

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA**

PROYECTO DE MONITOREO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE DATALOGGER Y PLC

**Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL**

Alumno: Bastián Ignacio Arancibia Núñez

Profesor Guía: Martín García Gutiérrez

2025

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO**

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROYECTO DE MONITOREO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE DATALOGGER y PLC

Nombre del candidato(a): Bastián Ignacio Arancibia Núñez

Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial

Campus: Viña Del Mar

Departamento: Dpto. de Electrotecnia e Informatica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, ___Martín García Gutiérrez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo NO contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo CONTIENE información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por (marcar una opción):

- 6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: _24 de octubre 2025_

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: ___24 de Octubre 2025_

Firma: 

RESUMEN

KEYWORDS: ENERGIA ELECTRICA, MONITOREO, INTEGRACION DE SISTEMAS DATALOGGER, PLC, REGISTRADOR DE DATOS

El proyecto tiene como propósito desarrollar un sistema de monitoreo eléctrico con fines didácticos, utilizando componentes industriales disponibles en los laboratorios de la Universidad Técnica Federico Santa María. La propuesta se enfoca en la integración de un controlador, un sistema de registro de datos y una interfaz de supervisión, abordando los desafíos técnicos asociados a la comunicación entre dispositivos de distintas marcas y protocolos.

Para lograr una comunicación efectiva, se configuró una red de comunicación basada en el protocolo Modbus RTU sobre RS-485, lo que permitió establecer el intercambio de datos entre los distintos equipos. Se realizó un análisis detallado de los mapas de registros y se emplearon herramientas de software especializadas para validar la comunicación y asegurar la correcta interpretación de las variables eléctricas.

Además de demostrar la viabilidad técnica de esta integración, el proyecto tuvo como objetivo generar un recurso pedagógico, que pueda ser utilizado por futuros estudiantes en actividades de formación práctica. El trabajo incluyó la documentación técnica de cada componente, la evaluación de los costos involucrados y la planificación estructurada del proceso de implementación.

Como resultado, se obtuvo un sistema funcional, escalable y adaptable a entornos industriales reales, con capacidad de integración a plataformas SCADA o HMI para monitoreo y control avanzado, consolidando así una herramienta educativa de alto valor técnico.

ÍNDICE

- INTRODUCCIÓN 9**
- CAPÍTULO 1: ARQUITECTURA Y COMPONENTES DEL SISTEMA10**
- 1 CONTEXTO Y SITUACION INICIAL DEL PROYECTO 11**
 - 1.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN 12**
 - 1.1.1 Protocolo Modbus RTU 12**
 - 1.1.2 Profinet 13**
 - 1.1.3 Profibus 13**
 - 1.2 DAQ..... 14**
 - 1.3 ENERGÍA ELÉCTRICA 15**
 - 1.3.1 Monitoreo de Energía Eléctrica 15**
 - 1.4 IDEA DEL PROYECTO 16**
 - 1.5 COMPONENTES DEL PROYECTO 17**
 - 1.5.1 SATEC PM130 PLUS 17**
 - 1.5.2 PLC (Controlador Lógico Programable) 19**
 - 1.5.3 Datalogger - Registrador de datos 19**
 - 1.6 POSIBLES SOLUCIONES 21**
 - 1.6.1 Primera Alternativa 21**
 - 1.6.2 Segunda Alternativa 22**
 - 1.6.3 Solución Escogida 22**
 - 1.7 OBJETIVOS GENERALES23**
 - 1.7.1 Objetivos específicos 23**
- CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO 24**
- 2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO25**
 - 2.1 INTEGRACION Y CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS25**

2.1.1 Conexión Datalogger y SATEC PM130EH PLUS	25
2.1.2 Conexión PLC SIEMENS y SATEC PM130 EH PLUS	26
2.1.3 Conexión del Sistema	27
2.2 SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN Y MONITOREO	28
2.2.1 Software PAS	28
2.2.2 Aplicación SW67324	29
2.3 CONFIGURACION DE DISPOSITIVOS	29
2.3.1 SATEC PM 130 EH PLUS	30
2.3.2 PLC SIEMENS S7 1200	31
2.3.3 DATALOGGER HD67324	34
2.4 DIAGRAMA Y CONEXIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROYECTO	36
2.5 PROGRAMACION DEL SISTEMA	37
2.6 PUESTA EN SERVICIO	40
2.6.1 Puesta en Servicio del Sistema de Monitoreo	41
3 RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS DE PROYECTO	44
3.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	44
3.1.1 Supervisión y registro de datos en tiempo real	45
3.1.2 Monitoreo pasivo mediante datalogger	48
3.2 ALGUNAS CONSIDERACIONES	52
3.2.1 SW67324	53
3.2.2 Limitación del rol maestro en Modbus RTU	54
3.3 COSTOS DEL PROYECTO	55
3.3.1 Valor componentes y Provedores	55
3.3.2 Evaluación mano de obra	56
3.3.3 Costos del Proyecto	58

CONCLUSIONES	59
--------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Valores y componentes del prototipo.....	565
Tabla 3-2 Costos HH del proyecto	577
Tabla 3-3 Costos del proyecto.....	588

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 IDEA DEL PROYECTO	¡Error! Marcador no definido.7
Figura 1-2 SATEC PM130EH PLUS.....	18
Figura 1-3 SIMATIC PLC S7-1200.	19
Figura 1-4 Modbus / CAN – Registrador de datos	¡Error! Marcador no definido.0
Figura 1-5 DATALOGGER - SATEC	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1-6 PLC - SATEC	¡Error! Marcador no definido.2
Figura 1-7 PLC - SATEC - DATALOGGER	¡Error! Marcador no definido.3
Figura 2-1 Arquitectura del sistema	288
Figura 2-2 Configuración de dispositivo	30
Figura 2-3 Conexión con medidor SATEC.....	31
Figura 2-4 Parámetros de comunicación	31
Figura 2-5 Parámetros de comunicación PLC – MEDIDOR SATEC.....	33
Figura 2-6 Solicitud de registros de PLC a medidor SATEC	33
Figura 2-7 Red Modbus RTU	354
Figura 2-8 Parámetros de comunicación	365

Figura 2-9 Comunicación modo sniffer con medidor SATEC 365

Figura 2-10. Descarga de configuración al datalogger 386

Figura 2-11 Comunicación PLC y DATALOGGER388

Figura 2-12 Lectura Corriente 398

Figura 2-13 lectura Voltaje399

Figura 2-14 Conversión datos de voltaje. 39

Figura 2-15 Diagrama de flujo del Sistema.40

Figura 2-16 Registros captados por aplicacion datalogger. 42

Figura 3-1. Datos obtenidos de corriente 477

Figura 3-2 Datos obtenidos de voltaje 488

Figura 3-3 Estructura de registro en el bloque de datos DB2 488

Figura 3-4 Conexión establecida datalogger y SATEC PM130 50

Figura 3-5 Medición de Datos desde el SATEC PM130 51

Figura 3-6 Conversión para datos de voltaje 51

Figura 3-7 Datos de voltaje desde el SATEC PM130 571

Figura 3-8 Representación datos de conversión 572

Figura 3-9 Aplicación SW67324573

Figura 3-10 Planificación del proyecto 576

Glosario

- IP** : Número que identifica de forma única a una interfaz en red.
- CPU** : Unidad Central de Procesamiento.
- X10** : protocolo de comunicaciones para el control remoto de dispositivos.
- WWW** : World Wide Web.

UTFSM : Universidad Técnica Federico Santa María.

SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition

Simbología

Ω :Ohm, unidad de medida de Resistencia eléctrica.

V :Unidad de medida de voltaje.

ms : Milisegundos.

W : Watts.

Hz :Hertz, unidad de medida de frecuencia.

mA :Miliamperios.

A : Amper.

CC : Corriente Continua

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se enmarca en las actividades académicas de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Viña del Mar, en el contexto de la carrera de Ingeniería en Ejecución en Control e Instrumentación Industrial. Su desarrollo tiene como propósito aplicar de forma práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación profesional, integrando áreas fundamentales como la automatización, la instrumentación y las redes de comunicación industrial.

El enfoque principal del trabajo consiste en el diseño e implementación de un sistema de monitoreo eléctrico utilizando componentes industriales, con fines didácticos. Esta iniciativa busca no solo demostrar la viabilidad técnica de integrar distintos dispositivos, sino también generar una herramienta pedagógica que permita a futuros estudiantes comprender de manera práctica cómo se comunican y operan estos sistemas en un entorno real.

El desafío planteado radica en lograr la comunicación entre equipos de distintas marcas y protocolos, todos ellos disponibles en los laboratorios de la universidad. Para ello, fue necesario configurar correctamente los parámetros de red, interpretar mapas de registros Modbus, y asegurar la compatibilidad entre los dispositivos involucrados. Este proceso implicó una revisión detallada de las características técnicas de cada equipo, así como el uso de software especializado para su configuración y puesta en marcha.

Además, se consideró fundamental documentar y describir los componentes utilizados, no solo desde el punto de vista técnico, sino también en cuanto a su función dentro del sistema. Se desarrolló de forma didáctica la conexión y comunicación entre los dispositivos, con el objetivo de que el resultado final pueda ser replicado o utilizado como material de apoyo en futuras actividades académicas.

Por último, se realizó los costos del proyecto, identificando y cuantificando los costos asociados, especialmente en lo que respecta a la mano de obra y los recursos utilizados. Esta evaluación se basó en una planificación estructurada del trabajo, que contempló una duración de seis semanas, con jornadas de ocho horas diarias, distribuidas de lunes a viernes, totalizando 240 horas de trabajo efectivo.

CAPÍTULO 1: ARQUITECTURA Y COMPONENTES DEL SISTEMA

1 CONTEXTO Y SITUACION INICIAL DEL PROYECTO

Al inicio del proyecto, se contaba con una serie de equipos industriales disponibles en los laboratorios de la Universidad Técnica Federico Santa María, sede Viña del Mar. Estos dispositivos, pertenecientes a distintas marcas y tecnologías, estaban instalados de forma independiente, sin una integración funcional que permitiera la adquisición centralizada de datos. Si bien cada equipo cumplía su función de manera aislada, no existía un sistema que permitiera la comunicación entre ellos, ni tampoco una infraestructura que facilitara el monitoreo remoto de los parámetros eléctricos que estos generaban.

La situación inicial presentaba varios desafíos técnicos. Por un lado, los equipos operaban bajo protocolos de comunicación distintos, lo que dificultaba su interconexión directa. Por otro, no se contaba con una plataforma que permitiera visualizar, registrar o respaldar los datos eléctricos de forma estructurada. Además, la ausencia de una planificación previa para la integración de estos dispositivos requería un análisis detallado de sus características, capacidades de comunicación y compatibilidad entre ellos.

En el presente capítulo se dará a conocer los elementos principales que se necesitan para llegar a entender de lo que se va a tratar este proyecto, Para ello es fundamental establecer y delimitar que se entenderá por datalogger y cuál ha sido su importancia en los procesos en el área de Instrumentación.

Existen diversas dificultades para estos sistemas y algunos de ellos son: configuración, almacenamiento de datos, compatibilidad, entre otros. Una de las principales problemáticas ha sido tratar de comprender estos sistemas y estas dificultades pueden impactar en la eficiencia a la hora de registrar y analizar datos, por lo que es importante tratar de abordar adecuadamente durante la planificación y ejecución de proyectos que involucren este tipo de sistemas.

Frente a este escenario, se planteó como objetivo principal el desarrollo de un sistema de monitoreo eléctrico que permitiera interconectar los equipos existentes, establecer una comunicación estable y confiable, y disponer de los datos en tiempo real tanto para supervisión como para análisis posterior. Esta necesidad dio origen a la planificación técnica del proyecto, que incluyó la selección de protocolos, la configuración de

dispositivos, la programación del PLC y la incorporación de un datalogger para respaldo pasivo de la información.

1.1 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación son conjuntos de reglas y convenciones que permiten el intercambio de datos entre dispositivos en una red. Son fundamentales en la automatización industrial, ya que garantizan que diferentes equipos, como controladores, sensores y actuadores, puedan comunicarse de manera eficiente y efectiva. Existen diversos protocolos, cada uno diseñado para satisfacer necesidades específicas, como la velocidad de transmisión, la seguridad y la confiabilidad de la conexión. La correcta elección e implementación de un protocolo adecuado es crucial para el funcionamiento óptimo de sistemas automatizados, facilitando la integración de tecnologías y mejorando la interoperabilidad entre dispositivos.

1.1.1 Protocolo Modbus RTU

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) es un protocolo de comunicación de datos que se utiliza principalmente en sistemas de automatización industrial, especialmente en el ámbito de la instrumentación y control. Es un protocolo basado en el modelo maestro-esclavo, que permite la comunicación entre un dispositivo maestro (como un controlador lógico programable, PLC) y uno o más dispositivos esclavos (como sensores, actuadores, medidores, etc.). Sus principales características son:

1. Comunicación Serial: Modbus RTU utiliza una comunicación serial, normalmente en dos formas estándar: RS-232 o RS-485. En RS-485, puede haber una conexión multipunto, permitiendo que varios dispositivos se conecten en el mismo bus, lo que resulta en una configuración eficiente y económica.
2. Formato de Mensajes: Los mensajes de Modbus RTU son compactos y están estructurados en tramas. Cada mensaje incluye una dirección de dispositivo, una función, los datos que se intercambian y un código de verificación de errores (CRC).
3. Modos de operación:

- Maestro-esclavo: En un sistema Modbus RTU, hay un solo dispositivo maestro que inicia las solicitudes de comunicación, y varios dispositivos esclavos que responden solo cuando se les solicita.
- Funciones estándar: Modbus RTU tiene una variedad de funciones estándar para leer o escribir datos, como la lectura de registros de entrada (función 4), escritura de registros de salida (función 6), y lectura de múltiples registros (función 3).

