



---

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE CONDENSADORES DE AMONIACO

---

TESIS DE GRADO



05/12/2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RAFAELA  
RAFAELA, SANTA FE. ARGENTINA

***“Diseño e implementación para la automatización de condensadores de amoniaco”***

AUTOR

Nicolás Antonio Coria

Universidad Nacional de Rafaela

Presentada para optar por el título a: Licenciatura en automatización y robótica

Práctica profesional supervisada

DIRECTOR

Fernando Luis Ferrer

Tesis aprobada el 23 de octubre del 2025.

En colaboración con:

Sodecar SA

## Índice General

Resumen .....	6
Introducción.....	7
Capítulo 1: Planteamiento del problema .....	8
1.1 – Descripción del problema .....	8
1.2 – Formulación del problema .....	9
1.3 – Justificación e importancia .....	9
1.4 – Objetivos .....	10
Objetivo general .....	10
Objetivos específicos.....	10
1.5 – Hipótesis .....	11
Hipótesis general .....	11
Hipótesis específica.....	11
Capítulo 2: Introducción específica.....	12
2.1 – Funcionamiento del condensador evaporativo.....	12
2.2 – Parámetros a controlar y variables del proceso .....	14
Variables principales .....	14
Variables secundarias .....	15
2.3 – Requerimientos del sistema .....	16
Requerimientos eléctricos .....	16
Requerimientos de automatización .....	17
Requerimientos de comunicación .....	18
Requerimientos de hardware .....	19
Requerimientos humano.....	27
Capítulo 3: Diseño y desarrollo del sistema .....	29
3.1 – Diseño específico de la arquitectura de control .....	29
Modo Semiautomático .....	30
Modo Automático .....	31
3.2 – Topología de red .....	32
3.3 – Diseño eléctrico y de instrumentación.....	36
Alimentación principal – 380 VAC (potencia) .....	36
Alimentación secundaria – 220 VAC (servicios y fuentes) .....	37
Alimentación de control – 24 VDC.....	37

Protección, puesta a tierra y seguridad.....	38
Conductores y cableado del sistema.....	38
3.4 – Diseño de control y programación.....	43
Selección del PLC y entorno de programación.....	43
Interacción entre PLC maestro, PLC locales y SCADA.....	46
Estructura de programación.....	47
Secuencia de arranque y parada.....	49
Control PID de presión.....	50
Manejo de alarmas y seguridad.....	51
Estrategia de validación y redundancia de sensores.....	53
Validación individual.....	53
Presión promedio adaptativa.....	54
Acción correctiva.....	54
Ventajas del método.....	55
Consideraciones para implementación.....	55
Capítulo 4: Implementación del sistema.....	56
4.1 – Montaje e instalación de componentes.....	56
Planimetría eléctrica.....	57
Estructura general.....	58
Importancia de los planos en la gestión del proyecto.....	60
4.2 – Conexión y pruebas de comunicación.....	61
Verificación de hardware y señales de campo.....	62
Validación de la comunicación.....	63
4.3 – Interfaz TIA Portal V19 y Validación de la Programación del Sistema.....	67
Estructura de programación.....	67
Validación del PID.....	68
Validación de entradas y salidas (I/O Check).....	70
Validación de modo de funcionamiento.....	71
Validación de sistema de alarmas.....	72
Validación del sensor de presión.....	73
Validación de función de mantenimiento.....	73
Validación del funcionamiento general del condensador.....	73
4.4 – Interfaz de SCADA Weintek.....	74
4.5 – Conclusión - Integración, Programación y Validación del Sistema.....	82
Capítulo 5: Conclusiones generales.....	84

5.1 – Evaluación y cumplimiento de los objetivos .....	84
5.2 – Evaluación y validación de la hipótesis .....	85
5.3 – Conclusiones finales .....	86
5.4 – Aportes académicos .....	86
5.4 – Mejoras a futuro.....	87
Capítulo 6: Referencias Bibliográficas.....	88
6.1 – Bibliografía general .....	88
6.2 – Documentación técnica.....	88
6.3 – Fuentes académicas.....	89
Anexo A – Planos eléctricos del sistema.....	0

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Funcionamiento del condensador .....	12
Ilustración 2: Estructura interna del condensador .....	13
Ilustración 3: Ejemplo topología estrella.....	18
Ilustración 4: PLC S7-1500 .....	20
Ilustración 5: PLC S7-1200 .....	21
Ilustración 6: Modulo de expansión AI .....	21
Ilustración 7: Modulo de expansión AQ .....	22
Ilustración 8: Fuente de alimentación.....	23
Ilustración 9: Switch industrial 8 canales .....	23
Ilustración 10: Switch industrial 5 canales .....	24
Ilustración 11: Dispositivo de supervisión y control .....	25
Ilustración 12: Sensor de presión.....	25
Ilustración 13: Variador de frecuencia WEG .....	26
Ilustración 14: Motor WEG.....	27
Ilustración 15: Bomba centrifuga .....	27
Ilustración 16: Esquema de conexión de red .....	33
Ilustración 17: Cable Sintenax 4x10mm .....	41
Ilustración 18: Cable tierra 1x10mm .....	41
Ilustración 19: Cable unipolar 1x4mm .....	41
Ilustración 20: Cable Sintenax 4x4mm .....	42
Ilustración 21: Cables unipolares 1x2.5mm .....	42
Ilustración 22: Cable unipolar 1x0.75mm .....	42
Ilustración 23: Cable apantallado y mallado 3x1mm .....	42
Ilustración 24: Cable Profinet.....	43
Ilustración 25: Primera prueba física.....	61
Ilustración 26: Primer prueba en SCADA .....	63
Ilustración 27: Creación de máquina virtual.....	64
Ilustración 28: Asociación de puertos .....	65
Ilustración 29: Pantalla inicio de sesión .....	75
Ilustración 30: Pantalla de inicio .....	76

Ilustración 31: Pantalla individual de condensador .....	77
Ilustración 32: Pantalla de alarmas .....	78
Ilustración 33: Pantalla de gráficos .....	79
Ilustración 34: Pantalla de eventos .....	79
Ilustración 35: Pantalla de registros .....	80
Ilustración 36: Pantalla de registros internos.....	81
Ilustración 37: Pantalla de operaciones .....	82

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Presión media .....	54
---------------------------------	----

## Índice de tablas

Tabla 1: Requerimientos de la automatización.....	18
Tabla 2: Configuración y direccionamiento de red .....	34
Tabla 3: Cableado eléctrico .....	39
Tabla 4: Marca de PLC en el mercado .....	44
Tabla 5: Familia S7 .....	45
Tabla 6: Listado de alarmas.....	52
Tabla 7: Lista de materiales.....	57
Tabla 8: Diagrama de I/O .....	59

## Resumen

El presente trabajo propone el *diseño e implementación de un sistema automatizado de control y supervisión para condensadores de amoníaco* utilizados en sistemas de refrigeración industrial.

La iniciativa surge de la necesidad de modernizar el sistema actual de control, que opera mediante dispositivos independientes y sin registro de datos, hacia una arquitectura integrada basada en controladores Siemens S7-1200 y S7-1500 conectados a un sistema SCADA Weintek.

La automatización permitirá regular la presión del sistema mediante el control proporcional de la velocidad de los ventiladores, optimizando el consumo energético y mejorando la seguridad operativa.

El proyecto contempla la aplicación del Ciclo de Deming (PDCA) como metodología de mejora continua, lo que garantiza un desarrollo ordenado y verificable de cada etapa del proceso.

El resultado esperado es un sistema robusto, confiable y escalable, capaz de adaptarse a futuras expansiones y de integrarse con otros subsistemas de la planta industrial. Asimismo, se busca contribuir con una solución tecnológica aplicable a distintos entornos de refrigeración, alineada con los principios de la Industria 4.0, la sostenibilidad energética y la gestión digital de datos.

**Palabras clave:** Automatización – PLC Siemens – SCADA Weintek – Condensadores de amoníaco – Control industrial – PDCA – Eficiencia energética – Industria 4.0.

## Introducción

El presente trabajo de tesis tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema de automatización y supervisión de condensadores de amoníaco utilizados en instalaciones industriales de refrigeración.

El proyecto busca integrar controladores lógicos programables Siemens (PLC S7-1200 y S7-1500) y un sistema SCADA Weintek, con el propósito de modernizar el control del proceso de condensación, optimizar la eficiencia energética y mejorar la seguridad operativa del sistema.

El condensador de amoníaco es un elemento fundamental dentro del ciclo frigorífico, ya que se encarga de transferir el calor del gas comprimido hacia el ambiente, provocando su cambio de fase hacia líquido antes de ingresar nuevamente al evaporador.

La eficiencia del proceso de condensación depende directamente de la capacidad de los ventiladores y bombas del sistema, los cuales deben adaptarse continuamente a las condiciones de carga térmica y ambiental (temperatura y humedad exterior).

En los sistemas tradicionales, este control se realiza de forma manual o mediante controladores electrónicos independientes, lo cual presenta limitaciones de precisión y dificulta la supervisión en tiempo real.

El avance de la automatización industrial y de las redes de comunicación digital permite ahora implementar sistemas distribuidos y centralizados, capaces de interconectarse con distintos equipos y sensores, ofreciendo mayor confiabilidad y flexibilidad en la operación.

Por estas razones, el proyecto propone un sistema integral de control automatizado, donde los PLC Siemens gestionan localmente las señales de campo (motores, sensores, actuadores) y se comunican con un PLC maestro S7-1500 encargado de la coordinación general del proceso. El sistema SCADA Weintek, a su vez, actúa como interfaz de monitoreo y control, permitiendo la visualización de variables, alarmas, históricos y tendencias, además de posibilitar el control manual o automático según las condiciones operativas.

Este proyecto combina tecnologías de automatización avanzada con un enfoque de mejora continua y gestión de calidad, siguiendo el Ciclo de Deming (PDCA), lo que asegura un desarrollo ordenado, verificable y con retroalimentación constante.

# Capítulo 1: Planteamiento del problema

## 1.1 – Descripción del problema

En los sistemas industriales de refrigeración que emplean condensadores de amoníaco, la regulación de la presión es un factor crítico para garantizar la eficiencia, la estabilidad y la seguridad del proceso. Sin embargo, en muchas instalaciones, este control continúa realizándose de manera manual o semiautomática, dependiendo de la intervención directa del operario para accionar ventiladores o bombas a partir de la presión observada en manómetros o indicadores del tablero.

Esta modalidad genera diversas limitaciones operativas, como:

- **Dependencia de la intervención humana:** los operarios deben encender o apagar el condensador según la presión actual del sistema, lo cual introduce demoras en la respuesta y variabilidad en las decisiones. En ocasiones, los equipos permanecen encendidos innecesariamente, o bien no se activan a tiempo cuando la presión aumenta.
- **Ausencia de control proporcional:** la falta de regulación continua de la velocidad de los ventiladores genera oscilaciones de presión, mayor consumo eléctrico y desgaste prematuro de los motores.
- **Falta de coordinación entre equipos:** cada condensador con sus ventiladores funcionan de manera independiente, sin una lógica de sincronización que optimice el flujo de aire y la transferencia térmica.
- **Carencia de monitoreo centralizado:** no existe un sistema que permita visualizar en tiempo real las variables del proceso (presión, estado de motores, velocidad de los motores) ni registrar históricos para el análisis posterior.
- **Escasa trazabilidad y diagnóstico de fallas:** ante un evento anómalo, como una sobrepresión o un fallo térmico, el diagnóstico depende exclusivamente de la observación del operario, lo que incrementa el tiempo de respuesta y la posibilidad de error humano.

Estas limitaciones impactan directamente en la **eficiencia energética, la seguridad y la disponibilidad del sistema**, al depender de la experiencia del operario y no de un control automatizado.

Además, la falta de registro de datos imposibilita aplicar estrategias de mantenimiento preventivo o predictivo, lo que deriva en paradas imprevistas o fallas repetitivas.

Por lo tanto, se hace necesaria la **implementación de un sistema automatizado** que permita mantener la presión del condensador dentro de los valores nominales, regular la

velocidad de los ventiladores de forma proporcional, generar alarmas ante condiciones críticas y registrar los parámetros del proceso para su análisis.

La automatización reducirá la intervención manual, estandariza la respuesta del sistema y optimizará el funcionamiento de los equipos en términos de energía, seguridad y confiabilidad.

## 1.2 – Formulación del problema

El sistema de control manual de los condensadores de amoníaco presenta limitaciones en cuanto a precisión, eficiencia energética, confiabilidad operativa y capacidad de supervisión. La intervención del operario para accionar ventiladores y bombas según la presión observada genera respuestas tardías, oscilaciones, consumo excesivo de energía y falta de estandarización.

En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar una solución técnica que permita:

- Regular la presión del condensador de forma precisa y continua.
- Optimizar el uso de los ventiladores mediante control proporcional.
- Reducir la intervención humana.
- Centralizar la supervisión y mejorar la trazabilidad del proceso.

Por lo tanto, el problema central puede formularse como:

**¿Cómo analizar, describir y evaluar el impacto de implementar un sistema automatizado de control y supervisión para mejorar la eficiencia energética, la estabilidad del proceso y la confiabilidad operativa de los condensadores de amoníaco?**

## 1.3 – Justificación e importancia

La justificación de este trabajo se basa en la necesidad de mejorar la eficiencia, la precisión y la seguridad del proceso de condensación mediante el reemplazo progresivo de los sistemas de control manual por sistemas automatizados.

Desde el punto de vista técnico, la automatización permite:

- Reducir el consumo energético al aplicar control proporcional mediante variadores de frecuencia.
- Minimizar el error humano al estandarizar los criterios de operación.
- Mejorar la estabilidad del sistema frigorífico mediante un control más preciso de la presión.

- Incrementar la trazabilidad y la capacidad de diagnóstico mediante el registro histórico de variables y eventos.

Desde el punto de vista académico, este proyecto permite **analizar, describir y evaluar** una solución de control distribuido basada en PLC Siemens S7-1200 y S7-1500, junto con un SCADA Weintek, integrando conocimientos de:

- Automatización industrial
- Redes industriales
- Instrumentación
- Control PID
- Arquitecturas de supervisión

## 1.4 – Objetivos

### Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema automatizado de control y supervisión para condensadores de amoníaco utilizados en refrigeración industrial, mediante el uso de PLC Siemens S7-1200 y S7-1500 integrados a un sistema SCADA Weintek, con el propósito de optimizar el control de presión, reducir el consumo energético y aumentar la seguridad operativa del proceso.

### Objetivos específicos

1. Analizar y describir las limitaciones de precisión, eficiencia energética y seguridad del sistema de control manual actualmente implementado en los condensadores de amoníaco.
2. Describir la arquitectura del sistema de control distribuido (PLC S7-1200 / S7-1500) y la integración del sistema SCADA desarrollada, destacando las mejoras logradas en monitoreo, supervisión y trazabilidad del proceso.
3. Evaluar las optimizaciones del control de presión y la reducción del consumo energético obtenidas mediante la implementación del control automático con PID, en comparación con el funcionamiento manual previo.
4. Determinar y evaluar el impacto del nuevo sistema de automatización en la confiabilidad operativa y en la capacidad de registro, diagnóstico y trazabilidad del proceso, orientado a la aplicación de estrategias de mantenimiento predictivo.

## 1.5 – Hipótesis

### Hipótesis general

La implementación de un sistema automatizado de control y supervisión basada en PLC Siemens S7-1200 y S7-1500 integrados a un sistema SCADA Weintek permitirá mejorar la eficiencia energética, la estabilidad de la presión y la confiabilidad operativa del proceso de condensación de amoníaco, en comparación con los sistemas manuales actualmente utilizados.

### Hipótesis específica

- **H1 – Eficiencia energética:**

La regulación proporcional de la velocidad de los ventiladores mediante señales analógicas disminuirá el consumo energético al evitar encendidos prolongados o innecesarios.

- **H2 – Estabilidad del proceso:**

El control automatizado mantendrá la presión del condensador dentro de rangos más estables y con menores oscilaciones que el control manual.

- **H3 – Seguridad y trazabilidad:**

La incorporación de alarmas, registros históricos y supervisión SCADA incrementará la confiabilidad operativa y reducirá la dependencia del operador en la detección de fallas.

## Capítulo 2: Introducción específica

### 2.1 – Funcionamiento del condensador evaporativo

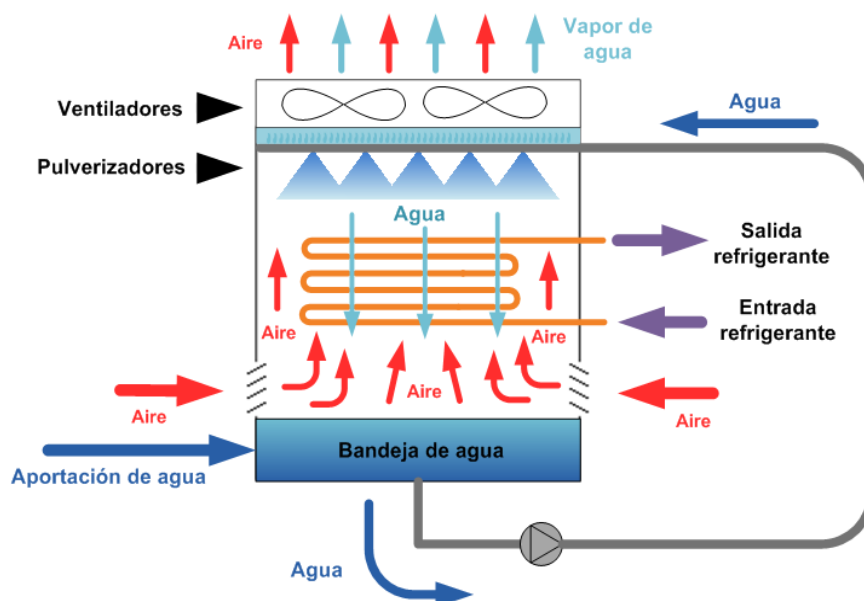
El condensador de amoníaco es un equipo esencial en los sistemas de refrigeración industrial. Su función principal es extraer el calor del refrigerante proveniente del compresor, transformando el amoníaco en estado gaseoso a una fase líquida mediante la disipación de energía térmica hacia el ambiente.

Con los equipos condensados por agua se pueden conseguir temperaturas más bajas que los sistemas tradicionales refrigerados por aire, y por tanto reducir potencias de compresores y **ahorrar en el consumo energético más de un 10%**.

El principio de funcionamiento se basa en la transferencia de calor por convección forzada y evaporación. El gas caliente de amoníaco ingresa al serpentín del condensador, donde es enfriado por una corriente de aire generada por ventiladores axiales. Al mismo tiempo, un sistema de aspersión de agua rocía el serpentín, favoreciendo la evaporación parcial del agua y aumentando la eficiencia térmica.

El proceso combina dos mecanismos de intercambio de calor:

1. Enfriamiento sensible: el aire absorbe calor del serpentín, reduciendo la temperatura del gas.
2. Enfriamiento evaporativo: la evaporación del agua sobre la superficie del serpentín extrae calor adicional, logrando que el amoníaco condense más rápidamente.

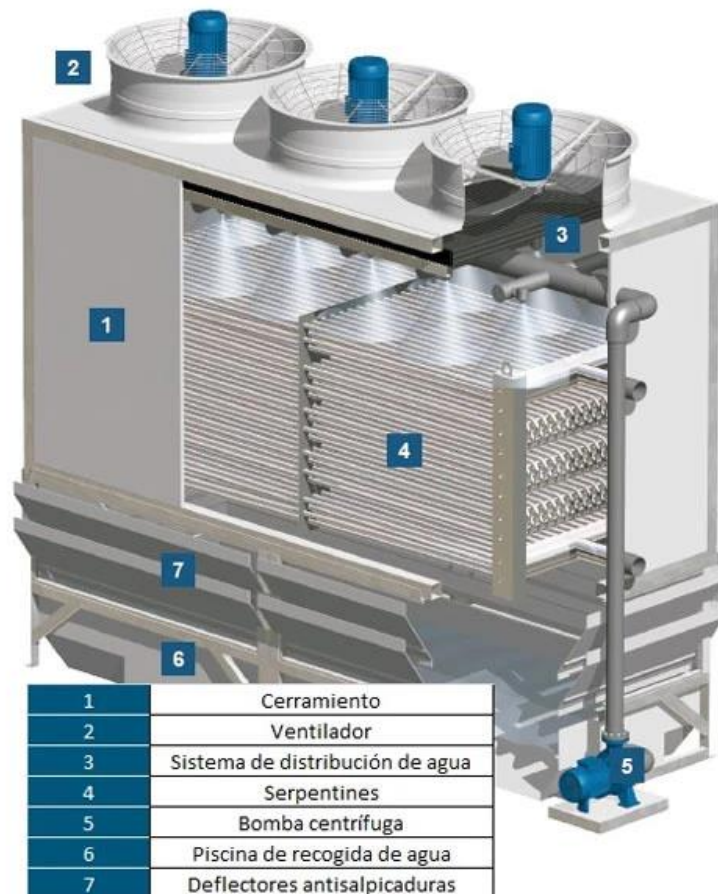


*Ilustración 1: Funcionamiento del condensador*

La eficiencia del condensador depende de la temperatura del aire ambiente, la humedad relativa, la velocidad de los ventiladores, y el flujo de agua.

Un control inadecuado de la presión de condensación puede generar ineficiencias energéticas o incluso fallas en el sistema de compresión.

Por este motivo, el control automatizado de los ventiladores y bombas del condensador resulta crítico para mantener condiciones estables, seguras y energéticamente eficientes.



*Ilustración 2: Estructura interna del condensador*

Componentes principales:

- **Ventiladores:** Son los responsables de mover el aire a través del condensador. Impulsan una corriente de aire ascendente que entra en contacto directo con el serpentín humedecido. Al mismo tiempo, el aire facilita la evaporación del agua, lo que intensifica el enfriamiento.
- **Sistema de recirculación de agua:** Se encuentra en la parte inferior del equipo, e incluye:
  - **Bomba de agua:** Eleva el agua desde un estanque o depósito inferior.

**Toberas pulverizadoras:** Rocían el agua de forma uniforme sobre la superficie del serpentín para maximizar la evaporación.

- **Serpentín de condensación:** Por dentro de este serpentín fluye el refrigerante en estado gaseoso a alta presión y temperatura, proveniente del compresor. El calor latente del refrigerante se transfiere a las paredes del serpentín para que pueda pasar a estado líquido.
- **Separador de gotas (eliminador de rocío):** Es un componente clave que se ubica sobre el sistema de pulverización. Atrapa las pequeñas gotas de agua arrastradas por la corriente de aire, ubicándolas en el depósito inferior y minimizando así la pérdida de agua del sistema.
- **Depósito de agua (tanque de agua o estanque):** Contiene el agua que se recircula constantemente por el sistema. Recoge el agua que no se ha evaporado para que pueda ser bombeada de nuevo.

## 2.2 – Parámetros a controlar y variables del proceso

El sistema automatizado propuesto tiene como finalidad mantener la presión de condensación del amoníaco dentro del rango operativo óptimo, garantizando la eficiencia del proceso y la protección del compresor principal.

Para lograrlo, el control se realiza mediante la supervisión y regulación de variables primarias y secundarias del sistema, actuando a través de controladores Siemens S7-1200 y un PLC maestro S7-1500, que coordina la operación general de los condensadores.

### Variables principales

- **Encendido y apagado de motores:**

Cada ventilador del condensador es comandado individualmente desde el PLC S7-1200 mediante salidas digitales, en función del modo de operación (manual, semiautomático o automático) y de las condiciones de presión detectadas.

- **Velocidad de los motores (control PID):**

La velocidad de los ventiladores se regula mediante un control PID analógico que envía una señal 0–10 V o 4–20 mA a los variadores de frecuencia.

Este control proporcional permite ajustar la velocidad de cada motor en tiempo real según la diferencia entre la presión medida y el setpoint configurado.

- **Tiempo de funcionamiento:**

El sistema registra el tiempo de servicio de cada motor y de la bomba de agua, lo que permite distribuir equitativamente el uso y programar mantenimientos preventivos según horas de operación acumuladas.

- **Presión de condensación:**

Es la variable de proceso más crítica. Se mide mediante un sensor de presión 4–20 mA conectado al PLC.

El valor nominal de trabajo se define en **9,5 bar**, considerado el punto óptimo para mantener la eficiencia energética y asegurar el correcto funcionamiento del compresor. Si la presión supera el umbral máximo (13 bares), se generan alarmas y todos los compresores estarían funcionando a una velocidad máxima.

- **Encendido de los condensadores a través del PLC maestro:**

El PLC S7-1500, que actúa como controlador central, coordina la puesta en marcha y parada de los tres condensadores mediante comunicación Profinet con los PLC S7-1200 locales.

Esta jerarquía garantiza un funcionamiento ordenado, evitando que más de un condensador se active innecesariamente o que queden fuera de servicio sin supervisión.

- **Estado de los relés térmicos y protecciones:**

Detectan sobrecargas, cortocircuitos o fallas eléctricas en los motores.

- **Alarmas generales y condiciones de paro de emergencia:**

Protegen el sistema ante fallas críticas o anomalías de proceso.

### Variables secundarias

- **Temperatura del amoníaco en el ducto y núcleo:** permite evaluar la eficiencia térmica de cada etapa de condensación.

