



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones



Carrera de Ingeniería Electromecánica

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Tema: “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”

Expositores

Hachi Toapanta, Rolando Javier y Remache Jácome, Darwin Sebastián

Director de proyecto:

Ing. Jiménez León, Mario Polibio

**Latacunga
Agosto, 2023**



CONTENIDO



- Planteamiento del problema



- Objetivos



- Fundamentación Teórica



- Diseño e Implementación



- Pruebas y Análisis de resultados



- Conclusiones



- Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sistemas de energía fotovoltaica carecen de equipos adicionales para el control y monitoreo de las variables.

Se pudo identificar acciones que permiten actualizar el sistema ya implementado.

Carece de una intercomunicación RS485 Modbus utilizado para la transmisión de datos serie



Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de energía.



Limitada capacidad de análisis de datos

Comunicación deficiente por falta de interconexión en protocolo abierto.

Incapacidad para cuantificar la energía bidireccional.



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.

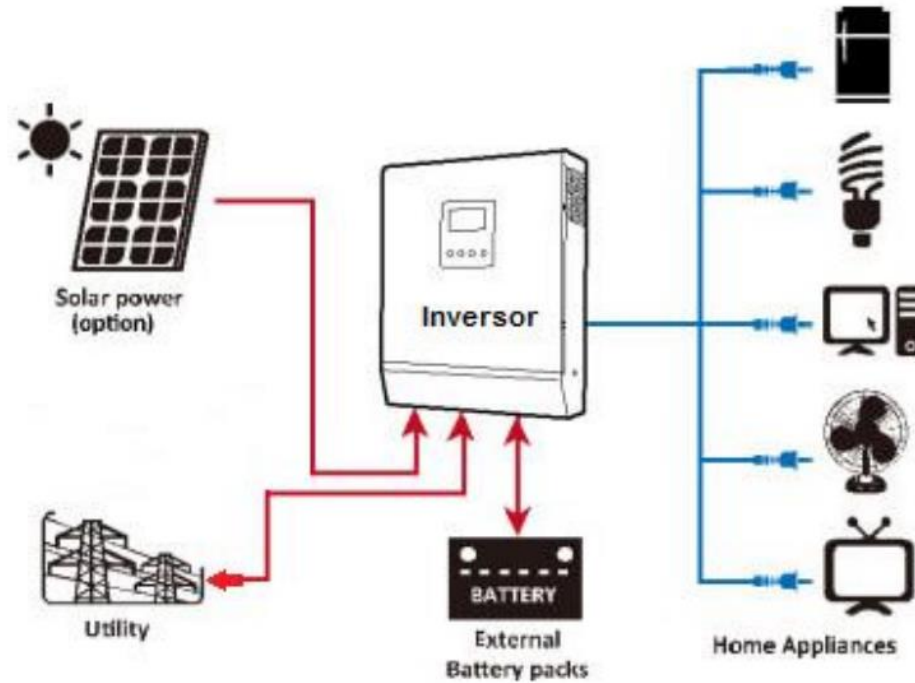
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 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.



Fundamentación Teórica

Sistema de generación solar fotovoltaica conexión a red con almacenamiento



Sistemas de Monitoreo de Solar

Un sistema de monitoreo permite la medición de la energía solar generada, como de autoconsumo, por un sistema fotovoltaico en tiempo real.

Su objetivo es obtener, un resumen de la funcionalidad y rendimiento general del sistema fotovoltaico.

El sistema de monitoreo solar, se lo considera como una herramienta de visualización de variables eléctricas



Red de comunicación industrial

La comunicación se interpreta como el intercambio de información entre dos o más partes, involucrando a un tercero, que la recibe, procesa y la almacena o descarta según su idoneidad en el proceso.

Modbus

Modbus es un protocolo de comunicación abierto, que se deriva de una arquitectura maestro/esclavo y es ampliamente aceptado por su facilidad de uso y confiabilidad.

