



Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía, para el módulo de generación fotovoltaica conexión con autoconsumo, en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga

Hachi Toapanta, Rolando Javier y Remache Jácome, Darwin Sebastián

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Jiménez León, Mario Polibio

25 de agosto del 2023

Latacunga.

Reporte de Verificación de Contenido





Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía, para el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga" fue realizado por los señores Hachi Toapanta, Rolando Javier y Remache Jácome, Darwin Sebastián, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

Firma:

Ing. Jiménez León, Mario Polibio

C. C.:0501519326



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, Hachi Toapanta, Rolando Javier y Remache Jácome, Darwin Sebastián, con n°1805008602 y n°1803917945, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía, para el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga", es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

Hachi Toapanta, Rolando Javier

C. C.:1805008602

Remache Jácome, Darwin Sebastián

C. C.:1803917945



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Autorización de Publicación

Nosotros Hachi Toapanta, Rolando Javier y Remache Jácome, Darwin Sebastián, con cédulas de ciudadanía n°1805008602 y n°1803917945 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: "Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía, para el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 25 de agosto del 2023

Hachi Toapanta, Rolando Javier

C. C.:1805008602

Remache Jácome, Darwin Sebastián

C. C.:1803917945

Dedicatoria

El presente proyecto de titulación se lo dedico a mis Padres por darme la oportunidad de educarme, tanto de la educación de valores y principio, como la oportunidad de prepararme académicamente y darme una profesión, recordando el enorme esfuerzo mutuo que nos ha llevado a estas instancias de la vida y el fin de un escalón más de mi vida académica y el principio de otra.

A mis hermanas y sobrinos quienes han estado pendiente de mi triunfo personal y dándome más que el apoyo económico el apoyo moral, que me ha impulsado a no darme por vencido, superando situaciones complejas que se me presentaron en la vida universitaria, dándome consejos y alentándome a no desmayar durante este hermoso proceso.

Y como no mencionar a mi querida vecina Luz que me supo acoger en su casa como un hijo más de su familia, entre a su hogar como un inquilino foráneo más y salí con hermanos y una mamá adoptiva de corazón, con mucho cariño y amor un gran Dios le page.

Rolando Hachi

Dedicatoria

El presente proyecto va dedicado a mis padres Darwin y Lucía, por haberme brindado sus consejos para seguir adelante y la posibilidad de ser un profesional, a mi esposa Grace por su cariño y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, a mi hijo Zaid por ser el motor principal que me impulso a seguir adelante, a mi hermana Eve que me ha ayudado siempre y a toda mi familia y amigos que durante esta etapa de mi vida me brindaron consejos y ánimos para no rendirme.

Darwin Remache

Agradecimiento

El presente trabajo de titulación se lo dedico principalmente a mis padres Segundo Hachi y Carmen Toapanta los principales pilares de mi vida y de mis éxitos personales, quienes me han dado la mejor herencia que un hijo podría aspirar, la educación.

A mi tutor de tesis el Ing. Mario Polibio Jiménez León, quien me brindó su apoyo incondicional y paciencia en todo momento, compartiendo sus conocimientos y sus valores, en algunas asignaturas impartidas durante mi vida universitaria y aún más siendo mi tutor, para la realización de este presente proyecto.

Rolando Hachi

Agradecimiento

Agradezco a mi padre Darwin por su apoyo y consejos académicos para llegar a ser un profesional, a mi madre Lucy por estar a mi lado en momentos difíciles y brindarme consejos para seguir adelante, a mi esposa Grace que estuvo a mi lado toda esta etapa de mi vida apoyándome e impulsándome para no rendirme y a mi hijo Zaid que fue el impulso más grande para nunca rendirme y a mi hermana Eve que me apoyo en esta etapa de mi vida.

Un agradecimiento a Doña Elenita, por abrirme las puertas de su casa, recibirme como un hijo más y brindarme consejos, y a toda mi familia que siempre estuvieron pendientes de mi durante todo este proceso.

A mi tutor de tesis Ing. Mario Jiménez por brindarme todo su conocimiento, valores y consejos para la elaboración de este proyecto y a mis amigos que hice dentro y fuera de la universidad que con su amistad me brindaron los mejores momentos de esta etapa.

Darwin Remache

ÍNDICE DE CONTENIDO

Caratula	1
Reporte de Verificación de Contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	16
Índice de tablas.....	19
Resumen.....	20
Abstract	21
Capítulo I. Marco metodológico de la investigación	22
Antecedentes investigativos	22
Justificación, Importancia y Alcance	23
Planteamiento del problema.....	24
Objetivos.....	24
<i>Objetivo general.....</i>	<i>24</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>25</i>

Hipótesis	25
Señalamiento de variables.....	25
<i>Variable independiente</i>	25
<i>Variable dependiente</i>	25
Metodología de desarrollo del proyecto	26
<i>Método documental-bibliográfico</i>	26
<i>Método analítico</i>	26
Capítulo II: Fundamentación teórica y referencial.....	27
Energía renovable	27
<i>Energía solar fotovoltaica</i>	27
<i>Tipos de sistemas de generación solar fotovoltaico</i>	28
Sistema de generación solar fotovoltaico aislado.	28
Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red sin almacenamiento.	29
Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento.	30
<i>Componentes del sistema fotovoltaico con conexión a red con almacenamiento.</i>	31
Sistemas de monitoreo	32
<i>Sistema de monitoreo solar</i>	32
Tipos de monitoreos solares.....	33
<i>Monitoreo central o monitoreo solar por planta</i>	33
<i>Monitoreo individualizado</i>	34
Ventajas que tienen los sistemas de monitoreo fotovoltaico conectados a la red.....	34

Utilidad de un sistema monitoreo fotovoltaico.	34
Componentes de un sistema monitoreo fotovoltaico.....	34
<i>HMI</i>	35
<i>Sistema de control MTU (computadora/computadora):</i>	35
<i>Unidades terminales remotas (RTU):</i>	35
<i>PLC:</i>	35
<i>Red o Sistema de Comunicación Industrial:</i>	35
<i>Sensores:</i>	35
Red de comunicación industrial.....	35
<i>Tipologías de redes y sistemas de comunicación industrial</i>	36
Comunicación Serial.....	36
Las redes HART.....	36
DeviceNet.....	37
Modbus RTU.....	37
RS-232.....	38
RS-485.....	38
Profibus.....	39
Bus de campo – Fieldbus Foundation.....	39
Contadores de energía eléctrica	39
<i>Tipo de contadores de energía eléctrica</i>	40
Contadores electromecánicos.....	40
Contador electrónico.....	40
Contador de energía Bidireccional.....	41
Capítulo III: Diseño e Implementación del Sistema de Monitoreo de Energía	42
Sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento.....	42

<i>Software SolarPower</i>	42
Propuesta de diseño de monitoreo fotovoltaico	44
Selección de elementos de medición	46
<i>Selección de medidor para los puntos C1 y C2</i>	46
Medidor de energía DDM18SD.....	46
Elecnova Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946- 2P.....	47
<i>Justificación de selección de medidor Elecnova medidor de energía monofásico Bidireccional DDS1946-2P</i>	48
<i>Selección de medidor para los puntos C3 y C4</i>	49
Transmisor de multímetro de CC, RS-485 MODBUS RTU, PZEM-017.	49
Medidor de energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D.....	49
<i>Justificación de selección de medidor de energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D</i>	51
Selección de sensor Hall.	51
<i>Justificación de selección de sensor Seneca T201DC</i>	51
Selección de equipos de comunicación	52
<i>Justificación de selección del PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU Module 1212C AC/DC/RLY</i>	52
<i>Justificación de la selección del módulo de comunicación CM1241 RS422/485</i>	53
<i>Justificación de la selección del Switch D-Link DES-1005A</i>	53
Selección de elemento HMI	54
<i>Justificación de la selección de la pantalla HMI Delta DOP-107EV</i>	54
Delta CliQ Fuente de Alimentación DRP024V060W1AZ.....	55

Topología de comunicación	56
Diseño del programa de monitoreo en TIA PORTAL	58
<i>Bloque de comunicación (MB_COMM_LOAD)</i>	59
<i>Bloque Maestro (MB_MASTER)</i>	60
<i>Bloque MOVE (Move value)</i>	61
Diagrama de conexión entre PLC y equipos de visualización	62
Diseño de la interfaz HMI	63
<i>Pantalla de Inicio</i>	63
<i>Pantalla de Menú</i>	64
<i>Pantalla de Monitoreo de la interacción entre la red y el sistema fotovoltaico</i>	65
<i>Pantalla de Monitoreo de los paneles fotovoltaicos y las baterías</i>	65
<i>Pantalla de Monitoreo de la carga aplicada al sistema</i>	66
<i>Pantalla de Gráfica</i>	67
Diseño e Implementación del tablero.....	67
Capitulo IV: Pruebas y Análisis de Resultados	70
Pruebas de conexión y funcionamiento de los equipos de medición	70
Pruebas de comunicación de los equipos de medición por separado y en simultaneo con el PLC	70
Pruebas de funcionamiento y visualización de variables en la pantalla HMI.....	72
Pruebas de adquisición de datos.....	73
Comparación de bases de datos.....	73
Análisis de resultados	75
<i>Análisis energético</i>	75
Sistema fotovoltaico sin carga.....	76

Sistema fotovoltaico con carga.....	78
Capítulo V: Conclusiones y Recomendaciones.....	81
Conclusiones.....	81
Recomendaciones.....	83
Bibliografía	84
Anexos.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Círculo fuentes renovables.....</i>	<i>27</i>
Figura 2	<i>Sistema de paneles fotovoltaico.....</i>	<i>28</i>
Figura 3	<i>Sistema de generación solar fotovoltaico aislado.....</i>	<i>29</i>
Figura 4	<i>Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red sin almacenamiento.....</i>	<i>29</i>
Figura 5	<i>Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento.....</i>	<i>30</i>
Figura 6	<i>Sistema de monitoreo.....</i>	<i>32</i>
Figura 7	<i>Sistema de monitoreo fotovoltaico.....</i>	<i>33</i>
Figura 8	<i>Estructura maestro esclavo.....</i>	<i>37</i>
Figura 9	<i>Diagrama análogo de comunicación RS-485.....</i>	<i>39</i>
Figura 10	<i>Contadores de energía eléctrica.....</i>	<i>40</i>
Figura 11	<i>Contador de energía electromecánico.....</i>	<i>40</i>
Figura 12	<i>Contador electrónico.....</i>	<i>41</i>
Figura 13	<i>Funcionamiento del sentido de flujo del contador de energía bidireccional.....</i>	<i>41</i>
Figura 14	<i>Interfaz del software SolarPower.....</i>	<i>42</i>
Figura 15	<i>Punto C1 de monitoreo.....</i>	<i>44</i>
Figura 16	<i>Punto C2 de monitoreo.....</i>	<i>45</i>
Figura 17	<i>Punto C3 y C4 de monitoreo.....</i>	<i>46</i>
Figura 18	<i>Medidor de energía DDM18SD.....</i>	<i>47</i>
Figura 19	<i>Elecnova Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P.....</i>	<i>47</i>
Figura 20	<i>Transmisor de multímetro de CC, RS-485 MODBUS RTU.....</i>	<i>49</i>
Figura 21	<i>Medidor de energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D.....</i>	<i>50</i>
Figura 22	<i>Sensor Hall Seneca T201DC.....</i>	<i>51</i>
Figura 23	<i>Siemens Simatic S7-1200 CPU Module 1212c ac/dc/rly.....</i>	<i>52</i>
Figura 24	<i>Siemens Simatic S7-1200 Modulo de Comunicación CM1241 RS422/485.....</i>	<i>53</i>

Figura 25 <i>D-Link DES-1005A</i>	53
Figura 26 <i>Delta DOP-107EV</i>	54
Figura 27 <i>Delta CliQ Power Supply System DRP024V060W1AZ</i>	55
Figura 28 <i>Diagrama de la topología de comunicación</i>	56
Figura 29 <i>Diagrama de flujo</i>	58
Figura 30 <i>Bloque de comunicación</i>	59
Figura 31 <i>Bloque maestro</i>	60
Figura 32 <i>Vector de almacenamiento de datos</i>	60
Figura 33 <i>Bloque MOVE</i>	61
Figura 34 <i>Pantalla virtual HMI</i>	62
Figura 35 <i>Diagrama de conexión PLC y Equipos de visualización</i>	63
Figura 36 <i>Pantalla de Inicio</i>	63
Figura 37 <i>Pantalla de Menú</i>	64
Figura 38 <i>Pantalla de Monitoreo de la interacción de la red y el sistema fotovoltaico</i>	65
Figura 39 <i>Pantalla del Monitoreo de los paneles fotovoltaicos y las baterías</i>	66
Figura 40 <i>Pantalla del Monitoreo de la carga aplicada al sistema</i>	66
Figura 41 <i>Pantalla de Gráfica</i>	67
Figura 42 <i>Ubicación de los medidores en el gabinete</i>	68
Figura 43 <i>Ubicación de la pantalla DELTA en la tapa del gabinete</i>	68
Figura 44 <i>Instalación de los elementos en el gabinete</i>	69
Figura 45 <i>Equipos de medición estableciendo comunicación con el PLC</i>	70
Figura 46 <i>Pantalla de prueba del HMI Delta</i>	72
Figura 47 <i>Visualización de datos de prueba en el HMI Delta</i>	72
Figura 48 <i>Diagrama Sankey sin carga del sistema propio del inversor</i>	76
Figura 49 <i>Diagrama Sankey sin carga del sistema de monitoreo implementado</i>	77
Figura 50 <i>Diagrama Sankey con carga del sistema propio del inversor</i>	79

