,500.00	S/ 3,000.00
Protecciones			
Termomagnético 2x125 amp DC	1	S/ 125.00	S/ 125.00
Termomagnético 2x32 amp DC	1	S/ 70.00	S/ 70.00
Fusible cerámico DC 20 AMP	2	S/ 35.00	S/ 70.00
SPD supresor DC 2P 600VDC 20-40KA FEEO	1	S/ 130.00	S/ 130.00
Termomagnético storck 2P 25A delta 4.5K	2	S/ 36.00	S/ 72.00
Termomagnético 2X25A diferencial pro stork	1	S/ 48.00	S/ 48.00
Int. Diferencial stronger AC	1	S/ 65.00	S/ 65.00
Llave termomagnética 2x20 en schneider AC	1	S/ 40.00	S/ 40.00
Termomagnético storck 2P 32A pro 6K-10K	1	S/ 28.00	S/ 28.00
Gabinete metálico de 60x40x20 cm marca chint	1	S/ 220.00	S/ 220.00
Gabinete 30x30	1	S/ 60.00	S/ 60.00
Tablero térmico DIN 2-8polos	1	S/ 20.00	S/ 20.00
Estructura de la batería			
Tuberías, enrosantes, laminas, ruedas, etc.			S/ 564.50
Cables			
Cable TW N. 8 AWG	2	S/ 158.50	S/ 317.00
Cable 1x4 AWG bateria	4	S/ 16.00	S/ 64.00
Cable fotovoltaico 6 MM ²	10	S/ 5.50	S/ 55.00
Accesorios de conductores			
Tuberías, tornillos, canaletas, uniones, etc.			S/ 351.41
Sistema de monitoreo			
Shinephone Growatt	1	S/ 210.00	S/ 210.00
Transporte			
Pasajes terrestres	1	S/	S/ 100.00
TOTAL			S/ 9,219.91

Nota. Tabla de presupuesto del primer escenario (Elaboración propia).**Tabla 26***Presupuesto total del sistema.*

DESCRPCIÓN	CANT.	PU (S/.)	SUBTOTAL
Materiales			
Panel Solar de 250W Solar World.	12	S/ 652.00	S/ 7,824.00
Soporte Metálico de fierro galvanizado en caliente para fijar 12 módulos fotovoltaicos de 250 WP.	1	S/ 4,075.00	S/ 4,075.00
Presupuesto del sistema incorporado (Tabla 25).	1	S/ 9,219.91	S/ 9,219.91
TOTAL			S/ 21,118.91

Nota. Tabla de presupuesto del segundo escenario (Elaboración propia).

Más allá del proyecto de instalación, se consideró un análisis del comportamiento del sistema para diferentes pruebas mostradas en este estudio como una labor de investigación complementaria. Si bien este proceso representa un presupuesto adicional, su impacto es invaluable en una instalación, pero se muestra el costo como una información previa.

Tabla 27

Equipos de adquisición de datos.

DESCRPCIÓN	CANT.	PU (S/.)	SUBTOTAL
Materiales			
Medidor Eastron DC & Resistencia shunt	1	S/ 250.00	S/ 250.00
Medidor Carlo Gavazzi AC EM24	1	S/ 1,446.31	S/ 1,446.31
Cable pathcord 30 metros	1	S/ 45.00	S/ 45.00
Convertidor RS485	1	S/ 5.00	S/ 5.00
TOTAL			S/ 1,746.31

Nota. Presupuesto para adquisición de datos (Elaboración propia).

3.6.2 Financiamiento.

El presente trabajo de investigación fue beneficiario de un financiamiento proporcionado por la Vicepresidencia de Investigación de la Universidad Nacional de Juliaca. El financiamiento se obtuvo al ser uno de los proyectos ganadores del VI Concurso de Tesis para Título Profesional, según se establece en la Resolución de Consejo de la Comisión Organizadora N° 616-2023-CCO-UNAJ, y formalizado a través del Contrato N° 0018-2023-VPIN-CCO-UNAJ.

3.6.3 Flujo de caja.

La evaluación económica del flujo de caja para el proyecto se llevó a cabo bajo el supuesto de que se implementaría un sistema fotovoltaico autónomo. Para realizar este análisis, se siguió de manera rigurosa la metodología económica propuesta por Creus (2014), la cual proporciona las directrices necesarias para proyectar y valorar la viabilidad financiera de este tipo de sistemas.

Para la estimación de los ingresos, se evaluó la generación del sistema fotovoltaico como un ahorro directo en el consumo de energía eléctrica del centro de cómputo. Con una generación anual de 3055.05 kWh y una tarifa MT4 de 0.6 soles por kWh (según el recibo de luz de la UNAJ), se determinó el ahorro inicial. Se proyecta que los ahorros anuales se incrementarán

en un 5% anualmente, en correlación con el incremento esperado en la tarifa eléctrica, ya que se trata de un sistema de autoconsumo.

En cuanto a los egresos, se consideró el mantenimiento del sistema, que se estima en un 0.2% de la inversión inicial con un incremento anual del 5%, que hace referencia la Tabla 28. Además, se incluyó el costo de la renovación de los equipos principales al finalizar su vida útil.

Tabla 28

Datos de partida

Ingreso inicial (Ahorro)	Energ. *Tarifa MT4
Incremento por ingresos anuales y gastos por mantenimiento	5% anual
Costo inicial por mantenimiento/año	0.2%*Inversión

Nota. Adaptado (Creus, 2014).

Con base en la metodología económica de (Creus, 2014), se han definido los parámetros para determinar la viabilidad del proyecto. Para el análisis, se utiliza una tasa de interés (r) del 7% (0.07). Adicionalmente, se considera la vida útil prolongada del sistema fotovoltaico, que se evalúa en un rango de 15 a 25 años. Estos parámetros son clave para el cálculo de los criterios de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

$$TIR = \frac{r}{\left(1 - \frac{1}{(1+r)^n}\right)} \quad (26)$$

$$TIR_1 = 10.98 \%$$

$$TIR_2 = 8.58 \%$$

La Tabla 29, muestra el flujo de caja para un proyecto con una tasa de interés del 10.98%. La tabla detalla los ingresos por ahorro de energía y los egresos, que incluyen el mantenimiento y la renovación de equipos, a lo largo de un período de 15 años. Los valores se expresan en soles. Se presenta el Flujo de Caja anual y el Flujo de Efectivo acumulado, comenzando con una inversión inicial de S/ 9219.91 soles en el año 0. A partir del año siguiente es que se empieza a generar flujos de caja positivos, representando el flujo efectivo acumulado va recuperando su inversión inicial y generando ganancias a lo largo de los 15 años de ejecución del proyecto de investigación, alcanzando un valor final de S/ 57243.29. El egreso por "compra de equipos" en el año 10 representa el reemplazo o adquisición de 2 unidades de ion de litio (baterías) de la misma tecnología ya utilizada en el proyecto de investigación.

La Tabla 30, muestra el flujo de caja para un proyecto con una tasa de interés del 8.58%. La tabla detalla los ingresos por ahorro de energía y los egresos, que incluyen mantenimiento y renovación de equipos, a lo largo de un período de 25 años. Indica una inversión inicial de S/ 21,118.91. A partir del primer año, el proyecto comienza a generar flujos de caja positivos. El "Flujo de caja acumulado" muestra que el proyecto recupera la inversión inicial y continúa generando ganancias a lo largo de los 25 años, alcanzando un valor final de S/ 115,286.98. Los egresos por "compra de equipos" en los años 10 y 15 representan el reemplazos o adquisiciones de dos unidades de las baterías de ion de litio y un inversor/cargador de la misma tecnología ya utilizada, que afectan el flujo de caja de esos años. En general, la tabla demuestra la viabilidad financiera y la rentabilidad del proyecto a largo plazo.

Tabla 29

Flujo de caja con un interés de 10.98%

Año	Ingreso		Egreso		Flujo de Caja (S/.)	Flujos de efectivo acumulado
	Ahorro de energía (S/.)	Mant. (S/.)	comp. equipos	total		
0					-9219.91	
1	2976.21	184.40		184.40	2791.81	2791.81
2	3125.02	193.62		193.62	2931.40	5723.21
3	3281.27	203.30		203.30	3077.97	8801.19
4	3445.34	213.46		213.46	3231.87	12033.06
5	3617.60	224.14		224.14	3393.46	15426.52
6	3798.48	235.34		235.34	3563.14	18989.66
7	3988.41	247.11		247.11	3741.29	22730.96
8	4187.83	259.47		259.47	3928.36	26659.31
9	4397.22	272.44		272.44	4124.78	30784.09
10	4617.08	286.06	3000	3286.06	1331.02	32115.11
11	4847.93	300.37		300.37	4547.57	36662.68
12	5090.33	315.38		315.38	4774.95	41437.62
13	5344.85	331.15		331.15	5013.69	46451.31
14	5612.09	347.71		347.71	5264.38	51715.69
15	5892.69	365.10		365.10	5527.60	57243.29

Nota. Flujo de caja por un periodo de 15 años del primer escenario (Elaboración propia).

Tabla 30*Flujo de caja con un interés de 8.58%*

Año	Ingreso B		Egreso B		Flujo de Caja (S/.)	Flujos de efectivo acumulado
	Ahorro de energía (S/.)	Mant. (S/.)	comp. equipos	total		
0					-21118.91	
1	2976.21	422.38		422.38	2553.83	2553.83
2	3125.02	443.50		443.50	2681.52	5235.36
3	3281.27	465.67		465.67	2815.60	8050.95
4	3445.34	488.96		488.96	2956.38	11007.33
5	3617.60	513.40		513.40	3104.20	14111.53
6	3798.48	539.07		539.07	3259.41	17370.94
7	3988.41	566.03		566.03	3422.38	20793.32
8	4187.83	594.33		594.33	3593.50	24386.82
9	4397.22	624.04		624.04	3773.17	28159.99
10	4617.08	655.25	3000	3655.25	961.83	29121.82
11	4847.93	688.01		688.01	4159.92	33281.74
12	5090.33	722.41		722.41	4367.92	37649.66
13	5344.85	758.53		758.53	4586.31	42235.98
14	5612.09	796.46		796.46	4815.63	47051.61
15	5892.69	836.28	3600	4436.28	1456.41	48508.02
16	6187.33	878.09		878.09	5309.23	53817.25
17	6496.69	922.00		922.00	5574.69	59391.95
18	6821.53	968.10		968.10	5853.43	65245.38
19	7162.60	1016.50		1016.50	6146.10	71391.48
20	7520.73	1067.33		1067.33	6453.41	77844.89
21	7896.77	1120.70		1120.70	6776.08	84620.96
22	8291.61	1176.73		1176.73	7114.88	91735.84
23	8706.19	1235.57		1235.57	7470.62	99206.46
24	9141.50	1297.34		1297.34	7844.16	107050.62
25	9598.57	1362.21		1362.21	8236.36	115286.98

Nota. Flujo de caja por un periodo de 25 años del segundo escenario (Elaboración propia).

3.6.4 Valor actual neto (VAN).

Es un indicador matemático utilizada para la estimación de la rentabilidad de un proyecto de inversión para evaluar su efectividad. Definida como el valor de los flujos de efectivo proyectado en un determinado tiempo, descontados a la inversión inicial.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (27)$$

Donde:

- F_t : Flujos neto de efectivo en cada intervalo de tiempo.
- I_0 : Desembolso realizado al iniciar el proyecto ($t = 0$).
- N : Cantidad total de periodos a lo largo del proyecto.
- K : Interés mínimo demandado a la inversión.

La estimación de la **tasa de descuento (TD)**, con la que se descuenta el flujo de caja neto de un proyecto, es la utilidad mínima demandada a la inversión.

Los criterios para la evaluación consideran lo siguiente: Si el Valor Actual Neto (VAN) es negativo, significa que el valor presente de los beneficios proyectados es menor que la inversión inicial, indicando que el proyecto no alcanza la rentabilidad mínima esperada. Cuando el VAN es igual a cero, el valor actual de los beneficios es exactamente igual a la inversión inicial, lo que confirma que el proyecto cumplió con la tasa de rentabilidad mínima exigida, pero se le es indiferente ya que no generó ninguna ganancia. Finalmente, si el VAN es positivo, el proyecto no solo ha satisfecho la tasa de rendimiento requerida, sino que también ha generado una ganancia adicional por encima de las expectativas iniciales.

- $VAN > 0$: Con ganancias.
- $VAN = 0$: Indiferente
- $VAN < 0$: Sin ganancias.

3.6.5 Tasa interna de retorno (TIR).

Representa la rentabilidad potencial que genere una inversión (si pierdes o ganas), medidas en términos porcentuales en relación a la inversión realizada.

La TIR se define como la tasa de descuento que equipara entre el valor actual de los beneficios futuros y el desembolso inicial de un proyecto generando un VAN igual a cero. Ello implica que, para su cálculo es fundamental disponer de los flujos de caja proyectados para poder estimar la rentabilidad a lo largo del horizonte temporal de la inversión.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (28)$$

Donde:

- F_t : Flujos neto de efectivo en cada intervalo de tiempo.
- I_0 : Desembolso realizado al iniciar el proyecto ($t = 0$).
- N : Cantidad total de periodos a lo largo del proyecto.
- K : Interés mínimo demandado a la inversión.

Habiendo estimado los flujos de caja futuros, se determina la TIR. Este valor representa la rentabilidad mínima que el proyecto necesita para no generar ni pérdidas ni ganancias. Cabe resaltar que para una inversión de un proyecto se vea atractiva su TIR debe de superar el rendimiento mínimo demandado de la tasa de descuento.

- $TIR > 0$: Es rentable.
- $TIR = 0$: Indiferente.
- $TIR < 0$: No es rentable.

3.6.6 Periodo de recuperación de la inversión (PRS).

Es el intervalo de tiempo en el que se rescata lo invertido y se empieza a generar ganancias, se tendrá que descontar a la inversión inicial los flujos de caja de cada periodo.

$$Payback = a + \frac{I_0 - b}{F_t} \quad (29)$$

- a : Periodo anterior a la recuperación de la inversión.
- I_0 : Desembolso inicial del proyecto.
- b : Flujo acumulativo anterior a la recuperación.
- F_t : Flujo de caja del periodo de recuperación.0

Para un PRI corto este significa que el proyecto recupera rápidamente lo invertido en un menor periodo, en cambio un PRI largo significa que lo invertido se estaría recuperando en un periodo amplio que podría causar incerteza sobre si es apto o no el proyecto.

3.6.7 Beneficio/costo.

Este indicador evalúa la relación entre el costo de producción de un bien o servicio por unidad y la ganancia generada por su comercialización. Dicha relación mejora a medida que aumenta el beneficio obtenido por el inversor/cargador y disminuye su costo de fabricación.

$$\frac{B}{C} = \frac{VAI}{VAC} \quad (30)$$

Donde:

- VAI: Ingresos netos que se espera generar a futuro con la inversión.
- VAC: Desembolsos de capital y gastos proyectados para el proyecto.

3.6.8 Costo nivelado de energía (LCOE).

Es una metodología que se utiliza para analizar y comparar el costo promedio de energía (el coste por kilovatio hora) a lo largo del intervalo de tiempo de una tecnología.

$$LCOE = \frac{\text{Costo total de ciclo de vida}}{\text{Energía total generada}} \quad (31)$$

Donde:

- Costo total de ciclo de vida: sumatoria de los costos de inversión, costo de operación y mantenimiento (si aplica), costo de combustible (si aplica).
- Energía total generada: sumatoria de la energía total, a lo largo de vida útil de la tecnología aplicada.

3.6.9 Simulación en Homer Pro.

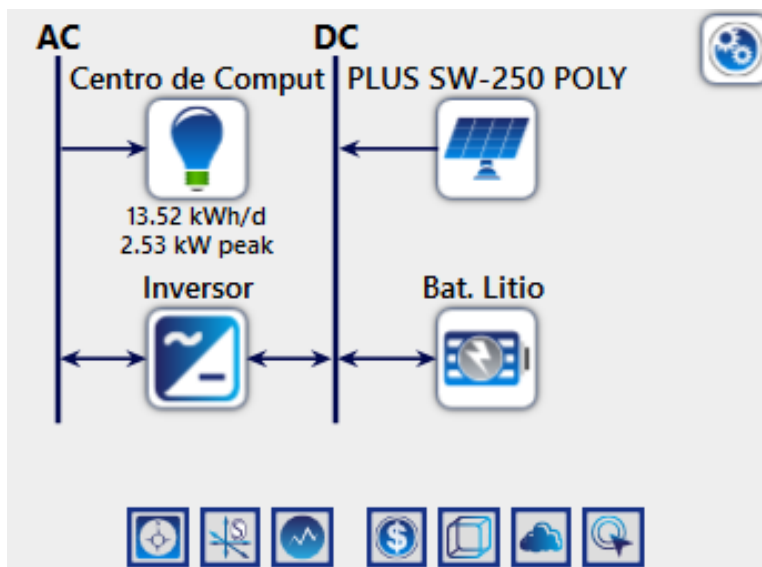
Con el propósito de expandir la evaluación preliminar, se ha empleado el software Homer pro la versión de prueba gratuita, este nos permite tener una simulación respecto a la evaluación económica, se considera todos los componentes de acuerdo al proyecto propuesto (HOMER Pro, 2024), en esta situación un sistema fotovoltaico autónomo tal como se encuentra en la

Figura 46, se le introduce las características técnicas que estos tienen, además de la cantidad y el valor monetario de cada uno y los precios de reemplazo y mantenimiento (factores que influyen en el análisis económico). Para iniciar el cálculo económico se debe de designar los valores de las variables económicas requeridas en el software, los cuales fueron insertados los valores del segundo caso (25 años):

- Tasa de descuento: 8.58%
- Índice de inflación: 1.90%
- Déficit de capacidad anual: 0.00%, 5.00%, 10.00%

Figura 46

Inputs-outputs del diseño de la implementación.



Al insertar correctamente todos los datos requeridos (técnicos y económicos) se procede a simular. Cabe señalar que el programa no permite insertar un valor incremental por año, esta metodología a diferencia de un cálculo en Excel, influye en el costo de mantenimiento y/u operación si fuese el caso. El valor que se optó por mantenimiento de cada equipo es: generador fotovoltaico S/250.00, Inversor/cargador S/ 200.00, batería de litio S/ 200.00.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados del primer objetivo específico.

“Diseñar y seleccionar los componentes del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a red para el suministro de energía a una carga al centro de cómputo de la EPIER-Ayabacas”.

4.1.1 Resultado del diseño en el software SketchUp/ AutoCAD.

Diseño en SketchUp. Proporciona una representación detallada de la ubicación específica del sistema fotovoltaico y del punto de acceso para la conexión con la demanda energética. El diseño incluye las dimensiones exactas de cada componente y material, que son los siguientes:

- Gabinete de protección del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW: Con una longitud vertical de 600 mm, horizontal de 400 mm y un espesor de 200 mm.
- Estructura para baterías de Litio ZZT50Ah: De doble piso, compuesta por perfiles de tubo cuadrado de 1x1.2 mm y perfiles angulares de 1x2 mm. Tiene dimensiones estructurales de 507 mm de largo, 500 mm de ancho y 514 mm de alto, y está cubierta por una plancha metálica de 1/32 mm, fijada con tornillos autorroscantes de 10x1 ½. La estructura está montada sobre ruedas industriales con freno para facilitar su movimiento y reubicación.
- Gabinete de protección de corriente continua (DC): Dimensiones de 300 mm de largo, 300 mm de alto y 165 mm de ancho.
- Gabinete de protección de corriente alterna (AC): Dimensiones de 400 mm de largo, 500 mm de alto y 200 mm de ancho.

Dentro de la propuesta de diseño en SketchUp, se realizó una simulación con el objetivo de analizar de forma gráfica el comportamiento de la sombra, ajustando las coordenadas, la orientación y ubicación de los elementos diseñados que son de vital importancia. Este enfoque preciso tiene como finalidad obtener un resultado lo más representativo y fiable posible.

Diseño en AutoCAD. Como resultado se generó una serie de diagramas que ofrecen una visión completa del proyecto:

- Diagrama Arquitectónico (Anexo 12): Muestra las dimensiones de todo el perímetro y la ubicación de los equipos en el centro de cómputo.
- Diagrama Eléctrico de Carga (Anexo 13): Especifica las cargas alimentadas por el generador fotovoltaico (GFV) de 3.0 kW, tales como luminarias, computadoras, laptops, un proyector y un celular.
- Diagrama de Interruptores y Tomacorrientes (Anexo 14): Detalla la ubicación de los interruptores de encendido/apagado y los tomacorrientes de conexión.
- Diagrama General (Anexo 15): Detalla las conexiones de los componentes seleccionados del GFV de 3.0 kW.
- Diagrama Unifilar (Anexo 16): Presenta el análisis del sistema eléctrico del GFV de 3.0 kW con su leyenda.

4.1.2 Resultado del diseño por método “teórico” /software SAM.

Método “Amper-hora”. Como resultado el sistema compone de los siguientes elementos:

- Inversor/cargador: Se utiliza un inversor/cargador monofásico Growatt SPF-5.0kW, que incorpora un controlador de carga fotovoltaica de máxima potencia de 6000 W en un rango de 120 VCC a 430 VCC. Su salida tiene una potencia nominal de 5000 W, una eficiencia del 93%.
- Baterías: Las baterías implementadas son de fosfato de iones de litio (LiFePO₄-ZTT) de la marca ZTT4850, con una tensión nominal de 48 V y una capacidad nominal de 50 Ah. Están instaladas debajo del generador fotovoltaico en una estructura metálica de doble piso con ruedas industriales para facilitar su movilidad.
- Tablero de protección en (CC) y (AC): El lado de CC incluye fusibles, interruptores termomagnéticos y dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS) de la marca FEEO. En lado AC se implementaron interruptores termomagnéticos, diferenciales de marca Schneider de 40 A, Schneider 32 A y Stronger ubicados en el generador fotovoltaico. Para la distribución en la sala de cómputo, se utilizan interruptores de 32-15 A de la marca Storck, como se detalla en la Tabla 6.
- Cableado: El sistema de cableado para una longitud de 80 m con una sección de 5.26 mm². Para los tramos externos, expuestos al calor, se utilizaron tubos EMT de ¾ x 4 m y conducto corrugado de ¾ x 30 m. Los tramos internos se colocaron en canaletas cerradas con adhesivo.

Resultados obtenidos por el método teórico.

Se presenta el resultado obtenido mediante el método teórico en el software Excel, donde en la Figura 47 nos muestra la energía producida mensualmente, en el mes de febrero se tiene una menor producción de 409.37kW/h, en el mes de octubre tiene una mayor producción de 525.91kW/h y la producción anual es de 5,704.52kW/h.

Figura 47

Energía Producida anual por el método teórico.

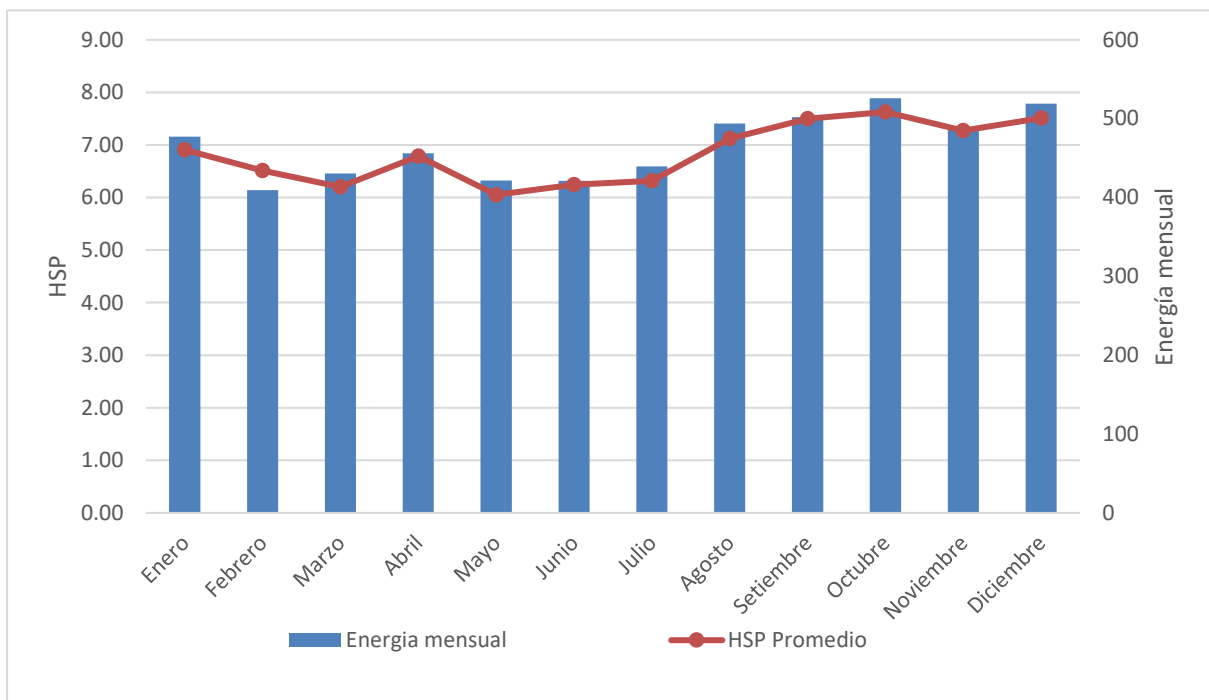


Figura 48

Datos de irradiación solar horizontal global.

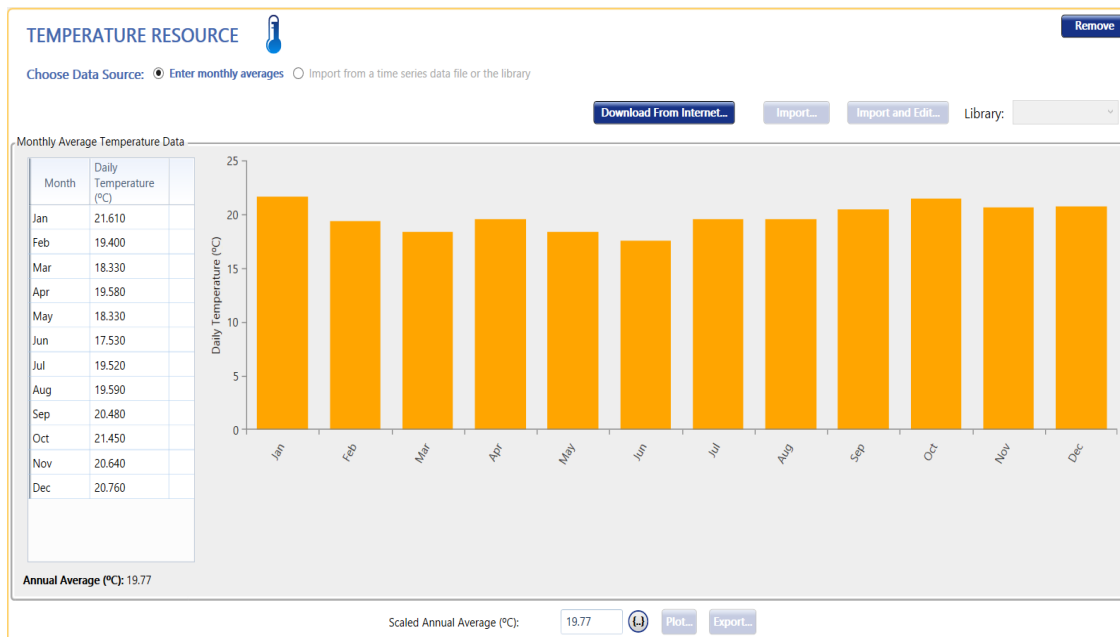


En la Figura 48, se presenta el resultado de la irradiación media solar, obtenida a partir de las bases de datos de PVGIS y NASA. En la parte derecha de la figura, se muestra un gráfico con los valores de la irradiación solar y el índice de claridad detallados por mes, mientras que en el lado izquierdo se encuentra la Tabla 12 con los datos correspondientes. Es importante destacar que los datos utilizados son propios del proyecto y fueron insertados en el software Homer Pro para el análisis.

La Figura 49, presenta datos de temperatura obtenidos de la NASA. En la parte izquierda, la Tabla 13 muestra los valores de temperatura máxima, mínima y promedio mensuales, junto con la humedad relativa anual. A la derecha, se ilustran de forma gráfica los valores de temperatura ambiente correspondientes.

Figura 49

Datos de temperatura ambiente.



Resultados obtenidos del Software SAM.

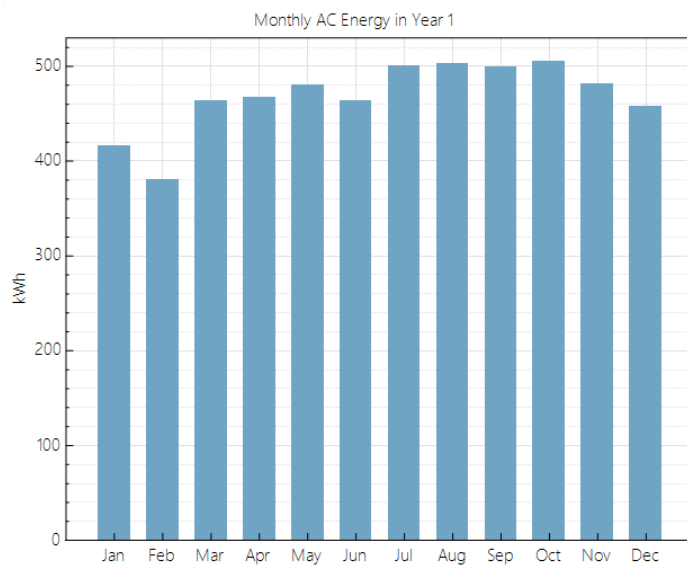
Se presenta los resultados obtenidos mediante el Software SAM. Asimismo es importante los datos meteorológicos del lugar como irradiación y temperatura como muestra en el Anexo 8 y 9, donde en la Figura 50 se puede apreciar por el lado izquierdo la energía total entregada a la demanda por el sistema del Generador fotovoltaico de 3.0kW por un periodo de un año de 5,615 kWh, DC capacity factor in Year (factor de capacidad), es la relación entre la potencia eléctrica entregada en el primer año de funcionamiento y la potencia nominal que es 21.2%, Energy yield in Year 1 (rendimiento energético), por la cual es la relación de la energía

producida con respecto a la potencia del generador fotovoltaico 1,855kWh/kW, el Performance ratio in Year es el rendimiento global del sistema que es 0.72, por otro lado en el lado derecho se muestra la cantidad de energía producida por cada mes, donde en el mes de febrero tiene una menor producción de 384kWh y en el mes de octubre tiene una mayor producción de 508kWh.

Figura 50

Energía total entregada por el sistema durante un año SAM.

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	5,615 kWh
DC capacity factor in Year 1	21.2%
Energy yield in Year 1	1,855 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.72



En la Figura 51, muestra las perdidas por sombreado del GFV mediante la herramienta 3D shade calculator que está incluida en el software como se ilustra en el Anexo 1, Figura A.6, donde el 100 indica sombreado completo y 0 indica que no existe ninguna interferencia de sombreado, cabe recalcar no se trata de un sombreado de las nubes o aviones.