Maestro/Esclavo

El maestro siempre decide, cualquier comunicación solo funciona desde el maestro en dirección al esclavo. El maestro concede al esclavo los derechos que necesita.

El esclavo solo actúa cuando se lo pide el maestro, mientras que el maestro actúa libremente y sin pedirlo.

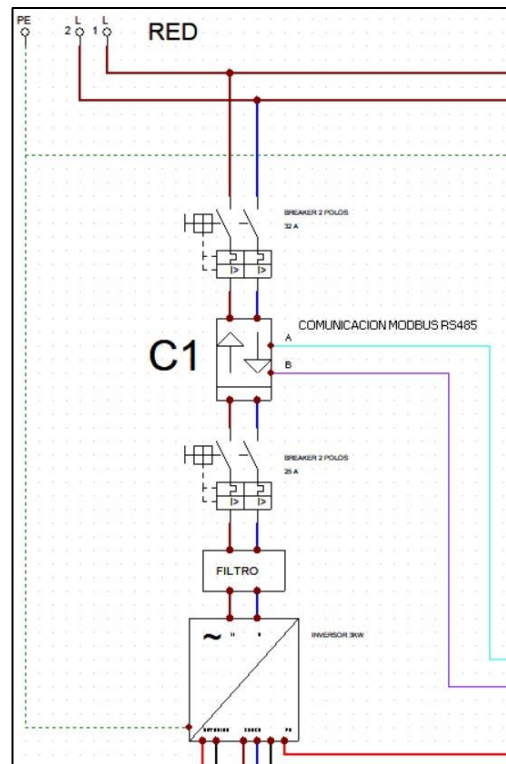


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Puntos de Monitorización

Se identifica 4 puntos importantes de monitorización:

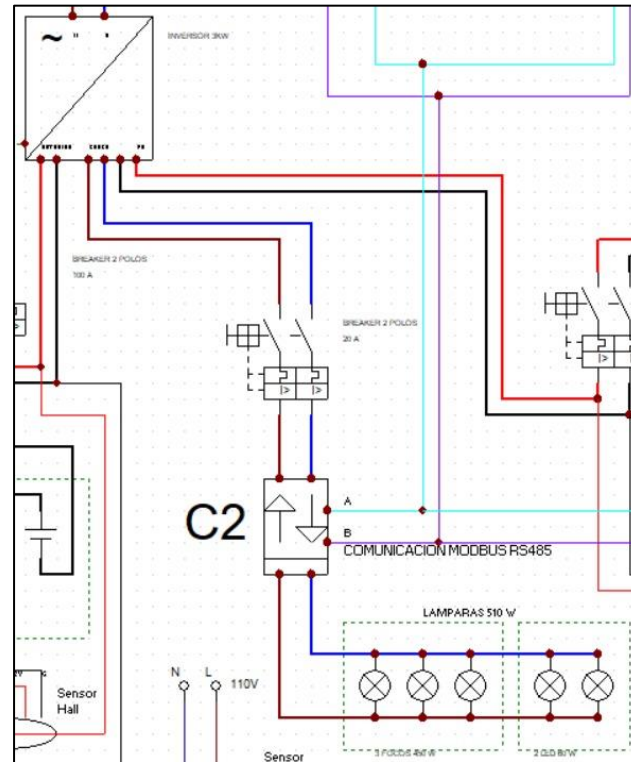
Punto C1: Interacción de la energía generada del sistema fotovoltaico con la red eléctrica.



