



Medición y Optimización Energética en la Industria

Proyecto Final de Tesis

Licenciatura en Automatización y Control
de Procesos Industriales

Cáceres, Danilo Sebastián

Gallay, Lucas Santiago

UADER "Facultad de Ciencia y Tecnología"

DOCENTE: Puente, Gustavo

TUTOR: Sinise, Guillermo

FECHA: --- 2024

ÍNDICE:

Resumen ejecutivo	4
Antecedentes	12
Diseño básico.....	13
DFS - Descripción funcional del sistema	14
Configuración de SCADA con PostgreSQL	23
Consultas a Base de Datos	25
Objeto de control de tendencias.....	27
Diagrama de red y comunicación Modbus.....	31
Configuración Comunicación Ethernet.....	32
HMI - HMIGXU5512X.....	33
Computadora Personal.....	34
Configuración Comunicación Modbus RTU.....	36
Descripción del proceso	39
Modelado de Base de Datos (PostgreSQL).....	40
Planos trifilares	44
Diseño de detalle	51
Software de programación	61
SCADA.....	62
Memorias del proyecto	63
Estado del arte	65
Conclusión	66
Bibliografía	69
Anexo.....	70

Índice de imágenes

- Figura 1: Horno de Inducción
- Figura 2: Banco de capacitores
- Figura 3: Vista de tablero cerrado
- Figura 4: Vista de tablero abierto
- Figura 5: SCADA- Pantalla principal: Tensión, Corriente, Coseno de Phi, Potencia y Energía
- Figura 6: SCADA- Configuración de Alarmas: Factor de Potencia y Consumo de Energía
- Figura 7: SCADA- Configuración de Alarmas: Factor de Potencia y Consumo de Energía
- Figura 8: SCADA - Tendencias: Medición Armónicos impares por fase y separado por medidor de Energía
- Figura 9: Medidor de tensión de aguja
- Figura 10: Medidor de corriente de aguja
- Figura 11: Medidores de energía PM5110
- Figura 12: Diagrama de flujo general del sistema
- Figura 13: Diagrama de flujo del sistema de medición
- Figura 14: Diagrama de flujo del cálculo de promedios
- Figura 15: Diagrama de flujo del monitoreo y control de consumo energético
- Figura 16: Diagrama de flujo de escritura en Base de Datos
- Figura 17: Selección de Driver de Comunicación
- Figura 18: Configuración Driver de Comunicación
- Figura 19: Configuración ODBC. Creación origen de datos
- Figura 20: Configuración de driver en ODBC
- Figura 21: Configuración de Base de Datos en SCADA
- Figura 22: Tabla de Armónicos impares en Base de Datos
- Figura 23: Comandos de ejecución
- Figura 24: Comando de tendencias
- Figura 25: Selección de datos a visualizar
- Figura 26: Trending de Armónicos
- Figura 27: Topología de Comunicación
- Figura 28: Configuración Ethernet IP PLC
- Figura 29: Configuración Ethernet IP HMI
- Figura 30: Configuraciones generales PC
- Figura 31: Configuración IP de PC
- Figura 32: Configuración comunicación Modbus PLC
- Figura 33: Configuración ID Modbus esclavos
- Figura 34: Parámetros Modbus
- Figura 35: Creación de Base de Datos
- Figura 36: Creación de Tablas en Base de Datos
- Figura 37: Creación de campos en tabla de Energía
- Figura 38: Creación de campos en tabla de Armónicos
- Figura 39: Plano vista exterior tablero

- Figura 40: Plano vista interior tablero
- Figura 41: Plano protecciones y alimentación
- Figura 42: Plano de borneras de conexión y PLC
- Figura 43: Plano de alimentación del Tablero
- Figura 44: Conexionado Medidor de Energía 1
- Figura 45: Conexionado Medidor de Energía 2
- Figura 46: Fuente de alimentación
- Figura 47: Alimentación PLC
- Figura 48: Conexionado Salidas Digitales
- Figura 49: Conexionado entre Medidores de Energía y Tablero General
- Figura 50: PLC Schneider - M241
- Figura 51: HMI Schneider - HMIGXU5512X
- Figura 52: Medidor de Energía Schneider - PM5110
- Figura 53: Transformador de Corriente Schneider - METSECT5DA125
- Figura 54: Interruptor Termomagnético Schneider
- Figura 55: Porta fusible Schneider
- Figura 56: Fuente 24Vcc-5A Schneider
- Figura 57: Relé ultrafino 24Vcc/Vca Schneider
- Figura 58: Bornera de contraste Zoloda
- Figura 59: Luz piloto Schneider
- Figura 60: Torre luminosa Schneider
- Figura 61: Versión de Software de programación PLC
- Figura 62: Versión de Software de programación SCADA
- Figura 63: Distorsión armónica
- Figura 64: Consumo energético promedio

Resumen ejecutivo

Se propone la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real para la recopilación, procesamiento y análisis de datos de consumo y calidad energética en nuestras instalaciones. El objetivo principal es crear una herramienta con información valiosa para optimizar la toma de decisiones en la empresa.

Esta iniciativa conlleva a beneficios claves, tales como la protección de las instalaciones y los equipos, la prevención de multas y la mejora en la proyección de la producción e inversiones. La implementación de dicho sistema no solo mejorará la eficiencia operativa, sino que también fortalecerá la seguridad y sostenibilidad financiera de la empresa.

Problemáticas

Las corrientes Armónicas son un problema complejo de resolver y de controlar en algunas industrias. Existe falta de información aplicada al diseño de filtros eficientes, que conduce a sistemas inadecuados de mitigación y acortamiento de la vida útil en los equipos.

El consumo de energía eléctrica en planta, actualmente está generando multas significativas, por medición y control inadecuado, limitaciones en las instalaciones que afectan la productividad de la planta.

La falta de comprensión de estas problemáticas dificulta la toma de decisiones para la expansión de la planta y la adquisición de nuevos equipos.

Objetivos del proyecto

Sistema de Monitoreo en Tiempo Real:

- Desarrollar un sistema integral que abarque la captura, procesamiento y análisis de datos de consumos y calidad energética en las instalaciones.
-

Optimización de la Asistencia Informática:

- Diseñar una interfaz específica para proporcionar información de manera instantánea.

Estos objetivos tienen como propósito establecer una herramienta completa que facilite una gestión eficaz de los recursos energéticos en el entorno empresarial, mejorando la toma de decisiones y la eficiencia operativa.

Alcances

- Diseño básico en elección de hardware.

- Implementación de base de datos.
- Creación de interfaz para monitorear variables en tiempo real e históricas.
- Diseño de software en controlador (PLC).
- Diseño de interfaz del sistema de adquisición de datos.
- Esquema eléctrico y topográfico del tablero de control.
- Simulación del Sistema.

No incluye

- Aplicación en campo (cableado y colocación).
- Puesta en marcha.
- Amortización del proyecto.

Resumen del proyecto

El proyecto está basado en la utilización de un horno de inducción para la expansión de tubos de metal, es fundamental comprender tanto el funcionamiento básico del horno como las implicaciones de su uso en la red eléctrica.

El principio de funcionamiento del horno de inducción se basa en la inducción electromagnética, donde una corriente alterna fluye a través de una bobina de cobre, generando un campo magnético cambiante. Este campo induce corrientes eléctricas en el material conductor dentro del horno, que a su vez generan calor debido al efecto Joule, permitiendo así la expansión de los tubos de metal de manera eficiente y controlada.

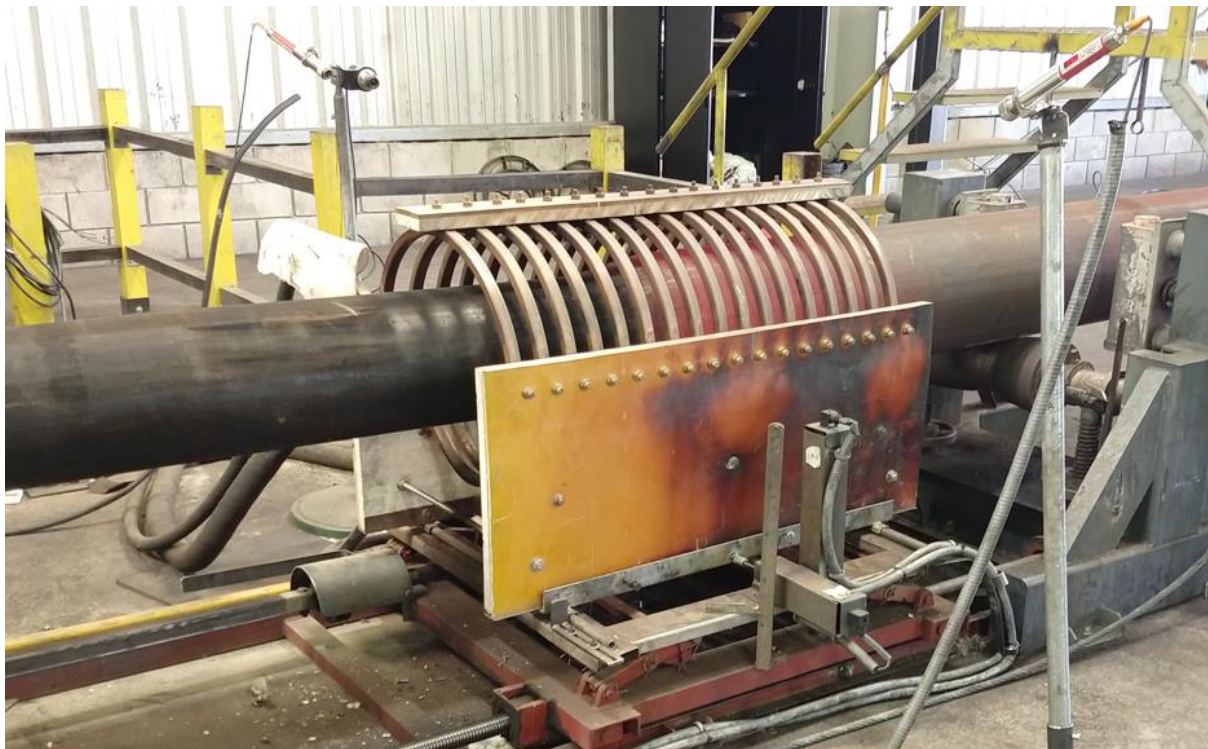


Figura 1: Horno de inducción

Sin embargo, esta eficiencia y control vienen con ciertas desventajas para la red eléctrica de la planta. La naturaleza de la operación del horno de inducción introduce armónicos en la red, que son distorsiones de la forma de onda de la corriente eléctrica estándar. Estos armónicos pueden degradar la calidad de la energía eléctrica, afectando el funcionamiento óptimo de otros equipos conectados a la misma red. Además, el horno puede causar fluctuaciones de voltaje y flicker, especialmente notables durante el arranque y los ciclos de alta demanda de energía. Estas fluctuaciones pueden provocar problemas operativos en equipos sensibles y reducir la eficiencia general de la planta.

Es importante, por tanto, que en el diseño y operación de la planta se tomen en consideración medidas para mitigar estas desventajas. La implementación de filtros de armónicos y sistemas de gestión de energía reactiva es crucial para asegurar la estabilidad de la red eléctrica y la eficiencia operativa de la planta.

La experiencia práctica en la planta, donde se colocó un filtro de armónicos genérico que terminó dañándose debido a un diseño inadecuado. Un sistema de medición de armónicos adecuado es esencial para identificar la magnitud, frecuencia y fase de los armónicos presentes en la red eléctrica, proporcionando datos vitales que son fundamentales para el diseño de un filtro de armónicos que pueda manejar eficazmente las distorsiones específicas sin riesgo de sobrecarga o fallo.

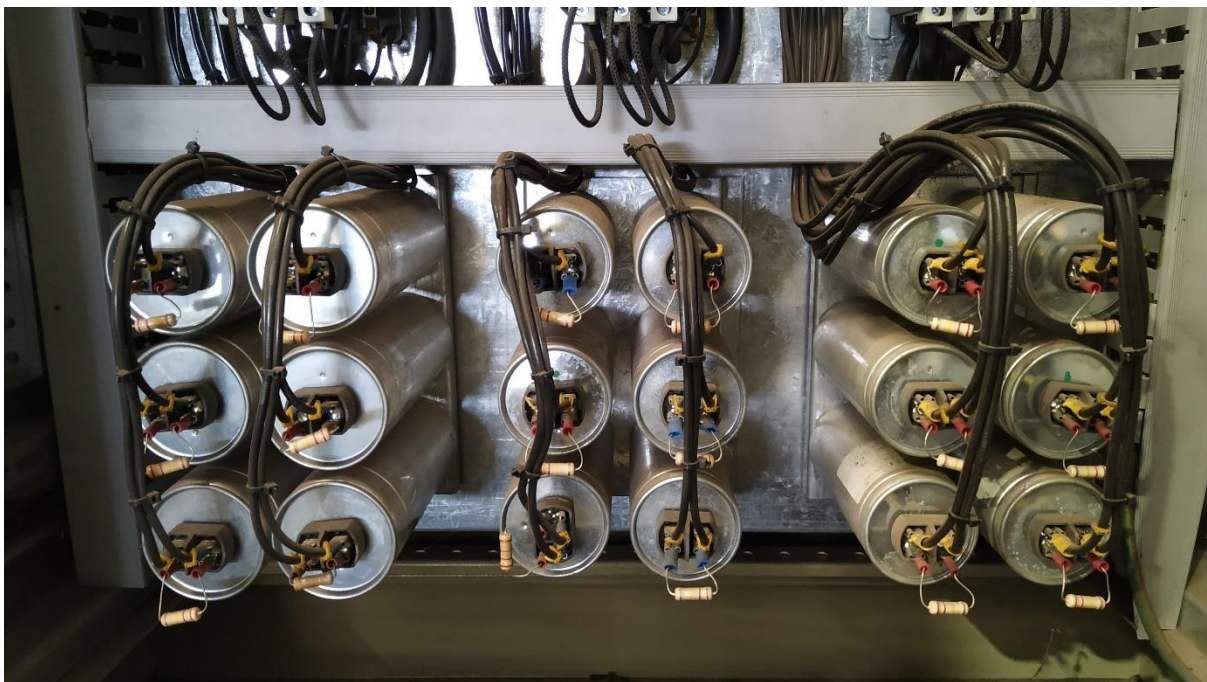


Figura 2: Banco de capacitores

Para abordar esta problemática, se implementó un panel de control equipado con dos medidores de energía y un controlador lógico programable (PLC). Esta configuración se integró tanto al tablero principal de la planta como al del horno de inducción, permitiendo la evaluación detallada de los armónicos tanto a nivel global de la instalación eléctrica como específicamente en el horno, teniendo en cuenta la presencia de otros dispositivos de menor consumo en la red eléctrica de la planta.



Figura 3: Vista de tablero cerrado

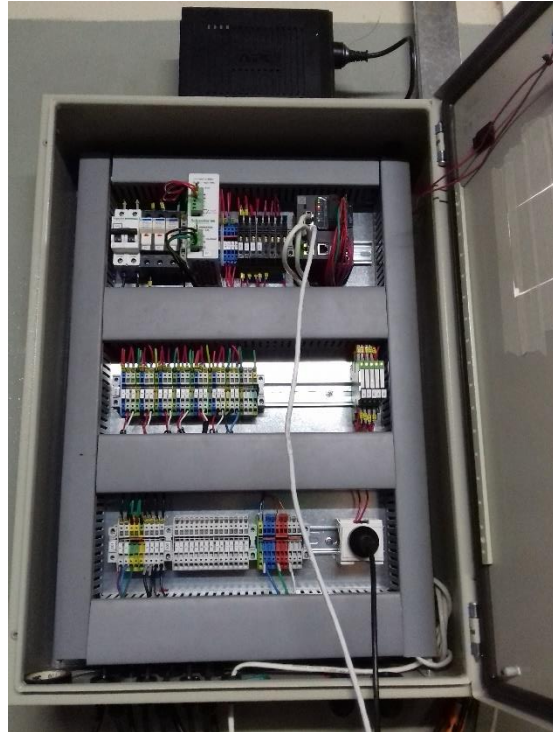


Figura 4: Vista de tablero abierto

Con el objetivo de facilitar la interpretación de los datos, se desarrolló una interfaz gráfica de usuario (SCADA), que no solo posibilita el análisis en tiempo real y el registro histórico de los armónicos por fase, sino que también incorpora un sistema de alertas para el manejo de incidencias relacionadas con el exceso de consumo y el factor de potencia, contribuyendo así a la prevención de sanciones económicas asociadas a estas variables.

A continuación se ilustra las distintas pantallas del SCADA.

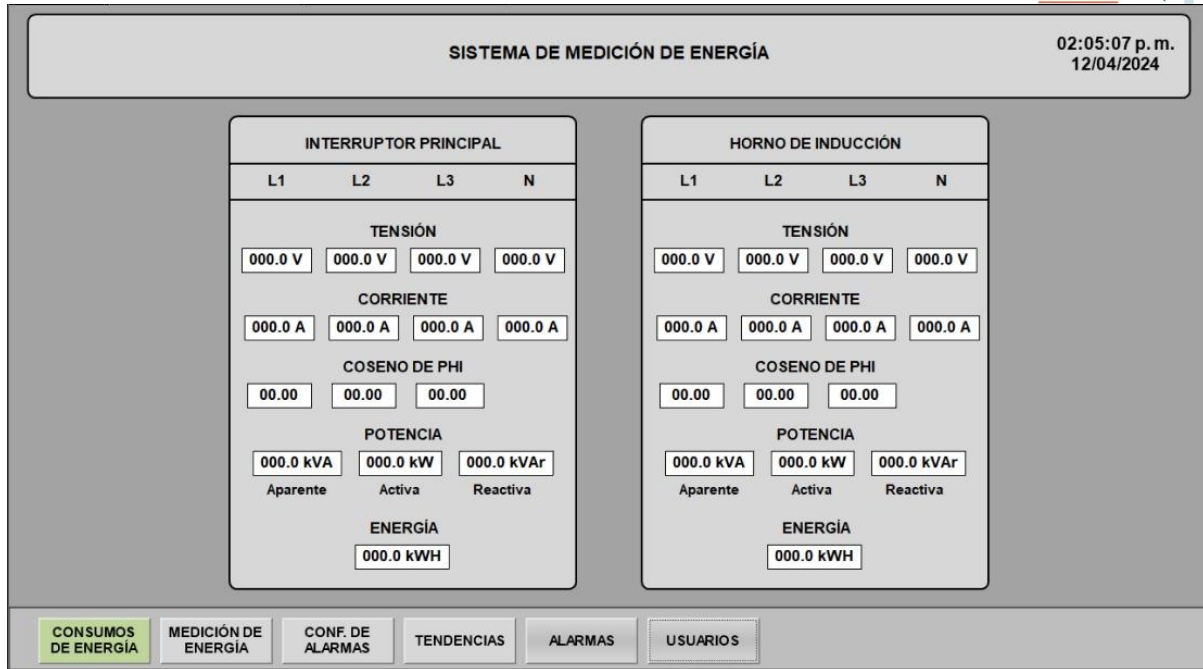


Figura 5: SCADA- Pantalla principal: Tensión, Corriente, Coseno de Phi, Potencia y Energía

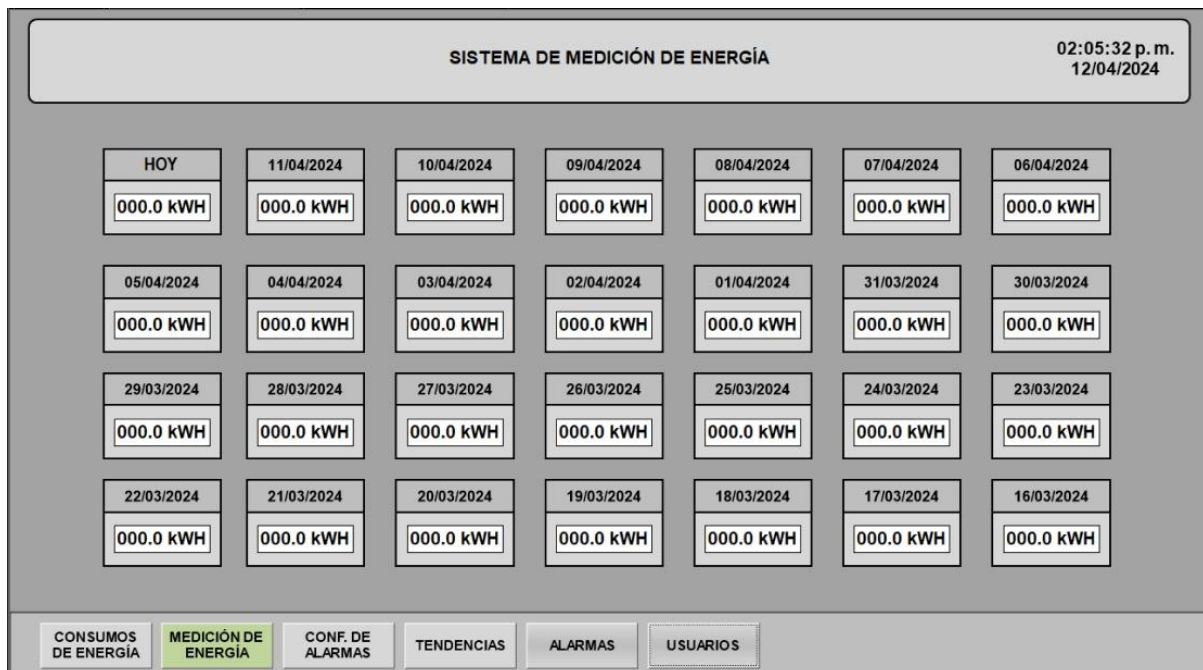


Figura 6: SCADA- Medición de Energía: Históricos de consumos de Energía por día

02:05:55 p. m.
12/04/2024

CONFIGURACIÓN DE ALARMAS

INTERRUPTOR PRINCIPAL

ALARMA POR FACTOR DE POTENCIA

HABILITAR ☐ SP 00.00 VA 00.00

TIEMPO DE MONITOREO 00 min

ALARMA POR CONSUMO DE ENERGÍA

HABILITAR ☐ VA 000.0 kWH

TPO P/ALARMA 00 min SP H 000.0 kWH

TPO P/DETENER 00 min SP HH 000.0 kWH

HORNO DE INDUCCIÓN

ALARMA POR FACTOR DE POTENCIA

HABILITAR ☐ SP 00.00 VA 00.00

TIEMPO DE MONITOREO 00 min

ALARMA POR CONSUMO DE ENERGÍA

HABILITAR ☐ VA 000.0 kWH

TPO P/ALARMA 00 min SP H 000.0 kWH

TPO P/DETENER 00 min SP HH 000.0 kWH

CONSUMOS DE ENERGÍA
MEDICIÓN DE ENERGÍA
CONF. DE ALARMAS
TENDENCIAS
ALARMAS
USUARIOS

Figura 7: SCADA- Configuración de Alarmas: Factor de Potencia y Consumo de Energía



Figura 8 : SCADA - Tendencias: Medición Armónicos impares por fase y separado por medidor de Energía

Especificaciones técnicas

El presente proyecto propone la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real dedicado a la recopilación, procesamiento y análisis de datos relacionados con el consumo y la calidad energética en nuestras instalaciones. La creciente demanda de energía y la necesidad de optimizar su utilización han llevado a la empresa a buscar soluciones innovadoras que no solo abordan la eficiencia operativa, sino que también brinden herramientas efectivas para la toma de decisiones estratégicas.