Figura 51 *Diagrama Sankey con carga sistema de monitoreo implementado.....79*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Variables eléctricas del software SolarPower.....</i>	43
Tabla 2	<i>Características de los 2 tipos de medidores.....</i>	48
Tabla 3	<i>Características de los 2 tipos de medidores.....</i>	50
Tabla 4	<i>Variables del Medidor de Energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D.....</i>	57
Tabla 5	<i>Variables del Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P</i>	58
Tabla 6	<i>Tabla de configuración de equipos de medición</i>	71
Tabla 7	<i>Datos obtenidos mediante el software propio del Inversor</i>	73
Tabla 8	<i>Datos obtenidos mediante el sistema de monitoreo implementado.....</i>	74
Tabla 9	<i>Comparación de datos obtenidos.....</i>	74
Tabla 10	<i>Comparación de potencias obtenidas del sistema fotovoltaico sin carga</i>	76
Tabla 11	<i>Comparación de potencias obtenidas del sistema fotovoltaico con carga</i>	78

Resumen

En el presente trabajo de titulación de “Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía, para el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga”, tiene como objetivo principal monitorear la variables eléctricas del módulo de generación pudiendo así visualizar en una pantalla HMI y analizar los datos de Excel generados por el sistema en un intervalo de tiempo de 5 segundos, para ello se ha implementado dos contadores de energía bidireccionales AC, para los puntos de monitoreo en la red y en la carga, al igual que un contador de energía DC que se utiliza para el monitoreo de la carga del banco de baterías y la generación eléctrica de los paneles solares, los cuales poseen una interfaz RS485 para la comunicación Modbus RTU de protocolo abierto. Con la implementación del sistema de monitoreo se realizó una comparación con el software propio del inversor InfiniSolar de 3 kW, dando como resultado el incremento de variables eléctricas de 9 a 26, y la toma de datos se aumentó de 1 dato por minuto a 12 datos por minuto, estableciendo así el monitoreo con más detalles.

Palabras clave: generación fotovoltaica, monitoreo de energía, comunicación modbus.

Abstract

In this degree work of "Design and implementation of an energy monitoring system for the photovoltaic generation module grid connection with self-consumption, in the Renewable Energy Laboratory of the University of the Armed Forces ESPE - Latacunga Headquarters", has as main objective to monitor the electrical variables of the generation module thus being able to display on an HMI screen and analyze Excel data generated by the system in a time interval of 5 seconds, For this purpose, two bidirectional AC energy counters have been implemented, for the monitoring points in the network and in the load, as well as a DC energy counter used for monitoring the battery bank and the electrical generation of the solar panels, which have an RS485 interface for open protocol Modbus RTU communication. With the implementation of our monitoring system, a comparison was made with the software, proprietary to the 3 kW InfiniSolar inverter, resulting in the increase of electrical variables from 9 to 26, and data collection was increased from 1 data per minute to 12 data per minute, thus establishing more detailed monitoring.

Keywords: Photovoltaic Generation, Energy Monitoring, Modbus Communication.

Capítulo I

Marco metodológico de la investigación

Antecedentes investigativos

La energía fotovoltaica transforma la radiación solar en electricidad, mediante paneles fotovoltaicos, en los cuales los electrones se encuentran excitados generando una diferencia de potencial, que al conectarlo en serie genera mayores diferencias. Gracias a su aspecto modular, la energía fotovoltaica se puede implementar en grandes industrias hasta en el tejado de una vivienda.

El presente proyecto estudia el módulo de generación fotovoltaica conectada a la red con autoconsumo, el cual tiene como componentes los paneles fotovoltaicos encargados de la generación, un inversor encargado de la transformación de la energía y un banco de baterías para su almacenamiento, con la posibilidad de la aplicación de una carga externa.

El Sistema Solar Fotovoltaico conexión a red está permanentemente conectado a la red eléctrica nacional. Cuando el generador fotovoltaico no es capaz de producir la energía eléctrica necesaria para satisfacer la demanda de electricidad, la red proporciona la energía solicitada. En cambio, si el sistema fotovoltaico produce más energía de la que necesita, el excedente se va a transferir a la red nacional, provocando que no sea necesario el uso de un banco de baterías, debido a que si existe ausencia de radiación la red suministra lo necesario.

En el laboratorio de Energías Renovables, se desarrolló como proyecto de titulación “El diseño e implementación de un sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento para el laboratorio de fuentes alternativas de energía de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga”, este proyecto fue desarrollado por los tesisistas Ola Luis y Salas José. Para dar solución a las recomendaciones dadas en el escrito del trabajo antes mencionado, mediante el uso del protocolo de comunicación Modbus y unos equipos de medición, se busca diseñar e implementar un sistema de monitoreo del módulo de generación

fotovoltaico mencionado anteriormente, en donde se pueda visualizar una mayor cantidad de variables, con una interfaz amigable con el usuario.

Justificación, Importancia y Alcance

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga cuenta con la misión de formar profesionales con la capacidad de crear y aplicar conocimientos científicos; y transferir tecnología en su ámbito académico para impulsar el desarrollo del país y satisfacer las necesidades de la sociedad y las personas ligadas a las Fuerzas Armadas.

El proyecto a realizarse surge a la par con la necesidad de brindar al estudiante, una mejor interacción y apreciación de las diferentes formas de energías renovables y su monitoreo, ya que la mayoría de los países a escala mundial han optado por la implementación y ejecución de estas fuentes de energías renovables con la finalidad de aumentar el conocimiento y su importancia de aplicación.

Según (La Fundación Internacional e Iberoamericana FIIAPP, 2019). Alrededor del mundo, se han implementado fuentes de energías renovables para combatir el cambio climático y prevenir los efectos producidos del mismo. Estas fuentes se las considera energías limpias, inagotables, la diferencia con la de combustibles fósiles es la inexistencia de gases de efecto invernadero, que causan el cambio climático, y tampoco emisiones que contaminan el medio ambiente.

En el Ecuador existen varios proyectos fotovoltaicos implementados, en los cuales existen sus sistemas de monitoreo, por lo cual, el presente trabajo tiene como alcance la incorporación del sistema de monitoreo de energía en el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo del laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas, como método de enseñanza para los estudiantes.

Planteamiento del problema

Los sistemas de energía fotovoltaica en gran mayoría carecen de equipos para el control y monitoreo de las variables, el mismo que es muy importantes para visualizar el correcto funcionamiento del sistema, con el cual se obtiene los datos para un posterior análisis.

Según el proyecto de titulación “Diseño e implementación de un sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento para el laboratorio de Fuentes alternativas de energía” elaborado por los tesisistas Ola Luis y Salas José, se pudo identificar recomendaciones que mejorarían el sistema ya implementado, mediante el desarrollo de un sistema de monitoreo con una intercomunicación RS485 Modbus. Además, se incluirá un contador de energía bidireccional, con el fin de cuantificar la variable de generación de energía fotovoltaica que entrega a la red y la variable de consumo de energía de la red. Estos datos son transmitidos a través de la comunicación RS485 que utilizan generalmente el protocolo MODBUS, con el fin de mejorar el sistema y poder visualizar los datos generados mediante una pantalla Touch y una interfaz en un ordenador.

Para constatar los beneficios que ofrece un sistema de monitoreo de energía, para el sistema de generación fotovoltaica conexión a red con almacenamiento, se diseñará e implementará el sistema de monitoreo de energía para el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo en el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga, la misma que servirá como un sistema de enseñanza académico.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de energía, para el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, del Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE – Sede Latacunga.

Objetivos específicos

- Investigar los beneficios y mejoras que aportaran al sistema la implementación de un protocolo Modbus en un sistema fotovoltaico conexión a red con almacenamiento.
- Implementar un contador de energía bidireccional en el sistema fotovoltaico conexión a red con almacenamiento, con el fin de cuantificar la variable de generación de energía fotovoltaica que entrega a la red y la variable de consumo de energía de la red.
- Implementar un sistema de monitoreo de energía, para el sistema de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, mediante protocolo Modbus con contador de energía bidireccional.

Hipótesis

Con el diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía, para el módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, repotenciando el sistema ya existente es posible mejorar e impulsar la investigación de las Notas renovables entre el alumnado de la universidad de las Fuerzas armadas ESPE extensión - Latacunga.

Señalamiento de variables

Variable independiente

Las variables independientes que va a tener la metodología son: Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía.

Variable dependiente

Las variables dependientes que va a tener la metodología son: Mejorar e impulsar la investigación de las Notas renovables entre el alumnado de la universidad de las Fuerzas armadas ESPE extensión - Latacunga.

Metodología de desarrollo del proyecto

Método documental-bibliográfico

Se creará un marco teórico en la que se procederá a detallar las bases científicas que engloban a las nuevas tecnologías en crecimiento, así como las características de operación de los elementos y equipos de la misma manera reúne la óptima disposición de los elementos actualizados.

Método analítico

El cual será utilizado para realizar el diseño de los sistemas y selección de los nuevos componentes de la instalación, teniendo en consideración las características técnicas de cada elemento seleccionado, considerando la inserción de tecnologías que realizarán la misma función que las tecnologías antiguas, pero con mayor eficiencia, con el fin de agrupar funciones que en su conjunto cumplan las especificaciones deseadas del presente proyecto.

Capítulo II:

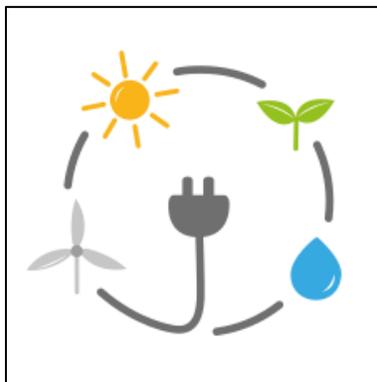
Fundamentación teórica y referencial

Energía renovable

Las energías renovables son consideradas como recursos propios inscritas en la naturaleza, estos recursos son inagotables ya que tienen diversas fuentes de donde provienen como son: sol, agua, viento, geotérmica y vegetación. Las energías renovables se han convertido en una opción amigable con el ambiente y una solución a largo plazo para la conservación del mismo con el fin, de ya no depender de los combustibles provenientes de los hidrocarburos, enfocado en mantener un equilibrio entre la naturaleza y el humano, con una mentalidad de conservación de los recursos. Vega de Kuyper (2014)

Figura 1

Círculo fuentes renovables



Nota. Tomado de Vega de Kuyper (2014)

Energía solar fotovoltaica

Esta energía proveniente directamente de la radiación solar durante el día, es aprovechada para la generación de energía eléctrica, es una energía que se la considera inagotable. Se utiliza paneles fotovoltaicos que aprovechan la radiación directa o indirecta del sol para la generación de energía que se lo utiliza en hogares, edificios y lugares en donde la transmisión de la energía es de difícil acceso. Madrid (2009)

En la Figura 2 se muestra los paneles solares de una instalación fotovoltaica que se encuentran expuestos a la luz solar.

Figura 2

Sistema de paneles fotovoltaico



Nota. Tomado de Madrid (2009)

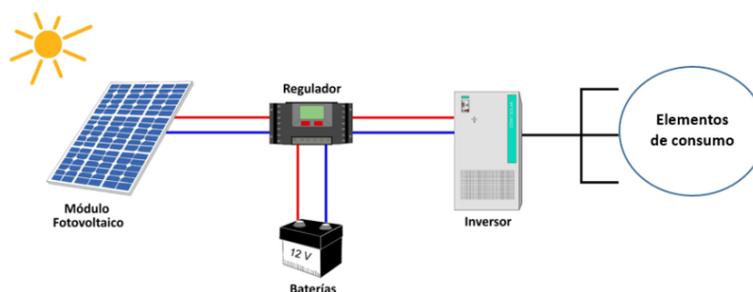
Tipos de sistemas de generación solar fotovoltaico

Sistema de generación solar fotovoltaico aislado. Estos sistemas son aplicados en lugares de difícil acceso, en donde el sistema de la red eléctrica local no es accesible, su principal componente es su banco de baterías integrado que almacena la energía recogida de los paneles fotovoltaicos, para su uso posterior. Guevera (2020)

En la Figura 3 se aprecia la topología de un sistema de generación solar fotovoltaico aislado y sus diferentes componentes, partiendo desde los paneles fotovoltaicos, los cuales son encargados de la generación eléctrica con la radiación del sol, el regulador se encarga del control de la carga y descarga de las baterías, las mismas que cumplen la función de almacenamiento de la energía, que se produce durante transcurso del día aprovechado las horas sol pico, inversor transforma la energía continua (DC) dada por los paneles y los acumuladores (Baterías) a energía alterna (AC) para su posterior uso por la carga anclada al sistema residencial como lámparas, televisores, refrigeradores entre otros. Vega de Kuyper (2014)

Figura 3

Sistema de generación solar fotovoltaico aislado



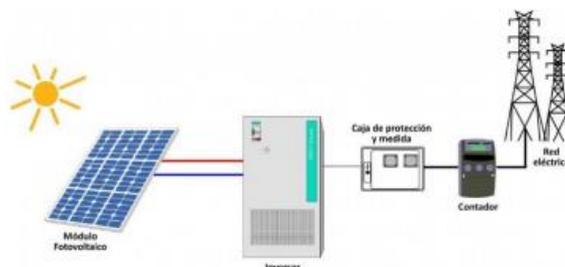
Nota. Tomado de Guevera (2020)

Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red sin almacenamiento. Es un sistema de generación, apreciado por su bajo costo de instalación ya que carece de almacenamiento que abarata el costo de instalación, y depende directamente de la red eléctrica local. Consta de componentes similares al sistema de generación fotovoltaico aislada, incrementando la conexión a la red. Escobar (2010)

En la Figura 4 se representa gráficamente el sistema de generación con conexión a red sin almacenamiento, en donde el inversor se encarga de gestionar los dos tipos de energía en el sistema, tanto la energía producida por el sistema fotovoltaico y su interacción con la red local.