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Puntos de Monitorización

Punto C2: Cuantifica el consumo de la carga anclada a todo el sistema

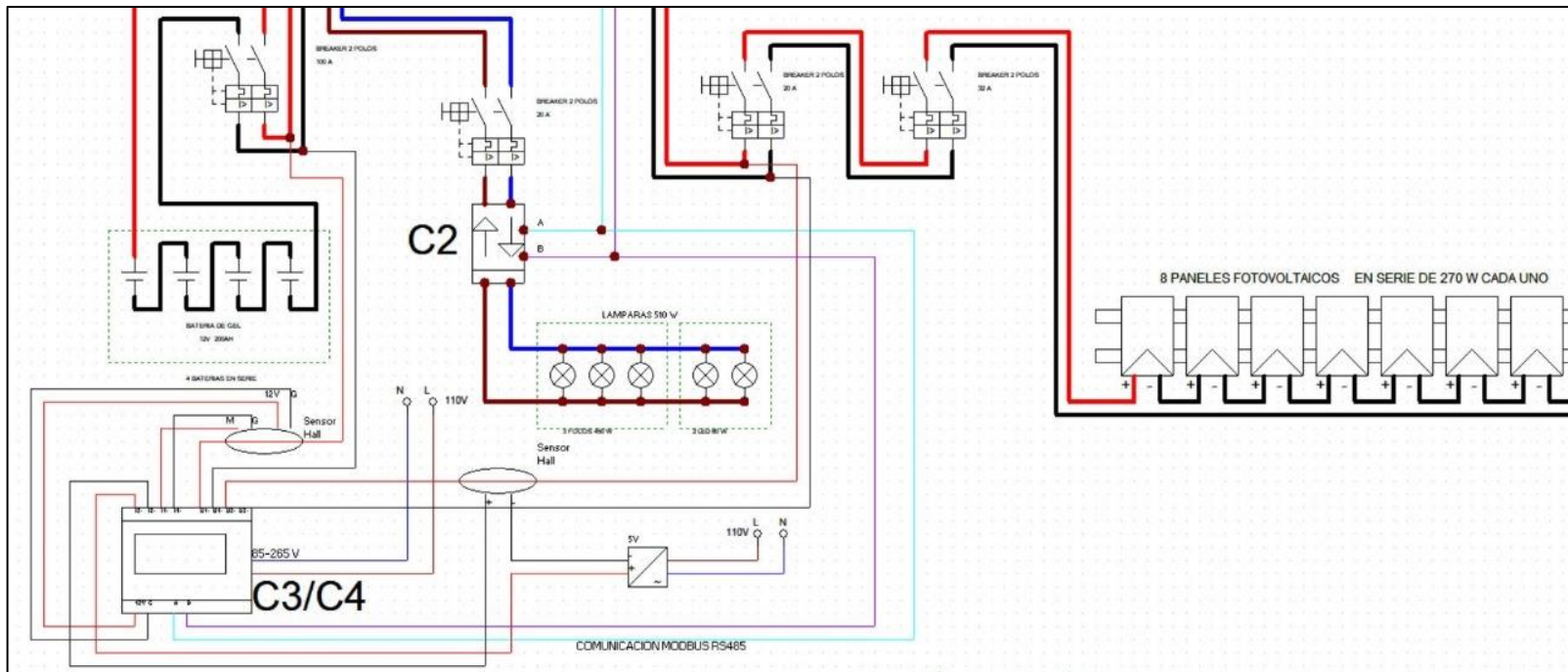


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Puntos de Monitorización

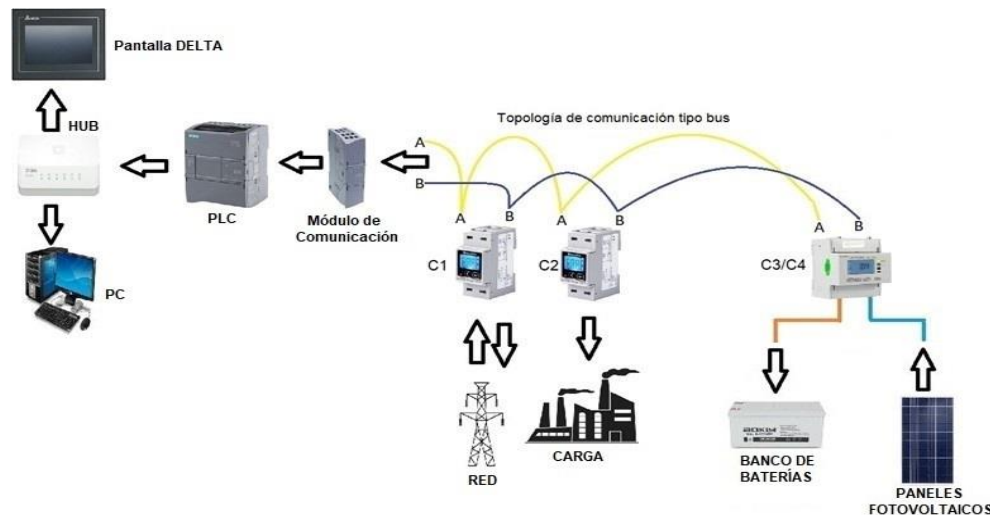
Punto C3: Encargado del monitoreo de las baterías y la carga de las mismas.

Punto C4: Monitorea la generación de los paneles solares.



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 y C3/C4 cada uno consta de puertos RS-485 para la comunicación.



Medidor de energía. (C1)

Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P



Variables del Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P

Voltaje	Frecuencia
Corriente	Factor de Potencia
Potencia Activa	Energía activa bidireccional (Importada y Exportada)
Potencia Reactiva	Energía reactiva bidireccional (Importada y Exportada)
Potencia Aparente	



Medidor de energía. (C2)

Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P



Variables del Medidor de Energía Monofásico Bidireccional DDS1946-2P

Voltaje	Frecuencia
Corriente	Factor de Potencia
Potencia Activa	Energía activa bidireccional (Importada)
Potencia Reactiva	Energía reactiva bidireccional (Importada)
Potencia Aparente	



Medidor de energía. (C3/C4)