1.1.2 Profinet

Profinet es un protocolo de comunicación industrial basado en Ethernet, desarrollado para satisfacer las exigencias de los sistemas de automatización modernos. Su arquitectura permite la transmisión de datos en tiempo real, lo que lo convierte en una solución ideal para aplicaciones que requieren alta velocidad, baja latencia y sincronización precisa entre dispositivos.

Este protocolo se utiliza ampliamente en entornos industriales donde se necesita integrar controladores, sensores, actuadores y sistemas de supervisión en una red común. Gracias a su estructura modular, Profinet permite la configuración flexible de redes, facilitando la expansión y el mantenimiento de los sistemas. Además, ofrece funciones avanzadas como diagnóstico de red, redundancia, y priorización de tráfico, lo que mejora la confiabilidad y disponibilidad de los procesos.

Una de las principales ventajas de Profinet es su compatibilidad con estándares Ethernet, lo que permite utilizar infraestructuras de red existentes y reducir costos de implementación. Asimismo, su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos lo hace adecuado para aplicaciones complejas, como la robótica industrial, la manufactura automatizada y los sistemas de control distribuido.

1.1.3 Profibus

Profibus (Process Field Bus) es un protocolo de comunicación serial diseñado específicamente para aplicaciones de automatización industrial. Fue desarrollado en la

década de 1980 y ha sido ampliamente adoptado en sistemas de control de procesos, manufactura y maquinaria industrial. Su estructura permite la conexión de múltiples dispositivos en una red jerárquica, facilitando el intercambio de datos entre sensores, actuadores y controladores.

Existen varias versiones de Profibus, siendo las más comunes Profibus DP (Decentralized Peripherals) y Profibus PA (Process Automation). Profibus DP está orientado a la comunicación rápida entre dispositivos de campo y controladores, mientras que Profibus PA se utiliza en entornos de procesos donde se requiere comunicación segura en áreas clasificadas.

Entre sus ventajas se destaca la estabilidad de la conexión, la baja tasa de errores en la transmisión y la capacidad de operar en entornos industriales exigentes. Aunque su velocidad de transmisión es inferior a la de protocolos basados en Ethernet, como Profinet, Profibus sigue siendo una opción confiable en instalaciones donde ya existe infraestructura compatible o donde se prioriza la simplicidad y robustez.

La implementación de Profibus permite una integración eficiente de dispositivos de distintos fabricantes, gracias a su estandarización y amplia documentación técnica. Su uso sigue siendo relevante en muchas industrias, especialmente en sistemas legados y procesos continuos.

1.2 DAQ

La adquisición de datos (DAQ, por sus siglas en inglés) se refiere al proceso de recolectar, medir y analizar información de diversas variables físicas a través de sensores y dispositivos electrónicos. Los sistemas DAQ son esenciales en entornos industriales, de investigación y desarrollo, ya que permiten el monitoreo y control de procesos mediante la recopilación precisa de datos en tiempo real.

Un datalogger es un dispositivo electrónico diseñado para registrar datos a lo largo del tiempo. Este aparato puede medir y almacenar información de diversas variables, como temperatura, humedad, presión, voltaje, corriente y, en el contexto de la energía eléctrica, consumo de electricidad.

Los datalogger suelen estar equipados con sensores que capturan datos y con memoria interna para almacenarlos. Además, pueden contar con capacidades de comunicación, lo que permite enviar la información a otros dispositivos, como computadoras o sistemas de control, para su análisis en tiempo real.

Los usos de los datalogger son muy variados, abarcando desde aplicaciones en la investigación científica hasta el monitoreo industrial y ambiental, contribuyendo a la toma de decisiones informadas y a la optimización de procesos.

1.3 ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica es una forma de energía que resulta del movimiento de cargas eléctricas, principalmente electrones. Es fundamental en la vida moderna y se utiliza para alimentar una amplia variedad de dispositivos y sistemas, desde electrodomésticos hasta maquinaria industrial. La energía eléctrica se puede generar a partir de diversas fuentes, incluyendo combustibles fósiles, energía nuclear, energía solar, eólica e hidroeléctrica.

Su generación, transmisión y distribución son procesos complejos que requieren infraestructura adecuada, como centrales eléctricas, líneas de transmisión y redes de distribución. La eficiencia en el uso de la energía eléctrica es crucial para reducir costos y minimizar el impacto ambiental. Además, la gestión adecuada del consumo energético es esencial para garantizar la sostenibilidad y el desarrollo de tecnologías más limpias. La medición y monitoreo precisos del consumo de energía son vitales para optimizar su uso y fomentar prácticas más sostenibles en diferentes sectores.

1.3.1 Monitoreo de Energía Eléctrica

El monitoreo de energía eléctrica se refiere al proceso de medir, registrar y analizar el consumo de electricidad en tiempo real. Esta práctica es esencial para optimizar la eficiencia energética y gestionar los costos operativos en diversas aplicaciones, desde instalaciones industriales hasta edificios comerciales y residenciales.

El monitoreo de energía se lleva a cabo mediante el uso de dispositivos como medidores inteligentes, dataloggers y sistemas de control que pueden registrar variables como voltaje, corriente, potencia y consumo total. Estos datos permiten identificar patrones de uso, detectar anomalías y planificar mantenimientos, además de contribuir a la implementación de estrategias para reducir el consumo energético y minimizar el impacto ambiental.

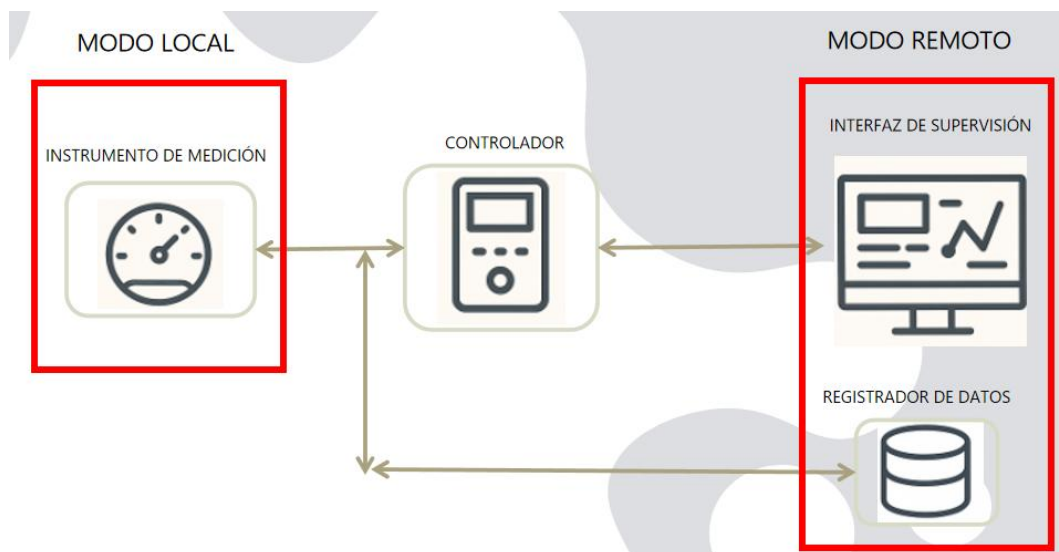
Una gestión efectiva del monitoreo de energía eléctrica no solo mejora la sostenibilidad y reduce costos, sino que también proporciona información valiosa para la toma de decisiones informadas sobre la operación y el mantenimiento de los sistemas eléctricos.

1.4 IDEA DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema de monitoreo eléctrico con fines didácticos, utilizando componentes industriales previamente disponibles en la Universidad Técnica Federico Santa María. La propuesta contempla la integración de un instrumento de medición, un controlador y una interfaz de supervisión, con el propósito de representar de manera práctica el funcionamiento de sistemas eléctricos automatizados.

El instrumento de medición se encarga de adquirir las variables eléctricas relevantes del sistema, tales como voltaje, corriente y potencia. Estos datos son enviados al controlador, el cual interpreta la información y ejecuta acciones de control según la lógica programada. A su vez, la interfaz de supervisión, implementada en un computador, permite visualizar los registros en tiempo real y acceder al historial de datos almacenados, facilitando el análisis y la evaluación del comportamiento eléctrico.

Este enfoque busca simular condiciones reales de operación en entornos industriales, promoviendo el aprendizaje técnico mediante la interacción con tecnologías de monitoreo, control y supervisión. La correcta integración de estos tres elementos se podrá ver de manera visual en la figura 1-1 y también esta integración permite cumplir con los objetivos formativos del proyecto, ofreciendo una herramienta versátil y representativa para el estudio de sistemas eléctricos automatizados.



Fuente: IDEA GENERAL DEL PROYECTO

Figura 1-1. IDEA DEL PROYECTO

1.5 COMPONENTES DEL PROYECTO

Para este proyecto se utilizan componentes industriales previamente disponibles en la Universidad Técnica Federico Santa María. A continuación, se describen los dispositivos empleados y su función dentro del sistema.

1.5.1 SATEC PM130 PLUS

El PM130 es un medidor de potencia trifásico multifuncional tal como se puede visualizar en la figura 1-2.

Con opciones versátiles de E/S, puertos de comunicación y protocolos, es ideal para la integración en subestaciones de servicios públicos o sistemas SCADA industriales.

Una brillante pantalla LED de 7 segmentos, acompañada de una barra de carga LED, permite un fácil acceso in situ a los parámetros de potencia y la visualización del porcentaje de carga de un vistazo.

también permite la medición de corriente continua (CC) a través de derivación, lo que lo convierte en un medidor único compatible con aplicaciones de CC, como energías renovables o centros de datos.

Sus principales características son:

1. Incorporado: RS485
2. Puertos opcionales: ETH, Wi-Fi, celular, Profibus.
3. Protocolo abierto: Modbus RTU, DNP3.0
4. IEC 60870-5-101/104
5. Voltaje: 15-828 V CA (directo, L-L)
6. Frecuencia: 25, 50, 60, 400 Hz

Además de sus capacidades de medición eléctrica, el PM130 Plus destaca por su versatilidad en comunicaciones y compatibilidad con múltiples protocolos y puertos, lo que facilita su integración en diversos sistemas de monitoreo y control.

En este contexto, su integración con el sistema PAS cobra especial relevancia, ya que el PM130 Plus puede comunicarse mediante protocolos estándar como Modbus RTU a través de la interfaz RS-485. Esta característica permite la adquisición remota y centralizada de datos eléctricos, ofreciendo beneficios clave como:

1. La recopilación continua y automática de datos energéticos.
2. La supervisión en tiempo real de parámetros eléctricos.
3. La detección temprana de anomalías y optimización del consumo energético.
4. La comunicación con sistemas SCADA, PLCs y otros dispositivos de automatización.



Fuente: <https://www.satec-global.com/products/pm130-plus/>

Figura 1-2. SATEC PM130EH PLUS

1.5.2 PLC (Controlador Lógico Programable)

El PLC Siemens S7-1200 es un controlador lógico programable de alto rendimiento, diseñado para aplicaciones de automatización industrial que requieren velocidad, precisión, seguridad y capacidad de integración avanzada. Pertenece a la familia de PLCs modulares desarrollados por Siemens, y representa la evolución tecnológica de la serie S7-300, ofreciendo mejoras significativas en capacidad de procesamiento, diagnóstico, conectividad y facilidad de programación.

Este PLC forma parte del ecosistema de Totally Integrated Automation (TIA) de Siemens, lo que permite una integración eficiente y coherente con otros dispositivos de automatización, como interfaces HMI, variadores de frecuencia, sistemas SCADA y módulos de comunicación industrial.

Para la programación, configuración y monitoreo del PLC Siemens S7-1200 se utilizará el entorno de desarrollo TIA Portal, el cual proporciona una plataforma unificada que facilita la ingeniería del sistema, reduce tiempos de desarrollo y mejora la eficiencia del mantenimiento. La Figura 1-3 representa el PLC siemens que se ocupará en este proyecto.



Fuente: <https://www.automationsales.com.au/product/21564-6es7214-1ag40-0xb0>

Figura 1-3 SIMATIC PLC S7-1200

1.5.3 Datalogger - Registrador de datos

Un registrador de datos es un dispositivo que se utiliza para recopilar y almacenar información de diversos sistemas o sensores en un formato accesible para su posterior análisis.

En sistemas industriales, los registradores de datos se emplean para monitorear variables como temperatura, presión, humedad, entre otros, y se comunican con otros dispositivos a través de protocolos de comunicación estándar como Modbus o CAN.

Hay diferentes tipos de registradores de datos pero para este proyecto el dispositivo que se va a utilizar será el HD67324 como aparece en la figura 1-4 y que tiene las siguientes características:

1. Aislamiento eléctrico para conexión de bus (RS232, RS485, CAN, Ethernet)
2. Montaje en carril DIN; Alimentación 8...24 V CA o 12...35 V CC
3. Rango de temperatura 20 °C a 70 °C.

Para la configuración de este dispositivo se necesitará de un software que se llama Compositor SW67324 en su PC para así poder realizar las configuraciones tales como:

1. Definir los parámetros de la línea Modbus
2. Establecer hora y fecha
3. Administrar las funciones del Datalogger
4. Actualizar el dispositivo.
5. Software de configuración: Se utiliza el software SW67324, proporcionado por ADF web, para la configuración y monitoreo del dispositivo. Este software facilita la configuración de parámetros, la visualización de datos y la generación de informes.