- **Temperatura ambiente y humedad relativa:** variables externas que influyen en la capacidad de enfriamiento y en la velocidad óptima de los ventiladores.

- **Estado de bombas de agua:** aseguran la correcta aspersión sobre el serpentín y la estabilidad del intercambio de calor.

## 2.3 – Requerimientos del sistema

El sistema automatizado de control de condensadores de amoníaco requiere una combinación integrada de componentes eléctricos, electrónicos, de control y comunicación que garanticen un funcionamiento confiable, seguro y eficiente.

El diseño se basa en una arquitectura distribuida, donde cada condensador posee su propio PLC Siemens S7-1200 encargado del control local, mientras que un PLC maestro Siemens S7-1500 centraliza la supervisión, los comandos de arranque y la comunicación con el sistema SCADA Weintek.

### Requerimientos eléctricos

El sistema deberá contar con una infraestructura eléctrica dimensionada según las potencias de los motores y variadores involucrados.

Los principales requerimientos son:

- **Alimentación de potencia:** 380 VCA trifásica para los motores de ventiladores y bombas de agua.
- **Alimentación de control:** 24 VCC para PLC, sensores, módulos analógicos y comunicación Profinet.
- **Protecciones eléctricas:** disyuntores magneto térmicos, interruptores termo magnéticos, fusibles, relés térmicos y relé bornes.
- **Sistema de puesta a tierra** para protección del personal y equipos.
- **Paro de emergencia cableado** que interrumpe toda la alimentación de potencia ante fallas críticas.

El cableado deberá cumplir las normas IEC 60204 e IRAM 2181 para tableros de automatización industrial.

### **IEC 60204:**

Estándar internacional que establece los requisitos de seguridad para el equipo eléctrico de las máquinas industriales. Su objetivo principal es proteger a las personas de los riesgos eléctricos, garantizar la respuesta consistente de los controles y facilitar el funcionamiento y mantenimiento seguros.

## **IRAM 2181:**

Serie de normas argentinas que establece los requisitos para los conjuntos de equipos de maniobra y comando de baja tensión, comúnmente conocidos como tableros eléctricos.

## Requerimientos de automatización

Antes de empezar a desarrollar más precisamente el sistema, debemos tener en claro conceptos iniciales, a continuación describiremos partes concisas de lo que va a llevarse a cabo en el proceso y porque elegimos los materiales. Estos son:

### **Sistema de control:**

Conjunto de elementos que pueden ser utilizados para mantener el estado de uno o de otro sistema, en orden a alcanzar un determinado objetivo.

### **PLC:**

Es un controlador lógico programable que automatiza y controla procesos industriales recibiendo información de sensores, procesándola según un programa y enviando comandos a actuadores como motores o válvulas.

### **Variadores de frecuencia:**

Es un sistema para controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) a través del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

### **Protocolos de Comunicación:**

Conjunto de reglas y nomenclaturas que permiten la comunicación entre dos o más entidades de un sistema de comunicación por medio de cualquier tipo de variación de magnitud física. Son las reglas, o el estándar, las que describen la sintaxis, la semántica y la sincronización de la comunicación. Se puede utilizar hardware, programa o una combinación de ambos para implementar protocolos.

### **SCADA:**

Es un sistema de control y adquisidor de datos industrial que combina software y hardware para monitorizar y controlar procesos en tiempo real, recopilando datos de sensores y actuadores, mostrándole a los operadores a través de una interfaz gráfica.

En nuestro sistema, cada PLC local S7-1200 deberá disponer de las siguientes entradas y salidas:

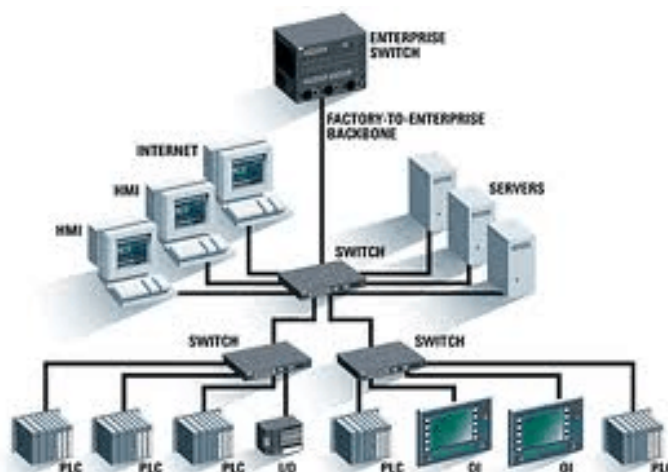
*Tabla 1: Requerimientos de la automatización*

<i>Tipo de señal</i>	<i>Descripción</i>	<i>Cantidad por equipo</i>
<i>Entradas digitales</i>	puertos de entrada que reciben señales binarias, es decir, solo dos estados: encendido (1) o apagado (0)	6
<i>Salidas digitales</i>	circuitos que encienden o apagan dispositivos de campo (como motores, luces o solenoides) mediante señales binarias (0) o (1)	6
<i>Entradas análogas</i>	permiten recibir y procesar señales continuas de sensores (como los de temperatura, presión o nivel)	1
<i>Salidas análogas</i>	permiten controlar dispositivos con señales variables continuas	4

El PLC maestro S7-1500 recibirá la información de los tres S7-1200 y ejecutará la lógica de arranque coordinada, gestionando las condiciones globales de presión y prioridad de operación entre condensadores.

### Requerimientos de comunicación

La comunicación entre los distintos componentes se establece a través de una red Profinet/Ethernet industrial, con topología en estrella, garantizando baja latencia y alta fiabilidad.



*Ilustración 3: Ejemplo topología estrella*

### Descripción topología estrella:

Toda la información es canalizada a través de un nodo central (PLC S7-1500). Cada dispositivo es servido por su propia conexión. El intercambio de datos entre periféricos inicialmente centralizados o desde la periferia, es siempre manejado vía el nodo central.

Esta topología tiene la ventaja de que si una de las líneas está sujeta a interferencias, solo el dispositivo conectado a ella es afectado. Por otro lado, el dispositivo en el nodo central debe actuar en forma extremadamente confiable. Si fallase o se sobrecarga debido a las excesivas transacciones de transferencias de datos, todo el sistema se viene abajo.

Estructura de la comunicación:

- **Entre PLC S7-1200 y variadores de frecuencia:**

Comunicación analógica cableada (0–10 V) para control de velocidad proporcional.

- **Entre PLC S7-1200 (locales) y PLC maestro S7-1500:**

Comunicación digital Profinet, intercambio cíclico de datos (presión, velocidad, estados de motor, alarmas).

- **Entre PLC S7-1500 y SCADA Weintek:**

Comunicación Ethernet TCP/IP, lectura y escritura de variables en tiempo real, gestión de alarmas, históricos y registro de mantenimiento.

El SCADA permitirá:

- Visualizar las variables principales (presión, velocidad, estado de motores y bombas).
- Configurar setpoints de presión y parámetros PID.
- Registrar datos históricos para análisis de tendencia y mantenimiento predictivo.
- Generar reportes y alarmas visuales o auditivas.

### Requerimientos de hardware

El sistema automatizado propuesto se basa en una arquitectura distribuida de control Siemens, conformada por un PLC maestro S7-1500 encargado de la coordinación global y cuatro PLC locales S7-1200, que gobiernan de forma independiente cada condensador de amoníaco.

Esta configuración permite una comunicación eficiente, una estructura modular escalable y una operación autónoma por unidad.

A continuación, se detalla el hardware seleccionado para el desarrollo del proyecto:

- **Controlador maestro**
- **Modelo:** *Siemens S7-1500, CPU 1511-1 PN*
- **Código:** *6ES7511-1AL03-0AB0*
- **Funciones principales:**
  - Coordinación del sistema completo de condensadores.
  - Comunicación Profinet con los cuatro PLC S7-1200.
  - Comunicación Ethernet TCP/IP con el sistema SCADA Weintek.
  - Lógica central de arranque, parada, priorización y control global de presión.



*Ilustración 4: PLC S7-1500*

- **Controlador local**
- **Modelo:** *Siemens S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC*
- **Código:** *6ES7 214-1AG40-0XB0*
- **Cantidad:** 4 unidades (una por condensador).
- **Funciones principales:**
  - Control directo de motores ventiladores y bomba de agua.
  - Lectura de sensores de presión (AI).
  - Ejecución del control PID de velocidad.
  - Envío de datos al PLC maestro mediante Profinet.



*Ilustración 5: PLC S7-1200*

- Módulos de expansión
- **Modelo:** Entradas analógicas (AI), Siemens SM1231.
- **Código:** 6ES7231-4HD32-0XB0
- **Cantidad:** 4 unidades (una por condensador).
- **Funciones principales:**
  - Señales de entrada: 4–20 mA provenientes de sensores de presión.



*Ilustración 6: Modulo de expansión AI*

- **Modelo:** Salidas analógicas (AQ), Siemens SM1232.
- **Código:** 6ES7232-4HB32-0XB0

- **Cantidad:** 4 unidades (una por condensador).
- **Funciones principales:**
  - Señales de salida: 0–10 V para control proporcional de los variadores de frecuencia.



*Ilustración 7: Modulo de expansión AQ*

- **Fuente de alimentación**
- **Modelo:** Siemens **PSU 6200 24VDC / 5A**
- **Función:**
  - Alimentación de los PLC, módulos de expansión, sensores y red de comunicación.
  - Permite mantener estabilidad en la tensión de control con protección ante sobrecorrientes.
  - Fuente montada en riel DIN, con diagnóstico visual y borne de conexión rápida.



*Ilustración 8: Fuente de alimentación*

- **Red de comunicación industrial**
- **Switch industrial: Siemens SCALANCE XB008**
  - 8 puertos RJ-45 Ethernet 10/100 Mbps.
  - Permite la interconexión Profinet entre el PLC maestro S7-1500 y los cuatro S7-1200.
  - Diseñado para entornos industriales con montaje en riel DIN, operación 24 VDC y carcasa metálica.
  - Soporta topología en estrella o cadena lineal, con segmentación de red.



*Ilustración 9: Switch industrial 8 canales*

- **Switch industrial: Siemens SCALANCE XB005**
  - 5 puertos RJ-45 Ethernet 10/100 Mbps.
  - Permite la interconexión Profinet entre el PLC maestro S7-1500 y el SCADA Weintek.

- Diseñado para entornos industriales con montaje en riel DIN, operación 24 VDC y carcasa metálica.
- Soporta topología en estrella o cadena lineal, con segmentación de red.



*Ilustración 10: Switch industrial 5 canales*

- **Topología de red:**
  - Estructura centralizada en el switch SCALANCE, con una conexión dedicada hacia cada PLC y el SCADA.
  - Comunicación determinística bajo protocolo **Profinet**, que garantiza sincronización y bajo retardo
- **Sistema SCADA**
- **Equipo:** Weintek cMT-FHDX-820
  - Comunicación Ethernet nativa con los PLC Siemens mediante protocolo Modbus TCP/IP o Siemens S7-TCP.
  - Permite visualizar el estado del sistema completo, alarmas activas, tendencias de presión y variables de control.
  - Soporta acceso remoto vía VNC o navegador web, para monitoreo desde terminales externas.
  - Función de registro de datos históricos en memoria interna o en servidor remoto.



*Ilustración 11: Dispositivo de supervisión y control*

- **Sensores y actuadores**
- **Sensor de presión: New-Flow PT3100**
  - Rango de medición: **-1 a 25 bares**.
  - Señal de salida: **4-20 mA**.
  - Alimentación: **24 VDC**.
  - Material del cuerpo: **acero inoxidable**.
  - Función: **medición continua de la presión de condensación del amoníaco**.
  - Cada PLC S7-1200 recibe la señal de un sensor individual para su control PID local.



*Ilustración 12: Sensor de presión*

- **Variadores de frecuencia:**

- Marca WEG (CFW500B10P0T4DB20H00)
- Control analógico por señal 0–10 V desde las salidas del PLC.
- Permiten ajustar la velocidad de los ventiladores según el valor de presión detectado.
- Incluyen funciones de protección térmica, diagnóstico y freno electrónico.
- Características: Corriente nominal: 10 A, Protección: IP20, Potencia nominal: 4 KW, Frecuencia: 50 Hz.



*Ilustración 13: Variador de frecuencia WEG*

- **Motores trifásicos de ventiladores:**

- Alimentación: 380 VCA.
- Controlados por variadores WEG.
- Participan en el intercambio de calor por convección forzada.
- Características: Potencia: 3 KW, Corriente: 7,76 A, Velocidad: 965 RPM, Frecuencia 50 Hz, Cos (Fi): 0,73.



*Ilustración 14: Motor WEG*

- **Bomba de agua por condensador:**
  - Encargada del sistema de aspersion.
  - Controlada por señal digital desde el PLC local.
  - Características: Potencia: 3 HP, Frecuencia: 50Hz, Corriente: 4,84 A, Velocidad: 1435 RPM.



*Ilustración 15: Bomba centrifuga*

#### Requerimientos humano

- **Responsable técnico general:**
  - Nicolás Coria (tesista y desarrollador principal).
  - Diseño, programación, integración y puesta en marcha del sistema.
  - Documentación técnica y capacitación del personal.
- **Personal operativo de planta:**
  - Compuesto por 8 operarios, quienes serán capacitados en la operación y supervisión del sistema automatizado.

- Su función será la de monitorear el proceso desde el SCADA, realizar intervenciones manuales cuando sea necesario y colaborar en las pruebas de validación.
- **Personal de mantenimiento:**
  - Compuesto por varios operarios, quienes serán capacitados en la operación y supervisión del sistema automatizado para realizar mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos en los sensores de presión, variadores de velocidad, motores y señales de encendido correspondientes.
  - Su función será la de controlar, reparar y analizar el proceso desde el SCADA o a pie de máquina y realizar intervenciones manuales cuando sea necesario para el correcto funcionamiento del proceso.

## Capítulo 3: Diseño y desarrollo del sistema

### 3.1 – Diseño específico de la arquitectura de control

El sistema de automatización desarrollado para los condensadores de amoníaco se basa en una arquitectura distribuida maestro–esclavo implementada con controladores Siemens S7-1200 y S7-1500, interconectados mediante red Profinet industrial.

La estructura de red se configura con dos switches industriales Siemens SCALANCE: un XB008, ubicado en campo, y un XB005, instalado en el tablero principal junto al PLC maestro y el SCADA Weintek cMT-FHDX-820.

El objetivo de esta arquitectura es asegurar una comunicación confiable, modular y escalable, que permita el funcionamiento autónomo de cada condensador, manteniendo la coordinación general a través del PLC maestro.

- Estructura general del sistema

Cada condensador cuenta con un controlador local Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC, ref. 6ES7 214-1AG40-0XB0) que gestiona el funcionamiento de los ventiladores, bombas de agua y sensor de presión correspondiente. Los S7-1200 regulan la velocidad de los ventiladores mediante un lazo de control PID, activan motores a través de salidas digitales, y protegen los equipos mediante la lectura de relés térmicos y selectores de modo.

El control central lo realiza un PLC Siemens S7-1500 (CPU 1511-1 PN, ref. 6ES7511-1AL03-0AB0), que se comunica con los cuatro PLC locales a través de Profinet y coordina el funcionamiento global de los condensadores, priorizando la presión general del sistema y los estados de los equipos.

La supervisión y visualización se efectúa mediante una pantalla SCADA Weintek cMT-FHDX-820, conectada al mismo switch que el S7-1500, desde donde se puede monitorear el sistema, modificar setpoints, gestionar alarmas y visualizar históricos.

- Modos de control

El sistema de automatización de los condensadores de amoníaco fue diseñado para operar bajo tres modos de funcionamiento: Manual, Semiautomático y Automático. Cada modo responde a necesidades operativas diferentes, garantizando flexibilidad, seguridad y continuidad de servicio ante cualquier condición del proceso o del sistema de control.

Estos modos pueden seleccionarse mediante selectoras locales ubicadas en el tablero o desde la interfaz SCADA Weintek, permitiendo al operario elegir el nivel de automatización adecuado para cada situación.

### Modo manual

El modo manual permite operar el sistema de manera totalmente independiente del PLC y del SCADA, con el fin de realizar mantenimiento, pruebas o acciones de emergencia sin intervención del control automático. Se selecciona mediante una selectora de dos posiciones (Automático - Manual) ubicada en el tablero principal.

Cuando la selectora se coloca en posición **“Manual”**:

- Se interrumpe la alimentación de 24 VDC al PLC y a los módulos de expansión, dejando fuera de servicio la lógica de control programada.
- Se habilita el control directo de los motores y la bomba mediante selectoras o pulsadores cableados directamente a los variadores o contactores, a través de un relé.
- El variador de frecuencia WEG recibe la referencia de velocidad desde un potenciómetro local (10 k $\Omega$ ) conectado a su entrada analógica, lo que permite ajustar manualmente la velocidad de los ventiladores.
- Las alarmas y protecciones eléctricas (relés térmicos o guarda motores) permanecen activas, actuando de forma independiente al PLC.

Este modo de operación asegura que, incluso ante la falla del sistema de control o durante tareas de mantenimiento, el operador pueda mantener el funcionamiento básico del condensador y asegurar el proceso de refrigeración.

### Modo Semiautomático

El modo semiautomático combina la intervención del operador con el control automatizado del proceso, y se utiliza principalmente para tareas de diagnóstico, mantenimiento preventivo o calibración de equipos sin detener completamente el sistema.

En este modo:

- El PLC y el SCADA se mantienen activos, y la comunicación entre los controladores S7-1200 y el S7-1500 se conserva por Profinet.
- El operador enciende o apaga manualmente los motores y la bomba desde el SCADA Weintek, seleccionando los dispositivos a habilitar individualmente.
- El control PID de presión permanece operativo, de modo que la velocidad de los ventiladores sigue siendo regulada automáticamente por el sistema según la presión medida.
- Este modo permite aislar un motor o bomba en mantenimiento, manteniendo el resto del sistema en funcionamiento normal.

La lógica semiautomática brinda una transición controlada entre el modo manual y el automático, evitando paradas totales innecesarias y permitiendo intervenciones seguras mientras se mantiene la presión del sistema dentro de los valores operativos.

### Modo Automático

El modo automático representa la condición de operación normal del sistema y utiliza plenamente la capacidad de control distribuido y supervisión SCADA. En este modo, el sistema funciona sin intervención del operador, ejecutando de forma continua el control de presión y la gestión integral de los condensadores.

Características principales:

- El PLC maestro S7-1500 supervisa los cuatro PLC S7-1200 locales mediante Profinet, analizando las presiones individuales y la presión general del sistema.
- Según la presión actual y el setpoint configurado, el maestro activa o desactiva automáticamente los condensadores.
- Los S7-1200 ejecutan localmente el control PID de velocidad de los ventiladores, ajustando la salida analógica (0–10 V) hacia los variadores WEG.
- El sistema genera alarmas y registros automáticos en el SCADA Weintek ante condiciones anormales (presión alta, fallo térmico, emergencia).
- El encendido y apagado general del condensador se realiza en función de las condiciones de proceso, sin necesidad de intervención humana.

En modo automático, el sistema busca mantener la presión de condensación dentro del rango óptimo (9,5 a 13 bares), optimizando el consumo energético y asegurando un funcionamiento confiable y continuo.

- **Beneficios del diseño**

El diseño de los tres modos de operación permite:

- Garantizar redundancia funcional ante fallas de PLC o red.
- Facilitar el mantenimiento predictivo y correctivo sin detener la planta.
- Incrementar la seguridad del personal operativo mediante aislamiento eléctrico del control.
- Aumentar la eficiencia del proceso por la regulación automática de velocidad y la reducción del consumo energético.

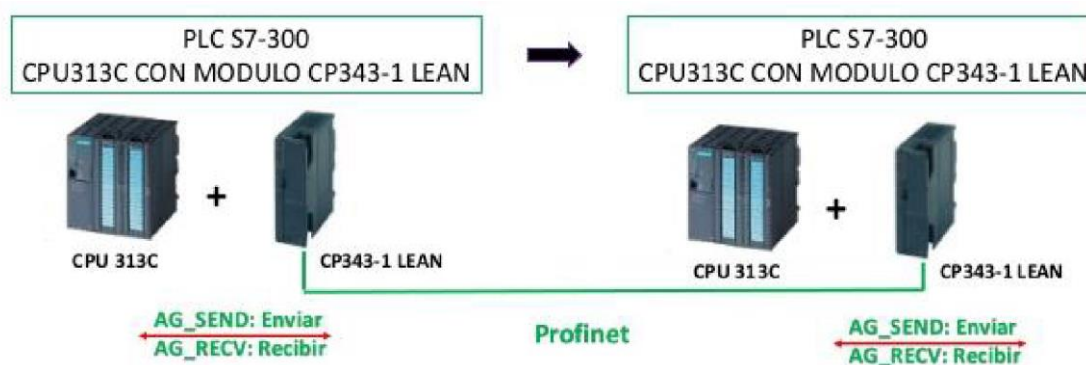
En conjunto, esta estructura de control jerarquizada combina la robustez del control manual tradicional con la inteligencia de un sistema automatizado moderno, alineado con los principios de la Industria 4.0.

## 3.2 – Topología de red

- Profinet

Profinet es un estándar para la automatización industrial que utiliza una red informática. TCP / IP y Ethernet se encuentran entre los protocolos utilizados. De Profinet modular marco permite a los usuarios a recoger sólo las funciones que son necesarias para determinadas tareas. Profinet tiene tres comunicaciones protocolos: RT (real tiempo) para PROFINET CBA y PROFINET IO aplicaciones con ciclos de tiempos de hasta a 10 ms, y el IRT (asíncrona en Tiempo real) para Profinet IO aplicaciones en sistemas con ciclos de tiempos de menos de 1 ms (Mandado Perez, Marcos Acevedo, Fernandez Silva, & Armesto Quiroga, 2009, pág. 706).

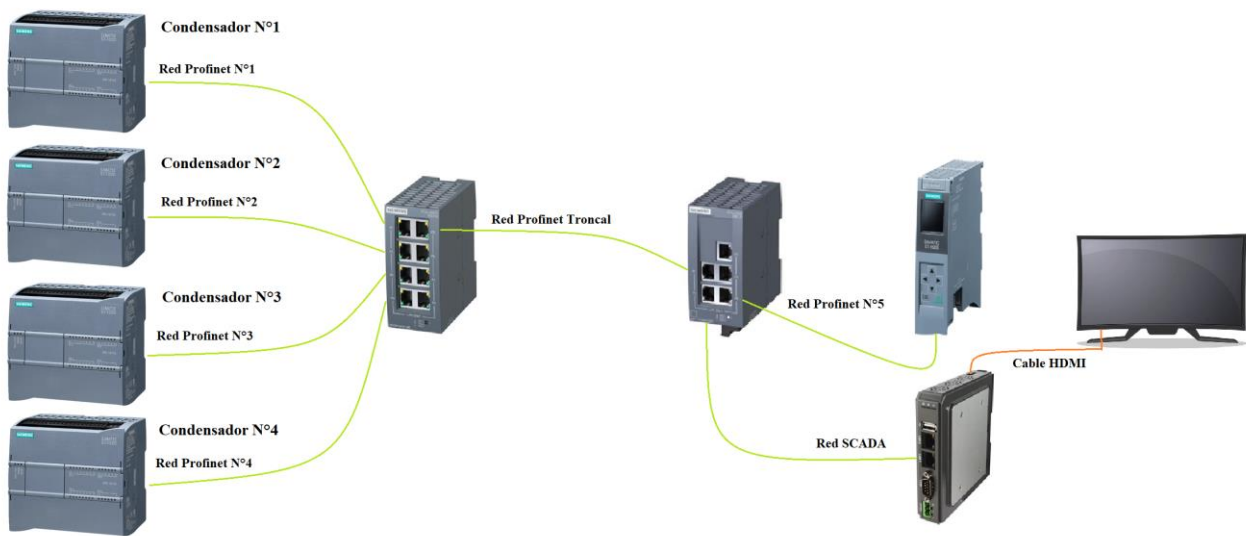
### Comunicación Profinet Módulos CP



- Esquema lógico de conexión

La red de comunicación adopta una configuración jerárquica en estrella doble, diseñada para optimizar el cableado y mejorar la accesibilidad al sistema:

- En el nivel de campo, los cuatro PLC S7-1200 se conectan al switch industrial SCALANCE XB008, ubicado próximo a los tableros de los condensadores.
- Desde el XB008, parte una troncal Ethernet hacia el switch central SCALANCE XB005, instalado en el tablero principal.
- En el XB005 se conectan el PLC maestro S7-1500 y la HMI SCADA Weintek, conformando el núcleo de supervisión y control.