Figura 51

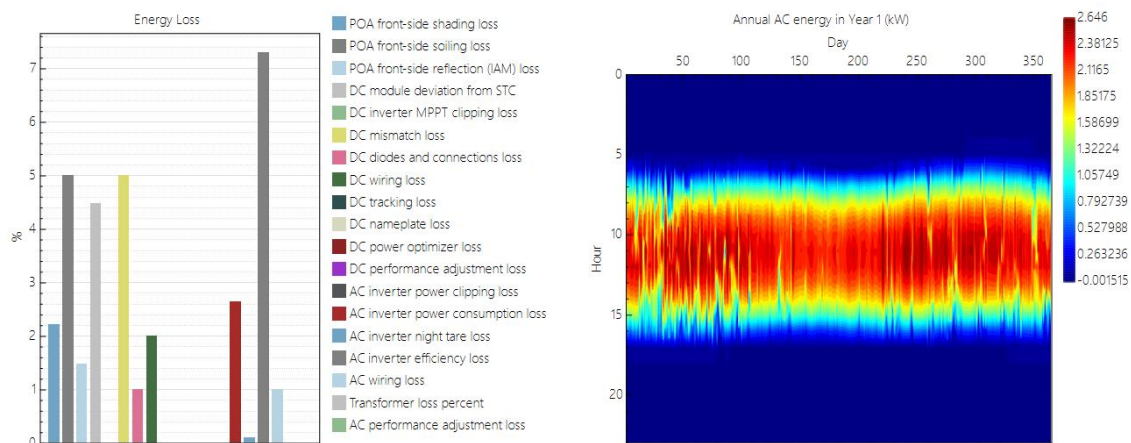
Resultados de las perdidas por sombreado SAM.

Edit 3D Shading Scene																								
Location Create 3D scene Bird's eye Elevations Analyze Scripting Import Export Help Save and close																								
Diurnal analysis Time series analysis Diffuse analysis																								
Subarray 1, String 1 Shade Loss (%): 0=no shade, 100=fully shaded 0 Apply to selected c																								
	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Apr	100	100	100	100	100	100	30.7788	3.1126	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.23695	100	100	100	100	100	100
May	100	100	100	100	100	100	33.8077	5.2964	0	0	0	0	0	0	0	0	6.13097	100	100	100	100	100	100	100
Jun	100	100	100	100	100	100	30.8916	8.78235	0	0	0	0	0	0	0	0	11.243	100	100	100	100	100	100	100
Jul	100	100	100	100	100	100	52.8612	10.2656	0	0	0	0	0	0	0	0	6.93862	100	100	100	100	100	100	100
Aug	100	100	100	100	100	100	40.0212	6.39123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.235	100	100	100	100	100	100
Sep	100	100	100	100	100	100	25.4681	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23.7952	100	100	100	100	100	100
Oct	100	100	100	100	100	59.3894	13.8369	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.6656	100	100	100	100	100	100
Nov	100	100	100	100	100	41.5892	8.7063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11.7895	100	100	100	100	100	100
Dec	100	100	100	100	100	49.6224	10.6032	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.32554	100	100	100	100	100	100

En la Figura 52, del lado izquierdo muestra las pérdidas del diseño, en las cuales las pérdidas mayores son por el generador fotovoltaico y el Inversor/cargador, esto debido a las altas temperaturas y otros factores. Por otro lado, muestra la irradiación durante todo el año donde a luz apagada es de - 0.0015kWh y una irradiación mayor es de 2.646kWh que equivale un HSP de 7.24h.

Figura 52

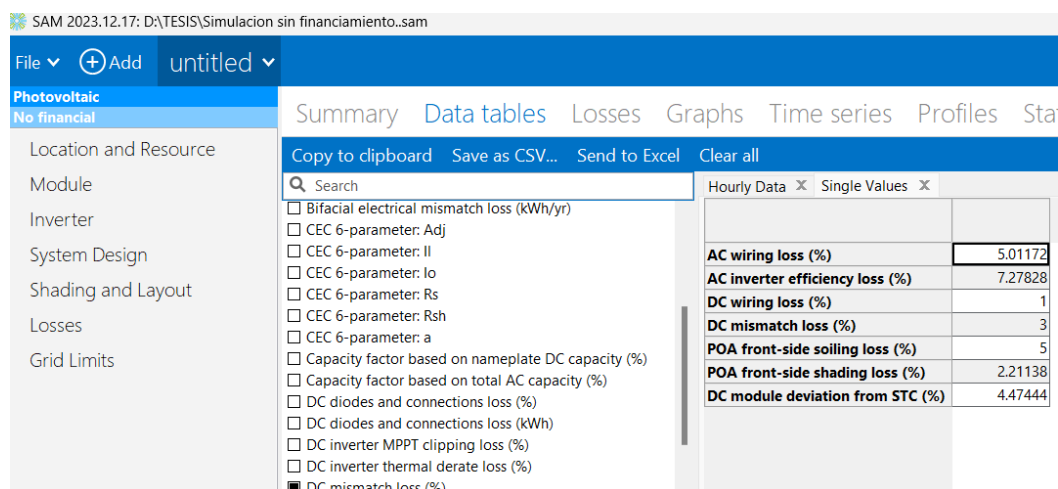
Perdidas de energía y la irradiación durante el día SAM.



En la Figura 53, se muestra las pérdidas del sistema, analiza las pérdidas por el módulo, pérdidas por temperatura, pérdida por los cables DC/AC, pérdidas por el inversor/cargador, pérdidas por distorsión, pérdidas por suciedad (mostrados en unidad porcentual).

Figura 53

Pérdidas del sistema en porcentaje SAM.



La Tabla 31, presenta los resultados del diseño del sistema, comparando las pérdidas estimadas por el método teórico y las calculadas por el software SAM. La tabla detalla las pérdidas por

potencia/temperatura, por el inversor/cargador, por distorsión, por cables DC y AC, por sombreado y por polvo, el total de pérdidas estimado fue del 29.1% (método teórico) y del 27.97% (software SAM). La energía anual entregada por el generador fotovoltaico (GFV) fue de 5,704.52 kWh según el método teórico y de 5,615 kWh según el software SAM.

Tabla 31

Resultados del diseño.

Perdidas	Método Teórico	Software SAM
Perdida por potencia/temperatura	3.6%	4.47%
Perdida por el inversor/Cargador	7%	7.28%
Perdida por distorsión	2%	3%
Perdida por cable DC	1.5%	1%
Perdida por cable AC	5%	5.01%
Perdida por sombreado	3%	2.212%
Perdida por polvo	3%	5%
Total, de perdidas	25.1%	27.97%
Performance Ratio PR	0.75	0.72
Factor de Planta	21.71%	21.20%
Energía entregada por GFV en un año	5,704.52 kW/h	5,615 KWh

Nota. Energía producida anual del GFV de 3.0kW anual teórico/SAM (Elaboración propia).

4.2 Resultados del segundo objetivo específico.

“Implementar los componentes del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red para determinar el suministro de energía a una carga del centro de cómputo EPIER-Ayabaca”.

4.2.1 Resultado de monitoreo mediante la plataforma Shine Server.

Una vez finalizada la implementación del inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW, se realizaron pruebas de rendimiento en corriente directa y corriente alterna. Para ello, se evaluaron dos situaciones: una con cargas generales y otra con cargas críticas (alimentadas exclusivamente por baterías). Los datos, obtenidos durante un periodo de un día, son fundamentales para verificar el comportamiento del generador fotovoltaico y el consumo energético. Según la Tabla 32, la primera prueba, con cargas generales, se llevó a cabo desde las 9:00 am hasta las 16:00 pm, registrando datos con una iteración de una hora.

Tabla 32

Datos obtenidos del servidor Growatt.

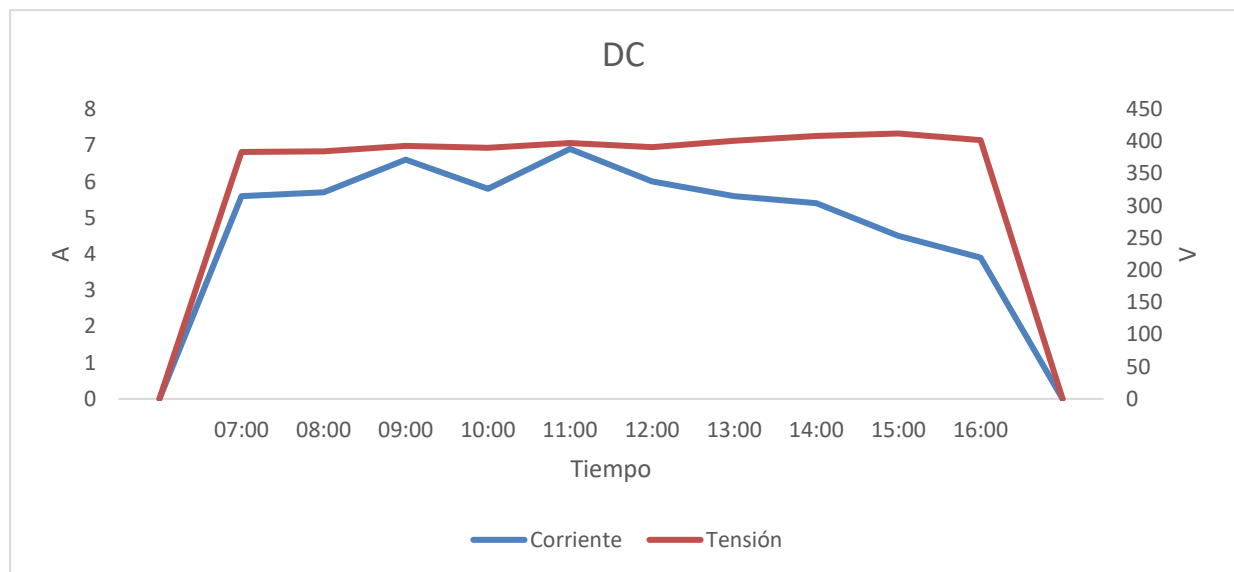
Hora	Corriente directa			Corriente alterna			Energía [KVA/h]
	Corriente	Voltaje	Potencia	Corriente	Volteje	Potencia	
	[A]	[V]	[W]	[A]	[V]	[VA]	
7:00	5.6	383.2	2145.92	7.27	230.0	24.00	2.9
8:00	5.7	384.4	2191.08	6.96	229.0	25.00	4.6
9:00	6.6	393.0	2593.80	6.56	230.0	1511.00	5.8
10:00	5.8	390.1	2262.58	5.51	228.0	1268.00	6.3
11:00	6.9	397.3	2741.37	7.61	231.0	1750.00	7.9
12:00	6.0	391.0	2346.00	6.97	230.0	1602.00	9.1
13:00	5.6	401.0	2245.60	7.09	229.0	1630.00	9.9
14:00	5.4	408.3	2204.84	7.10	230.0	1632.00	10.7
15:00	4.5	412.1	1854.45	5.70	229.0	1310.00	11.1
16:00	3.9	402.0	1567.80	4.39	230.0	1010.00	11.8

Nota. Datos extraídos del servidor Growatt SPF-5.0kW en prueba de cargas generales., (Elaboración propia).

La Figura 54, muestra un gráfico de corriente y tensión en DC a lo largo de un día. El eje horizontal representa el tiempo, desde las 7:00 hasta las 16:00, y los ejes verticales muestran los valores de amperios (A) y voltios (V).

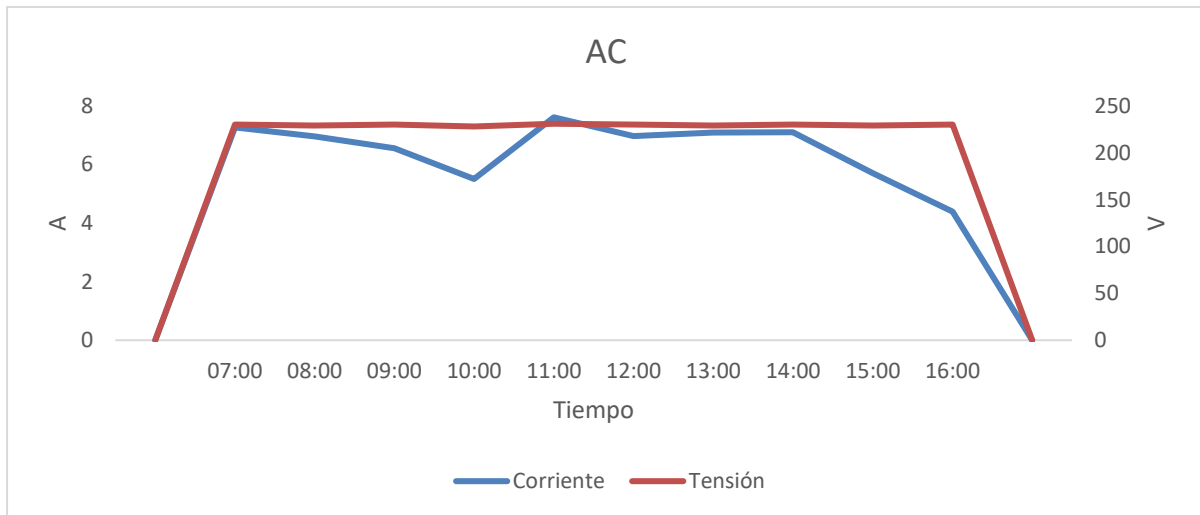
Figura 54

Corriente y tensión en DC.



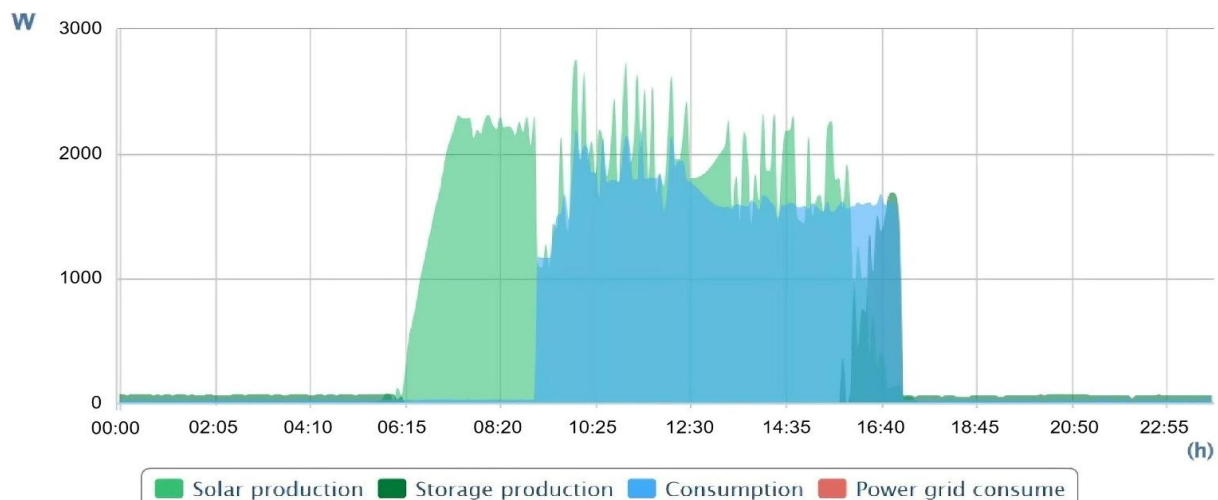
La Figura 55, presenta un gráfico que muestra la corriente y la tensión en CA a lo largo de un día. El eje horizontal representa el tiempo, desde las 7:00 hasta las 16:00, y los ejes verticales indican los valores en amperios (A) y voltios (V).

Figura 55
Corriente y tensión en AC.



Primera prueba: se utilizó la demanda general del laboratorio de cómputo, como se detalla en la Tabla 19. El inicio de la generación energética del generador fotovoltaico (GFV) se registró con una corriente de 5.6 A y un voltaje de 383.2 V. Por otro lado, el consumo se midió a partir de las 9:00 am, con una corriente de 6.56 A y un voltaje de 230 V. Durante esta prueba, realizada en un periodo laborable. Como resultado se obtuvo una energía total producida de 11.8 kWh durante un día, datos extraídos del ShineServer visualizado en la Tabla 32.

Figura 56
Prueba de la producción fotovoltaico.



La Figura 56, muestra un gráfico que representa el comportamiento del sistema energético a lo largo de un día. El gráfico detalla la producción solar (en verde claro), la producción del almacenamiento (en verde oscuro), el consumo (en azul) y el consumo de la red eléctrica (en rojo) en vatios (W) a lo largo del tiempo (h). Se puede observar que el consumo es abastecido principalmente por la producción solar y el almacenamiento, con picos de consumo que coinciden con los picos de generación.

Segunda prueba: se utilizó la demanda de cargas críticas mencionada en la Tabla 23. Para realizar el análisis, se desconectó el interruptor del panel fotovoltaico, de modo que el sistema dependiera exclusivamente de la batería.

La Tabla 33, presenta los datos extraídos del ShineServer durante una prueba de cargas críticas. La tabla detalla los valores de corriente, voltaje y potencia para la corriente directa de la batería, así como para la corriente alterna, junto con la energía consumida en 3.6 kWh.

Tabla 33

Datos extraídos del ShineServer en prueba de cargas crítico.

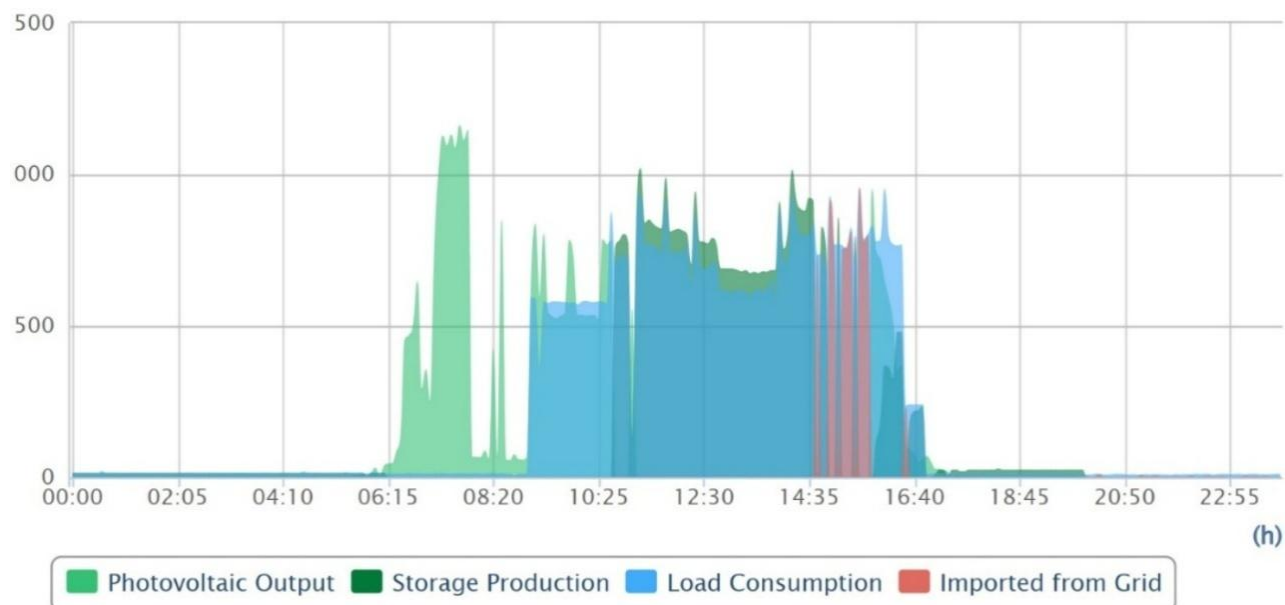
Hora	Corriente directa batería			Corriente alterna			
	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Corriente [A]	Volteje [V]	Potencia [VA]	Energía [KW/h]
7:00	0.03	49.0	1.47	0.05	229.0	12.0	1.3
8:00	0.01	50.2	0.50	0.05	230.0	12.0	1.8
9:00	0.01	50.3	0.50	0.06	229.0	14.0	2.4
10:00	18.6	48.1	903.96	3.90	230.0	896.6	2.4
11:00	19.3	48.6	937.98	4.03	229.0	922.4	2.4
12:00	18.7	50.1	936.87	4.00	229.0	914.9	2.4
13:00	18.2	49.7	904.54	3.96	227.0	899.1	2.4
14:00	21.4	48.3	1033.60	4.37	230.0	1004.9	2.4
15:00	0.41	48.5	20.00	4.48	230.0	1029.7	2.9
16:00	0.39	48.1	19.00	4.44	228.0	1013.4	3.6

Nota. Registro de horario desde las 7:00 hasta las 16:00 (Elaboración propia).

La Figura 57, presenta un gráfico de la prueba de la producción del almacenamiento. El gráfico detalla, en un periodo de 24 horas, un comportamiento a partir de las 10:00am, con un consumo de las baterías de 903.96W, con un consumo de energía de carga 896.6VA hasta 14:00pm, con una potencia de 1033.44W y un consumo de energía 1004.9VA.

Figura 57

Prueba de la producción del almacenamiento.



4.2.2 Resultado de monitoreo mediante el software LabVIEW.

Tabla 34

Datos obtenidos mediante el interfaz LabVIEW.

Hora	Corriente directa			Corriente alterna				
	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [W]	Corriente [A]	Voltaje [V]	Potencia [VA]	Frecuencia [HZ]	Energía [kW/h]
7:00	1.97	406.2	803.1	0.01	229.3	2.29	60	0.8
8:00	3.24	401.1	1301.0	0.01	230.2	2.30	59	2.1
9:00	4.96	394.4	1966.3	0.02	228.9	2.28	59	3.0
10:00	5.53	398.7	2212.4	0.01	229.0	2.29	60	4.3
11:00	6.10	394.4	2409.1	4.58	230.1	1068.50	60	7.6
12:00	5.62	387.6	2189.3	4.99	229.2	1110.70	60	9.8
13:00	6.94	389.4	2701.4	5.24	229.7	1236.80	59	11.7
14:00	4.59	393.6	1804.8	3.99	230.1	946.70	60	13.3
15:00	4.28	388.3	1660.6	4.16	230.0	942.4	60	14.0
16:00	1.54	395.1	610.2	3.83	229.8	877.71	60	14.6

Nota. Datos extraídos de los equipos eastron/carlo gavazzi (Elaboración propia).

Una vez finalizada la implementación del generador fotovoltaico (GFV) y verificadas las conexiones de los medidores y la funcionalidad de la programación, se pueden obtener gráficos de rendimiento diarios.

Estos gráficos incluyen datos de corriente, voltaje y potencia tanto del lado de corriente continua (CC) como del lado de corriente alterna (CA), como se muestra en la Tabla 34. Para la prueba de operación con carga general, se evaluó una cantidad de carga definida durante un periodo máximo de 6 horas. La prueba se inició a las 11:00 am con una potencia alterna de 1068 VA y finalizó a las 16:00 pm, con una potencia de 877.71 VA.

La Figura 58, muestra un gráfico de la potencia, corriente y tensión del generador fotovoltaico (GFV) en corriente continua (CC) a lo largo del tiempo. El gráfico detalla el comportamiento de estas tres variables dentro de un periodo aproximadamente de las 06:30 am hasta las 16:30 pm.

Figura 58

Potencia, corriente y tensión del GFV.

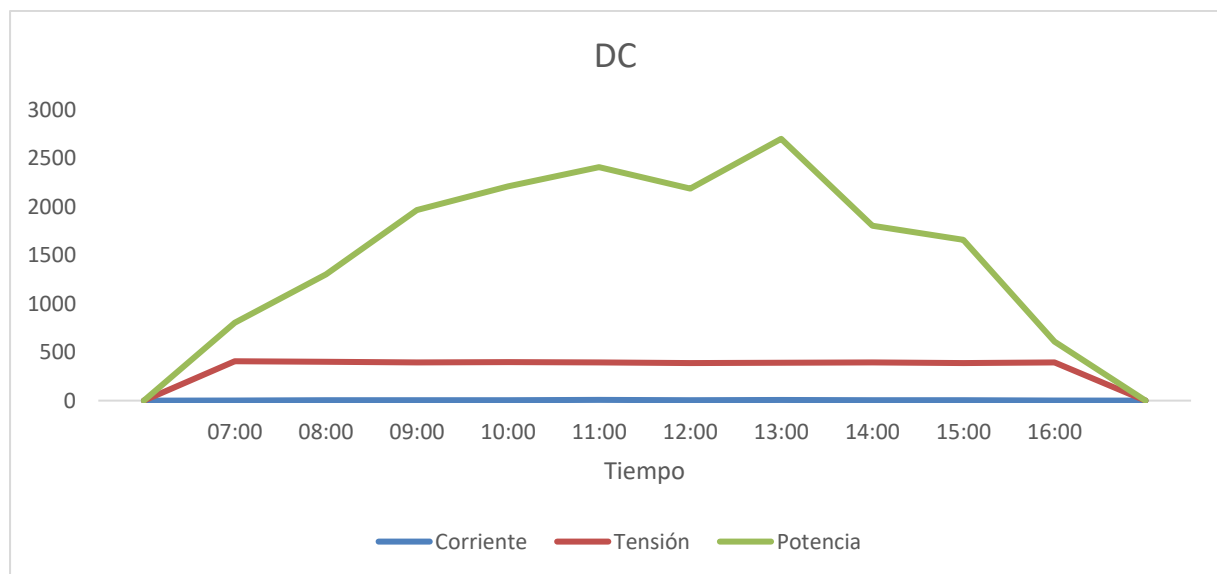
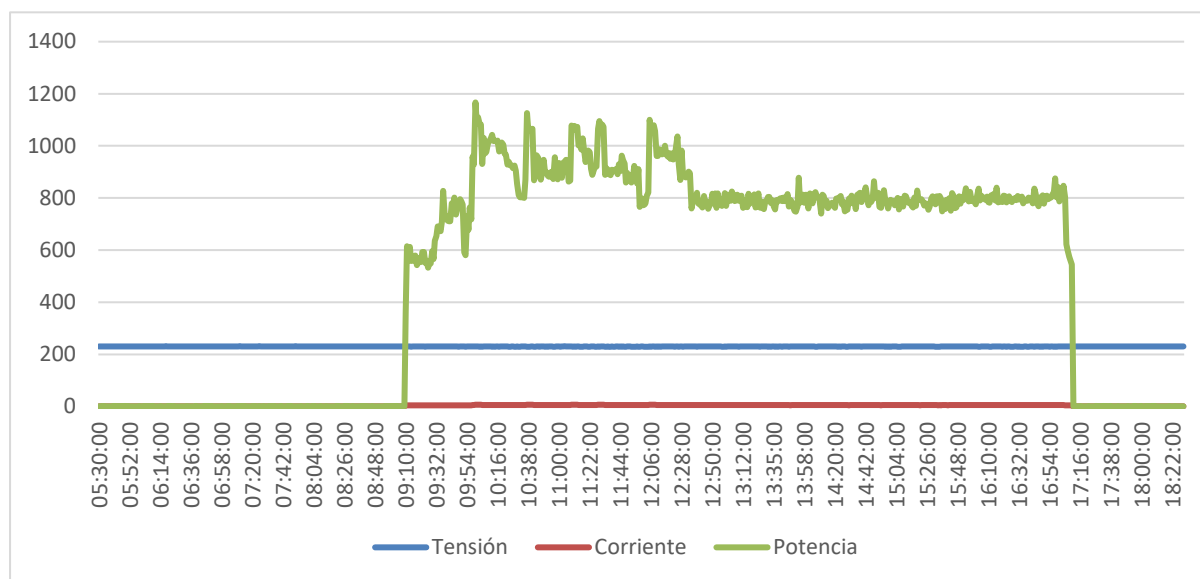


Figura 59, muestra el comportamiento de la carga en base a la tensión, corriente y potencia en función del tiempo a lo largo de un ciclo de operación diurno desde las 5:30 am hasta las 18:22 pm. Podemos observar que la tensión se mantiene constante y estable, lo que indica un suministro de voltaje constante a lo largo del período de prueba. La corriente mantiene constante. Alrededor de las 08:30 am, la potencia se eleva de forma abrupta hasta un pico cercano a los 1300 W y se mantiene en un rango más alto, fluctuando entre 800 y 2400 W hasta las 12:45. A partir de 14:00pm, la potencia disminuye.

Figura 59

Comportamiento de la carga en base al tensión, corriente y potencia.



4.3 Resultados del tercer objetivo específico.

“Analizar económicamente la rentabilidad del generador fotovoltaico con inversor/cargador de 5.0kW conectado a la red para suministrar energía a una carga del centro de cómputo de la EPIER-Ayabacas”.

4.3.1 Relación VAN, TIR, B/C, PRI.

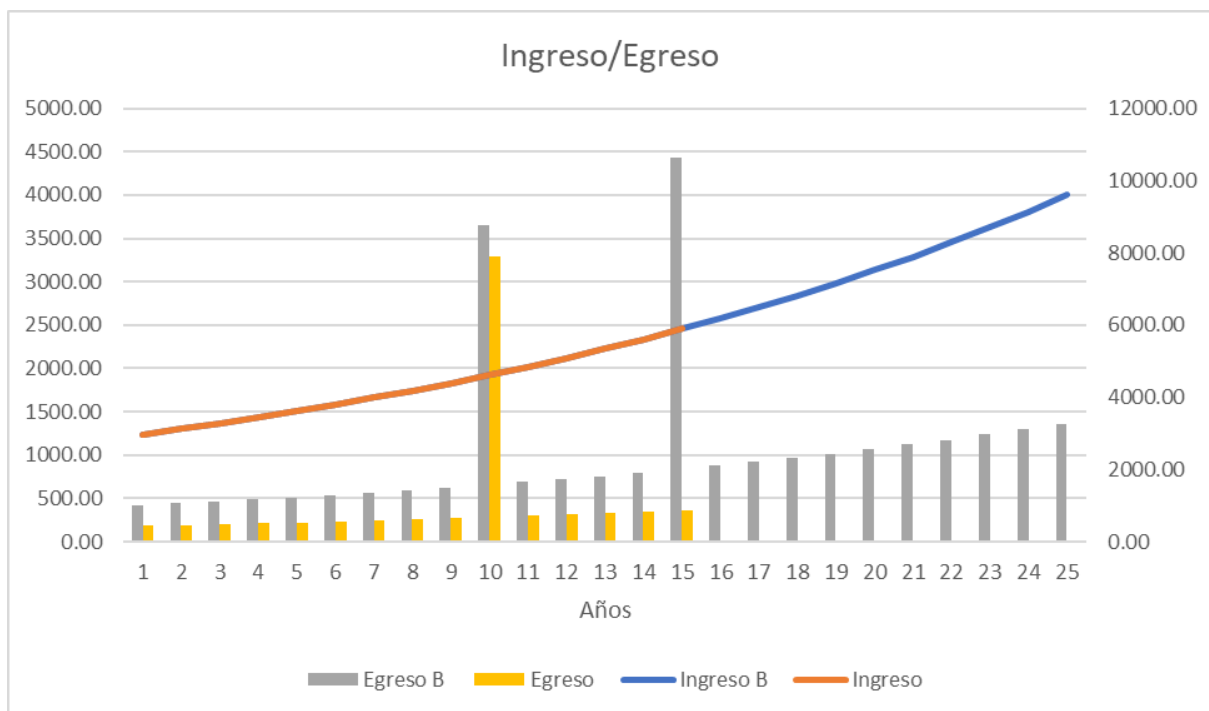
Para analizar la rentabilidad económica del proyecto se planteó dos situaciones, lo cual nos ayudará a visualizar el cambio que se obtendrá. Consideramos la demanda a partir de la generación del sistema fotovoltaico mostrado en la Tabla 17, lo cual se opta por el mínimo valor que fue en el mes de mayo, obteniendo una producción anual de 4,960.35kW para el ahorro directo del consumo de energía eléctrica con una tarifa de venta de energía eléctrica por cada kWh de 0.6 soles alcanzando un ahorro anual de S/ 2,976.21.