En este contexto, el objetivo primordial de la propuesta es transformar los datos de consumo y calidad energética en información valiosa, proporcionando una base sólida para la optimización de procesos y la mejora continua. La detección temprana de problemas relacionados con la calidad de la energía no solo protegerá la integridad de las instalaciones y equipos, sino que también contribuirá al alargamiento de su vida útil y al mejoramiento de su rendimiento.

Este proyecto no solo tiene un enfoque proactivo en la gestión de la calidad energética, sino que también busca evitar posibles repercusiones financieras asociadas con el incumplimiento de normativas y requisitos regulatorios. El monitoreo cercano del consumo de energía y la atención a factores como los armónicos son elementos clave para prevenir multas por exceso de consumo o por una calidad energética deficiente.

Además, la capacidad de proyección de producción e instalación basada en datos precisos sobre el consumo energético permitirá a la empresa planificar de manera más efectiva su crecimiento y expansión. La toma de decisiones informada sobre la necesidad de instalaciones adicionales y la adquisición de nuevos equipos se traducirá en un desarrollo más estratégico y sostenible.

Adicionalmente, la implementación de este sistema de monitoreo proporcionará datos precisos y detallados sobre los armónicos en funcionamiento, permitiendo un diseño más efectivo y eficiente de filtros. La información resultante facilitará la correcta implementación de medidas de mitigación, evitando así el deterioro innecesario de los equipos y garantizando una inversión eficiente en tecnologías de filtrado. Con esta adición, nuestro enfoque integral hacia la gestión energética se fortalece, abordando de manera más completa los desafíos actuales y preparando el terreno para un futuro operativo más eficiente y sostenible.

Antecedentes

En la actualidad, persisten instrumentos analógicos de la década de los 90 con una calidad destacada y prácticamente sin margen de error; sin embargo, su desventaja radica en su compleja adaptabilidad a los sistemas de control automatizados actuales, ya que la transmisión directa de los datos que representan resulta problemática.

Hasta hace unos años, la detección de parámetros como el factor de potencia y los armónicos era prácticamente imposible debido a la carencia de equipos especializados. Asimismo, los instrumentos analógicos presentaban limitaciones notables en cuanto a precisión y velocidad, lo que incidía en un diseño ineficiente de la red eléctrica, generando un desperdicio de energía que se traducía en mayores costos operativos para las empresas.

Los instrumentos de aguja, caracterizados por sus errores de medición y su lentitud, contribuyen de manera significativa a un diseño deficiente de la red eléctrica, resultando en una ineficiente gestión de la energía y elevando los costos operativos de las empresas, aspectos que representan desventajas críticas en este contexto.



Figura 9: Medidor de tensión de aguja



Figura 10: Medidor de corriente de aguja

En la actualidad, los equipos de potencia integran componentes electrónicos que gestionan la energía, pero esto puede generar una baja calidad energética con la producción de armónicos. Estos armónicos, específicos de cada equipo, no pueden preverse y solo se pueden detectar mediante mediciones directas.

Cada equipo o carga eléctrica introduce armónicos que, en algunos casos, pueden ser insignificantes, pero en conjunto pueden afectar negativamente la red eléctrica. Las mediciones generales, contemplando múltiples cargas, se vuelven esenciales para identificar inconvenientes y evitar posibles daños a la red y a los equipos conectados.

El incumplimiento de los límites establecidos para el consumo de energía y el factor de potencia puede resultar en multas. En la actualidad, las empresas están cada vez más conscientes de la importancia del uso racional y la calidad energética, no solo por cuestiones medioambientales, sino también por su impacto directo en los costos de producción.

Con el objetivo de mejorar la eficiencia energética, muchas industrias están invirtiendo en equipos que permiten la toma de datos en tiempo real de manera autónoma. Esto no solo elimina posibles errores humanos en la lectura y transcripción de datos, sino que también facilita una detección precisa y eficiente de los aspectos clave del consumo y la calidad de la energía, llevando a mejoras significativas en la gestión energética de la empresa.



Figura 11: Medidores de energía PM5110

Diseño básico

En esta sección, se presenta el diseño del sistema propuesto, abordando aspectos cruciales como el Diagrama de Flujo de Software (DFS), el Diagrama de Red y el Modelado de la Base de Datos. Estos elementos constituyen la estructura fundamental del sistema de monitoreo, ofreciendo una visión detallada y cohesionada de la implementación propuesta.

DFS - Descripción funcional del sistema

El sistema de medición de energía está compuesto por varios dispositivos. La ejecución de comandos se lleva a cabo mediante un PLC Schneider M241, que incluye un SCADA integrado a través del software "EcoStruxure Machine SCADA Expert". Además, contamos con un HMI para la visualización y configuración del sistema. La lectura de las variables de interés se realiza a través de dos medidores de energía PM5110 que se comunican mediante el estándar de comunicación RS485 bajo el protocolo Modbus RTU.

Los PM5110 desempeñan un papel fundamental en la medición de corriente, tensión, potencia, factor de potencia, energía y armónicos en la instalación eléctrica de los equipos. Estas variables son procesadas en el controlador lógico, y se realiza un registro a lo largo del tiempo, calculando el promedio del consumo energético según la configuración temporal establecida. Este registro se utiliza para determinar si es necesario interrumpir el funcionamiento del horno de inducción en caso de que el promedio energético supere la configuración preestablecida. De manera similar, se evalúa el factor de potencia; si disminuye por debajo de la configuración preestablecida, se requiere detener el horno. Todo este proceso tiene como objetivo proteger la instalación de posibles armónicos no deseados y evitar sanciones por parte del proveedor de energía eléctrica.

Al activar la alarma por consumo de energía, se establecen dos umbrales ajustables: uno para notificación cuando el valor es considerado "alto" y otro para generar una alarma ante un valor "muy alto". Si el cálculo promedio del controlador supera el umbral "alto", se emite un mensaje en el banner de alarmas, alertando que el consumo energético excede el punto de referencia establecido. Esta acción pretende que el operador tome medidas para reducir el consumo de energía. En caso de que el promedio supere el umbral "muy alto", se detiene el proceso. La temperatura del horno se ajusta a un nivel de mantenimiento (la temperatura mínima necesaria para mantener encendido el horno), se despliega un mensaje en el banner de alarmas y se activa una sirena sonora para notificar al operador. El horno no podrá reiniciarse hasta que el promedio energético disminuya por debajo del umbral configurado.

De manera análoga, al activar la alarma por factor de potencia, se configuran dos parámetros: uno para un valor "bajo" y otro para un valor "muy bajo". En este caso, no se efectúa un cálculo promedio; en su lugar, se compara con el valor actual del factor de potencia. Si este desciende por debajo del umbral "bajo", se emite una notificación en el banner de alarmas. Si disminuye por debajo del valor "muy bajo", el horno se detiene, ajustándose a una temperatura de mantenimiento, y se activa la sirena junto con la correspondiente notificación en el banner de alarmas.

Diagrama de flujo:

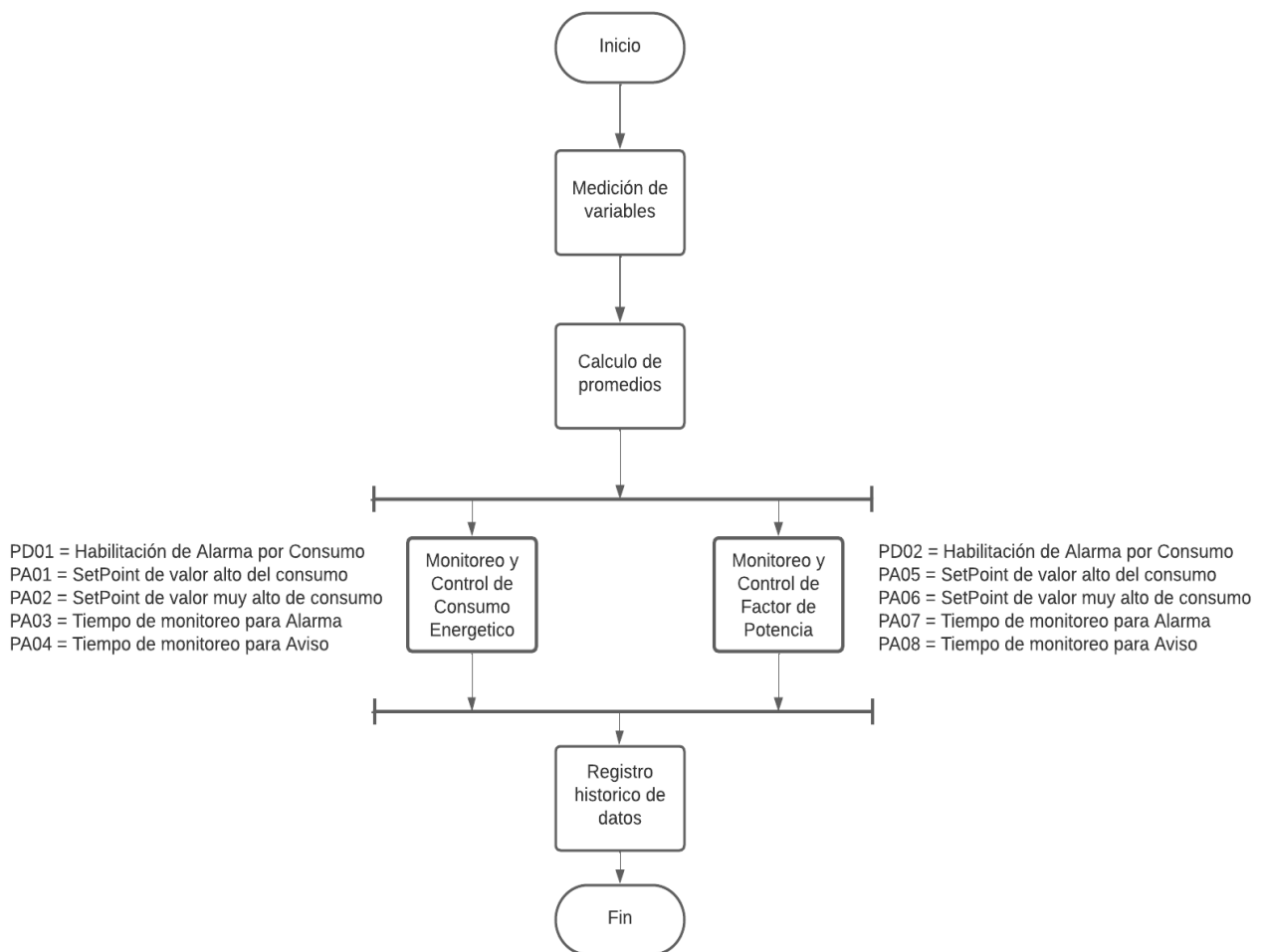


Figura 12: Diagrama de flujo general del sistema

Paso 01 : Medición de variables

Descripción funcional :

Inicia el paso y realiza la lectura de las variables medidas por los PM 5110, estos son los registros relacionados con las tensiones, corrientes, potencias, factor de potencia y armónicos de cada fase.

Todos estos registros son almacenados en matrices de datos los cuales tienen direccionamiento directo, lo cual permite comunicarnos con el HMI para su visualización. En el caso de los armónicos poseen una longitud de datos de tipo LREAL, lo cual dificulta su tratamiento, por esto, antes de almacenarlos en la matriz se convierten a tipo de dato REAL.

Diagrama de flujo:

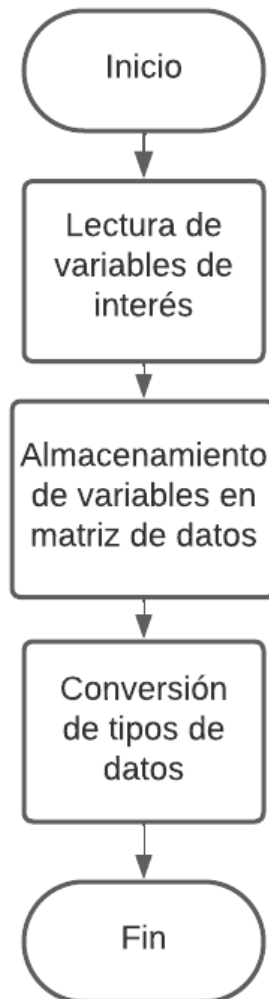


Figura 13: Diagrama de flujo del sistema de medición

Paso 02 : Cálculo de promedios

Descripción funcional :

Se debe realizar el cálculo de los promedios que se comparan con los valores de aviso y alarma de energía. Para llevar a cabo este proceso, se activan dos temporizadores, generando los pulsos "PM1_PULSOS_1SEG" y "PM2_PULSOS_1SEG". Estos pulsos determinan la cantidad de muestras que se recopilan. Durante este proceso, se registra la lectura de "Active Power Total", la cual se acumula con cada pulso. Simultáneamente, se incrementa una variable llamada "PM1_CANTIDAD_MUESTRAS". Con esta información, se procede a calcular el promedio de energía. Este cálculo se realiza considerando una base de tiempo de un minuto y, una vez completado, se registra en una matriz denominada "PM1_PERIODO_REGISTRO".

De la misma manera se realiza para el segundo PM5110.

Diagrama de flujo:

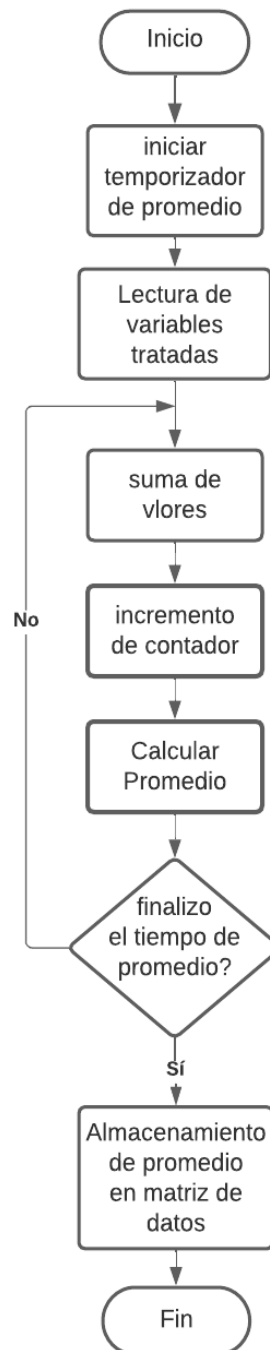


Figura 14: Diagrama de flujo del cálculo de promedios

Paso 03 : Monitoreo y control de consumo energético

Descripción funcional :

El monitoreo y control de consumo energético está determinado por diferentes parámetros los cuales detallaremos a continuación:

Habilitación de avisos por valor de consumo energético alto:

- "PM1_HAB_AVISO_ENERG"
- "PM2_HAB_AVISO_ENERG"

Habilitación de alarma por valor de consumo energético muy alto:

- "PM1_HAB_ALARM_ENERG"
- "PM2_HAB_ALARM_ENERG"

Habilitación de aviso por valor factor de potencia bajo:

- "PM1_HAB_AVISO_FP"
- "PM2_HAB_AVISO_FP"

Habilitación de alarma por valor factor de potencia muy bajo:

- "PM1_HAB_ALARM_FP"
- "PM2_HAB_ALARM_FP"

Parámetros para punto de ajuste de consumo de energía:

- "PM1_CONSIGNA_ENERG_HH"
- "PM1_CONSIGNA_ENERG_H"
- "PM1_TPO_MONITOREO_ALM"
- "PM1_TPO_MONITOREO_AVISO"
- "PM2_CONSIGNA_ENERG_HH"
- "PM2_CONSIGNA_ENERG_H"
- "PM2_TPO_MONITOREO_ALM"
- "PM2_TPO_MONITOREO_AVISO"

Parámetros para punto de ajuste de factor de potencia:

- "PM1_CONSIGNA_FP_LL"
- "PM1_CONSIGNA_FP_L"
- "PM2_CONSIGNA_FP_LL"
- "PM2_CONSIGNA_FP_L"

Cuando se activa "PM1_HAB_AVISO_ENERG", el sistema calcula el tiempo de monitoreo basándose en el parámetro "PM1_TPO_MONITOREO_AVISO", ingresado por el usuario. Este tiempo se utiliza para calcular el promedio de los últimos minutos configurados. En otras palabras, si el valor configurado es de nueve minutos, el sistema determina el promedio desde el momento actual hasta nueve minutos atrás. A continuación se compara si el promedio calculado es mayor o igual que la consigna ingresada por el usuario en el parámetro "PM1_CONSIGNA_ENERG_H", si el resultado es verdadero, dispara un aviso en el HMI y el SCADA con el mensaje "PM1 - Consumo elevado de energía", en caso de no tener habilitado el aviso de energía, el sistema no realizará ninguna de estas acciones y continuará con la alarma.

Si "PM1_HAB_ALARM_ENERG" está activo, se realiza un cálculo del promedio de energía utilizando como base de tiempo el parámetro "PM1_TPO_MONITOREO_ALM". Se lleva a cabo una comparación en la que, si el promedio es igual o mayor que el valor de la consigna "PM1_CONSIGNA_ENERG_HH", se activa un mensaje en el HMI y el SCADA con el texto "PM1 - Consumo muy elevado de energía, Sistema detenido". Además, se activa la salida "FDO_SIR_ENERG", que corresponde a una alarma sonora destinada a informar al usuario sobre la detención del sistema.

A continuación, se procede a detener la producción, interrumpiendo la entrada de productos al horno de inducción y reduciendo la potencia del mismo a un valor denominado "Temperatura de mantenimiento". Esta potencia representa el nivel mínimo necesario para mantener el horno encendido. El sistema permanece detenido y, en cada ciclo, se calcula el promedio de energía utilizando los últimos minutos según la configuración de tiempo.

Cuando el valor del promedio de energía disminuye por debajo de la consigna configurada, se permite reiniciar el sistema. Mientras este requisito no se cumpla, el sistema permanecerá bloqueado.

De manera similar, el monitoreo del factor de potencia se comporta de la siguiente manera: cuando se habilita "PM1_HAB_AVISO_FP", se inicia la comparación con el valor actual registrado por el medidor de energía "Power Factor Total". En caso de que este valor sea igual o disminuya por debajo de la consigna configurada "PM1_CONSIGNA_FP_L", se genera un aviso en el HMI y el SCADA con el mensaje "PM1 - Factor de potencia bajo" para informar al usuario. Si el aviso no está habilitado, esta acción no se lleva a cabo.

Por otro lado, si "PM1_HAB_ALARM_FP" está activo, se realiza una comparación entre el valor actual del factor de potencia y la consigna "PM1_CONSIGNA_FP_LL" parametrizada. Si el valor actual es menor o igual a la consigna, se activa un aviso en el HMI y el SCADA con el mensaje "PM1 - Factor de potencia muy bajo, Sistema detenido" para informar al usuario. Además, se activa la alarma sonora en caso de que el usuario no esté visualizando el SCADA o el HMI.

Posteriormente, se detiene el proceso y se reduce la potencia del horno, llevándolo a su "temperatura de mantenimiento". Esto se realiza con el objetivo de que los valores medidos por el PM5110 se restablezcan y se pueda retomar la producción.

Diagrama de flujo:

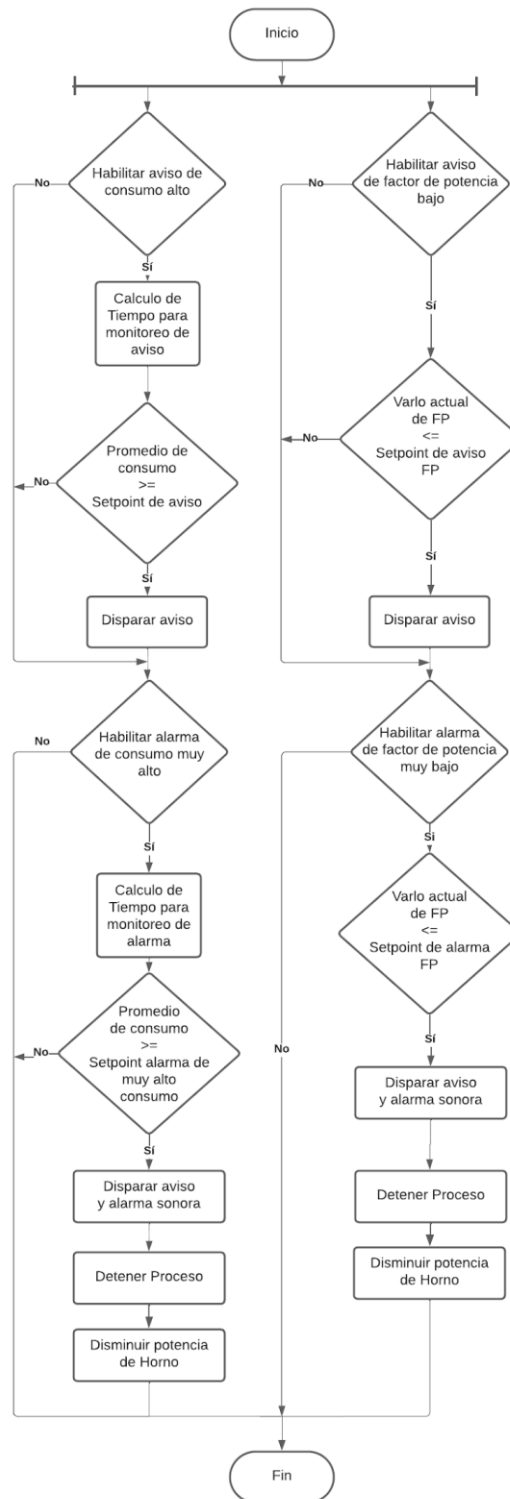


Figura 15: Diagrama de flujo del monitoreo y control de consumo energético

Paso 04 : Registro histórico de datos en base de datos

Descripción funcional :

El registro de datos se efectúa cada diez minutos, exactamente en los minutos 0, 10, 20, 30, 40 y 50. Para llevar a cabo esta operación, se obtienen los minutos actuales desde el PLC y se dividen por 10. El resto de esta operación siempre es cero.