*Ilustración 16: Esquema de conexión de red*

- **Configuración de red y direccionamiento**

La comunicación entre controladores se establece sobre una red Ethernet industrial CAT6 apantallada, asegurando inmunidad frente a interferencias electromagnéticas (EMI). El direccionamiento IP se organiza en una subred dedicada al control, con identificación clara de cada equipo:

*Tabla 2: Configuración y direccionamiento de red*

<b>Dispositivo</b>	<b>Referencia</b>	<b>Dirección IP</b>	<b>Device Name Profinet</b>
<b>PLC Maestro</b>	S7-1500 (6ES7511-1AL03-0AB0)	192.168.72.40	S7-1500_MASTER
<b>PLC Condensador N°1</b>	S7-1200 (6ES7 214-1AG40-0XB0)	192.168.72.36	S7-1200_C1
<b>PLC Condensador N°2</b>	S7-1200 (6ES7 214-1AG40-0XB0)	192.168.72.37	S7-1200_C2
<b>PLC Condensador N°3</b>	S7-1200 (6ES7 214-1AG40-0XB0)	192.168.72.38	S7-1200_C3
<b>PLC Condensador N°4</b>	S7-1200 (6ES7 214-1AG40-0XB0)	192.168.72.39	S7-1200_C4
<b>SCADA</b>	Weintek cMT-FHDX-820	192.168.72.41	SCADA_WEINTEK
<b>Switch campo</b>	SCALANCE XB008	Sin dirección IP	XB008_SWITCH
<b>Switch tablero</b>	SCALANCE XB005	Sin dirección IP	XB005_SWITCH

El S7-1500 actúa como controlador central (IO-Controller), mientras que los S7-1200 se configuran como dispositivos IO-Device, intercambiando datos de proceso a través de variables globales cíclicas (presión, estados, alarmas).

- **Flujo de datos y sincronización**

El intercambio de información entre los PLC locales y el maestro se realiza por Profinet cíclico, con tiempos de actualización de 100 a 200 ms.

El flujo de datos se organiza de la siguiente manera:

Datos enviados por cada S7-1200 al S7-1500:

- Presión actual (entrada analógica 4–20 mA del sensor PT3100).
- Estado de motores y bombas (ON/OFF, térmico, emergencia).
- Velocidad actual de los ventiladores (valor analógico 0–10 V).
- Estado de alarmas locales y modos de operación.
- Tiempo acumulado de funcionamiento de cada motor.

Datos enviados por el S7-1500 a los S7-1200:

- Setpoint de presión general (9,5 bar).
- Comandos de arranque/parada global.
- Reset de alarmas.
- Modo de funcionamiento (Manual, Semiautomático, Automático).

A su vez, el SCADA Weintek intercambia datos con el PLC maestro mediante Ethernet TCP/IP, permitiendo monitoreo, registro histórico, ajuste de setpoints y visualización de tendencias.

### **Conclusión de la arquitectura de comunicación**

La topología propuesta, basada en la conexión en estrella doble mediante **switches SCALANCE XB008 y XB005**, permite una comunicación robusta y confiable entre los controladores Siemens S7-1200, el PLC maestro S7-1500 y el sistema SCADA Weintek. Esta estructura modular asegura el funcionamiento coordinado de los condensadores de amoníaco, con control local autónomo y supervisión centralizada, logrando una operación segura, eficiente y escalable acorde a los estándares de automatización industrial moderna.

- **Recomendaciones de instalación y mantenimiento**

- Utilizar cable **CAT6A blindado (FTP/SFTP)** con conectores RJ45 industriales.
- Separar el cableado Ethernet del cableado de potencia para reducir interferencias.
- Mantener longitudes de enlace menores a 100 metros entre switches.
- Implementar etiquetado físico y registro de IPs y nombres de dispositivos.
- Configurar diagnósticos en Profinet para detectar desconexiones o fallas de red.
- Realizar pruebas de ping y comunicación cíclica desde TIA Portal antes de la puesta en marcha.

### 3.3 – Diseño eléctrico y de instrumentación

El diseño eléctrico e instrumental del sistema tiene como objetivo garantizar una interconexión segura, ordenada y funcional entre los controladores Siemens, los variadores, los sensores de presión y los actuadores del sistema de condensación de amoníaco.

En esta etapa se definen las conexiones de potencia, las señales de control, los módulos utilizados y la distribución jerárquica del sistema a nivel de campo.

- **Alimentación y distribución eléctrica**

El sistema de control y potencia de los condensadores de amoníaco trabaja bajo tres niveles de tensión principales: **380 VAC**, **220 VAC** y **24 VDC**, distribuidos de forma jerárquica y protegida en los distintos tableros del sistema.

#### Alimentación principal – 380 VAC (potencia)

El nivel de **380 VAC trifásico** constituye la **línea principal de alimentación** de los motores de ventiladores y bombas de agua.

Cada condensador dispone de un circuito de potencia independiente con las siguientes características:

- **Alimentación trifásica  $3 \times 380 \text{ VAC} / 50 \text{ Hz}$** , proveniente del tablero general de planta.
- **Protección por interruptor termo magnético tripolar**, calibrado según la potencia nominal del motor.
- **Variadores de frecuencia WEG**, alimentados desde una protección interruptora magnética tripolar, que modulan la velocidad de los ventiladores en función de la señal analógica de control 0–10 V. Posee también relés térmicos para protección individual de cada motor, con retorno de señal de falla hacia las entradas digitales del PLC

Cada variador incorpora protección interna contra sobre corriente, cortocircuito y sobretensión, además de filtrado EMC según IEC 61800-3 para compatibilidad electromagnética.

### Alimentación secundaria – 220 VAC (servicios y fuentes)

El nivel **220 VAC monofásico** alimenta los equipos auxiliares y las fuentes de corriente continua.

Desde la red trifásica principal se toma una fase y el neutro, desde este punto se distribuyen tres ramales principales, cada uno con su protección individual, conforme se detalla a continuación:

- **Térmica de fuente de 24VDC (Entrada):** Protege la entrada de la fuente Siemens PSU 6200 (24 VDC / 5 A).
- **Térmica para enchufe de conexión (10 A):** Línea destinada a un tomacorriente de servicio ubicado en el interior del tablero, para uso de mantenimiento o conexión temporal de instrumentos eléctricos.
- **Térmica de equipos auxiliares y señalización:** Protege la alimentación de los **equipos secundarios** del tablero:
  - Luces piloto y balizas de alerta (roja, amarilla, verde).
  - Relés auxiliares o módulos intermedios.
  - Pequeños ventiladores o extractores internos del gabinete.

### Alimentación de control – 24 VDC

El nivel de 24VDC constituye el sistema nervioso del control y la comunicación, ya que provee energía a todos los dispositivos de mando, sensor y comunicación de red. Este circuito se deriva desde la fuente Siemens PSU 6200 (24 VDC / 5 A) ubicada en el tablero principal, asegurando una alimentación estabilizada y protegida frente a variaciones de tensión.

El sistema de 24VDC se distribuye en dos niveles principales de alimentación:

- Tablero de control principal (dentro de sala de máquinas).
- Tableros locales de condensadores (en campo).

### **Tablero de control principal – Sala de Máquinas**

En este tablero se concentran los elementos de control maestro y comunicación central. Desde la fuente PSU 6200, la alimentación de 24VDC se distribuye hacia:

- PLC Siemens S7-1500 (CPU 1511-1 PN)
- Switch industrial SCALANCE XB 005 (5 canales)

### **Tableros locales – Condensadores**

Cada tablero local recibe la alimentación de la fuente PSU 6200, la alimentación de 24VDC se distribuye hacia:

- PLC Siemens S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC)
- Módulos SM 1231 (AI) y SM 1232 (AQ)
- Switch industrial SCALANCE XB 008 (8 canales)
- Selectoras y pulsadores locales
- Pilotos luminosos, balizas y alarmas
- Bobinas de relés de mando y enclavamiento

### **Protección, puesta a tierra y seguridad**

- Todos los gabinetes metálicos se conectan a un bus de tierra común (PE) con conductor de 4 mm<sup>2</sup> como mínimo.
- Se realiza la puesta a tierra del blindaje de cables Ethernet e instrumentación en un solo extremo.
- Los conductores de 380 VAC se identifican con colores según IEC 60446 (L1 marrón, L2 negro, L3 rojo, neutro azul, tierra verde/amarillo).
- Se incorporan bornes de prueba para medición de tensión, corriente y continuidad.
- La instalación cumple con las normas IEC 60204-1, IEC 61439 (ensamble de tableros de baja tensión) y EN 50178 (equipos electrónicos de potencia).

### **Conductores y cableado del sistema**

La correcta selección de conductores es esencial para garantizar la seguridad eléctrica, la continuidad operativa y la integridad de las señales de control.

En este proyecto se definen los tipos, secciones y características de cables a emplear, considerando las tensiones de servicio (380 VAC, 220 VAC y 24 VDC), las corrientes nominales, la distancia de tendido y la necesidad de aislar eléctricamente los circuitos de potencia y control.

A continuación se resumen los conductores seleccionados para cada aplicación del sistema:

*Tabla 3: Cableado eléctrico*

APLICACIÓN	TIPO DE CABLE	SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	CANTIDAD DE CONDUCTORES	TENSIÓN DE SERVICIO	OBSERVACIONES
<b>Alimentación general</b>	Subterráneo Sintenax normalizado	10 mm <sup>2</sup>	4 (3 fases + neutro)	380 VAC	Alimentación principal desde tablero general.
<b>Puesta a tierra</b>	Cable unipolar verde/amarillo	10 mm <sup>2</sup>	1	Nada	Conexión a barra de tierra y masas metálicas.
<b>Potencia en tablero</b>	Cable Unipolar PVC Rojo	4 mm <sup>2</sup>	1	220 VAC	Enlace entre protecciones, contactores y bornes. Desde contactores/variadores hasta motores; incluye conductor de protección.
<b>Motores de ventiladores y bomba</b>	Subterráneo Sintenax normalizado	4 mm <sup>2</sup>	4 (3 fases + tierra)	380 VAC	
<b>Comandos de 220 VAC</b>	Cable Unipolar PVC Rojo y Celeste	2,5 mm <sup>2</sup>	1	220 VAC	Circuitos de relés, balizas y servicios auxiliares.
<b>Circuitos de control (24 VDC)</b>	Cable Unipolar PVC Gris	0,75 mm <sup>2</sup>	1	24 VDC	Entradas digitales, selectoras y pulsadores.
<b>Sensor de presión</b>	Cable instrumentación mallado y apantallado	1 mm <sup>2</sup>	3	24 VDC alimentación / señal 4–20 mA	Conexión al sensor New-Flow PT3100, con malla de cobre conectada a tierra en un solo extremo. Señal analógica desde módulo SM1232 (AQ) al variador WEG. El apantallamiento se conecta a tierra en el extremo del PLC.
<b>Señal analógica 0–10 V hacia variadores</b>	Cable instrumentación mallado y apantallado	1 mm <sup>2</sup>	3	0 – 10 V	
<b>Red de comunicación Profinet</b>	Cable apantallado tipo CAT 6 industrial (green line)	Nada	4 pares trenzados	Nada	Comunicación entre PLC S7-1200, PLC S7-1500, switches SCALANCE y SCADA.

**Criterios de diseño:**

- **Caída de tensión y capacidad de corriente:**

Todos los conductores fueron seleccionados para garantizar una caída de tensión inferior al 3 % en potencia y al 1 % en control y señales, siguiendo las normas IEC 60364, IRAM NM 247, y las recomendaciones de Siemens para automatización industrial.

- **Apantallamiento y malla de señal:**

Los cables mallados y apantallados (sensor de presión y señales 0–10 V) reducen interferencias electromagnéticas generadas por motores, variadores y líneas de potencia.

La malla se conecta a tierra únicamente en el extremo del tablero para evitar lazos de corriente y ruido inducido.

- **Identificación de conductores:**

Fases: **marrón, negro, gris**

Neutro: **azul claro**

Tierra: **verde/amarillo**

Control 24 VDC: **rojo (+) y azul (-)**

Señales digitales y analógicas: **gris/blanco**, con funda metálica o trenzado y cable unipolar.

Comunicación Profinet: **verde** (apantallado, categoría 6).

- **Terminaciones y protección:**

Punteras engarzadas tipo DIN 46228.

Terminales tipo ojal o pala según conexión.

Protección con tubo termocontraíble y etiquetado de identificación numérico según plano eléctrico.

- **Instalación:**

Canalización en bandejas metálicas o caños galvanizados IP65, con separadores para control y potencia.

Conectores RJ45 industriales.

En campo, los sensores y módulos analógicos se conectan mediante bornes intermedios tipo Zoloda, asegurando un mantenimiento rápido.

**Ejemplos de cables a utilizar:**



*Ilustración 17: Cable Sintenax 4x10mm*



*Ilustración 18: Cable tierra 1x10mm*



*Ilustración 19: Cable unipolar 1x4mm*



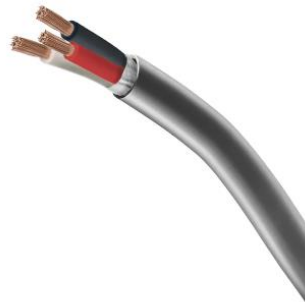
*Ilustración 20: Cable Sintenax 4x4mm*



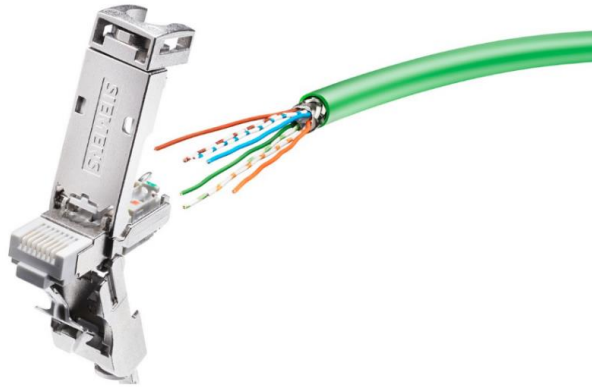
*Ilustración 21: Cables unipolares 1x2.5mm*



*Ilustración 22: Cable unipolar 1x0.75mm*



*Ilustración 23: Cable apantallado y mallado 3x1mm*



*Ilustración 24: Cable Profinet*

### 3.4 – Diseño de control y programación

#### Selección del PLC y entorno de programación

La selección del controlador lógico programable (PLC) constituye uno de los aspectos más críticos en el diseño de un sistema de automatización industrial. De este dispositivo depende no solo la ejecución confiable del control, sino también la facilidad de programación, el mantenimiento y la escalabilidad futura del sistema.

#### **Alternativas de mercado:**

Existen diversas marcas y familias de PLC reconocidas en el ámbito industrial, cada una con características específicas de hardware, comunicación y entorno de desarrollo. A continuación, se destacan algunas de las más utilizadas:

Tabla 4: Marca de PLC en el mercado

<b>Marca</b>	<b>Familia / Serie</b>	<b>Características principales</b>
<b>Siemens</b>	S7-1200 / S7-1500	Estándar industrial global, compatibilidad total con TIA Portal, soporte Profinet, Modbus TCP y Web Server.
<b>Allen-Bradley (Rockwell)</b>	MicroLogix/ CompactLogix/ ControlLogix	Muy robustos, alto desempeño, entorno Studio 5000, comunicación EtherNet/IP.
<b>Schneider Electric</b>	M221 / M241 / M340	Integración con SoMachine / EcoStruxure, comunicación Modbus y CANopen.
<b>Fatek</b>	B1 / FBs / B1z	Buena relación costo-beneficio, programación mediante WinProLadder, comunicación Modbus RTU/TCP.
<b>Omron</b>	CP1 / NX / NJ	Excelente precisión en control PID, entorno Sysmac Studio.
<b>Delta</b>	DVP / AS Series	Costo reducido, integración simple con pantallas HMI Delta, soporte Modbus.

La elección de la marca Siemens se fundamenta en su robustez industrial, amplia documentación técnica, soporte local y escalabilidad, además de su compatibilidad con entornos de simulación, SCADA y redes industriales avanzadas como Profinet e Industrial Ethernet.

#### **Familia Siemens S7 y su aplicación en el sistema:**

Dentro de la línea de Siemens, la familia SIMATIC S7 ofrece diferentes niveles de capacidad según el tamaño y complejidad del sistema:

Tabla 5: Familia S7

Familia	Uso recomendado	Características principales
<b>S7-200 Smart</b>	Automatismos simples y OEM	Bajo costo, comunicación Modbus, sin integración total con TIA Portal.
<b>S7-1200</b>	Control distribuido y máquinas medianas	CPU compacta, módulos de expansión analógicos/digitales, PID integrado, Profinet nativo.
<b>S7-1500</b>	Control centralizado de planta	Alta capacidad de procesamiento, comunicación avanzada, diagnóstico integrado, seguridad y redundancia.

En este proyecto se utiliza un PLC maestro Siemens S7-1500 (CPU 1511-1AL03-0AB0) y cuatro PLC esclavos S7-1200 (CPU 1214C DC/DC/DC).

Esta arquitectura permite implementar un sistema distribuido, donde los controladores locales manejan las variables de presión y velocidad, mientras que el maestro coordina la lógica global, alarmas y comunicación con el SCADA Weintek.

#### Software de programación:

El entorno de desarrollo utilizado es el Siemens TIA Portal V19 (Totally Integrated Automation Portal), una plataforma unificada que permite programar PLC, configurar módulos, diseñar redes industriales y simular procesos de control.

Ventajas del TIA Portal:

- Integración completa entre hardware, software y comunicaciones.
- Biblioteca de funciones estándar y personalizadas (bloques FB/FC).
- Herramientas de diagnóstico en línea y simulación virtual (PLC Sim).
- Configuración directa de comunicación Profinet, Modbus TCP/IP y Web Server.

Para la interfaz de usuario se emplea EasyBuilder Pro, entorno de programación de Weintek HMI, que permite desarrollar un SCADA embebido con visualización en tiempo real, tendencias, alarmas, menús jerárquicos y comandos remotos.

El SCADA Weintek cMT-FHDX-820 se comunica directamente con el PLC S7-1500 a través del protocolo Siemens TCP/IP (S7-ISO-on-TCP), y recibe variables de los S7-1200 mediante el maestro.

Funciones del EasyBuilder Pro:

- Diseño de pantallas dinámicas (sin necesidad de PC industrial).
- Configuración de gráficos, botones, alarmas y scripts lógicos.
- Registro de datos históricos y eventos.

- Exportación de tendencias y alarmas a base de datos CSV.
- Compatibilidad con visualización remota por navegador o app móvil.

### **Justificación técnica de selección:**

La combinación Siemens + Weintek representa una solución técnica equilibrada entre robustez industrial, simplicidad de mantenimiento y compatibilidad con múltiples protocolos.

- El S7-1500 ofrece un control centralizado de alto desempeño.
- Los S7-1200 brindan control local PID confiable y comunicación Profinet.
- El SCADA Weintek provee una visualización moderna, simple y accesible sin requerir licencias costosas.
- El TIA Portal V19 y EasyBuilder Pro garantizan una programación integrada y documentación completa del proyecto.

Esta elección asegura un sistema escalable, estable y didáctico, ideal tanto para aplicación industrial como para desarrollo académico, integrando las disciplinas de automatización, instrumentación y control de procesos.

### **Interacción entre PLC maestro, PLC locales y SCADA**

El PLC S7-1500 centraliza la supervisión del sistema.

Su función es coordinar los comandos globales, consolidar datos de presión y enviar información al SCADA Weintek cMT-FHDX820 mediante comunicación Modbus TCP o Profinet.

Flujo de información:

- Los S7-1200 envían al maestro:
  - Presión medida.
  - Velocidad actual (%).
  - Estado de motores y alarmas locales.
- El S7-1500 procesa la información y:
  - Determina el encendido o apagado de los condensadores según condiciones globales.
  - Envía al SCADA los valores de presión, estado general, alarmas y tendencias.

- El SCADA Weintek permite:
  - Visualizar las variables en tiempo real.
  - Ajustar setpoints del PID (presión deseada).
  - Activar modos de operación (Manual / Semiautomático / Automático).
  - Visualizar alarmas activas, eventos e históricos.

### Estructura de programación

El sistema de control ha sido desarrollado en el entorno Siemens TIA Portal V19, empleando una arquitectura modular basada en bloques de función (FB). Esta metodología permite dividir la lógica del proceso en unidades funcionales independientes, facilitando el mantenimiento, la reutilización de código y la depuración durante la puesta en marcha.

Cada bloque de función (FB) se asocia con un bloque de datos (DB) correspondiente, encargado de almacenar las variables internas del proceso (entradas, salidas, estados e históricos).

La programación combina los lenguajes LAD (Ladder Diagram) y SCL (Structured Control Language) según el tipo de lógica a implementar.

### Estructura general:

- **OB30 (PID) en Ladder.**

Ejecuta el algoritmo de control PID que regula la velocidad de los ventiladores según la presión medida. El bloque recibe la señal escalada de presión (en bar) y genera una salida analógica proporcional (0–10 V) hacia el variador de frecuencia WEG.

1. **OB1 (Main) en Ladder.**

Es el bloque principal del programa.

En él se realiza la llamada secuencial a los distintos bloques de función (FB), la inicialización de variables y el tratamiento escalar del sensor de presión (conversión de señal analógica 4–20 mA a valor físico en bar).

Además, se gestionan las condiciones globales de habilitación, modo de operación (Semiautomático y Automático) y prioridades del sistema.

### Bloques de función (FB) desarrollados:

- **FB1 (Entradas digitales) en texto estructurado.**

Define y agrupa todas las señales físicas que ingresan al PLC, tales como selectoras de modo, pulsadores de arranque/parada, relés térmicos y estados de emergencia. También incluye marcas internas provenientes del SCADA para habilitación de procesos.FB2 (Alarmas Comandos) en Ladder.

- **FB2 (Alarmas) en Ladder.**

Gestiona las alarmas de seguridad y los comandos de parada asociados. En caso de detectar una falla crítica (presión alta, fallo térmico o emergencia), el bloque ejecuta la detención inmediata del condensador o del motor afectado. También genera las banderas de aviso que son transmitidas al SCADA.

- **FB3 (Mantenimiento) en Ladder.**

Implementa la función de hodómetro para registrar las horas de funcionamiento de cada motor. Estos contadores se utilizan para planificar tareas de mantenimiento preventivo, con alarmas configurables que avisan al SCADA al alcanzar los umbrales definidos.

- **FB4 (Sensor de presión) en Ladder.**

Genera pulsos de 10 ms cada 10 segundos. Estos pulsos envían el dato de presión escalado a una variable de último estado del sensor, esto hace que cuando haya un error en el sensor de presión este último estado quede guardado y los ventiladores giren a la velocidad de este último valor.

- **FB5 (Salidas digitales) en texto estructurado.**

Define y controla todas las salidas del sistema, tales como contactores de motores, bomba de agua, señalizaciones luminosas y relés de alarma. El bloque valida previamente las condiciones de seguridad antes de ejecutar cada salida.

- **FB6 (Funcionamiento MAIN) en Ladder.**

Integra la lógica global del sistema. Gestiona las secuencias de arranque y parada, el control de modos (manual, semiautomático, automático), y la sincronización entre el PLC local y el maestro S7-1500. También centraliza los estados generales para comunicación con el SCADA Weintek.

#### **Elementos adicionales:**

- **DBs de proceso:**

Cada FB dispone de su **bloque de datos asociado**, donde se almacenan variables de estado, contadores, límites de presión y registros de mantenimiento. Estos DBs se inicializan al arranque y permanecen retenidos durante cortes de energía (retentivos).

- **Marcas y variables internas (M):**

Se utilizan **marcas del sistema (M bits y M words)** para generar enclavamientos, indicadores de estado y transiciones de modo, mejorando la claridad del programa y reduciendo el entrelazado entre bloques.

- **Comentarios y documentación interna:**

Cada bloque de función incluye descripciones detalladas, etiquetas simbólicas y comentarios de proceso, lo que facilita la comprensión del código por terceros y su futura modificación.

**Ventajas de la estructura:**

- Mayor legibilidad y mantenimiento del código.
- Separación clara entre entradas, lógica, alarmas, control PID y salidas.
- Fácil actualización o ampliación del sistema con nuevos módulos o dispositivos.
- Integración directa con el SCADA Weintek, al exponer las variables estructuradas de cada bloque.
- Posibilidad de simulación completa en TIA Portal mediante el uso de PLC SIM antes de la implementación física.

**Esquema lógico:**

OB30 (PID)

OB1 (MAIN)

├── FB1: Entradas Digitales (SCL)

├── FB2: Alarmas y Comandos (LAD)

├── FB3: Mantenimiento (LAD)

├── FB4: Control sensor de presión (LAD)

├── FB5: Salidas Digitales (SCL)

└── FB6: Funcionamiento Principal (LAD)

Cada bloque se comunica mediante DBs dedicados y marcas compartidas, conformando una estructura ordenada, escalable y fácil de depurar.

**Secuencia de arranque y parada**

El arranque del sistema se realiza en tres etapas coordinadas entre los PLC locales (S7-1200) y el PLC maestro (S7-1500):

**1. Verificación inicial (pre-start):**

- Se chequean condiciones de seguridad (presión normal, sin emergencia, sin fallas térmicas).
- El SCADA indica “Condiciones normales, listo para iniciar”.

**2. Arranque controlado:**

- El PLC maestro envía el comando “Start” a los esclavos S7-1200.
- Los ventiladores arrancan de manera escalonada (con retardo de 5 s entre motores).
- Los variadores incrementa gradualmente la velocidad (rampa de 10 s).
- La bomba de agua se activa en último lugar para estabilizar el proceso.

**3. Operación normal:**

- Se regula la velocidad mediante el lazo PID.
- Los PLC reportan al maestro las variables de presión, velocidad y estado.
- El SCADA registra las tendencias y genera alarmas según eventos.

**4. Parada:**

- El PLC maestro ordena la detención progresiva.
- Los motores reducen la velocidad gradualmente hasta detenerse.
- El sistema queda en standby con comunicación activa.