Figura 4

Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red sin almacenamiento



Nota. Tomado de Aparicio (2015)

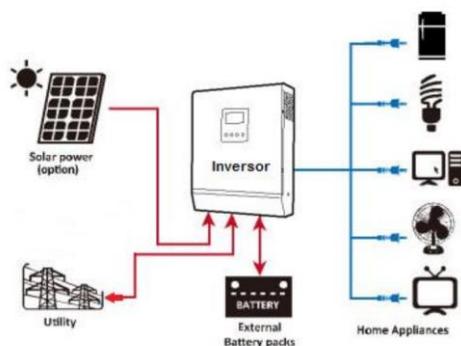
Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento.

Según menciona Lalupú (2013) indica que este sistema, tienen un intercambio de energía bidireccional por parte de la red local y la generación fotovoltaica gestionada por el inversor, además se caracteriza por contar con un banco de baterías, utilizadas para el almacenamiento de la energía producida en el transcurso del día, es indispensable el uso de un equipo de medida para cuantificar la energía de salida y entrada de forma bidireccionales.

Un sistema solar fotovoltaico de conexión a red con almacenamiento, consta de elementos que se repiten en la mayoría de sistemas de generación ya existentes, este sistema se considera el más completo por sus diferentes funcionalidades, estos sistemas poseen paneles fotovoltaicos los cuales captan la radiación, el inversor que gestiona la energía proveniente de los paneles y la interacción con la red local, además entre sus funciones transforma la energía continua DC producida por los paneles a energía alterna AC, que será utilizada por las cargas existentes en el edificio o residencia, de igual manera la interacción de la energía con la red local, gestiona la carga y descarga de las baterías, algunos sistemas constan con contadores bidireccionales que cuantifica la energía que se suministra a la red y de consumo. Escobar (2010)

Figura 5

Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento



Nota. Tomado de Brown (2010)

Componentes del sistema fotovoltaico con conexión a red con almacenamiento.

Los componentes del sistema fotovoltaico se agrupan en tres subsistemas:

Subsistema de producción: Es aquel que transforma la energía solar en electricidad por medio del panel solar.

Subsistema de almacenamiento: Almacena la electricidad producida por el panel solar en el transcurso del día, su componente principal son las baterías.

Subsistema de control: Permite controlar todo el sistema fotovoltaico y monitorizar su correcto funcionamiento. Normalmente se compone del controlador de carga, interruptor termomagnético, contadores de energía y elementos de protección.

Cada uno de los tres ítems integran elementos en cada una de sus etapas que son los siguientes:

El panel fotovoltaico: Convierte la energía solar en energía eléctrica DC.

Las baterías: Almacenan la energía eléctrica que produce el panel fotovoltaico.

El controlador de carga: Se encarga de conectar y desconectar el panel fotovoltaico, analizando si la batería está cargada o descargada.

Las cargas de potencia: Son los electrodomésticos anclados al sistema pueden ser de carácter resistivo como inductivos, pueden funcionar con la energía generada por el sistema fotovoltaico o directamente desde la red.

El inversor: Optimiza la gestión energética al sincronizar la producción de los paneles fotovoltaicos con la energía de la red eléctrica, además de regular el almacenamiento y liberación de energía de las baterías según su carga y descarga.

Contadores bidireccionales de energía: Los mismos que son utilizados como elementos extras para la visualización del consumo de energía del sistema fotovoltaico de la red y de igual manera la cantidad de energía que contribuye el sistema fotovoltaico a la red.

Sistemas de monitoreo

Los sistemas de monitoreo catalogados como una herramienta industrial, que en los últimos años se han consolidado por sus innumerables beneficios, como es la optimización de los diferentes recursos, y se lo ha aplicado en diferentes sectores industriales, por ejemplo en sector petrolero, generación y el consumo de energía eléctrica en plantas de producción, centros de consumo o descargas de banco de baterías entre otras innumerables aplicaciones en donde exista instrumentación industrial, donde es necesario llevar un control de las variables eléctricas para la toma de decisiones. Siihssa (2022)

Figura 6

Sistema de monitoreo



Nota. Tomado de Siihssa (2022)

Sistema de monitoreo solar

Un sistema de monitoreo permite la medición tanto de energía solar generada, como de autoconsumo, por un sistema fotovoltaico o por un conjunto de sistemas, en tiempo real, con el fin de obtener, un resumen de la productividad y de la funcionalidad de los paneles solares, a su vez tiene la función de obtención de datos que nos ayuda a determinar el rendimiento del sistema al analizar las diferentes variables eléctricas. Aparicio (2015)

En la actualidad existe inversores con sistemas de comunicación, y de control muy avanzados que directamente constan de software propios de monitoreo, aparte de su principal función, que es convertir la corriente directa obtenida por parte de los paneles solares en corriente alterna, para el consumo de las diferentes cargas existentes, puede usar varios

métodos de comunicación con los servidores, mediante vía internet o protocolo ModBus, monitoreando la información de generación, lo que permite visualizar el comportamiento de todas las variables del sistema. Sunwise (2023)

El sistema de monitoreo solar, se lo considera como una herramienta de control y automatización normalmente usada por micro redes de generación, y en diferentes procesos de producción en la que se puede monitorear el proceso en tiempo real, recopilando, analizando datos y generando informes de un proceso en específico.

En términos concretos, el sistema de monitoreo solar, se describe como un conjunto de aplicaciones informáticas que se instalan en una computadora conocida como Master o MTU. Su función principal es supervisar de forma remota una actividad de producción. Estas aplicaciones están interconectadas con otros dispositivos, como el PLC y RTU, estableciendo así una red integral. Rodríguez (2019)

Figura 7

Sistema de monitoreo fotovoltaico



Nota. Tomado de Aparicio (2015)

Tipos de monitoreos solares.

Monitoreo central o monitoreo solar por planta. Es aquel que ayuda a supervisar la obtención de energía que tiene todo un sistema, en el cual se puede observar el comportamiento que tienen los paneles fotovoltaicos, lo cuales tienen una alta eficiencia y un mantenimiento fácil de realizar, y sus costos son bajos. Escobar (2010)

Monitoreo individualizado. Es aquel en el que se pueden monitorear cada uno de los paneles de manera unitaria, todo esto depende del tipo de inversor que se seleccione.

Conforme pasan los años la tecnología va avanzando y con ello el monitoreo de estos paneles va mejorando con la ayuda de componentes electrónicos para cada uno de estos paneles con el fin de realizar una supervisión de manera sectorizada. Brown (2010)

Ventajas que tienen los sistemas de monitoreo fotovoltaico conectados a la red.

Se puede enumerar algunos beneficios de un sistema de monitoreo fotovoltaicos, tanto como su rendimiento y eficiencia, a su vez nos ofrece información sobre diferentes variables como, la producción de energía que tiene todo el sistema fotovoltaico, el consumo, la identificación de cada una de las fallas de los paneles, también se puede observar cual es el consumo máximo de energía que tienen estos sistemas. Una de las cosas más importantes es que se puede realizar la comparación de los datos históricos para ver en qué mes hubo más generación de los paneles para así poder obtener en que mes o estaciones se tiene un mejor rendimiento.

Utilidad de un sistema monitoreo fotovoltaico. Este sistema de monitoreo fotovoltaico que consta de hardware y software permite, recopilar y procesar datos en tiempo real, interactuar directamente con las variables del dispositivo de los instrumentos de medida o directamente con una representación gráfica en una interfaz HMI de ser el caso, grabación secuencial de eventos que ocurren en el proceso de producción a un archivo o base de datos, se puede crear paneles de alarma en caso de avería de la máquina por problemas de funcionamiento, gestionar el mantenimiento de las cantidades obtenidas, y el manejo de control de calidad a través de los datos recopilados durante un tiempo de forma remota o presencial.

Componentes de un sistema monitoreo fotovoltaico. Estos constan de una serie de componentes en los cuales se incluyen la adquisición de datos del sistema y el monitoreo de la misma como se detalla a continuación:

HMI. Es aquel componente que permite la visualización de información de cada uno de los paneles fotovoltaicos, con el objetivo que el usuario pueda observar el comportamiento en tiempo real y pueda controlar este sistema a través de la pantalla.

Sistema de control MTU (computadora/computadora): Este sistema MTU tiene como objetivo ser el maestro y controlar el sistema, su función principal es la recolección de datos que se encuentran dentro de un proceso, para luego enviarlos por medio de un canal de recepción.

Unidades terminales remotas (RTU): Se componen de microprocesadores, que son los que reciben las señales del proceso y envían la información a la base de control para analizarlos.

PLC: Son equipos de campo, ligeramente económicos se caracterizan por ser versátiles, flexibles y configurables, son los encargados de procesar las señales obtenidas por las unidades remotas.

Red o Sistema de Comunicación Industrial: Establecen enlaces o una conexión entre la informática (MTU) con RTUs y PLCs, para ello utiliza un host vía módem, Ethernet, Wi-Fi o fibra óptica, para la comunicación entre equipos.

Sensores: Son aquellos que detectan magnitudes dentro de un proceso para luego transformar estas magnitudes variables eléctricas dentro de los rangos establecidos.

Red de comunicación industrial

Para una red de comunicación industrial lo más importante es el intercambio de la información entre diferentes partes, en el que interviene un tercero, el cual se encarga de recibir y procesar esta información luego la almacena si está dentro de los parámetros establecidos o las descarta según el proceso que se realice. Al insertar la parte industrial en la red se debe tener un enlace por medio de fibra óptica, coaxial, cable de cobre entre otros medios, que enlaza al transmisor y al receptor. Miranda (2019)

Según Guerrero (2020) estas redes son utilizadas con el fin de comunicar datos entre varias computadoras, periféricos u otros dispositivos, para manejar el control y el monitoreo en tiempo real de instrumentación de medición y la unificación de datos en entornos difíciles. La comunicación industrial suele utilizar Modbus, Ethernet, DeviceNet, etc.

En el campo industrial destacan tres controladores, los cuales son el controlador lógico programable (PLC), el control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) y el de control distribuido (DCS); los cuales se pueden relacionar con equipos de medición externa en la industria. Penin (2007)

Para la comunicación entre estos dispositivos, es necesario un diseño de red o comunicación más robusto y eficiente. Los medios de transmisión y el control de datos pueden ser cableados o inalámbricos dependiendo su aplicación y en el entorno físico que se encuentre. Estos cables de red tienen sus propias propiedades eléctricas que pueden ser adecuadas para un tipo particular de red o entorno, de igual manera con la transmisión inalámbrica, la comunicación es realizado a través de ondas de radio. Espinoza (2020)

Tipologías de redes y sistemas de comunicación industrial

El protocolo es el conjunto de normas utilizadas para la comunicación entre dos o más equipos, en base a las redes los protocolos se pueden dividir en diferentes tipos. Rodríguez (2019)

A continuación, se mencionan algunos tipos de redes y sistemas de comunicación.

Comunicación Serial. Esta comunicación permite controladores para implementar protocolos RS232, RS485 y RS422. Penin (2007)

La interfaz que tiene esta comunicación se puede venir incluido en el controlador o en un módulo de comunicación por separado. Las interfaces RS son usadas para poder comunicar y transferir datos o variables entre el PLC y equipos de campo, con una mayor velocidad.