Fuente: https://www.adfweb.com/Home/products/datalogger_modbusrtu.asp?frompg=nav24_2

Figura 1-4. Modbus / CAN – Registrador de datos

1.6 POSIBLES SOLUCIONES

Con el objetivo de abordar el problema planteado, se consideran distintas alternativas técnicas que permiten implementar un sistema de monitoreo eléctrico con fines didácticos. A continuación, se presentan las posibles soluciones evaluadas, junto con sus ventajas y limitaciones. Finalmente, se expone la solución seleccionada para el desarrollo del proyecto.

1.6.1 Primera Alternativa

La primera alternativa consistió en la utilización de un medidor eléctrico SATEC en conjunto con un datalogger como se puede ver en la figura 1-5. Esta configuración permitía la adquisición de datos de variables eléctricas y su almacenamiento para análisis posterior. Entre sus principales ventajas se encontraba la posibilidad de registrar información de manera continua, lo que facilitaba el estudio de tendencias y comportamientos eléctricos a lo largo del tiempo. Además, el uso de protocolos de comunicación estándar simplificaba la integración entre dispositivos. Sin embargo, esta opción presentaba limitaciones importantes, como la imposibilidad de ejecutar acciones de control sobre el sistema y una visualización en tiempo real restringida, lo que reducía su potencial como herramienta interactiva en el contexto educativo.



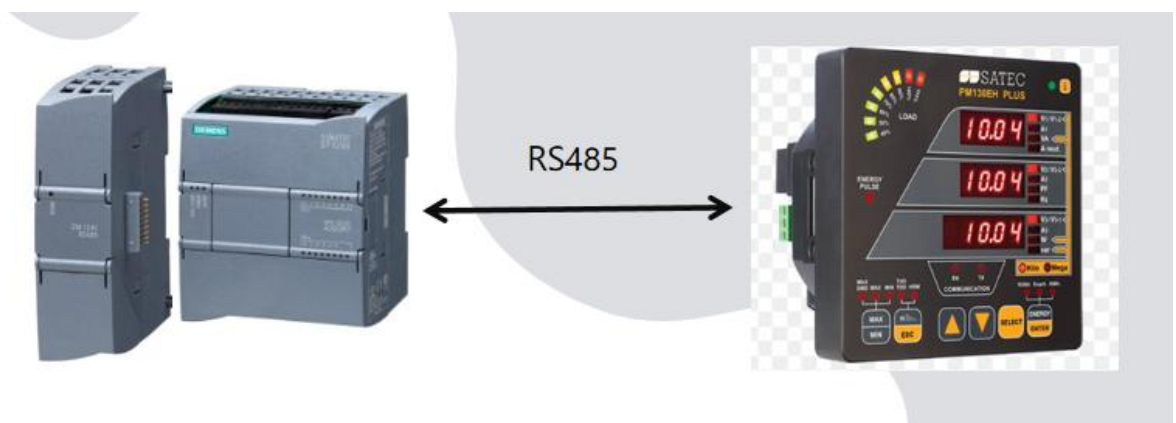
Fuente: Primera Solucion datalogger - SATEC

Figura 1-5. DATALOGGER - SATEC

1.6.2 Segunda Alternativa

La segunda alternativa evaluada fue la combinación del medidor SATEC con un controlador lógico programable (PLC). Esta solución ofrecía la capacidad de monitorear variables eléctricas y, al mismo tiempo, ejecutar acciones de control en función de los datos obtenidos. El PLC permitía implementar lógica de control, lo que resultaba útil para simular escenarios industriales reales y mejorar la interacción con el sistema. No obstante, esta alternativa no contemplaba el almacenamiento histórico de datos, lo que limitaba la posibilidad de realizar análisis detallados a lo largo del tiempo.

Esta alternativa se podrá ver en la figura 1-6, en el cual se representan estos dos dispositivos y de la manera que se conectarán físicamente.



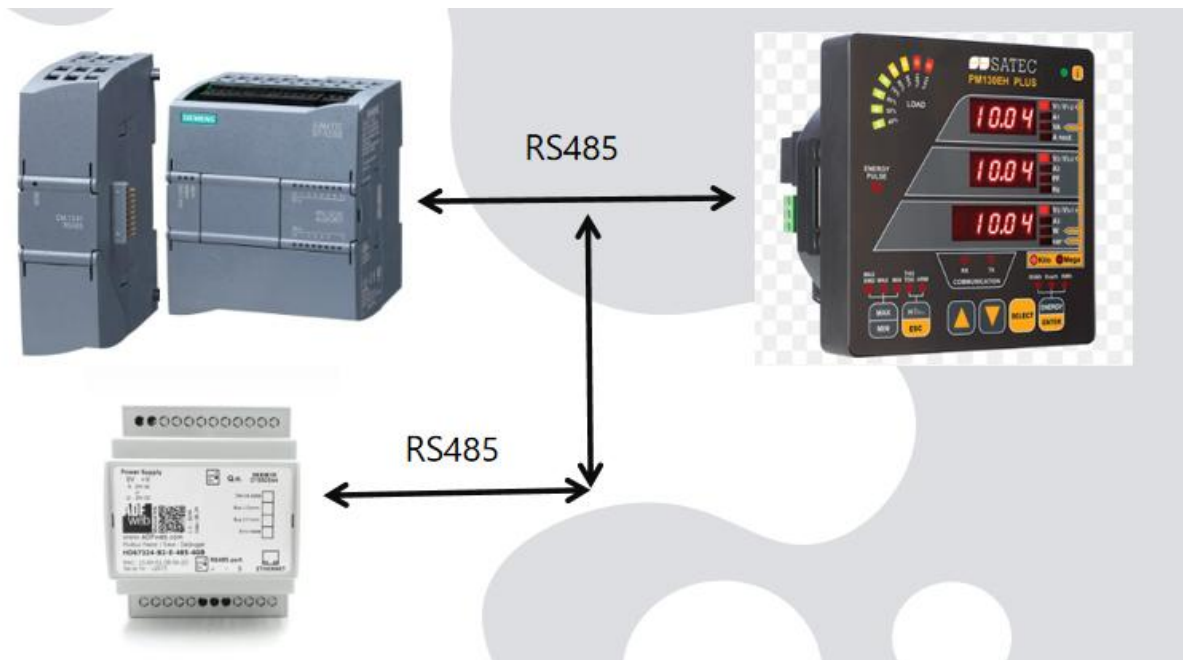
Fuente: Segunda Solución PLC - SATEC

Figura 1-6. PLC - SATEC

1.6.3 Solución Escogida

Finalmente, se propuso una tercera alternativa que integraba el medidor SATEC, un PLC y un datalogger. Esta solución combinaba las capacidades de monitoreo, control y almacenamiento de datos, ofreciendo una experiencia más completa y representativa de un sistema industrial real. Permitía registrar información histórica, ejecutar respuestas automáticas ante eventos eléctricos y visualizar el comportamiento del sistema en tiempo real. Si bien su implementación implicaba una mayor complejidad en la integración de los dispositivos y demandaba más tiempo en la configuración inicial, se consideró que sus beneficios superaban ampliamente estas dificultades.

En función del análisis realizado, se seleccionó la alternativa SATEC–PLC–Datalogger como solución final del proyecto en el cual se podrá visualizar en la figura 1-7, por su capacidad de cumplir con los objetivos técnicos y formativos propuestos, y por ofrecer una plataforma versátil y robusta para el aprendizaje práctico en el ámbito del monitoreo eléctrico .



Fuente: Solucion Escogida PLC - SATEC - Datalogger

Figura 1-7. PLC - SATEC - DATALOGGER

1.7 OBJETIVOS GENERALES

Desarrollar un sistema de monitoreo eléctrico con componentes industriales para fines didácticos.

1.7.1 Objetivos específicos

- Describir los componentes que se utilizarán en el proyecto.
- Desarrollar de forma didáctica la conexión y comunicación entre los dispositivos.
- Identificar y cuantificar los costos del proyecto.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN TÉCNICA DEL PROYECTO

En el presente capítulo se darán a conocer el desarrollo de los componentes utilizados y las funciones que cumplirá cada uno en este proyecto.

2.1 INTEGRACION Y CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS

La integración y conexión de dispositivos es un aspecto fundamental en cualquier sistema de automatización industrial, ya que permite que diferentes equipos y componentes trabajen de manera coordinada y eficiente. Este proceso implica establecer las comunicaciones físicas y lógicas entre dispositivos, asegurando que los datos y señales se transmitan correctamente para el control y monitoreo del sistema.

En el contexto de sistemas modernos, la integración incluye tanto la conexión física mediante cables, conectores y protocolos de comunicación (como RS-485, Ethernet, PROFIBUS, entre otros), como la configuración y sincronización de los dispositivos a nivel de software para que puedan intercambiar información de manera efectiva.

Una correcta integración y conexión permite:

1. La comunicación fluida entre PLCs, medidores, dataloggers, sensores y actuadores.
2. La centralización de la información para supervisión y control en tiempo real.
3. La reducción de errores y fallos en la transmisión de datos.
4. La escalabilidad y flexibilidad del sistema para futuras ampliaciones o modificaciones.

Por lo tanto, la correcta implementación de esta integración es vital para garantizar el desempeño, confiabilidad y eficiencia del sistema de automatización en su conjunto.

2.1.1 Conexión Datalogger y SATEC PM130EH PLUS

La conexión entre el datalogger y el medidor SATEC 130 EH Plus se realizó mediante una interfaz de comunicación RS-485 utilizando el protocolo Modbus RTU. Este método fue seleccionado debido a su robustez y amplia aceptación en sistemas de automatización industrial para la transferencia de datos confiable y en tiempo real.

Para lograr esta conexión, se siguieron los siguientes pasos:

- Configuración del SATEC 130 EH Plus: Se habilitó la comunicación RS-485 en el medidor y se configuraron los parámetros de comunicación, como la dirección Modbus, velocidad de baudios, paridad y bits de parada, para que coincidieran con los del datalogger.
- Cableado físico: Se utilizaron cables de par trenzado con terminadores adecuados para conectar el puerto RS-485 del datalogger con el SATEC 130 EH Plus, respetando la polaridad de las líneas A y B y asegurando una correcta puesta a tierra para evitar interferencias.
- Configuración del datalogger: Se programó el datalogger para que actúe como maestro Modbus, solicitando periódicamente los registros específicos del medidor SATEC, tales como valores de tensión, corriente, potencia y energía.
- Verificación de la comunicación: Se realizaron pruebas de comunicación para asegurar que el datalogger recibiera correctamente los datos transmitidos por el SATEC 130 EH Plus, ajustando los parámetros de comunicación en caso necesario.

2.1.2 Conexión PLC SIEMENS y SATEC PM130 EH PLUS

Para establecer la conexión entre el PLC Siemens S7-1200 y el medidor SATEC PM130EH Plus, se utilizó el módulo de comunicación CM1241 RS-485, el cual es compatible con el protocolo Modbus RTU y permite la transmisión directa mediante la interfaz RS-485. Este módulo fue incorporado al PLC como una expansión, sin necesidad de utilizar convertidores de señal externos, ya que está diseñado específicamente para operar con redes RS-485.

La conexión física se realizó mediante un conector DB9, estándar en este tipo de módulos, lo que permitió una instalación ordenada y segura. Se configuraron los parámetros de comunicación en ambos dispositivos, incluyendo velocidad de baudios, paridad, bits de parada y dirección Modbus, asegurando la compatibilidad entre el maestro (PLC) y el esclavo (medidor) que se profundizara más adelante en la etapa de configuración.

El cableado se efectuó utilizando conductores de par trenzado, respetando la polaridad de las líneas A y B, y aplicando terminadores en los extremos de la red para minimizar interferencias. Además, se cuidó la correcta conexión a tierra para evitar ruidos eléctricos.

2.1.3 Conexión del Sistema

Para la implementación del sistema de monitoreo, se estableció una red de comunicación basada en el protocolo Modbus RTU utilizando la interfaz RS-485, que conectó al PLC Siemens S7-1500, el datalogger HD67324 y los medidores SATEC 130 EH Plus y PM130 Plus.

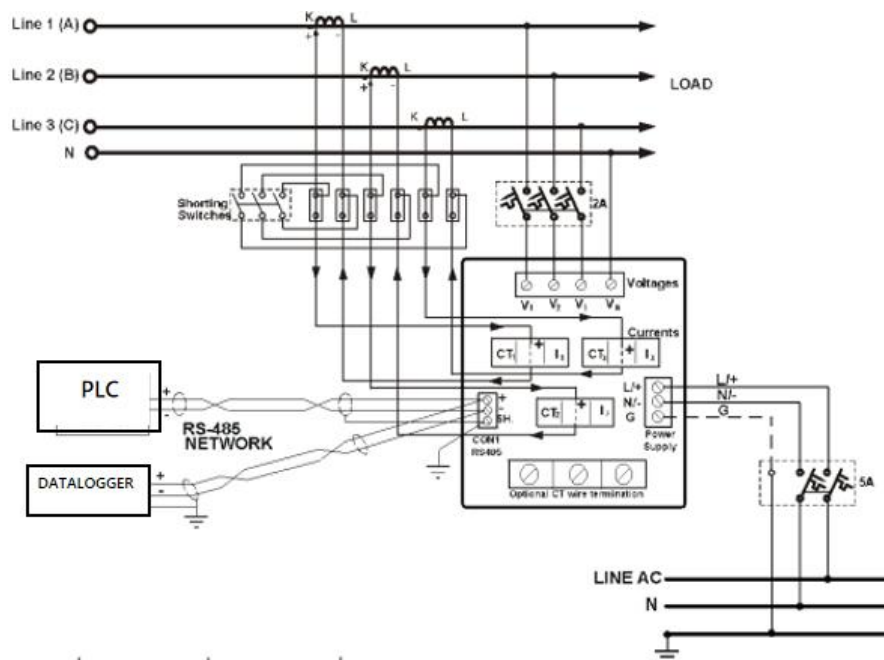
Durante la configuración del sistema, se definió que el PLC Siemens S7-1500 funcionaría como dispositivo maestro, encargado de consultar periódicamente los registros de los dispositivos conectados a la red. Por su parte, el datalogger HD67324, que inicialmente operaba como maestro, fue reconfigurado para actuar como esclavo dentro de esta red, y al mismo tiempo cumplir una función de sniffer, permitiendo la captura pasiva de datos transmitidos en la red sin interferir en la comunicación principal.