**Control PID de presión**

Cada PLC S7-1200 implementa un control PID (Proporcional–Integral–Derivativo) sobre la presión medida por el sensor New-Flow PT3100, que entrega una señal de 4–20 mA al módulo analógico SM1231.

La salida del PID es una señal analógica de 0–10 V emitida por el módulo SM1232, que controla el variador WEG de cada ventilador.

El algoritmo PID ajusta la velocidad de los motores para mantener la presión en torno al setpoint de 9,5 bares.

El ajuste automático reduce el consumo eléctrico y evita encendidos frecuentes, prolongando la vida útil del equipo.

**Características principales del PID:**

- **Variable controlada:** presión de descarga (bar)
- **Variable manipulada:** velocidad del motor (% señal analógica 0–10 V)
- **Variable de proceso:** salida del sensor (4–20 mA)
- **Setpoint nominal:** 9,5 bar
- **Rango operativo:** 9,0 – 11 bar
- **Modo de control:** automático o semiautomático (desde SCADA)
- **Modo de sintonía:** manual, con parámetros configurables  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  desde la HMI

**Lógica de seguridad integrada al PID:**

- Si la presión < 9 bar, el sistema reduce velocidad a mínimo o standby.
- Si la presión > 13 bar, activa alarma de alta presión y detiene los ventiladores.
- Si el sensor falla → el sistema entra en modo manual con velocidad fija preestablecida.

**Manejo de alarmas y seguridad**

El sistema de control incorpora una gestión integral de alarmas, diseñada para proteger los equipos, garantizar la seguridad del personal operativo y mantener la integridad del proceso en caso de fallas o condiciones anormales.

Todas las alarmas son detectadas en los PLC locales (S7-1200) y enviadas al PLC maestro (S7-1500) mediante la red Profinet, desde donde se visualizan y registran en el SCADA Weintek.

Las alarmas se clasifican en dos niveles de criticidad:

- Alarmas críticas: provocan la parada total del condensador.
- Alarmas no críticas: detienen únicamente el motor o equipo afectado, manteniendo el resto del sistema en funcionamiento.

Tabla 6: Listado de alarmas

N°	Descripción	Tipo de alarma	Acción del sistema
<b>FN1</b>	Parada de emergencia	<b>Critica</b>	Desactiva completamente el sistema.
<b>FN2</b>	Relé térmico Motor 1 (RT1)	<b>No critica</b>	Desactiva solamente el Motor 1. El resto del sistema continúa funcionando.
<b>FN3</b>	Relé térmico Motor 2 (RT2)	<b>No critica</b>	Desactiva solamente el Motor 2. El resto del sistema continúa funcionando.
<b>FN4</b>	Relé térmico Motor 3 (RT3)	<b>No critica</b>	Desactiva solamente el Motor 3. El resto del sistema continúa funcionando.
<b>FN5</b>	Relé térmico Motor 4 (RT4)	<b>No critica</b>	Desactiva solamente el Motor 4. El resto del sistema continúa funcionando.
<b>FN6</b>	Falla del sensor de presión (PT3100)	<b>No critica</b>	Queda guardado el último valor de presión y los ventiladores giran a la misma velocidad.
<b>FN7</b>	Setpoint de presión no declarado	<b>Critica</b>	El sistema no puede calcular la referencia del PID. Se desactiva la salida analógica y se detiene todo el condensador.
<b>FN8</b>	Relé térmico Bomba de agua (RTB)	<b>No critica</b>	Desactiva la bomba y genera advertencia visual. No detiene los ventiladores.
<b>FN9</b>	Corte general de energía (380 VAC / 220 VAC)	<b>Critica</b>	El sistema pasa a modo inactivo. Los PLC retienen los valores actuales de proceso.

### Lógica de actuación:

Las alarmas **FN1**, **FN6** y **FN7** son críticas, ya que representan condiciones de riesgo operativo o pérdida de control del proceso.

- Su activación genera parada inmediata del condensador completo y bloqueo de arranque hasta que el operador confirme la causa desde el SCADA.

Las alarmas **FN2**, **FN3**, **FN4**, **FN5** y **FN8** son no críticas, y están asociadas a fallas térmicas individuales o protecciones mecánicas.

- En estos casos, el sistema mantiene la operación de los motores restantes, ajustando el PID según la nueva disponibilidad. Esto permite continuidad parcial del servicio mientras se realiza el mantenimiento del motor afectado.

La alarma **FN9** (Corte de energía) se registra como evento histórico, con almacenamiento del último estado del proceso.

- Al restablecerse la alimentación, el sistema ejecuta una revisión automática de todas las condiciones antes de reactivar los motores.

### **Integración con el SCADA**

Cada alarma cuenta con una etiqueta simbólica en el SCADA Weintek, que incluye:

- Descripción completa del evento.
- Fecha y hora de activación.
- Estado de reconocimiento (pendiente o confirmado).

El operador puede reconocer las alarmas desde el SCADA, pero no puede reactivar el sistema hasta que la condición física haya sido corregida (por ejemplo, reset de relé térmico o restablecimiento del sensor).

Además, todas las alarmas quedan registradas en la base de datos histórica del SCADA, exportable en formato .CSV, lo que permite realizar análisis de fallas y mantenimiento preventivo.

### **Estrategia de validación y redundancia de sensores**

Dado que el sistema cuenta con cuatro condensadores que trabajan en paralelo, cada uno con su propio sensor de presión (New-Flow PT3100), resulta esencial garantizar la confiabilidad del dato de presión promedio utilizado por el control maestro.

Una falla o desconexión en cualquiera de los sensores podría provocar una lectura errónea que afecte el control PID y, en consecuencia, la estabilidad del proceso.

Con el objetivo de mantener la continuidad operativa y mejorar la tolerancia a fallas del sistema, se implementa una estrategia de validación y cálculo dinámico del valor medio de presión, basada en los siguientes principios:

#### **Validación individual**

Cada **PLC local S7-1200** recibe la señal analógica de su respectivo sensor de presión y ejecuta una verificación de validez antes de enviar el valor al PLC maestro S7-1500. Esta validación se realiza mediante condiciones límites de funcionamiento:

$$-1 \text{ bar} < P_i < 25 \text{ bar}$$

Solo si la lectura se encuentra dentro de ese rango, el sensor se considera **válido** (Valido = TRUE).

De esta forma, se evita transmitir valores erráticos producto de fallas de cableado, ruido o desconexión de entrada analógica.

Cada PLC local envía al maestro dos datos:

- La presión medida ( $P_i$ ).
- El estado de validez (Valido<sub>i</sub>).

### **Presión promedio adaptativa**

El PLC maestro S7-1500 recibe los cuatro valores de presión junto con sus banderas de validez.

A partir de ellos, calcula la presión media efectiva del sistema considerando únicamente los sensores operativos.

Matemáticamente, el cálculo se expresa como:

*Ecuación 1: Presión media*

$$P_{media} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * Valido\_i}{N\_activos}$$

Donde:

- $P_i$  = valor de presión medido por el sensor  $i$ ,
- Valido<sub>i</sub> = 1 si el sensor está operativo, 0 si presenta falla,
- $N\_activos$  = cantidad de sensores válidos en el momento.

Si uno o más sensores presentan error, el promedio se recalcula automáticamente con los restantes, evitando que una lectura defectuosa distorsione el control general del sistema.

### **Acción correctiva**

El sistema evalúa continuamente la cantidad de sensores activos:

- Si al menos un sensor está operativo ( $N\_activos \geq 1$ ), el sistema mantiene el control PID funcionando con el valor promedio actualizado.
- Si todos los sensores están fuera de servicio ( $N\_activos = 0$ ), el PLC maestro activa una alarma crítica de “Falla general de presión” y:
  - o desactiva el lazo PID,
  - o detiene los ventiladores y la bomba de agua,
  - o y muestra un mensaje de alerta en el SCADA Weintek.

De esta manera, el sistema se mantiene seguro y estable incluso ante la pérdida parcial o total de los sensores de presión.

### **Ventajas del método**

La implementación de esta estrategia proporciona múltiples beneficios:

- **Tolerancia a fallas:** el control continúa funcionando ante la pérdida de uno o más sensores.
- **Mayor estabilidad:** se evita que valores fuera de rango afecten el cálculo de presión promedio.
- **Diagnóstico rápido:** el SCADA identifica qué sensor está fallando y permite planificar su reemplazo sin detener toda la planta.
- **Fiabilidad del proceso:** el sistema siempre trabaja con información verificada, mejorando la eficiencia del control PID y la seguridad operativa.

### **Consideraciones para implementación**

La validación de cada sensor y el envío de la bandera Valido, se realiza en Ladder (LAD) dentro de los PLC locales S7-1200.

El cálculo del promedio dinámico se ejecuta en Structured Text (ST) dentro del PLC maestro S7-1500, ya que este lenguaje permite operaciones matemáticas condicionales de forma más compacta y legible.

Todos los valores son actualizados en tiempo real mediante comunicación Profinet, y el promedio calculado se registra en el SCADA para monitoreo y trazabilidad.

## Capítulo 4: Implementación del sistema

### 4.1 – Montaje e instalación de componentes

La etapa de implementación corresponde a la materialización del diseño eléctrico, electrónico y de control previamente desarrollado. En esta fase se ejecuta el montaje de los tableros de comando, la instalación de los equipos de campo y la interconexión mediante el cableado de potencia, control y comunicación.

El sistema se compone de un tablero principal de control ubicado en la sala técnica, donde se aloja el PLC Siemens S7-1500 (6ES7511-1AL03-0AB0), la fuente PSU6200 de 24 VDC / 5A, y el switch industrial SCALANCE XB005, encargado de interconectar la red Profinet con los tableros locales y el SCADA Weintek cMT-FHDX 820.

Desde la seccionadora de tensión principal se distribuye la alimentación y las señales de red hacia los **cuatro tableros locales**, cada uno asociado a un condensador de amoníaco. En estos tableros se instalan los controladores **Siemens S7-1200 (6ES7 214-1AG40-0XB0)** con sus respectivos módulos analógicos:

- **SM1231 (AI)** para adquisición de señales analógicas (sensores de presión New-Flow PT3100, rango -1 a 25 bares).
- **SM1232 (AQ)** para emisión de señales 0–10V hacia los variadores de frecuencia WEG.

Cada tablero local también incluye:

*Tabla 7: Lista de materiales*

<b>Cantidad</b>	<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
1	Térmica general	Siemens 3x63 A.
1	Repartidor de Fase	TBCin 11 conexiones hasta 125 A.
5	Térmica de motores	Siemens 3x10 A.
1	Térmica de fuente	Siemens 2x4 A.
1	Térmica para enchufe	Siemens 2x10 A.
1	Térmica para salidas relés	Siemens 2x6 A.
1	Fuente 24 VDC / 5 A	Siemens PSU6200.
1	Térmica 24 VDC común	Siemens 2x10 A.
1	Térmica PLC y Módulos	Siemens 2x4 A.
1	Térmica de Switch	Siemens 2x2 A.
10	Selectoras y potenciómetros	Schneider selectora (1 de 3 posiciones y 5 de 2 posiciones) y 4 potenciómetros de 10K ohm.
1	PLC	Siemens CPU 1214 DC/DC/DC. 6ES7 214-1AG40-0XB0.
1	Módulo AI	Siemens SM1231. 6ES7 231-5ND32.
1	Módulo AQ	Siemens SM1232. 6ES7 232-4HD32
2	Switch Ethernet industrial	Siemens SCALANCE XB de 8 canales y de 5 canales.
4	Variador de frecuencia	Weg CFW500. CFW500B10POT4
1	Guardamotor	Siemens 3RV2. 4,5 a 6,3 A + bloque 1NA + 1 NC.
1	Contactora	Siemens 3RT20. Bobina 220 de 9 A.
11	Relés borneras	Finder 39.11.0.024.0060
11	Fusibles y porta fusibles	De vidrio 2 A. Zoloda borne porta fusible BKNP-520.
100	Borneras	Zoloda BPN2,5, BPN04 y BPN06

### Planimetría eléctrica

Los planos eléctricos constituyen la base documental del proyecto y son esenciales para la instalación, puesta en marcha, mantenimiento y diagnóstico del sistema de automatización del condensador de amoníaco.

Su función principal es representar de forma ordenada y normalizada las conexiones eléctricas, dispositivos, protecciones y relaciones entre los diferentes componentes del sistema de control y potencia.

Los planos fueron elaborados siguiendo la norma IEC 61346 para codificación de dispositivos y la IEC 60617 para simbología eléctrica, garantizando la estandarización y la trazabilidad de los circuitos.

El software utilizado para el diseño fue AutoCAD cumpliendo con los requerimientos industriales

Los objetivos principales de esta documentación son:

- Proporcionar una guía clara y precisa para el montaje y conexionado de los tableros eléctricos.
- Facilitar el diagnóstico de fallas y la localización rápida de componentes.
- Garantizar la seguridad eléctrica mediante el uso de protecciones adecuadas y la correcta disposición de tierras, térmicas y fusibles.
- Establecer la interconexión entre los diferentes niveles de control, desde la potencia de motores hasta la comunicación Profinet y el SCADA.
- Servir como documento técnico oficial para auditorías, mantenimiento preventivo y ampliaciones futuras.

### **Estructura general**

Los planos eléctricos del sistema se encuentran organizados en dos grupos principales:

- Planos de potencia y control eléctrico (circuitos de fuerza, maniobra y señales).
- Planos de comunicación y red Profinet (interconexión lógica y distribución de datos).

A continuación se describe el contenido de cada grupo:

#### **a) Circuitos eléctricos de potencia y control (10 páginas)**

Estos planos representan la alimentación principal del sistema y los circuitos de mando y control de los distintos dispositivos.

##### **Circuito de potencia general:**

- Conexión de los motores trifásicos de los ventiladores y bomba de agua (380 VAC).
- Protecciones mediante térmicas, contactores, relés y fusibles de sobrecarga.
- Conductor de tierra y seccionamiento principal.

##### **Tablero de comando manual y selectores de modo:**

- Selector principal de control *Automático / 0 / Manual*.
- Circuito de habilitación de 24 VDC para PLC y módulos.
- Comando manual directo para prueba individual de motores.
- Alimentación de bobinas de relés y señalización luminosa.

##### **Entradas y salidas del PLC (E/S digitales y analógicas):**

- **Entradas digitales:** Paro de emergencia, RT motores y bomba de agua.
- **Salidas digitales:** comando de motores, bomba, alarma general.

- **Entradas analógicas:** sensor de presión.
- **Salidas analógicas:** señales 0–10V hacia variadores WEG.
- Circuito de activación de relés intermedios para aislamiento de salidas.

Cada una de estas páginas detalla el direccionamiento de las señales, la numeración de bornes, las referencias y dispositivos de campo.

A continuación se suministra el diagrama de entradas y salidas del PLC, el cual permite identificar todas las señales físicas asociadas a los módulos del PLC y sus respectivas direcciones lógicas en el software TIA Portal:

Tabla 8: Diagrama de I/O

LISTA DE I/O TABLERO PLC - CONDENSADORES DE AMONIACO							
AREA:	Servicios termodinamicos						
TABLERO:	RIO Condensadores						
FECHA:	31/10/2025						
GABINETE:	RIO Condensadores				RED:	1	
MÓDULO:	CPU				NODO:	CHASIS 0	00:00
CAT N°:	6ES7 214-1AG30-0XB0			1.0	SLOT:	1	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN DE SEÑAL	DIRECCIÓN PLC
	-	1	Dinput 0	-	-	-	%I 0.0
	-	2	Dinput 1	-	-	-	%I 0.1
	-	3	Dinput 2	-	-	-	%I 0.2
	-	4	Dinput 3	Para de emergencia	Contacto NC de boton para de emergencia	Habilitacion general	%I 0.3
	-	5	Dinput 4	Relevo termico Motor1	Contacto NA de variador de frecuencia N°1	Para forzador	%I 0.4
	-	6	Dinput 5	Relevo termico Motor2	Contacto NA de variador de frecuencia N°2	Para forzador	%I 0.5
	-	7	Dinput 6	-	-	-	%I 0.6
	-	8	Dinput 7	Relevo termico Motor3	Contacto NA de variador de frecuencia N°3	Para forzador	%I 0.7
	-	9	Dinput 8	Relevo termico Motor4	Contacto NA de variador de frecuencia N°4	Para forzador	%I 1.0
	-	10	Dinput 9	Relevo termico bomba de agua	Contacto NA de quardamotor para bomba de agua	Para bomba de agua	%I 1.1
	-	11	Dinput 10	-	-	-	%I 1.2
	-	12	Dinput 11	-	-	-	%I 1.3
	-	13	Dinput 12	-	-	-	%I 1.4
	-	14	Dinput 13	-	-	-	%I 1.5
	-	1	Doutput 0	Comando de motor N°1	Activacion de variador de frecuencia N°1	Comando de Rele #0	%Q 0.0
	-	2	Doutput 1	Comando de motor N°2	Activacion de variador de frecuencia N°2	Comando de Rele #1	%Q 0.1
	-	3	Doutput 2	Comando de motor N°3	Activacion de variador de frecuencia N°3	Comando de Rele #2	%Q 0.2
	-	4	Doutput 3	Comando de motor N°4	Activacion de variador de frecuencia N°4	Comando de Rele #3	%Q 0.3
	-	5	Doutput 4	Comando de bomba de agua	Activacion de contactor bomba de agua	Comando de Rele #4	%Q 0.4
	-	6	Doutput 5	Alarma	Activacion de piloto luminoso y campana de avisos	Comando de Rele #5	%Q 0.5
	-	7	Doutput 6	-	-	-	%Q 0.6
	-	8	Doutput 7	-	-	-	%Q 0.7
	-	9	Doutput 8	-	-	-	%Q 1.0
	-	10	Doutput 9	-	-	-	%Q 1.1
GABINETE:	RIO Condensadores				RED:	1	
MÓDULO:	AI				NODO:	CHASIS 0	00:01
CAT N°:	6ES7 231-5ND32			1.1	SLOT:	2	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN DE SEÑAL	DIRECCIÓN PLC
		0+	Ainput 0	Sensor de presion (+)	Entrada analogica	Señal para escalizae ion	%IW 96
		0-	Ainput 0	Sensor de presion (-)	Entrada analogica	Señal para escalizae ion	%IW 96
		1+	Ainput 1	-	-	-	%IW 98
		1-	Ainput 1	-	-	-	%IW 98
		2+	Ainput 2	-	-	-	%IW 100
		2-	Ainput 2	-	-	-	%IW 100
		3+	Ainput 3	-	-	-	%IW 102
		3-	Ainput 3	-	-	-	%IW 102
GABINETE:	RIO Condensadores				RED:	1	
MÓDULO:	AQ				NODO:	CHASIS 0	00:01
CAT N°:	6ES7 232-4HD32			1.2	SLOT:	3	
BLOQUE PLC	BORNE TB	BORNE EN TARJETA	CANAL	TAG SEÑAL	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN DE SEÑAL	DIRECCIÓN PLC
		0w	Aoutput 0	Salida analogica 0-10V (+) N°1	Salida analogica	Velocidad de motor 1	%QW 112
		0	Aoutput 0	Salida analogica 0-10V (-) N°1	Salida analogica	Velocidad de motor 1	%QW 112
		1w	Aoutput 1	Salida analogica 0-10V (+) N°2	Salida analogica	Velocidad de motor 2	%QW 114
		1	Aoutput 1	Salida analogica 0-10V (-) N°2	Salida analogica	Velocidad de motor 2	%QW 114
		2w	Aoutput 2	Salida analogica 0-10V (+) N°3	Salida analogica	Velocidad de motor 3	%QW 116
		2	Aoutput 2	Salida analogica 0-10V (-) N°3	Salida analogica	Velocidad de motor 3	%QW 116
		3w	Aoutput 3	Salida analogica 0-10V (+) N°4	Salida analogica	Velocidad de motor 4	%QW 118
		3	Aoutput 3	Salida analogica 0-10V (-) N°4	Salida analogica	Velocidad de motor 4	%QW 118

**b) Conexión de variadores, red y borneras (6 páginas)****Conexión de variadores de velocidad (4 páginas):**

- Conexión de entrada trifásica y salida hacia motores de ventiladores.
- Terminal de referencia analógica (AI) para señal de velocidad 0–10 V proveniente del PLC.
- Bornes de habilitación digital (RUN/STOP).
- Puesta a tierra de blindajes de cables apantallados.
- Cableado de control según recomendaciones del fabricante WEG.

**Red de comunicación Profinet:**

- Interconexión de PLC S7-1500, PLC S7-1200 (4 nodos) y SCADA Weintek mediante switches SCALANCE XB005 y XB008.
- Topología en estrella con dirección IP estática asignada a cada nodo.
- Segmentación de red entre nivel de campo (1200) y nivel de supervisión (SCADA).
- Indicación de puertos físicos y asignaciones de cables industriales Cat6.

**Borneras y distribución de señales:**

- Bornes de 24 VDC, 220 VAC y señales analógicas.
- Identificación normalizada de terminales (X1, X2, X3...).
- Etiquetas de conexión entre tablero principal y tableros locales.

**Importancia de los planos en la gestión del proyecto**

La existencia de planos completos y correctamente estructurados permite:

- **Reducir tiempos de montaje** y errores de conexión.
- **Facilitar la trazabilidad** entre la documentación técnica y el programa del PLC.
- **Estandarizar el mantenimiento** y permitir futuras expansiones sin rediseñar todo el sistema.
- **Cumplir con normativas de seguridad eléctrica** y auditorías técnicas (ISO 12100, IEC 60204-1).

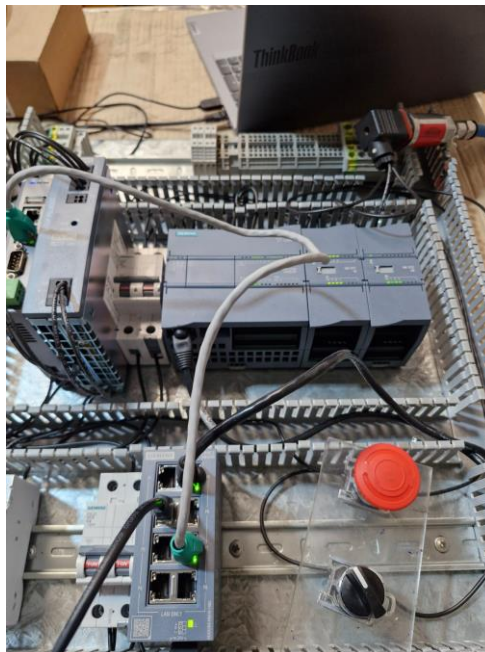
**\*\* Nota:** los planos se incluirán en el cuerpo del documento con el formato Anexo A – Planos eléctricos del sistema.

## 4.2 – Conexión y pruebas de comunicación

La etapa de pruebas constituye una de las fases más críticas del proceso de implementación, ya que permite verificar el correcto funcionamiento del sistema de control, los lazos de comunicación y la respuesta de cada componente en condiciones reales de operación.

Las pruebas se realizaron en un banco de pruebas en donde se conectaron los siguientes elementos:

- PLC Siemens S7-1200
- Módulo de entrada análoga
- Módulo de salida análoga
- Switch Ethernet industrial
- Fuente de 24VDC
- Térmicas 2x10 A y 2x6 A
- Módulo Scada cMT 820
- Sensor de presión



*Ilustración 25: Primera prueba física*

Posteriormente se hará el montaje del tablero principal, los tableros locales, la instalación del PLC maestro S7-1500, los PLC S7-1200, los variadores de velocidad, la instrumentación y la interfaz SCADA Weintek.

## Verificación de hardware y señales de campo

Se llevaron a cabo pruebas funcionales sobre todos los elementos del sistema con el objetivo de validar la integridad del cableado, la respuesta de los módulos de entrada/salida y el comportamiento de los dispositivos asociados. Los resultados fueron los siguientes:

- **Prueba de modos de operación:** se ensayaron los modos Semiautomático y Automático, confirmando su correcto funcionamiento. El modo Manual, aunque no se probó aún, cuenta con un diseño convencional (activación por selectora y relés de mando), por lo que se espera un funcionamiento adecuado sin inconvenientes.
- **Prueba de paro de emergencia:** al accionar el circuito de paro, el sistema respondió de manera inmediata, desactivando los motores, la bomba y bloqueando las salidas asociadas. La lógica de seguridad funcionó sin retardos perceptibles.
- **Prueba de encendido individual de motores:** mediante comandos desde el SCADA, se comprobó que cada motor responde correctamente de forma independiente, lo cual permite mantenimiento y diagnóstico sin detener el condensador completo.
- **Verificación del sensor de presión:** se conectó una manguera de aire comprimido de 12 mm directamente al sensor para analizar su linealidad y estabilidad. Las variaciones de presión se reflejaron correctamente en la entrada analógica escalada V\_Escal, confirmando la validez del módulo SM1231 y del rango de conversión.
- **Prueba de salidas analógicas (AQ):** se realizaron variaciones controladas de 0 a 10 V desde el módulo SM1232, comprobando que los variadores WEG respondieron de manera proporcional, modificando la velocidad de los ventiladores tal como estaba previsto.