Cuando el "RESTO" es igual a cero, se procede a la lectura de los promedios previamente almacenados en la matriz de datos. Estas variables abarcan aspectos como la tensión, corriente y coseno de Phi por fase, así como las tres potencias (activa, reactiva y aparente), la energía instantánea y el valor en porcentaje de los armónicos impares (uno, tres, cinco, siete y nueve). Además, estas variables se concatenan con el mensaje necesario para llevar a cabo la consulta (Query) y cargar los datos correspondientes en la tabla de la base de datos.

Diagrama de flujo:



Figura 16: Diagrama de flujo de escritura en Base de Datos

Configuración Driver de comunicación entre SCADA y PLC

Se selecciona el driver “SCHNE” el cual permite la comunicación entre el SCADA y el PLC M241, para insertar este abrimos la ventana “Comm”, seleccionamos la carpeta “Drivers” y presionamos Click derecho, permitiendo así agregar/eliminar controladores. Se abre una ventana la cual contiene los controladores disponibles, seleccionamos el de Schneider, y presionamos “Selección” agregando la hoja del driver.

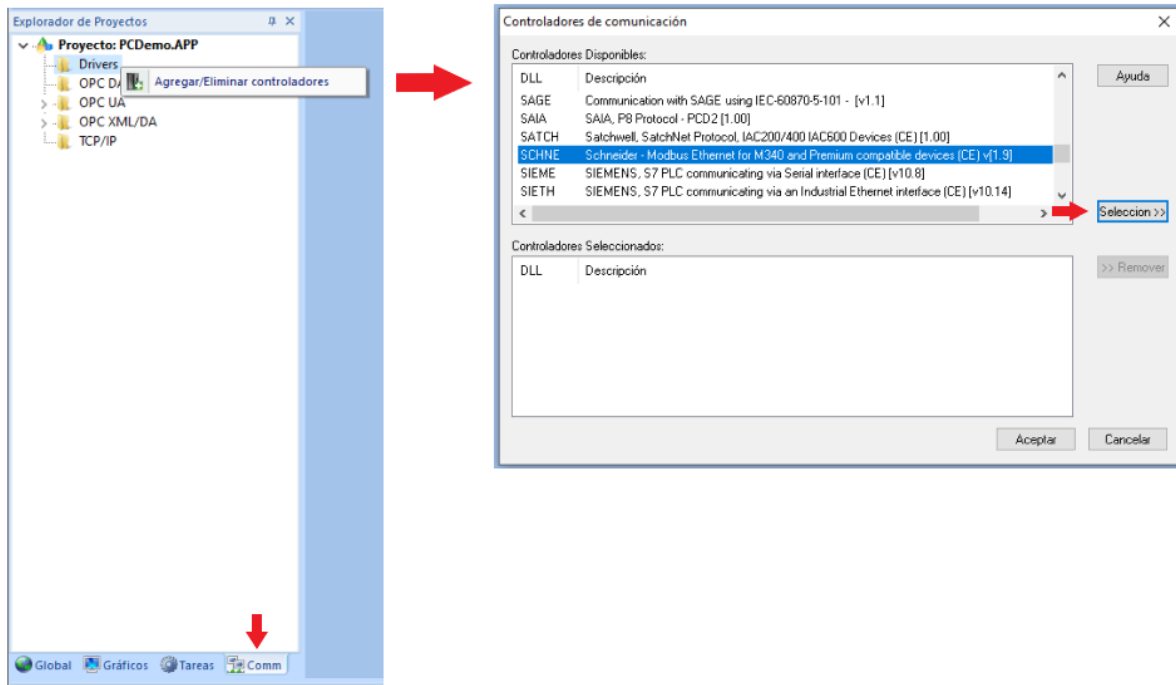


Figura 17: Selección de Driver de Comunicación

Esto posibilita la creación de múltiples hojas de configuración en las cuales se incorporan las variables que facilitan la comunicación entre el PLC y el SCADA. Para lograrlo, es necesario llenar la estación del dispositivo y la cabecera. En el proceso de lectura y escritura de etiquetas, se asigna un valor de "1", lo que habilitará la operación constante de lectura y escritura de las etiquetas. En la sección inferior se incluyen todos los tags con sus respectivas direcciones en el PLC como se ve en la imagen.

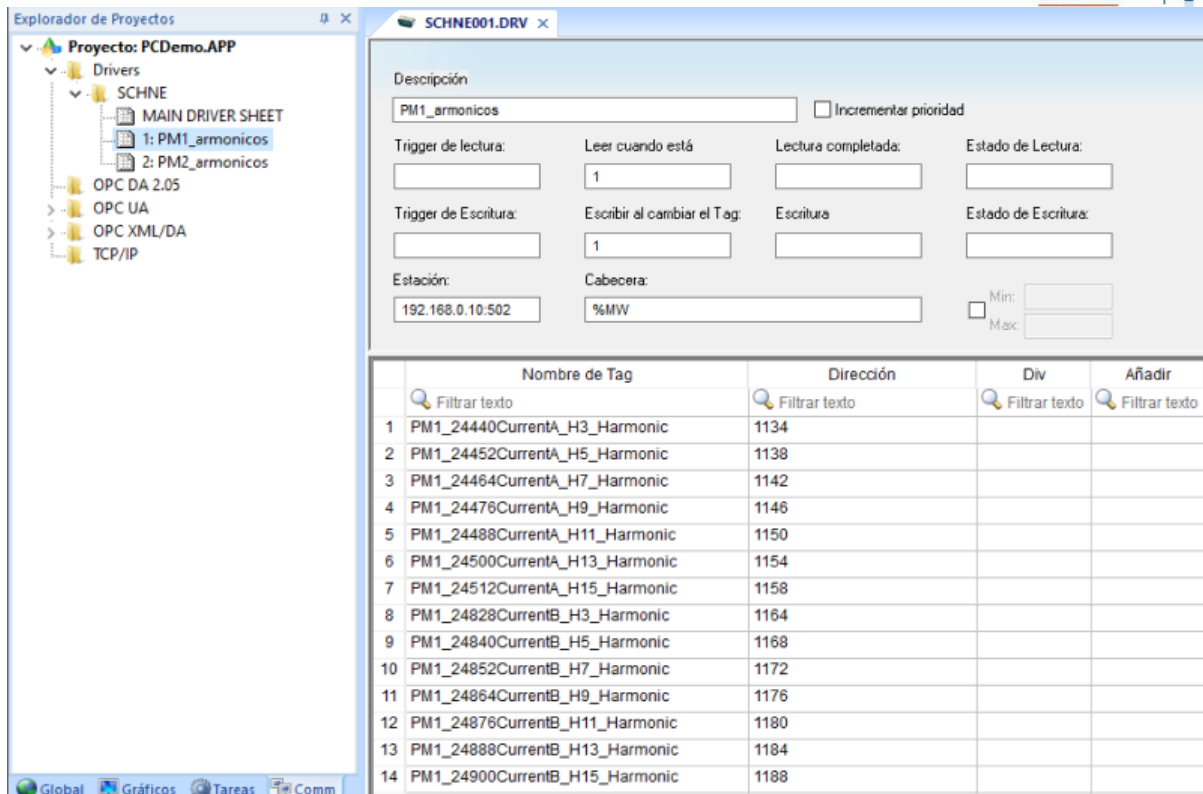


Figura 18: Configuración Driver de Comunicación

Configuración de SCADA con PostgreSQL

Introducción:

La visualización de las tendencias de los armónicos de cada línea se realiza a través del SCADA Machin Expert, el cual se encuentra comunicado con la base de datos creada a través de PostgreSQL. Esto da solidez a los datos y permite una trazabilidad.

Para realizar el registro de datos desde el SCADA en la base de datos es importante configurar el Open Database Connectivity, conocido como ODBC, el cual es un estándar que facilita la conexión y el acceso uniforme a diversas bases de datos desde diferentes aplicaciones y sistemas operativos. Este estándar proporciona una interfaz independiente del sistema operativo, permitiendo a los desarrolladores y usuarios acceder y manipular datos en diferentes sistemas de gestión de bases de datos (DBMS).

Configuración de ODBC:
Al acceder al administrador de origen de datos ODBC, seleccionamos la pestaña "DSN de Sistema" y procedemos a añadir un nuevo origen de datos, eligiendo el controlador correspondiente para PostgreSQL, tal como se ilustra en la imagen.

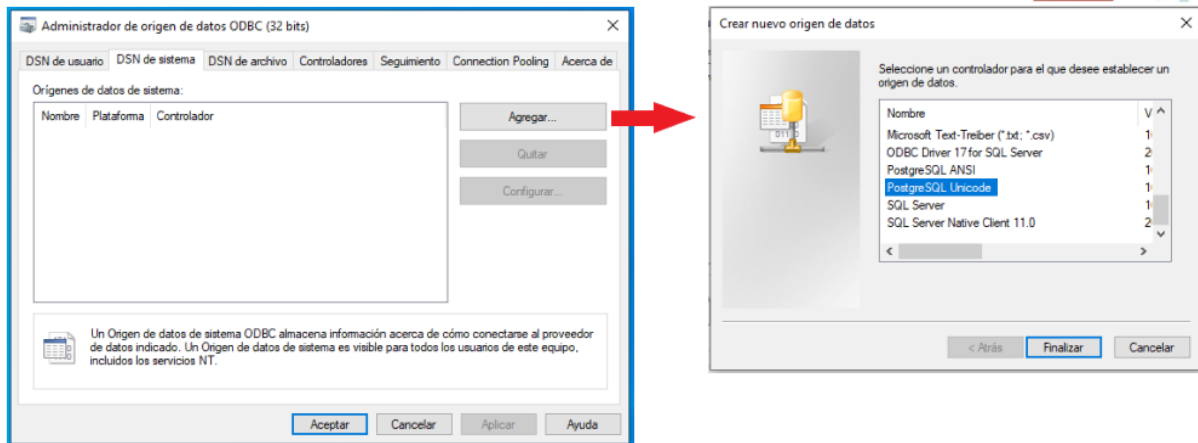


Figura 19: Configuración ODBC. Creación origen de datos

Posteriormente, es necesario proporcionar la información pertinente de la base de datos con la que se establecerá la comunicación. Se deben rellenar los campos de Data Source, Description, Database, SSL Mode, Server, Port, User Name y Password. Se sugiere realizar una prueba de conexión una vez que estos campos estén completos, con el fin de verificar la comunicación adecuada con la base de datos, para esto simplemente se hace click en "Test".

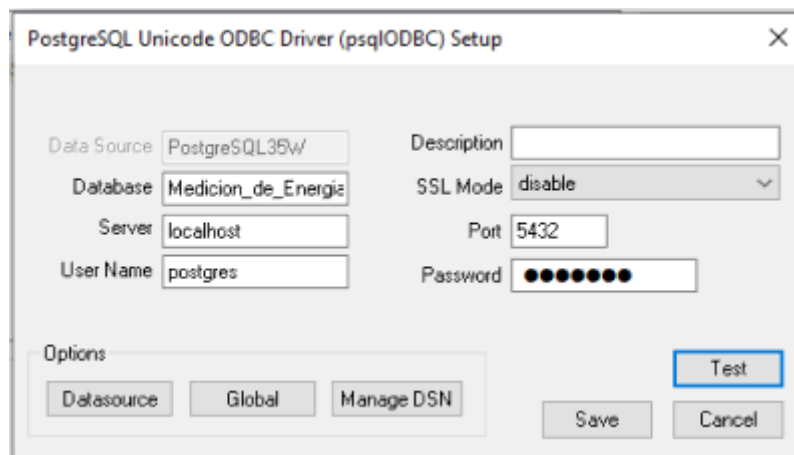


Figura 20: Configuración de driver en ODBC

Configuración de SCADA:

Dentro del entorno SCADA, se dispone de una sección dedicada a la configuración de la comunicación con la base de datos. Para acceder a esta configuración, nos dirigimos a la pestaña "Tareas". A continuación, expandimos las carpetas en el árbol del proyecto siguiendo la ruta BaseDatos/ERP -> Conexiones -> DB. Esto nos lleva a la ventana de conexión a la base de datos, donde se requiere especificar la conexión previamente establecida.

Para llevar a cabo este proceso, hacemos clic en el botón "..." y optamos por la opción "usar el nombre del origen de datos". A continuación, seleccionamos el nombre que hemos creado anteriormente. A continuación, ingresamos el nombre de

usuario y la contraseña asociados. De esta manera, se configura la conexión entre la base de datos y el entorno SCADA.

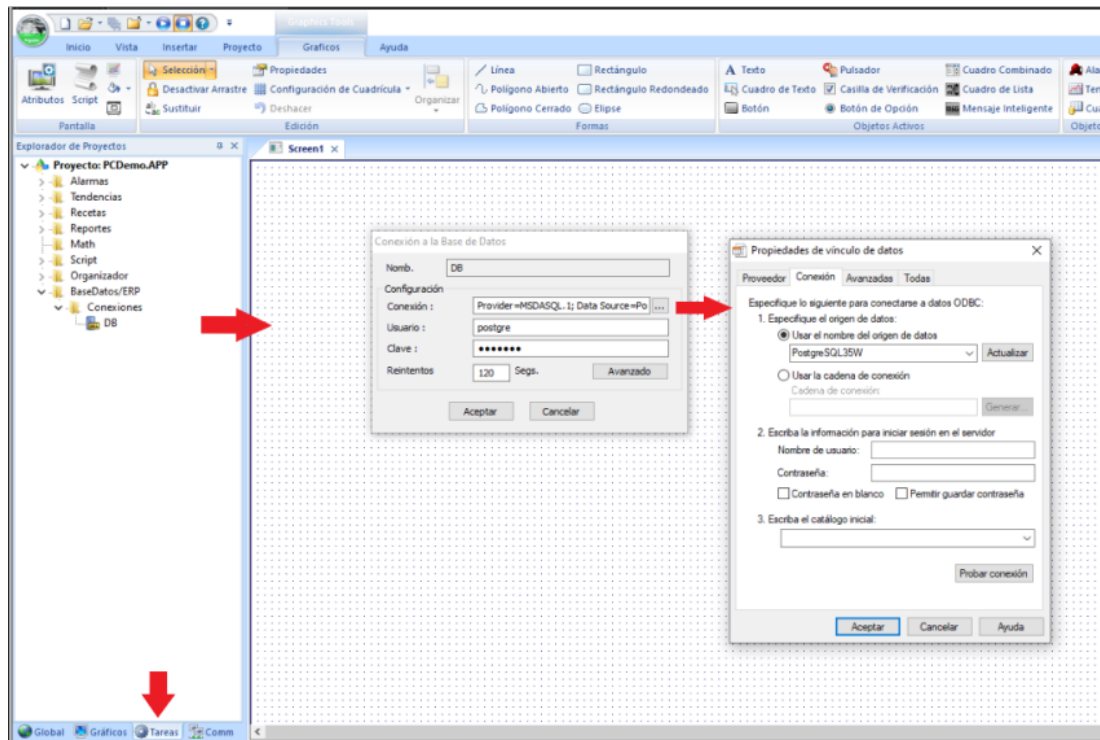


Figura 21: Configuración de Base de Datos en SCADA

Consultas a Base de Datos

Una vez establecida la conexión, procedemos a ejecutar la "query" que efectúa la consulta a la base de datos. En este contexto, es crucial emplear comandos específicos para insertar datos o seleccionar la información que se desea visualizar, creando así una consulta particular para cada caso.

Para la inserción de datos, utilizamos comandos como "INSERT INTO" seguido del nombre de la tabla y los valores correspondientes. Por otro lado, para la selección de datos, empleamos el comando "SELECT" junto con los campos deseados y, opcionalmente, condiciones específicas utilizando "WHERE".

Es fundamental adaptar la "query" según los requisitos precisos de la tarea, garantizando así el intercambio de la información requerida con la base de datos.

La tabla de armónicos, está formada por los armónicos de corriente impares 3, 5, 7, 9 y 11, de cada fase, como se visualiza en la imagen.

Name	Data type	Length/Precision	Scale	Not NULL?	Primary key?	Default
id	integer			☒	☒	nextval('armor')
fecha_hora	timestamp without time zo...			☐	☐	
corriente_fa_h3	double precision			☐	☐	
corriente_fa_h5	double precision			☐	☐	
corriente_fa_h7	double precision			☐	☐	
corriente_fa_h9	double precision			☐	☐	
corriente_fa_h11	double precision			☐	☐	
corriente_fb_h3	double precision			☐	☐	
corriente_fb_h5	double precision			☐	☐	
corriente_fb_h7	double precision			☐	☐	
corriente_fb_h9	double precision			☐	☐	
corriente_fb_h11	double precision			☐	☐	
corriente_fc_h3	double precision			☐	☐	
corriente_fc_h5	double precision			☐	☐	
corriente_fc_h7	double precision			☐	☐	
corriente_fc_h9	double precision			☐	☐	
corriente_fc_h11	double precision			☐	☐	

Figura 22: Tabla de Armónicos impares en Base de Datos

Para ingresar datos en ella desde el SCADA debemos usar las variables comunicadas con el PLC, la cuales contienen el valor de cada uno, de tal manera que la query queda formada de la siguiente manera:

```
query = "INSERT INTO public.armonicos (fecha_hora, " & _
"corriente_fa_h3, corriente_fa_h5, corriente_fa_h7, corriente_fa_h9,
corriente_fa_h11,"
&
"corriente_fb_h3, corriente_fb_h5, corriente_fb_h7, corriente_fb_h9,
corriente_fb_h11,"
&
"corriente_fc_h3, corriente_fc_h5, corriente_fc_h7, corriente_fc_h9,
corriente_fc_h11) " & _
" VALUES (" & Fecha & _
"," & _
&$PM1_24440CurrentA_H3_Harmonic&","&$PM1_24452CurrentA_H5_Harmonic&","
"&$PM1_24464CurrentA_H7_Harmonic&","&$PM1_24476CurrentA_H9_Harmonic&"
```

```
,"&$PM1_24488CurrentA_H11_Harmonic&
    " "
&$PM1_24828CurrentB_H3_Harmonic&","&$PM1_24840CurrentB_H5_Harmonic&","
&$PM1_24852CurrentB_H7_Harmonic&","&$PM1_24864CurrentB_H9_Harmonic&"
,"&$PM1_24876CurrentB_H11_Harmonic&
    " "
&$PM1_25216CurrentC_H3_Harmonic&","&$PM1_25228CurrentC_H5_Harmonic&"
,"&$PM1_25240CurrentC_H7_Harmonic&","&$PM1_25252CurrentC_H9_Harmonic
&","&$PM1_25252CurrentC_H9_Harmonic &");"
```

Objeto de control de tendencias

El objeto Trend Control presenta de manera gráfica los puntos de datos (valores) provenientes de diversas fuentes de datos. Durante la ejecución del proyecto, el control de tendencias cuenta con una interfaz integrada que permite al operador modificar la visualización de las tendencias. Esta sección detalla las partes esenciales de la interfaz y su uso durante el tiempo de ejecución.

Interfaz del control de tiempo de ejecución:

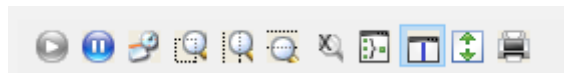


Figura 23: Comandos de ejecución

Comando	Icono	Descripción
Correr		Establece el control de tendencias en Modo de ejecución. En este modo, el eje X continúa desplazándose con el paso del tiempo y las tendencias se actualizan con los valores de etiqueta actuales. Cambiar el valor de esta etiqueta también cambia el valor de la etiqueta de activación para Detener
Detener		Establece el control de tendencia en Modo de parada (también conocido como Modo histórico). De este modo, el eje X se detiene y las tendencias muestran solo datos históricos. Cambiar el valor de esta etiqueta también cambia el valor de la etiqueta de activación para Ejecutar.

Período		Abre un cuadro de diálogo que se puede utilizar para modificar la configuración principal de la escala del eje X.
Zoom de ventana		Permite al usuario hacer clic en el gráfico de tendencias y arrastrar el cursor para seleccionar el área que debe estar visible cuando se suelta el cursor. Esta opción está deshabilitada cuando la opción Sección múltiple (para la escala Y) está activa.
Zoom horizontal		Permite al usuario hacer clic en dos puntos del gráfico de tendencia, definiendo la escala horizontal que debe estar disponible.
Zoom vertical		Permite al usuario hacer clic en dos puntos del gráfico de tendencia, definiendo la escala vertical que debe estar disponible. Esta opción está deshabilitada cuando la opción Sección múltiple (para la escala Y) está activa.
Cancelar zoom		Cancela el zoom actual y devuelve el gráfico de tendencias a su escala original.
Varias secciones		Cambia la escala Y entre Secciones múltiples (una sección para cada tendencia) y Sección única (todas las tendencias comparten la misma sección de escala Y).
Cursor		Cambia el cursor (regla) entre visible y oculto.
Auto escala		Cambia la escala del eje Y para ajustarse a todos los valores de las tendencias que se están monitoreando actualmente.
Imprimir		Imprime el estado actual del control de tendencias. (Los datos históricos no se imprimen).

Interfaz de leyenda de las tendencias:



Figura 24: Comando de tendencias

Comando	Icono	Descripción
Selección		Inicia un cuadro de diálogo donde el usuario puede reemplazar el punto de datos asociado con la tendencia seleccionada en la leyenda.
Eliminar		Elimina la tendencia seleccionada del control de tendencias.
Esconder		Cuando está marcada, la tendencia seleccionada es visible; de lo contrario, queda oculto.
Estilo de bolígrafo		Inicia un cuadro de diálogo incrustado, donde el usuario puede modificar el estilo de lápiz de la tendencia seleccionada.
Escala		Cuando esta casilla está marcada, la escala del eje Y es visible; de lo contrario, queda oculto. La escala se puede ocultar sólo cuando la opción Secciones múltiples está desactivada.

Para cambiar entre los diferentes armónicos a visualizar se presiona el botón de “Selección”, el cual inicia el cuadro de diálogo en el cual se permite seleccionar todas los armónicos configurados en el objeto de control de tendencias.