Las redes HART. Funcionan tanto en punto a punto como en multipunto. En punto a punto la señal de corriente se utiliza para controlar el proceso, mientras que multipunto es

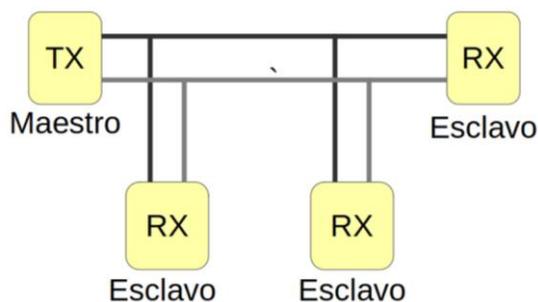
aplicado cuando los equipos de campo se encuentran a grandes distancias. Los equipos de campo, cuyas características sean compatibles con Hart, pueden ser aplicados en las industrias. Guerrero (2020)

DeviceNet. DeviceNet es una herramienta abierta a nivel de red basada en la tecnología CAN (Controller Area Network), el cual está diseñado para conectar equipos de campo como sensores, interruptores, etc. con controladores como el PLC, etc. Esta red admite un total de hasta 64 nodos y 2048 dispositivos. Penin (2007)

Modbus RTU. Modbus RTU se caracteriza por ser un protocolo abierto (RS-232 o RS-485) que se deriva de una arquitectura maestro/esclavo y es ampliamente aceptado por su facilidad de uso y confiabilidad. Este protocolo Modbus RTU es usado en automatización industrial. (IAS) y sistemas de gestión de edificios (BMS), la razón principal de esta aceptación generalizada se debe al uso de MODBUS RTU. Espinoza (2020)

Figura 8

Estructura maestro esclavo



Nota. El protocolo ModBus es un protocolo libre creado por la empresa Modicon y se basa en una estructura jerárquica entre maestro y esclavos. Tomado de Guerrero (2020)

Según Espinoza (2020), la comunicación a través de ModBus es comunicación semidúplex a dos o cuatro hilos que permiten la transmisión 9600-19200 bits/s, donde se distinguen dos escenarios de comunicación. El primer escenario consiste en transmitir un mensaje por el maestro y esperar la respuesta del esclavo, mientras el segundo es transmitir un mensaje a todos los esclavos sin esperar una respuesta. Es importante tener en cuenta que

los esclavos no pueden comunicarse entre sí, y cada esclavo solicitar permiso del maestro para enviar la respuesta. Como se indica que en este tipo de protocolo existen dos:

RS-232. Mediante este protocolo se puede transferir los datos con el objetivo de controlar las comunicaciones en serie. Se utiliza principalmente para la organización de datos desde equipos hasta receptores.

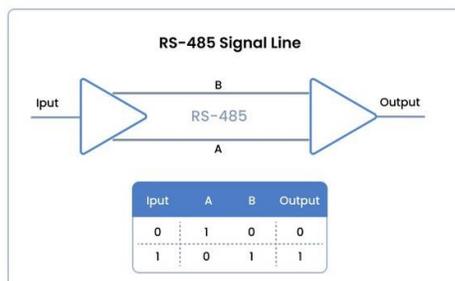
Uno de los factores a considerar es la distancia entre los equipos ya que afecta directamente a la velocidad de comunicación con el controlador. El uso compartido de videos se puede configurar en modo duplicado o medio lleno. El dúplex completo permite enviar y recibir datos en simultaneo con el uso de diferentes cables para cada operación ya sea enviar o recibir. El semidúplex utiliza la misma línea para enviar y recibir datos, por lo cual su manera de operar es más específica. El medio dúplex por su parte solo permite en su configuración el envío o la recepción de datos, no permite en simultaneo. Escobar (2010)

RS-485. La interfaz RS-485 se encuentra vinculado con el protocolo de comunicación Modbus. Se diferencian ya que el Modbus permite establecer el tipo de protocolo mientras que el RS-485 permite establecer el nivel de señal del protocolo que se va a emplear.

El bus RS485 en paralelo posee una gran capacidad de comunicación, se debe considerar que a cada equipo se le establece una ID de esclavo Modbus, con la cual el controlador direcciona la información enviada por el equipo de campo que se va a utilizar. El objetivo final de los protocolos Modbus es limitar la estructura del intercambio de datos y variables entre el maestro y los esclavos. Hay que tomar en cuenta el Modbus no es un medio de comunicación, más bien es un elemento de la estructura del intercambio de datos. Brown (2010)

Figura 9

Diagrama análogo de comunicación RS-485



Nota. Tomado de Guerrero (2020)

En donde existe un intercambio de datos o información a nivel industrial por lo general se procede a implementar un BAS o conocido como sistema de comunicación, el cual se lo define como un medio de comunicación que puede ser programado para que su ejecución sea en una computadora.

Profibus. Es una de las redes de protocolo abierto que más se conoce y se utiliza principalmente en el área de la automatización de procesos y de fábricas; es perfecto para sistemas de comunicación complejos en donde el tiempo es crítico.

Bus de campo – Fieldbus Foundation. Fue desarrollado como un estándar especial diseñado para cumplir con los requisitos de misión crítica en un entorno intrínsecamente seguro. Los tipos de LAN son dispositivos y controladores listos para usar, basados en bus de campo que siempre se utilizan en las industrias de fabricación y procesos.

Contadores de energía eléctrica

En un sistema eléctrico se encuentran presentes equipos de medición y control para contabilizar la energía que consumen los usuarios en kWh, además de la demanda de potencia de cada usuario en kW, para cuantificar estas dos variables se utiliza un contador de energía eléctrica. Desde hace mucho tiempo el contador de inducción fue el que más se utilizó en las instalaciones eléctricas de viviendas y edificios. Soto (2019)

Figura 10

Contadores de energía eléctrica



Nota. Tomado de Martinez (2017)

Tipo de contadores de energía eléctrica

Contadores electromecánicos. El contador de energía electromecánico mediante un disco de velocidad de rotación mide el consumo de corriente. Está contenido en un núcleo magnético con dos bobinas unidas, la cual la primera está conectada en serie con un conductor llamado bobina de corriente y la otra en un conductor en derivación llamado bobina de voltaje. La Figura 11 muestra su estructura física del medidor.

Figura 11

Contador de energía electromecánico



Nota. Tomado de Soto (2019)

Contador electrónico. Un contador electrónico posee varias funciones. Esto significa que el estado se muestra secuencialmente en una pantalla, alternando entre el estado de

energía activa en kWh y el estado de energía reactiva en kVarh las cuales se detallan en los siguientes párrafos. Samaniego (2016)

El contador puede registrar la energía activa y reactiva dependiendo del caso, la energía activa se expresa en kWh y la energía reactiva se expresa kVARh. Sihssa (2022)

Figura 12

Contador electrónico

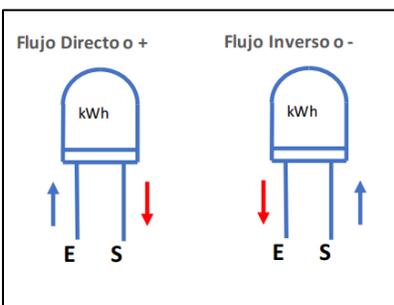


Nota. Tomado de Sunwise (2023)

Contador de energía Bidireccional. El contador bidireccional es el encargado de cuantificar e identificar, el flujo de la energía eléctrica en sentido directo como en sentido inverso al punto de monitoreo. La energía que entra al medidor desde una red eléctrica hacia el cliente, es la energía que el cliente consume, mientras que la energía que entra al medidor desde el cliente hacia la red eléctrica, es la energía que el cliente inyecta a la red si posee un sistema de generación propio. Guevera (2020)

Figura 13

Funcionamiento del sentido de flujo del contador de energía bidireccional



Nota. Tomado de Martinez (2017)

Capítulo III

Diseño e Implementación del Sistema de Monitoreo de Energía

Sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento

En el presente capítulo se procede al diseño e implementación del sistema de monitoreo de energía con el cual se busca actualizar el sistema fotovoltaico ya existente en el laboratorio de energías renovables elaborada por los tesisistas Ola Luis y Salas José.

En el Anexo A se encuentra el plano original, donde se detalla el diagrama de conexión de un sistema de generación fotovoltaico conexión a red con almacenamiento, como principales componentes son: paneles fotovoltaicos, inversor, baterías y un contador de energía convencional en la salida a la carga.

El inversor implementado es de la marca: InfiniSolar de 3 kW, cuyo equipo consta de un programa propio de monitoreo llamado SolarPower, este software es el encargado del monitoreo solar, en el mismo se puede apreciar una interfaz con variables eléctricas con el fin de visualizar el funcionamiento de un sistema fotovoltaico. El sistema cuenta con un banco de baterías de 48 VCC cuya funcionalidad es el almacenamiento de la energía generada por los 8 paneles solares los mismos que son de 270 W en el transcurso del día.

Software SolarPower

Es un software de monitoreo que fue diseñado para monitorear varios controladores de cargadores solares por medio del puerto serie al mismo tiempo. Este software de monitoreo permite el registro de datos, alarmas de emergencia o fallas y configuración del inversor InfiniSolar 3 kW.

En la Figura 14 se aprecia la interfaz del software y en la tabla 1 todas las variables eléctricas que genera el programa.

Figura 14

Interfaz del software SolarPower



Nota. En la figura se muestra la interfaz del software SolarPower del módulo de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo.

Tabla 1

Variables eléctricas del software SolarPower

Variables eléctricas
Tensión de red
Potencia de generación fotovoltaica
Frecuencia de red
Tensión de entrada del panel fotovoltaico
Potencia de carga
Porcentaje de carga de la potencia del inversor
Tensión de la batería
Porcentaje de cargabilidad de la batería
Corriente de carga de la batería
Temperatura

Nota. En la tabla se muestra las variables eléctricas que proporciona el software SolarPower.

Las principales características son, representar de manera gráfica los datos del dispositivo, se puede actualizar en línea y mediante el manual del fabricante y por último adquiere de manera automática y en tiempo real los datos para registrarlos en una tabla de Excel.

Propuesta de diseño de monitoreo fotovoltaico

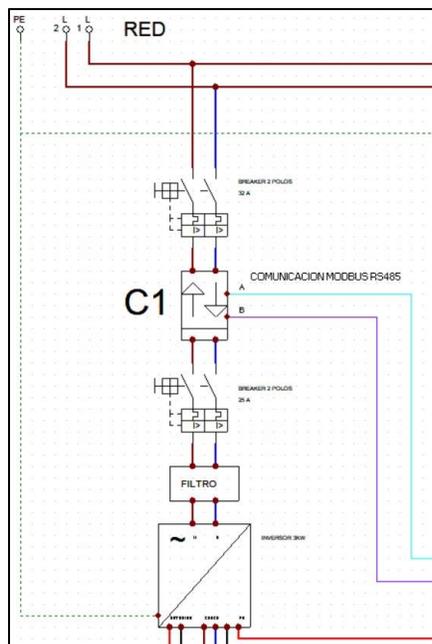
Partiendo del sistema ya existente se logró identificar una recomendación que aportara un grado de innovación, en lo que se refiere al método de comunicación (Modbus) de los diferentes elementos y equipos, en tiempo real con el fin de ampliar la cantidad de variables eléctricas monitoreadas de una manera sectorizada, buscando mejorar la interacción con el sistema fotovoltaico, como se mencionó anteriormente el sistema posee el Software SolarPower que tiene comunicación directa con el inversor InfiniSolar de 3 kW que da una cantidad de variables descritas en la tabla 1.

Usando comunicación Modbus se busca implementar un sistema de monitoreo fotovoltaico que consta en la implementación de equipos de monitoreo de energía bidireccionales con comunicación ModBus RS485 y la visualización de las variables eléctricas mediante el uso de pantalla con una interfaz amigable con el usuario.

Se identifica 4 puntos importantes de monitorización, el punto C1 conlleva la interacción de la energía generada del sistema fotovoltaico con la red eléctrica como se muestra en la Figura 15, el punto C2 cuantifica el consumo de la carga anclada a todo el sistema como se muestra en la Figura 16, C3 encargado del monitoreo de las baterías y la carga de las mismas y el punto C4 monitorea la generación de los paneles solares como se muestra en la Figura 17, el detalle se encuentra en el Anexo B.

Figura 15

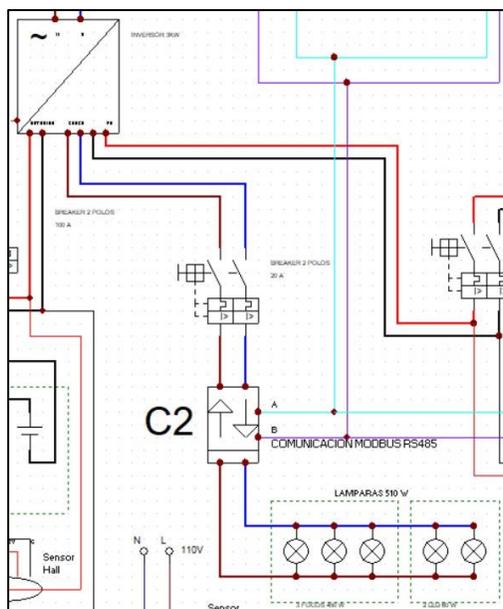
Punto C1 de monitoreo



Nota. En la figura se muestra el diagrama de conexión del punto de monitoreo C1.

Figura 16

Punto C2 de monitoreo



Nota. En la figura se muestra el diagrama de conexión del punto de monitoreo C2.

reactiva, que puede registrar datos. En la Figura 18 se aprecia la estructura física del medidor.

En el Anexo C se muestran a detalle las características técnicas del medidor.

Figura 18

Medidor de energía DDM18SD



Nota. En la figura se muestra el medidor de energía DDM18SD. Tomado de Perez (2022)

Elecnova Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P. Este medidor de energía monofásico puede medir en total 11 variables las cuales se detallan en la Tabla 2, todas estas variables se monitorean en tiempo real. El medidor de potencia tiene una pantalla LCD táctil, de alta definición para mostrar los parámetros de medición. Utiliza una interfaz RS485 para la comunicación MODBUS-RTU. En la figura 19 se aprecia la estructura física del medidor. En el Anexo D se detalla las características técnicas del medidor.