*Ilustración 26: Primer prueba en SCADA*

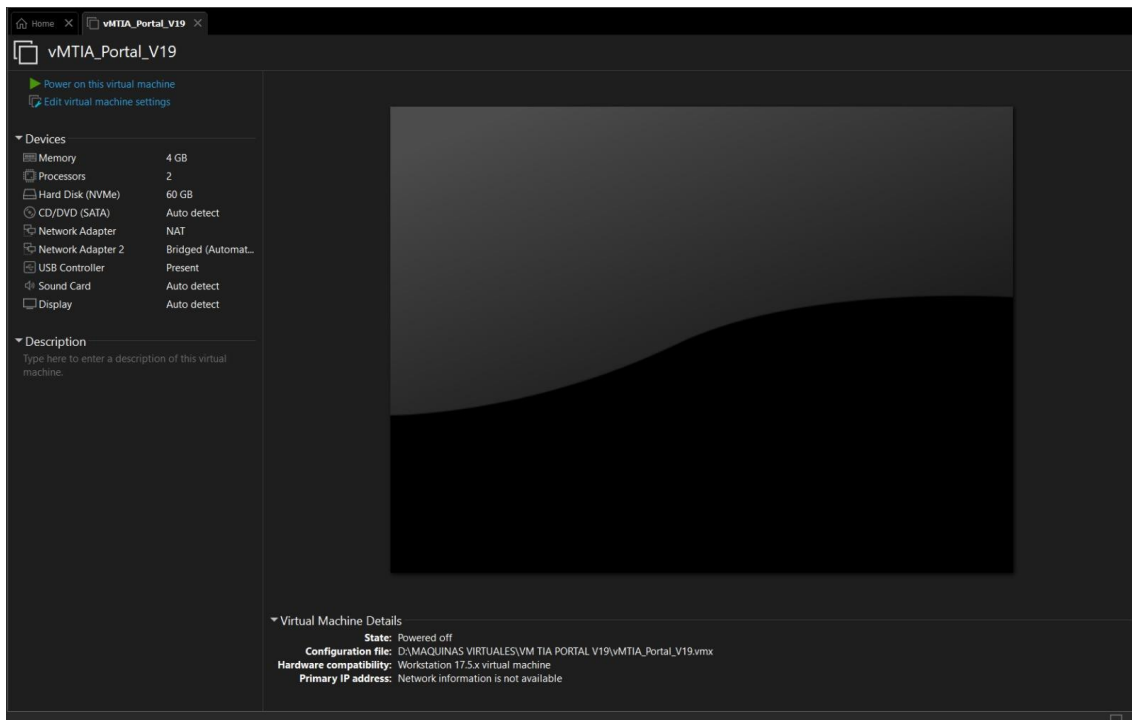
En todas las pruebas realizadas, **los dispositivos respondieron correctamente**, sin presentar fallas de cableado, ruido eléctrico ni errores en los módulos de E/S.

### Validación de la comunicación

Para la configuración, diagnóstico y puesta en marcha de la red Profinet se utilizó TIA Portal V19, instalado dentro de una Máquina Virtual (MV) ejecutada en VMware Workstation Pro. Esta arquitectura permite aislar el entorno de ingeniería, asegurar compatibilidad con los softwares de Siemens y mantener estabilidad durante el proceso de programación y prueba.

### Configuración de la Máquina Virtual

Primero, debemos encontrar una imagen ISO del sistema operativo que usaremos, en este caso se ha seleccionado una imagen de Windows 10. Posteriormente desde VMware Workstation Pro tendremos que crearla con los recursos que nosotros necesitemos.



*Ilustración 27: Creación de máquina virtual*

La MV se configuró con **dos interfaces de red virtuales**:

### 1. Adaptador 1 – NAT

- Se utilizó para permitir que la máquina virtual tenga acceso a Internet a través del host.
- Función principal: descargas, activación de licencias, actualizaciones, sincronización del portal de ingeniería.

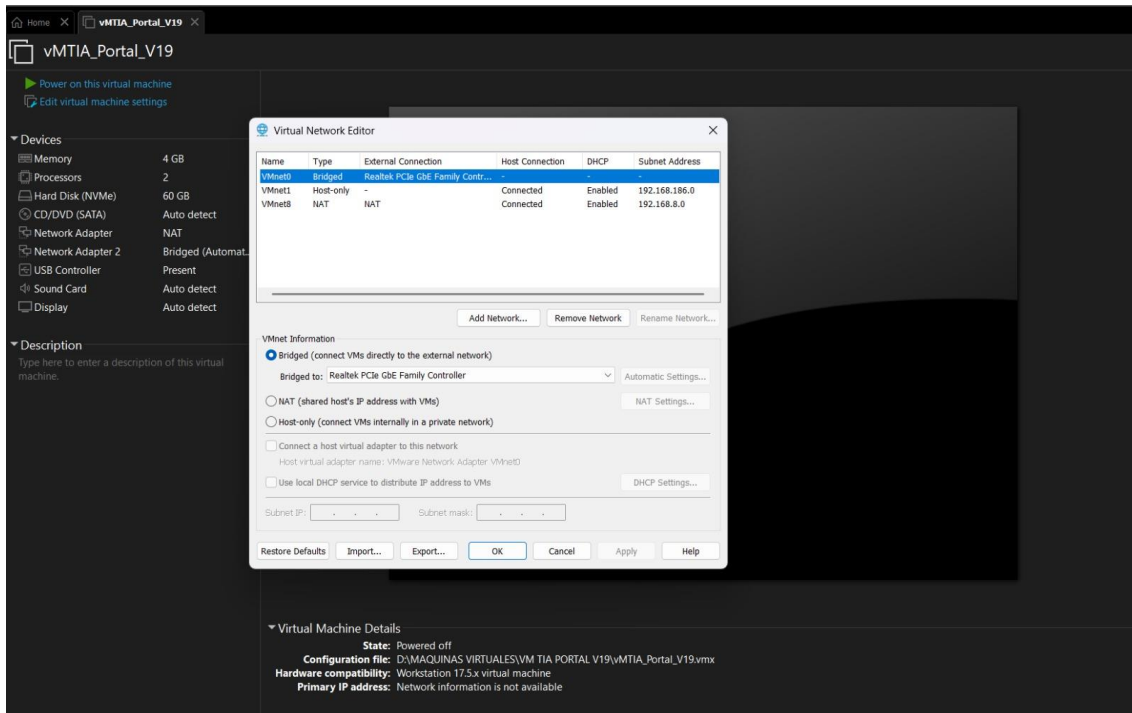
### 2. Adaptador 2 – Bridge (Puente)

- Este adaptador se vinculó directamente con la placa de red física del host.
- Se configuró con una IP fija 192.168.72.89, dentro de la misma subred utilizada por los PLC y el SCADA.
- Función principal: comunicación directa con el hardware real a través del switch industrial SCALANCE.

Este esquema garantiza:

- Acceso simultáneo a Internet (NAT)
- Comunicación de ingeniería directa con los PLC S7-1500 y S7-1200 (Bridge)

Por último tendremos que asociar nuestro puerto bridge con la placa de red física del host, esto se hace accediendo al menú de virtual network editor y agregando una nueva conexión con nuestra placa de host.



*Ilustración 28: Asociación de puertos*

**Resultado:** La MV quedó configurada como una estación de ingeniería totalmente operativa dentro de la red industrial, sin interferir con el desempeño del host ni con otros dispositivos de la red.

### Validación de topología y comunicación

La validación de la arquitectura de comunicaciones constituye una etapa crítica para asegurar la correcta interacción entre los PLC Siemens S7-1200, el PLC maestro S7-1500, el SCADA Weintek y los variadores conectados. Una vez configurada la Máquina Virtual (MV) con TIA Portal V19, utilizando dos adaptadores de red (NAT para servicios de internet y Bridge para comunicación industrial), se procedió a verificar cada uno de los elementos de la topología en estrella.

- Asignación de IP a nuestro módulo SCADA Weintek

Se establece el IP al módulo para una correcta comunicación entre PLC y módulo. Además, se importa librería de tags desde el entorno de programación Tia Portal y se configura el servidor desde nuestro árbol de programación en el SCADA apuntando hacia la IP de nuestro PLC.

Los pasos ejecutados fueron:

1. Ingreso al panel de configuración del HMI.
2. Asignación manual del IP estático del equipo.
3. Configuración del servidor de comunicaciones en el SCADA, apuntando a la IP del PLC.
4. Importación automática de las **tags** desde el proyecto de TIA Portal a EasyBuilder Pro.

Con esto se aseguró que el SCADA pudiera:

Leer estados, setpoints y alarmas, escribir comandos de arranque/parada, y supervisar el valor real de presión.

- Asignación IP a nuestro PLC

Cada PLC S7-1200 nuevo requiere una asignación inicial de IP. El procedimiento realizado fue:

1. Abrir TIA Portal V19 en la MV.
2. Acceder a Online Access en el árbol del proyecto.
3. Seleccionar la interfaz de red física del host (bridge) donde está conectado el PLC.
4. Detectar el equipo automáticamente (Accessible devices).
5. Ingresar al menú de Ethernet Interface → Assign IP.
6. Asignar la IP correspondiente según la segmentación de la red industrial.

Con esto se integró cada S7-1200 a la red Profinet para la comunicación con el PLC maestro S7-1500.

- Testeo del estado de red mediante diagnóstico IP

Se verificó la disponibilidad de todos los equipos utilizando:

1. el comando ping desde la consola de Windows, y
2. el panel de diagnóstico de red incorporado en TIA Portal.

Esto permitió confirmar:

1. la accesibilidad de cada PLC,
2. la latencia promedio de la comunicación,
3. la ausencia de pérdida de paquetes,
4. y la correcta asignación de direcciones en toda la red.

Todos los dispositivos respondieron con tiempos de 1–2 ms, adecuados para una red industrial Profinet de control.

- Integración física en el switch industrial

Finalmente, todos los dispositivos fueron conectados al switch SCALANCE XB008, actuando como nodo central de la topología.

Se verificó:

- Encendido y funcionamiento de cada puerto.
- Negociación automática de velocidad (100 Mbps Full Duplex).
- Detección de tráfico entre S7-1200 ↔ S7-1500 ↔ SCADA.

Una vez integrados, todos los equipos comenzaron a intercambiar datos sin errores, validando la topología de red en estrella definida para el sistema.

### 4.3 – Interfaz TIA Portal V19 y Validación de la Programación del Sistema

La programación del sistema de condensadores se desarrolló íntegramente en TIA Portal V19, utilizando una arquitectura modular basada en OB (Organizational Blocks), FB (Function Blocks), DB (Data Blocks) y marcas internas. Esta estructura permitió un diseño escalable, ordenado y de fácil mantenimiento, adecuado para un sistema industrial distribuido compuesto por un PLC maestro S7-1500 y cuatro PLC S7-1200.

Esta sección describe la organización del software en TIA Portal, su interacción con el hardware del proceso y la validación completa del funcionamiento del sistema.

#### Estructura de programación

La arquitectura del proyecto se definió de la siguiente manera:

- **OB30 – Cyclic Interrupt (Ladder con PID Compact)**
  - Control de presión mediante acción PID.
- **OB1 – Main Cycle (Ladder)**
  - Encargado de la ejecución cíclica del programa.
  - Llama a todos los FBs del sistema.
  - Incluye el tratamiento escalar del sensor de presión.
- **FB1 – Entradas Digitales (ST)**
  - Gestión estructurada de las señales físicas provenientes del tablero: selectores, relés térmicos, paro de emergencia, etc.
- **FB2 – Alarmas y Comandos (Ladder)**
  - Lógica de alarmas críticas y no críticas.
  - Acciones asociadas (paro total, paro parcial, bloqueo de motores).
- **FB3 – Mantenimiento (Ladder)**
  - Implementación de hodómetros.
  - Comparación con horas máximas permitidas.
  - Generación de “estado de mantenimiento requerido”.
- **FB4 – Sensor de presión (Ladder)**
  - Generación del último estado del valor de presión.

#### □ **FB5 – Salidas Digitales (ST)**

- Lógica final de activación de motores, bombas y alarmas luminosas.

#### □ **FB6 – Funcionamiento General (Ladder)**

- Lógica de modos Manual / Semiautomático / Automático.
- Secuencias de arranque, paro y transición.
- Control maestro del condensador.

Cada FB posee su correspondiente DB instanciado, donde se almacenan estados, variables internas y datos históricos, garantizando persistencia durante el ciclo de vida del sistema.

### Validación del PID

El bloque de control utilizado fue el **PID\_Compact**, configurado para actuar sobre las salidas analógicas AQ (0–10 V) que comandan la velocidad de los variadores WEG de los cuatro ventiladores principales.

Los parámetros configurados inicialmente fueron:

**SP (Setpoint):** configurable desde SCADA, valor nominal 9,5 bar (%MD35).

**PV (Input):** Pres\_Usada\_1 (presión escalizada y medida en bar).

**CV (Output\_PER):** salida analógica de 0 a 27368, se transforma a tensión analógica 0–10 V y se visualiza como velocidad 0–100%.

#### **Basic Settings:**

Presión en bar, Control invertido, modo automático.

#### **Process value Settings:**

-1.0 a 34.0 bar.

#### **Advanced Settings:**

0 a 100%, Error: Valor anterior mientras el error está presente.

### Métodos de validación

La validación se dividió en cuatro etapas:

1. **Prueba estática:** verificación de estabilidad con carga constante.
2. **Prueba dinámica:** respuesta ante un aumento repentino de presión.

3. **Prueba de perturbación:** simulación de corte de un motor, corte del sensor de presión.
4. **Prueba de setpoint:** modificar SP desde SCADA y evaluar seguimiento.

Para todas las pruebas se utilizó el sensor Danfoss conectado a una manguera neumática de 12 mm, lo que permitió aplicar presiones crecientes y decrecientes de forma controlada.

Los valores fueron monitoreados simultáneamente en:

- El SCADA Weintek (lectura digital + gauge).
- El TIA Portal en modo Online (Trends del PID).
- Las salidas analógicas del módulo SM1232.

### Resultados de la validación

1. Prueba estática con un setpoint de 3.0 bar.

**Objetivo:** comprobar que el PID mantenga la presión sin oscilaciones.

#### Resultado:

El lazo respondió de forma estable con una variación máxima de  $\pm 0,1$  bar. Los ventiladores mantuvieron una velocidad constante acorde a la inercia térmica. No se detectaron overshoot ni inestabilidad.

2. Prueba dinámica, se aumenta bruscamente la presión.

Se aplicó un aumento brusco de presión conectando la manguera de aire comprimido.

#### Resultado:

- Los ventiladores aceleraron de forma progresiva, sin saltos.
- El PID elevó rápidamente la salida.
- Tiempo de estabilización: **3–6 segundos**, considerado excelente para este tipo de proceso térmico.

3. Prueba con perturbación, apagado de ventilador

Se simuló la caída de un motor.

#### Resultado:

- El PLC identificó la falla y bloqueó el motor afectado.
- Al aumentar la presión, el PID aumentó la salida en los otros tres motores hasta alcanzar estabilidad.

- La presión retornó al SP sin necesidad de intervención humana.

Este resultado demuestra la robustez del lazo PID ante fallas parciales.

### Ajustes para optimización

Durante las pruebas se realizaron los siguientes ajustes:

- Aumento del parámetro de proporcionalidad permitiendo llegar más rápido a la consigna.
- Aumento del tiempo integral para asegurar corrección completa del error.
- El PID cuando la presión está por encima de 2 bar, la velocidad de los motores tendría que ser el 100%

### Conclusión:

El control PID implementado demostró cumplir con todos los requerimientos operativos:

- **Estabilidad** ante presión constante.
- **Rapidez** ante aumentos bruscos de presión.
- **Robustez** ante fallas parciales en ventiladores.
- **Flexibilidad** ante cambios de setpoint.
- **Seguridad** al interactuar correctamente con las alarmas críticas.
- **Suavidad** de regulación sin golpeteos ni oscilaciones.

El sistema de control en lazo cerrado quedó validado para operación industrial permanente.

### Validación de entradas y salidas (I/O Check)

Se realizó una validación funcional completa de todas las señales físicas:

#### Entradas digitales:

- Paro de emergencia
- Relé térmico Motor 1
- Relé térmico Motor 2
- Relé térmico Motor 3
- Relé térmico Motor 4

- Relé térmico Bomba

**Resultado:**

Todas las entradas se visualizan correctamente en el SCADA, en el FB1 y en la tabla de monitoreo online monitoring. No hubo falsos positivos ni oscilaciones.

**Salidas digitales:**

- Comando Motor 1
- Comando Motor 2
- Comando Motor 3
- Comando Motor 4
- Comando Bomba de Agua
- Alarma general

**Resultado:**

Cada salida respondió correctamente al modo semiautomático y automático según lo previsto. No se detectaron condiciones indeseadas de arranque.

**Entradas analógicas:**

- Sensor de presión

**Resultado:**

La señal fue correctamente escalada en OB1 y procesada en FB4 para su posterior aplicación al PID sin ruido significativo.

**Salidas analógicas:**

- 4 señales 0–10 V para variadores WEG

**Resultado:**

Las salidas respondieron de forma lineal, sin saltos bruscos. La sincronización con el PID fue precisa.

**Validación de modo de funcionamiento.**

1. Modo Semiautomático

Validaciones:

- PLC controla el PID.
- El Operador puede encender motores individuales desde SCADA.
- Operación escalonada de motores y bombas.

**Resultado:**

Ideal para pruebas, mantenimiento y diagnóstico.

PID funcionó sin interrupciones durante cambios manuales de actuadores.

2. Modo Automático

Validaciones:

- Arranque completo del condensador.
- Activación progresiva según la demanda.
- Control total por PID.
- Paradas automáticas ante fallas críticas.

**Resultado:**

Modo estable, seguro y conforme a los requerimientos del sistema.

Validación de sistema de alarmas

Alarmas validadas:

- Parada de emergencia
- Relés térmicos Motor 1–4
- Relé térmico Bomba
- Falla de sensor de presión
- Setpoint no declarado
- Corte de energía

**Clasificación:**

- **Críticas (detienen todo):**
  - Paro de emergencia
  - Setpoint inválido
- **No críticas (detienen un actuador):**
  - RT Motor 1–4
  - RT Bomba
  - Falla de sensor

**Resultado:**

El sistema respondió instantáneamente ( $\approx 100$  ms).

El SCADA reflejó correctamente todas las alarmas y eventos.

### Validación del sensor de presión

Pruebas:

- Conexión neumática de prueba con manguera 12 mm
- Pruebas de aumento brusco
- Pruebas de caída repentina
- Comparación PV vs. instrumento externo

**Resultado:**

Error máximo:  $\pm 0,05$  bar.

Respuesta rápida y estable.

Aceptado para control PID.

### Validación de función de mantenimiento

Incluye:

- Hodómetros por motor
- Estado de mantenimiento requerido
- Botón “Hice mantenimiento” en SCADA
- Reseteo de DB por motor

**Resultado:**

Las horas de trabajo se registraron correctamente, y el reset funcionó sin afectar otros parámetros.

### Validación del funcionamiento general del condensador

Finalmente, se probó la operación completa:

- Arranque del sistema

- Lectura en tiempo real de PV, SP y CV
- Interacción SCADA ↔ PLC
- Respuesta ante rotura simulada de motor
- Regulación continua
- Operación prolongada con carga variable

**Resultado:**

El condensador funcionó de manera estable durante todas las pruebas, sin fallos de comunicación, control o seguridad.

El sistema quedó validado para integración industrial.

#### 4.4 – Interfaz de SCADA Weintek

SCADA constituye un paso central para garantizar que la operación del condensador pueda realizarse de manera segura, intuitiva y en tiempo real. El SCADA desarrollado en EasyBuilder Pro fue integrado con el PLC maestro S7-1500 mediante comunicación Ethernet Industrial, verificándose su correcto funcionamiento a través de una serie de pruebas funcionales.

A continuación se describen las validaciones realizadas sobre cada sección (viñeta) de la interfaz gráfica HMI:

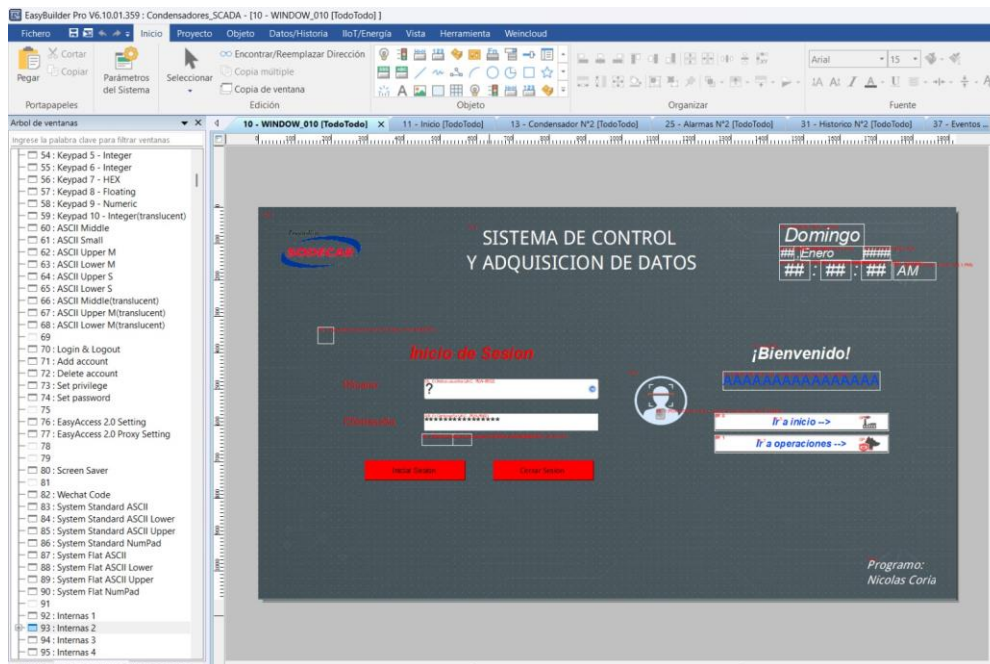
##### 1. Pantalla “Windows” – Inicio de sesión

Esta pantalla simula un entorno de inicio seguro. Incluye:

- Campo de usuario y contraseña.
- Botón *Entrar* que habilita el acceso a las pantallas operativas.
- Visualización controlada por niveles de acceso (operario / mantenimiento / supervisor).

**Validación realizada:**

Se verificó que solo el personal autorizado pueda ingresar a los menús principales. Accediendo por niveles de contraseñas.



*Ilustración 29: Pantalla inicio de sesión*

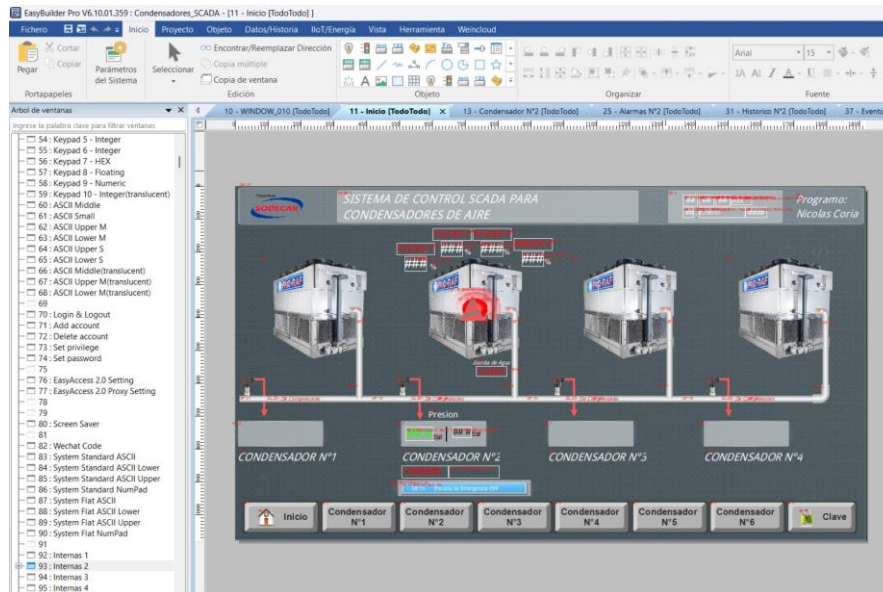
## 2. Pantalla “Inicio” – Visión general del sistema

Muestra en una sola vista:

- Todos los condensadores (1, 2, 3, 4...).
- Estado de cada motor: RUN/STOP/FALLA.
- Velocidad actual de cada variador.
- Presión set y presión medida.
- Indicador del modo activo (Encendido, apagado, con alarma).
- Alarmas activas.
- Botón para ingresar al detalle de cada condensador.

### **Validación realizada:**

Los valores mostrados coinciden con los del PLC S7-1500 con actualización inferior a 200 ms. Las alarmas aparecen instantáneamente. Los botones de acceso funcionan sin error y conducen a las vistas individuales.



*Ilustración 30: Pantalla de inicio*

### 3. Pantalla “Condensador N°2” – Visualización y control del equipo

Es la pantalla principal de operación individual. Contiene:

- Medidores analógicos (gauges):
  - Presión real.
  - Velocidad de los forzadores.
- Lecturas digitales: presión exacta en bar y velocidad en %.
- Representación gráfica del condensador.
- Ventiladores individuales con movimiento:
  - Girando: funcionando.
  - Frenado: detenido.
  - Rojo con cono: alarma de motor.
- Comandos de operación:
  - Selección de modo: Semiautomático / Automático.
  - Run / Stop del condensador.
  - Encendido individual de motores.
  - Encendido de bomba de agua.
- Configuración de setpoint: ingreso directo desde la HMI.
- Botones de acceso: Alarmas, Histórico, Eventos, Registros y Variables.