Los medidores SATEC 130 EH Plus y PM130 Plus conservaron su rol de dispositivos esclavos, respondiendo a las solicitudes de datos del PLC.

La red se estructuró físicamente utilizando cable de par trenzado para la comunicación RS-485, con conexiones a través de conectores DB9 y con el uso de un convertidor RS-232 a RS-485 compatible con Siemens para permitir la adaptación de señal en el PLC. Se aplicaron terminadores de línea en los extremos de la red para asegurar la integridad de la señal y minimizar interferencias.

Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento para asegurar que el PLC pudiera consultar los datos de los medidores correctamente, y que el datalogger recibiera la misma información pasivamente como sniffer, registrando los datos sin alterar el tráfico de la red.

Esta arquitectura permitió una integración eficiente, centralizada y confiable de todos los dispositivos, asegurando la adquisición de datos en tiempo real tanto para el control automático (por parte del PLC) como para el registro histórico (a través del datalogger) esto se podrá visualizar mediante la figura 2-1.



Fuente: Conexión de la solución del proyecto

Figura 2-1 Arquitectura del sistema

2.2 SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN Y MONITOREO

En un sistema de automatización y monitoreo industrial, el uso de software especializado es fundamental para garantizar la correcta configuración, integración y operación de los dispositivos involucrados. Estos programas permiten establecer parámetros de comunicación, verificar el funcionamiento en tiempo real, y asegurar la compatibilidad entre equipos dentro de una red como Modbus RTU.

En este proyecto, se utilizaron dos aplicaciones esenciales: PAS, para el medidor SATEC PM130 Plus, y SW67324, para el datalogger HD67324. Ambas herramientas fueron necesarias no solo para configurar cada dispositivo, sino también para validar su correcto comportamiento dentro de la red de comunicación RS-485.

2.2.1 Software PAS

La descarga e instalación del software PAS (Power and Acquisition System) es esencial para la correcta configuración, monitoreo y supervisión del medidor SATEC PM130 Plus. Esta aplicación permite establecer comunicación directa entre el medidor y un computador mediante una interfaz gráfica intuitiva, lo que facilita la lectura de parámetros eléctricos, la

configuración de registros Modbus y la verificación en tiempo real del funcionamiento del dispositivo.

Para realizar esta conexión desde el computador al medidor, se utilizó un HD67119 de ADFWeb, un convertidor de protocolo que permite establecer una comunicación eficiente entre el puerto RS-485 del SATEC y una interfaz USB o serial compatible con el software PAS. Gracias a este dispositivo, fue posible acceder a la configuración interna del medidor y comprobar su correcto funcionamiento antes de integrarlo a la red del sistema.

Además, PAS permite exportar datos históricos, ajustar alarmas internas y revisar la calidad de la señal eléctrica, funciones fundamentales en entornos donde la medición precisa y continua de energía es crítica. Sin esta herramienta, sería extremadamente complejo validar la operación del medidor y asegurar su integración adecuada dentro de una red de automatización industrial.

2.2.2 Aplicación SW67324

Para el datalogger HD67324, se utilizó el software SW67324, el cual fue descargado directamente desde el sitio oficial del fabricante ADFWeb. Esta herramienta permite configurar el dispositivo de forma personalizada, incluyendo la asignación de parámetros de comunicación como velocidad de baudios, paridad, dirección Modbus, modo maestro o esclavo, y los registros que se deben leer o capturar en la red RS-485.

Además, SW67324 permite cambiar el modo de operación del datalogger, como fue el caso en este proyecto, donde se configuró para funcionar como esclavo y sniffer, capturando pasivamente los datos transmitidos sin interferir en la red. Sin esta aplicación, sería imposible adaptar el datalogger a las necesidades específicas del sistema, ni garantizar su correcto funcionamiento dentro de una arquitectura Modbus.

2.3 CONFIGURACION DE DISPOSITIVOS

Para la configuración de los dispositivos se utilizó el protocolo Modbus, lo que permitió establecer comunicación entre los equipos y el computador. Se instalaron los softwares necesarios y se incorporaron los elementos de conexión requeridos para vincular físicamente los dispositivos. Una vez completada esta etapa, se procedió a configurar cada

equipo según sus parámetros específicos, asegurando su correcto funcionamiento dentro del sistema.

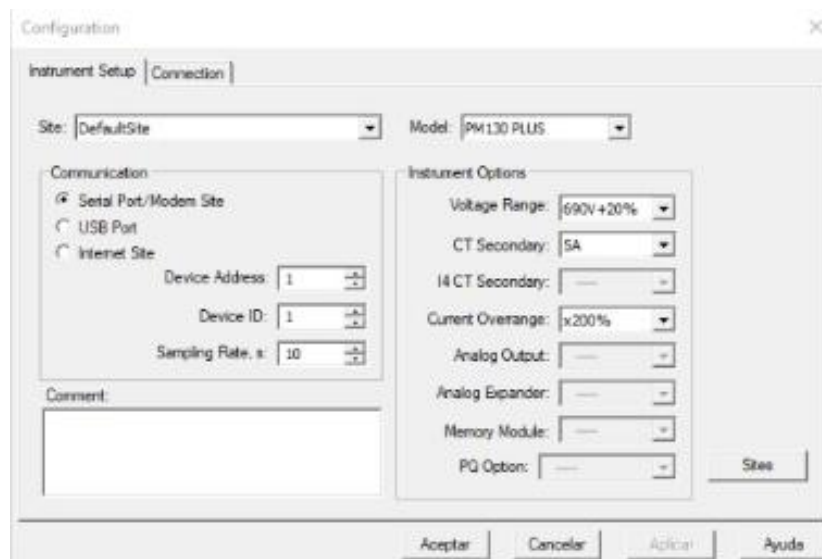
2.3.1 SATEC PM 130 EH PLUS

Para llevar a cabo la configuración del medidor SATEC PM130EH PLUS, se utilizó el software PAS (Power Analysis Software), el cual permite una interfaz gráfica amigable para ajustar los parámetros del equipo de forma remota. Primero, se estableció la comunicación entre el computador y el medidor mediante un convertidor USB a RS-485, asegurando que el puerto COM estuviera correctamente identificado y que los parámetros de comunicación coincidieran con los del dispositivo.

Una vez conectado, se accedió al menú de configuración del medidor desde el software. Se procedió a revisar los valores actuales de fábrica y luego se ingresaron los datos correspondientes a la instalación, como la relación de transformación de corriente (CT) y de tensión (VT), de acuerdo con los transformadores utilizados en el sistema. También se definió el tipo de red eléctrica, seleccionando la opción adecuada según la topología del sistema (trifásico, 4 hilos).

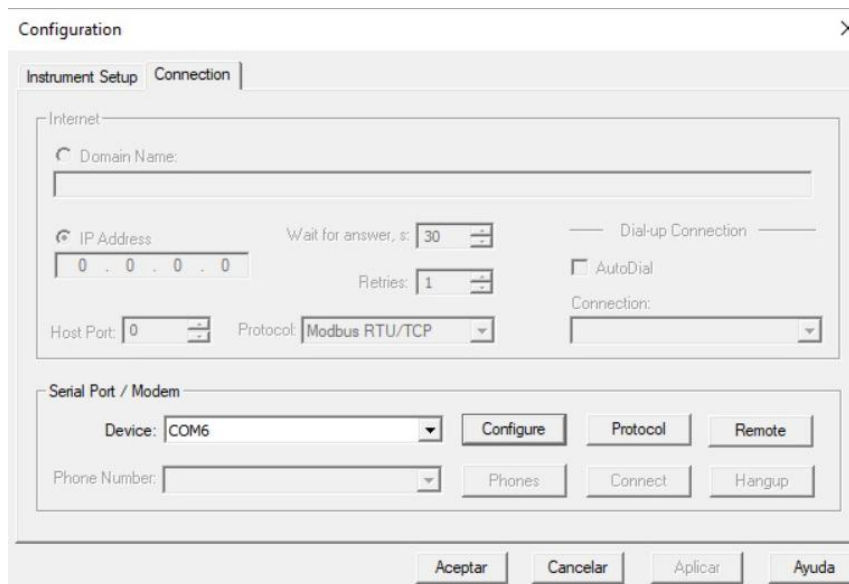
Posteriormente, se configuraron los parámetros de medición que serían monitoreados, tales como tensiones y corrientes. Se ajustaron también los intervalos de muestreo y, en caso de ser necesario, se habilitó el registro de datos para su posterior análisis.

Finalmente, se verificó que todos los valores ingresados fueran coherentes con las condiciones reales del sistema eléctrico tal como se pueden ver en las figuras 2-2, 2-3 y 2-4 .



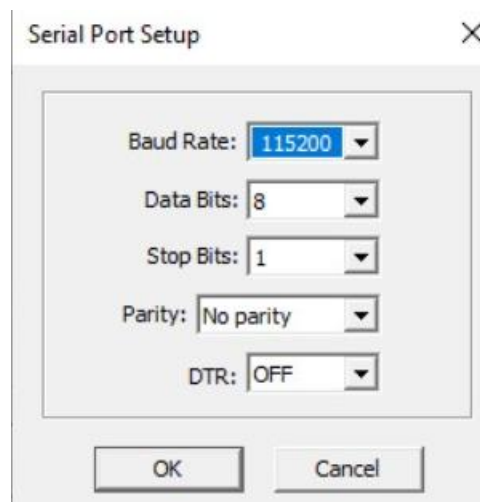
Fuente: Software Pas

Figura 2-2 Configuración de dispositivo



Fuente: Software Pas

Figura 2-3 Conexión con medidor Satec



Fuente: Software Pas

Figura 2-4 Parámetros de comunicación

2.3.2 PLC SIEMENS S7 1200

Para establecer la comunicación entre el PLC Siemens y dispositivos externos mediante protocolo Modbus RTU, se incorporó el módulo de comunicación CM1241 RS-485

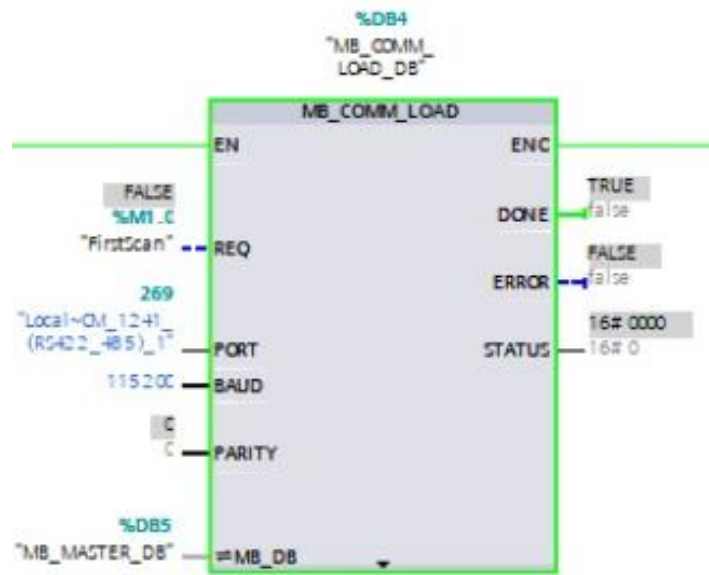
al sistema. Este módulo fue añadido al rack del PLC en el entorno de desarrollo TIA Portal, donde se procedió a su configuración.

Una vez insertado el módulo en el proyecto, se definieron los parámetros de comunicación en la sección de propiedades del CM1241. Se configuró la velocidad de transmisión (baud rate), la paridad, los bits de datos y el bit de parada, asegurando que estos coincidieran con los valores requeridos por el dispositivo esclavo. Además, se habilitó el modo maestro Modbus RTU, lo que permitió al PLC iniciar y controlar la comunicación con los dispositivos conectados al bus.

Una vez definidos estos parámetros, se habilitó el modo maestro Modbus RTU en el módulo, lo que permitió al PLC iniciar y controlar la comunicación con dispositivos esclavos. Para ello, se utilizaron bloques de funciones específicos disponibles en la biblioteca de Siemens, como MB_MASTER y MB_COMM_LOAD, los cuales fueron integrados en el programa principal del PLC, Tal cual como se puede ver en las Figuras 2-5 y 2-6.