Figura 19

Elecnova Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P



Nota. En la figura se muestra el medidor de energía DDS1946-2P. Tomado de Elecnova (2019)

En la Tabla 2 se aprecia las características principales de los 2 tipos de medidores descritos.

Tabla 2*Características de los 2 tipos de medidores*

Modelo	Elecnova DDS1946-2P	DDM18SD
Voltaje	230V	220V
Corriente	Directa 5(63) A	5(100) A
Frecuencia	60 Hz	50 Hz
Montaje	Riel DIN	Riel DIN
Comunicación	RS485 Modbus RTU	RS485 Modbus RTU
Pantalla	LCD	LCD
Variables medidas	Voltaje, Corriente, Potencia, Factor de Potencia, Frecuencia y Energía Bidireccional	Energía, Corriente, Voltaje, Frecuencia y Factor de Potencia

Nota. En la tabla se muestra la comparación de las características técnicas de los dos medidores para C1 y C2.

Justificación de selección de medidor Elecnova medidor de energía monofásico Bidireccional DDS1946-2P

Entre la red y el inversor se necesita de un medidor bidireccional monofásico 220 VAC, 60 Hz, para este caso medidor de energía Elecnova está diseñado para montarse en riel DIN, en este medidor se observa once variables las cuales son: Voltaje, Corriente, Frecuencia, Factor de Potencia, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Potencia Aparente, Energía Activa Importada, Energía Activa Exportada, Energía Reactiva Importada y Energía Reactiva Exportada. Además, permite visualizar la situación del consumo de electricidad mediante la adopción de IC de medición de energía avanzada y usando procesamiento de muestreo digital

y tecnologías SMT (Surface Mount Technology). Posee la comunicación RS485 Modbus RTU, con 8 bits de comunicación, 1 bit de parada, sin paridad a una velocidad de 9600 baudios; también se puede escoger el número de dirección con el cual el PLC va a adquirir los datos.

Selección de medidor para los puntos C3 y C4

Transmisor de multímetro de CC, RS-485 MODBUS RTU, PZEM-017. PZEM-017 es un módulo de comunicación de CC que puede medir la potencia de CC hasta 300 V CC y la medición de corriente está sujeta a rangos instalados de derivación externa de 50 A, 100 A, 200 A y 300 A. Este módulo puede medir voltaje, corriente, potencia y energía, no tiene pantalla. Tiene una interfaz RS485 para el protocolo de comunicación Modbus-RTU similar a la mayoría de los dispositivos industriales. Los valores medidos se pueden mostrar en su PC utilizando el convertidor UART a RS485 con su software complementario. En la Figura 20 se aprecia la estructura física del medidor. En el Anexo E se detalla las características técnicas del medidor.

Figura 20

Transmisor de multímetro de CC, RS-485 MODBUS RTU



Nota. En la figura se muestra el medidor de energía PZEM-017. Tomado de Peacefair (2021)

Medidor de energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D. El medidor de energía CC Acrel DJSF1352-RN-D posee doble canal de entrada de CC, este medidor opera en un rango de 0 a 1000 V CC, mediante un sensor de corriente de efecto Hall o un shunt, permite la medición de la corriente. Las variables que se presentan mediante la interfaz RS485 para el protocolo de comunicación Modbus-RTU, son el voltaje, la corriente y la potencia. En la Figura

21 se aprecia la estructura física del medidor. En el Anexo F se detalla las características técnicas del medidor.

Figura 21

Medidor de energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D



Nota. En la figura se muestra el medidor de energía DJSF1352-RN-D. Tomado de Acrel (2023)

En la tabla 3 se indica las principales características de los 2 tipos de medidores descritos anteriormente.

Tabla 3

Características de los 2 tipos de medidores

Características	PZEM-017	DIN DJSF1352-RN-D
Rango de voltaje:	0-300 VCC	0-1000 VCC
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Comunicación	RS485.	RS485.
Montaje	N/A	DIN
Sensor	Shunt	Shunt, Hall sensor
Display	No	Si
Canales	1	2

Nota. En la tabla se muestra la comparación de las características técnicas de los dos medidores para C3 y C4.

Justificación de selección de medidor de energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D

Tomando en cuenta los datos de placa de los paneles instalados son de 270 W, dando en circuito abierto (V_o) de 37.5 VCC, los cuales se multiplica por 8 los mismos que están instalados dando un voltaje global de 300 VDC y superándolo en días soleados, se selecciona el medidor CC de la marca Acrel modelo DJSF1352-RN-D, el cual cuenta con canales de entrada de CC dobles.

Este medidor en específico se lo selecciono por sus dos canales de medición CC, denominándolos C3 y C4 los mismos que se utiliza para el monitoreo de la generación de los paneles solares y el segundo para la carga de las baterías más la ayuda del sensor Hall de 4-20 mA, con el fin de realizar la medición de la energía CC.

Selección de sensor Hall.

Justificación de selección de sensor Seneca T201DC

El sensor Hall Seneca T201DC, es un transductor de corriente DC de 4 a 20 mA, posee un rango de medición monopolar y bipolar variable, el cual se establece mediante DIP Switch; su temperatura de operación es de -10 a +65 °C, necesita de una fuente de alimentación de 5 a 28 Vdc, su tiempo de respuesta de 100 ms sin filtro y de 600 ms con filtro. En la Figura 22 se aprecia la estructura física del sensor. En el Anexo G se detalla las características técnicas del sensor.

Figura 22

Sensor Hall Seneca T201DC



Nota. En la figura se muestra el sensor hall Seneca T201DC. Tomado de Seneca (2023)

Selección de equipos de comunicación

Para la integración y la comunicación de todos los elementos con protocolo de comunicación ModBus, se busca equipos que pueden gestionar y controlar una amplia cantidad de datos generados para facilitar de forma importante el monitoreo con los equipos de medición en tiempo real.

Justificación de selección del PLC Siemens Simatic S7-1200 CPU Module 1212C

AC/DC/RLY

El PLC Siemens Simatic S7-1200 es un controlador, que, gracias al ser compacto, una configuración flexible y una variedad de instrucciones, es la mejor opción para controlar la mayor cantidad de aplicaciones, directamente se lo aplicara para la adquisición de datos de los diferentes equipos de medición de energía. En la Figura 23 se aprecia la estructura física del controlador. En el Anexo H se detalla las características técnicas del controlador.

Figura 23

Siemens Simatic S7-1200 CPU Module 1212c ac/dc/rly



Nota. En la figura se muestra el controlador Siemens Simatic S7-1200. Tomado de Siemens (2022)

Este PLC cuenta con un puerto PROFINET para la comunicación en una red. Para este PLC existen módulos adicionales para la comunicación tales como: PROFIBUS, GPRS, LTE, WAN, RS485, RS232, RS422, CEI, DNP3, USS y MODBUS.

Este modelo permite una alimentación de 85 a 265 V en AC, tiene una memoria de usuario de 75 Kbytes, su número de bloques direccionales es de 1 a 65535, tiene 14 entradas digitales integradas.

Justificación de la selección del módulo de comunicación CM1241 RS422/485

El módulo de comunicación CM1241 RS422/485 permite agregar opciones de comunicación al PLC, se conecta en el lado izquierdo del PLC o en el lado izquierdo de otro módulo de comunicación, el PLC soporta máximo tres módulos de comunicación en serie. En la Figura 24 se aprecia la estructura física del módulo de comunicación. En el Anexo I se detalla las características técnicas del módulo de comunicación.

Figura 24

Siemens Simatic S7-1200 Modulo de Comunicación CM1241 RS422/485



Nota. En la figura se muestra el módulo de comunicación CM1241 RS422/485. Tomado de Siemens (2023)

Este módulo permite la comunicación RS485 por medio de un conector DB9 hembra, para que el CPU monitoree los medidores del sistema conectados en paralelo.

Justificación de la selección del Switch D-Link DES-1005A

El Switch de Escritorio D-Link DES-1005A permite la comunicación entre los dispositivos de monitoreo; entre el PLC, la pantalla HMI y la computadora. Este switch permite la ampliación de comunicación entre dispositivos gracias a sus 5 puertos, con una velocidad de hasta 200 Mbps full dúplex, además de su tamaño compacto que facilita su instalación. En la

Figura 25 se aprecia la estructura física del switch de escritorio. En el Anexo J se detalla las características técnicas del switch de escritorio.

Figura 25

D-Link DES-1005A



Nota. En la figura se muestra el Switch de escritorio DES-1005A. Tomado de D-Link (2021)

Selección de elemento HMI

Justificación de la selección de la pantalla HMI Delta DOP-107EV

La pantalla Delta DOP-107EV tiene dos puertos COM, que le permite ejecutar la mayoría de las aplicaciones que demanda la industria. Esta pantalla posee las siguientes especificaciones, su voltaje de entrada es de 24 V en DC, el tamaño es de 7" (800 * 480) y proyecta 65536 Colores TFT, tiene un procesador Cortex-A8 800MHz CPU, posee 256 MB RAM y 256 MB ROM, como ya se menciona tiene un puerto Ethernet incorporada y 2 juegos de puertos COM / 1 puerto COM de extensión, USB Host, USB Client, además de una temperatura de operación de 0 °C a 50 °C, una temperatura de almacenamiento de -20 °C a 60 °C, una protección a prueba de agua IP65 y mediante el Software DOPSoft 4.0, permite la programación de la pantalla.

En la Figura 26 se aprecia la estructura física de la pantalla Delta. En el Anexo K se detalla las características técnicas de la pantalla Delta.

Figura 26

Delta DOP-107EV



Nota. En la figura se muestra la pantalla Delta DOP-107EV. Tomado de Delta Electronics (2023)

Delta CliQ Fuente de Alimentación DRP024V060W1AZ. La Fuente Delta soporta entornos industriales hostiles el cual se lo usa para la alimentación de la pantalla HMI Delta DOP-107EV. Opera en un rango de voltaje de entrada de 85 Vac a 264 Vac, con una frecuencia de 60 Hz, un voltaje de salida de 24 V en DC, una corriente de salida de 2.5 A y una potencia de salida de 60 W. Su montaje es en riel DIN, posee tres pines de entrada y dos pines de salida. En la Figura 27 se aprecia la estructura física de la fuente de alimentación. En el Anexo L se detalla las características técnicas de la fuente de alimentación.

Figura 27

Delta CliQ Power Supply System DRP024V060W1AZ



Nota. En la figura se muestra la fuente de alimentación Delta CliQ. Tomado de Delta Electronics (2020)

Topología de comunicación

Este sistema de monitoreo posee una topología de comunicación tipo bus, en donde, todos los dispositivos se encuentran conectados a una misma línea de datos, conocida como bus, a través de la cual se pasa la información. El protocolo de comunicación ModBus RS-485 se utiliza a través de los elementos de medición C1, C2, C3 y C4 cada uno consta de puertos RS-485 para la comunicación, la cual se lo realiza en paralelo.

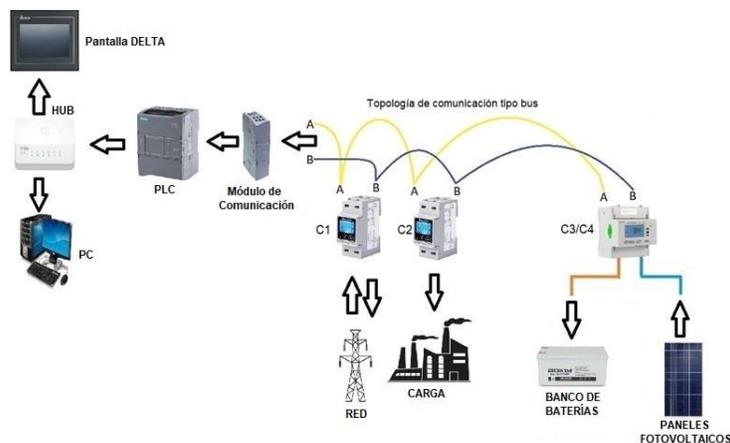
Partiendo e identificando los puntos de conexión de los elementos de medición, generación, consumo y visualización como se puede apreciar en la Figura 28, se detalla el orden de conexión de la misma, los paneles fotovoltaicos establecidos como C4 son los encargados de la generación de energía en CC, el cual es monitoreada por el medidor de energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D, con el fin de aprovechar su función de doble canal, también monitorea las baterías establecidas como C3, con el uso de los sensores Hall Seneca T201DC, este medidor nos permite visualizar tres variables eléctricas por cada canal de entrada, los cuales se detallan en la tabla 4.

Elecnova Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P son colocados para el monitoreo y visualizar la interacción directa con la red y el sistema de generación fotovoltaico, establecido como C1, en este punto el monitoreo es bidireccional y posee 11 variables eléctricas de medición que se detalla en la tabla 5. Un segundo medidor de este tipo es colocado para el monitoreo de carga, establecido como C2; las cargas suelen ser lámparas, motores entre otros en 220 V a 60 Hz, esta energía sale directamente del inversor hacia las cargas.

La comunicación entre estos dispositivos se lo realiza mediante la utilización software TIA PORTAL que es compatible con el PLC Siemens Simatic S7-1200 con el cual se extrae los datos de las variables eléctricas de forma hexadecimal para procesar y elaborar bloques de comunicación en el programa, que se envían a los instrumentos de visualización como la pantalla HMI o a un ordenador.