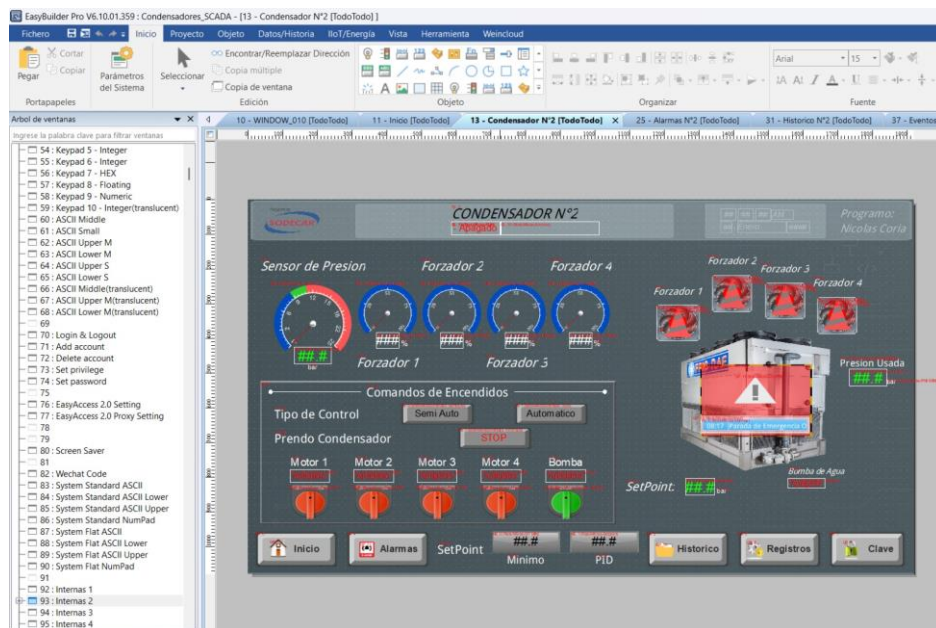
**Validación realizada:**

Todas las lecturas fueron consistentes con el PLC.

Los comandos enviados desde la pantalla fueron recibidos y ejecutados correctamente en el tiempo esperado.

Los indicadores de motores y alarmas respondieron sin retraso.

La modificación del setpoint se reflejó inmediatamente en el bloque PID del PLC.



*Ilustración 31: Pantalla individual de condensador*

#### 4. Pantalla “Alarmas” – Alarmas presentes e históricas

Muestra:

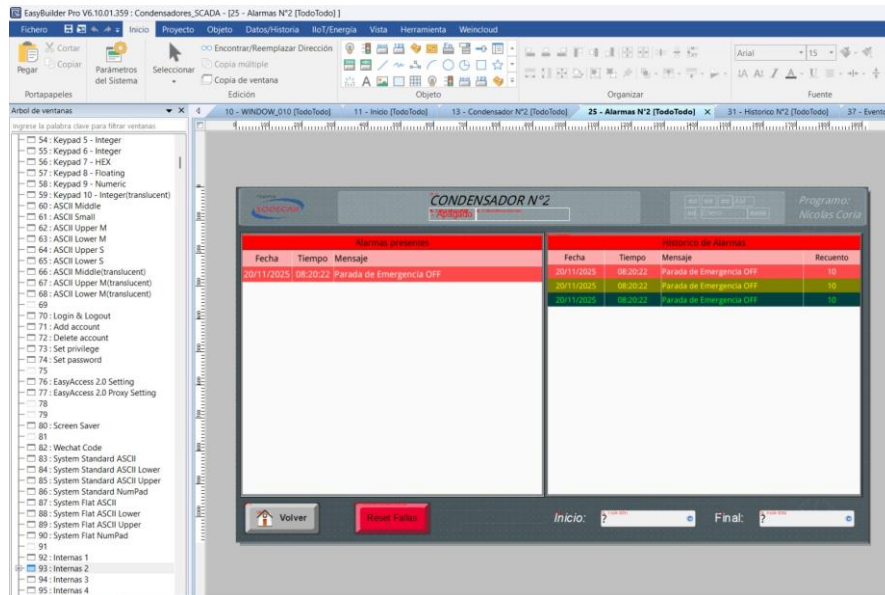
- Lista de alarmas activas.
- Lista de alarmas históricas.
- Fecha y hora de ocurrencia.
- Botón Reset Falla (siempre condicionado por seguridad del PLC).

**Validación realizada:**

Las alarmas críticas activan un banner en rojo.

El registro histórico almacena correctamente entradas con sello de tiempo.

El botón de reset funciona sólo si la condición de falla fue resuelta, tal como establece la lógica del PLC.



*Ilustración 32: Pantalla de alarmas*

## 5. Pantalla “Histórico” – Gráficas de tendencia

Presenta gráficos en tiempo real e histórico de:

- Presión (bar).
- Setpoint.
- Velocidad de los motores (0–100%).

Incluye botón hacia Eventos.

### **Validación realizada:**

La respuesta gráfica es fluida y estable.

Las tendencias reflejan exactamente las variaciones del proceso, permitiendo evaluar el desempeño del PID durante ciclos prolongados.

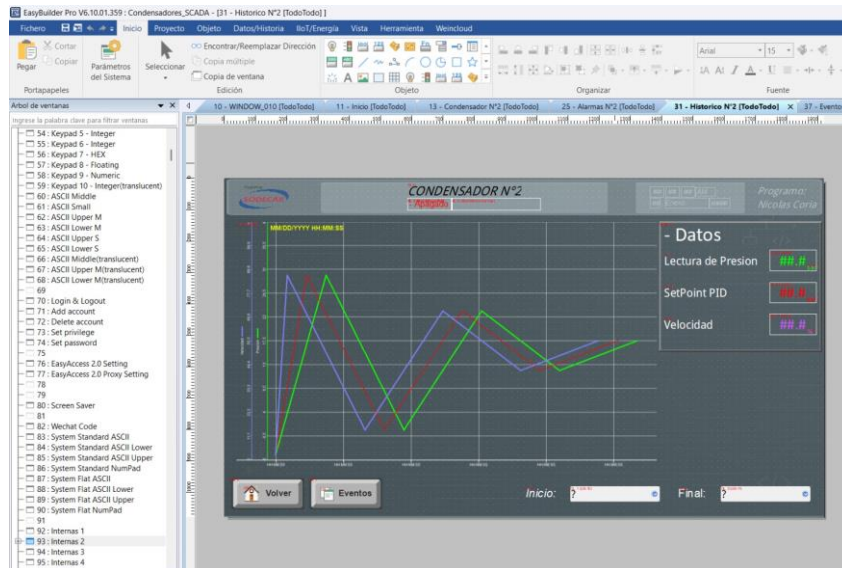


Ilustración 33: Pantalla de gráficos

## 6. Pantalla “Eventos” – Log cronológico

Muestra:

- Registro de eventos del sistema (arranques, paradas, cambios de modo).
- Registro de variaciones críticas.
- Filtros por fecha/hora.

**Validación realizada:**

Todos los eventos se almacenan correctamente.

Fecha	Hora	Mensaje	Valor	M	Tempo	Pulse	Sensor Presion	SetPoint	Velocidad
20/11/2025	08:22:29	Condensador encendido	10	1	08:23	20/11/2025	##.#	##.#	##.#
20/11/2025	08:22:29	Condensador encendido	10						

Ilustración 34: Pantalla de eventos

## 7. Pantalla “Registros” – Mantenimiento y estado de motores

Incluye:

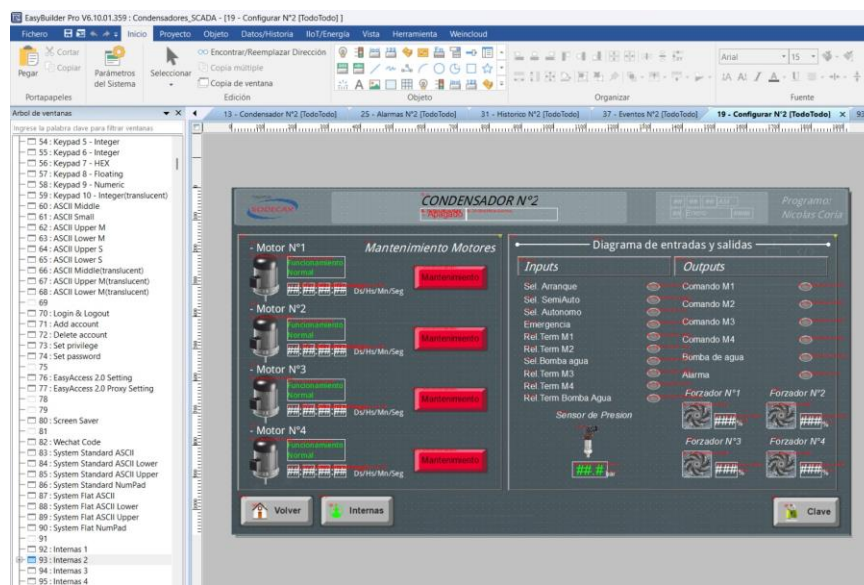
- Horas de funcionamiento de cada motor.
- Indicador de estado: Normal / Requiere mantenimiento.
- Botón *Hice mantenimiento* → resetea hodómetro.
- Diagramas:
  - Entradas digitales.
  - Salidas digitales.
  - Entradas analógicas.
  - Salidas analógicas.

### Validación realizada:

Los hodómetros incrementan correctamente con tiempo real.

El botón de mantenimiento ejecuta el reset en el PLC.

Los diagramas representan el estado instantáneo de cada I/O, útil para el diagnóstico.



*Ilustración 35: Pantalla de registros*

## 8. Pantalla “Registros internos” – Variables internas del PLC

Permite visualizar y modificar (cuando se habilita):

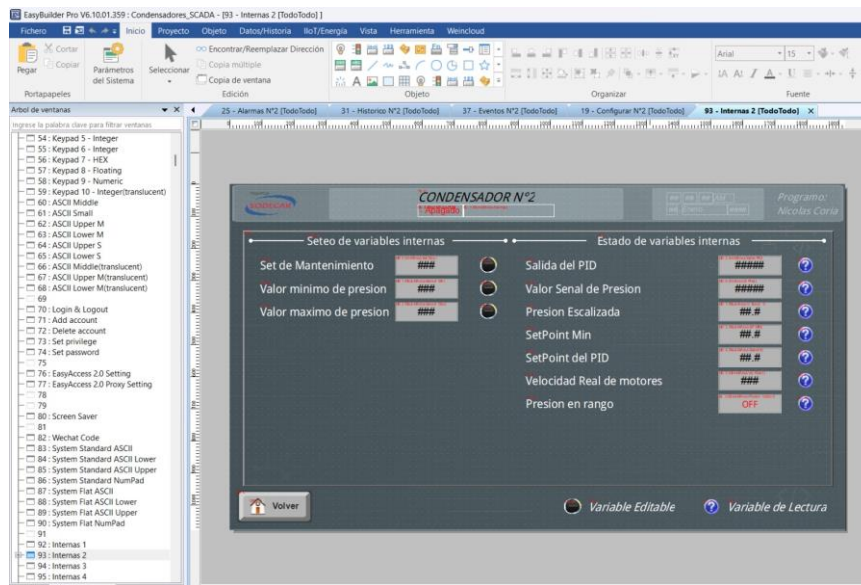
- Set de mantenimiento.
- Valor mínimo permitido del sensor de presión.

- Valor máximo permitido.
- Variables internas de proceso usadas en PID y lógica.
- Entre otras variables.

### Validación realizada:

Sólo personal autorizado puede modificar estos valores.

Los cambios se envían al DB correspondiente del PLC S7-1200.



*Ilustración 36: Pantalla de registros internos*

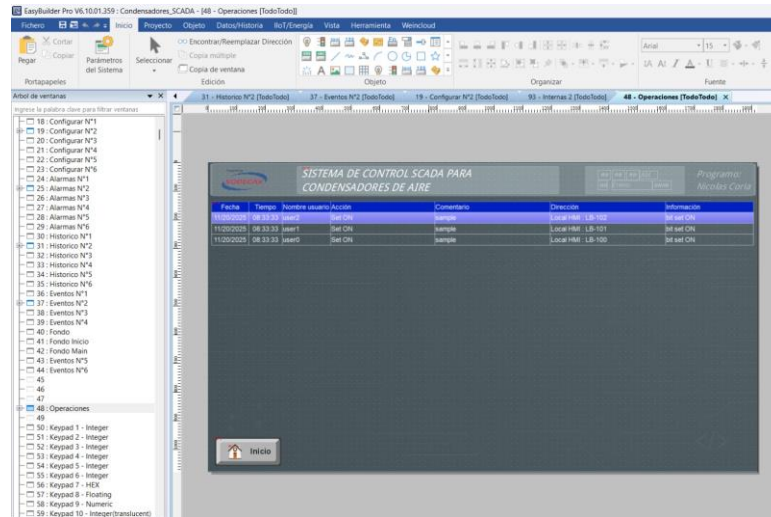
## 9. Pantalla “Operaciones” – Auditoría de uso

Registra:

- Usuario conectado.
- Hora y fecha de cada acción.
- Comandos ejecutados desde el SCADA.
- Estado general del sistema.

### Validación realizada:

El SCADA almacena correctamente cada interacción humana, contribuyendo a la trazabilidad del sistema.



*Ilustración 37: Pantalla de operaciones*

### **Conclusión de la validación SCADA**

Todas las pantallas fueron verificadas con éxito bajo condiciones reales de operación. La interfaz se comportó estable, con lectura confiable de datos, actualización rápida, manejo seguro de comandos y registro completo de alarmas y eventos.

La comunicación con el PLC maestro S7-1500 se mantuvo estable sin pérdida de paquetes ni retrasos perceptibles.

El sistema SCADA se encuentra validado para operación industrial continua.

### **4.5 – Conclusión - Integración, Programación y Validación del Sistema**

El Capítulo 4 permitió consolidar la etapa más crítica del proyecto: la integración del hardware, la programación en TIA Portal y la validación completa del sistema de control del condensador de amoníaco. A través de un enfoque progresivo, se verificó que cada componente —físico y lógico— cumpliera con los requerimientos establecidos en los capítulos previos y respondiera adecuadamente bajo condiciones reales de operación.

En primer lugar, se logró una integración robusta entre los PLC Siemens S7-1200, el PLC maestro S7-1500, el SCADA Weintek y los variadores de velocidad WEG, utilizando una arquitectura de red en estrella montada sobre un switch industrial SCALANCE. Esta topología demostró ser estable y eficiente, garantizando comunicación determinística entre todos los nodos del sistema.

La programación realizada en TIA Portal V19 se organizó mediante una estructura modular de bloques (OB, FB y DB), lo que permitió mantener un diseño ordenado, escalable y de fácil mantención. Cada función —entradas, salidas, alarmas, modos de operación, mantenimiento y regulación PID— fue implementada de manera independiente, asegurando claridad y reutilización del código.

Las validaciones realizadas sobre la interfaz SCADA aseguraron que los operadores contarán con una herramienta intuitiva, segura y confiable para monitorear el proceso, gestionar alarmas, visualizar históricos y operar el sistema en diferentes modos. Las pruebas en tiempo real confirmaron la correcta sincronización entre el SCADA y el PLC maestro, incluyendo tendencias, registros y navegación entre pantallas.

Uno de los elementos más relevantes del capítulo fue la validación del control PID, que demostró un desempeño sobresaliente tanto en condiciones estáticas como dinámicas. El lazo de control respondió con precisión ante variaciones de presión, perturbaciones provocadas y cambios de setpoint, evidenciando estabilidad, rapidez de respuesta y ausencia de oscilaciones perjudiciales. Esto confirma que el sistema es apto para operar en forma continua y automática, aun ante variaciones abruptas en la carga térmica.

Asimismo, se verificaron rigurosamente las funciones de seguridad: paro de emergencia, relés térmicos, fallas de sensor y bloqueos de operación. Todas estas señales actuaron según lo diseñado, resguardando la integridad del sistema y cumpliendo con los criterios de seguridad industrial.

Finalmente, se validaron los modos Manual, Semiautomático y Automático, cada uno con sus particularidades operativas. Las pruebas demostraron que la lógica de conmutación entre modos es estable y segura, permitiendo realizar mantenimiento, pruebas de campo y operación normal sin comprometer la seguridad del personal ni la continuidad del proceso.

En conjunto, la integración, programación y validación desarrolladas en este capítulo confirman que el sistema final cumple plenamente con los objetivos funcionales, operativos y de seguridad definidos en el planteamiento del problema. El condensador quedó listo para funcionar en un entorno industrial real, respaldado por una plataforma sólida, moderna y confiable.

## Capítulo 5: Conclusiones generales

### 5.1 – Evaluación y cumplimiento de los objetivos

A partir del desarrollo del proyecto y los ensayos realizados, se puede afirmar que **los objetivos planteados en el Capítulo 1 fueron alcanzados satisfactoriamente.**

A continuación se presenta un análisis objetivo de cada uno:

- **Objetivo específico 1**

*Analizar y describir las limitaciones del sistema de control manual.*

**Cumplido.**

El diagnóstico inicial permitió identificar problemas de precisión, falta de eficiencia energética, dependencia del operario y ausencia de trazabilidad. Esto justificó plenamente la intervención tecnológica propuesta.

- **Objetivo específico 2**

*Describir la arquitectura del sistema de control distribuido y la integración con SCADA.*

**Cumplido.**

Se diseñó una arquitectura híbrida PLC S7-1200/S7-1500 con topología en estrella, comunicación PROFINET y supervisión SCADA Weintek. La documentación técnica y los planos eléctricos detallan eficazmente esta integración.

- **Objetivo específico 3**

*Evaluar el control PID y la reducción del consumo energético.*

**Cumplido.**

Las pruebas demostraron una estabilización significativa de la presión, reducción de oscilaciones y modulación precisa de la velocidad de los ventiladores. Esto implica una disminución del uso energético y del desgaste mecánico.

- **Objetivo específico 4**

*Determinar y evaluar la confiabilidad operativa y trazabilidad del sistema.*

**Cumplido.**

El SCADA registra históricos, alarmas, eventos y estados de mantenimiento, permitiendo un seguimiento continuo. El sistema mostró robustez en la detección de fallas y en la protección del proceso.

## 5.2 – Evaluación y validación de la hipótesis

### **Hipótesis general:**

*La automatización basada en PLC Siemens y SCADA Weintek mejora la eficiencia, estabilidad y seguridad del proceso de condensación de amoníaco.*

### **Validación:**

Los resultados experimentales confirman mejoras en:

- estabilidad de presión (mayor precisión del control),
- eficiencia energética (regulación proporcional del ventilador),
- seguridad operativa (alarmas, enclavamientos y diagnósticos),
- confiabilidad y disponibilidad del sistema,
- reducción de la intervención humana.

Por lo tanto, **la hipótesis general se considera válida.**

### **Hipótesis específicas**

- *Eficiencia energética*

#### **Validada.**

El control PID redujo oscilaciones, evitando ciclos innecesarios y ajustando la velocidad a la demanda térmica real.

- *Estabilidad del proceso*

#### **Validada.**

La presión se mantuvo dentro del rango nominal ( $\approx 9,5$  bar), mostrando una respuesta más rápida y estable frente a perturbaciones.

- *Seguridad operativa*

#### **Validada.**

El sistema reaccionó correctamente ante sobrepresión, fallas térmicas, paro de emergencia y pérdida de comunicación.

### 5.3 – Conclusiones finales

La implementación del sistema automatizado demostró que es posible modernizar la operación de condensadores de amoníaco con tecnologías accesibles y robustas. Los beneficios obtenidos incluyen:

- **Reducción de consumo energético** gracias al control proporcional.
- **Mayor vida útil** de motores y variadores por menor esfuerzo mecánico.
- **Incremento de la estabilidad del proceso**, evitando picos peligrosos de presión.
- **Mejora de la seguridad industrial**, reduciendo la exposición del operario.
- **Gestión avanzada de mantenimiento**, al contar con históricos, alarmas y hodómetros.
- **Mayor capacidad de supervisión**, permitiendo control remoto y análisis de datos.

Este proyecto no solo resuelve una necesidad operativa real, sino que sienta las bases para futuras ampliaciones, integración con sistemas de planta y aplicaciones de Industria 4.0.

### 5.4 – Aportes académicos

Este trabajo integró conocimientos de:

- automatización industrial,
- instrumentación y control,
- redes industriales,
- diseño eléctrico,
- programación de PLC y SCADA,
- sistemas distribuidos,
- diagnósticos y ensayos experimentales.

Demuestra la capacidad del estudiante de llevar adelante un proyecto completo “llave en mano”: diseño, montaje, puesta en marcha y validación.

## 5.4 – Mejoras a futuro

Se identifican oportunidades de expansión:

1. Incorporar sensores adicionales (temperatura, humedad, caudal).
2. Implementar mantenimiento predictivo con algoritmos basados en históricos.
3. Integrar la arquitectura en una red superior de la planta (MES/ERP).
4. Desarrollar dashboards web o móviles conectados al SCADA.
5. Aplicar control avanzado (MPC o control adaptativo) según carga térmica real.
6. Incorporar redundancia para máxima disponibilidad operacional.

## Capítulo 6: Referencias Bibliográficas

A continuación se presentan las fuentes bibliográficas, manuales técnicos, documentación de fabricantes y recursos académicos utilizados para el desarrollo del proyecto. Las mismas respaldan los conceptos teóricos, las especificaciones técnicas de hardware, los principios de funcionamiento del condensador de amoníaco y las metodologías de automatización aplicadas.

### 6.1 – Bibliografía general

- ISA – International Society of Automation. (2019). *ISA RP5.1 – Instrumentation Symbols and Identification*.
- New-Flow Instrumentation. (2021). *PT3100 Pressure Transmitter Datasheet*.
- Siemens AG. (2022). *PROFINET System Description*.
- Siemens AG. (2023). *SIMATIC S7-1200 System Manual*. Siemens Documentation.
- Siemens AG. (2023). *SIMATIC S7-1500 System Manual*.
- Siemens AG. (2023). *TIA Portal V19 – Programming Guide*.
- Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (2016). *Refrigeración Industrial*. McGraw-Hill.
- WEG S.A. (2022). *Manual Técnico Variadores CFW Series*.
- Weintek Labs Inc. (2023). *CMT Series – User Manual & SCADA Design Guide*.

### 6.2 – Documentación técnica

- IEC. (2014). *IEC 60204-1: Seguridad de máquinas. Equipamiento eléctrico de las máquinas*. Comisión Electrotécnica Internacional.
- IEC. (2018). *IEC 60038: Tensiones normalizadas en sistemas eléctricos*. Comisión Electrotécnica Internacional.
- IEC. (2021). *IEC 61131-3: Lenguajes de programación para controladores lógicos programables*. Comisión Electrotécnica Internacional.
- EC. (2024). *IEC 60364: Instalaciones eléctricas de baja tensión*. Comisión Electrotécnica Internacional.

