



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECHANICA

**“CONTROL DE CARGAS DC PRIORITARIAS CON REGULADOR PWM
EN MODO “LOAD CONTROL” Y SUPERVISION ENERGETICA DE UNA
MICRORED FOTOVOLTAICA AISLADA”**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECHANICO**

Autores:

Lara Atiaja Luis Bernardino
Vega Tigasi Jonathan Mauricio

Tutor:

Ing. Cruz Pachi Luis Rolando M.Sc.

LATACUNGA – ECUADOR

MARZO – 2026

AGRADECIMIENTO

La culminación del proyecto representa el resultado de un proceso de aprendizaje, esfuerzo y dedicación, en el cual han participado diversas personas e instituciones que merecen mi sincero reconocimiento.

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a los docentes de la carrera, quienes a lo largo de mi formación académica compartieron sus conocimientos, experiencias y orientaciones, contribuyendo de manera significativa al desarrollo de mis competencias profesionales y a la realización de esta investigación.

De igual manera, agradezco a mi tutor de tesis por su guía, recomendaciones y acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo, lo cual fue fundamental para alcanzar los objetivos planteados.

También deseo agradecer a mi familia por su apoyo constante, por su comprensión durante los momentos de mayor dedicación académica y por ser una fuente permanente de motivación para seguir adelante.

Finalmente, expreso un especial agradecimiento a mi novia Leslie, por su paciencia, apoyo y motivación durante todo este proceso. Su compañía y palabras de aliento fueron un impulso importante para culminar con éxito esta etapa de mi vida académica.

Jonathan Vega.

DEDICATORIA

Dedico mi proyecto principalmente a Dios, por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta importante etapa de mi formación profesional.

A mis padres, quienes con su esfuerzo, apoyo incondicional y sacrificio han sido el pilar fundamental en mi camino académico. Gracias por sus enseñanzas, por motivarme a seguir adelante y por creer siempre en mí.

A mi familia, por su comprensión, paciencia y palabras de aliento durante todo este proceso, acompañándome en cada desafío y celebrando conmigo cada logro alcanzado.

De manera muy especial, a mi novia, por su amor, apoyo constante y motivación durante el desarrollo de este trabajo. Gracias por estar presente en los momentos difíciles, por brindarme ánimo para continuar y por acompañarme en este camino hacia el cumplimiento de una de mis metas más importantes.

Finalmente, dedico este logro a todas las personas que de alguna manera contribuyeron con su apoyo y confianza para que este sueño se haga realidad.

Jonathan Vega

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitir que cumpla esta meta, a mis padres José y Luisa por guiarme durante la carrera profesional, por darme valor de lucha y ser el motor que impulsa mis sueños, estando allí en los momentos más duros en el transcurso de mi carrera generando una motivación inmensurable a la hora de demostrar carácter y la fortaleza para conseguir aquello que uno siempre sonó.

A cada uno de mis hermanos, quienes forman parte fundamental en cada momento, bueno o malo es ahí donde siempre sé que contare con ellos y siempre serán para mí un ejemplo de perseverancia en cada instante. A mis compañeros y amigos de la carrera por generar los mejores momentos mientras duro la carrera y siempre contra con el apoyo condicional

Luis Lara.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, familiares y amigos por permitirme haber llegado hasta este momento importante de mi formación profesional. A todos aquellos que creyeron en mi en especial a mis padres porque me sacaron adelante, dándome su ejemplo digno de superación y entrega, motivándome cada día a ser mejor persona y por qué han creído en mi en lo que soy y puedo llegar a ser.

Luis Lara.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERA Y APLICADAS

**TÍTULO: “CONTROL DE CARGAS DC PRIORITARIAS CON REGULADOR PWM
EN MODO “LOAD CONTROL” Y SUPERVISION ENERGETICA DE MICRORED
FV AISLADA”**

Autores:

Lara Atiaja Luis Bernardino

Vega Tigasi Jonathan Mauricio

RESUMEN

En el presente proyecto se implementó una barra de distribución corriente continua mediante un regulador de carga TS-PMW-60 (Modulación por ancho de pulso) para el control de cargas integrado a una Microred fotovoltaica aislada, este sistema genera una potencia de 2880 W a 60 A, alimentando equipos del sistema SCADA del proyecto DIRGI - CP 2021 – 008 a 48 V de corriente continua los mismos que suministran energía al tablero de comunicación como sistema prioritario y también cargas externas como iluminación. Este sistema reduce pérdidas energéticas asociadas a procesos innecesarios de conversión de corriente continua a corriente alterna y nuevamente a corriente continua, también permitió registrar el consumo de energía de la barra DC, así como la barra AC que se encontraba instalada en el mismo sistema por medio de un regulador con tecnología TS-MPPT. En este proceso se configuro el regulador TS-PWM 60 en modo “Load control” en donde se gestiona la carga de las baterías de forma segura evitando la sobrecarga, además de la comunicación entre el regulador TS-PWM 60, TS-MPPT y un ordenador mediante un protocolo de modbus RTU, ambos equipos de regulación se comunicaron por medio de un puente RS-232 y RS-485 el cual se conoce como adaptador RCS para su comunicación y posteriormente la transferencia de información entre los reguladores TS-MPPT, TS-PWM 60 y el ordenador por medio de un cable Ethernet. Se realizo pruebas de comunicación del regulador de carga TS-MPPT y TS-PWM 60 mediante el software Modbus Poll y el MS View de las siguientes variables en comunicación, voltaje de la batería, voltaje de escalamiento y el estado de las cargas DC prioritarias. Durante las pruebas se evaluó la variable de voltaje de la batería del regulador de carga TS-MPPT obteniéndose un valor de 56.96 V este resultado fue comparado con la lectura mostrada en la pantalla del sistema físico, evidencio valores similares, lo que permitió validar la comunicación y monitoreo de los parámetros eléctricos del sistema.

Palabras clave: sistema fotovoltaico, barra de distribución DC, control de cargas, regulador PWM, monitoreo energético.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**TITLE: “CONTROL OF PRIORITY DC LOADS WITH PWM REGULATOR IN
'LOAD CONTROL' MODE AND ENERGY MONITORING OF AN OFF-GRID PV
MICROGRID”**

AUTHORS:

Lara Atiaja Luis Bernardino

Vega Tigasi Jonathan Mauricio

ABSTRACT

This project involves the design and implementation of a Direct Current (DC) load control system integrated into an off-grid photovoltaic microgrid, as part of the institutional project DIRGI-CP 2021–008 at the Technical University of Cotopaxi. The proposal focuses on enhancing the energy management of the existing photovoltaic infrastructure by incorporating a 48V DC distribution bus and configuring a TS-PWM charge controller operating in 'Load Control' mode. This configuration allows for the direct powering of DC loads from the battery bank, significantly reducing energy losses associated with unnecessary DC-to-AC and subsequent AC-to-DC conversion processes. The primary objective of this initiative is to complement the existing AC bus in project DIRGI-CP2021-008, which utilizes TS-MPPT technology and is powered by nine 140W solar panels (providing a total of 1290W for AC consumer equipment). The proposed system adds a 48V DC bus integrating a 60A TS-PWM charge controller, capable of managing a peak power point of up to 2880W across the DC bus-essential for powering SCADA system equipment. Furthermore, both charge controllers communicate via the Modbus protocol using an RSC adapter for Ethernet network connectivity. This integration enables real-time supervision and monitoring of both photovoltaic systems through a computer using MS View software. The monitored data includes battery and solar panel voltage, load current, battery temperature, delivered power, and other key electrical variables. Ultimately, the system achieves superior cost-benefit efficiency for photovoltaic generation, delivering favorable long-term results.

Keywords: Photovoltaic system, DC distribution bus, Load control, PWM charge controller, Energy monitoring.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Situacion problematica	18
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	19
1.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	19
2.3.1 Objeto de investigación.....	19
2.3.2 Campo de acción.....	19
1.4. BENEFICIARIOS	19
1.4.1. Directos.....	19
Los beneficiarios directos de la presente propuesta tecnológico son:	19
1.4.2. Indirectos	19
Los beneficiarios indirectos de la presente propuesta tecnológico son:	19
1.5. JUSTIFICACION.....	20
1.6. OBJETIVOS.....	20
1.6.1. General.....	20
1.6.2. Especificos.....	20
2. FUNDAMENTACIÓ TEORICA	21
2.1. Sistema fotovoltaico	23
2.1.1. Componentes del sistema fotovoltaico	24
2.1.2. Controladores de carga en sistemas fotovoltaicos.....	25

2.1.3.	Fundamentación para sistemas DC y control de cargas	25
2.2.	Regulador MPPT (seguidor del punto de máxima potencia)	26
2.2.1.	Algoritmo perturbación y observación (P - O).....	26
2.2.2.	Curva característica de un modo fotovoltaico y punto de máxima potencia (MPP) 27	
2.3.	Regulador PWM (Modulación por ancho de pulso).....	28
2.3.1.	Algoritmo de control PWM.....	29
2.4.	Comunicación RS - 485.....	30
2.4.1.	Características mecánicas	31
2.4.2.	Características eléctricas.....	31
2.4.3.	Líneas balanceadas	31
2.4.4.	Protocolo maestro/esclavo	32
2.5.	Comunicación RS - 232.....	32
2.5.1.	Características mecánicas	33
2.5.2.	Características eléctricas.....	33
2.5.3.	Características lógicas	34
2.6.	Protocolo de comunicación Modbus	34
2.6.1.	Protocolo de comunicación Modbus TCP/IP	35
2.7.	Software MS view morningstar	35
2.8.	Gestión del excedente de energía en sistemas fotovoltaicos	36
3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	39
3.1.	Sistema fotovoltaico base del proyecto DIRGI-CP2021-008.....	39
3.1.1.	Equipos disponibles del sistema AC	40
3.2.	Metodología Aplicada y desarrollo	41
3.2.1.	Implementación de la red de comunicación Ethernet.....	42
3.2.2.	Desarrollo de la red de comunicación Ethernet.....	43
3.3.	Comunicación entre reguladores TS-PWM y TS-MPPT	44

3.4.	Comunicación entre el regulador TS-MPPT Y TS-PWM.....	45
3.4.1.	Conexión del bus de comunicación RS-485/RS232.....	45
3.4.2.	Activación del puente de comunicación en el regulador MPPT	46
3.4.3.	Configuración de direcciones Modbus	47
3.5.	Diseño e implementación de la barra de corriente continua DC	48
3.5.1.	Cálculo de los parámetros eléctricos de la barra DC.....	48
3.5.2.	Cálculo de la corriente nominal de la barra DC	48
3.5.3.	Cálculo de la corriente de diseño con margen de seguridad.....	49
3.5.4.	Dimensionamiento de los conductores	49
3.5.5.	Conexión del regulador de carga TS-PMW	50
3.6.	Configuración del regulador TS-PWM en modo load Control	51
3.6.1.	Tipos de configuración DIP switches	52
3.6.2.	Ajuste de los interruptores tipo Dip del regulador de carga TS-PWM-60	53
3.6.3.	Modo carga (Dip 1):	53
3.6.4.	Voltaje (Dip 2 y 3):.....	54
3.6.5.	Algoritmo de carga de batería (DIP numero 4-5-6):	54
3.6.6.	Ecualizacion de batería (DIP numero 7):	55
3.6.7.	Reducción de ruido, control de carga, iluminación o ecualización (DIP 8):.....	55
3.7.	Dimensionamiento de los acumuladores	55
3.7.1.	Baterías 6-CNJ-120	57
3.7.2.	Dimensionamiento de los conductores	57
3.7.3.	Cálculo de la capacidad de potencia de la barra de corriente continua DC.....	57
3.7.4.	Instalación física del sistema de distribución de corriente continua	57
3.7.5.	Integración final del sistema fotovoltaico	60
4.	ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	61
4.1.	Pruebas de comunicación de comunicación en regulador MPPT y software Modbus Poll	61

4.1.1.	Variable voltaje de escala	63
4.1.2.	Variable voltaje de la batería del regulador TS-MPPT	64
4.2.	Pruebas de comunicación en regulador TS – 60 PWM y software Modbus Poll.....	66
4.2.1.	Prueba de voltaje de la batería del regulador TS-60.....	66
4.3.	Prueba de parámetros operativos de los reguladores MPPT y TS-60 en MS View .	69
4.4.	Prueba de las variables Va_max_daily (voltaje máximo diario del arreglo fotovoltaico) del regulador TS-MPPT y T_load_on (tiempo de activación de la carga) del regulador TS-PWM-60 obtenido mediante el software MS View	70
5.5	Prueba de conexión de carga DC.....	72
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1.	CONCLUSIONES.....	75
5.2.	RECOMENDACIONES	76
6.	REFERENCIAS	77
8	ANEXOS	81

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 3.1. Sistema fotovoltaico con reguladores MPPT y PWM.</i>	24
<i>Figura 3.2. Algoritmo perturbación y observación [11].</i>	27
<i>Figura 3.3. Curva característica de un modo fotovoltaico y punto de máxima potencia (MPP) [12].</i>	28
<i>Figura 3.4. Esquema del sistema de modulación por ancho de pulso [14].</i>	29
<i>Figura 3.5. Diagrama de flujo del algoritmo de control PWM [15].</i>	30
<i>Figura 3.6. Diagrama de pines y señales del conector RS-485 DB9 [20].</i>	32
<i>Figura 3.7. Diagrama de pines y señales del conector RS-23 [23].</i>	34
<i>Figura 3.8. Estructura de la trama del protocolo Modbus TCP/IP [25].</i>	35
<i>Figura 3.9. Gráfica del balance energético diario en un sistema fotovoltaico</i>	37
<i>Figura 4.1. Sistema inicial de una barra de AC.</i>	40
<i>Figura 4.2. Sistema actual DC.</i>	42
<i>Figura 4.3. Conexión de la red de comunicación Ethernet.</i>	42
<i>Figura 4.4. switch Ethernet industrial.</i>	43
<i>Figura 4.5. Esquema de conexión del regulador TS-MPPT mediante red Ethernet.</i>	44
<i>Figura 4.6. Conversor RSC-1.</i>	45
<i>Figura 4.7. Comunicación entre regulador TS-MPPT y TS-PWM por medio de un Adaptador RSC-1.</i>	46
<i>Figura 4.8. Activación del puente de comunicación en el regulador MPPT. Adaptado de [30].</i>	47
<i>Figura 4.9. Esquema de conexiones indispensables de un regulador TS-PWM.</i>	51
<i>Figura 4.10. DIP Switches del regulador TS 60A.</i>	52
<i>Figura 4.11. Configuración del DIP switches del regulador TS 60A.</i>	53
<i>Figura 4.12. Configuración del regulador de carga TS-PWM</i>	53
<i>Figura 4.13. Banco de batería 6-CNJ-120.</i>	56
<i>Figura 4.14. Diseño del módulo integrado en Fusión 360.</i>	59
<i>Figura 4.15. Arquitectura general del sistema fotovoltaico implementado con barra de distribución DC y sistema de monitoreo. [Elaboración propia].</i>	60
<i>Figura 5.1. Configuración de conexión en el software Modbus Poll.</i>	62
<i>Figura 5.2. Lectura de registros del regulador MPPT en Modbus Poll.</i>	63
<i>Figura 5.3. Tabla del manual Modbus del regulador MPPT 60 [31].</i>	63
<i>Figura 5.4. Ecuación para voltaje de escala [31].</i>	64

<i>Figura 5.5. Lectura de registros Modbus en el software Modbus Poll.</i>	65
<i>Figura 5.6. TTabla del manual Modbus del regulador. Adaptado de [31].</i>	65
<i>Figura 5.7. Lectura de registros Modbus del regulador mediante el software Modbus Poll.</i> .	67
<i>Figura 5.8. Mapa de registros RAM para la variable de voltaje de batería del regulador Morningstar TriStar TS-60 [32].</i>	68
<i>Figura 5.9. Visualización de variables de operación de los reguladores TS-MPPT-60 y TS-60 mediante el software de monitoreo MS View.</i>	69
<i>Figura 5.10. prueba del comportamiento de las variables Va_max_daily del regulador MPPT y T_load_on del regulador TS-60 obtenidas mediante el sistema de monitoreo MS View.</i>	71

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Áreas Conocimiento Unesco.....	16
Tabla 4.1. Equipos disponibles de la barra AC	40
Tabla 4.2. Especificaciones Técnicas conductor calibre #4 AWG cobre.....	50
Tabla 4.3. Modo de control	54
Tabla 4.4. Modo de control	54
Tabla 4.5. Modo de control	55
Tabla 4.6. Modo control.	55
Tabla 4.7. Descripción de componentes.....	59
Tabla 5.1. Variables utilizadas para el cálculo del voltaje de batería del regulador TS-60	67
Tabla 5.2. Descripción de variables analizadas en los reguladores del sistema fotovoltaico...	70

1. INFORMACION GENERAL

Tema del proyecto: Control de cargas DC prioritarias con regulador PWM en modo “load control” y supervisión energética de una Microred fotovoltaica aislada.

Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	X
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Exámen de indicadores de RDA		

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Implementación de tecnologías en el proyecto DIRGI-CP2021-008 de la Universidad Técnica De Cotopaxi.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Ponente 1: Lara Atiaja Luis Bernardino

Ponente 2: Vega Tigasi Jonathan Mauricio

Docente Tutor: Ing. Luis Rolando Cruz Panchi M.Sc.

Área de Conocimiento:

Tabla 0.1. Áreas Conocimiento Unesco.

Área de conocimiento	Subárea de conocimiento	Subárea específica del conocimiento
07 Ingeniería, Industria y Construcción	071 Ingeniería y profesiones Afines	0713 Electricidad y energía

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Diseño y construcción de proyectos electromecánicos.

1.INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló en el marco del proyecto de investigación institucional DIRGI - CP 2021 – 008, realizado en la Universidad Técnica de Cotopaxi, el cual tiene como principio fortalecer sistemas energéticos basados en fuentes renovables y la implementación de soluciones tecnológicas para micro redes fotovoltaicas aisladas. En este contexto, se plantea el diseño e implementación de un sistema de control de cargas DC prioritarias con regulador TS-PWM en modo “load control”, integrado con un sistema de supervisión energética dentro de una Microred fotovoltaica aislada que opera a 48V en corriente continua. Esta configuración permite gestionar de manera automática la conexión y desconexión de las cargas en función de parámetros eléctricos del sistema, garantizando así el suministro de energía para los equipos y dispositivos que operan directamente en este sistema.

En la actualidad, la Universidad Técnica de Cotopaxi dispone de un sistema foto-voltaico que suministra energía en corriente alterna (AC), este sistema alimenta las cargas a través del inversor y genera pérdidas por conversión que reducen la eficiencia del sistema. Lo que impide aprovechar directamente la energía en corriente continua (DC) proveniente de los paneles y de las baterías. Esta limitación afecta la autonomía, el rendimiento y la capacidad de integrar cargas DC de forma segura y eficiente.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de incorporar una barra DC con control de cargas mediante un regulador PWM como una solución tecnológica orientada a mejorar la eficiencia energética, reducir pérdidas por conversión y optimizar la energía, sin la necesidad de sacrificar el rendimiento en todo el proceso de generación.

El proyecto se justifica por la necesidad identificada en la oficina del proyecto DIRGI - CP 2021 – 008 de disponer de puntos de carga en corriente continua a 48 voltios para en una futura tesis alimentar todo el sistema SCADA del proyecto, considerando que actualmente solo existen puntos de carga en corriente alterna. Desde el punto de vista técnico, resulta más eficiente suministrar energía directamente en DC a estos dispositivos, evitando procesos innecesarios de conversión DC–AC–DC que incrementan las pérdidas energéticas, disminuyen la autonomía del sistema y aumentan la dependencia de equipos adicionales, lo cual afecta la eficiencia global del sistema fotovoltaico [2].

El desarrollo del proyecto permite evidenciar el cumplimiento del objetivo general, al concretar el diseño e implementación de una barra de corriente continua con control de cargas, a partir de un sistema solar aislado, que permite la alimentación de cargas en corriente continua (DC), mediante la adaptación del regulador PWM en modo “load control” al sistema existente en términos de control de potencia, conexiones eléctricas y comunicación, contribuyendo directamente a la mejora de la eficiencia energética y al rendimiento del sistema fotovoltaico institucional. De forma complementaria, los objetivos específicos se materializan a través de la investigación de las características eléctricas del sistema fotovoltaico y de sus cargas mediante revisión teórica y análisis técnico, la implementación del sistema de control y priorización de cargas en DC, y la obtención de datos operativos del regulador por medio de comunicación serial a través de una computadora, lo que permite el monitoreo, análisis y supervisión del comportamiento energético del sistema.

El alcance del proyecto comprende el diseño, implementación y validación de una barra de distribución de corriente continua a 48 voltios con control de cargas, integrada al sistema fotovoltaico aislado existente, incluyendo la selección y adaptación del regulador PWM, el diseño de la barra de corriente (DC), la habilitación de puntos de carga en corriente continua, la implementación del sistema de control y priorización de cargas, y la integración de un sistema de monitoreo mediante comunicación serial RS-232 y RS-485.

El desarrollo se limita al entorno operativo de la oficina del proyecto DIRGI - CP 2021 – 008 y a las cargas definidas dentro del estudio técnico del sistema. El proyecto no contempla la ampliación de la capacidad de generación fotovoltaica instalada ni el rediseño estructural completo del sistema existente, ya que se basa en la infraestructura disponible, y se restringe a la operación a 48 voltios en corriente continua, sin considerar otros niveles de tensión.

La metodología del presente proyecto se desarrolla bajo un enfoque técnico–aplicado y experimental [3], orientado al diseño, implementación y validación de un sistema de distribución de corriente continua con control de cargas. Primero, se realiza una revisión teórica sobre sistemas fotovoltaicos, micro redes aisladas y reguladores de carga PWM, seguida de un levantamiento de información técnica del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Técnica de Cotopaxi, considerando parámetros eléctricos como niveles de tensión, corriente, potencia instalada, capacidad de almacenamiento y topología de cargas. Posteriormente, se efectúa el diseño la barra de corriente continua, la selección y adaptación del regulador PWM en modo load control, y la implementación del sistema de control y priorización de cargas. Finalmente, se integran los sistemas de monitoreo y comunicación serial para la adquisición de datos, se realizan pruebas operativas, mediciones eléctricas y validaciones funcionales, con el fin de evaluar el desempeño, la eficiencia energética y la estabilidad del sistema bajo condiciones reales de operación.

El documento se estructura en ocho apartados principales: información general, introducción, fundamentación teórica, métodos y procedimientos, análisis de resultados, conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos, que sustentan el proyecto.

1.1. Situación problemática

En la actualidad, la Universidad Técnica de Cotopaxi dispone de un sistema foto-voltaico que suministra energía en corriente alterna (AC), este sistema alimenta las cargas a través del inversor y genera pérdidas por conversión que reducen la eficiencia del sistema. Lo que impide aprovechar directamente la energía en corriente continua (DC) proveniente de los paneles y de las baterías.

Frente a esta problemática, surge la necesidad de incorporar una barra DC con control de cargas mediante un regulador PWM como una solución tecnológica orientada a mejorar la eficiencia energética, reducir pérdidas por conversión y optimizar la energía, sin la necesidad de sacrificar el rendimiento en todo el proceso de generación.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

La Universidad Técnica de Cotopaxi dispone de un sistema foto-voltaico que suministra energía en corriente alterna (AC), este sistema alimenta las cargas a través del inversor y genera pérdidas por conversión que reducen la eficiencia del sistema. Lo que impide aprovechar directamente la energía proveniente de los paneles solares y de las baterías. Esta limitación afecta la autonomía, el rendimiento por esta razón, surge la necesidad de incorporar una barra DC con control de cargas utilizando un regulador TS-PWM para mejorar la eficiencia y el aprovechar de mejor manera el sistema fotovoltaico.

1.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de investigación

El objetivo de la presente investigación es la creación de una barra DC y análisis de sistemas fotovoltaicos por medio de un módulo de regulación de carga PWM (Modulación por ancho de pulso).

2.3.2 Campo de acción

Tabla 2. Campos de referencia

33 Ciencias tecnológicas	3322 Tecnología Energética	3322.05 Fuentes no convencionales de energía
---------------------------------	-----------------------------------	---

1.4. BENEFICIARIOS

1.4.1. Directos

Los beneficiarios directos de la presente propuesta tecnológico son:

- Investigadores del proyecto, Docentes universitarios y comunidad universitaria.

1.4.2. Indirectos

Los beneficiarios indirectos de la presente propuesta tecnológico son:

- Comunidad universitaria del sector San Felipe (La Matriz) con la implementación e innovación de tecnología en eficiencia energética y análisis de estos sistemas para el desarrollo estudiantil.

1.5. JUSTIFICACION

El proyecto se justifica por la necesidad identificada en la oficina del proyecto DIRGI - CP 2021 – 008 de disponer de puntos de carga en corriente continua a 48 voltios para en una futura tesis alimentar todo el sistema SCADA del proyecto, considerando que actualmente solo existen puntos de carga en corriente alterna. Desde el punto de vista técnico, resulta más eficiente suministrar energía directamente en DC a estos dispositivos, evitando procesos innecesarios de conversión DC–AC–DC que incrementan las pérdidas energéticas, disminuyen la autonomía del sistema y aumentan la dependencia de equipos adicionales, lo cual afecta la eficiencia global del sistema fotovoltaico [2].

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. General

Diseñar un bus de corriente continua con control de cargas, mediante un regulador TS-PWM, para mejorar la eficiencia energética y el rendimiento del sistema foto-voltaico orientado al diseño, implementación y validación de un sistema de distribución de corriente continua con control de cargas.