Para lo cual, primeramente, se realiza un análisis económico con una tasa de interés del 10.98 %, para un periodo de 15 años, con una inversión inicial S/ 9,219.91. En este apartado se consideró la renovación de las baterías de litio en el año 10, donde se estima el tiempo en que termina su operatividad según información de su respectiva ficha técnica. Para el segundo apartado se considera una tasa de interés del 8.58% para un periodo de 25 años, además de ellos en el año 10 y 15 se optan por las renovaciones de las baterías de litio y el inversor/cargador. Este análisis fue dado a partir de alcance general del sistema fotovoltaico con un presupuesto inicial de S/ 21,118.91 (Tabla 26).

En la Figura 60, observamos una clara disparidad entre los ingresos y egresos generados a distintas tasas de interés según el valor aplicado. A simple vista podemos determinar que los ingresos derivados del ahorro energético resultante de la implementación del sistema fotovoltaico, superan significativamente al valor del egreso. Cabe destacar que el ingreso para ambas situaciones es invariable, ya que este depende de la energía generada por el sistema fotovoltaico y el precio por kilovatio-hora (kWh), que se asumen que son constantes. En caso del egreso se puede apreciar gráficamente la diferencia existente, lo cual es amplia ya que depende de la inversión inicial (debido a que ambos casos son diferentes en la adquisición de los equipos) y el costo de mantenimiento.

Figura 60

Relación entre Ingreso/Egreso.



Para observar de manera óptima el comportamiento de la evaluación, en las Tablas 29 y Tabla 30 se aprecian de manera consecutiva todos los indicadores económicos desde el año 1 de trabajo previo hasta la culminación de periodo ejecutable de los equipos.

A continuación, en la Tabla 35 vemos los resultados obtenidos de la evaluación económica para el primer caso que es planteado a partir del proyecto. Se observa un intervalo de 15 años para ver el comportamiento de las variables económicas y su influencia en la rentabilidad del proyecto. Se observa que para los primeros años la rentabilidad aún es negativa, sin embargo, en el año cuarto ya se puede apreciar cómo el ahorro energético hace una disminución en la

tarifa eléctrica, en efecto por consumo. Se aprecia una tasa de retorno del 11%, mayor a la tasa de interés de 10.98%, a simple vista ya podemos deducir que esta clase de implementación tendrá un futuro viable económicamente. Finalmente, en totalidad en el año 15 se tendrá una ganancia de S/ 16,068.16, con una tasa de retorno 34%, un Beneficio/costo del S/2.23 y un periodo de recuperación del 3.13 años (3 años, 1 meses, 13.44 horas) para el retorno de lo invertido (se considera 31 días de cálculo).

Tabla 35

Evaluación económica con una tasa de interés 10.98%.

	VAN	TIR	Beneficio [VNA]	Costo [VNA]	Costo	B/C	PRI
1	-S/ 6,704.30	-70%	S/ 2,681.77	S/ 166.16	9386.07	0.29	3.30
2	-S/ 4,324.23	-26%	S/ 5,219.04	S/ 334.05	9553.96	0.55	3.19
3	-S/ 2,072.39	-2%	S/ 7,619.61	S/ 492.86	9712.77	0.78	3.14
4	S/ 58.12	11%	S/ 9,890.84	S/ 646.43	9866.34	1.00	3.13
5	S/ 2,073.84	19%	S/ 12,039.70	S/ 794.93	10014.84	1.20	3.17
6	S/ 3,980.96	24%	S/ 14,072.78	S/ 938.54	10158.45	1.39	3.26
7	S/ 5,785.32	28%	S/ 15,996.32	S/ 1,077.41	10297.32	1.55	3.39
8	S/ 7,492.46	30%	S/ 17,816.22	S/ 1,211.71	10431.62	1.71	3.56
9	S/ 9,107.63	31%	S/ 19,538.06	S/ 1,341.57	10561.48	1.85	3.77
10	S/ 9,577.26	32%	S/ 21,167.14	S/ 2,784.13	12004.04	1.76	-7.20
11	S/ 11,023.07	32%	S/ 22,708.44	S/ 2,905.57	12125.48	1.87	4.97
12	S/ 12,390.97	33%	S/ 24,166.70	S/ 3,023.01	12242.92	1.97	5.25
13	S/ 13,685.18	33%	S/ 25,546.39	S/ 3,136.57	12356.48	2.07	5.57
14	S/ 14,909.66	34%	S/ 26,851.74	S/ 3,246.38	12466.29	2.15	5.93
15	S/ 16,068.16	34%	S/ 28,086.76	S/ 3,352.57	12572.48	2.23	6.31

Nota. Evaluación económica para el primer escenario (Elaboración propia).

En la Tabla 36, también podemos visualizar la evaluación económica del sistema, con la diferencia del periodo ejecutable y la inversión inicial. Por ende, al ser mayor el tiempo de ejecución la tasa de interés disminuye (ecuación 26). Al ser mayor la inversión inicial, tanto el ahorro económico como el periodo de recuperación es relativamente más amplia. Los resultados indican que el ahorro económico será ya activa a partir del año doceavo, sin embargo, podemos deducir que a mediados de este año la tasa de interés superaría los 8.58%, para afirmar que el proyecto es rentable según esta variable económica. Por último, se concluye

que para el año 25 se tendrá un ahorro económico y/o ganancia de S/ 16,995.77, una tasa de interés de 15%, un Beneficio/Costo de S/ 1.56 y un periodo de recuperación de lo invertido en 7.09 años (7 años, 1 mes, 2.48 días).

Tabla 36

Evaluación económica con una tasa de interés 8.58%

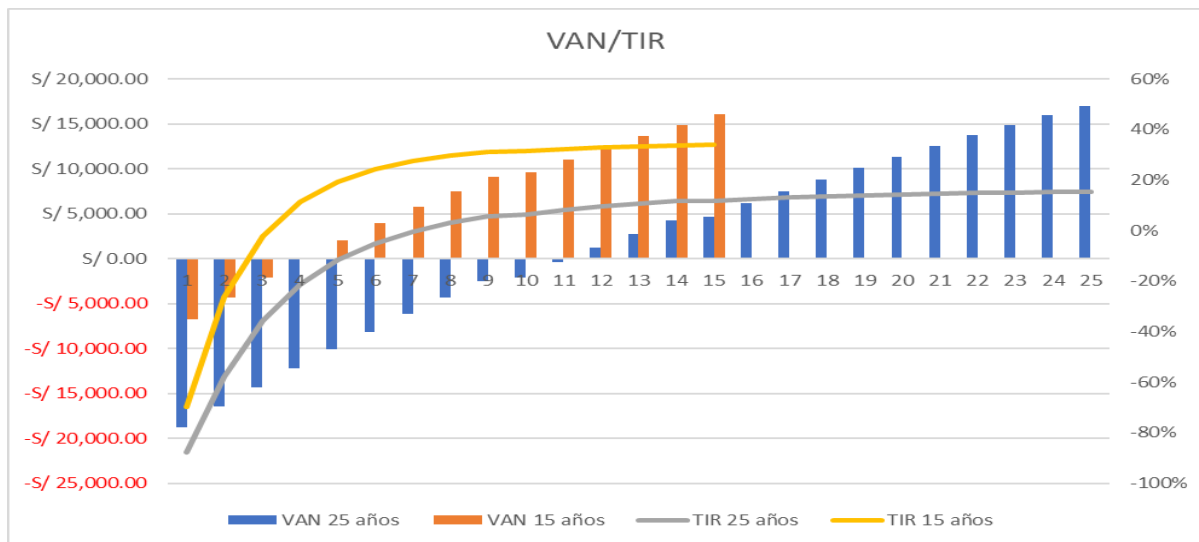
	VAN	TIR	Beneficio [VNA]	Costo [VNA]	Costo	B/C	PRI
1	-S/ 18,766.90	-88%	S/ 2,741.00	S/ 389.00	21507.91	0.13	8.27
2	-S/ 16,492.47	-58%	S/ 5,391.61	S/ 765.17	21884.08	0.25	7.92
3	-S/ 14,293.05	-36%	S/ 7,954.79	S/ 1,128.93	22247.84	0.36	7.64
4	-S/ 12,166.16	-21%	S/ 10,433.44	S/ 1,480.69	22599.60	0.46	7.42
5	-S/ 10,109.42	-12%	S/ 12,830.35	S/ 1,820.86	22939.77	0.56	7.26
6	-S/ 8,120.52	-5%	S/ 15,148.20	S/ 2,149.80	23268.71	0.65	7.15
7	-S/ 6,197.20	0%	S/ 17,389.61	S/ 2,467.90	23586.81	0.74	7.10
8	-S/ 4,337.32	3%	S/ 19,557.09	S/ 2,775.51	23894.42	0.82	7.09
9	-S/ 2,538.78	6%	S/ 21,653.09	S/ 3,072.97	24191.88	0.90	7.13
10	-S/ 2,116.54	6%	S/ 23,679.97	S/ 4,677.60	25796.51	0.92	1.68
11	-S/ 434.68	8%	S/ 25,640.00	S/ 4,955.77	26074.68	0.98	8.08
12	S/ 1,191.72	10%	S/ 27,535.38	S/ 5,224.76	26343.67	1.05	8.22
13	S/ 2,764.47	11%	S/ 29,368.25	S/ 5,484.87	26603.78	1.10	8.40
14	S/ 4,285.36	12%	S/ 31,140.68	S/ 5,736.41	26855.32	1.16	8.61
15	S/ 4,708.97	12%	S/ 32,854.65	S/ 7,026.76	28145.67	1.17	-3.81
16	S/ 6,131.20	13%	S/ 34,512.09	S/ 7,261.99	28380.90	1.22	9.84
17	S/ 7,506.51	13%	S/ 36,114.87	S/ 7,489.45	28608.36	1.26	10.13
18	S/ 8,836.47	14%	S/ 37,664.79	S/ 7,709.41	28828.32	1.31	10.46
19	S/ 10,122.56	14%	S/ 39,163.59	S/ 7,922.12	29041.03	1.35	10.82
20	S/ 11,366.24	14%	S/ 40,612.96	S/ 8,127.81	29246.72	1.39	11.21
21	S/ 12,568.90	15%	S/ 42,014.53	S/ 8,326.72	29445.63	1.43	11.63
22	S/ 13,731.90	15%	S/ 43,369.88	S/ 8,519.07	29637.98	1.46	12.07
23	S/ 14,856.54	15%	S/ 44,680.52	S/ 8,705.07	29823.98	1.50	12.55
24	S/ 15,944.09	15%	S/ 45,947.94	S/ 8,884.94	30003.85	1.53	13.05
25	S/ 16,995.77	15%	S/ 47,173.56	S/ 9,058.88	30177.79	1.56	13.57

Nota. Evaluación económica para el segundo escenario (Elaboración propia).

En la Figura 61, se puede apreciar gráficamente todo lo dicho anterior, se puede ver claramente entre las diferencias de VAN-TIR de ambas situaciones planteadas. Estos resultados ya fueron difundidos en los comentarios de la Tabla 35 y Tabla 36.

Figura 61

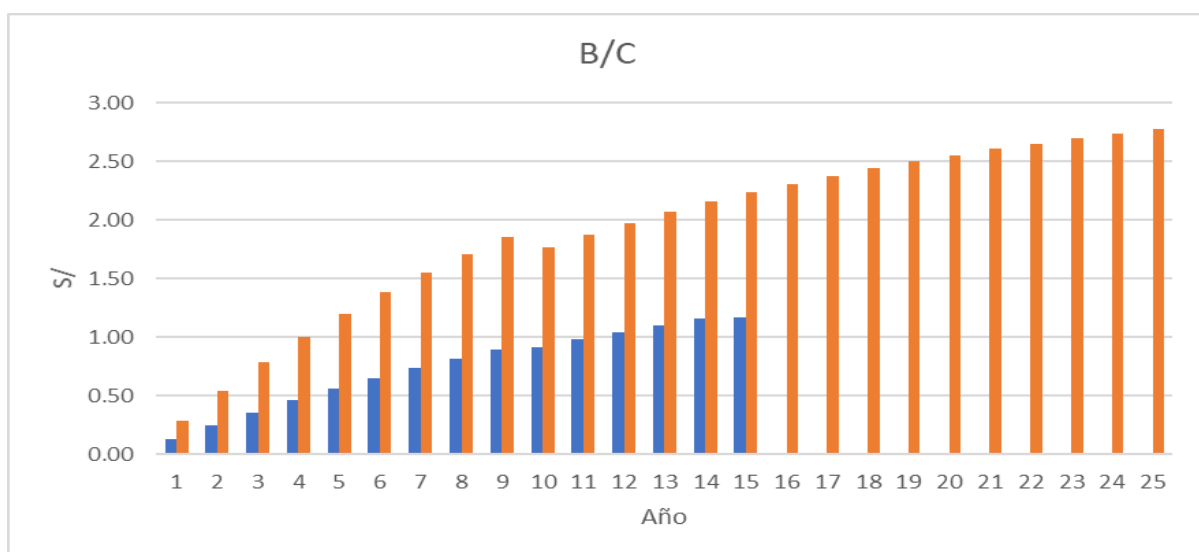
Relación VAN/TIR para ambas situaciones.



En la Figura 62, podemos visualizar la diferencia de la relación entre B/C para ambos casos. la primera situación se destaca una diferencia a partir del año 10, esto debido a la renovación de las baterías (incremento de costo), por ende, la relación de B/C disminuye. Sin embargo, para la segunda situación no se observa una anomalía en la relación B/C, este sigue incrementando ya que los valores del costo y beneficio se mantienen semejantes.

Figura 62

Relación B/C para ambas situaciones.



4.3.2 Costo nivelado de energía.

El valor del Costo Nivelado de Energía (LCOE) se calcula como la relación entre la suma de todos los costos de egreso y la inversión inicial durante un periodo de 25 años, y la generación de energía total a lo largo de ese mismo periodo.

Según la Tabla 37, el total de costos es de S/ 47,877.80 y la generación de energía es de 124,008.75 kWh en 25 años. Este valor de generación se estimó a partir de una producción fotovoltaica mínima diaria de 13.59 kWh. El LCOE resultante es de 0.39 soles/kWh, lo que representa una diferencia de S/ 0.21 con respecto al precio de la electricidad proveniente de la red pública.

Tabla 37

Cálculo del costo nivelado de energía.

LCOE	
Costo total durante 25 años	S/ 47,877.80
Generación durante 25 años	124,008.75 kWh
LCOE	0.39 Soles/kWh
Costo de la red	S/ 0.6
Diferencia	S/ 0.21

Nota. LCOE (Elaboración propia).

Para analizar el ahorro económico que ofrece la instalación de este sistema fotovoltaico, en comparación con el costo de la tarifa eléctrica durante un periodo de 25 años.

Tabla 38

Ahorro económico

	Fotovoltaico autónomo	Red pública
Generación durante 25 años	124,008.75Kw	124,008.75kW
Precio por kWh	S/ 0.39	S/ 0.60
Precio generado durante 25 años	S/ 47,877.7961	S/ 74, 405.3
Ahorro		26,527.45

Nota. El ahorro que se muestra fue obtenido a partir del LCOE (Elaboración propia).

Tabla 38, que detalla el ahorro económico del sistema fotovoltaico autónomo en comparación con el costo de la red pública. Se indica que la generación total durante 25 años es de 124,008.75 kWh para ambos sistemas. El precio por kWh es de S/ 0.39 para el sistema fotovoltaico y de S/ 0.60 para la red pública. El precio generado durante los 25 años se calcula

en S/ 47,877.7961 para el sistema autónomo y en S/ 74,405.3 para la red pública. El ahorro total resultante es de S/ 26,527.45.

4.3.3 Escenarios de Sensibilidad.

El objetivo de los escenarios de sensibilidad presentados es determinar la robustez del proyecto y establecer el umbral crítico ante las fluctuaciones de variables clave. Estas variables incluyen el precio por kWh, la inversión inicial, el mantenimiento inicial y sus incrementos, así como el incremento del precio de la energía. El análisis busca identificar el punto a partir del cual la inversión podría dejar de ser favorable, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones estratégicas frente a posibles cambios.

Fluctuación del precio de kWh.

En este apartado se analiza el impacto de la variación del precio por kWh en los indicadores económicos del proyecto. Para ello, se consideró un rango de oscilación entre el 5% y el 40% del precio inicial de S/ 0.6 por kWh. Según la Tabla 39, cuando el precio por kWh desciende, los indicadores económicos experimentan cambios significativos. Sin embargo, el costo nivelado de energía (LCOE) no se ve afectado por esta variación, manteniendo un valor estable de S/ 0.39. A pesar de ello, el ahorro económico total se reduciría.

Tabla 39

Fluctuación del precio por kWh (cuando incrementa).

Sensibilidad	Precio kWh	VAN	TIR	B/C	PRI	LCOE	Ahorro
5%	S/ 0.57	S/ 14,637.09	15%	S/ 1.49	7.45	S/ 0.39	S/ 0.18
10%	S/ 0.54	S/ 12,278.42	14%	S/ 1.41	7.87	S/ 0.39	S/ 0.15
15%	S/ 0.51	S/ 9,919.74	13%	S/ 1.33	8.32	S/ 0.39	S/ 0.12
20%	S/ 0.48	S/ 7,561.06	12%	S/ 1.25	8.83	S/ 0.39	S/ 0.09
25%	S/ 0.45	S/ 5,202.38	11%	S/ 1.17	10.46	S/ 0.39	S/ 0.06
30%	S/ 0.42	S/ 2,843.70	10%	S/ 1.09	11.18	S/ 0.39	S/ 0.03
35%	S/ 0.39	S/ 485.03	9%	S/ 1.02	12.02	S/ 0.39	S/ 0.00
40%	S/ 0.36	-S/ 1,873.65	8%	S/ 0.94	16.51	S/ 0.39	-S/ 0.03

Nota. Análisis de sensibilidad (Elaboración propia).

En la Tabla 40, se observa que, en el instante que el precio por kWh se incrementa, los indicadores económicos experimentan cambios significativos, siendo beneficioso para

ejecución del proyecto. El costo nivelado de energía, al igual que en la Tabla 41, este valor no es influenciado por este cambio. Sin embargo, el ahorro sería cada vez mucho mayor.

Tabla 40

Fluctuación del precio por kWh (cuando disminuye).

Sensibilidad	Precio kWh	VAN	TIR	B/C	PRI	LCOE	Ahorro
5%	S/ 0.63	S/ 19,354.45	16%	S/ 1.64	6.76	S/ 0.39	S/ 0.24
10%	S/ 0.66	S/ 21,713.13	17%	S/ 1.72	6.45	S/ 0.39	S/ 0.27
15%	S/ 0.69	S/ 24,071.81	18%	S/ 1.80	6.18	S/ 0.39	S/ 0.30
20%	S/ 0.72	S/ 26,430.48	19%	S/ 1.88	5.93	S/ 0.39	S/ 0.33
25%	S/ 0.75	S/ 28,789.16	19%	S/ 1.95	5.69	S/ 0.39	S/ 0.36
30%	S/ 0.78	S/ 31,147.84	20%	S/ 2.03	5.47	S/ 0.39	S/ 0.39
35%	S/ 0.81	S/ 33,506.52	21%	S/ 2.11	5.27	S/ 0.39	S/ 0.42
40%	S/ 0.84	S/ 35,865.20	22%	S/ 2.19	5.09	S/ 0.39	S/ 0.45

Nota. Análisis de sensibilidad (Elaboración propia).

Fluctuación de la inversión inicial.

La Tabla 41, detalla los efectos de fluctuaciones del 5%, 15%, 30% y 50% en la inversión inicial del proyecto. Cuando la inversión inicial disminuye, los indicadores económicos mejoran. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es mucho mayor que la tasa de descuento aplicada, y el periodo de recuperación se reduce. Del mismo modo, el ahorro económico, en comparación con la tarifa eléctrica de la red pública, tiende a incrementarse, ya que el costo de la energía del sistema fotovoltaico se vuelve menor.

Tabla 41

Fluctuación de la inversión inicial.

	Sens.	Inversión inicial	VAN	TIR	B/C	PRI	LCOE	Ahorro
Disminuye	5%	S/ 20,062.96	S/ 18,386.46	16%	S/ 1.64	6.74	S/ 0.37	S/ 0.23
	15%	S/ 17,951.07	S/ 21,167.83	18%	S/ 1.81	6.04	S/ 0.34	S/ 0.26
	30%	S/ 14,783.24	S/ 25,339.88	22%	S/ 2.16	4.99	S/ 0.29	S/ 0.31
	50%	S/ 10,559.46	S/ 30,902.62	30%	S/ 2.90	3.58	S/ 0.22	S/ 0.38
Incrementa	5%	S/ 22,174.86	S/ 15,605.09	15%	S/ 1.49	7.44	S/ 0.40	S/ 0.20
	15%	S/ 24,286.75	S/ 12,823.72	13%	S/ 1.37	8.14	S/ 0.44	S/ 0.16
	30%	S/ 27,454.58	S/ 8,651.66	11%	S/ 1.22	9.9	S/ 0.49	S/ 0.11
	50%	S/ 31,678.37	S/ 3,088.92	10%	S/ 1.07	11.37	S/ 0.55	S/ 0.05

Nota. Análisis de sensibilidad (Elaboración propia).

Por el contrario, si la inversión inicial aumenta, los indicadores económicos pueden ser menos favorables. No obstante, es importante recalcar que, incluso con un incremento del 50% en la inversión inicial, el Valor Actual Neto (VAN) se mantiene positivo y la TIR es del 10%, un valor superior a la tasa de descuento.

Fluctuación de valores incrementales.

En la Tabla 42 se detallan los cambios producidos al disminuir e incrementar los valores para el mantenimiento inicial, el incremento del mantenimiento anual y el incremento de la energía anual. Se observa que una alteración mínima en el "mantenimiento inicial" y en el "incremento de energía" genera una diferencia significativa en los valores resultantes. En contraste, las variaciones en el "incremento de mantenimiento" son menos perceptibles.

Es importante destacar que el costo nivelado de energía (LCOE) del sistema fotovoltaico y el ahorro económico dentro de la sección "incremento de energía" se mantienen estables. Esto indica que este ítem no influye directamente en el costo total del sistema ni en la generación de energía.

Tabla 42

Fluctuación de valores incrementales.

Tipo	Sensibilidad	VAN	TIR	B/C	PRI	LCOE	Ahorro
Mantenimiento inicial	0.01	S/ 20,343.16	17%	S/ 1.16	6.62	S/ 0.30	S/ 0.30
	0.03	S/ 13,648.38	14%	S/ 1.41	7.62	S/ 0.47	S/ 0.13
Incremento de mantenimiento	0.04	S/ 17,608.92	16%	S/ 1.60	7.06	S/ 0.37	S/ 0.23
	0.06	S/ 16,294.08	15%	S/ 1.53	7.12	S/ 0.41	S/ 0.19
Incremento de energía	0.04	S/ 12,675.36	14%	S/ 1.42	7.32	S/ 0.39	S/ 0.21
	0.06	S/ 21,940.14	17%	S/ 1.73	6.88	S/ 0.39	S/ 0.21

Nota. Análisis de sensibilidad (Elaboración propia).

Fluctuación del costo de inversor/cargador y baterías.

La Tabla 43, detalla los posibles escenarios de variación en los costos del inversor/cargador y las baterías. El análisis considera dos casos: uno en el que el precio de compra del inversor/cargador se incrementa y otro en el que el precio de estas tecnologías desciende. Estas estimaciones se basan en una evaluación previa de los diferentes costos de los equipos disponibles en el mercado.










Tabla 43*Fluctuación del costo de inversor/cargador y baterías.*

	VAN	TIR	B/C	PRI	LCOE	Ahorro
7500/4000	S/ 14,903.95	15%	S/ 1.46	7.09	S/ 0.43	S/ 0.17
5000/3000	S/ 16,292.3	15%	S/ 1.53	7.09	S/ 0.4	S/ 0.2

Nota. Análisis de sensibilidad., (Elaboración propia).**4.3.4 Resultado de la evaluación económica mediante el software Homer Pro.**

La Figura 63 muestra los resultados emitidos por el software HOMER Pro, exponiendo tres escenarios de insuficiencia de capacidad en valores porcentuales. El primer escenario (0% de insuficiencia) indica que el sistema opera a plena capacidad durante los 12 meses del año. El segundo escenario, con un 10% de insuficiencia, implica que el sistema no podrá satisfacer la demanda durante 1.2 meses (37.2 días) del año. El siguiente valor, de 0.6 meses (18.6 días), indica un tercer escenario de insuficiencia. Este criterio es de gran valor para evaluar la resiliencia del sistema y anticipar situaciones que podrían impedir un flujo de trabajo óptimo.

Figura 63*Resultados económicos con distintas insuficiencias de capacidad.*

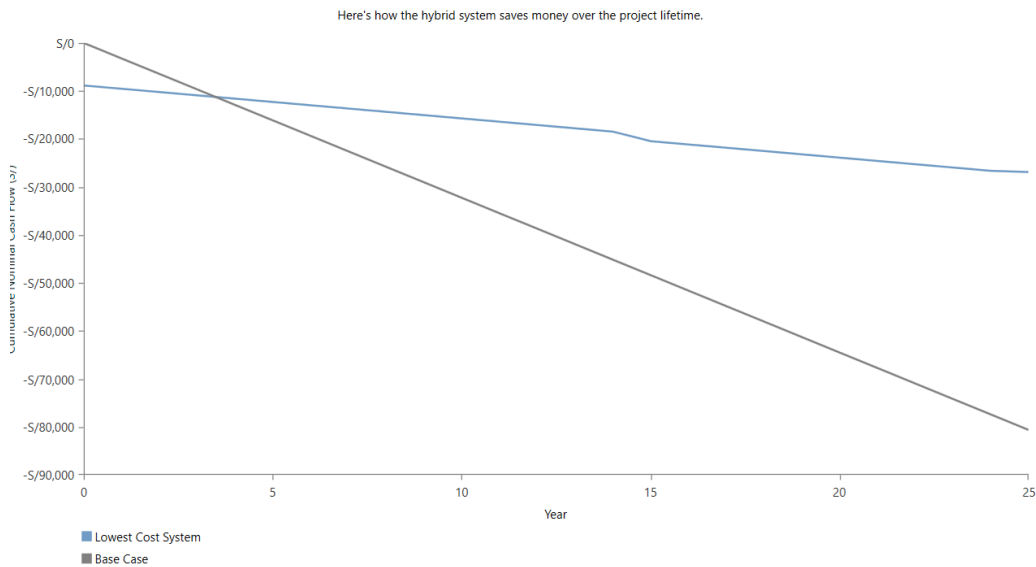
Sensitivity	Architecture	Cost			
Capacity Shortage (%)		NPC (S/)	COE (S/)	Operating cost (S//yr)	Initial capital (S/)
0	  	S/46,775	S/0.781	S/1,644	S/26,830
10.0	  	S/22,277	S/0.384	S/742.50	S/13,267
5.00	  	S/24,517	S/0.416	S/799.39	S/14,816

Los resultados del análisis de costos presentan dos valores principales. El primero es el Costo Actual Neto (NPC), que representa el costo total a lo largo de la vida útil del sistema fotovoltaico e incluye los costos de capital, reemplazo de equipos y mantenimiento. El segundo valor es el Costo de Energía (COE), que indica el coste promedio por kWh de la energía eléctrica útil producida por el sistema.

En el gráfico, el "Lowest Cost System" (representado por la línea azul) muestra un flujo de caja acumulado más favorable que el "Base Case" (representado por la línea gris). El eje horizontal representa los años (de 0 a 25) y el eje vertical el flujo de caja nominal acumulado en soles (S/). Se observa un cambio en la pendiente de la curva del ahorro alrededor del año 15, lo que se atribuye a los costos de mantenimiento o reemplazo de equipos.

Figura 64

Relación entre ahorro y vida útil del sistema.



Los resultados de la evaluación económica también detallan la variación del capital inicial en función de la sensibilidad proyectada. La Figura 64 es un gráfico que ilustra la relación entre la vida útil del sistema y el flujo de caja nominal acumulado a lo largo de 25 años.

4.4 Discusión de la investigación.

El diseño energético del sistema fotovoltaico se abordó mediante dos metodologías complementarias: un método teórico de cálculo y la simulación en el software SAM (System Advisor Model). Los resultados obtenidos para las pérdidas del sistema fueron del 25.1% por el método teórico y 27.97% por el software SAM. La diferencia relativamente pequeña entre ambos resultados indica una coherencia en el modelo propuesto. El factor de rendimiento (PR) resultante fue de 70.9% para el método teórico y 72.03% para la simulación con SAM. Esta ligera superioridad del PR en el software SAM puede atribuirse a la capacidad de este programa para simular con mayor precisión las condiciones ambientales y de operación del sistema, como la incidencia solar, las pérdidas por suciedad y la eficiencia de los componentes en tiempo real. Según, Cruz (2019) reportó un factor de rendimiento del 79.0% en un sistema similar, logrando una producción significativamente mayor. Este resultado superior se explica por una disminución del 3% en las pérdidas por temperatura, lo que subraya la importancia de factores externos y de la tecnología específica en el rendimiento del sistema. De manera similar, el estudio de Restrepo & Grisales (2018) obtuvo un factor de rendimiento del 75.55% con pérdidas totales del 24.45%. La diferencia de nuestro factor de rendimiento con el de Restrepo & Grisales, si bien no es sustancial, puede deberse a la tecnología de los componentes

seleccionados, la ubicación geográfica o las condiciones de operación específicas. En nuestro caso, la coincidencia entre los resultados teóricos y simulados fortalece la validez de nuestra propuesta de diseño.

Respecto a los resultados obtenidos mediante el monitoreo de la producción del Generador Fotovoltaico (GFV) a través de ShineServer, se observó que la energía registrada no alcanzó los valores proyectados en el dimensionamiento energético del sistema. La discrepancia entre la energía real y la energía calculada resultó en un error relativo del -13.17%, el cual fue determinado utilizando la ecuación:

$$E_{relativo} = \frac{E_{absoluto}}{X_{exacto}} * 100 = \frac{X - X_{exacto}}{X_{exacto}} * 100 \quad (32)$$

En contraste, el monitoreo de la producción del GFV realizado mediante LabVIEW arrojó un error relativo significativamente menor, del 6.91%. Este resultado sugiere que, a través de LabVIEW, los parámetros de corriente, voltaje y potencia se registraron dentro de un rango más ajustado al diseño. Por lo tanto, el sistema de monitoreo con LabVIEW proporcionó una estimación de producción más exacta a la del diseño calculado, indicando una mayor confiabilidad en la adquisición de datos.

Hablando estrictamente con relación a lo económico, entre los proyectos ya instalados en la universidad nacional de Juliaca-Ayabacas, con una similitud de capacidad fotovoltaica a 3kW, existe una diferencia presupuestal promedio del 24%, es decir que el proyecto planteado tiene un costo menor, pero esto no significa que el proyecto sea significativamente superior, puesto que cada proyecto consta de distintas tecnologías. Así mismo las variables económicas VAN tienen una diferencia del 32.68% a favor de este proyecto con respecto al autor (Chávez, 2020) y del 14.96% de diferencia en contra con respecto al autor (Chura, 2020). conviene enfatizar que este proyecto tiene un periodo corto de recuperación en comparación a los autores mencionados y aun así si el presupuesto inicial tuviese un incremento del 15% respecto a este mismo, el periodo de recuperación sería siendo menor parangonando respecto a los autores mencionados, teniendo en cuenta que el valor actual neto no disminuya la diferencia a favor que se tenía. Por otra parte, la diferencia sobre el valor acumulado neto entre el desarrollo en HOMER PRO y la metodología según el autor Creus, se tiene un beneficio VAN con una diferencia del 0.84%.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

Este proyecto de investigación ha demostrado una efectiva implementación del sistema fotovoltaico de 5.0 kW, compuesto con un inversor/cargador y un banco de baterías LiFePO₄-ZTT, diseñado cuidadosamente con herramientas como SketchUp, AutoCAD y optimizado mediante simulaciones en SAM para asegurar permanentemente su operatividad y rendimiento. Los resultados económicos, evaluados por un periodo de 25 años y simulado en HOMER Pro, confirman una elevada rentabilidad y un retorno de inversión favorable, lo que asegura la viabilidad y el valor estratégico de esta solución energética autónoma para una carga del centro de cómputo, garantizando un suministro eléctrico permanente, estable y con un valor significativo en la reducción de los costos por medio del ahorro energético.

El diseño y modelado del sistema se ejecutaron de manera precisa utilizando el software SketchUp 3D y AutoCAD, el cual facilitó una visualización tridimensional realista del sistema, diagrama unifilar, diagrama arquitectónico, diagrama eléctrico y diagrama general. Para ello, se integraron las medidas exactas del generador fotovoltaico (GFV), el inversor/cargador, las baterías, las estructuras de soporte y los gabinetes de protección, así como la perspectiva de la fachada de la sala de cómputo, logrando una representación de la implementación. La selección de los componentes se realizó mediante el método de Amperio-hora, este enfoque permitió dimensionar de manera óptima los componentes. Como resultado de este proceso, se seleccionó un inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW y un banco de baterías LiFePO₄-ZTT, asegurando que el sistema fotovoltaico con inversor/cargador Growatt SPF 5.0 kW logró cubrir de forma eficiente y continua la demanda eléctrica del centro de cómputo con una energía anual 5,704.52kW/h. Adicionalmente, se incorporó un estudio de simulación en el software SAM, utilizando los componentes seleccionados y la ubicación geográfica del proyecto. Esta simulación fue crucial para la optimización del diseño, obteniéndose resultados de una producción anual 5,615kW/h que validan la eficiencia del sistema propuesto.

La implementación del sistema de generador fotovoltaico (GFV), que integra tecnologías de un inversor/cargador de 5.0 kW con conexión a la red y un sistema de almacenamiento basado en un banco de dos baterías LiFePO₄-ZTT mejora la seguridad, eficiencia y vida útil del sistema. Este logro se debe a la adecuada selección e implementación de los componentes de

producción, almacenamiento y protección, así mismo la configuración SBU demostró ser efectiva para priorizar energía solar, optimizando el uso de baterías y reduciendo el consumo de red, a saber, qué el sistema de almacenamiento en un día de autonomía, garantiza el suministro continuo de energía a las cargas críticas del centro de cómputo ante cualquier interrupción en la generación fotovoltaica. Finalizando la implementación con éxito el monitoreo dual a través de ShineServer y LabVIEW, proporciona un control exhaustivo y una trazabilidad precisa del rendimiento.

Para la evaluación económica durante un periodo de 25 años con una tasa de interés del 8.58% se obtuvo un VAN de S/ 16,995.77, TIR con 15%, PRI de 7.09 años y un B/C de S/ 1.56. Confirma la rentabilidad del proyecto, con un periodo de recuperación aceptable y beneficios sostenibles, con una combinación de un VAN positivo, una TIR superior al costo de capital y un período de recuperación de la inversión relativamente corto, hacen de este proyecto un valor necesario. Además de ello se considera que el ahorro anual es del 22.53% considerando el consumo promediado de toda la comunidad Ayabacas según recibo de luz del año 2024 (julio-octubre). Conjuntamente con esto, podemos reafirmar que la rentabilidad del proyecto es viable, por los resultados obtenidos mediante la simulación realizada en HOMER Pro, con un coste actual neto de S/ 46,775.00 y un coste medio de S/0.781.

5.2 Recomendaciones.

Para futuras expansiones del sistema o para incrementar la potencia disponible, se recomienda la posibilidad de conectar inversores/cargadores Growatt SPF-5.0kW en paralelo. Esta configuración permite escalar la capacidad del sistema fotovoltaico y asegurar un suministro más amplio. Sin embargo, es crucial garantizar que los inversores/cargadores seleccionados sean intrínsecamente compatibles para la operación en paralelo, seguir estrictamente las especificaciones de la instalación, y asegurar un dimensionamiento preciso del cableado y la correcta sincronización entre las unidades. Se sugiere realizar un estudio técnico exhaustivo.

Para optimizar la comprensión y el rendimiento de sistemas fotovoltaicos futuros, se recomienda la implementación de instrumentación electrónica capaz de adquirir datos meteorológicos y ambientales en tiempo real (temperatura del módulo, temperatura ambiente e irradiancia). Esta capacidad de monitoreo exhaustivo no solo permitiría un análisis más profundo del comportamiento del sistema, sino que también facilitaría la investigación del impacto de otras variables cruciales no consideradas, tales como la velocidad del viento o la

acumulación de suciedad y polvo en los paneles. Complementariamente, y para garantizar la seguridad y optimizar la operatividad del personal involucrado, se recomienda encarecidamente el uso sistemático de los Equipos de Protección Personal (EPP) adecuados y la consulta rigurosa de las fichas técnicas de todos los equipos manipulados.

Se recomienda para aumentar la capacidad de almacenamiento energético autónomo del sistema, la conexión en paralelo las baterías LiFePO₄-ZTT. Sin embargo, es crucial asegurar que las baterías utilizadas sean del mismo lote de fabricación, capacidad y estado de carga inicial para promover un equilibrio de corriente óptimo y evitar descompensaciones. Asimismo, un dimensionamiento preciso del cableado y la incorporación de protecciones adecuadas son fundamentales para una distribución equitativa de la corriente y la salvaguarda del sistema. Se aconseja siempre consultar las especificaciones técnicas del fabricante para la correcta implementación de configuraciones en paralelo.

Se recomienda profundizar las investigaciones de estudio con respecto al sistema implementado, hacer evaluaciones o comparativas entre los rendimientos de otros sistemas, incluyendo variaciones en el número de módulos, configuraciones de inversores y ubicaciones geográficas. Como también implementar más módulos fotovoltaicos para así aprovechar al máximo el rendimiento del inversor/cargador con 5.0kW, ya que haciendo unas preevaluaciones este tendría como soporte máximo demanda 21080W, considerando la hora solar pico de 5.27kW/m², pérdidas del sistema 0.8%. obtendríamos un ahorro aproximado del 38% de lo que se paga anualmente de consumo eléctrico en toda la comunidad Ayabacas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza, A. (2021). *Predicción del estado de carga de baterías para sistemas fotovoltaicos en el sector minero utilizando técnicas de aprendizaje automático supervisado*. Universidad Católica de Santa María. Arequipa – Perú: Universidad Católica de Santa María.
- Aquaclimat. (2024). *Interfaz de Internet GROWATT Shine WiFi-F*. Obtenido de Aquaclimat: <https://aquaclimat.com.ua/product/internet-interfejs-growatt-shine-wifi-f>
- Araujo, A. (2022). *Estudio para la implementación de iluminación artificial mediante paneles solares fotovoltaicos para la plaza las Américas en el distrito de cerro colorado-Arequipa*. Arequipa-Perú.
- Archiexpo/conect. (2023). *Sunmodule Plus SW 250-260 poly*. Obtenido de <https://pdf.archiexpo.com/pdf/solarworld/sunmodule-plus-sw-250-260-poly/68366-267378.html>
- Autodesk Inc. (2024). AutoCAD (Versión 2023) [Software de diseño CAD].
- Barbaran, D. (2024). *Diseño de un sistema de energía solar eléctrica y térmica en una edificación multifamiliar de la ciudad de Ayacucho*. Pontificia universidad católica del Perú, Lima.
- Battery University. (2024). *¿Cómo funcionan las baterías de litio?* Obtenido de Battery University: <https://batteryuniversity.com/article/bu-204-how-do-lithium-batteries-work>
- Battery university. (2024). *BU-409: Carga de iones de litio*. Obtenido de <https://batteryuniversity.com/article/bu-409-charging-lithium-ion>
- Brenis, J. (2024). *Propuesta de utilización de un sistema de vidrio solar fotovoltaico integrado en edificaciones (BIPV) para un hotel de la ciudad de Chiclayo*. Universidad catolica santo toribio de mogrovejo. Chiclayo: Repositorio USAT.
- BSLBATT. (08 de mayo de 2024). *Guía principal de baterías en paralelo y serie*. Obtenido de <https://www.bsl-battery.com/es/news/how-to-connect-lithium-solar-batteries-in-series-and-parallel/>

- Calle, J. (2024). *Dimensionamiento e implementación de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía a una vivienda en la zona rural del departamento de Piura*. Universidad Tecnología del Perú, Lima-Perú.
- Campoverde, M. (2021). *Análisis del factor de planta de un sistema fotovoltaico en la provincia de Cotopaxi a partir de su disponibilidad de generación y la radiación solar*. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga.
- Carlo Gavazzi. (2024). *EM24 Energy analyzer for three-phase systems*. Obtenido de Autosolar: <https://cdn.autosolar.pe/pdf/ficha-tecnica-vatimetro-3200236.pdf>
- Carvalho, R. (2021). *Diseño de un sistema fotovoltaico en la carrocería de una unidad médica móvil para suministrar energía eléctrica a equipos biomédicos en zonas alejadas de Lambayeque*. Universidad católica santo Toribio de modrovejo, Chiclayo.
- Cevallos, H., Lindao, C., & Layana, P. (09 de enero de 2020). Implementación de un sistema SCADA en LabVIEW para el control automatizado del módulo solar EPH2 del laboratorio de instrumentación. *Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Chávez, V. (2020). *Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCCR) de 3 kW con convertidores CC/CC analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca*. Universidad Nacional de Juliaca, Juliaca.
- Choque, D. (2022). *Diseño, implementación y evaluación económica de un sistema fotovoltaico aplicado a una máquina de ordeño mecánico*. Universidad nacional de Juliaca.
- Chunga, I. (2020). *Diseño de un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para el radar de lluvias de UDEP*. Piura.
- Chura, V. (2020). *Diseño, implementación y análisis económico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCCR) de 3 kW con inversor string analizado en las condiciones geográficas y climatológicas de la ciudad de Juliaca*. Universidad nacional de Juliaca, Juliaca.

- Condori, R., Castañón, N., Cordova, I., & Ramos, J. (2019). *Diseño e implementación de un analizador con sistema Scada para evaluación de parámetros de funcionamiento de un mini parque solar fotovoltaico de 2.0 kW en sistemas aislados y conectados a red para la UNAJ*. Juliaca.
- Cornejo, H. (2013). *Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el centro materno infantil de la universidad de piura*. Piura: Repositorio Institucional PIURA.
- Coronado, V. (2023). *Dimensionamiento de un sistema híbrido solar fotovoltaico y eólico para la iluminación de carreteras*. Universidad católica santos toribio de mogrovejo, Chiclayo.
- Creus, A. (2014). *Energías renovables*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Cristobal, R. (2023). *Diseño de un sistema de almacenamiento de Energía Solar Fotovoltaica para el Centro Poblado de Bramadero, Departamento de Ancash*. Universidad Tecnológica del Perú, Lima-Perú.
- Cruz, J. (2019). *Diseño de un generador solar fotovoltaico en hacienda bella dona*. Universidad Tecnología Centroamericana, San Pedro.
- Derlis, A. R. (2022). Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autonomos. Obtenido de <http://servicios.fpune.edu.py:83/fpunescientific/index.php/fpunescientific/article/view/89/88>
- Diaz, L. (2025). *Diseño de un sistema híbrido solar fotovoltaico-biogás para generación de energía eléctrica en el centro poblado La Valle–Tumán*. Universidad catolica santo toribio de mogrovejo. Chiclayo: Repositorio USAT.
- DS New Energy. (2023). *Sistema fotovoltaico conectado a la red residencial de 5kw*. Obtenido de DS New Energy: <https://acortar.link/o8EgqX>
- Ecco solar Perú. (2023). *Características del Inversor cargador 5000W 48V Growatt*. Obtenido de Ecco solar Perú: <https://n9.cl/pvamm>
- Ecofener. (2024). *Todo lo que debes saber sobre las baterías AGM y Gel*. Obtenido de Ecofener: <https://ecofener.com/blog/diferencias-baterias-agm-y-gel/>

- Farina, A. (octubre de 2019). Los tableros eléctricos según la Reglamentación para la ejecución de las instalaciones eléctricas en inmuebles 90364 (RIEI). *Tablero Electrico*. Obtenido de https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie347_si_farina_tableros_electricos_parte_4.pdf
- FEEO. (2024). *Produccion Profesional de productos solares fotovoltaicos*. Obtenido de FEEO: <https://www.feeo.com.cn/>
- Figueroa, D., & Culqui, J. F. (02 de junio de 2022). Modelamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red considerando la variacion de irradiancia solar en Homer pro. *Dialnet*. Obtenido de Homero Energía.
- Gil, L. (2022). *Diseño de instalaciones fotovoltaicas conectada a red para autoconsumo en tres edificios municipales*. Universidad politecnica de madrid, Madrid.
- Growatt. (2024). *Manual de Usuario Growatt*. Obtenido de Inversor solar autonomo: <https://cdn.autosolar.es/pdf/growatt-spf-3500-5000-es-manual-castellano.pdf>
- Guzman, M. (2023). *Propuesta de implementación de un diseño de iluminación ornamental sobre esculturas conectado a un sistema fotovoltaico para el paseo Yortuque*. Universidad católica santo toribio de mogrovejo. Chiclayo: Repositorio USAT.
- Halty, M. (2020). *Análisis de la acumulación de energía y su aplicación en Uruguay*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la republica Uruguay.
- HOMER Pro. (2024). Three powerful tools in one software product. *Homer Energy*. Obtenido de <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>
- IRENA. (2020). Rise of renewables in cities. *International Renewable Energy Agency*. Obtenido de <https://n9.cl/1al35>
- IRENA. (11 de abril de 2022). Renewable capacity highlights. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2022.pdf
- JOOM. (2024). *Protección de actualización Convertidor RS232/RS485 USB a RS232 RS485 Módulo de comunicación*. Obtenido de JOOM: <https://surl.li/hqcubb>

- Jorges, K. E. (2021). *Desarrollo de las Instalaciones Eléctricas del Mercado de abastos del Distrito La Encañada - Cajamarca*. Universidad la Tecnología del Perú, Lima-Perú.
- Kun, H., Mcculloch, M., & Wallom, D. (2022). Optimal sizing of solar photovoltaic and lithium battery storage to reduce grid electricity reliance in buildings. *Engineering Science*.
- Leon, K., & Fernandez , M. (2021). *Diseño de un sistema fotovoltaico e interconectado a la red para la produccion del costo de energia electrica de la empresa motorex S.A*. Universidad nacional de callao, Callao.
- Llopis, F. (2021). *Diseño e implementación de un regulador de carga solar para baterías de litio*. Universidad de la Laguna, San Cristóbal de La Laguna-España.
- Mehedi, H. (2021). *Design 50MW large scale PV power plant considering Bangladeshi Climate*. Uppsala Universitet, Bangladesh.
- MINAM. (2023). Inventario Invernadero 2000-2019. *Ministerio del Ambiente*. Obtenido de https://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2023/01/Informe-INGEI-2019-VF_2.pdf
- MINEM. (25 de enero de 2024). Producción eléctrica nacional con Energías Renovables representó el 8.2% del total en noviembre de 2023. *Ministerio de Energías y Minas*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias?sheet=31>
- Monsolar. (2024). *Ficha tecnica panel solar solarworld 250p*. Obtenido de Monsolar.com: https://www.monsolar.com/pdf/Ficha_tecnica_panel_solar_solarworld_poly_250.pdf
- Moreno, S. (2022). *Diseño de una instalación fotovoltaica para una empresa de gestión integral de residuos*. Universidad politécnica de cartagena, Cartagena.
- Narvaez, F. (2023). *Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico para la electrificación de la institución educativa pública N.º 20956 - 6 del anexo de Chaucha, Tomas, Yauyos,Lima*. Universidad continental, Huancayo.
- Necochea, P., & Ramirez, W. (2016). *Diseño de un sistema fotovoltaico para abastecer parte del consumo de energía eléctrica en un domicilio tipo R4 en la ciudad de Trujillo-2016*. Trujillo.

- Neha, C., Neelam, B., & Shailendra, S. (2019). *Avances recientes en electrolitos no inflamables para baterías de iones de litio más seguras*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2313-0105/5/1/19>
- New Energy. (2023). *Conexión a la red (en la red) Sistema solar*. Obtenido de DC New Energy: <https://www.dsisolar.com/on-grid-solar-power-system/residential-on-grid-solar-power-system/5kw-residential-grid-connected-pv-system.html>
- NOM. (2021). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Electricas. *NOM-001*.
- NOVUM. (2024). *Almacenamiento de energía*. Obtenido de Novum solar: <https://novumsolar.com/soluciones/almacenamiento-de-energia>
- NREL. (2023). *System Advisor Model-Fotovoltaico*. Obtenido de Modelo de Asesor de Sistemas SAM: <https://sam.nrel.gov/>
- NREL. (2024). Fotovoltaica modelo detallada. *Modelo de Asesor de sistemas (SAM)*. Obtenido de <https://sam.nrel.gov/photovoltaic.html>
- Olivo, E. J., & Chango, W. O. (2023). *Implementación de un Sistema de Energia Fotovoltaica para Electrificación en Zona costera de la Provincia de Guayas*. Universidad Politécnica Salesiana, Guayas-Ecuador.
- Pandero, D. (2021). *Diseño y viabilidad económica de una instalación fotovoltaica para autoconsumo colectivo de potencia pico 36,45 kw con almacenamiento de 50 kwh en batería de litio de alta tensión, ubicada en el barrio marchalenes de valencia*. Master en ingeniería indust. Universidad politécnica de Valencia.
- Peratikuo, S., & Charalambides, A. (06 de agosto de 2021). Estimación de la producción de electricidad fotovoltaica en condiciones de cielo despejado sin datos exógenos. *Universidad Tecnológica de Chipre*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seja.2022.100015>
- Quintanilla, A. M. (2020). *Diseño de un sistema solar fotovoltaico aislado para suministrar de energía eléctrica en la localidad Parahuasi-Pamapa Cañahuas*. Universidad Católica de Santa María, Arequipa-Perú.

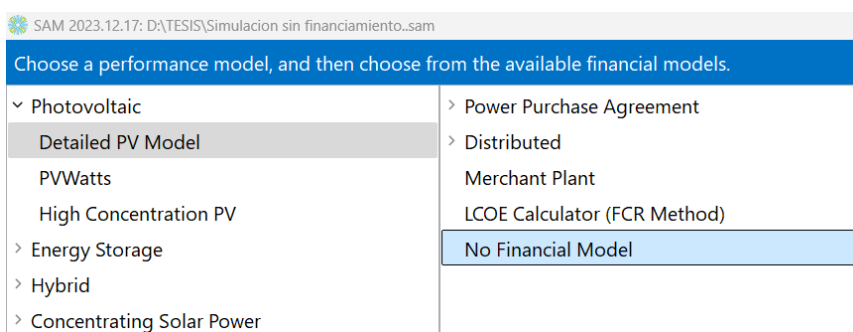
- Rasheed, A., Hazari, R., & Abdul, M. (07 de enero de 2021). Sistema de medición inteligente basado en energía solar fotovoltaica. doi:10.1109/ICREST51555.2021.9331098
- REM. (jueves de diciembre de 2023). Arequipa 300 MW, la mayor planta solar de Perú. *Renewable energy magazine*. Obtenido de <https://www.energiasrenovables.com/fotovoltaica/arequipatendra-la-mayor-planta-solar-de20231228>
- Restrepo, J., & Grisales, L. (2018). *Diseño de un sistema fotovoltaico para su aplicación en las instalaciones del parque implementando el software especializado SAM*. Instituto tecnológico metropolitano. ITM.
- Reynoso, W., & Sanchez, D. (2022). *Diseño e implementación de electrificación en un sector rural del golfo de Guayaquil mediante sistema fotovoltaico aislado*. Universidad Politécnica salesiana, Guayaquil-Ecuador.
- Ricardo, J. (2018). *Diseño y evaluación de un sistema de energía distribuida para módulos de 3kW alimentado con energía solar aplicado en la zona de socabaya-Arequipa*. Universidad nacional de san agustin . Arequipa: Repositorio UNSA.
- RICHTEK. (2020). *Diseño de aplicaciones con baterías de iones de litio*. Obtenido de RICHTEC you power partner: <https://www.richtek.com/battery-management/en/designing-liion.html>
- Romero, V. (2020). *Sistema fotovoltaico autónomo para mayor disponibilidad de energía eléctrica en SENATI*. Huancayo – Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Samlexamerica. (2023). *Inversores cargadores*. Obtenido de Samlexamerica: <https://samlexamerica.com/product-category/inverter-chargers/?pf=split-phase>
- Sánchez, J. M. (2020). *Sistema de gestión de baterías para sistemas fotovoltaicos con baterías de LiFePo4*. Universidad Oberta de Catalunya.
- Sánchez, M., & Zegarra, M. (2022). *Estudio del sistema energético óptimo para abastecer de energía eléctrica al caserío Lloque - Cajamarca*. Universidad nacional del santa , Nuevo Chimbote.

- Schmerler, D., Velarde, J., Rodríguez, A., & Solís, B. (. (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Magdalena del Mar, Lima, Perú: Osinergmin.
- Shen, W., Thanh, T., & Ajay, K. (2012). Charging algorithms of lithium-ion batteries: An overview. *ResearchGate*, 2.
- SketchUp. (2024). *Aproveche todo el poder de SketchUp*. Obtenido de sketchuptrimble: <https://sketchup.trimble.com/en/benefits-of-sketchup>
- SLBATT. (2024). *Baterías en Serie y Paralelo: Guía Superior*. Obtenido de SLBATT: <https://www.bsl-battery.com/es/news/how-to-connect-lithium-solar-batteries-in-series-and-parallel/>
- Syscom. (2023). *Seguridad, networking, telecomunicaciones y sistema*. Obtenido de <https://www.syscomblog.com/2017/04/sistemas-de-respaldo-de-energia-con.html>
- TESLAELECTRONIC. (2024). *Módulo Convertidor Industrial USB a RS485*. Obtenido de Tesla electronic: <https://n9.cl/11upp>
- Torres, J., & Condori, J. (2019). *Análisis y Evaluación del sistema fotovoltaico con inyección a la red de 3kW en el pabellón administrativo de la UNAJ*. Juliaca.
- Vera, L., Martelote, B., & Firman, A. (2020). *Determinación de la capacidad de las baterías solares VRLA*. Gramado-Argentina.
- Villegas , E., & Alcivar , L. (2020). *Diseño de un Sistema Fotovoltaico para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la Comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil. (Tesis de Titulación)*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Guayaquil-Ecuador.
- ZTT. (2024). *Sistema de energía para telecomunicaciones*. Obtenido de ZTT: <https://www.zttgroup.com/product/Telecom-Power-System.html>

ANEXOS

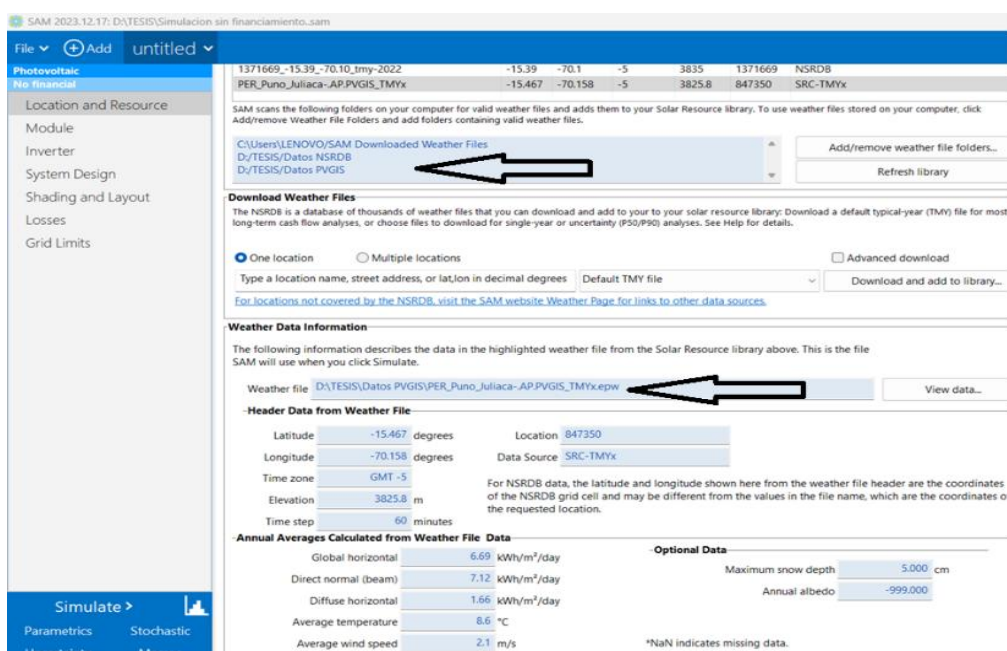
Anexo 1 Manejo del Software SAM.

En la Figura A.1, muestra el menú principal, donde se procede a ingresar al software SAM, seleccionamos la opción PHOTOVOLTAIC DETAILED (Fotovoltaico detallado) para elegir el nuevo proyecto y enseguida pulsamos la opción NO FINANCIAL MODEL (Sin modelo financiero) para elegir el tipo de proyecto.



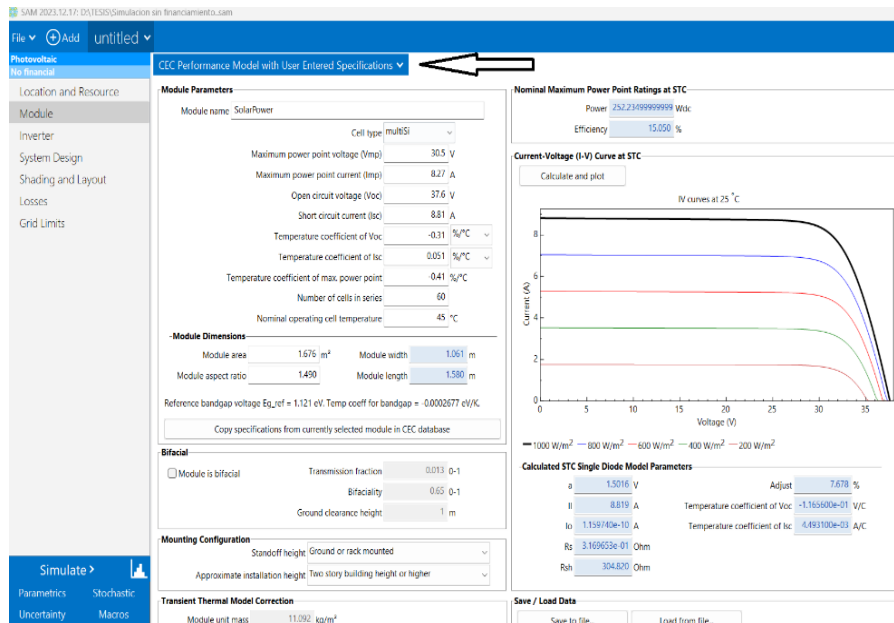
A. 1. Menú principal del Software SAM.

Dentro del proyecto, en la sección de "LOCATION AND RESOURCE" (Ubicación y Recursos), como se muestra en la Figura A.2, se insertan los datos de irradiación y temperatura correspondientes a la ubicación del proyecto. Los datos meteorológicos para el año 2023 fueron obtenidos a través de la herramienta PVGIS.

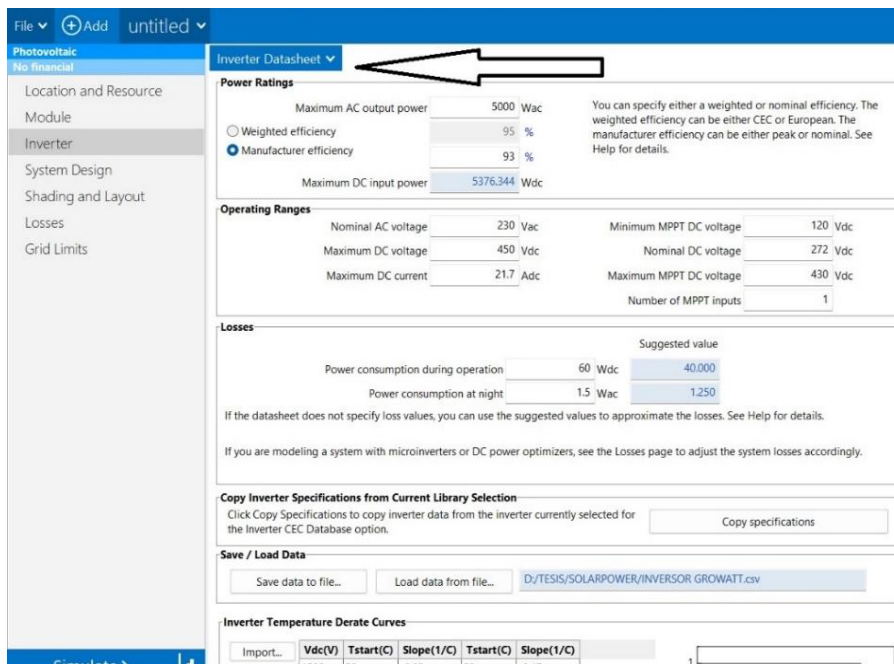


A. 2. Introducción de datos geográficos.

Como se muestra en la Figura A.3, se selecciona la opción "MODULE" para insertar los datos del módulo fotovoltaico. Dado que el modelo no se encontraba en la base de datos del software, los datos se ingresaron manualmente utilizando la ficha técnica del módulo SolarPower. Para ello, se seleccionó la opción "CEC Performance Model With User Entered Specifications", la cual habilita una ventana para ingresar todos los parámetros del módulo.