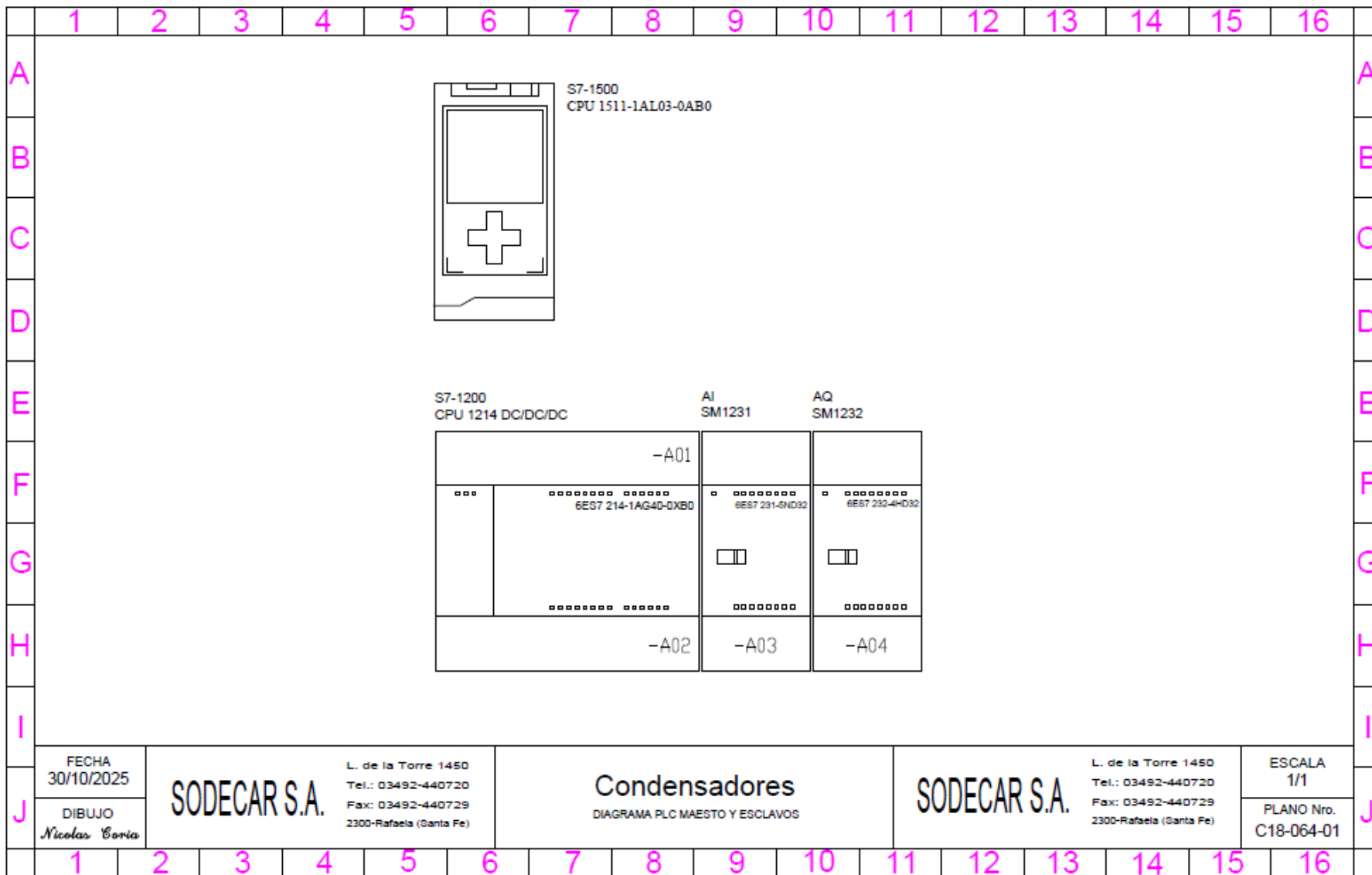
- New-Flow Instrumentation. (s.f.). *PT3100 Pressure Transmitter Datasheet*.
- Siemens AG. (s.f.). *CPU S7-1500 6ES7511-1AL03-0AB0 – Hoja de datos*.
- Siemens AG. (s.f.). *Fuente PSU6200 – Manual de instalación*.
- Siemens AG. (s.f.). *Módulo SM1231 AI – Manual y wiring*.
- Siemens AG. (s.f.). *Módulo SM1232 AQ – Manual y wiring*.
- Siemens AG. (s.f.). *SCALANCE XB005 / XB008 – Manual técnico*.
- Siemens AG. (s.f.). *SIMATIC S7-1200 CPU 1214C – Manual técnico y hoja de datos*.
- WEG S.A. (s.f.). *CFW Series – Manual de variadores de velocidad*.

### 6.3 – Fuentes académicas

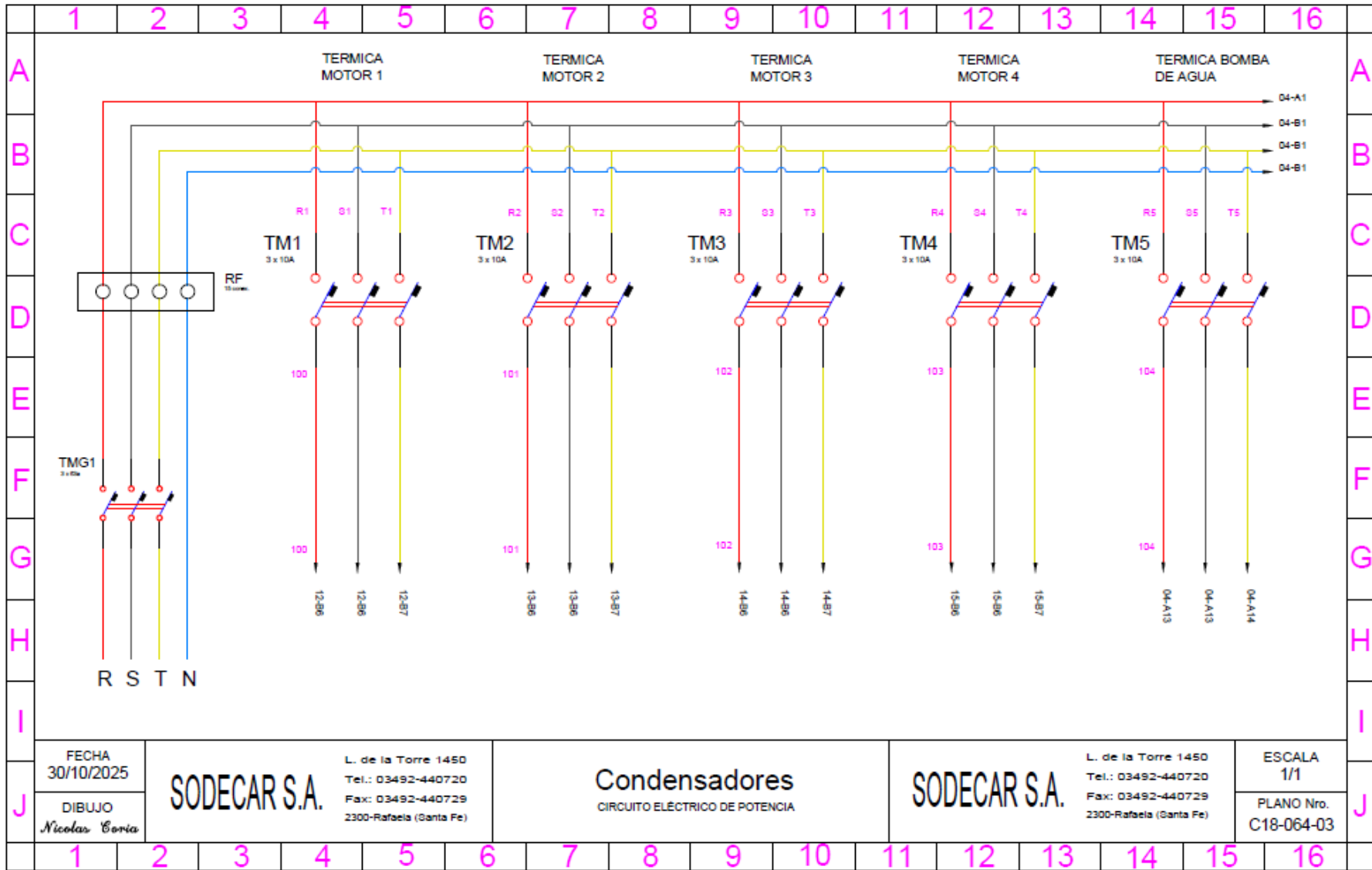
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. The MIT Press.
- International Organization for Standardization (ISO). (2015). *ISO 9001:2015 – Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos*.
- Project Management Institute (PMI). (2021). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)* (Séptima ed.).

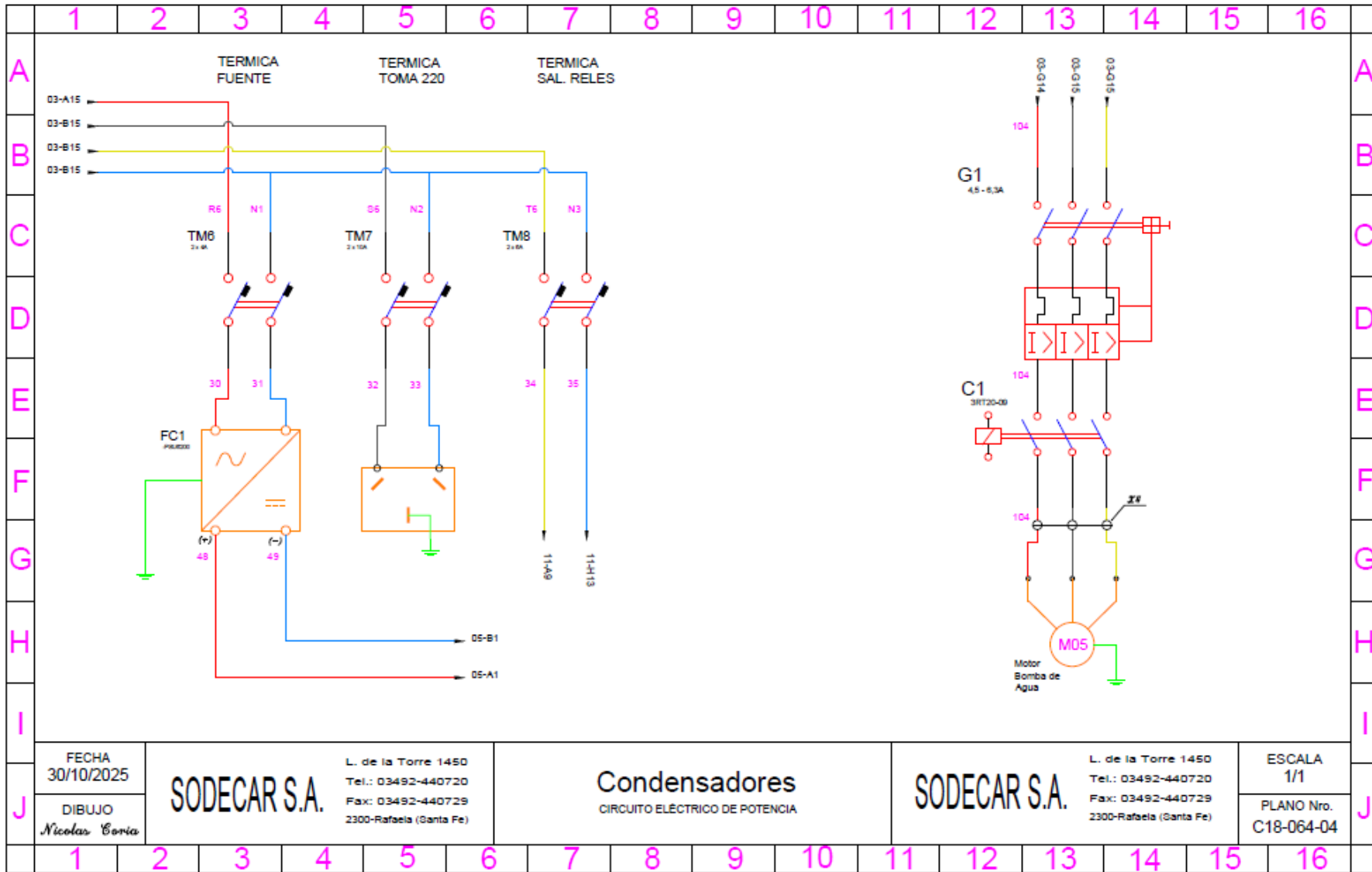
Anexo A – Planos eléctricos del sistema

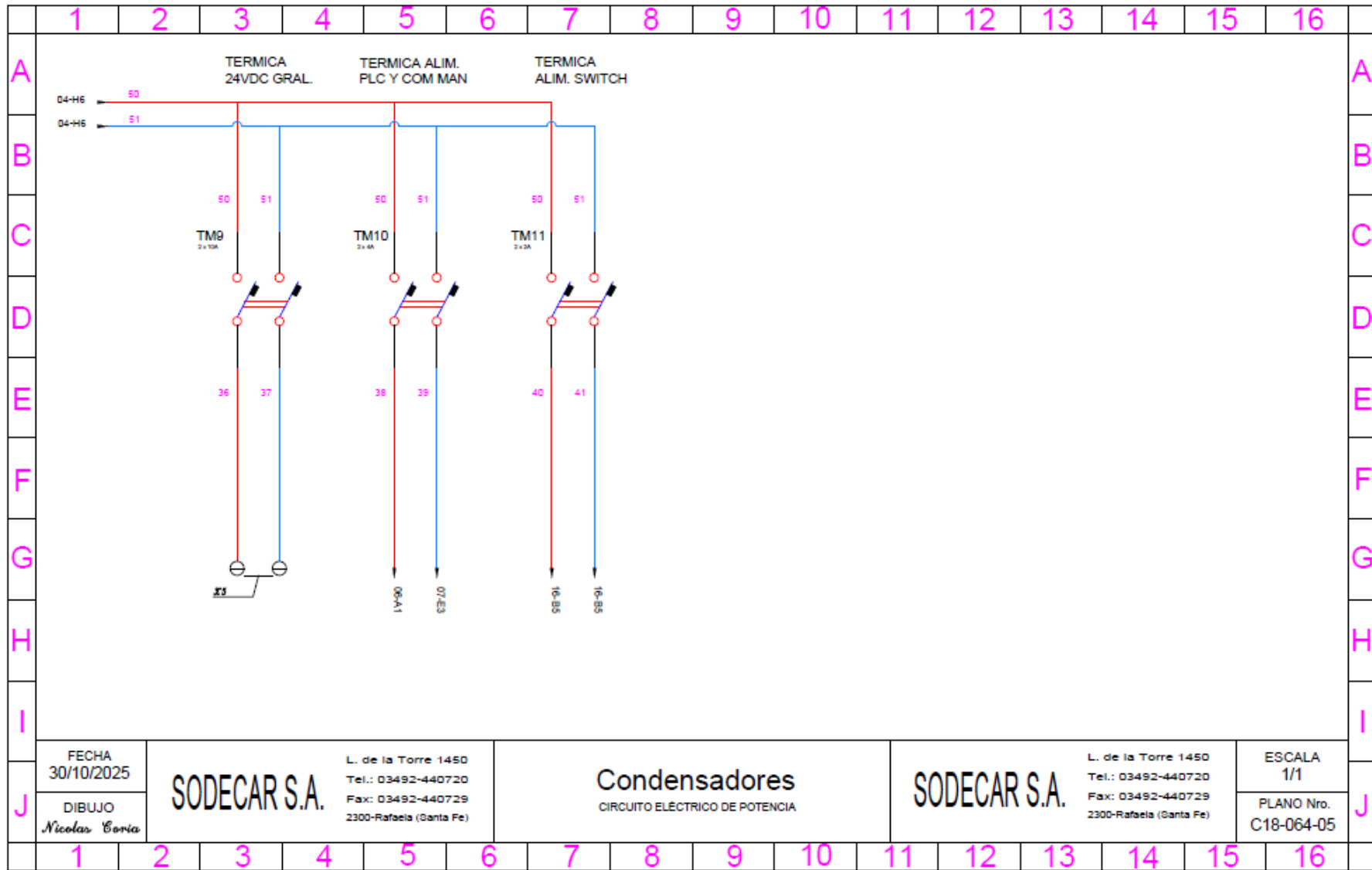
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
A	 <p style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">Automatizacion Condensadores evaporativos</p>															A	
B																	
C																	
D																	
E																	
F																	
G																	
H																	
I																	
J																FECHA 30/10/2025  DIBUJO <i>Nicolas Coria</i>	SODECAR S.A.  L. de la Torre 1450 Tel.: 03492-440720 Fax: 03492-440729 2300-Rafaela (Santa Fe)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

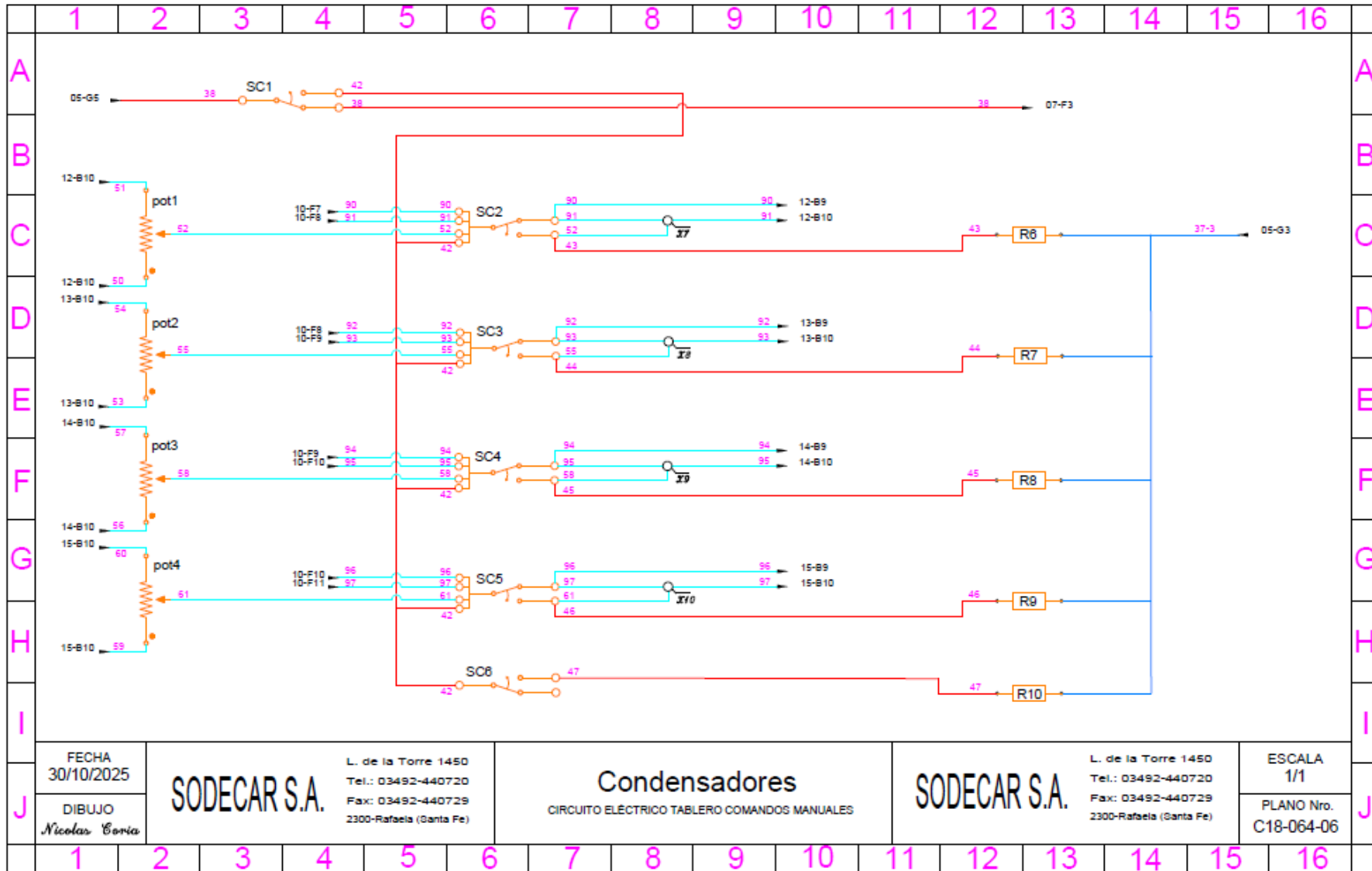












FECHA  
30/10/2025

DIBUJO  
Nicolas Corvia

**SODECAR S.A.**

L. de la Torre 1450  
Tel.: 03492-440720  
Fax: 03492-440729  
2300-Rafaela (Santa Fe)

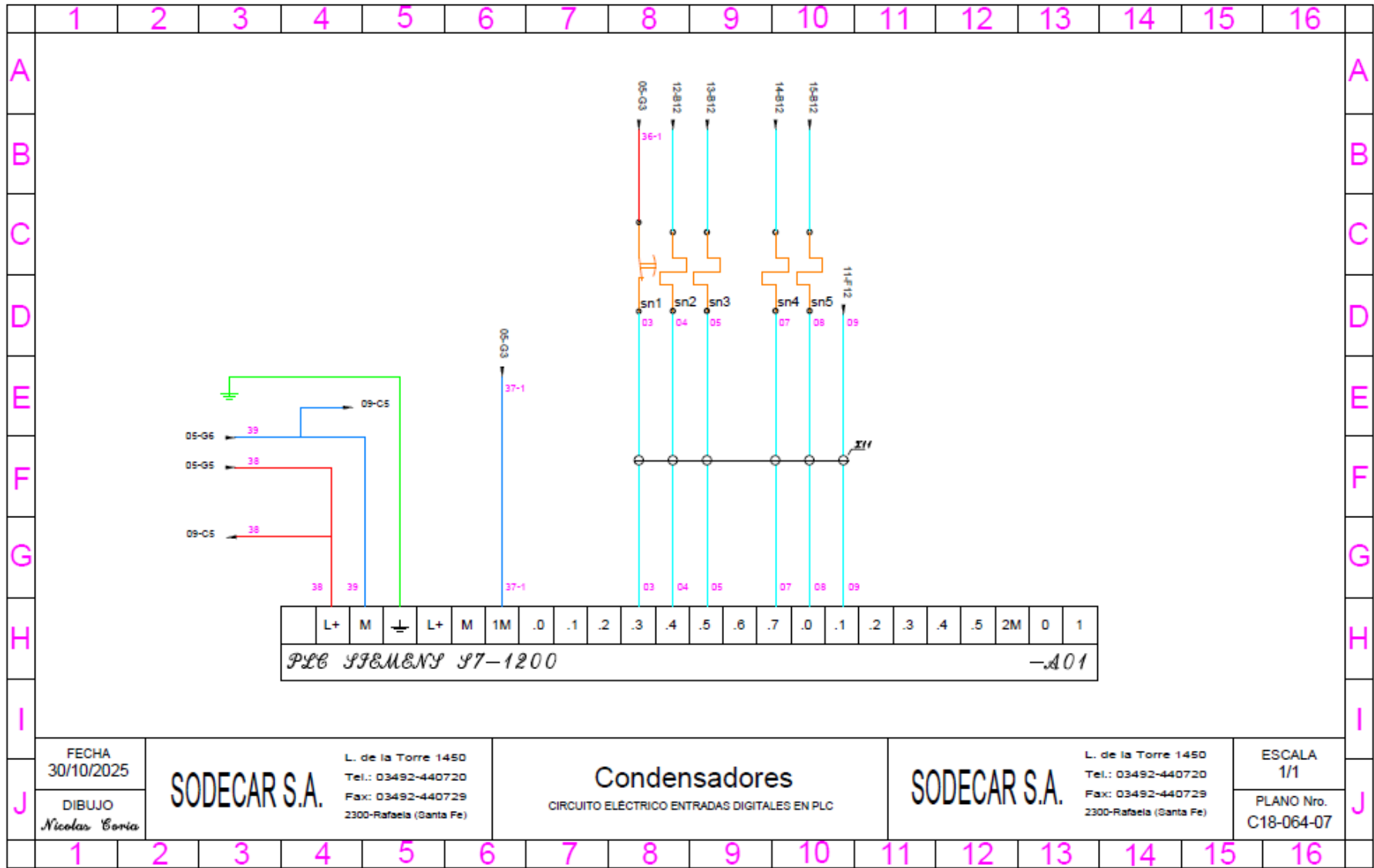
**Condensadores**  
CIRCUITO ELÉCTRICO TABLERO COMANDOS MANUALES

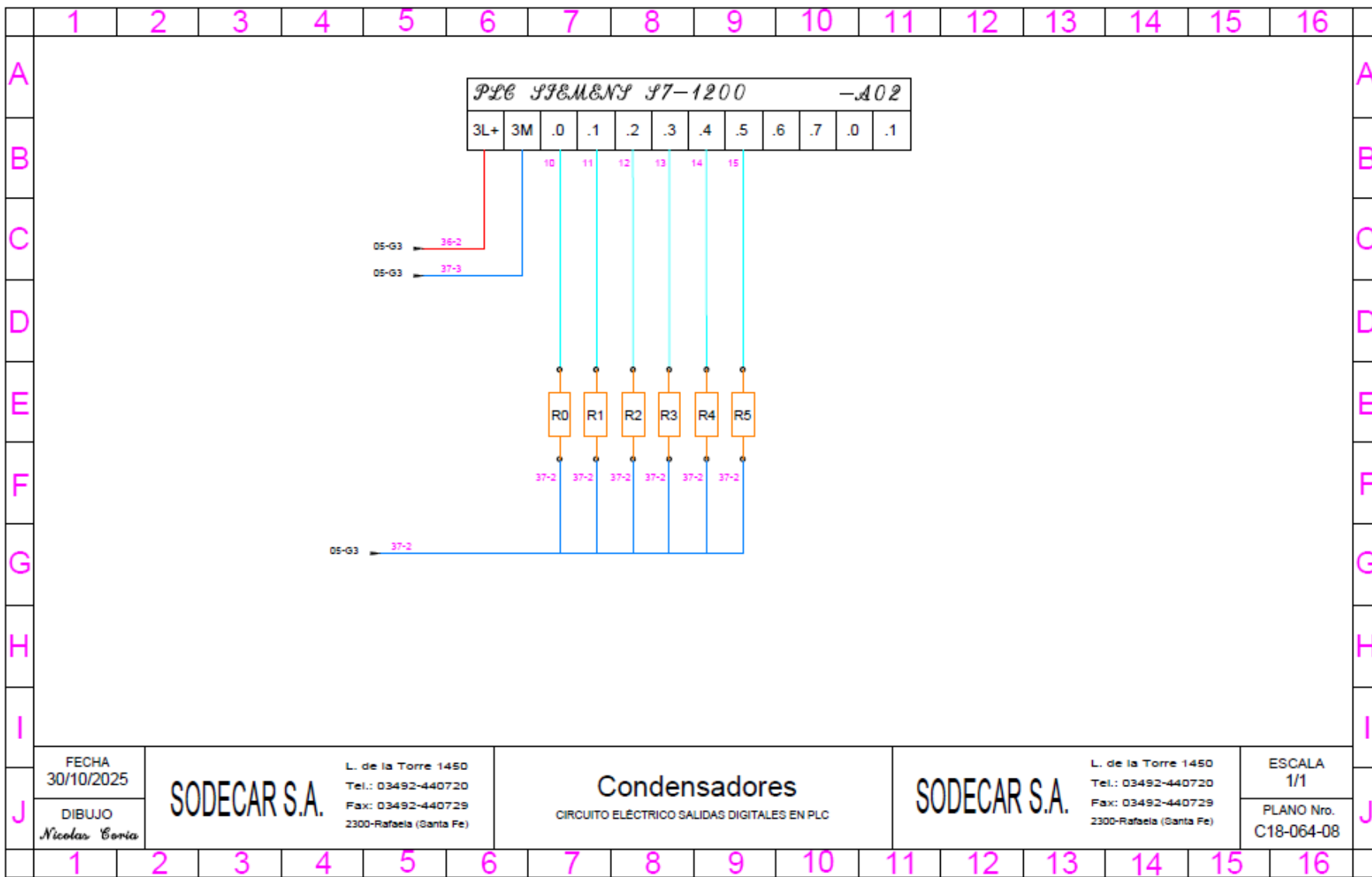
**SODECAR S.A.**

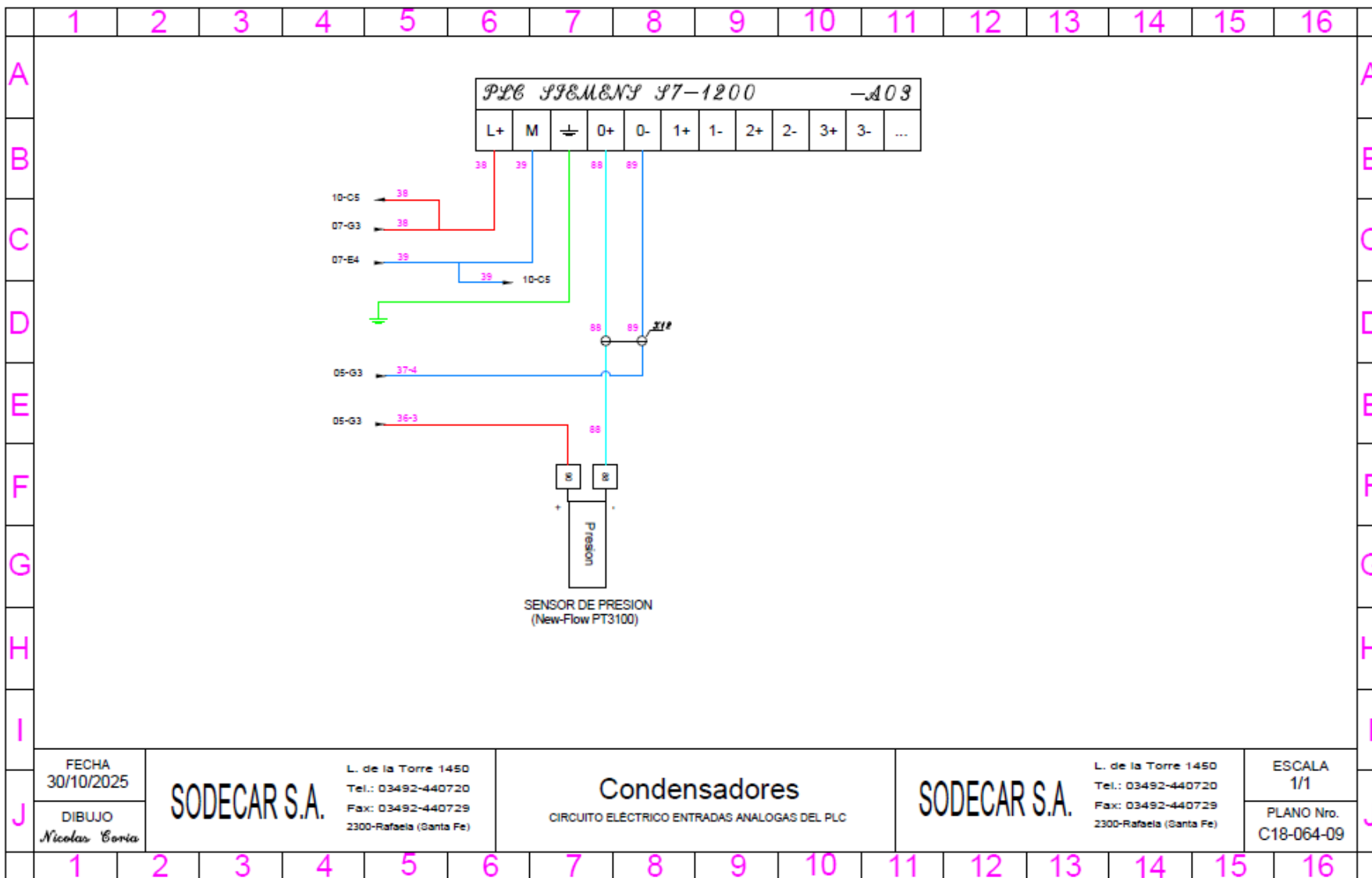
L. de la Torre 1450  
Tel.: 03492-440720  
Fax: 03492-440729  
2300-Rafaela (Santa Fe)

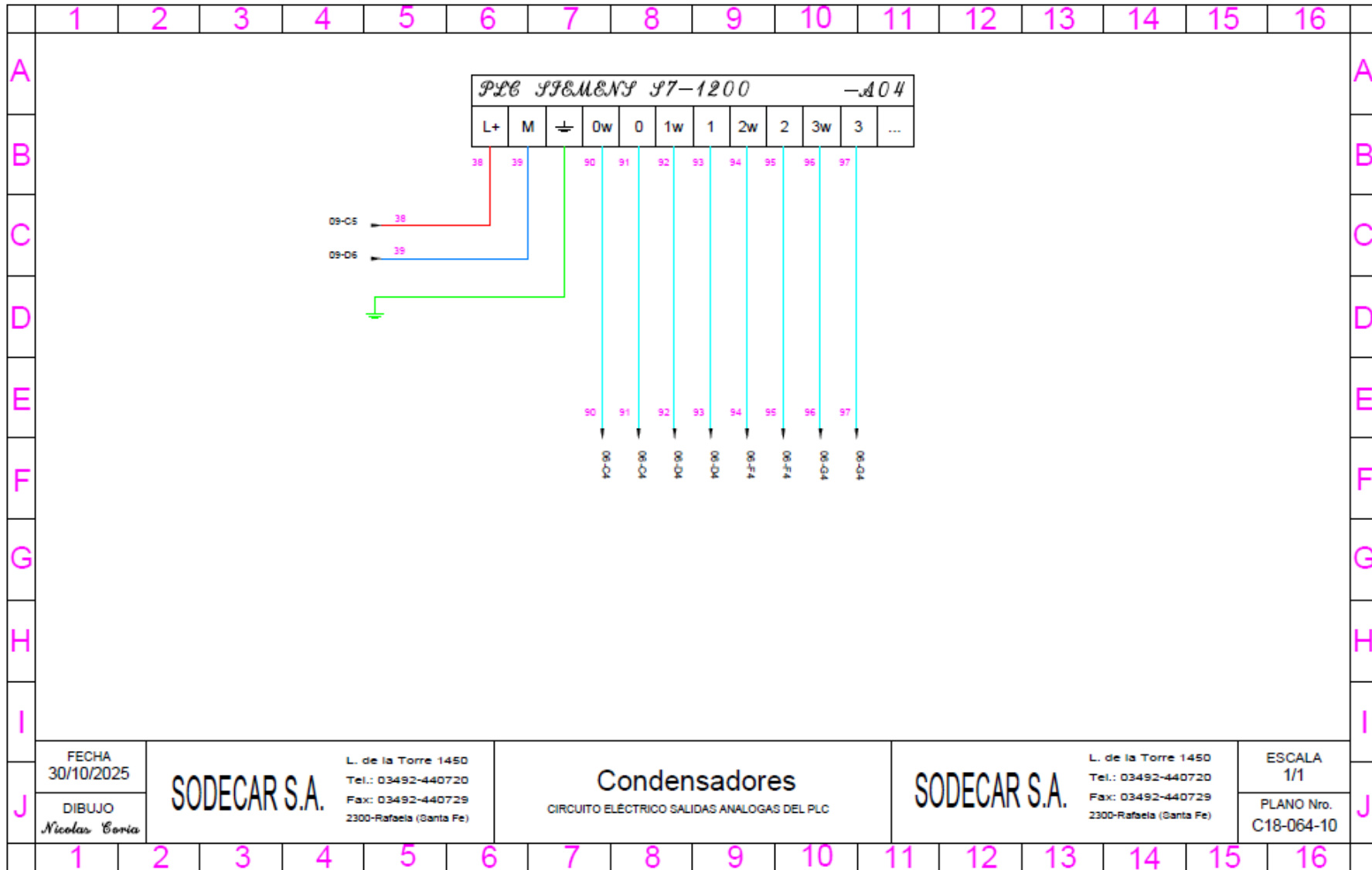
ESCALA  
1/1

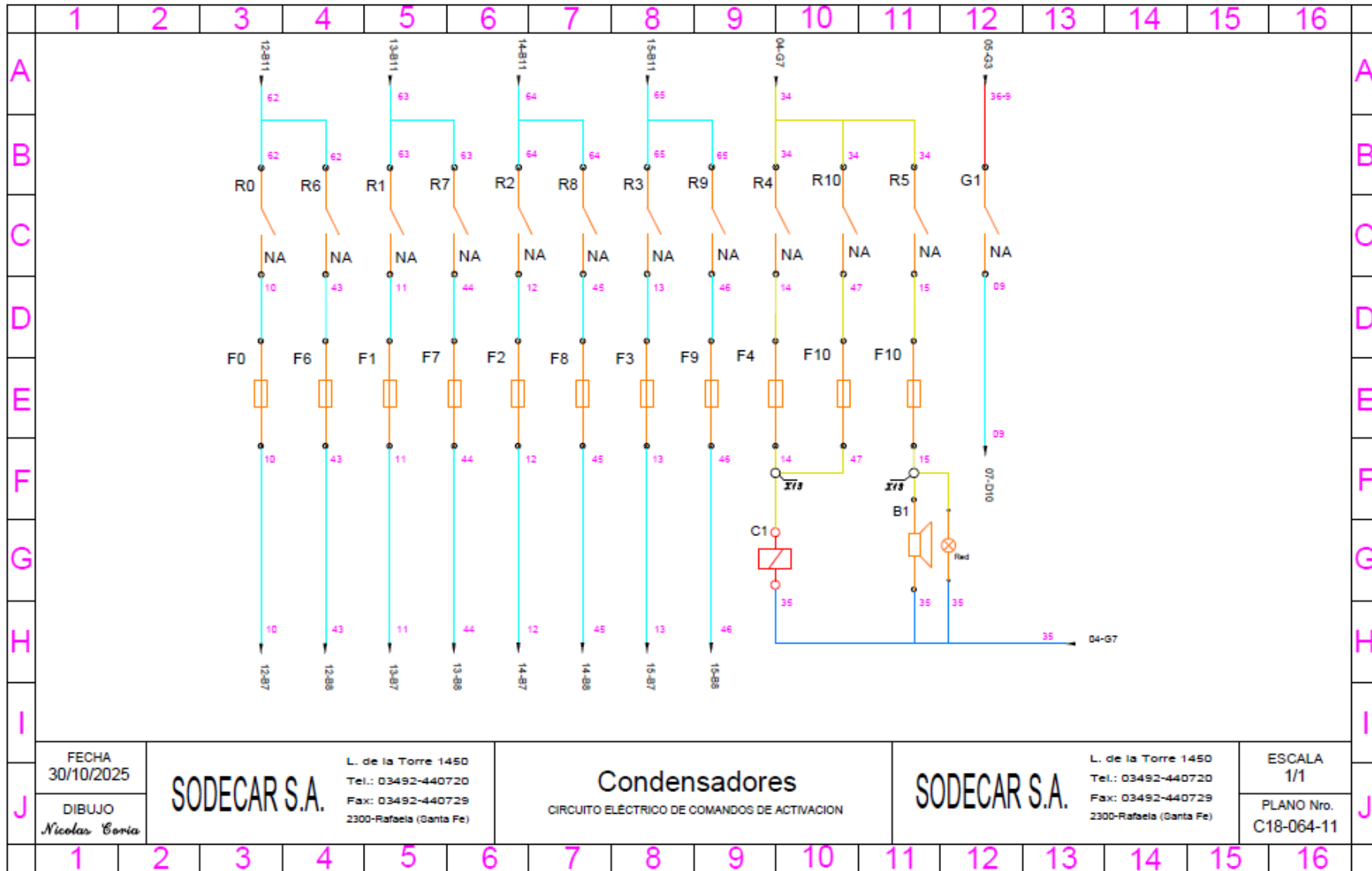
PLANO Nro.  
C18-064-06

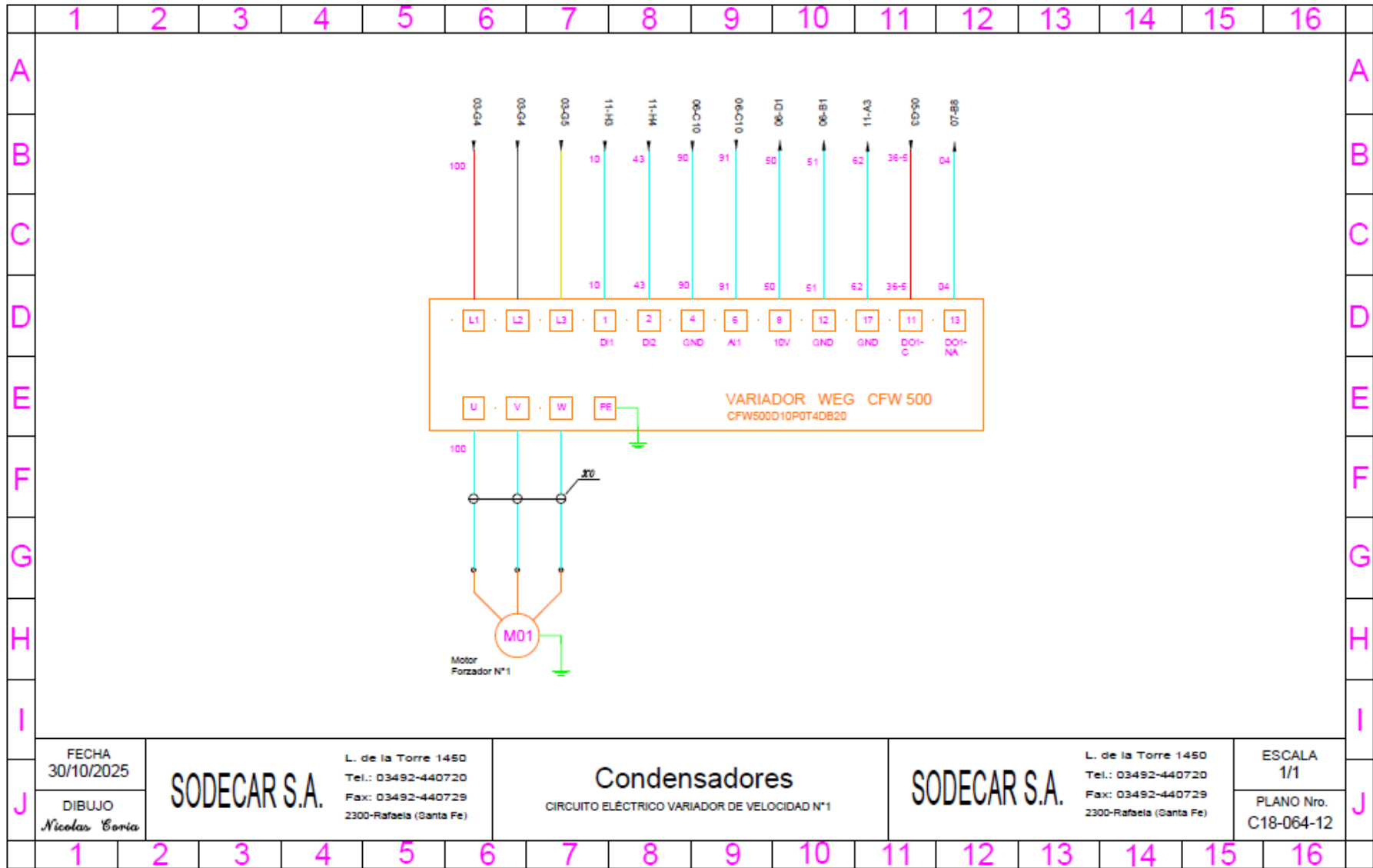












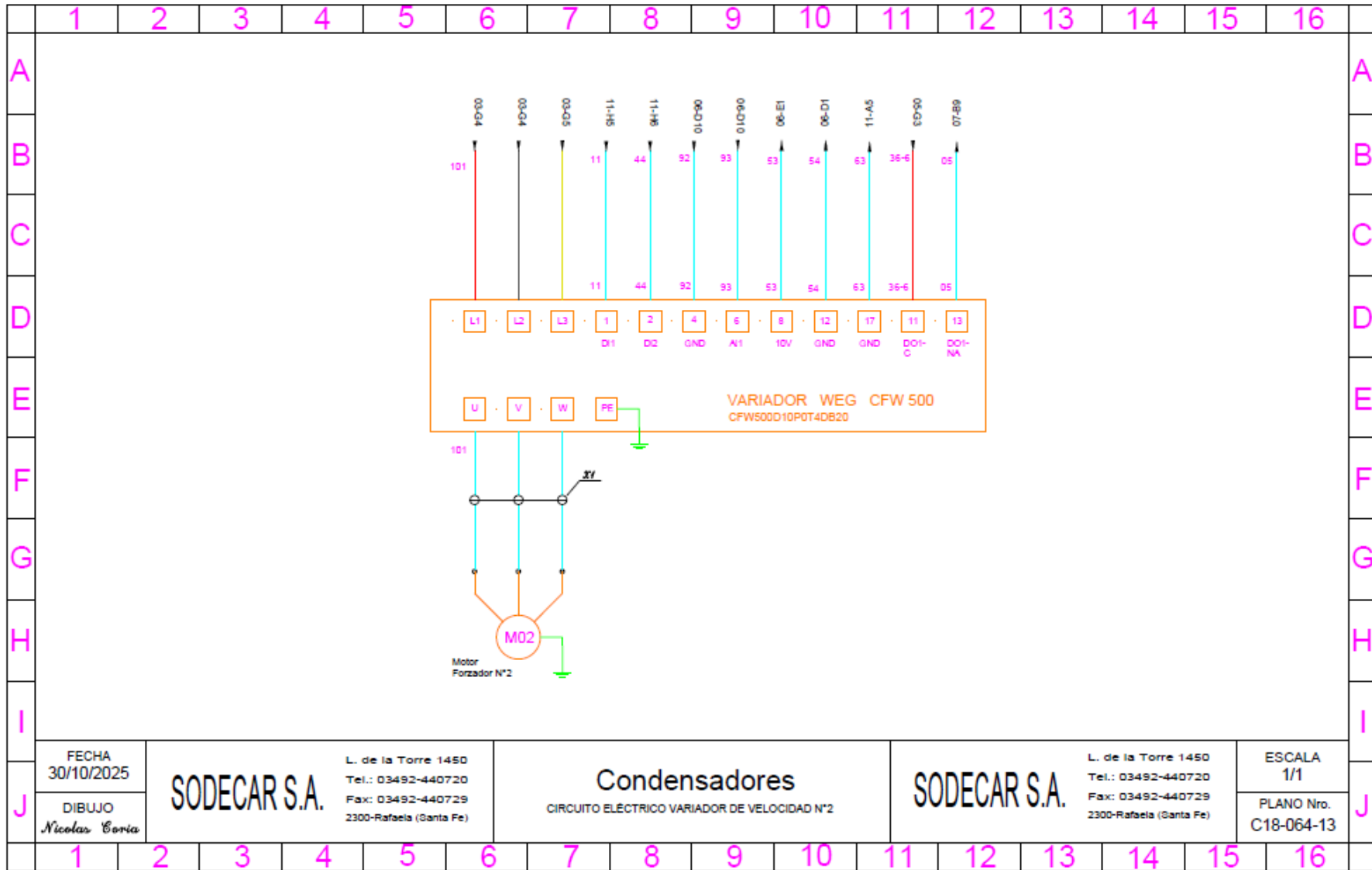
FECHA  
30/10/2025  
DIBUJO  
Nicolas Coria

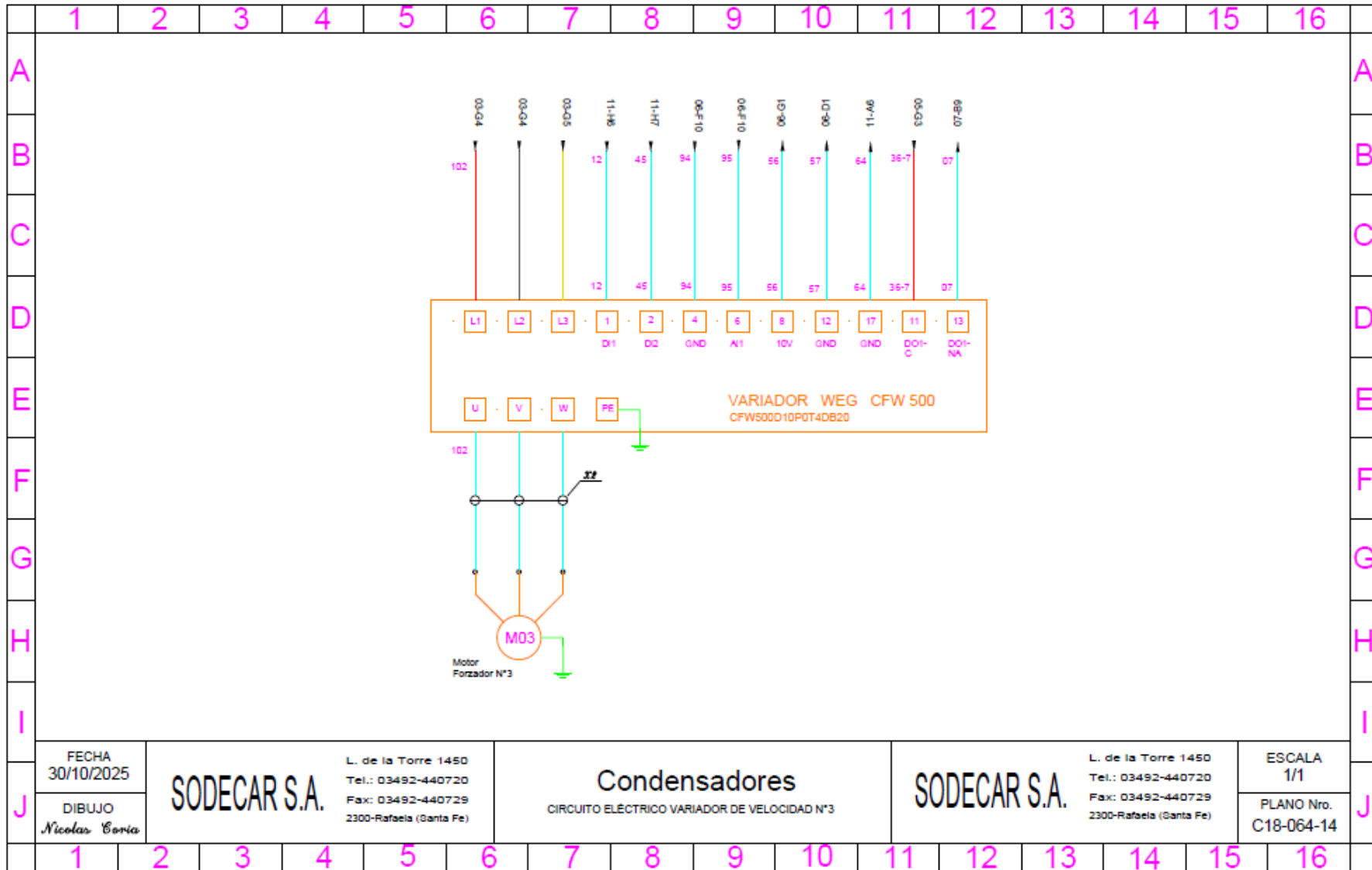
**SODECAR S.A.**  
L. de la Torre 1450  
Tel.: 03492-440720  
Fax: 03492-440729  
2300-Rafaela (Santa Fe)

**Condensadores**  
CIRCUITO ELÉCTRICO VARIADOR DE VELOCIDAD N°1

**SODECAR S.A.**  
L. de la Torre 1450  
Tel.: 03492-440720  
Fax: 03492-440729  
2300-Rafaela (Santa Fe)

ESCALA  
1/1  
PLANO Nro.  
C18-064-12





FECHA  
30/10/2025

DIBUJO  
Nicolas Coria

**SODECAR S.A.**

L. de la Torre 1450  
Tel.: 03492-440720  
Fax: 03492-440729  
2300-Rafaela (Santa Fe)

**Condensadores**  
CIRCUITO ELÉCTRICO VARIADOR DE VELOCIDAD N°3

**SODECAR S.A.**

L. de la Torre 1450  
Tel.: 03492-440720  
Fax: 03492-440729  
2300-Rafaela (Santa Fe)

ESCALA  
1/1

PLANO Nro.  
C18-064-14