Medidor de energía CC Acrel DJSF1352-RN-D



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

Banco de Baterías

Voltaje L1

Corriente L1

Potencia L1

Paneles Fotovoltaicos

Voltaje L2

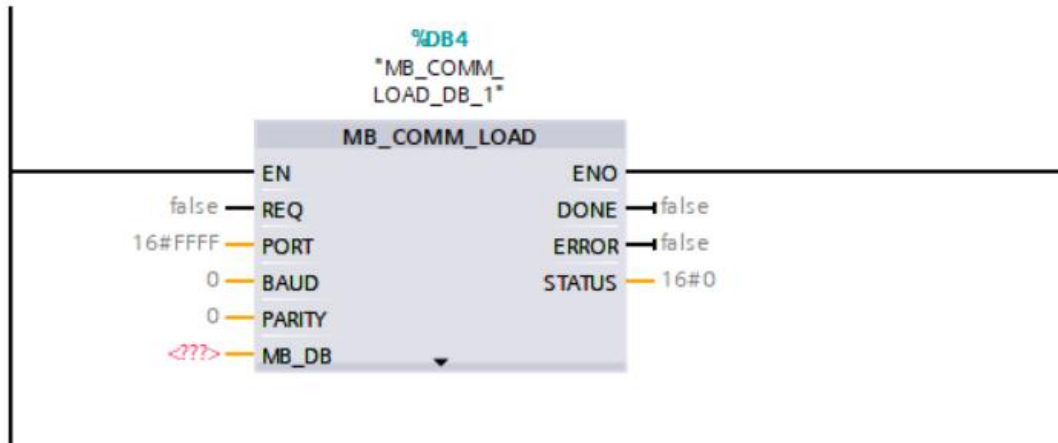
Corriente L2

Potencia L2



Diseño del programa de monitoreo en TIA PORTAL

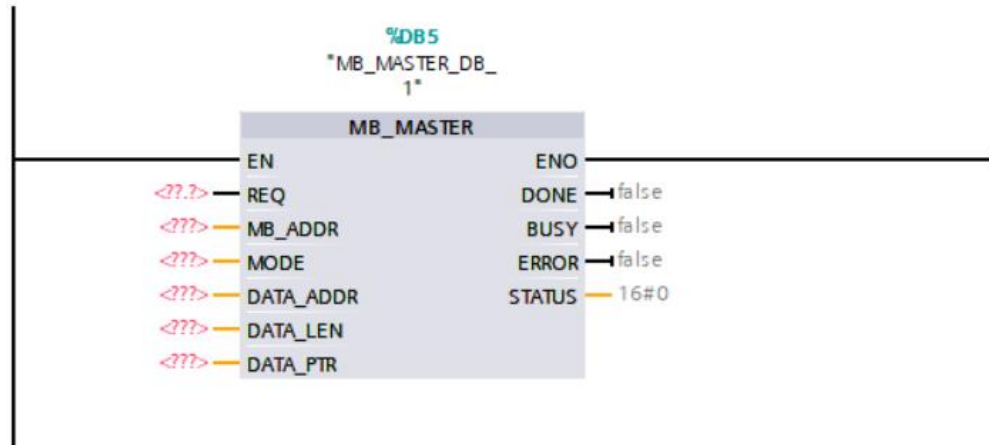
Bloque de comunicación



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.

Diseño del programa de monitoreo en TIA PORTAL

Bloque Maestro



Este bloque de instrucción permite que el programa se comunice como maestro MODBUS, utilizando un módulo de comunicación (CM); permitiendo la comunicación con varios esclavos

Diseño del programa de monitoreo en TIA PORTAL

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"/>	

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.



Diseño del programa de monitoreo en TIA PORTAL

Pantalla virtual HMI

MONITOREO PANEL

BATERIAS		PANELES	
VOLTAJE:	+52.625 V	VOLTAJE	+251.046 V
CORRIENTE:	+1.559 A	CORRIENT	+2.830 A
POTENCIA	+0.082 Kw	POTENCIA	+0.710 Kw

CARGA

VOLTAJE:	+215.900 V	FACTOR DE PC	+0.704
CORRIENTE:	+3.469 A	FRECUENCIA	+60.050 Hz
POT. ACTIVA	+0.528 Kw	ENER.ACT.IM	+7.590 Kwh
POT.REACTIV	+0.460 Kvar	ENER.REAC.IM	+4.860 Kvarh
POT.APARENT	+0.749 Kva		

RED ELECTRIC/

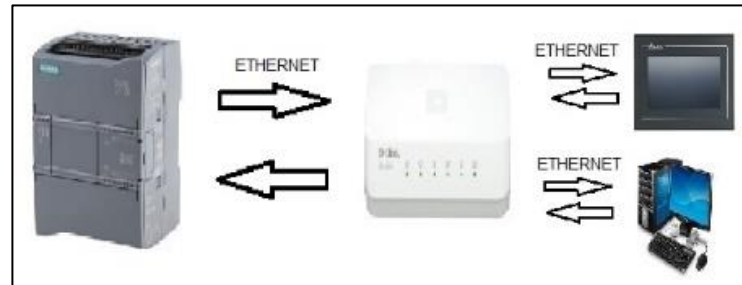
VOLTAJE:	+216.300 V	FRECUENCIA	+60.050 Hz
CORRIENTE:	+2.008 A	ENER.ACT.IM	+0.880 Kwh
POT. ACTIVA	+0.059 Kw	ENER.ACT.EX	+22.490 Kwh
POT.REACTIV.	+0.330 Kvar	ENER.REAC.IM	+0.830 Kvarh
POT.APARENT	+0.434 Kva	ENER.REAC.E	+5.770 Kvarh
FACTOR DE PI	+0.136		

Save
On 100
CERRAR

Para la visualización y la adquisición de datos se creó una pantalla virtual HMI, para visualizar todas las variables de los equipos de medición, mediante un slider comienza a grabar los datos y los almacene en un archivo con extensión CVS.