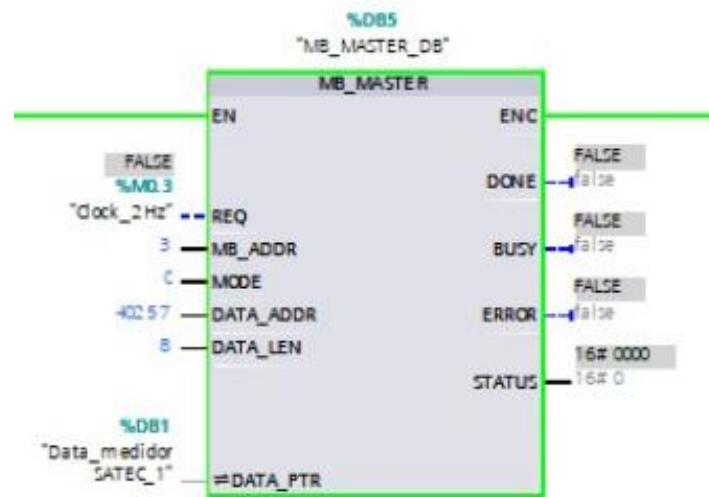
También se podrá visualizar la red física que se ocupó en este proyecto en forma general y eso se podrá ver en la figura 2-7 para así lograr comprender de cómo se realizó la conexión física entre dispositivos de este proyecto

La configuración fue validada mediante pruebas de comunicación, verificando que los datos intercambiados fueran consistentes y que no se presentaran errores en la transmisión. Esta integración permitió al PLC acceder a variables externas de forma confiable, facilitando su uso en sistemas de monitoreo de energía eléctrica.



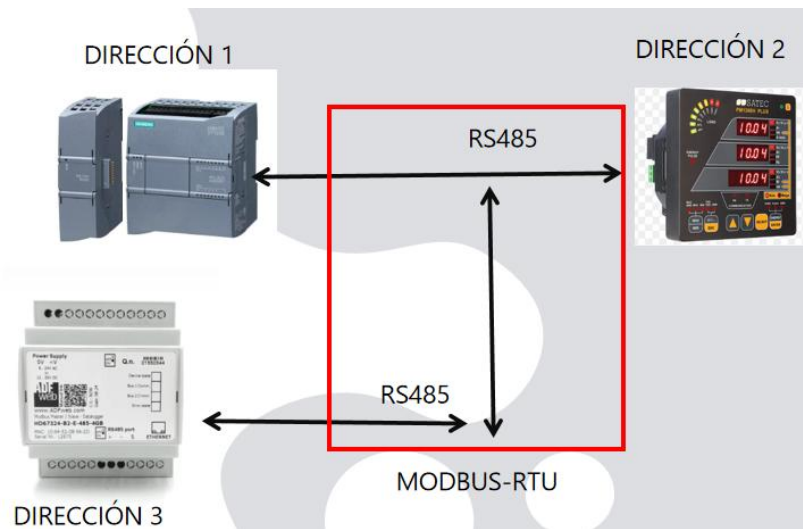
Fuente: TIA PORTAL

Figura 2-5 Parámetros de comunicación PLC - medidor SATEC



Fuente: TIA PORTAL V18

Figura 2-6 Solicitud de registros de PLC a medidor SATEC



Fuente: Red física Modbus RTU

Figura 2-7 Red Modbus RTU

2.3.3 DATALOGGER HD67324

Para la implementación del sistema de monitoreo, se utilizó el datalogger HD67342, un dispositivo diseñado para registrar datos provenientes de redes Modbus o CAN, y que cuenta con un puerto Ethernet integrado, lo que facilitó su configuración directa desde un computador sin necesidad de incorporar conversores adicionales.

La configuración del equipo se realizó mediante la aplicación SW67324, desarrollada por el fabricante. Esta herramienta fue descargada e instalada en el computador, permitiendo acceder a todos los parámetros del datalogger de forma intuitiva. Gracias a la conectividad Ethernet, fue posible establecer comunicación entre el dispositivo y el software de manera rápida y estable.

Dentro de la aplicación, se definieron los parámetros esenciales para el funcionamiento del datalogger, tales como la dirección IP, la configuración de la línea Modbus (modo slave+sniffer), la velocidad de comunicación, y los registros que debían ser leídos o almacenados. También se ajustaron funciones adicionales como la sincronización de fecha y hora, y la frecuencia de muestreo de los datos, tal como se puede visualizar en las figuras 2-8, 2-9 y 2-10.

Una vez completada la configuración, se procedió a guardar los parámetros en el dispositivo y verificar su correcto funcionamiento mediante pruebas de lectura en tiempo real. El software permitió además realizar actualizaciones de firmware y gestionar los archivos de registro generados por el datalogger.

The screenshot shows the 'DataLogger Setting' page in the ADFweb interface. The left sidebar contains 'Main Functions' (New Configuration, Load Configuration, Save Configuration, Update Device, Software Preferences) and 'DataLogger Setting' (Configuration Setting, Download Data, Date & Time Setting). The main content area is titled 'DataLogger Setting' and includes a 'Main Option' section with a dropdown for 'Select Hardware of Datalogger' set to 'HD67324-E-Modbus'. Below this are tabs for 'Main', 'Ethernet', and 'FTP Client'. The 'Main' tab is active, showing 'Select Type of Datalogger' with radio buttons for 'Master', 'Sniffer', 'Slave', and 'Slave + Sniffer' (selected). Other settings include 'Serial Baudrate' (115200), 'Serial Parity' (NONE), and 'Slave ID' (1). Checkboxes for 'Start Record when Reboot' and 'Cyclical Memory' are checked. At the bottom, there are input fields for 'User' (admin) and 'Password' (admin).

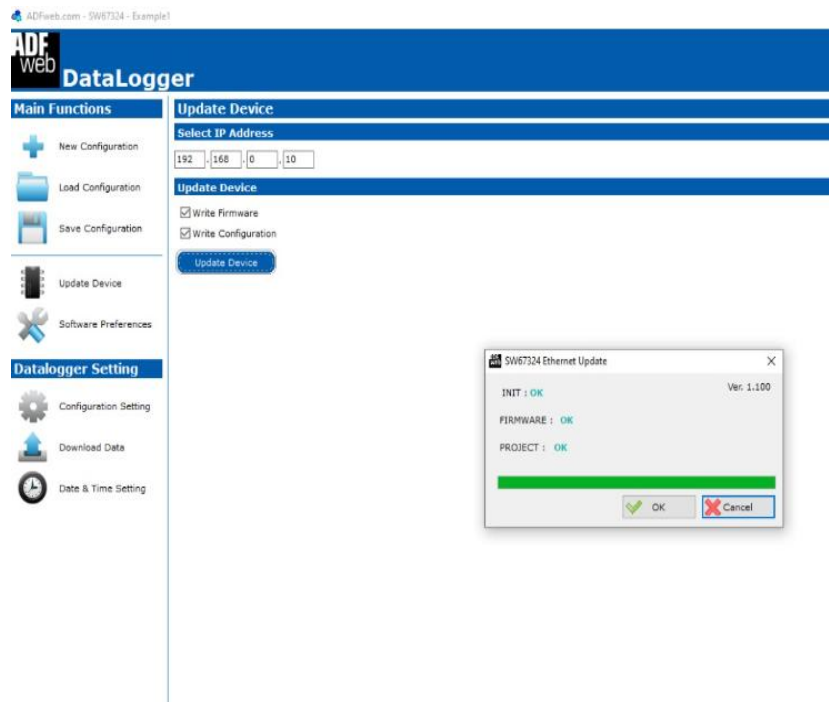
Fuente: SW67324

Figura 2-8 Parámetros de comunicación

The screenshot shows the 'DataLogger Setting' page in the ADFweb interface, specifically the 'IDs List' section. The left sidebar is the same as in the previous screenshot. The main content area is titled 'DataLogger Setting' and has a sub-section 'IDs List'. Below the title, there is a text instruction: 'Insert ID of Modbus Slaves to capture. Only if use Sniffer Datalogger.' There is a text input field containing the number '3'. To the right of the input field are three buttons: 'Insert ID', 'Cancel ID', and 'Clear List Ids'. The 'Insert ID' button is highlighted with a dashed border.

Fuente: SW67324

Figura 2-9 Comunicación modo sniffer con medidor SATEC



Fuente: SW67324

Figura 2-10 Descarga de configuración al datalogger

2.4 DIAGRAMA Y CONEXIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROYECTO

El sistema implementado establece una red de comunicación industrial que permite el intercambio automatizado de datos entre un PLC Siemens S7-1500, medidores de energía y un datalogger HD67324, facilitando así la supervisión remota de parámetros eléctricos relevantes. Esta red fue configurada sobre la base del protocolo Modbus RTU, utilizando conexiones RS-485 para garantizar una transmisión de datos estable y confiable.

El PLC actúa como el nodo central de control, solicitando información periódicamente a los medidores. Para ampliar la funcionalidad del sistema, el datalogger fue programado para trabajar en modo pasivo, observando y registrando la información de la red sin interferir en el tráfico de datos. Esta función tipo sniffer resulta clave para la generación de registros históricos y análisis posterior del comportamiento energético.

2.5 PROGRAMACION DEL SISTEMA

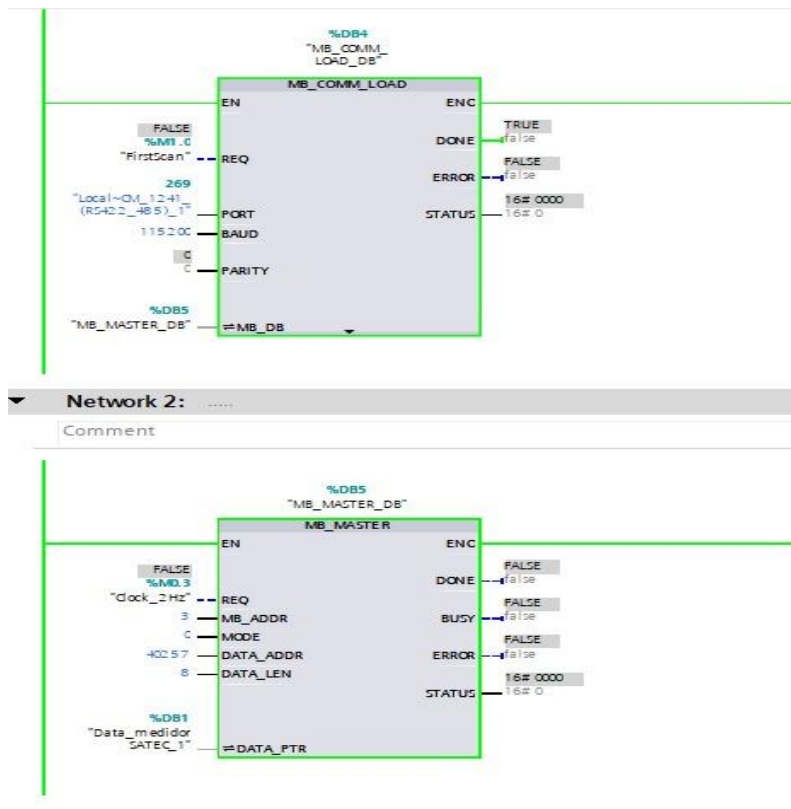
La lógica de control y comunicación del sistema fue desarrollada utilizando el entorno de programación TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), la plataforma oficial de Siemens para la configuración y programación de dispositivos de automatización.

En el proyecto, se programó un PLC Siemens S7-1500, estableciendo su funcionamiento como maestro Modbus RTU dentro de la red RS-485. A través de TIA Portal tal como se puede ver en la figura 2-11, 2-12 y 2-13, también se incorporaron funciones específicas para la adquisición de datos provenientes de los medidores de energía SATEC PM130 EH Plus y Datalogger HD67324, ambos configurados como esclavos.

La programación incluyó las siguientes etapas:

1. Configuración de hardware y módulos de comunicación: Se definió el modelo del PLC y se añadió el módulo de interfaz serial compatible con Modbus RTU.
2. Asignación de parámetros de red: Se programaron direcciones de esclavos, velocidad de transmisión, paridad y estructura de telegramas según los requerimientos de cada medidor.
3. Lectura cíclica de registros Modbus: Se implementaron bloques de funciones para leer periódicamente los registros de voltaje, corriente, energía activa, entre otros.
4. Estructuración de datos en tablas o marcas internas (DBs): Los datos adquiridos fueron almacenados en bloques de datos, facilitando su tratamiento o visualización futura.

Esta lógica de control desarrollada en TIA Portal permitió que el PLC actuara como núcleo del sistema, gestionando en tiempo real la información eléctrica como se puede ver en la figura 2-14 y también se podrá ver en la figura 2-15 el diagrama de flujo de el sistema del proyecto y esto puede ser la preparación base para un monitoreo o integración con interfaces HMI o SCADA, si se requiere.