Figura 28

Diagrama de la topología de comunicación



Nota. En la figura se muestra la topología de comunicación del sistema de monitoreo.

Tabla 4

Variables del Medidor de Energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D

Variables del Medidor de Energía CC de carril DIN DJSF1352-RN-D	
Banco de Baterías	Paneles Fotovoltaicos
Voltaje L1	Voltaje L2
Corriente L1	Corriente L2
Potencia L1	Potencia L2

Nota. En la tabla se muestra las variables que proporciona el medidor DJSF1352-RN-D.

Tabla 5

Variables del Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P

Variables del Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P	
Voltaje	Frecuencia
Corriente	Factor de Potencia
Potencia Activa, Reactiva y Aparente	Energía activa y reactiva bidireccional

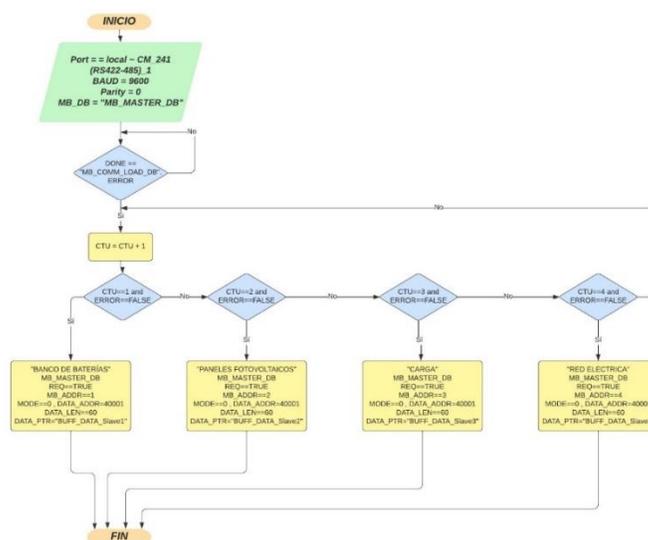
Nota. En la tabla se muestra las variables que proporciona el medidor DDS1946-2P.

Diseño del programa de monitoreo en TIA PORTAL

La programación Ladder es un lenguaje de programación utilizado en controladores lógicos programables, cuya ventaja para el programador radica en la manera de visualizar la ejecución del programa. En la Figura 29 se muestra el diagrama de flujo del programa de monitoreo de TIA PORTAL, en donde se define la secuencia de comunicación de los equipos.

Figura 29

Diagrama de flujo



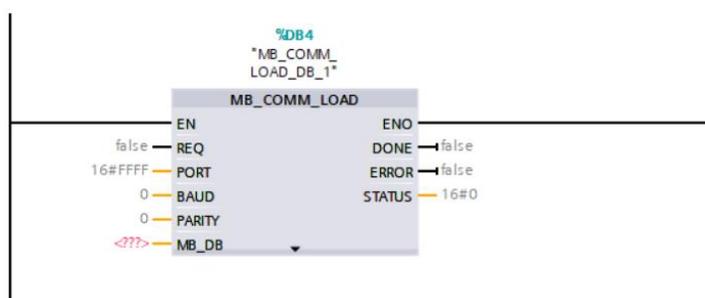
Nota. En la figura se muestra el diagrama de flujo de la programación del monitoreo en TIA PORTAL.

Bloque de comunicación (MB_COMM_LOAD)

Este bloque de instrucción configura un puerto para comunicación utilizando el protocolo Modbus RTU, dicho bloque de comunicación puede ser usado para controlar el módulo de comunicación CM1241 RS485 o CM1241 RS232, en la Figura 30 se muestra el bloque de comunicación.

Figura 30

Bloque de comunicación



Nota. En la figura se muestra el bloque de comunicación.

A continuación, se muestra la descripción los parámetros del bloque MB_COMM_LOAD:

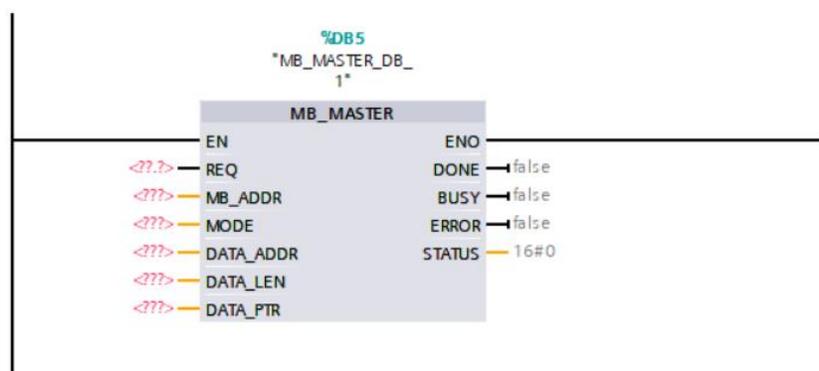
- **REQ:** Ejecución de la instrucción en un flanco ascendente.
- **PORT:** ID del puerto de comunicaciones.
- **BAUD:** Selección de velocidad de entrega de datos en baudios.
- **PARITY:** Selección de paridad.
- **MB_DB:** Es la referencia al bloque de datos "MB_MASTER" o "MB_SLAVE".
- **DONE:** Ejecución completa sin errores de las instrucciones.
- **ERROR:** Errores, (0: Ningún error detectado, 1: Indica que un error fue detectado)
- **STATUS:** Código de error de configuración de puerto.

Bloque Maestro (MB_MASTER)

Este bloque de instrucción permite que el programa se comunique como maestro MODBUS, utilizando un módulo de comunicación (CM) o una tarjeta de comunicación (CB); permitiendo la comunicación con varios esclavos, en la Figura 31 se muestra el bloque maestro.

Figura 31

Bloque maestro



Nota. En la figura se muestra el Bloque Maestro MB_MASTER.

A continuación, se muestra la descripción los parámetros del bloque MB_MASTER:

- **REQ:** *Entrada de solicitud. (0: Sin solicitud, 1: Solicitud de transmisión de datos)*
- **MB_ADDR:** *Dirección del MODBUS RTU.*
- **MODE:** *Selección de modo en donde se especifica lo que se va a realizar ya sea lectura, escritura o diagnóstico.*
- **DATA_ADDR:** *Dirección de inicio en el esclavo en donde se especifica la dirección de inicio de los datos a acceder en el esclavo Modbus.*
- **DATA_LEN:** *Datos donde se especifica el número de bits o palabras a los que se va a acceder en esta petición.*
- **DATA_PTR:** *Señala el DB o la dirección de memoria de bits de la CPU para los datos que se van a escribir o leer.*

Para la adquisición de datos se creó un vector, donde se establecen los espacios de almacenamiento que contienen los datos correspondientes a las variables medidas, como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Vector de almacenamiento de datos

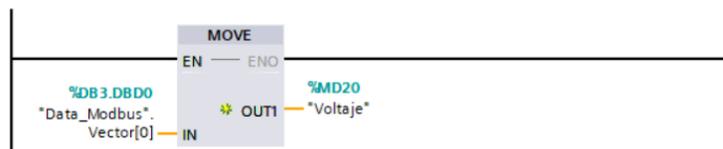
Data_Modbus										
	Name	Data type	Offset	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Vector	Array[0..10] ...	0.0		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Vector[0]	Real	0.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Vector[1]	Real	4.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Vector[2]	Real	8.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Vector[3]	Real	12.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Vector[4]	Real	16.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Vector[5]	Real	20.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Vector[6]	Real	24.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Vector[7]	Real	28.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Vector[8]	Real	32.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Vector[9]	Real	36.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	Vector[10]	Real	40.0	0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Nota. En la figura se muestra el vector que almacena los datos correspondientes a las variables medidas.

- **DONE:** (0: Transacción no completada, 1: Transacción completada sin error)
- **BUSY:** (0: Ninguna transacción "MB_MASTER" en curso, 1: Transacción "MB_MASTER" en curso)
- **ERROR:** (0: Sin error, 1: Error, el código de error se indica mediante el parámetro STATUS)
- **STATUS:** Código de la condición de ejecución.

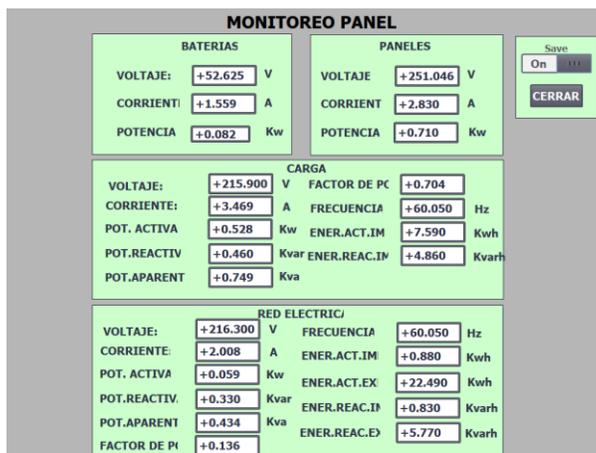
Bloque MOVE (Move value)

Se utiliza el bloque MOVE para transferir el contenido del operador en la entrada IN al operador en la salida OUT. Del vector de almacenamiento de las variables de entrada asignamos la salida correspondiente a cada dirección de lectura, en la Figura 33 se muestra el bloque MOVE.

Figura 33*Bloque MOVE*

Nota. En la figura se muestra el bloque move value.

Para la visualización y la adquisición de datos se creó una pantalla virtual HMI la cual se puede observar en la Figura 34, en donde se visualiza todas las variables de los equipos de medición, posee una slider para que comience a grabar los datos y los almacene en un archivo con extensión CVS. El programa completo se muestra en el Anexo M.

Figura 34*Pantalla virtual HMI*

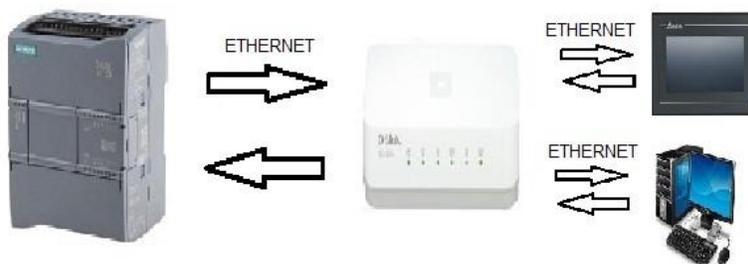
Nota. En la figura se muestra la pantalla virtual HMI.

Diagrama de conexión entre PLC y equipos de visualización

La comunicación entre controlador lógico programable y los equipos de visualización se realiza mediante protocolo ethernet, como se muestra en la Figura 35; la cual permite visualizar las variables de los tags asignados a cada variable de medida.

Figura 35

Diagrama de conexión PLC y Equipos de visualización



Nota. En la figura se muestra el diagrama de conexión de los equipos de visualización mediante cable ethernet.

Diseño de la interfaz HMI

La interfaz se visualizará en la pantalla Delta, para el diseño y programación de dicha interfaz se utiliza el software DOPSoft, en el cual se puede configurar la visualización que desee el usuario, desde la cantidad de ventanas hasta el color de cada una de ellas. Para la programación se utiliza bloques que permiten mostrar los valores tipo real enviados desde el PLC, la programación se detalla en el Anexo N. En el presente trabajo se estableció las siguientes pantallas: Inicio, Menú, Monitoreo de generación fotovoltaico, monitoreo del banco de baterías, monitoreo de la interacción entre la red y el sistema fotovoltaico de autoconsumo finalizando con el monitoreo del consumo de las cargas conectadas al sistema.

Pantalla de Inicio

En la Figura 36 se observa el diseño de la pantalla de Inicio, en la cual se encuentra el escudo y logo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, el TEMA del presente trabajo, los ESTUDIANTES PARTICIPANTES, el DIRECTOR del proyecto, y en la parte baja un botón de CONTINUAR para avanzar a la siguiente pantalla.

Figura 36

Pantalla de Inicio



Nota. En la figura se muestra el diseño de la pantalla de inicio, que se muestra en el HMI.

Pantalla de Menú

En la Figura 37 se observa el diseño de la pantalla de Menú, en la cual se encuentra el escudo y logo de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se encuentran los botones para acceder a las siguientes pantallas, ya sea para la visualización de los datos de la red, carga, baterías y paneles fotovoltaicos, regresar a la pantalla de Inicio o para la configuración de la pantalla HMI.

Figura 37

Pantalla de Menú



Nota. En la figura se muestra el diseño de la pantalla de menú, que se muestra en el HMI.

Pantalla de Monitoreo de la interacción entre la red y el sistema fotovoltaico

En la Figura 38 se observa el diseño de la pantalla para monitorear la interacción entre la red y el sistema fotovoltaico, donde se encuentra el título de los datos monitoreados, las variables que proporciona el medidor, el nombre de la variable, el valor y su unidad. Y en la parte baja un botón para regresar a la pantalla de Menú.

Figura 38

Pantalla de Monitoreo de la interacción de la red y el sistema fotovoltaico



Nota. En la figura se muestra el diseño de la pantalla de monitoreo de la interacción entre la red y el sistema fotovoltaico, que se muestra en el HMI.