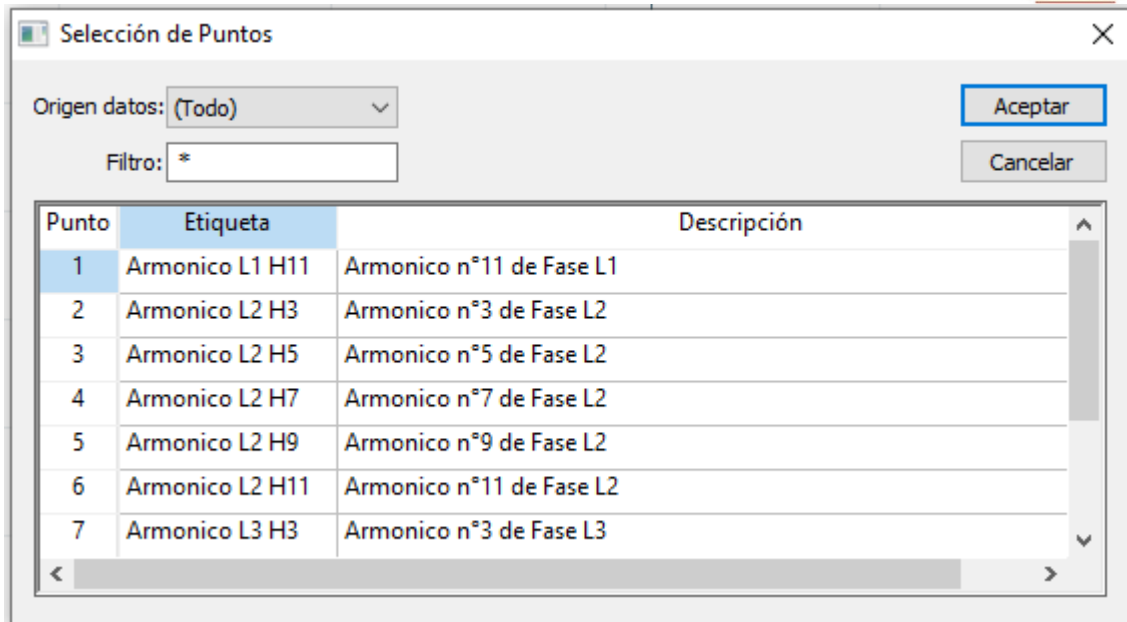


Figura 25: Selección de datos a visualizar

En la leyenda del objeto, también se dispone de información detallada para cada tendencia. Aquí se incluye el nombre de la etiqueta seleccionada, el valor actual, la posición actual del cursor, una breve descripción, así como los valores mínimo y máximo de la tendencia. Además, se presenta el valor promedio de la misma.

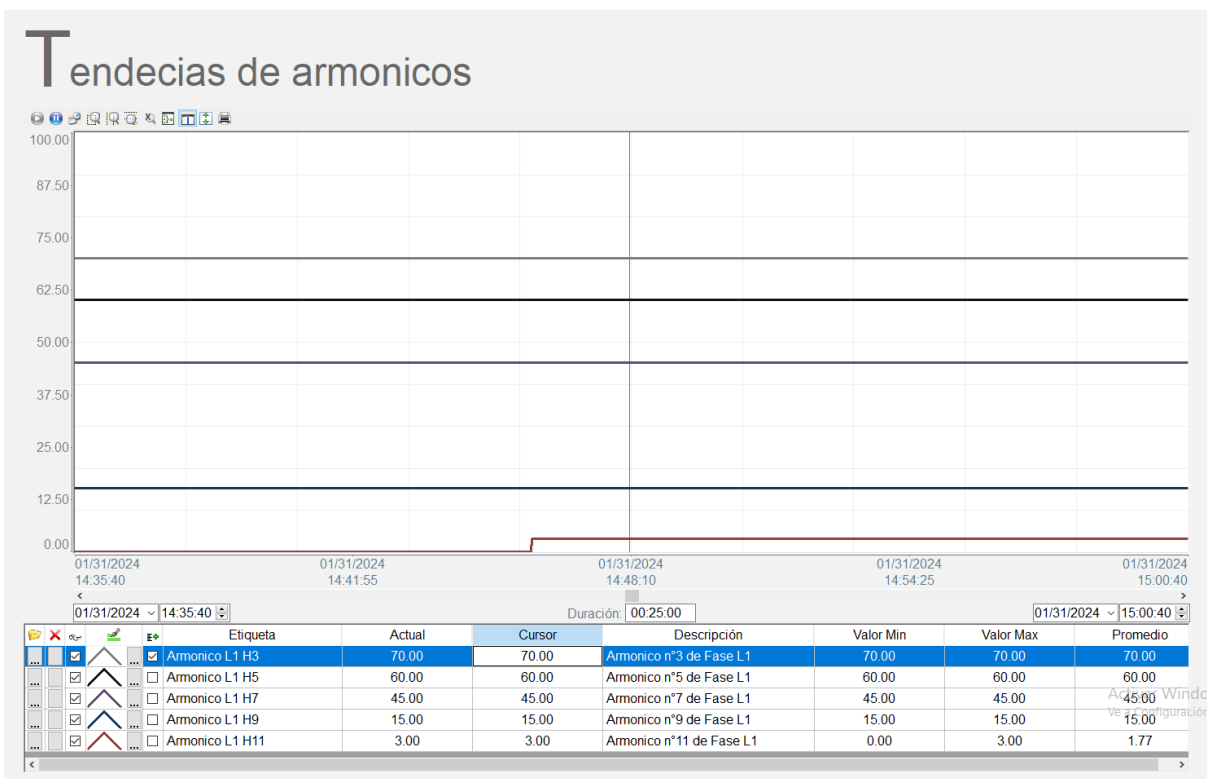


Figura 26: Trending de Armónicos

Diagrama de red y comunicación Modbus

El diagrama de red Ethernet se configura con varios componentes esenciales, entre ellos, el Controlador Lógico Programable (PLC), la Interfaz Hombre-Máquina (HMI), un Switch no administrable y un PC que aloja tanto el Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA) con Web Visualization como la base de datos PostgreSQL.

La conexión restante en esta configuración está basada en el protocolo Modbus RTU, implementado bajo el estándar RS-485. Este protocolo proporciona una estructura robusta y eficiente para la comunicación entre los dispositivos, asegurando la transmisión fiable de datos en la red.

Este diseño de red permite una integración efectiva de todos los componentes, facilitando la comunicación fluida entre PLC, HMI, Switch, y PC que desempeña funciones críticas, albergando tanto el SCADA para la visualización web como la base de datos PostgreSQL. La elección del estándar RS-485 en la capa física del protocolo Modbus RTU asegura una transmisión confiable de datos en la red, promoviendo así un entorno de control y monitoreo cohesivo y eficiente.

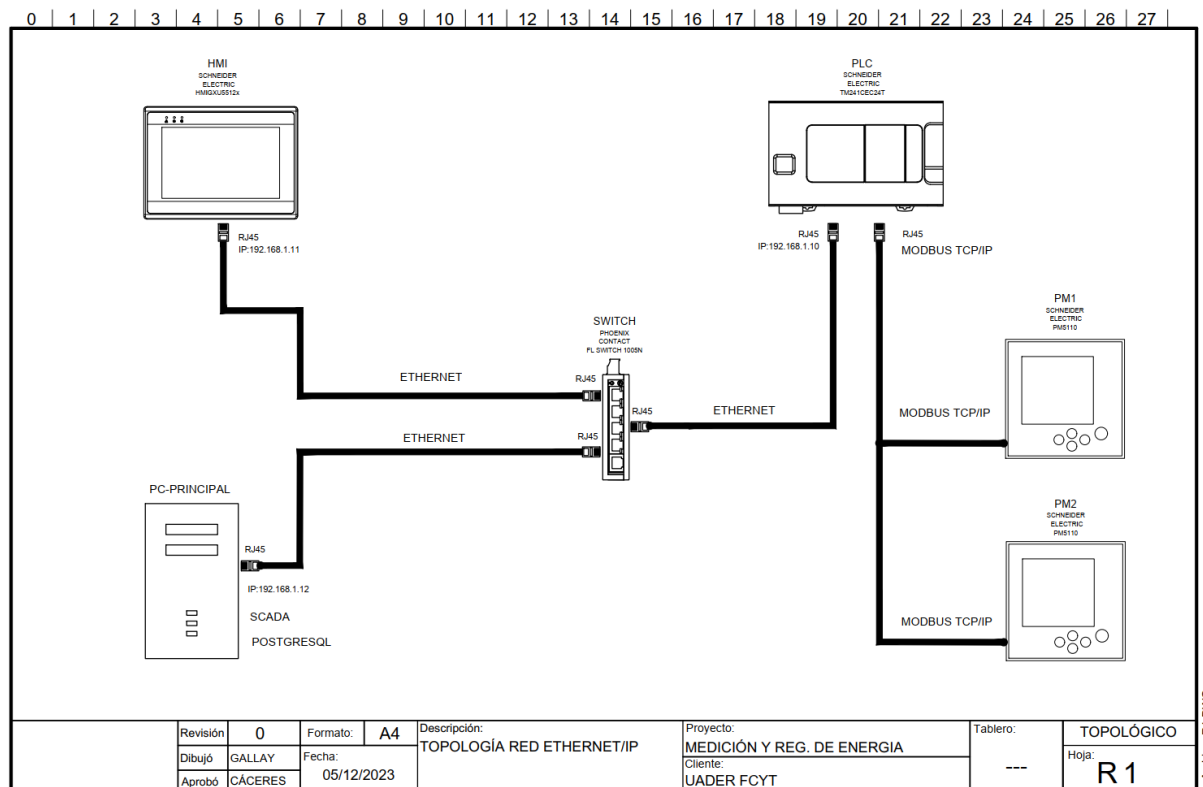


Figura 27: Topología de Comunicación

Para el primer tipo de comunicación se debe tener en cuenta que los equipos deben estar en el mismo rango de dirección IP. A continuación se describen las mismas y máscara de subred de los equipos conectados.

- PLC → IP=192.168.1.10 → Subred = 255.255.255.0
- HMI → IP=192.168.1.11 → Subred = 255.255.255.0
- PC → IP=192.168.1.12 → Subred = 255.255.255.0

El switch permite que todos los equipos estén conectados y comunicándose entre ellos dentro del mismo rango de red, y también, se puede añadir una computadora de programación sin tener que desconectar la comunicación del equipo que se desea programar.

Configuración Comunicación Ethernet

PLC - M241CEC24T

La determinación del Protocolo de Internet (IP) del controlador lógico programable (PLC) se lleva a cabo a través del software de programación denominado "Machine Expert", desarrollado por Schneider Electric para la programación de los PLC de gama media, que incluyen modelos como M241, M251, M258 y M262.

Dentro de la interfaz del software, se accede al árbol del proyecto, donde se encuentra la pestaña designada como "Dispositivos". En esta sección, se visualizan los diversos puertos de comunicación y bloques de entradas/salidas asociados al proyecto en cuestión. Para este procedimiento, es imperativo dirigirse específicamente al puerto de comunicación denominado "Ethernet_1".

Al seleccionar la opción "Ethernet_1", se despliega una pestaña adicional que permite la configuración de parámetros esenciales. En este apartado, se procede a ingresar la información correspondiente al Protocolo de Internet (IP) y la máscara de subred que se ajuste a las especificaciones del equipo en cuestión.

Este proceso asegura la correcta asignación del Protocolo de Internet (IP) al controlador (PLC), estableciendo así las bases para una comunicación efectiva y eficiente en el entorno de programación y control.

A continuación, se muestra una imagen de lo mencionado.

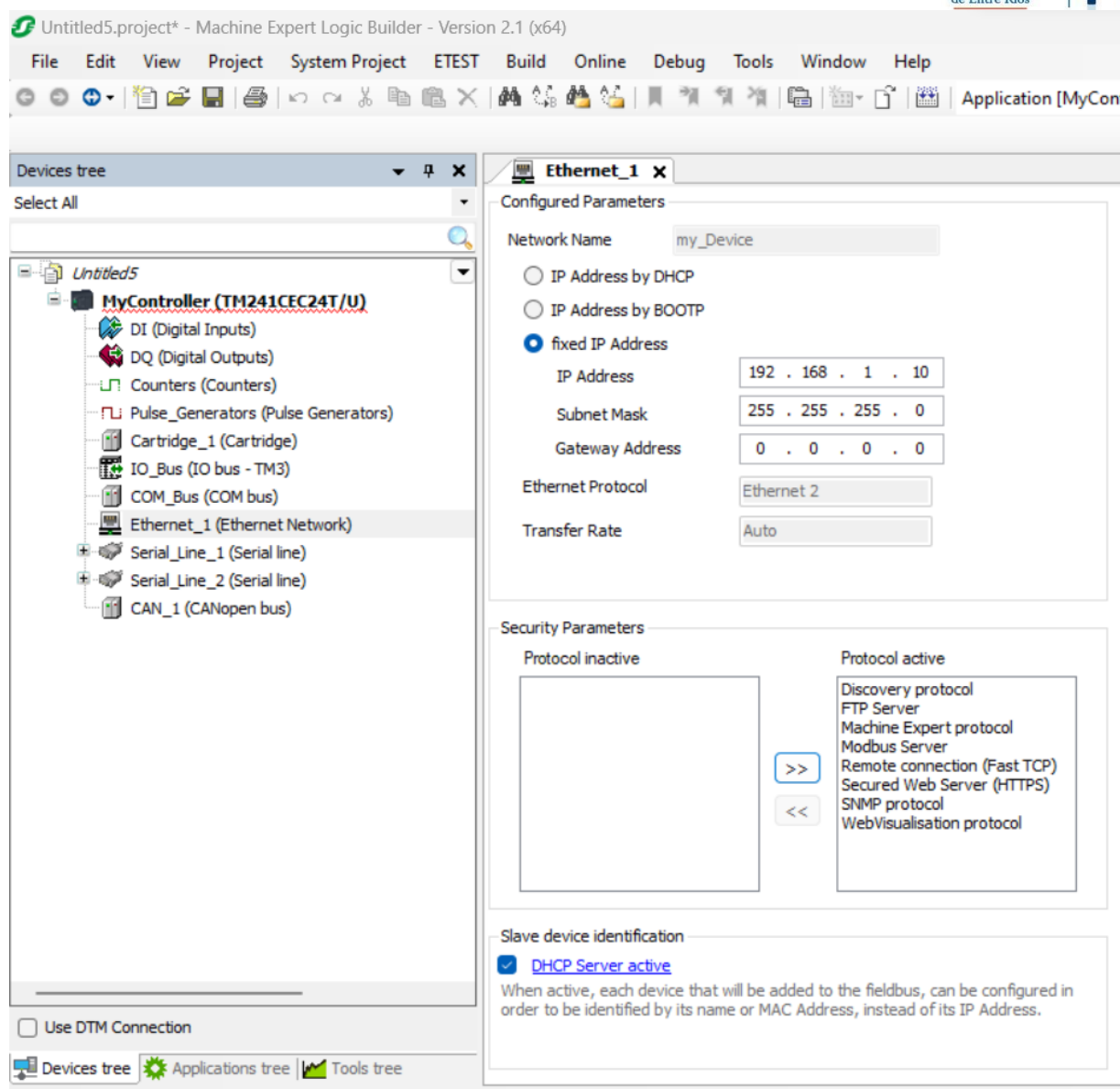


Figura 28: Configuración Ethernet IP PLC

HMI - HMIGXU5512X

La configuración del Protocolo de Internet (IP) para la pantalla de Interfaz Humano Máquina (HMI) se realiza mediante el software de programación "Vijeo Designer Basic", desarrollado por Schneider Electric para la programación de estas interfaces. Este proceso se lleva a cabo con el propósito de personalizar y optimizar la conectividad de la pantalla HMI en cuestión.

Al iniciar el software, se elige el modelo específico de HMI que se utilizará, en este caso, el modelo HMIGXU5512X. Posteriormente, se accede a la pestaña

predeterminada en el árbol de proyecto denominada "Target". Dentro de esta sección, se encuentra la configuración clave del Protocolo de Internet (IP) para la HMI.

La interfaz intuitiva de "Vijeo Designer Basic" facilita la tarea de modificar y ajustar los parámetros relacionados con la dirección IP de la pantalla HMI. Esta configuración es esencial para establecer una conexión efectiva y eficiente en el entorno de control y monitoreo.

A continuación, se proporciona una imagen que ilustra visualmente la ubicación y los pasos para la configuración del IP en la interfaz del software "Vijeo Designer Basic".

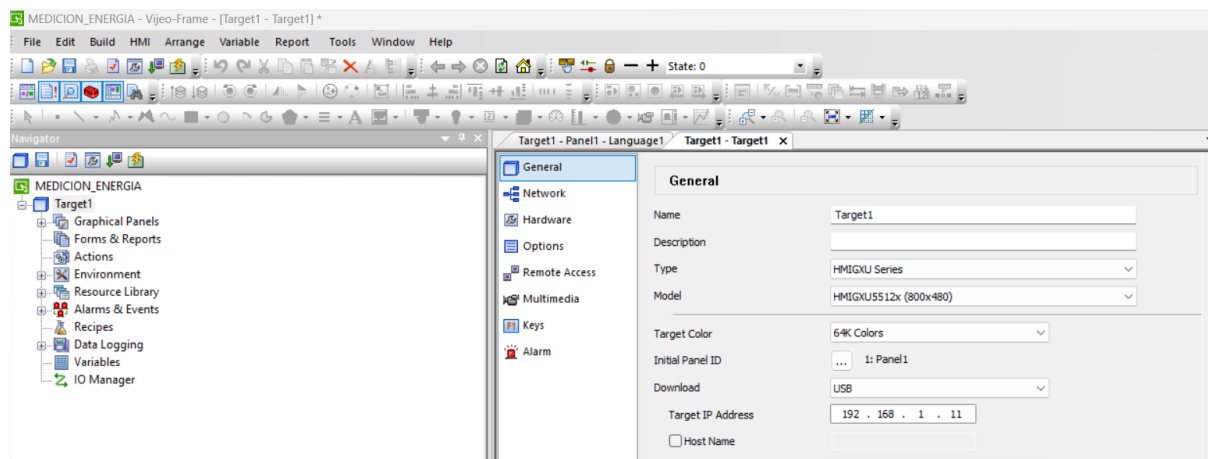


Figura 29: Configuración Ethernet IP HMI

Este procedimiento garantiza que la pantalla HMI esté debidamente configurada para cumplir con los requisitos específicos del sistema, contribuyendo así a un rendimiento óptimo en la visualización y control de procesos.

Computadora Personal

Para determinar la dirección IP de la computadora que alberga el Sistema de Control y Adquisición de Datos (SCADA) con Web Visualisation y la base de datos PostgreSQL, se accede a las configuraciones a través del explorador de archivos de Windows. En este proceso, se localiza la pestaña de "Red e Internet", tal como se ilustra en la imagen siguiente.

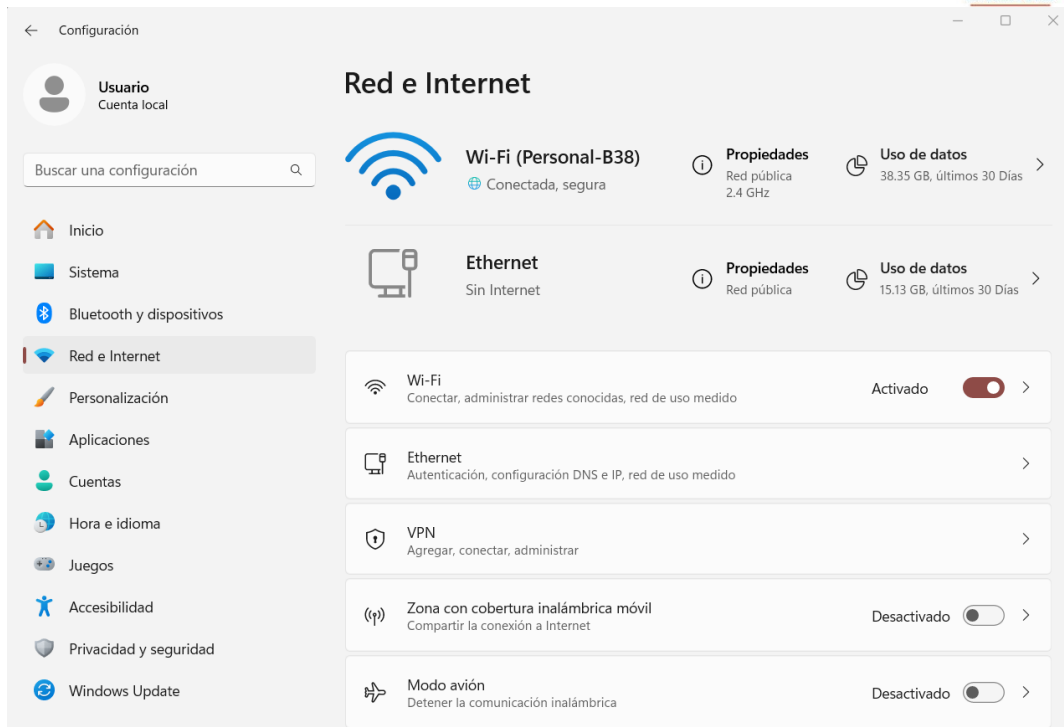


Figura 30: Configuraciones generales PC

Una vez dentro de las configuraciones de red, se selecciona la opción "Ethernet". Dentro de estas configuraciones, se procede a la modificación de parámetros específicos para garantizar la correcta asignación de direcciones IP.

Los ajustes necesarios son los siguientes:

- Asignación IP: Manual
- Dirección IPv4: 192.168.1.12
- Máscara IPv4: 255.255.255.0

Estos parámetros configuran manualmente la dirección IP de la computadora, asegurando la coherencia y la consistencia en la red. La imagen adjunta proporciona una visualización clara de estas configuraciones para una referencia fácil y precisa.



Figura 31: Configuración IP de PC

Con la implementación de estas configuraciones en los equipos pertinentes, se logra la inclusión de todos ellos en un mismo rango de direcciones IP. Este proceso es esencial para facilitar la comunicación eficiente y la interoperabilidad entre los sistemas, promoviendo así un entorno operativo cohesivo y bien integrado.

Configuración Comunicación Modbus RTU

La comunicación Modbus RTU se establece entre el Controlador Lógico Programable (PLC) y los dos Medidores de Potencia (PM1 y PM2), donde el PLC actúa como maestro y ambos Power Meters funcionan como esclavos. Para garantizar una comunicación efectiva, se establecen ciertas características y direcciones de esclavos, las cuales se detallan a continuación.

Todos los dispositivos conectados al mismo bus de comunicación RS-485 deben configurarse con una dirección única (dirección de esclavo) y ajustarse a la misma configuración de protocolo, velocidad en baudios, y paridad. Las especificaciones de comunicación son las siguientes:

- Velocidad: 19200 Bps
- Paridad: No
- Bit de datos: 8
- Bit de Stop: 1
- Medio físico: RS-485

La siguiente imagen muestra la configuración de estos parámetros en el canal de comunicación serial del PLC Schneider M241.