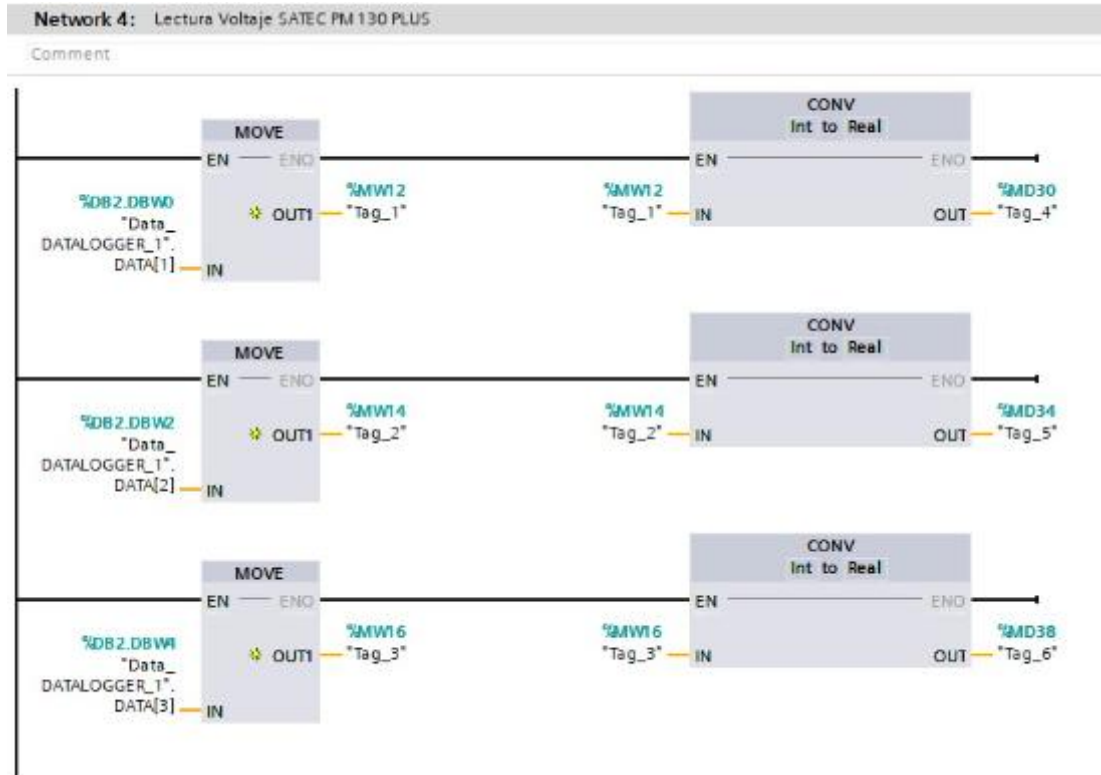
Fuente: Programación en TIA PORTAL

Figura 2-11. Comunicación PLC y DATALOGGER



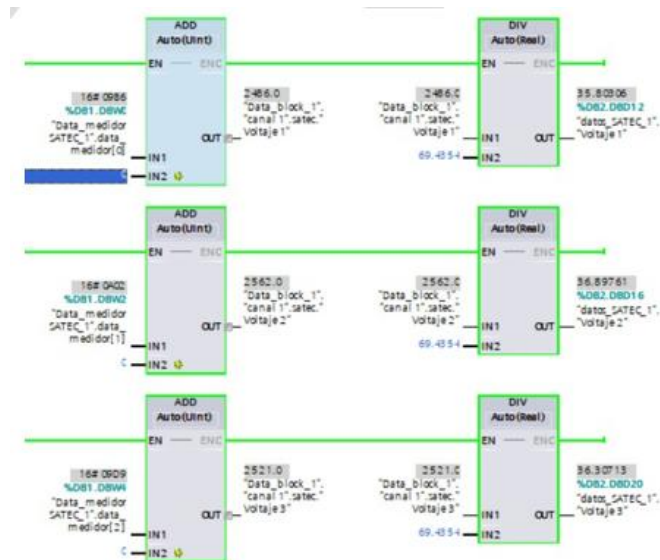
Fuente: Programación en TIA PORTAL

Figura 2-12 Lectura Corriente



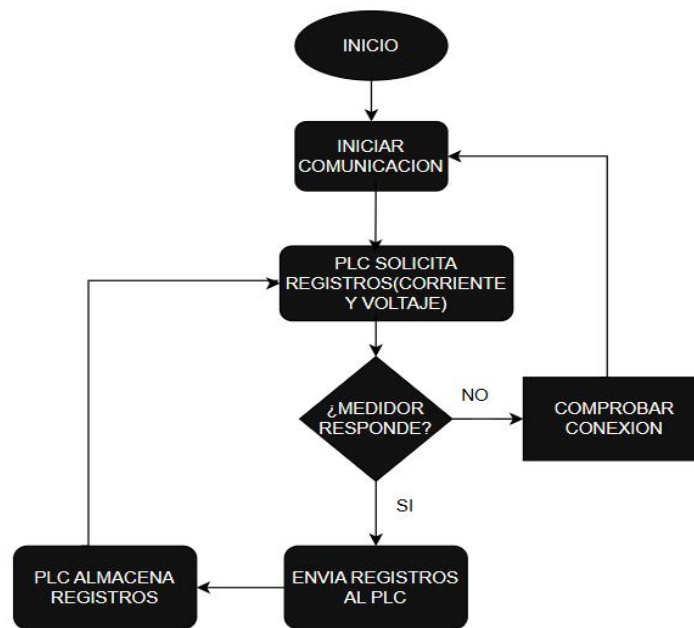
Fuente: Programación en TIA PORTAL

Figura 2-13 Lectura Voltaje



Fuente: Programación en TIA PORTAL

Figura 2-14 Conversión datos de voltaje



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-15 Diagrama de Flujo del Sistema.

2.6 PUESTA EN SERVICIO

La puesta en servicio del sistema requirió el uso de herramientas de software específicas. Para el medidor SATEC PM130 Plus, se utilizó el programa PAS, el cual fue operado a través de un computador conectado mediante un convertidor HD67119 de ADFWeb, que habilitó la comunicación entre el software y el medidor vía RS-485. Por su parte, el datalogger fue configurado utilizando la herramienta SW67324, proporcionada por ADFWeb, lo que permitió definir sus parámetros de operación y funciones dentro de la red.

Este enfoque de integración permite una recolección continua y no invasiva de datos eléctricos, reduciendo la necesidad de intervención manual y aumentando la fiabilidad del monitoreo. La configuración diseñada asegura que la información fluya de forma ordenada, sirviendo tanto para el control en tiempo real como para análisis posteriores, como se muestra en la figura 2-2.

2.6.1 Puesta en Servicio del Sistema de Monitoreo

Como se describió en la sección anterior, la lógica de control fue desarrollada en TIA Portal, donde se configuró el PLC Siemens S7-1500 para operar como maestro en la red Modbus RTU. En dicha programación, se definieron las direcciones de los dispositivos esclavos, los registros a consultar y la frecuencia de lectura. Además, se implementaron bloques funcionales que permiten la adquisición cíclica de datos como voltaje, corriente y energía activa, los cuales son almacenados en bloques de datos internos del PLC para su posterior análisis.

En las imágenes que acompañan esta sección se puede observar cómo se estructuró la comunicación dentro del entorno de TIA Portal, así como la lógica utilizada para capturar y registrar los datos provenientes del medidor SATEC PM130 Plus. Esta configuración permite que el PLC mantenga una comunicación constante con los dispositivos esclavos sin necesidad de intervención externa.

Paralelamente, se instaló y configuró el datalogger HD67324, el cual fue programado para funcionar en modo esclavo/sniffer. Gracias a esta configuración, el datalogger es capaz de capturar los datos que el PLC solicita al medidor, sin interferir en la lógica del programa ni alterar el tráfico de comunicación. En otras palabras, el datalogger no actúa como un maestro independiente, sino que simplemente "escucha" la red RS-485 y registra toda la información que el PLC extrae del SATEC.

Una vez completada la configuración, se realizó una prueba funcional en la cual el PLC fue programado para solicitar nueve registros específicos al medidor SATEC PM130 Plus. Esta petición fue efectuada mediante la lógica establecida en TIA Portal. Como resultado, el datalogger HD67324 logró captar correctamente estos nueve datos, los cuales se visualizaron a través de su aplicación de configuración (SW67324) como se puede ver en la figura 2-16, confirmando así que el dispositivo estaba capturando fielmente las lecturas solicitadas por el PLC.

Este procedimiento validó que la red de comunicación, la programación del PLC y la función de registro del datalogger operaban en conjunto de forma sincronizada y confiable.

ADFweb.com - SW67324 - Example1

ADFweb DataLogger

Main Functions

- New Configuration
- Load Configuration
- Save Configuration
- Update Device
- Software Preferences

Datalogger Setting

- Configuration Setting
- Download Data
- Date & Time Setting

Download Data

Index	Date Time	Req/Res	Slave ID	Function	Data Type	Address	Re	Number of	Data
54	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
55	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
56	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
57	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
58	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
59	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
60	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
61	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
62	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
63	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
64	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
65	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
66	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
67	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
68	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
69	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
70	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
71	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
72	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
73	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
74	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
75	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
76	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
77	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
78	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
79	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
80	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
81	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
82	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
83	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
84	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		
85	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	9		[2486][2555][2507][135][78][53][5005][5003][5002]
86	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	9		

Fuente: SW67324.

Figura 2-16 Registros captados por aplicación datalogger.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS DE PROYECTO

3 RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS DE PROYECTO

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la implementación del sistema de monitoreo energético, así como el análisis de su desempeño en condiciones reales de operación. Se evalúa la eficacia de la arquitectura diseñada, la precisión en la adquisición de datos eléctricos y la autonomía del sistema en funcionamiento continuo.

A partir de la integración de los dispositivos y la configuración detallada en los capítulos anteriores, se realizaron pruebas funcionales que permitieron validar la comunicación entre los componentes, la estabilidad del sistema y la correcta recolección de datos. Estas pruebas se documentan a continuación, junto con los ajustes realizados para optimizar el rendimiento general.

Además, se incluye un análisis de los costos asociados al desarrollo del proyecto, considerando tanto los elementos físicos como los recursos técnicos utilizados. Este análisis permite evaluar la viabilidad económica del sistema y su potencial aplicación en otros entornos industriales.

Finalmente, se presenta un inventario técnico de los materiales y herramientas empleados, seguido de una reflexión sobre los aprendizajes adquiridos durante el proceso de desarrollo. Este capítulo cierra el informe con una visión crítica y propositiva, destacando los logros alcanzados y posibles mejoras futuras.

3.1 IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

La implementación de este proyecto se divide en dos partes principales, diseñadas para operar de manera independiente dentro del sistema de monitoreo eléctrico. Cada una cumple una función específica en el proceso de adquisición y registro de datos, permitiendo que puedan desarrollarse, configurarse y validarse por separado sin que una dependa directamente de la otra. Esta estructura modular facilita tanto el proceso de desarrollo como futuras modificaciones, ya que cada componente puede optimizarse individualmente sin afectar el rendimiento global del sistema.

Tal como se indicó en el capítulo uno, el desarrollo del sistema consideró la integración de equipos industriales y herramientas de software compatibles con estándares

de automatización. Entre los principales dispositivos utilizados se encuentran el PLC Siemens S7-1500, encargado de gestionar y controlar la red de comunicación; los medidores de energía SATEC PM130 Plus y SATEC 130 EH Plus, responsables de entregar los parámetros eléctricos en tiempo real; y el datalogger HD67324 de ADFWeb, utilizado para registrar de forma pasiva los datos adquiridos por el PLC. Para la configuración y programación del sistema, se emplearon plataformas especializadas como TIA Portal, PAS (para la configuración de los medidores SATEC) y SW67324 (para la parametrización del datalogger).

En esta sección se presentan los resultados obtenidos tras la implementación práctica de cada una de las partes del sistema. Cada dispositivo fue configurado y probado de forma específica, asegurando su correcto funcionamiento dentro de la red RS-485 mediante el protocolo Modbus RTU. Además, se validó la comunicación entre los equipos, así como la captura y registro de datos por parte del datalogger en modo sniffer. Estos resultados reflejan el cumplimiento de los objetivos planteados en el diseño del sistema, y servirán como base para el análisis final y las conclusiones del proyecto.

3.1.1 Supervisión y registro de datos en tiempo real

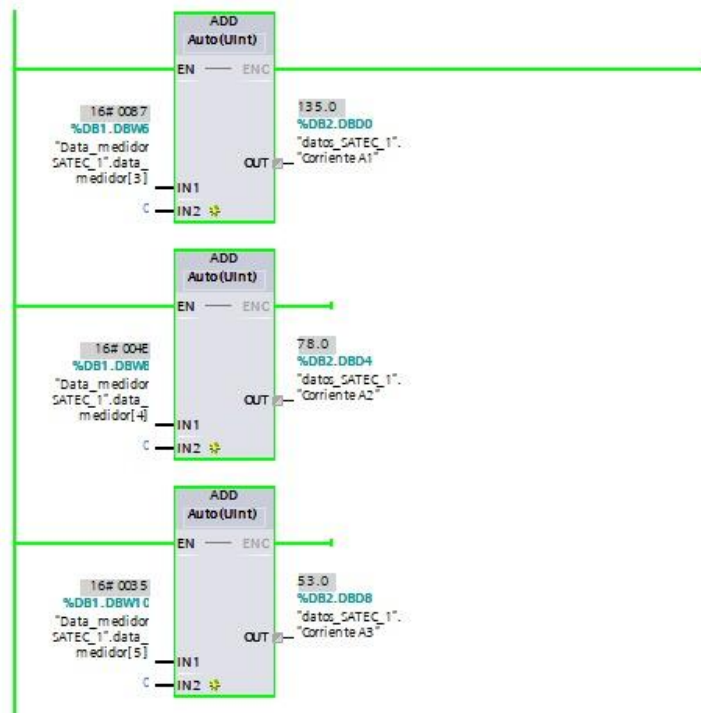
Durante el desarrollo del sistema de monitoreo eléctrico propuesto, fue fundamental integrar distintos dispositivos industriales capaces de establecer una comunicación estable y precisa para la adquisición de datos en tiempo real. Esta implementación contempló tanto el control lógico del sistema como la supervisión pasiva de los datos, lo que aportó una doble funcionalidad: por un lado, la gestión directa desde el controlador lógico programable, y por otro, el respaldo y observación del tráfico de datos mediante un sistema externo.