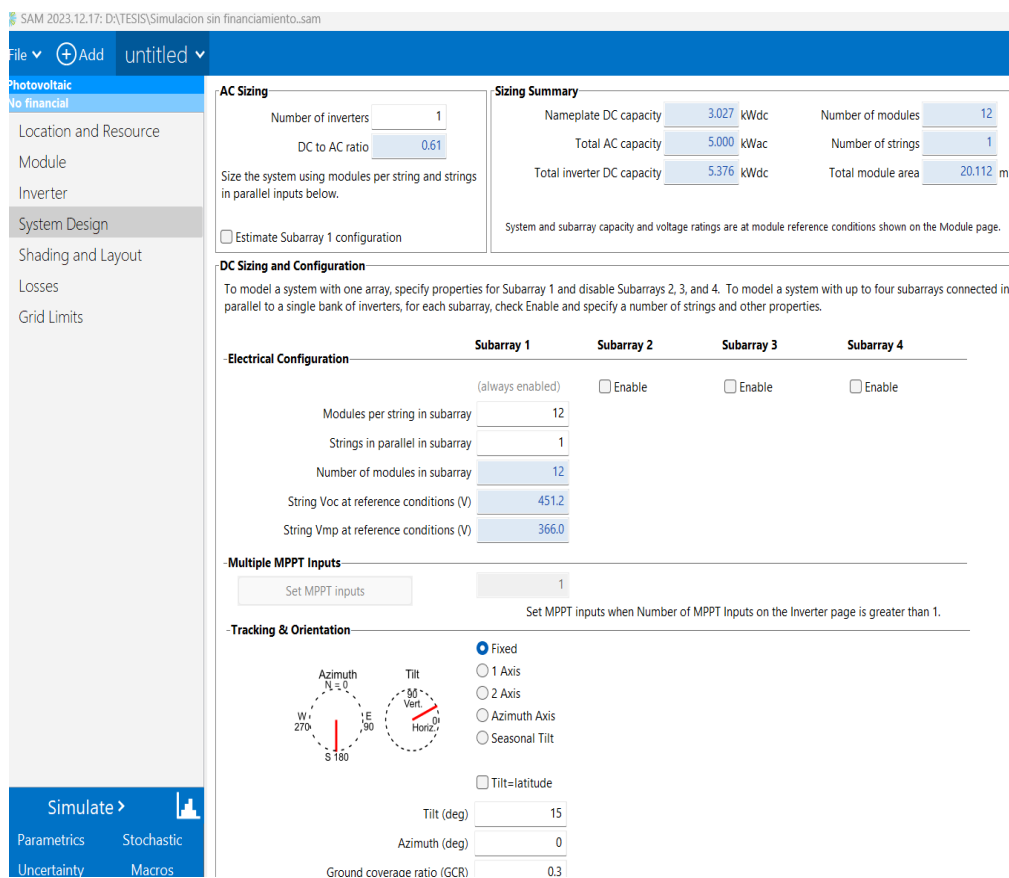
A. 3. Introducción de datos del modelo de modulo fotovoltaico.



A. 4. Introducción datos del Inversor/cargador de 5.0Kw.

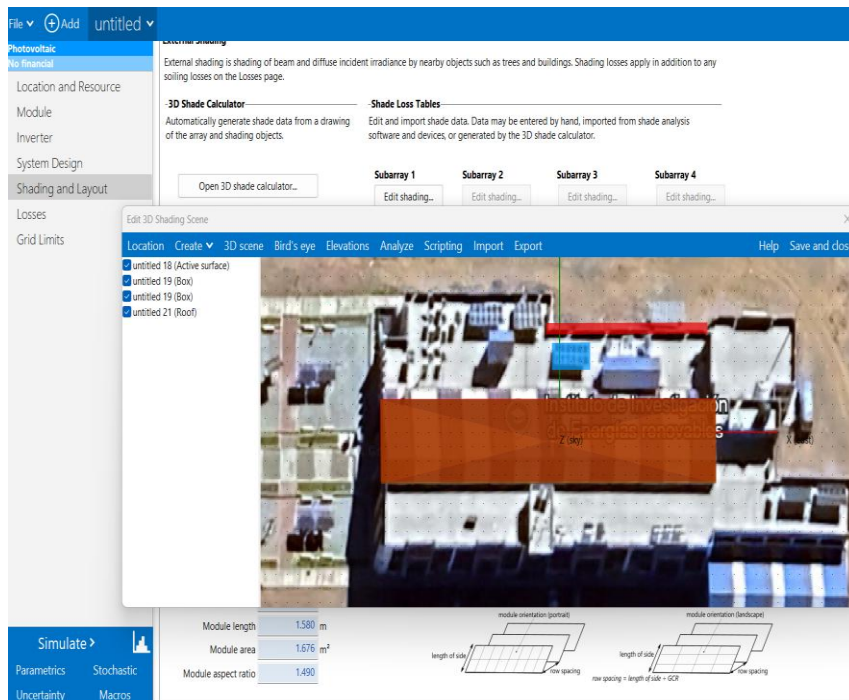
Como se muestra en la Figura A.4, se selecciona la opción "INVERTER" (inversor). Dado que el Inversor/cargador Growatt SPF 5.0kW no se encuentra entre los modelos preestablecidos de SAM, los datos se ingresan manualmente en la opción "Inverter Datasheet" para especificar sus características

A continuación, en la Figura A.5, introducimos los parámetros del diseño del sistema fotovoltaico en la opción SYSTEM DESIGN (Diseño del sistema) para proceder con el diseño del arreglo fotovoltaico.



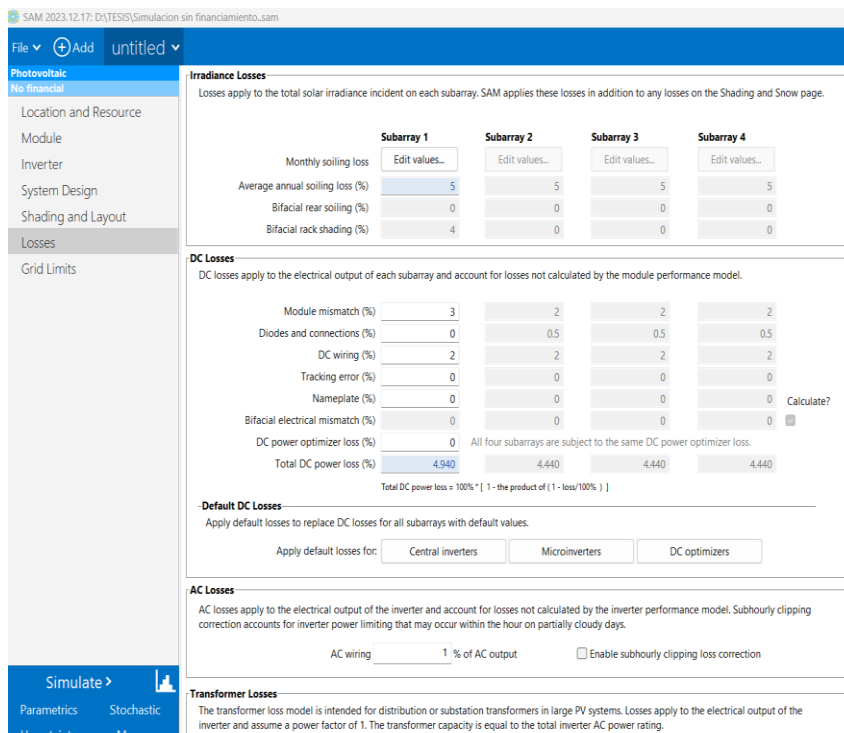
A. 5. Introducción parámetros del diseño.

En la Figura A.6, se selecciona la opción "SHADING AND LAYOUT" (sombreado y diseño). A continuación, se abre el "Open 3D shade calculator" (calculador 3D de sombreado) para diseñar las interferencias que podrían sombrear el sistema, como muros, estructuras, etc. Aunque el proyecto se ubica en un área desértica con pocas obstrucciones, se consideró un tejado como una posible fuente de sombreado. Si no existieran interferencias en la ubicación del proyecto, este paso se omite y se procede a la siguiente opción.



A. 6. La Ubicación del sombreado y diseño del sistema en software SAM.

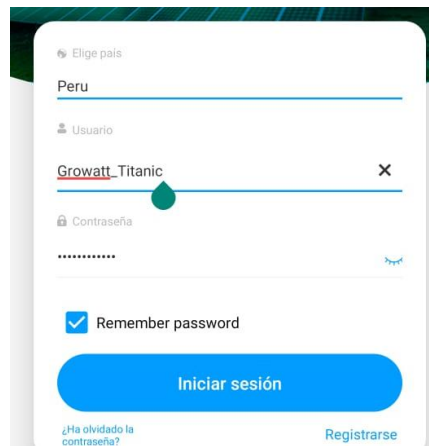
Como se muestra en la Figura A.7, se selecciona la opción "LOSSES" (Pérdidas). En esta sección, se ingresan las pérdidas del sistema, las cuales fueron estimadas previamente en los cálculos teóricos. Finalmente se procede a simular.



A. 7. Pérdidas del diseño en el software SAM.

Anexo 2 Manejo de la plataforma Shine Growatt.

ShinePhone APP: Se procede a descargar la aplicación del Play Store, una vez instalada la aplicación se procede a ejecutar como muestra en la Figura A.8, seleccionaremos nuestro país, luego insertamos usuario y contraseña de la planta fotovoltaica de 3.0kW.



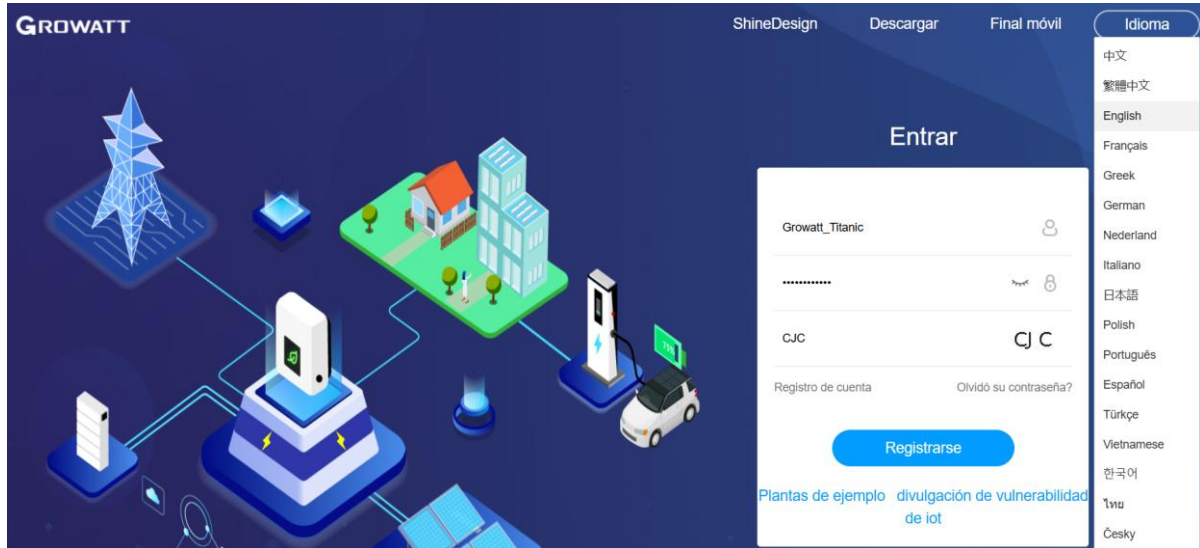
A. 8. Inicio de la aplicación ShinePhone APP.

La Figura A.9 muestra el inicio del generador fotovoltaico de 3.0 kW, lo que permite visualizar su funcionamiento en tiempo real. La energía generada durante una fracción del día, con un valor de 3.1 kWh, es directamente proporcional a la cantidad de paneles disponibles. Además, el sistema cuenta con diversas ventanas que ofrecen una visión completa de su operación.



A. 9. Ventana de la aplicación ShinePhone Growatt.

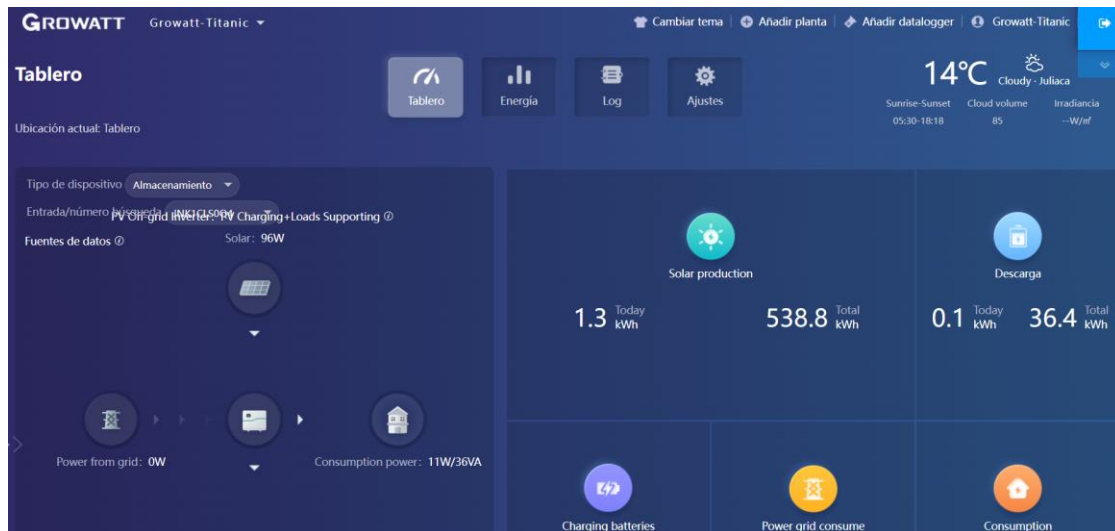
Shine Server: Para poder acceder a la plataforma se realiza mediante el siguiente enlace <https://server.growatt.com> así como muestra en la Figura A.10, al lado derecho superior es posible cambiar idioma del portal y para poder acceder se inserta el usuario y contraseña creada.



A. 10. Plataforma Shine Server de growatt.

La Figura A.11 muestra la interfaz del proyecto de monitoreo de Growatt. En la parte superior central de la pantalla se encuentran diversas opciones que permiten visualizar los parámetros de generación de energía y el estado del inversor/cargador.

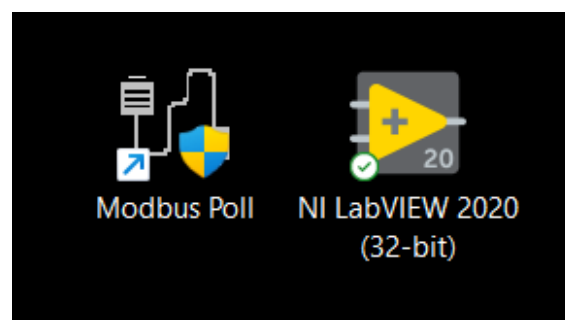
- **Tablero:** En esta opción se detalla los datos de potencia durante el día, mensual y anual, presentada mediante curvas.
- **Energía:** En esta opción al ingresar podemos visualizar las curvas del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW como corriente, voltaje, potencia y energía.
- **Log:** En esta opción es la alarma de inversor/cargador, ocurre cuando hay falla y te da una posible solución, envía la falla a nuestro correo.
- **Ajustes:** En esta opción se configura, se inserta el correo donde queremos que nos llegue la falla del inversor/cargador, también se puede compartir datos de la planta Growat-Titanic donde podrá ver datos mas no podrá configurar.



A. 11. Ventana inicio de proyecto.

Anexo 3 Manejo del Software LabVIEW.

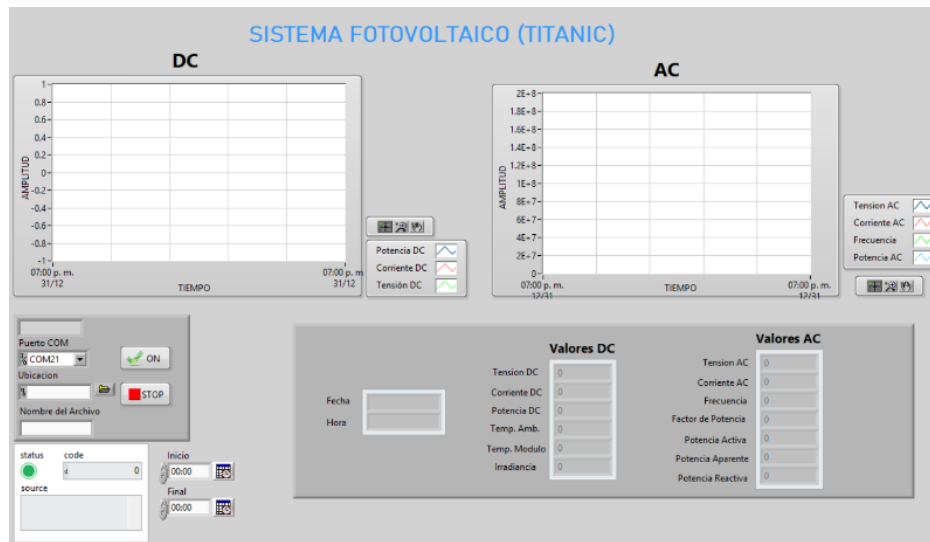
Para el monitoreo en el programa LabVIEW primero se realiza el enlace desde el protocolo eléctrico del indicador RS485 hasta puerto USB, mediante una comunicación Modbus RTU. En el proyecto de investigación se hace una comunicación del indicador de parámetros eléctricos con la Laptop, así mismo entre el indicador y la laptop se instala un convertor de USB-RS485 por que la Laptop no posee directamente puerto serial. Una vez conectados se deberá instalar LabVIEW y Modbus Poll en la Laptop, así como muestra en la Figura A.12. luego para mandar señal de comunicación se realiza una configuración del tramo serial del indicador de parámetros eléctricos: capa física RS485, velocidad 9600bps, dirección del dispositivo COM3.



A. 12. Software LabVIEW, Modbus Poll.

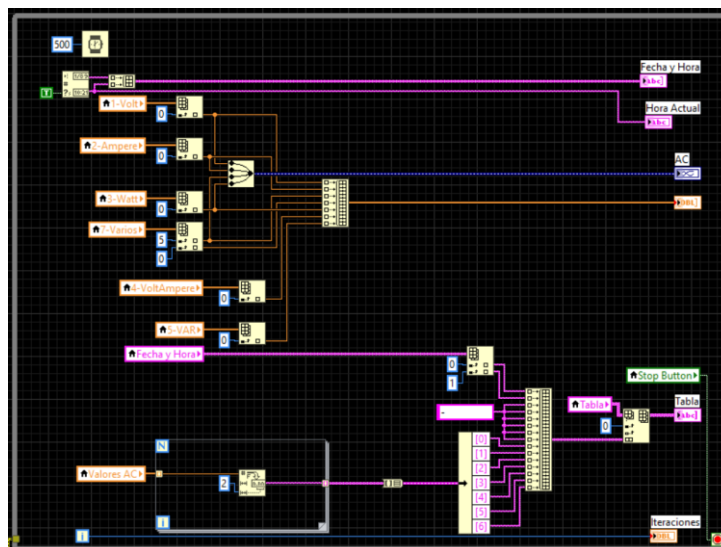
Una vez instalada se abre LabVIEW, se crea un nuevo VI con el título del proyecto de investigación e inmediatamente se abre el panel frontal y el diagrama de bloque.

Ventana de panel frontal: Es la interfaz de usuario para el VI por lo tanto se situará los controles para la introducción de datos y los indicadores que permitirá ver los resultados del VI, en el panel frontal solo está disponible la paleta de controles, y es usado para poner los controles e indicadores.



A. 13. Pantalla de visualización de datos en LabVIEW.

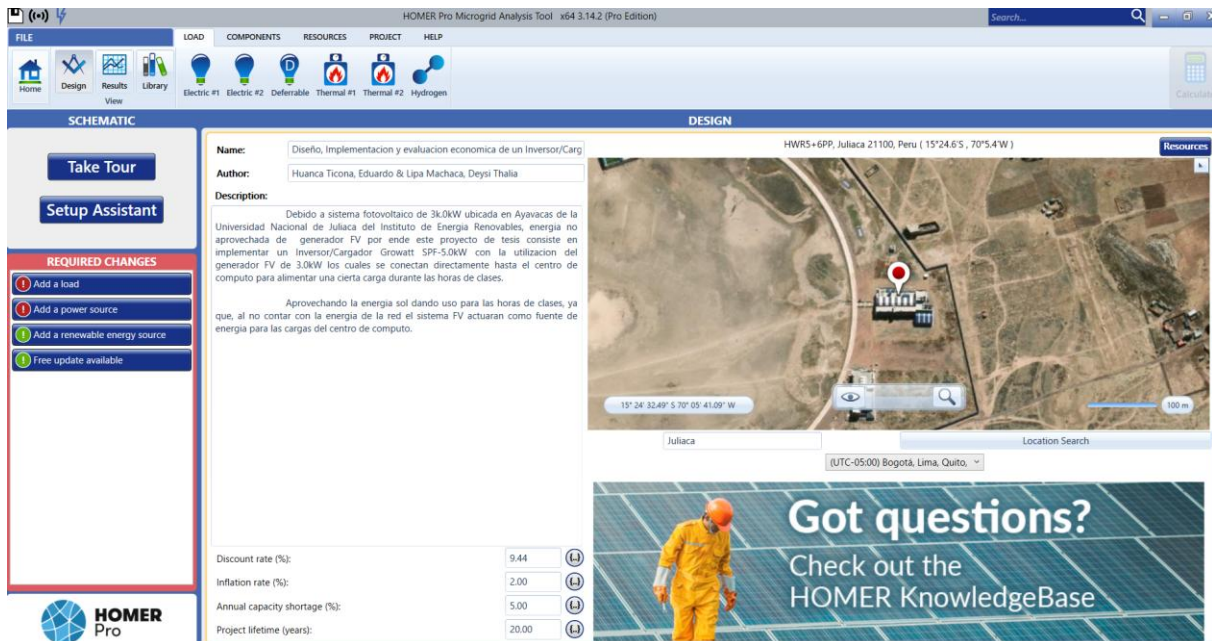
Ventana diagrama de bloques: Lugar donde se escribe el programa de forma gráfica utilizando los recursos que facilita al LabVIEW, donde los controles e indicadores en el diagrama de bloques aparecen como terminales que reflejan el tipo de dispositivo y el tipo de datos que se maneja en el panel frontal, los objetos del diagrama de bloque que tienen entradas o salida desarrollan diferentes funciones para cuando se ejecuta el VI.



A.14. Diagrama de bloques LabVIEW.

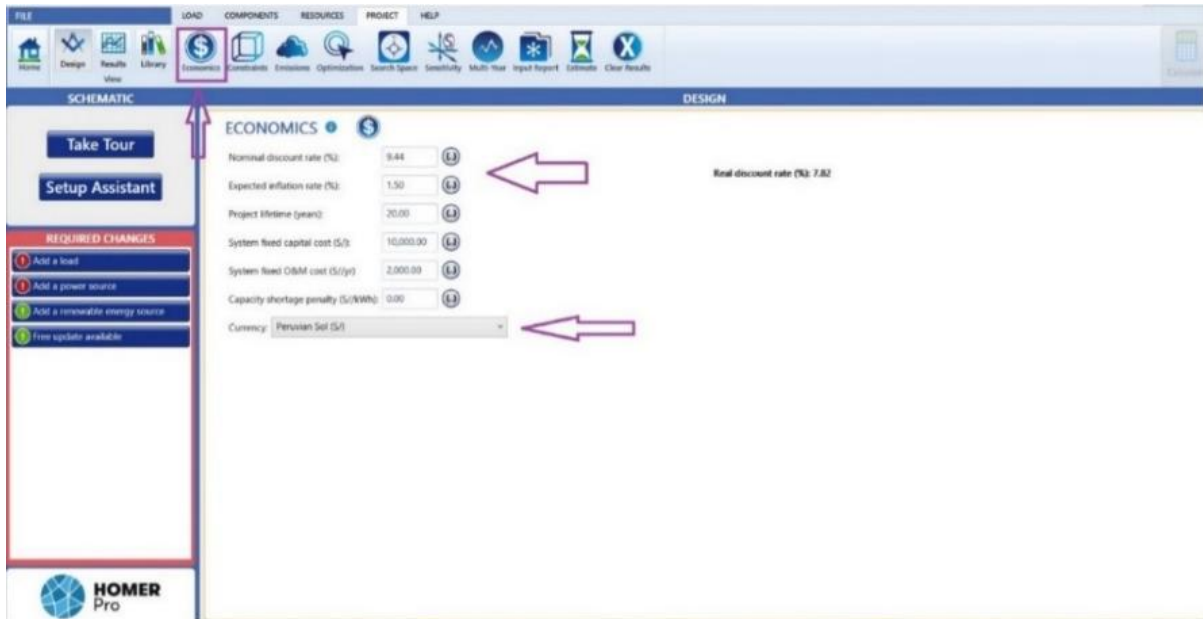
Anexo 4 Manejo del software HOMER Pro.

El software Homer Pro es una herramienta para el diseño y análisis económico de sistemas de energía aislados o interconectados a la red. En este caso de estudio, el análisis económico se centra en un sistema autónomo con un Inversor/cargador Growatt SPF 5.0kW. Como se muestra en la Figura A.15, para iniciar el proyecto, es fundamental introducir toda la información necesaria para su implementación.



A.15. Inicio del Homer Pro, nombre y descripción del proyecto.

El siguiente paso consiste en la parametrización de los factores económicos. En la pestaña "PROJECT", se accede a la herramienta correspondiente, como se muestra en la Figura A.16. En esta sección se ingresan los siguientes datos: la tasa de interés, el tiempo de estudio del proyecto, los costos de capital fijo del generador fotovoltaico y los costos de operación y mantenimiento, que se estiman en un 2% del costo inicial anual. Además, se define la moneda que se utilizará para los cálculos.



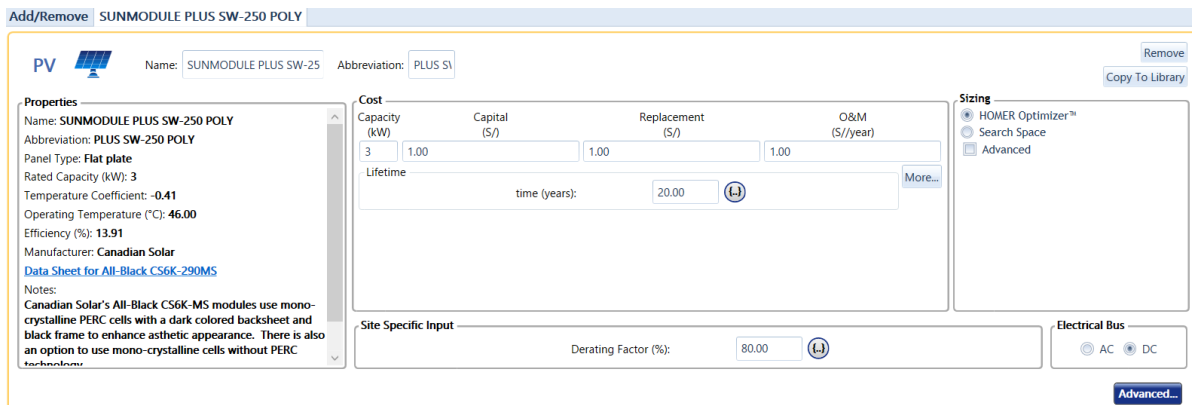
A.16. Ventana de parametrización de factores económicos del proyecto.

En la Figura A.17, se muestra en la opción COMPONENTS donde se encuentra los elementos necesarios para el desarrollo del proyecto de estudio.



A.17. Barra de componentes de Homer Pro.

En la Figura A.18 se muestra al módulo solar de la capacidad en kW, costo de capital, costo de replazo, así mismo, el costo de operación y mantenimiento por año por último la vida de los paneles se estima 20 años ya que este componente ya se encontraba en funcionamiento.



A.18. Datos y costos del módulo fotovoltaico.

En la Figura A.19 se muestra el componente de almacenamiento del sistema donde está dentro de sus especificaciones de la batería de LiFePO₄-ZTT, el costo de capital, costo de reemplazo y un costo de operación y mantenimiento.

The screenshot shows the configuration window for a 'LiFePO4-ZTT' battery component. It is divided into several sections:

- Properties:** Includes an 'Idealized Battery Model' with specifications: Nominal Voltage (V): 48, Nominal Capacity (kWh): 4.8, Nominal Capacity (Ah): 100, Roundtrip efficiency (%): 96, Maximum Charge Rate (A/Ah): 1, Maximum Charge Current (A): 100, and Maximum Discharge Current (A): 100. A link to 'www.homerenergy.com' is provided.
- Costs:** A table showing costs for a quantity of 1.

Quantity	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
1	3,000.00	3,000.00	0.00

 Below the table, 'Lifetime' is set to 15.00 years and 4,800.00 kWh throughput.
- Site Specific Input:** String Size is 1, Voltage is 48 V, Initial State of Charge (%) is 100.00, and Minimum State of Charge (%) is 20.00. A checkbox for 'Minimum storage life (yrs): 5.00' is present.
- Sizing:** Options include 'HOMER Optimizer™', 'Search Space', and 'Advanced'.

A.19. Datos y costos de la batería de LiFePO₄-ZTT.

En la Figura A.20 se muestra del Inversor o convertidor que es adaptado las especificaciones del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW que infiere el costo del capital, costo de reemplazo y rubro opcional por operación y mantenimiento.

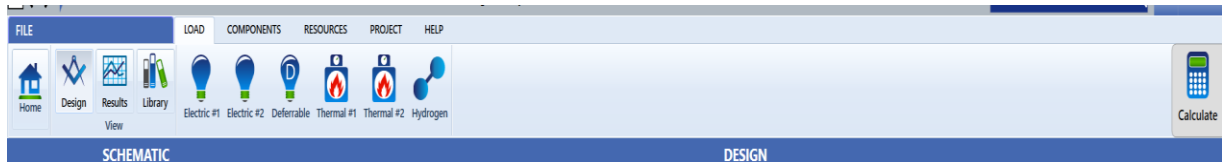
The screenshot shows the configuration window for a 'Inversor/Cargador Growatt SPF-5.0kW' component. It is divided into several sections:

- Properties:** Name: 'Inversor/Cargador Growatt SPF-5.0kW', Abbreviation: 'Growatt SPF-5.0kW'. A link to 'Technical Data for Symo 4.5-3-S' is provided. Notes include: Grid-following, PV-dedicated inverter: Three-phase inverter for any sized system, Interface to internet via WLAN or Ethernet, and Other Fronius Symo models include: (3.0-3-S, 3.7-3-S, 4.5-3-S, 3.0-3-M, 3.7-3-M, 4.5-3-M). Assumed 10 years lifetime (not stated on Fronius material explicitly).
- Costs:** A table showing costs for a capacity of 5 kW.

Capacity (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/year)
5	\$3,600.00	\$3,600.00	\$/100.00
- Capacity Optimization:** Options include 'HOMER Optimizer™', 'Search Space', and 'Advanced'.
- Input Settings:** Inverter Input: Lifetime (years): 10.00, Efficiency (%): 93.20. Rectifier Input: Relative Capacity (%): 100.00, Efficiency (%): 93.00. A checkbox 'Parallel with AC generator?' is checked.