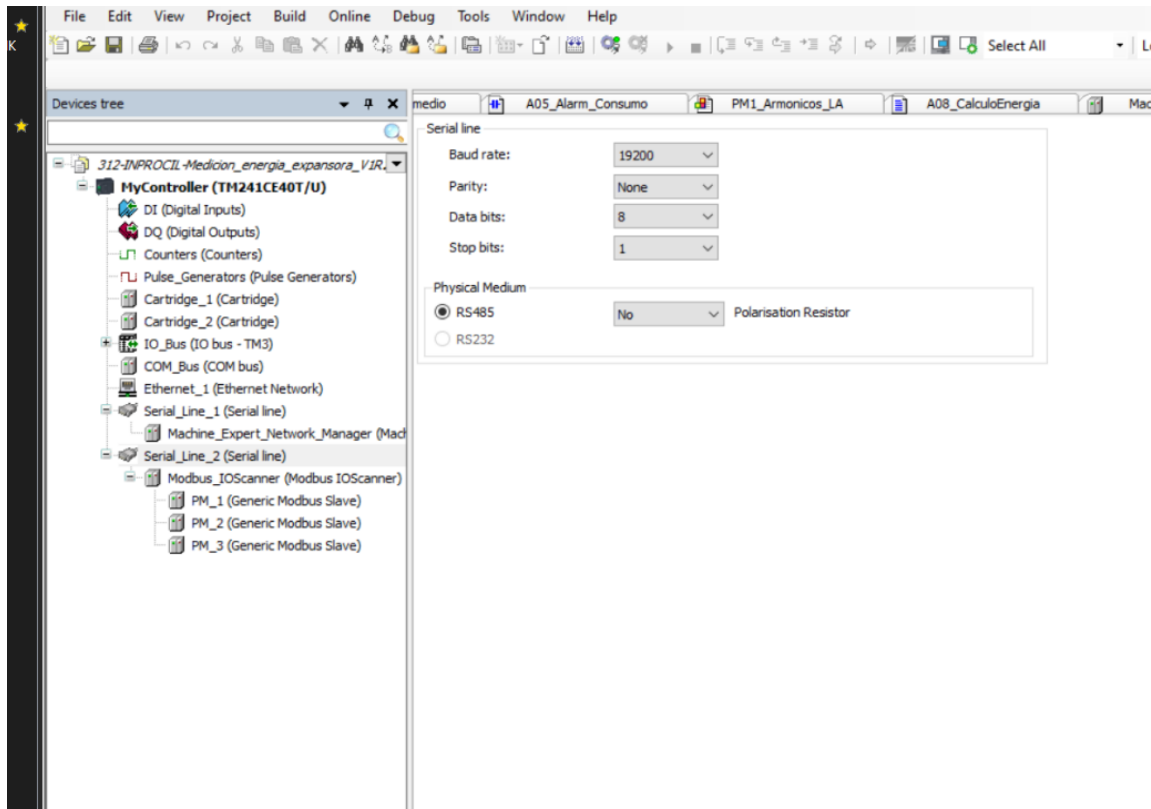


Figura 32: Configuración comunicación Modbus PLC

Cada equipo en esta red se distingue por su número de ID o número de esclavo. Los IDs asignados para los Power Meters son los siguientes:

- PM1 → ID = 1
- PM2 → ID = 2

Estas configuraciones deben realizarse tanto en el PLC como en cada uno de los medidores físicamente.

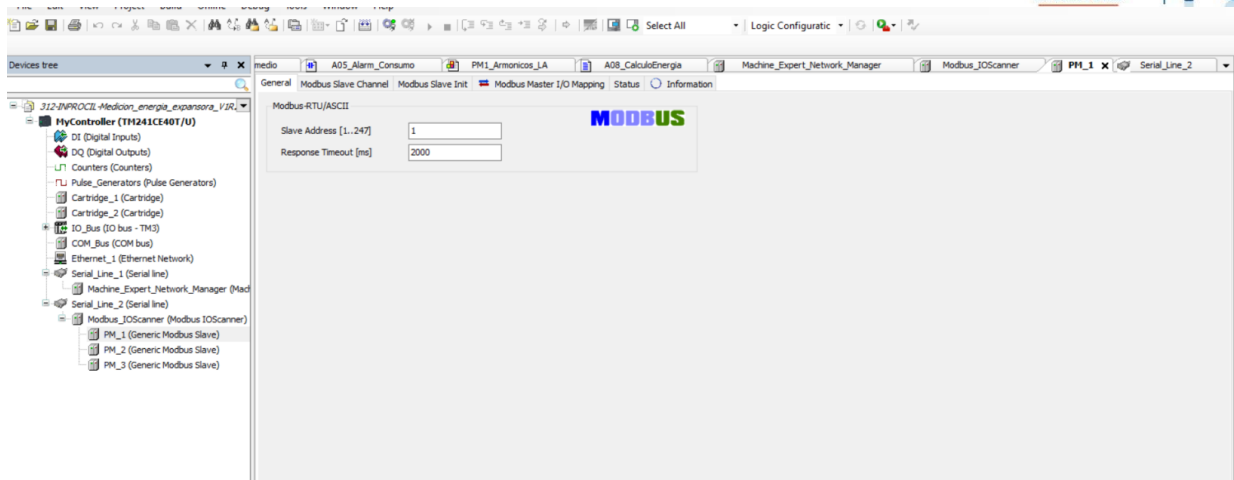


Figura 33: Configuración ID Modbus esclavos

La imagen anterior muestra que el ID de esclavo para el Medidor de Potencia principal es 1, mientras que para el Medidor de Potencia específico es 2. A continuación, se proporciona una guía paso a paso, extraída del manual "PowerLogic serie PM5100", para realizar estas configuraciones en ambos medidores de energía.

1. En el menú principal, seleccionar "Mant" e ingresar en "Config".
2. Ingresar la contraseña de configuraciones (la contraseña predeterminada de fábrica es "0") y luego pulsar "OK".
3. Seleccionar la opción "COM".
4. Desplazar el cursor para señalar el parámetro a modificar y pulsar "Editar".
5. Una vez modificado el parámetro según se requiera, pulsar "OK".
6. Si es necesario modificar otro parámetro, repetir los pasos 4 y 5.
7. Pulsar la flecha arriba para salir y luego pulsar "SI" para guardar los cambios.

En la siguiente tabla se visualizan los parámetros dentro de las comunicaciones que pueden modificarse.

Parámetro	Valores	Descripción
Protocolo	Modbus	Seleccione el formato de comunicaciones utilizado para la transmisión de datos. El protocolo deberá ser el mismo en todos los dispositivos del bucle de comunicaciones.
Dirección	1 to 247	Establezca la dirección de este dispositivo. La dirección de cada dispositivo del bucle de comunicaciones deberá ser única. Para el protocolo Jbus, establezca el ID del dispositivo en 255.
Veloc baud	9600, 19200, 38400	Seleccione la velocidad de la transmisión de datos. La velocidad de baudios deberá ser la misma para todos los dispositivos del bucle de comunicaciones.
Paridad	Par, Impar o Ninguna	Seleccione Ninguna si no se utiliza el bit de paridad. El ajuste de paridad deberá ser el mismo en todos los dispositivos del bucle de comunicaciones.

Figura 34: Parámetros Modbus

Estos pasos aseguran una configuración uniforme en ambos extremos de la comunicación, asegurando una transmisión de datos eficiente entre el PLC y los Medidores de Energía.

Descripción del proceso

El sistema de medición de energía está comandado por un PLC M241, un SCADA WebVisu y un HMI Schneider comunicados entre sí por una red MODBUS RTU. Contiene también dos medidores de energía PM5110 comunicado con el PLC a través del estándar de comunicación RS485.

El sistema a través de los medidores anteriormente mencionados, se encarga de tomar los datos de tensión, corriente, coseno de phi, potencia, armónicos y energía de la línea.

Aprovechando el uso de la memoria existente en el PLC, se guardan cada 10 minutos las variables eléctricas del tablero principal.

Mediante SCADA y el HMI además de visualizar las diferentes variables, es posible configurar los tiempos de disparo de alarmas.

Las alarmas disponibles se dividen en dos categorías principales: "Exceso de Consumo" y "Factor de Potencia". Estas alarmas se visualizan en el banner de alarmas del HMI y también en el SCADA WebVisu. Se complementa con una sirena para que el operario pueda identificar y responder de manera rápida en caso de que

ocurra uno de estos eventos.

El sistema toma las siguientes medidas:

- **Exceso de Consumo**
 - Si durante un tiempo configurado el promedio de consumo de energía excede el Set Point de alarma, se activa la alarma de advertencia de exceso de consumo y el timbre sonará intermitentemente.
 - Si durante un tiempo configurado el promedio de consumo de energía excede el Set Point de detención se detiene el proceso de expansión del tubo y la temperatura del horno de inducción pasa a modo “Mantenimiento”. El timbre sonará de forma continua.

- **Coseno de Phi**
 - Si el valor del Coseno de Phi se acerca al Set Point o cae por debajo del mismo, se mostrará una advertencia en pantalla y se emitirá una alarma sonora intermitente.

Si la máquina se detiene debido a que ha excedido el umbral configurado en promedio durante el tiempo seteado, no se permitirá reiniciarla hasta que el promedio disminuya significativamente. Esto se hace para reducir el consumo promedio y evitar penalizaciones futuras.

Modelado de Base de Datos (PostgreSQL)

PostgreSQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional, lo que significa que organiza la información en tablas con filas y columnas. Utiliza un lenguaje estructurado de consulta (SQL) para realizar operaciones en la base de datos y contiene las siguientes características principales:

- **Código Abierto:** PostgreSQL es de código abierto, lo que significa que su código fuente es accesible y modificable por cualquier persona. Esto fomenta la colaboración y permite a los usuarios adaptar el sistema a sus necesidades específicas.
- **Características de Rendimiento:** PostgreSQL está diseñado para ofrecer un rendimiento sólido incluso en entornos de alta carga. Ofrece soporte para índices eficientes, consultas complejas, transacciones y concurrencia, lo que lo hace adecuado para aplicaciones críticas.
- **Soporte para Transacciones:** PostgreSQL es conocido por su robusto soporte para transacciones, que garantiza la integridad de los datos incluso en situaciones de fallos del sistema o interrupciones inesperadas.

- Compatibilidad con Estándares: PostgreSQL sigue estándares SQL y ANSI, lo que facilita la migración de aplicaciones entre diferentes sistemas de bases de datos.
- Comunidad Activa: Al ser un proyecto de código abierto, PostgreSQL cuenta con una comunidad activa de desarrolladores y usuarios que contribuyen al desarrollo continuo y brindan soporte a través de foros y correo electrónico.

En resumen, PostgreSQL es una poderosa base de datos relacional que combina características avanzadas, rendimiento sólido y flexibilidad, lo que lo convierte en una opción popular para una amplia variedad de aplicaciones.

Para este proyecto se guarda los datos de tensión, corriente y coseno de Phi por fase y también las tres potencias (activa, reactiva y aparente), energía instantánea y el valor en porcentaje de los armónicos impares (uno, tres, cinco, siete y nueve) para poder tener su posterior análisis.

Esto se realiza con una frecuencia de tiempo comandada por el controlador.

Para la creación de una base de datos en PostgreSQL, el proceso inicia seleccionando el servidor predeterminado y haciendo clic derecho para desplegar las opciones. Posteriormente, se elige la opción de "Crear base de datos", donde se asigna un nombre y un propietario. La secuencia de pasos se ilustra en la siguiente imagen.

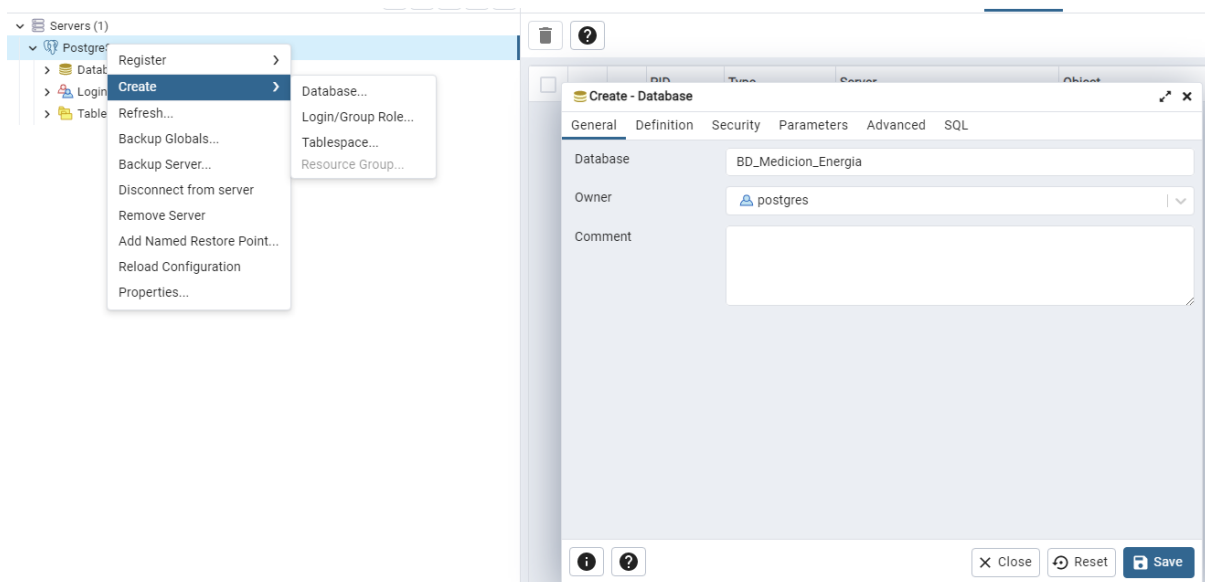


Figura 35: Creación de Base de Datos

Una vez completado este paso, la base de datos recién creada, identificada como "BD_Medición_Energía" en nuestro caso, es visualizada. En este punto, dirigimos nuestra atención a la sección denominada "Esquema". Dentro de esta sección, nos desplazamos a la pestaña de "Tabla" y procedemos a crearla. Es importante asignar

un nombre, un propietario y, opcionalmente, proporcionar un comentario que describa los datos contenidos en la tabla. La representación visual de estos pasos se muestra a continuación.

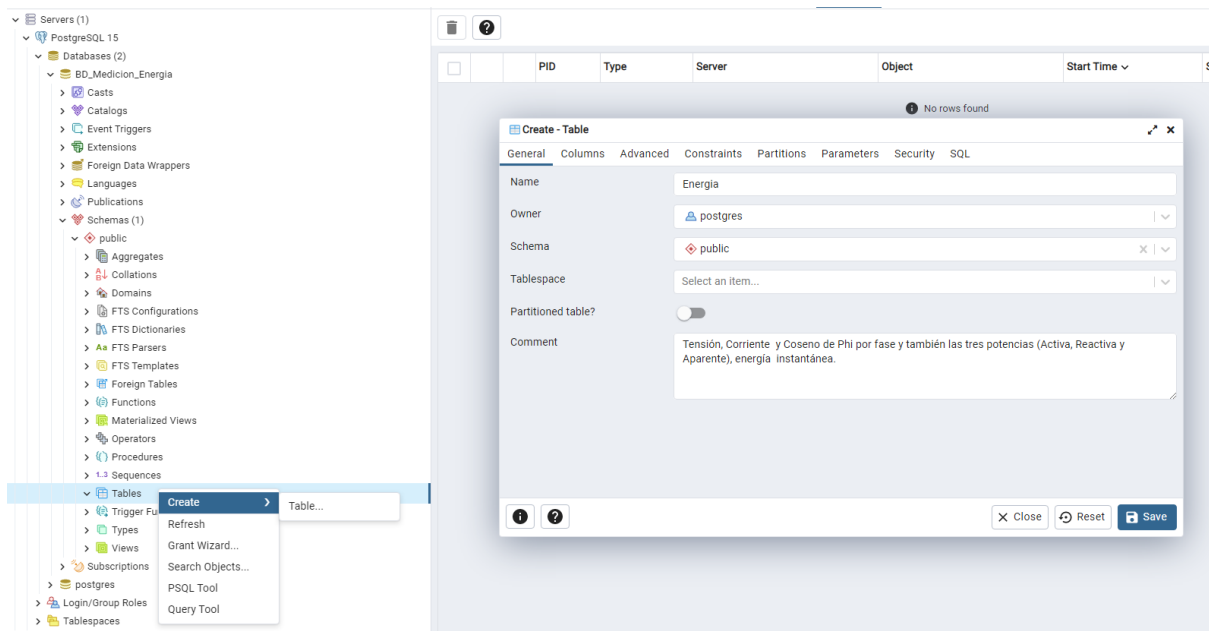


Figura 36: Creación de Tablas en Base de Datos

Además, para mejorar la organización y facilitar la interpretación de datos, se repite este proceso para la creación de otra tabla destinada al almacenamiento de armónicos. Estas tablas se estructuran con una columna de identificación (ID) configurada como tipo "serial" y clave primaria. A continuación, se incluye la fecha y hora, representadas como tipo "timestamp", mientras que las demás columnas que contienen datos de tensión, corriente, potencias, factor de potencia y energía se definen como tipo real. A continuación, se presenta la consulta utilizada para crear estas tablas.

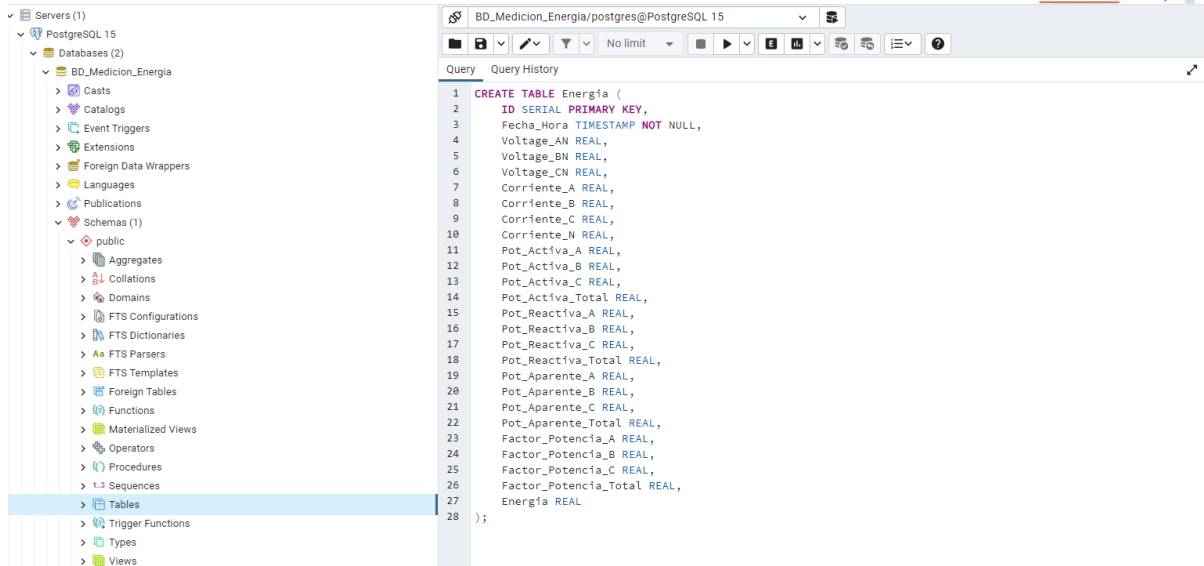


Figura 37: Creación de campos en tabla de Energía

En el mismo contexto, se procede a la creación de una tabla específica para los datos relacionados con armónicos. Se almacenan armónicos específicos: el primero (corriente fundamental) y, posteriormente, los armónicos tres, cinco, siete, nueve y once de cada fase, identificadas como A, B y C. La estructura detallada de esta tabla se presenta a continuación.

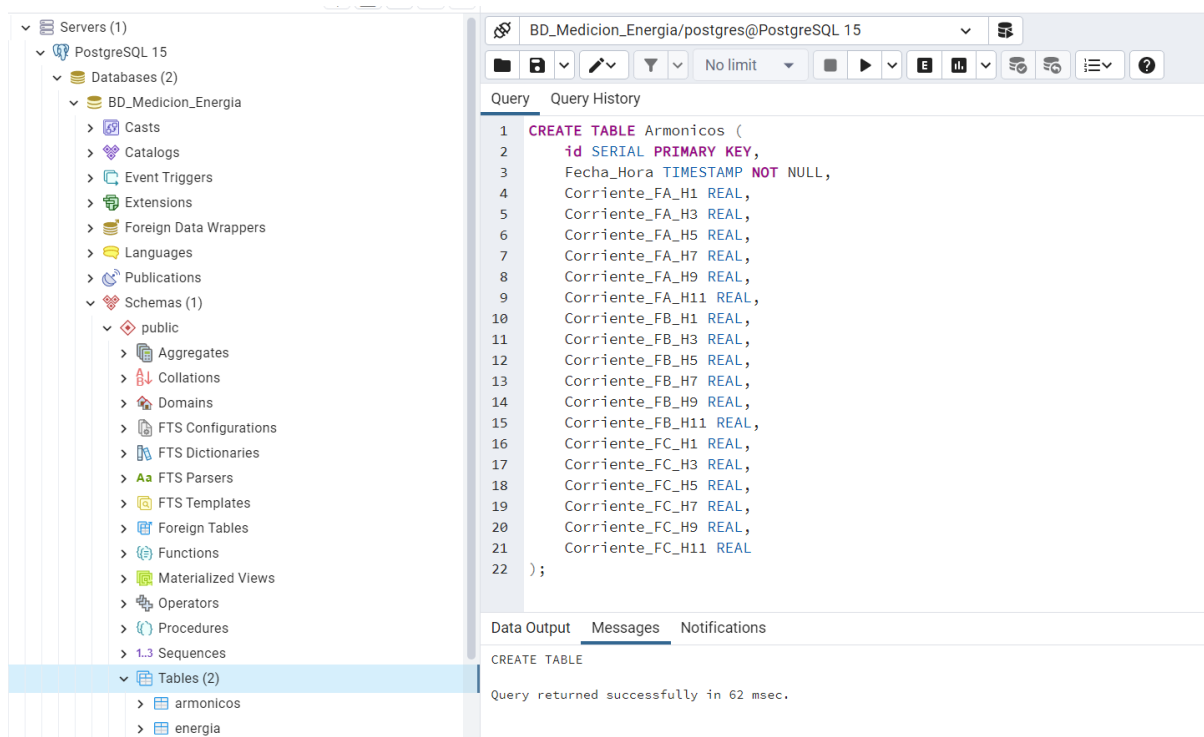


Figura 38: Creación de campos en tabla de Armónicos

Planos trifilares

A continuación, se detallan los planos eléctricos del tablero del sistema de medición de energía y armónicos.