El controlador utilizado, programado en TIA Portal, fue configurado para actuar como maestro dentro de una red industrial basada en el protocolo Modbus RTU, utilizando comunicación serial RS-485. Su función principal consistió en solicitar información periódicamente a los medidores eléctricos, los cuales entregaban parámetros como voltaje, corriente, potencia y frecuencia. Esta información era almacenada en registros internos del PLC, lo que permitió disponer de una base de datos local, útil para visualización, diagnóstico o procesamiento posterior.

En paralelo, se integró un datalogger industrial configurado en modo sniffer, cuya función fue observar el tráfico de datos generado por el sistema sin intervenir en él. Este dispositivo fue programado mediante el software SW67324, y su integración se realizó de forma pasiva, es decir, sin alterar el funcionamiento lógico de la red. Gracias a esta implementación, fue posible almacenar y consultar los datos que el PLC solicitaba al sistema de medición, fortaleciendo así la trazabilidad y el respaldo de la información adquirida.

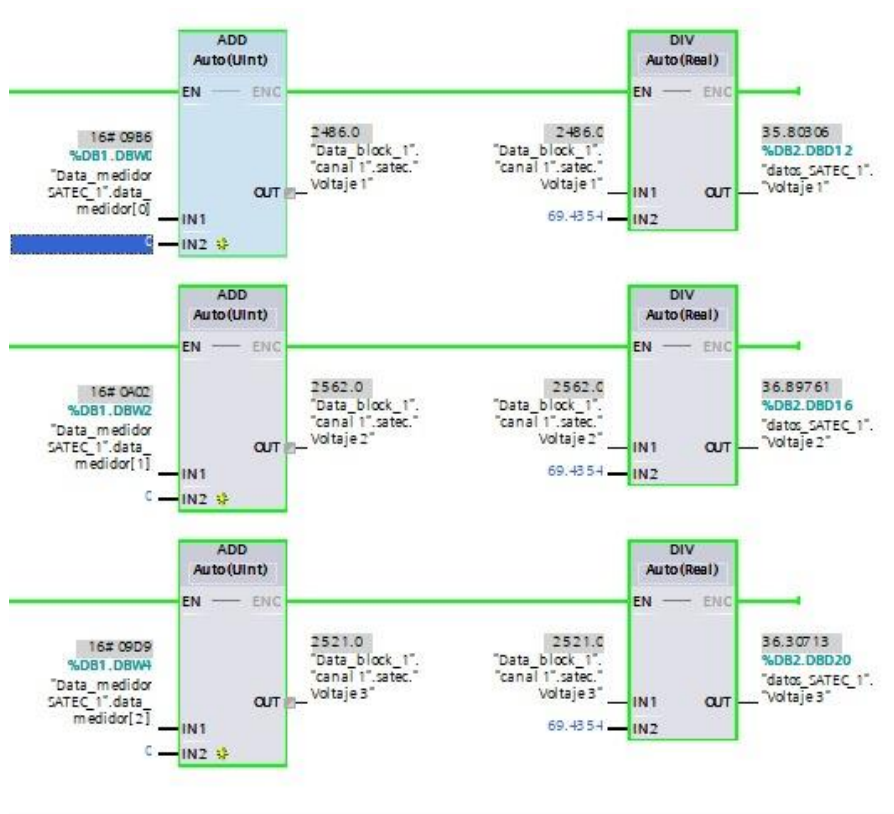
Para validar el correcto funcionamiento del sistema, se realizaron pruebas en las que el PLC solicitó múltiples parámetros eléctricos a uno de los medidores tal como lo demuestra la figura 3-1 y 3-2. El datalogger capturó con éxito cada uno de estos registros, los cuales pudieron ser visualizados en su software correspondiente, confirmando así la sincronización entre ambas partes. Estos resultados respaldan la confiabilidad del sistema implementado, y sientan una base técnica sólida para futuras ampliaciones o integraciones en entornos industriales.

En la figura 3-3 se podrán ver los datos capturados por el datalogger que fueron almacenados en el bloque de datos DB2 del TIA Portal, el cual fue configurado como una estructura de registro destinada a conservar de forma ordenada los parámetros eléctricos adquiridos. Este almacenamiento local permite una trazabilidad detallada y facilita el análisis posterior de las variables monitoreadas.



Fuente: Programación en TIA PORTAL

Figura 3-1. Datos obtenidos de corriente



Fuente: Programación en TIA PORTAL

Figura 3-2 Datos obtenidos de voltaje

Name	Data type	Offset	Start value	Monitor value	Retain	Accessible F.	Write	Visible in	Setpoint	Comment
Comente A1	Real	0.0	0.0	135.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Comente A2	Real	4.0	0.0	78.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Comente A3	Real	8.0	0.0	53.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Voltage 1	Real	12.0	0.0	39.70225		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Voltage 2	Real	16.0	0.0	36.79679		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Voltage 3	Real	20.0	0.0	36.69635		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fuente: Programación en TIA PORTAL

Figura 3-3 Estructura de registro en el bloque de datos DB2

3.1.2 Monitoreo pasivo mediante datalogger

Como parte del sistema de monitoreo eléctrico desarrollado, se incorporó un datalogger industrial con el objetivo de realizar una supervisión pasiva del tráfico de datos en la red de comunicación. Este dispositivo fue configurado en modo slave + sniffer y conectado de forma no intrusiva a la red Modbus RTU, permitiendo la observación del intercambio de información entre el PLC maestro y los medidores eléctricos, sin intervenir ni modificar la lógica de funcionamiento del sistema.

La programación del datalogger se llevó a cabo mediante el software SW67324, permitiendo registrar en tiempo real las tramas de datos correspondientes a las solicitudes del PLC y las respuestas emitidas por los dispositivos esclavos. Entre los parámetros registrados se encuentran el voltaje, la corriente, la potencia activa y la frecuencia, todos ellos esenciales para el diagnóstico eléctrico del sistema.

Los datos capturados fueron almacenados en un archivo de registro accesible desde el software del datalogger, brindando una fuente de respaldo adicional a la información registrada por el controlador. Esta implementación permitió validar el correcto funcionamiento del sistema de adquisición y comunicación, además de ofrecer una herramienta útil para la trazabilidad, auditoría y futuros procesos de análisis o mantenimiento predictivo.

En las figuras 3-4 y 3-5 se puede observar la configuración realizada en el datalogger, así como los resultados obtenidos al establecer la conexión con el medidor SATEC PM130EH. Estas imágenes ilustran el proceso de integración y validación del monitoreo pasivo, confirmando la correcta detección e interpretación de los parámetros eléctricos transmitidos por el sistema.

Durante la configuración del datalogger HD67342, se identificó que los datos provenientes de los dispositivos conectados no siempre se presentan en su forma final o directamente legible. En particular, los valores de voltaje llegan en formato escalado, lo que requiere aplicar una fórmula de conversión para obtener el valor real. Esta conversión se realiza directamente en el software SW67324, donde se puede ingresar un factor de escala que ajusta automáticamente los datos antes de ser visualizados o enviados a otros sistemas.

En este proyecto, se determinó que los datos de voltaje requerían la aplicación de un factor de escala de 0,144, el cual fue configurado en el software para que los valores registrados por el datalogger correspondieran con los valores reales medidos en el sistema. Por otro lado, los datos de corriente ya llegaban correctamente escalados desde el dispositivo de origen, por lo que no fue necesario aplicar ningún ajuste adicional en ese caso.

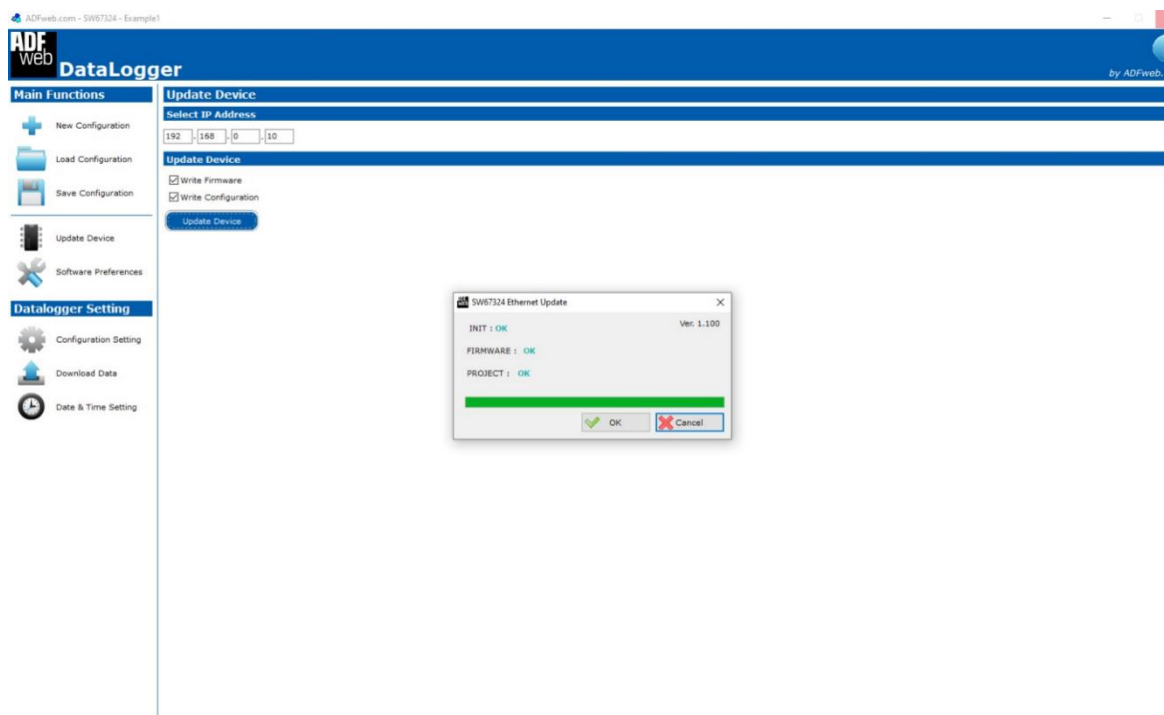
Este proceso de conversión es fundamental para asegurar la precisión de los datos que se visualizan posteriormente en el PLC Siemens S7-1200, ya que cualquier discrepancia entre el valor recibido y el valor real podría afectar el análisis o la toma de decisiones en el sistema de monitoreo.

La fórmula aplicada y el conjunto de datos recibidos por el datalogger se pueden observar en las Figuras 3-6 y en la figura 3-7 se podrán ver los tres datos de voltaje obtenidos por el datalogger.

Para la Interpretación de la fórmula de conversión (Figura 3-6)

En el sistema desarrollado, se emplea una fórmula de conversión que permite transformar el valor registrado por el instrumento de medición en una variable eléctrica distinta, en este caso, Voltaje. Esta fórmula se basa en una relación proporcional entre el dato digital (X) y el rango de voltaje configurado en el sistema de adquisición.

La variable X representa el valor leído por el sistema de registro de datos, correspondiente a una señal de entrada analógica. El término (HI - LO) indica el rango de voltaje configurado para dicha señal, que en este caso es de 144 V. Este rango define los límites superior e inferior de la señal que el sistema puede interpretar. Finalmente, la variable Y corresponde al valor convertido, es decir, el dato que representa el voltaje y el significado de cada incógnita de esta fórmula podrá ser visualizada en la figura 3-8.



Fuente: Aplicación SW67324

Figura 3-4 Conexión establecida datalogger y SATEC PM130

Index	Date Time	Req/Res	Slave ID	Function	Data Type	Address R#	Number of Data
54	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
55	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
56	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
57	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
58	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
59	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
60	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
61	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
62	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
63	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
64	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
65	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
66	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
67	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
68	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
69	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
70	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
71	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
72	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
73	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
74	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
75	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
76	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
77	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
78	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
79	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
80	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
81	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
82	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
83	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0
84	13/06/2021	REQUEST	3	3	Holding Re	256	0
85	13/06/2021	RESPONSE	3	3	Holding Re	256	0

Fuente: Aplicación SW67324

Figura 3-5 Medición de Datos desde el SATEC PM130

$$Y = \frac{X \times (HI - LO)}{9999} + LO$$

Fuente: Formula Matematica

Figura 3-6 Conversión para datos de voltaje

V1 V2 V3

[2486][2555][2507]

Fuente: SW67324

Figura 3-7 Datos de voltaje desde el SATEC PM130

dónde:

Y	- Lectura verdadera en unidades de ingeniería
X	- Datos de entrada sin procesar en el rango de 0 a 9999
LO y HI	- Datos de escalas bajas y altas en unidades de ingeniería

Fuente: PM130-PLUS

Figura 3-8 Representación datos de conversión

3.2 **ALGUNAS CONSIDERACIONES**

El desarrollo del sistema de monitoreo eléctrico presentado en este proyecto ha permitido demostrar una solución efectiva y técnicamente viable para la adquisición y respaldo de datos eléctricos en tiempo real, integrando controladores programables, dispositivos de medición y un sistema de monitoreo pasivo. Sin embargo, como en toda implementación técnica, es necesario considerar tanto los puntos fuertes como los aspectos que requieren atención para asegurar su correcto funcionamiento y sostenible a largo plazo.