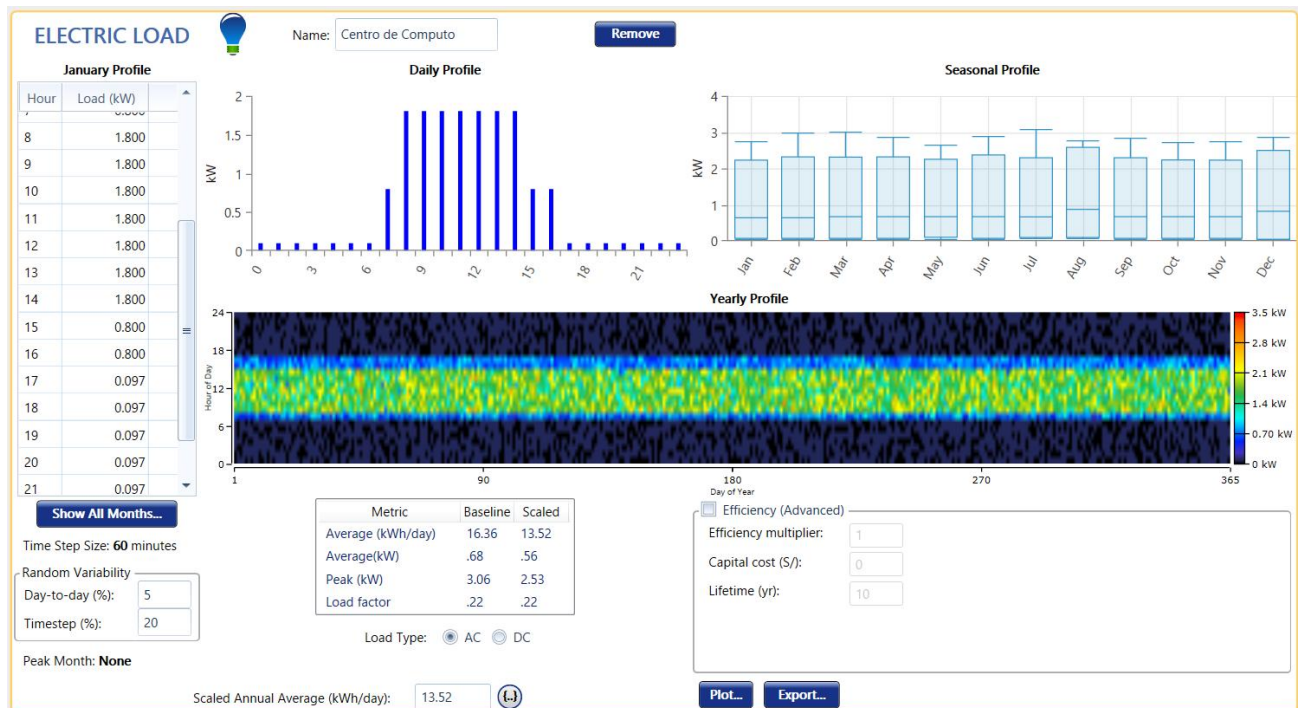
A.20. Datos y costos del Inversor/cargador de 5.0kW.

A continuación, se procede a la modelación de las cargas. Como se muestra en la Figura A.21, una vez conocidos todos los elementos, se selecciona la opción "LOAD" para realizar este proceso.



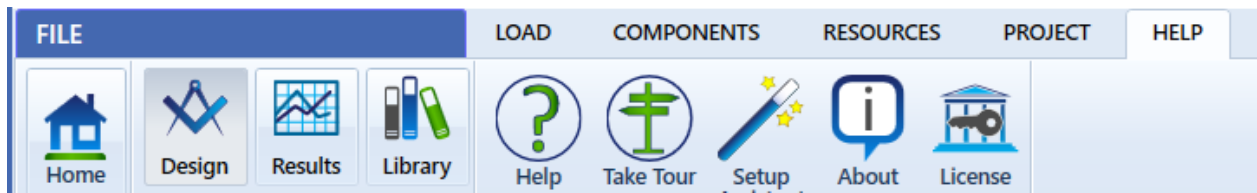
A.21. Barra de carga en Homer Pro.

La Figura A.22, presenta una estimación de la carga que detalla el consumo diario del centro de cómputo en 13.52 kW/día. Para este proyecto, las cargas consideradas son las siguientes: iluminación, laptops, computadoras, cargadores de celulares y un proyector.



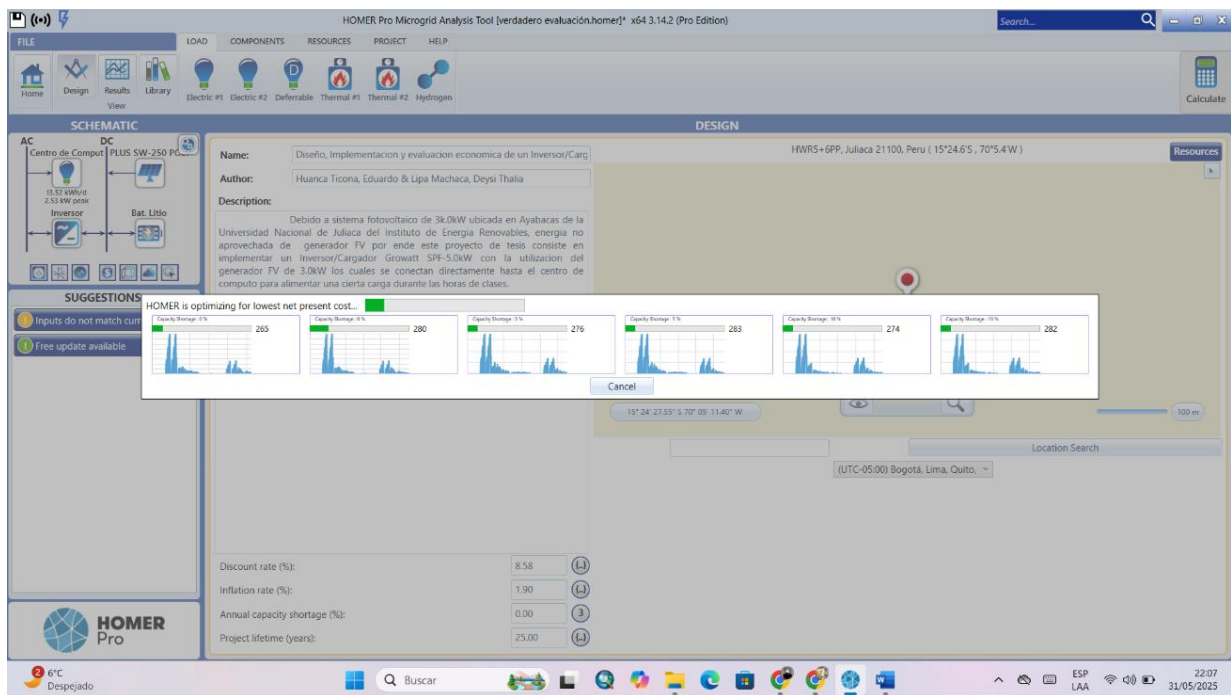
A.22. Carga del centro de cómputo.

La Figura A.23, muestra la interfaz del software Homer Pro con una serie de opciones de ayuda para el usuario. Estas opciones incluyen accesos a "Home", "Design", "Results", "Library" y una sección de "Help" que contiene "Help", "Take Tour", "Setup", "About" y "License".



A.23. Barra de ayuda en Homer pro.

En la Figura A.24 se muestra la interfaz de la simulación. Para obtener el análisis, se debe presionar la opción "Calcular", ubicada en el lado derecho de la figura.



A.24. Proceso de la simulación.

Anexo 5 Cuerpo documental del proyecto de Investigación.



Armado de la estructura metálica (batería).



Medición de voltaje del GFV.



Armado del Conduit eléctrico.



Conexión de equipos en el tablero AC.



Acondicionamiento eléctrico.



Ventilación del Inversor/cargador.



Conexión de tablero protección DC.



Verificación de monitoreo LabVIEW.



Mantenimiento de módulos fotovoltaicos.



Equipo de trazador de curva.

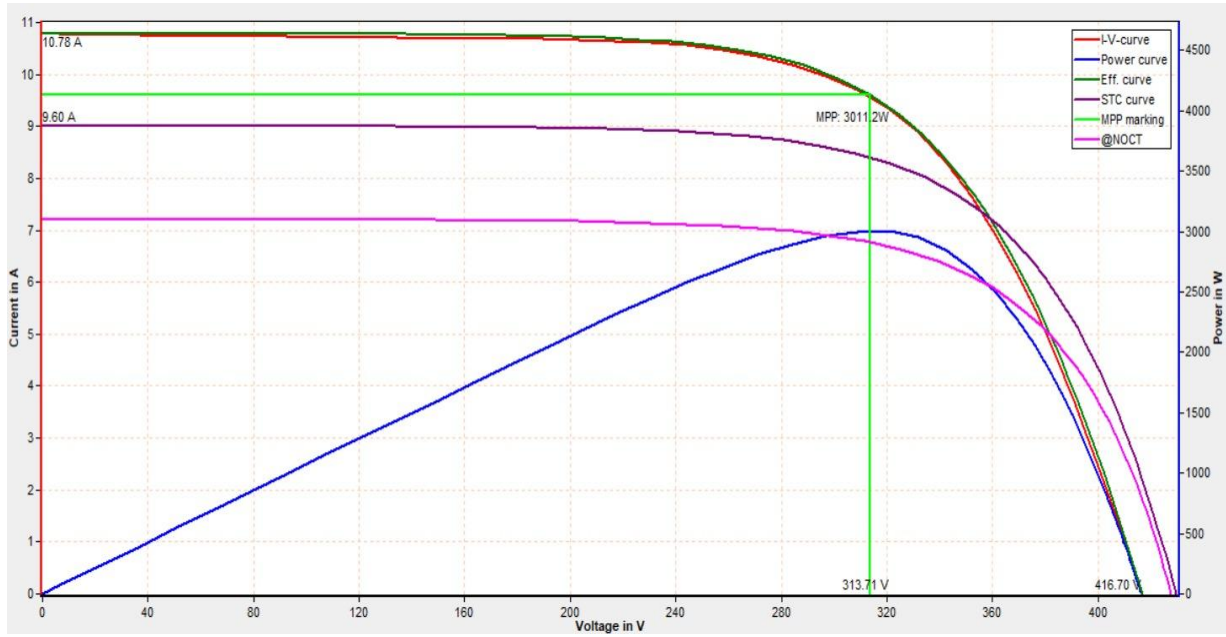


Proyecto implementado en la fase operativa.

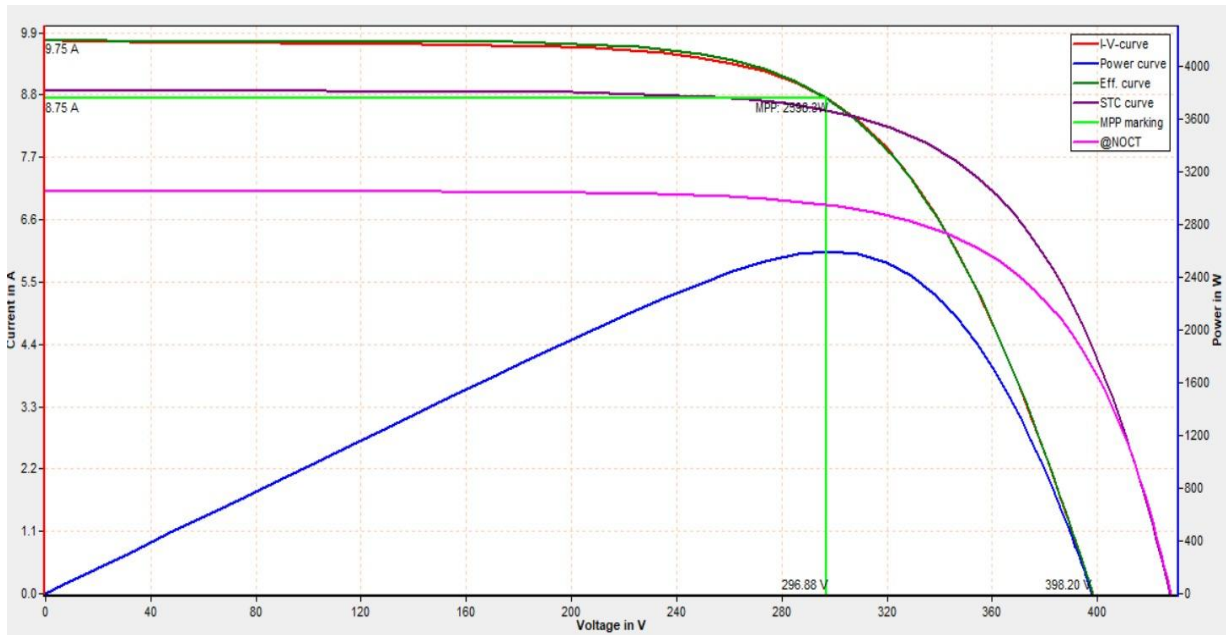


Verificación de los datos obtenidos en prueba.

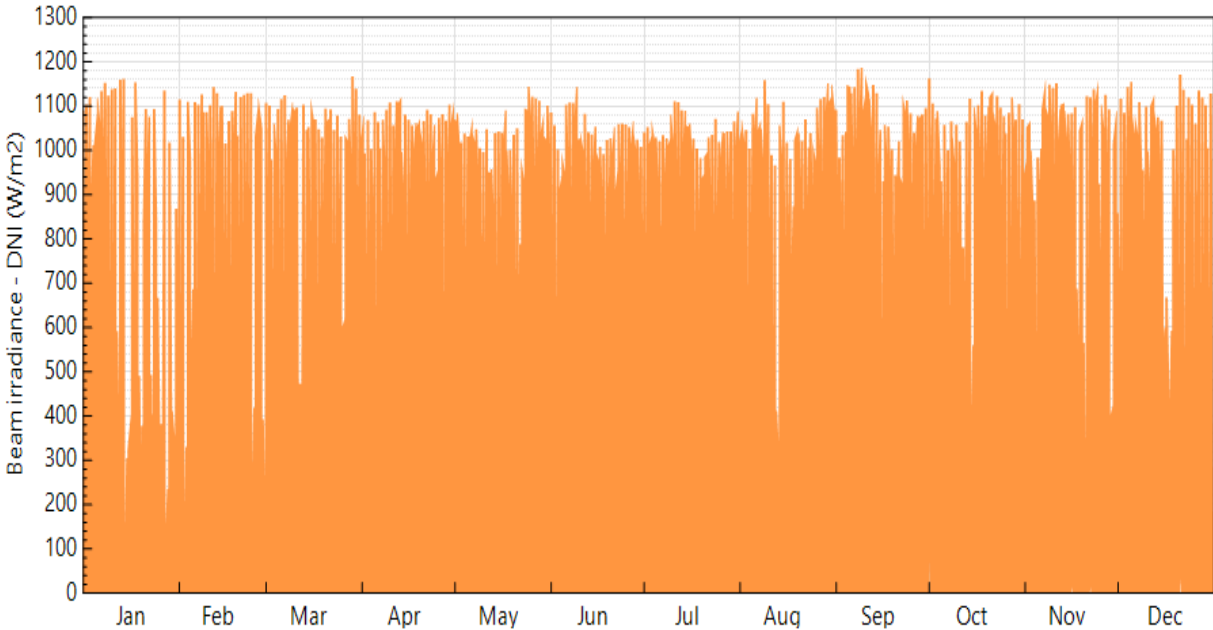
Anexo 6 Simulación del GFV 3.0kW en el trazador de curvas a las 12:30pm.



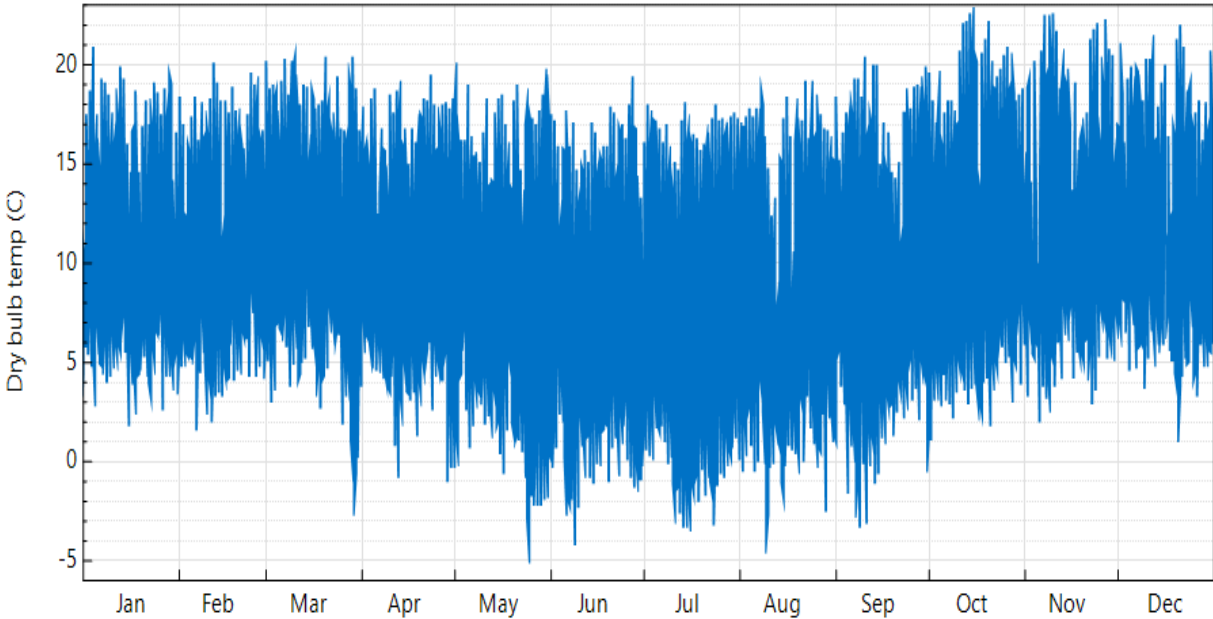
Anexo 7 Simulación del GFV 3.0kW en el trazador de curvas a las 10:33am.



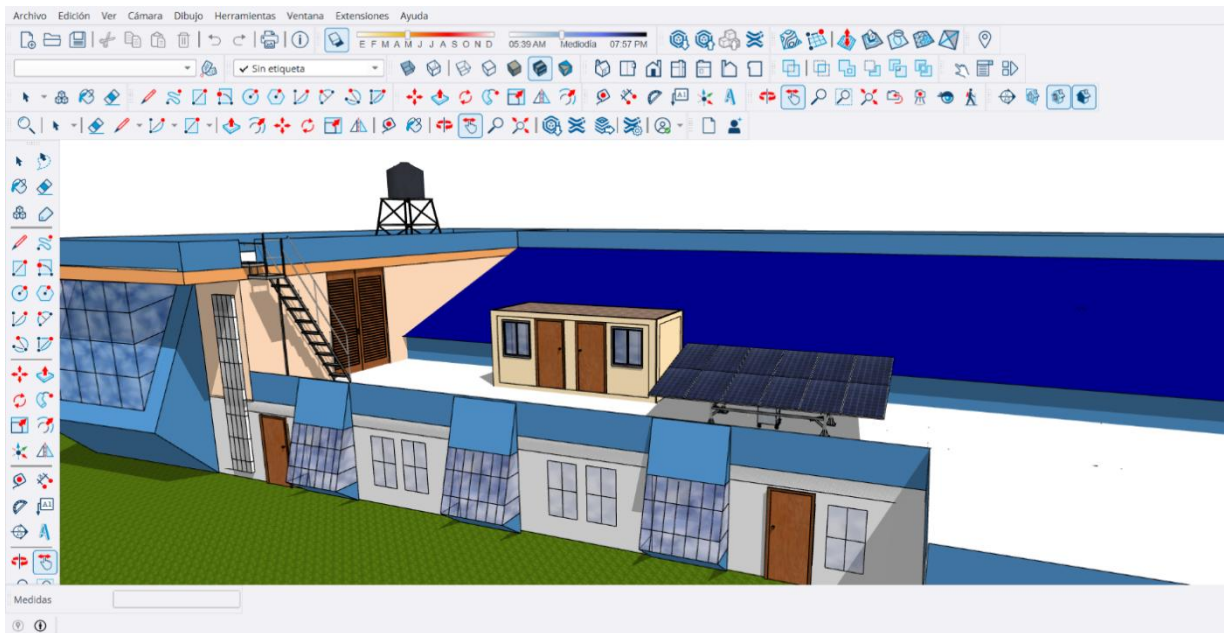
Anexo 8 Simulación de la irradiación nominal SAM.



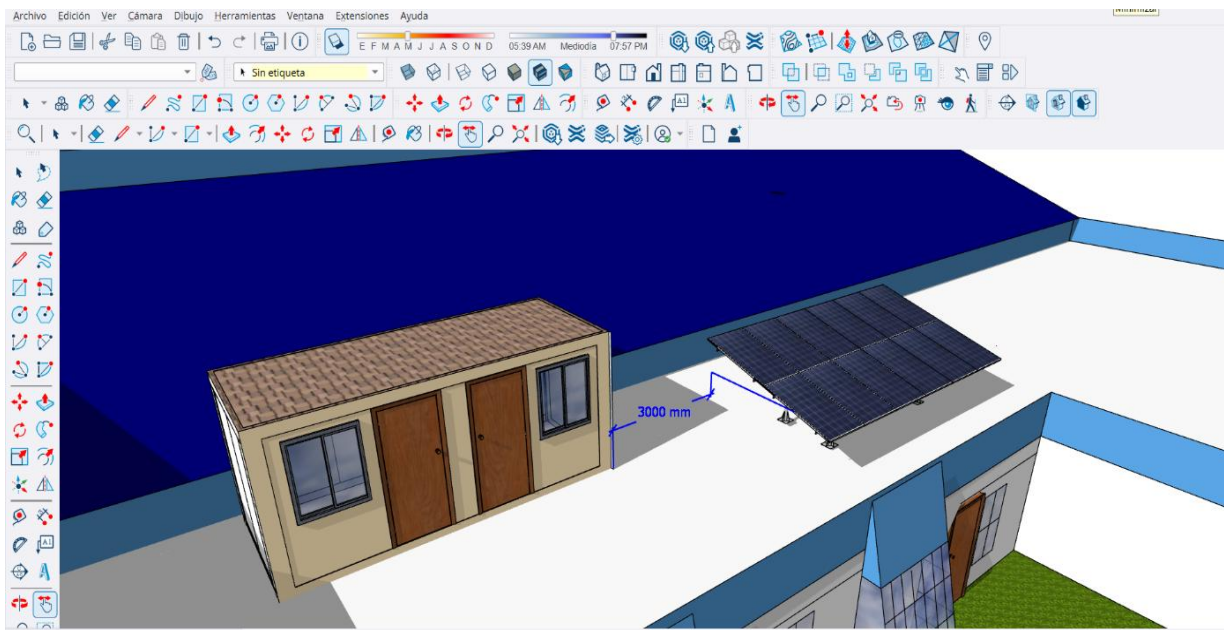
Anexo 9 Simulación de la temperatura SAM.



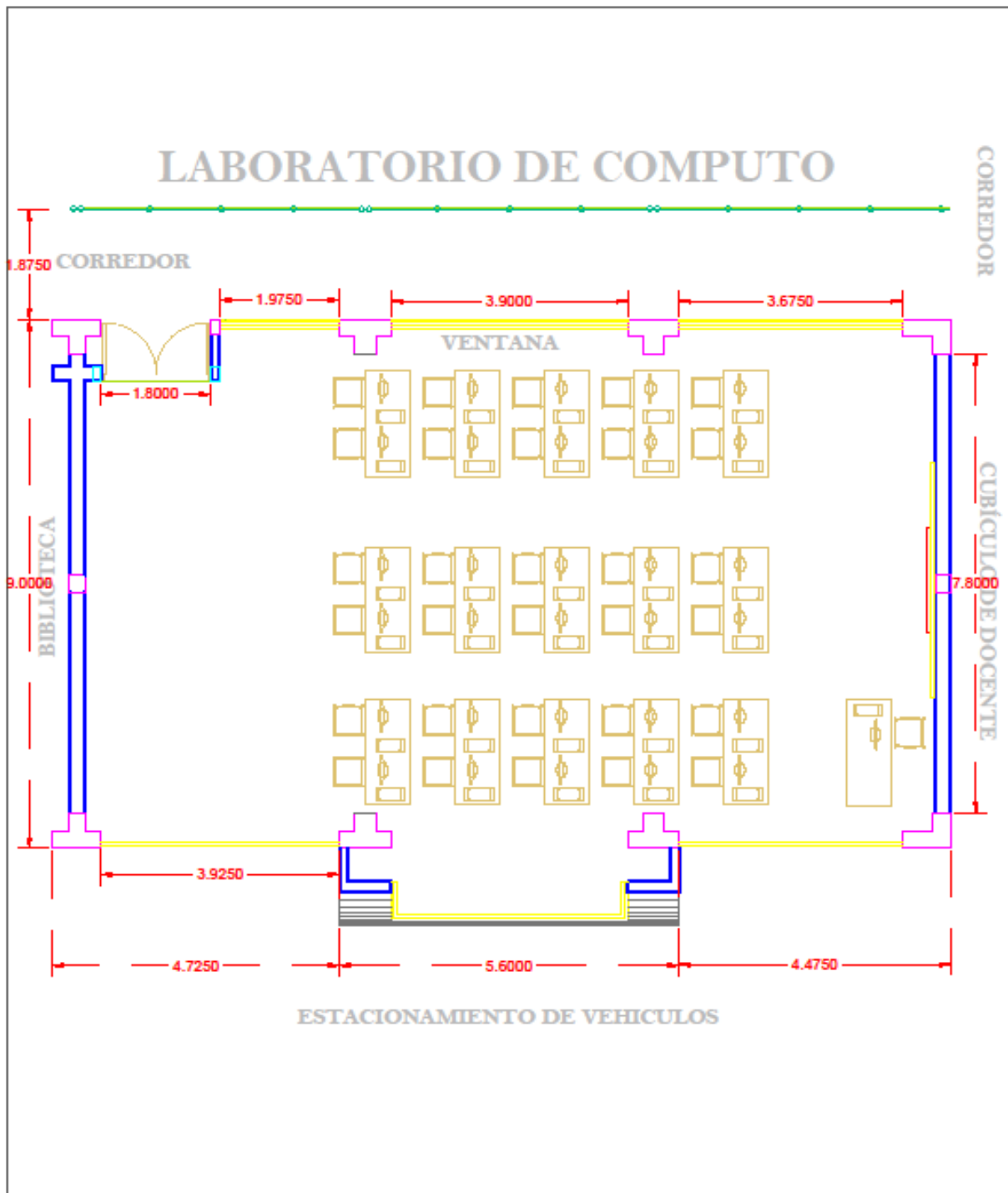
Anexo 10 Simulación del diseño fotovoltaico SketchUp.



Anexo 11 Simulación de sombra SketchUp.

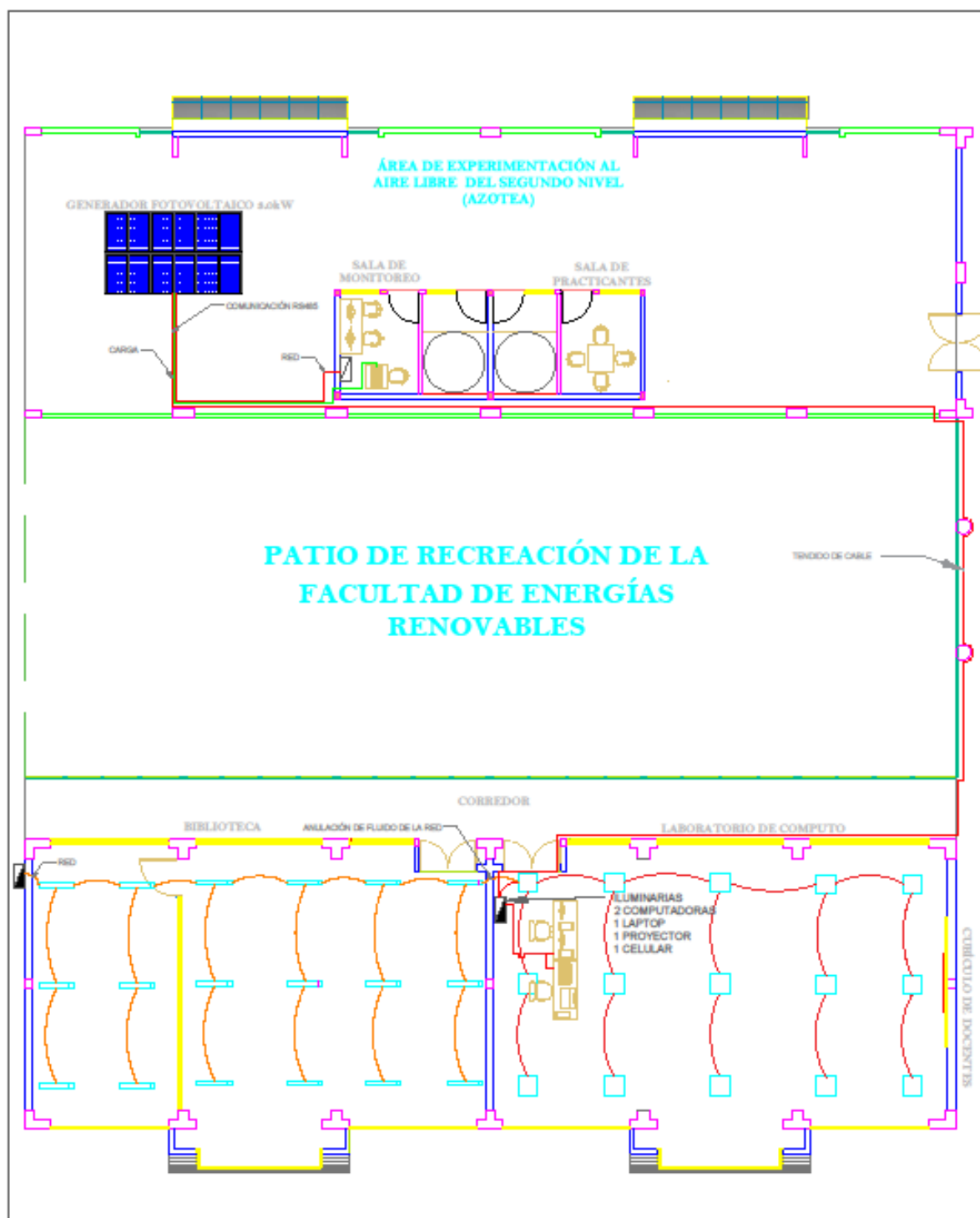



Anexo 12 Diagrama Arquitectónico del centro de cómputo.