Plano Topográfico Hoja 1 de 11:

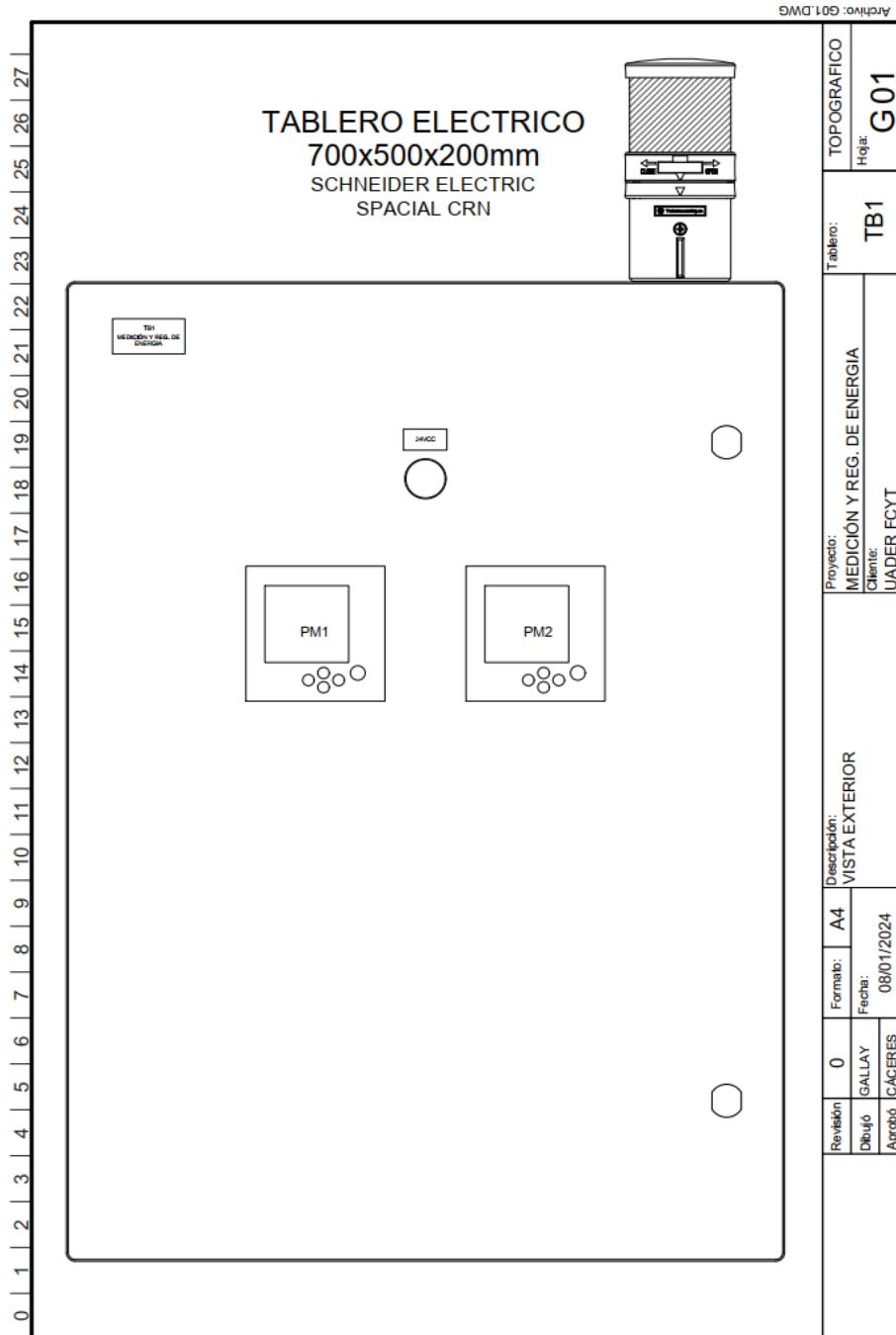


Figura 39: Plano vista exterior tablero

Plano Topográfico Hoja 2 de 11:

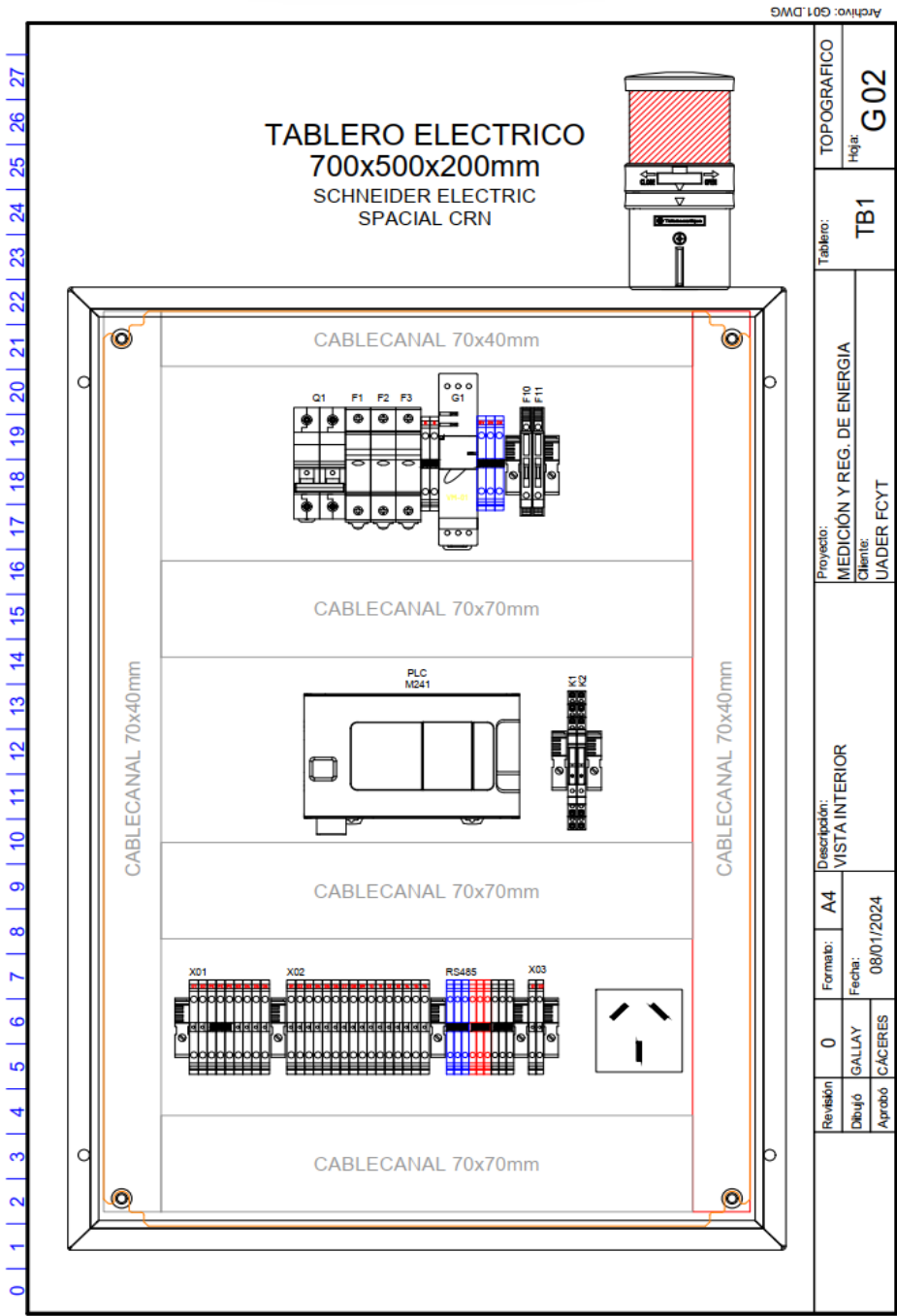


Figura 40: Plano vista interior tablero

Plano Topográfico Hoja 3 de 11:

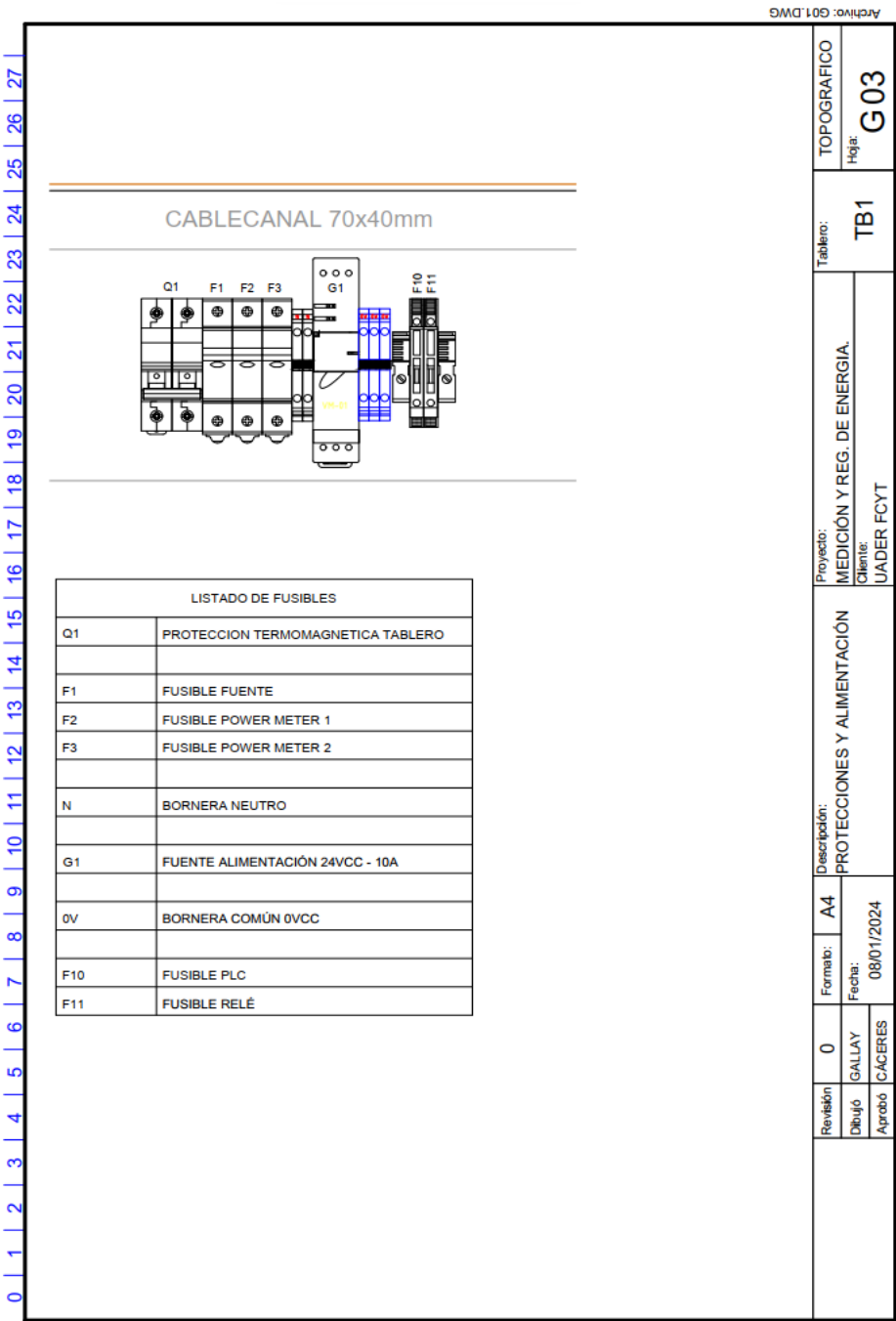


Figura 41: Plano protecciones y alimentación

Plano Topográfico Hoja 4 de 11:

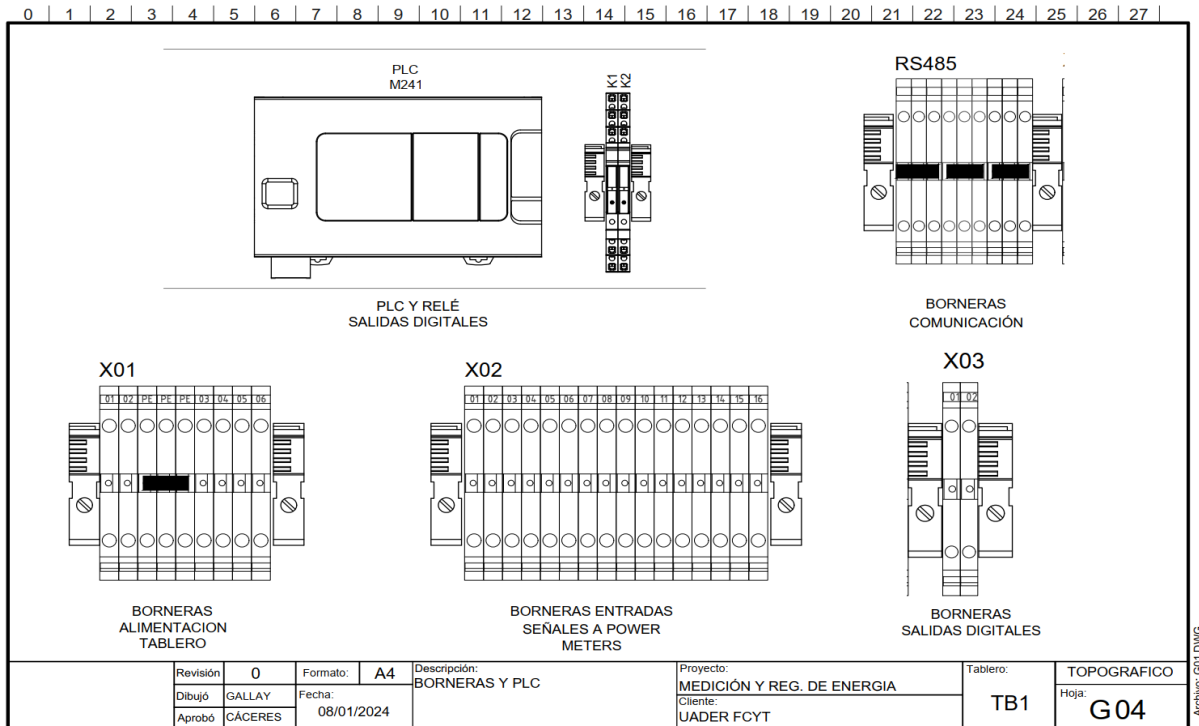


Figura 42: Plano de borneras de conexión y PLC

Plano de Potencia Hoja 5 de 11:

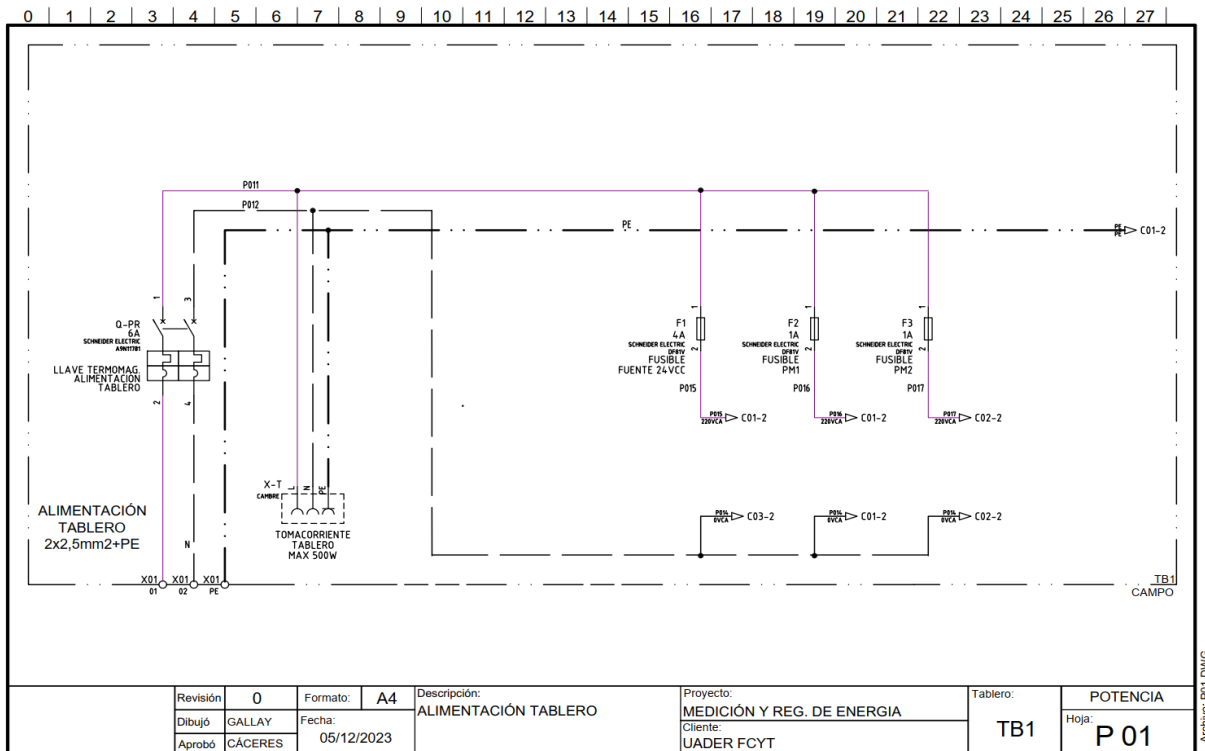


Figura 43: Plano de alimentación del Tablero

Plano de Comando Hoja 6 de 11:

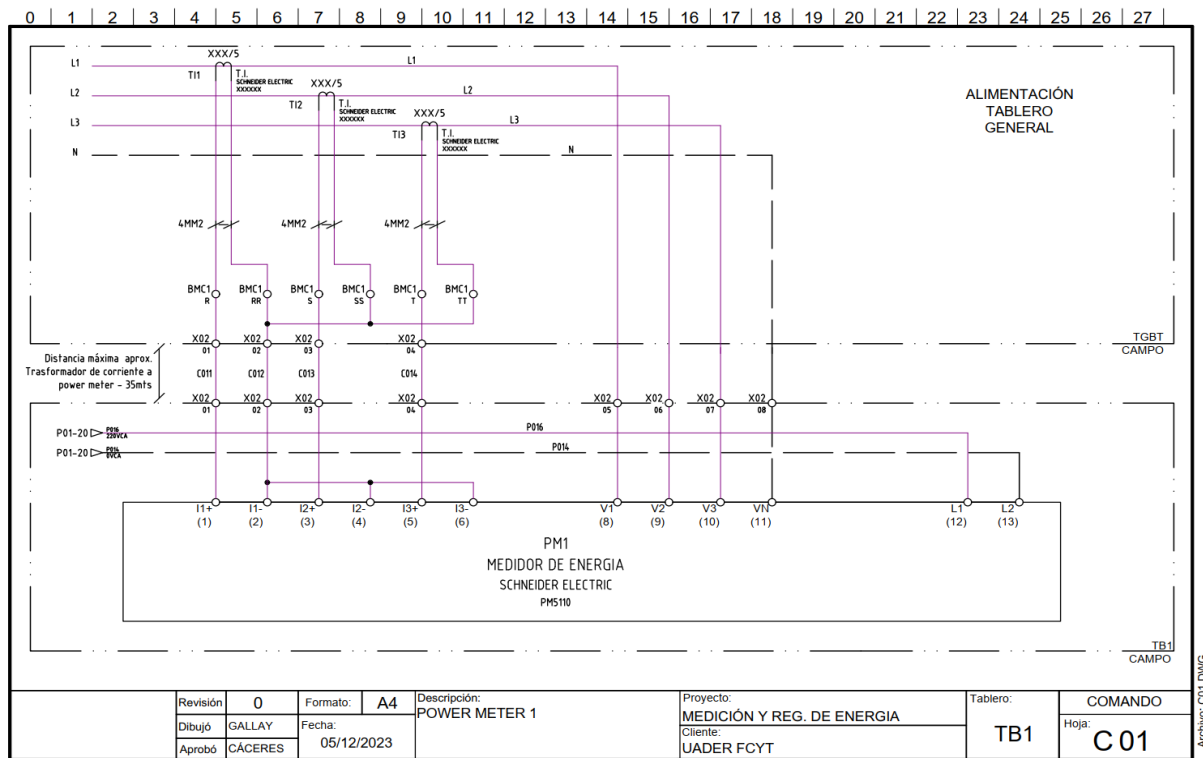


Figura 44: Conexionado Medidor de Energía 1

Plano de Comando Hoja 7 de 11:

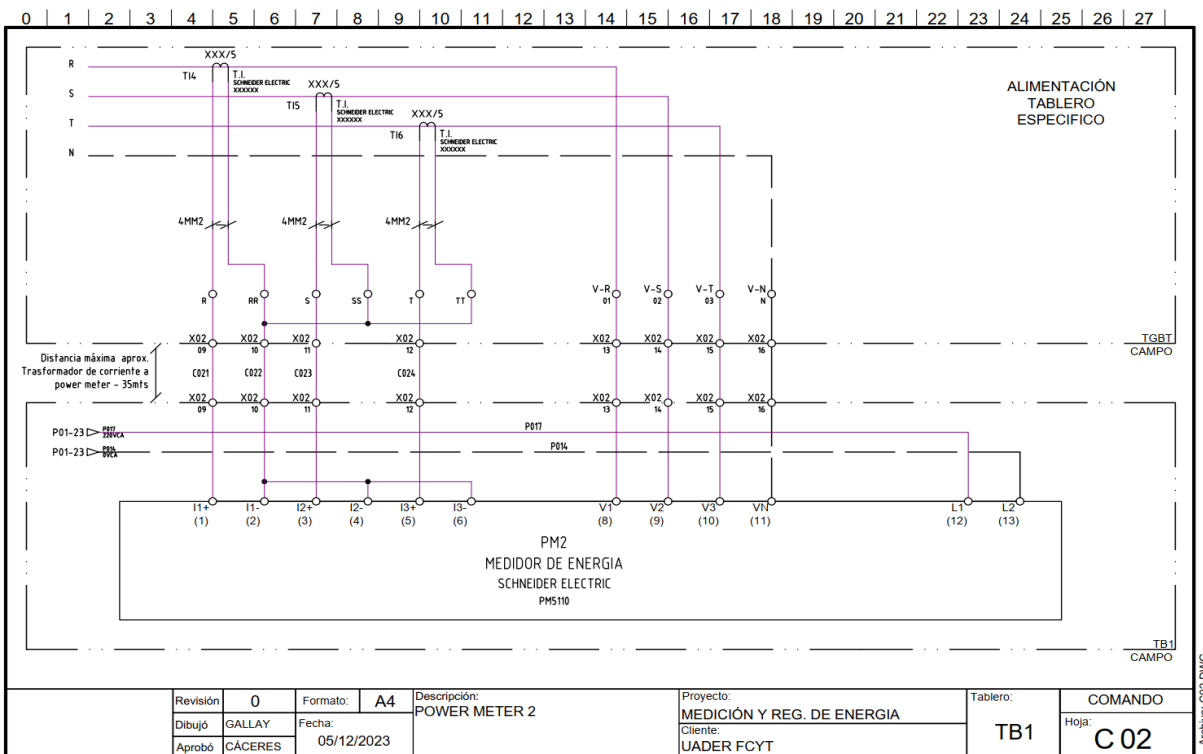


Figura 45: Conexionado Medidor de Energía 2

Plano de Comando Hoja 8 de 11:

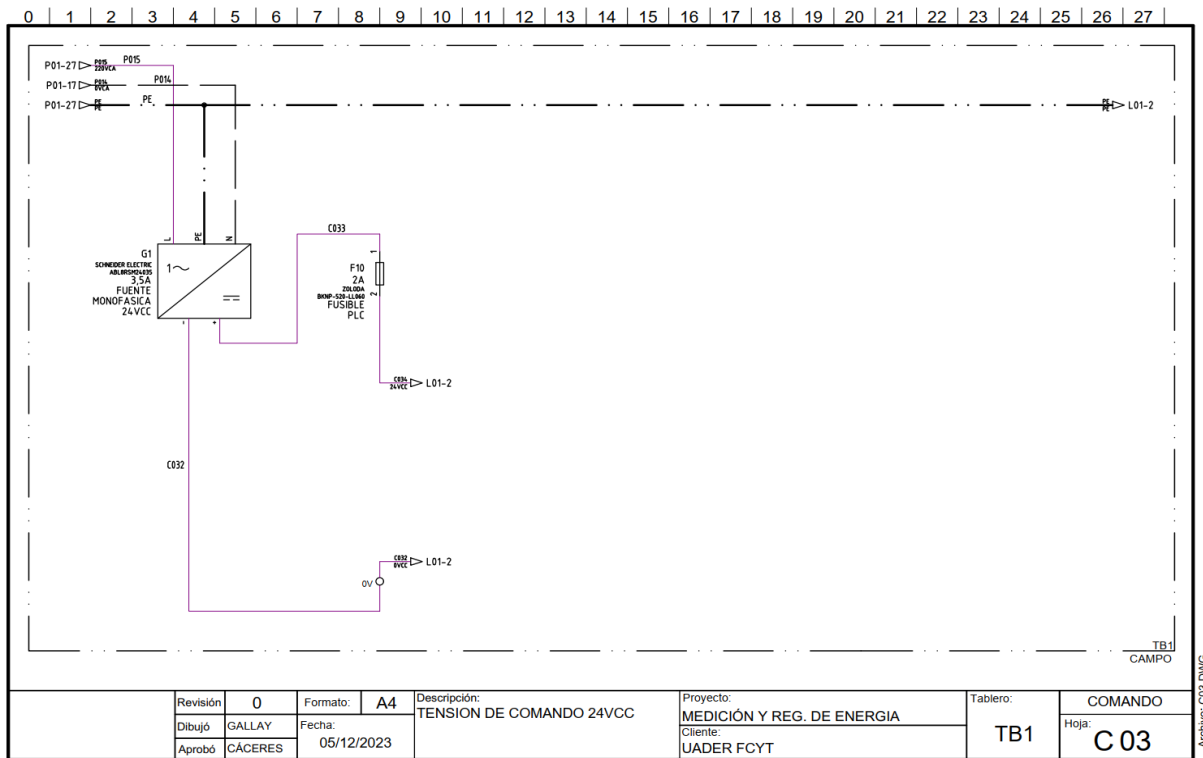


Figura 46: Fuente de alimentación

Plano de Lógica Hoja 9 de 11:

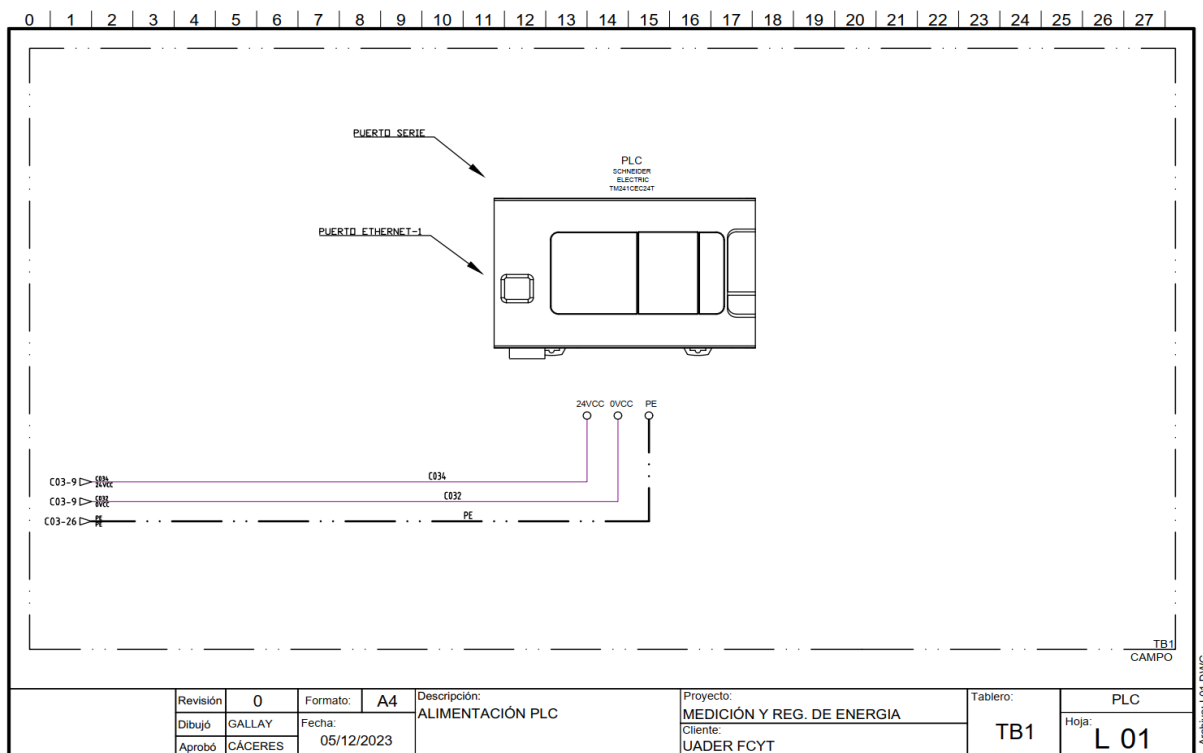


Figura 47: Alimentación PLC

Plano de Conexionado Hoja 10 de 11:

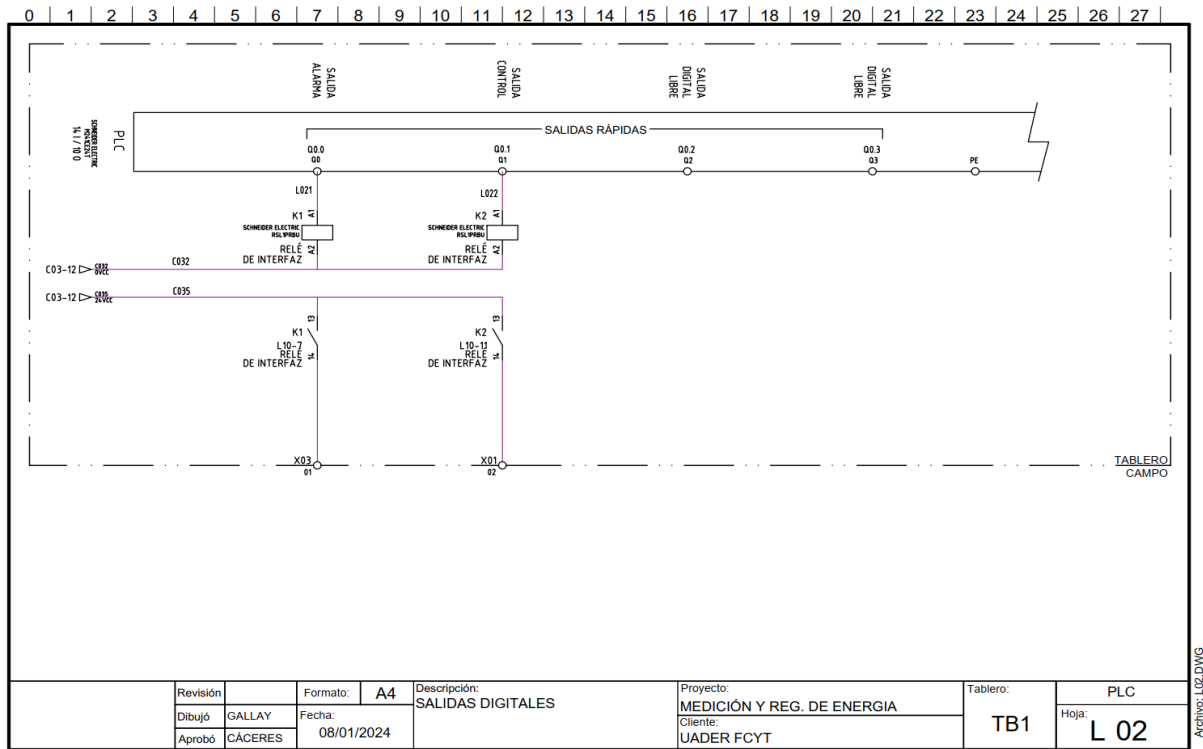


Figura 48: Conexionado Salidas Digitales

Plano de Conexionado Hoja 11 de 11:

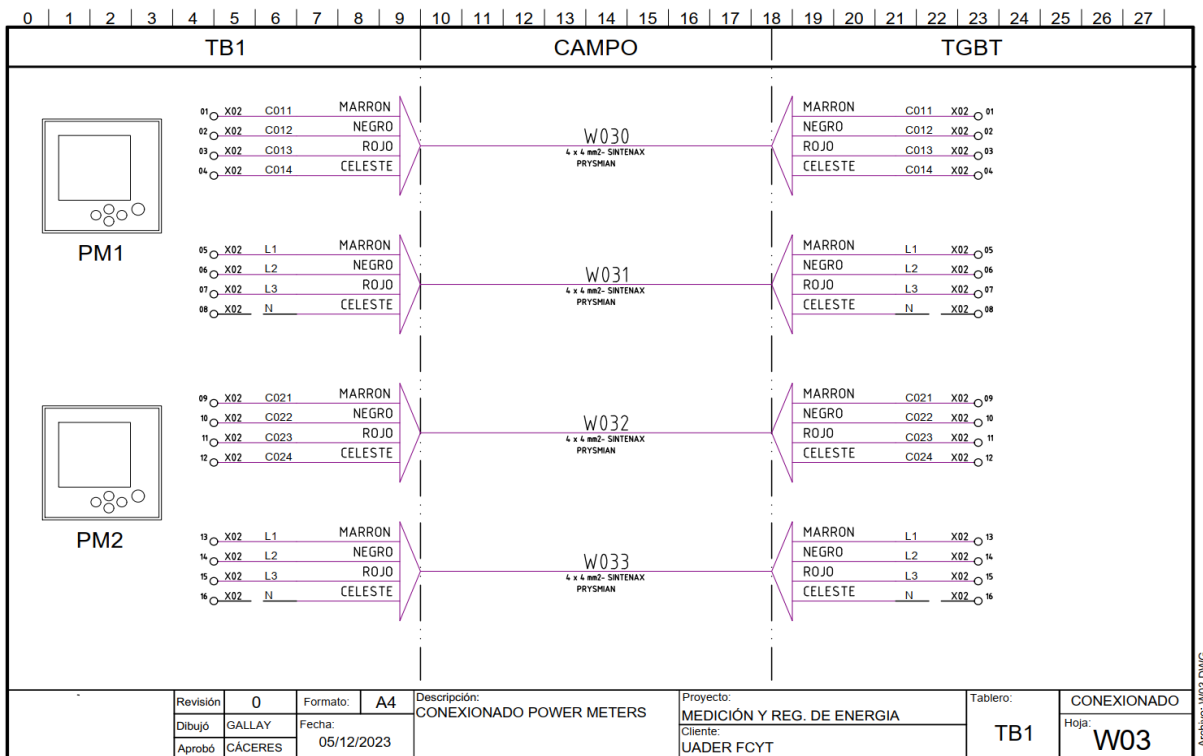


Figura 49: Conexionado entre Medidores de Energía y Tablero General

Diseño de detalle

A continuación, se describen los componentes del tablero eléctrico y los sensores empleados en el sistema de control.

Controlador

El Modicon M241 es un controlador lógico programable (PLC) compacto diseñado para aplicaciones industriales de tamaño medio. Destaca por su rendimiento robusto, diversas opciones de comunicación (Ethernet, CANopen, Modbus), programación intuitiva a través del software EcoStruxure Machine Expert, funciones de seguridad integradas, flexibilidad mediante módulos de expansión, diseño compacto para espacios reducidos, y durabilidad en entornos industriales adversos. Su capacidad de escalabilidad lo hace adaptable a cambios en los requisitos de la aplicación.

Se elige el PLC debido a que ofrece características propias de un dispositivo de gama alta a un precio equivalente al de una gama media. Asimismo, presenta una compatibilidad fluida con otros dispositivos sin incurrir en una complejidad excesiva.

Datos técnicos

Marca	Schneider Electric
Modelo	TM241CEC24T
Tension de alimentacion	24 Vcc
Entradas digitales	14 DI - 24 Vcc (8 fast input)
Salidas digitales	10 DO - 24 Vcc (4 fast output)
Puerto de comunicación Ethernet	1 puerto
Puertos de comunicación serial	3 puertos (Bornes, RJ45 y USB)

Tamaño	90 mm - 95 mm - 150 mm
--------	------------------------



Figura 50: PLC Schneider - M241

Nota: Para más especificaciones del controlador se puede acceder a la siguiente página, perteneciente al fabricante:

<https://www.se.com/ar/es/product/TM241CEC24T/controller-m24124io-tr-pnp-eth-can-mas/>

HMI

Un HMI (Interfaz Hombre-Máquina) es un dispositivo que facilita la interacción entre humanos y máquinas. Utiliza pantallas táctiles para mostrar información, permitiendo a los usuarios controlar y monitorear sistemas complejos. Su función incluye visualización de datos (trendings), control directo, notificaciones de alerta, entre otras cualidades. Para este proyecto se elige un HMI de la marca Schneider Electric (Cod. HMIGXU5512X).

Los mismos cuentan con un software intuitivo para la programación y configuración(Vijeo Designer Basic), son reconocidos por su fiabilidad y durabilidad en entornos industriales exigentes. A continuación se exponen los datos técnicos de relevancia.

Datos técnicos

Marca	Schneider Electric
Modelo	HMIGXU5512X
Tensión de alimentación	24 VCC
Puerto de comunicación Ethernet	1 puerto
Puertos de comunicación serial	2 puertos (RS232 y RS485)
Tipo de visualización	Pantalla táctil LCD
Resolución	800 X 480 Píxeles
Tamaño	10,1 Pulgadas



Figura 51: HMI Schneider - HMIGXU5512X

Nota: Para más especificaciones del controlador se puede acceder a la siguiente página, perteneciente al fabricante:

<https://www.se.com/id/en/product/HMIGXU5512/10-1-inch-widescreen-universal-model-2serial-ports1ethernet-port-embeddedrtc/>

Medidores de energía

El medidor de energía PM5110 de Schneider Electric es un dispositivo diseñado para medir y monitorear el consumo de energía eléctrica, factor de potencia, armónicos, entre otras variables, en aplicaciones industriales o comerciales. Algunas características de estos medidores son las siguientes:

Medición Precisa: Ofrece una medición precisa de la energía eléctrica consumida, permitiendo un monitoreo detallado de los patrones de uso.

Comunicación: Cuenta con capacidades de comunicación que permiten la integración con sistemas de gestión de energía o sistemas de control más amplios.

Visualización y Registro de Datos: Proporciona interfaces de usuario para visualizar datos en tiempo real y registros históricos, lo que facilita el análisis de tendencias y la toma de decisiones informadas.

Compatibilidad con Redes Eléctricas Industriales: Diseñado para integrarse fácilmente con sistemas eléctricos industriales, posiblemente cumpliendo con estándares de comunicación como Modbus u otros protocolos comunes.

Características de Seguridad: Puede incluir funciones de seguridad, como protección contra sobrecargas o monitoreo de la calidad de la energía, para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

Datos técnicos

Marca	Schneider Electric
Modelo	PM5110

Tensión de alimentación	90... 450 VCA - 100...300VCC
Entradas digitales	0 digital
Salidas digitales	1 digital
Puerto de comunicación Ethernet	No posee
Puertos de comunicación serial	RS485
Tamaño	96 mm - 72 mm - 96 mm



Figura 52: Medidor de Energía Schneider - PM5110

Nota: Para más especificaciones técnicas se puede acceder a la siguiente página web:

<https://www.se.com/ar/es/product/METSEPM5110/medidor-pm500-cl0-5-rs485/>

Transformador de corriente

El medidor de corriente METSECT5DA125 de Schneider Electric es un dispositivo eléctrico utilizado para medir corrientes de alta intensidad en circuitos de corriente alterna (CA). Su función principal es transformar la corriente primaria, que es la corriente que fluye por el conductor principal del circuito, en una corriente secundaria proporcional y más manejable.

Se utilizan en una variedad de aplicaciones, como medición de corriente para instrumentos de panel, monitoreo de energía, protección de equipos contra corrientes excesivas, entre otros.

Datos técnicos

Marca	Schneider Electric
Modelo	METSECT5DA125
Corriente del primario	1250 A
Corriente del secundario	5 A
Tipo de Transformado	Para barra de distribución
Protección	IP20
Tamaño exterior	90 mm - 94 mm - 40 mm
Tamaño interior	65 mm - 32 mm - 87 mm

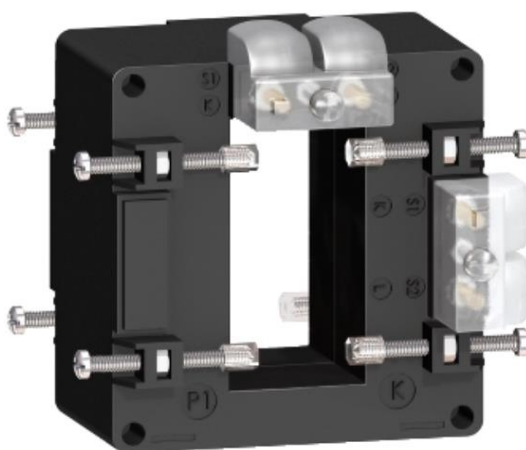


Figura 53: Transformador de Corriente Schneider - METSECT5DA125

Nota: Para más especificaciones técnicas se puede acceder a la siguiente página web del fabricante:

<https://www.se.com/ar/es/product/METSECT5DA125/ti-1250-5a-tipo-da-barra-32x65/>

Protecciones

Se utiliza un interruptor termomagnético automático Schneider Electric (Cod. A9N11781) de 6 Amperes de corriente nominal y curva de disparo tipo C, para la protección del tablero de control.



Figura 54: Interruptor Termomagnético Schneider

Además, el tablero contiene portafusibles (DF81V) de la marca Schneider Electric con testigo luminoso (indicación de fusible quemado) de un polo para la protección de los equipos de manera individual.



Figura 55: Porta fusible Schneider

Fuente, relés y borneras

Los equipos de baja tensión están alimentados a través de una fuente de Schneider Electric (Cod. ABL8RSM24035) de 220VCA - 24VCC/5A con una potencia nominal de 120W.



Figura 56: Fuente 24Vcc-5A Schneider

Como interfaz entre la salida del controlador y el elemento de accionamiento o indicación se utiliza relé, para la adaptabilidad y protección del PLC. Para esta aplicación se adoptan relés ultrafinos de Schneider Electric (Cod. RSL1PVBV) con una bobina de 24 VCA/VCC y 6A de corriente en los contactos de salida.



Figura 57: Relé ultrafino 24Vcc/Vca Schneider

Las borneras utilizadas para los instrumentos de medición de corriente (Transformador de Intensidad), son las denominadas borneras de contraste. Se utilizan las mismas ya que contienen un corredora. Esto permite cortocircuitar el lazo de medición y poder intervenir o intercambiar el instrumento sin generar inconvenientes. Para este proyecto se utilizan borneras Zoloda (Cod. BKLS-04-CR-PP) de cuatro milímetros cuadrados.

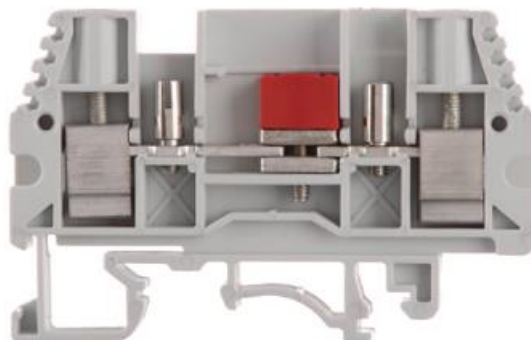


Figura 58: Bornera de contraste Zoloda.

Elementos de indicación

En la puerta del tablero se utiliza una luz piloto para indicar la presencia de tensión de comando 24VCC que alimenta al controlador y el HMI. Este es de la marca Schneider Electric (Cod.XB7EV03BP).



Figura 59: Luz piloto Schneider

Además, posee una torre luminosa compuesta por una lente de color rojo, para indicar la presencia de alarma o falla. Ésta es fabricada por Schneider Electric (Cod. XVBC2B3). Tiene como ventaja que se pueden encastrar más lentes de distintos colores, facilitando el conexionado y ensamblaje.