1.6.2. Especificos

- Implementar un sistema eficaz para corriente alterna en donde un módulo regulador PWM reducirá pérdidas importantes considerando el número de paneles que tiene el sistema fotovoltaico de la Universidad Técnica De Cotopaxi.
- Diseñar un módulo de conexión directa para equipos de alimentación de corriente continua de 48 V (DC) Y mayor aprovechamiento de los equipos del proyecto DIRGI - CP 2021 – 008.
- Investigar las características eléctricas del sistema fotovoltaico existente y sus cargas a partir de proyectos iniciales en el mismo sistema.
- Diseñar la barra de corriente continua (DC), seleccionando por medio de un regulador TS-PWM de 60 A de corriente, generando hasta 2880 W de potencia en la misma barra, garantizando el correcto funcionamiento de los equipos SCADA del proyecto DIRGI - CP 2021 – 008
- Evaluar el desempeño del sistema con el bus DC instalado y compararlo con la operación del bus AC.

2. FUNDAMENTACIÓ TEORICA

El sistema energético existente en la Microred fotovoltaica se encuentra estructurado bajo un esquema convencional de conversión energética, en el cual la generación fotovoltaica producida por los paneles solares ingresa al regulador de carga, posteriormente se almacena en el banco de baterías en corriente continua, y desde este punto es conducida hacia un inversor, encargado de transformar la corriente continua (DC) en corriente alterna (AC) para su distribución a las cargas del proyecto DIRGI - CP 2021 – 008. A partir de ahí la totalidad del suministro energético disponible para los usuarios se realiza exclusivamente en corriente alterna, sin la existencia de una infraestructura de distribución en corriente continua para el abastecimiento directo de equipos DC.

Bajo este contexto, se identificó la necesidad de desarrollar una infraestructura de distribución específica en corriente continua que permite el aprovechamiento directo de la energía almacenada en el banco de baterías, sin pasar por procesos innecesarios de conversión. A partir de esta necesidad, se plantea el diseño e implementación de una barra de distribución DC a 48 voltios, destinada exclusivamente al suministro de equipos y dispositivos que operan en corriente continua, integrando un esquema de control energético mediante el modo Load Control del regulador PWM.

El proyecto “Control de cargas DC prioritarias con regulador PWM en modo load control y supervisión energética de una Microred fotovoltaica aislada” es una propuesta innovadora y factible; sin embargo, existen estudios previos relacionados con el tema, por lo que diversas fuentes bibliográficas permiten conocer investigaciones nacionales e internacionales vinculadas al control de cargas en corriente continua, la gestión energética y los sistemas fotovoltaicos aislados, las cuales sirven como sustento teórico y técnico para el desarrollo del presente trabajo.

A nivel latinoamericano, se encontró el artículo titulado “Diseño de un regulador de carga para aplicación en una microrred aislada con generación fotovoltaica” realizado en Colombia, Pereira. El estudio presenta el desarrollo y validación de un regulador de carga basado en un convertidor DC-DC tipo SEPIC para su integración en una microrred fotovoltaica aislada. Se enfoca en la optimización de la extracción de energía de un panel fotovoltaico mediante el ajuste de la impedancia del sistema de conversión, con el fin de llevarlo al punto de máxima potencia disponible.

El convertidor seleccionado permite alimentar cargas y recargar baterías de forma eficiente, para evitar sobrecargas y aprovechar la energía generada por el grupo fotovoltaico. La investigación incluye la implementación experimental del regulador dentro de un emulador de microrred y el análisis del comportamiento de potencia bajo distintas condiciones de demanda. Sus resultados contribuyen al conocimiento sobre la integración de convertidores DC-DC en sistemas aislados de generación fotovoltaica para mejorar la eficiencia energética y el uso de la energía disponible en el sistema [4].

Siguiendo el contexto de Latinoamérica, se presenta el artículo realizado en Cúcuta, Colombia “Controlador de carga PWM eficiente y de bajo costo para sistemas fotovoltaicos autónomos” un estudio integral orientado al diseño y desarrollo de un controlador de carga solar basado en la técnica de Modulación por Ancho de Pulso (PWM), aplicado a sistemas fotovoltaicos aislados. La investigación analiza los reguladores PWM y su función dentro de los sistemas autónomos de generación renovable, la regulación del flujo energético entre los paneles fotovoltaicos, el sistema de almacenamiento y las cargas eléctricas.

El trabajo describe la arquitectura electrónica del controlador, menciona las etapas de acondicionamiento de potencia, regulación de tensión, protección eléctrica y control digital. Integra mecanismos de supervisión de variables eléctricas, como: la tensión del sistema, la corriente de carga y descarga, y el estado de carga del banco de baterías, lo que posibilita la implementación de estrategias de control para la prevención de sobrecarga, sobre descarga y variaciones de tensión.

Desde el punto de vista experimental, el estudio valida el funcionamiento del controlador mediante su implementación en un sistema fotovoltaico autónomo real, donde se evalúa su comportamiento bajo distintas condiciones de generación y demanda energética.

Este trabajo constituye un antecedente técnico para el proyecto, ya que permite evidenciar la viabilidad de los reguladores PWM como elementos efectivos de gestión energética en sistemas fotovoltaicos aislados y observar el diseño de esquemas de control de cargas, barras de distribución en corriente continua y sistemas de supervisión energética. Sus aportes conceptuales y experimentales fortalecen la fundamentación teórica de este proyecto el cual se enfoca en el control de cargas en corriente continua prioritarias y la optimización del rendimiento de micro redes fotovoltaicas aisladas.

Continuando con la revisión bibliográfica se encontró el artículo “Monitoring PWM signals in stand-alone photovoltaic systems” de G. Jiménez-Castillo et al. el cual se enfoca en la

evaluación de sistemas fotovoltaicos autónomos (SAPV) mediante la monitorización de señales de modulación por ancho de pulso (PWM) y el uso de sistemas de adquisición de datos (DAS). La investigación se centra en analizar el comportamiento y rendimiento de los controladores PWM dentro de sistemas solares aislados, con el objetivo de mejorar la eficiencia operativa y la gestión energética del sistema.

En este estudio, se recolectan datos directamente en campo, lo que permite evaluar parámetros eléctricos como: voltaje, corriente y frecuencia de conmutación generados por el regulador PWM, identifica cómo estos parámetros influyen en la estabilidad de la salida y la respuesta del sistema ante variaciones en la carga y condiciones ambientales. La información recolectada a través del DAS se utiliza para establecer correlaciones entre las señales PWM y la eficiencia global del sistema, destaca la importancia de un control preciso para minimizar las pérdidas y optimizar la transferencia de energía desde los paneles fotovoltaicos hacia las cargas o baterías.

Este trabajo es relevante para la presente investigación porque demuestra, con evidencia empírica, cómo la monitorización de controladores PWM puede influir en la eficiencia y confiabilidad de sistemas fotovoltaicos aislados, aprovechando el uso de este tipo de controladores para la gestión y priorización de cargas en micro redes solares y validando metodologías de supervisión energética que pueden integrarse directamente en el diseño de sistemas de control DC con reguladores PWM [5].

Para finalizar, los estudios, los trabajos, los artículos y las investigaciones mencionadas aportan con sus hallazgos y resultados para el desarrollo del presente trabajo. Sin embargo, hay que destacar las diferencias principales con respecto al proyecto. En este trabajo se va utilizar un regulador PWM operando en modo load control, enfoque que no se evidencia directamente en los antecedentes analizados. El proyecto se orienta específicamente a la implementación de una salida de corriente continua a 12 V, como objetivo central del sistema. Se destaca por su implementación en una Universidad del Ecuador, con una finalidad aplicada y local. A diferencia de otros trabajos, que se enfocan en conversiones DC-AC, el proyecto prioriza el regulador PWM como elemento principal de control, orientado a la gestión de cargas, la distribución en corriente continua y la mejora de la eficiencia energética en una Microred fotovoltaica aislada.

2.1. Sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos son sistemas energéticos diseñados para transformar la radiación solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, fenómeno físico que se produce

cuando los fotones inciden sobre materiales semiconductores y generan el desplazamiento de electrones, originando corriente eléctrica. Esta conversión energética se realiza a través de módulos fotovoltaicos conformados por celdas solares interconectadas, cuya producción depende directamente de variables ambientales como la irradiancia solar y la temperatura, lo que condiciona su comportamiento eléctrico y su eficiencia operativa, esto lo podemos observar en la Figura 3.1.

Estos sistemas se utilizan ampliamente tanto en aplicaciones conectadas a red como en sistemas aislados, especialmente en zonas donde el acceso a la red eléctrica convencional es limitado o inexistente. En micro redes aisladas, los sistemas fotovoltaicos representan una solución sostenible, confiable y escalable, permitiendo garantizar el suministro energético a comunidades, instituciones educativas y centros de investigación [6].

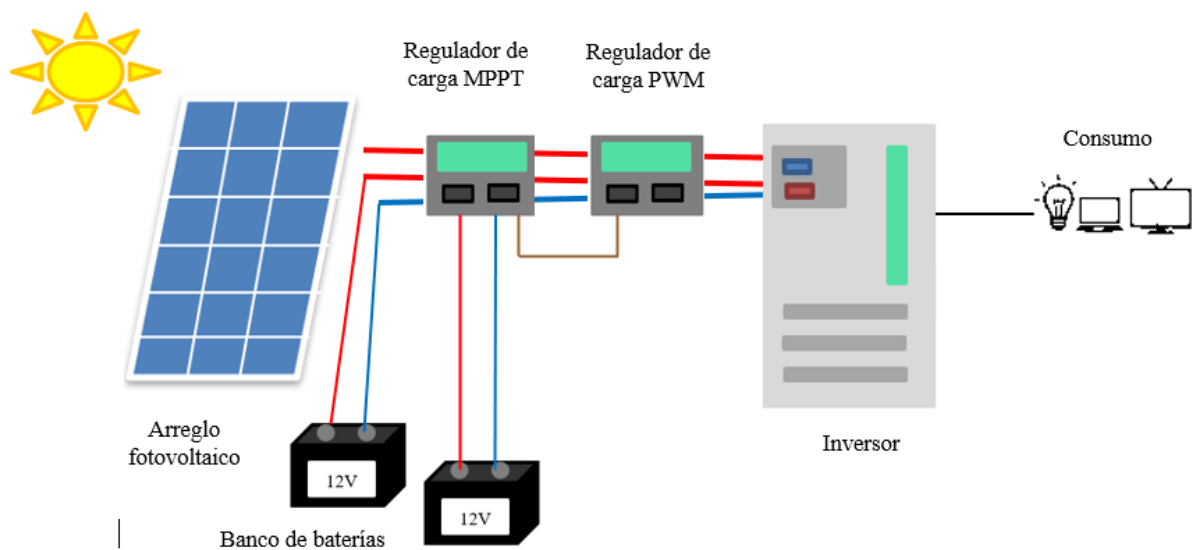


Figura 2.1. Sistema fotovoltaico con reguladores MPPT y PWM.

2.1.1. Componentes del sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico está compuesto por diferentes elementos que interactúan de forma integrada para garantizar la generación, regulación, almacenamiento y distribución de la energía eléctrica. Entre los componentes fundamentales se encuentran:

- Los paneles solares, encargados de la generación de energía en corriente continua.
- Los controladores de carga, que regulan el flujo de energía entre los paneles, las baterías y las cargas.
- Las baterías, que permiten el almacenamiento de energía para su uso en ausencia de radiación solar.

- Los inversores, utilizados cuando se requiere convertir la corriente continua en corriente alterna.
- Los sistemas de distribución, que permiten la alimentación organizada y segura de las cargas.

La correcta selección, dimensionamiento e integración de estos componentes resulta determinante para garantizar la eficiencia energética, la seguridad del sistema y la estabilidad operativa de la Microred fotovoltaica.

2.1.2. Controladores de carga en sistemas fotovoltaicos

Los controladores de carga cumplen una función esencial dentro del sistema fotovoltaico, ya que regulan la transferencia de energía entre los paneles, el sistema de almacenamiento y las cargas, protegiendo al sistema frente a sobrecargas, sobre descargas y condiciones de operación inestables. Su función principal es garantizar una gestión energética segura, eficiente y controlada.

Existen principalmente dos tipos de reguladores utilizados en sistemas fotovoltaicos: los reguladores PWM y los reguladores MPPT. Los reguladores PWM utilizan la modulación por ancho de pulso para controlar el flujo energético, ofreciendo una solución estable, eficiente y de bajo costo, especialmente adecuada para sistemas aislados de pequeña y mediana escala. Por su parte, los reguladores MPPT emplean algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia, orientados a maximizar la energía extraída del panel en condiciones variables de irradiancia.

2.1.3. Fundamentación para sistemas DC y control de cargas

Los fundamentos teóricos de los sistemas fotovoltaicos sustentan el desarrollo de esquemas de distribución en corriente continua, la implementación de barras DC y el uso de reguladores PWM como elementos centrales para la gestión de cargas, la protección del sistema y la optimización energética. La integración de sistemas de control permite gestionar de forma inteligente la conexión y desconexión de cargas, priorizar consumos críticos y garantizar la estabilidad del sistema.

En este contexto, los sistemas de control de cargas en corriente continua representan una solución tecnológica eficiente para micro redes aisladas, ya que permiten aprovechar

directamente la energía DC generada por los paneles y almacenada en las baterías, reduciendo pérdidas por conversión y mejorando la eficiencia energética del sistema fotovoltaico [7].

2.2. Regulador MPPT (seguidor del punto de máxima potencia)

Un regulador MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia) es un dispositivo que optimiza la carga de baterías en sistemas solares, ajustando continuamente la energía del panel para aprovechar al máximo su potencia. Utiliza un algoritmo inteligente que busca el punto de máxima eficiencia, logrando hasta un 99 % de rendimiento y minimizando pérdidas. Además, ofrece alta fiabilidad, amplia protección electrónica, conexión a computadoras o redes, y registro detallado de datos del sistema. [8].

Es una técnica de control utilizada en sistemas fotovoltaicos para asegurar que los paneles solares operen siempre en el punto donde genera la máxima potencia disponible, pese a cambios en la irradiancia solar temperatura o carga, de esta manera la potencia generada por un panel fotovoltaico depende directamente de la relación entre la tensión (V) y la corriente (I) que entrega, cuya característica no es lineal, presentando una curva P-V en la que existe un único punto óptimo donde se alcanza la máxima transferencia de energía.

El punto de máxima potencia varía por algunos factores como la irradiación solar, la temperatura del módulo, las condiciones de sombreado parcial, la degradación del panel y las condiciones de carga del sistema, por esta razón un sistema fotovoltaico que opere sin MMPT muy poco frecuente trabaja en una condición óptima, lo que genera pérdida energética. El objetivo del MPPT es adaptar el punto de operación eléctrico del panel para mantener lo más cercano posible al punto de máxima potencia (MPP).

El MPPT no actúa directamente sobre el panel ni sobre la carga, pues este opera mediante un convertidor DC – DC controlado por PWM (modulación por ancho de pulso). Este convertidor modifica la impedancia aparente del panel fotovoltaico [9].

2.2.1. Algoritmo perturbación y observación (P - O)

Uno de los algoritmos MPPT más utilizados es el método de perturbación y observación, debido a su facilidad de implementación y costo reducido. Su principio de funcionamiento se basa en la observación del comportamiento de la potencia frente a pequeñas perturbaciones en el voltaje del sistema, como se muestra en la figura 3.2 [10].

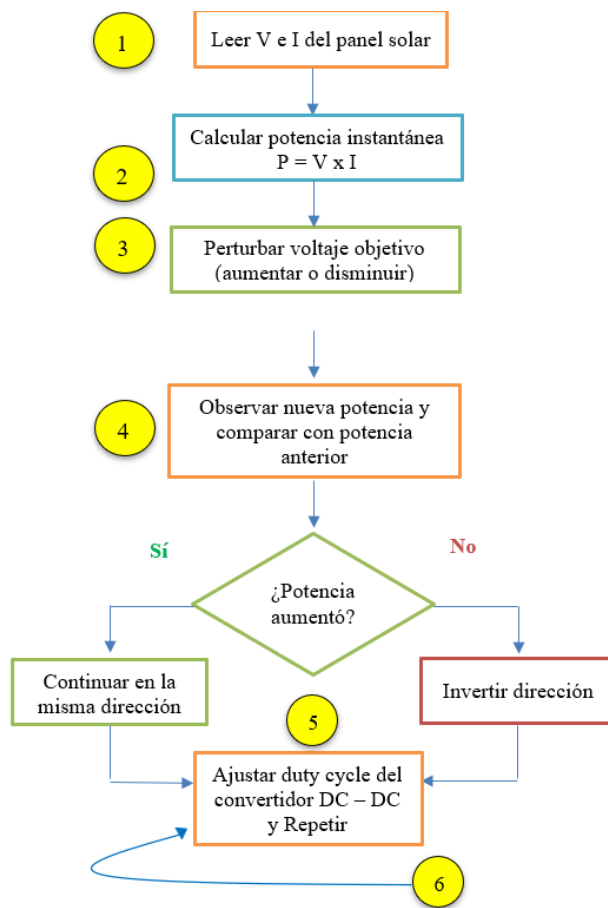


Figura 2.2. Algoritmo perturbación y observación [11].

El algoritmo funciona de la siguiente manera:

1. Se mide la tensión (V) y la corriente (I) del panel fotovoltaico.
2. Se calcula la potencia instantánea.
3. Se realiza una pequeña perturbación en el voltaje de operación.
4. Se vuelve a medir la potencia.
5. Si la potencia aumenta, se continúa perturbando en la misma dirección y si la potencia disminuye, se invierte la dirección de la perturbación.
6. El proceso se repite de forma continua.

2.2.2. Curva característica de un modo fotovoltaico y punto de máxima potencia (MPP)

La figura muestra el comportamiento de proceso de carga de una batería del sistema fotovoltaico controlado por un regulador a largo del tiempo. En el eje vertical se presenta el voltaje de la batería mientras, que en el eje horizontal se muestra el tiempo, permitiendo observar las diferentes etapas de carga durante el funcionamiento del sistema.

Cuando comienza la generación de energía solar, el sistema entra en la etapa de carga, donde el voltaje de la batería aumenta progresivamente. Posteriormente el regulador controla el proceso mediante regulación PWM, manteniendo el voltaje cercano al nivel de regulación para evitar sobrecargas y garantizar una energía eficiente.

Cuando la batería alcanza un nivel cercano a su capacidad máxima, el sistema pasa a la etapa de flotación. En algunos casos también se realiza una carga de ecualización, donde el voltaje aumenta temporalmente para equilibrar las celdas de la batería y mejorar su rendimiento. Estas etapas permiten optimizar el proceso de carga y prolongar la vida útil del sistema de almacenamiento, como se observa en la figura 3.3. [12].

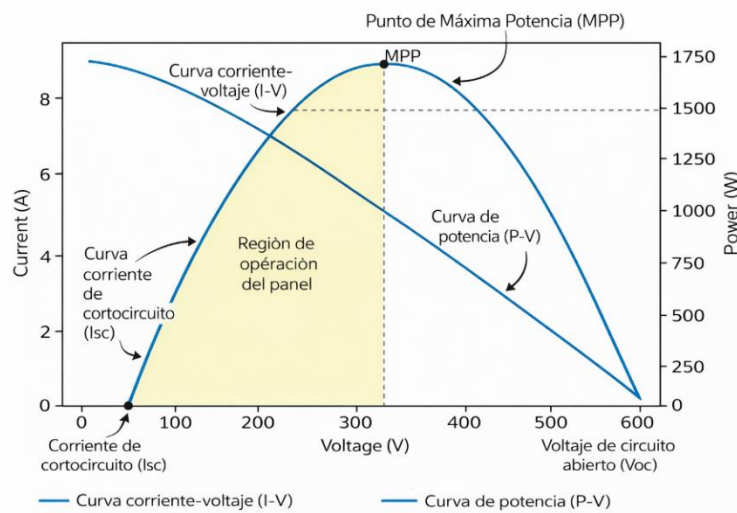


Figura 2.3. Curva característica de un modo fotovoltaico y punto de máxima potencia (MPP) [12].

2.3. Regulador PWM (Modulación por ancho de pulso)

El artículo de Repsol sobre el regulador PWM explica que este dispositivo es un componente fundamental su trabajo se fija en ser intermediario entre los paneles fotovoltaicos y el almacenamiento en baterías, regula el flujo de energía para mantener una tensión adecuada y evitar sobrecargas que puedan dañar el sistema, este ejerce control sobre el voltaje de entrada y salida para evitar niveles de tensión que excedan las especificaciones de los acumuladores.

Los reguladores PWM son adecuados para sistemas fotovoltaicos donde la tensión de los paneles y de las baterías son equivalentes, ya que limitan la tensión máxima que puede recibir el banco de baterías, se destaca por su refrigeración pasiva, lo que contribuye a una larga vida útil y minimiza las pérdidas energéticas.

El uso del regulador PWM en modo load control permite integrar estrategias de gestión energética orientadas a la optimización del consumo, activando o desactivando las cargas automáticamente según condiciones predeterminadas, este modo convierte al regulador en una herramienta eficaz de sistemas de control de carga en corriente continua, barras de distribución DC y esquemas de priorización energética en micro redes fotovoltaicas [13].

Desde una perspectiva técnica esta función de load control fortalece el papel del regulador PWM como un dispositivo de protección y regulación y también como un elemento activo de gestión energética, lo que posiciona como una solución viable, eficiente para la implementación de sistemas inteligentes de distribución en corriente continua en entornos académicos e institucionales.

La modulación por ancho de pulso PWM es una técnica de control que regula la energía suministrada a una carga mediante la variación del ciclo de trabajo de un interruptor electrónico, controla los tiempos de conducción y de corte sin modificar la amplitud de la tensión de entrada, de este modo, la tensión de salida se adapta dinámicamente a las condiciones de la carga en periodos de encendido y apagado en función del consumo energético donde se gestiona a través de un sistema de retroalimentación que monitorea las variables eléctricas y regula en tiempo real la frecuencia y duración de los pulsos [14].

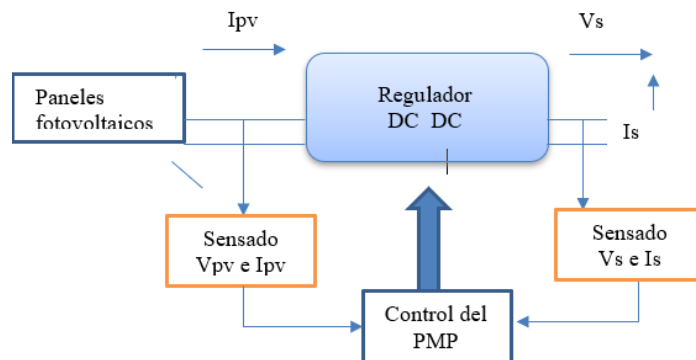


Figura 2.4. Esquema del sistema de modulación por ancho de pulso [14].

2.3.1. Algoritmo de control PWM

El algoritmo de control PWM se basa en un lazo de retroalimentación que mide continuamente las variables eléctricas del sistema y compara la tensión de salida con un valor de referencia predefinido. A partir del error obtenido, el sistema ajusta dinámicamente el ciclo de trabajo del interruptor electrónico, modifica los tiempos de conducción y de corte para regular la energía transferida hacia la carga [15].

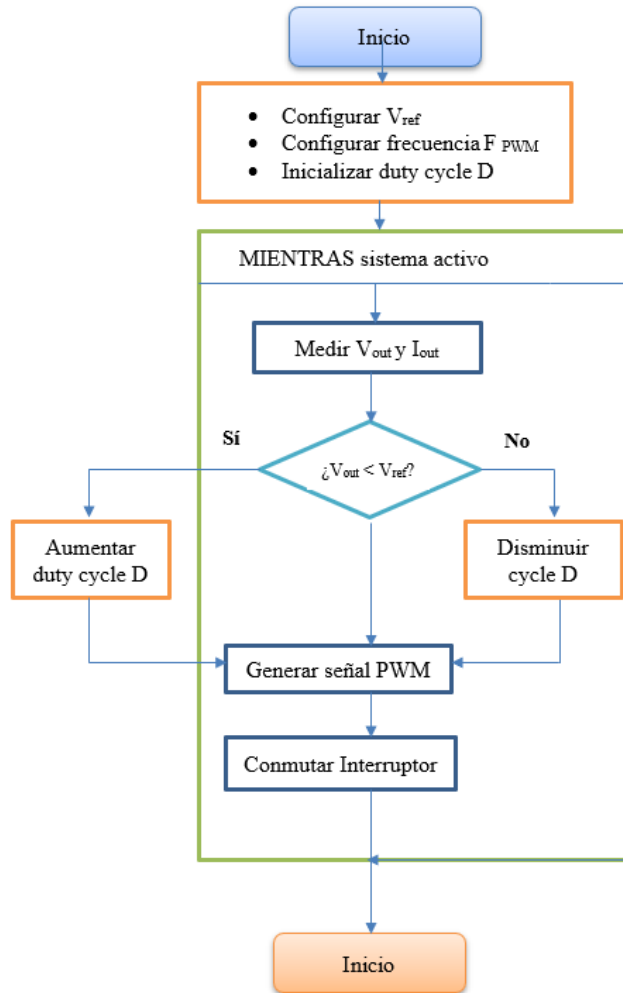


Figura 2.5. Diagrama de flujo del algoritmo de control PWM [15].

Este proceso se ejecuta de forma iterativa y en tiempo real, garantizando una tensión estable, una gestión eficiente de la energía y la protección del sistema frente a condiciones de sobrecarga o inestabilidad. Cuando se integra la función de control de cargas (load control), el algoritmo permite la conexión y desconexión automática de consumos en función del estado energético del sistema, prioriza cargas y protege el banco de baterías frente a descargas profundas [15].