Pantalla de Monitoreo de los paneles fotovoltaicos y las baterías

En la Figura 39 se observa el diseño de la pantalla para monitorear los paneles fotovoltaicos y las baterías, donde se encuentra el título de los datos monitoreados, las variables que proporciona el medidor, el nombre de la variable, el valor y su unidad. Y un botón para regresar al Menú.

Figura 39

Pantalla del Monitoreo de los paneles fotovoltaicos y las baterías



Nota. En la figura se muestra el diseño de la pantalla de monitoreo de los paneles fotovoltaicos y las baterías, que se muestra en el HMI.

Pantalla de Monitoreo de la carga aplicada al sistema

En la Figura 40 se observa el diseño de la pantalla para monitorear la carga aplicada, donde se encuentra el título de los datos monitoreados, las variables que proporciona el medidor, el nombre de la variable, el valor y su unidad. Y un botón para regresar al Menú.

Figura 40

Pantalla del Monitoreo de la carga aplicada al sistema



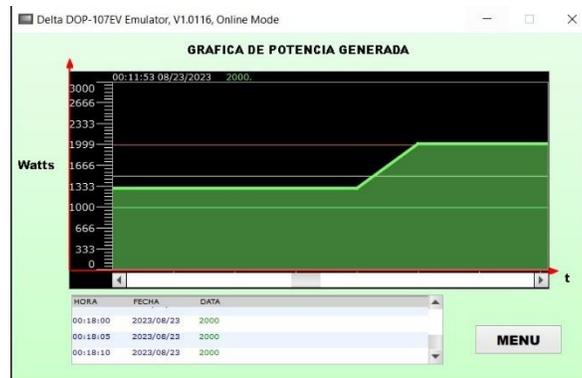
Nota. En la figura se muestra el diseño de la pantalla de monitoreo de la carga aplicada al sistema, que se muestra en el HMI.

Pantalla de Gráfica

En la Figura 41 se observa el diseño de la pantalla para visualizar la curva de potencia generada por el sistema, además de un botón en la parte baja para regresar al menú.

Figura 41

Pantalla de Gráfica



Nota. En la figura se muestra el diseño de la pantalla de gráfica donde se visualiza la curva de potencia generada por el sistema.

Diseño e Implementación del tablero

En el gabinete correspondiente a la tesis anterior se incluyó dos contadores bidireccionales para C1 y C2, también un medidor de corriente continua para C3 y C4, con sus respectivos transductores de efecto Hall, como se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Ubicación de los medidores en el gabinete



Nota. En la figura se muestra los contadores instalados en el gabinete correspondiente a la tesis anterior.

Para la implementación de todos los elementos de comunicación y visualización, se estableció un Gabinete Metálico de pared cuyas dimensiones son 400 x 300 x 200 mm, de la marca BEAUCOUP, en la tapa del gabinete se realizó un corte acorde a las medidas de la pantalla DELTA, en la cual se visualizará los datos, la Figura 43 muestra la ubicación de la pantalla en la tapa del gabinete.

Figura 43

Ubicación de la pantalla DELTA en la tapa del gabinete



Nota. En la figura se muestra la ubicación de la pantalla HMI Delta.

En el interior del gabinete se instaló Rieles DIN para el anclaje de los elementos como se presenta en la Figura 44, los elementos son el PLC con el módulo de comunicación, la fuente de alimentación DELTA, un HUB, una porta fusible, tres borneras y un tomacorriente.

Figura 44

Instalación de los elementos en el gabinete



Nota. En la figura se muestra la ubicación de los elementos dentro del gabinete.

Capítulo IV

Pruebas y Análisis de Resultados

En este capítulo se realizó diferentes pruebas de funcionamiento y comunicación al sistema de monitoreo de energía implementado, tales como pruebas de funcionamiento de los equipos de medición, comunicación de los equipos de medición con el PLC, comunicación en simultaneo de los equipos de medición con el PLC, comunicación entre el PLC y la pantalla HMI, visualización de datos en la pantalla HMI y adquisición de datos.

Pruebas de conexión y funcionamiento de los equipos de medición

A los medidores denominados como C1, C2 y C3/C4 se les realizó la conexión pertinente para la verificación de su correcto funcionamiento y para la visualización de las variables en su display.

Pruebas de comunicación de los equipos de medición por separado y en simultaneo con el PLC

A cada equipo de medición por separado se realizó la conexión RS485 con el PLC, para verificar si existe comunicación y determinar las direcciones de las variables que envían cada uno de los medidores, como se muestran en la Figura 45 los tres equipos muestran el símbolo de comunicación.

Figura 45

Equipos de medición estableciendo comunicación con el PLC



Nota. En la figura se muestra a los medidores C1, C2, C3 y C4, estableciendo comunicación mediante RS485 con el PLC.

A continuación, se configuró cada uno de los equipos de medición, los tres equipos deben ser configurados a los mismos baudios, paridad y bits, pero con direcciones diferentes para este caso se configuró a 9600 baudios, sin paridad, con 8 bits, 1 bit de parada y en modo salida RTU.

Las direcciones se establecieron de la siguiente manera al equipo C1 con la dirección 5, al equipo C2 con la dirección 4 y al equipo C3/C4 con la dirección 1 para C3 y automáticamente el equipo establece la dirección 2 para C4. La configuración se encuentra detallada en la Tabla 6.

Tabla 6

Tabla de configuración de equipos de medición

Configuración	C1	C2	C3	C4
Dirección	5	4	1	2
Baudios	9600	9600	9600	9600
Paridad	Sin paridad	Sin paridad	Sin paridad	Sin paridad
Bits	8	8	8	8
Bits de parada	1	1	1	1
Modo	RTU	RTU	RTU	RTU

Nota. En la tabla se muestra la configuración de cada uno de los equipos de medición.

Una vez configurados los equipos de medición se procede a realizar la topología de comunicación tipo bus, para verificar si existe comunicación estable y sin errores entre los equipos de medición y el PLC.

Pruebas de funcionamiento y visualización de variables en la pantalla HMI

Para la comunicación entre el PLC y la pantalla HMI se utilizó un cable de datos, con lo cual se realizó una pantalla de prueba para verificar su correcto funcionamiento, como se muestra en la Figura 46.

Figura 46

Pantalla de prueba del HMI Delta



Nota. En la figura se muestra la conexión del PLC con la pantalla HMI Delta para realizar la prueba de funcionamiento de la pantalla.

Mediante el PLC se envió las variables proporcionadas por los medidores hacia la pantalla HMI, en donde se comprobó que los datos enviados se muestran correctamente, con sus unidades y títulos correspondientes, por lo tanto, la configuración de la pantalla es la adecuada para una práctica interactiva, los datos enviados se muestran en la Figura 47.

Figura 47

Visualización de datos de prueba en el HMI Delta



Nota. En la figura se muestra unas variables enviadas por el PLC hacia la pantalla HMI Delta para comprobar la visualización de los datos.

Pruebas de adquisición de datos

Para verificar su correcto funcionamiento se realizó dos pruebas de monitoreo, en la primera prueba se encendió todo el sistema, los paneles fotovoltaicos, el banco de baterías y la interacción con la red, en este caso no se aplicó una carga externa al sistema. Para una segunda prueba se encendió todo el sistema y se aplicó una carga externa al sistema.

Comparación de bases de datos

El Inversor posee su propio software de monitoreo, el cual permite la adquisición de datos a una hoja de Excel con un tiempo de muestreo de un minuto, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Datos obtenidos mediante el software propio del Inversor

Device mode	Time	Grid voltage [V]	PV input power [W]	Grid frequency [Hz]	PV input voltage [V]	Load power [W]	Battery voltage [V]
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:16:11	215.9	858	60.0	240.2	545	53.3
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:15:22	216.7	906	60.0	240.1	532	53.4
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:14:33	216.4	972	60.0	240.3	547	53.7
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:13:19	216.0	1073	59.7	229.1	540	54.2
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:12:29	216.0	1051	60.0	248.8	538	53.9
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:11:16	216.3	1024	59.8	239.4	529	53.8
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:10:26	217.0	1039	59.9	241.4	529	54.0
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:09:11	216.6	1192	59.9	236.5	380	54.7
Grid-tie with backup	2023-08-22 14:08:22	217.1	1053	59.8	241.2	370	54.5

Nota. En la tabla se presentan una parte de los datos obtenidos mediante el software propio del Inversor.

En el sistema de monitoreo implementado en este proyecto de igual manera permite la adquisición de datos en una hoja de Excel, con la diferencia que este sistema de monitoreo posee una mayor cantidad de variables de cada uno de los puntos, el banco de baterías, los paneles fotovoltaicos, interacción con la red y la carga aplicada al sistema; con un tiempo de muestro de 10 segundos, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Datos obtenidos mediante el sistema de monitoreo implementado

FECHA	HORA	Voltaje_B [V]	Voltaje_P [V]	Potencia_P [kW]	PotActivaC [Kw]	VoltajeR [V]	FrecuenciaR [Hz]
22/8/2023	14:08:15	54,19337	241,3541	1,042661	0,3288	216,9	59,98
22/8/2023	14:08:25	54,1191	241,0938	1,048164	0,3304	216,8	59,98
22/8/2023	14:08:35	54,18204	242,4421	1,063903	0,3338	216,9	60
22/8/2023	14:08:45	54,13799	244,9388	1,058152	0,34	217,2	60,01
22/8/2023	14:08:55	54,04483	245,6196	1,070293	0,3549	216,9	60
22/8/2023	14:09:05	54,15623	247,7311	1,12856	0,3672	216,6	60
22/8/2023	14:09:15	54,21854	240,8354	1,207259	0,3804	216,7	59,97
22/8/2023	14:09:25	54,37777	235,4946	1,339485	0,3952	216,6	59,97
22/8/2023	14:09:35	54,4533	247,0334	1,329069	0,4098	217,1	59,97

Nota. En la tabla se presentan una parte de los datos obtenidos mediante el sistema de monitoreo implementado en este proyecto.

A continuación se realiza una comparación entre los datos obtenidos del software propio con el sistema de monitoreo implementado, como se muestra en la Tabla 9. En donde se puede apreciar que los valores medidos entre los dos sistemas se encuentran próximos, dando como resultado un error máximo de 1.2 %.

Tabla 9*Comparación de datos obtenidos*

Variable	Sistema	Sistema	Error
	Propio	Implementado	
Voltaje red	216.6 V	216.6 V	0%
Potencia Paneles fotovoltaicos	1192 W	1207.25	1.2%
Frecuencia red	59.9 Hz	59.97 Hz	0.1%
Voltaje paneles fotovoltaicos	236.5 V	235.49 V	0.4%
Potencia Carga	380 W	380.4 W	0.1%
Voltaje Baterías	54.7 V	54.21 V	0.8%

Nota. En la tabla se presentan una parte de los datos obtenidos mediante el sistema de monitoreo implementado en este proyecto.

Análisis de resultados

En base a los datos obtenidos del sistema propio del inversor y del sistema de monitoreo implementado, se puede apreciar que el sistema de monitoreo implementado en este proyecto muestra más variables y su tiempo de muestreo es de 5 segundos, por lo tanto, se obtiene datos en menor tiempo lo que permite monitorear su comportamiento con más detalle.

Análisis energético

En el presente proyecto se procede a realizar un análisis energético mediante el uso de un diagrama de Sankey, a partir de las potencias obtenidos del sistema de monitoreo propio del inversor y del sistema de monitoreo implementado, en un tiempo determinado, en dos diferentes pruebas, una con carga aplicada al sistema y otro sin carga.

Sistema fotovoltaico sin carga. En la Tabla 10 se presenta la comparación de los valores de las potencias tomados del sistema de monitoreo propio del inversor y del sistema de monitoreo implementado, en un instante determinado.

Tabla 10

Comparación de potencias obtenidas del sistema fotovoltaico sin carga

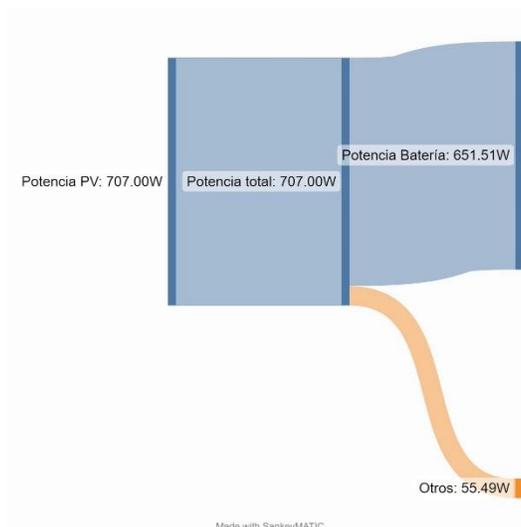
Sistema	Potencia Paneles [W]	Potencia Red [W]	Potencia	
			Carga Baterías [W]	Otros [W]
Monitoreo Propio	707.00	-	651.51	55.49
Monitoreo Implementado	853.11	48.40	659.58	241.97

Nota. En la tabla se muestra una comparación de las potencias obtenidas por los sistemas de monitoreo.

Los diagramas de Sankey del sistema fotovoltaico operando sin carga se presentan en la Figura 48 y Figura 49.