Figura 60: Torre luminosa Schneider

Software de programación

Controlador

La programación del Controlador se realizó con el entorno de desarrollo Machine Expert, siendo la versión, V1.2, la utilizada. Este software es proporcionado por SCHNEIDER ELECTRIC donde contempla distintos tipos de lenguajes de programación como por ejemplo:

- KOP (Diagrama de escalera o lenguaje de contactos)
- FDB (Diagrama de bloques de función)
- ST (Texto estructurado)
- IL (Lista de instrucciones)
- SFC (Secuencia de gráficos)

Para el desarrollo de esta herramienta se utiliza el lenguaje KOP, que posee las siguientes características:

- Intuitivo para personal eléctrico : Dado que se basa en esquemas eléctricos tradicionales, el Ladder(Diagrama escalera) resulta intuitivo para los ingenieros eléctricos y personal de mantenimiento que ya están familiarizados con los diagramas eléctricos.
- Facilita la comprensión: La representación gráfica y secuencial de la lógica de control hace que sea fácil entender el flujo del programa y seguir la secuencia de operaciones.
- Herencia de la industria: Dado que los primeros PLC se desarrollaron para reemplazar los relés electromecánicos en aplicaciones industriales, el Ladder Logic proporcionó una transición natural, permitiendo a los ingenieros migrar fácilmente a la programación de PLC.
- Aplicación en lógica de control secuencial: Es particularmente eficaz para representar lógica de control secuencial, como en procesos de fabricación y automatización.

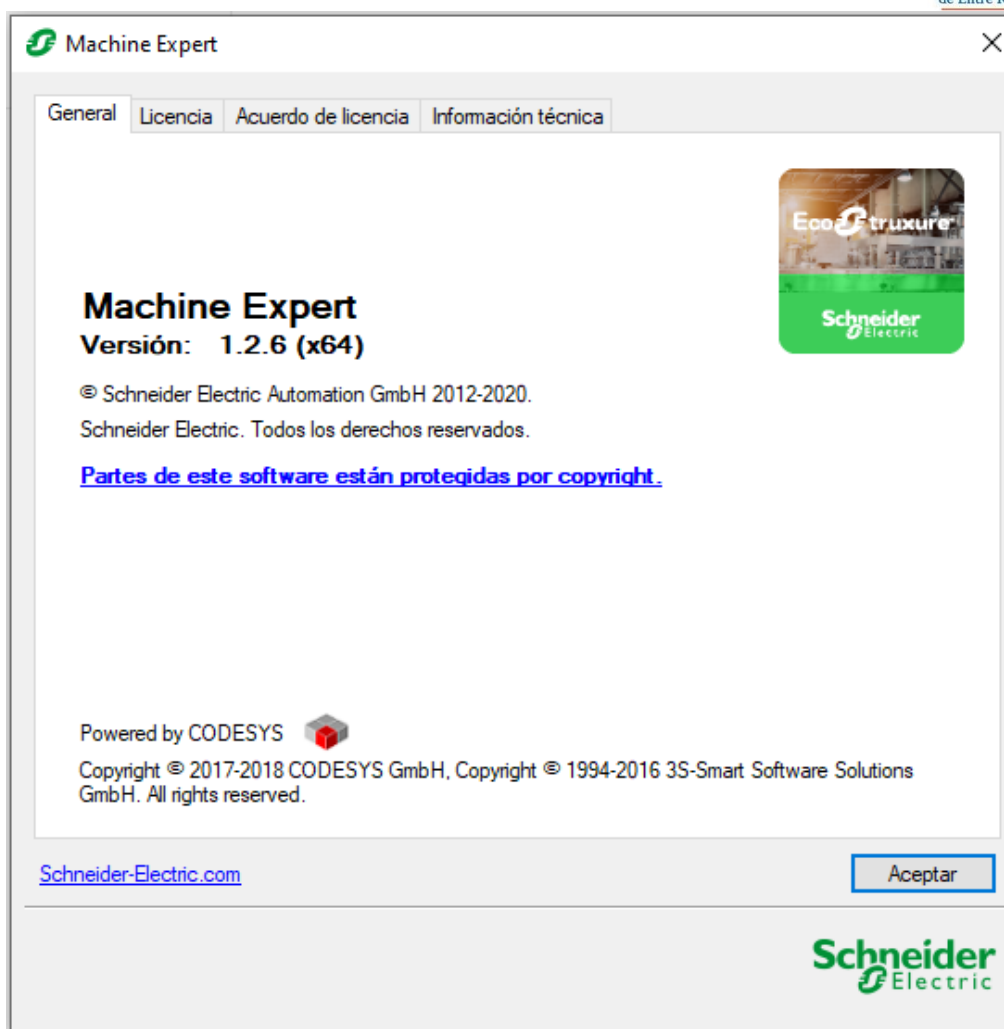


Figura 61: Versión de Software de programación PLC

SCADA

El desarrollo del Sistema de Control y Adquisición de Datos se lleva a cabo mediante el uso del software EcoStruxure Machine SCADA Expert, específicamente en su versión V8.1. Este software, suministrado por Schneider Electric, junto con el controlador, establece la comunicación con uno o más PLC y diversos equipos a través de "drivers" predefinidos.

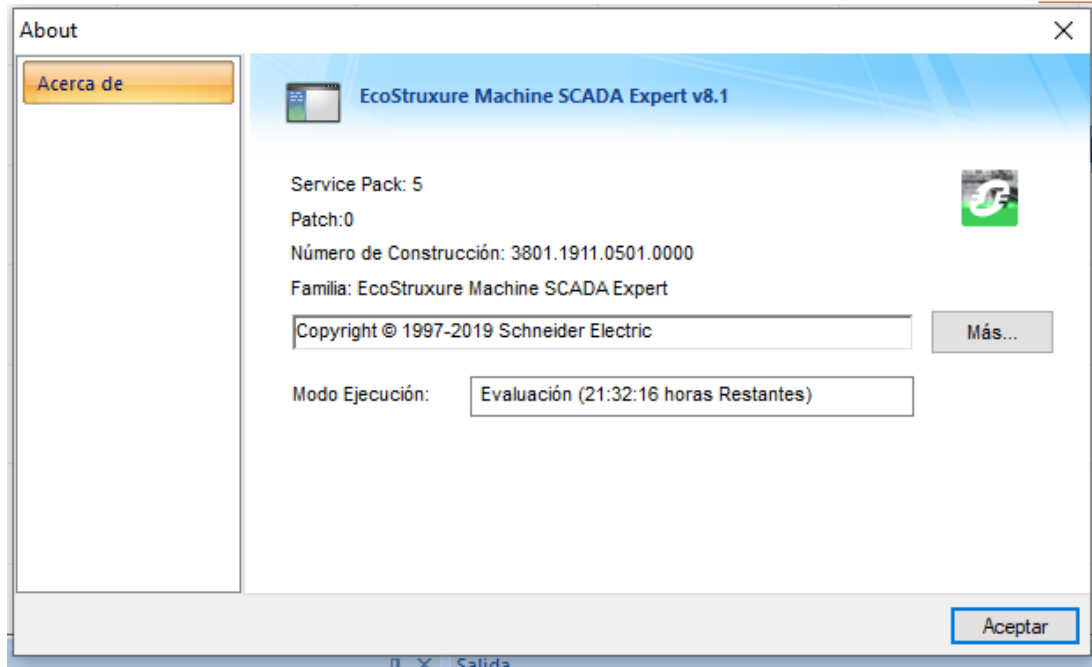


Figura 62: Versión de Software de programación SCADA

Una característica destacada de esta aplicación es su capacidad para ejecutar funciones que operan detrás de la interfaz gráfica. Este proceso se realiza mediante el empleo de Visual Basic Scripts, lo que confiere flexibilidad y personalización al sistema. En particular, en esta propuesta, se aprovecha esta funcionalidad para la escritura en la base de datos PostgreSQL, logrando así una integración efectiva de los datos adquiridos en el sistema de control con la robusta estructura de almacenamiento y gestión de datos que ofrece PostgreSQL. Este enfoque fortalece la capacidad del sistema para gestionar y registrar información de manera eficiente, contribuyendo a la calidad y confiabilidad de la adquisición de datos en el entorno operativo.

Memorias del proyecto

Introducción

En nuestro esfuerzo continuo por alcanzar la máxima eficiencia y optimización operativa, hemos reconocido la importancia imperativa de establecer un sistema sofisticado que mejore nuestra comprensión y gestión del consumo y la calidad de la energía. Las presentes memorias detallan el proyecto emprendido para superar esta barrera, brindando un análisis exhaustivo de los factores que nos impulsaron, el proceso de creación y los beneficios esperados de este sistema.

Descripción del Proyecto

El proyecto propone la creación e implementación de un Sistema de Monitoreo en Tiempo Real, diseñado para la recopilación, procesamiento, y análisis exhaustivo de datos relacionados con el consumo y la calidad energética en nuestras instalaciones. El principal objetivo de esta iniciativa es dotar a la empresa de una herramienta poderosa para la optimización de la toma de decisiones, garantizando la protección de nuestras instalaciones, la prevención de sanciones económicas, y una mejora sustancial en la proyección de nuestras capacidades productivas y estrategias de inversión.

Problemática y desafío

La iniciativa de este proyecto se debe a la necesidad crítica de hacer frente a los desafíos presentados por las corrientes armónicas y su influencia negativa en la eficiencia y la vida útil de la maquinaria. Se ha evidenciado que el sistema de gestión y control energético actual es deficiente, causando multas considerables y limitando la eficiencia productiva del establecimiento. La insuficiencia en el manejo y la comprensión exhaustiva del consumo energético ha limitado la toma de decisiones estratégicas, especialmente en términos de expansión y modernización operativa.

Desarrollo del Proyecto

El desarrollo del proyecto se centró en dos pilares fundamentales:

- Sistema de Monitoreo en Tiempo Real
Este sistema completo abarca todo el proceso desde la recolección hasta el análisis de datos relacionados con la energía, proporcionando un panorama exhaustivo y minucioso de la condición energética del establecimiento.
- Optimización de la Asistencia Informática
Se ha diseñado una interfaz intuitiva y específica que ofrece información crucial de forma inmediata, simplificando el proceso de toma de decisiones en el momento necesario.

Este método combinado no solo asegura la recopilación de datos precisos y significativos, sino que también promueve su utilización efectiva para elevar la eficiencia operacional y fortalecer la estabilidad económica de la organización.

Resultados del Proyecto

El desarrollo e implementación del sistema de monitoreo en tiempo real culminaron en la creación de una solución integral para la gestión de la energía en nuestras instalaciones. El sistema está compuesto por varios componentes claves que trabajan en conjunto para ofrecer un control y análisis preciso de la energía consumida.

Reflexiones y Aprendizajes

La experiencia en el desarrollo del sistema de monitoreo energético ha sido fundamental para resaltar la importancia de la precisión en la recopilación de datos y la integración tecnológica. Hemos aprendido el valor de contar con sistemas autónomos capaces de responder a condiciones específicas de manera automática, lo cual ha mejorado significativamente nuestra eficiencia operativa y energética. La experiencia en el desarrollo del sistema de monitoreo energético ha sido fundamental para resaltar la importancia de la precisión en la recopilación de datos y la integración tecnológica. Hemos aprendido el valor de contar con sistemas autónomos capaces de responder a condiciones específicas de manera automática, lo cual ha mejorado significativamente nuestra eficiencia operativa y energética.

Este proyecto reafirmó nuestro compromiso con la sostenibilidad y la innovación como herramientas clave para abordar desafíos complejos. La capacidad de adaptación del sistema y la colaboración interdisciplinaria han sido aspectos sorprendentes que han enriquecido el proyecto, demostrando que la flexibilidad y el trabajo en equipo son esenciales para el éxito en la implementación de soluciones técnicas avanzadas.

Estado del arte

El ciclo de vida de la eficiencia energética en la industria comienza con la medición del consumo, lo que implica realizar un diagnóstico energético para identificar áreas de oportunidad. Esta fase incluye consultoría energética, medición y diagnóstico energético.

Dentro de la medición, que es uno de los objetivos de estudio de este proyecto existen los siguientes:

Medidores electromecánicos: Estos son los medidores tradicionales que utilizan un disco giratorio que registra el consumo de energía eléctrica

Medidores de inducción: Similar a los electromecánicos, estos medidores utilizan la inducción electromagnética para medir el consumo de energía eléctrica. Son más precisos que los medidores electromecánicos y se utilizan en aplicaciones industriales y comerciales.

Medidores electrónicos: Estos medidores utilizan circuitos electrónicos para medir y registrar el consumo de energía eléctrica. Son más precisos y confiables que los medidores electromecánicos y de inducción, y pueden proporcionar datos adicionales como la potencia activa, reactiva y aparente.

Medidores inteligentes: Estos son dispositivos avanzados que no solo miden el consumo de energía eléctrica, sino que también pueden comunicarse de forma

bidireccional con la red eléctrica y con otros dispositivos dentro de una instalación. Permiten el monitoreo en tiempo real y la gestión remota del consumo de energía, así como la detección de patrones de uso y la implementación de estrategias de eficiencia energética.

La corrección de elementos básicos en la segunda fase del ciclo de vida se centra en mejorar la eficiencia eléctrica pasiva mediante el reemplazo de equipos por tecnologías de bajo consumo y la mejora de la calidad de la energía recibida.

La optimización del consumo en la tercera fase implica la implementación de sistemas de automatización, actuando sobre la energía pasiva para mejorarla. Estos sistemas pueden abarcar desde equipos individuales hasta industrias completas.

La cuarta fase se refiere a las estrategias para mantener y conservar los logros obtenidos en las fases anteriores, mediante el monitoreo constante del consumo energético y la implementación de software y soporte técnico.

La medición de energía desempeña un papel fundamental en el ciclo de la eficiencia energética, involucrada en todas las etapas. Los medidores de energía eléctrica proporcionan datos detallados para identificar áreas de ineficiencia, analizar patrones de consumo y optimizar procesos.

Implementar una medición más completa en la industria es crítico para evitar pérdidas de producción debido a paros no programados por fallas en el sistema eléctrico. Los beneficios incluyen disponer de más datos energéticos, establecer puntos de referencia y objetivos de ahorro, asignar costos por área, anticiparse a fallas y mejorar la confiabilidad del recurso eléctrico.

Las principales aplicaciones de la medición en la industria incluyen la asignación de costos por área, análisis de patrones históricos, análisis de calidad de energía, monitoreo vía web y análisis de demanda.

Conclusión

Este proyecto marca un avance significativo hacia una gestión energética más consciente y eficiente en el ámbito industrial. Al desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real, hemos podido no solo comprender mejor cómo y dónde se consume la energía en nuestras operaciones, sino también identificar oportunidades claras para mejorar la eficiencia y reducir los costos. La implementación de tecnología avanzada, combinada con un enfoque proactivo hacia la calidad de la energía, ha demostrado ser una estrategia poderosa para proteger nuestras instalaciones, evitar sanciones económicas innecesarias y optimizar la toma de decisiones en todos los niveles de la organización.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de este sistema de medición en un horno de inducción. Los datos revelan que el porcentaje de distorsión armónica supera el cincuenta por ciento, lo que constituye un indicador

clave para el diseño de filtros activos destinados a mitigar los armónicos predominantes.

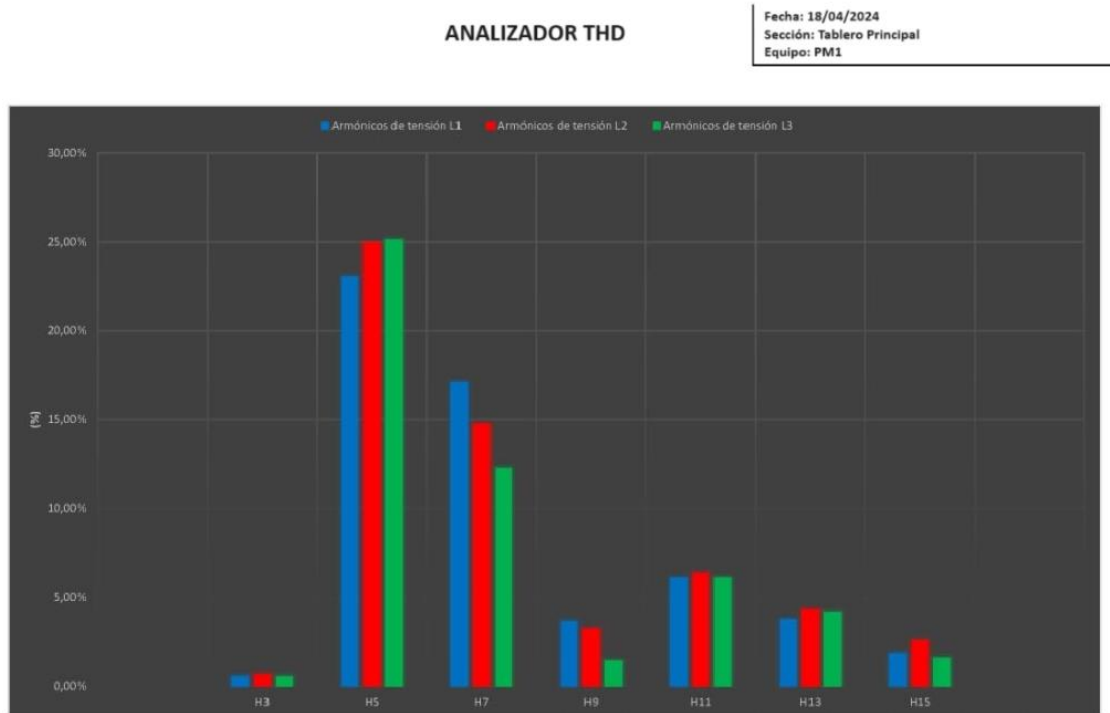


Figura 63: Distorsión armónica

Además, el análisis del consumo energético promedio por hora durante el mes de abril muestra que no se excedió el umbral de trescientos kilovatios hora, evitando así posibles penalizaciones.



Figura 64: Consumo energético promedio

Más allá de las mejoras operativas y financieras, este proyecto destaca la importancia de adoptar prácticas sostenibles y responsables desde un punto de vista ambiental. Al abordar desafíos como las corrientes armónicas y el consumo excesivo, no solo mejoramos la eficiencia de nuestra planta, sino que también contribuimos a un futuro más verde y sostenible para la industria en general.

En conclusión, este trabajo subraya que la clave para una gestión energética exitosa en la industria radica en la combinación de tecnología innovadora con un enfoque proactivo. Al hacerlo, no solo avanzamos hacia operaciones más eficientes y rentables, sino que también nos comprometemos con prácticas más sostenibles que beneficiarán tanto a las generaciones actuales como a las futuras.

Bibliografía

Revista Energy Management. Beneficios de la medición eléctrica en la industria.
<https://e-management.mx/2016/01/07/beneficios-de-la-medicion-electrica-en-la-industria/>.

Grupo Industronic. ¿Por qué realizar un estudio de calidad de energía?
<https://grupoindustronic.com/por-que-realizar-un-analisis-de-calidad-de-energia/>.

Tec-EOS. Eficiencia energética en el sector industrial: Medidores inteligentes.
<https://tec-eos.com/eficiencia-energetica-en-el-sector-industrial-medidores-inteligentes/>.

APIEM. Sistemas de medición y control de la energía: Como reducir el consumo y costes asociados. <https://www.apiem.org/sistemas-de-medicion-y-control-de-la-energia-como-reducir-el-consumo-y-los-costes-asociados/>.

REDALYC. Gestión de la calidad de la energía eléctrica.
<https://www.redalyc.org/journal/3291/329158888009/>.

Anexo

Registros del PM5110

El medidor de energía seleccionado, es un dispositivo destacado por su capacidad para registrar una diversidad de parámetros energéticos. A continuación se detallarán los registros utilizados en el proyecto.

Tensiones:

- Registro 3028: Voltage A-N
- Registro 3030: Voltage B-N
- Registro 3032: Voltage C-N

Corrientes:

- Registro 3000: Current A
- Registro 3002: Current B
- Registro 3004: Current C
- Registro 3006: Current N

Potencias:

- Registro 3054: Active Power A
- Registro 3056: Active Power B
- Registro 3058: Active Power C
- Registro 3060: Active Power Total
- Registro 3062: Reactive Power A
- Registro 3064: Reactive Power B
- Registro 3066: Reactive Power C
- Registro 3068: Reactive Power Total
- Registro 3070: Apparent Power A
- Registro 3072: Apparent Power B
- Registro 3074: Apparent Power C
- Registro 3076: Apparent Power Total

Factor de potencia:

- Registro 3078: Power Factor A
- Registro 3080: Power Factor B
- Registro 3082: Power Factor C
- Registro 3084: Power Factor Total

Armónicos:

Fase A:

- Registro 24428: Current A, H1 Magnitude, %
- Registro 24434: Current A, H2 Magnitude, %
- Registro 24440 :Current A, H3 Magnitude, %
- Registro 24446 :Current A, H4 Magnitude, %
- Registro 24452 :Current A, H5 Magnitude, %
- Registro 24458 :Current A, H6 Magnitude, %
- Registro 24464 :Current A, H7 Magnitude, %

- Registro 24470 :Current A, H8 Magnitude, %
- Registro 24476 :Current A, H9 Magnitude, %
- Registro 24482 :Current A, H10 Magnitude, %
- Registro 24488 :Current A, H11 Magnitude, %
- Registro 24494 :Current A, H12 Magnitude, %
- Registro 24500 :Current A, H13 Magnitude, %
- Registro 24506 :Current A, H14 Magnitude, %
- Registro 24512 :Current A, H15 Magnitude, %

.Fase B:

- Registro 24816: Current B, H1 Magnitude, %
- Registro 24822: Current B, H2 Magnitude, %
- Registro 24828:Current B, H3 Magnitude, %
- Registro 24834:Current B, H4 Magnitude, %
- Registro 24840:Current B, H5 Magnitude, %
- Registro 24846:Current B, H6 Magnitude, %
- Registro 24852:Current B, H7 Magnitude, %
- Registro 24858:Current B, H8 Magnitude, %
- Registro 24864:Current B, H9 Magnitude, %
- Registro 24870:Current B, H10 Magnitude, %
- Registro 24876:Current B, H11 Magnitude, %
- Registro 24882:Current B, H12 Magnitude, %
- Registro 24888:Current B, H13 Magnitude, %
- Registro 24894:Current B, H14 Magnitude, %
- Registro 24900:Current B, H15 Magnitude, %

.Fase C:

- Registro 25204: Current C, H1 Magnitude, %
- Registro 25210: Current C, H2 Magnitude, %
- Registro 25216:Current C, H3 Magnitude, %
- Registro 25222:Current C, H4 Magnitude, %
- Registro 25228:Current C, H5 Magnitude, %
- Registro 25234:Current C, H6 Magnitude, %
- Registro 25240:Current C, H7 Magnitude, %
- Registro 25246:Current C, H8 Magnitude, %
- Registro 25252:Current C, H9 Magnitude, %
- Registro 25258:Current C, H10 Magnitude, %
- Registro 25264:Current C, H11 Magnitude, %
- Registro 25270:Current C, H12 Magnitude, %
- Registro 25276:Current C, H13 Magnitude, %
- Registro 25282:Current C, H14 Magnitude, %
- Registro 25288:Current C, H15 Magnitude, %