Entre los principales aspectos positivos, destaca la posibilidad de realizar un monitoreo pasivo no invasivo gracias a la integración del datalogger en modo slave + sniffer, lo que permite observar la comunicación entre el PLC y los medidores sin afectar la operación de la red. Esta característica mejora la trazabilidad del sistema, ya que proporciona una segunda fuente de respaldo independiente de los registros almacenados en el PLC. Además, la utilización del protocolo Modbus RTU sobre RS-485, ampliamente adoptado en la industria, garantiza una alta compatibilidad con diferentes equipos y facilita la expansión del sistema en futuras etapas.

Por otro lado, la programación estructurada en TIA Portal y la organización lógica del proyecto hacen que el sistema sea modular y escalable, permitiendo reutilizarla o adaptarla para nuevas aplicaciones sin la necesidad de re diseñar toda la arquitectura.

No obstante, se deben tener en cuenta algunas consideraciones críticas. La correcta configuración de los parámetros de comunicación, como el ID del dispositivo esclavo, es fundamental para garantizar la interoperabilidad del sistema. Cualquier error en estos

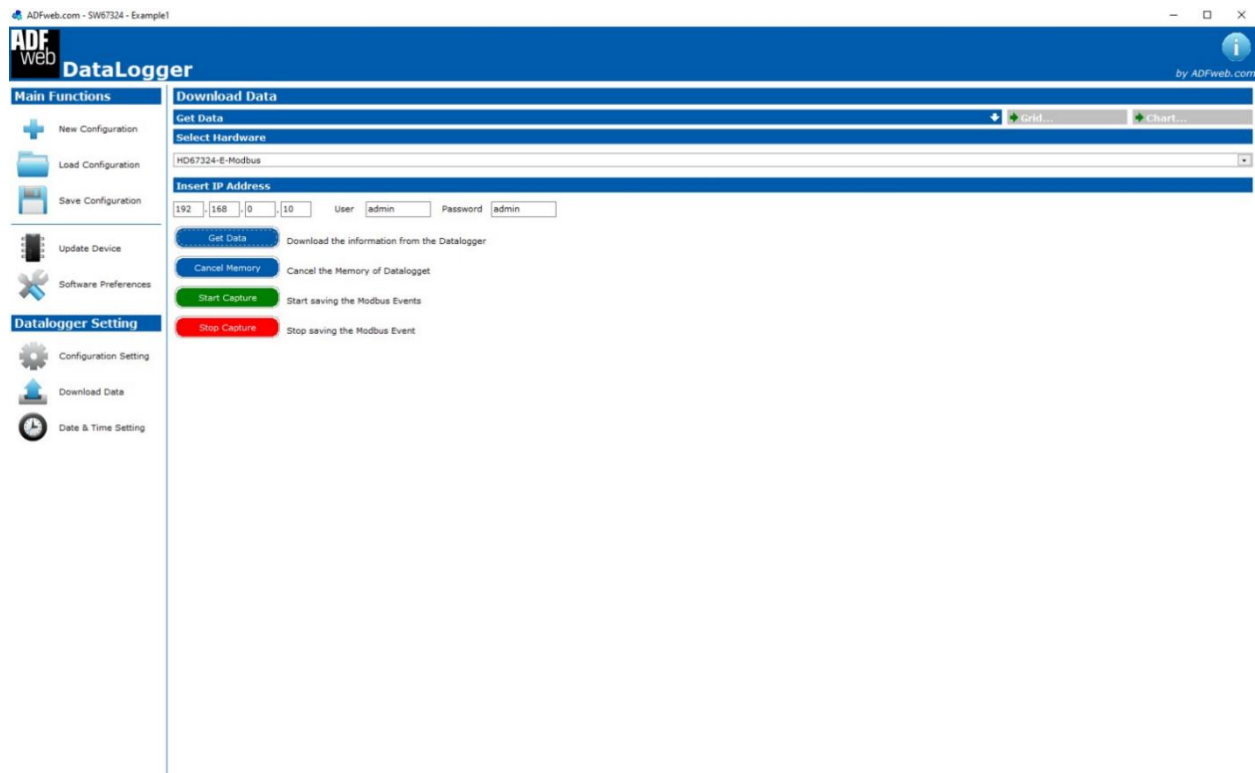
valores puede impedir el intercambio de datos. Asimismo, la estabilidad de la red RS-485 puede verse afectada por interferencias eléctricas o una topología incorrecta, por lo que se requiere una instalación adecuada con terminación de línea y blindaje de cables.

Adicionalmente, aunque el datalogger cumple una función esencial en la validación y respaldo, su capacidad de almacenamiento puede ser limitada, y al no estar sincronizado con el reloj interno del PLC, pueden generarse desfases temporales en la comparación de registros. Finalmente, el análisis de las tramas Modbus capturadas por el datalogger requiere conocimientos técnicos específicos, lo que podría representar una barrera si el sistema es operado por personal sin formación especializada.

En conclusión, el sistema desarrollado presenta una solución robusta y funcional, pero requiere ciertas condiciones técnicas y operativas para garantizar su rendimiento óptimo en entornos industriales reales.

3.2.1 SW67324

Una consideración relevante es el uso de la aplicación SW67324, la cual resulta fundamental para la configuración, monitoreo y validación del datalogger utilizado en el sistema. Su correcta utilización permite asegurar una comunicación adecuada y una supervisión eficiente de los datos adquiridos como se puede ver en la figura 3-9, lo que contribuye al buen desempeño del monitoreo pasivo implementado.



Fuente: SW67324

Figura 3-9 Aplicación SW67324

3.2.2 Limitación del rol maestro en Modbus RTU

Otra consideración y crítica relevante del sistema implementado es la limitación inherente al protocolo Modbus RTU en cuanto al rol de maestro y esclavo dentro de la red. En este tipo de comunicación, solo un dispositivo puede operar como maestro, mientras que los demás deben actuar como esclavos. En este proyecto, al utilizar simultáneamente un PLC, un datalogger y un medidor SATEC, fue necesario definir un único maestro, siendo el PLC el encargado de cumplir esa función.

Esta decisión impide que el datalogger funcione como maestro de forma independiente para comunicarse directamente con el medidor, ya que esto generaría un conflicto en la red. Como alternativa, si se planteara un sistema separado, donde el datalogger y el SATEC por un lado, y el PLC y el SATEC por otro, operaran en redes distintas, ambos podrían configurarse como maestros sin interferencias. No obstante, en la configuración actual, los tres dispositivos comparten el mismo canal de comunicación, lo que

obliga a respetar la estructura maestro-esclavo tradicional y limita la flexibilidad operativa del sistema.

3.3 COSTOS DEL PROYECTO

A continuación, se presenta el desglose detallado de los costos asociados a los componentes utilizados en la implementación del sistema de monitoreo eléctrico desarrollado para este Trabajo de Título. Este detalle contempla los elementos físicos adquiridos, como el controlador lógico programable (PLC Siemens), el medidor eléctrico SATEC PM130EH, el datalogger industrial y los materiales necesarios para su correcta instalación.

Por otro lado, se incorpora el valor estimado de los recursos humanos involucrados, correspondientes a las labores técnicas realizadas durante la fase de programación, configuración, pruebas y documentación del sistema. Este esfuerzo se valora con base en una estimación de horas de trabajo técnico especializado.

El objetivo de este apartado es proporcionar una visión clara y completa de los recursos materiales y humanos requeridos para llevar a cabo la ejecución exitosa del proyecto, evidenciando el nivel de compromiso técnico y económico necesario para su desarrollo.

3.3.1 Valor componentes y Provedores

En la tabla 3.1 se presenta el detalle de la inversión realizada para la implementación del sistema de monitoreo eléctrico desarrollado en este proyecto. En ella se especifican los componentes principales utilizados, junto con su cantidad, proveedor correspondiente y el valor total con IVA incluido. Este desglose contempla únicamente los elementos materiales fundamentales para el funcionamiento del sistema, excluyendo los costos relacionados a software o mano de obra técnica.

Cabe mencionar que algunos productos fueron adquiridos a través de proveedores locales o distribuidores oficiales, mientras que otros se gestionaron mediante plataformas en línea o importadores especializados, lo cual puede haber influido en el valor final debido a gastos adicionales por concepto de envío o gestión. Esta información busca entregar una

visión clara, estructurada y transparente de los recursos económicos invertidos en los componentes físicos esenciales del proyecto.

Tabla 3-1 Valores y componentes del prototipo.

N°	Descripción del componente	Cantidad	Proveedor	Precio unitario (CLP)	Precio + IVA (CLP)	Valor en UF
1	PLC Siemens (modelo utilizado)	1	Siemens / Automatización Ltda.	760.000	904.400	23,04
2	Medidor eléctrico SATEC PM130EH	1	SATEC Chile / Medidores Industriales	475.000	565.250	14,40
3	Datalogger industrial	1	Syscom / Dataloggers SpA	285.000	339.150	8,64
4	HD67119 (ADFWeb – convertidor Modbus)	1	ADFWeb / Integradores Chile	270.000	321.300	8,19
5	Cables, conectores, fuentes, insumos	—	Electrocomponentes S.A.	140.000	166.600	4,24
	Total general con IVA (CLP)				2.296.700	58,50

Fuente: Cotización con Proveedores

3.3.2 Evaluación mano de obra

Para estimar la mano de obra involucrada en el desarrollo del proyecto, se tomó como referencia la planificación elaborada previamente. Esta planificación contempló una duración total de seis semanas, con jornadas laborales de lunes a viernes, trabajando ocho horas diarias. En total, se consideraron 30 días efectivos de trabajo, lo que equivale a 240 horas destinadas a la ejecución de las distintas etapas del proyecto.

Gracias a esta planificación fue posible distribuir de manera ordenada las tareas, asignar tiempos realistas a cada actividad y proyectar el esfuerzo necesario para cumplir con los objetivos establecidos. La estructura semanal y diaria de estas horas se puede observar en las Figura 3-10, donde se detalla el cronograma de trabajo desarrollado para este proyecto.

3.3.3 Costos del Proyecto

La evaluación económica del sistema desarrollado considera tanto los recursos materiales como el tiempo técnico requerido para su implementación. En esta etapa del proyecto se identificaron los principales elementos involucrados, tales como el medidor eléctrico SATEC PM130EH Plus, el datalogger HD67324-B2-E-485 y el PLC Siemens S7-1200, además de los accesorios necesarios para su conexión, como fuentes de alimentación, cables de comunicación y elementos de montaje.

Aunque todos los equipos utilizados fueron facilitados por la Universidad, para efectos de análisis se consideraron sus valores referenciales de mercado. Esto permite dimensionar el costo real que implicaría implementar este sistema en un entorno industrial. Adicionalmente, se incluye una estimación del tiempo invertido en actividades como la instalación física, la configuración de parámetros, la programación del PLC y la verificación funcional del sistema.

Esta aproximación económica no solo permite valorar los recursos utilizados, sino también reconocer el grado de complejidad técnica asociado a la puesta en marcha de una solución de monitoreo eléctrico como la propuesta.

La Tabla 3-3 presenta el resumen de los costos estimados asociados al desarrollo de este proyecto y el detalle de esta tabla están en en la tabla 3-1 y en la tabla 3-2.

Tabla 3-3 Costos del proyecto

Costos del Proyecto	
Costos Materiales en UF	58,5
Costo Total HH en UF	60
Imprevistos en UF	11,85
Costo final en UF	130,35
Costo final en CLP	5.116.629

Fuente: Costos del Proyecto

CONCLUSIONES

Este proyecto demostró que es posible implementar un sistema de monitoreo eléctrico robusto, modular y funcional, combinando monitoreo activo (PLC) y pasivo (datalogger). El desarrollo del sistema no estuvo exento de desafíos: uno de los principales fue la configuración de la comunicación Modbus RTU sobre la red RS-485, que requiere precisión en los parámetros de red, dirección de dispositivos y compatibilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

El desarrollo de este proyecto permitió demostrar la viabilidad de implementar un sistema de monitoreo eléctrico robusto, modular y funcional, combinando estrategias de monitoreo activo mediante PLC y pasivo mediante datalogger. Esta integración tecnológica permitió una adquisición confiable de parámetros eléctricos en tiempo real, cumpliendo con los objetivos planteados desde el inicio.

Durante el proceso, se enfrentaron diversos desafíos técnicos, siendo uno de los más relevantes la configuración de la comunicación Modbus RTU sobre la red RS-485. Este protocolo, si bien es ampliamente utilizado en la industria, requiere una configuración precisa de parámetros como la velocidad de transmisión, direccionamiento de dispositivos y compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes.

Asimismo, la integración del datalogger presentó dificultades asociadas al uso de software específico y a la interpretación de mapas de registros, lo cual representa una barrera para usuarios sin experiencia previa. A esto se sumó la falta de documentación unificada, lo que obligó a realizar pruebas iterativas y consultar múltiples fuentes técnicas para lograr una comunicación estable entre el medidor, el datalogger y el PLC.

Desde el punto de vista de la planificación, el proyecto demandó una considerable inversión de tiempo en pruebas, verificación de cableado, ajustes de direccionamiento y simulaciones previas a la puesta en servicio. No obstante, gracias al acceso a los equipos proporcionados por la Universidad, fue posible concretar una solución operativa que no solo cumple con los requerimientos técnicos, sino que también puede servir como herramienta didáctica para futuras generaciones de estudiantes.

Finalmente, el sistema desarrollado es escalable y adaptable a plataformas SCADA o HMI, lo que abre la posibilidad de su aplicación en entornos industriales reales. Su diseño

permite futuras expansiones hacia el monitoreo multimedidor, control de consumo energético y diagnóstico remoto, consolidando así una base sólida para proyectos de mayor envergadura.