Figura 48

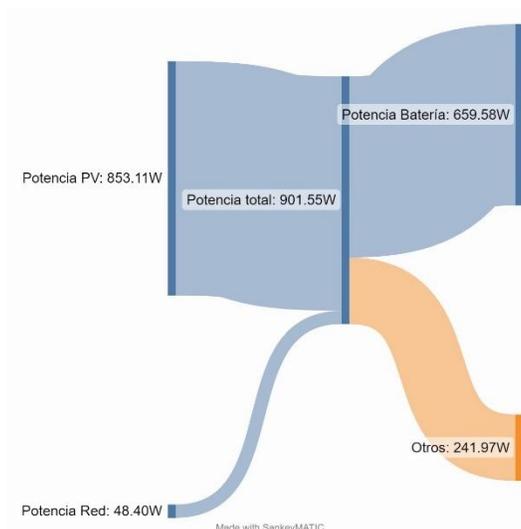
Diagrama de Sankey sistema fotovoltaico sin carga del sistema propio del inversor



Nota. En la figura se muestra el diagrama de Sankey del sistema fotovoltaico sin carga con los datos obtenidos del sistema de monitoreo propio del Inversor.

Figura 49

Diagrama de Sankey sistema fotovoltaico sin carga del sistema de monitoreo implementado



Nota. En la figura se muestra el diagrama de Sankey del sistema fotovoltaico sin carga con los datos obtenidos del sistema de monitoreo implementado en este proyecto.

Una vez analizado los datos mediante el diagrama de Sankey; se puede determinar que la suma de la potencia de los paneles, más la potencia entregada por la red al sistema; es igual a la suma de la potencia de las baterías cuando se encuentran en carga y más la potencia de otros que se puede definir como las pérdidas características que posee el inversor. Con el sistema implementado ya se puede medir la potencia que se está absorbiendo de la red, en este caso 40.8 W.

Sistema fotovoltaico con carga. En la Tabla 11, se presenta la comparación de los valores de las potencias tomados del sistema de monitoreo propio del inversor y del sistema de monitoreo implementado, en un instante determinado.

Tabla 11

Comparación de potencias obtenidas del sistema fotovoltaico con carga

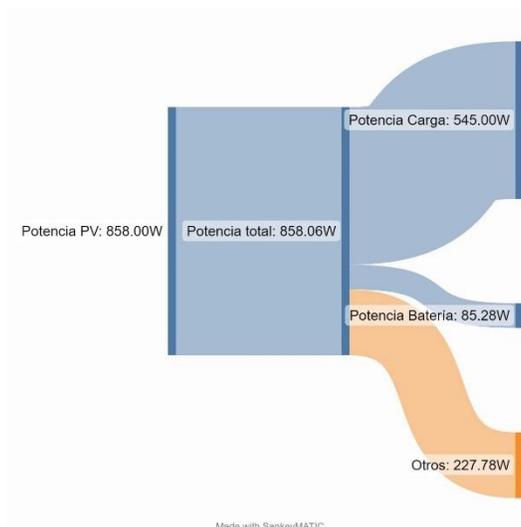
Sistema	Potencia Paneles [W]	Potencia		
		Potencia Red [W]	Carga Baterías [W]	Otros [W]
Monitoreo Propio	858.00	-	545.00	227.78
Monitoreo Implementado	1339.48	48.70	395.20	229.02

Nota. En la tabla se muestra una comparación de las potencias obtenidas por los sistemas de monitoreo.

En la Figura 50 y Figura 51 se muestran los diagramas de Sankey del sistema fotovoltaico con carga

Figura 50

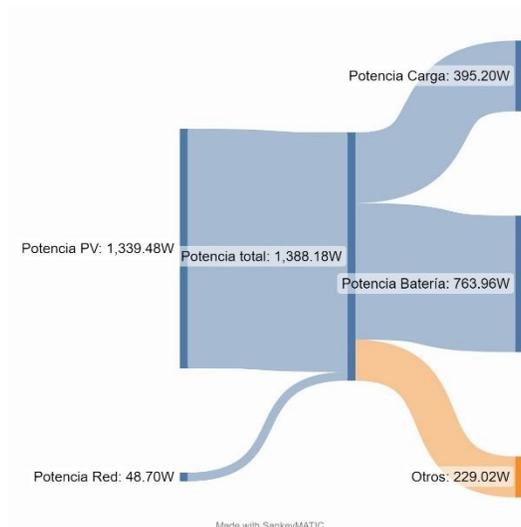
Diagrama de Sankey sistema fotovoltaico con carga del sistema propio del inversor



Nota. En la figura se muestra el diagrama de Sankey del sistema fotovoltaico con carga con los datos obtenidos del sistema de monitoreo propio del Inversor.

Figura 51

Diagrama de Sankey sistema fotovoltaico con carga sistema de monitoreo implementado



Nota. En la figura se muestra el diagrama de Sankey del sistema fotovoltaico con carga con los datos obtenidos del sistema de monitoreo implementado en este proyecto.

Una vez analizado los datos mediante el diagrama de Sankey; se puede determinar que la suma de la potencia de los paneles, más la potencia entregada por la red al sistema; es igual a la suma de la potencia de las baterías cuando se encuentran en carga, más la potencia de la carga externa aplicada al sistema y más la potencia de otros que se puede definir como las pérdidas características que posee el inversor.

El uso que se da al sistema implementado tiene como objetivo mejorar y potenciar la capacidad de aprendizaje, relacionados con el monitoreo de variables eléctricas en sistemas de generación fotovoltaica con conexión a red y almacenamiento. En el Anexo O, se indica las guías de laboratorio elaboradas para ser implementadas como prácticas de la asignatura respectiva.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se implementó un sistema de monitoreo de energía, para el sistema de generación fotovoltaica conexión a red con autoconsumo, mediante protocolo Modbus RS- 485 con tres contadores de energía con el fin de sectorizar los puntos de medición, más la implementación de una pantalla HMI, en ella presenta una interfaz amigable con el usuario, para la visualización en tiempo real de todas las variables eléctricas generadas y la generación de una base de datos en Excel con un intervalo de medición de 5 segundos.
- Se implementó tres contadores de energía en el sistema fotovoltaico conexión a red con almacenamiento, dos de ellos específicamente son de energía alterna AC y uno de energía continua DC, ampliando significativamente la cantidad de variables eléctricas a ser cuantificadas de 10 a 26 variables, los contadores de energía AC se encargan del monitoreo entre el sistema fotovoltaico con la red, y el consumo final, el contadores DC consta de dos canales de medición que permiten el monitoreo simultaneo de las baterías y la energía producida por los paneles fotovoltaicos.
- Se logró identificar los beneficios y mejoras que aporta un protocolo Modbus a un sistema fotovoltaico conexión a red con almacenamiento. Ya que por su estructura de maestro esclavo, permite la conexión en paralelo de varios esclavos al mismo tiempo, más su protocolo abierto, se logró la interacción entre los tres contadores con el PLC para la adquisición de datos eléctricos con mayor facilidad.
- Se realizó el sistema de monitoreo fotovoltaico por medio de programas hombre-máquina, con la ayuda del software Tía portal para la adquisición de datos usando del protocolo modbus, y el software DOPSoft para el diseño de las diferentes interfaces del

HMI con el fin de extraer de forma visual todas las variables eléctricas de los diferentes contadores de energía instalados.

- Se realizó el análisis energético con la ayuda de los diagramas Sankey en donde se logró relacionar la potencia generada por los paneles fotovoltaicos, más la potencia de la red como energía de entrada y las potencias de salidas, al consumo por parte de la potencia de carga de las baterías y la carga anclada al sistema, en el proceso se logró identificar un porcentaje de pérdidas que se las relaciona como pérdidas características del inversor.

Recomendaciones

- En referencia a la selección de medidores de energía en DC es fundamental conocer que el voltaje en vacío en los paneles puede subir del valor nominal por las condiciones de irradiancia solar, por lo que su rango de medición deberá ser un valor mayor del arreglo fotovoltaico.
- Se recomienda la manipulación delicada de los equipos de medición ya que son susceptibles a perturbaciones eléctricas, que interfieren con el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo.
- Para futuras mejoras del sistema, implementar la medición bidireccional con el fin de visualizar la carga y descarga de las baterías con la implementación de TC bidireccionales.
- Entender los manuales de los fabricantes de los diferentes equipos adquiridos con el fin de comprender su funcionamiento, conexiones, y su estructura de programación.
- Antes de realizar las prácticas se recomienda revisar los esquemas eléctricos y de comunicación que se adjuntan como anexos en esta tesis.

Bibliografía

- Acrel. (2023). *Jiangsu Acrel Electrical Manufacturing*. Obtenido de https://acrel-electric.com.ar/product/djsf1352-rn_din_rail_dc_energy_meter?gclid=EAlalQobChMI1sjmtKvugAMV9qBaBR3u8gLgEAAYA SAAEgJ4QPD_BwE
- Aparicio, M. P. (2015). *RADIACION SOLAR Y SU APROVECHAMIENTO ENERGETICO*. Sevilla España: Marcombo.
- Brown, C. A. (2010). Energía del Sol. *IEEE*, 8.
- D-Link. (2021). *D-Link*. Obtenido de <https://la.dlink.com/la/switches-hogar/des-1005a/>
- Elecnova. (2019). *Elecnova*. Obtenido de <https://www.sfere-elec.net/product/DDSF1946-2P-din-rail-mounted-energy-meter-44.html>
- Electronics, D. (2020). *Delta Electronics*. Obtenido de <https://www.deltapsu.com/en/products/din-rail-power-supply/DRP024V060W1AZ>
- Electronics, D. (2023). *Delta Electronics*. Obtenido de <https://www.deltaww.com/en-us/products/Touch-Panel-HMI-Human-Machine-Interfaces/4674>
- Escobar, A., Andrade, C., & Hincapié, R. (2010). *CONEXIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO A LA RED ELÉCTRICA*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Espinoza, M. (2020). *COMUNICACIONES INDUSTRIALES*. Valencia: (PEDIDO FIRME) SINTESIS, ED.
- Guerrero, V. (2020). *COMUNICACIONES INDUSTRIALES*. ESPAÑA: MARCOMBO.
- Guevera, J. A. (2020). *Sistema de generación solar fotovoltaico aislado*. Madrid: Sistema de generación solar fotovoltaico aislado.
- La Fundación Internacional e Iberoamericana FIIAPP. (28 de Febrero de 2019). *FIIAPP*. Obtenido de https://www.fiiapp.org/blog_fiiapp/las-energias-renovables-y-su-relacion-con-el-cambio-climatico/

- Lalupú, H. A. (2013). *SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED*. Piura: Universidad Piura .
- Madrid, V. (2009). *ENERGIAS RENOVABLES (Fundamentos, Tecnologías y aplicaciones)*. Madrid España: Juan Vallejo.
- Martinez, J. (22 de 09 de 2017). *Centro de Formacion Tecnica para la industria*. Obtenido de sistema SCADA: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>
- Miranda, C. V. (2019). *Comunicación Industrial*. Madrid: Paraninfo.
- Peacefair. (2021). *The Sun Pays*. Obtenido de [https://thesunpays.com/downloads/files/Battery%20SOC%20meters/PZEM-003%20017User%20Manual\(MEDC300V\).pdf](https://thesunpays.com/downloads/files/Battery%20SOC%20meters/PZEM-003%20017User%20Manual(MEDC300V).pdf)
- Penin, R. (2007). *Sistemas SCADA - Guía Práctica*. España: Marcombo.
- Perez, N. (2022). *Medidor de Energía DDS518L kWh 5-32A AC 220V 50Hz Riel Din*. Obtenido de <https://www.tienda8.cl/potencia-y-energia-ac/medidor-de-energia-dds518l-kwh-5-32a-ac-220v-50hz-riel-din>
- Rodríguez, A. (2019). *Sistema SCADA*. MADRID : ALFAOMEGA.
- Samaniego, D. (2 de 08 de 2016). *Universidad Politécnica de Cuenca* . Obtenido de <https://dSPACE.upS.edu.ec/bitstream/123456789/12893/1/UPS-CT006717.pdf>
- Seneca. (2023). *Seneca*. Obtenido de <https://www.seneca.it/es/linee-di-prodotto/energia-e-misure-elettriche/trasformatori-di-corrente-serie-t201/t201dc/>
- Siemens. (2022). *Siemens*. Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7212-1BE40-0XB0>
- Siemens. (2023). *Siemens*. Obtenido de <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6es7241-1ch32-0xb0/communication-module-cm-1241-rs422-485?pid=59426&mlfb=6ES7241-1CH32-0XB0&mfn=ps&lc=en-GB>

Siihssa, E. (11 de 09 de 2022). *suhissa*. Obtenido de SISTEMAS DE MONITOREO:

<https://suhissa.com.mx/sistemas-de-monitoreo/>

Soto, A. (1 de 09 de 2019). *Electronova*. Obtenido de

<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/10963/fichero/Archivos%252F03+Contadores+de+Energ%C3%ADa+El%C3%A9ctrica.pdf>

Sunwise. (22 de 07 de 2023). *blog.sunwise*. Obtenido de <https://blog.sunwise.io/ventajas-monitoreo-solar/>

Vega de Kuyper, J. C. (2014). *Fuentes de energía, renovables y no renovables*. Barcelona.

España: Marcombo, Ediciones Técnicas.

Anexos