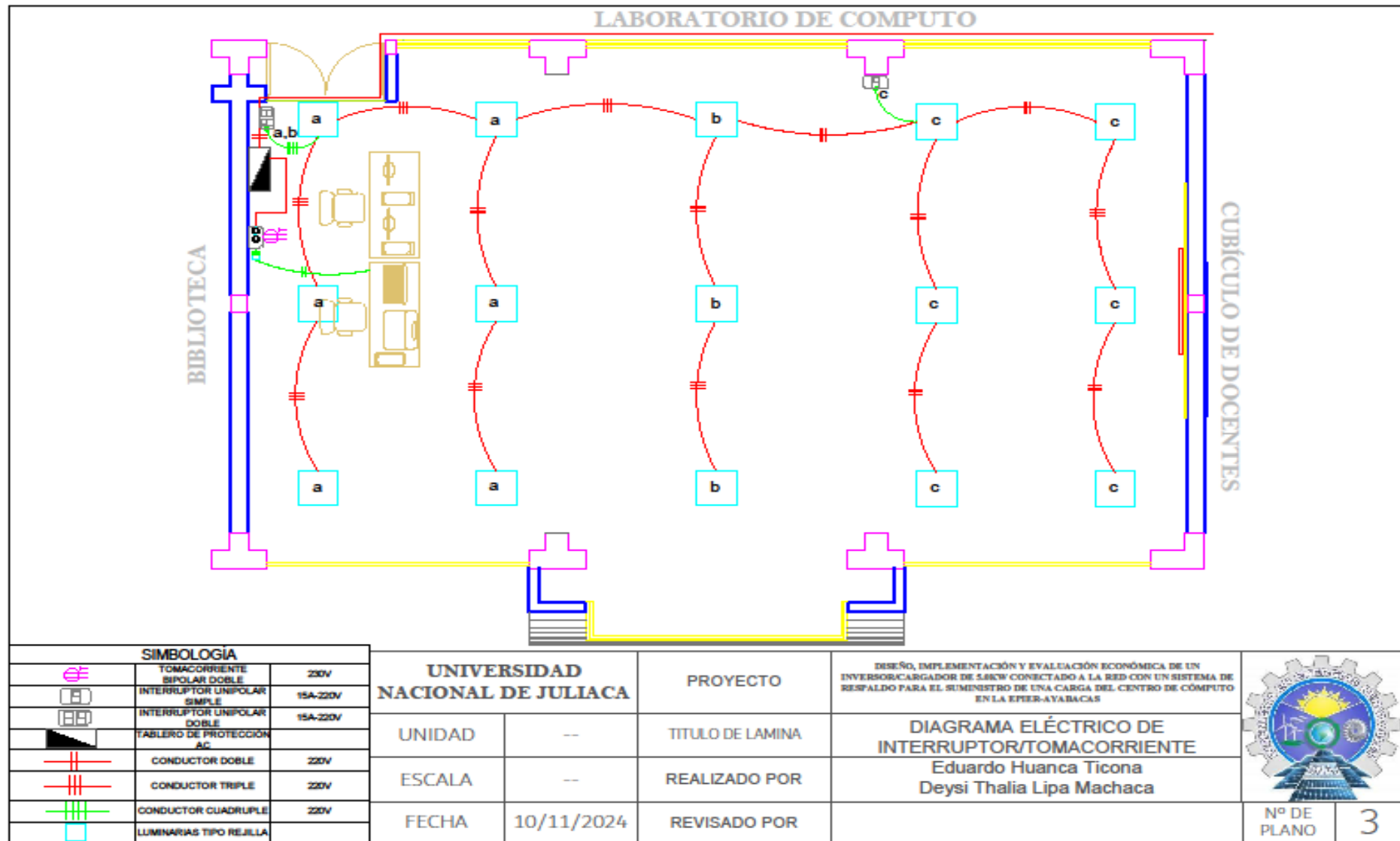
UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA		PROYECTO	DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN INVERSOR/CARGADOR DE 5.0KW CONECTADO A LA RED CON UN SISTEMA DE RESPALDO PARA EL SUMINISTRO DE UNA CARGA DEL CENTRO DE CÓMPUTO EN LA EPIER-AYABACAS		
UNIDAD	metros	TITULO DE LAMINA	DIAGRAMA ARQUITECTÓNICO DEL LAB. COMPUTO		
ESCALA	-	REALIZADO POR	Eduardo Huanca Ticona Deysi Thalia Lipa Machaca		
FECHA	10/11/2024	REVISADO POR			
				Nº DE PLANO	1

Anexo 13 Diagrama Eléctrico de Carga.

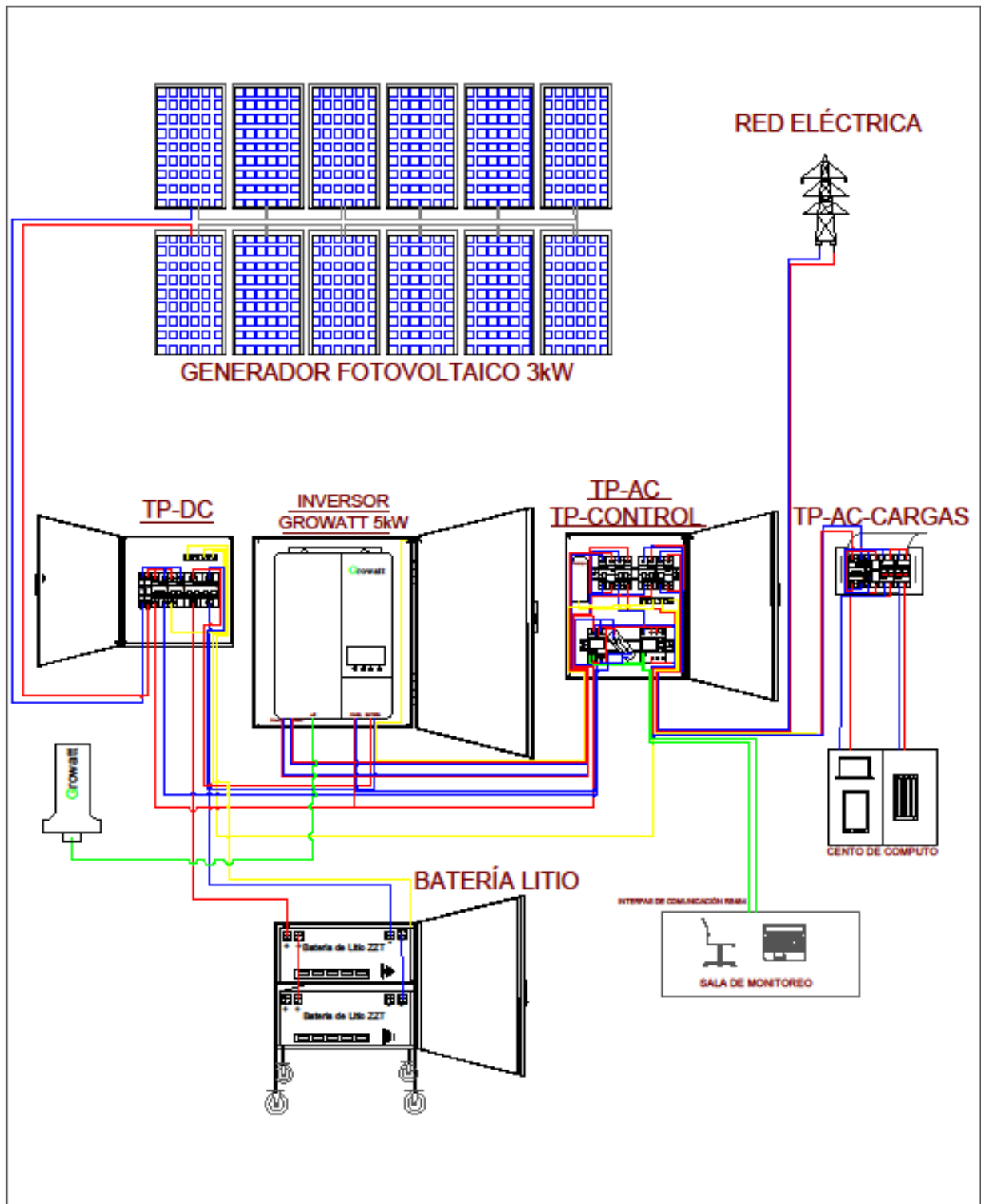


UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA		PROYECTO	DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN INVERSOR/CARGADOR DE 5.0KW CONECTADO A LA RED CON UN SISTEMA DE RESPALDO PARA EL SUMINISTRO DE UNA CARGA DEL CENTRO DE CÓMPUTO EN LA EPTEP-AYABACAS	
UNIDAD	metros	TITULO DE LAMINA	DIAGRAMA ELÉCTRICO DE CARGAS	
ESCALA	-	REALIZADO POR	Eduardo Huanca Ticona Deysi Thalia Lipa Machaca	
FECHA	10/11/2024	REVISADO POR		
			Nº DE PLANO	2

Anexo 14 Diagrama Eléctrico de interruptor/tomacorriente.

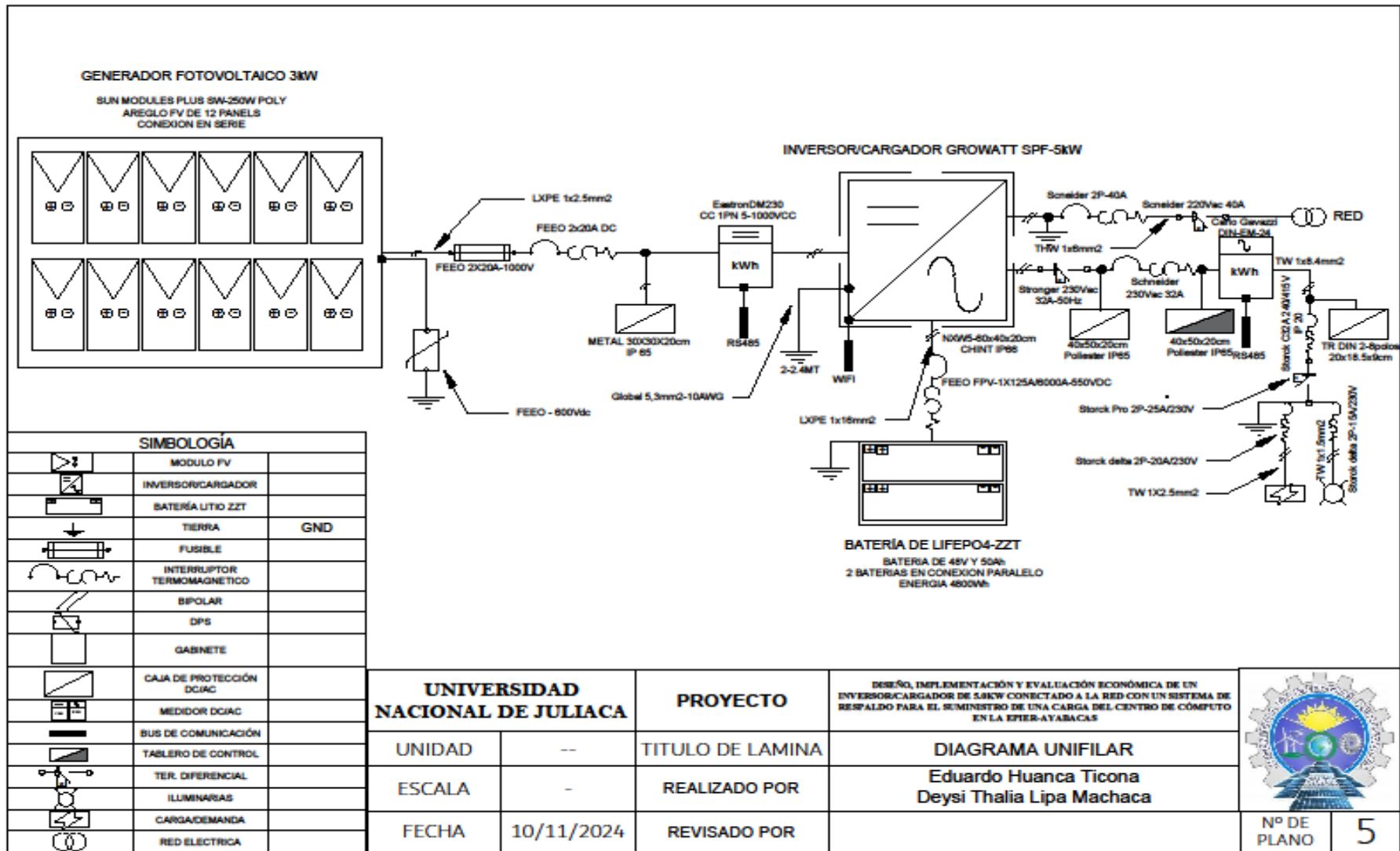


Anexo 15 Diagrama General del Generador fotovoltaico de 3.0kW.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA		PROYECTO	DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN INVERSOR/CARGADOR DE 3.0KW CONECTADO A LA RED CON UN SISTEMA DE RESPALDO PARA EL SUMINISTRO DE UNA CARGA DEL CENTRO DE CÓMPUTO EN LA EPER-ATABACAS	
UNIDAD	--	TÍTULO DE LAMINA	DIAGRAMA GENERAL	
ESCALA	--	REALIZADO POR	Eduardo Huanca Ticona Deysi Thalia Lipa Machaca	
FECHA	10/11/2024	REVISADO POR		
			Nº DE PLANO	4

Anexo 16 Diagrama Unifilar de Generador fotovoltaico de 3.0kW.



Anexo 17 Ficha técnica del módulo fotovoltaico.

Sunmodule® Plus SW 250 - 260 poly



PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 250	SW 255	SW 260
Maximum power	P_{max}	250 Wp	255 Wp	260 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	37.6 V	38.0 V	38.4 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	30.5 V	30.9 V	31.4 V
Short circuit current	I_{sc}	8.81 A	8.88 A	8.94 A
Maximum power point current	I_{mpp}	8.27 A	8.32 A	8.37 A
Module efficiency	η_m	14.91 %	15.21 %	15.51 %

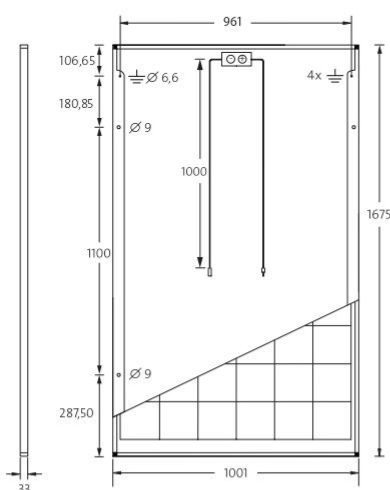
Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)

*STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM1.5

		SW 250	SW 255	SW 260
Maximum power	P_{max}	185.4 Wp	188.7 Wp	192.4 Wp
Open circuit voltage	U_{oc}	34.2 V	34.5 V	34.8 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	27.8 V	28.1 V	28.5 V
Short circuit current	I_{sc}	7.24 A	7.30 A	7.35 A
Maximum power point current	I_{mpp}	6.68 A	6.72 A	6.76 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.



DIMENSIONS

Length	1675 mm
Width	1001 mm
Height	33 mm
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	18.0 kg

THERMAL CHARACTERISTICS

NOCT	46 °C
TC I_{sc}	0.051 %/K
TC U_{oc}	-0.31 %/K
TC P_{mpp}	-0.41 %/K

COMPONENT MATERIALS

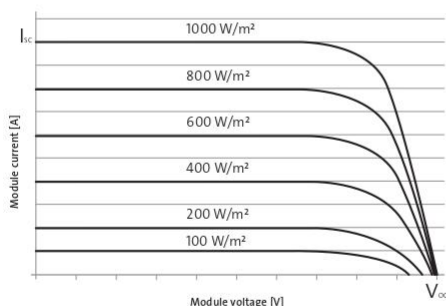
Cells per module	60
Cell type	Poly crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	tempered glass (EN 12150)

ADDITIONAL DATA

Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
J-Box	IP65
Connector	H4

PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION


Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	25 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m ²
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40 °C to +85 °C



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50380.

KB8821 | 2015-03-02 EN

Anexo 18 Ficha técnica del Inversor/cargador Growatt SPF-5.0kW.



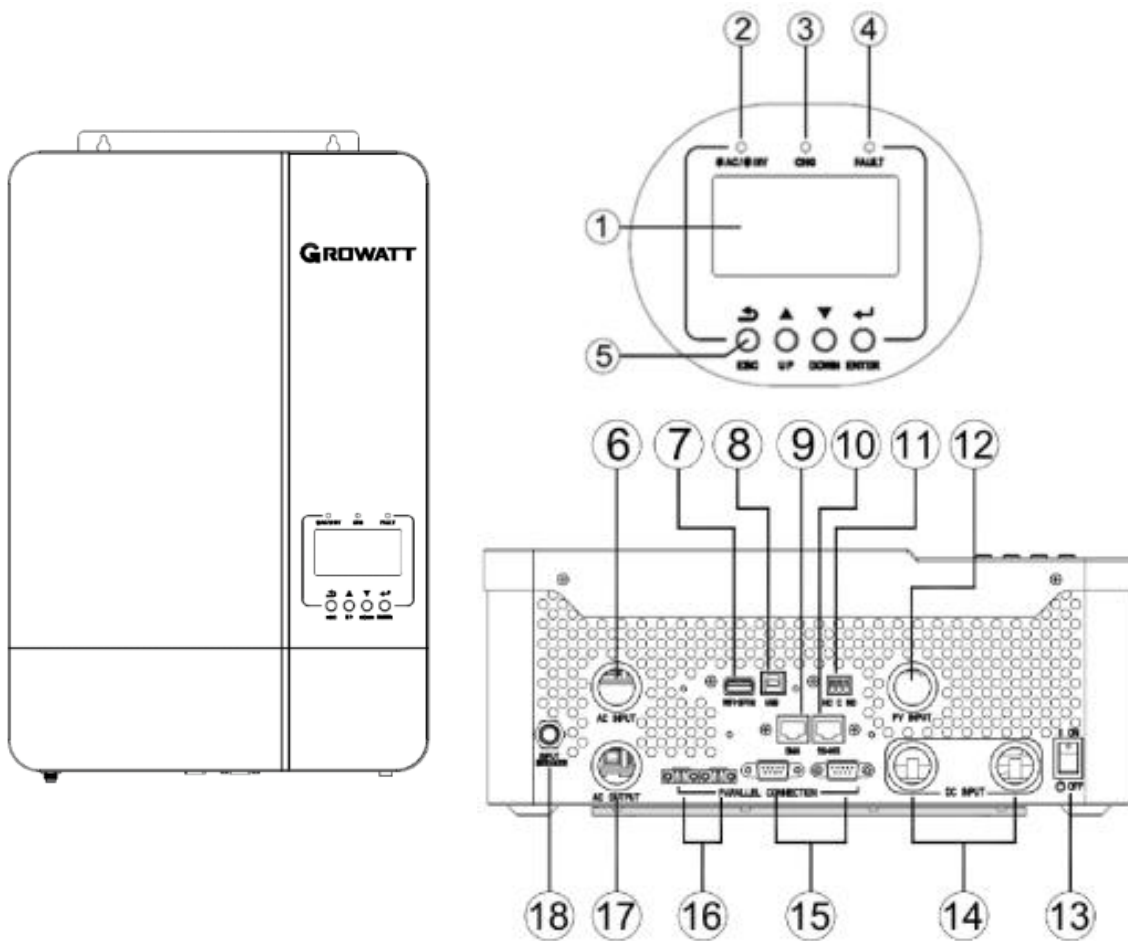
INVERSOR CARGADOR GROWATT 5KW

Características

- * Tensión y Frecuencia De Salida 220v
- * 60Hz 12v
- * Caracterizados por generar energía eléctrica siempre sinusoidal, de la misma calidad y características que la energía eléctrica.
- * Controlador MPPT **100A**
- * Cargador de batería incorporado

Datasheet	SPF 3500 ES	SPF 5000 ES
Battery Voltage	48VDC	
Battery Type	Lithium/Lead-acid	
INVERTER OUTPUT		
Rated Power	3500VA/ 3500W	5000VA/ 5000W
Parallel Capability	Yes, 6 units maximum	
AC Voltage Regulation (Battery Mode)	230VAC ± 5% @ 50/60Hz	
Surge Power	70000VA	10000VA
Efficiency (Peak)	93%	
Waveform	Pure sine wave	
Transfer Time	10ms typical, 20ms Max	
SOLAR CHARGER		
Maximum PV Array Power	4500W	6000W
MPPT Range @ Operating Voltage	120VDC – 430VDC	
Number of Independent MPP Trackers/ Strings Per MPP Tracker	1/1	
Maximum PV Array Open Circuit Voltage	450VDC	
Maximum Solar Charge Current	80A	100A
AC CHARGER		
Charge Current	60A	80A
AC Input Voltage	230 VAC	
Selectable Voltage Range	170-280 VAC (For Personal Computers) ; 90-280 VAC (For Home Appliances)	
Frequency Range	50Hz/60Hz (Auto sensing)	
PHYSICAL		
Protection Degree	IP20	
Dimension (W/H/D)	330/485/135mm	330/485/135mm
Net Weight	11.5kgs	12kgs
OPERATING ENVIRONMENT		
Humidity	5% to 95% Relative Humidity(Non-condensing)	
Altitude	<2000m	
Operating Temperature	0°C - 55°C	
Storage Temperature	-15°C - 60°C	

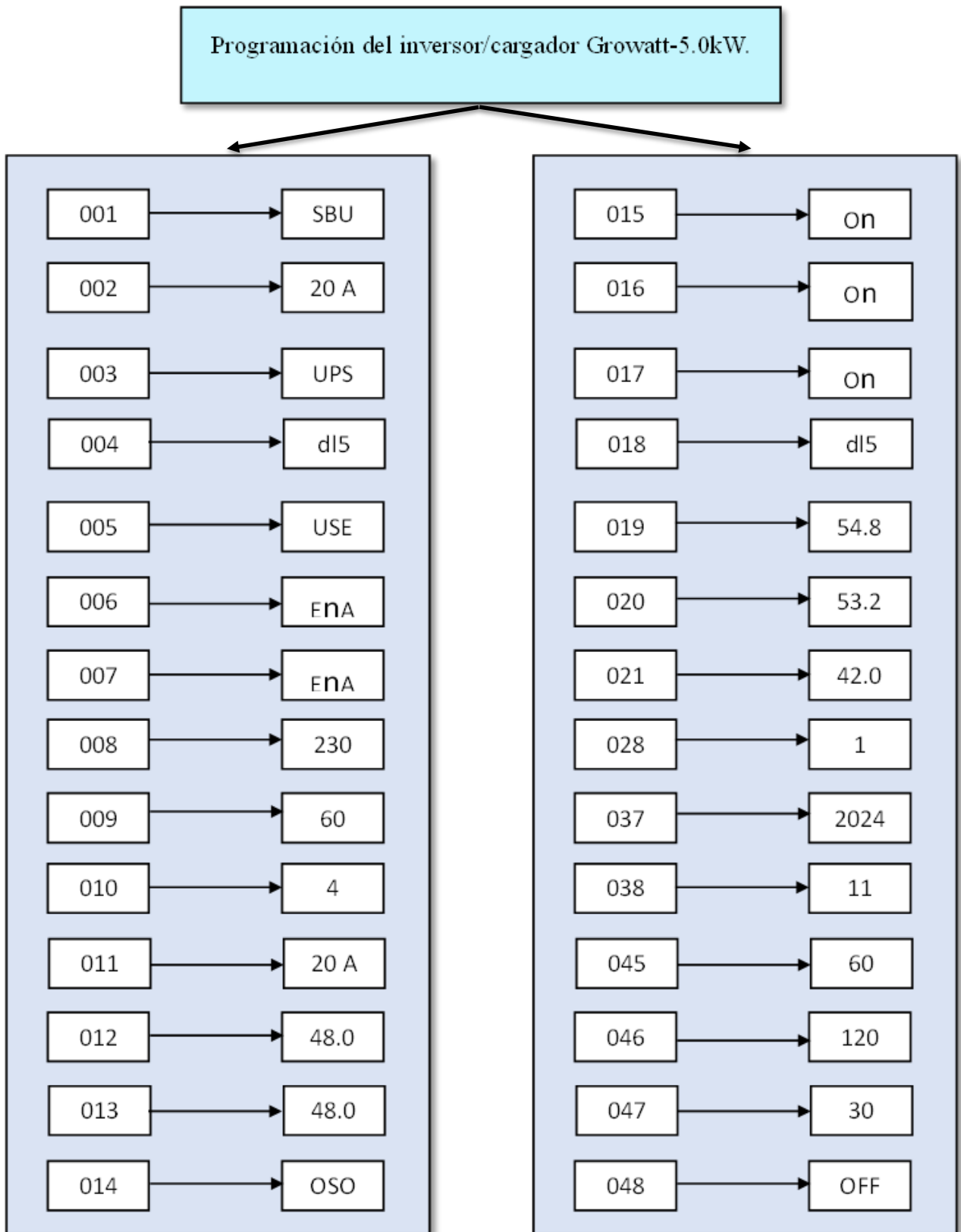
Anexo 19 Entradas para la conexión del inversor/cargador.



1. Pantalla LCD
2. Indicador de estado
3. Indicador de carga
4. Indicador de falla
5. Botones de función
6. Entrada de CA
7. Puerto de comunicación WiFi/GPRS
8. Puerto de comunicación USB
9. Puerto de comunicación BSM (admite CAN/RS485)

10. Puerto de comunicación RS485
11. Contacto seco
12. Entrada fotovoltaica
13. Interruptor de encendido/apagado
14. Entrada de batería
15. Puertos de comunicación paralelos
16. Puertos compartidos actuales
17. Salida de CA
18. Disyuntor

Anexo 20 Programación del inversor/cargador Growatt SPF5.0kW.



Anexo 21 Ficha técnica de la batería LiFePO₄-ZTT.

System Integrated Power Plant Energy Storage System

● 10AH-100AH Battery Pack



Application:

- Outdoor exposed on sunlight, no AC, small space, need wall/pole mount, no manpower.
- Outdoor integrated cabinet, broadband, , chamber, WLAN, Outdoor integrated base station, ONU, MBO, CBO (E), 4G integrated cabinet etc., outdoor, roof (floor), garage area.

Option:

Model	Series	Voltage/Capacity (V/Ah)		Weight (kg)	Voltage range(V)	Charge mode	Max. Charge current
ZTT4820	15	48	20	12.5	40.5-54		CC-CV
	16	48	20	13	43.2-57.6	20	
ZTT4840	15	48	40	23	40.5-54	40	
	16	48	40	24	43.2-57.6	40	
ZTT4850	15	48	50	29	40.5-54	50	
	16	48	50	30	43.2-57.6	50	
ZTT48100	15	48	100	50	40.5-54	100	
	16	48	100	53	43.2-57.6	100	

Item	Value	
Type/ModelStructure	ZTT-4850-P-V82018 / ZTT 48V50Ah Lithium Battery / (15s)	
Height 19" rack	3U (19" rack)	
Rated voltage	48 V	
Maximum charge voltage	54 V ± 0,2 V	
Final discharge voltage	40.5 V (adjustable)	
Rated capacity	50 A-h	
Rated charging current	0,2C (10 A, adjustable)	
Rated discharge current	0,5C (25 A, adjustable)	
Maximum discharge current	1C (50 A)	
Working temperature	Charge	0~+55°C
	Discharge	-20~+55°C
Permissible ambient humidity during operation	≤ 95%	
BMS ports	RS232, RS485	
Class IP	Indoor type IP20	
The dimensions of the battery module case (WxDxH)	482x420x132 mm± 2 mm (3U height), 420 depth does not include handles, terminals	
The color of module case	The black (Option – Color can be changed)	

Anexo 22 Ficha técnica del Growatt Shine Wifi-F.

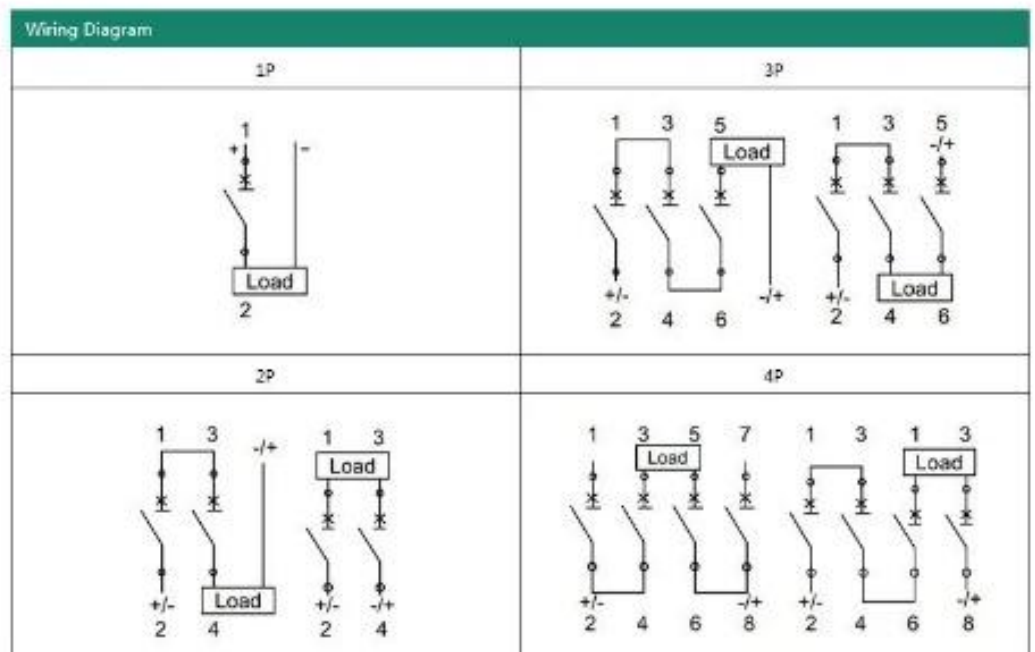


Datasheet	Shine WiFi-F
General Data	
Dimensions(Length/Width/Height)	135/79/29
Weight	63g
Manual language	English, Chinese
Wireless Parameters	
Wireless type	WiFi
Wireless standard	802.11 b/g/n
Transmit power	802.11b: +20dBm(Max.); 802.11g: +18dBm(Max.); 802.11n: +15dBm(Max.)
Receiver sensitivity	802.11b: -89dBm(Max.); 802.11g: -81dBm(Max.); 802.11n: -71dBm(Max.)
Hardware Parameters	
Data Interface	UART: 9600bps; Ethernet: 100Mbps
Operating Voltage	5V (+/-15%)
Operating Current	1A
Operating Temperature	-20°C~ +65°C
Storage Temperature	-40°C~ +70°C
Network Type	AP (Access Point); station mode (with soft AP)
Security Mechanisms	WEP / WPA-PSK / WPA2-PSK
Encryption	WEP64 / WEP128 / TKIP / AES
Application on Parameters	
Supported servers	ShineServer
Inverter communication	USB A-type
Sever Communication	WiFi via router (Modbus TCP protocol)
Supported Routers	Wireless router (Include 3G router)
User Configuration Interface	Wireless web server (Internet Browser)
Max. Communication Range	100m
Data Transfer Interval	5 minutes
Default Server URL	server-cn.growatt.com

Anexo 23 Ficha técnica de termomagnéticos de la marca FEEO.



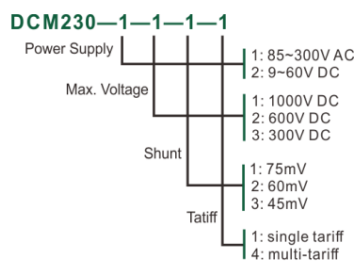
FPV-63 Series Circuit Breaker		FPV-63				
Frame Degree Rated Current (A)		63				
Pole		1P	2P	3P	4P	2P(CUSTOMIZED)
Rated Operating Voltage (V DC)		250	550	750	1000	800
Rated Insulation Voltage Ui (V DC)		1200V				
Rated Current In (A)		3,6,10,16,20,25,32,40,50,63A				
Rated Impact Voltage Uimp (kV)		4				
Ultimate Breaking Capacity Icu (kA)		6				
Run Breaking Capacity Ics (%Icu)		75%				
Curve Type		C				
Trip Type		Thermal-magnetic				
Mechanics	Actual average value	9700				
	Standard value	9700				
Electric	Actual average value	300				
	Standard value	300 (accord to TUV standard)				
Shunt release (SHT)		Option				
Undervoltage release (UNT)						
Auxiliary contact (AX)						
Alarm contact (AL)						
Wiring capacity (mm ²)		In <= 32A, 1-6, I >= 40A, 10-16				
Ambient temperature (°C)		-35~+70				
Altitude		<= 2000				
Relative humidity		<= 95%				
Pollution Level		3				
Installation Environment		No obvious shock and vibration				
Installation category		Class III				
Installation		DIN Standard rail				
Dimensions (W)x(H)x(Deep)	W	18	36	54	72	-
	H	80	80	80	80	-
	Deep	71	71	71	71	-
Weight (kg)		0.12	0.24	0.36	0.48	-



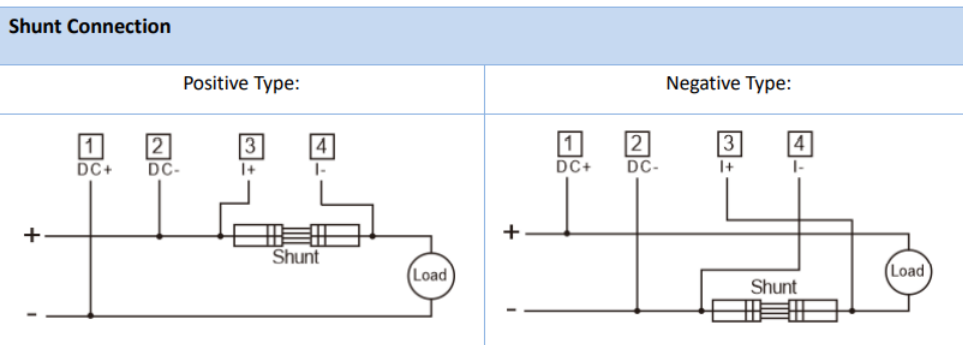
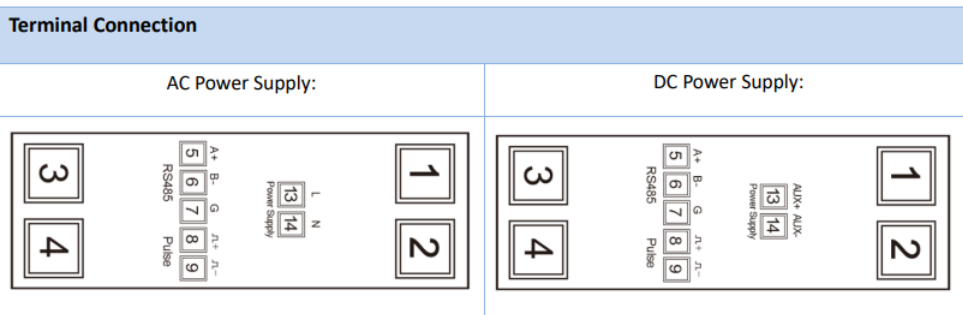
Anexo 24 Ficha técnica del medidor Eastron DCM230 DC.

Los medidores de energía CC de la serie Eastron DCM230 están diseñados para la medición y monitorización. Estos medidores para carril DIN miden parámetros importantes de CC: población, corriente, potencia, energía, etc. También admiten medición bidireccional con salida de pulsos. Todos los datos del medidor son accesibles vía RS485 mediante Modbus RTU. El medidor está disponible en dos versiones, que funcionan con alimentación de CA o CC. El rango de tensión de entrada es de hasta 300, 600 y 1000 V CC, y las entradas de corriente son flexibles con derivación de CC y sensores de corriente.

Model list



Wiring diagram



General Specifications

Voltage DC Input	5~300V DC, 5~600V DC, 5~1000V DC
Auxiliary Supply	85~300V AC (DCM230-1) or 9-60V DC (DCM230-2)
DC Shunt Input	75mV (default) 60mV, 45mV (optional)
Current Range	0~2000A
Power consumption	≤ 2W / 5VA
AC voltage withstand	4400V/ 1min
Impulse voltage	6.4kV - 1.2/50μS waveform
withstand Pulse output	1, 10, 100, 1000imp/kWh (default)
Pulse duration	60, 100 (default), 200mS
Pulse output indicate	Total kWh/ import kWh/ export kWh
Display	LCD with backlit
Max. Reading	999999.9kWh
Weight	220g
Standard	GB/T 33708-2017
Accuracy class	1 (max. 1% measurement deviation)

Anexo 25 Ficha técnica del medidor Carlo Gavazzi EM24-DIN.

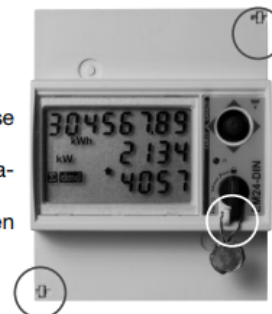
Kit de accesorios para impedir cualquier manipulación



El kit para impedir la manipulación del instrumento (dos cubiertas de protección atornilladas) puede conseguirse con la opción "PF".

El instrumento (opción PF) puede precintarse en un punto:

- El selector frontal (para bloquear la programación del instrumento);
- Después la instalación puede precintarse en otros dos puntos:
 - La cubierta superior;
 - La cubierta inferior.



Variables disponibles de M-bus y formato de trama

• Según el sistema seleccionado, las variables disponibles (vease tabla anterior) se transmiten vía M-bus en función de las siguientes tramas.

Trama	Número	Variable	Formato de datos	Trama	Número	Variable	Formato de datos
1	1	kWh (+) TOT	INT32	1	8	VAsys	INT32
1	2	kvarh (+) TOT	INT32	1	9	PFsys	INT16
1	3	kWh (+) L1	INT32	1	10	VLLsys	INT32
1	4	kWh (+) L2	INT32	1	11	VLNsys	INT32
1	5	kWh (+) L3	INT32	1	12	AL1	INT32
1	6	W sys	INT32	1	13	AL2	INT32
1	7	var sys	INT32	1	14	AL3	INT32
Trama	Número	Variable	Formato de datos	Trama	Número	Variable	Formato de datos
2	1	WL1	INT32	2	8	VAL2	INT32
2	2	WL2	INT32	2	9	VAL3	INT32
2	3	WL3	INT32	2	10	PFL1	INT16
2	4	varL1	INT32	2	11	PFL2	INT16
2	5	varL2	INT32	2	12	PFL3	INT16
2	6	varL3	INT32	2	13		
2	7	VAL1	INT32	2	14		
Trama	Número	Variable	Formato de datos	Trama	Número	Variable	Formato de datos
3	1	V12	INT32	3	8	kvarh (+) PAR	INT32
3	2	V23	INT32	3	9	kWh (-) TOT	INT32
3	3	V31	INT32	3	10	kvarh (-) TOT	INT32
3	4	VL1-N	INT32	3	11	Cuentahoras	INT32
3	5	VL2-N	INT32	3	12	Hz	INT16
3	6	VL3-N	INT32	3	13		
3	7	kWh (+) PAR	INT32	3	14		
Trama	Número	Variable	Formato de datos	Trama	Número	Variable	Formato de datos
4	1	DMD W sys	INT32	4	8		
4	2	DMD W sys max	INT32	4	9		
4	3	DMD VA sys	INT32	4	10		
4	4	DMD VA sys max	INT32	4	11		
4	5	DMD A max	INT32	4	12		
4	6			4	13		
4	7			4	14		

MID

Certificado conforme con la Directiva MID, Anexo "B" y Anexo "D" referente a los medidores de energía eléctrica activa (ver Anexo MI-003 MID). Puede usarse para metrología fiscal (legal), dependiendo de la normativa de cada país.

Código de pedido **EM24 DIN AV5 3 D O2 PF A**

Modelo _____
 Código de escala _____
 Sistema _____
 Alimentación _____
 Entrada/Salida _____
 Opciones _____
 Medidas _____

Selección del Modelo para versión MID

Códigos de escala

AV5: 400V_{LL} CA - 1/5 (10)A
(conexión mediante CT)
AV2: 400V_{LL} CA 10(65)A
(conexión directa)
 V_{LN}: 113V - 265V_{LN}
 V_{LL}: 196V - 460V_{LL}
AV9: 400V_{LL} CA - 10(65)A
(conexión directa)
 V_{LN}: 113V - 265V_{LN}
 V_{LL}: 196V - 460V_{LL}

Opciones

PF Certificado conforme con la Directiva MID, Anexo "B" y Anexo "D" referente a los medidores de energía eléctrica activa (ver Anexo MI-003 MID). Puede usarse para metrología fiscal (legal), dependiendo de la normativa de cada país.

Sistema

3: Trifásico, 4 hilos

Medidas

A: Integra la potencia positiva y negativa (no importa la polaridad del trafo, siempre mide la potencia y refleja en positivo el resultado de la generada y consumida) y el medidor de energía positiva total está certificado conforme con MID.

B: Solo el medidor de energía total positiva consumida está certificado conforme con MID. El medidor de energía total negativa generada no tiene certificación MID.

Alimentación

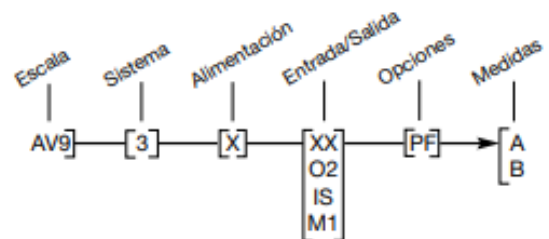
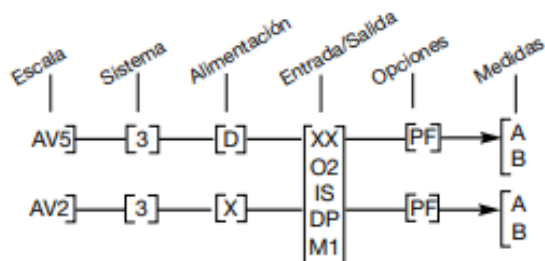
X: Autoalimentación
(Vea "las especificaciones de alimentación")
D: 115/230 VCA (50Hz)

Entrada/Salida

XX: Ninguna
O2: Dos salidas de colector abierto (dos salidas de pulsos o una salida de pulsos + una salida de alarma o dos salidas de alarma)
IS: 3 entradas digitales para selección de tarifa o medidas de Gas/ Agua/calefacción remota + puerto RS485
DP: Puerto Dupline más 3 entradas digitales para medidas Gas / Agua / calefacción remota
M1: Puerto M-bus

NOTA: consultar la disponibilidad del código en las tablas de verificación antes de realizar el pedido

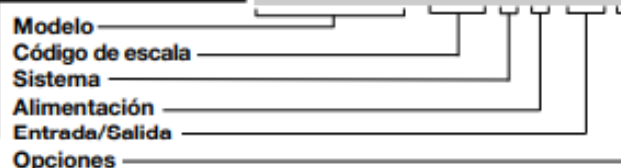
CT = Trafo de intensidad; VT = Trafo de tensión; PT = Trafo de potencia;



STANDARD

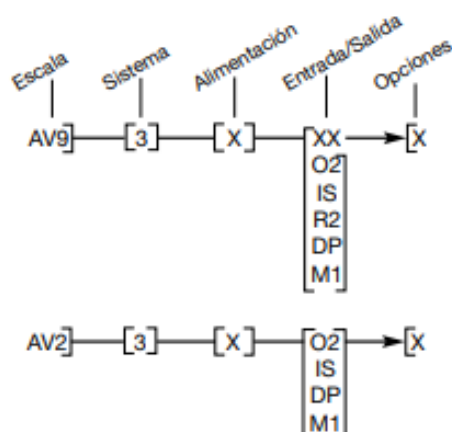
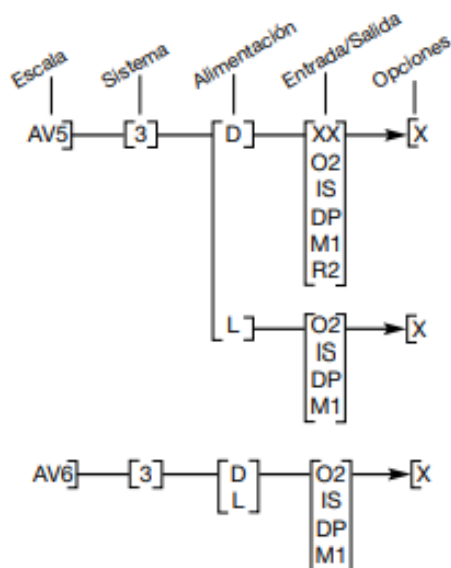
Sin certificación MID. No puede usarse para metrología fiscal (legal).

Código de pedido EM24 DIN AV5 3 D O2 X



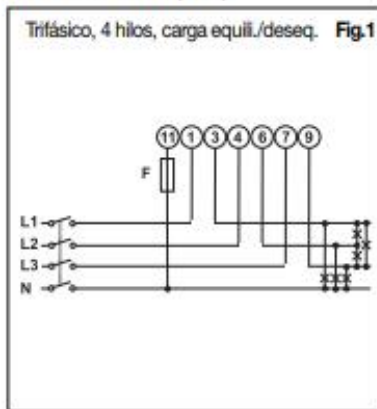
Selección del Modelo para versión estándar

Códigos de escala	Sistema	Alimentación	Entrada/Salida	
AV5: 400V _{LL} CA - 1/5 (10)A (conexión mediante CT) V _{LN} : 160V - 480V _{LN} V _{LL} : 277V - 830V _{LL}	3: Carga equilibrada y desequilibrada: Trifásico, 4 hilos; Trifásico, 3 hilos; Bifásico, 3 hilos; Monofás., 2 hilos	X: Autoalimentación (Ver "las especificaciones de alimentación")	XX: Ninguna O2: Dos salidas de colector abierto (dos salidas digitales o una salida digital + una salida de alarma o dos salidas de alarma)	
AV6: 208V _{LL} CA - 1/5(10)A (conexión mediante VT/PT y CT) V _{LN} : 40V - 144V _{LN} V _{LL} : 70V - 250V _{LL}		L: 18 a 60VCA/CC (48 a 62Hz)	D: 115/230 VCA (48 a 62Hz)	R2: Dos salidas de relé (funcionan como "O2")
AV2: 400V _{LL} CA 10(65)A (conexión directa) V _{LN} : 113V - 265V _{LN} V _{LL} : 196V - 460V _{LL}		Opciones X: Ninguna		IS: 3 entradas digitales para selección de tarifa o medidas de Gas/ Agua/calefacción remota + puerto RS485
AV9: 400V _{LL} CA - 10(65)A (conexión directa) V _{LN} : 184V - 276V _{LN} V _{LL} : 318V - 480V _{LL}		NOTA: consultar la disponibilidad del código en las tablas de verificación antes de realizar el pedido		

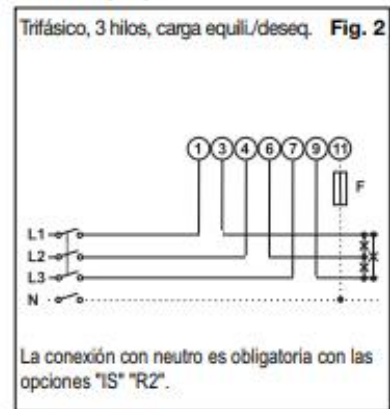




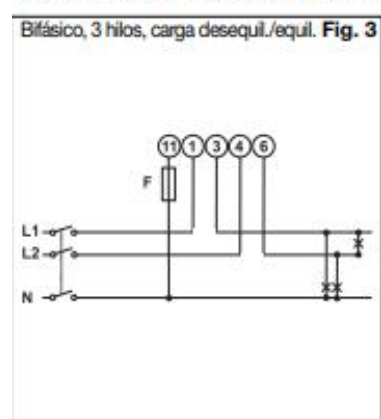
(65A) Selección del tipo de sistema:
Trifásico + neutro (3 Pn)



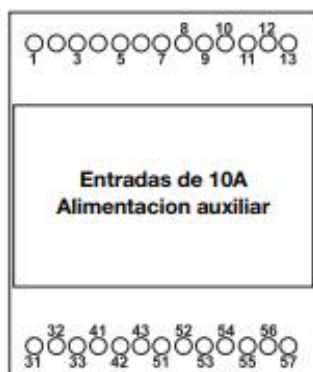
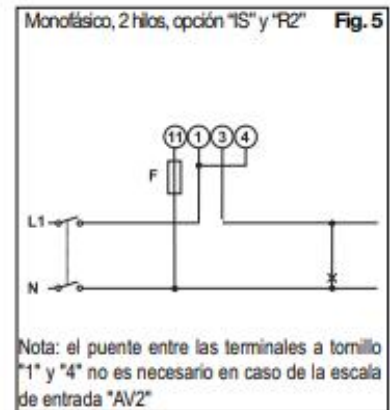
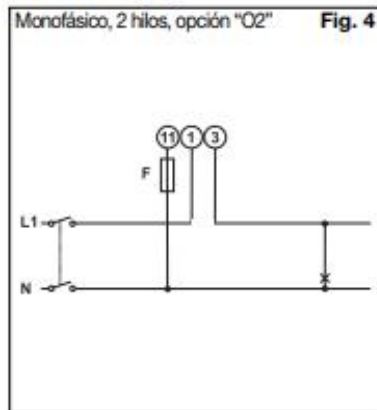
(65A) Selección del tipo de sistema:
Trifásico (3 P)



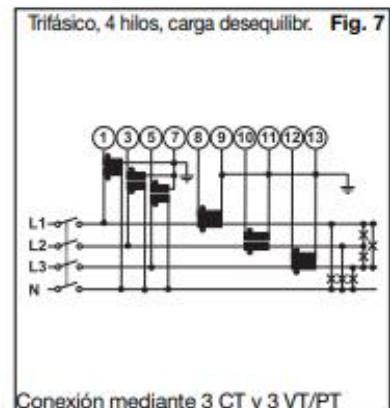
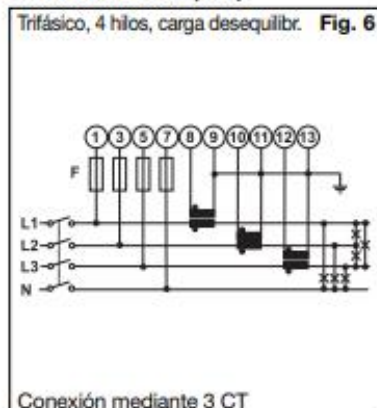
(65A) Selección del tipo de sistema: Bifásico



(65A) Selección del tipo de sistema:
Monofásico (1P)

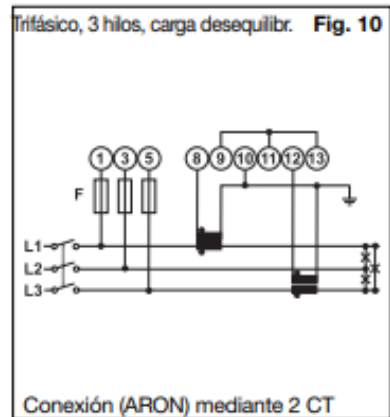
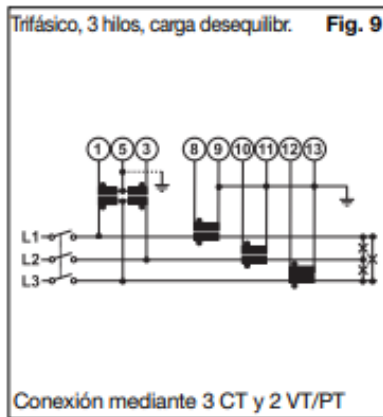
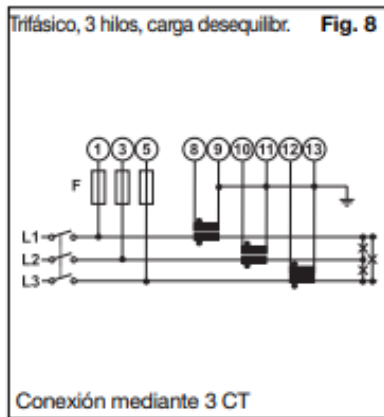


(10A) Selección del tipo de sistema:
Trifásico + neutro (3Pn)

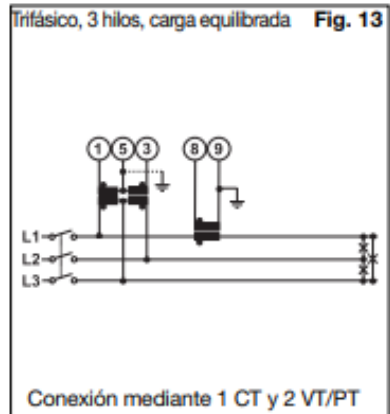
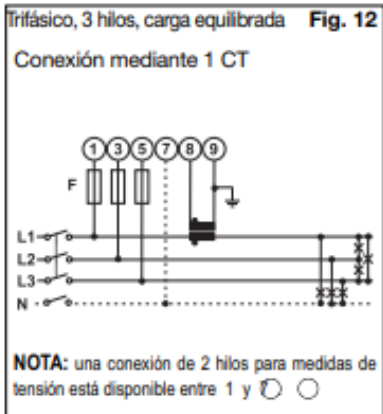
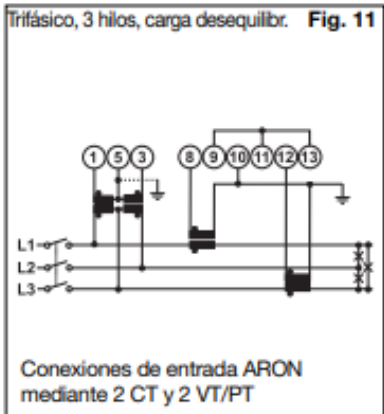


Diagramas de Conexión

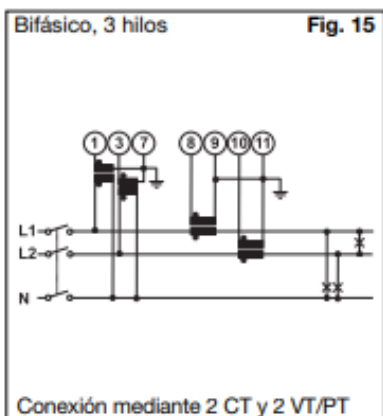
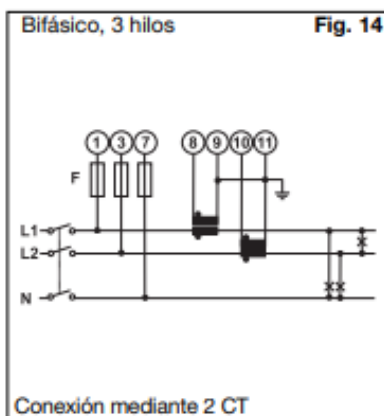
(10A) Selección del tipo de sistema: Trifásico + neutro (3Pn)



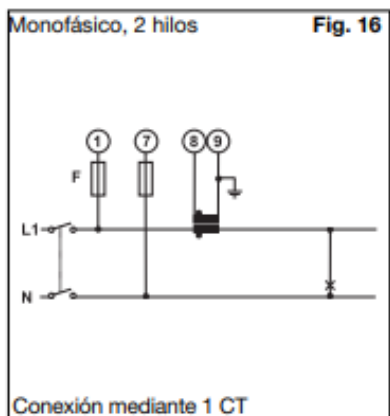
Selección del tipo de sistema: 3P.1



(10A) Selección del tipo de sistema: Bifásico (2P)

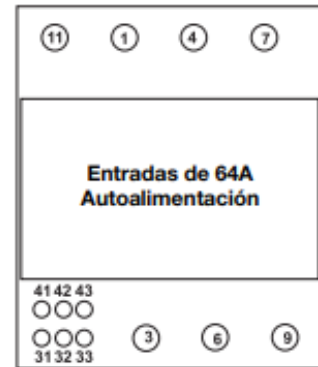
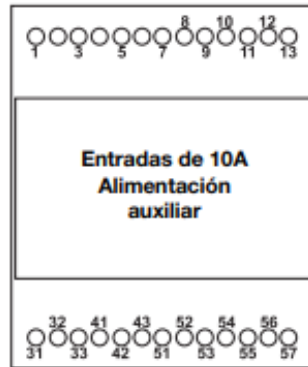
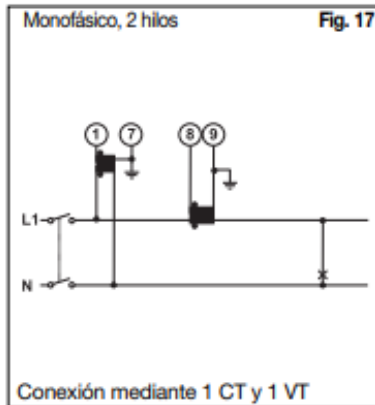


(10A) Selección del tipo de sistema: Monof.

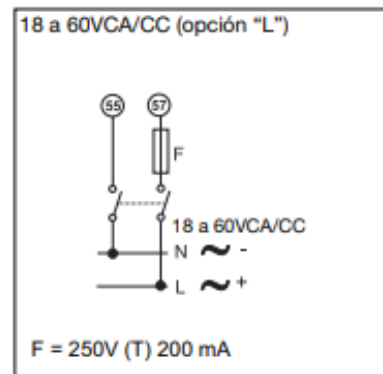
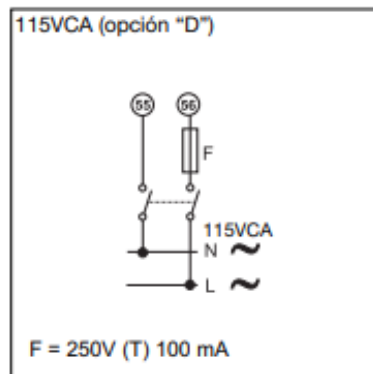
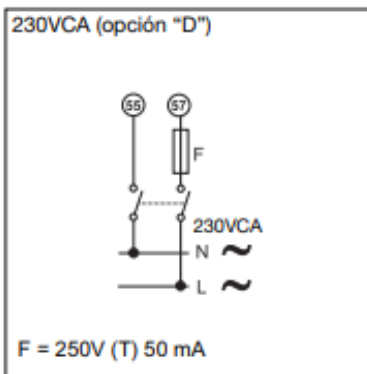


Diagramas de Conexión

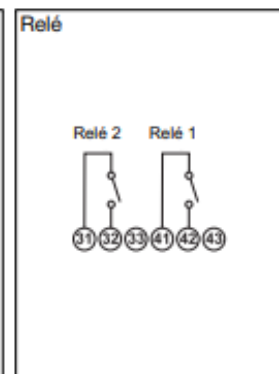
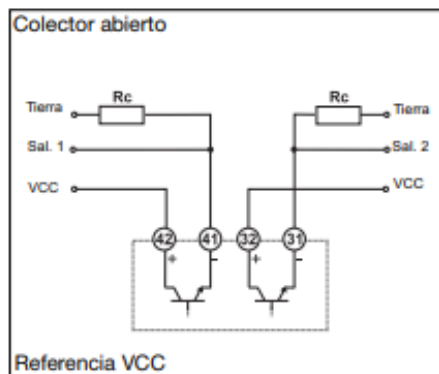
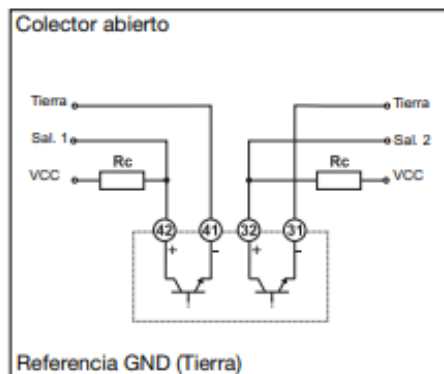
(10A) Selección del tipo de sistema: Monofásico (1P)



Diagramas de conexión de la alimentación (alimentación auxiliar)



Diagramas de conexión de las salidas de colector abierto y de relé



La resistencia de carga (Rc) deberá limitar la corriente de cortocircuito a menos de 100mA; la tensión VCC deberá ser inferior o igual a 30VCC.

Diagramas de conexión de las entradas digitales, del puerto RS485 y Dupline

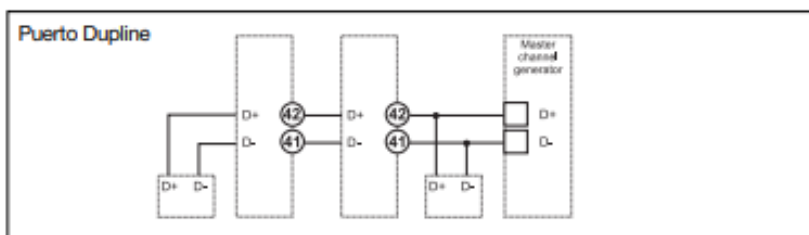
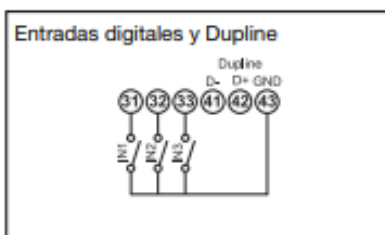
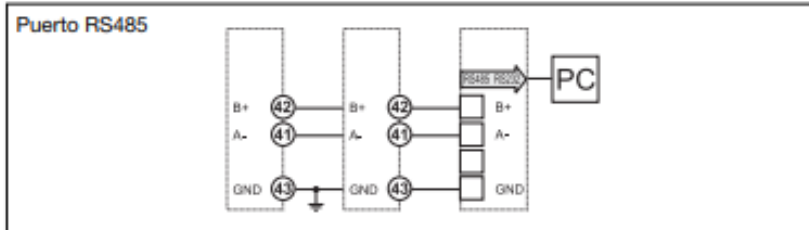
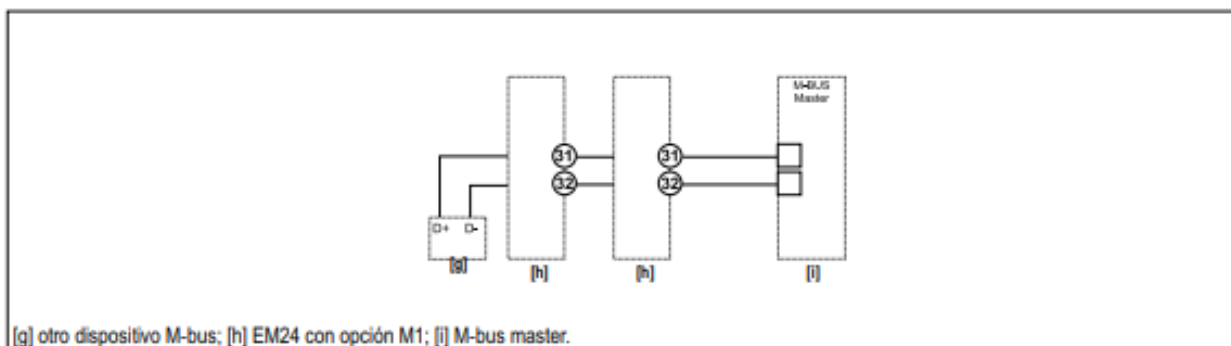


Diagrama de conexión de M-bus



UNW

UNW