2.4. Comunicación RS - 485

El estándar RS-485 se origina como una especificación derivada de la norma RS-449, publicada en 1983, en la cual se establecen las características eléctricas de los circuitos de comunicación digital mediante transmisión diferencial de señales lógicas “0” y “1”, junto con un estado de alta impedancia o “tercer estado”. Esta característica permite la interconexión de múltiples

transmisores en una misma red, lo que favorece su aplicación en redes industriales locales de dos hilos. Actualmente, esta tecnología se encuentra normalizada como TIA-485-A, ratificada por la Telecommunications Industry Association (TIA) en el año 2003 [16].

2.4.1. Características mecánicas

El estándar define el uso de cableado de par trenzado de cobre y conectores tipo RJ11, lo que proporciona una mayor inmunidad frente a interferencias electromagnéticas y permite velocidades de transmisión superiores en comparación con la norma RS-232 [17]. La arquitectura del sistema admite la conexión de hasta 32 transmisores y 32 receptores en configuraciones de comunicación simultánea, incluyendo transmisión full-dúplex, lo que facilita la interconexión entre un dispositivo maestro (master) y múltiples dispositivos subordinados (slaves). La gestión del acceso y la priorización de la comunicación dependen de la topología y configuración de la red. Además, los dispositivos basados en RS-485 mantienen compatibilidad con la norma RS-232 mediante el uso de adaptadores, lo que permite su integración en sistemas híbridos de comunicación serial.

2.4.2. Características eléctricas

En el estándar RS-485, los niveles lógicos se transmiten mediante señalización diferencial, donde el nivel lógico “1” se representa con tensiones entre $-1,5\text{ V}$ y -5 V , mientras que el nivel lógico “0” se interpreta en el receptor dentro del rango de $+0,2\text{ V}$ a $+12\text{ V}$. La tensión máxima aplicada sobre la línea de transmisión se encuentra entre -7 V y $+12\text{ V}$. El alcance del sistema depende directamente de la relación entre la velocidad de transmisión y la longitud del cableado, permitiendo distancias máximas de hasta 1.200 m a bajas velocidades, mientras que a altas tasas de transmisión, como 10 Mbps, el alcance se reduce aproximadamente a 12 m. Esta relación distancia-velocidad define el rendimiento operativo del sistema y su aplicabilidad en entornos industriales extensos [18].

2.4.3. Líneas balanceadas

La capacidad de la comunicación RS-485 para transmitir información a largas distancias se debe al uso de líneas balanceadas. En este esquema, cada señal se transmite mediante un par de conductores exclusivos, donde uno transporta la señal y el otro su complemento eléctrico. El receptor no interpreta valores absolutos de voltaje, lo que hace es analizar la diferencia de potencial entre ambos conductores, lo que permite una transmisión más efectiva.

Este método de transmisión presenta como ventaja la cancelación del ruido inducido, ya que cualquier interferencia electromagnética afecta de manera similar a ambos conductores y se elimina al calcular la diferencia entre las señales. Las líneas balanceadas ofrecen una elevada inmunidad frente a fluctuaciones del voltaje de alimentación, lo que incrementa la estabilidad, confiabilidad y calidad de la comunicación en entornos industriales y sistemas eléctricos complejos.

2.4.4. Protocolo maestro/esclavo

El protocolo maestro/esclavo constituye uno de los esquemas de comunicación menos complejo y más usado en redes de datos. En esta arquitectura, un nodo central actúa como maestro, siendo el responsable de gestionar y controlar todo el tráfico de información dentro de la red. Los dispositivos subordinados, denominados esclavos, permanecen inactivos y únicamente transmiten información cuando reciben una solicitud explícita por parte del maestro. Para garantizar que todos los nodos puedan ser atendidos, el sistema opera mediante un mecanismo de sondeo secuencial, en el cual el maestro interroga a cada esclavo de forma ordenada. Cada solicitud genera una respuesta que puede consistir en una confirmación de recepción, el envío de datos, un reporte de estado o la notificación de errores [19].

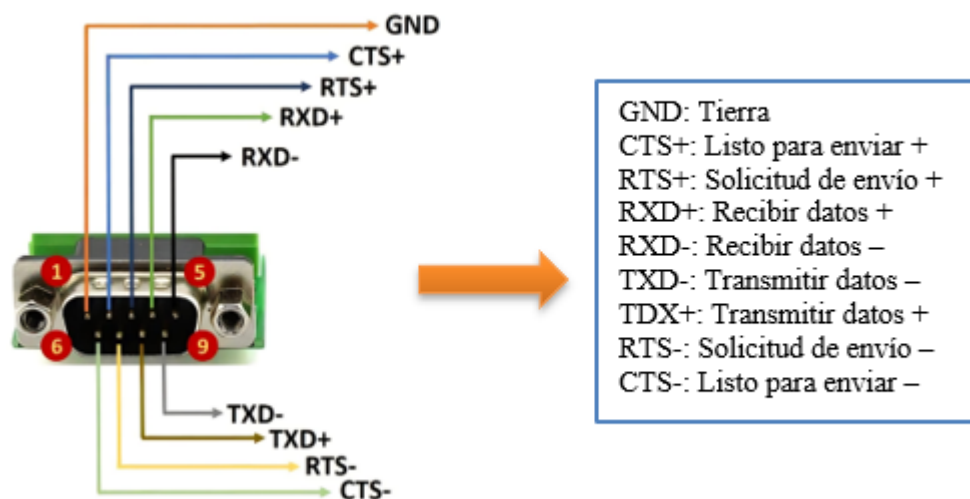


Figura 2.6. Diagrama de pines y señales del conector RS-485 DB9 [20].

2.5. Comunicación RS - 232

El estándar RS-232 fue desarrollado inicialmente con el objetivo de unificar y normalizar la interconexión entre terminales y computadoras servidoras mediante el uso de la red telefónica.

En este esquema, el módem cumple la función de convertir los datos digitales generados por el computador en señales analógicas, permitiendo su transmisión a través de la infraestructura

telefónica, y posteriormente reconvertirlas en formato digital en el punto de destino. En este contexto, el RS-232 surge como una solución para estructurar y estandarizar este proceso de comunicación.

El estándar RS-232 se consolidó como uno de los sistemas de comunicación digital más difundidos y versátiles en la historia de la electrónica. Inicialmente diseñado para la conexión entre computadoras y módems, su uso se expandió rápidamente a dispositivos como impresoras, teclados, ratones, sistemas de adquisición de datos, instrumentos de medición, controladores lógicos programables (PLC) y microcontroladores. Esta expansión se debió a su simplicidad de implementación, bajo costo de hardware y facilidad de programación, lo que permitió su adopción masiva en entornos industriales, científicos y comerciales.

Desde el punto de vista técnico, el RS-232 se define como un estándar de comunicación serial asíncrona punto a punto entre dos dispositivos, con una distancia máxima recomendada entre 15 y 30 metros. Utiliza un sistema de transmisión desbalanceado, en el cual todas las señales comparten una única referencia de tierra común, a diferencia de los sistemas balanceados que emplean pares de conductores por señal. Esta característica limita su inmunidad al ruido eléctrico, pero simplifica su implementación y reduce los costos de infraestructura [19].

El protocolo RS-232 es un estándar de comunicación serial que establece las especificaciones mecánicas, eléctricas y lógicas necesarias para regular la transmisión de datos, el cableado, las señales eléctricas y los tipos de conectores utilizados en los sistemas de comunicación. Esta norma define de forma integral cómo deben interconectarse los dispositivos y bajo qué condiciones deben operar para garantizar una transmisión confiable de la información [21].

2.5.1. Características mecánicas

En cuanto a las especificaciones mecánicas, el RS-232 emplea conectores tipo DB-25 (25 pines), aunque también es común la versión DB-9 (9 pines). El estándar establece que el conector hembra debe ubicarse en los dispositivos DCE (Data Communication Equipment) y el conector macho en los dispositivos DTE (Data Terminal Equipment), lo que permite una identificación clara de los roles dentro del sistema de comunicación [21] [22].

2.5.2. Características eléctricas

Desde el punto de vista de las características eléctricas, los niveles lógicos se representan mediante rangos de voltaje: el 1 lógico se define entre -3 V y -15 V , mientras que el 0 lógico se encuentra entre $+3\text{ V}$ y $+15\text{ V}$. La interfaz RS-232 está diseñada para aplicaciones de corta

distancia, con un alcance típico de hasta 15 metros, y para bajas velocidades de transmisión, que no superan aproximadamente los 20 kb/s, lo que la hace adecuada para sistemas simples de comunicación serial [22].

2.5.3. Características lógicas

Respecto a las especificaciones lógicas, la estructura de la trama de datos inicia con un bit de arranque (start bit), seguido del envío del dato desde el bit menos significativo (LSB) hasta el más significativo (MSB). Si la comunicación se configura con paridad, se añade un bit de paridad (par o impar, según el tipo seleccionado), y finalmente se incorporan uno o más bits de parada (stop bits). La duración de cada bit depende directamente de la velocidad de transmisión configurada en el sistema, lo que determina el tiempo total de cada trama de datos durante la comunicación serial [22].

2.6. Protocolo de comunicación Modbus

El protocolo modbus es uno de los sistemas de comunicación más utilizados en automatización industrial para el intercambio de información entre estos dispositivos electrónicos como controladores, sensores y sistemas de supervisión. Fue desarrollado en el año de 1979 por la empresa “Modicon” con el objetivo de establecer una comunicación entre controladores lógicos programables y equipos de monitoreo.

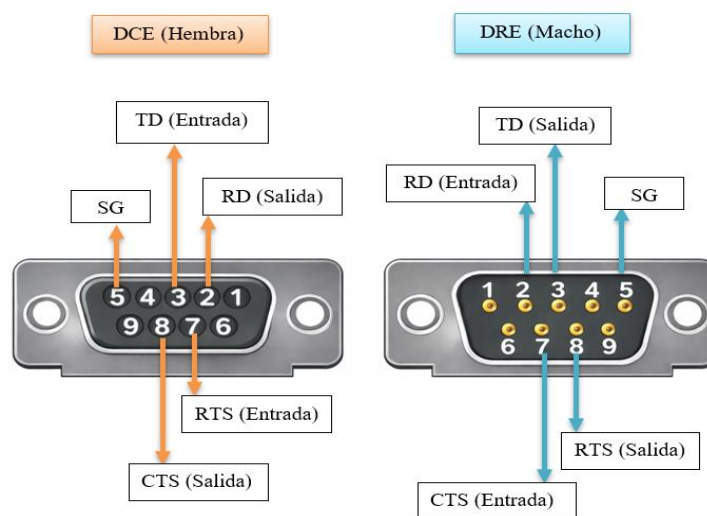


Figura 2.7. Diagrama de pines y señales del conector RS-232 [23].

Este protocolo funciona bajo una arquitectura maestro-esclavo en la cual el dispositivo maestro inicia la solicitud de comunicación y los dispositivos esclavos responden con la información

solicitada. Cada equipo dentro de la red posee una dirección específica que permite identificarlo y facilitar la transmisión de datos dentro del sistema.

Este sistema puede operar mediante diferentes modos de transmisión más comunes son ASCII y RTU el modo RTU es el más utilizado en aplicaciones industriales debido a su mayor eficiencia en la transmisión de datos. Gracias a su simplicidad Y facilidad de implementación el Protocolo modbus continúa siendo ampliamente utilizado en sistemas de supervisión, control y adquisición de datos en diferentes áreas de la automatización [24].

2.6.1. Protocolo de comunicación Modbus TCP/IP

El protocolo TCP/IP Es un conjunto de protocolos de comunicación que permite el intercambio de datos entre dispositivos dentro de una red. Este modelo establece las reglas necesarias para que la información pueda ser transmitida desde un dispositivo origen a un dispositivo destino.

El protocolo IP se encarga del direccionamiento de los paquetes de datos permitiendo identificar de manera única cada dispositivo conectado a la red mediante una dirección IP esto facilita que la información pueda ser enviada correctamente a través de diferentes modos o equipos de red hasta llegar a su destino.

El protocolo TCP es responsable de garantizar la transmisión confiable de los datos para ello divide la información en segmentos controlar el flujo de datos y verifica que los paquetes lleguen completos y en el orden correcto. En caso de que se detecte pérdida de información durante la transmisión y el protocolo se encarga de solicitar nuevamente los datos bastantes asegurando la integridad de la comunicación [25].

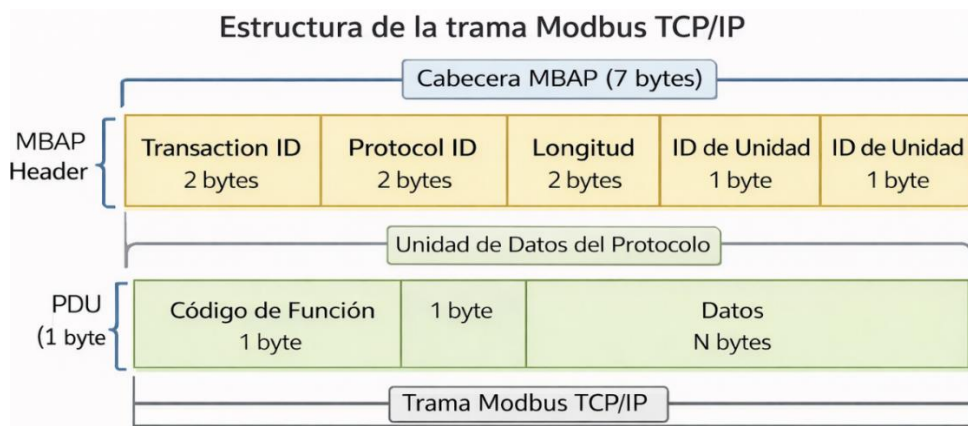


Figura 2.8. Estructura de la trama del protocolo Modbus TCP/IP [25].

2.7. Software MS view morningstar

El MSView es una aplicación de software basada en Windows que permite a los usuarios conectarse a productos Morningstar compatibles para habilitar registros de datos diarios en tiempo real y visualizar gráficas de corrientes y voltajes, estados de carga, temperatura de baterías, disparador de calor, fallos y alarmas. Este software desarrollado por la empresa Morningstar Corporation permite monitorear y configurar controladores que se utilizan en sistemas de energía solar fotovoltaica [26].

El programa funciona en computadoras con sistema operativo Windows y se conecta a los controladores mediante puerto USB serial o ethernet tiene como objetivo facilitar la supervisión del funcionamiento del sistema solar lo que permite observar datos en tiempo real y realizar ajustes en los parámetros del equipo [27].

Una de las funciones más importantes es el monitoreo del sistema fotovoltaico en tiempo real. A través de su interfaz, el usuario puede visualizar información relevante como el voltaje y la corriente de los paneles solares, el estado de carga de baterías, la energía producida por el sistema y posibles alarmas o fallas. Esto permite tener un control constante el rendimiento del sistema y detectar problemas de manera oportuna.

Permite registrar y analizar datos históricos del sistema. El software guarda información diaria sobre el funcionamiento del controlador, lo que permite generar gráficos y reportes para analizar el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo. Esta característica es útil para técnicos e ingenieros ya que facilita la evaluación del rendimiento del sistema solar y ayuda en procesos de mantenimiento o diagnóstico [27].

Con referencia a la función de configuración de controles de carga el programa permite que el usuario pueda ajustar diferentes parámetros relacionados con la carga de baterías como los voltajes de absorción flotación y equalización. También es posible activar o desactivar funciones del control y personalizar el funcionamiento del sistema según las necesidades específicas de la instalación solar.

Este software es compatible con varios dispositivos como: TriStar MPPT, ProStar MPPT, SunSaver MPPT y SunSaver Duo, los cuales son utilizados en sistemas fotovoltaicos de pequeña y mediana escala. Por todas las características mencionada y la compatibilidad con varios controladores, el MsView es una herramienta importante para la gestión, monitoreo y optimización de sistemas solares [28].

2.8. Gestión del excedente de energía en sistemas fotovoltaicos

En los sistemas fotovoltaicos de autoconsumo, los excedentes de energía se producen cuando la generación solar supera la demanda instantánea de las cargas conectadas, esto es más frecuente en horas de alta irradiación y baja demanda. Estos excedentes representan energía que podría desperdiciarse si no se gestiona adecuadamente, lo que limita la eficiencia global de la instalación e impide maximizar el aprovechamiento de los recursos solares.

Es posible diseñar sistemas híbridos en los que el excedente se destine de forma prioritaria a cargas secundarias o procesos térmicos. Esta gestión eficiente del excedente se alinea con la arquitectura de barras de distribución en corriente continua (DC) y esquemas de control de carga (load control), que permiten dirigir la energía generada hacia los destinos más eficientes según prioridades definidas en tiempo real.

Estas barras permiten centralizar la interconexión de las fuentes de generación, los sistemas de almacenamiento y las cargas, lo que facilita el control del flujo energético dentro del sistema. A través de la barra DC, la energía excedente puede ser dirigida de forma controlada hacia baterías, cargas secundarias o sistemas de disipación, sin necesidad de conversiones innecesarias, lo que incrementa la eficiencia energética del sistema [29].

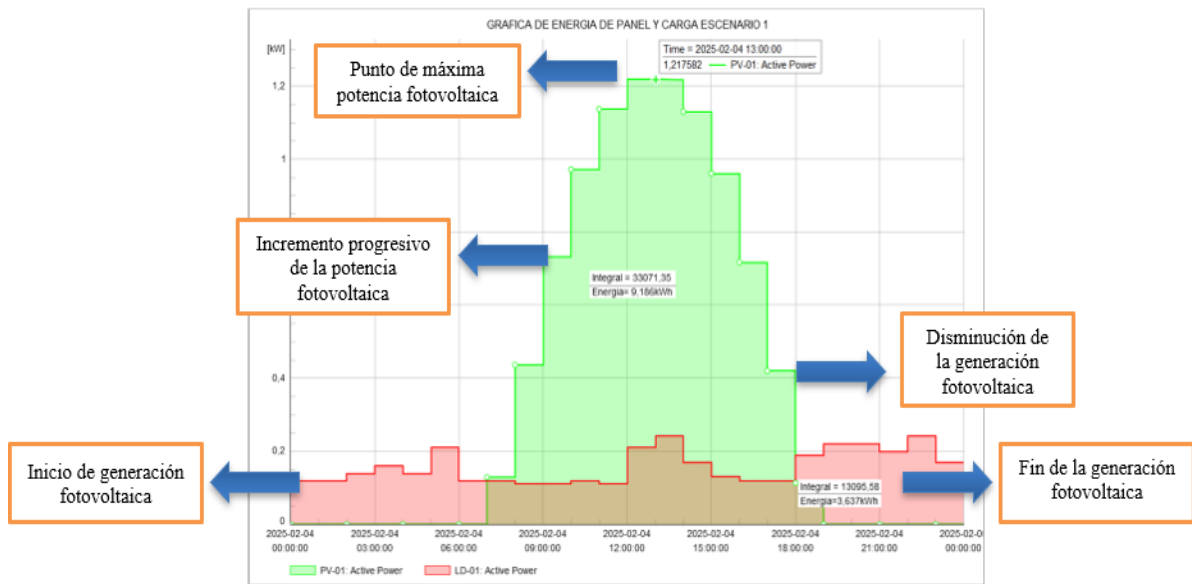


Figura 2.9. Gráfica del balance energético diario en un sistema fotovoltaico.

La figura muestra el comportamiento horario de la potencia generada por el sistema fotovoltaico (curva verde) y la potencia demandada por la carga (curva roja) durante un ciclo diario completo. La potencia fotovoltaica presenta un perfil característico de generación solar, con incremento progresivo desde las primeras horas de la mañana, un máximo cercano al mediodía solar y una disminución gradual hacia el final de la tarde, lo cual responde directamente a la variación de la irradiación incidente sobre los paneles.

Por su parte, la curva de demanda de carga se mantiene relativamente baja y estable durante la mayor parte del día, con incrementos puntuales asociados al uso de cargas específicas. La diferencia entre ambas curvas muestra la presencia de excedente energético, sobre todo en el intervalo comprendido entre las 08:00 y las 17:00 horas, donde la potencia generada por el sistema fotovoltaico supera de forma significativa la potencia demandada por las cargas.

Este comportamiento se refleja en el área sombreada de color verde que no coincide con el área de consumo, lo cual representa la energía no utilizada directamente por la carga. De acuerdo con los valores integrados mostrados en la gráfica, la energía generada por el sistema fotovoltaico alcanza aproximadamente 9,186 kWh, mientras que la energía consumida por la carga es cercana a 3,637 kWh, lo que confirma la existencia de un excedente.

3. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

En este capítulo se describen los métodos y procedimientos utilizados para el desarrollo de la propuesta tecnológica basada en el sistema fotovoltaico implementado en el proyecto institucional DIRGI-CP2021-008. El objetivo principal de esta sección es detallar las etapas seguidas durante el proceso de investigación, así como las herramientas, técnicas y recursos empleados para el diseño e implementación del sistema de control de cargas DC prioritarias mediante un regulador TS-PWM en modo “load control”, junto con la supervisión energética de una Microred fotovoltaica aislada. La implementación de la barra de distribución de corriente continua se propone como una base tecnológica que permita futuras ampliaciones del sistema. de acuerdo con esto, el diseño propuesto se orienta a que trabajos de investigación posteriores, puedan alimentar el sistema SCADA total del proyecto DIRGI-CP2021-008

Para complementar el proyecto DIRGI-CP2021-008 se añade una barra de corriente DC con tecnología TS- PWM (modulación por ancho de pulso), la cual podrá suministrar alimentación a 48 voltios DC a 60 A, dando una potencia nominal de 2880 vatios, para posteriormente ser capaz de alimentar a equipos del sistema SCADA. Con este regulador de carga TS-PWM se logra mayor potencia y rendimiento, dando resultados favorables respecto al costo-beneficio que puede ofrecer.

El proyecto se desarrolla a partir de otro sistema que usa tecnología TS-MPPT (Regulador de carga seguidor del punto de máxima potencia), dando una barra de corriente alterna AC que entrega una potencia hasta de 1260 W, suficientes para alimentar a los equipos, CPU, Monitor, Iluminación etc. Existentes en el proyecto DIRGI-CP2021-008 de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.1. Sistema fotovoltaico base del proyecto DIRGI-CP2021-008

Es sistema fotovoltaico inicialmente constituido por 9 módulos solares de 140 W cada uno que aportan a los reguladores hasta 1260 W, un reguladores de carga TS- MPPT de 60 amperios y una tensión del sistema de 12V, 24V O 48V DC acorde a las necesidades del usuario, siendo el caso del proyecto de 48 V, un banco de baterías conformado por 4 unidades de 12 voltios cada uno a 120 Ah, suministrando 48 V continuos debido a su conexión en serie en donde la tensión de cada Batería se suma y para la conversión un inversor de DC/AC que puede añadir a la barra hasta 4000 W de potencia, permitiendo la potencia de operación nominal del inversor que

proporciona la autonomía necesaria para el funcionamiento ininterrumpido de las cargas AC del proyecto DIRGI-CP2021-008. [31]

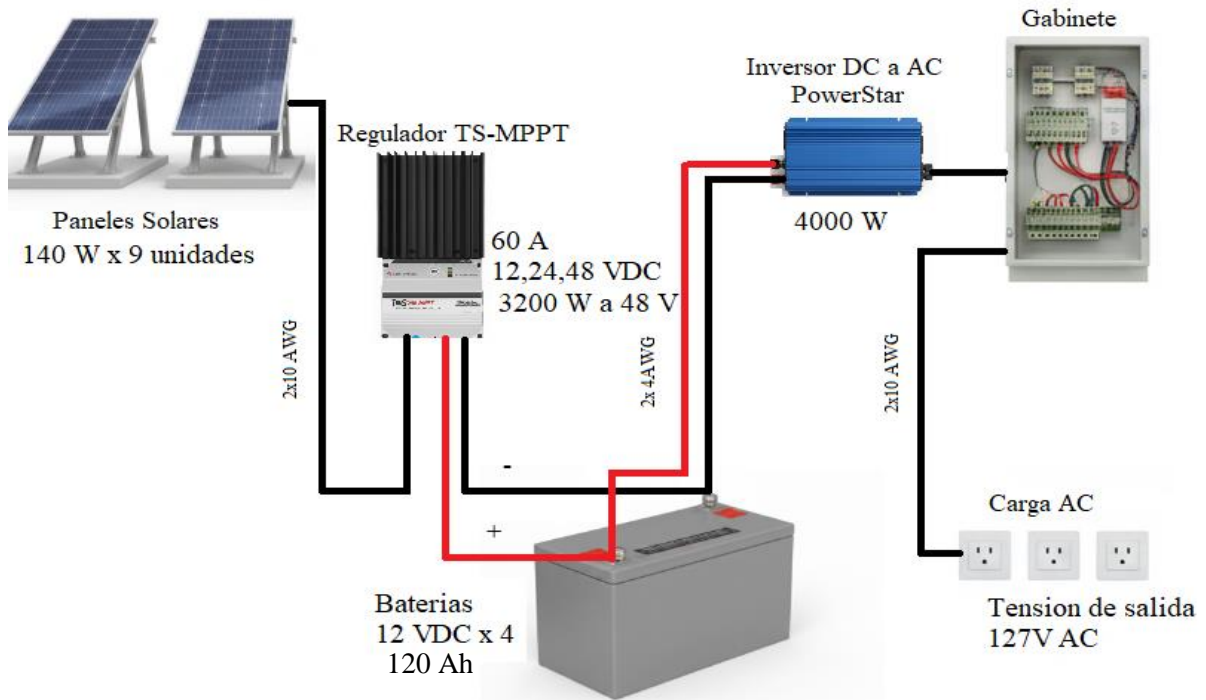


Figura 3.1. Sistema inicial de una barra de AC.

El sistema presentado en la Figura 4.1, ilustra las conexiones del sistema inicial y de cada uno de los componentes que lo conforman, aquí incluye los tipos de conexión y la distribución de lo que se encontraba instalado en el proyecto DIRGI-CP2021-008 de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el diseño del diagrama proporciona una idea clara y concisa del avance del proyecto en conjunto con proyectos similares que aportaron la información inicial para el posterior diseño del presente proyecto.

3.1.1. Equipos disponibles del sistema AC

Para la instalación de una barra de corriente continua se procedió a recopilar los equipos disponibles. Aquí se detalla en la Tabla 4 todos los dispositivos existentes principalmente.

Tabla 3.1. Equipos disponibles de la barra AC

EQUIPO	TIPO	CARACTERISTICAS	CANTIDAD
Paneles solares	Simax (Suzhou) New Energy	140W x9	9
	SP636-140		

Batería	Gel 6-CNJ-120	12 VDC x4	4
Inversor	PowerStar W7 DC/AC	4000W	1
Regulador de carga MPPT	MorningStar TS-MPPT	12,24,48 V -60A	1

3.2. Metodología Aplicada y desarrollo

La implementación de la barra de corriente continua (DC) tiene como objetivo organizar la distribución de la energía proveniente de las baterías del sistema hacia la barra DC y por ende sus cargas, lo que permite aprovechar de forma más eficiente la energía generada por los paneles solares Simax New Energy SP636-140 además disminuye las pérdidas de energía cuando se realiza el proceso de conversión a corriente alterna (AC) por medio del inversor PowerStar W7.

Este diseño mejora la organización del sistema, incrementa la seguridad eléctrica y facilita la conexión directa de aparatos eléctricos que operan en corriente continua como el sistema Scada, Iluminación, routers, estaciones de monitoreo, medidores de energía. Con el diseño de una barra de corriente (DC) para el proyecto DIRGI-CP2021-008, se da solución a la optimización del flujo energético, al retribuir la energía generada por el sistema fotovoltaico para alimentar a equipos de control, conexión y monitoreo que se alimentan por medio de corriente continua, dicha barra asegura que la corriente proveniente de la batería se distribuya a cada carga de manera segura, evitando también menos equipos y menor cableado en todo el sistema, también es una alternativa a cortes de energía repentinos siendo un respaldo para mantener una alimentación segura.

Esta barra DC de la Figura 4.2 actúa como un puente físico cumpliendo con las especificaciones para el diseño de una alimentación de corriente continua, además es indispensable en el sistema para una mayor gestión y aprovechamiento de la energía recibida por los paneles solares Simax (Suzhou) New Energy SP636-140, también se incorporara al sistema un regulador de carga TS-PWM de 60 A y una configuración de 12,24 y 48 V DC, ya que tienen sus ventajas debido a muchos factores como la mayor eficiencia al momento de controlar la corriente y distribuir de la mejor manera la energía generada, evitando daños en todo el sistema en especial en el banco de baterías o acumuladores, son conocidos específicamente como el cerebro de todo el sistema fotovoltaico.

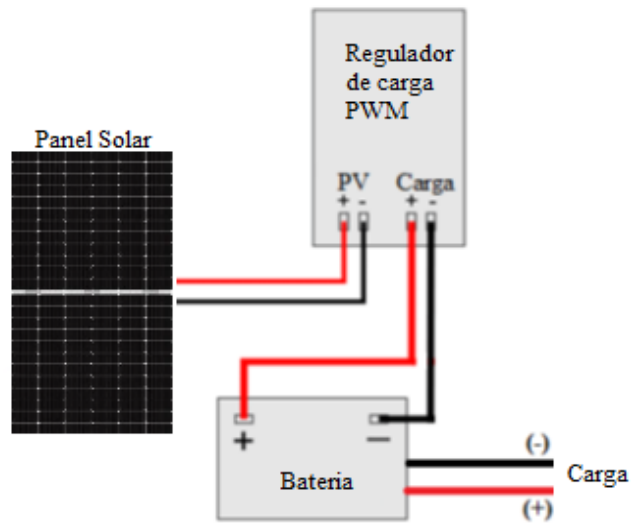


Figura 3.2. Sistema actual DC.

3.2.1. Implementación de la red de comunicación Ethernet

Con el objetivo de mejorar la gestión del sistema fotovoltaico implementado en el proyecto DIRGI-CP-2026-008, se desarrolló una red de comunicación basada en tecnología Ethernet, cumpliendo con la comunicación entre Reguladores de carga TS-MPPT, TS-PWM y un ordenador. Esta red permite establecer comunicación entre los distintos dispositivos electrónicos del sistema, facilitando la adquisición, transmisión y almacenamiento de los datos operativos generados por los reguladores de carga.



Figura 3.3. Conexión de la red de comunicación Ethernet.

Aquí se implementó la red de ethernet para la comunicación de los equipos y centralizar la información proveniente de los controladores de carga TS-MPPT y TS-PWM y ponerla a disposición de un sistema de supervisión instalado en un ordenador principal. Mediante esta arquitectura de comunicación es posible visualizar parámetros importantes del sistema fotovoltaico, como los estados de operación de los reguladores, las condiciones de carga del banco de baterías y el desempeño general del sistema.

Para la implementación de la red se empleó un **switch Ethernet industrial** como se muestra en la Figura 4.4, el cual permite interconectar los dispositivos del sistema mediante cableado estructurado, garantizando estabilidad en la transmisión de datos y confiabilidad en ambientes de operación continua.

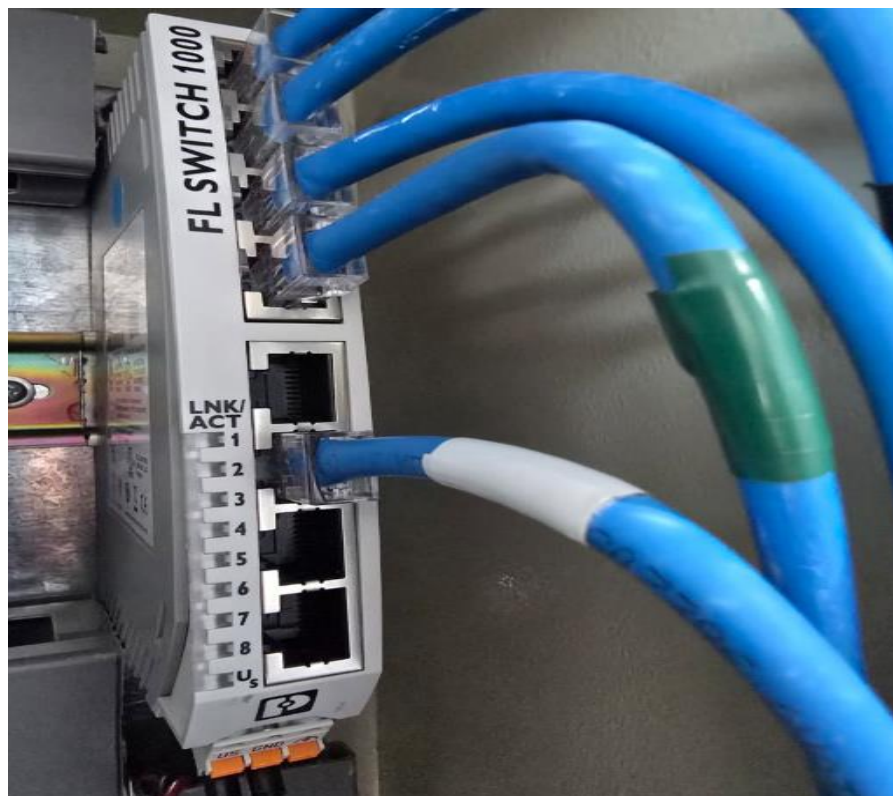


Figura 3.4. switch Ethernet industrial.

3.2.2. Desarrollo de la red de comunicación Ethernet

La red de comunicación fue diseñada considerando una topología tipo **estrella**, en la cual todos los dispositivos se conectan a un nodo central representado por el switch industrial. Este equipo actúa como punto de interconexión entre los controladores de carga y el computador encargado de realizar el monitoreo del sistema.

En este sistema, los reguladores de carga se conectan a la red mediante sus respectivos módulos de comunicación, lo que permite transmitir la información generada por cada dispositivo hacia el sistema de supervisión MS View. El switch industrial gestiona el tráfico de datos dentro de la red y permite que los equipos puedan comunicarse de forma simultánea. Para establecer la comunicación física se utilizó cableado Ethernet de par trenzado RJ45, el cual proporciona un medio confiable para la transmisión de datos.

Una vez establecida la infraestructura física de la red como se aprecia en la Figura 4.5, se procedió a la configuración de los dispositivos de comunicación. Durante esta etapa se asignaron direcciones de red a los equipos con el fin de garantizar la correcta identificación de cada dispositivo dentro del sistema. Esta configuración permitió establecer el enlace entre los reguladores de carga MPPT 60, TS-60 PWM y el computador de monitoreo.

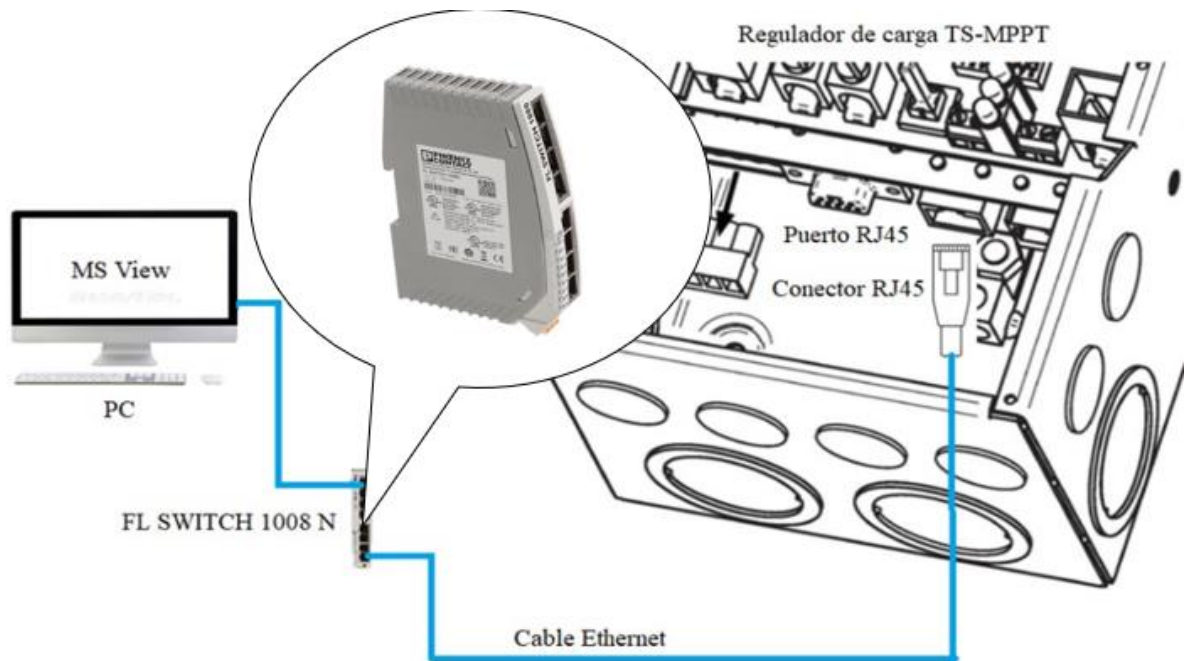


Figura 3.5. Esquema de conexión del regulador TS-MPPT mediante red Ethernet.

3.3. Comunicación entre reguladores TS-PWM y TS-MPPT

Para iniciar el proceso de configuración, primero fue necesario verificar que los reguladores se encontraran correctamente conectados al sistema fotovoltaico y que el banco de baterías estuviera energizando los dispositivos de control.

Realizado esto se establece la comunicación entre los reguladores de carga del sistema fotovoltaico para ello fue necesario implementar un puente de comunicación que permita integrar ambos dispositivos dentro de la red de monitoreo. Este puente se configura utilizando la funcionalidad de RS-485 Bridging disponible en el regulador TriStar MPPT.

En esta configuración, el regulador MPPT actúa como un intermediario entre la red de comunicación RS-485 y la red Ethernet del sistema, permitiendo que los datos generados por el regulador TS-60 puedan ser transmitidos hacia el computador de monitoreo mediante una única conexión de red.

3.4. Comunicación entre el regulador TS-MPPT Y TS-PWM

3.4.1. Conexión del bus de comunicación RS-485/RS232

Este adaptador de comunicaciones RS-485/RS-232 estipulado como (RSC-1), permite la conversión entre dos distintos puertos de comunicación, dependiendo el tipo de controlador, en este caso la comunicación entre un regulador TS-MPPT y TS-PWM, equipa un puerto RS-232 y al otro extremo se encuentra un puerto RS-485.

Este conversor RSC-1 de la Figura 4.6 Tiene como ventaja la conexión de hasta 128 dispositivos los mismos que se pueden comunicar en el mismo bus y también trabaja a distancias mayores.

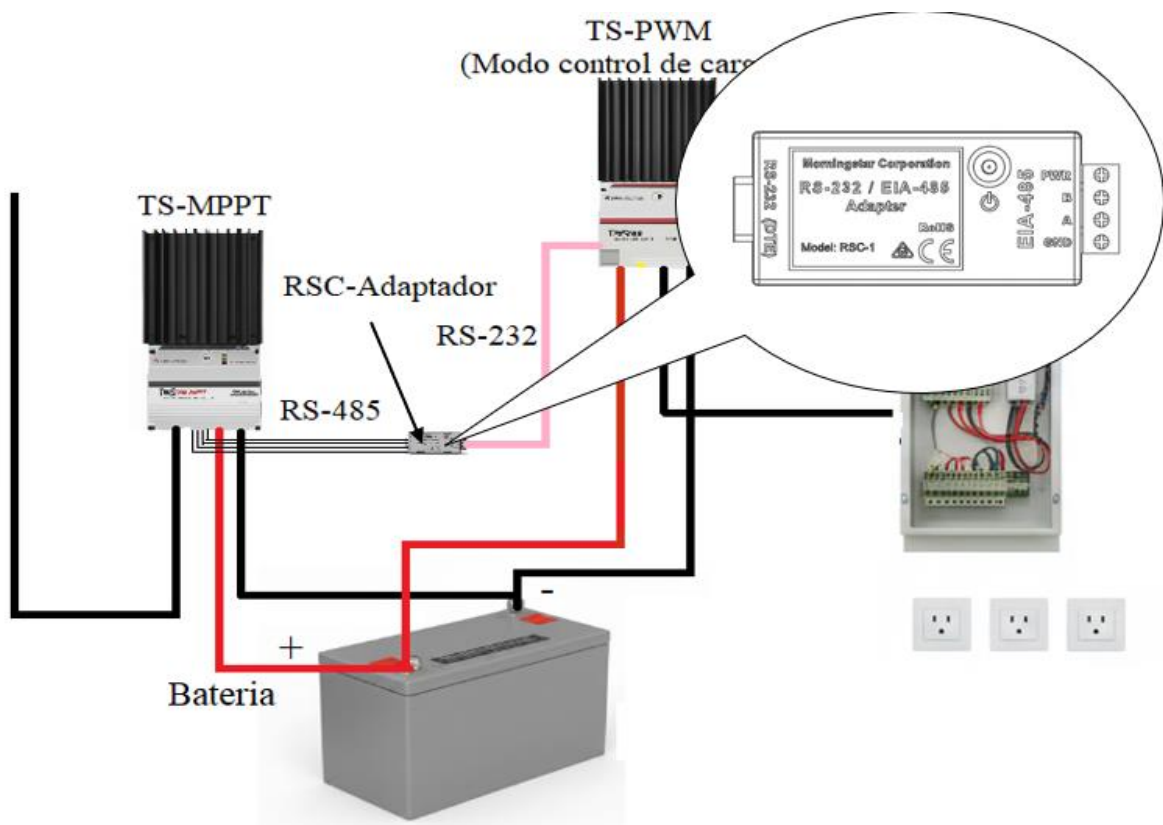


Figura 3.6. Conversor RSC-1.

Una vez que se ha enlazados los dos reguladores de carga se comunicaran mutuamente, hacia el regulador TS-MPPT mediante el puerto RJ45 que incorpora el equipo y de ahí saldrá la comunicación hacia el router o el ordenador por medio del cable de ethernet.

- Lo primero que se realiza para el funcionamiento del adaptador RCS-1 es alimentar con una fuente de 12 V, el negativo de la fuente se conecta al (GND) de ambos dispositivos, y el positivo en el terminal (PWR) como se puede apreciar en la Figura 16.
- El siguiente paso es añadir 4 cables número 16, en cada uno de los terminales del puerto RS-485, del mismo modo el otro extremo va en el puerto del regulador TS-MPPT. Esta conexión permite que los datos generados por el regulador TS-PWM puedan ser transmitidos hacia el regulador TS-MPPT.
- Por último, se conecta el adaptador de comunicación **RSC-1**, el cual permite realizar la conversión entre las señales **RS-232** y **RS-485**, garantizando la compatibilidad entre los dispositivos del sistema conforme se aprecia en la Figura 4.7.

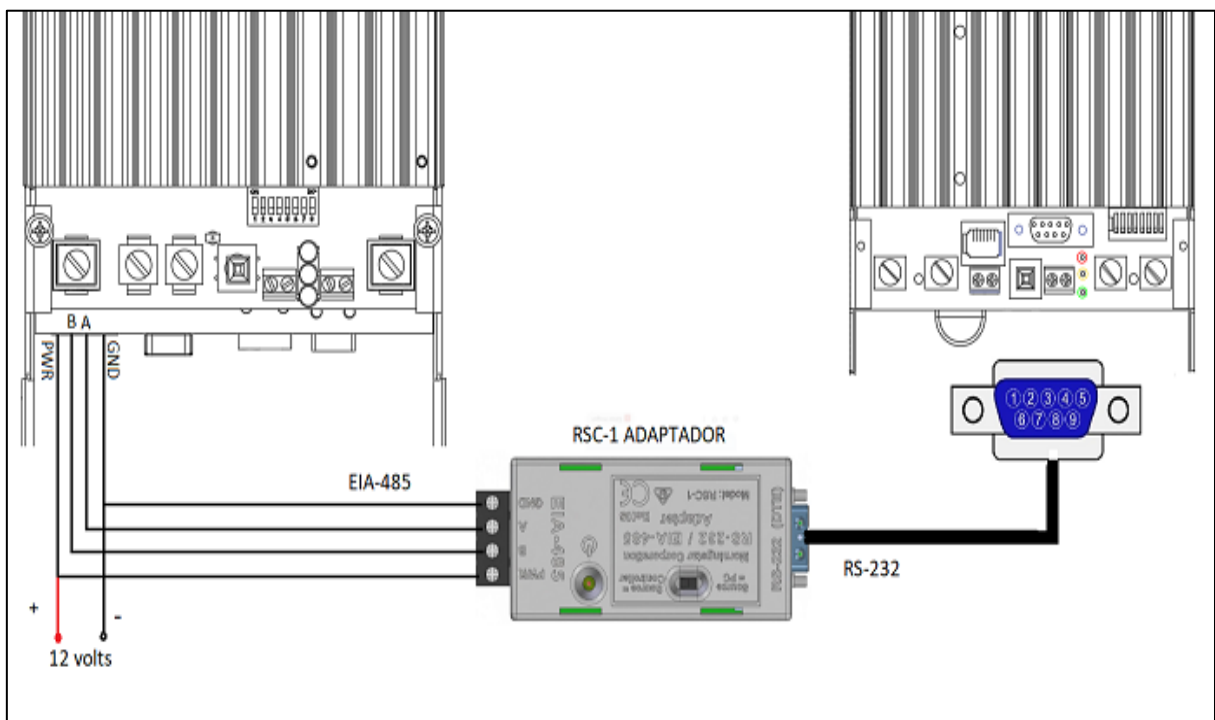


Figura 3.7. Comunicación entre regulador TS-MPPT y TS-PWM por medio de un Adaptador RSC-1.

3.4.2. Activación del puente de comunicación en el regulador MPPT

Una vez establecida la conexión física entre los reguladores se procedió a activar la función de **puente de comunicación RS-485** en el regulador TriStar MPPT.

Esta configuración permite que el regulador MPPT retransmita los datos recibidos desde el bus RS-485 hacia la interfaz Ethernet del dispositivo. De esta manera, el regulador MPPT actúa como un punto de acceso a la red de comunicación, permitiendo que los datos de ambos controladores puedan ser consultados desde el sistema de monitoreo.

La activación de esta función se realizó mediante el software de configuración MS View, donde se habilitó la opción correspondiente al **RS-485 Bridging** dentro de los parámetros de comunicación del regulador.

Con esta configuración se logró integrar los reguladores dentro de una misma red de comunicación, permitiendo que la información generada por cada dispositivo sea transmitida y visualizada desde el sistema de monitoreo. La utilización del puente de comunicación RS-485 hacia Ethernet facilitó la centralización de los datos del sistema fotovoltaico, mejorando la supervisión de los parámetros eléctricos y permitiendo realizar el seguimiento del funcionamiento de los controladores mediante el software **MS View**. Una vez establecida la comunicación y el monitoreo del sistema, se procedió a la implementación de la **barra de distribución en corriente continua de 48 V**. Tal como se ilustra en la Figura 4.8

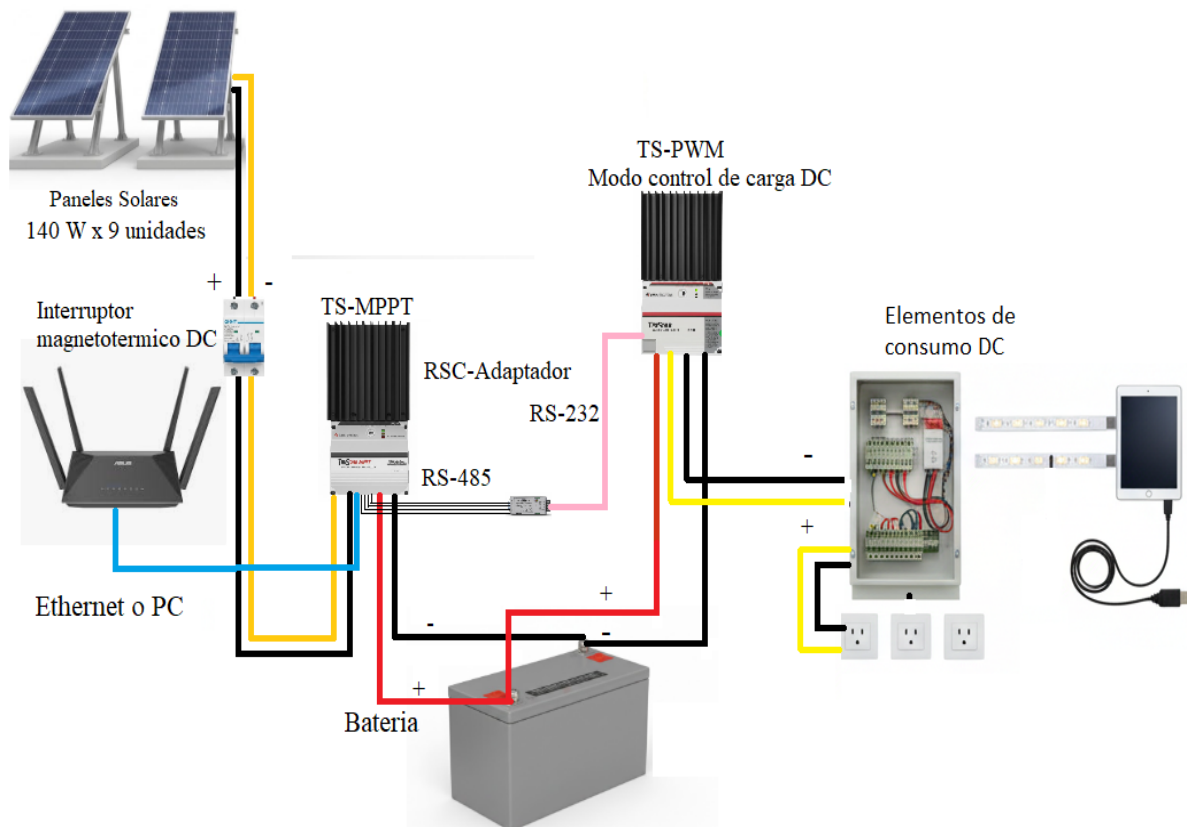


Figura 3.8. Activación del puente de comunicación en el regulador MPPT. Adaptado de [30].

3.4.3. Configuración de direcciones Modbus

- Para garantizar la correcta identificación de los dispositivos dentro de la red de comunicación fue necesario asignar una dirección **Modbus única** a cada regulador.
- El protocolo Modbus permite que el sistema de monitoreo identifique cada dispositivo conectado al bus de comunicación RS-485, facilitando el acceso a los registros de datos

generados por los controladores.

- Durante esta etapa se configuró una dirección específica para el regulador MPPT y otra para el regulador TS-60, evitando conflictos de comunicación dentro de la red.
- Una vez configuradas las direcciones Modbus se procedió a verificar que ambos dispositivos pudieran ser detectados correctamente mediante el software de monitoreo.

3.5. Diseño e implementación de la barra de corriente continua DC

Para el desarrollo del sistema de distribución en corriente continua dentro del proyecto fotovoltaico **DIRGI-CP 2021-008**, se realizó el diseño e implementación de una barra de corriente continua (**DC**) destinada a la alimentación de cargas conectadas directamente al banco de baterías del sistema. Este diseño se desarrolló considerando los parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico y aplicando criterios de seguridad establecidos en normativas eléctricas para sistemas de corriente continua.

3.5.1. Cálculo de los parámetros eléctricos de la barra DC

Los cálculos del diseño de la barra de corriente continua se realizaron a partir de los parámetros del sistema fotovoltaico implementado en el proyecto DIRGI-CP-2026-008 de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Corriente nominal del sistema fotovoltaico:

$$I_{DC} = 60A$$

Tensión seleccionada para la barra de corriente continua:

$$V_{DC} = 48V$$

A partir de estos valores se procede a determinar la potencia nominal de la barra DC:

$$P_{total} = I_{DC} * V_{DC} \tag{1}$$

$$P_{total} = 60A * 48V = 2880W$$

3.5.2. Cálculo de la corriente nominal de la barra DC

La corriente nominal del sistema se determina a partir de la relación entre la potencia total del sistema y la tensión de operación de la barra DC.

(2)

$$I_{DC} = \frac{P_{total}}{I_{dc}}$$

$$I_{DC} = \frac{2880\text{ W}}{48\text{ V}} = 60\text{ A}$$

Este valor representa la corriente nominal que circulará por la barra de corriente continua durante el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

3.5.3. Cálculo de la corriente de diseño con margen de seguridad

Para garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico se considera un margen de seguridad del **125 %** sobre la corriente nominal. Este criterio es comúnmente utilizado en el diseño de instalaciones eléctricas para dimensionar adecuadamente conductores y dispositivos de protección.

La corriente de diseño se determina mediante la siguiente expresión:

$$I_{Diseño} = I_{DC} * 1.25 \quad (3)$$

$$I_{Diseño} = 60 * 1.25 = 75\text{ A}$$

Este valor corresponde a la corriente máxima que deberá soportar la barra de distribución y los conductores asociados al sistema.

3.5.4. Dimensionamiento de los conductores

El dimensionamiento de los conductores se realizó considerando la corriente de diseño calculada previamente, correspondiente a **75 A**. De acuerdo con las tablas normalizadas para conductores de cobre utilizadas en sistemas eléctricos, se seleccionó un conductor de cobre calibre **#4 AWG**, el cual presenta una capacidad de conducción de corriente entre **85 A y 95 A**, lo que permite garantizar un funcionamiento seguro del sistema dentro de los límites de operación establecidos.

La selección de este conductor permite reducir la caída de tensión en el sistema de distribución de corriente continua, mejorando así la eficiencia en la transferencia de energía hacia las cargas conectadas a la barra DC. Además, esta elección asegura condiciones adecuadas de operación para los conductores, evitando sobrecalentamientos y contribuyendo a la seguridad y

confiabilidad del sistema de distribución en corriente continua implementado en el módulo fotovoltaico.

PARÁMETRO	VALOR
Calibre	4 AWG
Material	Cobre electrolítico
Área de sección transversal	21.15 mm
Diámetro nominal del conductor	5.19 mm
Resistencia eléctrica (20 °C)	0.248
Ampacidad típica (75 °C)	85 – 95 A
Tipo de corriente	Corriente continua (DC)
Aplicación típica	Sistemas fotovoltaicos, barras DC

Tabla 3.2. Especificaciones Técnicas conductor calibre #4 AWG cobre.

3.5.5. Conexión del regulador de carga TS-PMW

- Se debe retirar la tapa frontal del equipo aflojando los cuatro tornillos que la sujetan.
- Después hay que fijar el controlador TS-PWM en su posición utilizando la plantilla suministrada por el proveedor.
- Se procede a conectar los cables provenientes del panel solar y/o carga y la salida de la batería con cada uno de los bornes correspondientes. Después, realice la conexión de los conductores provenientes del sistema solar (o de la carga, según el caso).
- Se debe conectar el sensor de temperatura (RTS) como lo indica en la Figura 4.9 únicamente si la batería necesita compensación térmica. Este paso no aplica para instalaciones en modo de carga (load), También será de vital importancia la conexión del sensor de voltaje a cada uno de los bornes de la batería que corresponda.
- Configurar los ocho interruptores del módulo DIP. Cada uno debe colocarse según el modo de operación requerido (las especificaciones se detallan más adelante en la configuración de los DIP Switches).

- En caso de requerir configuraciones adicionales, conecte el controlador a una computadora para realizar ajustes mediante el software (MS View).
- Colocar nuevamente la tapa protectora para finalizar la instalación.

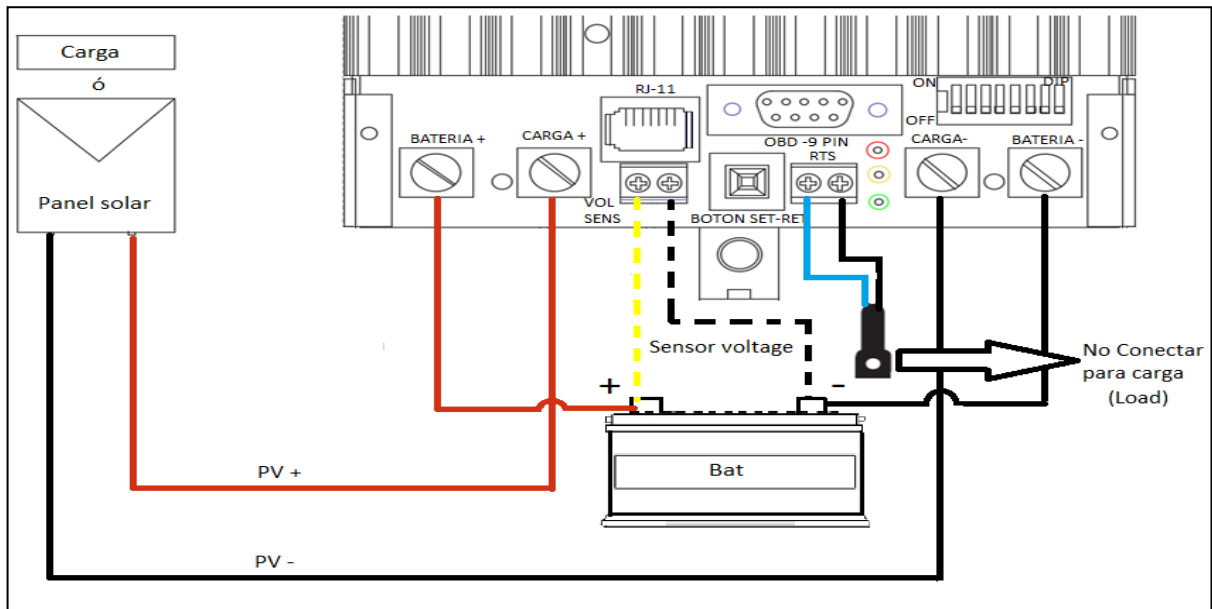


Figura 3.9. Esquema de conexiones indispensables de un regulador TS-PWM.

3.6. Configuración del regulador TS-PWM en modo load Control

Para la implementación del sistema de control de cargas en corriente continua se utilizó el regulador **TriStar TS-PWM**, el cual permite operar en diferentes modos de funcionamiento, entre ellos modo de carga, modo de desvío y modo de control de cargas (**Load Control**). En el presente proyecto se configuró el regulador en **modo Load Control** con el objetivo de gestionar el encendido y apagado de las cargas conectadas a la barra de distribución en corriente continua de **48 V**.

Previo a la configuración del modo de operación, fue necesario establecer el **voltaje nominal del sistema** mediante los interruptores de configuración **DIP switch** incorporados en el regulador. Estos interruptores permiten seleccionar el nivel de voltaje del banco de baterías con el que trabajará el controlador. En el sistema implementado se configuró el regulador para operar en **48 V**, de acuerdo con el voltaje del banco de baterías utilizado en la Microred fotovoltaica.

La correcta configuración de los interruptores **DIP** garantiza que el regulador ajuste adecuadamente los parámetros de carga y protección del sistema, como el voltaje de desconexión por baja tensión, el voltaje de reconexión y el control de suministro de energía

hacia las cargas. Posteriormente, el regulador fue configurado en **modo Load Control**, permitiendo que el dispositivo supervise el estado del banco de baterías y controle automáticamente la conexión o desconexión de las cargas en función del voltaje del sistema.

Cuando el voltaje del banco de baterías se encuentra dentro de los rangos de operación establecidos, el regulador permite el suministro de energía hacia las cargas conectadas a la barra de distribución en corriente continua. En caso de que el voltaje descienda por debajo del límite mínimo establecido, el regulador desconecta las cargas con el objetivo de evitar descargas profundas que puedan afectar la vida útil de las baterías.

En la Figura 4.10 se muestra la configuración de los interruptores **DIP** utilizada para establecer el voltaje nominal del sistema en **48 V**, en la **Tabla 2** presenta la combinación específica de los interruptores **DIP (2)** y **DIP (3)** utilizada para seleccionar dicho voltaje.

La selección del voltaje de **48 V** representa una decisión técnica orientada a mejorar la eficiencia del sistema y aumentar la capacidad de potencia disponible. Considerando que el regulador **TriStar TS-60** posee un límite máximo de corriente de **60 A**, el sistema puede manejar una potencia aproximada de hasta **2880 W**, lo cual permite operar cargas en corriente continua de manera eficiente dentro de la Microred fotovoltaica.

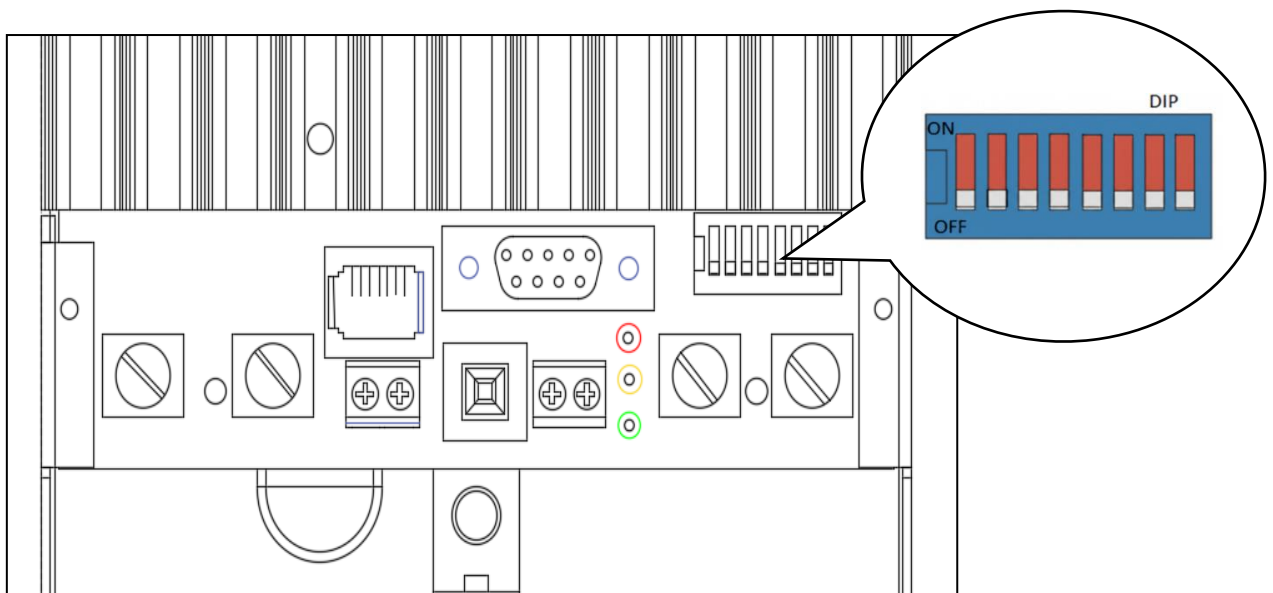


Figura 3.10. DIP Switches del regulador TS 60A.

3.6.1. Tipos de configuración DIP switches

Los interruptores para la configuración del regulador de carga TS-PWM están diseñados para el ajuste y calibración del dispositivo, asegurando el rendimiento y acoplándose a la necesidad

particular del sistema solar al que esté conectado, en la Figura 9 se presenta dichas configuraciones para posteriormente señalar la más óptima para nuestro sistema fotovoltaico. Como se aprecia en la Figura 4.11

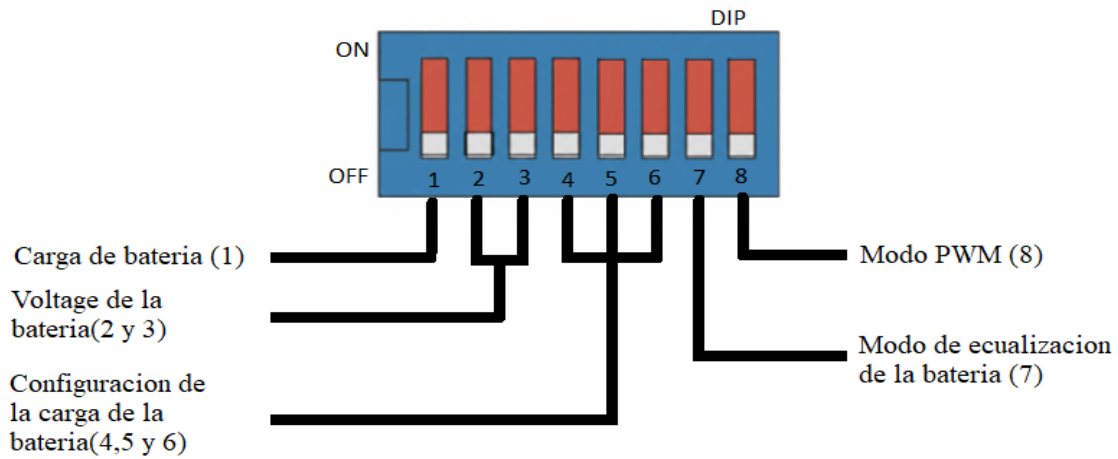


Figura 3.11. Configuración del DIP switches del regulador TS 60A.

3.6.2. Ajuste de los interruptores tipo Dip del regulador de carga TS-PWM-60

Este modelo puede operar en sistemas de 12, 24 o 48 voltios y está disponible en capacidades nominales de 45 y 60 amperios. Su diseño incorpora un sistema de control térmico sin ventiladores, que utiliza disipación pasiva para mantener una operación estable incluso bajo condiciones ambientales exigentes. El controlador de la Figura 4.12, organiza el proceso de carga en tres fases principales: carga rápida, absorción y flotación. Para su mejor optimización se ha designado los siguientes parámetros para programar por medio del DIP switches.

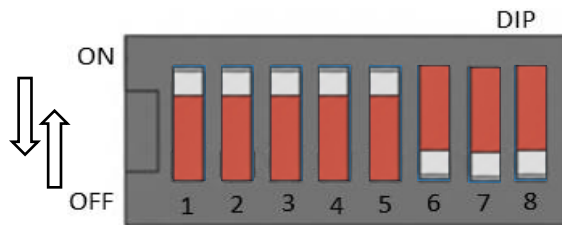


Figura 3.12. Configuración del regulador de carga TS-PWM

3.6.3. Modo carga (Dip 1):

Configurado en ON, es la configuración principal del regulador de carga del TS-PWM 60A se utiliza para regular la energía proveniente de los paneles solares hacia el banco de baterías, asegura que las baterías se llenen de forma óptima y no se dañen por sobrecarga.

- **Etapa Bulk (Carga Inicial):** El regulador entrega toda la corriente disponible de los paneles a la batería hasta que esta alcanza el voltaje de regulación.
- **Etapa de Absorción:** Mantiene un voltaje constante (según lo configurado para tu tipo de batería) para asegurar una carga completa y prevenir el calentamiento excesivo.
- **Etapa de Flotación:** Una vez cargada la batería, el regulador reduce el voltaje para mantenerla al 100% y compensar la autodescarga, sin "cocinar" el electrolito.
- **Etapa de Ecuilización:** Es un proceso periódico (manual o automático) que eleva el voltaje para equilibrar la química de todas las celdas de la batería y eliminar la sulfatación.

3.6.4. Voltaje (Dip 2 y 3):

Aquí se configura mediante hardware (Dip Switches) a la selección de voltaje con el que va a trabajar todo el sistema, 48 voltios es una decisión técnica que ayuda a la eficiencia, la capacidad de potencia es decir hasta 2880 W de potencia máxima ya que el TS-PWM-60 tiene un límite de corriente de 60 Amperios.

Tabla 3.3. Modo de control

Voltage del sistema (V)	DIP (2)	DIP(3)
48	On	On

3.6.5. Algoritmo de carga de batería (DIP numero 4-5-6):

Aquí definimos el voltaje maximo con el que queremos que el regulador proporcione en su punto maximo a 15.0 V, asi las baterias del sistemas estaran protegidas al no permitir que se pase del limite maximo y minimo, por ende esta configuracion tambien da una desconexion automatica de parte de regulador de carga cuando esta este porndebajo de los 12.1 V.

Tabla 3.4. Modo de control

Voltage PWM (V)	DIP (4)	DIP(5)	DIP(6)
15.0	On	On	Off

Modo:

A= PWM 15.0 V

B= LVD (Desconexión por bajo voltaje) 12.1 V

C= Control de iluminación (El atardecer hasta el amanecer)

D= Control de desvió 15.0 V

3.6.6. Ecualización de batería (DIP numero 7):

En este paso se elige el modo Off del (Dip 7) para tener control total del proceso de ecualización en donde se hará manualmente por medio del botón pulsador que se encuentra en el TS 60A, además el equipo pondrá el control de desvío en modo Off de la misma manera.

Tabla 3.5. Modo de control

Modo de control	DIP (1)
Modo Manual	Off

3.6.7. Reducción de ruido, control de carga, iluminación o ecualización (DIP 8):

La selección del interruptor del Dip 8 está basada en la carga normal en modo PWM, y puede monitorear el control de la carga y además evita las interferencias de ruido dentro del mismo sistema.

Tabla 3.6. Modo control.

Modo de control	DIP (1)
Modo Manual	Off

3.7. Dimensionamiento de los acumuladores

Para entender la capacidad de las baterías en un sistema fotovoltaico, hay que comprender cuánto se consume para así poder configurar nuestro TS-PWM y así la batería dure por muchos años más de vida útil y asegurar el suministro continuo energético.

Fórmula para determinar los Amperios-hora (Ah) que requiere todo el sistema fotovoltaico:

Ecuación 1. Fórmula para la capacidad de la batería.

$$C = \frac{E_d * N}{V_{bat} * DoD} \quad (4)$$

E_d (Consumo diario): Es la suma de todos los vatios de los equipos de consumo multiplicados por las horas de uso diario (Wh/día).

N (Días de autonomía): Días que se espera que el sistema funcione sin sol, usualmente varia de 2 a 4 días máximo.

V_{bat} (Voltaje del sistema): Esto depende mucho de la programación elegida en el regulador de carga TS-PWM TriStar, varía entre 12 v, 24v y 48v.

DoD (Profundidad de descarga): La vida útil de la batería depende directamente del mínimo de descarga que esta tenga, siendo de 80% en baterías de plomo-acido o 50% en litio.

E_d (Consumo diario): Es la suma de todos los vatios de los equipos de consumo multiplicados por las horas de uso diario (wh/día).

4.4.1 Calculo para la selección de la batería del sistema

N (Días de autonomía): 2 día

V_{bat} (Voltaje del sistema): 48 v

DoD (Profundidad de descarga): 0.8 %

E_d (Consumo diario): 2880 Wh

$$C = \frac{2280 * 2}{48 * 0.8} = 118.75 Ah$$

En este caso, la mejor opción para el sistema es de aproximadamente 120 Ah

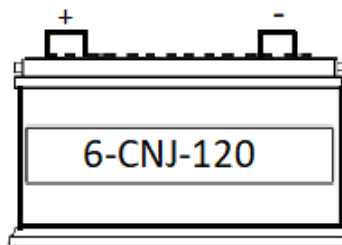


Figura 3.13. Banco de batería 6-CNJ-120.

En cuanto a sus características eléctricas, la capacidad nominal de estas baterías generalmente se ubica entre 80 Ah y 200 Ah, aunque existen modelos de mayor capacidad dependiendo de las necesidades del sistema. Durante su operación mantienen una tensión típica cercana a 12.8 V en estado completamente cargado, mientras que las variaciones dependen del régimen de carga, la temperatura y el estado de salud de la batería. Estas baterías presentan una autodescarga reducida y permiten corrientes de carga controladas como se ilustra en la Figura

4.13, que suelen limitarse entre el 10 % y el 20 % de la capacidad nominal para evitar daños por sobrecalentamiento y prolongar su vida útil.

3.7.1. Baterías 6-CNJ-120

La batería 6-CNJ-120 es una batería de plomo-ácido sellada de electrolito gel (VRLA-Gel) diseñada para uso en ciclo profundo y aplicaciones de respaldo. Posee un voltaje nominal de 12 V y una capacidad nominal de 120 Ah (tasa 10 h), lo que la hace adecuada para sistemas de almacenamiento en instalaciones solares, UPS y aplicaciones de descarga cíclica moderada. Su construcción sellada elimina la necesidad de mantenimiento por reposición de electrolito y reduce el riesgo de derrames, permitiendo instalación en distintas orientaciones.

Características eléctricas y físicas, tensión nominal 12 V; capacidad 120 Ah a 10 h; corriente máxima de descarga = 30 A; dimensiones aproximadas 405 × 170 × 230 mm; peso aproximado 32 kg. Estos valores son los usados por fabricantes y distribuidores de la serie CNJ para el modelo 6-CNJ-120.

3.7.2. Dimensionamiento de los conductores

El dimensionamiento de los conductores se realiza a partir del cálculo de la corriente del diseño (I diseño). Para una corriente de 75 Amperios (A) en corriente continua, de acuerdo con las tablas normalizadas de conductores de cobre se recomienda el conductor de cobre calibre #4 AWG [Figura 19]. Esta selección garantiza la eficiencia de la barra, reduce la caída de tensión y asegura la eficiencia en el sistema de corriente continua.

3.7.3. Cálculo de la capacidad de potencia de la barra de corriente continua DC

- Tensión de la barra de corriente continua DC 48 V
- Intensidad de la barra de corriente continua DC 75 A

Calculo:

$$48 \text{ V} * 75 \text{ A} = 3600 \text{ W}$$

Una vez realizado el cálculo la potencia máxima que soporta la barra de corriente continua DC es de 3600 W siendo mayor a la potencia nominal del sistema fotovoltaico (2880 W), esto da fiabilidad a que el diseño realizado opera con seguridad, permitiendo una distribución eficiente sin riesgo a sobrecargas.

3.7.4. Instalación física del sistema de distribución de corriente continua

La implementación de la barra de corriente continua se desarrolló utilizando como base el sistema fotovoltaico previamente instalado en el laboratorio de eficiencia energética de la Universidad Técnica de Cotopaxi, correspondiente al proyecto **DIRGI-CP-2021-008**. Dicho sistema ya disponía de los elementos principales de generación y almacenamiento de energía, entre los que se incluyen los paneles solares, los reguladores de carga y el banco de baterías de **48 V**. A partir de esta infraestructura existente se procedió a incorporar un sistema de distribución en corriente continua que permitiera suministrar energía directamente desde el banco de baterías hacia diferentes cargas.

Para el desarrollo de un módulo didáctico de pruebas, se instaló un bus de corriente DC, en las instalaciones se encuentra la estructura soldada con cobertura de melamina para el soporte de los equipos como inversores, portafusibles y tomas de la línea de alimentación directa para la suministración de energía a la carga que se desee alimentar.

Dentro de este diseño se ha generado un modelado en softwares de modelación como Fusión 360 y AutoCAD, aquí los equipos representan los mismos equipos instalados en el banco de pruebas como las protecciones debidas a cada carga, los fusibles están dimensionados acorde a la corriente de salida de los inversores considerando el factor de seguridad de 1.25% de la corriente nominal. Esta selección de los equipos de protección está dada por la NEC (National Electrical Code), en donde señala que para cargas de corriente continua se deberá considerar un cierto incremento de la corriente nominal para poder dimensionar los equipos de protección contra sobre corriente.

A partir de los portafusibles se realizó la conexión hacia **dos tomacorrientes instalados en el módulo de pruebas**, los cuales actúan como puntos de suministro para la alimentación de cargas en corriente continua. Estos tomacorrientes permiten conectar equipos o dispositivos de prueba que puedan operar con la energía proveniente del sistema fotovoltaico.

Para distribuir la energía entre ambos tomacorrientes se implementó un **punte eléctrico mediante borneras instaladas en riel DIN**, lo cual permite realizar derivaciones seguras de los conductores dentro del sistema. El uso de estas borneras facilita la organización de las conexiones eléctricas y permite que la instalación sea más segura y accesible en caso de realizar futuras modificaciones o mantenimiento.

Finalmente, una vez completadas las conexiones eléctricas, se realizó una verificación general del sistema, comprobando la correcta polaridad de los conductores, la firmeza de las conexiones y el funcionamiento adecuado de los dispositivos de protección de la Figura 4.14. De esta

manera se logró implementar un sistema de distribución de corriente continua que permite alimentar cargas directamente desde el banco de baterías del sistema fotovoltaico existente, además de facilitar la realización de pruebas y experimentos dentro del laboratorio.



Figura 3.14. Diseño del módulo integrado en Fusión 360.

Tabla 4.7, Señala la descripción de cada uno de los componentes del módulo de pruebas del Laboratorio de eficiencia energética.

Tabla 3.7. Descripción de componentes.

EQUIPO	DESCRIPCION (ETIQUETAS)
Banco de Baterías 6-CNJ-120	BCNJ-01
Inversor de onda cuadrada Doxin	INV-01
Inversor de onda modificada	INV-02
Porta Fusibles	PTF-01

Riel perforado de aluminio	RLDIN-01
Canaleta ranurada	CR-01
Tomas de corriente riel Din	TRIEL-01

3.7.5. Integración final del sistema fotovoltaico

Una vez completadas las etapas de diseño, configuración e implementación de los diferentes componentes del sistema, se logró integrar un sistema fotovoltaico funcional que permite la supervisión y distribución eficiente de la energía generada. En este proceso se estableció la comunicación entre los reguladores mediante la red Ethernet, permitiendo la adquisición de datos a través del software **MS View**. Asimismo, se implementó la barra de distribución de corriente continua de **48 V**, la cual permite alimentar cargas directamente desde el banco de baterías del sistema fotovoltaico existente en el proyecto **DIRGI-CP-2021-008**. La integración de estos elementos permitió mejorar la gestión del sistema energético y facilitar el monitoreo de los parámetros eléctricos del sistema en tiempo real.

Finalmente, la Figura 4.15 presenta el esquema general del sistema implementado, en el cual se muestran los diferentes componentes que conforman la arquitectura final del sistema, incluyendo los reguladores de carga, el banco de baterías, la barra de distribución de corriente continua, el sistema de comunicación y el monitoreo mediante **MS View**.

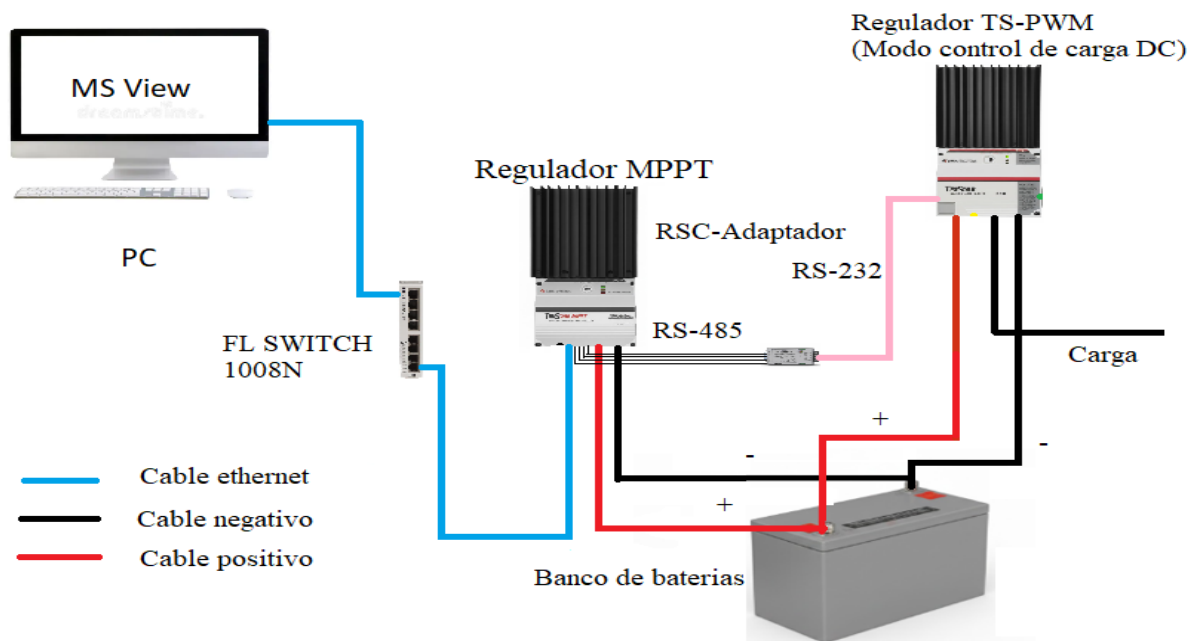


Figura 3.15. Arquitectura general del sistema fotovoltaico implementado con barra de distribución DC y sistema de monitoreo. [Elaboración propia].

4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación y evaluación del sistema propuesto para el control y monitoreo de la energía en la barra de distribución de corriente continua del sistema fotovoltaico. El funcionamiento del sistema se basa en la comunicación entre los reguladores de carga MPPT 60 y TS-60 y el sistema de monitoreo en el cual se ejecuta los softwares Modbus Poll y MS view para la adquisición y visualización del sistema fotovoltaico.

La comunicación se realizó mediante el medio físico RS-485 el cual permitió la transmisión de datos a través de una comunicación serial. Sobre este medio físico se implementó el modo de comunicación Modbus RTU el cual permitió los el intercambio de información entre los dispositivos del sistema.

Por lo que, se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron verificar la transmisión de datos entre los dispositivos mediante el protocolo de comunicación implementado y el intercambio de información relacionada con variables eléctricas como: el voltaje de los paneles, el voltaje de batería, el voltaje de escala, la corriente y la potencia generada en el sistema fotovoltaico, estas pruebas permiten evaluar la estabilidad de la comunicación RS-485 entre los reguladores MPPT y TS-60, la correcta lectura de los parámetros del sistema y la respuesta del sistema de control frente a diferentes condiciones de operación.

Se analiza las gráficas y los registros obtenidos durante el proceso de pruebas del sistema para identificar el comportamiento de la generación fotovoltaica, la demanda de carga y la presencia de posibles excedentes del sistema dentro de la barra de corriente continua. A partir de estos resultados se realizó una discusión técnica que permite relacionar los hallazgos obtenidos con los objetivos planteados en la investigación y con los fundamentos teóricos presentados en los capítulos anteriores.

4.1. Pruebas de comunicación de comunicación en regulador MPPT y software Modbus Poll

Para verificar la comunicación entre el regulador MPPT y el sistema de monitoreo, se realizaron pruebas de lectura de registros utilizando el software Modbus Poll. Estas pruebas permitieron comprobar la correcta transmisión de datos entre en controlador y el computador mediante el protocolo Modbus RTU sobre la interfaz RS-485.

Para realizar las pruebas de comunicación se accedió al menú Connection Setup del software Modbus Poll, donde se configuran los parámetros necesarios para establecer la condición con el regulador MPPT. En esta sección se relaciona el tipo de conexión Modbus RTU, el cual permite la transmisión de datos a través de una red Ethernet.

Luego se configura la dirección IP del dispositivo correspondiente a 172.16.40.113, utilizando el puerto 502, El cual es el puerto estándar para comunicación. Se establece un tiempo de espera de conexión de 3000 ms, lo que permite garantizar una respuesta adecuada del dispositivo durante la lectura de los registros.

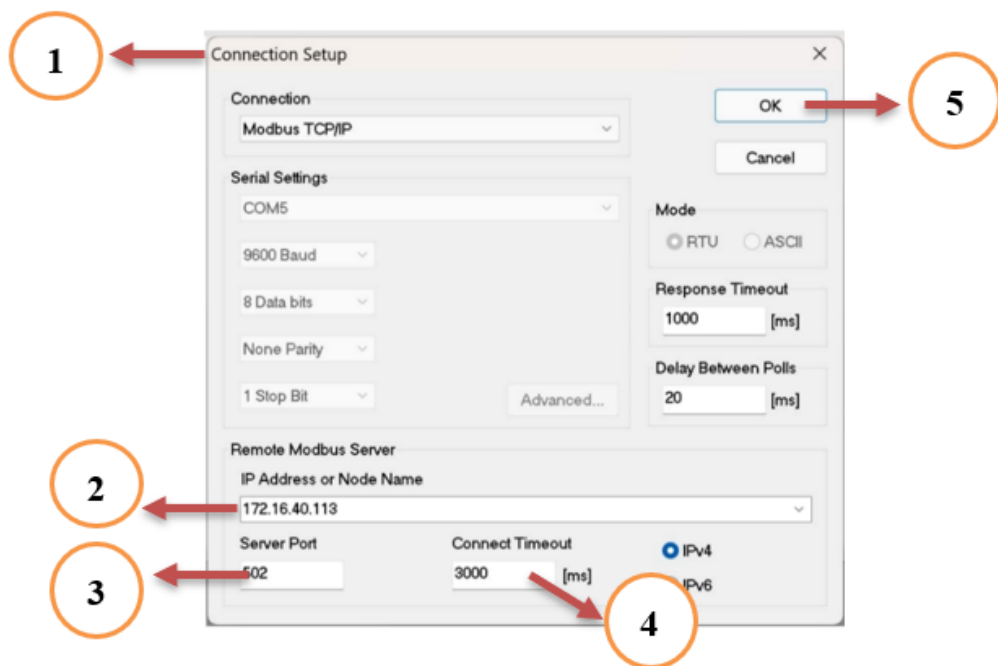


Figura 4.1. Configuración de conexión en el software Modbus Poll.

Una vez establecida la conexión el software permite acceder a los registros internos del regulador mediante la función de lectura de registros modbus Para el desarrollo de las pruebas se seleccionó un rango de lectura comprendida entre 0 y 14 registros lo que permite visualizar diferentes variables eléctricas relacionadas con el funcionamiento del sistema fotovoltaico.

De acuerdo con la figura 5.2 los datos obtenidos en la lectura de registros, valores correspondientes a los parámetros de escalamiento fueron $V_{PU\ hi} = 180$ y $V_{PU\ lo} = 0$. Estos valores representan la parte fraccionaria del factor de escalamiento definido en el manual Modbus del regulador, ver Anexo D.

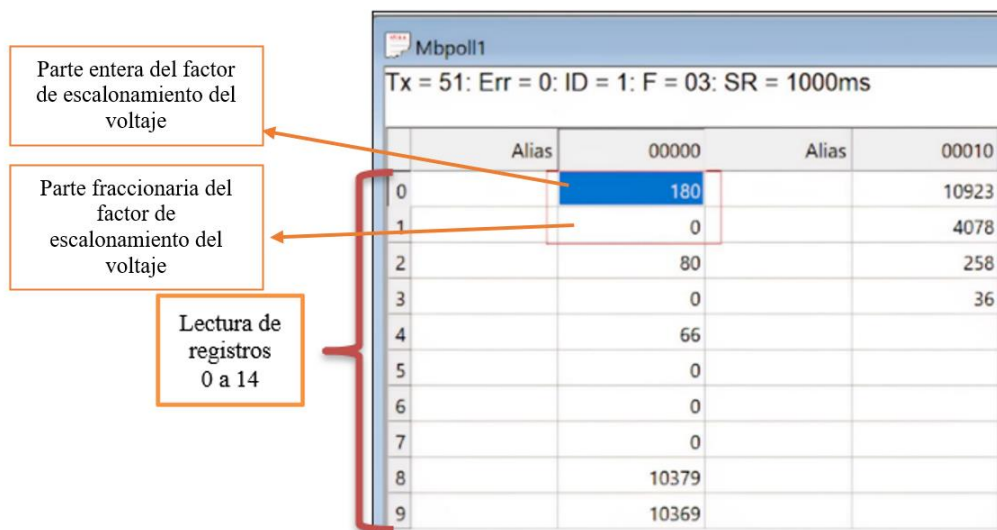


Figura 4.2. Lectura de registros del regulador MPPT en Modbus Poll.

4.1.1. Variable voltaje de escala

Para determinar el valor real de voltaje medido por el regulador es necesario aplicar el factor de escalamiento indicado en el manual modus del controlador MPPT TS-60. En este manual se especifica los registros Modbus donde sea almacena los parámetros de escalamiento de voltaje, denominados V_PU hi y V_PU lo, los cuales corresponden a la parte entera y fraccionaria del factor de escala.

A partir de estos registros es posible calcular la variable voltaje de escala (Vscaling) la cual permite convertir los valores leídos desde los registros Modbus en valores reales de voltaje del sistema. Este procedimiento se basa en información proporcionada en la tabla de registros del manual del controlador, donde se describen las direcciones de memoria, el nombre de la variable y sus unidades correspondientes.

Supported MODBUS Functions									
Read Holding Registers (0x03) and Read Input Registers (0x04)									
RAM									
PDU Addr	Logical Addr	Variable name	Variable description	Units	Signed	Scaling or Range	WS	SNMP	
Scaling Values									
0x0000	1	V_PU hi	Voltage scaling, whole term	V		-			
0x0001	2	V_PU lo	Voltage scaling, fractional term	-		-			
0x0002	3	I_PU hi	Current scaling, whole term	A		-			
0x0003	4	I_PU lo	Current scaling, fractional term	-		-			
0x0004	5	ver_sw	Software Version	-		-			
0x0005	6-9	RESERVED							
-									
0x0017									

Figura 4.3. Tabla del manual Modbus del regulador MPPT 60 [31].

<p>V_PU hi, V_PU lo [1,2][0x0000, 0x0001] (V). <i>voltage scaling</i>. The scaling value for all voltages. The scaling value is defined as:</p> $V_{\text{scaling}} = \text{whole.fraction} = [V_PU \text{ hi}].[V_PU \text{ lo}]$ <p>Example: V_PU hi = 0x004E = 78 V_PU lo = 0x03A6 = 934</p> <p>V_PU lo must be shifted by 16 (divided by 2¹⁶) and then added to V_PU hi</p> $V_{\text{scaling}} = 78 + 934/(2^{16}) = 78.01425$

Figura 4.4. Ecuación para voltaje de escala [31].

En este caso a partir de la lectura realizada en el software Modbus Poll, se obtuvieron los valores correspondientes a los registros de escalamiento de voltaje de regulador los valores registrados fueron: V_PU hi = 180 y V_PU lo = 0

Con estos datos se procede a realizar el cálculo de voltaje de escala utilizando la ecuación (5.1) indicada en el manual modbus del controlador, ver Anexo B. La expresión matemática para determinar este valor es la siguiente:

$$V_{\text{scaling}} = V_PU_{\text{hi}} + V_PU_{\text{lo}}/(2^{16}) \quad (5.1)$$

Sustituyendo los valores obtenidos en el software:

$$V_{\text{scaling}} = 180 + 0/(2^{16}) = 180$$

4.1.2. Variable voltaje de la batería del regulador TS-MPPT

Para verificar los valores obtenidos mediante el sistema de comunicación primero se analizan los registros proporcionados por el software MS view los cuales observan en la figura 21, para interpretar correctamente dichos valores se consulta el manual modbus del regulador tristar MPP TS-60, dónde se encuentra la formula necesaria para calcular el voltaje real de la batería a partir de los registros leídos.

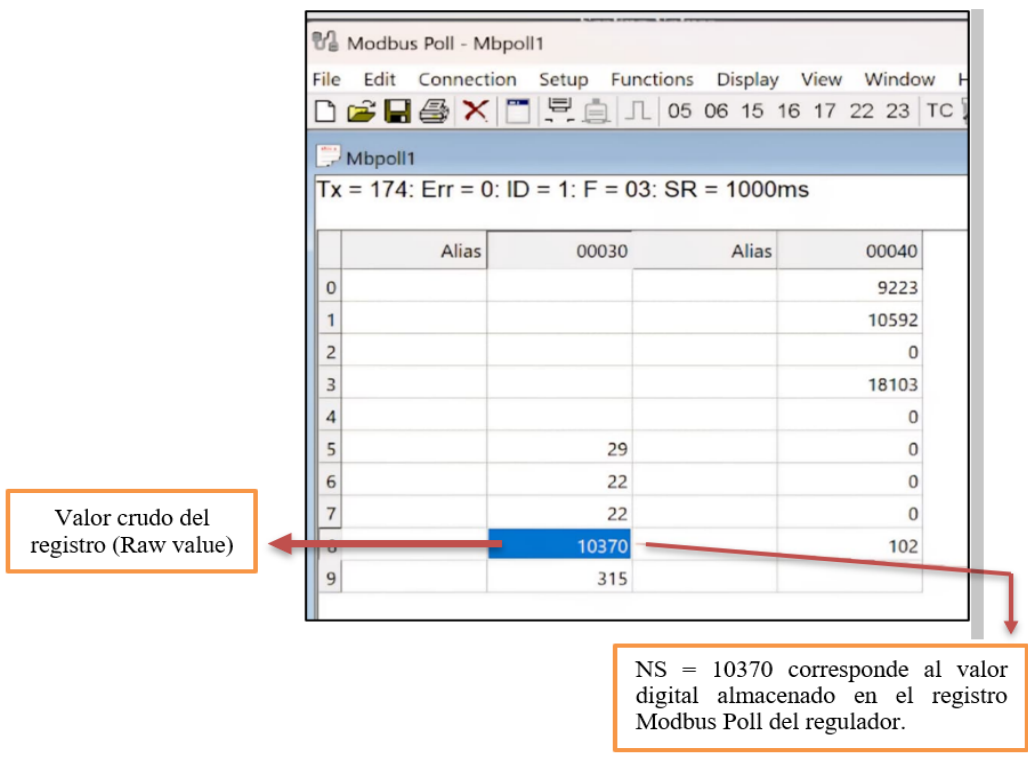


Figura 4.5. Lectura de registros Modbus en el software Modbus Poll.

De acuerdo con la con la información obtenida en el software el valor registrado para la variable NS 10370. Previamente se calculó el valor de voltaje de escala cuyo resultado fue 180 voltios (V) con estos datos se procede a aplicar la ecuación (5.2) indicada en el manual del controlador, ver Anexo C.

$$V_b = n * V_{PU} * 2^{-15} \quad (5.2)$$

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene:

$$V_b = 10370 * 180 * 2^{-15} = 56.96 \text{ Voltios}$$

Ecuación para voltaje de batería

TriStar MPPT MODBUS Document								
0x0026	39	adc_vb_f_1m	Battery voltage, filtered ($\tau \approx 1$ min)	V	√	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$	D	
0x0027	40	adc_ib_f_1m	Charging current, filtered ($\tau \approx 1$ min)	A	√	$n \cdot I_{PU} \cdot 2^{-15}$	D	
0x0028	41	vb_min	Minimum battery voltage	V	√	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$		
0x0029	42	vb_max	Maximum battery voltage	V	√	$n \cdot V_{PU} \cdot 2^{-15}$		
0x002A	43	hourmeter_HI	hourmeter, HI word	h		-		
0x002B	44	hourmeter_LO	hourmeter, LO word	h		-		
0x002C	45	fault.all	Controller faults bitfield	-		-	D	
0x002D	46		reserved					
0x002E	47	alarm_HI	alarm bitfield – HI word	-		-	D	
0x002F	48	alarm_LO	alarm bitfield – LO word	-		-	D	
0x0030	49	dip.all	DIP switch positions bitfield	-		-		
0x0031	50	led.state	State of LED indications	-		-		

Figura 4.6. Tabla del manual Modbus del regulador. Adaptado de [31].

De esta manera se valida que los registros leídos mediante protocolo Modbus Poll y la comunicación RS-485 permite la obtención de datos confiables del sistema fotovoltaico por lo tanto la prueba realizada se considera exitosa ya que los valores calculados coinciden con los valores en el sistema físico.

4.2. Pruebas de comunicación en regulador TS – 60 PWM y software Modbus Poll

En esta sección se presentan las pruebas de comunicación realizadas con el regulador TS-60 con el objetivo de verificar el correcto intercambio de información entre el equipo y el sistema de monitoreo utilizado en el proyecto. Estas pruebas permiten comprobar que los datos generados por el regulado, como voltaje corriente y otros parámetros de operación puedan ser leídos y analizados mediante el software de supervisión correspondiente.

Para llevar a cabo estas pruebas se emplea el software Modbus Poll, el cual permite establecer la comunicación con el regulador mediante el protocolo Modbus, utilizando interfaces de comunicación como RS - 485 según la configuración del sistema. A través de esta conexión es posible acceder a los registros internos del regulador y obtener los valores necesarios para el análisis del comportamiento del sistema fotovoltaico.

Durante el proceso se realizaron lecturas de diferentes registros Modbus asociados al funcionamiento del regulador TS-60 verificando que los datos obtenidos coincidan con los valores reales del sistema eléctrico. De esta manera se valida el funcionamiento de la comunicación entre el regulador, el sistema de control y el de supervisión, garantizando la confiabilidad de la información utilizada para el monitoreo y análisis de corriente continua.

4.2.1. Prueba de voltaje de la batería del regulador TS-60

En la figura 5.7, se encuentran los registros del Modbus Poll, los cuales nos permite realizar la prueba en el regulador TS-60 dentro de la red Modbus RS-485, se estableció el cambio del Slave ID en el software de monitoreo. Inicialmente el regulador tenía configurado el slave ID = 1, por lo que para acceder al segundo regulador se reemplaza este valor por el slave ID = 2. Se define la cantidad de registros a leer mediante la función 03 – Read Holding Registers, configurando la dirección inicial 0 y una cantidad de 14 registros, lo cual permite obtener los datos necesarios para la prueba según la tabla de memoria del manual del equipo.

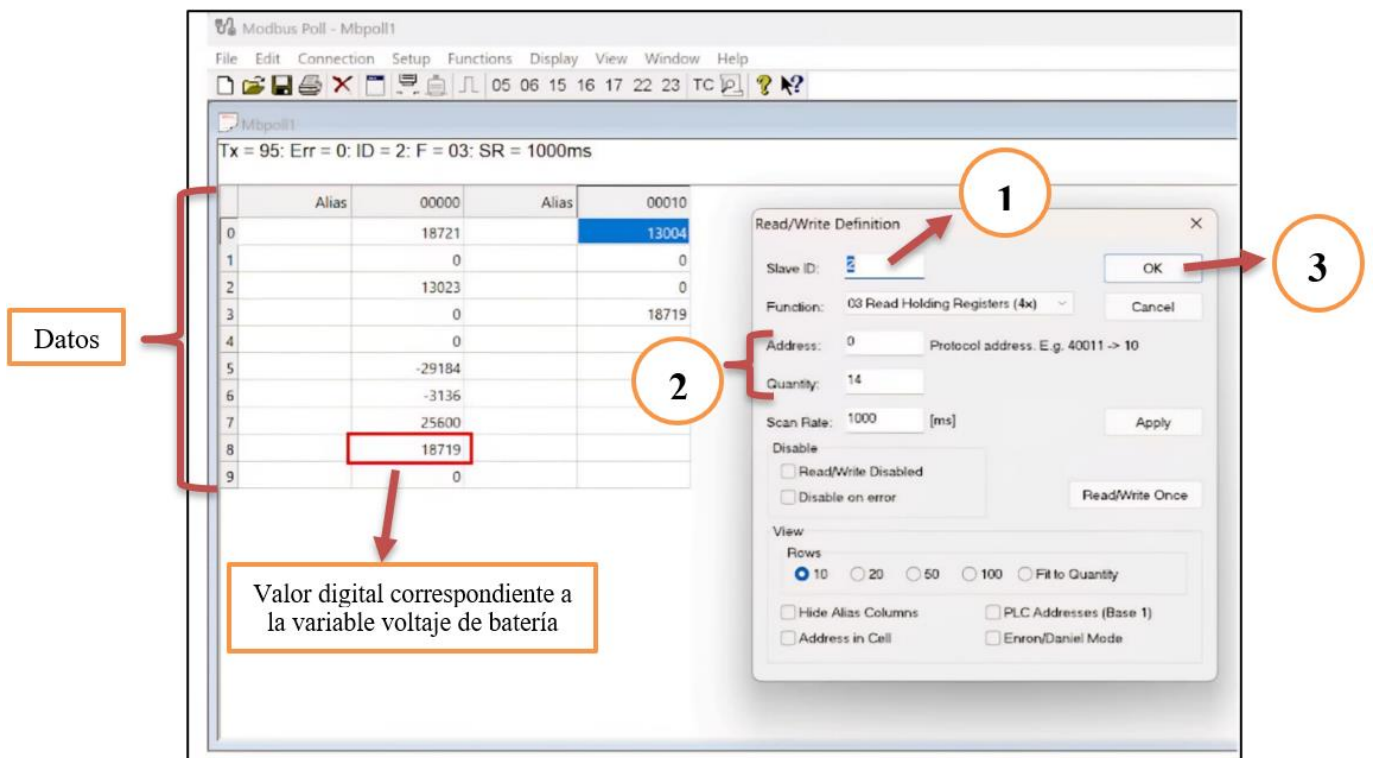


Figura 4.7. Lectura de registros Modbus del regulador mediante el software Modbus Poll.

De acuerdo con la tabla 5.1 de registros del regulador TS-60, el voltaje de batería filtrado se encuentra en el registro correspondiente a la variable adc_vb_f , cuyo valor leído en el software es $n = 18719$.

Tabla 4.1. Variables utilizadas para el cálculo del voltaje de batería del regulador TS-60

Parámetro	Variable / Símbolo	Descripción	Valor	Unidad
Registro Modbus	adc_vb_f	Variable almacenada en la memoria RAM del regulador que representa el voltaje de batería filtrado medido por el controlador.	18719	-
Valor leído del registro	n	Valor digital obtenido mediante la lectura del registro Modbus utilizando el software Modbus Poll.	18719	-
Factor de escalamiento	$96.667 \cdot 2^{-15}$	Factor de conversión indicado en el manual del regulador para transformar el valor digital a voltaje real.	$96.667 \cdot 2^{-15}$	-

Voltaje de batería	V_b	Valor real del voltaje de batería calculado a partir del registro Modbus leído.	52.2	V
---------------------------	-------	---	------	---

RAM							
PDU Addr	Logical Addr	Variable name	Variable description	Units	Scaling or Range	WS	SNMP
0x0000	1		Internal Use				
0x0001	2		Internal Use				
0x0002	3		Internal Use				
0x0003	4		Internal Use				
0x0004	5		Internal Use				
0x0005	6		Internal Use				
0x0006	7		Internal Use				
0x0007	8		Internal Use				
0x0008	9	adc_vb_f	Battery voltage, filtered ($\tau \approx 2.5s$)	V	$n \cdot 96.667 \cdot 2^{-15}$	D	

Ecuación del voltaje de batería filtrado

Figura 4.8. Mapa de registros RAM para la variable de voltaje de batería del regulador Morningstar TriStar TS-60 [32].

El manual establece la ecuación (5.3) para convertir el valor digital leído a voltaje real, ver Anexo F.

$$V_b = n * 96.667 * 2^{-15} \quad (5.3)$$

Sustituyendo el valor obtenido:

$$V_b = 18719 * 96.667 * 2^{-15} = 52.2 \text{ voltios}$$

En base a los resultados obtenidos durante las pruebas de comunicación y lectura de registros Modbus en los reguladores MPPT y TS-60, se comprobó que el sistema de monitoreo implementado permite acceder de manera correcta a las variables eléctricas del sistema fotovoltaico. Los valores calculados de voltaje de batería a partir de los registros leídos coinciden con los valores observados en el sistema físico, lo que confirma que el proceso de conversión de datos mediante los factores de escalamiento definidos en los manuales técnicos es adecuado. Esto demuestra que la comunicación establecida mediante las interfaces RS-485 junto con el protocolo Modbus funciona de manera confiable para la adquisición de datos del sistema.

De igual manera, la integración del software de monitoreo MS View permitió verificar el intercambio de información entre los reguladores y el sistema de supervisión, facilitando la lectura y análisis de variables importantes como voltaje, corriente y potencia del sistema fotovoltaico. Estos resultados evidencian que el sistema implementado cumple con el objetivo

de permitir el monitoreo del comportamiento eléctrico en la barra de distribución de corriente continua, aportando información útil para la evaluación del rendimiento energético y la gestión eficiente de las cargas conectadas al sistema.

4.3. Prueba de parámetros operativos de los reguladores MPPT y TS-60 en MS View

la figura 5.9, representa los parámetros eléctricos de operación registrados por el regulador MPPT-60 y TS-60 a través del software MS View. La visualización de estas variables permite identificar el estado de operación del sistema fotovoltaico analizar las condiciones del funcionamiento de los reguladores durante el proceso de monitoreo.

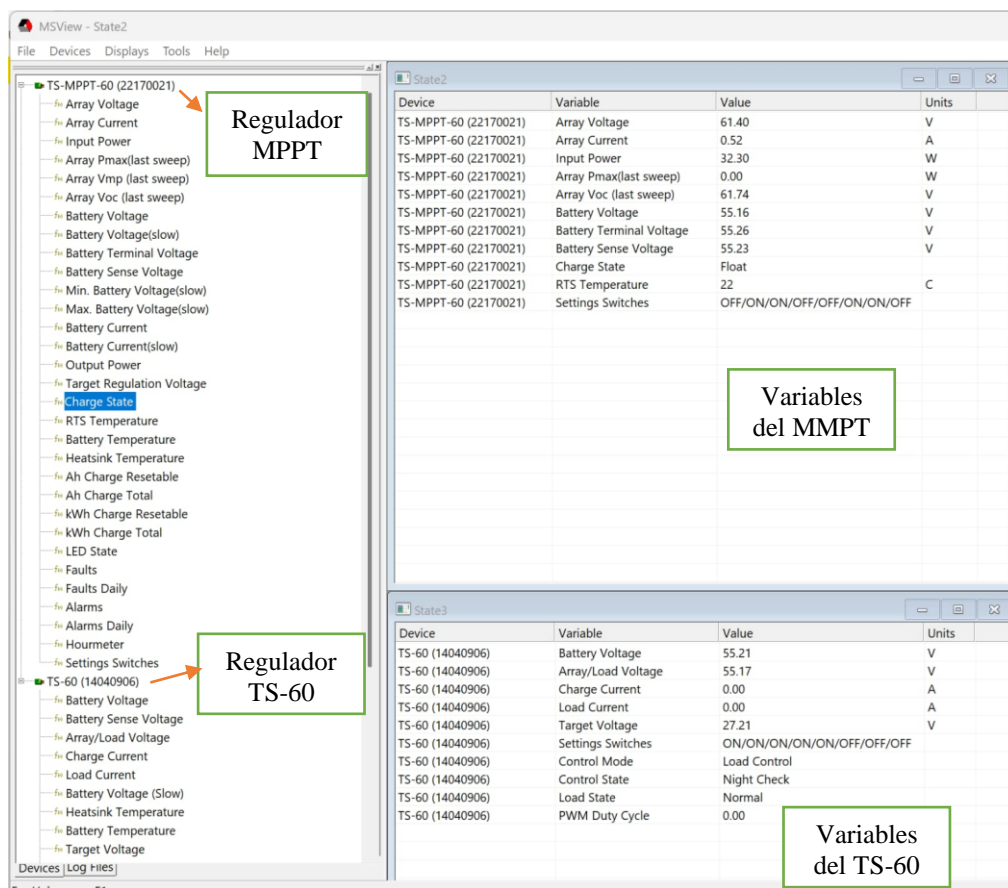


Figura 4.9. Visualización de variables de operación de los reguladores TS-MPPT-60 y TS-60 mediante el software de monitoreo MS View.

En el regulador TS-MPPT-60 se observan las variables del sistema fotovoltaico y el proceso de carga del banco de baterías. Entre estas variables registradas se encuentran el voltaje del arreglo (Array Voltaje) con un valor de 61.40 V, la corriente del arreglo (Array Current) de 0.52 A, voltaje de batería (Battery Voltage) con un valor de 55.16 V, el voltaje terminal de batería (Battery Terminal Voltage) de 55.26 V y el voltaje de censado de batería (Battery Sense Voltage) de 55.23 V. Estos valores son coherentes con un sistema de baterías nominal de 48 V

la potencia de entrada (Input Power) de 32.30W. también el parámetro Charge State indica el estado Float, lo que significa que las baterías se encuentran en la etapa de flotación del proceso de carga.

De esta manera damos por entendido que el sistema fotovoltaico se encuentra generando energía y que el regulador MPPT está operando dentro de condiciones normales.

En el regulador TS-60 se observaron variables asociadas al control de las cargas conectadas a la barra de distribución de corriente continua como el voltaje de batería registrado es de 55.21 V, valor que coincide con el voltaje medido por el regulador MPPT, lo cual confirma la coherencia de las mediciones dentro del sistema. También se observa el voltaje de carga o arreglo (array/load voltage) con un valor de 55.17 V.

4.4. Prueba de las variables Va_max_daily (voltaje máximo diario del arreglo fotovoltaico) del regulador TS-MPPT y T_load_on (tiempo de activación de la carga) del regulador TS-PWM-60 obtenido mediante el software MS View

Para el análisis del funcionamiento del sistema de monitoreo empleado, se seleccionaron las variables Va_max_daily del regulador MPPT y T_load_on del regulador TS-60 las cuales podemos observar en la tabla 5.2. Estas variables fueron elegidas debido a que permite evaluar dos aspectos importantes del sistema fotovoltaico, el comportamiento del voltaje del arreglo en el regulador MPPT y el tiempo de operación de las cargas conectadas a la barra de distribución de corriente continua en el regulador TS-60 el cual está en modo load control.

Tabla 4.2. Descripción de variables analizadas en los reguladores del sistema fotovoltaico.

Variable	Regulador	Descripción	Unidad
Va_max_daily	MPPT	Voltaje máximo diario registrado en el arreglo fotovoltaico. Representa el valor más alto de voltaje alcanzado por los paneles solares durante el periodo de operación del sistema, permitiendo analizar el comportamiento de generación del arreglo fotovoltaico y el funcionamiento del algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT).	Voltios (V)

Tiempo durante el cual la salida de carga del regulador permanece activada, permitiendo el suministro de energía hacia las cargas conectadas a la barra de distribución de corriente continua.

T_load_on TS-60 Minutos (min)

Este parámetro permite evaluar el tiempo de funcionamiento de las cargas dentro del sistema.

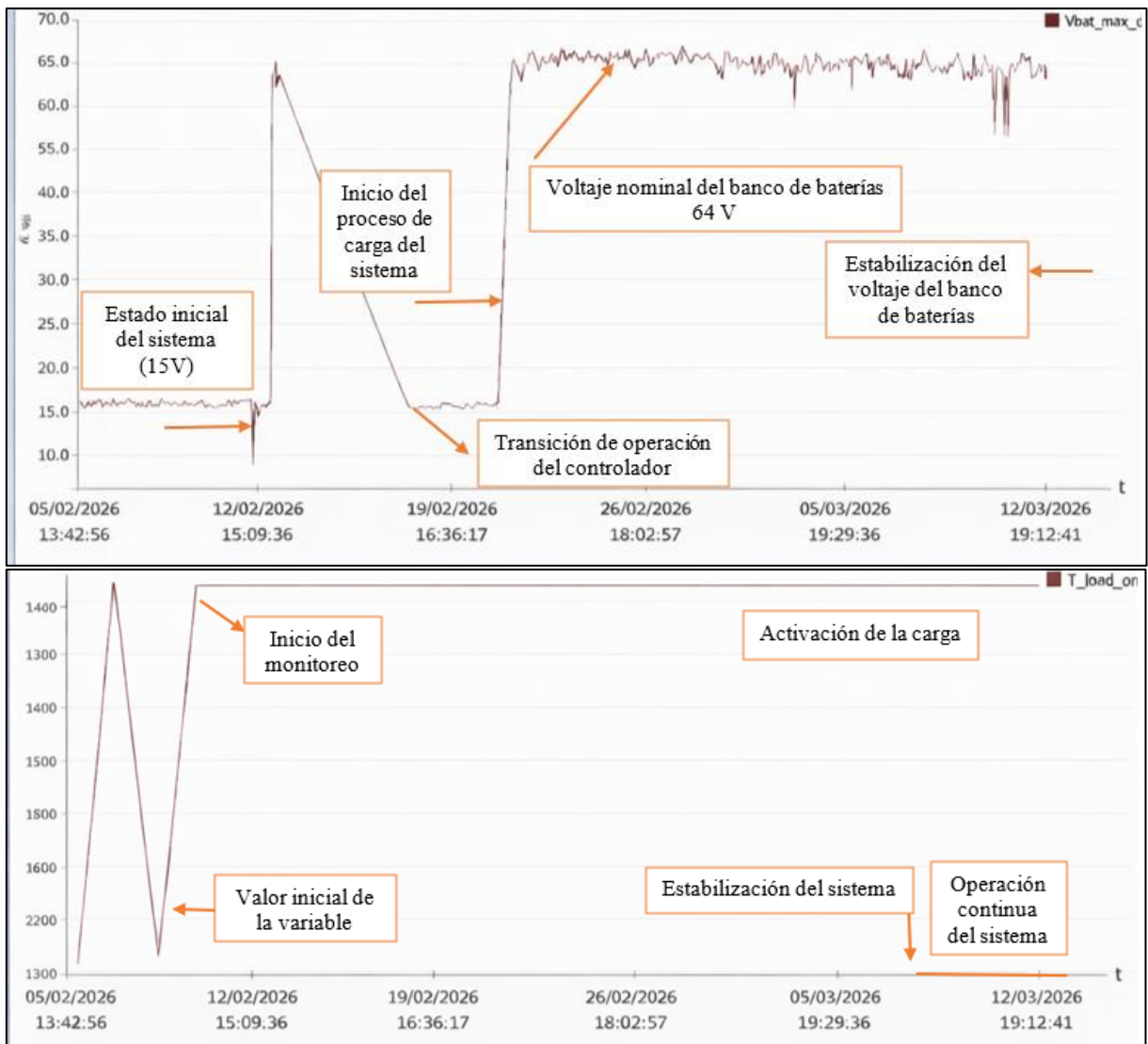


Figura 4.10. prueba del comportamiento de las variables $V_{a_max_daily}$ del regulador MPPT y T_{load_on} del regulador TS-60 obtenidas mediante el sistema de monitoreo MS View.

La figura 5.10, presenta el comportamiento temporal de dos variables registradas por el sistema de monitoreo del controlador de carga del sistema fotovoltaico. En la parte superior se muestra el voltaje máximo diario del banco de baterías ($V_{a_max_d}$), mientras que en la parte inferior se

representa el voltaje de activación de carga (T_load_on). Estas variables permiten evaluar el proceso de carga, estabilización y operación del sistema de almacenamiento energético.

En la gráfica superior, correspondiente al voltaje máximo diario del banco de baterías, se observa inicialmente un valor aproximado de 15 V, lo que indica un estado inicial del sistema previo a la operación normal del controlador o antes de que el banco de baterías alcance su régimen de trabajo. Posteriormente, alrededor del 12 de febrero, se evidencia un incremento del voltaje hasta aproximadamente 64–66 V, lo que corresponde al inicio del proceso de carga del banco de baterías dentro del sistema fotovoltaico. Este incremento refleja la acción del controlador MPPT al comenzar a gestionar la energía proveniente de los paneles solares para cargar el sistema de almacenamiento.

Se presenta una operación del controlador, en la cual el voltaje desciende temporalmente hasta valores cercanos a 15 V, lo cual puede estar asociado a una fase de ajuste del sistema o a una reconfiguración en la operación del controlador durante el proceso de monitoreo. Luego de esto, el sistema alcanza nuevamente valores cercanos a 64 V, que corresponden al voltaje nominal del banco de baterías, manteniéndose estable durante el resto del período analizado. Esta estabilidad indica que el sistema logra operar dentro de condiciones normales, manteniendo un voltaje constante propio de un banco de baterías de 48 V nominales, cuyo voltaje de carga suele situarse entre 60 y 66 V dependiendo del estado de carga y del modo de operación del controlador.

En la gráfica inferior, correspondiente al parámetro T_load_on del controlador TS-60, se observa inicialmente una variación de la variable, lo cual es característico durante las primeras etapas de configuración o inicio del monitoreo del sistema. Este parámetro define el pico de voltaje a partir del cual el controlador habilita la salida de carga, permitiendo que la energía almacenada en el banco de baterías alimente los dispositivos conectados al sistema.

El valor registrado se estabiliza alrededor de $1410 = 14,1$ V por batería equivalente en escala interna del controlador), manteniéndose constante durante el resto del período analizado. Esta estabilidad indica que el controlador mantiene un pico fijo para la activación de la carga, garantizando que el suministro energético hacia las cargas del sistema.

5.5 Prueba de conexión de carga DC

Mediante el software MS View se ha recopilado información del consumo de las cargas prioritarias de la barra de corriente continua, se registró la potencia consumida en función de tiempo en donde el eje vertical representa la potencia en Watts, y el eje horizontal representa el

tiempo, en este caso en un intervalo de una semana con respecto y un total de un mes de registros, esto permitió analizar el consumo de la carga instalada en el sistema fotovoltaico pero a diferencia de la barra AC, se priorizo el tablero de comunicaciones y adicionalmente se conectó equipos de consumo de 48 V de corriente continua, se usó 4 iluminaria de tecnología led de 30 W de potencia , además la conexión de un taladro acondicionado a 48 V, cada uno de estos equipos estuvieron conectados por intervalos determinados de tiempo para registrar el consumo de potencia de la barra DC. Como se aprecia en la Figura 5.11

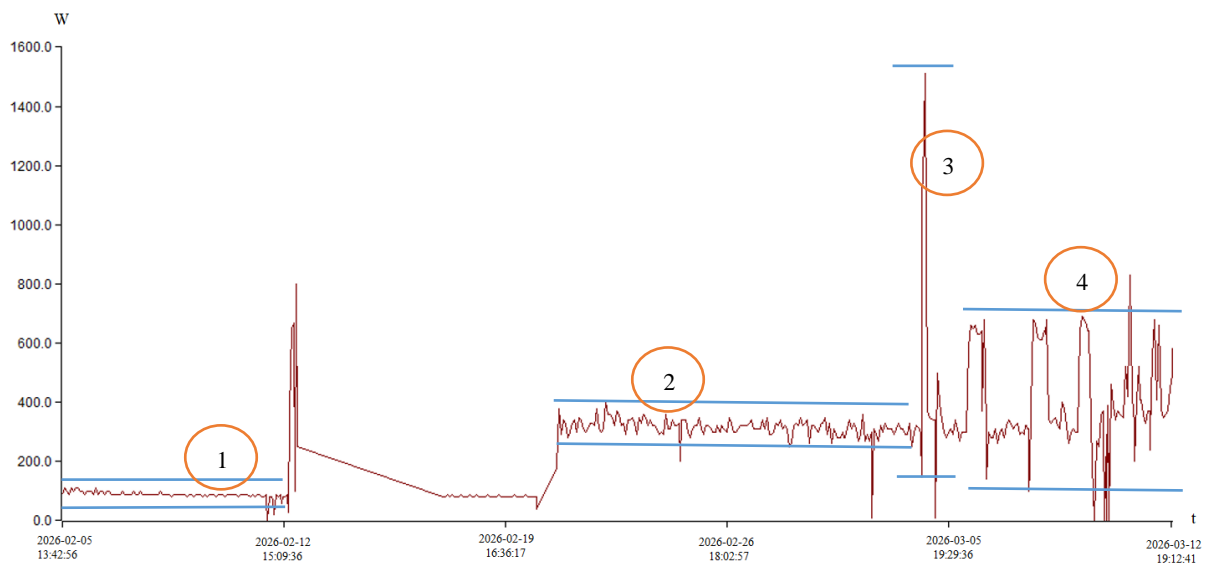


Figura 0.11. Registros de consumo de la barra DC.

1. En el primer intervalo de tiempo se observó un consumo de potencia inferior a 200 W, en este punto se determina a la gráfica estable, ya que en ese tiempo se alimentaba equipos del sistema SCADA del proyecto DIRGI-CP-2026-008, durante ese periodo de tiempo se mantenía valores cercanos a 100 W.
2. En el segundo intervalo de tiempo se pudo apreciar un leve incremento en el consumo de potencia, esto se debía a la suma de varios equipos de consumo DC, se priorizo los equipos principalmente conectados y además se conectó varios sistemas de iluminación led, es por eso que en el lapso de tiempo se alcanzan valores cercanos a 400 W de potencia.
3. En el tercer intervalo, hubo un pico de consumo importante, llegando fácilmente a los 1500 W de consumo, aquí se usó equipos rotacionales como un taladro-percutor, lo que provocó el aumento de la demanda en el momento del arranque del equipo y por ende el aumento del consumo energético de la barra DC.

4. Por último, la semana del 5 al 12 de marzo del presente año, se presentó variaciones en la potencia consumida, esto debido a la fluctuación en el consumo de varios equipos de forma aleatoria, obteniendo un consumo hasta de 800 W de potencia, y así corroborar el correcto registro del consumo y funcionamiento de la barra DC.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El desarrollo del presente proyecto permitió diseñar e implementar un sistema de distribución de corriente continua dentro del sistema fotovoltaico existente en el laboratorio de eficiencia energética de la Universidad Técnica de Cotopaxi. La incorporación de una barra de distribución DC de 48 V permitió aprovechar de forma directa la energía almacenada en el banco de baterías, lo que reduce la necesidad de conversiones innecesarias de corriente continua a corriente alterna y posteriormente nuevamente a corriente continua. Esta configuración contribuye a mejorar la eficiencia energética del sistema fotovoltaico y facilita la alimentación de dispositivos del sistema SCADA y para las pruebas iluminación de tecnología led y un taladro-percutor que operan directamente a 48 V en corriente continua.

La implementación del regulador TriStar TS-60 configurado en modo Load Control permitió establecer un sistema de control de cargas que gestiona de manera automática el suministro de energía hacia las cargas conectadas a la barra de distribución. Este mecanismo permite proteger el banco de baterías frente a descargas profundas, garantizando que el sistema opere dentro de rangos seguros de funcionamiento. De esta manera, el regulador actúa como un elemento fundamental en la gestión energética del sistema fotovoltaico, permitiendo mantener la estabilidad operativa y priorizar el suministro energético hacia las cargas conectadas.

Por otra parte, la integración de los reguladores mediante el bus de comunicación RS-485 y el protocolo Modbus, junto con el uso del software de monitoreo MSView, permitió establecer un sistema de supervisión que facilita la visualización de parámetros eléctricos en tiempo real. Esta capacidad de monitoreo permite observar variables importantes como el voltaje del sistema, la corriente de carga, el estado del banco de baterías y la potencia generada por el sistema fotovoltaico. La disponibilidad de esta información contribuye a mejorar el control operativo del sistema, permitiendo detectar posibles anomalías y evaluar el comportamiento energético del sistema bajo diferentes condiciones de operación.

El diseño de la barra de distribución de corriente continua se realizó considerando criterios técnicos de dimensionamiento eléctrico, lo que permitió determinar la corriente nominal del sistema y seleccionar conductores adecuados para garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema. La correcta selección de conductores, dispositivos de protección y elementos de

conexión permitió implementar una infraestructura eléctrica segura, organizada y adaptable a futuras ampliaciones dentro del laboratorio.

Finalmente, el sistema implementado demuestra la viabilidad técnica de incorporar esquemas de distribución en corriente continua dentro de micro redes fotovoltaicas aisladas. Este tipo de arquitectura energética permite mejorar el aprovechamiento de la energía solar, optimizar la gestión del sistema fotovoltaico y facilitar la integración de nuevas cargas en corriente continua. Además, el proyecto establece una base tecnológica que puede ser utilizada como punto de partida para el desarrollo de futuras ampliaciones del sistema, orientadas a alimentar una mayor cantidad de equipos dentro del laboratorio o incluso ampliar la capacidad de la Microred fotovoltaica existente.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con el desarrollo y ampliación del sistema de distribución en corriente continua implementado en el laboratorio de eficiencia energética, con el fin de incrementar el número de puntos de alimentación para equipos que operen directamente en corriente continua. La ampliación de esta infraestructura permitiría aprovechar de forma más eficiente la energía generada por el sistema fotovoltaico, reduciendo las pérdidas asociadas a procesos de conversión energética y promoviendo el uso de tecnologías compatibles con sistemas DC.

Se recomienda considerar en futuros trabajos la ampliación de la capacidad del sistema fotovoltaico mediante la incorporación de nuevos módulos solares y el aumento de la capacidad del banco de baterías. Esta ampliación permitiría disponer de mayor energía almacenada, lo que facilitaría la alimentación de un mayor número de cargas y mejoraría la autonomía energética del sistema. De esta manera, el sistema podría evolucionar progresivamente hacia una microred fotovoltaica con mayor capacidad de suministro energético.

También se sugiere implementar sistemas adicionales de medición y monitoreo energético que permitan registrar con mayor precisión el comportamiento de las cargas conectadas a la barra de distribución DC. La incorporación de sensores de corriente, medidores de energía o sistemas de adquisición de datos permitiría obtener información más detallada sobre el consumo energético del sistema, facilitando el análisis del rendimiento del sistema fotovoltaico y la optimización de la gestión energética.

Desde el punto de vista de la comunicación y supervisión del sistema, se recomienda continuar fortaleciendo la red de monitoreo implementada mediante el uso de protocolos de comunicación industrial y herramientas de supervisión energética. La integración de plataformas de monitoreo

remoto o sistemas de supervisión basados en red permitiría mejorar el acceso a la información del sistema y facilitar el análisis del comportamiento energético a largo plazo.

Se recomienda considerar la posibilidad de escalar el sistema de distribución de corriente continua implementado en el proyecto, de manera que en el futuro la barra DC pueda convertirse en el eje principal de distribución energética dentro del laboratorio o del sistema fotovoltaico institucional. Para lograr este objetivo será necesario planificar adecuadamente la ampliación del sistema mediante el dimensionamiento de nuevos elementos de generación, almacenamiento, protección y control que permitan alimentar una mayor cantidad de cargas en corriente continua. Esta proyección permitirá consolidar una infraestructura energética más eficiente, sostenible y adaptable al crecimiento de las necesidades energéticas del proyecto.

6. REFERENCIAS

[1] W. J. Gil González, *Operación y control de convertidores DC-DC para aplicación de microrredes con generación renovable y sistemas de almacenamiento de energía*, Tesis doctoral, Univ. de Jaén, Jaén, España, 2024. [En línea]. Aavailable:

<https://www.researchgate.net/profile/Walter-Gil>

[Gonzalez/publication/380270574_Operacion_y_control_de_convertidores_DC-DC_para_aplicacion_de_microrredes_con_generacion_renovable_y_sistemas_de_almacenamiento_de_energia/links/6633830f352430415358309d/Operacion-y-control-de-convertidores-DC-DC-para-aplicacion-de-microrredes-con-generacion-renovable-y-sistemas-de-almacenamiento-de-energia.pdf](https://www.researchgate.net/publication/380270574_Operacion_y_control_de_convertidores_DC-DC_para_aplicacion_de_microrredes_con_generacion_renovable_y_sistemas_de_almacenamiento_de_energia/links/6633830f352430415358309d/Operacion-y-control-de-convertidores-DC-DC-para-aplicacion-de-microrredes-con-generacion-renovable-y-sistemas-de-almacenamiento-de-energia.pdf)

[2] S. E. Elías, *Corriente alterna* (apuntes docentes), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina [En línea]. Aavailable:

file:///C:/Users/JONATHAN/Downloads/Corriente_Alterna.pdf

[3] J. A. Yuni and C. A. Urbano, *Metodología y técnicas para investigar: recursos para la elaboración de proyectos, análisis de datos y redacción científica*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas, 2020. Aavailable: <https://elibro.puce.elogim.com/es/ereader/puce/130670?page=100>

[4] L. M. Gómez Páez, W. E. Guacaneme Muñoz, A. F. Rodríguez Benavides, F. Santamaría Piedrahita y C. L. Trujillo Rodríguez, “Diseño de un regulador de carga para aplicación en una

micro red aislada con generación fotovoltaica,” *Scientia Et Technica*, vol. 23, no. 2, pp. 143–150, Jun. 2018. [En línea]. Available:

<https://www.redalyc.org/journal/849/84958001003/84958001003.pdf>

[5] J. M. Bravo Hurtado y M. E. Hurtado, “Controlador de carga PWM eficiente y de bajo costo para sistemas fotovoltaicos autónomos,” *Respuestas. Revista de Ingeniería y Desarrollo Tecnológico*, vol. 25, no. 1, pp. 55–68, 2023. [En línea]. Available:

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1491/1408>

[6] W. Cevallos, D. Rojas, L. Dominguez, B. Cruz, and M. Yerobi, “*La energía fotovoltaica*”, Revista contribuciones a la Economía. Available:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9014651>

[7] G. Jiménez-Castillo, J. M. Yusta-Izquierdo and A. Ruiz-Álvarez, “Monitoring PWM signals in stand-alone photovoltaic systems,” *Renewable Energy*, vol. 136, pp. 1069–1079, 2019. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224118310121>

[8] *El regulador MPPT Aspectos técnicos*, Autosolar. [En línea]. Available: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-regulador-mppt>

[9] M. A. Abella, *Sistemas fotovoltaicos*. SAPT Publicaciones Técnicas, S.L., 2005. [En línea]. Available:

https://www.academia.edu/download/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLTAICOS.pdf

[10] *Maximum Power Point Tracking (MPPT) Explained: Principles, Benefits & Top Brands*, EnergyBases, 2024. [En línea]. Available: <https://energybases.com/es/blog/mppt-explained-principles-benefits-top-brands/>

[11] L. F. Alape-Realpe, G. A. Ramírez-Palechor y A. F. Solís-Pino, “Implementación de algoritmos MPPT en un controlador de carga para un prototipo de refrigeración con celdas Peltier,” *Revista Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 2024. [En línea]. Available:

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/download/15464/19179/127872>

[12] O. Ezinwanne, Z. Fu y Z. Li, “Energy Performance and Cost Comparison of MPPT Techniques for Photovoltaics and other Applications,” Feb. 2017. [Online]. Available:

https://www.researchgate.net/figure/Characteristic-I-V-and-P-V-curves-of-a-solar-panel_fig1_314490800

[13] *¿Qué es un regulador PWM? Aspectos técnicos*, Repsol. [En línea]. Available: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/regulador-pwm/>

[14] B. Velázquez Martí, *Reguladores DC-DC fotovoltaicos*, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Valencia, España, s.f. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/4c6fe4df-4dd5-4544-96e0-e4685d0d3a3b/content>

[15] *Control de potencia flexible con señales PWM*, IC-Components, [En línea]. Available: <https://www.ic-components.es/blog/techniques-and-applications-of-pulse-width-modulation%28pwm%29.jsp>

[16] *¿Qué es la energía térmica y cómo funciona?*, Endesa. [En línea]. Available: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/sector-energetico/energia-termica-que-es-funcionamiento>

[17] *Energía solar térmica*, DKV. [En línea]. Available. <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/contaminacion/energia-solar-termica>

[18] N. G. Forero Saboya, *Normas de Comunicación en Serie: RS-232, RS-422 y RS-485*, Universidad Libre, Bogotá, Colombia, 2012. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/39953103/Normas_deComunicacion_en_Serie_RS-_232__422__485-libre.pdf?Expires=1772325951&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

[19] S. Macías Hernández, *Comunicaciones*. [En línea]. Available: <http://salvador.maciashernandez.com/Proyectos/TesisLTI/Comunicaciones.pdf>

[20] *ETechnophiles*, What is RS485 Pinout, 12 Key Advantages & FAQs. [En línea]. Available: <https://mx.pinterest.com/pin/904942118889627872/visual-search/?x=16&y=16&w=532&h=391&surfaceType=flashlight>

- [21] S. K. Caicedo Mejillones, J. M. Paredes Cedeño y R. Ponguillo Intriago, *Analizador de protocolo RS-232*, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Guayaquil, Ecuador, 2014. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/25488>
- [22] R. M. Dueñas D., *INTERFACE SERIAL RS232: El estándar RS-232 y V.24*, Blog personal. [En línea]. Available: <https://interface-serial-rs232.blogspot.com/2008/08/el-estndar-rs-232-y-v24.html>
- [23] *How RS232 Serial Communication Works*, Tenveo Video Conference. [En línea]. Available: <https://www.tenveo-video-conference-es.com/info/how-rs232-serial-communication-works-33863320.html>
- [24] G. Thomas, *Introduction to the Modbus Protocol*, Contemporary Controls, Extension Newsletter, vol. 9, no. 4, Jul.–Aug. 2008. [Online]. Available: <https://www.ccontrols.com/pdf/Extv9n4.pdf>
- [25] Q.-T. Dao, L.-T. Nguyen, T.-K. Ha, V.-H. Nguyen y T.-A. Nguyen, “Investigation of Secure Communication of Modbus TCP/IP Protocol: Siemens S7 PLC Series Case Study,” *Applied System Innovation*, vol. 8, no. 3, p. 65, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2571-5577/8/3/65>
- [26] Morningstar Corporation, “Software – Morningstar,” *Morningstar Corporation*. [En línea]. Available: <https://www.morningstarcorp.com/software/>
- [27] Morningstar Corporation, *MSView Communication Document*, 2010. [En línea]. Available: https://www.archcape.com/radio/acrepeater/manuals/MS_Comm_Document_2010.pdf
- [28] Morningstar Corporation, *EMC-1 Ethernet-Meterbus Converter: Installation and Operation Manual*, 2021. [En línea]. Available: <https://asset.conrad.com/media10/add/160267/c1/-/gl/003025476ML00/upute-za-rukovanje-3025476-morningstar-ecm-1-meterbus-adapter.pdf>
- [29] *¿Qué son los excedentes de placas solares?*, EcoFlow. [En línea]. Available: <https://www.ecoflow.com/es/blog/excedentes-placas-solares>

[30] Morningstar Corporation, “*TriStar MPPT charging with TriStar load control and Ethernet communication diagram*,” Morningstar Corp., Tech. Note, Newtown, PA, USA. [En línea]. Available: <https://www.morningstarcorp.com/wp-content/uploads/tech-note-diagram-tristar-mppt-charging-tristar-load-control-ethernet-en.pdf>

[31] Morningstar Corporation, *TriStar MPPT MODBUS® Specification*, Morningstar Corp., Aug. 2018. [Online]. Available: <https://www.morningstarcorp.com/wp-content/uploads/technical-doc-tristar-mppt-modbus-specification-en.pdf>

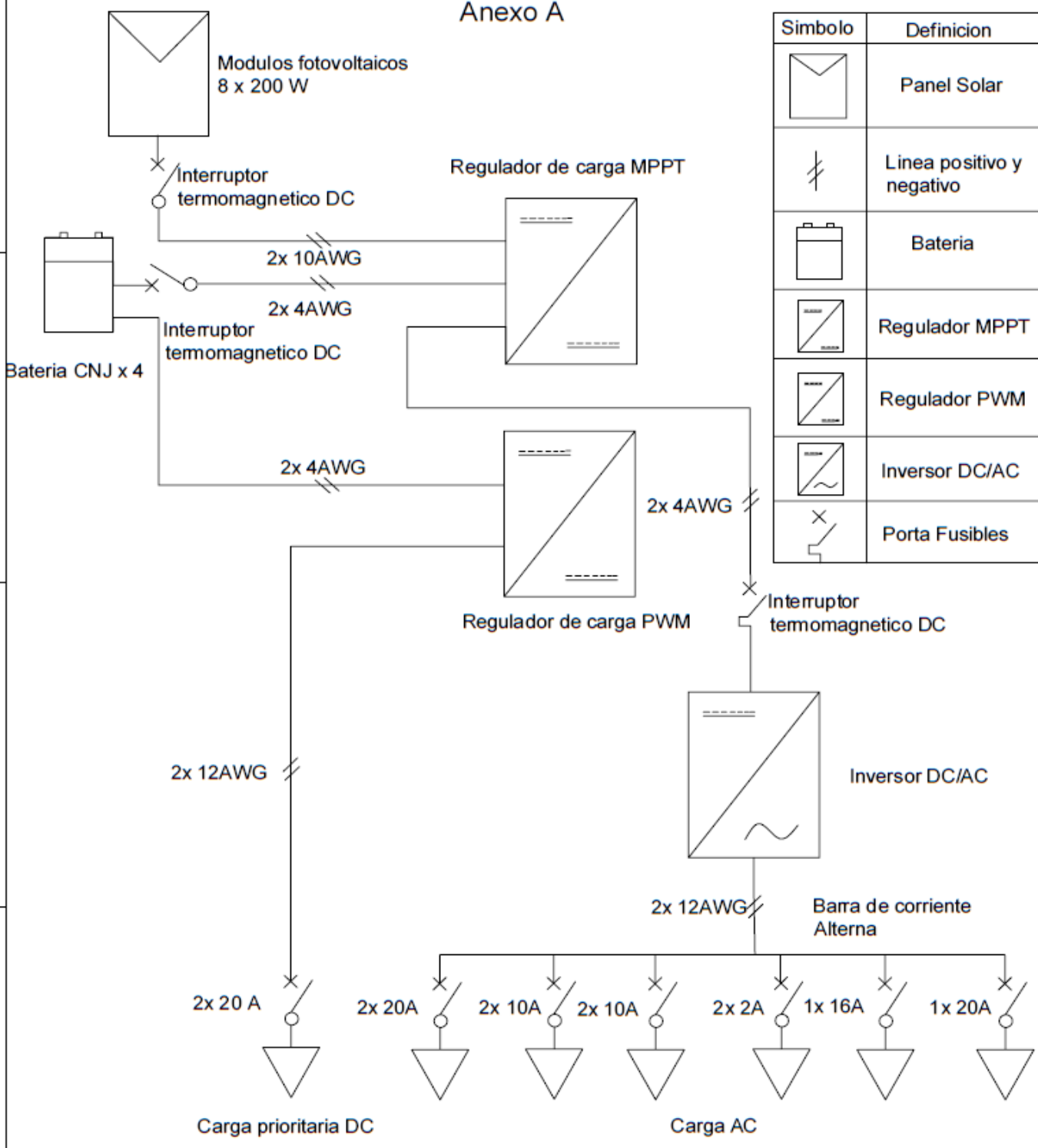
[32] Morningstar Corporation, *TriStar MODBUS® Specification*, Morningstar Corp., Newtown, PA, USA. [Online]. Available: <https://www.morningstarcorp.com/wp-content/uploads/technical-doc-tristar-modbus-specification-en.pdf>

8 ANEXOS

Anexo A. Plano del sistema fotovoltaico con barra DC y AC, este diagrama detalla las cargas de ambos sistemas en particular, tanto como la barra DC, que se encuentra a la carga prioritaria del tablero de comunicación del proyecto fotovoltaico DIRGI-CP 2021-008, este tablero contiene equipos que conforman el sistema SCADA, es por esto que a la salida de la barra encontramos 48 V de corriente continua listos para la alimentación de todos los equipos que comprende el sistema, además cuenta con sus debidas protecciones de sobre carga, como un interruptor termomagnético “Beaker” esencial para la seguridad y protección de las instalaciones eléctricas y de los equipos que están conectados a la misma barra, particularmente cuenta con un par de interruptores termomagnéticos de 20 A. Como se aprecia en el Anexo B. por otro lado en la barra AC descrita en el Anexo B, señala la existencia y alimentación del seguidor solar de 2 ejes con una protección de un par de interruptores termomagnéticos de 20 A, el sistema de calidad de energía con un par de interruptores termomagnéticos de 10 A, la estación meteorológica cuenta con un par de interruptores termomagnéticos de 10 A, el armario de control de carga dispone de una protección de un par de interruptores termomagnéticos de 2 A, seguidor solar de un eje contiene un interruptor termomagnético de 16 A y por último en la barra AC se encuentra el ordenador de datos con un interruptor termomagnético de 20 A, este sistema está descrito de tal manera que todo se encuentra a la salida del Inversor de onda cuadrada Doxin de 4000 W, también conectado al banco de baterías de 120 Ah y alimentados por 9 módulos solares Simax SP636-140 de 140 W cada uno. Como se muestra en el ANEXO C.

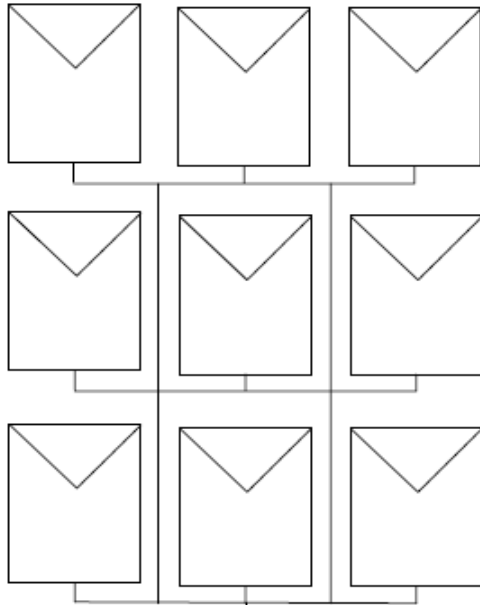
Anexo A

Simbolo	Definicion
	Panel Solar
	Linea positivo y negativo
	Bateria
	Regulador MPPT
	Regulador PWM
	Inversor DC/AC
	Porta Fusibles



		Tolerancia	(Peso)	Plano del sistema fotovoltaico con barra AC/DC	
		Fecha	Nombre	Ingenieria en Electromecanica	Escala
		Dib.	Luis L		
		Rev.	Vega J		
		Aprov.	Luis C	Universidad Tecnica de Cotopaxi	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	15/02/2026	
				3/3	

Anexo B



Modulos fotovoltaicos
9x 140 W

Interruptor
termomagnetico DC

Bateria CNJ x 4

Interruptor
termomagnetico DC

Tablero de
comunicaciones

2x 10AWG

2x 4AWG

2x 12AWG

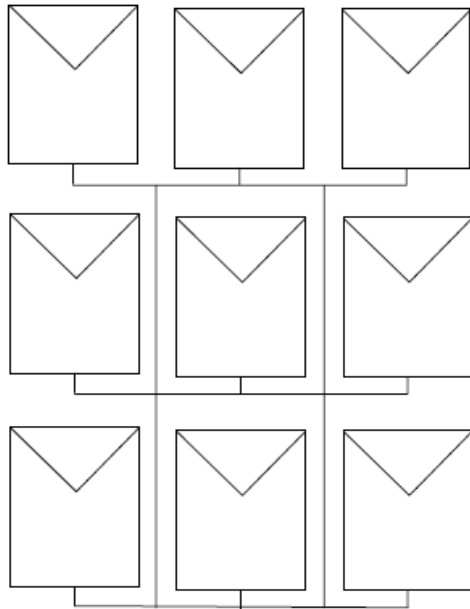
2x 20 A

Regulador de carga PWM

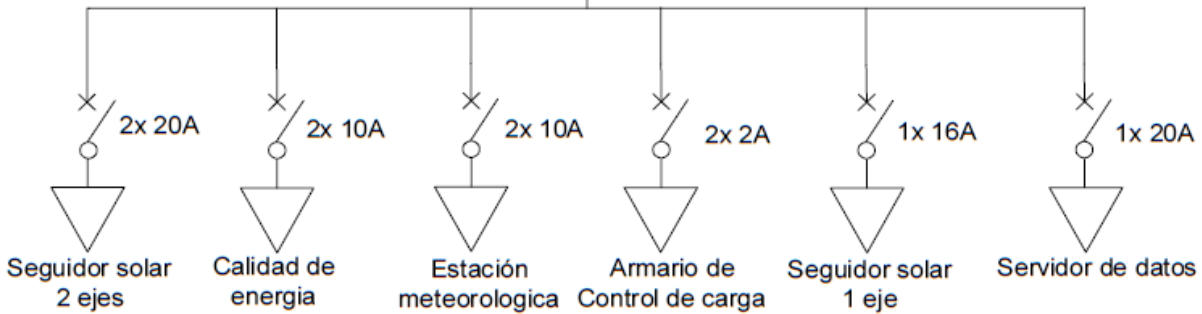
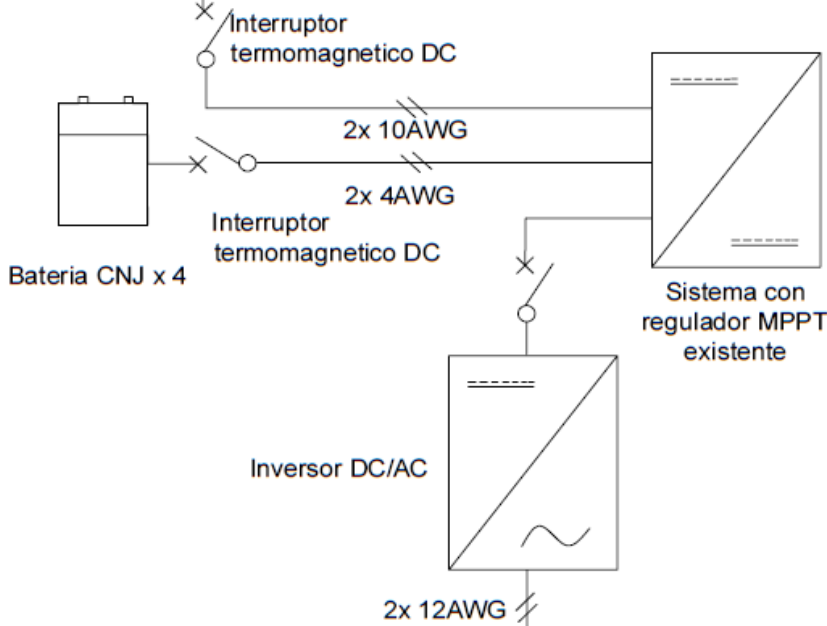
Simbolo	Definicion
	Panel Solar
	Linea positivo y negativo
	Bateria
	Regulador MPPT
	Regulador PWM
	Inversor DC/AC
	Porta Fusibles
	Interruptor termomagnetico AC

		Tolerancia	(Peso)	Plano del sistema fotovoltaico de la barra DC	
		Fecha	Nombre	Ingenieria en Electromecanica	Escala
		Dib.	Luis L		
		Rev.	Vega J		
		Aprov.	Luis C	Universidad Tecnica de Cotopaxi	2/3
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	15/03/2026	

Anexo C



Modulos fotovoltaicos
9x 140 W



Simbolo	Definicion
	Panel Solar
	Linea positivo y negativo
	Bateria
	Regulador MPPT
	Regulador PWM
	Inversor DC/AC
	Porta Fusibles
	Interruptor termomagnetico AC

Tolerancia		(Peso)		Plano del sistema fotovoltaico de la barra AC	
Fecha		Nombre			
Dib.		Luis L		Ingenieria en Electromecanica	
Rev.		Vega J			
Aprov.		Luis C			
Edición				Escala	
Modificación	Fecha	Nombre		1/3	
15/03/2026					

Anexo D. Fórmula del voltaje de escala presentada en el manual TriStar MPPT MODBUS en la página 9.

TriStar MPPT MODBUS Document

Variables and Definitions

Variable_name

[Logical Address][PDU Address] (Units). *Short description.*
Definition.

Read Holding and Read Input Registers

Located in processor RAM, updated continuously.

V_PU hi, V_PU lo

[1,2][0x0000, 0x0001] (V). *voltage scaling.*

The scaling value for all voltages. The scaling value is defined as:

$$V_{\text{scaling}} = \text{whole.fraction} = [V_PU \text{ hi}].[V_PU \text{ lo}]$$

Example:

$$V_PU \text{ hi} = 0x004E = 78$$

$$V_PU \text{ lo} = 0x03A6 = 934$$

V_PU lo must be shifted by 16 (divided by 2^{16}) and then added to V_PU hi

$$V_{\text{scaling}} = 78 + 934/(2^{16}) = 78.01425$$

I_PU hi, I_PU lo

[3,4][0x0002, 0x0003] (V). *current scaling.*

The scaling value for all currents. The scaling value is defined as:

$$I_{\text{scaling}} = \text{whole.fraction} = [I_PU \text{ hi}].[I_PU \text{ lo}]$$

See the V_PU scaling example above

ver_sw

[5][0x0004] (). *Software version.*

Firmware version for the controller. This is not the version number for the network software, which can be found in the web page views. The value is stored in binary coded decimal (BCD) format. Decimal version 12 is thus stored as 0x0012 not as 0x000c.

Anexo E: Fórmula del voltaje de batería presentada en el manual TriStar MPPT MODBUS en la página 4.

TriStar MPPT MODBUS Document								
0x0026	39	adc_vb_f_1m	Battery voltage, filtered ($\tau \approx 1\text{min}$)	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$	D	
0x0027	40	adc_ib_f_1m	Charging current, filtered ($\tau \approx 1\text{min}$)	A	√	$n \cdot I_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$	D	
0x0028	41	vb_min	Minimum battery voltage	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$		
0x0029	42	vb_max	Maximum battery voltage	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$		
0x002A	43	hourmeter_HI	hourmeter, HI word	h		-		
0x002B	44	hourmeter_LO	hourmeter, LO word	h		-		
0x002C	45	fault.all	Controller faults bitfield	-		-	D	
0x002D	46	reserved						
0x002E	47	alarm_HI	alarm bitfield – HI word	-		-	D	
0x002F	48	alarm_LO	alarm bitfield – LO word	-		-	D	
0x0030	49	dip.all	DIP switch positions bitfield	-		-		
0x0031	50	led.state	State of LED indications	-		-		
Charger								
0x0032	51	charge_state	Charging stage	-		-	D	
0x0033	52	vb_ref	Target regulation voltage	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$	D	
0x0034	53	Ahc_r_HI	Ah charge – resetable	Ah		$n \cdot 0.1$	D	
0x0035	54	Ahc_r_LO		-			D	
0x0036	55	Ahc_t_HI	Ah charge – total	Ah		$n \cdot 0.1$		
0x0037	56	Ahc_t_LO		-				
0x0038	57	kwhc_r	kWhr charge resetable	-			D	
0x0039	58	kwhc_t	kWhr charge total	-				
MPPT								
0x003A	59	power_out_shadow	Output Power	W		$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot I_{\text{PU}} \cdot 2^{-17}$	D	
0x003B	60	power_in_shadow	Input Power	W		$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot I_{\text{PU}} \cdot 2^{-17}$		
0x003C	61	sweep_Pin_max	Max. Power of last sweep	W		$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot I_{\text{PU}} \cdot 2^{-17}$	D	
0x003D	62	sweep_vmp	Vmp of last sweep	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$	D	
0x003E	63	sweep_voc	Voc of last sweep	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$	D	
0x003F	64	RESERVED						
Logger – Today's values								
0x0040	65	vb_min_daily	Min. daily battery voltage	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$		
0x0041	66	vb_max_daily	Max. daily battery voltage	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$		
0x0042	67	va_max_daily	Max. daily input voltage	V	√	$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot 2^{-15}$		
0x0043	68	Ahc_daily	Total Ah charge daily	Ah		$n \cdot 0.1$		
0x0044	69	whc_daily	Total Wh charge daily	Wh				
0x0045	70	flags_daily	Daily flags bitfield	-				
0x0046	71	Pout_max_daily	Max. Power Out, daily	W		$n \cdot V_{\text{PU}} \cdot I_{\text{PU}} \cdot 2^{-17}$		
0x0047	72	Tb_min_daily	Min. battery temp. daily	C	√	-127 to +127		
0x0048	73	Tb_max_daily	Max. battery temp. daily	C	√	-127 to +127		
0x0049	74	fault_daily	Faults, daily	-				
0x004A	75	RESERVED						
0x004B	76	alarm_daily_HI	Daily alarms bitfield	-				

Anexo F: Fórmula del voltaje de batería presentada en el manual TriStar MODBUS Specification 1360 en la página 4.

TriStar MODBUS Specification		V 07					
Supported Modbus Functions							
<i>Read Holding Registers (0x03) and Read Input Registers (0x04)</i>							
RAM							
PDU Addr	Logical Addr	Variable name	Variable description	Units	Scaling or Range	WS	SNMP
0x0000	1		Internal Use				
0x0001	2		Internal Use				
0x0002	3		Internal Use				
0x0003	4		Internal Use				
0x0004	5		Internal Use				
0x0005	6		Internal Use				
0x0006	7		Internal Use				
0x0007	8		Internal Use				
0x0008	9	adc_vb_f	Battery voltage, filtered ($\tau \approx 2.5s$)	V	$n \cdot 96.667 \cdot 2^{-15}$	D	
0x0009	10	adc_vs_f	Battery sense voltage, filtered ($\tau \approx 2.5s$)	V	$n \cdot 96.667 \cdot 2^{-15}$		
0x000A	11	adc_vx_f	Array/Load voltage, filtered ($\tau \approx 2.5s$)	V	$n \cdot 139.15 \cdot 2^{-15}$	D	
0x000B	12	adc_ipv_f	Charging current, filtered ($\tau \approx 2.5s$)	A	$n \cdot 66.667 \cdot 2^{-15}$	D	
0x000C	13	adc_iload_f	Load current, filtered ($\tau \approx 2.5s$)	A	$n \cdot 316.67 \cdot 2^{-15}$		
0x000D	14	Vb_f	Battery voltage, slow filter ($\tau \approx 25s$)	V	$n \cdot 96.667 \cdot 2^{-15}$		
0x000E	15	T_hs	Heatsink temperature	°C	-128 to +127	D	
0x000F	16	T_batt	Battery temperature (RTS connected) (0x80 if not connected)	°C	-128 to +127	D	
0x0010	17	V_ref	Charge regulator reference voltage	V	$n \cdot 96.667 \cdot 2^{-15}$	D	
0x0011	18	Ah_r_HI	Ah resetable, HI word	Ah	n·0.1	D	
0x0012	19	Ah_r_LO	Ah resetable, LO word	-		D	
0x0013	20	Ah_t_HI	Ah total, HI word	Ah	n·0.1		
0x0014	21	Ah_t_LO	Ah total, LO word	-			
0x0015	22	hourmeter_HI	hourmeter, HI word	h	0 to ($2^{24}-1$)		
0x0016	23	hourmeter_LO	hourmeter, LO word	-			
0x0017	24	Alarm_LO	alarm bitfield	-		D	
0x0018	25	fault	fault bitfield	-			
0x0019	26	dip_switch	dip switch settings at power on switch[1..8] in bits[0..7]	-			
0x001A	27	control_mode	Control mode (0=charge, 1=load, 2=diversion)	-		D	
0x001B	28	control_state	Control state	-		D	
0x001C	29	d_filt	PWM Duty Cycle	-	0-255	D	
0x001D	30	Alarm_HI*	Alarm bitfield (continued from	-		D	