Diseño y conexión de la pantalla de visualización



PRUEBA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Conexión, comunicación y configuración de los 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



PRUEBA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Adquisición de datos

Sistema de monitoreo 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

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



Análisis energético

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

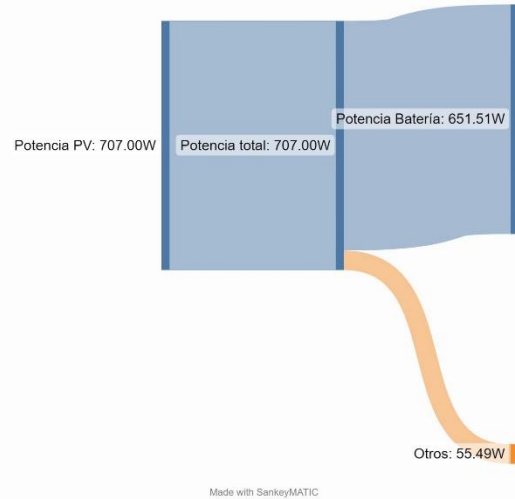
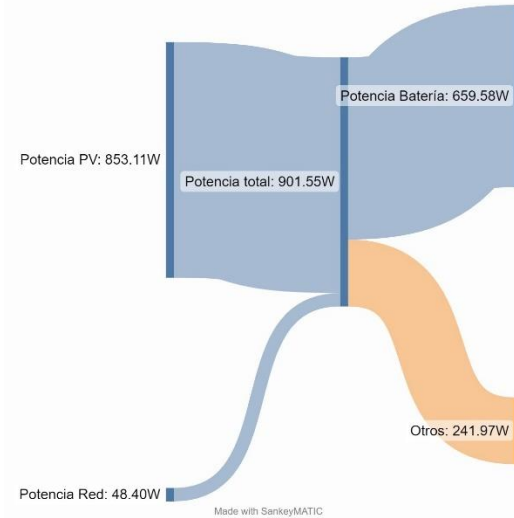


Diagrama de Sankey sistema fotovoltaico sin carga del sistema de monitoreo implementado



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



Análisis energético

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

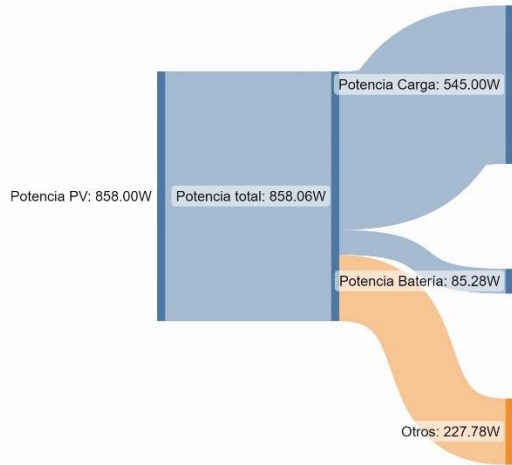
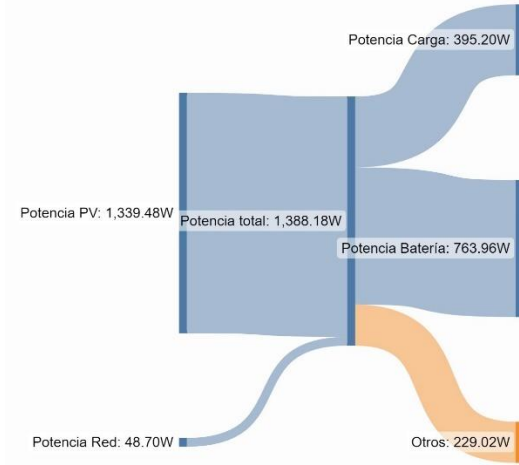


Diagrama de Sankey sistema fotovoltaico con carga sistema de monitoreo implementado



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



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.



CONCLUSIONES

- 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.



CONCLUSIONES

- 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.



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.



Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA